



Volume 6
Issue **05**

September 2024
ISSN 2705-0696(Print)

测绘与地质

Surveying & Mapping and Geology

测绘与地质

Surveying & Mapping and Geology

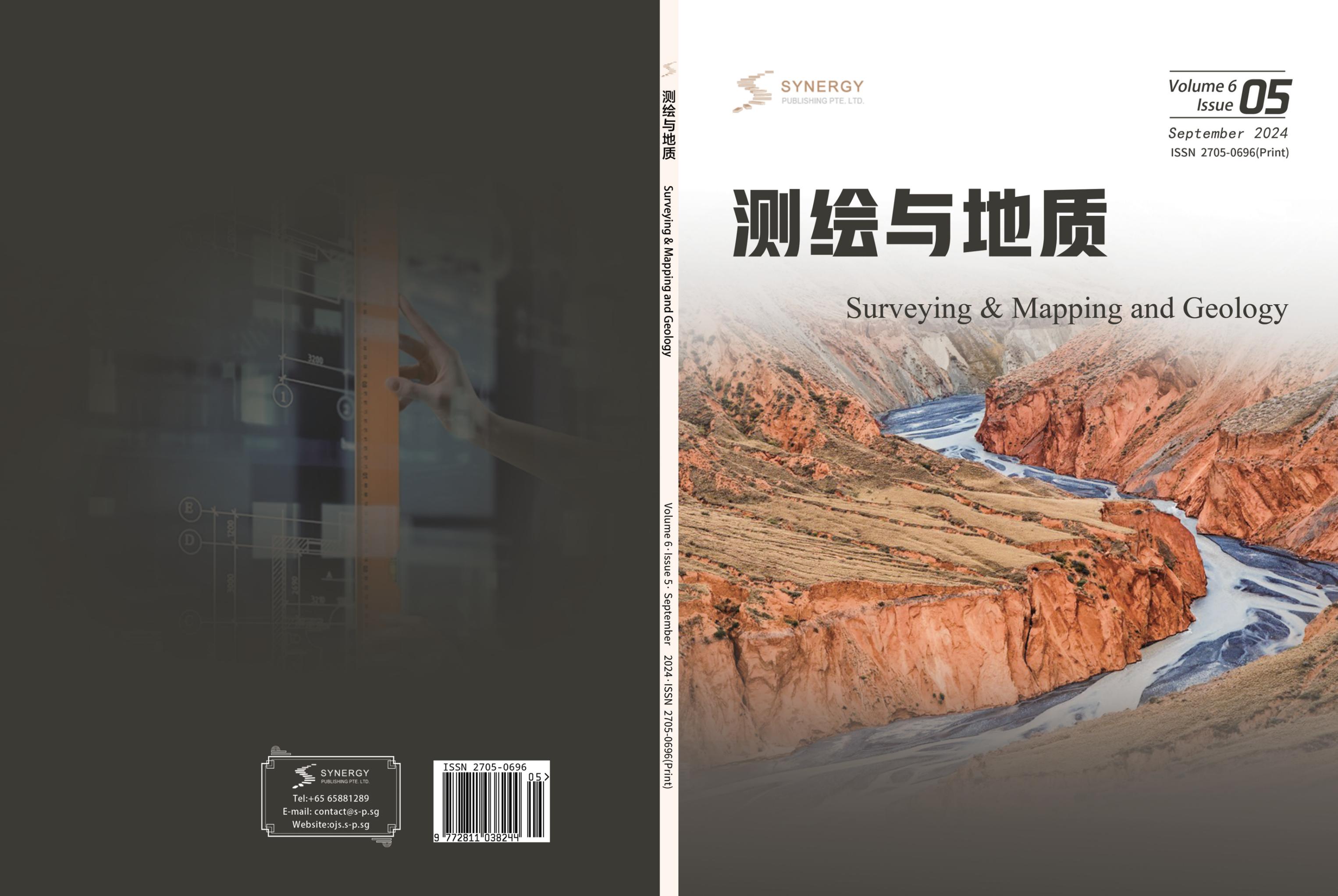
Volume 6 · Issue 5 · September 2024 · ISSN 2705-0696(Print)

SYNERGY
PUBLISHING PTE. LTD.

Tel: +65 65881289
E-mail: contact@s-p.sg
Website: ojs.s-p.sg

ISSN 2705-0696

9 772811 038244 05 >



中文刊名: 测绘与地质
ISSN: 2705-0696 (纸质)
出版语言: 华文
期刊网址: <https://ojs.s-p.sg/index.php/smg>
出版社名称: 新加坡协同出版社

Serial Title: Surveying & Mapping and Geology
ISSN: 2705-0696 (Print)
Language: Chinese
URL: <https://ojs.s-p.sg/index.php/smg>
Publisher: Synergy Publishing Pte. Ltd.

《测绘与地质》征稿函

Database Inclusion



Asia & Pacific Science Citation Index



China National Knowledge Infrastructure



Creative Commons



Google Scholar



Crossref

版权声明 / Copyright

协同出版社出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料, 除另作说明外, 作者有权依据 Creative Commons 国际署名-非商业使用 4.0 版权对于引用、评价及其他方面的要求, 对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时, 必须注明原文作者及出处, 并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归协同出版社所有。

All articles and any accompanying materials published by Synergy Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). Synergy Publishing Pte. Ltd. reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Synergy Publishing Pte. Ltd.

电子邮箱 /E-mail: contact@s-p.sg

官方网址 /Official Website: www.s-p.sg

地址 /Address: 12 Eu Tong Sen Street, #07-169, Singapore 059819



期刊概况:

中文刊名: 测绘与地质

ISSN: 2705-0696 (Print)

出版语言: 华文

期刊网址: <https://ojs.s-p.sg/index.php/smg>

出版社名称: 新加坡协同出版社

出版格式要求:

- 稿件格式: Microsoft Word
- 稿件长度: 字符数 (计空格) 4500以上; 图表核算200字符
- 测量单位: 国际单位
- 论文出版格式: Adobe PDF
- 参考文献: 温哥华体例

出刊及存档:

- 电子版出刊 (公司期刊网页上)
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 中国知网 (CNKI)、谷歌学术 (Google Scholar) 等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益:

- 期刊为 OA 期刊, 但作者拥有文章的版权;
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档;
- 以开放获取为指导方针, 期刊将成为极具影响力的国际期刊;
- 为作者提供即时审稿服务, 即在确保文字质量最优的前提下, 在最短时间内完成审稿流程。

评审过程:

编辑部和主编根据期刊的收录范围, 组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审, 并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登, 提供高效、快捷、专业的出版平台。

Surveying & Mapping and Geology

测绘与地质

September · 2024 | Volume 6 · Issue 5 | ISSN 2705-0696 (Print)

编委会

主 编

赵金凯 黑龙江省煤田地质勘查院第三勘探队

编 委

王 晋 山西沁和能源集团曲堤煤业有限公司

安平利 广州市天驰测绘技术有限公司

秦豪抒 浙江度一信息科技有限公司

张军祥 山东省国土测绘院

储添翼 中国地质大学（武汉）

赵 帆 机械工业勘察设计研究院

- 1 采矿工程巷道掘进和支护技术研究
/ 江荣洋
- 4 数字化矿山系统及智能化在矿井中的实践研究
/ 刘永胜
- 7 地质岩石样品金属元素化学分析
/ 王磊
- 10 煤矿井下人员定位系统设计与运用阐述
/ 胡成勇 王海勇
- 13 石油工程随钻测控技术的发展与应用研究
/ 蒲文学
- 16 高潜水位采煤沉陷区积水形成机理浅析
/ 张毅 刘雅彬
- 19 煤矿火灾烟气控制和一氧化碳控制技术的研究与应用
/ 马鹏飞
- 22 地下水污染的水文地质因素分析及防治对策研究
/ 高玉亚 周志龙
- 25 矿产地质勘查与深部钻探找矿技术研究
/ 周志龙 高玉亚 吕利
- 28 综合物探方法深部铁矿的勘查应用——以滦县曹家河铁矿为例
/ 李延康
- 31 某煤矿工作面中间巷充填施工安全技术措施
/ 徐延波
- 35 山区场地岩土工程勘察要点
/ 陈志雄
- 38 煤矿矸石充填开采设计对策研究
/ 李传斌
- 41 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探索
/ 訾安琪
- 44 中国广西某地区红粘土物理力学特性试验分析及应用
/ 张瑞旗 黄忠春
- 49 煤炭资源清洁高效利用与循环经济模式研究
/ 李国栋
- 52 多源数据融合在地质灾害监测中的应用探索
/ 张江娥
- 55 区域地质构造与成矿关系的研究及成矿预测
/ 叶子华
- 58 石油钻井工程技术的应用现状及发展趋势
/ 胡家钦
- 61 地震作用下边坡稳定性分析及灾害防控措施
/ 高峰 郭章军 魏守才
- 64 BIM 技术在冶金及矿山工程中的应用现状
/ 李蕾 王昊 王宁
- 67 煤矿采矿工程中的智能化技术应用
/ 王建忠
- 70 安全风险分级管控体系在煤矿安全管理中的应用
/ 刘明松 郭晓婉
- 73 复杂地质条件下放顶煤铺网开采技术与应用
/ 敖成杭 赵威 姜永顺 浦仕锐
- 77 物探技术在地球资源勘探中的应用与展望
/ 彭彦程
- 80 中国柴达木盆地西部大风山地区矿床地质特征及成因分析
/ 任志栋 刘国成 李国庆 胡伟 徐玺萍
- 84 无人机遥感技术在水利工程中的应用探析
/ 许健 郭建春
- 87 阜康白杨河矿区 FSL-43 井急倾角多煤层盐水聚合物钻井液技术初探
/ 谢亮 王崇刚 曹世康 张斌 高剑虎
- 90 从煤质控制到碳中和：煤炭行业的绿色转型之路
/ 李东松
- 93 矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策思考
/ 杨婧 朱会平
- 96 中国西藏米林市派镇派村四组后山沟泥石流特征分析及危害程度评价
/ 郭章军 高峰 魏守才
- 99 低渗透砂岩储层微观孔隙结构特征及其对储层物性的影响——以中国鄂尔多斯盆地镇靖—双城地区长 6 油层组为例
/ 杨建辉 高攀锋 王玲 姜全达
- 104 粤东某洞库施工勘察中压水试验应用研究
/ 董鹏飞
- 110 不同温度处理下砂岩的力学性能研究
/ 汪思弘 钟秀杰 杨海文 姜勇军
- 113 InSAR 技术在地质灾害中的运用思考
/ 胡家毅
- 116 钻井井壁稳定性分析及改进策略研究
/ 刘登兵 张鹏翔 张创科 李军 杨振东
- 119 三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用探索
/ 蔡健
- 122 吉庆页岩油优快钻井技术在 JHW17-45 井应用
/ 张东旭 于东来 朱建军 乔梁 牛庆华
- 125 潜山注气区块调整与治理研究
/ 王德俏

- 1 Research on Roadway Driving and Supporting Technology in Mining Engineering
/ Rongyang Jiang
- 4 Practical Research on Digital Mining System and Intelligence in Mines
/ Yongsheng Liu
- 7 Chemical Analysis of Metallic Elements of Geological Rock Samples
/ Lei Wang
- 10 Design and Application of Personnel Positioning System in Coal Mine Underground
/ Chengyong Hu Haiyong Wang
- 13 Research on the Development and Application of Drilling Measurement and Control Technology in Petroleum Engineering
/ Wenxue Pu
- 16 Analysis of the Formation Mechanism of Water Accumulation in Coal Mining Subsidence Areas with High Groundwater Level
/ Yi Zhang Yabin Liu
- 19 Research and Application of Smoke Control and Carbon Monoxide Control Technologies in Coal Mine Fires
/ Pengfei Ma
- 22 Analysis of Hydrogeological Factors and Research on Prevention and Control Measures for Groundwater Pollution
/ Yuya Gao Zhilong Zhou
- 25 Research on Mineral Geological Exploration and Deep Drilling Exploration Technology
/ Zhilong Zhou Yuya Gao Li Lv
- 28 Application of Comprehensive Geophysical Methods in the Exploration of Deep Iron Deposits—Taking Caojiahe Iron Mine in Luan County, China as an Example
/ Yankang Li
- 31 Safety Technical Measures for Middle Lane Filling Construction in a Coal Mine Working Face
/ Yanbo Xu
- 35 Key Points of Geotechnical Engineering Investigation for Mountainous Sites
/ Zhixiong Chen
- 38 Research on Design Countermeasures of Coal Mine Gangue Filling
/ Chuanbin Li
- 41 Exploration of Application of Modern Mining Technology in Mining Engineering
/ Anqi Zi
- 44 Experimental Analysis and Application of Physical and Mechanical Properties of Red Clay in a Certain Area of Guangxi, China
/ Ruiqi Zhang Zhongchun Huang
- 49 Research on Clean and Efficient Utilization of Coal Resources and Circular Economy Model
/ Guodong Li
- 52 Application of Multi-source Data Fusion in Geological Hazard Monitoring
/ Jiang'e Zhang
- 55 Research on the Relationship between Regional Geological Structure and Mineralization and Mineralization Prediction
/ Zihua Ye
- 58 Application Status and Development Trend of Oil Drilling Engineering Technology
/ Jiaqin Hu
- 61 Slope Stability Analysis and Disaster Prevention Measures under Earthquake Action
/ Feng Gao Zhangjun Guo Shoucai Wei
- 64 The Current Application Status of BIM Technology in Metallurgy and Mining Engineering
/ Lei Li Hao Wang Ning Wang
- 67 Application of Intelligent Technology in Coal Mining Engineering
/ Jianzhong Wang
- 70 Application of Safety Risk Classification Control System in Coal Mine Safety Management
/ Mingsong Liu Xiaowan Guo
- 73 Mining Technology and Application of Top Coal Paving Network under Complex Geological Conditions
/ Chenghang Ao Wei Zhao Yongshun Jiang Shirui Pu
- 77 Application and Prospect of Geophysical Exploration Technology in Earth Resource Exploration
/ Yancheng Peng
- 80 Geological Characteristics and Genesis Analysis of Mineral Deposits in the Dafengshan Area of the Western Qaidam Basin, China
/ Zhidong Ren Guocheng Liu Guoqing Li Yi Hu Xiping Xu
- 84 Analysis on the Application of UAV Remote Sensing Technology in Water Conservancy Project
/ Jian Xu Jianchun Guo
- 87 Preliminary Study on Drilling Fluid of FSL-43 Well in Baiyanghe Mining Area
/ Liang Xie Chonggang Wang Shikang Cao Bin Zhang

- Jianhu Gao
- 90 From Coal Quality Control to Carbon Neutrality: The Green Transformation Path of the Coal Industry
/ Dongsong Li
- 93 Reflection on Mine Engineering Geological Exploration and Geological Disaster Management Countermeasures
/ Jing Yang Huiping Zhu
- 96 Characteristic Analysis and Hazard Evaluation of Debris Flow in Pai Village, Milin City, Xizang Province, China
/ Zhangjun Guo Feng Gao Shoucai Wei
- 99 Micro-pore Structure Characteristics of Low Permeability Sandstone Reservoir and Its Influence on Reservoir Properties—Taking the Long 6 Oil Layer Group in Zhenstability-Shuangcheng Area of Ordos Basin, China as an Example
/ Jianhui Yang Panfeng Gao Ling Wang Quanda Jiang
- 104 Hydraulic Pressure Test Used in Geotechnical Survey of Underground Caverns
/ Pengfei Dong
- 110 Reaearch on Mechanical Properties of Sandstone Treated at Different Temperatures
/ Sihong Wang Xiujie Zhong Haiwen Yang Yongjun Jiang
- 113 Reflection on the Application of InSAR Technology in Geological Disasters
/ Jiayi Hu
- 116 Drilling Wall Stability Analysis and Improvement Strategy Research
/ Dengbing Liu Pengxiang Zhang Chuangke Zhang Jun Li Zhendong Yang
- 119 Application of 3D Resistivity Imaging Technology in Urban Underground Cavity Detection
/ Jian Cai
- 122 Jiqing Shale Oil Drilling Drilling Technology is Applied in Well Jhw 17-45
/ Dongxu Zhang Donglai Yu Jianjun Zhu Lian Qiao Qinghua Niu
- 125 Research on the Adjustment and Treatment of Buried Hill Gas Injection Blocks
/ Deqiao Wang

Research on Roadway Driving and Supporting Technology in Mining Engineering

Rongyang Jiang

Xinjiang Anyi Jianxin Construction Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

In order to solve the problems encountered in roadway excavation and support technology in mining engineering, this paper takes specific mining engineering as an example to carry out in-depth research on roadway excavation and support technology. By analyzing the shortcomings of current excavation and support technology, such as insufficient ventilation and dust prevention, unreasonable structural design, unscientific excavation planning and inadequate stability maintenance, this paper puts forward a series of solutions, includes optimizing ventilation and dust control systems, improving structural design, scientific planning of tunneling schemes and strengthening stability maintenance measures. The effectiveness of these measures is verified by a case study, and their economic and security benefits are analyzed. The results of this paper are expected to provide theoretical guidance and practical reference for the application of roadway excavation and support technology in mining engineering, in order to provide help for relevant personnel.

Keywords

mining engineering; roadway driving; support technology

采矿工程巷道掘进和支护技术研究

江荣洋

新疆安壹健鑫建设工程有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

为解决采矿工程巷道掘进和支护技术中遇到的问题, 论文以具体的采矿工程为例, 对巷道掘进和支护技术进行了深入研究。通过分析当前掘进和支护技术的不足之处, 如通风防尘不足、结构设计不合理、掘进规划缺乏科学性以及稳定性维护不到位等问题, 论文提出了一系列解决措施, 包括优化通风防尘系统、改进结构设计、科学规划掘进方案和加强稳定性维护措施。通过实例研究, 验证了这些措施的有效性, 并对其经济和安全效益进行了分析。论文的成果预期为采矿工程巷道掘进和支护技术的应用提供理论指导和实践参考, 以期为相关人员提供帮助。

关键词

采矿工程; 巷道掘进; 支护技术

1 引言

随着采矿工业的快速发展, 采矿工程巷道的掘进与支护技术成为保障矿山安全生产的关键技术。巷道不仅是矿山通风、运输的重要通道, 也是实现矿山安全高效开采的基础设施。然而, 巷道在掘进过程中面临着复杂的地质条件, 如岩石的不稳定性、水文地质条件复杂等问题, 这些都严重影响了巷道的安全和稳定性。此外, 随着深部资源的开采, 巷道掘进和支护的难度及成本不断增加, 传统的掘进和支护方法已难以满足现代矿山的高效、安全生产需求。因此, 研究和开发新的巷道掘进与支护技术, 对于提高矿山开采效率、降低安全事故率、保证矿工安全具有重要的现实意义和长远

的发展价值^[1]。

2 采矿工程巷道掘进和支护技术的应用要点

2.1 通风防尘

采矿工程巷道掘进和支护技术中, 通风防尘是保障作业环境安全与工人健康的重要措施。其主要方法包括机械通风和自然通风两种。机械通风通过使用风机等设备, 强制输送空气到巷道内, 实现必要的换气和压力平衡, 以控制瓦斯和粉尘的浓度。自然通风则利用巷道内外的温度、压力和密度差异, 促使空气自然流动, 尽管其效率受到多种因素的影响而有限。在设计通风系统时, 必须综合考虑巷道的实际情况, 如长度、断面、走向、倾角、围岩条件以及瓦斯涌出量和粉尘产生量等。这些因素决定了通风系统的类型、规模、布置和参数设置, 以确保巷道内的风量、风速和风压等指标能够满足作业时的安全和环保要求。合理的通风防尘设计,

【作者简介】江荣洋(1983-), 男, 中国甘肃临夏人, 本科, 工程师, 从事采矿工程研究。

不仅可以有效地改善巷道作业环境,减少职业病的发生,还能提高作业效率,保障安全生产的顺利进行。此外,现代技术的应用,如智能化通风系统,能够根据巷道内的实时瓦斯和粉尘浓度自动调节风量和风速,进一步提高了通风系统的效率和智能化水平,为采矿作业提供了更加安全、高效的工作环境。

2.2 结构设计

在采矿工程巷道掘进和支护技术的应用中,结构设计占据了至关重要的地位。巷道的结构设计不仅要确保施工与长期使用的安全性,还要考虑到经济和美观等多方面的要求。为此,结构设计通常采用理论分析法、数值模拟法、模型试验法和现场监测法等多种方法进行。这些方法各有侧重,能够从不同角度和层面对巷道的设计提供科学依据。在设计过程中,首先,要综合考虑巷道的功能、位置、形状和尺寸要求。例如,是否为主要通道、是否需要承受较大的地压、巷道的直径大小等。其次,围岩的类型、特性和状态也是设计时必须严格考量的因素,因为围岩条件直接影响到选择何种掘进及支护方法。通过对上述因素的科学计算和综合分析,可以确定最适宜的巷道断面形式、尺寸、坡度、曲率和间距等关键参数。正确的结构设计能够确保巷道结构在满足安全标准的同时,也具有一定的经济性和适应性,甚至在一定程度上考虑美观性,从而有效地支持矿山的安全高效运营^[2]。

2.3 掘进规划

掘进规划在采矿工程中扮演着至关重要的角色,它不仅关系到巷道的合理布局 and 有效利用,也直接影响到矿山的安全、高效运营。该规划过程以矿山的开采方案、资源储量和地质条件等关键因素为基础,旨在确定巷道的最佳位置、方向、数量和开挖顺序。通过这种方式,确保所规划的巷道能够满足矿山在生产、运输、通风、排水及安全等多方面的需求。在进行掘进规划时,细致而全面的考量变得尤为重要。这不仅包括煤矿的整体开采计划和可利用的资源量,还涵盖了对地质条件的深入分析,包括地层的稳定性、水文地质条件以及可能的地质灾害。地质条件的复杂性要求规划者进行科学的计算和分析,确保掘进计划的可行性和安全性。此外,掘进规划还需考虑未来可能的扩展需求和潜在风险,以便制定出更为灵活和前瞻性的巷道布局方案。通过这种综合考量和科学规划,矿山开采能够实现资源的高效开发和利用,同时保障工作人员的安全和健康。此外,掘进规划的过程中,应用现代技术手段如三维地质建模和仿真技术,可以更精确地预测和规避风险,确保掘进工程的顺利进行。

2.4 稳定性维护

在采矿工程巷道掘进和支护技术的应用中,稳定性维护是确保长期安全和有效运营的关键环节。管理人员必须结合巷道的结构设计、支护方案及其运行状况,制定出一套全面的检查、监测、维修、加固和改造计划。这些计划应涵盖从定期到不定期的巷道检查和监测,以及必要时进行的维修

和加固工作。通过这样的维护措施,可以及时发现并解决巷道可能出现的稳定性问题,如裂缝发展、支护结构损坏或者局部变形等。这种主动的维护策略有助于防止或至少大幅减少巷道的变形、破坏和塌陷等不良现象的发生。实质上,这不仅保障了巷道本身的结构安全和使用功能,也保护了在此工作环境下人员的生命安全。巷道的稳定性维护工作要求管理人员具备高度的责任感和前瞻性,通过科学合理的计划和措施,确保巷道能够抵御各种内外部因素的影响,维持其长期的稳定性和安全性^[3]。巷道掘进如图1所示。



图1 巷道掘进现场

3 采矿工程巷道掘进和支护技术的应用实例研究

3.1 工程概况分析

在国内某采矿工程案例中,对8203回风顺槽巷道的掘进和支护技术应用进行了深入研究。该工程计划建设的巷道是为8203工作面回采时使用的进风巷,具有重要的通风和安全功能。巷道的设计断面为矩形结构,尺寸为高2400mm、宽4000mm,设计服务年限超过1年,旨在保证长期的稳定性和安全性。此巷道的掘进和支护技术选择对其结构安全和功能实现至关重要。由于巷道承担进风功能,确保通风顺畅是设计中的一个重要考量。同时,考虑到巷道的设计服务年限,稳定性和耐久性成为另一项关键的设计要求。在支护方案选择上,采用了适应性强、能够有效控制围岩变形的新型支护材料和技术,如高强度锚杆、喷射混凝土等,以满足长期稳定性的需求。

3.2 巷道掘进

在采矿工程的巷道掘进过程中,实施有效的技术方法是确保安全、提高效率的关键。通过采用钻爆法掘进,结合风动凿岩机的合理选型和专业的爆破技术,可以在确保工作人员安全和环境保护的同时,高效完成巷道的掘进工作。首先,选择合适的钻爆法是巷道掘进的首要步骤。这要求根据巷道的结构特点,选用适宜的风动凿岩机。在凿岩过程中,针对巷道的具体结构,精准设定打眼位置和爆破流程,这对

于提高掘进效率和确保爆破安全至关重要。其次,在工程前期制定详细的掘进方案是必要的。方案中应明确各个钻孔与巷道轮廓线之间的准确距离,这有助于在爆破过程中实现预期的掘进形态和减少过爆、欠爆的风险。在爆破实施阶段,选择符合巷道结构和安全要求的专用炸药至关重要。同时,严格设定起爆时间和确保安全距离,可以有效避免爆破引起的伤害事故。在整个爆破网络的设计上,采取并联方式进行处理,可以提高爆破效率和安全性。对于掘进范围内的炮孔装药工作,应优先考虑需要连续性装药的结构,避免炸药直接接触炮孔底部,并根据实际需要合理选择雷管的段别。这不仅能够保障爆破作业的安全性,还能够根据实际情况调整爆破参数,以实现最佳的掘进效果。巷道掘进技术的合理应用,能够确保采矿工程在安全、高效的前提下顺利进行。通过精细化管理和技术的不断创新,可以在保护工作人员和环境安全的同时,有效提升采矿工程的经济效益和社会价值^[4]。

3.3 支护技术

在采矿工程巷道掘进和支护技术的应用中,精确的支护技术参数选择和材料搭配对确保施工安全和提高支护效果具有至关重要的作用。通过对锚杆、钻孔直径等关键数据的耦合计算,能够科学地得出最佳支护方案。为了优化支护效果,控制锚杆杆体与钻孔直径的差值在6~10mm范围内,以及树脂锚固剂与钻孔直径的差值在4~8mm范围内,是基于提高锚固效率和稳定性的考虑。在巷道顶部施工时,顶部结构的稳定性尤为关键。选择具有较强适配性的托盘类型和钢锚杆类型,可以有效避免在采矿过程中的相互冲突,从而提高巷道顶部的稳定性。此外,对锚固系统的布置参数进行精确设定:一排锚固5根,排距和间距分别为1000mm和950mm,不仅能够保证支护系统的均匀性,还能够提升整体的支护效力。选用的树脂锚固剂类型为MSK2360,其预紧力矩大于100N·m,锚固力大于60kN,表明该锚固剂具有良好的锚固效果。同时,在支护材料的选择上,采用钢材质的托盘(300mm×300mm×10mm)和钢绞线 $\phi 15.24\text{mm} \times 4300\text{mm}$ 作为锚索,每排距离控制在约3m左右,确保了支护结构的坚固与耐用。锚索与树脂锚固剂的搭配使用,进一步增强了锚固力至不小于150kN,从而确保了巷道的稳定性和安全性。通过上述的精细设计和材料选择,可以大幅度提升巷道支护的效果,确保采矿工程巷道的长期稳定性与工作人员的安全。这种方法论的应用,不仅体现了工程技术人员在实践中对理论知识的深入理解,也展示了采矿工程在安全技术措施上的严谨态度 and 创新能力。

3.4 效益分析

在采矿工程中,巷道掘进和支护技术的应用效益是衡

量工程成功与否的关键指标。以国内某采矿工程的8203回风顺槽巷道为例,通过对完成后的施工操作进行细致的监测和数据分析,可以有效评估所采取支护措施的实际效果。监测结果显示,巷道的底板下沉量和顶板的最大变形值分别为114mm和121mm,两帮壁的变形值为105mm。这些数据表明,在经过精心设计和施工后,巷道的整体结构保持了良好的安全稳定性,满足了工程应用的标准。此外,通过对巷道顶板整体离层角度的分析,确认锚杆受力正常,说明顶板支护设计合理,且8203回风顺槽巷道的布置没有受到过多干扰,对巷道稳定性的影响基本可以忽略不计。这些分析结果不仅证明了掘进和支护技术的有效性,还体现了在采矿工程中,科学合理的设计与精细化的施工管理对于确保工程安全、提升工程质量的重要性。巷道结构的稳定性直接关系到矿工的安全以及矿山的正常运营,因此,这种综合监测和分析方法对于其他类似的采矿工程具有重要的参考价值。8203回风顺槽巷道的成功案例展示了在采矿工程中应用先进掘进和支护技术的巨大潜力。通过持续的技术创新和管理优化,不仅可以提高矿山的经济效益,还能保障工作人员的生命安全,为可持续发展的采矿业贡献力量^[5]。

4 结论

论文通过深入分析采矿工程巷道掘进和支护技术的应用要点与实例,验证了科学合理的掘进规划、结构设计、稳定性维护以及支护技术的重要性。结论显示,综合运用理论分析、数值模拟、模型试验和现场监测等多种方法,能够显著提升巷道工程的安全性和经济效益。通过案例研究,论文进一步证实了在实际工程中精确执行掘进与支护方案的有效性,以及监测与评估工作对于确保工程安全稳定性的关键作用。此外,论文的成功实践为后续类似采矿工程提供了宝贵的参考和借鉴,强调了在采矿工程设计与实施过程中,持续创新与优化的重要性。总之,只有通过不断的技术革新和管理改进,才能确保采矿工程的长期成功与可持续发展。

参考文献

- [1] 闫伟.煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术分析[J].低碳世界,2024,14(2):49-51.
- [2] 钱永寿.浅析煤矿采矿工程中巷道掘进支护技术的应用[J].产品可靠性报告,2024(1):101-102.
- [3] 徐世华.煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术策略探讨[J].当代化工研究,2024(1):113-115.
- [4] 崔啸.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(24):37-39.
- [5] 王力文.采矿工程巷道掘进及支护技术的运用[J].冶金与材料,2023,43(10):93-95.

Practical Research on Digital Mining System and Intelligence in Mines

Yongsheng Liu

Xinjiang Anyi Jianxin Construction Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

The digital mining system is a major innovation in the mining industry in recent years, which achieves efficient and intelligent management of mine mining through the comprehensive construction of physical layer, data link layer, and network application layer. The paper mainly studies the practical application of digital mining systems and their intelligent technologies in mines, especially in mining planning, production monitoring, and underground personnel positioning. Through the application of simulation tools, the high accuracy of digital mining systems in underground personnel positioning has been verified, further improving the safety and efficiency of mine operations, and striving to provide important references for the development of future mining technology.

Keywords

digital mining system; intelligentization; mine

数字化矿山系统及智能化在矿井中的实践研究

刘永胜

新疆安壹健鑫建设工程有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

数字化矿山系统是近年来矿业领域的重大创新,通过物理层、数据链路层、网络应用层的综合构建,实现了矿井开采的高效、智能化管理。论文主要研究了数字化矿山系统及其智能化技术在矿井中的实践应用,特别是在矿井开采规划、生产监测以及井下人员定位等方面的应用。通过仿真工具的应用,验证了数字化矿山系统在井下人员定位方面的高精度,进一步提高了矿井作业的安全性和效率,力求为未来矿业技术的发展提供了重要的参考。

关键词

数字化矿山系统; 智能化; 矿井

1 引言

随着全球资源开采的持续加深,矿山安全生产和高效管理已成为矿业发展的关键。传统的矿山开采依赖人工操作和经验判断,存在安全风险高、效率低下等问题。为此,数字化矿山系统应运而生,通过集成先进的信息技术和自动化设备,实现矿山开采的智能化管理,旨在提升矿山生产的安全性、效率和可持续性。然而,数字化转型过程中,如何有效实施矿山系统的智能化及其在实际矿井中的应用,成为亟待解决的问题。特别是在复杂地质条件下,保证系统精准高效的井下人员定位与生产监测,对于防止事故的发生、保障矿工安全具有重要意义。因此,深入研究数字化矿山系统及其智能化应用,对推动矿业技术进步和提高矿山安全生产水平具有重要价值^[1]。

2 数据化矿山的基本构造

2.1 物理层

在数字化矿山系统的构建中,物理层的建设是基础且关键的一环。它涉及煤矿井下的基础网络建设,包括有线和无线两种主要的通信方式。有线环网提供了一种稳定且可靠的数据传输方式,常被选作物理层建设的主要手段。通过铺设光纤或电缆,形成一个覆盖整个矿井的网络系统,确保数据传输的高速度和高安全性。此外,无线 Wi-Fi 作为辅助手段,通过建设无线平台部分,增加了系统的灵活性和扩展性,尤其在那些难以铺设有线网络的区域展现出其独特的优势。物理层的建设不仅限于选择有线或无线的单一模式,更多时候会采用有线和无线的混合方式,以实现更为全面和稳定的网络覆盖。井下数据的接入方式也呈现出多样性,常见的数据接入方式包括 RS485 和 TCP/IP 等。这些方式通过标准化的接口设计,能够实现各种设备和系统的无缝接入,为数据的实时采集、传输和处理提供了坚实的基础。

【作者简介】刘永胜(1978-),男,中国甘肃定西人,注册安全工程师,从事安全工程研究。

2.2 数据链路层

在数字化矿山系统的架构中，数据链路层扮演着至关重要的角色，它负责原始数据的接入、采集和初步处理，为上层的应用提供可靠的数据支持。实现高效稳定的数据链路层，需要依托于煤矿的基础设施建设，特别是那些已经部署完成的关键系统，如“六大系统”和视频监控系统等。这些系统构成了煤矿数据采集的主要来源，涵盖了生产监控、安全监测、通讯信号、人员定位、环境监测和设备维护等多个方面，为矿山的数字化转型提供了坚实的基础。当这些原始数据通过物理层的通信网络传输至服务器后，数据链路层的作用便凸显出来。在这一层级，数据不仅被采集和聚合，还需要经过必要的格式化处理，以满足后续应用层分析和处理的需求。这一过程涉及数据的清洗、校验和转换等操作，确保数据的准确性和一致性。通过这样的处理，数据链路层为矿山的智能化管理和决策提供了可靠的数据支撑，是连接物理采集设备与网络应用层之间的桥梁。因此，构建一个高效、稳定的数据链路层对于整个数字化矿山系统的成功实施至关重要^[2]。

2.3 网络应用层

在数字化矿山系统中，网络应用层是实现高级功能和智能化管理的核心所在，它包含了网络层和应用层两个重要组成部分。网络层主要负责数据的传输和通信，而应用层则着重于数据的应用和处理，两者共同构成了数字化矿山实施的关键平台。网络层的建设以有线环网平台和无线网络平台为基础，通过主干环网的布设实现井下大巷及作业环境中的数据传输。在环境恶劣的井下工作面，无线网络的覆盖则成为保障信号传输的有效方式。这种结合有线和无线的网络架构，不仅增强了网络的稳定性和覆盖范围，也为数据的实时传输提供了可靠保障。在地面的机房，服务器的统一管理和硬件防火墙的使用，确保了网络安全和数据的有效隔离。采用双网卡信息发布服务器加防火墙技术，实现了工业环网与企业信息网之间的安全通信，既保护了数据的安全，也满足了信息共享和传递的需求。网络应用层上的数字化应用是矿山智能化管理的具体实现形式。在这一层，各种专业化的应用软件和系统被开发和部署，用于处理和分析从物理层和数据链路层收集来的数据，支持矿山的生产监控、安全管理、决策分析等多方面的需求。

3 数字化矿山系统及智能化在矿井中的运用过程

3.1 矿井开采规划

数字化矿山系统在矿井开采规划中的应用，体现了现代信息技术对传统矿业的深度融合与革新。通过实时监控系統收集的矿山数据，结合工程地质学等领域的专业理论知识，数字化矿山系统能够在三维建模的支持下，对矿井开采过程进行精准的三维重现。这一过程不仅依赖于系统内部构建的高度成熟的数据模型，更通过这些模型输出最佳的矿井

开采方案，极大提高了矿井规划的科学性和精确性。随着开采过程中空间数据的更新和变化，数字化矿山系统展现出了其强大的灵活性和适应性。系统内置的建模算法可以快速响应数据变化，实现开采方案的一键调整。这种调整过程不仅简便快捷，而且通过三维渲染引擎的直观展示，能够清晰地呈现矿井采掘系统、井巷系统、给排水系统、铺运轨道系统、通风系统、供电系统等关键环节的实时状态。这为矿山管理者提供了一个直观、全面的决策支持平台，使得矿井开采规划更加合理化、系统化。此外，数字化矿山系统的这种应用不仅提高了矿井开采的效率和安全性，还为资源的合理开发和环境保护提供了技术保障。通过精确的三维模型和数据分析，矿山开采活动更加贴近实际地质情况，减少了不必要的资源浪费和环境破坏，实现了矿业可持续发展的目标^[3]。

3.2 矿井生产监测

在数字化矿山系统中，矿井生产监测的实践展示了系统如何有效整合各类监测数据，以及这些数据如何支持矿井生产的高效与安全。以中央变电所监测为例，设计风量为 $50.00\text{m}^3/\text{s}$ ，而实际测得的风量为 $49.9\text{m}^3/\text{s}$ ，环境温度保持在 20°C 。这样的监测数据为矿井生产管理人员提供了实时、准确的设备运行状态，使得对通风设备、电力设备等关键设施进行预防性维护和检修成为可能。通过将这些设备的点检数据集成到数字化矿山系统中，实现了对矿井机电数据的全生命周期管理。这不仅提高了设备的完好率，也为矿井的高效运作提供了坚实的保障。在地质结构复杂、资源层厚度薄且数量多的矿井中，如此系统的应用尤为关键。当矿井遭遇大量降水，可能引发泥石流等灾害时，数字化矿山系统的监测与预警功能就显得尤为重要，这些功能可以显著降低地下资源层不稳定带来的风险，对整个矿山区域的安全控制提供强有力的技术支撑。除了基本的监测功能外，数字化矿山系统还支持矿井查询漫游、三维可视化和数值模拟等高级功能。这些功能不仅提升了矿井监测的效率和准确性，也极大地增强了数据的可视化和可操作性。通过三维模型系统和数值模拟接口或工程计算机辅助设计（CAD）接口的应用，矿井生产管理人员能够更直观地理解矿井的实际情况，更有效地进行生产调度和安全管理。这种技术的应用，标志着矿山生产管理向数字化、智能化的转型，为矿山安全生产提供了新的解决方案^[4]。

3.3 井下人员定位

在数字化矿山系统中，井下人员定位技术的实施是对提高矿山安全生产水平的重要贡献。这一技术在井下人员生命体征监测的基础上，进一步集成了先进的测距算法及基于接收信号强度指示（RSSI）的定位算法。该系统通过分析基站发出的信号与矿井下人员携带的射频识别设备接收到的信号之间的差值，利用空间传播损耗公式计算出人员与基站的相对距离，实现了精准的人员定位。系统通过收集信号发射功率、天线增益以及接收节点的接收功率等信息，估算

矿井下的信号传播损耗,进而将这种传播损耗转化为人员与发射基站之间的距离。特别是在基站的发射信号功率设定为2000MHz的条件下,信号的传播损耗主要取决于井下人员携带的射频识别设备与基站之间的距离。通过考虑自由空间中电波的损耗情况,系统能够完成对人员位置的精确定位。这种井下人员定位技术不仅能够紧急情况下快速定位井下人员的位置,提高救援效率,同时也能在日常生产中实时监控人员分布,优化人员配置,从而有效预防事故的发生。此技术的应用极大增强了数字化矿山的安全管理能力,是矿山智能化发展过程中的一大进步。

4 数字化矿山系统在井下人员定位中的应用精度

4.1 仿真工具

在 Windows10 操作系统上,通过使用 Matlab 仿真工具对数字化矿山系统中的井下人员定位技术进行了精密的仿真分析。这一过程涉及设置一个模拟的矿井环境,其尺寸为宽 100cm、长 10000cm、高 200cm。在此环境中部署了无线基站和手持射频识别终端以及基站天线,旨在模拟矿井中人员的位置定位。基站之间的间隔设定为 65m,这样的布局可以确保覆盖整个模拟环境,而基站位置的 RSSI 值则被用作定位算法的关键输入参数。仿真的设置重点模拟了矿井下人员活动的真实情况,包括环境的温湿度、巷道边壁的表面条件等,以期达到与实际矿井环境尽可能相似的效果。特别是,温湿度的恒定性是这一仿真设置的一大特点,因为它对于信号传播特性有着显著影响。此外,在距离基站 100cm 处设置的测点,旨在检验定位系统在相对较近距离下的精确度。通过这样的设置,研究者能够详细记录和分析在不同环境条件下,信号强度如何变化以及这些变化如何影响定位精度。这一仿真工作的核心在于评估数字化矿山系统在实际应用中可能遇到的各种挑战,如信号衰减、多径传播以及环境干扰等,对井下人员定位精度的影响。通过 Matlab 工具,研究者可以模拟这些因素对信号传播的影响,并据此评估定位系统的性能。这种仿真分析方法为优化定位技术提供了宝贵的数据支持,有助于开发出更加准确和可靠的井下人员定位系统,进一步提高矿井作业的安全性和效率^[5]。

4.2 仿真效果

在进行数字化矿山系统中井下人员定位精度的仿真研

究时,采取了一种细致入微的方法来确保测量结果的可靠性和精准度。这种方法涉及在多个时间段和位置进行广泛测量,以便能够全面评估系统的性能。在每个预定位置连续进行 10 次测量,每次测量覆盖 10 米的距离,每次测量又包括了 10 组数据,每组数据由 30 条结果组成。通过计算每组数据的平均值,最终得到了 10 条综合数据结果。这些测量所得的 RSSI (接收信号强度指示) 值范围在 50~70 之间。当这些 RSSI 值被转换为以 10 为底的对数值之后,其范围位于 1~3 之间。这一步骤是为了更方便地处理和比较数据,因为对数转换可以使得数据的趋势和差异更加明显。通过这种精密的测量和数据处理方法,发现每个距离对数所对应的 RSSI 实测值与数字化矿山系统预测的理论化趋势高度一致。这种一致性表明,数字化矿山系统在进行井下人员定位时具备较高的精度,其数据的可信度和可靠性都十分良好。因此,这种方法不仅证明了数字化矿山系统在实际应用中的有效性,也突显了其在提高矿井安全性和管理效率方面的巨大潜力。

5 结论

论文深入探讨了数字化矿山系统及其在井下人员定位中的应用,通过实践证明该系统不仅提高了矿井作业的安全性和效率,而且在井下复杂环境中展现出了高度的定位精确性。通过仿真工具和实地测量,验证了数字化矿山系统在矿井人员定位方面的有效性,为矿山安全监控和管理提供了新的技术手段。随着技术的不断进步和优化,数字化矿山将在促进矿山安全生产和提升管理水平方面发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 单波.数字化矿山系统及智能化在矿井中的运用[J].中国高新技术,2023(11):49-51.
- [2] 刘伟.数字化矿山系统及智能化在矿井中的应用[J].产业创新研究,2022(20):88-90.
- [3] 王杰.数字化矿山系统及智能化在矿井中的应用[J].矿业装备,2022(2):194-195.
- [4] 陈继勋.数字化矿山系统及智能化在矿井中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021(15):142-143.
- [5] 赵文阳,乔茂华.关于数字化矿山系统分析及智能化在矿井中的应用探讨[J].智库时代,2019(46):285-286.

Chemical Analysis of Metallic Elements of Geological Rock Samples

Lei Wang

Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059, China

Abstract

With the deepening of earth science research, the distribution and content of metal elements in geological rocks have become the key parameters to evaluate the deposit resources, discuss the evolution of the crust and the geodynamic process. Metal elements not only have great development value in the economic field, but also play a vital role in environmental science, geochemistry and other fields. Therefore, the accurate and efficient chemical analysis of the metal elements in the geological rock samples is of great significance for promoting the development of earth science, guiding the exploration of mineral resources and environmental protection. In this paper, the chemical analysis method of metal elements in geological rock samples is studied to promote the in-depth research.

Keywords

petrology; geological rock samples; chemical analysis; mineral resources exploration

地质岩石样品金属元素化学分析

王磊

成都理工大学, 中国·四川成都 610059

摘要

随着地球科学研究的不断深入, 地质岩石中的金属元素分布和含量成为评估矿床资源、探讨地壳演化及地球动力学过程的关键参数。金属元素不仅在经济领域具有巨大的开发价值, 而且在环境科学、地球化学等领域也扮演着至关重要的角色。因此, 对地质岩石样品中的金属元素进行准确、高效的化学分析, 对于推动地球科学的发展、指导矿产资源勘查以及环境保护工作具有重要意义。论文通过深入研究分析了地质岩石样品金属元素化学分析方法, 以期能够促进研究的深入进行。

关键词

岩石学; 地质岩石样品; 化学分析; 矿产资源勘探

1 引言

地质岩石样品的化学分析是地球科学研究中的重要组成部分。通过对岩石中金属元素的定性和定量分析, 可以获得岩石的成分信息, 从而对岩石的成因、演化等过程做出推断和解释。这项工作通常涉及样品前处理、仪器分析方法、数据处理和质量控制。

2 对地质岩石样品金属元素进行化学分析的作用

2.1 是矿产资源勘探和评估的基础

岩石样品中金属元素的含量和分布是判断矿体类型、品位和储量的关键指标。例如, 铜矿勘探需要测定岩石样品中铜元素的含量, 而黄金矿勘探则需要检测岩石中金元素的存在形式和浓度。通过对大量岩石样品进行系统化学分析,

可以绘制出矿体的三维分布图, 从而指导勘探工作的开展, 优化勘探位置, 提高勘探效率^[1]。同时, 化学分析结果还可以为矿山开采和选矿提供依据, 制定合理的开采方案和选矿工艺流程。

2.2 有利于环境监测和污染评估

某些金属元素如铅、汞、镉等在自然界的含量较低, 但由于人类活动的影响, 这些元素的浓度可能会在局部区域显著升高, 对生态环境和人体健康造成严重威胁。通过对岩石样品进行化学分析, 可以了解重金属元素在区域范围内的背景值, 从而判断是否存在污染, 并评估污染程度。此外, 还可以利用化学分析数据追踪污染源头, 为环境修复提供依据。

2.3 为基础科学研究提供了宝贵数据

岩石中金属元素的存在形式、赋存状态和分布特征反映了岩石形成的环境条件和演化历史。通过对不同类型岩石样品进行系统化学分析, 可以揭示金属元素在地质过程中的迁移转化规律, 从而深入理解矿物的成因机制、元素的地球化学循环过程等科学问题。这些基础研究不仅有助于拓展地

【作者简介】王磊(1990-), 男, 中国四川成都人, 本科, 工程师, 从事矿物学、岩石学、矿床学研究。

质学科的理论前沿,还可以为矿产资源的勘探开发提供理论指导。

3 地质岩石样品金属元素化学分析方法

3.1 样品前处理

3.1.1 样品采集与制备

采集过程中,应确保样品的代表性,尽可能减少人为污染。对于固体岩石样品,通常采用钻探或人工开采的方式获取,并对新鲜样品进行干燥、粉碎和混匀处理,以备后续分析。此外,还需对样品进行分样和包装,以防止在运输和存储过程中发生污染或变质。对于液体或气体样品,则需采用专门的采样设备和容器,并严格控制采样条件,如温度、压力等。

3.1.2 样品分解

样品分解是前处理的另一关键步骤,旨在将样品中的目标元素转化为适合后续分析的形态。常用的分解方法包括酸分解、碱熔融、高温焙烧等。选择合适的分解方法需考虑样品的矿物成分、目标元素的存在形态以及后续分析方法的要求。例如,对于硅酸盐矿物样品,通常采用氢氟酸或其他强酸进行分解;对于难溶性氧化物矿物,则可采用碱熔融或高温焙烧的方式。分解过程中,还应注意控制温度、时间等参数,以确保目标元素充分溶解,同时避免发生其他不良反应。

地质样品加工流程如图1所示。

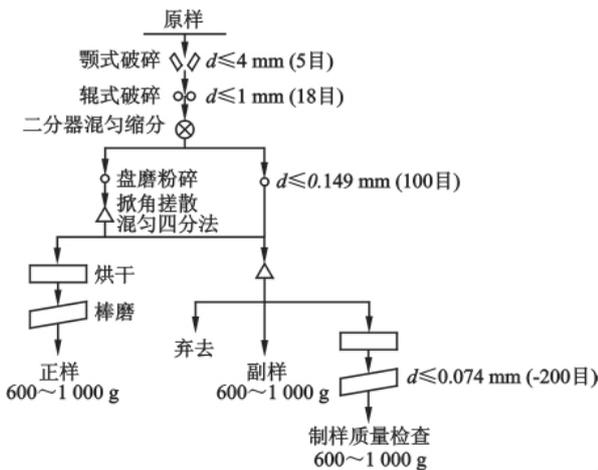


图1 地质样品加工流程

3.2 仪器分析方法

3.2.1 原子吸收光谱法

原子吸收光谱法是一种广泛应用的元素分析技术,它利用原子在特定波长吸收光子的特性来测定样品中元素的含量。该方法操作简便、灵敏度高、成本较低,适用于痕量和超痕量元素的分析。在分析地质岩石样品中金属元素时,通常需要将样品溶解或者通过其他方式制备成溶液,然后利用空心阴极灯等光源产生特征谱线,测定样品溶液对该谱线的吸收度,从而确定元素的浓度。原子吸收光谱法可以同时测定多种元素,尤其擅长分析锌、铜、铁、铅、镉、铬等过渡金属元素^[2]。但该方法对于一些挥发性元素的测定存在一

定局限性。

3.2.2 电感耦合等离子体质谱法

电感耦合等离子体质谱法是一种高灵敏度、高精度的元素分析技术,可以对大多数元素进行同时测定。它利用高温等离子体将样品完全电离,产生的离子被引入质谱仪进行分离和检测。该方法具有极低的检测限、广泛的线性范围、高的精密度和准确度等优点,适用于地质矿产样品中从主量元素到超痕量元素的分析。在分析地质岩石样品中金属元素时,常采用酸溶解或者微波消解等方式对样品进行预处理,制备成溶液后直接进样测定。电感耦合等离子体质谱法可以同时测定大约70种元素,尤其擅长分析铂、金、钯等贵金属元素和铀、钍等放射性元素。但该方法对于一些易形成分子离子的元素(如氯、硫等)的测定会受到一定干扰。

3.2.3 X射线荧光光谱法

X射线荧光光谱法是一种无损、快速、准确的元素分析技术,可以直接对固体样品进行测定,无需复杂的样品制备过程。它利用X射线激发样品中的元素发射出特征X射线,根据该X射线的能量和强度来确定元素的种类和含量。该方法可以同时测定从钠到铀的几乎所有元素,尤其适用于主量元素和常量元素的分析。在分析地质岩石样品中金属元素时,通常将研磨成粉末的样品压制成圆片或者直接测定矿物晶体,根据标准品校正后即可获得元素的含量。X射线荧光光谱法操作简便、快速、无损,但对于痕量元素的检测能力相对较差。

3.3 数据处理和质量控制

3.3.1 分析结果数据整理与校正

在获得原始分析数据后,需要对数据进行初步筛选和整理。这一过程包括剔除明显异常的数据点,检查数据的完整性,以及将不同批次的分析数据进行汇总。同时,还需要根据仪器的响应特性、基体效应等因素对数据进行必要的校正,以消除这些因素对分析结果的影响。常用的校正方法包括内标法、标准曲线法等。通过数据整理与校正,可以得到更加准确、可靠的分析结果。

3.3.2 内部和外部标准样品使用

在整个分析过程中,应当合理使用内部和外部标准样品,以控制分析质量。内部标准样品是在样品制备过程中加入的已知浓度的元素,通过比较内标元素的理论值与测量值,可以监控样品制备过程是否存在问题,并对仪器的灵敏度、稳定性等进行评估。外部标准样品则是与待测样品基体相似、含量已知的地质标准物质,通过分析外标样品,可以准确评估分析方法的准确度,并对仪器的校准状态进行检查^[3]。在分析过程中,应当定期插入内部和外部标准样品,并对其分析结果进行统计和评价,以确保分析质量的可控性。

3.3.3 系统准确性与重复性评估

系统准确性和重复性评估是保证分析结果可靠性的另

一关键环节。准确性反映了分析结果与真实值之间的偏离程度,通常通过对标准物质进行分析并与其认证值进行比较来评估。重复性则体现了在相同条件下重复测量时分析结果的一致性程度,通常通过对同一样品进行多次平行测定并计算相对标准偏差来评估。只有当系统准确性和重复性达到预期水平时,分析结果才能被视为可靠和有效。

4 地质岩石样品金属元素分析方法的未来发展趋势

4.1 快速分析技术的发展

快速分析技术的发展主要体现在两个方面:一是利用新型探测器和检测原理,实现快速、高效的元素检测;二是借助先进的数据处理算法和人工智能技术,优化分析流程,提高数据质量和处理效率。在探测器和检测原理方面,激光等离子体发射光谱(LIBS)、激光感生电离质谱(LA-ICP-MS)、X射线荧光光谱(XRF)等技术将得到广泛应用。这些技术能够在很短的时间内对样品进行多元素同时检测,检测速度快,灵敏度高,适用于野外和实验室环境。

与此同时,在数据处理算法和人工智能技术方面也将取得长足进步。通过深度学习、机器学习等算法,可以自动识别和分类光谱峰,实现元素的快速定性和定量分析。同时,人工智能技术还可以优化分析流程,自动控制仪器参数,减少人为干预,从而进一步提高分析效率和准确性。

快速分析技术的发展将极大推动地质勘探和矿产资源开发领域的进步。它不仅能够提高工作效率,缩短周期,还能够降低成本,提高经济效益。同时,快速分析技术也将为其他相关领域的发展作出贡献,如环境监测、材料科学、考古学等。

4.2 高灵敏度和高分辨率分析技术的发展

质谱技术的革新将大幅提高金属元素分析的灵敏度和准确性。新一代的电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)和激光等离子体质谱(LA-ICP-MS)等技术能够实现极微量元素的高精度定量分析,并且可以提供空间分辨率高达亚微米级别的元素分布图像。这些技术的发展将有助于揭示岩石样品中微量元素的赋存状态和成因机制,为矿产资源评价和成矿作用研究提供更加精细的数据支持。

同步辐射技术的应用将极大地拓展金属元素分析的分辨率和成像能力。利用同步辐射X射线荧光(SR-XRF)和X射线吸收精细结构谱(XAFS)等技术,可以实现从微米到纳米尺度的元素分布和化学结构分析^[4]。这种高分辨率成像有助于揭示金属元素在矿物晶格中的赋存形式,为矿物学和矿床学研究提供新的视角。

计算机模拟技术的发展也将推动金属元素分析方法的

进步。通过建立准确的热力学数据库和动力学模型,可以预测和模拟各种地质过程中金属元素的赋存状态和迁移规律。结合高分辨率分析数据,这些模型将有助于更好地理解金属元素在地质过程中的行为,为矿产资源勘探和开采提供理论指导。

4.3 多元分析方法的发展

近年来,多元分析方法在地质岩石样品金属元素分析中的应用日益广泛。X射线荧光光谱法(XRF)与电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)的联用是一种典型的多元分析方法。XRF可以快速、无损地对样品进行元素筛查,而ICP-MS则具有极高的灵敏度和精确度,能够对痕量和超痕量元素进行定量分析。两种方法的结合既保证了分析的效率,又提高了结果的准确性。此外,激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法(LA-ICP-MS)与扫描电子显微镜(SEM)的联用也是一种新兴的多元分析方法。LA-ICP-MS可以实现样品的原位微区分析,而SEM则能够提供样品的微观形貌和结构信息,两者结合可以深入研究元素的空间分布特征和赋存状态。

此外,多元分析方法还朝着原位、实时分析的方向发展^[5]。传统的分析方法常常需要对样品进行破坏性处理,而且无法获取动态变化的信息。原位分析技术的发展,如同步辐射X射线荧光光谱(SR-XRF)和原位X射线吸收精细结构(XAFS)分析,使得在不破坏样品的情况下获取元素的化学状态和局部结构信息成为可能。

5 结语

总的来说,地质岩石样品金属元素化学分析是一项系统的工作,需要科学的采样策略、可靠的测试手段以及深入的数据分析。只有通过这些环节的有机结合,才能从元素地球化学角度全面认识地质体的形成和演化历史,为地球科学研究提供有价值的信息。随着分析技术的不断进步,这一领域必将为我们揭示更多地球奥秘。

参考文献

- [1] 王冬冬,娜荷芽,武应凯.探讨地质岩石样品金属元素化学分析与应用[J].中国金属通报,2023(19):143-145.
- [2] 王福林.地质岩石样品金属元素化学分析与应用[J].南方农机,2019,50(4):232-233.
- [3] 张莹莹.地质岩石样品金属元素化学分析与应用研究[J].区域治理,2019(4):226-226.
- [4] 黄运强.岩石矿物样品金属元素化学分析技术探究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021(12):73-74.
- [5] 胡隽.地质统计学在微量元素化学分析中的应用研究[J].科技资讯,2013,11(21):98.

Design and Application of Personnel Positioning System in Coal Mine Underground

Chengyong Hu¹ Haiyong Wang²

1. Sujiagou Coal Mine of Henan Energy Group He Coal Company, Ordos, Inner Mongolia, 014300, China
2. Dangjiahe Coal Mine of Henan Energy Group He Coal Company, Yan'an, Shaanxi, 727502, China

Abstract

With the development of science and technology, the traditional credit card identification technology is difficult to accurately locate the position of underground personnel, which is easy to exceed the production phenomenon, causing personnel into the blind lane, overlayer and illegal mining, mine flood, coal and gas outburst and other phenomena, seriously endangering the production safety of coal mine. Therefore, with the support of modern science and technology, we should optimize the design of accurate positioning system for underground personnel in coal mine, promote the sustainable development of coal mine itself, and strengthen the supervision and management of safety production. It is necessary to introduce the precise positioning system based on UWB advanced wireless ranging positioning technology, realize the comprehensive opening from hardware layer and software layer to application layer, provide the location service and data analysis service of high-precision UWB positioning technology for coal mine, and lay a foundation for the intelligent construction of coal mine.

Keywords

coal mine; underground personnel; positioning system; design

煤矿井下人员定位系统设计与运用阐述

胡成勇¹ 王海勇²

1. 河南能源集团鹤煤公司苏家沟煤矿, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 014300
2. 河南能源集团鹤煤公司党家河煤矿, 中国·陕西 延安 727502

摘要

随着科学技术的发展, 传统的刷卡识别技术难以对井下人员位置进行精准定位, 容易出现超定员生产现象, 引起人员进入盲巷、超层越界盗采、矿井水灾、煤与瓦斯突出等现象, 严重危害煤矿井下生产安全性。因此, 要在现代化科学技术支持下, 优化煤矿井下人员精确定位系统设计工作, 推动煤矿自身可持续发展, 强化安全生产监督管理。需要引进基于UWB超宽带先进无线测距定位技术的精确定位系统, 实现从硬件层、软件层, 直到应用层的全面打通, 为煤矿提供高精度UWB定位技术的位置服务和数据分析服务, 为煤矿智能化建设奠定基础。

关键词

煤矿; 井下人员; 定位系统; 设计

1 引言

在苏家沟煤矿建设一套集人员精准定位+Wi-Fi 6 无线通信于一体的融合定位及通信系统, 系统要求通过利用“一根光纤、一个通信融合基站、一个融合调度平台”将无线通信、人员定位等多系统进行融合, 以实现矿井一体化融合定位及通信、减少电缆敷设和维护工作量、打通各子系统的壁垒、提高调度指挥效率、提升应急指挥水平。

2 人员定位系统组成

矿井一体化融合定位及通信系统基于先进的 Wi-Fi 6 无线通信技术、UWB 精确定位技术和光纤通信技术, 包含无线通信、UWB 人员精确定位等, 除了提供传统的语音、移动目标跟踪、广播等业务外, 还可提供环网通道、可视电话、视频监控、宽带数据接入等业务。矿井一体化融合定位及通信系统由地面部分、井下部分组成。地面设备部分主要由人员精确定位监控主备机、数据发布服务器、融合通信服务器、基站管理控制器、融合调度平台、中继网关、路由器、井口唯一性检测装置等设备组成。井下部分主要由矿用本安型基站、矿用防爆电源、矿用本安型手机、人员标识卡、矿用本安型信息矿灯、线缆等组成。具体如图 1 所示。

【作者简介】胡成勇(1985-), 男, 中国河南鹤壁人, 本科, 工程师, 从事矿山机电运输研究。

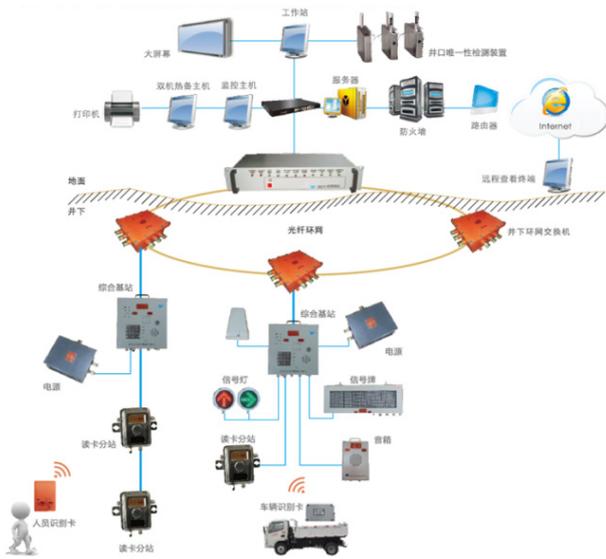


图1 煤矿井下人员定位系统构成示意图

3 煤矿井下人员定位系统功能

3.1 基本功能

系统使用 UWB 技术, 支持精确定位, 具备标示卡自动唤醒和休眠、携卡人员出/入井时刻、重点区域出/入时刻、限制区域出/入时刻、工作时间、井下和重点区域人员数量、井下人员活动路线等监测、分权限显示、打印、储存、查询、报警、管理等功能。

3.2 监测功能

①系统具有携卡人员出/入井时刻、出/入重点区域时刻、出/入限制区域时刻等人员位置精确监测功能。②系统具有识别携卡人员出/入巷道分支方向、行动方向及实时位置等功能。③系统能识别多个同时进入识别区域的识别卡。④系统具有识别卡工作是否正常和每位下井人员携带 1 张卡唯一性检测功能。⑤系统具有对历史和实时数据上传实时显示功能^[1]。

3.3 管理功能

①系统具有携卡人员下井总数及人员, 出/入井时刻、下井工作时间等显示、打印、查询等功能, 并具有超时人员总数及人员、超员人员总数及人员报警、显示、打印、查询等功能。②系统具有携卡人员出/入重点区域总数及人员, 出/入重点区域时刻、工作时间等显示、打印、查询等功能, 并具有超时人员总数及人员、超员人员总数及人员报警、显示、打印、查询等功能。③系统具有携卡人员出/入限制区域总数及人员, 出/入限制区域时刻、滞留时间等显示、打印、查询、报警等功能。能够准确统计出/入限制区域人员数量及位置, 当出/入限制区域人数超过规定人数, 系统具备报警及报警输出功能, 可通过通信装置语音报警, 并警示该违规人员撤离。④系统具有特种作业人员等下井、进入重点区域总数及人员、出/入时刻、工作时间显示、打印、查询等功能, 具有工作异常人员总数及人员、出/入时刻及工

作时间等显示、打印、查询、报警等功能。⑤系统具有携卡人员下井活动路线显示、打印、查询、异常报警等功能。⑥系统具有携卡人员卡号、姓名、照片、身份证号、年龄、职务或工种、每月下井次数、下井时间、每天下井情况等显示、打印、查询等功能。⑦系统具有按部门、地域、时间、分站、人员等分类查询、显示、打印等功能。⑧系统能针对主要设备如分站、电源和识别卡管理功能, 当识别卡电量过低时, 系统提前告警, 通知相关人员及时更换电池, 在系统软件和井口显示系统中均能查询; 当分站故障时, 系统将给出告警; 系统具备智能电源管理功能。当分站交流电出现中断时, 系统告警区域会出现设备交流电中断告警。

3.4 存储和查询功能

①系统具有存储功能, 至少存储以下内容: 出/入井时刻、出/入重点区域时刻、出/入限制区域时刻、进入分站识别区域时刻、出/入巷道分支时刻及方向; 超员总数、起止时刻及人员、工作异常人员总数、起止时刻及人员、卡号、姓名、照片、身份证号、年龄、职务或工种、所在区队班组等。②系统具有查询功能。至少具备以下查询功能: 按人员查询、按时间查询、按识别区查询、按超员报警查询、按限制区域报警查询等。③系统具有防止修改实时数据和历史数据的功能。④系统具有数据备份功能, 分站具有数据存储功能。当系统通信中断时, 分站存储一定时间的信息; 当系统通信恢复正常时, 分站存储的信息自动上传至中心站。⑤系统具有个性化查询及井口自助查询功能, 携卡人员可自助查询入井情况及入井时长等信息。⑥具有数据加密存储功能, 数据库数据修改有痕可循、有迹可, 严禁下放数据库操作权限。

3.5 显示功能

①系统具备二维和三维图形展现功能。地面中心站实时展示井下各水平、各采区、各工作面人员、设备等的位置信息, 如果矿方提供三维 GIS 地图, 系统具有精确三维坐标 GIS 平台, 展现上述精确位置信息。②系统能实时显示人员及相关设备的动态分布。③系统能对携卡人员进行实时跟踪。④历史轨迹查询可设置查询时间区间, 对人员的运动历史轨迹进行查询, 可以在系统中看到所查人员的历史移动轨迹。⑤系统具有列表显示功能。显示内容至少包括: 下井人员总数及人员、重点区域人员总数及人员、超时报警人员总数及人员、超员报警总数及人员等。⑥系统具有轨迹信息动画显示功能, 显示内容包括: 巷道布置图、人员位置及姓名、超时报警、超员报警等。⑦系统能接入矿井现有井口显示设备, 能显示入井人员信息, 并可根据需求滚动显示部门、区队或指定区域人员信息等^[2]。

3.6 打印功能

系统具有打印功能。打印内容至少包括: 下井人员总数及人员、重点区域人员总数及人员、超员报警总数及人员、限制区域报警人员总数及人员、特种作业人员工作异常报警总数及人员等。

3.7 安全管理功能

①管理人员下井管理功能。系统能对管理人员下井情况进行分类统计、查询。②区域超员告警功能。对某个区域的人员数量进行设定与限制,如果超员则告警。③人员进入禁区告警功能。当人员进入禁区时系统发出告警。④工作超时告警功能。当人员在井下停留超出规定时间时,系统将发出告警并记录。⑤行进轨迹异常告警功能。当特种人员未按规定规定的行进路线行走,或者在规定的时间内未到达规定的地点,系统将发出告警。⑥双向呼叫功能。紧急情况下,携带标识卡人员通过标识卡可向地面中心站发送求救信号,地面中心站可向指定或全部携带标识卡人员发送提示信息。⑦系统具备固定岗位的脱岗管理功能。⑧系统具备双向呼叫功能,紧急情况下,携带标识卡人员通过标识卡可向地面中心站发送求救信号,地面中心站可向指定或全部携带标识卡人员发送提示信息。⑨系统具备具有采掘工作面的限员管理功能^[1]。

3.8 统计考勤功能

①可以查询统计任一班次及指定时间段各部门下井时间。②以统计一个月或任一指定时间段,某部门或某个人的下井考勤情况,并根据工种、职务、部门等(规定足班时间),判断不同类别的人员是否足班。③可以统计一个月或任一指定时间段部门、人员的下井时长分布情况,和该时间段内平均下井时长。④统计下井人员下井和上井时间,以及井下持续时间。⑤可单独统计某些特殊工种、职务人员的上下井情况。⑥可以单独统计某部门一个月或任一时间段的所有人员班次考勤总计。⑦考勤记录实现导出功能,形成 EXELC 电子表格。

4 设备布点原则

4.1 地面设备布置

中心机房安装两台人员定位监控主机,实现双机热备,安装1台数据发布 WEB 服务器,对井下人员精确定位系统数据进行存储和管理。在中心机房设置融合通信服务器1台,基站管理控制器1台,企业级路由器1台,中继网关2台(与行政、调度、广播互联),融合通信平台软件1套,在调度室设置调度台1台,根据煤矿人员手机需求,配置本安型手机^[4]。

4.2 井下设备布置

4.2.1 读卡分站及综合基站布点区域

行人井口及井底。

重点岗位:井下变电所、水泵房等重要位置。

重点区域:综采工作面、掘进工作面等区域。

4.2.2 设备配置

人员精确定位系统采用 UWB 定位技术,系统沿着巷道的延深方向,每隔 600~800m 设置一个读卡分站或综合基站(有支护情况下覆盖距离减半),当遇到大的拐弯时,在拐弯处增加一个读卡分站或综合基站,即可实现矿井人员的精确定位信号全覆盖。综合基站通过光缆接入光纤环网交换机,读卡分站通过四芯信号线以 CAN 总线方式接入综合基

站或环网交换机,一个综合基站或环网交换机可以接入 128 个读卡分站,但是考虑到 CAN 总线距离加长后传输速率有限,一般一个综合基站带 4~10 个读卡分站。有部分区域环网接入点过远,需要网桥设备用于 CAN 信号中继放大^[5]。井下设备布点方式:井下根据信号覆盖的需要设置读卡分站或者综合基站,分站及基站的布置情况如图 2、图 3 所示。

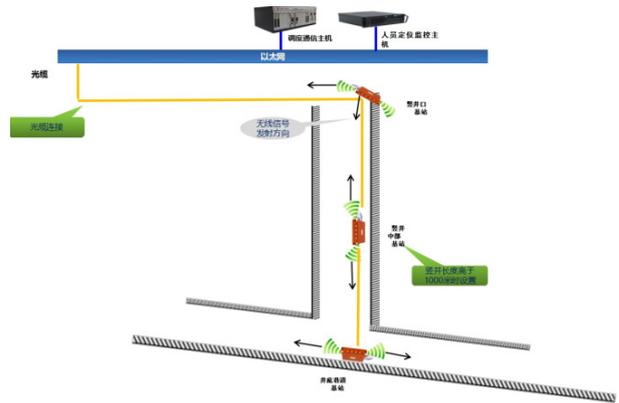


图 2 竖井信号覆盖示意图

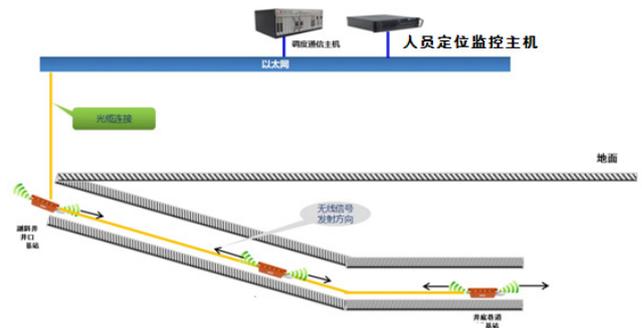


图 3 斜井信号覆盖示意图

5 结语

综上所述,为了提升煤矿生产安全水平,需要在无线通信技术支持下,完善煤矿井下人员精确定位系统设计,实现煤矿井下人员的精准定位,缩小定位误差,以便对井下人员情况进行动态监管,优化工作调度、考勤等,保障煤矿井下人员安全。

参考文献

- [1] 续继俊.基于无线通讯的煤矿井下人员定位系统设计应用分析[J].矿业装备,2023(5):66-68.
- [2] 夏超锋.煤矿井下人员定位系统设计与应用研究[J].矿业装备,2023(4):130-132.
- [3] 许峰.基于无线通讯的煤矿井下人员定位系统设计应用[J].机械研究与应用,2022,35(1):163-165.
- [4] 牛妍齐.煤矿井下人员定位系统设计与应用研究[J].煤炭与化工,2021,44(8):87-89.
- [5] 曹永刚.基于射频识别技术的煤矿井下人员定位系统设计应用[J].机械研究与应用,2021,34(2):194-196.

Research on the Development and Application of Drilling Measurement and Control Technology in Petroleum Engineering

Wenxue Pu

Geosteering & Logging Research Institute, Sinopec Matrix Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract

Measurement and control technology while drilling in petroleum engineering plays a key role in improving drilling efficiency and safety. Firstly, the basic principles of measurement and control technology while drilling and its importance in petroleum exploration and development were introduced. Secondly, different types of while drilling measurement and control systems were analyzed, and their respective advantages and application scenarios were discussed. Through research, it has been revealed that while drilling measurement and control technology has significant effects in improving drilling accuracy, optimizing wellbore trajectory, and reducing drilling risks under complex geological conditions. Finally, the development trend of measurement and control technology while drilling in petroleum engineering was summarized, and it was pointed out that the future development directions include intelligence, integration, and high precision. The research results indicate that the continuous innovation and application expansion of measurement and control technology while drilling can not only improve the exploration and exploitation efficiency of petroleum resources, but also effectively reduce operating costs, which has important driving significance for the field of petroleum engineering.

Keywords

measurement and control technology while drilling; petroleum engineering; drilling efficiency; geological guidance technology; technological development trends

石油工程随钻测控技术的发展与应用研究

蒲文学

中石化经纬有限公司地质测控技术研究院, 中国·山东 东营 257000

摘要

石油工程中的随钻测控技术在提高钻井效率和安全性方面发挥着关键作用。首先,介绍了随钻测控技术的基本原理及其在石油勘探和开发中的重要性。其次,分析了不同类型的随钻测控系统,并探讨了各自的优势和应用场景。通过研究,揭示了随钻测控技术在复杂地质条件下提高钻井精度、优化井眼轨迹及减少钻井风险方面的显著效果。最后,总结了随钻测控技术在石油工程中的发展趋势,指出未来的发展方向包括智能化、集成化和高精度化。研究结果表明,随钻测控技术的不断创新和应用拓展,不仅能够提高石油资源的勘探和开采效率,还能有效降低作业成本,对石油工程领域具有重要的推动作用。

关键词

随钻测控技术; 石油工程; 钻井效率; 地质导向技术; 技术发展趋势

1 引言

随钻测控技术在石油工程领域的应用,是现代钻井技术的重要组成部分,它是钻井效率提升、作业安全保障、环境影响减小的关键支撑。随钻测控技术的研究与应用,对于石油工程的现代化和可持续发展至关重要。本研究旨在全面分析随钻测控技术的原理、应用及其面临的挑战,为行业内专业人士提供最新理论知识,同时为相关企业的技术创新和决策提供参考,为推动我国石油工程技术的进步做出贡献。

2 随钻测控技术的基本原理及重要性

2.1 随钻测控技术的基本概述

随钻测控技术是指在钻井作业过程中,通过实时地测量、监测和控制地层和井下工具的状态,以保证钻井作业的安全高效进行的技术手段^[1]。随钻测控技术通过实时反馈地层信息、井下工具状态以及钻井参数等数据,能够帮助工程师及时调整钻井方案,避免因地层变化或操作失误而引发的事故。随钻测控技术的发展与应用,已经成为石油工程领域的重要支撑,为提高钻井效率和保障作业安全发挥着不可替代的作用。

随钻测控技术能够实现对井下环境的实时监测和数据采集,为钻井过程中的决策提供了重要依据。随钻测控技术

【作者简介】蒲文学(1981-),男,中国山东莒县人,本科,高级工程师,从事油气井工程研究。

还可以实现远程操作,减少了人为操作的风险,降低了作业的人力成本。另外,将随钻测控技术与自动化技术相结合,还可以实现钻井作业的部分自动化,提高作业效率和准确性^[2]。随钻测控技术不仅能够提高钻井作业的效率,降低作业风险,还能够为钻井工程的精细化管理提供重要支持。

2.2 随钻测控技术在石油工程中的重要性

随钻测控技术在石油工程中具有非常重要的作用。随钻测控技术能够实现对钻进过程的实时监测和控制,有效提高了钻井操作的安全性。该技术能够帮助工程师更准确地了解井下地质情况,有利于优化井眼轨迹设计,提高钻井的精准度,避免钻进过程中出现偏差和事故。另外,随钻测控技术也可以减少钻井风险,尤其是在复杂地质条件下,及时发现并应对地层变化,避免钻头卡钻、井眼塌陷等问题,保障了钻井的顺利进行。总的来说,随钻测控技术的应用能够显著提高钻井作业的效率 and 安全性,对石油工程的发展具有重要意义。

3 随钻测控技术的种类与原理

地质导向系统:这套系统主要用于提供实时的地质参数,如地层电阻率、密度、声波速度等,通过测量井下岩石的物理性质来识别地质层位,帮助钻井工程师实时调整井眼轨迹,确保钻井目标的精确导向^[3]。其主要原理是通过井下传感器实时采集地质信息,然后通过无线传输至地面系统,经过数据处理后反馈给操作人员。

井眼轨迹控制系统:这类系统主要用于控制钻头的运动,确保井眼按预定轨迹钻进。它通过实时监测钻井参数如钻压、扭矩、转速等,并结合地质导向系统提供的信息,进行轨迹修正,确保钻井过程中的指向精度。其原理在于通过反馈控制机制,根据实际钻进数据调整钻井参数,以实现井眼轨迹的精确控制。

钻井参数优化系统:这类系统着重于优化钻井过程中的各项参数,以提高钻井效率和降低磨损。它通过实时分析钻井数据,如钻井液性能、钻头磨损程度等,为操作人员提供优化建议,如调整钻井液密度、更换钻头的最佳时机等。其工作原理是依赖于数据挖掘和统计分析,通过优化模型来预测和指导钻井参数的调整。

远程无线传输系统:作为随钻测控技术的重要组成部分,无线传输系统负责井下数据的实时上传和地面指令的下传。它通常采用电磁波或者声波作为传输媒介,克服了传统有线连接的局限,使得数据传输更为灵活和高效。原理上,无线传输系统利用特定频率的信号进行数据编码和解码,同时通过信号强度和干扰补偿技术保证数据的准确接收。

数据处理与显示系统:这类系统负责接收、分析、处理井下数据,并以直观的图形或者报告形式展示给操作人员,帮助他们做出实时决策。其原理包括信号处理、数据融合、故障诊断等技术,通过先进的算法对海量数据进行高速

处理,提取关键信息,为钻井操作提供有力支持。

随钻测控技术的原理基础涵盖了电子技术、通信技术、传感器技术、信号处理技术、计算机技术、地质学、力学等多个学科,通过这些技术的综合运用,实现了钻井过程中从数据采集、传输、处理到决策支持的全程自动化和智能化。随着技术的不断进步,这些系统将在未来的钻井作业中发挥越来越关键的作用,推动石油工业进入更高层次的现代化阶段。

4 随钻测控技术在石油工程中的应用

4.1 钻井过程中的应用

在地质导向环节,随钻测控技术通过实时监测井下地质参数,如电阻率、密度、声波速度等,为钻井工程师提供精确的地质层位识别和地层特性分析^[4]。例如,通过地层电阻率曲线,可以判断油层、气层或水层的位置,帮助工程师调整钻井方向,避免误钻,确保井眼准确导向目标层位。在复杂地层中,如盐丘、断层或者薄互层,地质导向系统更是起到了决定性的作用,它能够提前预知地层变化,及时进行井眼轨迹的调整,从而避免钻井事故,提高钻井成功率。

在井眼轨迹控制方面,随钻测控技术通过实时监控钻井参数,如钻压、扭矩和转速,结合地质导向信息,对钻头运动进行精确控制,保证井眼按预定轨迹钻进。例如,当检测到井眼偏离设计轨迹时,控制系统会立即调整钻井参数,通过反馈机制让井眼回到预定的轨迹,提高井眼的垂直度和水平位移控制精度,这对于深井、超深井和水平井的钻进尤为重要,可以显著降低井眼修复成本和提高油气采收率。

在钻井参数优化环节,随钻测控技术通过实时分析钻井液性能、钻头磨损、扭矩和转速数据,帮助操作人员优化钻井参数,以提高钻井效率和降低设备磨损。例如,通过优化钻井液性能,可以降低井壁稳定性问题,减少卡钻风险;而通过实时监控钻头磨损情况,可以准确预测钻头更换时机,避免因过度磨损导致的钻井中断,同时也减少了因频繁更换钻头带来的额外成本。

随钻测控技术还能够监测井下异常情况,如地层压力变化、气体溢出等,及时发出警报,帮助操作人员做出快速反应,提高作业安全性。例如,通过热成像和压力传感器,可以实时评估井下温度和压力,预防井喷等灾难性事件的发生。

随钻测控技术在钻井过程中的应用不仅提高了钻井的精度和效率,还降低了作业风险和成本,是石油工程领域不可或缺的技术手段。随着技术的不断进步,随钻测控技术将在钻井过程中发挥更加关键的作用,为石油开采的高效和可持续发展提供有力支持。

4.2 完井与生产过程中的应用

随钻测控技术在石油工程的应用并不止于钻井阶段,它在完井和生产过程中同样发挥着核心作用,进一步提高了

油气田的经济效益和运营效率。

在完井环节，随钻测控技术通过提供准确的井眼轨迹和地质特性数据，帮助工程师设计和实施精准的完井方案。例如，在多层开采的油田中，随钻测控技术可以确保各层间的精确分隔，防止层间窜流，提高单井产量^[5]。此外，通过实时监控射孔过程，该技术可以确保射孔位置的精确控制，优化射孔参数，以增加产能并减少资源浪费。

进入生产阶段，随钻测控技术在油井管理和优化生产策略上也展现出显著优势。通过长期监测产油井的动态，如压力、流体性质和井下设备状态，随钻测控系统能及时发现并预警生产问题，如油水界面的迁移、油井堵塞或井下设备故障。这样，工程师可以根据实时数据调整生产参数，如举升设备的运行速率、注入流体类型或压力控制，以保持最佳生产状态，延长油井寿命。在面对低渗、特低渗或致密油气藏时，随钻测控技术的精确监测和控制能力尤为重要，能够有效提升压裂后的增产效果，降低生产成本。

同时，随钻测控技术还能应用于生产参数的优化管理，如智能井口控制、远程监控和预测性维护。智能井口控制系统通过与地面数据中心的实时通信，可以自动调适油井的生产参数，如流量、压力和温度，以实现最优化的生产效率。远程监控则允许操作人员从远程位置监控多个井场，及时响应异常情况，降低了人力成本，提高了响应速度。预测性维护则通过分析历史和实时数据，预测设备的故障，提前安排维护，避免非计划停机，保障了生产的连续性。

随钻测控技术在完井与生产阶段的应用，不仅提升了油井的生产效率，延长了油井的生命周期，还通过实时监控和智能决策，降低了运营成本，增强了石油企业的竞争力。然而，随钻测控技术在完井和生产阶段的应用也面临一些挑战，如数据的整合与分析、远程通信的稳定性以及复杂井况的适应性。随着技术的持续进步，这些挑战有望得到解决，随钻测控技术将在石油工程的全生命周期内发挥更加关键的支撑作用，为油气资源的高效、安全和可持续开发提供强大助力。

5 结论与展望

中国虽在随钻测控技术领域起步较晚，但通过产学研用的深度融合，以及国家政策的引导和支持，已经取得了一系列重要进展。中国石油大学（华东）、中石化经纬有限公司和中石化石油工程技术研究院等机构的共同努力，不仅提高了国内的技术水平，还为国际交流和合作奠定了基础。国家“十四五”规划对攻克核心技术的强调，预示着未来将有更多资源投入到这个领域，以提升国产仪器的自主研发能力和油气服务技术的核心竞争力。

展望未来，随着测控技术的发展将更加依赖于物联网、大数据和人工智能等先进技术的深度融合。预计在不久的将来，随钻测控系统将实现更精准的地质预测、更高效的井眼轨迹规划，以及更智能的钻井参数优化。这将极大地推动石油工程向更高层次的自动化、智能化迈进，推动钻井作业的效率提升、成本降低和安全环保水平的提高。

6 结语

论文介绍了石油工程中的随钻测控技术，回顾了其发展历程和应用现状。随钻测控技术包括电磁波测井、声波测井和地质导向技术，能够提高钻井精度、优化井眼轨迹并减少钻井风险。这些技术在复杂地质条件下表现出色，但在智能化、集成化和高精度方面仍需改进。总之，随钻测控技术的创新与应用，将大大提高石油资源的勘探和开发效率，降低成本，提升安全性。未来要继续朝智能化、集成化和高精度化方向发展，推动石油工程的进步。

参考文献

- [1] 刘长海.浅析石油工程钻井技术的发展[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021(8).
- [2] 纳日松.论石油工程钻井技术的发展[J].化工管理,2019(11):120.
- [3] 杜惠红.探讨石油工程钻井技术的发展[J].中国科技投资,2019(11):124-126.
- [4] 李明明.石油工程钻井技术的发展研究[J].中国化工贸易,2019,11(17):173-175.
- [5] 赵树玉.旋转导向随钻测控技术[J].商品与质量,2019(20):149.

Analysis of the Formation Mechanism of Water Accumulation in Coal Mining Subsidence Areas with High Groundwater Level

Yi Zhang Yabin Liu

Inner Mongolia Second Hydrogeological Engineering Geological Exploration Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

Water accumulation in coal mining subsidence area with high diving level is a common environmental problem faced by coal mining in China, which has a profound impact on local ecological environment, agricultural production and social economy. The paper systematically explores the formation mechanism of water accumulation in high groundwater mining subsidence areas, and combines domestic and foreign research results with field investigation data to conduct in-depth analysis from multiple aspects such as geological conditions, hydrological characteristics, rainfall impact, and groundwater action. Through remote sensing monitoring, numerical simulation, hydrological reasoning and other methods, the key processes and influencing factors of water formation were revealed, and corresponding countermeasures and suggestions were put forward. The research in this paper provides a scientific basis for the comprehensive treatment of water accumulation and ecological restoration in coal mining subsidence area with high diving level.

Keywords

coal mining subsidence area; ponding; control

高潜水位采煤沉陷区积水形成机理浅析

张毅 刘雅彬

内蒙古第二水文地质工程地质勘查有限责任公司, 中国·内蒙古鄂尔多斯 017000

摘要

高潜水位采煤沉陷区积水问题是中国煤炭开采普遍面临的环境难题, 对当地生态环境、农业生产和社会经济造成了深远影响。论文系统探讨了高潜水位采煤沉陷区积水的形成机理, 结合国内外研究成果与实地调查数据, 从地质条件、水文特征、降雨影响、地下水作用等多个方面进行了深入分析。通过遥感监测、数值模拟、水文推理等方法, 揭示了积水形成的关键过程和影响因素, 并提出了相应的治理对策和建议。论文的研究为高潜水位采煤沉陷区积水的综合治理与生态恢复提供了科学依据。

关键词

采煤沉陷区; 积水; 治理

1 概述

1.1 研究背景

煤炭作为中国主要的能源资源, 在能源消费结构中占据重要地位。然而, 煤炭开采过程中不可避免地会对地表环境造成破坏, 尤其是在高潜水位矿区, 由于地下潜水位高、松散层厚、下沉系数大, 开采后易形成采煤沉陷区, 并伴随大面积积水现象。这些积水区不仅占用了宝贵的土地资源, 还严重影响了当地的生态环境和农业生产, 给当地社会经济

带来了巨大压力。

1.2 研究意义

研究高潜水位采煤沉陷区积水的形成机理, 对于制定有效的治理措施、促进生态恢复、保障农业生产和维护社会稳定具有重要意义。论文旨在通过分析积水形成的各种因素和作用机制, 为沉陷区治理提供科学依据和技术支持。

2 高潜水位采煤沉陷区的形成

2.1 地质条件

高潜水位采煤沉陷区的形成与地质条件密切相关。这些地区通常具有较厚的松散层, 如第四纪沉积物, 且地下潜水位较高。煤炭开采后, 采空区上方岩体失去支撑, 发生应力重新分布和变形, 导致地表塌陷和沉陷盆地的形成。

【作者简介】张毅(1984-), 男, 中国陕西咸阳人, 高级工程师, 从事矿区水文地质、矿井防治水、地下水及地热资源勘查评价等研究。

2.2 采煤过程与沉陷机制

采煤过程中,随着工作面的不断推进,采空区逐渐扩大。在采空区上方,岩体受到拉应力和剪应力的作用,发生倾斜、弯曲、下沉等变形^[1]。这些变形最终形成一个比采空区范围更大的地表下沉盆地。同时,地下水在采空区塌陷后重新分布,与地表水汇聚形成积水。

3 积水形成机理分析

3.1 地下水的作用

地下水是高潜水位采煤沉陷区积水形成的重要因素之一。在地势平缓的采煤区域,浅层地下水径流微弱,开采后形成的采空区容易成为地下水汇集的场所。地下水通过裂缝、孔隙等通道进入采空区,并在塌陷后形成积水。此外,地下水还通过蒸发、渗透等方式影响地表水的分布和循环,进一步加剧积水现象。

3.1.1 地下水补给机制

地下水对沉陷区积水的补给机制复杂多样。一方面,当地降水通过地表入渗补给地下水;另一方面,地下水在水平方向上也可能发生侧向补给。在采煤沉陷区,由于地表塌陷和裂缝的形成,地下水更容易通过这些通道进入沉陷区。同时,地下水的动态变化也受到降雨、蒸发、开采活动等多种因素的影响^[2]。

3.1.2 地下水与积水的相互作用

地下水与沉陷区积水之间存在明显的相互作用关系。在汛期,当地表水位高于地下水位时,积水通过渗透作用补给地下水;在非汛期,当地下水位高于地表水位时,地下水则通过侧向补给或垂直渗流作用补给积水区。这种相互作用关系不仅影响积水量的变化,还可能导致地下水位的波动和地下水质的恶化^[3]。

3.2 地表水的作用

地表水也是高潜水位采煤沉陷区积水的重要来源之一。当地降水、河流、湖泊等地表水体通过渗透、径流等方式进入沉陷区,增加了积水的量。尤其是在雨季,大量降水迅速汇集到沉陷区,导致积水面积和深度显著增加。

3.2.1 地表水入渗机制

地表水入渗是沉陷区积水形成的主要途径之一。在降雨过程中,部分雨水通过地表裂缝、孔隙等通道直接渗入地下;另一部分雨水则在地表形成径流,通过土壤层的渗透作用进入地下水系统。入渗量的多少取决于土壤性质、植被覆盖、地形地貌等多种因素^[4]。

3.2.2 地表水与积水的相互作用

地表水与沉陷区积水之间存在密切的相互作用关系。一方面,地表水通过入渗作用补给积水区;另一方面,积水区的水位变化也会影响地表水的流动和分布。在积水面积较大时,积水区可能形成独立的水体系统,对周边地表水产生一定的拦截和调节作用。

3.3 降雨的影响

降雨是高潜水位采煤沉陷区积水形成的重要触发和加

剧因素。降雨量的多少、降雨强度的大小、降雨历时以及降雨的季节性分布均对积水形成产生显著影响。

3.3.1 降雨量的影响

降雨量直接影响地表径流和地下水的补给量。在降雨量较大的季节,如夏季汛期,大量雨水迅速汇集到地表,通过裂缝、孔隙等通道快速渗入地下,增加地下水的水量,进而加剧沉陷区的积水现象。此外,降雨还通过增加地表水体(如河流、湖泊)的水量,提高地表水位,使地表水更容易通过渗透或漫流进入沉陷区。

3.3.2 降雨强度的影响

降雨强度也是影响积水形成的重要因素。高强度降雨导致地表径流速度加快,雨水在较短时间内大量汇入地表水体和地下含水层,增加了地下水的补给速度和补给量。同时,高强度降雨还可能引发地表滑坡、泥石流等地质灾害,进一步破坏地表结构,加剧沉陷区的积水问题。

3.3.3 降雨历时的影响

降雨历时对积水形成的影响主要体现在降雨过程的持续性和累积效应上。长时间的连续降雨会导致土壤水分饱和和度增加,降低土壤的入渗能力,使更多雨水在地表形成径流。此外,长时间的降雨还可能引发地下水位上升,增加地下水对沉陷区的补给量,从而加剧积水现象。

3.4 其他因素

除了地下水、地表水和降雨外,还有一些其他因素也影响高潜水位采煤沉陷区积水的形成。

3.4.1 土壤性质

土壤性质对地表水的入渗和地下水的分布具有重要影响。不同土壤类型的渗透性、持水性和保水性存在差异,导致土壤对水分的吸收和储存能力不同。在高潜水位采煤沉陷区,土壤性质的变化可能加剧或减缓积水的形成过程。

3.4.2 植被覆盖

植被覆盖对地表径流和土壤侵蚀具有显著影响。植被良好的地区,地表径流速度较慢,土壤侵蚀较轻,有利于地表水的入渗和地下水的补给。相反,植被稀疏或裸露的地区,地表径流速度较快,土壤侵蚀严重,容易加剧沉陷区的积水问题。

3.4.3 地形地貌

地形地貌是影响积水形成和分布的重要因素之一。在高潜水位采煤沉陷区,地形地貌的复杂性可能导致积水的空间分布不均。例如,在低洼地带或汇水区域,由于地势较低且排水不畅,容易形成积水区;而在地势较高或排水条件较好的区域,则积水现象相对较轻。

4 积水范围动态演化规律

4.1 演化阶段

高潜水位采煤沉陷区地表积水演化一般经历未形成期、同步增长期、残余增长期和相对稳定期四个阶段^[5,6]。

①未形成期:采空区尚未发生明显塌陷,积水现象不明显。②同步增长期:随着工作面的推进和采空区的扩大,塌陷和积水现象同步发展,积水面积迅速增加。③残余增长

期：工作面推进距离对积水面积日增长量的影响逐渐减弱，但积水面积仍继续增加，但增长速度放缓。④相对稳定期：积水面积趋于稳定，积水边界角趋于 90°，积水区形成较为稳定的水体系统。

4.2 影响因素

积水范围的动态演化受到多种因素的影响，主要包括工作面推进距离、净降水量、地下水埋深等。

①工作面推进距离：是影响积水范围演化的关键因素。在同步增长期和残余增长期，工作面推进距离与积水面积日增长量呈正相关关系。②净降水量：是影响积水量的直接因素。在降水量较大的季节，积水面积和深度显著增加。③地下水埋深：影响地下水对积水的补给速度和补给量。地下水埋深较浅时，地下水更容易补给积水区；地下水埋深较深时，补给速度相对较慢。

5 监测与治理

5.1 监测

5.1.1 监测方法

高潜水位采煤沉陷区积水监测与治理是一个复杂而重要的课题，它涉及地质、水文、生态等多个领域。以下是对该问题的详细分析：

①遥感监测。

技术特点：遥感技术具有覆盖范围广、监测周期短、数据获取快等优点，是高潜水位采煤沉陷区积水监测的重要手段^[7]。

应用实例：通过卫星遥感影像和无人机拍摄的高分辨率图像，可以定期监测沉陷区的积水范围、面积变化等信息。这种方法能够直观展示积水的空间分布和动态变化。

②地面观测。

技术特点：地面观测能够提供更为精确和详细的积水数据，包括水深、水质等参数。

实施方式：在沉陷区内设立观测站点，定期测量积水面积、水深等，并收集水样进行水质分析。同时，可以结合水文地质调查数据，深入分析积水的成因和演化规律。

③综合监测技术。

为了实现更全面的监测，可以将遥感监测与地面观测相结合，形成综合监测体系。此外，还可以引入 InSAR（合成孔径雷达干涉测量）技术和无人机激光雷达系统等先进技术，提高监测的精度和效率。

5.1.2 监测内容

①积水范围与面积：定期监测积水的空间分布和面积变化，评估积水的严重程度和发展趋势。②水深与水质：测量积水的水深，并收集水样进行水质分析，了解积水的污染状况和生态影响。③地下水位：监测地下水位的变化情况，分析地下水对积水形成和演化的影响。

5.2 高潜水位采煤沉陷区积水治理

5.2.1 治理原则

①科学规划：根据沉陷区的实际情况和治理目标，制

定科学合理的治理方案。②综合治理：采取多种治理措施相结合的方法，实现积水的有效控制和生态环境的恢复。③注重生态：在治理过程中注重生态保护，避免对周边环境造成二次污染或破坏。

5.2.2 治理措施

①排水疏干。

方法：通过建设排水系统或利用自然地形条件，将积水排出沉陷区外。

注意事项：在排水过程中要注意控制排水速度和排水量，避免对周边环境和生态系统造成不利影响。

②生态修复。

方法：利用生态工程技术对沉陷区进行生态修复，如种植水生植物、构建湿地生态系统等。

效果：生态修复能够改善沉陷区的生态环境质量，提高生物多样性，同时发挥湿地的生态服务功能。

③土地利用调整。

方法：根据沉陷区的实际情况和治理目标，调整土地利用方式，如将沉陷区改造为水库、湿地公园等。

效益：土地利用调整能够实现土地资源的合理利用和经济效益的最大化。

④源头治理。

方法：通过改进开采工艺、采用充填开采等方式减少地表沉陷和积水现象的发生。

效果：源头治理是预防积水形成的有效手段之一，能够从根本上减少沉陷区的积水量和积水面积。

6 结语

高潜水位采煤沉陷区积水形成是一个复杂的地质水文过程，涉及开采沉陷、地下水文条件、地表水和降雨等多种因素。

积水形成机理的研究对于制定有效的监测和治理措施具有重要意义。通过科学合理的监测方法和治理措施相结合的方法，可以实现积水的有效控制和生态环境的恢复。

以上结论基于对相关文献和研究成果的综合分析，旨在为高潜水位采煤沉陷区积水的监测和治理提供科学依据。

参考文献

- [1] 康红普,徐刚,王彪谋,等.我国煤炭开采与岩层控制技术发展40a及展望[J].煤矿开采,2019,1(2):1-33.
- [2] 陆春辉,徐肿,陈永春,等.采煤沉陷积水与浅层地下水水资源转化研究[J].水科学与工程技术,2016(6):39-42.
- [3] 陆垂裕,陆春辉,李慧,等.淮南采煤沉陷区积水过程地下水作用机制[J].农业工程学报,2015,31(10):122-130.
- [4] 黄鹤湾,姬晓轩,扈剑琨,等.高潜水位采煤沉陷区地表水与地下水水力联系探析[J].人民黄河,2024,46(S1):66-67.
- [5] 孙茹,朱晓峻,张鹏飞,等.高潜水位采煤沉陷区积水时空演化特征研究[J].煤炭科学技术,2022,50(12):215-224.
- [6] 陈骁谢,张文涛,朱晓峻,等.高潜水位采煤沉陷区积水范围动态演化规律[J].煤田地质与勘探,2020,48(2):126-133.
- [7] 魏矿灵,王启春,郭广礼,等.利用遥感数据监测矿区开采沉陷积水变化[J].煤矿安全,2014,45(1):13-16.

Research and Application of Smoke Control and Carbon Monoxide Control Technologies in Coal Mine Fires

Pengfei Ma

Jizhong Energy Co., Ltd. / National Mine Emergency Rescue Fengfeng Team, Handan, Hebei, 056201, China

Abstract

Coal mines are relatively closed, easy to produce and accumulate smoke and carbon monoxide and other harmful gases. This paper focuses on the bottleneck problems faced by the existing control technology for harmful gases such as smoke and carbon monoxide in coal mines, and deeply and comprehensively explains the relevant technologies carefully developed by the mine rescue brigade. Not only the research status of this technology is analyzed in detail, but also its specific application scenarios, existing problems, core research contents, key technical indicators and landmark results are deeply discussed. It clearly and intuitively shows the key role of this technology in significantly improving the efficiency of mine emergency rescue and effectively ensuring the life safety of underground personnel, so as to provide a solid and strong support and crucial guarantee for the safe production of coal mine.

Keywords

coal mine; flue gas control technology; carbon monoxide control technology; emergency rescue

煤矿火灾烟气控制和一氧化碳控制技术的研究与应用

马鹏飞

冀中能源股份有限公司 / 国家矿山应急救援峰峰队, 中国·河北邯郸 056201

摘要

煤矿矿井相对封闭, 极易产生并聚集浓烟以及一氧化碳等有害气体。论文重点着眼于煤矿矿井现有的针对浓烟与一氧化碳等有害气体的控制技术所面临的瓶颈问题, 深度且全面地阐释了由矿山救护大队精心研发的相关技术。不仅对该项技术的研究现状进行了细致剖析, 还深入探讨了其具体的应用场景、现存的各类问题、核心的研究内容、关键的技术指标以及具有标志性的成果。清晰直观地展现出这一技术对于显著提升矿山应急救援的效率、切实保障井下人员生命安全所发挥的关键作用, 从而为煤矿的安全生产提供了坚实有力的支持以及至关重要的保障。

关键词

煤矿矿井; 烟气控制技术; 一氧化碳控制技术; 应急救援

1 引言

煤炭作为重要的能源资源, 在开采过程中, 煤矿矿井的安全问题一直备受关注。其中, 浓烟和一氧化碳等有害气体的产生与聚集, 给井下人员的生命安全带来了极大的威胁。有效的烟气控制和一氧化碳控制技术对于预防事故、保障救援工作的顺利进行以及减少人员伤亡至关重要。

2 研究现状

2.1 烟气控制技术

烟气控制在近年来不断发展, 包括通风系统的优化、新型防火材料的应用等。通风系统的智能化控制水平逐渐提高, 能够根据矿井内的实时情况自动调整通风策略。防火材料的性能也在不断改进, 提高了对火灾的抑制和阻隔能力。

【作者简介】马鹏飞(1987-), 男, 中国河北邯郸人, 本科, 工程师, 从事矿山救援研究。

2.2 一氧化碳控制技术

在一氧化碳控制领域, 新型催化剂和吸附剂的研发取得了显著进展。这些材料具有更高的选择性和吸附能力, 能够更有效地将一氧化碳转化为无害物质。同时, 监测技术也在不断创新, 采用了更灵敏的传感器和智能化的监测系统, 实现了对一氧化碳浓度的实时准确监测。

3 应用场景

3.1 煤矿矿井环境特点

煤矿矿井是一个复杂且危险的工作环境。由于地质条件的复杂性和煤炭开采过程中的各种作业活动, 矿井内容易产生瓦斯泄漏、煤炭自燃等情况, 进而引发火灾和爆炸事故。这些事故往往会导致大量浓烟和一氧化碳的产生, 使得矿井内的空气质量急剧恶化, 能见度降低, 给井下人员的逃生和救援工作带来极大困难。

3.2 事故后的危害

在煤炭自燃发火、瓦斯、煤尘爆炸等事故发生后, 不

仅会产生大量的浓烟,降低巷道的能见度,还会释放出高浓度的一氧化碳。一氧化碳是一种剧毒气体,它能与血红蛋白迅速结合,使其失去携氧能力,导致人体缺氧窒息。由于一氧化碳无色无味,难以察觉,井下人员在不知不觉中就可能中毒,甚至危及生命。

3.3 技术应用的必要性

为了保障井下人员的生命安全,及时有效地控制烟气和一氧化碳浓度至关重要。烟气控制技术能够改善井下的通风状况,减少浓烟的扩散。一氧化碳控制技术则可以将一氧化碳转化为无害物质,降低其对人员的危害。因此,煤矿火灾烟气控制和一氧化碳控制技术的研制和应用具有极其重要的意义。

4 现有瓶颈

4.1 通风系统不足

4.1.1 机械通风设备性能受限

当前煤矿矿井中使用的机械通风设备在功率、风量等方面存在一定的局限性,无法满足大规模浓烟排放的需求。部分通风设备在长时间运行后,性能会出现下降,影响通风效果。

4.1.2 自然通风条件不稳定

自然通风受季节、气候和地理环境等因素的影响较大,稳定性差。在一些特殊情况下,如气压变化、风道堵塞等,自然通风可能会失效,导致矿井内通风不畅。

4.2 一氧化碳监测和消除技术有限

4.2.1 监测仪器精度不足

现有的一氧化碳监测仪器在检测低浓度一氧化碳时,精度往往不够准确,容易导致误判。在高浓度环境下,一些监测仪器可能会出现饱和现象,无法及时反映真实的浓度变化。

4.2.2 消除技术效率不高

传统的一氧化碳消除技术,如吸附法和催化氧化法,在处理大规模一氧化碳泄漏时,效率较低,难以在短时间内将浓度降低到安全范围内。

4.3 烟气难以有效控制

4.3.1 烟气的物理特性

浓烟具有密度大、温度高、流动性差等特点,传统的通风系统难以将其迅速有效地控制。浓烟中的颗粒物容易堵塞通风管道和设备,进一步影响控制效果。

4.3.2 火灾和爆炸的复杂性

在火灾和瓦斯爆炸等事故中,浓烟的产生往往是瞬间的,且伴随着高温、高压等复杂情况,增加了烟气控制的难度。

4.4 设备和系统的可靠性问题

4.4.1 井下恶劣环境的影响

煤矿矿井内湿度大、粉尘多、腐蚀性气体含量高,这些恶劣的环境条件会加速设备的腐蚀、磨损和老化,降低设备的可靠性和使用寿命。

4.4.2 维护和管理难度大

由于煤矿矿井的空间有限,设备的安装、维护和管理难度较大。一些关键设备的故障可能会导致整个系统的瘫痪,

影响烟气控制和一氧化碳控制的效果。

5 研究内容

5.1 烟气控制系统

5.1.1 火场隔离和封闭

在应急救援尤其是救护队的救援行动中,火场的隔离和封闭是控制火灾烟气扩散的关键策略。通过迅速且精准地设置隔离门、构筑防火墙等有力措施,能够有效地限制烟气的扩散范围,为人员开辟出安全可靠的逃生通道。当火灾突发时,救护队能够凭借专业技能,快速安装隔离门,将着火区域与尚未受到影响的区域严格分隔,最大限度地阻挡烟气的肆意蔓延。而坚固的防火墙不仅能抵御高温和火势的侵袭,还能在较长时间内形成一道坚实的屏障,为人员的疏散以及后续的救援工作赢得极其宝贵的时间。

5.1.2 烟气抑制剂

对于救护队在应急救援中的控烟工作而言,烟气抑制剂是不可或缺的重要手段。通过释放特定的化学物质,烟气抑制剂能够改变烟气的物理特性,显著抑制其生成和扩散。在常见的烟气抑制剂中,无水氨和干粉剂等发挥着关键作用。在救援现场,无水氨可与燃烧过程中产生的有害物质迅速发生反应,有效降低烟气的浓度和毒性,为被困人员和救援人员创造相对安全的环境。干粉剂则能通过迅速覆盖火焰以及高效吸附烟气中的颗粒,大幅减少烟气的产生和传播,为救援行动的顺利推进提供有力保障^[1]。

5.1.3 智能通风控制系统开发

构建基于先进传感器和强大计算机技术的智能通风控制系统,对于实现通风设备的自动化精准控制和优化运行具有重要意义,尤其在救护队的应急救援工作中作用显著。这一系统能够实时、灵敏地依据矿井内的烟雾浓度、温度、湿度以及其他关键环境参数,迅速而准确地调整通风设备的工作状态,从而极大地提升烟气控制的效率和效果。

5.2 一氧化碳控制技术

5.2.1 新型催化剂和吸附剂的研究

①特性与作用机制。霍加拉特药剂主要由二氧化锰和氧化铜等成分组成,其对一氧化碳的吸附和转化原理基于化学催化反应。一氧化碳与药剂接触时,氧化铜作为氧化剂将一氧化碳氧化为二氧化碳,自身被还原为铜。同时,二氧化锰也参与反应,促进了氧化过程的进行,使得药剂能够持续有效地处理一氧化碳。这种化学特性使得霍加拉特药剂具有高效、稳定的一氧化碳处理能力,能够在较宽的温度和湿度范围内保持良好的性能。

②优势分析。与传统一氧化碳控制方法相比,霍加拉特药剂展现出诸多优越性。首先,其反应速度极快,能够在短时间内将大量的一氧化碳转化为无害物质,有效遏制一氧化碳的积累。其次,高转化效率确保了一氧化碳的去除效果,降低了残留浓度,为煤矿环境提供更可靠的保障。最后,霍加拉特药剂具有较长的使用寿命和较好的稳定性,减少了频繁更换和维护的成本及工作量。

5.2.2 与煤矿隔爆棚的结合

①结合方式探讨。为了将霍加拉特药剂融入隔爆棚的结构中，研究人员进行了多种尝试。一种常见的方式是将药剂制成颗粒状或片状，并嵌入隔爆棚的过滤层中。这样，当风流通过隔爆棚时，其中的一氧化碳能够与药剂充分接触并发生反应。另一种方法是将霍加拉特药剂涂覆在隔爆棚的表面，形成一层活性涂层，增加与一氧化碳的接触面积，提高处理效率。

②协同作用原理。药剂与隔爆棚在防止瓦斯爆炸、控制一氧化碳扩散方面具有显著的协同效果。隔爆棚本身可以通过水幕或岩粉等方式扑灭火焰，阻止爆炸的传播。而霍加拉特药剂能够迅速降低一氧化碳浓度，减少其引发二次爆炸的风险。两者相结合，形成了一道坚固的防线，有效保障了煤矿井下的安全^[2]。

③应用实例与效果。在实际应用中，在采掘工作面安装了融合霍加拉特药剂的隔爆棚。经过一段时间的运行，统计数据显示，该区域的瓦斯爆炸事故发生率显著降低，一氧化碳浓度始终控制在安全范围内。霍加拉特药剂快速处理了一氧化碳，为救援工作争取了宝贵的时间，提高了救援效率，避免了更大的人员伤亡和财产损失。

5.2.3 与灭火器的融合

①灭火器改进设计。在将霍加拉特药剂添加到灭火器的过程中，对灭火器的结构和配方进行了改进。将药剂以粉末或液体的形式与灭火剂混合，通过特殊的喷头设计，确保在灭火过程中均匀释放。同时，优化了灭火器的内部压力系统，以保证药剂和灭火剂能够稳定、高效地喷出。

②灭火与一氧化碳控制的双重功效。这种融合在应对火灾时展现出了独特的优势。一方面，灭火剂能够迅速扑灭明火，控制火势的蔓延。另一方面，霍加拉特药剂同时发挥作用，将火灾产生的一氧化碳转化为二氧化碳，降低了一氧化碳对现场人员的危害。这一双重功效极大地提高了救援人员在火灾现场的安全性，减少了因一氧化碳中毒导致的伤亡事故^[3]。

③实际应用中的性能评估。通过对多个煤矿使用融合霍加拉特药剂的灭火器的实际数据进行收集和分析，评估其在煤矿环境中的可靠性和有效性。结果表明，在火灾发生时，这些灭火器能够在短时间内扑灭明火，并将一氧化碳浓度控制在安全标准以下。在救护队的实际操作中，改进后的灭火器操作便捷，反应迅速，为救援工作提供了有力的支持。

5.2.4 协同控制技术研究

结合物理吸附、化学催化和生物降解等多种方法，开发一氧化碳协同控制技术，实现对一氧化碳的高效、全面处理。研究不同控制技术之间的协同作用机制，优化工艺参数，提高控制效果。

5.3 优化通风系统设计

5.3.1 风道布局优化

通过数值模拟和实验研究，优化通风管道的布局和走向，减少风阻和涡流的产生。合理设计风道的分支和汇合点，

确保风流的均匀分布和稳定流动。

5.3.2 通风网络优化

建立煤矿矿井通风网络模型，运用优化算法对通风网络进行分析和优化，提高整个通风系统的性能和可靠性。考虑不同开采阶段和工作区域的需求，实现通风资源的合理配置。

5.4 一氧化碳监测和预警

预警系统的构建，建立基于物联网和大数据技术的一氧化碳监测预警系统，实现对矿井内一氧化碳浓度的实时监测、数据分析和预警发布。通过与通风系统和应急救援系统的联动，及时采取相应的措施，保障井下人员的安全。

6 标志性成果

6.1 技术创新

研发出具有自主知识产权的烟气控制系统和一氧化碳控制技术，在性能和效率方面达到国际先进水平。

6.2 应用效果

①在多个煤矿进行了实际应用，有效控制了矿井内浓烟的扩散和一氧化碳的浓度，提高了井下的空气质量和能见度，为救援工作提供了有力支持。②减少了因浓烟和一氧化碳中毒导致的人员伤亡事故，保障了矿工的生命安全，提高了煤矿企业的安全生产水平。

6.3 经济效益

①新技术的应用降低了煤矿企业的通风和安全设备投入成本，提高了生产效率，为企业带来了显著的经济效益。②促进了相关产业的发展，带动了就业和经济增长。

6.4 社会效益

①提高了社会对煤矿安全生产的关注度，增强了公众对煤矿行业的信心。②为其他行业在处理类似环境问题提供了借鉴和参考，推动了相关技术的发展和應用。

7 结语

煤矿火灾烟气控制和一氧化碳控制技术的研究与应用是保障煤矿安全生产、保护矿工生命健康的重要举措。通过对现有技术的改进和创新，解决了通风系统不足、一氧化碳监测和消除技术有限、烟气难以有效控制以及设备和系统可靠性等问题，实现了高效的烟气控制和一氧化碳控制目标。然而，随着煤矿开采技术的不断发展和环境要求的日益提高，仍需持续开展研究工作，进一步完善和优化相关技术，提高系统的性能和适应性，为煤矿行业的可持续发展提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 彭成时.智能迭代学习控制在烟气净化系统中的应用[D].徐州:中国矿业大学,2010.
- [2] 毕玉水,吕功煊.一氧化碳低温催化氧化研究进展[J],2003,4(17): 313-320.
- [3] 毕玉水,吕功煊.一氧化碳低温催化氧化研究进展[J].分子催化, 2003(4).

Analysis of Hydrogeological Factors and Research on Prevention and Control Measures for Groundwater Pollution

Yuya Gao Zhilong Zhou

The Second Geological Brigade of Hebei Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (Hebei Mining Environment Restoration and Treatment Technology Center), Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract

With the development of society, the issue of soil and groundwater pollution has gradually received increasing attention. Due to the varying hydrogeological conditions of the plots, the pollution characteristics presented by each plot are also different. China often neglects the assessment of surface hydrogeological conditions when conducting engineering exploration, leading to the problem of foundation settlement in many construction projects. Therefore, it is necessary to fully consider the hydrogeological conditions and specific construction conditions of groundwater, and pay full attention to potential groundwater problems to ensure hydrogeological exploration work. For the detected groundwater related problems, preventive strategies should be planned in advance to minimize the impact of groundwater to the greatest extent possible.

Keywords

groundwater pollution; hydrogeological factors; prevention control measures

地下水污染的水文地质因素分析及防治对策研究

高玉亚 周志龙

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队（河北省矿山环境修复治理技术中心），中国·河北唐山 063000

摘要

随着社会的发展，土壤和地下水环境污染问题，逐渐得到越来越多的重视。由于地块水文地质条件不一，地块呈现的污染特征也各有不同。中国在进行工程探测时，往往忽视了对地表水文地质状况的评估，导致众多建筑项目遭遇基础沉降的困扰。所以，必须充分地地下水文地质状况及具体施工条件纳入考量，并对潜在的地下水难题予以充分的关注，确保进行水文地质探查工作，针对检测到的地下水相关问题，提前规划出防范策略，力求最大程度地减少地下水带来的影响。

关键词

地下水污染；水文地质因素；防治对策

1 引言

如今，中国国民经济持续发展，人们的生活水平也不断提升，同时对水资源的需求量也逐渐增加。但目前中国大部分地区地下水资源污染严重，可饮用水资源严重匮乏，对人们的正常生活造成了影响。并且，地下水资源遭受破坏的同时，中国的生态环境也急剧恶化，整个生态系统的稳定性也受到威胁。因此，为了满足人们的用水需求，保护生态环境，保证人们的身体健康，相关部门必须对地下水污染的原因进行分析，并采取科学的防治措施，对污染进行治理。

2 地下水对人类生活的影响分析

2.1 地下水污染对人体健康的影响

一旦本地地下水源受到污染，常常导致水体内部三种氮化物浓度的波动。若饮水中富含过量的硝酸盐或亚硝酸盐，其对人体特别是对婴幼儿影响甚巨，可诱发急性硝酸盐中毒，也就是蓝婴症。在一定的生理环境下，人体内的硝酸根、硝态氮以及亚硝酸根氮可能会变成一种致癌化合物，即亚硝胺。再者，一旦地下水水质遭遇污染导致其硬度增加，不但作为饮用水时口感苦且不易入喉，还可能导致消化系统功能失调，表现为呕吐、腹泻、肠胃胀气等不适。若是地下水遭遇了有机物质的高度污染或是重金属的侵害，其对人的健康威胁将会大为加剧。因为电镀产生的废水对沈阳市的东部地区产生了严重的影响，其中的铬元素浓度高达 31 倍^[1]。

2.2 地下水污染对工业生产的影响

地表以下自然形成的水质硬度，随着各种自然环境的

【作者简介】高玉亚（1988-），女，中国河北唐山人，本科，工程师，从事水文地质研究。

不同而有显著的区别,然而随着时间的推移其波动较为微小。由此可见,地下水硬度的急剧增加通常是由人类污染造成的。通常情况下,污水直接导致的钙镁在地下水中的浓度增加的可能性较低,因为污水的硬度本身不高。实际上,这种现象多半是由污水与地面物质发生化学反应引起的。中国特别是北方地域,地下水在工业用水中所占的份额相当高。地表下之水源一旦受到污染,将会对工业制造造成重大的负面效应。初步地下水的矿物质含量上升,将导致工业用锅炉内腔及其输水管线积水垢,这不仅会缩短其使用年限,还可能触发爆炸事故。锅炉内部若积累了1mm的水垢,其燃料消耗量平均将增加大约4%。在谈及纺织品染整领域,若使用硬度较高的浆料清洗剂,不但洗涤剂的耗用量会剧增,还可能导致产品的品质下降或形成报废品。

2.3 地下水污染对农业生产的影响

农作物的栽培会受到地下水水质污染的不良影响。持续使用pH过高的井水对农地进行灌溉,首先会造成土壤的结构发生变化,导致土地发生板结,进而无法进行耕种作业。灌溉用水若硝态氮浓度偏高,则可能削弱作物对疾病的防御能力,并导致作物品质与等级的下降。农作物如谷物在摄取过剩硝酸盐后,会导致其中蛋白成分减少,营养价值亦随之降低。同时,蔬菜因此而变得容易腐败,难以进行储存与搬运。此外,假使井中之水染上杂质且硫酸根与氯离子浓度偏高,亦将限制田间植物之发育,导致作物大规模减产,同时亦会严重影响作物品质^[2]。

3 地下水污染类型分析

3.1 垃圾填埋场

随着都市化速度的提升,居民人数亦日益增长,由此导致城市日产垃圾量越来越多。目前,对城市产生的垃圾处理常用的办法是进行卫生填埋。但是,一部分城市的垃圾填埋场在功能和位置选择上存在限制性问题,并不能有效完成渗滤液的标准化处理,这种情况下,较多的垃圾渗滤液会持续向地下水资源渗透。再考虑到垃圾填埋场需长期使用,垃圾量的持续增加将使得对垃圾渗滤液处理的难度进一步升级。垃圾渗滤液富含多量有害细菌和毒素,并含有一些金属元素的离子。因其不断渗透到地下水层中,地下水的受污染程度将逐渐增加。

3.2 加油站油气泄漏

随着时代的发展,大众生活水平持续上升,越来越多的家庭拥有了私人轿车,伴随而来的是加油站数量的稳步增加。可是,由于部分加油站建设不够规范,频繁发生油气外泄现象。这种情况下,一旦漏油接触到地下水源,难免会引起地下水资源污染。此外,输油管道和储油罐是加油站正常运营必不可少的设施,这些设施若未能获得适时的维修,或是检修过程没有达到标准要求,那么油品泄漏的危险性就会大幅提升。而鉴于石油对水的溶解性差,挥发性不强,这将

会增加将来地下水净化处理的难度^[3]。

3.3 农业施肥

目前,中国政府对于农业的扶持态度突出,发布了众多相关政策以推动农业发展,导致农作物的耕种面积日益增加。为保障农作物的品质和收成,种植期间需要适量施加肥料和喷洒农药。但是,如果肥料使用过量或农药使用过频,土壤会持续吸收这些化合物中的有害成分,进一步在降雨期间,有害物质可能会渗透至地下水体中,从而对水质环境造成污染。

4 对地下水污染整治存在问题

4.1 对地下水污染的危害认识不足

多年以往,人们对潜在的、错综复杂的地下水污染问题了解甚少,未曾将其污染治理工作置于与地面水体环境管理等同的紧迫程度,缺乏对防范及处理其污染重要性的充分认知。这种疏忽导致地下水质量连年恶化,迟迟未见好转,中国地下水环境的质量持续走低。这不仅威胁着自然生态系统的稳定,还对经济社会进步造成了巨大的负面影响。

4.2 管理体制不完善

要提升对地下水资源的监管强度,并科学抽取、应用及维护这些资源,以及预防水源被污染与地质灾难的发生,国家和相关机构纷纷推出了众多相关的监控措施。然而,目前存在的相关法律法规体系并不完备,从而导致在执行地下水污染的防控任务时面临支持不足的问题。就管理水平而言,与国际先进标准相比较,我们的差距十分明显,体现在管理架构和操作流程的不畅,地方管理当局缺少有效的预防和监管手段,执法力度松懈。地下水的污染检测尚未建立成熟的监控网与统一管理制度,检测流程混乱,工作监管不完善。而且负责保护与管理地下水的部门角色划分不明确,缺乏一套协调一致的保护机制。

4.3 技术支撑能力薄弱

中国在地下水的污染阻隔与修复领域的技术开发及其工程应用,与先进国家相较仍旧是初级和相对滞后的阶段。我们还没有建立起一个完整的针对地下水污染控制与治愈技术的框架,且针对中国实际情况的高效率地下水污染控制与补救的综合技术体系基本上还处于一个未开垦的状态。在地下水污染的预防和处理标准、规范及技术结构方面也存在缺陷,而且对于综合管理决策的支持系统也不健全,这都不足以满足地下水环境管理面临的新挑战。受制于长时间以来缺少针对性的科技和工程项目的投入,我们在污染治理的多种手段和方法上仍显得弱不禁风,这使得国家在实施重大地下水污染治理工程及解决相关生态环境问题时,缺乏强有力的技术支持。

4.4 监控体系不完善与预警应急缺位

中国的地下水观测站点主要建设于1950年代。当前,受限于资金和保养等方面的投资不足,在23847个观察站

中,正常运行的站点仅占三成,且全国层面的观察站点数量只有1422个,这些站点的监测面积不过全国总土地面积的10.2%,这与国内对地下水资源的开发与利用现状存在显著不匹配。此外,不同级别的政府部门在监测技术和项目设置上存在明显短缺,难以为地下水资源的管理工作提供必要而及时的数据支撑。中国在地区水资源污染的同步监测方面存在不足,国家层面上缺乏地下水污染预警、评估和信息系统以及应对紧急情况的保障体系。面对意外或持续性污染问题时,难以立即且有效地实施控制对策。

5 水文地质条件分析

评估水文地质特征在确定地下水资源状态和制定防止地下水受污染的措施方面具有极为重要的作用。众多的分析手段被用以探究水文地质状况,首要方法如下。

5.1 开采实验法

抽水测试是一种通过实际抽取水量执行的试验程序,并且是对地下水资源的潜在开采量进行评估的技术手段。适宜场景:在水文地质状况繁杂,且短时间内难以彻底弄明白却迫切需要评估水资源的区域;达到水文地质精细调查阶段时,需执行抽水测试,并采取开采试水方法以评定可利用的水资源量;适用于中小规模水源地的地下水资源评估工作。

5.2 水文分析法

地下水循环机制方面,不管补给过程怎样繁复,补给的水总是会变为地下水的流动部分,随后这部分水会在合适位置汇入地面,形成地表流水。水量分析技术亦涵盖了明渠流量测定、泉眼流速测定以及地下河流量的监测方法。适用情景:整体排放模式的流域,该区域其他排放成分所占比重较低。

5.3 容积法基本原理

针对承压含水层与自流含水层来说,水下涌出导致水面高度降低,位于变化区以下部分的水体量可以被视作蓄积,并且被称作容积蓄水量。可采用体积测量技术来获得该数值。此外,还涉及水文平衡技术、计算方法、水文地质类比技术以及水文地质建模技术等手段。

6 地下水污染的水文防治对策研究

6.1 建立地下水污染的预警系统

由于人们忽视了保护环境的重要性,尤其是在工业生产中产生的废弃物不断排入地下,导致地下水质的恶化呈现出日益严重的发展态势。我们必须加深对于地下水污染防控的认识,以稳扎稳打的策略推进整治进程,构筑健全的地下水污染预防和控制体系,并对地下水状况实行持续监测。这样一来,才能够在地下水污染发生时迅速侦测,随后迅速实

施有效干预,防止问题进一步恶化,从而使之能够尽可能早地得到妥善处理。

6.2 做好地下水污染评估工作

首先,我们需要整理所有污染物的信息和数据,接着进行样本调查和分析。通过对样本污染物的生物和化学成分的研究,我们可以判断这些样本是否对环境造成了危害。若存在损害,则为目标污染源,从而能够明确其损害种类及损害程度。总的来说,主要包括以下几个步骤:一是信息采集过程。针对已确定的评价研究区域,进行环保、水资源、地理、土地使用,以及污染来源的详细研究与数据汇总。二是开发符合中国实际情况的地下水有害物质检测设备及其配套设备,以保证对地下水污染物的检测准确性。我们开发的实验样本的现场校准以及冷藏储藏技术,可以保证地下水污染物的获取、储藏以及传递的品质。

6.3 重视对水理性质的测试和研究

在水文地质勘查过程中,岩土的水力特性会对勘察任务产生一定的影响,这是岩土与地下水互动后展现出来的特性,包括吸水性、保持水性和透水性等,与岩石的固态、液态和气态特性有着密切的关系。通常,我们会在每年的两个时间段内对地下水进行两次抽样,即在干旱季节和雨量充沛的时候。根据实际状况,我们可以适度增加采样频次,并在掌握水质变化规律后,每隔一到两年进行一次采样。地下水在岩土体内存在着众多的类型,这些类型可以依据其埋藏环境的差异进行区分:上部的滞水、深部的潜水以及承受压力的水。根据水层的不同孔隙特性,我们可以将其分为孔隙水、裂隙水以及岩溶水。各种类型的地下水会产生各异的水力特性。通过对水的物理特征的检验与解读,我们能够水文调查项目的实施,为地下水的高度与流速的改变提供重要的规划参考。

7 结语

论文综述了水文地质调研过程中出现的地下水问题,增强了对地下水的关注度,以此来优化建设品质。根据调研的具体环境以及建设项目的具体需求,需要设计出适当的解决方案。只有这样,水文地质调研工作才会真正且有效,从而提升了建设项目的品质,推动了项目的进步与发展。

参考文献

- [1] 周绍军.关于土壤与地下水污染防治协调路径的思考[J].皮革制作与环保科技,2022,3(22):130-132.
- [2] 任静,李娟,席北斗,等.中国地下水污染防治现状与对策研究[J].中国工程科学,2022,24(5):161-168.
- [3] 胡艳珍.水文地质调查在土壤和地下水污染防治中的应用探究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(7):103-105.

Research on Mineral Geological Exploration and Deep Drilling Exploration Technology

Zhilong Zhou Yuya Gao Li Lv

The Second Geological Brigade of Hebei Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (Hebei Mining Environment Restoration and Treatment Technology Center), Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract

Against the backdrop of continuous deepening of global economic integration, competition in the internal market has become increasingly fierce. Economic growth relies on the support of various energy sources, especially during the current period of economic growth in China, where there is an urgent demand for mineral resources. As a result, the supply of mineral sources gradually became more scarce. In the process of China's economic development, mineral resources have played a crucial role. Therefore, it is urgent to conduct in-depth and rational research and analysis in this field in order to adapt to the progress and needs of modern society. However, Chinese mining areas are currently in the late stage of mining, and new mineral resources pose high challenges to mining techniques, which poses difficulties for the implementation of mineral exploration and prospecting methods. This paper has conducted in-depth exploration and analysis on this matter.

Keywords

mineral geological exploration; deep drilling technology for mineral exploration; effective strategy

矿产地质勘查与深部钻探找矿技术研究

周志龙 高玉亚 吕利

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队（河北省矿山环境修复治理技术中心），中国·河北唐山 063000

摘要

在全球经济一体化持续深入的大背景下，内部市场的竞争愈发激烈。经济增长依赖于诸多能源的支持，特别是在中国目前的经济增长时期，对于矿产资源的迫切需求量巨大。于是，矿物质供应逐渐变得更加匮乏。在中国经济发展的过程中，矿产资源扮演了至关重要的角色。因此，对这一领域进行深入而理性的研究分析刻不容缓，以期适应现代社会的进步和需要。但中国矿区目前处于采矿晚期阶段，新矿资源对采掘技巧提出了较高的挑战，这给矿产勘探和探矿方法的实施带来了难题。对此，论文进行了深入的探讨与分析。

关键词

矿产地质勘查；深部钻探找矿技术；有效策略

1 引言

在地质探查实践中，探矿地质学技术占据了极为关键的地位，只有借助于先进合适的勘探方法，地质调查的事业才能持续进步，并且构建起一个可持续发展的循环体系。因此，论文主要对矿产地质勘查与深部钻探找矿技术进行相关分析。

2 地质勘查及找矿技术的概述

开展地质勘探活动有助于准确掌握矿产资源的布局，从而为日后矿产的开采和应用提供方便。在探矿活动期间，参与人员需积极主动发掘自我潜力，对本区域的地质和水文

等各类特性做出全方位评估，同时还需审视该地自然景观和岩层构造。借助现场勘测，迅速掌握关键数据与信息，这能避免不必要的资源浪费，对维护本区域自然环境的稳健具有不容忽视的作用助益。在此基础上，高效的地质探察活动可以准确划定矿物资源的分布地点，增强矿产的开采精准度，从而有助于缩减开采矿产时的成本开支。矿产探测技术是地质勘察任务中的关键环节，它直接影响着勘察进程的成效与水准。技术进步与探矿知识的沉淀，为矿产资源探查方法的进步与革新提供了良好的基础。

3 地质勘查的内容

3.1 勘查危机矿山的接替资源

为了最大程度地拓展矿场的使用寿命，并确保其可持续性生产，对一些关键性的固态能源与基础材料的中大型采矿场所，应当展开紧急后备资源的勘探工作，并且要大范围

【作者简介】周志龙（1984-），男，中国湖北孝感人，硕士，工程师，从事矿产地质、地质调查等研究。

进行。如铜、铅锌等矿物应为下一步资源勘探的主要关注焦点，同时亦须着眼于对那些在国际市场上具备竞争力的矿产资源的探索。针对那些建设对周边地区财经增长产生积极作用的矿区，必须实施地质勘探活动，并全面评价其潜在的资源替代能力^[1]。对那些市场对其资源有着巨大需求且具备良好地理条件的矿山面临的危机情况，应优先考虑开展资源替代勘探任务，全方位探究矿场深层及周边地区的资源状况，对矿山的可运营年限进行科学预估，并制定出最合适的开采目标。

3.2 矿山生产的勘查

矿业公司在探矿和生产活动进行时，需制订一套统筹且切实可行的设计和布局方案，旨在合规挖掘及科学管理矿产资源，以最大限度地延伸矿场的使用寿命。在此基础上，加大力度对现行矿区内矿产资源进行深入勘探，通过大面积的勘查活动，持续增加已探明的矿产资源储备。强调拓宽矿产资源勘探的区域，对矿产地区进行基础调查。

3.3 共生矿、伴生矿及尾矿的勘查与综合评价

为进一步增强矿业勘查作业的成效，必须在探矿过程中大力实施尖端技术的多元化应用，并且重视开展对含量较低及新品类矿物资源的技术研究与评估，对于稀缺矿源、共生与伴生矿石，以及矿尾矿的利用也应推广一体化的开采方案。同时，构建统一而且周全的政策与准则体系，规范对矿业资源的开发利用，并持续促进矿物资源使用效率的增长。

4 地质勘查的具体类型

4.1 生产矿山

对于开采矿场的探测任务，相应的技术团队需评估矿场的潜在寿命，并综合多元素评估后拟定合理的探测计划，在此基础上改进探测操作流程，这样既能增进探测作业的效率，也有助于减少突发事件的风险。在矿区域进行的地质勘探活动，既可以提高矿产利用的初级效率，又有助于增加矿产资源的开发范围，这对于促进经济增长和达成建设规划具有关键作用。当基本的调查任务结束之时，关键数据与信息的记载变得必要，以便为接下来的探索活动奠定实证基础。

4.2 闭坑矿山

针对已封闭矿区的地质探察任务，首要工作是部署经验丰富的技术团队进行资源评估，目的是全面了解地质数据，不仅为今后的矿产开采奠定坚实的理论基础，增强开采过程的安全性，同时亦为土地复恢复等后续程序提供方向指引，降低在这些流程中可能遇到的风险，确保后期作业顺利执行，需在挖掘活动开始之前，搜集与返回相应数据及参数，促成地学环境的评估任务，并依据当地的具体状况及历史经验积累，为随后的采矿活动提出中立建议。

4.3 危机矿山

对这种类型的矿床，在进行探矿作业时应当兼顾可持续性发展的根本属性，并且要考虑到具体的矿物资源种类，

以便完成地质勘察任务。在此基础上，职责相关人员还需依据全球市场的矿物资源动态来剖析紧急矿区开采的重要性，这对于增强采矿活动的合理性起到极大的促进作用，也能有效地防止非法采矿与非法勘察的问题发生。

4.4 生矿和尾矿

在中国的矿产资源利用领域，原矿与废矿物质乃是最普遍的两种矿物分类，着手挖掘和加工这两者，构成了矿业振兴中的一个关键职责。各从事开发工作的专家需针对本区域的地质调查要求，依次规划并实施地质调查与开采活动，这样既能有效提高地勘任务的成效与品质，同时也有助于防止不经意间对矿产资源的过度消耗^[2]。

5 地质找矿技术研究

改革开放以来，中国经济逐渐稳健增长。伴随着工业化进程的快速推进，矿产资源的使用率持续提高，导致资源供不应求的状况，这已经成为中国经济增长的限制因素。

5.1 重砂找矿法

在目前的矿产探索活动中，利用重砂法进行寻矿的情形较为罕见，此法仅在某些具有特点的地质地层中得到应用。在实施寻找矿产资源的重砂法过程中，必须首要关注天然重砂矿，同时依据原岩与砂矿的形成逻辑，揭示矿体的具体分布模式。自2008年国家实施找矿突破战略行动和“358”目标（2008—2015年）以来，青海省加大了铜、镍、铅、锌、银、金、铁、煤等重要矿产资源的勘查部署和研究，以整装勘查区和重要成矿区带为重点，利用国家财政、省财政及社会资金安排了一系列公益性、基础性的矿产勘查工作。在这种背景下，青海省第五地质勘查院在拉陵灶火地区1:5万地质、物探、化探等基础资料研究的基础上，筛选了找矿靶区并申报了指标矿权。通过地质背景基础资料的综合研究，确定了夏日哈木4处基性-超基性杂岩体地处东昆仑造山带西段，位于东昆仑弧盆系的祁漫塔格蛇绿混杂岩带与北昆仑复合岩浆弧的结合部位，即昆中构造带中部。通过工程验证对矿体地质特征研究，认为I号岩体按照赋存位置分为3类：①位于橄榄岩相的矿体；②位于辉石岩相的矿体；③位于辉长岩相的矿体。

5.2 地质填图法

地质作图法的实际应用，有效结合了找矿方法和勘察查绘图，用于解决具体的勘探难题。在寻找矿产资源的过程中，使用的方式相当普遍，这主要依赖于地质构造的核心理论。依据勘探人员的经验进行矿产勘查，这种勘查方式就是采用的比例尺度不太稳定。地质填图法的主要功能是获取地质层次的构造信息，地表特性和形态信息。使用的地质填图方法的精确度必须超过其他的找矿技术，这才是找矿任务的核心^[3]。中国福建省沙县大佑山地区是前后采用两种方法填绘的一个对比实例。用沉积地层学方法填制的地质图十分简单，在火山中仅圈出少量的花岗斑岩，图面上看不出火山作

用的特点及各种岩性的分布变化规律。采用“双重填图法”填绘的地质图，在图上不仅反映火山岩不同岩性环状分布特点，还反映该地区存在东、西两个火山喷发中心。西部大佑山一带是一个由火山碎屑岩、熔岩互层组成的层状火山，在层状火山的主火山口及其四周，发育着四个小的流纹岩穹丘。东部为剥蚀深度较大，潜火山岩发育的喷发中心。对比看出“双重填图法”真实客观地表达了这一地区的火山岩相特征。

5.3 物化探技术

因为地质矿产资源的演变周期，是非常漫长的。这就导致在对其进行勘察工作推进时，外界阻力会非常庞大。专业的工作人员既要提高工作效率还需关注干扰因素并及时把干扰项缩小到最低。基于物化探技术的支持，能够对深层与浅层的地质矿产资源进行精准定位，准确把握周边的元素，电磁等情况，进而保证地质矿产资源勘查的针对性。通常情况下，可从物理与化学两个方面划分物化探技术的类型。物理勘查主要勘测地热、重力、地震等自然现象，在应用物理勘查技术前，需了解地质相关性能与参数，以便对地层地质与矿产资源的类别及数量进行科学判断。化学勘查主要用以寻找金属矿产资源，由土壤测量法、矿床原生晕法等多种技术组成。在地质矿产资源勘查中应用化学勘查技术，不但能大幅度提升勘查效率，还可以找出难以发现的矿物质。冀东沉积变质型铁矿深部勘查方法主要包括以下几种：深入分析区域地质、地球物理、矿产等特征，创新性提出矿体主要受背形和断裂构造控制、为褶皱构造一翼的找矿模型。借助找矿模型，进一步打开了铁矿深部找矿空间，为冀东地区铁矿勘查工作提供了找矿方法、勘查路线、理论依据和找矿方向。系统研究了冀东成矿带区域性不同比例尺航磁异常及重力异常特征与各个矿床矿体的对应性，创新提出本区“磁异常位移理论”，有效指导了找矿勘查工作。增加激电测深手段深入研究主要影响矿体赋存的断裂位置及性质，结合地面精测磁法剖面延拓成果及井中磁测成果，综合分析地质、电法、磁法资料，创新性提出“深部存在第二成矿空间”理论。通过这些勘查方法，河北地质二队在冀东地区铁矿勘查工作中取得了显著的成果，新增了大量的铁矿资源量。

5.4 砾石找矿法

砾石找矿法是根据矿体露头被分化后所产生的矿砾在重力、水流、冰川的搬运下，其散布的范围大于矿床的范围，

利用这种原理沿着山坡、水系或冰川活动地带研究和追索矿砾，进而找到矿床的方法。此种方法是一种较为原始的找矿方法，具备简单易行、适用于地形切割程度较高的深山密林地区及勘查程度较低的边缘地区的固体矿产找寻工作的优势，根据矿法和矿砾的形成和搬运方式将此种方法分为河流碎屑法以及冰川漂砾法。前者是以各级水系中的冲积砾石、岩块、粗砂为主要观察对象，从中发现矿砾或与矿化有关的岩石砾石，然后逆流而上进行追索，沿着河流方向寻找留下的碎屑，从而推断原生矿床的位置。后者是以冰川搬运的砾石、岩块为主要观察对象，方法与前者有类似之处，但由于冰川运动方向的不确定性，所以利用这种方法寻找原生矿床的效果不理想，因此多采取前一种找矿方法。

5.5 全球定位系统感应技术

在中国地质矿产的勘查工作中 GPS 感应技术属于先进的一种技术。将 GPS 感应技术和 GPS 测量技术进行比较，可以发现 GPS 感应技术可以导航定位地质矿石的特定位置，将地质矿产的精确位置以坐标的形式发送给相关的技术人员。地质勘查人员通过应用 GPS 感应技术可以明确地知道矿区的地质构造类型及位置，从而为矿山工程的建设与设计提供有力的支持。虽然地表深处有很多矿产但是非常稳定，不同矿产是由不同的成分组成的，所以他们之间的差别非常大，但是不同的矿产之间物理性质及化学性质却比较稳定，所以为了准确判断地质矿产中混合物是由什么元素组成的，只有利用波谱仪的特定光谱对矿产进行分析。

6 结语

由于中国的经济飞速发展，人们对矿产资源的需求也在逐渐提高。在这样的背景下，中国的地勘活动也迫切需要与时俱进。时至今日，社会科技水平的提升，以及政府对地勘领域的重视与支持，进一步推动了地质勘查技术与方法的创新升级。这不仅显著提升了地勘工作的效能，也为中国的地质勘探工作的持续进步奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 廖小武,魏康红.浅析矿产地质勘查与深部钻探找矿技术探析[J].中国金属通报,2018(5):79-80.
- [2] 胡国飞.浅谈地质勘查和深部地质钻探找矿技术[J].大科技,2018(33):209.
- [3] 王辉,王刚,于松.地质矿产勘查深部找矿思路研究[J].冶金管理,2024(4):107-109.

Application of Comprehensive Geophysical Methods in the Exploration of Deep Iron Deposits—Taking Caojiahe Iron Mine in Luan County, China as an Example

Yankang Li

The Fifth Geological Brigade of Hebei Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (Hebei Marine Geological Environment Survey Center), Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract

The Luan County area in Jidong, Hebei Province is an important iron ore producing area, mainly composed of Anshan style sedimentary metamorphic iron ore. The Sijiyang Macheng Changning metallogenic belt in the area is well-known as the “Simachang Iron Ore” metallogenic belt. Most iron deposits have obvious magnetic anomalies. In order to verify the aeromagnetic anomalies in the Caojiahe area, magnetic and gravity methods were carried out. However, the inclination of the ore body in the borehole was opposite to the inferred ore body by gravity and magnetic inversion. Later, in order to further investigate the ore body situation, controllable source audio magnetotelluric method (CSAMT) was arranged to comprehensively analyze and compare multiple methods, reduce the ambiguity of geophysical exploration, determine the occurrence and spatial distribution of the ore body, and provide a basis for drilling construction in the mining area. The drilling effect was good, and provided a good working idea for iron ore exploration in the thick coverage area of eastern Hebei.

Keywords

high-precision ground magnetic survey; gravity; controllable source (V8-CSAMT); extreme transformation

综合物探方法深部铁矿的勘查应用——以滦县曹家河铁矿为例

李延康

河北省地质矿产勘查开发局第五地质大队（河北省海洋地质环境调查中心），中国·河北唐山 063000

摘要

河北省冀东滦县地区为重要的铁矿产地，以鞍山式沉积变质型铁矿为主，区内司马营—马城—长凝为较有名的“司马长铁矿”成矿带。多数铁矿床磁异常较为明显，本次为查证曹家河一带航磁异常开展了磁法、重力工作，但钻孔内矿体倾向与重、磁反演推断矿体相反，后为进一步查明矿体情况，布置了可控源音频大地电磁法（CSAMT）工作，利用多种方法综合分析对比，减少物探的多解性，确定矿体产状及空间赋存状态，为矿区钻探施工提供依据，钻孔见矿效果较好，为冀东厚覆盖区铁矿勘查提供了较好的工作思路。

关键词

地面高精度磁测；重力；可控源（V8-CSAMT）；化极

1 引言

中国河北省滦县曹家河一带 1 : 5 万航磁测量有一个编号 M8-7 的航磁异常。异常呈北东长轴状，最高强度 200nT，北西侧有明显负异常。通过对航磁异常进行地面磁法测量、重力测量进行了钻探验证，但结果显示与反演成果不符，见矿效果较差，分析原因可能因物探的多解性^[1]造成，后在典型钻探剖面进行了电法^[2]可控源 V8-CSAMT 测量，

为重、磁反演^[3]提高了边界条件，后实施钻孔均见矿较好。

2 矿床地质简况

工作区位于燕山台褶带山海关拱昌黎隆起的西南部边缘。区内地表均为第四系覆盖，厚度多在 100~200m。第四系以下地层多为太古界迁西群三屯营组地层，岩性主要有角闪斜长片麻岩、混合花岗岩及黑云变粒岩，其内夹磁铁矿石英岩（铁矿），如图 1 所示，区内构造不明显。

【作者简介】李延康（1986-），男，中国河北邢台人，本科，高级工程师，从事地球物理勘查研究。

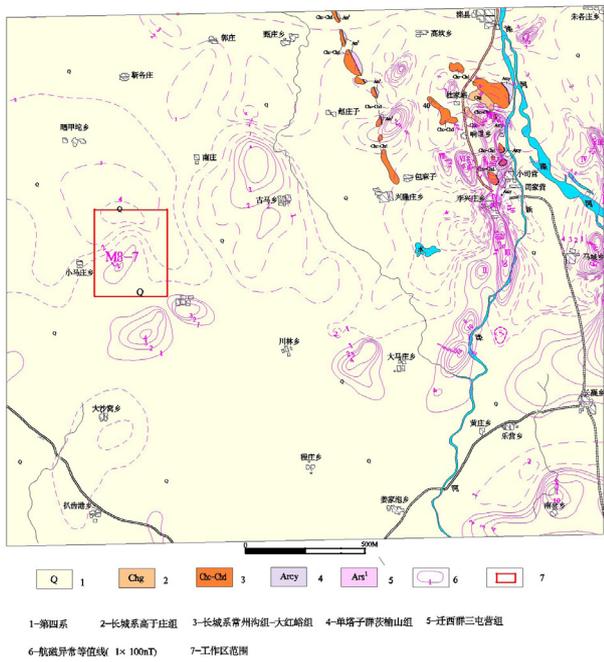


图 1 矿区地质概况

3 地球物理特征

3.1 工区重力场特征

区域内有两个局部重力异常，南部的重力^[4]高异常G2值为 $5.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，北部的重力高异常G1值为 $3.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，这种布格重力异常特征反映的是工区南部太古界老地层的基岩面隆起较高，埋深相对较浅，北部隆起的太古界老地层的基岩面埋深相对深一些；工区南部的G1与G2间重力低^[5]异常区，反映了一个近东西向的断裂构造和基底的局部凹陷；G2应反映南部另外两个航磁异常。

3.2 工区磁场特征

周边区域航磁异常发育较多，且多已探出储量可观的磁铁矿体^[6]。如古马、大马庄航磁异常，均发现较好磁铁矿体。

通过区内物性工作可知，区内地层磁性较弱，磁铁石英岩（铁矿）具强磁性，航磁异常由磁铁矿引起。

4 综合物探成果分析

4.1 磁测面积异常

区内面积磁异常发育明显，M8-7个航磁异常对应C1地面磁异常。异常背景稳定，背景值在 $-50 \sim +50 \text{nT}$ 间。整个 ΔT 异常呈低缓状、形态圆滑、规模较大、强度稍弱，最高强度多在 $400 \sim 600 \text{nT}$ 左右（图2）。

由 ΔT 化极图可见，各异常中心化极后向北约100m、向西有50m左右的位移，反映斜磁化矿顶有一定埋深。化极及下延后C1-1异常强度增高较明显，C1-2异常强度增高不太明显，推断由异常处矿头埋深差异造成。下延100m的 ΔZ 异常形态变化很小，反映矿体埋深远大于100m；下延300m的 ΔZ 异常强度增大明显，异常形态亦有明显变化，

反映矿头距离不太远且地层内磁性不均匀。

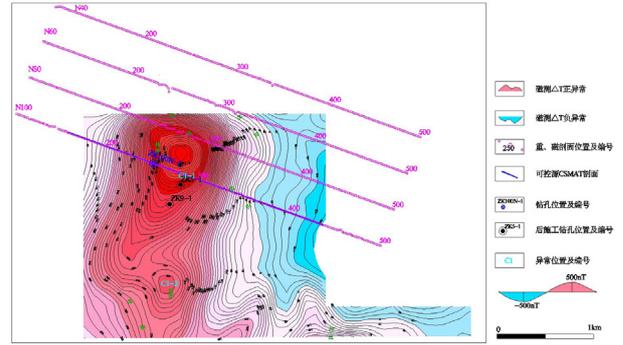


图 2 矿区铁矿磁测 ΔT 化极等值线图

4.2 磁测面积解释推断

M8-7号航磁对应地磁场C1号异常，分布于曹家河村一带，北北东向长轴状。外围200nT等值线将C1-1、C1-2两个分异常闭合一起，总长2.8km，宽度在1km左右。北部C1-1主异常最高强度600nT，南部C1-2小异常最高强度280nT。异常东西两翼梯度差别不大，但南端西翼更缓一些。异常长轴方向北端梯度变化大、外侧负异常明显，南端梯度较缓。总体推断异常由西倾矿引起，矿体向南侧伏，北端矿顶较浅而矿产状较陡；向南矿顶深变大而矿产状变缓。化极下延后C1-1、C1-2分离明显，反映两矿体不连续。

4.3 重、磁剖面异常与解释

N40剖面位于G1重力异常中心的北东侧300米左右，剩余重力异常曲线有明显的正异常区，最大值为 $2.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，异常宽度约2.2km。该剖面的磁场曲线整体为东高西低，比较平缓未出现明显的异常，表明该剖面已位于磁性体的北缘。

N60剖面穿过了G1重力异常的中心，重力剩余异常的宽度与N40大致相当，峰值位于282点，最大值上升到 $2.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。该剖面的磁异常曲线形态和N40相似，曲线整体为东高西低，未见明显异常。

N100剖面大致穿过了剩余重力异常零值线，曲线形态平缓，并且在260点出现了一个负极值，异常幅度约 $0.3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。该剖面位于C1-1磁异常中心的南侧，磁测曲线则在260点出现了一个极大值为660nT，幅度约900nT，异常曲线的下降梯度较大，说明矿体的产状较陡，东侧有较明显的极小值而西侧坡度较缓说明矿体基本向西倾。

通过四条剖面的重磁异常曲线的形态和变化趋势可以看出，剩余重力异常由东北向西南逐次降低，并在N100剖面出现了一个负异常，这种形态反映了老基底自南向北逐渐隆起。

磁异常则自北向南迅速增强，并在N100线达到了峰值，通过位于剖面点240点处的ZKN100-1钻孔的验证，在埋深407.23~408.33m处，见到厚度为1.1m的磁铁矿，在埋深421.54~425.73m处，见到厚度为4.19m的磁铁矿。由此可见，

磁铁矿的赋存位置为老基底隆起的半坡位置。

4.4 可控源 V8-CSAMT 异常与解释

钻孔 ZKN100-1 完成后见矿效果不理想，且反演推断矿体与钻孔内矿体产状相反，在 N100 线布置了可控源 V8-CSAMT 法（图 3），综合研究。

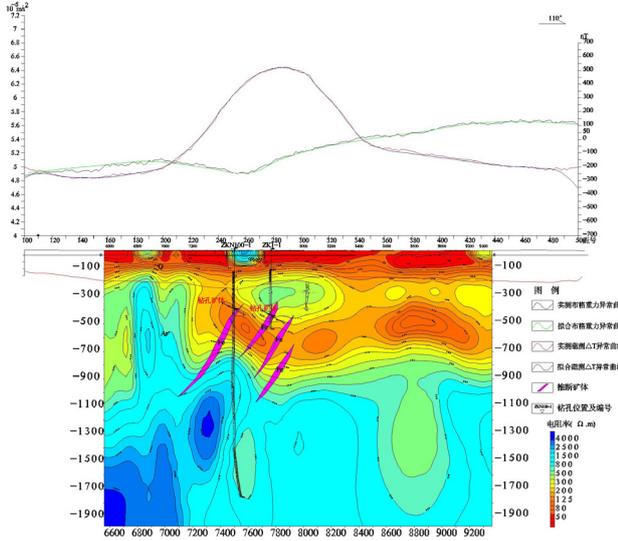


图 3 N100 线 CSAMT 反演推断图

总体有两层低阻带，其一是表层为第四系，在测点 7600 点附近地表有局部高阻分布，可能为野外地表干扰所致；其二是在标高 -400m~-600m，从测点 7200~9200，电阻率在 80~200Ω.m，推断该层位为含矿层。

重力、磁测及钻孔资料与 V8-CSAMT 剖面套合后可见，重、磁异常曲线与剖面异常位置对应较好，但由重、磁异常推断的矿体与该异常的产状相反；重力推断的隆起部位与测点 8700~9200，标高 -500~-600m 的低阻带对应，应为老地层隆起所致。由钻探资料可见，从地表第四系到标高 -300m 地层呈层状产出，与推断剖面相同；钻孔见矿 3m 在标高 -438m 附近，矿体倾向东与该推断异常产状大体一致，但该异常纵向厚度较大，下延至标高 -600m 左右，而钻孔资料其多为混合花岗岩，实际电阻率应较大；钻孔资料从标

高 -600m 到标高 -1400m 多为混合花岗岩，其间夹杂有黑云变粒岩，推断剖面大致与其相同，由于岩性分布不均，电阻率有所变化，从标高 -1400m 至孔底为片麻状混合岩，岩性无变化，推断剖面电阻率在 800Ω.m，与其吻合。总体，可控源剖面 N100 线与钻孔资料对应较好，地层倾向东，推断矿体应亦倾向东。

5 钻探验证

经过综合分析重、磁及可控源资料，推断确定矿体应倾向东，赋矿层位应在标高 -400~-500m 间。在异常 C1-1 的 N100 线南侧施工 ZK9-1 见真厚 8.0m 磁铁矿体，倾向东。

6 结论

综合物探方法在矿区的找矿中起到了很好的作用。利用磁法、重力圈定异常范围，而后利用可控源测深解剖矿体的埋深及空间赋存状态，为重、磁反演提供了边界条件，减少了物探的多解性，经钻探施工验证取得了较好的效果。综合方法的投入，为矿区深部探矿指明了方向，对查清全矿区深部资源潜力具有重大意义。同时说明，在充分认识成矿环境的基础上，综合选择物探方法，可以从不同角度对比、分析物探异常是否为矿致异常，提高地质解释的准确性。

参考文献

- [1] 钟仁,赵志军,廖蕾,等.综合物化探方法在乌兰德勒铅矿勘查中的应用[J].物探与化探,2010,34(3):275-280.
- [2] 刘瑞德,黄力军,杨进,等.综合电法在有色金属矿产勘查中的应用实例[J].物探与化探,2006,30(4):322-326.
- [3] 李延清,李军,裴承雯.综合物探在阿希金矿的应用研究[J].中国煤炭地质,2010,22(7):70-73.
- [4] 吴卫国.综合物化探方法在粤北一六多金属矿区中的应用[J].物探与化探,2015,39(6):1097-1103.
- [5] 兰君,李兆令,张鹏,等.重磁放综合物探方法在鲁西微山稀土矿勘查中的应用[J].物探与化探,2023,47(6):1417-1424.
- [6] 李玉录,邢利娟,拜占红,等.综合物探方法在青海省跃进山铁矿勘查中的应用[J].物探与化探,2018,42(5):889-895.

Safety Technical Measures for Middle Lane Filling Construction in a Coal Mine Working Face

Yanbo Xu

Shanxi Fangshan Jinhui Kaichuan Coal Industry Co., Ltd., Lvliang, Shanxi, 033199, China

Abstract

There are two intermediate lanes in the vertical cutting hole of the 5206 working face, namely the outer section of the original 5202 transportation chute and the outer section of the original 5202 return air chute. In order to prevent air flow disorder and short circuit during the mining period, the mine plans to fill one of the intermediate lanes (the outer section of the original 5202 transportation chute). To ensure the safety of the filling construction, based on the filling design provided by the Production Technology Department and combined with the actual situation on site, the following construction safety technical measures are formulated: Firmly establish the concept of "safety first"; Establish and improve various safety management systems, carefully formulate and implement safety operation procedures, and strictly implement them; Implement safety responsibilities to teams and individuals; Seriously implement the pre shift safety production meeting system; Assigning safety production tasks should have content, targeting, measures, responsible personnel, and post inspection.

Keywords

working face; fill; construction safety

某煤矿工作面中间巷充填施工安全技术措施

徐延波

山西方山金晖凯川煤业有限公司, 中国·山西 吕梁 033199

摘要

5206工作面内垂直切眼有两条中间巷,分别为原5202运输顺槽外段和原5202回风顺槽外段,为预防回采期间工作面风流紊乱、短路,矿井计划对其中一条中间巷(原5202运输顺槽外段)进行充填,为保证充填施工安全,现依据生产技术科提供的充填设计,结合现场实际情况,制定以下施工安全技术措施:牢固树立“安全第一”的思想;建立健全各项安全管理制度,认真编制和贯彻安全操作规程,并严格执行;把安全责任落实到班组、落实到个人;认真实行安全生产班前会制度;布置安全生产任务,要有内容、有针对性、有措施、有人负责、事后有检查。

关键词

工作面; 填充; 施工安全

1 引言

关于充填位置及工程量的介绍如下。原5202运输顺槽外段上部充填为第一阶段,具体从巷内P-14导线点起至P-15导线点往东9m,充填长度120m。原5202运输顺槽外段下部充填为第二阶段,充填范围为y-1导线点往西68m、往东7m、往北20m、往南28m,合计充填长度共123m。

2 施工方法

每个阶段充填之前,先在巷道最低处建挡浆墙,墙体厚度500mm,砖混结构。墙体与巷帮接壤处,对巷帮进行掏槽,掏槽深度300mm,使墙体探入巷帮,与巷帮形成一

个整体,提升挡浆墙整体强度。然后在挡浆墙外侧垂直顶底板搭设3~5根单体液压支柱辅助支撑,在墙体与单体之间使用合适的板梁进行裱褙。

挡浆墙位置及施工顺序:

①第一阶段充填共两道挡浆墙,第一道挡浆墙建在原5202运输顺槽巷口往东5m处,在充填之前完成,第二道挡浆墙建在二切眼往西不大于5m处,该挡浆墙在充填接近尾声时施工,挡浆墙高度随充填液位高度逐渐加高,充填人员在挡浆墙外侧进行充填作业,直至完全封闭。

②第二阶段充填共三道挡浆墙,第一道挡浆墙建在原5206运输顺槽联巷往东不大于5m处,第二道挡浆墙建在原5202运输顺槽联巷北端,以上两处挡浆墙在充填之前完成,第三道挡浆墙在原5202停采线往北不大于5m处,该挡浆墙在充填接近尾声,外移充填泵站后施工,挡浆墙高度随充填液位高度逐渐加高,充填人员在挡浆墙外侧进行充填

【作者简介】徐延波(1990-),男,中国河北沙河人,助理工程师,从事煤矿工程技术研究。

作业，直至完全封闭^[1]。

③充填时，由低向高，以每30m为一循环进行分段阻隔注浆充填。即当浆液上升至挡墙位置时（充填巷道内每30m建一道挡墙，挡墙宽4.25m×高1.5m×厚0.3m）→回撤甲乙料管各30m→回撤风筒30m→连接混浆管→建挡墙→开始充填，然后按照循环依次回撤料管、风筒进行充填巷道，见图1。

3 通风、运料及管路系统

3.1 第一阶段（原5202运输顺槽外段上部）

①原5202运输顺槽外段上部巷道充填时，采用局部通风机通风，风机安装在5206运输顺槽三部皮带机尾处，风筒沿5206运输顺槽→5206切眼→原5202运输顺槽外段接至施工地点。

②充填料运输：由二采区轨道大巷（无极绳绞车）→5206回风顺槽→5202联巷→充填料场。

③甲料和乙料输料管均选用DN90聚乙烯管，由制浆站→撤架通道沿空留巷→5206切眼→原5202运输顺槽外段施工地点。5206工作面中间巷充填第一阶段见图2。

3.2 第二阶段（原5202运输顺槽外段下部）

①原5202运输顺槽外段下部充填时，同样采用局部通风机通风，风机安装位置不变，风筒沿5206运输顺槽→5206切眼→撤架通道沿空留巷→原5202运输顺槽外段下部施工地点。

②充填料运输：由二采区轨道大巷（无极绳绞车）→5206回风顺槽→5202联巷。

③甲料和乙料输料管均选用DN90聚乙烯管，由制浆站→原5202运输顺槽外段施工地点。

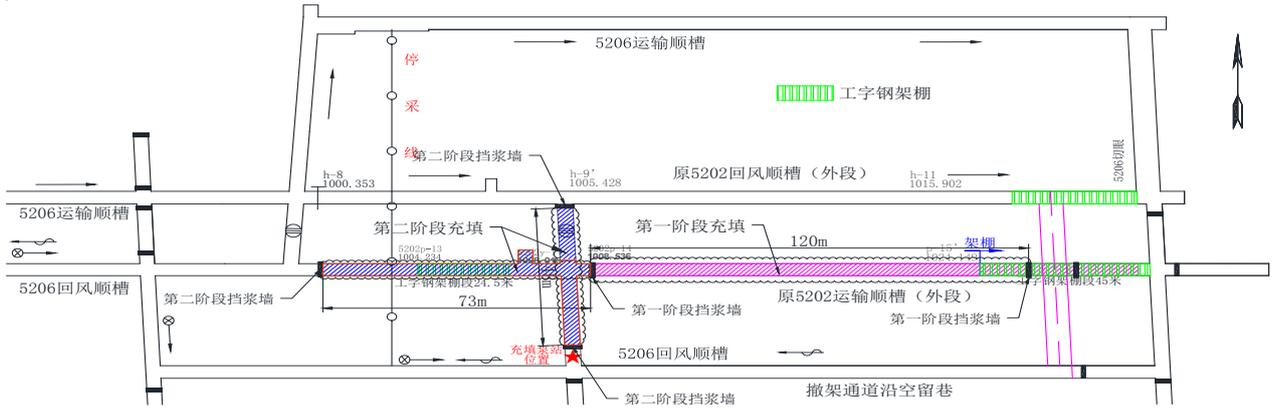


图1 充填施工平面位置示意图

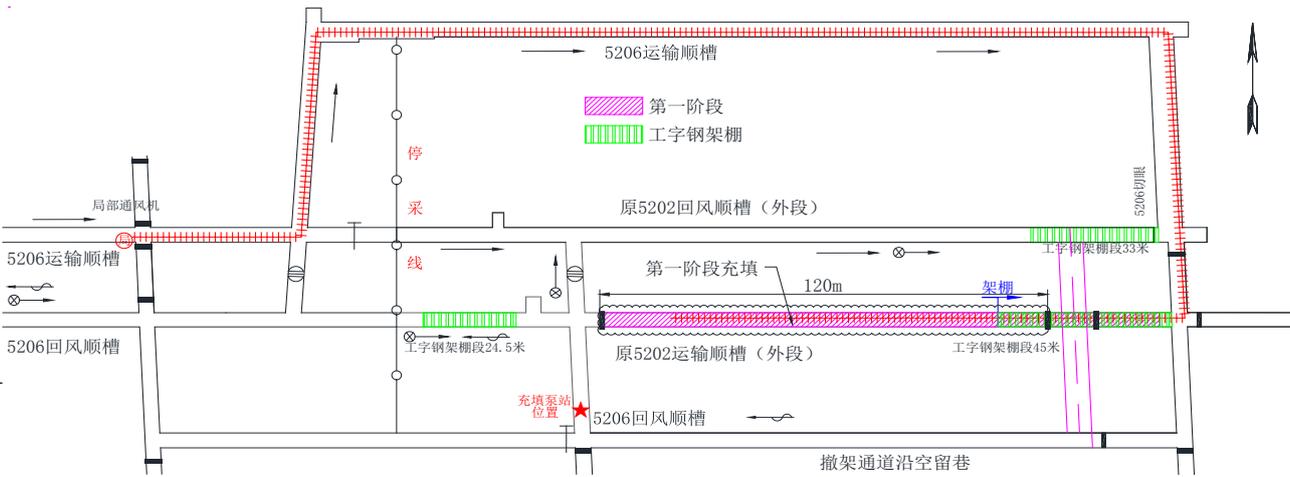


图2 5206工作面中间巷充填第一阶段示意图

4 制浆站及料场设置要求

①制浆站（充填泵站）及料场设置在5202停采线之外的运输顺槽内，制浆站应通风良好。

②制浆站巷道宽度应不小于4m，长度不小于20m。

③制浆站堆料平台应能放置两天的使用量，堆料平台底部铺设木板，若巷道顶板淋水，应挂导水风筒布。

5 管路及信号联络系统

①输料管为两趟DN90（3寸）聚乙烯管，均从制浆站

接到充填点，一趟输送甲料，另一趟输送乙料。

②充填泵与钢管之间用高压胶管过渡连接，充填钢管与混合器间也用高压胶管过渡连接，混浆管也用高压胶管。胶管与钢管间用快速接头相配合。

③每个搅拌桶应有单独清水供应管，使用DN50(2寸管)钢管。施工期间每小时供水量应不少于50~60m³。

④充填点与制浆站之间设两种信号联络系统，一种为拨号电话，另一种为具备通话和打点的信号装置。制浆站设置一台拨号电话，充填点设置一台拨号电话，充填点电话及电话线随着充填进度外移。制浆站设置一台语音信号装置，

充填点设置一台语音信号装置，充填点语音信号装置随着充填进度外移。使用打点作为信号时，要提前统一信号指令，作业时按事先规定的信号指令执行^[2]。

6 充填材料配比

高水胶凝充填材料(甲、乙料)，是一种无机复合材料粉料，具有凝固快，强度高的特点，此次充填使用比例为重量比4:1。充填料制成浆液，水料质量比如表1所示。

施工期间，材料供应每小班不小于15t，材料运输队应根据使用量要求供应充填材料。

表1 充填料制成浆液，水料质量比表

水料质量比	5号煤抗压强度	初凝时间	抗压强度			
			4H	1D	3D	7D
4:1	6.28~7.01 6.53	5~30min	0.7MPa	1.12MPa	1.4MPa	1.68MPa

7 安全技术措施

7.1 充填施工安全技术措施

①每班作业前，必须先对施工环境、使用工器具、操作的设备进行安全检查，排查事故隐患。

②按照规定及时进行敲帮问顶，用不短于3m的长柄工具及时将顶帮危岩活石摘除干净，确保施工安全。摘除活石时，人员必须站在有支护的安全地点进行，并有专人观察顶帮岩石及支护情况，其他人员躲到安全地点，清理活矸危岩完成后方可进行后续工作。

③充填过程中，厂家技术指导人员及现场充填人员，要对施工全过程工序及质量进行监督把关。

④制浆站料桶，充填点回撤的料管、风筒要及时回收，必须保持后路畅通，严禁杂物堵塞巷道影响人员撤退。

⑤充填管路连接必须牢固可靠，各接头处U型卡插到位，严禁插单腿销，严禁用铁丝代替U型卡，各螺丝扣的连接必须拧紧，作业期间要随时检查管路连接情况。

⑥充填管喷头不得正对人脸部，防止浆液突然喷出伤人，拆卸管路时应先释放压力再进行拆卸。

⑦开泵人员应密切注意泵的压力和充填点操作人员发出的指令，与充填点操作人员联系必须使用信号或电话，不得随意开停设备。

⑧当设备运转出现异常时，如压力突然增大、充填管跳动剧烈等，要立即停机，进行检查处理。

⑨每次充填前对充填设备进行严格检查，充填泵及输料管各接头要绑紧接牢，充填过程中，工作人员应观察接头情况，并避开管口位置。

⑩充填点人员观察甲、乙料浆是否连续、稳定，混合

浆体质量较好时继续充填，如果混合浆体较差，改变配比，使得浆液稳定。配浆人员应保持浆液不吸空，随时观察泵的吸浆情况，保持浆液的配比。

⑪人员搬运回撤的料管和风筒行走时，要看清路面，防止底板不平、物料阻挡或脚底打滑发生磕碰事故。

7.2 局部通风机通风管理

①风筒的吊挂和维护由施工单位负责，风筒接口要严密不漏风，风筒不落地。风筒必须按照安全生产标准化要求进行吊挂管理和维护。

②正常工作和备用局部通风机均失电停止运转后，当电源恢复时，正常工作的局部通风机和备用局部通风机均不得自行启动，必须人工开启局部通风机。

③施工单位要加强电气设备的管理和维护，加强监督、检查，杜绝电气失爆现象，每班安排责任电工确保局部通风机的正常运转，杜绝无计划停电、停风。

④局部通风机必须挂牌管理，牌板上必须注明风机功率、通风距离等参数。

⑤必须定期清扫通风机、风筒等通风设施设备上的煤尘，保证整洁。

⑥每15天至少进行一次风电闭锁和甲烷电闭锁试验，每天应当进行一次正常工作的局部通风机与备用局部通风机自动切换试验，试验期间不得影响局部通风，试验记录要存档备查^[3]。

7.3 瓦斯管理

①必须配备安装同等能力的双风机，主备局部通风机能自动切换，且局部通风机必须采用三专(专用开关、专用电缆、专用变压器)供电，实行两闭锁，风电闭锁和瓦斯电闭锁。

②充填巷道、回风流、巷内机电设备处分别设置瓦斯检查点，由瓦斯检查工每班检查不少于两次。

③出现通风瓦斯异常情况时，现场作业人员必须服从瓦斯员指挥。

④施工单位区队长、班长、电钳工和工程技术人员，必须携带便携式甲烷检测报警仪。作业前必须检查瓦斯，发现瓦斯浓度达到0.8%，立即向瓦斯检查工以及通风区汇报，附近20m范围内必须立即停止作业，撤出人员，切断电源，由通风区采取措施处理。

7.4 运输管理

①管路装车封装必须使用专用封车器，封装不少于2道。

②绞车运输，必须由专职绞车司机操作绞车，配齐信号把钩工，并严格按照操作规程作业。

③运输物料，绞车信号必须齐全、灵敏可靠，禁止使用晃灯代替声光信号装置。

④轨道运输必须使用斜坡安全设施，车辆必须使用保险绳，严禁甩开不用。

8 避灾路线

①当充填作业点出现水害、顶板灾害时，作业人员可按照以下路线进行避灾：充填巷道→5206切眼→5206运输

顺槽→二采区轨道大巷→井底车场→副斜井→地面。

②当充填作业点出现火灾、瓦斯与煤尘爆炸事故，人员首先戴好自救器，按避灾路线及时撤离危险区域，避灾路线如下：充填巷道→5206切眼→5206运输顺槽→二采区轨道大巷→井底车场→副斜井→地面。

9 结语

涉及整个操作过程中的风险问题，也是重中之重的问题。①作业前未检查作业地点有毒有害气体是否超限，形成事故隐患。②未严格执行“敲帮问顶”制度，顶帮危岩活矸掉落伤人。③充填浆液溅到皮肤和眼睛，对皮肤和眼睛造成损伤。④充填期间，管件连接不牢固，浆液渗漏或喷出伤人。⑤充填结束后，未冲洗搅拌机、混合器、输送管道，造成管路堵塞。⑥未严格按照措施规定的比例进行配比，造成浆液凝结时间延长，强度降低。

参考文献

- [1] 李庆国,顾敦清,刘雷.某煤矿工作面中间巷超高水材料充填技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2024(8):61-63.
- [2] 李延志.顺拉综放工作面中间巷围岩控制技术探索与优化[J].中国矿业,2022,31(S1):352-356.
- [3] 樊晓光.“中间巷”在突出煤层回采工作面的应用分析[J].机械管理开发,2020,35(5):126-127+129.

Key Points of Geotechnical Engineering Investigation for Mountainous Sites

Zhixiong Chen

Survey and Design Institute of Yunnan Nonferrous Geological Bureau, Kunming, Yunnan, 650217, China

Abstract

With the expansion of cities, plain areas can no longer meet the demand for land supply. In order to meet the orderly and benign development of urbanization, urban mountainous areas are also a development trend. However, the geological conditions in mountainous areas are complex and varied, with significant differences in rock and soil types and properties, which poses considerable difficulties for geotechnical engineering survey work. Due to insufficient understanding of geotechnical engineering survey in mountainous areas, project costs are increased, potential hazards and even catastrophic losses are caused. How to fully leverage the advantages of mountainous areas while ensuring engineering safety has become an important issue in geotechnical engineering investigation. The paper explores the key points of geotechnical engineering investigation in mountainous areas, in order to provide reference and inspiration for geotechnical engineering investigation in mountainous areas.

Keywords

mountain area; geotechnics; key points of survey

山区场地岩土工程勘察要点

陈志雄

云南省有色地质局勘测设计院, 中国·云南昆明 650217

摘要

随着城市扩张, 平原地区已经不能满足土地供应, 为满足城镇化有序良性发展, 城镇上山也是发展所趋。但山区的地质条件复杂多变, 岩土类型及性质差异显著, 这为岩土工程勘察工作带来了不小的难度, 因对山区场地岩土工程勘察认识不足, 增加项目成本, 隐患潜在的危害甚至导致灾难性损失。如何在确保工程安全的前提下, 充分发挥山区的优势, 成为岩土工程勘察的重要课题。论文探讨山区地区场地岩土工程勘察的要点, 以期为山区岩土工程勘察提供参考与借鉴。

关键词

山区; 岩土工程; 勘察要点

1 引言

山区场地通常具有地形复杂、地势起伏大、地质构造复杂、岩土种类分布不均匀等特点。因此, 山区岩土工程勘察的要点, 不仅是查明场地内地层岩性分布及空间展布情况、获取相应岩土层物理力学指标, 为工程设计和施工提供可靠的基础数据。同时, 应对现状地质灾害发育情况及地质灾害产生条件、断裂的存在及活动性、人工边坡的稳定性、工程建设对自然边坡的稳定性影响的评价尤为重要。如勘察、设计、施工方法不当, 不仅会造成经济上损失, 还会带来无穷后患, 这就要求在山区进行岩土工程勘察时, 更加重视工程地质测绘、水文地质调查, 采用多种勘察手段并分析

拟建场地工程地质条件, 根据缓斜坡现状、结合建(构)筑物特点分析评价不良地质现象发育及影响区域, 为后续设计提供可靠依据。

2 工程地质测绘

2.1 工作地质调绘目的、任务

工程地质测绘是工程地质勘察中一项最重要、最基本的勘察方法, 也是勘察工作中走在前面的一项勘察工作。运用地质、工程地质理论与工程建设有关的各种地质现象进行详细观察和描述。工程地质测绘目的是研究拟建场地的地层岩性、地质构造、地形地貌、水文地质条件和不良地质作用的空间分布和各要素之间的内在联系。并按照精度要求将野外工程地质调查内容如实反映在一定比例尺地形图上^[1]建筑地基的地质界线和地质观测点的测绘精度在图上的误差不应超过 3mm。并配合地质钻探、槽(井)探及各类试验等所取得的资料绘制成工程地质图, 作为拟建场地工程地

【作者简介】陈志雄(1980-), 男, 中国云南禄劝人, 硕士, 高级工程师, 从事水文地质、工程地质、环境地质、地质灾害、岩土工程研究。

质勘察重要成果。总之,工程地质测绘是一项复杂而重要的工作,它能够为建设提供详细的地质资料,为工程设计和施工提供重要的参考依据。

2.2 工作地质调绘范围及精度

在进行工程地质测绘前应搜集测绘区有关的地形地质地貌、航片、卫片及气象等资料,若拟建场地附近有完成的勘察项目,也应对其成果进行收集利用。工程地质测绘与调查范围要求包括场地及其附近地段。一般情况下,测绘范围应大于建筑占地面积,但也不宜过大,以解决实际问题的需要为前提。一般应为1:1000~1:500大比例尺测绘,地形地貌详细至微地貌单元。当工程地质条件复杂时,比例尺可适当放大;对工程有重要影响的地质单元体(如滑坡、断层、软弱夹层、洞穴等),必要时可采用扩大比例尺表示。

山区地区,拟建场地可能跨越不同地貌单元,地形坡度变化较大,拟建场地一般选择在相对较缓地段,而应受场地限制,周围一般坡度较陡,分段分区详细调查才能较全面地阐明该区的工程地质条件,为合理确定勘察手段提供依据;调查、分析研究不良地质现象应以拟建周边影响范围的地形地貌、地层岩性、地质构造、工程地质条件及水文地质条件研究为基础,并收集气象、水文等自然地理因素资料。在测绘过程中,需要详细记录有:①地形地貌及其特征、地层分布和岩土特性、构造类型和结构面产状、地下水类型、水位、补给、径流及排泄条件等孕灾地质条件;②不良地质现象的分布、规模、发育程度、变形特征、发展演化趋势及其对工程建设的影响等内容;③预测不良地质现象及特殊性岩土对工程建设的影响,提出进一步研究的重点及其防治措施。

3 水文地质调查

山区水文地质条件较为复杂,地质勘察活动可能会对地下水系统造成影响。勘察过程中的抽水、排水等操作可能会导致地下水位变化,影响周边农田灌溉、居民生活用水等方面。此外,岩土工程勘察还可能改变地下水径流条件,引发地质灾害,如地面沉降、滑坡等^[2]。因此,在山区地质勘察中,应关注水文地质影响,确保地下水资源的合理开发与保护。在山区场地调查中,地下水的研究尤为关键,以下三个方面是山区场地水文地质调查与评价的重点。

3.1 地下水分布规律

山区地下水的分布受地质结构、地形地貌、气候条件等多种因素影响。在勘察过程中,要详细研究地层的岩性、构造特征、裂隙发育情况等,分析地下水的补给、径流和排泄条件,掌握地下水的分布规律。此外,还要关注山区特殊的水文地质现象,如泉、洞穴、涌泉等,以及它们与地下水的关系。

3.2 地下水对工程建设的影响

地下水对工程建设的影响主要表现在以下几个方面:

①地下水位变化:地下水位的变化会影响基础工程的稳定性,可能导致地基不均匀沉降、滑坡等灾害;②地下水压力:地下水压力会对工程结构的抗浮稳定性产生影响,特别是有地下水分布区域,应考虑基坑肥槽效应;③地下水溶蚀作用:山区地下水中的溶解物质可能对岩石、混凝土等建筑材料产生溶蚀作用,降低工程的耐久性;④地下水污染:山区地下水污染问题不容忽视,污染物质可能对工程质量和周边环境造成严重影响。

3.3 地下水防治措施

针对山区场地地下水问题,应采取以下防治措施:①加强水文地质勘察:详细查明地下水的分布规律、动态变化和影响因素,为工程设计提供准确的水文地质资料;②优化工程设计:根据地下水情况,合理设计工程结构,提高工程对地下水影响的抵抗能力;③地下水疏排:对于地下水位过高、对工程稳定性有影响的地区,可采取地下水疏排措施,降低地下水位。

4 勘察手段及方法

在山区地区进行工程地质勘察,应根据场地工程地质测绘、水文地质调查,并结合现场工程布置、荷载、重要性等特点,选择适宜、可行的勘察方法至关重要。针对山区岩土工程勘察的要点,可以选择以下勘察方法。

4.1 钻探

山区工程地质勘察的关键环节,通过钻探获取深部地质资料,为设计单位提供可靠的地质依据。在施工条件允许时,尽量采用100型以上钻机,方便采取物理测试等岩土试验试样,若应受地形地貌等施工条件限制地段,也可配合一定数量便于搬运的轻型钻孔(如背包钻)进行钻探工程。并采取一定数量的岩(土)试样,进行实验室分析,以获取地质参数。

4.2 山地工程

在地形起伏较大,地势较陡峭,不具备钻探条件的斜坡地段采取槽探或探井工作,目的为揭露工程点覆盖层厚度、判断岩体风化程度,并采取一定数量的环刀试样,进行实验室试验,以获取地质参数。

4.3 地球物理勘探

地球物理勘探是利用地球物理方法探测地下地质结构的一种技术。在山区岩土工程勘察中,地球物理勘探方法包括:①地震勘探:通过地震波传播特性,探测地下地质结构、岩层界面等地质信息;②电法勘探:利用地下电性差异,探测地质构造、地下水等地质信息;③磁法勘探:通过地磁场的变化,探测地下地质结构、磁性矿体等地质信息。

5 工程地质分析评价

5.1 工程地质分析评价

在进行山区场地工程勘察时,首先需要对照场地的地质条件、地形地貌、不良地质现象、水文地质条件、气候环境

等方面进行综合评估^[3]。重点关注以下几个方面:

①地质条件:分析场地的地质结构、岩土性质、地质构造、地震活性等,评估地质条件对工程建设的影响。分析岩石的强度、变形、渗透性等工程性质,评价地基承载力、地基稳定性、地基变形等关键指标。

②地形地貌:研究场地地形坡度、坡向、切割深度、相对高差等,分析地形地貌对工程建设的影响。

③水文地质条件:分析地下水位、河流分布、洪涝频率等水文数据,为工程设计中的排水、防水等措施提供参考。

④气候环境:考虑场地所在地区的气候特征,如温度、湿度、降水量、风向等,评估气候环境对工程建设的影响。如洪水、干旱、地震等,评估灾害对工程建设的影响。

⑤不良地质现象:分析场地可能发生的地质灾害,如滑坡、泥石流、地面塌陷等,评估灾害对工程建设的影响。

⑥针对岩土中存在的问题,如软弱地层、膨胀土等特殊岩土,提出相应的治理措施和建议。

⑦结合建筑物类型、规模、荷载等因素,推荐合理的基础形式和地基处理方案,确保工程安全、经济、可靠。

⑧稳定性评价:山区稳定性评价是工程地质勘察的重要任务,通过对地表稳定性分析、边坡稳定性评估和地震及地质灾害预测三个方面进行全面评估,为工程建设提供科学依据,确保工程安全、可靠、稳定。

5.2 山区岩土工程勘察中的特殊问题

山区工程地质勘察中存在许多特殊问题,主要包括岩土体不均匀性、岩体风化与蚀变以及地质灾害预防与治理等方面。

首先,岩土体不均匀性是山区工程地质勘察中需要重点关注的问题。山区地形复杂,地质条件多变,导致岩土体的性质和分布具有很大的不均匀性。这种不均匀性会对工程建筑的基础承载力、稳定性以及地基处理等方面产生重要影响。因此,在山区工程勘察中,要充分研究岩土体的不均匀性,为工程设计提供准确可靠的依据。

其次,岩体风化与蚀变也是山区工程地质勘察中不可忽视的问题。山区岩体在自然环境下容易发生风化和蚀变,这会导致岩体的物理和力学性质发生变化,从而影响工程建筑的安全性和稳定性。勘察人员需要对岩体的风化与蚀变程度进行准确判断,为工程设计采取相应的防护措施提供依据。

最后,地质灾害预防与治理是山区工程地质勘察的重要内容。山区地质条件复杂,容易发生滑坡、泥石流、地面塌陷等地质灾害,对工程建筑和周边环境造成严重威胁。勘察人员需要对潜在的地质灾害进行识别和评价,为工程设计提供防治措施和建议,确保工程安全。

总之,山区工程地质勘察中的特殊问题需要引起勘察

人员的充分重视。通过科学合理的勘察方法,对岩土体不均匀性、岩体风化与蚀变以及地质灾害预防与治理等方面进行全面研究,为工程设计和治理提供准确可靠的依据,确保工程安全可靠^[4]。

6 结语

山区场地岩土工程勘察也是为满足设计及相关规范要求,总体也是解决土力学中提到的强度、刚度及稳定性问题。但因山区地形复杂,地势起伏大,地质构造复杂,岩土种类分布不均匀等特点,勘察除完成常规勘察的工作,还应对比周围工程地质条件、水文地质条件、不良地质现象,地形地貌、地层岩性、构造等进行详细调查。其一,认真完成山区场地及周围影响范围内的地质调绘工作:通过地质调绘可以了解研究区地形地貌、地层岩性、构造,水文地质条件及不良地质作用的空间分布和与场地的关系,初步判断场地稳定性及适宜性,为场址选择和勘察方案的布置提供依据。其二,认真完成水文地质调查:调查地下水分布规律、了解场地岩土体渗透性、地下水位变化等对建(构)筑物基础稳定性影响,预防因地下水作用导致的地基沉降、滑坡等地质灾害。并根据场地地下水和地下水补给、径流、排泄情况、渗漏范围及其对建筑场地的影响,设计合理的、切实可行的排水系统。其三,综合采用各种勘察手段,发挥各勘察手段的优势,既能解决一些勘察施工条件不便的困难,节省施工成本的支出,缩短施工工期,又能更全面深入地查明场地地质情况,取得可靠的试验数据。其四,查明建筑物易产生不均匀沉降的部位、原因,可合理调整建(构)筑物的位置,充分利用场地有利的地质条件,避免工程建设完成后出现的建筑物因地基不均匀沉降等原因引起的建筑体倾斜、墙体或楼面开裂等工程问题^[5]。总之,山区场地勘察由于其地势等特殊原因,勘察设计至关重要,应根据拟建场地及其周围不良地质现象发育情况、特殊岩土及构造分布发育情况进行场址选取,同时山区场地应尽量做到因地制宜、避免高挖深填,完善排水系统,并按先治理后建设原则进行项目设计,尽可能地提高工程建设的经济效益、环境效益和社会效益。

参考文献

- [1] 化建新,郑建国.工程地质手册[M].第5版.北京:中国建筑出版社,2018.
- [2] 尹金香,关倩.山前坡地场地勘察要点分析[J].科学与财富杂志,2018(10):253.
- [3] 才华,孙爱芝.山区公路工程地质勘察问题研究[J].科技致富向导,2011(2).
- [4] 张进军.山区工程勘察需注意的问题[J].岩土工程界,2008(5).
- [5] 翟运雄,刘旭文.山区场地岩土工程勘察要点[J].西部探矿工程,2006(3).

Research on Design Countermeasures of Coal Mine Gangue Filling

Chuanbin Li

Henan Pingmei Shenma Design Institute Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467000, China

Abstract

With the development of industry and the acceleration of urbanization process, the social demand for mineral resources continues to increase, which promotes the development of the coal industry, the need for relevant personnel to analyze its mining technology. As a common mining technology, filling mining needs to fill the area that has been mined, which has the advantages of high efficiency, green and environmental protection. In the process of filling mining, it is difficult to analyze the material, quantity and nature of the filling material. In order to ensure the implementation of coal gangue mining operations, relevant personnel are required to pay more attention to the filling mining technology. This paper starts with the mining of coal gangue, analyzes the advantages of filling mining technology, explores the difficulties in the application of technology, and makes specific countermeasures to ensure the smooth implementation of mining operations.

Keywords

coal gangue mining; gob area; filling mining; security control

煤矿矸石充填开采设计对策研究

李传斌

河南平煤神马设计院有限公司, 中国·河南 平顶山 467000

摘要

随着工业的发展以及城市化进程的加快, 社会对于矿产资源的需求不断提升, 由此推动了煤矿行业的发展, 需要相关人员对其开采技术进行分析。充填开采作为常见的开采技术, 需要对已经采空的区域进行填充, 具有高效、绿色、环保的优势。在充填开采过程中, 需要对充填物的材料、数量以及性质等进行分析, 具有一定的难度, 为了保证煤矸石开采作业的落实, 就要求相关人员加强对充填开采技术的重视。论文就从煤矿矸石开采入手, 分析充填开采技术的优势, 探究技术应用的难点, 并且制定针对性的对策, 以保证开采作业的顺利落实。

关键词

煤矸石开采; 采空区; 充填开采; 安全管控

1 引言

充填开采作为煤矿开采环节常见的技术手段, 需要在矿房或矿块中, 随着回采工作面的推进, 向采空区送入充填材料, 以进行地压管理、控制围岩崩落和地表移动, 并在形成的充填体上或在其保护下进行回采。充填法的优点是适应性强, 矿石回采率高, 贫化率低, 作业较安全, 能利用工业废料, 保护地表。但是也存在工艺复杂、成本高、劳动生产率和矿块生产能力都较低等缺点。所以实际施工环节, 充填开采技术的落实就需要相关人员加强对充填开采技术难点的分析, 阐述技术难点的类型, 并且制定解决的策略, 以规避技术应用可能产生的隐患, 保证开采作业的落实。

2 煤矸石充填开采技术概述

煤矸石充填开采是指利用煤矿产生的废石(矸石)填充回采空间, 以提高采煤效率、减少地表沉陷、改善矿区环境等目的的采矿方法。这种方法在煤矿开采过程中具有重要的经济和环保意义。作业环节, 需要将废石和矸石通过输送带或者运输车辆等方式运送到地面或者地下的采煤空间。这些废石会填充到已经采空的煤矿区域, 填充过程需要严格控制填充的均匀性和密实性, 以确保填充后的矿区不会发生沉陷或者其他地质灾害^[1]。总体来说, 煤矸石充填开采作为一种可持续的矿业开采方式, 对于矿区的资源利用、环境保护和安全稳定具有重要的意义, 是煤矿生产中常见的技术和实践。

【作者简介】李传斌(1985-), 男, 中国河南鹿邑人, 本科, 工程师, 从事矿山开采研究。

3 煤矿矸石充填开采技术的优势

3.1 可以提高采煤效率

充填开采可以有效地填充已经开采过的矿井空间，利用了原本会被丢弃的矸石资源。这不仅减少了资源的浪费，还提高了采煤效率，延长了煤矿的生产寿命。

3.2 可以减少地表沉陷

在传统的煤矿开采中，地表常常会因为煤炭开采导致的采空区塌陷而产生沉陷，给周围环境和建筑物带来影响。通过充填开采，可以填补这些空洞，减少或避免地表沉陷的发生，保护地表地貌和基础设施的完整性。

3.3 改善了矿区环境

充填开采可以有效地治理和利用矿区的废弃矸石，降低环境污染的风险。填充后的矿区可以恢复成平坦的地形，有利于植被恢复和环境生态的修复。

3.4 降低了环境污染

废石和矸石通常会包含有害物质，如硫化物等。通过充填开采，可以将这些有害物质隔离在地下，减少其对地表和地下水的污染风险。

3.5 可以节约资源和成本

充填开采不仅减少了煤矿的废弃物处理成本，还节约了原始开采所需的土地资源。此外，填充后的矿区可以用于其他经济用途，如农业或者工业用地，增加了资源的多功能利用。

4 煤矿矸石充填开采设计的难点

尽管煤矿矸石充填开采有诸多优势，但也面临一些技术和实施上的难点和挑战，影响开采作业的落实。此背景下，就需要相关人员对这些难点进行分析，为后续的开采奠定基础。现阶段煤矸石充填开采的难点主要体现在以下方面：首先，废石和矸石的质量和性质会对填充效果和后续的地质稳定性产生影响。选择合适的填充材料并进行适当的处理，如粒度控制、密实度等，是一个重要的技术难点。其次，填充后的矿区需要进行长期的地质监测，以评估填充效果和地质稳定性。如何准确地监测填充材料的沉陷情况、地下水位变化等，是一个挑战。再次，填充工艺的优化和控制是确保填充质量和地质稳定性的关键。这包括填充材料的输送、均匀度控制、密实度的调控等方面，需要精细的工艺管理和技术支持，难度较大。最后，充填开采涉及大量的废石和矸石的运输和填充作业，存在一定的安全风险，如坍塌、事故等。如何有效地管理和降低这些风险是一个重要的挑战^[2]。综上所述，尽管煤矿矸石充填开采技术有利于矿区的可持续发展和资源利用，但在实施过程中需要克服多方面的技术和管理难题，以确保安全、高效和环境友好。煤矿充填开采流程如图1所示。

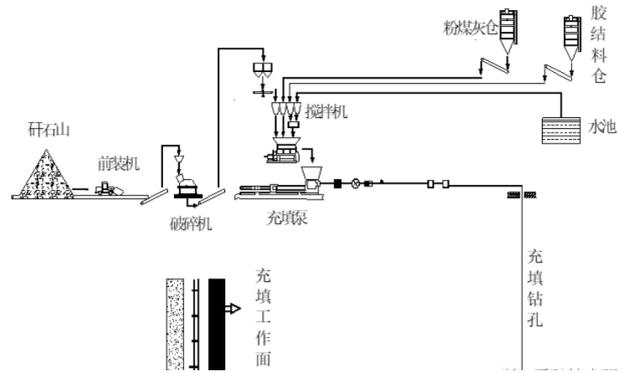


图1 煤矿充填开采流程

5 煤矿矸石充填开采设计对策

5.1 重视充填开采的材料选择与优化

煤矿矸石充填开采的填充材料选择与优化是确保填充效果和地质稳定性的关键，需要相关人员通过以下手段进行设计：

在材料选择环节，废石和矸石的物理特性（如粒度、形状、硬度）、化学成分（如硫含量）以及抗压强度等是选择填充材料时的关键考虑因素。首先，材料应具备一定的机械强度和稳定性，以保证填充后的地质结构不会发生严重变化。其次，填充材料的粒度应当均匀，适合填充空间的尺寸和形状。过于细小的颗粒可能导致填充过程中的沉陷和稳定性问题，而过大的颗粒则会影响填充材料的密实度。最后，填充材料的水分含量对于填充工艺和后续地质稳定性都有重要影响。过高的水分可能导致填充材料的沉陷和不稳定性，而过低的水分则可能影响填充过程的均匀性和密实度。

填充材料的优化方面，需要对废石和矸石进行混合和配比，以获得最佳的填充效果和稳定性。首先，混合是一种常见的技术手段，可以调节材料的力学性质和工程性能，提高填充材料的均匀性和适应性。其次，填充材料的密实度直接影响填充后地质结构的稳定性。需要相关人员通过合理的填充工艺和设备控制，提高填充材料的密实度，减少填充后的沉陷风险。最后，在填充过程中，需要控制每层填充材料的厚度和均匀性，以确保填充效果的一致性和地质稳定性。需要精确的施工计划和监控措施来实现。综上所述，煤矿矸石充填开采设计的填充材料选择与优化是一个复杂的工程问题，需要综合考虑材料的物理性质、化学特性、工程性能以及环境和安全因素，以确保填充工程的稳定性、效率和环境友好性。

5.2 对充填流程进行优化

煤矿矸石充填开采的充填流程优化是确保工程效率和填充质量的关键，需要相关人员通过以下手段进行设计：首先，在充填开采前，应进行详尽的地质勘察和地质力学分析，评估矿区内部的地质条件和稳定性。这些数据可以为充填方案的制定提供基础，帮助相关人员确定填充材料的选择和充

填方案的优化。其次,应根据地质调查结果,设计合理的充填方案,包括充填区域的划分、充填材料的选择和配比、充填层次的确定等。合理的设计可以最大限度地提高充填效率和填充后的地质稳定性。再次,可以实施逐层填充的操作流程,控制每层填充材料的厚度和均匀性。还需要采用自动化设备或者精确的操作技术,确保填充材料的均匀分布和密实度,并且利用现代化的密实度监测技术,实时监测填充材料的密实度和坍塌情况。还需要根据监测结果及时调整充填工艺,优化填充过程中的密实度控制。最后,需要制定严格的安全操作规程和应急预案,确保施工人员的安全和设备的正常运行。应实施定期的安全培训和检查,增强施工现场的安全意识和操作水平。并且实施有效的环境保护措施,减少填充过程中可能产生的粉尘、噪声等环境影响。还需要监测和控制填充材料可能对周围环境造成的潜在影响,保护生态环境^[1]。综上所述,通过合理的充填流程设计和有效的操作管理,可以显著提高煤矿矸石充填开采的效率和填充质量,同时确保工程安全和环境保护的目标得到实现。

5.3 实现全过程监督

煤矿矸石充填开采设计的全过程监督是确保充填工程安全、高效进行的关键,可以及时地发现充填环节存在的难点,并进行调整,需要相关人员通过以下手段进行设计:第一,应确保地质勘察的全面性和准确性,监督地质力学参数的获取和分析,以便为后续充填方案的制定提供准确的基础数据。还需要监督充填方案的设计过程,确保设计考虑到地质条件、安全因素、充填材料的选择和使用等关键要素,并且审查充填方案的合理性和技术可行性。第二,要重视施工过程监督,需要监督填充材料的质量控制,包括粒度分析、水分控制等预处理过程。确保填充材料的质量符合要求,并监督输送系统的建设和运行,以确保材料能够按时、按量输送到充填现场。并且实施现场监督,监督充填层次的严格执行,填充材料的均匀分布和密实度的控制,实时解决充填过程中可能出现的问题和难点。还需要强化现场安全管理,监督施工人员的安全操作和遵守安全规程。定期进行安全检查和评估,确保施工现场的安全环境。第三,要重视环境与社会监督,需要监测填充工程可能对周围环境造成的影响,采取相应的环境保护措施,确保充填过程对生态环境的最小影响。还需要遵守当地相关法律法规和社会责任要求,确保充填工程对当地社区的正面影响,促进可持续发展。第四,还需要重视后期监测与评估,需要在完工后进行长期的

地质监测和评估,跟踪填充材料的稳定性和地下水位变化,及时发现和解决可能出现的问题^[4]。通过全过程的监督管理,可以有效确保煤矿矸石充填开采设计的实施质量和安全性,最大化工程效率,同时保护环境和社会责任。

5.4 重视环保设计

煤矿矸石充填开采设计的环保措施设计可以确保在充填过程中最大程度减少对环境的负面影响,需要相关人员通过以下手段进行设计:首先,需要监测充填区域周边水体的水质,根据监测结果采取必要的水质处理措施,防止污染扩散。其次,应在充填区域和施工现场采取防止土壤侵蚀的措施,如植被覆盖、固化剂使用等。避免化学品和污染物质渗透至土壤中,通过严格的物料管理和泄漏预防措施减少污染风险。再次,在开采和充填过程中,可以采用湿式喷雾、覆盖和封闭等措施控制粉尘扩散,减少空气污染。还需要对燃烧和有害气体排放实施控制,采用排放治理设施和技术确保达标排放。最后,在充填结束后,应进行生态环境的修复和恢复工作,促进植被再生和野生动物栖息地的恢复。需要在施工过程中避免破坏当地植被和野生动物栖息地,尽量减少对当地生物多样性的负面影响。通过以上环保措施的设计与实施,煤矿矸石充填开采过程可以有效减少对周边环境的影响,实现资源的有效利用和环境的可持续保护。

6 结语

综上所述,煤矸石充填开采技术既是一种可持续发展的经济资源,也是一种环境友好型技术,其研究与应用对于促进煤炭企业的可持续发展和环境保护具有重要意义。因此,煤矸石充填开采技术的持续研究和不断推广应用,有助于推动中国绿色矿山建设,实现资源循环利用的目标。所以实际看作业环节,就需要相关人员通过上述手段对充填开采技术进行应用,以保证煤矸石的开采。

参考文献

- [1] 李胜伟.金谷煤矿矸石充填开采可行性分析与应用效果监测[J].现代矿业,2022,38(6):83-87.
- [2] 程立朝,郭翔宇,李新旺,等.煤矿矸石充填效果受夯实角影响研究[J].中国矿业,2022,31(6):101-108.
- [3] 何泽全.煤矿矸石充填材料压实变形中的力学行为研究[D].徐州:中国矿业大学,2019.
- [4] 宋桂军.寸草塔煤矿矸石充填开采技术可行性研究[C]/陕西省煤炭学会,煤矿绿色高效开采技术研究——陕西省煤炭学会学术年会论文集(2016),神东煤炭集团有限责任公司,2016.

Exploration of Application of Modern Mining Technology in Mining Engineering

Anqi Zi

Ejin Horo Banner Emergency Management Bureau, Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

In the continuous economic and social development today, the economic total of our country has been effectively improved, while mining industry as one of the effective forces promoting economic development, in the quality and efficiency of mining has high requirements. In mining engineering, mining technology is an important part of which affects the overall quality and effect of mining. It can be seen that this technology itself has profound application value. At the same time, in mining engineering, the application of this technology is influenced by different factors. In order to ensure that the mining technology can play the due role, it is very necessary to analyze and optimize the mining technology. This paper will analyze the application and exploration of modern mining technology in mining engineering, hoping to bring some reference suggestions for related personnel.

Keywords

mining engineering; mining technology; application exploration

现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探索

訾安琪

伊金霍洛旗应急管理局, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要

在经济社会不断发展的今天, 中国的经济总量获得了有效的提升, 而采矿行业作为推动经济发展的有效力量之一, 在采矿的质量和效率方面有着较高的要求。在采矿工程当中, 采矿工艺技术是其中的重要组成部分, 影响着采矿的整体质量和效果, 可见这项技术本身具有深厚的应用价值。同时, 在采矿工程当中, 对这项技术展开应用会受到不同因素的影响, 为了确保采矿工艺技术可以发挥出应有的作用, 对其进行分析与优化是十分必要的, 可以为中国采矿产业的发展奠定良好的基础。论文将对现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探索进行分析, 希望为相关人员带来一些参考建议。

关键词

采矿工程; 采矿工艺技术; 应用探索

1 引言

资源与能源作为经济发展中不可缺少的重要部分, 具备着十分关键的作用, 特别是其中的矿产资源, 在中国的经济的发展过程中扮演着重要的角色, 只有进一步提高矿产资源的开采质量和效率, 才能推动中国经济的可持续发展。目前, 中国的采矿行业也获得了一定的发展成果, 但在采矿工艺技术方面却存在着上升的空间。

2 采矿作业与采矿工程的简述

2.1 采矿作业的特征

采矿行业本身具备着较为明显的特征, 作为相关的从业人员, 需要加强对该行业的了解, 把握采购作业的基本特

征。首先是困难性方面, 采矿作业本身具备着一定的难度, 由于在实际的作业过程中, 大多需要在地下矿井中展开活动^[1], 所以很容易受到地形等方面的限制, 需要承担相应的安全性风险。其次是固定性方面, 矿产资源本身的总量是固定的, 需要经历较长的时间沉淀, 才能形成相应的矿产资源, 并不存在可再生性。因此在开采的过程中, 需要保持严谨的态度, 来选择合适的矿址。最后是流动性方面, 在采矿工作当中, 人员的流动性较强, 其主要原因是采矿工程较多, 对人员的数量有一定的要求。

2.2 采矿工艺技术的性质

在采矿工艺技术当中, 具备着较为独特的性质, 具体来说, 可以涵盖为以下内容: 第一, 采矿工艺技术会受到开采条件的影响, 所以在实际的采矿作业当中, 相关人员需要根据开采的具体状况, 来选择与之契合的开采技术。第二, 采矿工艺技术的选择会受到区域分布特征的影响, 由于不同区域的环境有着差异性, 所以相关人员需要加强对当地条件

【作者简介】訾安琪(1983-), 女, 中国内蒙古鄂尔多斯人, 本科, 助理工程师, 从事采矿工程研究。

的探究,选择合适的技术进行开采。第三,采矿工艺技术的效果会受到技术人员能力的影响,专业能力过关的技术人员自然可以让采矿工艺技术发挥出应有的作用,反之亦然,所以应选择综合素质强、专业能力过关的工作人员。

2.3 采矿工程中常见的技术问题

在具体的采矿工程当中,很容易遇到技术方面的问题。一是在采矿工程中所遭遇的问题,由于采矿工艺技术的效果会影响到采矿作业的实际质量和效率,但对实际采矿过程进行分析,可以发现许多问题的出现都和采矿工艺技术的使用不当有关,或是技术含量较低,影响了最终的开采效率。二是安全生产方面,采矿工程本身具备一定的风险性,若是没有做好现场管理工作,或是出现技术使用不当等方面的问题,也很有可能引发安全事故的发生,所以应做好安全生产方面的工作。

3 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用现状

3.1 溶浸技术

溶浸技术是当前采矿工程中常用的技术之一^[2],具体来说,是对溶浸液展开了应用,而矿石受到溶浸液的影响,会出现一定的化学反应,这对后续的开采工作来说是十分有利的。在对这项技术展开应用时,需要工作人员先对开采现场进行全方位的勘察,了解当地的地质等环境条件,并对矿产资源的分布状况进行明确,以便设定出可行性较强的开采策略。在对开采区域的矿产资源性质进行明确后,即可根据实际的需要来选择合适的溶浸液,以便为后续的开采工作奠定良好的基础。

3.2 崩落技术

在采矿工程当中,受到地形、技术等方面的影响,导致该工程具有较强的风险性,如在开采作业的实际过程中,就很容易受到危险围岩结构的影响,进而引发一系列的安全事故,给工作人员的生命健康安全带来严重的威胁。所以,对危险围岩进行相应的处理有着充足的必要性。而崩落技术则能有效地解决这一问题,作为应用程度较高的现代化采矿工艺技术,该技术可以对危险围岩进行有效的处理,提高采矿作业整体的安全性。具体来说,这一技术可以有效去除较为危险的结构与杂质,让采矿工作本身更加安全、稳定,能有效排除潜在的安全风险因素。目前,常用的崩落技术有底柱分段崩落、无底柱分段崩落这两种方式。

3.3 空场技术

在目前的采矿工程当中,空场技术也是常被应用的现代化采矿工艺技术之一,需要在开采的场所当中,对矿柱和矿房进行分隔,并利用科学的手段来逐步进行采矿作业(图1)。这一技术的优势在于可以有效提高采矿的整体质量和效率,还能在一定程度上减少安全事故的发生概率,能避免出现支撑结构变形的情况,让采矿作业更顺利地进行。在具

体的应用过程当中,相关人员需要对矿柱展开应用,使其可以保持一个支撑性的作用,在形成一个开放的空间后,即可对矿产资源进行开采。但相关人员需要注意,在使用这一技术时需要与其他的技术和设备进行结合,这样才能避免矿石变形状况的出现。



图1 空场采矿

3.4 岩体加固技术

采矿工程本身很容易受到其他因素的影响,在具体的作业过程中,如气候、地质等因素,都会影响到采矿工程整体的质量和效率,进而引发岩体结构缺乏稳定性的情况,这无疑会提高采矿作业的风险性。而岩体加固技术作为现代化采矿工艺技术中的重要组成部分,可以将空场技术、填充技术以及其他相关技术进行结合,有效提高采矿作业的安全性和效率,让该工程可以顺利地地进行。这一技术主要是利用注浆、支护等方法,对破碎的岩体或流沙进行加固处理。

3.5 填充技术

在采矿工程当中,常常需要在深层矿井进行作业,而填充技术也是现代化采矿工艺技术的一部分,常被应用于深层矿井作业当中,可以起到一定的支护作用。具体来说,这一技术主要是对胶结填充物、水沙等展开了影响,以此来提高支护结构的稳定性,让采矿工程可以更安全、有效地进行。同时,这一技术具有较强的适应性,可以有效减少开采作业的难度,因此在目前得到了广泛的应用。此外,对于岩爆、冒落等方面的问题,这一技术也能发挥出一定的作用。

4 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用前景

4.1 采矿工程技术的节能环保化

在采矿工程当中,其中的搬运作业、爆破作业不断扩大,这也让采矿作业的工作量不断变大,所以这一工程对人力和物力有着较高的要求。但在对人力、物力等相关资源进行了补充后,就很有可能引发资源浪费的问题^[3],而这无疑会对开采的质量带来不利影响,进而导致相应的经济效益有所下降。而随着对现代化采矿工艺技术的应用,目前已逐渐展现

出较强的环保性，并且可以有效地减少资源浪费的现象，让爆破、搬运等作业的成本也有所减少，以此来为开采的质量带来保障，所以需要对其进行重视。

4.2 地面沉降预警技术

在采矿工程的进行过程中，若是开采量逐渐变大，开采的深度也会随之增加，进而有可能会引发地面沉降的问题，这无疑会提高采矿工程的危险性，给工作人员的生命健康安全带来巨大的危险。而对现代化采矿工艺技术进行优化与创新后，可以从这个方向出发，在确保开采作业可以顺利进行的同时，加强对探测技术、地理信息技术的应用，以此来观察地层变动的具体状况，分析地面沉降问题的出现概率，进而提前做好预警工作，有效提高采矿作业的安全性与稳定性。

4.3 信息化和物联网技术

目前，中国已步入信息化时代，诸多领域都与信息技术产生了融合，实现了部分传统行业的转型升级。对于采矿工程来说，信息技术和物联网技术也与其进行融合，并发挥出越来越大的作用。受到这些技术的影响，采矿作业无疑变得更加高效，并走向了信息化、智能化的发展路径。同时，在面对一些较为复杂的采矿作业问题时，矿业公司也可以对这些技术展开应用，以此来解决相关问题。如在矿场中的一些重要位置，都可以被安装物联网设备、传感器等，以便于及时了解矿场的实际状况以及采矿的实际效率。而这些被收集到的数据，则能被上传到数据中心或云平台，采矿企业就可以对其进行综合性的分析，并及时对采矿策略进行调整，让采矿作业更顺利地进行。此外，在资源分配方面，信息技术也能发挥出重要的作用，进一步提高调度的效能，减少资源浪费现象的发生，让采矿作业的整体操作水平得到提升。对于采矿领域来说，信息化和物联网技术的出现，无疑是将其推动到更系统、智能的方向不断前进，让采矿领域可以拥有更光明的前途。

4.4 自动化和机器人技术

在采矿工程当中，自动化技术也能得到广泛的应用，如自动装载系统、自动化控制系统的出现，无疑可以打破传统采矿对人力的依赖性，并提高采矿工程的安全性与生产效率。同时，对机器人技术展开应用，可以将其扩展到环境较为危险的区域当中，如深海、高空这些区域，利用机器人来进行采矿等作业，可以让操作更加精确，且打破环境对人工操作的影响与限制。对于中国的采矿工程来说，自动化技术和机器人技术无疑可以为开辟全新的研究方向，并为采矿领域的发展注入新的活力。

5 现代化采矿工艺技术的创新应用发展

5.1 加强科研投入，促进技术的创新与发展

为了推动采矿工艺技术的高质量发展，需要从科研的角度方面入手，提高科研投入的力度，以此来为采矿工艺技

术的研究提供支撑。具体来说，地方政府首先需要在政策方面进行支持，如借助税收优惠、财政补贴等方面的策略，让企业可以进一步提高对采矿工艺技术的研究与创新，并进一步提高研究的力度。同时，企业也可以加强与科研机构、高校等场所的合作，让更多的人认识并参与到现场现代化采矿工艺技术的研究过程当中，如借助产学研合作，进一步提高对新技术的研究质量和效率。此外，在全球化的背景下，还可以在国际上对现代化采矿工艺技术进行交流，如借助国际人才交流等方式，让更多的人才参与到对采矿工艺技术的探究当中，为其提供新的想法、思路，进而有效提高采矿工艺技术的创新力度。

5.2 对采矿行业的政策法规进行完善

为了促进现代化采矿工艺技术的创新与发展，应对与之相关的政策、法律法规进行完善，而这些政策与法律法规可以形成高质量的监督、管理作用，对采矿领域的发展有着重要的影响。相关人员应确保所出台的政策、法律法规对采矿工艺技术的创新有着积极的作用。具体来说，不同的区域都需要加强对当地采矿行业政策、法律法规的了解，并对其进行深层次的分析，以便于做出合适的调整。同时，要确保这些政策、法律法规可以得到落实，以便于推动现代化采矿工艺技术的有效发展。

5.3 加强对采矿工艺技术人才的培育

在采矿作业当中，工作人员作为使用现代化采矿工艺技术的主体，其自身专业能力的高低，影响着技术所展现出的作用，进而关系到了采矿的整体质量和效率。为此，应加强对技术人才的培育，以便于为采矿领域的发展注入新的活力。相关机构需要提高对人才培养的重视程度，定期召开培训会议，讲解新型的采矿工艺技术。相关企业也可以适当提高招聘门槛，积极引入专业能力过关、综合素质较强的人才^[4]，以便于为采矿工艺技术的正确实施提供保障。

6 结语

目前，中国的科学技术不断深化，采矿工艺技术也随之获得了有效的优化，为了进一步发挥出该技术的作用，对现代化采矿工艺技术展开探究有着充足的必要性。相关人员也需要加强对该技术的了解，掌握该技术的应用前景与创新方向，进而为采矿工程领域的发展注入新的动力。

参考文献

- [1] 张千. 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用探讨[J]. 石河子科技, 2024(1): 19-20.
- [2] 尹鑫, 王健. 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用[J]. 价值工程, 2024, 43(3): 116-118.
- [3] 张海鹏. 现代化采矿工艺技术在非煤矿山工程中的应用[J]. 中国金属通报, 2024(1): 23-25.
- [4] 王琳. 现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(18): 154-156.

Experimental Analysis and Application of Physical and Mechanical Properties of Red Clay in a Certain Area of Guangxi, China

Ruiqi Zhang Zhongchun Huang

China Water Resources Pearl River Planning, Surveying & Desinging Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510610, China

Abstract

Red clay is a kind of high plastic clay formed after the carbonates which is reddized in hot and humid environment. It has the characteristics of swelling and shrinkage, high liquid-plastic limit and high porosity ratio. It is widely distributed in Yunnan, Guizhou, Guangxi and Guangdong in the Pearl River Basin. The soil itself also has anisotropy and spatial variability. As a typical soil with regional particularity, the actual engineering properties and foundation bearing capacity of red clay vary greatly due to the differences in hydrogeological conditions, mineral composition and structure. The differences of physical and mechanical properties of red clay in horizontal and vertical spatial dimensions are summarized based on the experimental results of several geological topics and reservoir bank investigation projects of A Water Conservancy. And the influence of different factors on the bearing capacity of red clay foundation is analyzed through the study of clay content, hydrological conditions and engineering properties of swelling and shrinking red clay, especially the influence of the rise of reservoir water level on the bearing capacity of red clay foundation in reservoir area. It provides reference for the design and construction of red clay foundation in reservoir area.

Keywords

red clay; swell-shrink characteristics; foundation bearing capacity; plate load test; in-situ test

中国广西某地区红粘土物理力学特性试验分析及应用

张瑞旗 黄忠春

中水珠江规划勘测设计有限公司, 中国·广东 广州 510610

摘要

红粘土是碳酸盐岩石在湿热环境下经红土化作用后形成的高塑性粘土, 具有胀缩性、高液塑限、高孔隙比等特性, 广泛分布于珠江流域的云贵、两广等地, 土体本身也具有各向异性、空间变异性。作为一种典型的区域特殊性土, 由于水文地质条件、矿物组成和结构性等不同, 红粘土物理力学性状及地基承载力差异较大。基于广西某地水利枢纽工程库区若干地质专题及库岸勘察项目的红粘土试验成果, 总结归纳了该地区红粘土在空间维度水平方向和垂直方向上物理力学特性差异, 通过对粘粒含量、水文条件、胀缩性红粘土工程特性的研究, 分析不同因素对红粘土地基承载力的影响程度, 尤其是枢纽蓄水后, 库水位升高对库区红粘土地基承载力的影响; 也为区域红粘土地基工程的设计和施工提供技术参考。

关键词

红粘土; 胀缩性; 地基承载力; 平板载荷试验; 原位测试

1 引言

广西某地水利枢纽库区属强岩溶发育区^[1], 以河谷阶地地貌和岩溶孤峰、残丘平原地貌为主, 基岩为灰岩、白云岩碳酸盐岩, 上覆不同厚度的红粘土^[2]。红粘土是碳酸盐岩石经热带亚热带红土化作用的产物, 珠江流域的云贵、两广等地广泛分布此类区域典型特殊土^[3], 其物理力学性质与工程特性之间的关系不同于一般粘性土, 一般呈现出遇水软化、上硬下软的趋势。枢纽蓄水抬高库区地下水位后, 势必

会影响红粘土地基工程性状, 由于它们构成各类水工建筑物的地基持力层和基坑边坡地层, 其力学强度特性影响到地基和边坡稳定性^[4], 决定着合理的工程设计及地基处理措施。广泛分布于广西地区的红粘土, 往往对该地区的水利工程建设具有至关重要的影响, 目前国内外对于水利工程中红粘土的物理力学特性及地基承载力试验分析研究较少, 因而笔者以该水利枢纽项目红粘土试验资料为依托, 对其展开深入的分析和研究, 总结出该地区红粘土的物理力学参数在空间上的分布规律、分析不同因素对红粘土地基承载力影响规律以及红粘土土体自身物理力学特性分析。该研究成果对该地区水利枢纽工程建设乃至广西区域工程建设均具有理论和实践意义^[5]。

【作者简介】张瑞旗(1990-), 男, 中国河南巩义人, 硕士, 工程师, 从事水利水电工程地质、岩土工程勘察研究。

2 红粘土的物理力学参数在空间上的分布规律

由于红粘土本身具有各向异性、空间变异性，不同地区的红粘土，其物理力学性质也存在较大差异。本次研究取武宣库区空间分布不同的场区具代表性的红粘土试样，研究

其在横向和垂向空间中分布的工程特性。

2.1 横向差异特性

统计 9 个工点地表 2m 以内的红粘土试样的物理力学试验指标详见表 1。

表 1 原生、次生红粘土物理力学性质指标

取样点	粒组含量 (%)		含水率	比重	密度	孔隙比	饱和度	自由膨胀率	线缩率	体缩率
	粉粒 (mm)	粘粒 (mm)	ω	Gs	ρ_o	e_o	Sr	δ_{ef}	δ_s	δ_v
	0.075~0.005	< 0.005	%	—	g/cm ³	—	%	%	%	%
金鸡镇	23.3	71.9	35.6	2.78	1.87	1.016	97	32	8.4	20.2
石龙镇	25.1	73.2	29.6	2.78	1.93	0.867	95	31	9.5	23.7
黄泥岭	24.7	71.1	35.0	2.75	1.85	1.007	96	31	7.9	18.5
铜岭镇	23.0	73.2	33.7	2.76	1.86	0.963	97	33	9.7	23.9
书房山	23.7	71.6	34.8	2.79	1.88	1.022	95	32	7.3	17.9
长寿沟	22.8	75.8	34.6	2.8	1.9	0.984	98	36	10.6	26.4
马王沟	24.1	70.6	27.6	2.78	1.93	0.838	92	31	5.8	16.8
龙头沟	23.6	71.3	38.9	2.78	1.79	1.157	93	32	6.6	17.2
七星河	29	66	36.2	2.76	1.85	1.032	97	29	4.7	16.4
取样点	液限	塑限	塑性指数	液性指数	含水比	压缩系数	压缩模量	黏聚力	内摩擦角	
	ω_L	ω_p	I_p	I_L	a_w	a_v	E_s	c	ϕ	
	%	%	—	—	—	Mpa ⁻¹	Mpa ⁻¹	kPa	°	
金鸡镇	56.4	26.8	29.6	0.30	0.63	0.29	6.95	43.9	19.5	
石龙镇	57.6	27.6	30	0.07	0.51	0.19	9.83	42.8	22.7	
黄泥岭	59.3	32.6	26.7	0.09	0.59	0.17	11.8	53.1	20.1	
铜岭镇	68.8	41.1	27.7	-0.27	0.49	0.23	8.53	37.6	19.4	
书房山	71.1	43.5	27.6	-0.32	0.49	0.31	6.52	39.6	18.4	
长寿沟	82.3	36.5	45.8	-0.04	0.42	0.30	6.61	41.8	21.8	
马王沟	52.1	22.3	29.8	0.18	0.53	0.18	10.21	31.6	18.4	
龙头沟	85.4	38.0	47.4	0.02	0.46	0.35	6.16	38.9	22.3	
七星河	73.8	32.3	41.5	0.09	0.49	0.27	7.53	33.5	18.8	

由表 1 数据总结某库区红粘土物理力学性质指标水平空间方向上差异不大，具备如下特点：①物性指标：粘粒含量高、天然含水率高、密度大、孔隙比大、饱和度高、高液限、高塑限、塑性较好、呈坚硬~硬塑状；②力学指标：强度较高、压缩性低、粘聚力较高、内摩擦角较低、地基承载力较高；③胀缩性指标：自由膨胀率普遍小于 37%，膨胀性微弱，体缩率一般 16%~27%，收缩性显著。

2.2 垂向分布特性

利用武宣库区管理营地项目的红粘土为研究对象，钻孔按每两米深度连续取样至基岩开展室内土工试验，研究红粘土沿垂向的物理力学特性差异，相应指标如表 2、表 3 所示。

由表 2 中的参数可见，红粘土的粘粒含量、天然含水率、孔隙比和饱和度物性指标均随深度加深呈现递增的趋势；红粘土的稠度状态一般通过含水比判断，含水比随着深度递增逐渐变大，结合现场实际情况，红粘土的稠度状态自上而下

逐渐从硬塑到可塑过渡为软塑状，即近地表 5.0m 范围内，一般处于硬塑状，大气影响层深度下呈可塑状，在岩土交界处、溶槽和溶沟中，由于受地下水的补给或毛细作用，红粘土呈软塑状，可见遇水极敏感是红粘土的特殊之一。此外，液限和塑限指标随着深度增加先增大后呈微小浮动变化。

一般粘性土在自重应力作用下排水固结，随埋藏深度增加表现出压缩性递增、土体强度增大的趋势，然而由表 3 中红粘土的力学指标可见随着埋藏深度增加压缩系数从小变大，黏聚力和内摩擦角力学指标趋于不利，垂直方向的变化是不均匀的，表现出红粘土另一特殊的工程特性。

3 不同因素对红粘土地基承载力影响分析

影响红粘土地基承载力的因素主要包括：粘粒含量、结构性、水文条件及胀缩性等。结合工程实践需要，分别分析上述各要素对地基承载力的影响。

表 2 红粘土直向物理性质指标

试样名称	取样深度	粘粒含量	天然含水率	孔隙比	饱和度	液限	塑限	含水比
	—	< 0.005	ω	e_0	Sr	ω_L	ω_p	a_w
	m	%	%	—	%	%	%	—
红粘土	1.8~2.0	65.1	34.5	1.032	92	63.0	34.4	0.55
	3.8~4.0	69.6	40.7	1.197	94	73.3	39.7	0.56
	5.8~6.0	73.6	47.0	1.360	97	80.9	43.3	0.58
	7.8~8.0	69.6	49.4	1.419	97	82.9	44.7	0.60
	9.8~10.0	76.2	49.3	1.429	96	81.5	43.4	0.60
	11.8~12.0	81.1	48.9	1.403	97	78.5	42.2	0.62
	13.8~14.0	80.6	50.3	1.433	98	79.8	42.8	0.63
	15.8~16.0	86.1	53.9	1.514	99	80.7	41.3	0.70

表 3 红粘土垂向力学性质指标

试样名称	取样深度	压缩系数	黏聚力	内摩擦角
	—	E_s	c	ϕ
	m	Mpa^{-1}	kPa	°
红粘土	1.8~2.0	0.19	52.1	20.2
	3.8~4.0	0.18	65.0	19.5
	5.8~6.0	0.20	46.2	16.9
	7.8~8.0	0.26	47.0	15.6
	9.8~10.0	0.30	38.0	14.8
	11.8~12.0	0.38	23.7	13.9
	13.8~14.0	0.35	26.9	13.7
	15.8~16.0	0.60	15.7	9.0

3.1 粘粒含量对红粘土地基承载力的影响

红粘土的粘粒含量和液限较高，粘粒含量大于 70%，液限大于 50%，而一般粘性土，粘粒含量约 40%~60%，液限约 20%，粘粒含量不同，亲水性差异明显。统计两广地区粘粒含量 40%~53%、含水率指标接近的不同粘土地基平板载荷试验成果（见图 1），对比一般粘土与红粘土地基承载力 P—S 曲线的差异。

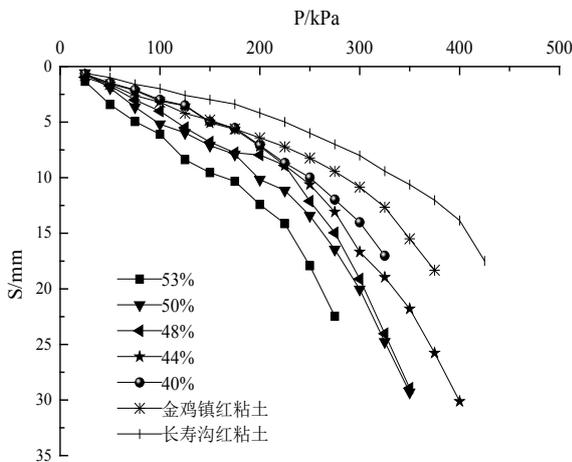


图 1 不同粘粒含量红粘土地基承载试验 P—S 曲线

由图 1 可知，与一般粘土相比，金鸡镇、长寿沟红粘土的线弹性变形阶段更长，比例界限荷载相对较大，相同荷

载作用产生的形变相对较小，反映了红粘土具有较高的地基承载力和较强的结构性。相比而言，一般粘性土经搬运、沉积等过程后，颗粒结构受到破坏，导致 P—S 曲线呈抛物线状，加载起始段也未能体现显著的直线段。

3.2 物理性质对红粘土地基承载力的影响

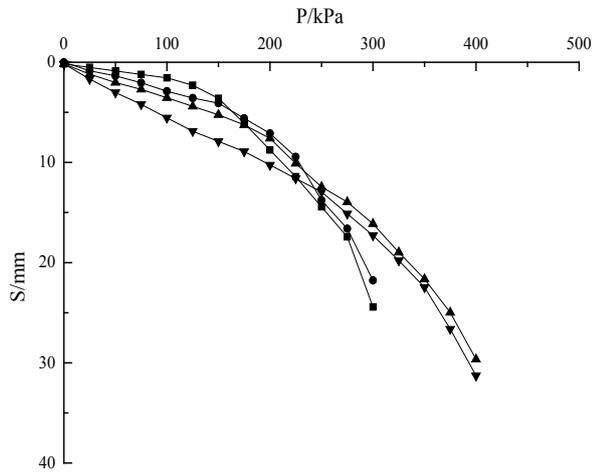
为探究红粘土地基承载力与其物理性质之间的关系，收集两广地区有关红粘土地基平板载荷试验及其地基土的物理指标成果资料，统计分析物理指标对地基土载荷试验 P—S 曲线的影响。不同地区红粘土物理性质指标见表 4。

表 4 不同地区红粘土物理性质指标

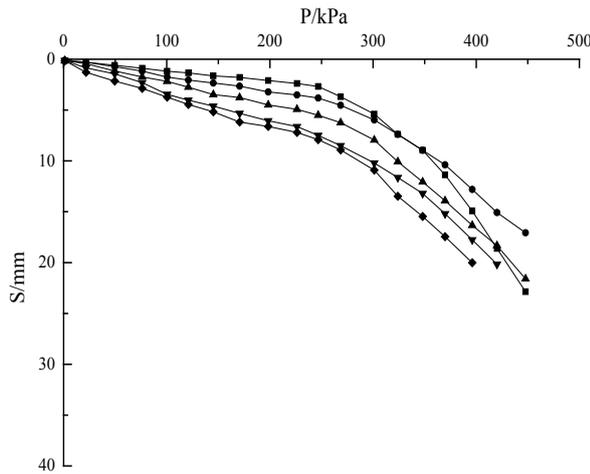
编号	含水率	孔隙比	液限	液性指数	含水比
	ω	e_0	ω_L	I_L	a_w
	%	—	%	—	—
1#	42~65	1.097~1.876	54~83	0.33~0.85	0.57~0.98
2#	25~53	0.799~1.524	39~78	0.14~0.55	0.47~0.77
3#	31~44	0.956~1.119	51~68	-0.23~0.15	0.54~0.63

由图 2 可知，1# 红粘土地基 P—S 曲线的线弹性阶段最短，对应的比例界限值 100~200kPa，塑性变形区间较短，地基土快速达到极限破坏状态；2# 红粘土地基 P—S 曲线的线弹性区间较长，对应比例界限为 200~250kPa，经历一定的塑性变形后才达到破坏状态，相同荷载下地基土产生的变形大于 1# 红粘土地基；3# 红粘土地基 P—S 曲线的线弹性

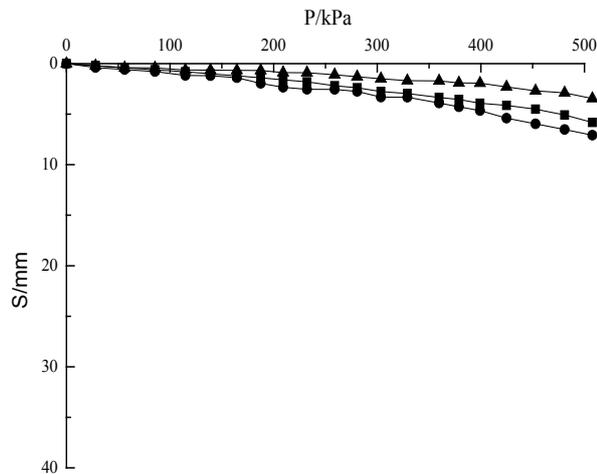
阶段最长,荷载达400kPa时地基土仍处于线弹性阶段,相同荷载作用下地基土变形也最小。



(a) 1# 红粘土



(b) 2# 红粘土



(c) 3# 红粘土

图2 不同物理性质红粘土的地基载荷试验P—S曲线

根据红粘土物理指标及地基土载荷试验的P—S曲线,

总结如下:

①液性指数对红粘土地基承载力影响最显著。由于液性指数反映了粘性土所处的状态及软硬程度,随着液性指数由大到小的变化,红粘土由可塑状态变为硬塑~坚硬状,对应的P-S曲线由局部剪切破坏向整体破坏过渡。

②含水率对红粘土地基影响明显。总体来看,随着含水率的减小,地基承载力逐渐增大。但是由2#、3#个别地基土载荷试验数据表明低含水率对应的地基承载力不一定更大,含水率低时若液塑限同样较低,则对应的红粘土仍很软,承载力较低,说明红粘土的地基承载力还受到其他特性指标的影响。

③红粘土的孔隙率、液限和含水比等指标也与地基承载力有密切关系,承载力总体上随孔隙率和含水比的减小而增大。

3.3 胀缩性对红粘土地基承载力的影响

某库区红粘土的膨胀性微弱,但收缩性较强。由于红粘土反复干湿循环胀缩作用在土体内形成网状裂隙,破坏土体完整性,降低了红粘土地基的力学强度。对比裂隙发育程度对红粘土地基承载力的影响。

由图3可知,地基土发育裂隙,当上覆荷载较小时,地基土不会因裂隙发育导致正常工作状态遭到破坏,但当荷载增加到一定程度后,土体的应力状态将达到一定限度,局部裂隙密集的部位有可能率先发生塑性变形,继而由于土体内裂隙的增加、延伸和贯通,从而加剧导致地基整体性破坏的可能性,地基承载力的可靠性降低,对应的红粘土地基表现出裂隙剪切型的破坏模式。当裂隙不发育~稍发育时,红粘土地基则表现为正常压密型的破坏模式。

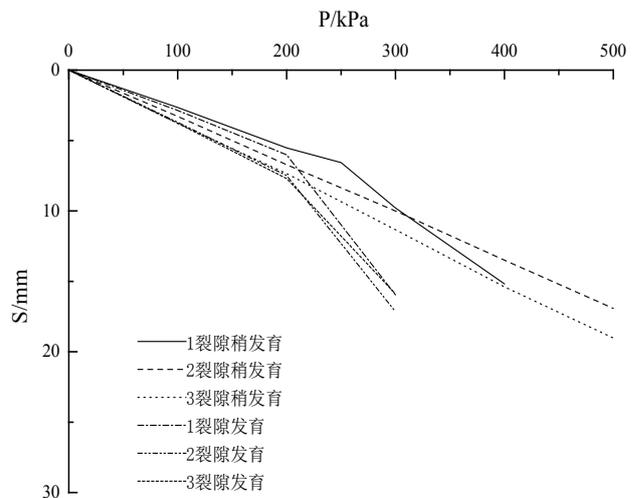


图3 不同裂隙发育程度地基载荷试验P—S曲线

4 与其他细粒土的对比分析

为对比分析红粘土与其他细粒土的差异,选取红粘土、膨胀土、低液限粉土、低液限粘土等细粒土地基的平板载荷试验数据,相关P—S曲线如图4~图7所示。

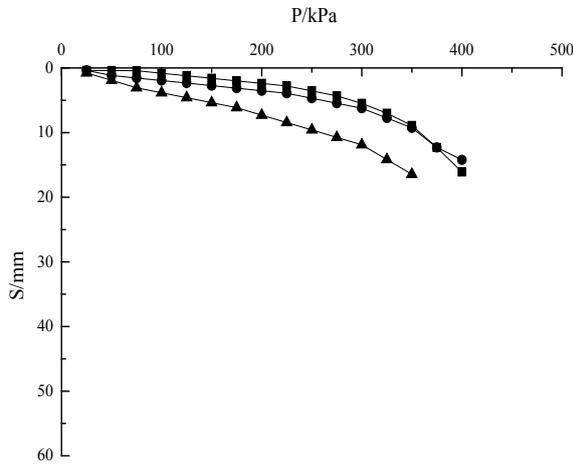


图4 武宣红粘土平板载荷试验 P—S 曲线

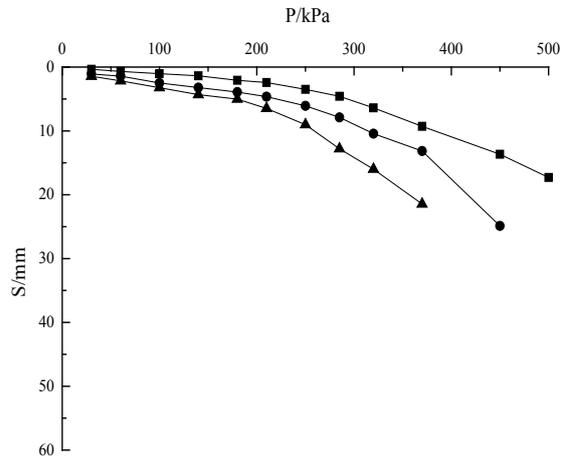


图5 膨胀土平板载荷试验 P—S 曲线

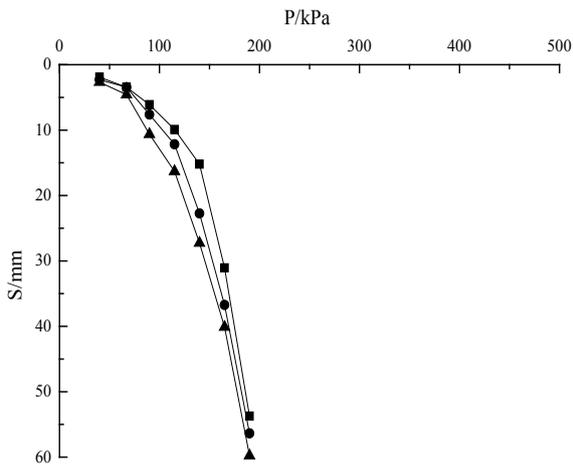


图6 低液限粉土平板载荷试验 P—S 曲线

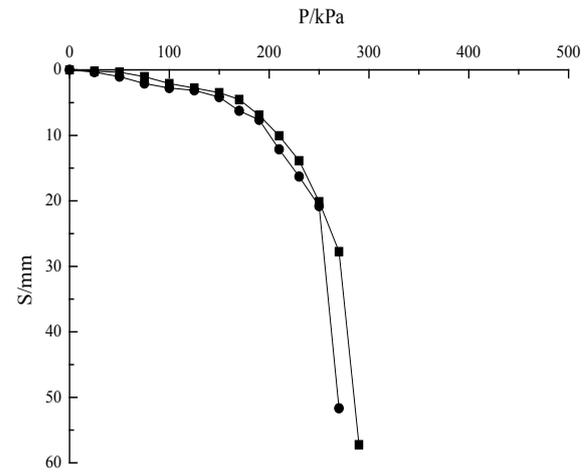


图7 低液限粘土平板载荷试验 P—S 曲线

由图4~图7可知,红粘土与膨胀土、低液限粉土、低液限粘土地基的载荷试验 P—S 曲线形状和地基承载力大小均有一定的差异。相比低液限粉土和低液限粘土,红粘土和膨胀土的线弹性变形阶段更长,比例界限荷载相对较大,对应的地基土承载力更高,而低液限粉土和低液限粘土快速达到极限破坏状态。分析各种细粒土的矿物组成不难发现,细粒土的颗粒组成成分、自身结构性是影响其地基承载力大小的主要因素。红粘土自身结构性强、粘粒含量高、可塑性好,地基承载力一般 160~240kPa;膨胀土和低液限粘土具有一定结构性,颗粒组成中粘粒和粉粒均占一定比例,对应地基承载力一般 100~180kPa;相比之下,低液限粉土自身土体结构性差、粉粒含量高、水稳定性差,地基承载力一般 70~120kPa。

5 结论

①某库区红粘土的物理性质和力学性质在水平方向上差异不大,具有高液限、高塑限、塑性较好、饱和度高、收缩性显著等特性。②垂直方向自上而下,含水率、孔隙比、饱和度、含水比等指标逐渐增大,稠度性状逐渐变软,工程特性逐渐变差。③相比两广地区其他一般性粘土,某库区红

粘土膨胀性微弱、结构性强、可塑性好及地基承载力相对较高等工程特性。④总体上红粘土的地基承载力随孔隙率、液限及含水比的增大而减小,各物理指标中液性指数对地基承载力影响最明显。⑤红粘土地基承载力及其破坏形式受其裂隙发育程度的影响,随着裂隙发育程度的增加地基承载力表现出逐渐下降的趋势,地基的破坏形式则由正常压密型向裂隙剪切型过渡。⑥相比其他细粒土,红粘土土体自身结构性强,粘粒含量高,可塑性较好,具有更高的强度特性。

参考文献

- [1] 王毓华.中国红土及红粘土分布特征[A].中国工程地质新进展论文集[C].成都:成都科技大学出版社,1989.
- [2] 左权,王清,唐大雄.华南湘赣粤地区红层残积红土的工程地质研究[J].长春地质学院学报,1994,24(1):70-76.
- [3] 韦贞景.桂中治旱乐滩水库引水灌区工程主要工程地质问题及处理建议[J].广西水利水电,2007(5):5-7.
- [4] 赵颖文,孔令伟,郭爱国,等.广西红粘土击实样强度特性与胀缩性能[J].岩土力学,2004,25(3):369-372.
- [5] 王焕新.广西红粘土填筑性能及土质学特征[D].南宁:广西大学,2012.

Research on Clean and Efficient Utilization of Coal Resources and Circular Economy Model

Guodong Li

Shenmu City Sunjiacha Town Hexi Joint Office Coal Mine Co., Ltd., Ulanqab, Inner Mongolia, 719314, China

Abstract

This paper takes the clean and efficient utilization of coal resources as the starting point, and explores the research path and method under the circular economy model. Firstly, it analyzes the current situation of coal resources and the main problems, including resource waste, pollution discharge and so on. In order to solve these problems, a circular economy model of coal resources is proposed under the guidance of the concept of clean production and efficient utilization, including the recycling of resources, the recycling of waste and the optimization of clean production process. Secondly, combining theoretical analysis and empirical research, it is proven that the circular economy model can effectively improve the utilization efficiency of coal resources, reduce pollution emissions, and achieve coordinated development of the economy, society, and environment. Finally, the paper puts forward some concrete suggestions to promote the implementation of circular economy model in the utilization of coal resources. The results of the study will help promote the sustainable development of the coal industry and provide reference for policy makers.

Keywords

circular economy model; clean and efficient utilization; coal resources; pollution discharge; sustainable development

煤炭资源清洁高效利用与循环经济模式研究

李国栋

神木市孙家岔镇河西联办煤矿有限公司, 中国·内蒙古 乌兰察布 719314

摘要

论文以煤炭资源的清洁高效利用为出发点, 探索了循环经济模式下的研究路径和方法。首先, 分析了煤炭资源的使用现状以及存在的主要问题, 包括资源浪费、污染排放等。针对这些问题, 提出了在清洁生产和高效利用的理念指导下, 构建煤炭资源的循环经济模式, 包括资源的循环使用、废弃物的资源化和清洁生产过程的优化。其次, 结合理论分析和实证研究, 证明循环经济模式可以有效提高煤炭资源的利用效率, 减少污染排放, 实现经济、社会 and 环境的协调发展。最后, 提出了推动循环经济模式在煤炭资源利用中实施的具体建议。研究结果有助于推动煤炭行业的可持续发展, 为政策制定者提供决策参考。

关键词

循环经济模式; 清洁高效利用; 煤炭资源; 污染排放; 可持续发展

1 引言

煤炭很重要, 可以帮助世界工业化。但是, 煤炭使用也出现了很多问题, 如浪费资源、污染空气等, 对大自然和我们的健康都不好。论文告诉我们应该怎么用煤炭才能既节省又不污染环境, 还研究了这个方法是否真的有效。

2 煤炭资源现状与挑战

2.1 煤炭资源利用现状分析

煤炭资源作为全球主要的能源之一, 在世界各国的能源结构中占据着重要地位^[1]。其广泛应用于电力、冶金、化

工等多个领域, 为经济发展提供了强有力的支撑。近年来, 随着工业化进程的加快和能源需求的不断增长, 煤炭的消费量持续攀升, 尤其在中国、印度等新兴经济体, 煤炭依然是主要的能源来源。煤炭资源的高强度开采和广泛使用也带来了诸多问题和挑战。

当前, 全球煤炭资源的开采和利用呈现出明显的地域差异和行业特征。发达国家逐步减少煤炭在能源结构中的比例, 转向清洁能源, 而发展中国家则依赖于煤炭以满足其经济增长和能源需求。中国作为全球最大的煤炭生产和消费国, 其煤炭资源利用现状尤为突出。中国煤炭资源储量丰富, 但分布不均衡, 主要集中在山西、内蒙古、陕西等地。由于这些地区的地理条件和经济发展水平不一, 煤炭资源的开采和利用方式也存在显著差异。

在煤炭资源的利用过程中, 存在着资源浪费和环境污

【作者简介】李国栋(1991-), 男, 中国内蒙古乌兰察布人, 本科, 工程师, 从事煤矿开采技术研究。

染的问题。传统的煤炭开采方式不仅对地质环境造成破坏，还导致了资源的低效利用。矿区的生态环境遭到破坏，水土流失和土地塌陷现象严重。煤炭在燃烧过程中释放大量的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物，成为空气污染的重要来源。尤其是在燃煤电厂和工业锅炉中，煤炭的燃烧效率低下，污染物排放量大，对空气质量和公众健康产生了不利影响。

随着环保意识的增强和可持续发展理念的普及，煤炭资源利用的清洁化和高效化成为迫切需要解决的问题。提高煤炭利用效率，减少污染物排放，是实现资源可持续利用的关键。近年来，煤炭清洁利用技术不断发展，包括煤炭洗选、洁净煤技术、煤气化和液化技术等，旨在降低煤炭利用过程中的环境影响，提高能源转换效率。这些技术的推广和应用，对改善煤炭资源利用现状具有重要意义。

总体来看，煤炭资源的利用现状复杂多变，既有经济发展的推动力，也面临资源和环境的双重压力。煤炭资源利用效率的提升和环境污染问题的解决，离不开技术创新和政策支持。在未来的发展中，如何平衡经济增长与环境保护，推动煤炭资源的清洁高效利用，将成为亟待解决的重要课题。

2.2 煤炭资源利用中存在的问题

煤炭资源利用中存在的问题主要体现为资源浪费、环境污染和技术阻碍等方面。资源浪费是煤炭利用中的首要问题。传统煤炭开采和使用方式往往存在资源利用率低下的问题，导致大量煤炭资源未能得到有效开发和利用。在开采过程中，由于技术设备落后，造成矿井塌陷、煤炭损失以及资源浪费等现象。许多煤炭企业在初级加工环节中存在散失和浪费，进一步加剧了资源浪费的情况。

环境污染问题突出。煤炭在燃烧过程中释放出大量的有害气体如二氧化硫、氮氧化物和一氧化碳等，加剧了空气污染，严重危害生态环境和人体健康^[2]。煤炭开采过程中的矿井废水、废弃物堆放以及煤化工生产过程中产生的工业废水和废渣，常常未经处理直接排放，导致土壤、水体和大气环境的二次污染。煤炭运输也容易造成煤尘对大气的污染。

技术阻碍问题也是煤炭资源利用中的关键难题。煤炭清洁高效利用的相关技术仍然不成熟，技术创新和推广面临瓶颈^[3]。先进的煤炭清洁燃烧技术、煤化工技术尚未得到大规模应用，相关技术设备昂贵且维护成本高，制约了煤炭资源的高效清洁利用。国内煤炭企业在技术研发和引进方面投入有限，缺乏技术人员和科研力量，也是导致技术水平难以提升的重要因素。

这些问题的存在，不仅影响了煤炭资源的高效利用和环境保护，也制约了煤炭行业的可持续发展。要解决这些问题，需要从技术创新、政策引导和行业规范等多方面入手，推动煤炭资源的清洁高效利用。

2.3 清洁高效利用的必要性与挑战

煤炭资源的清洁高效利用在现代能源体系中具有重要

意义和迫切性。传统的煤炭开采和使用方式常伴随大量污染物排放，如二氧化硫、粉尘、氮氧化物等，严重影响环境质量。资源浪费现象也较为突出，未能充分发挥煤炭资源的潜在价值。煤炭作为不可再生资源，其过度开采对生态环境造成不可逆转的损害。实现煤炭资源的清洁高效利用，不仅是保护生态环境的需要，也是能源安全和经济可持续发展的要求。

面对这一需求，一系列技术和管理的挑战需要突破。现有的煤炭加工与利用技术仍需进一步优化以降低环境污染和提升能源利用效率。清洁生产技术的发展需考虑现有工业布局和经济成本，宜采用高度集成和智能化的调控手段。循环经济模式的推行需建立完善的政策支持体系与有效的激励机制，确保各利益相关者积极参与到资源高效、循环利用的实践中来。这些挑战的解决对于实现煤炭行业的绿色转型具有决定性意义。

3 煤炭资源的清洁高效利用原则与策略

3.1 清洁生产理念下的煤炭资源利用

在清洁生产理念下，煤炭资源的利用强调通过优化生产流程、减少污染排放和提高资源利用效率，实现环境保护与资源可持续开发相结合。清洁生产理论的核心在于预防污染和环境治理，其重点体现在全过程的控制与优化，这不仅仅局限于末端治理，更关注源头预防和过程控制。

煤炭资源利用的清洁生产需要从源头上减少矿山开采过程中对环境的影响。在矿山开采阶段，通过采用先进的矿井设计和开采技术，减少煤炭资源的浪费，降低废弃物的产生。例如，煤矸石作为开采过程中的固体废弃物，可通过技术手段进行资源化利用，如制作建筑材料或者充填采空区，以减少环境负担。

在煤炭洗选环节，清洁生产的理念同样需要贯彻执行。通过引入高效的洗选设备和工艺，能够有效提高原煤的质量，降低灰分和硫分含量，最终降低燃烧时的污染物排放。洗选过程中产生的煤泥和洗矸，同样可以作为资源进行再利用，如煤泥可以经过压滤脱水后返煤利用，而洗矸可用于路基材料等。

燃煤过程中，采用清洁燃烧技术是实现煤炭高效利用的关键。现代煤炭燃烧技术如流化床燃烧、超超临界发电等，不仅能提高燃烧效率，还能有效减少污染物的排放。以此推进烟气脱硫、脱硝、除尘等末端治理技术，进一步降低二氧化硫、氮氧化物和颗粒物的排放量，改善大气环境质量。

清洁生产还强调废弃物的循环再利用和综合治理。例如，燃煤过程产生的煤灰和炉渣，经过处理后可用作水泥生产的原料或道路建设材料，一方面减少了固体废弃物的排放，另一方面实现了资源的循环利用。

在政策和管理层面，推动煤炭行业落实清洁生产理念同样至关重要。通过制定严格的环保法规和标准，设立清洁生产专项资金和奖励机制，激励企业积极采用清洁技术，并

加强监督管理和技术指导,确保清洁生产理念在全行业得到贯彻落实。

3.2 煤炭资源循环利用与废弃物资源化

煤炭资源循环利用和废弃物资源化是实现煤炭资源可持续利用的重要途径。在循环经济模式下,煤炭资源的利用不再是简单的线性过程,而是一种闭环系统,通过资源的多次利用和最大化价值提取来减少环境负担。

在煤炭开采和利用过程中,产生大量废弃物,包括煤矸石、煤灰、废水等,这些废弃物若处理不当会对环境造成严重污染。废弃物资源化旨在将这些废弃物转化为有用资源,通过技术手段实现循环利用,提高资源利用效率,并减少对环境的负面影响。

实施煤炭资源循环利用和废弃物资源化,需要技术创新和政策支持。技术创新包括废弃物处理技术、资源再利用技术、清洁煤技术等。这些技术的应用不仅可以减少环境污染,还能创造新的经济价值并推动相关产业的发展。政策支持则涵盖法规制定、经济激励、技术推广等方面,旨在鼓励企业和社会积极参与循环经济活动,形成良性循环的机制。

通过资源的循环利用和废弃物的资源化,可以显著提高煤炭资源的综合利用效率,减少资源浪费,降低环境污染,实现经济效益、环境效益和社会效益的统一。此种模式的推广有助于促进煤炭行业的可持续发展,为实现更广泛的绿色经济目标提供了重要路径。

3.3 清洁生产过程的优化与技术创新

清洁生产过程的优化与技术创新是推动煤炭资源清洁高效利用的关键环节,是实现可持续发展目标的重要途径。通过优化生产工艺,减少能源消耗和污染排放,是清洁生产的核心要素。先进的选煤技术可以有效提高煤炭纯净度,减少废弃物的产生率。在煤炭加工过程中,加强预处理和深加工技术研究,如煤炭气化、液化和干馏等,不仅实现了资源的高效利用,还显著减少了有害物质的排放。

智能化和自动化技术的应用,可以实现煤炭生产过程的精细化管理,提升生产效率。利用大数据分析和人工智能技术,可以对生产过程中产生的数据进行实时监测和优化决

策。污染治理技术创新也是优化清洁生产过程的重要方向,诸如高效脱硫脱硝技术、二氧化碳捕集与封存技术等,有助于大幅减少污染物排放量。

供应链的绿色管理同样不可忽视,通过建立信息共享平台和协同管理机制,提高整个供应链的资源利用效率。从技术创新和管理优化相结合的角度,推动煤炭矿区生态修复以及废弃矿山再利用,形成资源、环境与社会的良性循环体系,不仅提高了煤炭资源的清洁高效利用水平,也为整个行业的绿色转型和高质量发展提供了坚实基础。

4 结语

论文通过深入研究煤炭资源的清洁高效利用及其在循环经济模式中的应用,为解决煤炭资源利用中存在的资源浪费和环境污染等问题提供了切实可行的方案。通过构建以清洁生产和高效利用为核心的循环经济模式,论文不仅理论上展现了煤炭资源循环利用的可能性与必要性,也通过实证研究证明了该模式在提高资源利用效率、减少环境污染方面的有效性。研究结果对促进煤炭行业的可持续发展具有重要意义,并能为相关政策的制定提供科学依据。然而,需要注意的是,循环经济模式的实施并非一蹴而就,其在煤炭资源利用中的推广应用面临技术、经济、政策等多方面的挑战。未来的研究需进一步深入探讨如何在现有经济体系和技术条件下,更有效地推进循环经济模式的实施,包括优化政策环境、增强公众环保意识、加大技术创新和推广力度等方面。综上所述,通过进一步的理论创新和实践探索,推动循环经济模式在煤炭资源利用领域的深入应用,对于实现资源节约型、环境友好型社会构建具有重要的现实意义和深远的发展前景。

参考文献

- [1] 李珂.我国煤炭资源清洁高效利用现状及对策建议[J].内蒙古煤炭经济,2020(15):175-176.
- [2] 蒋丽萍.煤炭资源高效回收利用探讨[J].中国科技投资,2021(14):128.
- [3] 曹代勇,宁树正,魏迎春,等.构造控煤作用研究新进展与煤炭资源清洁高效利用[J].中国煤炭地质,2019,31(1):8-12.

Application of Multi-source Data Fusion in Geological Hazard Monitoring

Jiang'e Zhang

Qinghai Nonferrous Third Geological Exploration Institute, Xining, Qinghai, 810001, China

Abstract

Geological hazards are one of the important factors affecting the earth's ecological environment, and their prediction and monitoring are particularly important for the protection of ecological environment. This study proposes a geological hazard monitoring method based on multi-source data fusion, which integrates multi-source data such as remote sensing, geographic information systems (GIS), and geophysics to better characterize the geological environment and improve the accuracy of geological hazard prediction and monitoring. The experimental results show that compared with single source data, multi-source data fusion can more accurately and comprehensively determine the disaster area and the possibility of disaster occurrence, thereby improving the prediction and monitoring efficiency of geological disasters, early warning, and reducing disaster losses. At the same time, we also discuss the application of multi-source data fusion in complex geological environment, and find out its broad application prospect in geological disaster monitoring. The results of this study provide a useful methodology reference for adopting multi-source data fusion in geological hazard monitoring, and help to promote the development of geological hazard monitoring technology.

Keywords

multi-source data fusion; geological disasters; remote sensing; geographic information system; geological environment monitoring

多源数据融合在地质灾害监测中的应用探索

张江娥

青海省有色第三地质勘查院, 中国·青海 西宁 810001

摘要

地质灾害是影响地球生态环境的重要因素之一,其预测和监测对生态环境保护尤为重要。本研究提出了一种基于多源数据融合的地质灾害监测方法,该方法通过融合遥感、地理信息系统(GIS)和地球物理等多源数据,更好地刻画地质环境,提高地质灾害预测和监测的精度。实验结果表明,与单一源数据相比,多源数据融合能更准确、全面地判断灾害区域和灾害发生的可能性,从而提高地质灾害的预测和监测效能,早期预警,降低灾害损失。同时,我们还探讨了多源数据融合在复杂地质环境中的应用,找出了其在地质灾害监测中的广阔应用前景。该研究结果为在地质灾害监测方面采用多源数据融合提供了有益的方法论参考,有助于推动地质灾害监测技术的发展。

关键词

多源数据融合; 地质灾害; 遥感; 地理信息系统; 地质环境监测

1 引言

地质灾害对我们的生命财产和环境有很大威胁。随着气候变化和人类活动增加,地质灾害变得更频繁和危险。单一数据源监测地质灾害有局限,不能全面准确地反映地质环境。为了更好地预测和监测地质灾害,我们提出了一种结合多种数据的方法。这种方法融合了遥感数据、地理信息系统(GIS)和地球物理数据,可以更全面准确地监测和预测地质灾害。实验结果表明,这种多源数据融合方法比单一数据源更有效,能更好地预测灾害区域和发生可能性,并有助于

早期预警和减少损失。未来的研究将继续优化这一方法,并探索其在更复杂环境中的应用,以便更好地保护生态环境和减少灾害损失。

2 多源数据融合技术概述

2.1 多源数据融合的定义与原理

多源数据融合是指将来自不同传感器、测量系统或信息源的数据,通过一定的算法和技术手段进行综合处理,以获得更准确、更全面的信息^[1]。这种技术广泛应用于多个领域,包括地质灾害监测。在地质灾害监测中,多源数据融合的定义和原理涉及数据采集、数据处理和信息集成等多个环节。

多源数据融合的核心在于数据的互补性和冗余性。不同数据源在空间、时间和内容上各有优劣,通过融合可以弥

【作者简介】张江娥(1992-),女,本科,助理工程师,从事地质灾害研究。

补单一数据源的不足。例如,遥感数据提供了大尺度、连续的地表信息,但其空间分辨率和时间分辨率可能不足;而地理信息系统(GIS)数据则包含丰富的地形、地质等信息,但更新频率较低。通过将这些数据源进行融合,可以获得更为准确的地质环境信息,提高地质灾害预测和监测的精度。

在数据融合的过程中,需要进行数据预处理,包括数据的格式转换、坐标统一、噪声去除等步骤。数据预处理是保证数据融合质量的基础。预处理后的数据需要进行配准,即将不同源的数据按照空间或时间进行对齐,使得它们在同一个参考框架下能够进行比较和综合。

数据融合的方法主要包括数据层融合、特征层融合和决策层融合。数据层融合直接对原始数据进行综合处理,适用于数据同质性较高的情况。特征层融合则是提取各数据源的特征信息,进行特征的匹配和组合,以生成新的特征集。这种方法能够充分利用各数据源的优势,但对特征提取和匹配算法要求较高。决策层融合是在各数据源分别进行分析和处理后,将各自的分析结果进行综合决策。这种方法适用于数据源之间差异较大的情况,可以通过多重证据理论、贝叶斯推理等方法进行决策融合。

在地质灾害监测中,多源数据融合不仅可以提高单一数据源的监测精度,还可以通过冗余信息提高监测系统的可靠性和鲁棒性。例如,在滑坡监测中,可以通过融合地表形变的遥感数据、地下水位变化的地球物理数据以及降雨量的气象数据,综合分析滑坡的发生概率和影响范围。

多源数据融合技术的发展,为地质灾害监测提供了新的途径和手段。通过不同数据源的综合应用,可以更全面、准确地捕捉地质环境的变化,提高灾害预测的准确性和及时性,从而在灾害预警和应急响应中发挥重要作用。

2.2 地质灾害监测中常用的数据源

地质灾害监测中常用的数据源主要包括遥感数据、地理信息系统(GIS)数据和地球物理数据等。这些数据源各自具有独特的优势和应用场景,为地质灾害监测提供了多层次、多维度的信息支持。

遥感数据在地质灾害监测中占据重要地位,其通过卫星、无人机等平台获取地表影像和相关信息,能够覆盖大范围区域,具备高时效性和高分辨率的特点^[1]。遥感技术可以监测地表形变、植被覆盖变化、地质结构变动等,为地质灾害的早期识别和评估提供重要依据。

地理信息系统(GIS)数据则通过整合空间和属性信息,建立地质灾害监测的空间数据库。GIS技术可以将地形、地质、气象等多种数据进行叠加分析,形成灾害风险评估模型,便于对地质灾害的分布特征和发展趋势进行可视化展示和分析。GIS还支持空间数据的动态更新和实时监测,提高了地质灾害预测和应急响应的效率。

地球物理数据主要包括地震波、重力场、电磁场等信息,这些数据能够揭示地下介质的物理特性和结构变化。通过地

球物理勘探技术,可以检测地质体内部的异常,识别潜在的地质灾害隐患。例如,通过地震波监测可以了解断层活动情况,通过重力场变化可以推断地下岩体密度变化,这些信息对地质灾害的预警和防治具有重要意义。

以上三种数据源相互补充、相互验证,通过多源数据融合,可以获得更加全面、准确的地质灾害信息,从而提高地质灾害监测的精度和可靠性,为地质灾害的防范和减灾提供科学依据。

2.3 多源数据融合在地质灾害监测中的重要性

多源数据融合技术在地质灾害监测中具有重要性,体现在多个方面。其一,通过融合遥感、地理信息系统(GIS)以及地球物理等多源数据,能够更全面地描述地质环境和灾害演化过程,提供更加可靠的监测数据。其二,多源数据融合有助于提高地质灾害预测的精度和时效性。单一数据源往往存在信息不足和误差积累的问题,而多源数据的互补性可以有效弥补这一局限,增强预测的准确性和稳定性。通过多源数据融合,还可以提高灾害预警系统的灵敏度和响应速度,早期发现潜在灾害隐患,缩短预警时间,最大程度减少人员伤亡和经济损失。综合来看,多源数据融合技术的应用,使地质灾害监测从数据采集、数据处理到数据分析和决策支持各个环节,都得到了显著提升,为地质灾害的全面监测和风险防控提供了坚实基础。

3 多源数据融合方法与技术

3.1 遥感数据在地质灾害监测中的应用

遥感数据在地质灾害监测中具有重要作用,其优势在于能够提供大面积、全天候、高时空分辨率的观测数据。遥感技术可以实时且连续地获取地表信息,这对于监测地质灾害的发生、发展和影响具有重要意义。

遥感数据在地质灾害监测中的应用主要体现在几个方面。遥感技术可以用于滑坡、泥石流等动态地质灾害的早期识别和监测。通过高分辨率光学遥感影像,可以对地表形变、植被异常等进行准确识别,从而提前预警潜在的灾害发生区域。合成孔径雷达(SAR)技术则可以穿透云层和植被,对地表进行高精度的形变监测。利用干涉合成孔径雷达(InSAR)技术,能够对微小的地表形变量进行测量,从而对滑坡、地陷等灾害进行早期预警。

遥感数据还可以用于地质环境变化的长期监测和评估。通过多时相遥感影像,可以对地质灾害多发区域进行动态监测,从而了解地质环境的变化趋势。例如,通过对比不期的遥感影像,可以发现地表沉降、河道变迁等变化,这对于制定防灾减灾措施具有重要参考价值。

遥感技术在灾后评估与恢复过程中同样扮演着不可或缺的角色。在地质灾害发生后,利用遥感数据可以快速获取灾区的受损情况,包括滑坡面积、泥石流覆盖范围等。这对于灾后救援、重建以及后续监测工作提供了详细的数据

支持。高分辨率的遥感影像还能对灾后评估提供基础数据,帮助判断灾害的影响程度和范围,从而制定科学合理的恢复方案。

遥感数据在地质灾害监测中具有无可替代的优势^[9]。通过不断进步的遥感技术,可实现对地质灾害更精确、更全面的监测和早期预警,有效减缓地质灾害带来的损失。遥感数据的应用不仅提升了地质灾害监测的技术水平,也为相关研究提供了坚实的数据基础。

3.2 地理信息系统 (GIS) 与地质灾害监测

地理信息系统 (GIS) 是地质灾害监测中的关键技术之一,因其可以有效整合、分析和展示空间数据。GIS 技术在地质灾害监测和管理中起到了重要作用,可以提供精确的地理定位和丰富的空间数据支持,从而提高灾害预测和应对的精度与效率。

GIS 在地质灾害监测中的应用主要分为几个层面。GIS 可用于空间数据的收集与管理。通过 GIS 技术,可以将遥感数据、地球物理数据、历史灾害事件数据等多种数据源进行集成和管理。这种集成化的数据库构建为后续的数据分析与应用提供了坚实基础,并显著提升了数据的可访问性和利用价值。

在数据分析方面, GIS 强大的空间分析功能能够支持多种地质灾害模型的构建和应用。例如,通过 GIS 技术可以实现灾害易发区划分、灾害风险评估和影响范围预测。具体来说, GIS 应用中的插值方法、空间相关性分析等工具可以帮助识别潜在的地质灾害热点区域,并评估其风险等级。通过地形分析、地质结构分析和土地利用分析等多种手段, GIS 可以为制定科学的灾害防范和应急预案提供基础数据和决策支持。

在地质灾害的实时监测与预警方面, GIS 也展现出了广阔的应用前景。借助无线传感网络、卫星遥感和高精度地理定位技术, GIS 可以对监测区域进行实时数据采集和动态更新。这些动态数据通过 GIS 平台进行集成和可视化处理,能够生成直观的地质灾害监测图和风险评估报告,便于决策者及时获取灾害信息并采取相应措施。

GIS 的可视化功能对于地质灾害的宣传教育和公众参与具有重要意义。通过生成图表、地图和三维模拟图等可视化成果,公众可以更加直观地理解地质灾害的空间分布和危害程度。这有助于增强公众的灾害防御意识和应对能力,从

而形成全社会共同参与防灾减灾的良好局面。

GIS 技术在地质灾害监测中的应用不仅限于数据集成与管理,更覆盖了从数据分析、灾害预警到风险评估的整个过程。这种综合性和高效性使得 GIS 在地质灾害监测中占据了不可替代的重要地位,并为提升地质灾害监测与防范水平提供了强有力的技术支持。

3.3 地球物理数据在地质灾害预测中的作用

地球物理数据在地质灾害预测中的作用体现在其对地下结构及动态变化的精准描述。地球物理方法,如地震勘探、重力与磁力测量、电磁探测等,能够提供地表以下的详细信息,通过分析地层、断层、岩性等特征,对潜在的地质灾害如滑坡、地震、泥石流等进行预警。地球物理数据能揭示潜藏的地质危险区域,结合其他数据源,增强综合分析的准确性,显著提升地质灾害预测的全面性和可靠性,使得早期预警和防范措施更加科学有效。

4 结语

综上,本研究旨在探讨多源数据融合在地质灾害监测中的应用。我们提出并实践了一种基于多源数据融合的地质灾害监测方法,通过融合遥感、地理信息系统 (GIS) 和地球物理等多源数据,从而增强对地质环境的刻画能力,提高地质灾害预测和监测的精度。实验结果证实,这种多源数据融合方法比单一源数据分析法更有效,可以更准确、全面地判断地质灾害区域和可能出现地质灾害的概率,从而提高预测和监测效能,早期预警,有效降低灾害损失。同时,通过在复杂地质环境中应用多源数据融合,我们找出了其在地质灾害监测中的广阔应用前景。本研究期待未来有更多的实证研究能够进一步证明和发展这一方法的有效性和适用范围,为提升我国地质灾害监测技术做出积极贡献。我们期望本研究能为地质灾害监测方向的研究人员提供有益的方法论参考,从而推动地质灾害监测技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 邵亚凯. 地质灾害调查中的地理信息系统应用[J]. 信息与电脑, 2022, 34(5): 197-199.
- [2] 潘明. 基于多源数据的地质灾害监测预警管理平台探析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(7): 5-8.
- [3] 张威. 基于多源数据的地质灾害监测预警管理平台研究[J]. 西部资源, 2022(3): 43-46.

Research on the Relationship between Regional Geological Structure and Mineralization and Mineralization Prediction

Zihua Ye

The 8th Geological Brigade, Jiangxi Geological Bureau, Shangrao, Jiangxi, 334000, China

Abstract

The factors affecting the occurrence of mineralization include strata, structure and fluid, among which regional structure is an important factor, which not only controls the formation of the deposit, but also destroys and protects the deposit to a large extent. Through in-depth study of the relationship between regional tectonic evolution and distribution of mineral resources, combined with geological prospecting practice, research and comparison of traditional prospecting methods and modern scientific and technological means, gravity, magnetic, electrical, geochemical exploration, remote sensing and other working methods are used to predict the distribution and enrichment area of mineral resources, so as to achieve more accurate prospecting. It provides useful experience and enlightenment for mineral resources exploration and development, and helps to realize the sustainable utilization of resources.

Keywords

regional geological structure; mineralization; metallogenic prediction

区域地质构造与成矿关系的研究及成矿预测

叶子华

江西省地质局第八地质大队, 中国·江西 上饶 334000

摘要

影响成矿作用发生的因素有地层、构造、流体等, 其中区域构造是重要的因素, 构造不仅控制矿床的形成, 同时也很大程度对矿床进行破坏和保护。通过深入研究区域构造演化与矿产资源分布的关系, 结合地质找矿实践, 同时对传统找矿方法和现代科技手段进行研究对比, 利用重力、磁法、电法、化探、遥感等工作手段, 来预测矿产资源的分布和富集区域, 实现更为精准的找矿, 为矿产资源勘查和开发工作提供了有益的经验 and 启示, 有助于实现资源的可持续利用。

关键词

区域地质构造; 成矿作用; 成矿预测

1 引言

矿产资源为国家经济的发展提供了重要支持, 研究区域地质构造与成矿作用的关系, 预测找矿远景区, 为国家资源保障起到至关重要的作用。区域地质构造作为地球内部活动的重要表现形式, 对矿产资源的分布具有重要影响。因此, 研究区域地质构造与成矿作用的关系, 通过传统找矿方法和现代科技手段, 对于提高矿产资源勘查效率具有重要意义。

2 区域地质构造与成矿的关系

2.1 地质构造背景对矿产资源形成的影响

区域地质构造背景对矿产资源的形成是地质找矿工作中不可忽视的关键因素。地球的构造背景指的是地球内部和外部各种力量作用下的地壳结构、形态及其演化的总和, 它

决定了地表及地下岩石的形成、变形、变质等过程, 进而影响了矿产资源的分布和形成。板块边缘的构造活动带是矿产资源形成的重要区域。这些区域地壳运动活跃, 板块相互碰撞、俯冲或分离, 伴随着岩浆的上升和冷却过程, 为矿物的结晶和富集提供了有利条件。例如, 在俯冲带或洋中脊等区域, 由于地壳的深部热液循环和岩浆活动, 往往能形成富含金属元素的热液矿床和岩浆矿床, 如铜、金、银、锌等金属矿产等。相比之下, 在稳定的克拉通内部, 地壳运动相对较为平静, 构造活动较少。然而, 这些区域往往存在着长期稳定的沉积环境, 为沉积矿产的形成提供了理想场所。在长期的沉积过程中, 地壳表面的岩石和矿物经过风化、剥蚀、搬运、沉积等过程, 形成了丰富的沉积矿产, 如煤炭、石油、天然气、盐类、磷矿等。德兴铜金矿集区与区域地质构造关系如图1所示。

【作者简介】叶子华(1991-), 男, 中国江西上饶人, 硕士, 工程师, 从事地质找矿研究。

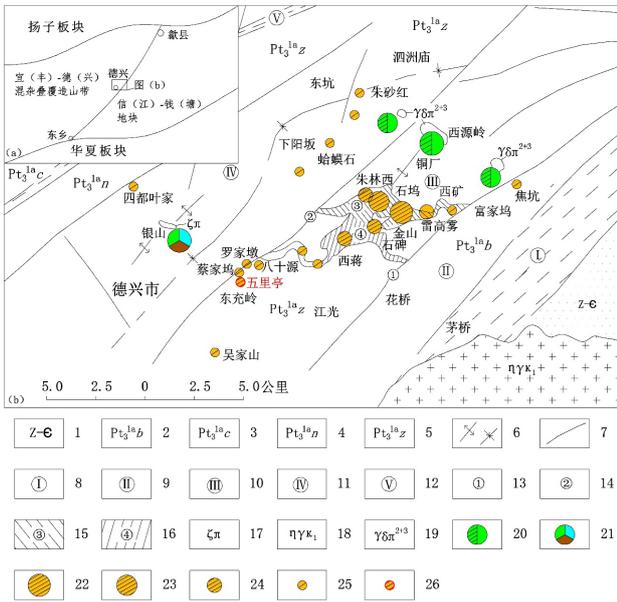


图1 德兴铜金矿集区与区域地质构造关系图

1 为震旦系—寒武系；2 为新元古界拔竹坑组；3 为新元古界程源组；4 为新元古界牛头岭组；5 为新元古界张村岩组；6 为背、向斜轴；7 为断裂；8 为茅桥蛇绿岩剪切带；9 为花桥构造杂岩带；10 为金山推覆剪切变形带；11 为蛤蟆石走滑剪切变形带；12 为乐安江剪切带；13 为江光—富家坞剪切带；14 为八十源—铜厂剪切带；15 为金山—朱林韧性剪切带；16 为西蒋—石碑韧性剪切带；17 为英安斑岩；18 为二长花岗岩；19 为花岗闪长斑岩；20 为铜多金属矿；21 为铜铅锌矿；22 为特大型金矿床；23 为大型金矿床；24 为中型金矿床；25 为小型金矿床或金矿点。

2.2 构造演化与矿产资源分布的关系

构造演化与矿产资源分布的关系是地质学中一个至关重要的议题。地球自形成以来，经历了漫长而复杂的构造演化过程，这些过程不仅塑造了地表和地下岩石的形态和结构，还深刻影响了矿产资源的形成和分布。地质构造的演化历史是一个长期而连续的过程，它涵盖了地壳的升降、板块的碰撞、俯冲、分离以及火山活动等多种地质作用。这些作用在不同的时间和空间尺度上交替发生，形成了各种地质构造单元和构造体系，为矿产资源的形成提供了丰富的地质背景和条件。随着地球历史的演进，不同的构造活动期会伴随着不同类型的成矿作用。构造活动期与成矿期的匹配程度，即构造作用与成矿作用的时空耦合关系，直接决定了矿产资源的富集程度和分布规律。例如，在板块俯冲和碰撞过程中，地壳的剧烈变形和岩浆活动往往能带来丰富的金属矿产和油气资源。这些成矿事件往往发生在特定的构造环境中，如岛弧、海沟、造山带等区域，这些区域因此成为矿产资源勘查的重点目标。另外，构造演化还会影响矿产资源的种类和规模，在不同的构造活动期，由于地球内部能量的变化和地壳结构的调整，会形成不同类型的岩石和矿物组合。这些

岩石和矿物组合在不同的构造环境中经过长期的地质作用，形成了各种类型的矿产资源。所以，研究地质构造的演化历史，不仅有助于工程师理解矿产资源的形成机制，还能预测和发现新的矿产资源^[1]。

2.3 地质找矿中区域地质构造的应用

在地质找矿的实践中，区域地质构造的分析和应用扮演着至关重要的角色。这是因为地质构造不仅记录了地球历史的演变过程，而且直接影响了矿产资源的形成、分布和富集。通过深入剖析区域地质构造，地质学家能够更准确地揭示出矿产资源的分布规律和潜在富集区域。在勘查金属矿床时，地质学家会利用构造解译技术，通过对地质图件、遥感影像和实地观测数据的综合分析，识别出褶皱、断裂、岩浆岩侵入体等构造形迹。这些构造形迹不仅是地球内部活动的直观表现，也是矿化作用的重要场所。通过分析构造形迹的展布、规模和性质，地质学家可以推断出矿床的赋存位置和形态，为后续的勘查工作提供重要的线索和依据。在地质找矿过程中，仅仅依靠构造解译技术是不够的，还需要结合地球物理、地球化学等多种勘查手段进行综合评价。地球物理勘查可以通过测量岩石的物理性质，如密度、磁性、电性等，来揭示地下岩石的结构和分布。地球化学勘查则通过分析岩石和土壤中元素的含量和分布，来推断出矿产资源的存在和分布。结合这些勘查手段的数据和区域地质构造的特征，地质学家可以构建出更加准确的成矿模型，提高找矿的效率和成功率。最后，区域地质构造的分析和应用对于指导矿产资源勘查和开发具有重要意义，通过对区域地质构造的深入研究，地质学家可以预测出潜在的矿产资源富集区域，为矿产资源的勘查和开发提供科学依据。区域地质构造的分析还可以帮助地质学家了解矿床的形成机制和演化过程，为矿产资源的可持续利用提供理论支持。

3 成矿预测方法

3.1 传统成矿预测方法

传统成矿预测方法，作为地质勘查领域的基础工具，一直以来都占据着重要的地位。这些方法主要依赖于地质学家的深厚经验和对地质数据的细致统计分析。其中，地质类比法是一种经典的预测手段，它基于一个基本假设：在地质条件相似的地区，有可能存在与已知矿床相类似的矿产资源。因此，地质学家会仔细研究已知矿床的地质特征，如地层、岩性、构造、蚀变等，然后在具有类似地质条件的区域进行勘查，以寻找潜在的矿床。除了地质类比法，地球物理勘查和地球化学勘查也是传统成矿预测方法中不可或缺的部分^[2]。地球物理勘查利用地球物理场（如重力场、磁场、电场、地震波等）的变化特征，通过测量和分析这些物理场的变化来揭示地下岩石的结构、构造和物理性质。地球化学勘查则通过分析岩石、土壤、水体等介质中元素的含量、分布和迁移规律，来推断地下矿产资源的存在和分布。然而，

尽管传统成矿预测方法具有简单直接、易于操作等优点，但在实际应用中也存在一些局限性。首先，这些方法往往依赖于地质学家的个人经验和主观判断，因此预测结果可能受到人为因素的影响。其次，在缺乏详细地质资料或复杂地质环境下，传统方法的预测精度和效率可能会受到限制。例如，在某些地质条件复杂的地区，地球物理和地球化学勘查数据可能难以准确反映地下岩石的真实情况，从而导致预测结果的不准确。

3.2 基于区域地质构造的成矿预测方法

基于区域地质构造的成矿预测方法是一种深入而全面的资源勘查手段，它特别强调对地质构造特征的综合分析和应用。这种方法的核心在于对特定区域内地质构造的细致研究，这包括了对构造形迹的精确识别、构造类型的明确划分，以及对构造演化历史的深入分析。第一，地质学家会运用地质学原理和技术，对目标区域的地质构造进行详尽的调查和研究。他们通过实地考察、地质图件的解读以及遥感影像的分析等手段，来识别和划分出区域内的褶皱、断裂、岩浆岩等构造形迹。这些构造形迹不仅是地壳活动的直观证据，更是矿产资源形成和分布的重要控制因素。第二，地质学家会进一步分析这些构造形迹的类型、规模、产状和分布规律，并结合区域地质背景和演化历史，探讨构造对矿产资源形成和分布的影响。他们通过对比和分析不同构造环境下矿产资源的形成机制，来揭示构造与成矿之间的内在联系。在深入理解了地质构造特征及其对矿产资源形成的影响之后，地质学家会结合地质、地球物理和地球化学等多种数据，构建出成矿预测模型。这个模型会综合考虑各种地质因素，如地层、岩性、构造、蚀变等，以及地球物理和地球化学数据，如重力、磁法、电法、化探等，来预测矿产资源的分布和富集区域。磁异常与地质结合综合异常如图2所示。

3.3 现代综合成矿预测方法

现代综合成矿预测方法代表了矿产资源勘查领域的前沿技术，它是对传统方法和基于区域地质构造方法的深入拓展与整合，同时结合了现代科技手段的最新成果。这种方法不仅依赖于地质学家深厚的专业知识和丰富的实践经验，更借助了强大的数据分析能力和先进的技术手段。在现代综合成矿预测方法中，地质学家首先会利用地质类比法、地球物理勘查和地球化学勘查等传统手段，对目标区域进行初步的地质调查和数据分析。这些传统方法能够提供基础的地质信息和数据，为后续的深入分析提供支撑。然而，现代综合成矿预测方法并不止步于此。它进一步融入了遥感技术，通过卫星遥感图像和航空遥感数据，对目标区域进行大范围的快速扫描和监测。遥感技术能够捕捉到地表和地下的细微变化，为地质学家提供丰富的地质信息和线索。地理信息系统(GIS)在现代综合成矿预测方法中发挥着至关重要的作用^[3]。GIS技术能够集成、管理和分析各种地质、地球物理、地球化学等数据，并通过可视化手段将这些数据呈现出来。这使

得地质学家能够更加直观地了解目标区域的地质构造特征和矿产资源的分布情况，提高预测的准确性和效率。

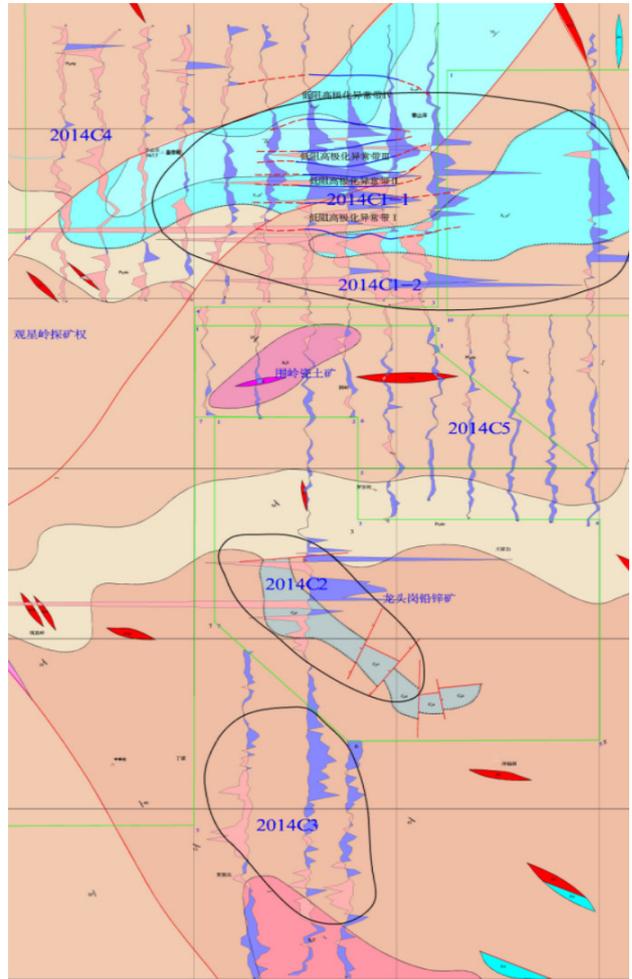


图2 磁异常与地质结合综合异常图

4 结语

在地质找矿工作中，深入研究区域地质构造与矿产资源的关系至关重要。构造背景对矿产资源的形成具有决定性影响，而构造演化则直接关联矿产资源的分布。通过应用区域地质构造知识，地质找矿工作能够更为精准地定位资源富集区。随着技术的发展，从传统方法到基于区域地质构造，再到现代综合预测方法，不断提高成矿预测的准确性和效率，为矿产资源的勘查和开发提供了有力支持。未来，将继续深化这一领域的研究，推动地质找矿工作的持续发展。

参考文献

- [1] 朱文兵,文成雄,郭爱民,等.湖南郴州铁石龙铅锌矿床地质及硫、铅同位素特征与深部找矿预测[J].矿产勘查,2023,14(9):1584-1594.
- [2] 黄群,徐磊.南秦岭东阳光白钨矿成矿地质特征分析及找矿预测[J].世界有色金属,2023(18):46-48.
- [3] 林凤超,赵洪满.吉林省敦化市太平村南部一带金矿地质特征及找矿预测[J].吉林地质,2023,42(3):18-23.

Application Status and Development Trend of Oil Drilling Engineering Technology

Jiaqin Hu

China National Petroleum Group Great Wall Drilling Engineering Co., Ltd. Drilling Company No. 2, Panjin, Liaoning, 124127, China

Abstract

Petroleum drilling engineering technology, as a core link in the global energy supply chain, plays an indispensable role in promoting economic development. The paper summarizes the current application status of petroleum drilling engineering technology, and provides a detailed description of mechanical drilling, drilling fluid, and logging monitoring technology. It explores the main technical challenges faced by the industry, including drilling difficulties in extreme environments, resource and cost management, and environmental and policy constraints. The paper also predicts the future development direction, emphasizing the importance of automation and intelligent upgrading, new materials and new technology innovation, as well as sustainable development and environmental protection efforts, aiming to provide a comprehensive perspective for understanding the current situation and future trends of the industry.

Keywords

oil drilling technology; resource management; environmental policy; innovation

石油钻井工程技术的应用现状及发展趋势

胡家钦

中国石油集团长城钻探工程有限公司钻井二公司, 中国·辽宁 盘锦 124127

摘要

石油钻井工程技术作为全球能源供应链中的核心环节, 在推动经济发展中扮演了不可或缺的角色。论文综述了当前石油钻井工程技术的应用现状, 针对机械钻探、钻井液和测井监控技术进行了详细描述, 探讨了行业面临的主要技术挑战, 包括极端环境下的钻井难题、资源与成本管理以及环境与政策制约。论文还预测了未来的发展方向, 强调了自动化与智能化升级、新材料与新技术革新以及可持续发展与环保努力的重要性, 旨在为理解行业现状与未来趋势提供了全面视角。

关键词

石油钻探技术; 资源管理; 环境政策; 技术革新

1 引言

石油钻井过程中, 从机械钻探到复杂的测井与监控系统, 这些技术的每一次进步都在塑造着资源开采的效率和安全性。然而钻探活动的严苛性和对高精度、低影响操作的需求日益加剧, 尤其是在面对极端地质条件与日渐严格的环境法规时。鉴于这些挑战, 了解其应用现状及将来的发展趋势对行业决策者至关重要。

2 石油钻井工程技术的当前应用现状

2.1 机械钻探技术

随着科技进步, 石油钻井工程的机械钻探技术已经从早期的靠人力及简单机械操作转变为高度自动化、精准定位

的复杂系统。其中钻井设备的自动化和智能化大幅提升了钻井效率, 减少了人为失误的可能性, 特别是在深海、极地等极端环境下的应用表现尤为突出。如今的机械钻探技术使得作业人员可通过遥控中心, 在数千公里之外控制钻井作业, 通过精密的监测设备实时获取钻井数据。

目前, 研发团队在持续地突破材料科学、力学以及电子工程等方面的限制, 新型合金材料和非金属材料的采用, 使得钻杆和钻头更加坚固耐用, 能够适应各种复杂地质条件下的钻探工作。同时, 高精度的传感器和数据处理技术的应用则保证了钻井操作的精准性和效率, 特别是在定向钻井和水平钻井等技术上的应用在很大程度上提升了石油资源勘探的成功率。这个过程中, 环保与可持续发展的理念正逐步渗透, 在新的环保政策和市场需求的双重推动下, 绿色低碳钻探技术成为研发重点^[1]。通过优化钻井参数、减少钻井废弃物和减轻对环境的影响, 机械钻探技术在保障能源供应的

【作者简介】胡家钦(1985-), 男, 中国湖北监利人, 本科, 助理工程师, 从事钻井石油工程研究。

同时，也为环境的可持续发展做出了贡献。

2.2 钻井液技术

钻井液技术在石油开采中承担着冷却钻头、携带切屑、稳定井壁等多重功能，随着钻探工艺的不断深入，对钻井液的性能要求也愈发严苛。高功能性的钻井液能显著提升钻探效率并降低风险，现代钻井液技术通过调整其化学组成，能够优化流变性能和滤失控制，同时确保对地层的最小侵扰，这是因为化学组分的精确配置可以有效地适应不同地质条件下的需求。

传统的石油基钻井液虽然在某些极端条件下表现优异，但其对环境的影响已不再被现代社会所接受，相对而言，水基钻井液以其较低的环境污染风险和易于处理的特性成为研究的热点。这种钻井液的改进可以减少有害成分的使用，还能增强其在高温高压条件下的稳定性和效能，从而使其在更广泛的应用场景中替代石油基钻井液。

最后，物联网和数据分析技术的应用使得实时监测钻井液的状态并进行调整，已成为提升钻探操作精确度与效率的关键手段^[2]。通过集成的传感器网络，可以对钻井液的粘度、密度、化学成分等关键参数进行持续监控，确保其性能始终处于最优状态。同时利用大数据分析预测钻井液性能的演变，可以为钻探操作提供前瞻性决策支持，大幅增强资源的有效利用。

2.3 钻井与监控技术

随着科技的迅速进步，钻井技术已经从传统的机械驱动发展至高度自动化与智能化，例如现代钻井作业中广泛应用的“智能钻井”系统，能够实时监控钻进参数，如钻速、钻压、扭矩和流体动力学特性等。这些智能系统通过精确控制钻杆的旋转和推进，显著提高了钻井效率和安全性。还可以利用机器学习算法对大量数据进行分析，预测钻井过程中可能遇到的复杂地质条件，从而事先调整策略，减少非生产时间和意外事件的发生。

另一核心领域是远程监控技术，该技术使得位于地球另一端的工程师可以实时获取钻场的数据，进行决策支持，并远程操作。通过高速互联网和卫星通信，这些数据被实时传输至全球各地的数据中心，实现24小时不间断监控和管理。远程监控可以缩短反应时间，提高操作的灵活性，降低现场操作所需的人力成本。

展望未来，钻井与监控技术的发展趋势将更加侧重于自动化、信息化和环保性，随着环境保护要求的日益严格，未来的钻井技术需要在保证经济效益的同时，最大程度地减少对环境的影响，例如开发更为高效的废弃物处理系统和使用更少能源的钻井设备将成为研究重点。同时随着人工智能技术的不断进步，预计将有更多基于人工智能的自主钻井解决方案被开发出来，以应对越来越复杂的地质环境和操作需求。

3 技术挑战与问题解析

3.1 极端环境下的钻井难题

由于深水作业常常需要在千米以上的水深中进行，此环境增加了设备的压力承受能力需求，使得应急响应的执行速度与难度更为复杂。极大的水压对钻井设备的密封性、稳定性提出了更高要求，任何微小的泄漏或者故障都可能导致瞬间的灾难性后果。而且海底的温度低和水流快也为设备的工作效率和维护保养带来了额外挑战，这些因素共同推高了深水钻探的风险等级。

此外，极寒地区极低的温度会造成机械润滑油凝固，影响机械部件的运动效率和寿命，冰冻条件下的设备启动和运行都需要特殊设计，以承受严寒带来的物理收缩及材料脆化风险。同时极寒环境对于作业人员的身体健康和操作安全亦是一大考验，操作人员需要特殊的训练以及高标准的防护措施。反之，高温则会严重影响钻井液的黏性，降低润滑效果，增加钻头磨损，同时温度升高可引发设备的热扩展问题，影响设备的结构完整性和精确性。高压情形下，常规设备的耐压极限可能会被突破，导致设备失效甚至发生爆炸。为此必须使用特制的耐高温高压材料和加强型设计来适应这类恶劣的工作环境，确保作业的安全与效率。

3.2 资源与成本管理

钻井项目通常需要巨额的资金投入，包括昂贵的钻井设备、人力资源及技术服务费用，由于地质不确定性，预期之外的技术问题频繁发生，如钻头损坏、机械故障或钻井液性能异常等，这些都可能导致成本的增加，同时环境保护规定和地方政府政策的变动同样会影响成本结构，因此对资源的合理配置与严格的成本控制策略变得更加重要。

从资源配置的角度看，工程团队需保持高效运转，包括从钻井工程师到地面支持人员的每一个岗位，由于工作环境的严苛性和所需技能的专业性，吸引和保留合适的人才成为一个难题。培训费用高昂且周期长，而且作业地点往往偏远，对工作人员的生活和心理状态均是极大的考验。资源的优化配置不仅局限于技术物资和人员安排，还包括了对应急处理能力和灵活调整策略的快速反应^[3]。除此之外，每一个钻井项目都需在确保安全的前提下，评估其长期经济可行性，这包括对采用新技术与方法的投资回报率的评估。在不断变化的市场和技术环境下，项目决策必须基于对未来石油产品需求的准确预测以及相关技术的成熟度和可靠性的综合判断。因此如何平衡初期投资与期望收益，是摆在所有石油公司面前的一个重要问题。

3.3 环境与政策制约

随着全球对环境问题的关注加剧，与钻探相关的生态破坏、水污染和温室气体排放等环境问题引起了广泛的公众和政府的关注，例如在海洋钻探中，任何漏油事故都可能导致严重的海洋和海岸污染，对生态系统造成长期伤害，这些

环境风险推动了对钻井项目更为严格的环境评估和监管,使得油田开发必须采用更高标准的环保技术和操作规范。而且不同国家和地区的法规可能极具差异,涉及诸如钻井许可、环境保护标准、税收政策等诸多方面,如一些资源丰富的国家采取了更为保护性的措施以确保国家利益,限制外国直接投资,这些政策不仅影响着公司的投资决策,也对项目的经济可行性和战略部署产生深远影响。而政策的不确定性,如法规的突然变化或政治不稳定,则可能导致大额资本损失。

4 未来发展方向及前景预测

4.1 自动化与智能化升级

在石油钻探行业中,引入更先进的自动化设备能够提高作业效率,减少人为错误,并通过精密的控制系统优化资源使用,目前越来越多的石油公司开始依赖于自动钻机和机器人技术来执行地面以及海底的钻探操作,这些技术可以提高钻探速度和精确性,降低对环境的负面影响。鉴于钻探活动往往在偏远或极端环境下进行,自动化技术的应用成功减小了人员安全风险并降低了现场操作人员的需求。

智能化技术则进一步通过数据分析和机器学习算法优化钻探操作,集成的传感器网络持续监测设备状态和井况,实时数据被送回中心数据库进行分析处理。这种方式使得智能系统可以根据地质情况实时调整钻探参数,甚至预测设备故障,提前采取措施避免潜在问题的发生,与此同时,深度学习模型的开发使得从历史钻探数据中提炼出操作优化策略成为可能,从而实现更高效的资源开发。

未来随着技术的不断进步,更高级的人工智能将被开发以处理更复杂的任务,例如自动导航钻井路径,优化整个钻井项目的资源配置和调度。这将推动钻井技术向更高水平的演进,可能还会重新定义石油公司的运营模式,使其更加高效且可持续。未来几十年,自动化与智能化技术的进一步发展预计将深刻影响全球石油勘探和生产行业的景观。

4.2 新材料与新技术革新

随着科技进步,越来越多的高性能材料被引入以提高钻探效率和安全性,例如采用碳纤维和其他复合材料制造的钻井管道,在承受极端高压和高温环境时表现出比传统钢铁材料更优异的性能。这些新材料能减轻钻杆的重量,提升耐腐蚀性和机械强度,降低钻探作业的整体成本。而在技术革新方面,非常规钻井技术如水平钻井和多分支钻井等已经在提高油气恢复率方面显示出巨大的潜力,尤其是水平钻井技术,其可以增加井与油藏的接触面积,从而提高产油率。随着人工智能与物联网技术的融合应用,智能钻探系统能够实时监测井下情况,自动调整钻井参数,优化钻探路径,极大提高了钻探精确性和效率,此类技术的广泛应用无疑将进一步

步推进石油开发向更智能化、精确化的方向发展。

面对资源枯竭和环境保护的双重挑战,未来石油钻探领域必将持续依赖于新材料与新技术的创新,超导材料、纳米技术等前沿科学的研究,预示着未来井下作业将更加高效、环境友好。同时随着全球能源结构的逐步转型,将新技术应用于提高天然气、页岩气等非常规资源的开采效率,也成为行业的重要趋势。

4.3 可持续发展与环保努力

在石油钻探行业中,可持续发展和环保努力的重要性越来越受到重视,尤其是在当前全球气候变化和生态保护意识增强的背景下,石油公司正在积极探索新的方式以减少对环境的影响,同时实现资源的高效开采,例如较少使用或完全不使用传统的钻井液(如基于石油的钻井液)却转而使用更环保的水基钻井液与生物降解材料,以减少污染和保护海洋生态环境。这些步伐不仅是对环境负责,也是对社会责任的体现,有助于建立公众对该行业的正面形象。同时采取先进的水处理技术去净化和重新利用废水,用于灌溉、工业或肥料生产,这些做法有效地缓解了自然水资源的消耗压力。同样一些钻探项目正在尝试采用太阳能和风能等可再生能源为其设备供电,这不但减少了钻探活动的碳足迹,也符合全球向清洁能源过渡的趋势。

朝着环保和可持续方向努力的一个终极目标是将石油钻探相关的各项操作纳入环境管理系统中,确保所有活动都得到适当的环评和监测。通过引入综合性的环境影响评估和严格的追踪监测程序,可以确保每一个操作环节都符合甚至超越现有的法规要求。

5 结语

综上所述,通过分析石油钻井工程技术的当前应用与未来发展方向,可见技术创新正在不断推动行业向更高效、更环保的方向发展。自动化和智能化技术的实施,新材料的开发使用,以及对环保的持续倡导将会形塑石油钻探行业的未来。随着技术的发展和政策的逐步完善,行业将更加注重资源的高效利用和环境的保护,确保可持续性成为评估所有钻探项目成功的关键标准。展望未来,虽然挑战重重,但通过不断的技术革新和环境保护努力,石油钻探行业正走在可持续发展的路上。

参考文献

- [1] 白建伟.石油钻井工程技术的优化措施探析[J].天津化工,2024,38(2):129-132.
- [2] 刘丽,王茂仁.石油钻井工程技术应用与发展[J].化学工程与装备,2023(4):137-138+164.
- [3] 苗健.石油钻井工程技术的优化措施[J].化工管理,2021(16):80-81.

Slope Stability Analysis and Disaster Prevention Measures under Earthquake Action

Feng Gao Zhangjun Guo Shoucai Wei

The Second Geological Brigade of Xizang Autonomous Region Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Lhasa, Xizang, 850000, China

Abstract

Earthquake is one of the main natural disasters that seriously endangers slope stability. In China, slope stability is particularly serious because of the complex geological environment and frequent earthquakes. Based on geological investigation and rock and soil mechanics experiment, the slope stability analysis model is established, and then the failure mechanism and stability of the slope under earthquake are studied by dynamic numerical simulation method. The research shows that the slope is prone to slip, overturn and expansion failure under the action of earthquake. For these disasters, we put forward such as encrypted drainage system, set up protective net, vegetation reclamation and other comprehensive disaster prevention and reduction measures, and their effects were verified on the spot. The verification results show that these measures have a remarkable effect on improving the seismic stability of the slope. This study provides a useful reference for slope disaster prevention and mitigation in China.

Keywords

earthquake action; slope stability; disaster prevention and control; dynamic numerical simulation; seismic stability

地震作用下边坡稳定性分析及灾害防控措施

高峰 郭章军 魏守才

西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 中国·西藏 拉萨 850000

摘要

地震是严重危害边坡稳定性的主要自然灾害之一。在中国, 由于地质环境复杂且频繁发生地震, 边坡稳定问题显得尤为严峻。本研究首先基于地质调查和岩土力学实验, 建立了边坡稳定性分析模型, 然后利用动力学数值模拟方法, 研究了地震作用下边坡的破坏机理及稳定性。研究表明, 在地震作用下, 边坡易发生滑移、颠覆和膨胀破坏等不稳定现象。对于这些灾害, 我们提出了如加密排水系统, 设置防护网, 植被复垦等综合性防灾减灾措施, 并对其效果进行了实地验证。验证结果表明, 这些措施对提高边坡的抗震稳定性具有显著的效果。该研究为中国边坡防灾减灾提供了有益参考。

关键词

地震作用; 边坡稳定性; 灾害防控; 动力学数值模拟; 抗震稳定性

1 引言

地震是自然界一种最具破坏力的灾害之一, 它所引起的地面震动、岩层错位和土壤液化等现象, 对人类社会的安全和发展构成了严重威胁。尤其在地震频繁、地质条件复杂的中国, 边坡稳定性问题显得愈发重要。边坡的稳定性直接影响到人们的生命财产安全, 尤其在地震等自然灾害下, 其破坏性甚至可能引发次生灾害, 如滑坡、泥石流等, 从而加重灾害的损失。因此, 对边坡稳定性进行细致的分析, 以及制定科学有效的灾害防控措施, 已经成为社会和科学都需要面对的重要问题。论文将探讨地震作用下边坡稳定性的分析模型, 并研究各种可能的破坏现象。同时, 论文也针对这些

可能的灾害, 提出了多种综合性的防灾减灾措施, 希望能为中国边坡的防灾减灾提供有益的参考和借鉴。

2 地震与边坡稳定性的关系

2.1 地震的定义与产生机理

地震是一种常见的自然现象, 其定义为地壳内部由于构造应力积累达到一定程度, 在某一断层或破裂带突然释放, 从而引起地壳振动的现象^[1]。地震由地球内部的能量释放引发, 这种释放的能量通过地震波的形式传递给地表, 造成地面的震动。

地震的产生机理涉及地球内部的构造运动及能量积累。地球内部可以分为地壳、地幔和地核三层。地壳和上地幔组成的岩石圈漂浮在部分熔融的软流圈之上。由于地球内部的热对流, 软流圈不断驱动着岩石圈分块移动, 这些板块的构造运动导致了板块之间的碰撞、分离及平移, 形成不同类型

【作者简介】高峰(1990-), 男, 中国辽宁沈阳人, 本科, 工程师, 从事水工环地质研究。

的断层。当板块的运动受到阻碍而累积较大的应力时,这些应力将逐渐集中在断层面上^[2]。当应力超过岩石的强度极限时,断层突然错动释放应力,导致能量以地震波形式传播,形成地震。

地震波主要由纵波(P波)和横波(S波)组成。纵波是压缩和拉伸介质的波,传播速度快,到达地表;横波则是剪切波,传播速度相对较慢,但振幅更大,对建筑物等构造的破坏力较强,往往是地震造成损害的主要原因。

地震的释放能量通过地震矩表示,地震矩的大小衡量地震的规模。里氏震级是另一种常用的度量方式,表示地震规模的对数关系。更精确的表述方式是矩震级,它与地震释放的总能量成正比。

地震作为一种能量释放过程,不仅会对地表的建筑物和地形造成严重破坏,并且由于其瞬时性和不可预测性,使得地震成为边坡稳定性的重大威胁因素。在地震波的作用下,边坡中的岩土结构容易失稳,导致滑坡、崩塌等地质灾害。准确理解地震的定义与产生机理有助于为后续防灾减灾措施的制定提供科学依据,进一步保障边坡及其周边环境的稳定与安全。

2.2 边坡稳定性概述

边坡稳定性是指在各种外部条件影响下,边坡体维持其整体结构与形态不发生显著变形或失稳的能力。边坡的稳定性主要受地质条件、斜坡形态、地下水位和外界荷载等多种因素的综合影响。地质条件包括岩土体的性质、地质构造和岩层的倾向与产状等。岩土体性质如土壤类型、密度、抗剪强度等参数直接影响边坡强度,进而影响稳定性。地质构造例如断层、褶皱和节理面等对边坡的稳定也起着至关重要的作用,这些构造特征往往形成潜在的破坏面。

斜坡形态是影响边坡稳定性的另一个重要因素。斜坡的坡度、坡高和坡面形态直接影响地面应力分布。较陡的坡度和较高的坡体容易引发滑坡和坍塌现象^[3]。在实际工程中,通过调整坡度和控制坡高,可以有效提高边坡的稳定性。

地下水位对边坡稳定性能产生显著影响。地下水位的升高会导致孔隙水压力增大,削弱岩土体的抗剪强度,增加边坡失稳的风险。特别是雨季和融雪季节,地下水位的急剧变化可能引发边坡滑坡。地下水的渗流作用能引起岩土颗粒的流失,进一步削弱边坡的稳定性。有效控制和排除地下水是边坡稳定性管理中的重要环节。

外界荷载的影响包括自然荷载和人为荷载两部分。自然荷载如降雨、雪压、风压、地震等,而人为荷载主要来自工程施工和交通等活动。降雨使得土层含水量增加,孔隙水压力上升,降低土体的抗剪强度。施工和爆破等人为活动则会改变地应力状态,增加边坡失稳的可能性。

边坡稳定性是一项复杂的工程地质问题,需要综合考虑地质条件、斜坡形态、地下水位和外界荷载等多方面的因素。针对不同的边坡特点和影响因素,采用科学合理的防控

措施,是确保边坡长期稳定的重要手段。

2.3 地震与边坡稳定性的互动关系

地震是引发边坡失稳的重要触发因素之一。地震波通过对岩土体的激震作用,会显著降低边坡的稳定性。在地震过程中,地表的加速度导致边坡的受力状态发生剧烈变化,进而引发边坡材料应力应变特性的突变。地震波的传播和反射效应会在边坡内部产生复杂的动力响应,这些响应对边坡的稳定性构成显著威胁。

边坡在地震作用下的失稳机制主要包括三种形式:滑移、颠覆和膨胀破坏。滑移通常发生在黏土、砂土等松散或结构较弱的边坡中,地震力的作用会使内部剪切应力超过抗剪强度,引发滑动破坏。颠覆则常见于硬岩边坡,地震力导致岩块发生旋转运动,形成倾倒结构。膨胀破坏主要出现于高含水结构的边坡中,地震引发的孔隙水压力增大,致使边坡材料发生膨胀或隆起现象,进一步削弱边坡稳定性。

3 边坡灾害防控措施及效果评估

3.1 引入与编制综合性防灾减灾措施

地震作用下,边坡容易发生滑移、颠覆和膨胀等灾害,因而制定有效的防灾减灾措施尤为重要。针对这些问题,编制了一系列综合性的防灾减灾措施,以期有效提升边坡在地震作用下的稳定性。

对于排水系统的加强,通过在边坡体内设立加密排水管道和排水孔,并在边坡表面铺设透水土工膜,能够有效地减少地下水的侵蚀和压力积累。这样的排水系统设计能够防止水分在边坡体内积累,从而显著降低边坡滑移的风险。

为防止边坡崩塌和岩土运动,设置防护网是不可或缺的技术手段。采用高强度的钢丝绳网和锚杆拦网相结合的方式,能够在地震引发边坡破裂时,迅速控制岩土移动并维持边坡整体稳定性。这种措施可以大大减小碎石坠落及其造成的二次灾害。

另一个关键措施是进行植被复垦,即在边坡表层种植具有深根系的植物。这些植物根系能穿透土层、固结岩土,加强边坡的整体强度,使得边坡在地震中不容易发生滑动或崩塌。植被的生长除了能固土之外,还可以美化环境,具有较高的生态效益,起到双重防护作用。

边坡稳定性增强还可以通过加固墙体和挡土墙等基础设施实现。这些墙体通过专业设计,能够承受地震作用力并提供额外的支撑力,有效地维持边坡的整体稳定性。墙体材料的选择、布局及施工质量都是影响加固效果的关键因素。

为了确保这些防灾减灾措施的综合效果,应综合评估不同措施在实际应用中的协同作用,并进行定期维护和检修。只有通过科学的设计和系统的应用,这些措施才能在提高边坡抗震稳定性方面发挥最大作用。总结而言,在边坡防灾减灾工作中,强化排水系统、设置防护网、植被复垦与基础设施加固是关键的综合性措施,通过一系列的专业设计和

施工,这些措施将大幅提升边坡在地震作用下的稳定性。

3.2 防灾减灾措施的实地应用

在地震频发地区,实施有效的防灾减灾措施对于维护边坡稳定性至关重要。详细分析了几种常见的灾害防控措施在实地应用中的效果。

加密排水系统作为一种重要的防护措施,通过排除地表和地下水,减少土体饱和度,从而减少因水压增加而导致的边坡滑动风险。此措施通过在边坡区域内设立排水沟、排水管及地下排水井等设施,实现了有效的水体控制。在实地应用环节,经常选用高耐腐蚀性材料,以确保排水系统的长期稳定运行。定期检查和维修排水设施,确保排水系统的畅通和高效运行,从而提高边坡的整体稳定性。

防护网在边坡防灾减灾中也发挥着重要作用,主要通过防止边坡上的松散岩石和土体滑落。防护网大多采用高强度的金属网或合成纤维网,能够有效覆盖并固定边坡表面松散物质。实地应用时,根据边坡的地质特征和岩土结构,定制合适的防护网铺设方案,并通过锚杆固定等方式增加其稳固性。经过实地试验和监测,防护网能够显著减少小规模滑坡和滚石的发生,对维护道路和建筑物的安全具有重要意义。

植被复垦也是重要的边坡防护措施,通过种植植物,在边坡上形成植被覆盖层,植物根系能够起到加固土体的作用,防止水土流失。通过选择适宜于当地气候条件和土壤特性的植物物种,形成稳定的生态系统,在防灾减灾方面产生了显著效果。实地应用中,通过科学规划种植密度和合理搭配不同品种植物,提高植被的成活率和覆盖率,加强其生态防护作用。

这些措施在实地应用中的效果已经得到广泛验证。在多次现场试验和监测中,边坡稳定性显著提升,滑坡、崩塌等灾害发生的频率和严重程度大幅降低。这些防灾减灾措施的成功实施,为地震灾害频发地区的边坡稳定性提供了有力保障,并为相关研究和工程实践提供了宝贵经验。

3.3 应用效果的评估与改进建议

已实施的防灾减灾措施的效果进行了综合评估,通过详细的实地监测和数据分析,展示了加密排水系统、防护网和植被复垦等措施的成果。在地震作用下,边坡的滑移、颠

覆和膨胀破坏等现象显著减少,边坡整体稳定性得到了明显提升。加密排水系统有效降低了地下水位,防止了滑动面的弱化。防护网成功拦截了松散岩土,减轻了地表侵蚀。植被复垦不仅改善了生态环境,还通过植根作用增强了土体凝聚力。评估过程中也发现某些措施在极端天气或特大地震条件下的效果仍需进一步优化,特别是防护网在强震后的二次加固问题和植被复垦中的物种选择与生长速度不平衡问题。为提高这些防控措施的长效性和适应性,建议加强监测技术的应用,引入更多先进的地质监测设备,并进行相关数值模拟,以预估不同灾害情景下的措施效果。需结合长期数据,优化设计参数,建立综合的风险评估体系,确保防控策略的动态调整与可持续性。

4 结语

论文针对地震作用下边坡稳定性进行了深入研究,首先基于地质调查和岩土力学实验,构建了边坡稳定性分析的模型,利用动力学数值模拟方法,对地震作用下边坡的破坏机理及稳定性进行了详尽的研究。结果显示,在地震作用下,边坡易发生滑移、颠覆和膨胀破坏等不稳定现象。为了有效地防止这类灾害的发生,我们提出了一系列具体的防灾减灾措施,如加密排水系统,设置防护网,植被复垦等,并对这些措施的实际效果进行了实地验证。验证结果表明,这些措施提高了边坡抗震稳定性,对于防灾减灾具有实际的参考价值。然而,尽管我们的研究取得了一定的成果,但我们也清楚地意识到,由于地震引起的边坡不稳定问题涉及更多影响因子,例如地震波动、土体参数,以及集水区的地下水动态等,这些问题仍然需要进一步的研究。此外,本研究中提出的防灾减灾措施也需要在更多实际情况下进行验证,才能得到更精确的效果。未来的研究计划将致力于寻找更有效的防灾减灾措施,以及改进边坡稳定性分析方法,提升其预测精度,以期对中国边坡防灾减灾提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 罗轶,马艳波.地震作用下边坡的稳定性分析[J].价值工程,2019,38(26):143-144.
- [2] 李沙.地震边坡稳定性分析[J].江西建材,2022(4):106-108.
- [3] 李灿阳.地震作用下的边坡稳定性分析[J].水科学与工程技术,2020(6):88-91.

The Current Application Status of BIM Technology in Metallurgy and Mining Engineering

Lei Li¹ Hao Wang² Ning Wang²

1. Zhongse International Alumina Development Co., Ltd., Beijing, 100029, China

2. Northeastern University Design and Research Institute (Co., Ltd.), Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

BIM technology, as a new engineering technology, has been widely applied in the fields of engineering design and construction. In recent years, its application in metallurgical and mining engineering has become a hot trend. The application of BIM technology can provide strong technical support for the metallurgical and mining fields from engineering design to construction and operation and maintenance, and has achieved good application results in engineering cases. The paper first introduces the concept of BIM technology and its advantages, then introduces the development status of BIM technology at home and abroad, and finally analyzes and summarizes the current practical application status of BIM technology in metallurgy and mining engineering. At the same time, it analyzes the problems existing in the application of BIM technology in metallurgy and mining engineering, and looks forward to its future development prospects.

Keywords

BIM technology; metallurgy; mine; application status

BIM 技术在冶金及矿山工程中的应用现状

李蕾¹ 王昊² 王宁²

1. 中色国际氧化铝开发有限公司, 中国·北京 100029

2. 东北大学设计研究院(有限公司), 中国·辽宁 沈阳 110000

摘要

BIM技术作为全新的工程技术在工程设计及建造领域有着广泛的应用, 近些年在冶金及矿山工程中的应用已成为热潮, BIM技术的应用可为冶金及矿山领域从工程设计到建设再到运维提供强有力的技术支持, 已经在工程案例中取得了良好的应用效果。论文首先介绍了BIM技术概念及其具备的优点, 其次介绍了BIM技术在国内外的发展状况, 最后就当前BIM技术在冶金及矿山工程中的实际应用现状进行了分析与总结, 同时就BIM技术在冶金及矿山工程中应用存在的问题进行了分析, 对其未来的发展前景进行了展望。

关键词

BIM技术; 冶金; 矿山; 应用现状

1 引言

近年来, 随着中国冶金及矿山行业快速发展, BIM技术作为全新的技术与理念已在该领域工程建设中得到广泛的应用。BIM技术的应用范围十分广泛, 可应用于冶金及矿山工程中的项目策划阶段、设计阶段、施工阶段以及运营维护整个生命周期, 已经展现出巨大的社会价值与经济价值, 因此有着广阔的应用前景。论文以BIM技术特点及优势为基础, 着重介绍了BIM技术在冶金及矿山工程领域的实际应用状况, 并对其未来的应用前景进行了展望。

2 BIM 技术的简介

2.1 BIM 技术的概念

BIM技术最早起源于美国, 最初定义为 Building Information Model, 即“建筑信息建模”。它是一种多维度信息集成技术, BIM技术的核心是通过数字化模型来仿真模拟实际建筑工程物理特征与功能特性信息, 有效地对其进行数字化承载与可视化表达。BIM技术是一种全新的理念, 通过搭建便于交流的信息平台参与到建设工程项目的各板块中。BIM技术可应用于项目的规划阶段、设计阶段、施工阶段以及运维阶段贯穿于项目整个生命周期, 整合工程项目各类信息, 为各相关参与方提供集成化的信息交互环境和手段。目前, BIM技术已经在建筑、化工、冶金、矿山、水利、公路等领域得到了广泛的应用。

【作者简介】李蕾(1982-), 女, 中国河北秦皇岛人, 硕士, 高级工程师, 从事机械工程研究。

2.2 BIM 技术的特点

BIM 技术具有可视化、协调性、模拟性、可出图性等特点。可视化是 BIM 技术的显著特点,通过建立三维模型可将传统 CAD 表达的复杂繁多以及抽象、隐蔽节点的信息更加直观地表达出来,如可视化交底,方便各类工程人员更加清晰的全方位了解项目特征,有助于各方整体把控工程建设。协调性指的是 BIM 技术可提供一个可以协同设计的平台,将各个专业有效衔接起来,有利于各专业及时发现专业之间因信息不对称及沟通不当而存在的问题;除此之外,在施工前,利用 BIM 技术可为相关问题的解决提供一定的措施,从而避免了施工单位与业主沟通不及时导致问题发生的情况。还可以增加施工单位与相关管理部门之间的协调,为施工的顺利进行提供有力保障,可大幅提升建造效率。模拟性指的是利用 BIM 技术模拟仿真现实中不可进行的操作,例如设计阶段的碰撞检测、施工阶段的施工过程模拟,以及运营维护阶段的火灾、地震等危险情况的应急逃生模拟等,为项目建造过程中可能发生的事事故预案编制提供有力的技术支持。可出图性是指 BIM 技术通过创建的三维模型可自动生成管道平面图配置图、ISO 单管轴测图、管道安装图、管道材料表、管架材料表、阀门表等图纸文件,并且获得的各类信息更加准确,这无疑大大减轻了设计人员的绘图压力,解放了设计人员的双手,对于提升工作效率效果显著。

3 BIM 技术在国内外的发展概况

3.1 在国外的的发展概况

BIM 技术经过几十年的发展,已在欧美国家中得到了大规模的普及与应用。这些国家除了在建筑领域的大规模应用之外,其他领域也有着广泛的应用。BIM 技术得到了这些国家政府的大力支持,出台了許多发展 BIM 技术的政策,成立了 BIM 技术协会等。根据调查显示,美国在 2012 年工程建设行业应用 BIM 技术的比例高达 71%;在瑞典等北欧经济发达的国家,从 2007 年政府就强制要求建筑设计采用 BIM 技术;在日本,成立了国家级 BIM 软件联盟,大大促进了 BIM 技术的发展。

3.2 在国内的发展概况

BIM 技术在中国起步较晚,BIM 技术在中国的普及运用大致分为三个阶段。1998—2005 年是 BIM 技术概念的接受期,政府以及工程建设领域人员从接触 BIM 理念到逐步接受;2006—2010 年是 BIM 技术在中国初步应用阶段,对一些示范工程进行试点应用;2011 年至今是 BIM 技术在中国快速发展阶段,BIM 技术在中国最早应用领域是在建筑领域,随着中国房地产行业的快速崛起,各大房产企业积极探索 BIM 技术的运用,将其应用于建筑工程当中,同时政府积极出台关于鼓励 BIM 技术发展的相关政策,有效地促进了 BIM 技术的快速健康发展。在中国 BIM 技术正在以建筑工程为主线,向其他工程领域的应用呈现辐射状态。

4 BIM 技术在冶金及矿山工程中的应用

4.1 BIM 技术在冶金工程中的应用

BIM 技术在钢铁冶金、轻金属冶金、有色金属冶金等领域有着一定的应用。胡本润^[1]将 BIM 技术深入应用于冶金工程烧结项目中,实现了全专业基于 BIM 技术同平台三维协同设计,建立的三维模型极大地完成了设计优化,有助于促进设计质量的提升,从而大大减少了施工阶段的设计变更,有助于降低工程造价与缩短工期。张隆飞^[2]探讨了 BIM 技术在钢铁工业领域的应用,就当前 BIM 技术在该领域的发展现状及问题进行了简要分析,指出 BIM 技术颠覆了传统的设计观念与钢铁工业领域体制,在工程设计、施工管理以及运营维护等方面的优势显著,BIM 技术的运用是未来钢铁工业发展的一大趋势。刘洪亮^[3]等报道了 BIM 技术应用于大型冶金炼钢厂机电安装工程中的实例。通过 BIM 技术,解决了炼钢厂工艺管道与设备预制、安装以及跨国运输的技术难题,提升了项目的施工精细化管理水平,对于同类海外冶金工程项目提供了良好的借鉴价值。汪艳勇^[4]将 BIM 技术应用于冶金高炉安装工程施工管理之中,BIM 技术的可视化优点可以帮助施工人员辅助读图、理解图,利用 BIM 技术可快速从数据库导出的各类明细表,并且准确性高,方便制定材料采购计划,大大减轻现场相关管理人员的精力。利用 BIM 技术可对现场施工班组进行可视化交底指导施工,同时可利用 BIM 技术的模拟性模拟施工过程,这将有助于制定合理的施工计划,掌握精准的施工进度,优化施工资源,降低施工过程存在的各种风险。

黎娜^[5]等介绍了 BIM 技术在氧化铝工程设计中的应用过程。首先,通过制定 BIM 标准来规范数据信息;其次,搭建设计平台,通过建立各类数据库以满足各专业三维建模的需要;最后,各专业同平台三维协同设计,建立氧化铝厂各子项的三维模型,利用 BIM 技术碰撞检测这一技术优势进行各专业会签,优化三维设计,利用 BIM 技术可出图性导出施工所需的图纸,极大地提升了设计质量与效率。邱峰^[6]等报道了基于 BIM 技术的三维协同设计在氧化铝厂设计中的应用,叙述了 Bentley 公司的三维软件在软件管理、厂房搭建、管道安装图、会签及碰撞检查以及出图、动画及渲染等方面的具体应用细节,BIM 技术极大地满足了国内外氧化铝工程项目要求,对于推动氧化铝工程设计行业的发展具有巨大的推动作用。

何银晖^[7]等报道了 BIM 技术在有色冶金总承包(EPC)项目中的应用。将 BIM 技术应用于有色湿法冶炼萃取工艺管道设计及施工当中,首先通过参数化建模及碰撞检测优化管道设计,自动生成管道施工图及材料表为施工阶段提供准确的资料,极大地减少了因设计变更导致的工期延误,同时避免了材料的浪费,大大降低了项目成本。霍文婷^[8]将 BIM 技术应用于冶金工程项目的造价管理之中。依托 BIM 技术,可有效减少设计变更,通过构建冶金工程项目精细化

管理体系,加速转变了造价管理的工作观念,创新了项目成本管控方法,同时有利于冶金工程成本工作的开展,推动了该领域项目的高质量发展。

4.2 BIM技术在矿山工程中的应用

石永刚^[9]报道了BIM技术在国外选矿工程模块化设计中的应用。基于BIM技术将整个选别车间进行划分成四个单元,每个单元划分成6个模块;设备、结构、管道等专业三维协同设计建立各自的模型,最终汇总成为整体模型。BIM技术为海外工程项目模块化建造提供技术支撑,具有良好的经济效益。谢徽^[10]等报道了BIM技术在矿山工程领域的应用。指出BIM技术可多维度在矿山工程项目中的各个阶段发挥着重要作用,BIM技术可有效解决采选冶工艺设计中的难题,并且对于矿山工程建设中的现场、质量、进度、造价管理等方面发挥着重要的作用。除此之外,BIM技术还能在项目运维及智慧化矿山建设方面提供数据、模型支撑,通过与矿山相关专业软件的深度融合,可以打造采、选、冶全专业的协同工作平台,为数字化、智能化矿山三维平台的搭建提供有效的技术支撑,具有广阔的发展空间。胡申琛^[11]等就目前矿山工程建设中BIM技术运用存在的问题进行了分析,指出在该领域普遍存在专业人才匮乏、专业性软件推广不到位等问题。通过制定统一的数据存储格式,融合智能信息技术等途径,形成基于BIM技术的矿山数字化系统,从而实现建造信息全生命周期的迭代与共享。利用BIM技术可以加强矿山工程的施工管理、质量与安全管理及生产运营的管理,有助于实现数字矿山的建设与发展。罗德刚^[12]介绍了复杂矿山地面建筑基于BIM技术的正向设计方法。采用二维与三维一体化的建模思想对选煤厂矸石仓进行建模与出图,同时采用有限元方法对建筑结构进行分析,可实现矿山工程复杂建筑的自由化设计,完美实现了有限元软件分析绘制施工图的突破,同时扩展了BIM设计方法的适用范围。凌飞^[13]等以BIM技术为基础结合物联网技术,研究出基于该技术的煤矿井下安全预警系统。通过BIM技术完成煤矿井下巷道及工业场区建模,当物联网系统监测到煤矿井下巷道发生危险时,将会在BIM模型系统中显示危险发生的可视化界面以及展现出相关信息提示,为矿井作业的安全监管提供了强有力的技术支持。江城^[14]等报道了将BIM技术应用于矿山工程地质环境治理当中,有助于设计人员对该环境治理工程的深入设计,对于提升治理工程质量有着积极的促进作用;同时,BIM技术可实现对该领域治理工程的全生命周期的管理工作,可提高管控水平,使得项目的整体利益得到了保障,提高了矿山工程地质环境综合治理水平。

5 结语

BIM技术是未来的一大趋势,BIM技术以其独特的优

点与应用优势,可应用于冶金及矿山工程建设领域的整个生命周期,为项目决策提供支撑,对于提高工程设计质量、提高工程管理水平、降低工程成本、缩短工程建设周期提供了强有力的技术保障,BIM技术展现出良好的经济价值与社会效益。BIM技术应用在冶金及矿山工程具有一定的实际意义,但目前也存在着企业依赖外国软件技术,国家标准制订响应不足,同时存在一定的行业壁垒以及相关技术人员不足等问题,要解决上述问题务必加大国产BIM技术软件的研发力度,同时出台一系列支持企业发展BIM技术的激励政策,唯有这样才能更好地推动BIM技术的发展。随着BIM技术不断成熟,未来将会在冶金矿山领域发挥出独特的优势,更好地推动工程建设的技术革新,为其注入一剂强心剂,从而促进冶金矿山领域又好又快发展。

参考文献

- [1] 胡本润.BIM技术在烧结项目设计中的深入应用[J].工程建设,2018,50(4):41-44.
- [2] 张隆飞.BIM技术在钢铁工业中的应用[J].科技创新与应用,2014,93(17):76.
- [3] 刘洪亮,何兵,段宗哲.大型冶金工程项目机电安装BIM应用研究[J].施工技术,2017,46(6):22-26.
- [4] 汪艳勇.BIM技术在冶金高炉安装中的应用[J].安装,2016,279(1):60-61.
- [5] 黎娜,左一,董菲,等.BIM技术在氧化铝工程设计中的应用[J].中国金属通报,2018,999(12):25+27.
- [6] 邱峰,胡晓赞,武慧芳,等.三维协同设计在氧化铝厂设计中的应用[J].世界有色金属,2016,459(15):49-50.
- [7] 何银晖,玉日泉,张海静.BIM技术在有色冶金EPC项目中的应用[J].施工技术,2018,47(S1):1548-1550.
- [8] 霍文婷.基于BIM技术的冶金工程项目造价管理实践[J].山西冶金,2022,45(7):201-203.
- [9] 石永刚.冶金矿山模块化建造BIM探索应用[J].矿业工程,2020,18(4):58-61.
- [10] 谢徽,周亚卓,郭瑞军,等.BIM技术在矿山工程建设与管理中的应用[J].世界有色金属,2023,614(2):166-168.
- [11] 胡申琛,林杨.BIM技术在矿山工程建设中的应用[J].现代矿业,2020,36(12):245-246.
- [12] 罗德刚.基于BIM技术的复杂矿山地面建筑设计方法[J].安徽建筑,2022,29(2):91-93.
- [13] 凌飞,杨鹏.基于BIM技术的煤矿井下施工安全预警系统研究[J].能源与环保,2022,44(8):257-262.
- [14] 江城,王智灵.矿山地质环境治理工程BIM技术的应用[J].中国金属通报,2022,1078(10):35-37.

Application of Intelligent Technology in Coal Mining Engineering

Jianzhong Wang

Shanxi Xinzhou Shengda Qifeng Coal Industry Co., Ltd., Ningwu, Shanxi, 036700, China

Abstract

With the progress of science and technology, mining projects face multiple challenges such as safety and efficiency. To solve these problems, this paper discusses the application of intelligent technology in coal mining engineering. It mainly adopts optical fiber sensing, uav inspection, AI prediction and other technologies to comprehensively monitor and prevent all kinds of mining safety risks. The practice shows that the intelligent technology can significantly improve the safety and efficiency of mining and reduce the accident risk. At the same time, the trend of intelligent development of coal mine is expected, that it is expected to further improve the green and intelligent level of mining industry. This research provides a brand new solution for the safety management and efficiency of coal mine mining.

Keywords

coal mine mining engineering; intelligent technology; optical fiber sensing

煤矿采矿工程中的智能化技术应用

王建忠

山西忻州神达栖凤煤业有限公司, 中国·山西 宁武 036700

摘要

随着科技进步, 采矿工程面临诸如安全、效率等多重挑战。为解决这些问题, 论文探讨了智能化技术在煤矿采矿工程中的应用。主要采用光纤传感、无人机巡检、AI预测等技术, 全面监控、预防各类采矿安全隐患。实践表明, 智能化技术能显著提高采矿安全性和效率, 降低事故风险。同时, 也对煤矿智能化发展趋势进行了展望, 认为其有望进一步提升矿业的绿色、智能化水平。该研究为煤矿采矿的安全管理和效率提供了全新的解决方案。

关键词

煤矿采矿工程; 智能化技术; 光纤传感

1 引言

煤矿作为国民经济的重要支柱, 其开采工作直接关系到国民经济的稳定发展。然而长期以来, 煤矿安全事故频发, 不仅造成了严重的人员伤亡和财产损失, 也影响了中国能源结构的调整和产业升级。在这种背景下, 如何提高煤矿采矿的工作效率, 减少安全事故的发生, 成了业内的热点和难点问题。近年来, 随着科技的不断进步, 智能化技术开始逐步应用到煤矿采矿工程中, 如光纤传感、无人机巡检、AI预测等一系列先进的科技手段, 为煤矿的安全生产带来了全新的可能。论文首要针对智能化技术在煤矿采矿工程中的利用情况进行深入探讨, 希望通过智能化技术的广泛应用, 提高煤矿的开采效率, 确保煤矿的安全生产, 为中国煤矿采矿工程的发展提供新思路、新方法。

【作者简介】王建忠(1978-), 男, 中国山西宁武人, 助理工程师, 从事智能化研究。

2 智能化技术在煤矿采矿工程中的应用

2.1 光纤传感技术在煤矿采矿工程中的应用

光纤传感技术在煤矿采矿工程中的应用已有广泛研究和实践^[1]。煤矿采矿工程中, 传统的监测手段难以应对复杂、安全性极高的工作环境, 光纤传感技术凭借其高灵敏度、抗干扰性强、耐高温高压等优点, 在煤矿安全监测中具有重要作用。

光纤传感技术通过光波在光纤中传输的变化来感知环境参数的变化, 光纤传感器可以实现实时、连续、精确的监测。煤矿井下环境复杂, 存在瓦斯、煤尘等多种危险因素, 光纤传感技术能够对这些危险因素进行高精度的监测。例如, 在瓦斯监测方面, 利用光纤光栅传感器, 可以实时、准确地感知瓦斯浓度的变化, 及时发出预警信号, 防止瓦斯事故的发生。

地应力监测是煤矿开采中的另一关键环节。地应力的异常变化往往预示着地质灾害的发生, 如矿震、岩层突然塌

陷等。基于光纤布拉格光栅 (FBG) 的感应技术,可以对巷道和工作面的应力变化进行高精度监测,通过弹性波感应等手段,实现早期预警,保障施工安全。

光纤传感技术在煤矿环境监测中也取得了显著成果。矿井下环境包括温度、湿度、气体等多种变量的监测,通过光纤光栅和分布式光纤传感系统,可以实现对这些变量的全面监测^[2]。光纤传感器具有较高的环境适应性,可以在高温、高湿、强酸碱环境中长期稳定工作,大幅提升了矿井环境监测的可靠性和精度。

目前,光纤传感技术在矿山机械设备状态监测中也发挥着重要作用。机械设备的运行状态直接关系到矿井生产的安全和效率,利用基于光纤传感的振动监测技术,可以实时监测机器设备的振动、温度等参数,及时发现设备故障或异常,进行预测性维护,防止因设备故障导致的安全事故。

总之,光纤传感技术在煤矿采矿工程中的应用,不仅提升了监测精度和反应速度,还有效地降低了人工参与的风险。通过应用光纤传感技术,能够实现矿山安全监测系统的全面智能化,为煤矿安全生产提供了强有力的技术支撑,在保障矿工生命安全和促进矿山高效运营方面具有重要意义。

2.2 无人机巡检技术在煤矿采矿工程中的应用

无人机巡检技术在煤矿采矿工程中的应用已经成为提升安全性和作业效率的重要手段。传统巡检方式依赖人工操作,受限于人工视角和潜在的安全风险,而无人机技术则克服了这些局限,通过高效、灵活的作业模式,为煤矿采矿工程提供了全新的解决方案。

无人机巡检技术主要通过搭载高分辨率摄像头、红外探测仪等传感设备,对矿区进行实时监测和数据采集。矿区的地貌、巷道稳定性、设备运行情况等,都可以通过无人机的视角进行全方位观察和评估。无人机可以迅速到达人工难以抵达的区域,获取关于矿区环境、设备状态的高精度数据,从而及时发现潜在隐患。

无人机还可以通过编程设定巡检路线,实现无人化自动巡检作业。利用预设的程序,无人机能够按计划执行巡检任务,并在遇到异常情况时自动报警或返回基地。这种全自动化的巡检方式不仅减少了对人工的依赖,还提高了巡检效率和精度,降低了人力资源成本和潜在的人员伤亡风险。

在一些特殊情况下,无人机巡检技术显示出了独特的优势。例如,在矿区发生塌方、爆炸等紧急事件时,无人机可以迅速到达现场,进行紧急勘察和搜救工作,为救援决策提供及时、准确的信息支持。无人机搭载的红外摄像头可以用于夜间巡检或低能见度情况下的监测,确保全天候的安全性^[3]。

无人机巡检技术的应用不仅局限于安全监控,还广泛用于资源评估、环境保护等领域。通过分析无人机获取的空间数据,能够有效评估矿区的资源储量、矿石分布以及地质结构,为科学采矿提供依据。无人机在环境监测中的应用也在不断扩展,如检测矿区的土壤、空气和水质状况,为改善

矿区及周边的生态环境提供重要数据支持。

无人机巡检技术为煤矿采矿工程带来了显著的技术进步,从提高巡检效率、精度,到增强安全保障,再到辅助资源评估和环境监测,其多方面的应用潜力为煤矿智能化发展提供了强有力的技术支持。

2.3 AI 预测技术在煤矿采矿工程中的应用

AI 预测技术在煤矿采矿工程中的应用已经成为提高安全性和效率的重要手段之一。AI 技术利用大数据分析和机器学习算法,对采矿过程中的各种数据进行实时监控和分析,能够预测潜在的安全隐患。例如,通过对岩石应力、温度和振动等数据的分析,AI 系统可以预判可能发生的矿井坍塌或瓦斯爆炸。采用 AI 预测技术还可以优化矿井通风和设备维护计划,提高设备利用率,减少维护成本。AI 技术能够通过模拟和仿真,预测各种采矿情景下的最佳作业流程,指导现场操作人员进行更加高效和安全的生产作业。AI 预测技术在煤矿采矿工程中的应用,不仅显著提升了安全性和生产效率,还为矿井管理提供了科学依据,推动了煤矿智能化进程。

3 煤矿采矿工程智能化的发展趋势及前景展望

3.1 煤矿智能化发展的趋势

在煤矿采矿工程中,智能化技术的发展趋势展现了诸多前景和潜力。传统采矿受到诸多因素限制,安全性和效率一直是业内亟待解决的问题。现代智能化技术带来的变革,正在逐步改变这一局面。

煤矿智能化发展的趋势体现在智能感知技术的广泛应用上。光纤传感技术作为一种先进的检测手段,已被引入煤矿环境中。其能够实时监测矿井的温度、应力、震动等关键参数,提供精准的数据支持。这些数据通过大数据平台进行分析,能够预警潜在的安全隐患,如塌方、瓦斯泄漏等,极大地提高了矿井运行的安全性和可靠性。

无人机技术也是煤矿智能化发展的一个重要趋势。无人机具备高灵活性和广覆盖面积的特点,能够在复杂和危险的矿井环境中执行巡检任务。通过搭载高分辨率相机和传感器,无人机能够获取详细的图像和数据,实时传输到控制中心,这不仅减少了人工巡检的风险,还提高了巡检的效率和准确性。矿山管理者可以实时掌握矿坑全貌,及时发现和处理问题,减少事故发生的概率。

与此相关的还有人工智能 (AI) 技术的深入应用。AI 算法能够基于光纤传感器与无人机等设备所获取的大量数据,进行深度学习和预测分析。在矿产资源开采中,AI 可以辅助进行矿层结构预测、资源储量估算和采掘计划优化等。通过对历史数据和实时数据的分析,AI 系统还能预测潜在的事故风险,并提供对应的预防措施,提高矿井运营的安全性和经济性。

智能化技术的发展不仅仅局限于上述几个方面,还包

含了自动化采矿设备的应用。智能化采矿设备配备有各种传感器和自动控制系统,可以实现采矿作业的无人化。自动化采矿设备能够在极端环境下进行高效作业,不仅减少了对矿工的依赖,也降低了生产过程中可能出现的安全事故。远程控制技术的普及,使得作业人员能够在地面安全环境中对地下设备进行操控,实现安全、高效的采矿作业。

基于物联网(IoT)的智能矿山管理系统也是未来的发展方向。通过IoT技术,将矿井中的各类设备、传感器、人员等连接在一个统一的平台上,实现信息的全面共享与联动。这种集成化的管理方式,使得矿井运营更加智能、高效,也为远程监控、预测分析提供了数据基础。未来,随着5G技术的普及,物联网将更加普及和成熟,智能矿山管理系统将发挥更为显著的作用。

总之,煤矿采矿工程的智能化发展趋势,充分体现了先进技术在传统工业中的应用潜力与前景。通过智能感知、无人机巡检、AI预测、自动化设备和物联网系统的应用,煤矿开采从高风险、高强度的传统作业模式,逐步转向低风险、高效率、智能化的发展模式。这不仅大幅提升了煤矿的运营效率和安全性,也为整个矿业的绿色、可持续发展奠定了基础,开创了前所未有的崭新未来。

3.2 煤矿智能化发展的挑战及对策

在煤矿采矿工程的智能化发展过程中,虽然智能化技术展现出巨大的潜力和优势,但仍面临若干挑战,这些挑战主要分为技术挑战、管理挑战和环境挑战三个方面。从技术角度看,当前的智能化设备和系统在复杂的地下矿区环境中运行,面临高温、高湿、高压等极端条件,对设备的可靠性和耐久性提出了极高要求。矿区传感器数据的采集、传输和处理需要高效的数据网络和强大的计算能力,而许多矿区在基础设施尚不完善,导致这些技术难以全面应用。

管理方面,煤矿智能化进程需要矿区管理者具备较高的数字化素养和管理能力。许多煤矿的管理团队在智能化技术上的知识储备相对不足,对新技术的应用和管理存在一定的适应障碍。智能化设备和系统的维护和管理也需要专业的技能和经验,传统采矿工人的转型和再培训难度较大。

环境方面,智能化技术的应用一方面依赖于良好的政策环境和法律保障,政府的支持和引导至关重要。在一些地

区,相关政策法规尚不健全,对智能化技术的推广和应用存在一定阻力。智能化技术的应用需要大量资金投入,而许多小型煤矿企业在资金方面相对薄弱,难以承受高额的技术改造费用。

为应对这些挑战,应采取以下对策。技术方面,需要不断加大研发力度,提高设备的可靠性和耐久性,增强系统在复杂环境中的适应性。在数据处理和传输方面,应建设高效的数据网络,利用云计算和边缘计算等技术提高数据处理效率。管理方面,应加强对矿区管理者和工人的培训,提高其数字化素养和技能,培育一支兼具技术和管理能力的专业团队。通过建立完善的管理制度和流程,确保智能化设备和系统的高效运行和维护。环境方面,应加大政府的引导和支持力度,出台相关政策法规,为智能化技术的应用提供有力保障。针对小型煤矿企业,可采用政府补贴或优惠贷款等方式,帮助其渡过资金难关,促进智能化技术的广泛应用。

4 结语

论文从提升煤矿采矿工程的安全和效率的角度,探讨了智能化技术在煤矿采矿工程中的应用。通过详述光纤传感、无人机巡检、AI预测等技术在煤矿采矿工程中的应用和效果,证明了智能化技术能显著提升采矿的安全和效率,降低事故风险。同时,也对煤矿智能化的发展趋势进行了预测和展望,倡导更加绿色、智能的矿业发展。本研究提供了一个全新的解决方案,期望对煤矿采矿的安全管理和效率有所帮助。然而,智能化技术在煤矿采矿工程中的实际应用还存在诸多挑战和问题,如技术成本、技术人才、数据处理等,仍需要进一步研究和解决。对于未来,我们期待在这个基础上,有更多的研究者和工程师参与到煤矿工程智能化技术的研究和推广中来,共同实现煤矿工程的安全和高效。

参考文献

- [1] 郭建平.煤矿采矿工程中的采矿工艺与技术[J].能源与节能,2021(1):161-163.
- [2] 乔鑫.探究智能化采矿工程中充填采矿技术的创新[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2023(7):116-119.
- [3] 周其安.采矿工程中的智能化技术的创新应用[J].葡萄酒,2023(6):171-173.

Application of Safety Risk Classification Control System in Coal Mine Safety Management

Mingsong Liu Xiaowan Guo

Kuqa Kexing Coal Industry Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 842000, China

Abstract

On the current coal mine industry safety problem is a key part, various departments need to use a variety of means to identify, evaluate and deal with potential risks, and to create an appropriate risk level control system to ensure the safety of the project. This paper expounds how to implement the risk classification control system in coal mine industry and the accident management integration management process, but also discusses the hazards in the actual operation of risk management discovery and solution process, and puts forward the safety of coal mine industry risk management and the integration of hazard management solutions, provide a reference for the safety management of coal mine enterprises.

Keywords

coal mine; safety risk; hierarchical management and control; accident hazard screening; integrated management

安全风险分级管控体系在煤矿安全管理中的应用

刘明松 郭晓婉

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆阿克苏 842000

摘要

就目前煤矿产业安全问题是一个关键部分, 需要各个部门采用多种手段对潜在的风险进行识别、评估及处理, 同时创建适当的风险等级控制系统以确保项目的安全。论文阐述了煤矿行业中如何实施风险分级管控体系和事故隐患排查治理一体化管理流程, 同时也探讨了根据风险管理实际操作中的危险源发现和解决的过程, 并且提出了关于煤矿行业的安全生产风险管理和危险源查找解决方案的一体化的管理模式, 为煤矿企业的安全生产管理工作提供参考依据。

关键词

煤矿; 安全风险; 分级管控; 事故隐患排查; 一体化管理

1 引言

中国煤矿产业的持续发展中, 保障安全生产始终是关键问题之一。伴随着科技的发展及法律法规的健全, 煤矿安全的监管已逐渐攀升至新高度。而把煤矿安全的风险控制和安全隐患的识别、处理整合到一起的管理模式已经成为当前煤矿安全领域的热门话题。这种方式利用科学的方法来评价并区分各类安全风险, 实施精准化的控制策略, 并将安全隐患的发现和解决融入整体的管理流程, 从而提高煤矿的安全管理效率。

2 煤矿安全风险分级管控体系

2.1 煤矿安全风险分级管控模式

煤矿产业的安全风险分级管控系统是依据其危险性的

差异而将其划分为若干个等级, 然后实施相应的风险控制策略和管理方式, 以此来减少甚至避免煤矿行业的事故发生。此种分类法主要依赖于风险的严峻性、潜在性和曝光率, 目的是找出关键风险点并对之施加特定的控制手段。常用的划分办法有两种: 一种为定性划分, 另一种为定量划分。这些标准的设定必须符合实际状况, 一般会考虑到诸如地形特征、开采技术、机械设备以及管理质量等方面的影响。按照各种指标, 煤矿行业的安全风险可能会被归类到重大风险、较大风险、一般风险、低风险类别。对应各类风险等级, 应该设计相匹配的管理方案和防范举措。此外, 还需要构建一套完整的监控和评价机制, 以便定时对煤矿企业面临的安全风险进行评估, 检测防控政策的效果, 并在必要时对其进行修改和优化。另外, 这个监控系统也能为煤矿提供科学和合理的决策依据, 推动煤矿的持续发展, 如图1所示。

【作者简介】刘明松(1987-), 男, 中国河南杞县人, 本科, 工程师, 从事煤矿安全管理研究。



图 1：煤矿安全风险分级管控体系图

2.2 煤矿安全风险及其相关因素分析

煤矿安全风险及关联要素研究构成了煤矿生产安全的核心部分，它能协助我们理解并掌握安全隐患产生的源头、影响力以及分布模式，从而制定相应的预防策略。首先，这涉及到如煤层构造特征、地下水环境以及地震活跃度等方面的问题。比如，煤气突涌和地面水突涌问题主要受煤层结构和地下水环境制约。其次，还涵盖了诸如采掘技术、支撑方式以及空气流通设计等方面的内容。例如，错误地选择采掘方法或通风系统的不足都可能由采掘过程中的技术因素造成。再次，也包含着像矿山机械、交通工具以及电力装置等方面的问题。以设备的老化或者频繁出现故障为例，这些问题的根源在于设备本身。最后，人为因素起到了关键作用。比如违规操作或是缺乏有效的安全监管都会导致人为原因引发的风险。煤矿产业的安全隐患并非平均分配，往往呈现出一定的地域及时效差别，各地区的煤矿企业和各个矿区的安全隐患程度有很大差距，受到诸如地理环境、矿区大小以及机械装备等多种要素的影响。此外，煤矿行业的风险还有其特定的季节性和循环特性，透过对煤矿产业的安全隐患及其关联元素的研究，能使我们更深入理解这些问题的源头和分布状况，从而实施有效的控制策略，同时也能给煤矿企业的管理层提供理论支持，以便他们制订相应的法规和规范，促进煤矿安全生产工作的不断优化^[1]。

3 煤矿事故隐患排查治理一体化管理

3.1 煤矿事故隐患排查治理流程

一体化的风险识别与处理策略是在煤矿产业的安全监管过程中，通过把危险因素的发现及解决活动紧密融合在一起，构建出一套完整的工作链条和系统，以保障煤矿工业的安全运行。这个流程包括以下几个环节：设定每年需要执行的风险检测和应对工作的详细规划，明晰需被检视的具体内容、覆盖面及其完成的时间期限，预先准备好必要的工作人员、工具和物资等资源，为参加风险识别和处置任务的人们提供教育训练，提升他们的安全观念和实际操作能力，依据煤矿企业的具体状况，拟定风险识别的方法和程序，由专业的团队依照这些方法去一一查找潜在的问题，并记录其位置、种类和等级，基于找出的问题，对其进行评价和分级，选取最急迫的应立即解决的事件，针对每个事件制订相应的解决方案，阐述具体的行动方式、负责机构和截止日期等等。按照该方案来推动问题的解决进程，保证所采取的手段是有效的且能实现目标。对于风险处理的过程实行监控审查，确认是否满足了规定的要求，达到了期望的结果，收集所有涉及到风险识别和处理的数据，整理成一份报告，深入研究整体的情况和特性，从实践中吸取经验教训，进一步加强员工们的安全知识和技巧的学习，据此做出的结论，提出改善建议，不断优化煤矿企业风险识别与处理的一体化管理机制^[2]。

3.2 基于人工智能技术的煤矿事故隐患排查识别系统设计与实现

采用人工智能技术建设的煤矿灾害风险检测及辨识体系是一个高效且精确的工具，它能显著地增强煤矿灾害风险检测及辨识的效果和精准度。其工作步骤为：从煤矿生产场所的巡查和监测装置中获取大量的照片、录像和文字资料。然后对其所获得的数据进行清理、消噪并标准化，以保证数据的品质和统一性。接着运用电脑视觉技巧来抽取出煤矿灾害风险数据的关键特性，如纹理、色彩和形态。选择适当的深度学习模式，比如卷积神经网络，用经过预处理过的数据对这些模式进行培训。通过多次循环更新，持续调整模型参数，以此来改善识别效果。依据已训练出的模式，把煤矿灾害风险数据分成各类别，分辨各种形式的风险，比如裂痕、顶部松散等等。再向系统的客户提供危险种类、危险地点的信息，协助他们迅速实施应对策略解决潜在问题。依照实践操作中的反应和顾客的需求，不停改良和完善模型，从而加强了系统的稳健性和精确性。并且将其基于人工智能技术的煤矿灾害风险检测及辨识体系融合到煤矿灾害风险检测及治理一体式管理体系之中，实现了智能化安全隐患检查与处置。利用人工智能技术构建的煤矿事故隐患检测与辨识系统能显著提升对潜在危险的探测效率及精确度。此项工具的使用可协助人类巡查员迅速定位并确认问题，从而增强煤矿产业的安全保障能力，降低意外事件的风险，持续完善和升级系统以实现更高层次的智能化，为煤矿行业的安全运营提供

了强大的助力^[3-5]。

4 煤矿安全风险分级管控与事故隐患排查治理一体化管理融合

4.1 基于风险管控的事故隐患排查治理实践探究

对于煤矿企业而言,利用风险控制来实施安全生产检修是一个关键策略。整合一体化的管理方式能提升其效率。深入研究煤矿生产的全貌以找出潜在的风险点,然后依据这些风险点的评定等级及发生的频率将其分为高低两类。协助企业高层更好地理解危险源,以便他们能针对性地制订安全隐患处理计划。最后,把煤矿企业的安全风险防控和事故隐患排查纳入统一管理体系内。这个体系包含了如风险辨识与评价模块、安全隐患查找与改正模块、事故复盘与解析模块等等。借助各部分功能的联合应用,实现了信息的互通与流程的连贯,提高了管理的效益,避免了管理的疏漏,进而减少了事故的发生率。依照风险评估的结果,拟定了相匹配的隐患排查计划。针对各种风险,确立相应的内容、时间表和负责人,保证检修活动的完整性和及时性。在计划里,需要明示改进的标准和期限,确保隐患被迅速解决,预防事故发生。采用巡检、抽样等多种方法,对煤矿场所开展安全隐患搜寻。执行检修的人员需具有专业的知识和能力,能发现各个类型的危害因素,并且保障检修的过程安稳且高效。在检修的过程中,需要记录下危害的信息,比如危害的位置、问题的描写和改善的负责人,便于之后的改良跟进。需要追踪并解决发现的问题,以保证其及时得到处理。同时,也需回顾这些问题被修正后的情况,以便从中汲取经验,持续优化煤矿企业的安全管理架构。运用风险控制的方法来检查及修复安全隐患能够显著提高煤矿企业安全管理的质量。通过科学地评定潜在的风险、构建统一的管理平台、拟订解决方案、执行检修计划并且跟进并反思结果,可以全方位了解煤矿行业的安全威胁情况,降低危险因素,增加安全生产的稳健度,并在科技日益发展的背景下,借助如人工智能之类的先进工具进一步改善检测和维修能力,从而为我们所提供的煤矿行业的安全保护措施带来更高的可信度。

4.2 煤矿安全风险管控与事故隐患排查治理一体化管理机制构建

为了提升煤矿产业的安全监管能力,需要创建一种基于危险控制的风险隐患排查整治一体化的管理模式。这主要涉及到几个关键步骤:首先是明确安全生产过程中可能会出

现的各种安全隐患,然后根据这些隐患进行等级划分及处理策略设计,以便更好地了解其潜在威胁,然后利用多种方法来识别风险,比如实地巡查和技术工具等,迅速找出隐患并对其进行实施登记,从而形成企业的隐患清单。接下来要依据不同的风险级别及其发生的频率,设定相应的风险控制措施,使之始终保持在可控范围之内。最后,需要编制详细的隐患排查计划,其中包含了检查项目、检查时间间隔、负责的人员和相关部门等等,以此作为隐患排查工作的指南和支持。此外,还要安排专业的工作人员实施实际巡查和随机抽查,深入开展隐患排查活动。对于已经找到的问题,应及时做好记录,同时提出解决方案。当所有隐患都已改正之后,再对其进行审核确认,并在相关负责人处上报结果,确保问题能被妥善解决。把风险控制和隐患排查整治整合进同一个综合性的管理平台上,搭建起一套一体化管理体系,涵盖了风险辨识与评价模块、隐患排查与处置模块、事故追溯与解析模块等。借助各模块间的功能互联,实现了信息的共享和流程的顺畅连接,使得整套安全管理的全过程得以贯通,同时也提高了管理效率和质量。

5 结语

经过研究煤矿安全风险分级管控与安全隐患排查一体化的实施过程后,可以深刻理解其对于保障生产安全的重大意义及面临的困难。把控危险程度并开展全面的安全检查工作有助于大幅度增强企业的安保实力,降低意外事件的发生率。同时利用智能科技手段能更精准地预测潜在的风险因素及其可能带来的影响。然而实际操作过程中还需继续优化监管体系以强化教育训练力度来保证员工生命财产不受威胁,同时促进企业持续稳健的发展进程。

参考文献

- [1] 黄思杰.风险预控管理机制在煤矿安全管理中的应用策略[J].露天采矿技术,2023,38(5):125-128.
- [2] 王钰鉴.我国煤矿企业安全风险预控与班组安全管理研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2021.
- [3] 芦志刚.风险预控管理体系在煤矿安全管理中的应用与探究[J].石化技术,2019,26(3):271.
- [4] 程敬垒.风险预控管理在煤矿安全管理中的应用价值[J].河南科技,2014(20):203-204.
- [5] 张建平,闫夏.风险预控在煤矿安全管理中应用研究[J].改革与开放,2009(11):118.

Mining Technology and Application of Top Coal Paving Network under Complex Geological Conditions

Chenghang Ao¹ Wei Zhao^{2*} Yongshun Jiang² Shirui Pu¹

1. Production Technology Department of Guizhou Shuicheng Mining Co., Ltd., Liupanshui, Guizhou, 553000, China
2. Wangjiazhai Coal Mine of Guizhou Shuicheng Mining Co., Ltd., Liupanshui, Guizhou, 553009, China

Abstract

The coal mining technology is a new coal mining technology. In the process of mining at large inclination in complex geological conditions, the coal seam roof is broken, and the hydraulic support changes with the roof of the mining surface, resulting in the insufficient initial support force and the instability of the hydraulic support. Put forward the top coal network mining technology, optimize the mining engineering process, in the surface roof crushing area artificial laying a layer of barbed wire mesh, reduce the roof coal layer collapse support empty roof phenomenon, control roof collapse, improve the stability of hydraulic support, achieve the purpose of working face stable mining, and achieve the expected results in practical application.

Keywords

roof coal; roof crushing; hydraulic support stability

复杂地质条件下放顶煤铺网开采技术与应用

敖成杭¹ 赵威^{2*} 姜永顺² 浦仕锐¹

1. 贵州水城矿业股份有限公司生产技术部, 中国·贵州六盘水 553000
2. 贵州水城矿业股份有限公司汪家寨煤矿, 中国·贵州六盘水 553009

摘要

放顶煤采煤工艺属于新型采煤技术, 在复杂地质条件大倾角采面回采过程中, 煤层顶板破碎, 液压支架随着采面顶板情况而变化, 导致初撑力不足、液压支架不稳定。提出放顶煤铺网开采技术, 对回采工程中工艺进行优化, 在采面顶板破碎区域人工铺设一层铁丝网, 减少顶板煤岩层垮落造成支架空顶现象, 控制顶板垮落, 提高液压支架稳定性, 达到工作面稳定回采的目的, 并在实际应用中达到预期成效。

关键词

放顶煤; 顶板破碎; 液压支架稳定性

1 引言

放顶煤开采目前属于新型采煤工艺, 该工艺主要是沿厚煤层底部边缘布置综采面, 采煤机进行底部割煤开采, 在截割一定采高后, 借助辅助手段以及矿山压力对顶部未截割煤进行破碎, 通过放煤口放出未采到的顶煤^[1], 综采放顶煤采煤工艺具有对减小巷道掘进量、增高回采效率、煤层条件适应性强等优点^[2]。但是针对更为复杂地质条件下, 综采放顶煤工艺在实际应用过程中容易受到各种客观条件的影响, 比如综采放顶煤工作面容易受到顶板煤层和煤层顶板岩层破碎的影响, 导致工作面液压支架稳定性失衡, 未能发挥该

工艺的价值。因此, 有必要结合采煤工作面的生产情况, 提出在生产过程中在液压支架顶部铺设铁丝网, 达到控制工作面顶板岩层破碎程度, 有效提升液压支架稳定性, 达到开采效率提升的效果。

2 工作面概况

贵州水城矿业股份有限公司某矿 110x 工作面, 设计走向可采长度 670m, 采面长度 170m, 煤层倾角均值为 17°、容重 1.52t/m³、煤层厚度均值为 5.5m。工作面采深 712m, 顶底板基本信息包括基本顶厚 6m, 属稳定类顶板, 为灰色细砂岩; 直接顶厚 3m, 属不稳定类顶板, 为深灰色泥质粉砂岩; 伪顶为厚 0~0.4m, 碳质泥岩; 直接底厚 3.2m, 为褐色粘土岩, 属松软类底板; 基本底厚 4m, 为细砂岩, 属稳定类底板。结合以上对厚煤层的地质信息分析, 决定应用综采放顶煤采煤工艺, 同时采空区顶板的管理选择全部垮落法^[3]。

【作者简介】敖成杭 (1974-), 男, 中国贵州盘州人, 硕士, 工程师, 从事采掘技术研究。

【通讯作者】赵威 (1998-), 男, 中国贵州盘州人, 硕士, 助理工程师, 从事煤矿巷道支护设计研究。

3 放顶煤开采影响因素

3.1 上覆岩层结构变化分析

在矿山压力作用下，上覆岩块不断挤压变形，导致上覆岩层形成一个砌体梁结构（状似梁、实为拱）^[4]。上覆岩层在发生挠曲运动中，会产生上、下岩层层面间的挤压变形以及上覆岩层下沉的两种相互依存运动。随着顶煤持续从放煤口释放，同时采空区域逐渐扩大的情况下，会逐渐扩大顶部各个分层之间的距离，相互挤压持续发生，达到某个临界点后，由于工作面的老顶砂岩其上部和下部的岩层将出现脱层现象。

脱层现象发展至一定阶段时，会导致挤压发生拱形的砌体梁块体之间断裂，造成岩层整体性的结构失稳，从而引发老顶的下伏岩层垮落（图1）。发生的挠曲运动，导致层

面与层面之间挤压变形下沉，这决定着上方以及下方的挤压面的弯矩方向和大小，同时，会在挤压面的另一方出现张拉面。以工作面老顶A、B岩块作为研究对象，在挤压面还没有发生压裂性失稳前，可将挤压面看做一个只进行层面水平运动（图2），A被挤压移动至A'、B移动至B'、C移动至C'、D移动至D'位置，其影响范围受岩层回转角影响，随着成回转角增大导致影响范围增大。

因此，在老顶初期挤压变形运动中，大倾角、厚煤层工作面顶部岩块不停被挤压变形，其下沉缓慢、速度较小，保持持续变形的特性，当产生失稳现象时，岩块与岩块之间的挤压程度达到极限，此时的岩层回转角处于临界点状态，一旦岩层超过临界值，必然发生挤压破碎的压裂性失稳，造成下位岩层的大量下沉垮落。

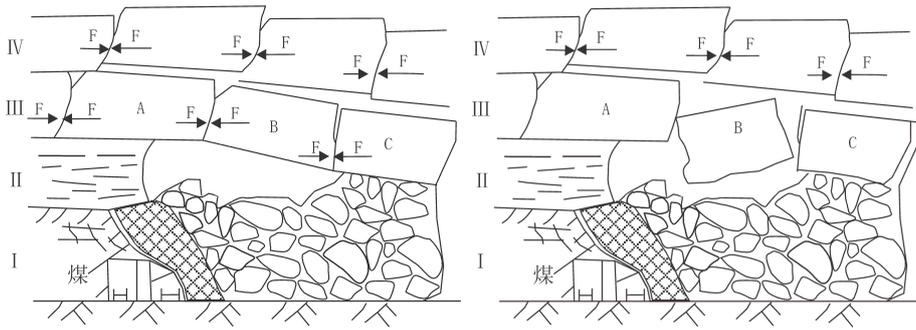


图1 煤层顶板失稳垮落过程图

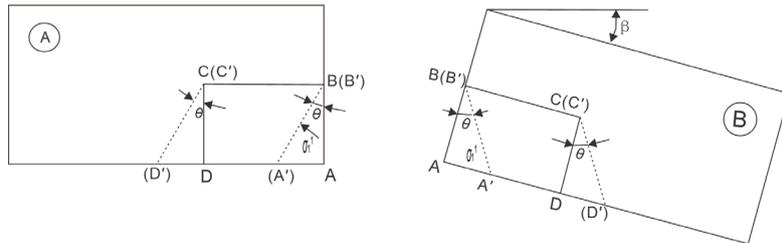


图2 挤压面变形过程

3.2 顶煤冒放性影响因素

综采放顶煤是指，利用采动支撑压力的作用，使煤体自然挤压破碎垮落，煤块从采面液压支架采空区侧及尾部的放煤口释放，所谓顶煤冒放性是指在一定地质条件下，顶煤在前方支撑压力作用下冒落，放出的难易程度的特征度量，亦即顶煤可放性和可冒性的总和^[5]。

放顶煤的影响地质因素主要有：①岩层裂隙发育；②煤层层厚、强度、层数以及夹矸层厚度；③直接顶和老顶的厚度、直接顶和老顶的强度；④煤层的强度和煤层的厚度；⑤开采深度。目前已有研究证实，顶煤冒放性的难易程度受裂隙发育程度和对顶煤破碎程度、应力状态、煤层强度这3个因素限制影响。

煤体中裂隙分为外生裂隙和内生裂隙两大类。成煤过程中，沉积压实作用生成内生裂隙，对顶煤的冒放性影响不大，多以微观裂隙出现于每个煤层的内部；而外生裂隙的

分布是影响顶煤冒放性的关键因素，以宏观裂隙贯穿在煤体各分层，主要由地质构造运动影响产生。

裂隙对冒放性的影响表现在以下两方面：①煤的冒块形状特征和大小直接由裂隙的贯通性、组数、密度以及长度影响；②裂隙的存在大大降低了煤体的强度。

顶煤冒放性分为如下几类：①极好冒放性。只需选择合理的开采工艺以及有利于控制冒顶的液压支架。②好冒放性。只需选择合理的放煤口尺寸和位置和有利于顶煤冒放的液压支架。③中等冒放性。需要在选择合理架型的基础上，选取有利放煤工艺。④较差冒放性。必须采取专门的顶煤破碎处理措施，选择合理的液压支架架型，提高顶煤的破碎情况，增大冒放效果，才能提高煤的回采率。

3.3 顶煤破碎程度变化规律

①增大支架前端控顶距，有利于顶煤破碎和冒放；控顶距过窄，顶煤不利于冒放，控顶距过大，反而导致顶煤破碎程

度过高,容易发生冒顶。②液压支架工作阻力偏高时,阻碍顶煤冒放效果。液压支架工作阻力较低时,利于顶煤破碎冒放,但工作阻力过于偏低,反而会导致支架失稳倾斜。③放煤步距参数对顶煤破碎的影响是反比变化规律,大步距放煤,不利于顶煤破碎和放出;小步距放煤有利于顶煤破碎和放出。

4 顶板铺网放顶煤开采工序

4.1 割煤

在 110x 工作面放顶煤工作面开采中,采煤机械采用的是 MG500/1180-AWD 型双滚筒交流电牵引煤机。割煤高度 2.5m,放煤高度 3m,割一刀循环进度 0.6m,回采总高度 5.5m,局部区域回采总高度 7m。铺网放顶煤流程为:班前隐患安全检查→煤机开机割煤→工作面铺网并上钢丝绳→拉移超前架→推移前部刮板输送机→液压支架尾部破网放顶煤→拉移后部刮板输送机。在采煤机进刀环节,割煤采用割三角煤法,作业方式如下^[6]:

前端头斜切进刀工艺操作如下:①割煤机在下端头部位截割结束后,煤块通过前部刮板运输机运输,煤机开至刮

板输送机弯曲范围 15m 之外,将滚筒降低到煤层底部边缘部位,在上端头进刀。②通过刮板输送机弯曲状态,使采煤机斜切进刀进入煤壁,深度为 0.6m。该步骤推移前部刮板输送机移动到平、直状态。③将后滚筒结构下降到一定部位,提升后滚筒,降低前滚筒,将采煤机移动到下端头,并把刮板输送机机尾段推移到煤壁侧。

4.2 铺网

采面基本顶为灰色细砂岩,均厚 6m,属稳定类顶板;直接顶为深灰色泥质粉砂岩,均厚 3m,属不稳定类顶板;伪顶为碳质泥岩,均厚 0~0.4m。大倾角采煤过程中,由于自身重力,以及施加于顶梁上的推力(重力分力)等作用,液压支架会出现沿工作面下滑和失稳倾倒现象。同时支架在顶板压力控制阀作用下保持稳定状态,但是支架顶部煤层和煤层顶板稳定性差,未铺网前,在矿压作用下,割煤和支架移动过程中会变得破碎,顶板垮落严重,支架顶梁由于未接实顶板而失稳,也会出现下滑和倾倒现象。割煤之后在支架顶梁铺铁丝网,首先可以有效防止破碎煤岩层从架间和架前垮落,其次形成一层假顶保护顶板,提高支架稳定性(如图 3 所示)。

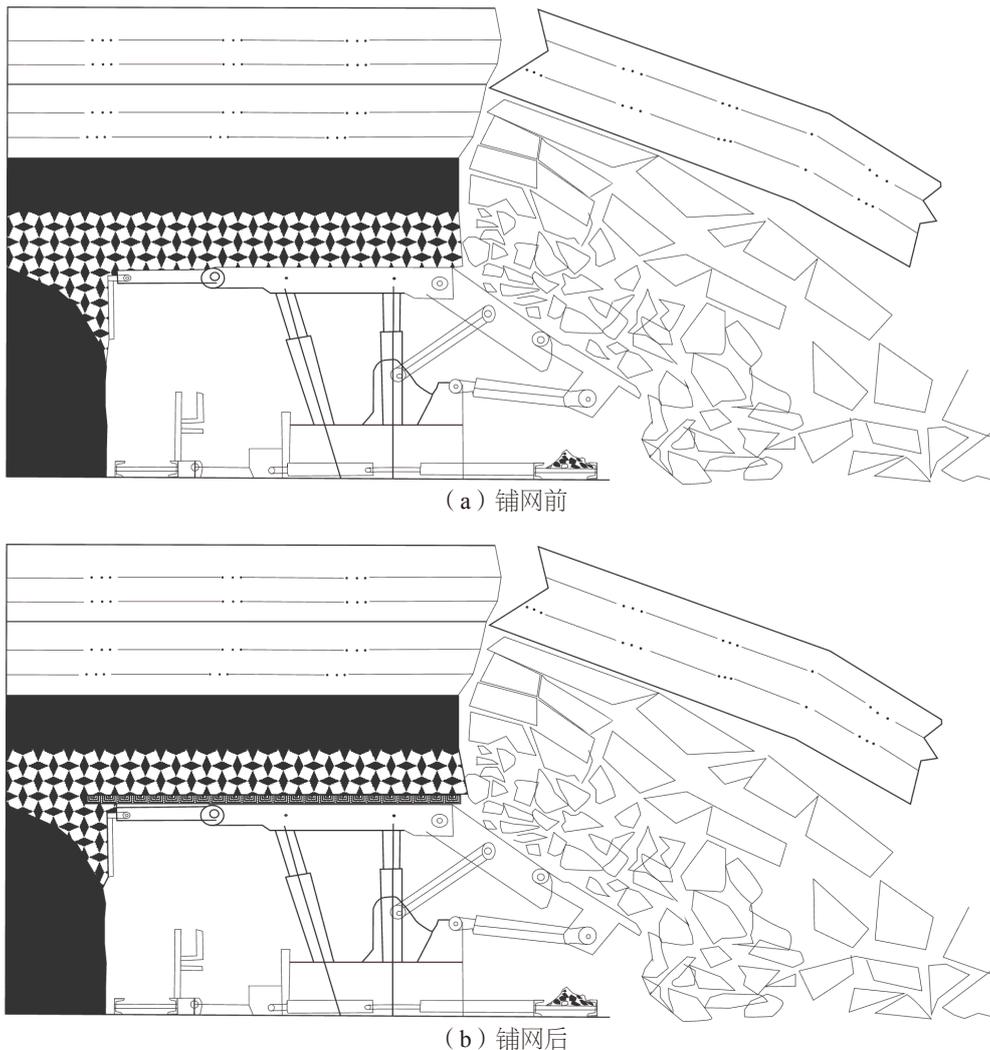


图 3 采煤工作面铺网前后对比图

4.3 移超前架

根据顶板破碎垮落严重程度,在铺网之后选用跟机拉超前架的支护方式,支架移动按照带压擦顶拉架、先降后移的作业方式,做好顶部铁丝网铺设,满足结构性能要求。

4.4 推移前部刮板输送机

①前部刮板输送机推送的环节和移驾相同,利用液控阀组进行控制。②推移刮板输送机时,操作人员及时掌握刮板输送机状态,推移刮板输送机滞后煤机滚筒 8~15m。

4.5 放顶煤拉后部刮板输送机

放顶煤过程中,首先利用尾梁摆动,运用液压支架尾梁插板和顶板压力,撕破铁丝网,同时加强控制液压支架工作助力,控制住顶板压力,顺利完成放煤作业,根据不同进刀方式以及采煤工艺控制放煤顺序,步距设定为 0.6m。

①拉移后部刮板输送机采用液控阀组控制。②通过液控阀组控制拉移后部刮板输送机,弯曲段大于 15m,并保证拉移步距为 0.6m。③拉后部刮板输送机机头、机尾时,必须清理浮矸、浮煤,并检查端头、上下隅角的顶板情况,排除隐患后拉移机头机尾。④工作面后部刮板输送机机头拉移到位后,利用转载机自移装置,将其向前推移一个循环,保证自移后的刮板输送机机头与转载机机尾搭接处转载合理,流煤路线畅通^[7]。

5 铺网开采实际应用效果

验证该矿采用铺网放顶煤优化采煤工艺后的回采效果,论文分析了其月推进度和采面液压支架稳定性指标,并对比分析采煤工艺优化前后的经济效益指标。

①工作面在回采过程中,由于顶板破碎垮落严重,工艺优化前月推进度少,不足 10m。进行工艺优化后,采面月

推进度升高至 25~30m,推进度得到有效提升。②在液压支架顶板未铺网之前,顶板破碎位置液压支架倾角大,支架之间错茬超过标准,移架期间支架不稳定,采取单体柱辅助拉架,移架速度慢。采面顶板铺网优化之后,液压支架接顶严实,有效控制了液压支架倾斜、错茬等稳定性指标,提高了移驾速度。③通过铺网工艺优化之后,采面通过正常放顶煤开采循环,提高了产出煤量,经济效益得到极大增加。

6 结论

①大倾角采煤工作面液压支架在自身重力和顶板控制下保持稳定状态,割煤过程中在液压支架顶板铺一层铁丝网,起到类似假顶的作用,提高了顶板稳定性。②通过对复杂地质条件下采面顶板破碎采取铺网技术工艺优化,在传统工作面回采工序中增加了铺网环节,有效控制了顶板垮落问题,提高了液压支架稳定性。

参考文献

- [1] 张建兵.综放工作面顶煤损失的理论分析及提高顶煤回收率的途径[J].石化技术,2020,27(6):258-258+260.
- [2] 冯超.杭来湾煤矿302盘区厚煤层采煤方法选择研究[J].陕西煤炭,2022,41(3):27-29+64.
- [3] 张浩春.综采放顶煤工艺研究应用[J].煤炭与化工,2022,45(11):31-34.
- [4] 关书方,杨长益.大倾角放顶煤上覆岩层结构失稳力学机理研究[J].华北科技学院学报,2023,4(20):29-34.
- [5] 靳钟铭.放顶煤开采理论与技术[M].北京:煤炭工业出版社,2001.
- [6] 闫少宏,徐刚,志忠.我国综合机械化开采50年发展历程与展望[J].煤炭科学技术,2021,49(11):1-9.
- [7] 杨帆.煤矿综合机械化放顶煤开采工艺的实践应用[J].山东煤炭科技,2021,39(7):148-150.

Application and Prospect of Geophysical Exploration Technology in Earth Resource Exploration

Yancheng Peng

Jiangsu Province Environmental Geological Survey Team, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

With the growth of global resource demand, accurate and efficient exploration technology of earth resources has become increasingly important. This paper analyzes the application of geophysical exploration technology in the field of earth resources exploration, and discusses its future development. Through a systematic review of a variety of geophysical techniques, such as seismic, electromagnetic, gravitational, and geochemical methods, this study reveals their unique advantages in determining the location, depth, and mineral quality assessment. The results show that the integrated application of multiple geophysical exploration techniques can greatly improve the accuracy of resource prediction. The exploration of cutting-edge technologies shows that machine learning and artificial intelligence will open a new era of resource exploration in data interpretation and processing. Finally, this paper proposes optimization suggestions for the existing technology, and predicts the challenges and coping strategies to provide theoretical and practical guidance for the future development of earth resource exploration.

Keywords

geophysical exploration technology; earth resource exploration; data processing

物探技术在地球资源勘探中的应用与展望

彭彦程

江苏省环境地质调查大队, 中国·江苏·南京 210000

摘要

随着全球资源需求的增长, 精准高效的地球资源勘探技术变得日益重要。论文深入分析了物探技术在地球资源勘探领域的应用, 并对其未来发展进行了展望。通过对多种物探技术如地震、电磁、引力及地球化学方法的系统评述, 本研究揭示了它们在确定矿体位置、深度以及矿物质量评估方面的独特优势。研究表明, 集成应用多种物探技术能大幅提高资源预测的准确性。对前沿技术的探索表明, 机器学习和人工智能在数据解释与处理上, 将为资源勘探揭开新纪元。最后, 提出了对现有技术的优化建议, 并预测了物探技术面临的挑战及应对策略, 以期为地球资源勘探的未来发展提供理论和实践指导。

关键词

物探技术; 地球资源勘探; 数据处理

1 引言

随着人类文明和科技的发展, 对地球资源的需求日益旺盛, 而地球资源领域的探索和利用也正面临着巨大的挑战。寻找和有效利用地球资源, 是人类可持续发展的重要条件之一。伴随着各种新技术、新方法的出现, 我们对地球资源勘探的技术手段越来越丰富且精细。物探技术作为地球科学领域的重要手段, 对发现和勘探地球资源起着至关重要的作用。论文从物探技术在地球资源勘探中的应用入手, 论述了地震、电磁、引力和地球化学等主要物探方法在确定矿体位置、深度以及评价矿物质量方面的独特优势, 并对其在地球资源勘探中的发展趋势进行了展望。同时, 该研究还对现

有的物探技术进行了优化并探讨了其面临的挑战和应对策略, 希望能为地球资源勘探的未来发展提供有益的参考和指导。

2 物探技术在地球资源勘探中的应用

2.1 地震勘探技术及其在资源发现中的作用

地震勘探技术是地球物理勘探中最重要的方法之一, 其应用涵盖了资源发现的各个阶段^[1]。地震勘探技术通过分析地震波的传播方式及速度, 可以提供地下结构的详细图像, 广泛用于石油、天然气、矿产等资源的勘探。

该技术利用人造地震源(如炸药或震源车辆)产生的地震波, 这些波在穿过不同地下介质时会产生反射和折射。通过在地表布设检波器接收返回信号, 并使用先进的信号处理和成像技术, 科学家可以绘制出地下地质结构的三维图像。地震勘探技术在确定资源埋藏的深度、规模以及地质环

【作者简介】彭彦程(1990-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事物化探与遥感、地球物理探测研究。

境方面具有无可替代的优势。

地震波的波形、传播时间和衰减特性等数据成为勘探分析的基础。这些数据能够揭示地下不同层位的物理特性，如密度、弹性模量和孔隙度等，从而有效识别和评估潜在的资源储层。地震勘探技术尤其适用于研究复杂地质构造中的资源分布，帮助确定可能的资源聚集区和储层边界。

地震勘探技术的不断进步，如高分辨率勘探、三维和四维地震成像技术的发展，使得资源勘探的准确性大幅提升。三维地震勘探自20世纪80年代末逐渐普及，提供了更详尽和精确的地下构造信息。四维地震勘探技术更是在时间维度上增加了对地下变化的监测能力，成为动态资源管理的有力工具。

地震勘探技术因其卓越的成像能力和解析地下结构的能力，在资源发现中发挥着至关重要的作用，并随着技术进步不断拓展其应用前景。

2.2 电磁勘探技术在矿藏定位中的应用

电磁勘探技术在矿藏定位中的应用具有极高的现实意义。这种技术基于电磁场在不同地质结构中的传播差异，通过观测和分析地下电磁波场分布，能够有效揭示矿藏的空间分布特征。在实际应用中，主要有瞬变电磁法、音频大地电磁法和激发极化法等多种方法。

瞬变电磁法主要利用瞬变电磁波在地层中的衰减特性，探测地下电性的不均匀性。这种方法对金属矿体尤其是硫化矿体具有高灵敏度，适用于中深部矿床的勘探。音频大地电磁法则通过发送频率范围较广的电磁波信号，解析地下不同深度的电导率结构，适用于区域地质调查和中深层矿藏的定位。激发极化法通过测量地下岩体在电流作用下的极化效应，能够有效识别硫化矿和其他导电矿物，是寻找金属矿物的利器^[2]。

电磁勘探技术不仅在矿藏定位中具有显著优势，还由于其高精度、低成本和无损检测的特点，被广泛应用于环境地质调查、地下水勘探和城市地下空间开发等领域。通过不断优化探测方法和数据处理技术，电磁勘探技术在提高数据精度和分辨率方面取得了显著进展。未来，随着科技的发展，电磁勘探技术将在资源勘探中发挥更加重要的作用，为矿藏定位提供更加精准和可靠的科学依据。

3 多技术集成与数据处理的进步

3.1 多物探技术集成对提高勘探准确性的贡献

多物探技术的集成在地球资源勘探中起到了至关重要的作用。通过集成不同类型的物探技术，可以最大程度地利用它们各自的优势，从而显著提高勘探的准确性和效率。

地震勘探技术在获取地层结构和地质特征方面具有独特优势，而电磁勘探技术则在探测地下电导率变化和介电常数方面表现优异。将地震和电磁技术集成使用，可以更全面地了解地下矿藏的分布和特性。例如，地震数据能够提供精

细的地下结构信息，电磁数据则可以揭示矿物的物理和化学性质。这种互补性使得对矿藏位置、深度及其物质组成的预测更加可靠。

引力勘探技术通过测量地球引力场的微小变化，能够确定地下矿体的质密分布，而地球化学方法则通过分析地表及其附近的化学组分，提供关于矿物类型及其浓度的有价值信息。将引力和地球化学方法集成应用，可以弥补单一技术在数据全面性上的不足，提高对地下矿体的识别精度。

多物探技术的集成不仅限于技术上的组合，还包括数据处理和解释方法的优化。多个物探技术获取的数据往往具有不同的特征和噪声，通过先进的数据融合算法，可以消除单个技术带来的不确定性，综合提取真实地质信息。这对于复杂地质环境下的资源勘探尤为重要。

通过多物探技术集成，不仅实现了多源数据的互补性，还为后续的资源开发和利用提供了更科学的依据。在此基础上，通过不断优化和创新，物探技术将在未来地球资源勘探中扮演更加关键的角色。

3.2 数据处理技术的发展及其在地球资源勘探中的应用

数据处理技术在地球资源勘探中扮演着至关重要的角色，随着科学技术的进步，数据处理方法日新月异，其应用亦愈加广泛。现代物探技术产生的大量数据需要经过准确、快速的处理才能为资源勘探提供有效的参考。高效的数据处理方法对于提高资源预测的准确性和效率具有重要意义。

近年来，随着计算机技术的发展，数据处理能力显著提升。高性能计算（HPC）和云计算的运用使得大规模数据处理变得可能。这些技术能在短时间内处理庞大的物探数据，提高了数据分析的速度和精度。多维数据成像技术的发展，使得对地下结构的三维乃至四维成像成为现实，从而为资源勘探提供了更为直观和详尽的地下信息。

在具体应用中，地球资源勘探过程中产生的地震、电磁、引力等数据通过先进的处理算法可以更准确地反映地下结构^[3]。不断完善的反演技术和滤波技术，能够有效地去除噪声，提高信号的清晰度和准确性。地球化学的大数据分析方法也在矿体成分分析中起到关键作用，通过大数据统计和模式识别，可以更准确地预测矿体的分布和含量。

不断发展的数据处理技术提升了资源勘探的精准度和效率，为矿产资源的开发提供了科学依据和技术支持。新兴技术的应用，如机器学习和人工智能，也为未来的数据处理带来了更多的可能性，将进一步推动地球资源勘探技术的进步。

4 物探技术的未来展望与挑战

4.1 对现有物探技术的优化与创新方向

物探技术在地球资源勘探中的优化与创新方向主要集中在几个方面。技术设备的灵敏度和分辨率亟需提升。通过

引入更高精度的传感器和仪器,可以显著提高地震、电磁、引力及地球化学方法的探测能力,从而更准确地定位矿体,评估其深度和矿物质量。提升分辨率不仅能够使物探数据更加精细,还能捕捉到传统技术所遗漏的细微地质异常,增强资源预测的准确性。

数据处理与解释技术的发展是优化物探技术的另一个重要方向。海量物探数据的获得需要高效的处理和分析手段。现代计算机技术的进步,特别是并行计算和分布式计算的应用,可大幅减少数据处理时间。建立基于云计算的综合数据处理平台,可以实现数据的实时分析和可视化展示,提升地质勘探效率。

跨学科技术的融合与创新也是未来发展的重要趋势。将地球物理学与地球化学、地质学、信息科学等学科结合,能够形成多维度的数据交叉验证体系,增强勘探结果的可靠性与准确性。一些新兴技术如纳米技术和高频光谱技术也可与现有物探技术结合,为地质勘探提供全新的视角与手段。

人工智能和机器学习在物探技术中的应用前景广阔。通过构建复杂的模式识别算法和自适应学习系统,可以在海量数据中快速提取有效信息,预测未知区域的地质特征。这不仅能提高勘探效率,还能降低勘探成本。优化和创新现有物探技术,有望助力地球资源勘探迈入更高效、更智能的新阶段。

4.2 物探技术面临的主要挑战及应对策略

物探技术在地球资源勘探中的发展已经取得了显著进展,但在应用过程中仍面临若干挑战。地质环境的复杂多变性使得物探信号在传播过程中的衰减与干扰问题极为突出。这不仅影响了数据采集的准确性,也增加了信号解释的难度。现有的数据处理技术在应对海量复杂数据和多源数据融合时,仍存在算法效率和计算资源消耗的瓶颈。不同物探技术彼此之间的协调与集成应用,在技术兼容性和实时性方面也亟待提升。

为应对这些挑战,需从多个层面实施优化策略。在信号衰减与干扰问题上,可通过引入先进的信号处理算法如递归滤波技术、去噪算法等,提高数据的精度和可靠性。针对海量复杂数据的处理,需开发高效的并行计算算法,并结合大数据技术,提高计算速度与处理能力。在多技术集成方面,可构建统一的数据标准和接口协议,并利用物联网技术实现设备的实时互联互通。可探索使用自动化和智能化技术,如机器学习和深度学习,提升数据解释的准确性与速率。这些

策略不仅能有效应对当前物探技术面临的主要挑战,也将为未来技术创新奠定坚实基础。

4.3 人工智能与物探技术融合的发展趋势

人工智能(AI)在物探技术中的应用呈现出广阔前景。AI技术,尤其是机器学习和深度学习,能够显著提升数据处理和解释的效率与准确性。通过对大规模、多维度物探数据的快速分析,AI算法可以提取出潜在的资源信息,从而更精确地定位矿藏。AI在实时数据处理中的应用使得现场决策更加高效灵活。结合高性能计算,AI技术正在推动物探装备的智能化升级,实现自动化数据采集和实时反馈。而在复杂地质环境下,AI能够帮助识别复杂的地质结构和异常信号,提升勘探技术的适应性和探索深度。未来,随着机器学习算法的不断进化,物探技术将更加智能化,高效化,为地球资源的可持续勘探提供强有力的技术支持。

5 结语

综上所述,物探技术在地球资源勘探中发挥着不可替代的重要作用。从地震勘探技术对地下结构的精细成像,到电磁勘探技术在矿藏定位中的独特优势,再到多物探技术集成带来的准确性提升以及数据处理技术和机器学习、人工智能的广泛应用,物探技术不断为地球资源勘探开辟新的途径。然而,我们也应清醒地认识到,物探技术在发展过程中仍面临诸多挑战。但正是这些挑战,为我们提供了持续创新和优化的动力。通过不断提升技术设备的灵敏度和分辨率、发展高效的数据处理与解释技术、促进跨学科技术融合以及深化人工智能在物探技术中的应用,我们有信心克服这些挑战,推动物探技术迈向更高的台阶。在未来的地球资源勘探中,物探技术将继续发挥关键作用。随着科技的不断进步,我们可以期待更加精准、高效、智能的物探技术不断涌现,为满足人类对地球资源的需求提供坚实的技术保障。让我们携手共进,不断探索和创新物探技术,为地球资源勘探事业的蓬勃发展贡献力量,为人类的可持续发展创造更加美好的未来。

参考文献

- [1] 王凤彬,李进,任伟.物探技术在矿山地质资源勘探中的应用[J].中国科技期刊数据库 工业A,2019(6).
- [2] 余平,魏磊.地球物探测井技术在煤田勘探中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2020(6).
- [3] 贾荣.探究物探技术在地质找矿与资源勘探中的应用[J].中国金属通报,2021(22):63-64.

Geological Characteristics and Genesis Analysis of Mineral Deposits in the Dafengshan Area of the Western Qaidam Basin, China

Zhidong Ren Guocheng Liu Guoqing Li Yi Hu Xiping Xu

China Building Materials Industry Geological Exploration Center Qinghai Corps, Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract

Through field investigations in the Dafengshan area of the western Qaidam Basin, sample analysis of shallow surface minerals was conducted, and combined with previous research results in the region, it was found that the Qaidam Basin has undergone multiple cycles of fluvial sedimentation and lacustrine (salt lake) sedimentation from the Paleogene to the Quaternary. Since the Oligocene, various rocks in the bedrock mountainous areas around the basin have been weathered and eroded by nature for a long time. Most of the broken materials are transported to the basin for sedimentation due to the effects of flowing water, wind, and self gravity. At this time, salt substances migrate towards the basin along with the transport. During the sedimentation process of salt lake facies, under arid paleoclimatic conditions, surface evaporation caused a large amount of primitive surface water to continuously evaporate and condense, crystallizing into salt.

Keywords

Qaidam Basin; geological features; genesis

中国柴达木盆地西部大风山地区矿床地质特征及成因分析

任志栋 刘国成 李国庆 胡祎 徐玺萍

中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队, 中国·青海 西宁 810000

摘要

通过对柴达木盆地西部大风山地区的野外调查, 出露浅地表的矿的样品分析, 结合前人对该区域的研究成果分析, 柴达木盆地从古近纪至第四纪, 经历了河流相沉积和湖相(盐湖)相多旋回沉积。自渐新世以来, 盆地周缘基岩山区的各种岩石长期受自然界的风化、剥蚀, 大多数破碎物质受流水、风和自身重力等作用, 搬运到盆地内沉积, 此时盐类物质伴随搬运作用向盆地迁移。盐湖相沉积过程中, 在干旱的古气候条件下, 地表蒸发作用使大量的原始地表水不断蒸发浓缩, 结晶成盐。

关键词

柴达木盆地; 地质特征; 成因

1 引言

柴达木盆地位于青藏高原北侧, 秦祁昆成矿带中部, 为一个北西—南东向发育的菱形内陆盆地。柴达木盆地自中生代侏罗世开始形成, 盆地自侏罗纪以来历经多期次拉张、挤压旋回, 至古近纪时为拉张性质, 中新世受祁连造山带与昆仑造山带双向逆冲推覆挤压作用又转化为挤压性质持续至今。至上新世盆地演化解为东西两部分, 并伴随更新世以来强烈的构造运动, 西部各个湖区先后从柴达木古湖分离出来并开始各自的沉积成盐演化过程^[1-3], 呈现了现今柴达木盆地矿产分布格局。

前后 50 多年的工作, 柴达木盆地矿产资源勘查取得

了丰富的成果, 其中探明储量与资源量的盐类矿产就多达 12 种, 据统计, 钾盐矿累计查明资源储量 10.4 亿 t, 占全国资源储量的 79.78%; 锂矿累计查明资源储量 1860 万 t, 占全国资源储量的 83.16%; 硼矿累计查明资源储量 4533.9 万 t, 占全国资源储量的 26.69%; 石盐矿累计查明资源储量 3101.23 亿 t, 占全国资源储量的 22.13%。除此之外, 镁盐、湖盐、芒硝、石膏、锶矿、溴矿、碘矿、铷矿等盐类矿产资源量也较可观。盐类矿产本身经济价值巨大, 同时盐类沉积成岩过程与许多金属和非金属矿产在时空分布、矿质来源等多方面关系密切, 因此盐类矿床成因受到了地质界的普遍重视^[4,5]。

论文通过对柴达木盆地西部大风山地区的野外调查, 结合前人对该区域的研究成果, 分析柴达木盆地西部矿成因, 进而探讨柴达木盆地成矿环境。

【作者简介】任志栋(1985—), 男, 中国甘肃酒泉人, 高级工程师, 从事固体矿产勘查、非金属矿成矿规律研究。

2 区域地质概况

柴达木盆地地处青藏高原东北隅，位于北侧古亚洲构造域与南侧特提斯—喜马拉雅构造域之间。区域位置特殊，被分布于其西侧的阿尔金断裂、北侧的柴北缘断裂、东侧的鄂拉山造山带及南侧的东昆北断裂所围限。

柴达木盆地是一个大型山间盆地，是在印支期构造基

础上发展起来的，走滑拉分与双向逆冲推覆的复合成因盆地。前人首先以石炭系为主要研究对象，以甘森—小柴旦湖为界，将盆地分为东西两个沉积区，进而根据盆地基底特征、重力特征、磁场特征以及构造特征，将盆地西部划分为祁南逆冲带、一里坪拗陷、昆北逆冲带，将盆地东部划分为德令哈拗陷、欧龙布鲁克隆起、三湖拗陷带^[6]（图1）。

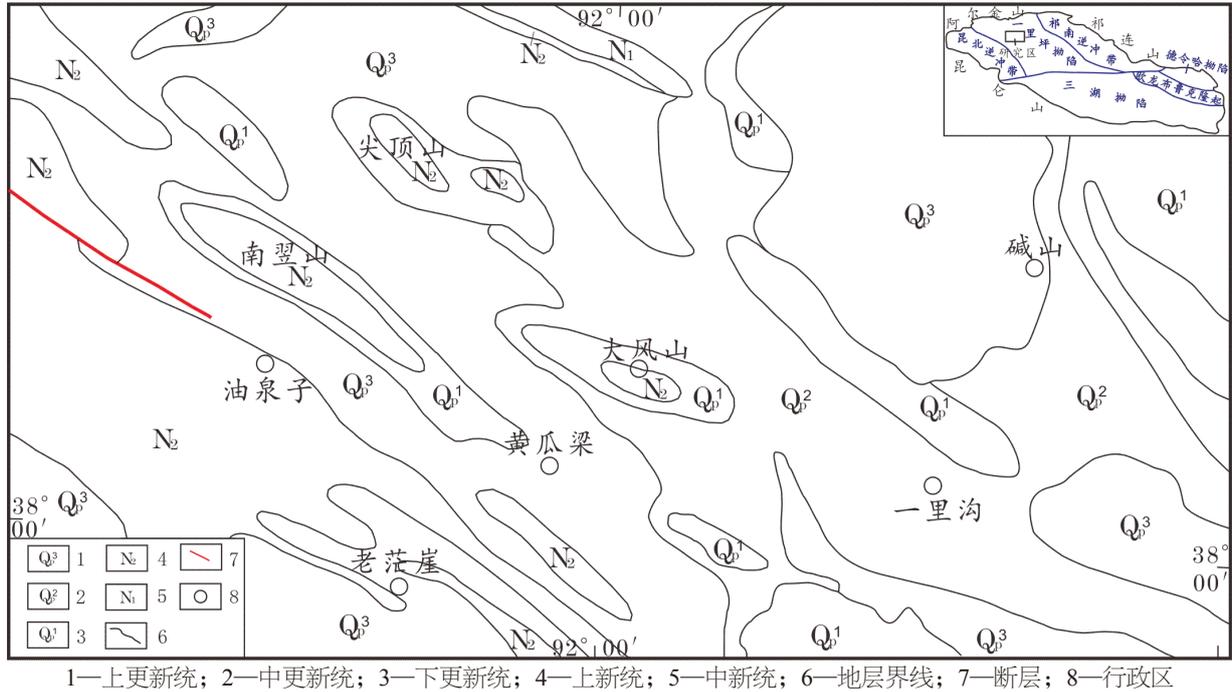


图1 研究区地质构造简图（据1：100万青海省大地构造图及文献6修编）

盆地内及周边广泛分布新时代地层，主要出露古—始新世洪积—河流沉积的路乐河组；渐—中新世河流—湖相沉积的干柴沟组；上新世山前洪积—湖相沉积的油砂山组；上新世河流—滨湖沉积的狮子沟组；下更新世河流—滨湖—浅湖沉积的七个泉组以及中更新统湖相沉积物、上更新统洪积湖积及化学沉积物。

盆地四面被高山所包围，从而阻断了来自低空和高空湿润气流，除常年受西北风控制外，且受蒙古高压反气旋的影响^[7]，气候寒冷干燥、少雨多风、蒸发量大、昼夜温差大，年平均气温-29℃~32.7℃，年降水量为20mm左右，蒸发量可达2500mm以上。为典型的大陆性荒漠气候。

区内盐类矿产较为丰富，根据勘查及前人研究，盆地演化过程中不同时期其盐类成矿也有差异：上新世主要形成湖盐、锶矿等，且主要分布于大风山、尖顶山、大沙坪地区；早更新世以来主要形成湖盐、钾镁盐等，大面积分布于大浪滩、察汗斯拉图、昆特依^[1]。

3 矿区地质

研究区位于柴达木盆地西部一里坪拗陷带（图1）大风山与黄瓜梁之间，西侧为阿尔金南缘断裂，北侧为祁南逆冲

带，南侧为昆北逆冲带，东侧为三湖拗陷带，其是柴达木盆地在新生代以来发生断陷—充填—改造过程中形成的次级构造盆地，为柴达木盆地的沉陷中心地带^[1]。成矿带属于秦祁昆成矿域，柴达木盆地成矿省，柴达木盆地西部拗陷区Sr—石油—天然气—芒硝—钾镁盐成矿亚带^[8]。区内基本被新生界覆盖，沉积物厚度较大，地质构造复杂。区内出露地层有上油砂山组砂质泥岩、砾状砂岩、粉砂岩；狮子沟组泥岩、砂质泥岩、石盐、石膏；七个泉组泥岩、砂质泥岩、砂岩、石盐、石膏及泥灰岩；中更新统湖积粉砂岩夹石盐、石膏层；上更新统洪积砂砾石、粗砂，湖积化学沉积的粘土、石盐、芒硝、含石膏细砂。

4 矿床特征

矿体赋存于第四系上更新统湖积、化学沉积层中，呈似层状~层状产出，矿层延伸长大于10km，宽大于5km，通过开挖浅井矿体厚度3~5.5m。矿体顶部0.5~0.8m为黄褐色含粉砂质黏土，其中见有少量石盐。芒硝矿石风化面呈灰白~白色粉末状，新鲜面为透明无色不等粒镶嵌结构，块状构造。以芒硝为主，共生有石盐及杂卤石，常含淤泥、粘土等杂质。芒硝晶体暴露于地表空气中后，很快便因脱水变

为白色粉末。

本次在研究区内共开挖6个浅井剖面进行测量,每个剖面从地表向深部按照0.5m一个样品对矿层进行采样,共采集32份化学分析样品,根据化学分析测试结果显示,研究区内芒硝 Na_2SO_4 含量45.01%~56.89%,平均51.00%, Ca^+ 含量0.18%~0.83%,平均0.41%; Mg^+ 含量0.035%~0.12%,平均0.0533%; Cl^- 含量0.18%~0.75%,平均0.33%; Fe 含量0.0001%~0.0005%,平均0.0003%。同时采集了2件样品进行了全分析,分析结果为: Fe_2O_3 :0.0055%, H_2O :41.23%~44.69%,水不溶物:4.75%~6.27%, K^+ :0.0056%~0.010%, Na^+ :16.10%~17.22%, Ca^+ :0.43%~0.53%, Mg^{2+} :0.099%~0.12%, Cl^- :0.61%, SO_4^{2-} :31.72%~34.88%, HCO_3^- :0.22%, CO_3^{2-} :0.15%, B_2O_3 :0.016%~0.019%, Rb_2O : 0.39×10^{-6} ~ 0.55×10^{-6} , Cs_2O : 0.03×10^{-6} ~ 0.05×10^{-6} , Li^+ : 0.35×10^{-6} ~ 0.49×10^{-6} , Br^- : 2.76×10^{-6} ~ 3.31×10^{-6} , I^- : 0.46×10^{-6} ~ 0.78×10^{-6} 。

与位于研究区西侧大浪滩梁ZK02钻孔^[9]岩性进行对比,研究区发育的岩层与大浪滩ZK02钻孔表层0~7.3m岩性基本一致,其铀系法测定的年代结果为 24.2 ± 0.8 ~ $14.9 \pm 1.0\text{ka}$ 。同时根据大浪滩ZK336^[10]岩性对比及测年数据显示其形成年龄为 $18.7 \pm 0.21\text{ka}$ 。根据对比研究区芒硝层形成年龄大约为14~24ka。

5 矿床成因探讨

5.1 盆地演化

柴达木盆地是伴随着南北两侧的东昆仑和祁连山造山带的构造演化而形成和演化而来的,大致经历了北缘侏罗纪前陆盆地,古近纪-新近纪双侧前陆盆地和第四纪挤压拗陷盆地等演化^[11]。

柴达木盆地于新生代是一个地壳规模的向斜盆地,前人^[12]根据柴达木盆地西区新生代出露地层分布范围及岩性特征,将柴达木盆地西区新生代构造演化主要为:古新世-渐新世早期,受南北方向上双向挤压区域构造应力的影响,地壳岩石圈发生纵弯变形,致使盆地西区发生挤压拗陷;晚渐新世~中新世中期,伴随南北两侧昆仑山和祁连山造山带的进一步逆冲挤压,在盆地南北两侧形成逆冲断层,盆地中心纵弯变形进一步发展;上新世以来,挤压构造持续进行,盆地处于整体抬升,强烈挤压拗陷阶段,盆地内部发生盆内断、褶构造,区内广泛发育NW-NE向宽缓褶皱。

研究区主体为尖顶山一大风山背斜构造带南翼。根据刘志宏等^[13]对于尖顶山地区的地震剖面的研究分析,尖顶山背斜是由逆冲断层控制的大型断层传播褶皱,自上新世开始,研究区受SW-NE向挤压作用,形成了大型断层控制的宽缓传播褶皱构造,并进一步接受周边高山剥蚀物的沉积。进而形成了如今的聚宝盆。

5.2 气候环境

大量岩矿层的出现与岩层形成时的气候环境条件关系密切,特别是封闭的内陆盆地,气候相对湿润时周边淡水补给增多,地表水体携带泥沙等物质补给到湖体,湖体面积增大,会沉积泥质粉砂质碎屑沉积。气候干燥时,地表补给剧减,湖体面积缩减,蒸发作用加强,盐类矿物析出。

根据实验研究,盐类矿物析出时的气温特性,芒硝作为冷温气候条件特征矿物,是干冷环境下沉积的硫酸盐矿物,主要形成于常年均温 -7°C ~ -3°C 以下且持续达到7个月以上,气候越冷,越容易沉积,沉积厚度也越大。第四纪长期干旱和极干旱地区基本上是氯化物型或氯化物型-硫酸盐型盐湖分布区。马妮娜等^[14]通过对大浪滩表层芒硝矿层碳氧同位素分析研究,118.0ka至今,大浪滩地区以干旱气候为主,同时伴随构造运动背斜进一步隆升,湖区继续抬升,盐湖进一步退缩盐类快速析出。侯献华^[9]等通过对柴达木盆地西部大浪滩盐湖沉积中心钻孔岩芯进行年代学、地层岩性、碳氧同位素等开展研究,表明柴达木盆地西部140ka以来古气候总体表现为潮湿-干燥的动荡变化过程,约14ka之后大浪滩周边古湖泊基本干涸,结束了湖积历史。且该层芒硝层很可能对应于末次冰期中的H1事件。王建等^[15]通过对柴达木盆地西部钻孔中的旱生植物孢粉含量及种类的分析,由于柴达木盆地纬度的增高、高度的增大、地球气候的变冷及青藏高原的隆升,致使盆地自新生代以来气候一直在变冷、变干,且在上新世以来出现了异常干燥期。

因此,自上更新世以来,柴达木盆地整体处于温度较大幅度降低且干燥的变化过程,在寒冷-干旱条件下,湖水大量蒸发导致水体盐度上升明显,盐类矿物大量形成。

5.3 矿物质来源

通过对柴达木盆地内出露的新生代地层岩性特征的分析,新生代以来,柴达木盆地属陆相前陆盆地,以洪积相-河流相-滨湖相沉积了来自周缘祁连山、昆仑山及阿尔金山等高山风化剥蚀的碎屑物。前人^[16]通过对柴达木盆地西部构造裂隙孔隙卤水进行常量、微量以及同位素物源示踪测试分析研究,柴达木盆地西部构造裂隙孔隙卤水为溶滤水,经历了比较强的还原环境,卤水来源于最初的大气降水,孔隙卤水与大气降水通过溶解径流区域内岩石,使得岩层中的矿物组分伴随水流迁移至盆地内部。

6 结论

从古近纪至第四纪,柴达木盆地陆相沉积经历了河流相沉积和湖相多旋回沉积。自新生代以来,由于盆地南北两侧昆仑山及祁连山造山带双向挤压,伴随盆地周边山脉的快速抬升及盆地的沉降,使得盆地周缘昆仑山、祁连山及阿尔金山基岩山区的各种岩石长期受自然界的风化、剥蚀后,大多数碎屑物质受流水、风和自身重力等作用,搬运到盆地内沉积,伴随着风化产物的搬运过程,盐类物质也向盆地迁移。在寒

冷干旱的古气候条件下,发生盐湖相沉积,地表蒸发作用使大量的原始地表水不断蒸发浓缩,结晶成盐,形成了现在矿产。

参考文献

- [1] 潘彤,张金明,李洪普.柴达木盆地盐类矿床成矿单元划分[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(5):1446-1460.
- [2] 杨谦.察尔汗盐湖盐层及钾矿层的分布规律[J].青海地质,1992(2):66-88.
- [3] 孙国强,赵明君,郭建明.昆特依凹陷中生界、新生界发育特征及构造演化分析[J].天然气地球科学,2011,22(1):102-107.
- [4] 任静.中国芒硝类矿床研究现状[J].沉积与特提斯地质,2013,33(1):109-112.
- [5] 李代荣.中国芒硝矿特征与成因简介[J].矿床勘查,2020,11(3):511-516.
- [6] 杨超,陈清华,任来义,等.柴达木盆地构造单元划分[J].西南石油大学学报,2012,34(1):25-33.
- [7] 侯献华,郑绵平.柴达木盆地大浪滩130kaBP以来的孢粉组合与古气候[J].干旱区地理,2011,34(2):243-251.
- [8] 潘彤.青海成矿单元划分[J].地球科学与环境学报,2017,39(1):16-33.
- [9] 侯献华,郑绵平,张成君,等.柴达木盆地西部大浪滩140ka以来沉积特征与古环境[J].地质学报,2010,84(11):1623-1630.
- [10] 郑绵平,赵元艺,刘俊英.第四纪盐湖沉积与古气候[J].第四纪研究,1998(4):297-307.
- [11] 曹国强,陈世悦,徐凤银,等.柴达木盆地西部中-新生代沉积构造演化[J].中国地质,2005,32(1):33-40.
- [12] 方向,孟庆任,张永庶.柴达木盆地西区新生代构造演化及对油气勘探的启示[J].地质论评,2013(59):703-706.
- [13] 刘志宏,王芄,刘永江,等.柴达木盆地南翼山-尖顶山地区构造特征及变形时间的确定[J].吉林大学学报,2009,39(5):796-802.
- [14] 马妮娜,郑绵平,马志邦,等.柴达木盆地大浪滩地区表层芒硝的形成时代及环境意义[J].地质学报,2011,85(3):433-444.
- [15] 王建,席萍,刘泽纯,等.柴达木盆地西部新生代气候与地形演化[J].地质论评,1996,42(2):166-173.
- [16] 李洪普,潘彤,李永寿,等.柴达木盆地西部构造裂隙孔隙卤水地球化学组成及来源示踪[J].地球科学,2022,47(1):36-44.

Analysis on the Application of UAV Remote Sensing Technology in Water Conservancy Project

Jian Xu Jianchun Guo

Zhongshui North Survey and Design Research Co., Ltd., Tianjin, 300222, China

Abstract

With the intensification of global climate change and human activities, the management and protection of water resources are facing unprecedented challenges. As an important means of water resources management, water conservancy projects' traditional monitoring and management methods have some limitations in terms of efficiency, accuracy and cost control. UAV remote sensing technology plays an increasingly important role in the field of water conservancy engineering with its unique advantages. As an efficient, flexible and relatively low-cost monitoring means, uav remote sensing technology provides many conveniences for the construction and operation of water conservancy projects. Therefore, this paper puts forward some simple views on the application of uav remote sensing technology in water conservancy projects based on relevant literature research and its own practice.

Keywords

UAV remote sensing technology; water conservancy project; application; exploration analysis

无人机遥感技术在水利工程中的应用探析

许健 郭建春

中水北方勘测设计研究有限责任公司, 中国·天津 300222

摘要

随着全球气候变化和人类活动的加剧, 水资源的管理和保护面临前所未有的挑战。水利工程作为水资源管理的重要手段, 传统监测与管理方式在效率、准确性和成本控制方面存在一定局限性。无人机遥感技术以其独特的优势在水利工程领域中扮演着越来越重要的角色。作为一种高效、灵活且成本相对较低的监测手段, 无人机遥感技术为水利工程建设与运营提供了诸多便利。为此, 论文结合相关文献资料研究以及自身实践情况就无人机遥感技术在水利工程中的应用提出自己几点简单看法, 以供参考。

关键词

无人机遥感技术; 水利工程; 应用; 探析

1 引言

作为一种高效灵活的现代化监测手段, 无人机遥感技术在水利工程领域的作用日益凸显。无人机通过搭载先进的传感器和照相设备, 能够快速获取为水利工程多方位监管提供精准实时信息的高分辨率地形地貌资料。

2 无人机遥感技术在水利工程中的应用

2.1 施工进度监测与质量控制

首先, 在施工进度监测中, 无人机对整个施工现场进行全面覆盖航拍, 通过预先规划好的航路定时飞行采集高分辨率影像资料。这些影像资料可通过专业软件处理, 生成准确反映施工进度的施工现场正射影影像图、数字高程模型

(DEM)、三维模型等。在这一过程中, 遥感技术人员会设定无人机的飞行频率和影像采集频率, 以保证无人机在每一阶段都能捕捉到施工变化, 并根据工程项目的时间节点和施工计划进行拍摄。尤其是对施工进度动态变化, 通过图像资料的时间序列分析, 能够直观地展现出来, 并对施工过程中可能出现的滞后或异常情况进行识别。此外, 借助图像配准技术和变化检测算法, 对土石方工程挖填量、混凝土浇筑面积等不同时期的图像进行比较, 对工程实体实际进展量进行精确测量, 确保施工进度与设计相吻合。无人机遥感技术可在探测进度偏差时, 协助制定调整策略, 为施工管理人员提供特定位置和量化数据, 提高施工管理的科学性和针对性。无人机的应用在水利工程质量控制上同样优势显著。及时发现和整改质量隐患, 避免工程整体质量受到潜在问题的影响, 是施工质量控制的关键所在。无人机高空巡视技术能够覆盖所有工地区域, 尤其是高处或隐蔽位置, 这些地方是传统地面巡视难以到达的。遥感技术人员可以通过高

【作者简介】许健(1984-), 女, 中国天津人, 本科, 高级工程师, 从事航测遥感技术、GIS开发和遥感AI模型研究。

分辨率影像,对浇筑过程中的缺陷或不均匀现象进行详细分析,如检查混凝土结构的表面平整度和均匀性等。同时,无人机影像资料可结合数位地形模型,侦测填土密度及均匀度,以因应水利土方工程中的堤坝填土品质问题,发现潜在的品质问题。遥感技术人员可以将无人机拍摄到的图像与地面激光扫描(LiDAR)数据结合起来进行多角度、多层次的分析,从而提高探测的精确性。实际运行中,遥感技术人员会按照施工项目的具体需求设计无人机的飞行任务,包括航线规划合理设置飞行高度确定影像采集时机等综合考虑现场地形、进度及天气状况等要素。在完成影像采集后,遥感技术人员还要进行后期的数据处理和分析,包括影像几何校正正射影像生成多时相影像变化检测等处理过程,使生成的影像数据能够更准确地反映实际情况并为施工管理提供可靠的资料支撑,从整体上提高工程的效率和质量。另外,为使监测与控制的连续性和全面性得到保证,遥感技术人员在结合无人机遥感资料和地面监测站数据以及遥感卫星影像等资料进行综合分析后,还能对数据进行进一步融合,形成多数据源的综合分析体系。这样,既能提高监测的精确性和可靠性,又能为复杂的施工项目提供更为全面的技术保障。从整体上提高监测与控制的效果。

2.2 水利设施检测

首先,在大坝监测方面,大坝结构的高清图像将定期通过无人机搭载的高分辨率可见光传感器,以及多光谱或热成像装置来获得。无人机可以在不同角度、不同高度飞行,从而拍摄坝体坝顶、坝肩、坝体接合部等坝体表面,特别是易出问题的区域的各种细节。对大坝表面出现的裂缝、变形等结构性问题,通过不同时间获取的图像数据进行对比分析。尤其是采用热成像技术,能够识别出温度异常的区域,这是由于内部渗漏或者是结构缺陷造成的,这样安全隐患就会被更早地发现。其次,在渠道巡检中,无人机通过预设航线,搭载多种传感器,如高清摄像头、激光雷达等,沿着通道飞行,获取通道全景影像及三维点云数据。激光雷达可以透过植被,以协助侦测堤岸稳定及可能发生崩塌的危险,获取通道沿线地形的精确高程资料。最后,通过高清摄像机获取的图像数据,往往通过地面巡视难以全面掌握的渠道内外的渗漏、裂纹、侵蚀等情况,都可以通过高清摄像机进行分析。无人机在飞行过程中实时传送影像资料,让巡检员可以透过激光雷达资料的处理,快速定位并分析后台的问题区域,生成精准的3D模型,进一步评估复原计划。在水库水位监测方面,无人机获取水库的高精度地形和水面高程数据,通过携带激光雷达、照相测量设备或SAR雷达。有了这些数据,水库的实时蓄水就能进行精确计算,并对照历史资料加以分析。同时,通过结合气象预报和上游来水信息,将无人机采集到的水位数据进行水文模型录入,进而对蓄水量未来变化趋势进行预测,为水库调度决策提供支撑。对于分洪道、导流洞等大型水利设施,无人机也能进入空间狭小

或人类难以到达的区域,获取帮助探测裂缝、渗漏等问题的高清晰图像或内部结构的激光雷达数据。无人机的独立飞行能力和智能路径规划能力,使其在飞行过程中能够高效地完成多项巡检任务和躲避障碍物,确保装备万无一失。

2.3 河道巡查与治理

应用无人机遥感技术对水利工程中的河道进行巡查与治理时,首先要求进行系统性的航线规划,保证能够覆盖整个河道区域,并按照不同河道的特点对巡查频率进行合理设定,以最大程度上收集到全区域的数据信息。在航线规划时还应考虑无人机的续航能力飞行高度传感器视场角等因素,使获取到的河道全景数据得到最大限度的利用,除了对河道是否畅通有直接影响之外,还可用来对河床侵蚀植被覆盖率、河岸稳定性等潜在问题进行识别与分析。其次,在河道巡查过程中对无人机上搭载有高解析度摄像机的影像进行采集。这些资料不仅可以对河道畅通状况做到心中有数,还可用来对河道水环境进行监测;同时对于发现的一些可以引起注意的隐患。对影像进行后处理分析,能提取出河道的关键形态学参数,如河宽,河深,坡度等,从而为管理者提供详尽的河道信息。在河道堵塞监测中,无人机可通过定期的影像比较分析来识别河道中的异物或淤泥堆积情况,并自动生成告警信息,在影像上对堵塞位置进行标注,为后续的疏通作业提供精确的地理定位。另外,利用无人机的实时传输功能在飞行过程中可将获取的影像资料即时回传到地面控制站,使我们能在第一时间对河道状态作出判断和决策,从而保障河道的安全畅通。针对水质监测,需要借助多种设备,如搭载的多光谱摄像机、热红外传感器、水质传感器等,无人机遥感技术更为复杂。在进行水质监测前,传感器的工作频段和检测指标首先需要设置在河道的特性上。比如,水体的反射光谱可以通过多光谱相机获得,通过它来分析水质参数,如悬浮物浓度、叶绿素含量等;而监测水温变化的则是热红外传感器,对热污染的识别意义重大。无人机飞行高度要控制在一定范围内,减少大气干扰的影响,以保证水质监测的精准性。水质传感器可在飞行中对河道表层水体的物理化学参数进行直接采集,如pH值溶解氧含量重金属浓度等数据通过无人机的遥测系统实时回传并通过专业软件进行数据处理与分析建立水质数据的空间分布模型可对河道的污染状况及其变化趋势有直观的认识,我们可据此判断污染源的位置与范围并采取针对性的治理措施在巡查与治理过程中可利用无人机的激光雷达技术对河道进行三维建模。LiDAR技术对河道的地形地貌进行精确测量,并通过发射激光束并接收反射信号来生成高精度的数字高程模型,对河床的形态变化计算水流量和水动力学特性等有重要参考价值,这些三维数据在河道治理方面具有科学依据,是监测河道沉积与侵蚀动态的有效手段。在实际的河道巡查工作中,可根据监测到的问题制定相应的治理方案,并利用无人机对治理效果进行验证,而将无人机技术与地理信息系统结合使

用,还能进一步提高巡查与治理的效率和精确性。将无人机获取的影像数据和监测数据导入GIS平台,对河道进行全景展示和动态监控,从而辅助管理者制定长效的河道治理策略,通过GIS的分析功能进行河道变化的时空分析,生成趋势图和预测模型;无人机巡查的航迹数据和监测结果与历史数据进行叠加对比,识别河道治理的薄弱环节和高风险区域,从而优化巡查路线和治理方案,在操作过程中注重数据的存储与管理,以及跨部门共享与协作,利用云计算技术将无人机获取的数据上传至云端,实现数据的实时共享与互通。

2.4 水文监测

要确定监测任务的具体需求,根据监测对象和目标的不同,选择相应的传感器设备和飞行平台。在河流流量监测中,多光谱相机或激光雷达是主要的工具,能够用精细的空间分辨率对河道的形态特征流速变化以及水体边界进行获取。而且对于复杂地形和环境下传统监测手段难以覆盖的区域,无人机能够实现全覆盖的快速数据获取。在实施的时候首先要确定飞行路线和高度,结合流域的地理信息系统数据,对多条飞行线路进行规划,以确保无人机能够对监测区域进行全方位的覆盖。同时也要注意无人机的飞行安全和环保。无人机按照设定的航线和预设的拍摄间隔进行数据采集,并在特定区域多次低空飞行,以获得高精度的流量数据。数据采集完成后,利用图像处理软件对数据进行预处理和分析,通过提取河道横断面信息并结合水位数据,对河流的流量进行计算。为了增加数据的精确性和实时性,可以利用激光雷达进行高频次扫描,对点云数据进行重构三维河道模型,从而对河道流量进行动态监测。在洪水预警方面,对无人机遥感技术的应用主要集中于对流域的降水量变化情况以及地表水分布情况的实时监测上。无人机的飞行高度、

航线规划、传感器选择等,在开展这项工作时,首先要根据流域特点来确定。数据采集一般使用高光谱成像仪、雷达或激光雷达。这些传感器可以穿透云层和植被,获得地表数据和地下水分布情况。在降水监测中,无人机能够为洪水模型提供可靠的输入参数,通过搭载气象传感器,结合地表水体的监测数据,对降水、风速、气压等气象要素进行实时记录。在实际操作中,为确保数据的全面性和时效性,建议设计多个无人机同步飞行的方案,根据流域面积和地形复杂程度设计方案。无人机通过数据处理软件获取的数据实时分析,识别洪水可能高发的地区,并与历史数据进行对比。对于洪水预警信息的发布,利用大数据分析模型,将无人机获取的实时数据与气象预报相结合,就可以对未来可能发生洪水的时间、地点进行预测。

3 结语

在水利工程建设监控、设施检测、河道巡查治理以及水文监测等方面,无人机遥感技术以其高效、灵活、性价比高的特点,显示出广泛的应用前景。可为施工进度控制、质量保证、设施维护和水质监测等方面提供精确的实时数据和强大的技术保障。随着技术的不断进步,作为提升水利工程施工管理水平、保障水利设施安全的重要工具,无人机遥感技术在水利工程领域的应用将更加深入。

参考文献

- [1] 高永红,崔晓惠.浅谈无人机遥感在水利工程中的应用[J].测绘与空间地理信息,2022,45(11):54-56.
- [2] 崔雷.无人机遥感技术在水利工程测量中的应用分析[J].科技与创新,2023(20):179-180.
- [3] 刘德榆.无人机遥感技术的水利水电工程施工现场监控思路探究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023.

Preliminary Study on Drilling Fluid of FSL-43 Well in Baiyanghe Mining Area

Liang Xie Chonggang Wang Shikang Cao Bin Zhang Jianhu Gao

Western Drilling Drilling Fluid Branch, Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract

The strata of Baiyanghe mining area in Fukang are characterized by large inclination Angle and thick coal seam. In the drilling process, the well wall of coal seam section of Badowan Formation collapsed, resulting in frequent faults of short lifting card and stuck drilling, long fault processing time, high cost and low efficiency. By analyzing the influencing factors of coal seam collapse drilling, the technical idea of “synergistic inhibition, dense sealing and density support” of brine polymer drilling fluid is put forward, and the treatment agent selection and formulation design are carried out, and tested in FSL-43 well. The selected drilling fluid system reflects the strong ability to restrain, block and stabilize the well wall, and ensures the safe drilling of badaowan Group coal seam, without coal seam collapse and drilling failure. The successful test of this system for the first time has certain reference value for the selection of drilling fluid system in this area.

Keywords

mining area; coalbed methane; blocking and preventing collapse; salt water polymer; drilling fluid

阜康白杨河矿区 FSL-43 井急倾角多煤层盐水聚合物钻井液技术初探

谢亮 王崇刚 曹世康 张斌 高剑虎

西部钻探钻井液分公司, 中国·新疆 克拉玛依 834000

摘要

阜康白杨河矿区地层具有倾角大、煤层多而厚等特点, 在钻进过程中, 八道湾组煤层段的井壁垮塌, 造成短提挂卡、卡钻故障频繁, 钻井卡钻故障处理时间长、成本高、效率低。通过分析煤层坍塌卡钻的影响因素, 提出了盐水聚合物钻井液的“协同抑制、致密封堵、密度支撑”技术思路, 开展了处理剂的选择和配方设计, 并在 FSL-43 井进行试验。选择的钻井液体系体现了较强的抑制、封堵、稳定井壁的能力, 确保了八道湾组煤层的安全钻进, 未发生煤层垮塌卡钻故障。该体系首次试验成功, 对该区域钻井液体系的选择有一定的参考价值。

关键词

矿区; 煤层气; 封堵防塌; 盐水聚合物; 钻井液

1 引言

阜康白杨河矿区地层具有倾角大、煤层多而厚等特点, 在受急倾角煤层的影响下, 煤层段井壁不稳定问题成了该区块安全钻井的重大挑战之一, 钻进过程中, 煤层段的井壁垮塌, 造成卡钻事故频繁, 复杂井数占总井数 20% 以上, 绝大部分采取注灰填井侧钻^[1], 从而导致钻进效率低、周期长、成本高。论文以该区块施工井为例, 分析坍塌卡钻的深层原因, 提出试验盐水钻井液技术思路, 利用体系的强抑制、强封堵的特点, 确保试验井 FSL-43 井的煤层稳定, 钻井施工顺利, 钻井工期 14.92 天、事故时效为零、井漏时效为 1.38%,

与邻井相比, 钻井工期缩短 7.48 天, 事故复杂时效降低近 80%, 为阜康白杨河矿区煤层气井安全钻井和复杂事故预防的钻井液体系选择提供借鉴。

2 井眼概况与钻井液技术难点

2.1 井身结构

FSL-43 井为一口 L 型开发水平井, 目的层为八道湾组 42# 煤层, 设计垂深 876.53m, 设计斜深 1434.85m。该井设计采用二开井身结构: 一开, 采用 $\phi 311.2\text{mm}$ 钻头钻至井深 100.00m, $\phi 244.5\text{mm}$ 表层套管下至井深 100.00m, 封固八道湾上段胶结疏松的砂泥岩, 水泥浆返至地面; 二开, 采用 $\phi 215.9\text{mm}$ 钻头钻至斜深 1434.85m, $\phi 139.7\text{mm}$ 套管下至井深 1432.85m, 钻至 42 号煤层着陆后沿 42 号煤层钻至设计靶点完钻, 水泥浆返至地面。

【作者简介】谢亮(1982-), 工程师, 从事钻井液技术管理研究。

2.2 地层岩性特点

白杨河矿区位于北天山褶皱带、博格多复背斜以北、准噶尔拗陷区以南的黄山—二工河向斜北翼，为一南倾的单斜构造，走向为近东西向，地层倾角 $35^{\circ} \sim 53^{\circ}$ 。出露地层由老至新依次为侏罗系下统八道湾组 (J1b)、三工河组 (J1s) 和少量的第四系 (Q4)^[2]。其中八道湾组 (J1b) 地层是矿区内主要含煤地层，为湖泊~沼泽相沉积，伴有河流相沉积的含煤碎屑沉积岩建造，主要岩性为灰~灰黑色的粉砂岩、细砂岩、砂砾岩和煤层，夹有少量中、粗砂岩。主要岩性特点如下：

第一，第四系为全新统冲洪积层，分布于工区内的河漫滩以及现代沟谷之中，厚度约 0~20m，由砾石、砂、沉积岩碎块等混杂堆积而成。

第二，侏罗系八道湾组经历了湖沼相—河流相—湖沼相的沉积过程，湖沼相环境是主要成煤期，形成的八道湾组上段 (J1b³)、中段 (J1b²) 和下段 (J1b¹)：

①八道湾组上段 (J1b³)：主要岩性以灰—深灰色的粉砂岩、细砂岩为主，粗砂岩次之，少量炭质泥岩，加 4~5 层薄煤层，风化严重，不稳定，成煤环境差。

②八道湾组中段 (J1b²)：以河流相沉积为主，主要岩性为灰白—深灰色的砂砾岩、粗砂岩、粉砂岩及中、细砂岩、泥岩和煤层，含煤 4 层。煤层夹层多，界面胶结差，极易发生坍塌。

③八道湾组下段 (J1b¹)：主要岩性以湖沼相沉积的灰—灰黑色的粉砂岩、细砂岩、泥岩和煤层为主，夹有粗砂岩。含煤 3~5 层。此段处于水平段，钻井过程中遇阻划眼、坍塌卡钻的多发井段。

2.3 主力煤层特征

综合地震、测井资料，FSL-43 井区范围内地层走向基本是东西走向，地层南倾，倾角约 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。八道湾组下段含 3 套煤层，编号 39 号、41 号、42 号，厚度约为 10~25m，其中 42 号煤层为目的层，平均厚度为 20m 左右。

煤岩类型以半亮煤、亮煤为主，煤体结构以原生—碎裂结构为主，硬度系数小 ($f \approx 3$)，易碎；局部亮煤条带中垂直层理的面割理较发育，割理面平直光滑，裂隙密度 8~15 条 /5cm。

通过邻井钻完井资料显示，受地层急倾角厚煤层受构造应力影响，以及煤体结构的宏观碎裂、碎粒特征，与微割理发育、裂隙密集特点的共同作用下，煤层呈脆性，机械强度低，钻井过程中煤层坍塌与井漏的复杂情况频发，周期延长，经济损失大。

2.4 目的层压力分布

据完井试井资料显示，39 号 -42 号煤试井储层压力在 6.08~7.43MPa 之间，储层压力梯度 0.758~0.837MPa/100m 左右，属于欠压储层。预测 FSL-43 井区属于欠压储层，考虑到井控等风险，钻井液密度设计 1.05~1.25g/cm³，但在实钻过程中钻井液密度超 1.30g/cm³。

2.5 目的层地温与地层水特点

综合测井、试井资料，FSL-43 井区平均地温梯度为 2.4℃ /100m，地温不超过 35℃。地温对沥青类处理剂的选

择至关重要，沥青类的软化点与地温相近，粒子的软化变形，封堵裂隙，并在井壁上形成一层致密的保护膜，起到了降滤失和稳定井壁的作用。

煤层水矿化度 4120.8~24075.1mg/L 之间，平均为 12664.8mg/L；水型为 NaHCO₃ 型。高矿化度和高浓度 HCO₃⁻ 会污染钻井液，使性能恶化，流变性变差、失水增大，导致钻井液泥饼虚厚、失水升高，诱发煤岩地层的井壁失稳。

2.6 钻井液技术难点

在分析 FSL-43 井区地质分布和煤层特征的基础上，结合其井身结构设计，参考邻井井下故障统计结果，该井的钻井液技术难点如下。

①八道湾组煤层强度低、性脆、裂隙发育，导致在煤层钻井施工过程中极易破碎坍塌。邻近 FSL-26 井在井深 972.00m、FSL-4 井定向钻进至 1318m，上提钻具时发生卡钻，在八道湾下段的定向井段和水平井段由于受到垂直应力的作用较大，煤层井壁失去稳定性，发生垮塌卡钻。

②八道湾组煤层裂隙发育，且对压力敏感，钻井液密度过高或井塌造成环空不畅易形成诱导裂隙，导致发生漏失，且漏速变化大，从微漏到钻井液失返。邻井 FSL-20 井钻进至井深 390m、560m、976m 发生井漏；FSL-13 井钻进至井深 360m、627m、647m、890m、1057m、1205m、1355m 发生井漏。

文献叙述，煤层气钻井过程中井壁稳定性主要取决于煤岩体结构和钻井液密度及性能。一是合理的钻井液密度是煤层气井安全钻进的关键因素之一。如果井内钻井液密度过低，急倾角煤层在地应力作用下产生剪切破坏发生坍塌，塌块和钻屑造成遇阻卡钻；如果井内钻井液密度过高，大量滤液渗入煤层理和微裂隙，引起煤岩内部结构破坏，将陷入井塌—提密度—井塌的恶循环；若密度持续增大，产生的液柱压力高于地层破裂压力时，将引起井漏复杂^[2,3]。二是钻井液封堵防塌性差，难于形成致密的泥饼，滤液极易进入煤层层理间；若钻井液的抑制性不好，层间填充的对水极其敏感的炭质泥岩或泥质含量很高的劣质煤屑吸水膨胀或溶胀现象明显，从而改变了煤岩内部原有的应力平衡，井壁失去了稳定性。

3 钻井液关键技术

针对八道湾组煤层井壁易失稳垮塌、井漏等技术难点，选用了盐水聚合物钻井液，提出了钻井液“协同抑制、致密封堵、密度支撑”等技术思路，以确保八道湾组煤系地层的井壁稳定。通过强化钻井液的协同抑制性能，提高了钻井液滤液的矿化度，增强了对灰色泥岩、炭质泥岩抑制作用，预防泥岩的水化坍塌；选择了软化点与井温相近的沥青、粒度分布广泛的轻钙与重钙，以及对煤层纳微米微裂隙填充的微纳米封堵材料^[4]，以形成更致密的滤饼，降低了滤失量和确保了煤层稳定；维持适当的钻井液密度，以平衡煤层的坍塌压力，预防煤层坍塌，同时补充随钻堵漏材料，以提高微裂隙煤层的封堵承压能力，避免出现诱导裂隙沟通更多微裂

缝，造成井漏。

盐水聚合物钻井液的基本配方为 3.0%~5.0% 膨润土 + 0.2%~0.3% 烧碱 + 0.5%~1% 大分子包被剂 + 2.0%~3.0% 抗盐降滤失剂 + 2.0%~4.0% 液态沥青 + 3.0%~5.0% 超细钙 + 1.0%~2.0% 微纳米封堵剂 + 10%~15% NaCl + 2.0%~3.0% 液体润滑剂 + 加重剂。主要性能参数：密度 1.18~1.30g/cm³，漏斗粘度 55~75s，API 滤失量 ≤ 5mL，滤饼厚度 ≤ 0.5mm，动切力 ≥ 6Pa，静切力 2~6/5~10Pa，pH 值 ≥ 8.0，CL⁻ 浓度 ≥ 50000 mg/L，坂含 ≥ 30g/L。

应用盐水聚合物钻井液钻进八道湾组煤层时，为确保井眼稳定，制定了相应的钻井液维护处理措施：

①二开前将井浆转换成盐水聚合物钻井液。加入 0.5%~1.0% 大分子包被剂，3.0%~4.0% 抗盐降滤失剂，维持 CL⁻ 质量浓度不低于 50000mg/L，控制 API 滤失量低于 5mL，协同增强钻井液的包被抑制能力。②调整井浆的坂含 30~40g/L，加入 2%~3% 软化点在 40℃左右的液态沥青，采用重钙、轻钙加重密度至 1.15-1.20g/cm³，利用沥青的粒子软化变形、重钙与轻钙的刚性粒子填充，在井壁周围形成致密泥饼，减少滤液向煤系地层渗入，进一步稳定井壁。③钻至煤层（井深 900m 左右），微调密度至 1.25g/cm³ 以上，补充 3.0% 液态沥青与 5.0% 细颗粒轻钙，提高防塌效果。④钻至大曲率定向段与水平段（井斜超过 60°）急倾角厚

煤层时，密度提至 1.28~1.30g/cm³；补充优质膨润土浆，使坂含在 35~45g/L 之间；维持井浆中液态沥青、轻钙与重钙浓度在 3.0% 以上；添加含微米 / 纳米级颗粒封堵材料，提高微纳米封堵防塌效果。⑤适当提高钻井液粘度和切力，保持漏斗粘度 65~80s，动切力 ≥ 6Pa，增强携砂能力；加入 1.0%~2.0% 液体润滑剂与 1.0%~2.0% 固态润滑剂，采用固 - 液协同，减低大曲率井段与水平段的摩擦阻。⑥煤层钻进出现上提下放遇阻现象，使用高密度（≥ 1.30g/cm³）、滴流（≥ 150s）的重稠浆携砂，以保持井眼清洁。⑦加强固控设备使用，振动筛使用 120~160 目筛布，配合离心机清除劣质固相。

4 现场应用效果

① FSL-43 井首次试验盐水聚合物钻井液，具有较强的抑制、封堵、稳定井壁能力，实现了八道湾组煤层安全钻进，未发生煤层垮塌卡钻等井下故障。钻井工期 14.92 天，同比与邻井平均水平缩短 7.48 天，事故复杂时效降低近 80%（见表 1）。

② FSL-43 井钻至八道湾组下段煤层（849m）前，将密度提高至 1.27g/cm³，发生了渗漏，在井浆中加入 1.0% 随钻堵漏材料的同时降低密度至 1.24g/cm³，井漏消除。复杂时效 1.38%，同比减少 1 个百分点^[5]。

表 1 试验井分段钻井液性能

井深 m	地层	密度 g/cm ³	粘度 s	塑粘 mPa·s	动切力 Pa	初 / 终切 Pa	API 失水 mL	坂含 g/L	CL-mg/L
117	J1b ³	1.19	56	20	10	2/5	3.2	30	50000
294	J1b ³	1.19	55	21	10	2/5	3.0	35	56000
488	J1b ²	1.20	55	26	6.5	1.5/4.5	3.0	35	60000
560	J1b ²	1.21	53	25	9	2/6	2.8	35	60000
732	J1b ²	1.21	58	28	11	3/8	2.6	38	65000
849	J1b1	1.27	64	32	14.5	3/10.5	2.6	38	65000
947	J1b1	1.24	73	41	13	2.5/5.5	2.4	30	50000
1071	J1b1	1.25	73	33	11.5	2.5/5.5	2.4	32	60000
1171	J1b1	1.28	75	39	18	4/8	2.4	32	62000
1275	J1b1	1.29	77	36	15.5	4/9	2.4	35	65000
1380	J1b1	1.30	76	34	18.5	5/10	2.4	35	65000
1465	J1b1	1.30	76	36	17	5.5/10	2.4	38	65000

5 结论与建议

①钻井液是保证煤层安全钻井主要因素。综合井区煤层地质特征，初探了煤层坍塌主因，设计了封堵防塌技术思路，优选了盐水聚合物钻井液配方，制定了现场试验措施。

② FSL-43 井首次试验的盐水聚合物钻井液，具有较强的抑制、封堵及稳定井壁能力，有效遏制了煤层的坍塌，保证了急倾角多煤层的安全钻进，对阜康白杨河矿区其他平台施工井的钻井液体系的优选具有好的参考价值。

③邻井钻进中出现的流体侵（煤层水或 CO₂），对聚合物钻井液性能污染严重。对盐水聚合物钻井液的性能影响情况，有待于室内开展进一步验证。

参考文献

[1] 郭辉.阜康白杨河矿区煤层气定向井卡钻事故分析和处理[J].煤矿机械,2019,12(12):157-160.
 [2] 尹淮新,浅析阜康煤矿区煤层气勘探开发[J].陕西煤矿,2009(3):24-26.
 [3] 郭玉红,苏现波.煤层段钻井液密度窗口的确定与意义[J].煤炭工程,2009(7):69-72.
 [4] 孙翀,周定照.YH7井钻井液煤层井壁稳定技术研究及应用[J].石油化工应用,2023,5(5):20-22.
 [5] 胡光强.大曲率煤层坍塌机理及防塌钻井液技术研究[J].成都:西南石油大学,2021.

From Coal Quality Control to Carbon Neutrality: The Green Transformation Path of the Coal Industry

Dongsong Li

Etouke Qianqi Changcheng Coal Mine Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

With the deepening understanding of the impact of climate change and the tightening of international environmental regulations, the coal industry is facing an urgent need for green transformation. Coal fired power plants are the main source of global greenhouse gas emissions, exacerbating the challenge of global warming. The public's attention to environmental issues is increasing day by day, and their expectations for sustainable development and environmental protection are also growing. With the advancement of renewable energy technology and the reduction of costs, the coal industry is facing fierce competition from clean energy sources such as wind and solar power. Therefore, the green transformation of the coal industry is not only an environmental demand, but also a survival strategy for the industry to adapt to the future energy market. The urgency of industry transformation, from clean and efficient utilization of coal to green upgrading of the coal industry chain, is increasingly prominent. It is related to global environmental protection and the long-term development of the industry.

Keywords

coal quality control; carbon neutrality; coal industry; green transformation

从煤质控制到碳中和：煤炭行业的绿色转型之路

李东松

鄂托克前旗长城煤矿有限责任公司，中国·内蒙古鄂尔多斯 017000

摘要

随着对气候变化影响的认识加深，以及国际环保法规的收紧，煤炭行业面临着绿色转型的迫切需求。燃煤发电厂是全球温室气体排放的主要源头，加剧了全球变暖的挑战。公众对环境问题的关注度日益提升，对可持续发展和环境保护的期望也日益增加。随着可再生能源技术的进步和成本的降低，煤炭行业面临着来自风能、太阳能等清洁能源的激烈竞争。因此，煤炭行业的绿色转型不仅是环保诉求，也是行业自身适应未来能源市场的生存策略。从煤炭清洁高效利用到煤炭产业链的绿色升级，行业转型的紧迫性日益凸显，它关乎全球环境保护，也关乎行业的长远发展。

关键词

煤质控制；碳中和；煤炭行业；绿色转型

1 引言

煤炭，作为人类最早使用的化石燃料之一，其开采和使用历史可追溯到工业革命时期。煤炭因其高热值和广泛分布的特点，长期以来一直是全球能源供应的重要支柱。尤其是在 20 世纪，煤炭的广泛开采和使用极大地推动了工业化进程，为全球经济的快速增长提供了强大动力。然而，煤炭的开采和使用也带来了环境问题，包括空气污染、水土流失和温室气体排放，对全球气候产生了深远影响。在 21 世纪，煤炭行业已经成为全球气候变化讨论的焦点。

2 煤质控制：基础与前提

2.1 煤炭质量的评估标准

煤炭质量的评估是煤炭行业管理和交易的核心环节，其标准主要包括以下几个方面：热值（发热量），灰分，硫分，水分，挥发分，固定碳含量以及有害元素如汞、砷等的含量。热值是衡量煤炭燃烧效率的重要指标，灰分和硫分则直接影响燃烧后产生的污染物数量，水分和挥发分影响煤炭的运输和储存条件。国际和国内都有相应的煤炭质量标准，如国际煤炭贸易的 ISO 标准和中国的 GB/T 标准，这些标准确保了煤炭贸易的公平性和环境保护的要求。

2.2 煤质控制技术发展概述

煤质控制技术的发展经历了从手动检测到自动化、智能化的转变。早期，煤炭的品质检测主要依赖于实验室分析，费时费力。随着科技的进步，现场快速检测技术如 X 射线

【作者简介】李东松（1988-），男，中国山东新泰人，本科，助理工程师，从事煤矿煤质发运研究。

荧光分析、近红外光谱分析等被广泛应用，大大提高了检测效率。煤炭洗选技术的进步，如重介质选煤、浮选等，能有效去除煤炭中的杂质，提升煤质。近年来，借助大数据和人工智能，煤炭质量预测和控制正迈向新的高度，通过实时监控和数据分析，可以优化生产过程，减少低质量煤炭的产出。

3 绿色开采技术探索

3.1 煤炭开采的环境影响分析

煤炭开采是一个对环境影响深远的过程，其主要影响包括：

土地退化：采煤活动导致地表塌陷，影响土地的使用和生态平衡。

水资源破坏：地下水位下降，河流和湖泊受到污染，影响人类饮水和生态系统。

空气污染：煤炭开采和运输过程中释放的粉尘和有害气体（如二氧化硫、氮氧化物）对空气质量造成严重影响。

生物多样性丧失：矿产开发破坏了生物栖息地，导致生物多样性下降。

温室气体排放：未燃烧的煤炭在开采过程中会释放甲烷，这是一种强大的温室气体。

3.2 绿色开采技术体系构建

为了减轻煤炭开采的环境负担，绿色开采技术体系应运而生，包括以下几个关键组成部分：

环保开采：采用先进的露天或地下开采技术，减少对地表的破坏，例如采用充填开采技术，减少地面塌陷。

水资源保护：采用水循环利用系统，减少新鲜水的使用，同时处理和净化废水，减少污染。

粉尘控制：应用高效除尘技术，减少煤炭开采和运输过程中的粉尘排放。

甲烷捕获与利用：通过甲烷抽放系统收集煤矿中的甲烷，用作清洁能源，减少温室气体排放。

生态恢复：在开采结束后，进行土地复垦和生态恢复，恢复植被，改善土壤结构。

4 清洁煤技术应用

4.1 清洁煤技术的种类与特点

清洁煤技术旨在减少煤炭在开采、加工、运输和使用过程中对环境的污染，提高能源效率。其中，主要包括以下几种类型：

①**煤炭洗选：**通过物理或化学方式去除煤炭中的杂质，降低硫分和灰分，减少燃烧时的有害排放。

②**流化床燃烧：**在流化床中，煤炭与气流中的颗粒混合，使得燃烧更充分，减少了氮氧化物和硫氧化物的生成。

③**煤炭气化：**将煤炭转化为合成气（主要由氢气和一氧化碳组成），用于生产化工产品或直接燃烧，减少了直接燃烧的污染。

④**煤炭液化：**通过化学反应将煤炭转化为液体燃料，

如煤制油，降低对石油的依赖并减少温室气体排放。

⑤**碳捕获与储存（CCS）：**在燃烧后捕获二氧化碳并储存，防止其进入大气，是实现碳中和的关键技术之一。

4.2 技术创新与市场应用

近年来，清洁煤技术的创新不断推动着行业的进步。例如，先进的煤炭洗选技术已经能够处理更复杂的煤炭资源，提高了煤炭的利用效率。流化床燃烧技术的优化使得氮氧化物和硫氧化物排放显著降低，适合小型和中型电站使用。煤炭气化和液化技术的进步，使得煤炭能够作为原料生产高附加值的化工产品，拓宽了煤炭的应用领域。

在市场应用方面，全球范围内的大型燃煤电厂开始采用清洁煤技术，如CCS。例如，美国的FutureGen项目就是一个集成的气化联合循环（IGCC）电站，配备了碳捕获和储存设施。中国也在大力推广清洁煤技术，新建的燃煤电厂往往要求配备脱硫、脱硝设施，部分还实施了CCS试点项目^[1]。

4.3 对煤炭产业链的带动作用

清洁煤技术的广泛应用不仅改善了环境质量，还对煤炭产业链产生了深远影响。它推动了煤炭开采和加工设备制造业的发展，对高效率、低污染的设备需求增加，刺激了技术创新。煤炭气化和液化技术促进了化工行业的发展，增加了煤炭的附加值。CCS技术的推广需要大规模的地下储存设施，为地质工程和相关服务业带来了新的市场机会。

清洁煤技术也促进了能源服务公司的诞生和发展，这些公司提供从煤炭洗选到碳捕获的一体化解决方案，帮助燃煤企业实现环保目标。在政策层面上，各国政府对清洁煤技术的补贴和优惠政策，也进一步刺激了相关产业链的发展，为煤炭行业的绿色转型提供了有力支持。

5 煤炭行业的碳足迹管理

5.1 碳足迹概念与计算方法

碳足迹（Carbon Footprint）是衡量一个组织、产品或活动在整个生命周期中直接和间接排放的温室气体总量的指标，通常以二氧化碳当量（CO_{2e}，即Carbon Dioxide Equivalent）来表示。这个概念在近年来逐渐受到全球关注，因为它为量化和比较不同活动的环境影响提供了一个统一的尺度。计算碳足迹涉及识别所有相关排放源，包括燃烧煤炭产生的二氧化碳，能源生产与运输过程中的排放，以及生产与处置过程中的间接排放。计算方法包括使用生命周期评估（Life Cycle Assessment, LCA）技术，考虑从原材料提取到产品处置的全过程，确保全面评估环境影响^[2]。

5.2 煤炭行业碳足迹现状分析

煤炭行业的碳足迹通常高于全球平均水平，主要源于其在开采、运输、加工和使用过程中产生的大量温室气体排放。煤炭开采过程中的能耗和排放主要来自矿井的通风系统、煤炭运输车辆、选煤厂的电力消耗以及燃煤发电厂的直接燃烧。据估计，煤炭行业在全球范围内的碳组级显著，尤

其是在那些依赖煤炭为主要能源的国家和地区。例如，中国的煤炭消耗量占全球总消耗的近半，其碳足迹不容忽视。煤炭开采和利用对水资源的消耗和污染也对环境造成了额外压力。

5.3 碳减排策略与路径选择

为了应对这一问题，全球各地的煤炭企业与政府正在积极探索和实施一系列碳减排策略。提高能效是最直接的减排途径，如通过优化煤炭开采和加工过程，减少能源浪费。推广和使用清洁煤技术，如高效超超临界发电技术，可显著降低煤炭燃烧产生的污染物。煤炭行业的转型至可再生能源，如太阳能和风能，也逐渐被提上日程。碳捕获和储存（Carbon Capture and Storage, CCS）技术被视为减缓煤炭碳排放的关键途径，虽然目前成本高昂，但随着技术进步和规模效应，其经济性有望逐步提高。政策引导和市场机制，如碳定价和排放交易系统，也在全球范围内得到推广，以经济手段激励煤炭企业减少碳足迹。

通过这些策略的综合应用，煤炭行业有望在保障能源供应的逐步减轻其对全球气候变化的贡献，为全球碳减排目标的实现做出贡献^[2]。

6 碳中和目标的实现路径

6.1 碳中和目标的内涵与意义

碳中和，即全球温室气体排放与自然界和人为活动的碳汇相平衡，达到净零排放的状态。这一目标旨在通过减少碳排放和增加碳汇来抵消剩余的温室气体排放，以应对全球气候变化的挑战。实现碳中和对于煤炭行业，尤其是以煤炭为主要能源的国家，具有深远的影响。它要求行业不仅减少直接排放，还需通过技术创新、能源结构调整和生态修复等方式，积极参与碳中和的全球行动，促进经济的绿色转型和可持续发展。

6.2 行业内外协同减排机制

实现碳中和目标，煤炭行业需要构建内外部协同减排机制。内部机制包括提高能源利用效率，推广清洁煤技术，如煤炭洗选、气化和燃烧技术的改进，以减少碳排放。外部机制则涉及与其他产业的协同，如发展可再生能源，如风能、太阳能，以及与碳捕获、利用与储存（CCUS）技术的结合，将碳排放转化为有价值的资源。行业间的合作也至关重要，通过碳交易市场，碳排放量低的煤炭企业可以将多余的碳排放权出售给其他企业，实现经济和环境效益的双重提升。

6.3 政策法规与市场机制保障

政策法规在推动碳中和目标的实现中扮演关键角色。政府应制定和执行严格的碳排放标准，设定明确的碳排放上限，以引导企业进行减排。实施碳税或碳交易制度，让市场机制在资源配置中发挥作用，通过价格信号激励企业减少碳排放。政府还需要提供财政支持和优惠政策，鼓励研发低碳技术，促进绿色金融的发展，为煤炭行业的绿色转型提供资金保障。国际层面，通过国际合作和协议，如《巴黎协定》，

共同推动全球碳减排目标的实现。

在这一过程中，技术创新是核心驱动力，政策引导是重要保障，而市场机制则是资源配置的有效手段。煤炭行业需以碳中和为目标，不断调整产业结构，优化能源利用，最终实现与环境和谐共生的可持续发展路径。

7 转型过程中的挑战与对策

7.1 技术创新与资金投入的双重挑战

煤炭行业的绿色转型离不开技术创新和大规模的资金投入。清洁煤技术、绿色开采技术的研发与推广需要持续的科研投入，这不仅限于研发新技术，还包括将新技术规模化应用到实际生产中。然而，由于煤炭行业的盈利能力受到市场波动和环保政策的双重压力，企业往往在资金投入上持谨慎态度，导致技术创新的步伐可能因资金短缺而受限。新技术的商业化应用也面临市场接受度、技术成熟度及经济可行性的挑战，这些都需要在实际运营中不断调试和优化。

7.2 人才短缺与培训体系构建

煤炭行业的绿色转型也暴露出人才短缺的问题。传统的煤炭工程师和操作人员可能缺乏必要的环保知识和技能，需要进行再教育和培训。建设一个完善的培训体系，以确保员工能掌握和实施新的绿色技术至关重要。然而，这需要投入大量资源，包括设立专门的培训课程，引入行业专家进行指导，并为员工提供实践操作的机会。吸引和留住具备环保技术背景的高级专业人才，也是行业当前面临的一大挑战。

7.3 社会认知与公众参与的引导

煤炭行业绿色转型的成功还依赖于公众和社区的理解和支持。由于煤炭开采和燃烧长期以来被视为环境污染的主要来源，因此改变公众的负面认知是转型成功的关键。通过透明的信息披露，公众教育和参与式的决策过程，可以增加社区对绿色转型的接受度。行业需要与利益相关方建立对话渠道，包括社区居民、环保组织和政策制定者，以确保转型过程的公正性和可持续性。通过建立有效的沟通机制，可以减少转型阻力，促进社区的长期参与和合作。

8 结语

煤炭行业正经历绿色转型，聚焦清洁利用、高效技术升级和低碳发展。未来，煤炭行业将依赖技术创新、碳捕获技术、能源结构多元化和绿色金融支持，以实现清洁、高效和低碳目标。这一转型对其他行业具有启示：技术创新是转型关键，政策与市场机制并重，产业链协同合作，企业应承担社会责任并注重公众参与，同时需有效管理变革。煤炭行业的绿色转型为其他行业提供了可持续发展的借鉴。

参考文献

- [1] 简冠群,刘新宇.山西省煤炭行业绿色转型绩效评价研究[J].对外经贸,2024(3):25-28.
- [2] 郭灿.绿色金融背景下煤炭行业转型的研究[J].上海商业,2023(9):87-89.

Reflection on Mine Engineering Geological Exploration and Geological Disaster Management Countermeasures

Jing Yang Huiping Zhu

Henan Province Resources and Environment Survey Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

The disturbance and impact of mineral resource exploitation on the geological environment are relatively significant, and the stability of geological structures will also be affected and impacted, which can easily lead to geological disasters. Therefore, it is necessary to strengthen geological disaster management. In the process of geological hazard control in mining engineering, conducting geological surveys can help relevant personnel better understand the actual situation in the area, provide more information references and data support for geological hazard control, improve the effectiveness of geological hazard control, and effectively reduce the cost and resources required for geological hazard control. The paper discusses the current status of geological exploration technology in mining engineering, common geological hazards in mining engineering, and measures for controlling geological hazards in mining engineering from multiple dimensions. It is hoped that through exploration and analysis, more references and inspirations can be provided for relevant personnel.

Keywords

mine engineering; geological disaster; geological exploration; disaster prevention and control

矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策思考

杨婧 朱会平

河南省资源环境调查三院有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

矿产资源开采对地质环境所产生的扰动和影响是相对较大的, 地层结构稳定性也会因此受到影响和冲击, 很容易会引发地质灾害, 必须加强地质灾害治理。而在矿山工程地质灾害治理的过程中, 做好地质勘察可以帮助相关工作人员更好地明确该地区的实际情况, 为地质灾害治理提供更多的信息参考与数据支持, 在提高地质灾害治理效果的同时, 有效降低地质灾害治理所需要消耗的成本和资源。论文从矿山工程地质勘察技术现状、矿山工程常见地质灾害及矿山工程地质灾害治理措施等多个维度展开论述, 希望通过探讨和分析可以为相关人员提供更多的参考与借鉴。

关键词

矿山工程; 地质灾害; 地质勘查; 灾害防治

1 引言

经济社会的迅速发展以及人们消费能力的不断提升使得现阶段人们对于矿产资源的需求变得越来越高, 矿产资源开采规模越来越大, 但是在矿产资源开采的过程中很容易会破坏地质结构引发地质灾害, 因此必须落实地质灾害防治工作。而在分析矿山地质灾害治理措施之前, 首先需要了解矿山工程地质勘察技术现状及矿山工程常见地质灾害。

2 矿山工程地质勘察技术现状分析

随着矿产资源开采规模的不断扩大以及科技研究的不断深入和发展, 就现阶段来看在矿山工程地质勘察工作落实

过程中可供借鉴和选择的技术方法是相对较多的, 如遥感地质勘察技术、甚低频电磁法、物化探勘查技术等, 这些技术都为矿山工程地质勘察工作的开展提供了更多的助力, 提高了矿山工程地质勘察效率和质量, 但是不同勘察技术的适用范围、应用优势以及作用原理是存在一定差异的。例如遥感技术最鲜明的特点为尺度多、综合性强、多层次, 在矿山地质勘察尤其是金属矿山地质勘察中得到了广泛应用。再例如甚低频电磁技术可以通过 fraser 滤波处理的方式快速且高效的获取数据信息, 帮助相关工作人员更好的明确矿产资源的分布位置及储量, 而物理勘探技术又包含地震、重力、电磁、磁法放射性等不同技术方法, 相关工作人员在矿山工程地质勘探工作落实的过程中必须秉承着具体问题具体分析的原则, 结合实际情况和勘探需求以及不同勘探技术的适用范围对勘探技术做出科学选择。

当然, 尽管现阶段勘探技术已经得到了前所未有的发

【作者简介】杨婧(1992-), 女, 中国河南郑州人, 硕士, 助理工程师, 从事地质水工环研究。

展,但其仍旧有较高的上升空间,相信在未来一段时间矿山工程地质勘探技术也会不断完善,其勘探效率、质量和勘探结果的准确性以及勘探过程的抗干扰能力都会得到进一步发展。

3 矿山工程常见地质灾害

在上文中也有所提及,因为矿产资源开采过程中对于地质环境和结构所产生的扰动与影响是相对较大的,因此很容易会引发地质灾害,而较为常见的矿山工程地质灾害包含如下几种,如图1所示。



图1 矿山工程常见地质灾害

3.1 地面采空区塌陷

地面采空区塌陷地质灾害是矿山工程较为常见且影响相对较大的一类地质灾害,因为在矿产资源开采的过程中很多矿产资源深埋地下,这时需要打造矿井在地下采集矿产资源,在这个过程中也会形成采空区,尤其是在矿产资源开采规模不断扩大的背景下,矿山工程形成的采空区的面积相对较大,而又因为地下资源已经被开采,因此采空区域的稳定性相对较弱,在降雨、地表水及地下水等多重因素的影响下很容易会出现地面采空区塌陷等地质灾害问题。

3.2 岩石土壤变化灾害

一般情况下在矿山工程地质灾害分析的过程中可以将其诱发因素原因将地质灾害划分为自然因素引发的地质灾害和人为因素引发的地质灾害,当然两者并非完全割裂,大多数矿山工程地质灾害出现是因为自然原因和人为原因交叉作用影响所带来的,而这其中矿山工程岩石土壤变化则是导致矿山工程地质灾害的重要原因之一,包括岩土层的开挖和加固以及由于矿产资源开采导致的地质环境变化,这些问题都很有可能会引发地质灾害。

3.3 矿坑突水

矿坑突水是指在矿产资源开采的过程中因为相关工作人员对于开采技术掌握不到位,出现违规操作,进而诱发突发性大量涌水,这很容易会带来较大的人员伤亡和财产损失。此外,如果在矿产资源开采的过程中地质勘探工作落实不到位,遇到了溶洞或地下暗河,加之矿产资源开采过程中对于隔离岩层造成的扰动和影响,也很容易会引发矿坑突水问题。

3.4 瓦斯突出

瓦斯突出灾害是否出现往往与矿山工程所开采矿产资

源的理化性质有着密切联系,一般情况下,在煤矿开采的过程中瓦斯突出问题是较为常见的,且所带来的影响也是相对较大的,如果在矿产资源开采的过程中出现瓦斯突出问题则很容易会导致矿井爆炸,进而引发采空区塌陷等相应地质灾害,同时瓦斯突出问题也会导致有害气体涌出,威胁矿产资源开采工作人员及周边居民的人身安全。

3.5 滑坡

滑坡、泥石流也是矿产资源开采过程中的常见地质灾害,这是因为在矿产资源开采的过程中涉及到了爆破等相应作业内容,这些作业内容对于矿山地区的岩土体会产生较大的冲击和影响,破坏边坡稳定性,进而引发滑坡泥石流等相应地质灾害。

4 针对矿山工程地质灾害应当采取的治理措施

4.1 降低爆破技术在矿山开采中的应用

在矿山工程中爆破技术是一种常用技术,可以在较短的时间内完成矿山表层脱离等相应作业内容,进而更好的提高矿产资源开采效率和开采质量,但是不容否认的是,一方面,爆破技术存在的安全隐患相对较多,很容易会带来人员伤亡。另一方面,爆破技术的可控性是相对较弱的,因此在使用爆破技术的过程中常常会对该地区的地质环境和地质结构产生较大的影响和冲击,这也增加了地质灾害出现的概率。在这样的背景下,适当减少爆破技术的应用频率则显得十分必要,而这时则需要通过勘察技术的科学应用收集更加完整全面的信息数据,为矿产资源开采技术的优化、方案的优化提供更多的借鉴和参考,尽可能减少爆破技术的使用频率或通过数据勘察、信息调取。结合该地区的实际情况明确在爆破技术应用过程中可能会引发的地质灾害,做好风险摸排,在此基础上确定爆破技术的应用要点,如孔深孔径的设置要求、装药量要求等,最大化地减少爆破技术应用所带来的影响,避免地质灾害的出现^[1]。

4.2 应用抗滑桩, 强化边坡稳定性

抗滑桩技术是现阶段矿山地质灾害防治过程中较为常用的一种技术方法,可以更好地确保边坡稳定性和可靠性。在抗滑桩技术应用的过程中需要秉承着具体问题具体分析的原则,收集更加完整全面的信息数据,配合土质边坡稳定性分析对抗滑桩施工技术方案做出适当的调整和优化,如图2所示,并通过现场监控的方式确保抗滑桩施工技术的应用效果。相关单位需要从施工场地平整、钻孔位置设计、护壁混凝土灌注要求、支护作业要点等多个维度来展开分析,加强抗滑桩施工技术控制和技术管理。此外,在地质灾害防治的过程中存在的安全隐患也是相对较多的,为此必须结合已有数据分析在抗滑桩施工过程中可能存在的安全风险,做好风险摸排,并明确安全保障措施,通过加强规章制度建设和现场监督管控的方式在提高抗滑桩应用效果、降低地质灾害出现概率的同时保障施工安全。

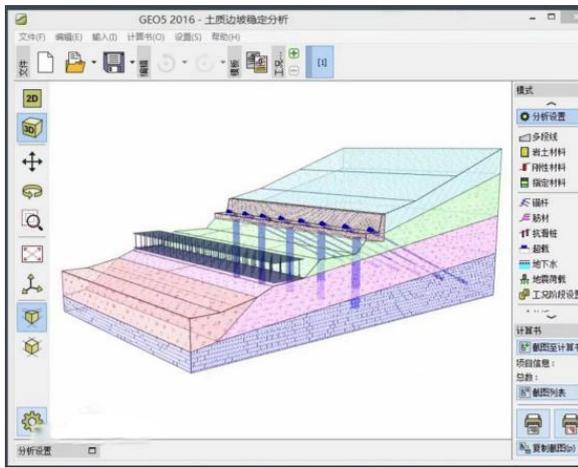


图 2 土质边坡稳定性分析

4.3 对采空区深入分析与检查

做好采空区的分析与检查也可以更好地避免地质灾害的出现，事实上矿山工程中采空区是地质灾害爆发频率相对较高的地区，而在采空区分析与检查落实的过程中则可通过勘察技术的科学应用来获得更加完整全面的信息数据，为地质灾害的预防及矿山修复工作的开展提供更多的助力和保障。在采空区勘察的过程中较为常见的勘察技术主要包含地球信息技术综合方法、地球物理勘察方法和环境化学勘测方法等。

首先，从地球信息技术综合方法的角度来分析，可以通过遥感技术、全球定位系统和地理信息系统来更好的分析和判断采空区可能存在的地质灾害及其构成原因和所带来的影响，预测地质灾害，分析接下来修复以及预防工作的落实重点^[2]。

其次，从地球物理勘察方法的角度来分析，可以通过断层位移、磁场变化等相应地质灾害伴生信息的收集、整合和分析来提高地质灾害的预测能力和分析能力，常见的地球物理勘察方法包含高密度电阻率法、视电阻率法、瞬变电磁法等等，需要结合实际情况来对地球物理勘察方法做出科学选择。

最后，为环境化学勘察方法，该种技术方法是通过污染监测和污染趋势分析预测来为地质灾害的分析甚至环境污染问题的分析提供更多的助力，进而为后续采空区整治修复工作的开展提供更多的信息参考与数据支持。

4.4 做好修复工作

矿山修复工作是通过技术方法的科学选择来最大化的

降低矿山工程对于地质环境以及生态环境所造成的影响和冲击，有效降低地质灾害出现的概率，而就现阶段来看可供借鉴和选择的矿山修复技术是相对较多的，较为常见且应用效果相对较好的则是植物修复技术。可以通过土壤修复来恢复矿山工程地区的土壤肥力，优化土壤结构，有效解决在矿山工程过程中对于环境所造成的污染和影响，为后续的植被种植提供更多的助力，一般情况下在土壤修复的过程中可以通过微生物修复和有机肥料、无机肥料、土壤材料等相应土壤改良技术的有效应用确保土壤环境适宜植被生长需求，在此基础上则需要通过数据调查分析更好的了解该地区的气候特点和人文特点，分析适宜种植的植被，利用植物根系的固定作用提高土体结构的稳定性，减少地质灾害出现的概率，降低地质灾害造成的影响。为了更好地提高矿山修复效果，还可以通过地理信息系统、遥感技术和生态模拟技术的有效应用收集更加完整全面的信息数据，并通过打造数字模型的方式更加直观的反映该地区的实际情况及不同修复技术的应用效果，通过可行性分析、成本分析、效益分析明确矿山修复方案，保障矿山修复方案的科学性与有效性，提高矿山修复效果^[3]。

5 结语

矿山工程地质勘察及地质灾害防治工作的有效落实可以在保护生态环境的同时避免地质灾害带来较大的人员伤亡和财产损失，需要引起关注和重视。相关人员在实践工作落实的过程中必须始终坚持具体问题具体分析原则，明确该地区可能存在的地质灾害问题及其构成原因和不同地质灾害所带来的影响与冲击，在此基础上明确不同地质灾害防治措施的适用范围和应用要点，合理制定地质灾害防治方案，确保地质灾害防治工作落实的科学性、有效性和针对性，提高地质灾害防治效果。

参考文献

- [1] 周伟华,姜斌.浅析矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策[J].世界有色金属,2024(7):172-174.
- [2] 韩颖.矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策分析[J].世界有色金属, 2024(3):178-180.
- [3] 王倩.矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策[J].技术与市场, 2023,30(1):182-185.

Characteristic Analysis and Hazard Evaluation of Debris Flow in Pai Village, Milin City, Xizang Province, China

Zhangjun Guo Feng Gao Shoucai Wei

The Second Geological Brigade of the Bureau of the Xizang Autonomous Region Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa, Xizang, 850000, China

Abstract

In the context of global climate change and increasingly frequent human activities, this paper focuses on the mudflow of four groups in Pai Town, Pai Village, Milin City, Tibet. Through field investigation, data collection and comprehensive analysis, the characteristics and harm degree are discussed in depth. The debris flow is rich in source, complex formation conditions, fast movement speed and great harm. The paper analyzes the source, formation conditions, movement characteristics and hazard performance, and aims to provide scientific basis and effective suggestions for the prevention and control of debris flow disaster, including strengthening monitoring and early warning, implementing engineering management, protecting ecological environment, improving residents' awareness of disaster prevention and establishing emergency rescue system.

Keywords

debris flow; characteristic analysis; degree of harm

中国西藏米林市派镇派村四组后山沟泥石流特征分析及危害程度评价

郭章军 高峰 魏守才

西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 中国·西藏 拉萨 850000

摘要

在当前全球气候变化和人类活动日益频繁的时代背景下, 论文聚焦西藏米林市派镇派村四组后山沟泥石流。通过实地勘察、数据收集及综合分析, 深入探讨其特征与危害程度。该地泥石流物源丰富, 形成条件复杂, 运动速度快且危害大。分析其物源、形成条件、运动特征及危害表现, 旨在为泥石流灾害防治提供科学依据与有效建议, 包括加强监测预警、实施工程治理、保护生态环境、增强居民防灾意识及建立应急救援体系等措施。

关键词

泥石流; 特征分析; 危害程度

1 引言

泥石流作为一种破坏力极强的地质灾害, 对山区人民的生命财产安全和生态环境构成严重威胁。西藏米林市派镇派村四组后山沟由于其特殊的地质、地形和气候条件, 泥石流灾害频繁发生。因此, 深入研究该地区泥石流的特征和危害程度具有重要的现实意义。

2 研究区域概况

派村四组位于西藏米林市派镇西南部, 其后山沟地处高山峡谷地带, 呈现出沟谷深切、地形起伏大的特点。山体坡度通常在 30° ~ 60° , 局部甚至高达 70° 以上, 这为泥

石流的形成创造了极为有利的地形条件。该区域地质构造复杂, 主要由古老的变质岩和岩浆岩构成。岩石节理裂隙发育且风化严重, 在雨水和地表水的侵蚀作用下, 极易崩解, 从而成为泥石流的重要物源。此地属于高原温带半湿润季风气候, 降水主要集中在夏季, 且多为暴雨。年平均降水量处于 $600\sim 800\text{mm}$, 暴雨时短时间内降水量可超 50mm 。沟内有季节性溪流, 雨季时水量大幅增加, 为泥石流的启动提供了充足的水源动力。

3 泥石流特征分析

3.1 物源特征

实地勘察显示沟道内长期堆积着大量的泥沙、石块等物质。检测报告中颗粒分析试验成果表也表明沟道物源颗粒组成复杂, 卵石、砾石等大颗粒物含量高, 凸显沟道堆积物的强流动性和破坏力。沟道堆积物的存在为泥石流的形成

【作者简介】郭章军(1989-), 男, 中国四川资中人, 本科, 工程师, 从事地质灾害防治研究。

提供了充足的物质基础,如表1所示。大颗粒物质的含量较高使得沟道堆积物在水流的作用下更容易被启动,形成泥石流。同时,复杂的颗粒组成也使得泥石流的运动更加复杂多变,增加了其危害程度。

3.2 形成条件

后山沟地形高差大,沟床纵坡陡峭,这有利于水流快速汇集和势能积累,且沟道狭窄弯曲,水流受阻易形成局部

壅水,增加了水流的冲击力和侵蚀能力,这种地形条件为泥石流的形成提供了有利的环境。

3.3 运动特征

如表2所示,监测报告显示,在特定的降水和物源条件下,泥石流的流速和流量变化明显。如在暴雨期间,流量可迅速增大,这与物源丰富程度密切相关。当沟道内的固体物质增多时,泥石流的流量也相应增大,对下游的破坏力更强。

表1 颗粒分析试验成果表

说明	内容	对泥石流影响分析
编号	区分不同土样,如“202300283YTT001”等	识别土样在泥石流中的作用
野外编号	对应土样野外位置,如“T-1”等	确定物源来源依据
取样深度	土样采集深度信息	影响受水流影响程度
名称	“卵石”,明确类型	主要物源类型
粒径占比	不同粒径颗粒占比	大颗粒增加可能性和危害,小颗粒影响稳定性和流动性
备注	试验依据及适用范围说明	明确数据来源和限制

表2 岩石试验成果表

说明	内容	对泥石流影响分析
编号	区分不同岩石样本,如“202300283YTY001”等	提供岩石特性标识
野外编号	对应岩石野外位置,如“Y-1”等	确定岩石位置
取样深度	岩石采集深度	影响受水流影响程度
定名	“片麻岩”,确定岩石类型	不同类型影响不同
风化程度	“中风化”,影响稳定性	易为泥石流提供物源
受力方向	“ \perp ”,影响响应方式	—
天然含水率	反映含水比例	影响稳定性和崩解速度
密度	质量体积比	影响冲击力
比重	相对水重量比	评估浮力和沉降特性
吸水率	吸收水分能力	易崩解提供物源
孔隙率	孔隙体积占比	影响水流渗透和泥石流
单轴抗压强度	抵抗单轴压力能力	低强度易破碎供物源
抗剪强度	抵抗剪切能力	易移动破碎
弹性模量	衡量弹性变形	影响变形程度和恢复能力
泊松比	纵横变形比例	分析变形特性
备注	试验依据和适用范围说明	明确数据来源和适用范围

4 危害程度评价

4.1 对人员生命安全的危害

泥石流会破坏基础设施,如供水、供电和通讯系统^[1]。供水系统破坏使居民面临缺水困境,影响日常生活卫生和身体健康,如居民需长途跋涉找水源。供电系统破坏让居民失去照明和电力供应,影响生产生活,小型作坊被迫停工。通讯系统破坏使居民无法与外界联系,影响救援和信息传递,导致救援行动延迟。

4.2 对财产的危害

从结构力学角度看,泥石流对建筑物的破坏源于冲击力和堆积作用。如某次泥石流中,强大冲击力使房屋墙体出现裂缝,泥沙和石块掩埋部分房屋,导致房屋变形损坏。在农田和农作物方面,泥石流携带的泥沙和石块覆盖农田,破坏土壤结构,致使农作物减产甚至绝收,还可能冲毁灌溉设施和农田水利工程,影响农业生产。

4.3 对生态环境的危害

泥石流对生态环境危害严重,在土地退化方面,泥石流携带的泥沙和石块覆盖土地表面,改变土壤结构和质地,降低土壤肥力和可利用性,导致土地退化^[2]。土地是农业生产基础和生态系统重要组成部分,其破坏会使土地生产力下降,影响农业生产和生态系统稳定。在水源污染方面,泥石流中的泥沙、石块和杂物可能携带大量污染物,如农药、化肥、生活垃圾等进入河流和湖泊,造成水源污染。水源污染

不仅影响水生生物生存和繁殖,还威胁居民生活用水和农业灌溉用水。水源污染会导致水生生物死亡和灭绝,破坏生态平衡。某地区在泥石流后,河流中的鱼类大量死亡,居民饮用水变得浑浊且有异味,给生活带来极大困扰^[3]。

5 结论

西藏米林市派镇派村四组后山沟泥石流具有物源丰富、形成条件复杂、运动速度快、危害程度大等特点,其对人员生命安全、财产和生态环境造成严重危害,且危害程度与当地人口密度、建筑物分布和生态环境状况等因素密切相关。为有效防治西藏米林市派镇派村四组后山沟泥石流灾害,应采取一系列综合措施。建立健全灾害应急救援体系,制定完善灾害应急预案,建立应急救援队伍和物资储备体系,灾害发生后迅速组织救援力量开展抢险救灾工作,最大限度减少人员伤亡和财产损失。

参考文献

- [1] 刘云鹏,钟果,肖华波,等.曾家沟泥石流特征分析及危害程度评价[J].水电站设计,2024,40(2):1-9+20.
- [2] 张奎.陇南市北山泥石流特征及防治技术[D].兰州:兰州大学,2013.
- [3] 赵聪,梁京涛,铁永波,等.西藏雅鲁藏布江峡谷特大巨型泥石流活动与泥沙输移特征研究[J].中国地质灾害与防治学报,2024,35(4).

Micro-pore Structure Characteristics of Low Permeability Sandstone Reservoir and Its Influence on Reservoir Properties—Taking the Long 6 Oil Layer Group in Zhenstability-Shuangcheng Area of Ordos Basin, China as an Example

Jianhui Yang Panfeng Gao Ling Wang Quanda Jiang

China Petroleum Changqing Oilfield Branch Fourth Oil Production Plant, Jingbian, Shaanxi, 718500, China

Abstract

Low permeability reservoirs are an important component of oil and gas resources. With the gradual reduction of unconventional oil and gas resources, low-permeability reservoirs have gradually become an important field for oil and gas exploration and development. Based on the analysis of the petrological and physical characteristics of the Chang 6 oil reservoir in the Zhenjing Shuangcheng area of the Ordos Basin, this study explores the micro pore structure characteristics and physical property influencing factors of low-permeability sandstone reservoirs using methods such as rock casting thin sections, scanning electron microscopy, and high-pressure mercury injection. The results indicate that the reservoir rock types are mainly lithic feldspar sandstone and feldspar sandstone; The overall physical properties of the reservoir are poor, belonging to low porosity ultra-low porosity, ultra-low permeability ultra-low permeability reservoirs; The micro pore structure can be divided into three main types: mesopores micro throats, mesopores micro throats, and mesopores adsorption throats, with mesopores micro throats being the main type; The average radius and median radius of pore throats are positively correlated with physical properties, while the displacement pressure and median pressure are negatively correlated with physical properties. The correlation between sorting coefficient and coefficient of variation and physical properties is not significant. The correlation coefficients between the median radius reflecting the size of pore throats and the median pressure reflecting the connectivity of pore throats and physical properties are relatively large and better, indicating that the size and connectivity of pore throats play a decisive role in the quality of reservoir properties, and the overall macroscopic physical properties of reservoirs are influenced by the microscopic pore structure.

Keywords

Ordos Basin; Chang 6 oil reservoir group; pore structure; reservoir properties

低渗透砂岩储层微观孔隙结构特征及其对储层物性的影响——以中国鄂尔多斯盆地镇靖—双城地区长6油层组为例

杨建辉 高攀锋 王玲 姜全达

中国石油长庆油田分公司第四采油厂, 中国·陕西 靖边 718500

摘要

低渗透储层是油气资源的重要组成部分, 随着非常规油气资源的逐渐减少, 低渗透储层逐渐成为油气勘探开发的重要领域。在鄂尔多斯盆地镇靖—双城地区长6油层组储层岩石学特征、物性特征分析的基础上, 通过运用岩石铸体薄片、扫描电镜和高压压汞等方法, 探讨低渗透砂岩储层微观孔隙结构的特征及其物性影响因素。结果表明: 储层岩石类型以岩屑长石砂岩和长石砂岩为主; 储层整体物性较差, 属于低孔-特低孔、特低渗-超低渗储层; 微观孔隙结构可以划分为中孔-微细喉、中孔-微喉道、中孔-吸附喉道三种主要类型, 其中以中孔-微喉道为主; 孔喉平均半径、孔喉中值半径与物性呈正相关关系, 排驱压力、中值压力与物性呈负相关关系, 分选系数、变异系数与物性的相关性不明显。其中, 反映孔吼大小的中值半径和反映孔吼连通性的中值压力与物性的相关系数较大, 相关性更好, 这表明, 孔喉大小和连通程度对储层物性的好坏起着决定性的作用, 储层的整体宏观物性受微观孔隙结构的影响。

关键词

鄂尔多斯盆地; 长6油层组; 孔隙结构; 储层物性

1 引言

【作者简介】杨建辉(1986-), 男, 中国宁夏固原人, 工程师, 从事油气田开发研究。

低渗透砂岩储层微观孔隙结构复杂多样, 对储层物性产生着重要的影响。微观孔隙结构是控制储层物性的重要

因素^[1]，其特征包括孔隙的大小、形状、分布、连通性等多个方面。这些微观孔隙结构的特性不仅直接影响着储层的物性，还在很大程度上决定了油气在储层中的赋存状态和流动规律^[2]。基于铸体薄片、扫描电镜、高压压汞等分析测试方法，以储层岩石学、物性及孔隙结构特征的精细表征为基础，深化对低渗透砂岩储层的认识，探讨微观孔隙结构对储层物性的影响，为镇靖—双城地区长6油层组低渗透油藏的勘探提供科学依据，具有现实的指导意义。

2 研究区概况

镇靖—双城地区位于鄂尔多斯盆地的中部（图1）。在构造单元上属于伊陕斜坡，位于盆地内部构造相对稳定区域，存在一系列微小的构造变形，这些构造变形在一定程度上影响了油气的运移和聚集。区域沉积演化特征研究表明，镇靖—双城地区长6油层组沉积时期，主要为曲流河沉积体系，其沉积微相包括分流河道、河漫滩等，砂体发育广泛，砂体粒度较细、分选较差，这些不同的沉积微相为低渗透储层的形成提供了物质基础。在长期的地质演化过程中，强烈的压实作用，胶结作用等破坏性成岩作用是导致储层物性降低的重要因素之一。除此之外，盆地内部构造运动相对较弱，储层缺少有效的裂缝系统来改善储集性能^[3]，从而加速了储层物性的变差。



图1 鄂尔多斯盆地研究区位置及构造单元划分

3 储层岩石学及物性特征

3.1 储层岩石学特征

通过岩石铸体薄片鉴定结果显示，研究区长6油层组

岩石类型主要为岩屑长石砂岩和长石砂岩（图2）。粒径主要介于0.13~0.50mm，碎屑颗粒分选中等，磨圆以次棱角状为主，颗粒之间以线接触为主，局部出现点接触，颗粒支撑结构，胶结类型主要为孔隙胶结。储层砂岩总体上成分成熟度较低，结果成熟度中等。在碎屑组分中，长石含量最高，石英次之，岩屑含量最低，石英含量介于20%~29%，平均为22.75%，长石含量介于47%~65%，平均为48.16%，岩屑含量介于15%~26%，平均为19.01%，岩屑以石英岩和片岩等变质岩岩屑为主，总体具有高长石低石英的特征。填隙物以黏土矿物和碳酸盐矿物为主（图3），其中黏土矿物主要为绿泥石和高岭石，平均含量分别为2.98%、1.10%，碳酸盐矿物主要为方解石，平均含量为5.4%。

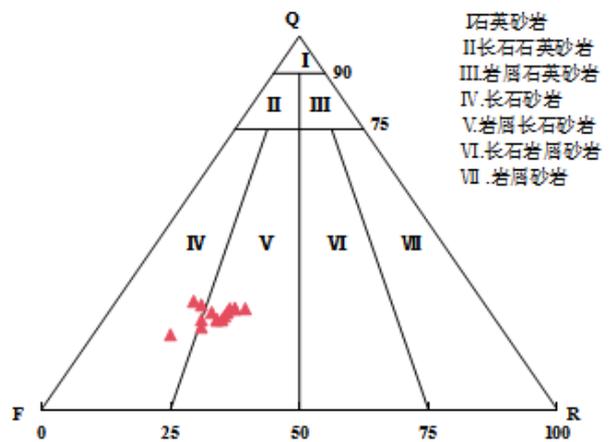


图2 镇靖—双城长6岩石类型图（样品数：13）

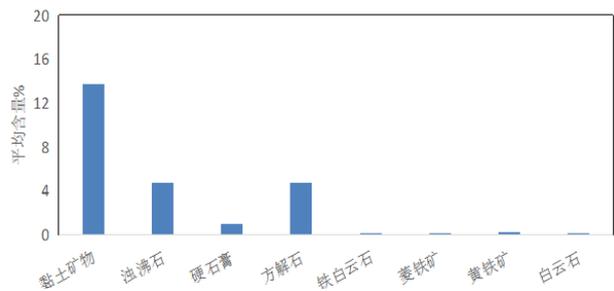


图3 镇靖—双城长6储层填隙物组分图（样品数：13）

3.2 储层物性特征

研究区长6油层组储层物性统计结果表明，实测样品孔隙度为5.27%~15.97%，平均值为11.07%，孔隙度集中分布在6%~14%范围，占样品总数的81.8%。实测渗透率介于 0.2×10^{-3} ~ 1.81×10^{-3} μm，平均值为 0.94×10^{-3} μm，渗透率集中分布在 0.2×10^{-3} ~ 1.4×10^{-3} μm范围，占样品总数的77.27%。根据《石油天然气储量计算规范》储层划分标准^[4]，研究区长6储层属于低孔-特低孔、特低渗-超低渗储层。孔隙度与渗透率呈正相关，但相关系数较低，表现出储层孔隙结构相对复杂。

4 储层微观孔隙结构特征

孔隙结构由孔隙和喉道两部分组成,是指孔隙和喉道的大小,连通状况,配置关系及其演化特征,孔隙反映了储集层储集能力,喉道则控制着孔隙的渗透和储集能力,孔隙结构的好坏可以直接影响储集岩的储集性能^[5]。

4.1 孔隙类型

通过岩石铸体薄片,及扫描电镜分析结果表明,研究区长6油层组储层孔隙类型主要为粒间溶孔,长石溶孔,微裂缝。总面孔率介于1%~10%,平均为5.23%,其中粒间溶孔最高,面孔率平均为3.73%,长石溶孔次之,面孔率平均为1.19%,微裂缝最少,面孔率平均为0.31%。

粒间溶孔(图4a),是在原生粒间孔与剩余粒间孔基础上经过次生溶蚀作用后形成的^[4],溶蚀作用的物质主要为杂基和胶结物,孔隙内部见矿物溶蚀残余。粒间溶孔是由于砂岩储集体中部分碎屑及填隙物受溶蚀作用改造扩大形成的孔隙,主要赋存于刚性碎屑颗粒之间,并且孔隙周围填隙物一般存在溶蚀痕迹^[6]。长石溶孔(图4b、d)形成在酸性介质条件下,长石与水接触时,都将发生非全等溶解反应,长石在其溶解过程中,部分离子被溶解进入溶液中,而另一部分组分则将转变成新的矿物。由于这些新生的矿物或称次生矿物与原始矿物组成的不同,它们的分子量、密度等物理化学性质也不同,其所占据的体积空间将发生变化,从而导致次生孔隙空间的产生^[7]。长石溶孔中长石常沿解理缝选择

性溶蚀,形态不规则,随着溶蚀作用增强,少量长石颗粒被完全溶蚀,形成铸模孔^[8]。微裂缝(图4c)是在成岩期因受到构造应力发生挤压,导致砂岩形成破裂缝,微裂缝对孔隙的连通性起到了极其重要的作用。

4.2 喉道类型

缩颈型喉道:在压实作用的影响下,石英和长石等刚性矿物颗粒发生重新排列,颗粒之间的接触方式转变为线接触和点一线接触,颗粒被压实后,颗粒间的喉道变窄,颗粒之间发育出缩颈喉道结构^[9](图4b)。这就导致部分孔隙由于喉道变小从而无法有效连通,成为了孤立的孔隙。尽管压实作用保留下来有较大的孔隙,但其渗透率却可能相对较低。除此之外,颗粒边缘的溶蚀作用,也能够增大喉道半径,从而改善孔喉之间的连通性。

片状、片弯状喉道:在强烈的压实作用下,颗粒之间定向排列,形成的孔隙和喉道都变得很细,其形态呈片状或弯曲片状的长条状通道^[9](图4e)。当压实程度较强且晶体再生长,剩余的粒间孔隙变得更小,喉道其实属于晶体之间的晶间孔隙。当颗粒之间发生溶蚀作用时,可以扩大片状喉道的宽度。片状、片弯庄喉道的变化较大,受后期溶蚀作用溶蚀作用影响容易被改造增粗。

管束状喉道:管束状喉道多存在于黏土胶结物发育和溶蚀作用强烈的地方。原始粒间孔被各类黏土矿物充填,各类黏土矿物中的微孔隙既是孔隙又是喉道,交叉分布,形成管束状喉道(图4f)。

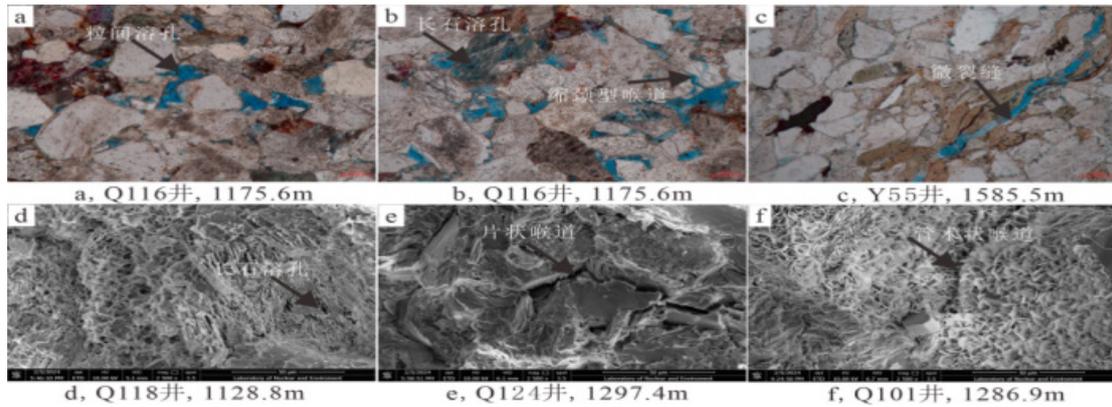


图4 镇靖—双城地区长6储层孔隙喉道类型

4.3 微观孔隙结构特征

依据毛细管压力曲线形态及孔隙结构的参数特征,结合铸体薄片,可以将研究区的储层结构划分为中孔-微细喉,中孔-微喉道,中孔-吸附喉道三种主要类型,其中以中孔-微喉道孔隙结构为主。

中孔-微细喉道,此类型孔隙结构的储集层孔隙度一般为12.24%~13.54%,渗透率为 $0.5 \times 10^{-3} \sim 1.59 \times 10^{-3} \mu\text{m}$,排驱压力小于1MPa(图5),平均孔喉半径小于1 μm ,偏粗歪度。中孔-微喉道,此类型孔隙结构的储集层孔隙度一般为10.55%~12.94%,渗透率为 $0.41 \times 10^{-3} \sim 1.37 \times 10^{-3} \mu\text{m}$,排驱压力介于1~8MPa(图6),平均孔喉半径小于0.5 μm ,

略粗歪度。中孔-吸附喉道,此类型孔隙结构的储集层孔隙度一般为5.27%~6.44%,渗透率为 $0.20 \times 10^{-3} \sim 0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}$;排驱压力大于8MPa(图7),平均孔喉半径小于0.025 μm ,偏细歪度。

5 孔隙结构对储层物性的影响

微观孔隙结构是影响储层物性的重要因素,微观孔隙结构的参数能够定量地表征与物性之间的相关关系。

反映孔吼大小的参数主要有平均孔吼半径和孔吼中值半径,其大小受控于储集空间类型及其发育程度,碎屑颗粒分选性,填隙物含量等因素^[10],平均孔吼半径、孔吼中值

半径与孔隙度、渗透率一般呈正相关性。其中孔隙度、渗透率与孔喉中值半径相关系数分别为 0.7447、0.4506（图 8），一般中值半径越大，孔渗条件越好。而孔喉平均半径与物性的相关性较低（图 9），孔喉平均半径分布在 0.02~0.70 μm ，平均为 0.26 μm ，孔吼整体偏小，影响储集层物性，是导致储层物性变差的重要原因。

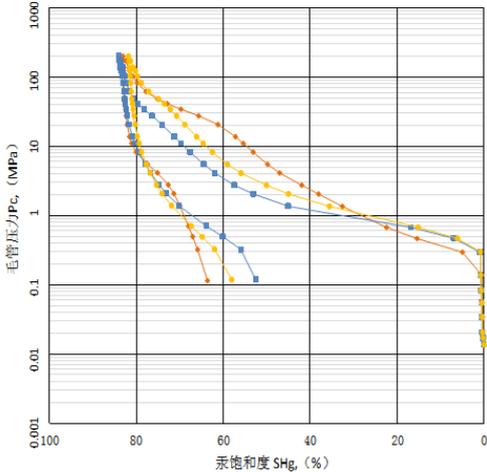


图 5 中孔—微细喉道压汞曲线

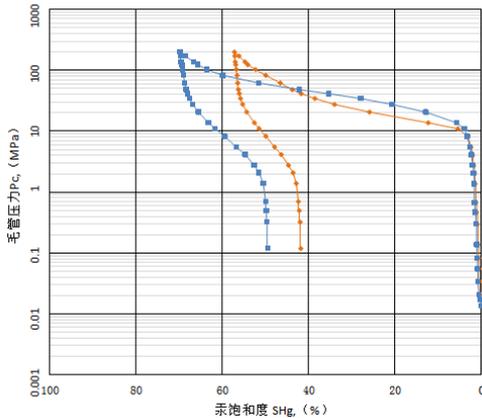


图 6 中孔—微细喉道压汞曲线

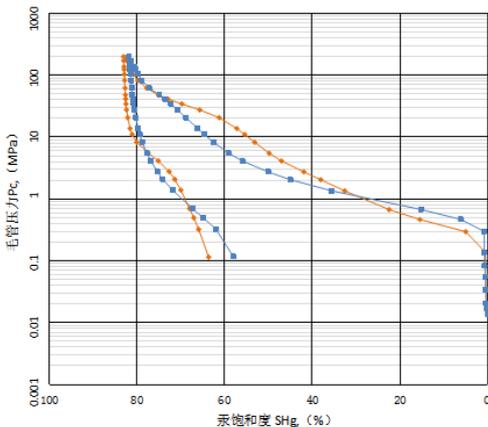


图 7 中孔—吸附喉道压汞曲线

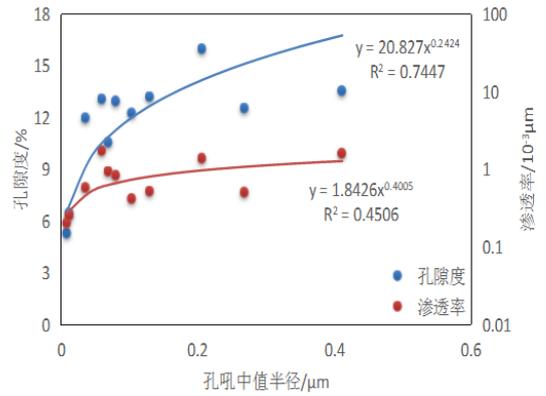


图 8 孔吼中值半径与孔渗相关关系图

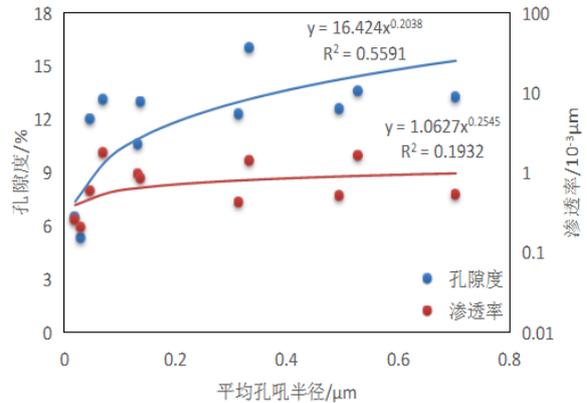


图 9 平均孔吼半径与孔渗相关关系图

反映孔吼分选性的参数有分选系数、变异系数。分选系数反映的是孔隙喉道的集中程度，分选系数介于 1.03~2.94 之间，平均 2.06，表明分选性一般，且分选系数与孔渗相关性不明显（图 10）。变异系数能更好反映孔喉大小分布均匀程度，数值越小，孔喉分布越均匀，变异系数分布在 0.07~0.26，平均为 0.17，这说明研究区孔喉大小分布较为均匀，但与孔渗相关性不明显（图 11）。分析其原因在于，低渗透储层压实作用及胶结作用影响下孔喉半径趋于变小，孔喉均一化程度逐渐提高，虽然溶蚀作用改造后可以发育一定数量的较大孔喉，但大部分的小孔喉受胶结封堵而缺乏改造，造成储层物性变差^[10]。

反映孔吼渗流能力的参数有排驱压力和中值压力。排驱压力是孔隙中最大连通孔隙喉道所对应的毛细管力，排驱压力分布在 $0.14 \times 10^{-3} \sim 11.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ，平均为 $2.78 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ，排驱压力较大，表明储层渗透性较差，排驱压力与孔渗具有较好的负相关性（图 12），排驱压力增大，孔渗减小。中值压力为汞饱和度 50% 是所对应的毛细管压力值，研究区中值压力分布在 $1.79 \times 10^{-3} \sim 83.29 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ，平均值为 $19.64 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ，中值压力与孔渗具有较好的负相关（图 13），该值越小，岩石孔渗越好。

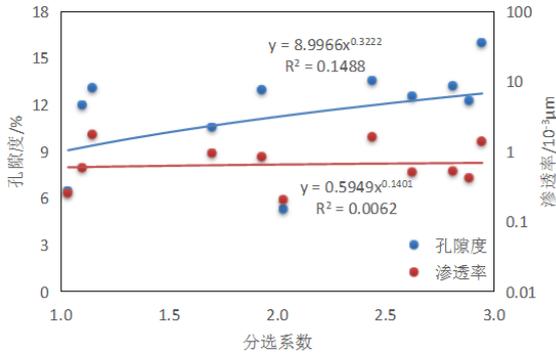


图 10 分选系数与孔渗相关关系图

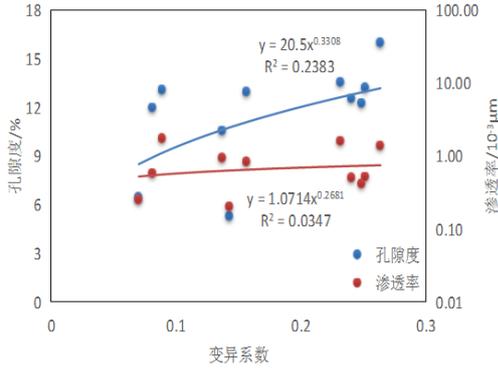


图 11 变异系数与孔渗相关关系图

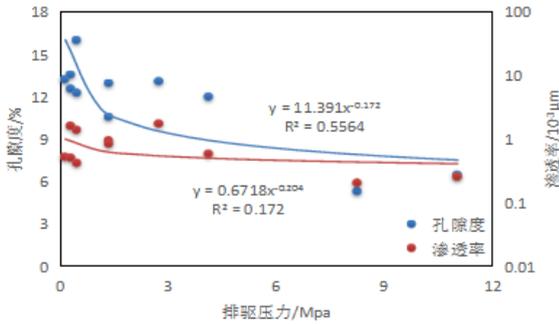


图 12 排驱压力与孔渗相关关系图

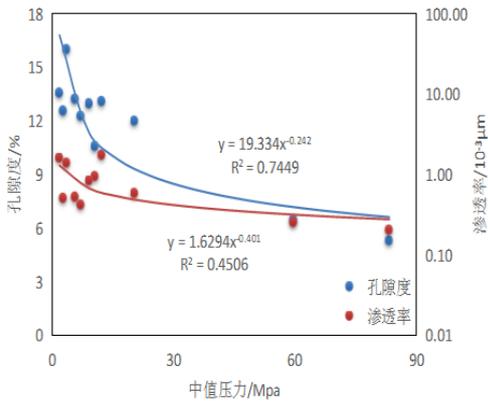


图 13 中值压力与孔渗相关关系图

从样品的孔喉大小、孔喉分选性和孔喉渗流能力参数

与储层物性之间的关系可以看出，中值半径、孔喉平均半径与储层物性呈的正相关关系。排驱压力、中值压力与储层物性呈明显的负相关关系。分选系数、变异系数与储层物性无明显的相关关系。其中，同一类型的结构参数对孔隙度的影响更为明显，且反映孔喉大小的中值半径和反映孔喉连通性的中值压力与物性的相关系数较大，相关性最好。这表明，孔喉大小和连通程度对储层物性的好坏起着决定性的作用，储层的整体宏观物性受微观孔隙结构的影响^[11]。

6 结论

①镇靖—双城地区长6油层组储层类型为低孔-特低孔、特低渗-超低渗储层，孔渗相关性不明显，渗透率低是储层物性差的主要表现。储层主要发育粒间溶孔、长石溶孔、微裂缝，以粒间溶孔为主。

②微观孔隙结构特征主要表现为：孔隙整体以中孔为主，喉道整体较细、类型多样，并且分布比较集中。可以划分出中孔-微细喉，中孔-微喉道，中孔-吸附喉道三种主要类型，储层物性依次变差。

③储层物性随孔喉平均半径、中值半径的增大而增大，具有正相关性，随排驱压力、中值压力的增加而减小，具有负相关性，与分选系数、变异系数相无明显相关性。孔喉大小和连通程度对储层物性的好坏起着决定性的作用。

参考文献

- [1] 韩进.鄂尔多斯盆地王盘山区延长组储层微观孔隙结构及渗流特征表征[D].西安:西北大学,2020.
- [2] 夏宇轩.低渗储层微观孔隙结构分形表征及渗流特性研究[D].北京:中国地质大学,2022.
- [3] 康麒麟.鄂尔多斯盆地中生界油气成藏构造及油气藏形成特点[D].西安:西北大学,2022.
- [4] DZ/T 0217—2020 石油天然气储量估算规范[S].
- [5] 杨友运,赵永刚,陈朝兵.鄂尔多斯盆地西南部延长组致密砂岩储层微观特征[M].北京:科学出版社,2020.
- [6] 肖玲,陈曦,雷宁,等.鄂尔多斯盆地合水地区三叠系长7段页岩油储层特征及主控因素[J].岩性油气藏,2023,35(2):80-93.
- [7] 李汶国,张晓鹏,钟玉梅.长石砂岩次生溶孔的形成机理[J].石油与天然气地质,2005(2):220-223+229.
- [8] 窦伟坦,田景春,王峰,等.鄂尔多斯盆地长6油层组集砂岩成岩作用及其对储层性质的影响[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(2):153-158.
- [9] 仓辉,杜贵超,王聪娥,等.甘泉油田延长组长7致密储层孔喉结构特征及分类评价[J].成都理工大学学报(自然科学版),2023,50(5):525-536.
- [10] 许兆林,王凤,许爽,等.低渗透砂岩微观孔隙结构特征及其对储层物性的影响研究[J].石化技术,2022,29(10):152-154+156.
- [11] 尚婷,曹红霞,郭艳琴,等.致密砂岩储层微观孔隙结构特征及物性影响因素分析——以延长探区上古生界山西组为例[J].西北大学学报(自然科学版),2017,47(6):877-886.

Hydraulic Pressure Test Used in Geotechnical Survey of Underground Caverns

Pengfei Dong

The 10th Geological Brigade of Guangdong Geological Bureau (Zhongshan Geological Disaster Emergency Rescue Technology Center of Guangdong Province), Zhongshan, Guangdong, 528400, China

Abstract

This paper combines work experience in multiple domestic cave storage facilities to provide personal discussions on the modification of water curtain drilling and water pressure equipment, optimization of testing procedures, and issues encountered during testing. After optimizing the water pressure equipment, the backflow problem described in Article 5.7.5 of NB/T-35113-2018 "Code for Water Pressure Test of Hydropower Engineering Drilling" (hereinafter referred to as the specification) can be solved, which can reduce the local head loss caused by the water pressure equipment, facilitate maintenance during the water efficiency test stage, and reduce the disturbance caused by pressure relief to the surrounding water curtain boreholes during maintenance. Sealing during the experiment. Evaluate the water blocking curtain hole scheme. The use of single point method for water pressure testing, followed by electronic imaging technology and M. Lugeon test method can significantly shorten the duration of water pressure testing. The head loss along the test component and the local head loss can be ignored.

Keywords

hydraulic pressure test; underground caverns; geotechnical survey

粤东某洞库施工勘察中压水试验应用研究

董鹏飞

广东省地质局第十地质大队（广东省中山地质灾害应急抢险技术中心），中国·广东 中山 528400

摘要

本文结合国内多个洞库工作经历，对水幕钻孔压水设备改装、试验工序优化和对试验期间遇到问题提出个人论述。压水设备优化后可解决《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T-35113-2018（下文简称规范）第5.7.5条阐述的回流问题，可减少压水设备造成的局部水头损失，在水效率试验阶段方便维护，减少维护时因泄压对周边水幕钻孔产生的扰动。对试验时封堵水幕孔方案进行评价。采用先单点法压水、后电子成像技术+M.Lugeon（吕荣试验）法可大幅度缩短压水试验时长。试验组件产生的沿程水头损失和局部水头损失可忽略不计。

关键词

压水试验；地下洞库；工程勘察

1 引言

地下洞库为国家地下储备重点项目，洞库能够完全控制气体渗漏的方法就是利用人工水幕和地下水共同作用进行水动力密闭^[1]。

具体工作是在主洞库上方交叉布置水幕巷道，并在巷道两侧或巷道底布置钻孔，水平孔从水平方向连通岩体裂隙，竖直和倾斜钻孔一般布置在各个洞库的相邻面和临海面，防止储存物质不同产生连通和海水倒灌^[2]。通过人工供水，使人工供水与地下水共同形成帷幕，保证整个主洞库气

密性完好（见图1）。岩体透水性和连通性是气封前提物理条件，现场压水试验是施工勘察中确定透水性主要手段，试验完成后进入日常供水阶段。

粤东某岩浆岩地区需建设某地下洞库，但洞库占地面积大，岩体裂隙发育，局部构造裂隙贯穿洞库，故裂隙连通性和透水性研究是非常有必要的^[3]，压水试验可直观反映出试验孔影响范围内裂隙水头能抬高的高度和透水性。

本次根据水幕钻孔实际意义和俯仰角归类说明，按俯仰角大小将试验孔拟分水平（俯仰角 $\theta=0^\circ$ ）、垂直（俯仰角 $\theta=90^\circ$ ）和倾斜孔（俯仰角 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ）三类^[4]。

【作者简介】董鹏飞（1987-），男，中国河南新乡人，本科，工程师，从事水文地质、工程地质、环境地质和岩土工程勘察研究。

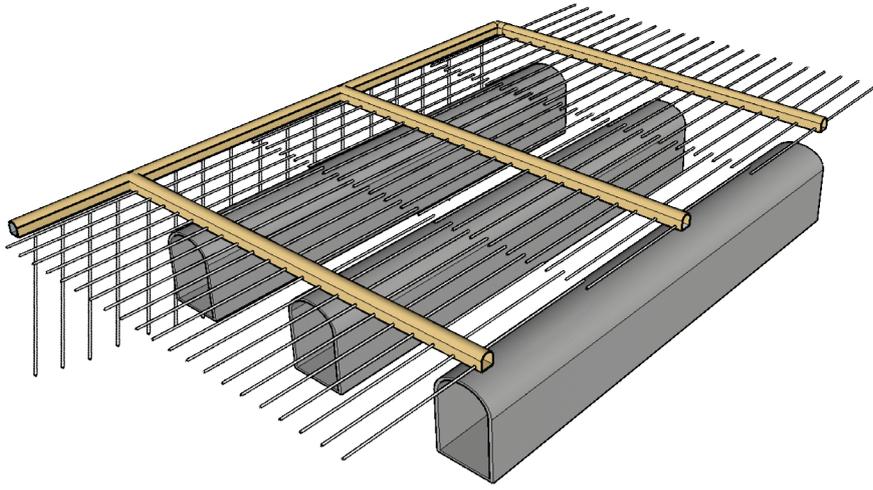


图1 地下洞库展示图(非实例)

2 钻孔封塞的选择方案

钻孔封塞的方案较多,但考虑后续需要长期供水和维护,故本项目单点法压水试验采用机械式栓塞和水囊式胶塞两种方案,吕荣试验采用双栓塞封堵试验段。具体方案评价见表1。

3 供压源和压水设备改装

3.1 供压源的选取

于地表高处建设大容量蓄水池,可将自来水内气体排出,防止供水管道气体堆积。

蓄水池高程需满足试验压力所需,其因高程差产生的理论压力 P 可按下式计算:

$$P = \rho gh_0$$

式中: P ——蓄水池提供的理论压力;

ρ ——水的密度 kg/m^3 ;

g ——重力系数 m/s^2 ;

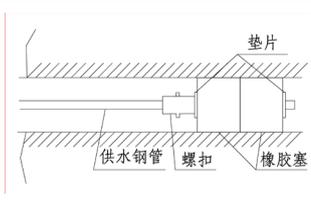
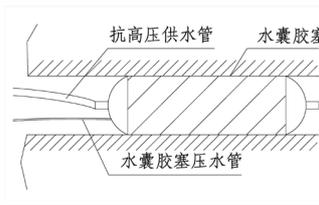
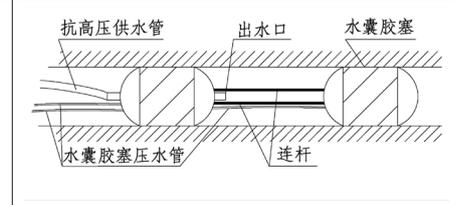
h_0 ——蓄水池形心至钻孔高程的相对高差 m 。

如蓄水池水量充足且高程满足理论压力 P ,但出现供水管压力远低于理论压力时,大概率是供水管路积累气体无法排出导致,致使供水管道压力过低,烟台和惠州某库在因事故停水后就常遇到该情况,可再供水管道尾端和中间一些位置加焊接排气球阀,可有效排出管路积气。

3.2 设备改装及功能

压水试验设备现改装如图2所示,增加止回阀即可解决孔内水回流问题^[5]。功能解释见表2。

表1 栓塞封堵方法统计方案

	机械式栓塞	水囊式胶塞	双栓塞
图例			
适用条件	孔口处岩体裂隙不发育段	孔口岩体裂隙发育段	吕荣试验
优点	经济、安装便捷	可任意调节封堵位置	准确卡住裂隙试验段
缺点	封堵深度一般不超过3m	价格高,日常供水阶段需要反复压水	深孔试验时装卸较难

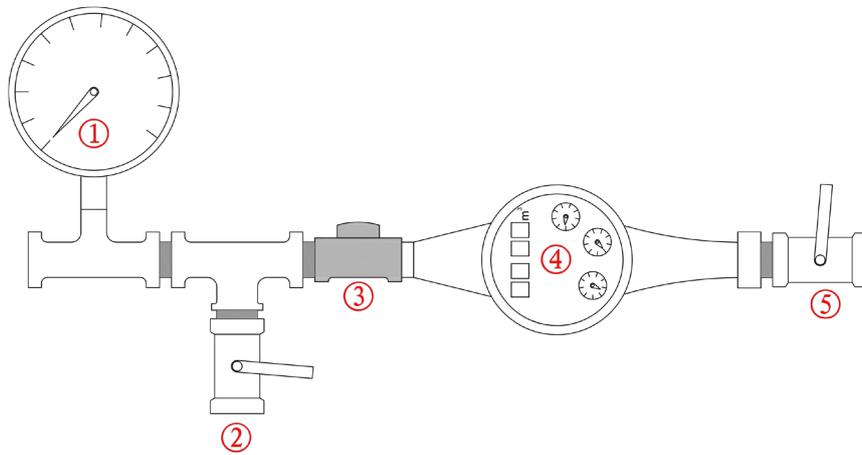


图2 压水设备各部件连接顺序

表2 压水设备各部件连接顺序表 2 各部件功能说明表

序号	名称	单位	功能说明
①	压力表	MPa	测静水压力 P_0 和试验压力 P_p ，设备可直接连接栓塞，避开压水设备各组件之间变径、水表机械转动等因素造成的局部水头损失
②⑤	球阀		②号球阀对孔内水分流和泄压，方便维护压力表。 ⑤球阀的作用为调节进水量以控制试验压力大小
③	止回阀		防止钻孔因孔内压力高于供水压力时造成孔内水回流，造成流量计倒转，使流量误差加大和孔内水流失
④	流量计	L	记录相关水试验和日常供水记录读数

4 单点法压水试验

4.1 静水压的测量

钻孔完成后，安装供水设备，关闭②⑤球阀，钻孔封堵后静止 24h 即可测得孔内试验段静水压力 P_0 （以孔口高程作为零势面）。

水平孔如读数不为 0 压力表读数 P_p 即为静水压 $P_0 = \text{Ma}\{P_1, P_2 \dots P_n\}$ ， $P_1, P_2 \dots P_n$ 为水幕孔连通裂隙产生的静水压力， P_0 即钻孔连通裂隙产生最大静水压。

倾斜孔和垂直孔如读数不为 0 压力表读数 P_p 与孔内最大水头压力 P' 有如下关系：

$$P' = \text{Max}\{P_1, P_2, P_3 \dots\}$$

$$P_p + P_z = P'$$

式中： P_p ——压力表读数；

P_z ——压力表至最高水头与钻孔作用点与压力表中心的相对高差产生的水头压力；

P' ——钻孔内裂隙最高水头压力。

4.2 试验压力

试验增加压力 ΔP 根据储备物质性质、储存物最大工作压力等信息确定，此处不做赘述。试验压力为 $P_0 + \Delta P$ 。

5 单点发压水试验常见问题分析

5.1 静水压过高

如静水压过高时，即静水压 P_0 大于自试验孔孔口起算到洞外地坪标高提供的理论压力时，个人看法可不做压水试验，因静水压过高说明孔内裂隙发育且绵延至地面较高处，如孔内裂隙与周围岩体贯通，则对水幕系统是增益的，可测孔内流量评估该孔增益的大小，为水幕效率试验^[6]提供数据依据。如孔内裂隙与周围岩体不贯通，孔内压力也远大于洞库的临界压力^[7]，可不考虑其影响。

5.2 压水时巷道壁和底部漏水讨论

从本质讲，压水期间钻孔两侧巷道壁或巷道底渗水，可直观说明透水裂隙同时贯穿巷道和水幕钻孔，虽然压水试验和供水期间会出现漏水的情况，但后期水幕巷道封堵蓄水

后，本质上是增加单个水幕钻孔和水幕巷道连通性，故封堵到孔内不漏水段即可。

5.3 不进水孔讨论

如钻孔无法压入水，则该孔渗透性弱，渗透系数 k 可忽略不计，但不同时间段试验结果亦有不同，试验时发现，虽然试验孔试验期无法压入，但在爆破施工、巷道开挖后围岩应力重新分布影响下，会有新裂隙贯穿试验孔，供水期间供水量会有微量变化。

5.4 加压达不到 ΔP 情况

长时间压水压力趋于稳定但增压未达到 ΔP 时，直接进行吕荣试验。

5.5 单点法渗透系数估算

单点法压水试验渗透系数可用下式估算：

$$K = \frac{Q}{2\pi Hl} \ln \frac{l}{r_0}$$

式中： K ——五岩体渗透系数（m/d）；

Q ——压入流量（m³/d）；

H ——试验水头（m）；

r_0 ——钻孔半径（m）；

l ——试验长度，即孔深减去孔口至封堵位置的长度（m）。

针对单点法试验渗透系数大于 10^{-6} cm/s，钻孔采用吕荣试验进一步确认钻孔透水率。

6 M.Lugeon text (吕荣试验)

6.1 试验段选取

对试验孔电子成像分析裂隙发育和裂隙填充情况，如表3所示。

通过电子成像判断出不透水完整岩段和透水裂隙发育段深度，针对裂隙发育段进行试验，可简化逐段压水过程，大幅度提高试验效率。试验时按三级压力五个阶段进行，过程参见相关规范执行。

6.2 试验段压力讨论

考虑静水压 P_0 ，第 i 段试验压力 P_i 采用下式计算。

$$P_i = P_{pi} + P_{zi} - P_{si} - P_{0i}$$

式中： P_i ——第 i 段试验压力（MPa）；

P_{pi} ——第 i 段压力表指示压力（MPa）；

P_{zi} ——第 i 段压力表中心至试验段中心点的压力（MPa）；试验段中心点在压力表中心上方取正，反之取负；

P_{si} ——第 i 段管路压力损失（MPa）；

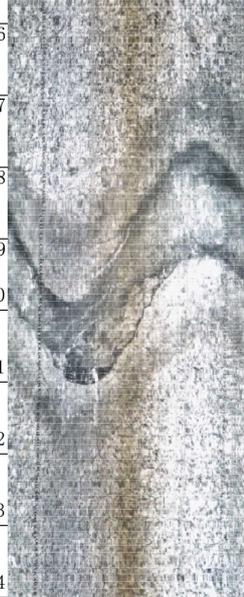
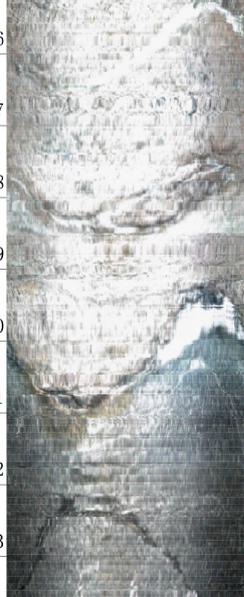
P_{0i} ——第 i 段静水压。

6.3 水平孔 P_z 值讨论：

水平孔钻探工艺复杂，孔深较深，钻孔斜度对 P_z 值影响不可忽视。

为避免钻孔下浮深度过大，故开孔时钻头会上仰 $1\sim 2^\circ$ 。经多次测斜数据发现，钻孔在空间内分布并不是一条直线，而是一条近似曲线，（为显示效果明显，该图按相应比例尺微调，非原始数据）。设 X- 东，Y- 北，Z- 上，见图3。

表3 电子成像裂隙发育和填充物部分展示图

			
<p>27.2~29.9 米之间裂隙较发育，试验测试长度约 0.7 米，裂隙无充填。</p>	<p>64.85~65.03 米之间见裂隙发育，试验测试长度约 0.2 米，裂隙无充填。</p>	<p>67.3~68.1 米之间见裂隙发育，试验测试长度约 0.8 米，裂隙无充填。</p>	<p>65.5~66.4 米之间裂隙发育，测试长度约 0.9 米，裂隙见充填物。</p>

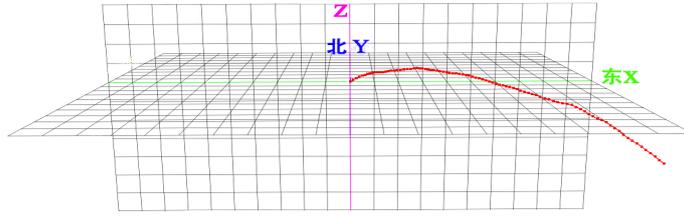


图3 钻孔轨迹曲线

如果考虑构造裂隙产状、岩体岩性物理性质差异等因素，会呈现出近似直线、弧线或其他线条，各钻孔各方位偏差各异，但由于钻孔抗弯刚度较大，故钻孔空间位置拟合函数 $f(x, y, z)$ 遵从处处连续且可导的性质。

根据上述内容，则可设 α 角为俯仰角 (α 角水平为零，向上为正，向下为负)， $\tan \alpha$ 即为 $f(x, y, z)$ 在竖直面被测点处的曲线斜率。L 为孔深，将每段测量段近似看作直线，则第一个点的竖向偏差以 $h_1 \approx L/4 \times \sin \alpha_1$ 近似计算。第二个点竖向偏差 $h_2 \approx h_1 + L/4 \times \sin \alpha_2$ ，以此类推。 P_z 值近似等于 $\rho g h_x$ (h_x 为被测处的竖向偏差，可采用内插法近似计算)。

6.4 竖直孔和倾斜孔 P_z 值讨论：

竖直钻孔由于钻杆自重垂直向下且钻孔深度相对较浅，钻孔斜度接近垂直。

设竖直孔和倾斜孔被测点处俯仰角为 β ，由于洞库深埋地下，故竖直孔和倾斜孔水位情况只有两种，没水或满水。无水孔按 $P_z = \rho g L \sin \beta$ 计算 (L 为孔口至压水段的长度)，有水孔 P_z 近似等于零处理。

6.5 管损 P_s 值讨论

管道压力损失包括沿程水头损失 h_f 和局部水头损失 h_m ^[8]，即：

$$P_s = h_f + h_m$$

沿程水头损失 h_f 可按达西—维斯巴赫 (Darcy-Weisbach) 计算^[9]：

$$h_f = \lambda \frac{l_p v^2}{d 2g}$$

式中： λ ——摩阻系数 (MPa/m)，取 $2 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4}$ 。钢管材质供水管取低值，钢丝管和其他软管取高值。

l_p ——工作管长度 (m)；

d ——工作管内径 (m)；

v ——管内流速 (m/s)，趋于稳定压水时的流量；

g ——重力加速度 (m/s^2)，取 $9.8 m/s^2$ 。

设备局部水头损失仅仅是出水口出水流入钻孔中孔径突然放大造成的水头损失，压力和流量稳定后属于有压淹没流。按常规理论公式计算：

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

其中 ζ 的理论公式如下：

$$\zeta = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2$$

式中： A_1 ——变径前的面积；

A_2 ——变径后的面积。

根据试验是采用三通内径为 12.7mm，钻孔孔径为 110mm，故 ζ 理论值约等于 0.974。《岩土工程手册》第四版表 9-3-13 内容，试验设备 $d_2/d_1=12.7/110 \approx 0.115$ ，内插法取值 ζ 为 0.488，无论理论值或查表值，在不同流量下局部水头损失 h_m 在 $10^{-6} \sim 10^{-8} m$ 量级之间，可忽略不计。

6.6 吕荣值计算

$$q = \frac{Q}{LP_3}$$

式中： q ——试段的透水率 (Lu)；

Q ——最大压力阶段的压入流量 (L/min)；

L ——试段长度 (m)，即连杆长度 (连杆长度可根据实际需要加工)。

P_3 ——试验段最大压力 (MPa)，即 P_3 压力。

吕荣试验可准确测出试段透水率，为后续注浆或水幕巷道保障蓄水提供理论依据。

6.7 P—Q 图

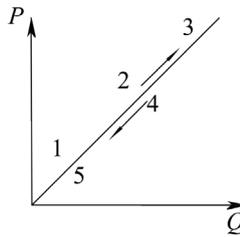
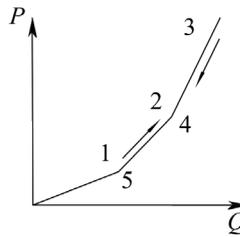
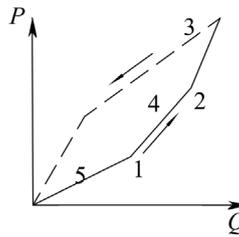
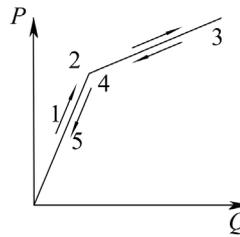
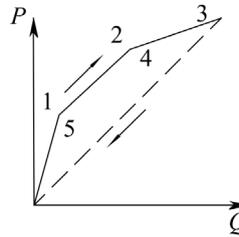
根据渗流状态、裂隙状态、流量变幅，按豪斯比和库兹纳尔 (Hvorslev-Kuznar) 分类法绘制 P—Q 图，根据 P—Q 图特点按表 4 分类^[10] 表述。

P—Q 意义较重要，可求解岩体原始透水率指标、可了解试验岩体变形特征、可根据流量大小对岩体的透水率进行分类等。

7 结语

① 钻孔封堵方案可根据实际情况选择合适封塞。② 论文提出的压水组件连接方法可有效保证数据准确性，且方便后期维护，可解决压水过程中孔内水回流问题，可减少压水设组件造成的局部水头损失，在水效率试验阶段方便维护，减少维护时因泄压对周边水幕钻孔产生的扰动。③ 钻孔压水试验时可先单点法压水，渗透系数大于 $10^{-6} cm/s$ 再进行吕荣试验。④ 电子成像 + 吕荣试验法高效且准确的评估岩体透水率。⑤ 洞库内压水试验应考虑水幕钻孔静水压，水平吕荣试验还应考虑钻孔斜度。⑥ 管道压力损失 P_s 可忽略不计。

表 4 $P-Q$ 图曲线类型和曲线特点

层流型 (A 型)	紊流型 (B 型)	扩张型 (C 型)	冲蚀型 (D 型)	充填型 (E 型)
				
升压曲线为通过原点的直线, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 Q 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 P 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 P 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈顺时针环状	升压曲线凸向 Q 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈逆时针环状

参考文献

[1] 高翔,谷兆祺.人工水幕在不衬砌地下贮气洞室工程中的应用[J].岩石力学与工程学报,1997(2):83-92.

[2] 乔丽苹,王小倩,王者超,等.某地下水封石油洞库海水入侵评价与控制方法研究[J].岩土工程学报,2021,43(7):1338-1344.

[3] 吕飞飞.水封洞库花岗岩岩体裂隙连通性与渗透性的应用研究[D].北京:中国地质大学2023.

[4] 王者超,李术才,薛翊国,等.地下石油洞库水幕设计原则与连通性判断方法研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(2):276-286.

[5] NB / T-35113—2018 水电工程钻孔压水试验规程[S].

[6] 黄圣楠,胡成.某地下水封洞库水幕多孔联合试验参数分析[J].地下空间与工程学报,2022,18(4):1266-1275.

[7] 刘静华,黄圣楠,陈刚,等.关于地下水封洞库水幕系统试验的讨论[J].长江科学院院报,2016,33(5):105-110.

[8] 丁立丰,郭敬良,王成虎.某石油储备库吕荣压水试验与水力摩阻[J].水文地质工程地质,2011,38(6):35-38+61.

[9] 李江峰,李娟,戚印鑫,等.无压流隧洞渐变段局部水头损失系数计算的创新方法研究[J].水利与建筑工程学报,2023,21(2):51-59.

[10] F.K.Ewert. Rock grouting with emphasis on dam sites[M]. Berlin:Springer-Verlag,1985.

Research on Mechanical Properties of Sandstone Treated at Different Temperatures

Sihong Wang¹ Xiujie Zhong² Haiwen Yang¹ Yongjun Jiang¹

1. China Railway 24th Bureau Group Nanchang Railway Engineering Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China
2. School of Civil Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou, 550025, China

Abstract

The mechanical stability of sandstone under high temperature conditions, such as fire, is a key focus of many studies in tunneling and building construction. In this paper, we heated sandstone specimens in a muffle furnace to temperatures of 200°C, 400°C, 600°C, and 800°C. The wave velocity of the heated sandstone was measured using a digital sonic wave analyzer. Damage variables were defined based on the wave velocity data, with the highest value observed at 800°C. Uniaxial compression tests were conducted on the sandstone samples using a rock triaxial testing machine. As temperature increased, the peak strength of the sandstone progressively decreased. This study provides theoretical support for the stability of underground and tunnel engineering after fire incidents.

Keywords

sandstone; wave velocity; uniaxial strength

不同温度处理下砂岩的力学性能研究

汪思弘¹ 钟秀杰² 杨海文¹ 姜勇军¹

1. 中铁二十四局集团南昌铁路工程有限公司, 中国·江西 南昌 330000
2. 贵州大学土木工程学院, 中国·贵州 贵阳 550025

摘要

隧道和建筑砂岩等建筑, 在施工或者使用过程中可能会遭遇高温条件, 因此砂岩在火灾和高温条件下的力学稳定性变化一直是许多研究的重点。在论文中, 我们将砂岩分别在马弗炉中加热到200°C、400°C、600°C和800°C。用数字声波仪对高温后砂岩的波速进行测试。用波速数据定义损伤变量, 800°C时损伤变量最大。采用岩石三轴试验机对砂岩试样进行单轴压缩试验。随着温度上升, 砂岩的峰值强度逐渐降低。本研究可以为地下工程和隧道工程在火灾后的稳定性提供理论支撑。

关键词

砂岩; 波速; 单轴强度

1 引言

石材是土木工程中常运用的岩石材料之一, 研究这些岩石的性质具有重要意义。砂岩是常见的沉积岩, 其主要成分为石英和长石。因其优良的物理和力学性能被广泛应用于土木工程的所有领域, 特别是在建造建筑、桥梁和隧道等结构时。作为一种常见的天然建筑材料, 砂岩在工程应用中承担重要的结构和承载功能。随着经济的发展和交通运输的需要, 隧道工程呈现出快速发展的趋势。

然而在隧道的施工和运行过程中可能会发生火灾。由于火灾后温度升高, 隧道的围岩砂岩内部可能发生物理和化学变化。砂岩内部的微观结构在高温下会劣化, 这会导致砂岩的宏观力学性能受到影响。砂岩的热损伤会影响整个围岩结构的应

力状态, 从而导致结构的稳定性受到影响^[1]。因此深入研究热损伤下砂岩的力学性能, 对于理解其在实际工程中的表现及提出有效的工程解决方案具有重要的理论和实践意义。

目前, 已经有许多学者对砂岩作为围岩的热物理性质进行了研究。许多研究表明经过高温处理后, 砂岩的物理力学性能会发生变化^[2]。Luo^[3]等使用光学显微镜观测不同温度下红砂岩的破裂情况。Serdengecti^[4]对不同温度下的砂岩开展了三轴压缩试验。Liu^[5]对不同处理温度的砂岩开展了单轴压缩试验, 对不同温度下砂岩的强度变化进行了分析。李长春^[6]等认为岩石的力学性能会随着温度的变化发生明显变化。吕超^[7]等人通过试验研究了砂岩热物理性质的温度作用效应。

本研究通过对不同温度后砂岩进行单轴压缩试验, 得到应力应变曲线揭示温度对砂岩力学性能的影响机制。分析不同温度条件下砂岩的力学特征及其可能的工程应用。为工程上隧道遭受火灾后的安全性提供相应的参考依据。

【作者简介】汪思弘(1988-), 中国江西南昌人, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁结构及混凝土材料研究。

2 试验方法及仪器

2.1 试件制备

为了保证试件的离散性，本实验所用的砂岩取自同一结构完整的砂岩。切割成 50100mm 的标准圆柱体试件，所制砂岩试样的上下端面不平行度小于 0.05mm。

2.2 高温处理

本实验采用马弗炉对砂岩试样进行高温处理。具体步骤如下：将砂岩试样分别在马弗炉中加热到 200℃、400℃、600℃和 800℃。为了避免热冲击的影响，加热速率为 5℃/min。保持温度到预设温度后，恒温 2h。然后在自然状态下冷却至室温。高温处理后使用 WSD-4 数字声仪对高温后砂岩的波速进行测试。

2.3 单轴压缩试验

单轴压缩试验采用 DSZ-1000 岩石三轴试验机进行。单轴加载采用位移控制，加载速率为 0.1mm/min。通过轴压加载系统施加轴向压力，直至试件破坏后停止施加压力。

3 试验结果

3.1 波速结果

砂岩主要由石英、长石等矿物组成。在高温条件下，某些矿物可能发生相变或化学变化，这会改变岩石的密度和弹性模量，从而影响声波在岩石中的传播速度。高温可能导致砂岩内的孔隙结构发生变化，例如孔隙的闭合或扩展。孔隙率的变化会直接影响波速。高温可能使砂岩中的微裂纹和缺陷扩展或发展，导致波速的变化。裂纹的存在通常会降低波速，尤其是在声波传播的方向与裂纹方向不一致时。以上因素共同作用，使得在高温环境下砂岩的声波传播速度发生变化。因此，在进行地质勘探、地震波传播分析等领域时，温度变化对砂岩的波速影响是一个重要的考虑因素。

高温后砂岩的波速变化如图 1 所示。经过高温处理后，砂岩的波速随着温度的升高而降低。砂岩波速的变化表明，随着温度的变化，内部孔隙和裂缝膨胀，最终导致试样内部损伤。

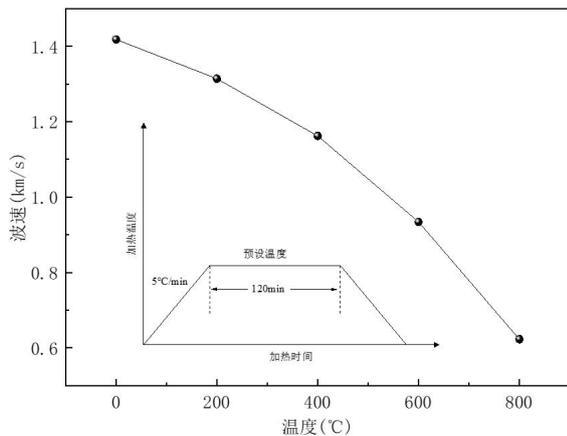


图 1 砂岩波速随温度变化曲线

虽然超声波波速度变化规律不能定量地解释岩石试样孔隙的变化，但可以解释岩石试样的损伤，损伤随着温度的升高而逐渐增加。即使将试样冷却到室温，损伤仍保持不变，说明高温处理造成的损伤是不可逆的。为了直观地描述砂岩在高温下的损伤变化。论文通过波速变化来定义损伤变量 D ，其计算公式如下：

$$D=1-v_n/v_0 \quad (1)$$

式中， D 为损伤变量， v_n 为高温处理后砂岩的波速， v_0 为对照组的砂岩波速。通过计算得到：200℃的损伤变量为 0.07，400℃的损伤变量为 0.18，600℃的损伤变量为 0.34，800℃的损伤变量为 0.56。处理温度为 200℃和 400℃后，损伤变量较小，说明在这个温度下砂岩的损伤较小。在 600℃和 800℃后，损伤变量剧烈增加，这表明砂岩的结构在这个温度下受到严重破坏。

3.2 力学性能

岩石的力学性能受到许多因素的影响，大致可分为内在因素和外在因素。外在因素包括岩石的矿物成分、岩石颗粒的排列方式以及内部结构、岩石的历史变形（如地质沉积和变质过程）及其在不同应力状态下的疲劳也会影响其当前的力学性能等。外在因素包括温度、加载速率、岩石所处的化学环境等。这些因素相互作用，决定了岩石在自然环境和工程应用中的力学行为。

不同温度处理后砂岩的应力应变曲线如图 2 所示。砂岩轴向应力应变曲线可分为：压实阶段、弹性变形阶段、裂纹生长阶段、不稳定裂缝发展阶段和峰后变形阶段。在第一阶段，试样的应力-应变曲线呈凹形和向上，呈非线性增加。许多研究表明，这种非线性变形与岩石中已存在的微裂缝的闭合有关。在第三阶段和第四阶段，封闭的裂纹随着载荷的增加而膨胀，形成新的裂纹，随着温度的升高和化学侵蚀，产生更多的裂纹。之后，试样达到峰值强度，进入峰值后变形阶段。如图 2 所示，随着轴向应力的持续加载，试样由脆性变为延展性。在 800℃时，砂岩的应力应变曲线与对照组的区别最大。说明此时温度对砂岩的结构改变最大。

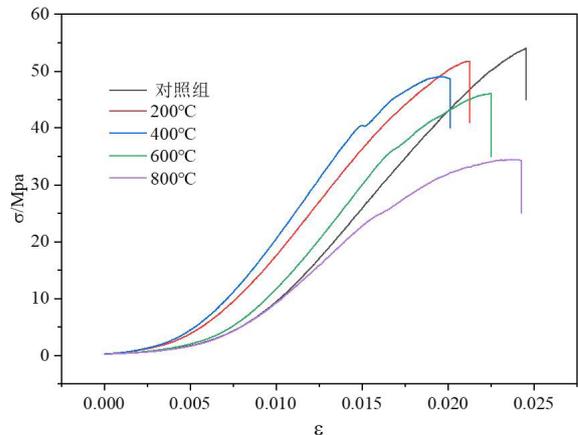


图 2 不同温度处理后砂岩的应力应变曲线

试验结果表明,砂岩的抗压强度随着温度的上升而下降。对照组的峰值强度为 54.9MPa, 200℃峰值强度为 51.7MPa, 400℃峰值强度为 48.7MPa, 600℃峰值强度为 46.1MPa, 800℃峰值强度为 34.7MPa。在 200℃时砂岩的强度降低 5.8%, 在 400℃强度降低了 11.3%, 在 600℃强度降低了 16.0%, 在 800℃强度降低了 36.8%。砂岩在 800℃时的强度相比于 600℃、400℃和 200℃时大幅度下降。这可能是 800℃条件下,砂岩中的主要矿物(如石英和长石)可能发生物理和化学变化。尤其是石英会相变,这种相变伴随着体积变化,可能导致内部应力集中,影响结构稳定性。随着温度继续升高,更多的矿物可能会开始发生变化,从而显著降低强度。不同矿物在加热时的热膨胀系数不同。随着温度升高,砂岩中的不同矿物膨胀程度不同,这种不匹配会导致内部应力的增加,进而可能导致微裂纹的产生和扩展,尤其是在 800℃时,这种效应更加明显。在高温下,砂岩中现有的微裂纹会因温度效应而扩展,或者新的微裂纹可能在应力作用下形成。高温使砂岩的断裂韧性降低,这使得裂纹更容易在外部负载下扩展,导致强度显著下降。

高温对砂岩的力学性能造成影响的原因与很多因素有关。砂岩由多种矿物组成,这些矿物在高温下会发生热膨胀。不同矿物的热膨胀系数不同,这会导致岩石内部产生热应力。如果这种应力超过了岩石的抗拉强度或抗剪强度,可能会导致微裂纹的形成或扩展,从而降低砂岩的力学强度。在高温条件下,砂岩中的某些矿物可能发生相变或分解。例如,石英在 573℃左右会发生 α - β 相变,这种相变伴随着体积变化,可能导致岩石的内部结构变得不稳定。此外,一些矿物可能高温下分解成其他矿物或产物,这会改变砂岩的整体力学性能。高温会导致砂岩中的水分蒸发,从而改变其孔隙压力和孔隙率。水分的流失可能导致砂岩的结构更加脆弱,因为水的存在可以在一定程度上减缓裂缝的扩展并增强岩石的黏结力。水分蒸发后形成的孔隙会降低砂岩的整体强度。高温通常会降低砂岩的弹性模量,使其表现出更明显的塑性变形特征。这意味着砂岩在高温下更容易发生永久变形而不是恢复到原来的形状。这种变形不仅会影响砂岩的强度,还可能导致局部应力集中,进而引发破坏。高温环境下,砂岩中现有的微裂纹可能会扩展,或者新的裂纹可能会形成。这是因为高温会降低材料的断裂韧性,使其更容易在应力作用下发生裂纹扩展。此外,岩石在循环的温度变化(如昼夜温差)中可能会经历热疲劳,进一步降低其力学性能。高温可能加速砂岩的化学风化过程,特别是在与其他化学物质(如水、二氧化碳等)共同作用时。这些反应可能会导致砂岩的矿物成分发生变化,从而削弱其结构强度。

综上所述,高温通过影响矿物相变、热膨胀、水分含量、裂纹扩展等多个方面,显著改变了砂岩的力学性能。因此,

在高温环境下(如火山活动、地下深处工程、隧道掘进等),砂岩的力学性能通常会显著降低,必须在工程设计和施工中加以特别考虑。

4 结论

论文对砂岩进行了不同高温处理。对砂岩试样开展了超声波测试和单轴抗压强度测试。通过波速和应力应变曲线分析了高温后砂岩的损伤情况,主要结论如下:

①高温后砂岩的波速随着温度的升高而降低。通过波速变化来定义损伤变量 D , 在 800℃时损伤变量剧烈增加。

②砂岩的抗压强度随着温度的增加而下降,在 200℃时砂岩的强度降低 5.8%, 在 400℃强度降低了 11.3%, 在 600℃强度降低了 16.0%, 在 800℃强度降低了 36.8%。

研究高温后砂岩的波速变化和力学性能对工程实际具有重要意义,尤其在地下工程、地质灾害防治以及能源开采等领域中尤其突出。在矿山和隧道工程中,岩石常常暴露于高温环境,了解其力学性能的变化可以帮助预测和评估工程稳定性,防止塌方等安全隐患。此外,在地热能和深层油气开采中,岩石在高温条件下的物理属性变化直接影响资源的开采效率和储层稳定性,从而优化开采技术。与此同时,高温可能引发的地质灾害,如崩塌和滑坡等,通过对砂岩性能变化的研究,可以更好地预测风险并制定有效的预防措施。因此,全面研究高温后砂岩的波速变化和力学性能,不仅能够提高工程设计的安全性和实用性,还有助于优化资源利用并有效预防和减少地质灾害的发生。

参考文献

- [1] H.R. Rong, H.L. Wang, J.H. Fang, et al. Experimental study of influence of fire temperature change on sandstone structure of tunnel[J]. Ind. Saf. Environ. Protect,2018,44(8):4-8.
- [2] G.S. Han, H.W. Jing, H.J. Su, et al. Effects of thermal shock due to rapid cooling on the mechanical properties of sandstone[J]. Environ. Earth Sci,2019,78(5):146.
- [3] Luo N, Liang H, Shen T. temperature dependence of young's modulus of red sandstone[J]. THERMAL SCIENCE, 2019,23(3A):1599-1606.
- [4] Serdengecti S, Boozer G. The effects of strain rate and temperature on the behavior of rockssubjected to triaxial compression[J]. The 4th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS),1961(3):61-83.
- [5] Liu S, Xu J. An experimental study on the physico-mechanical properties of two post-high-temperature rocks[J]. Engineering Geology,2015(185):63-70.
- [6] 李长春,付文生,袁建新,等.考虑温度效应的岩石损伤[J].岩土力学,1991,12(3).
- [7] 吕超,孙强,邓舒,等.砂岩热物理性质的温度作用效应试验研究[J].地质与勘探,2017,53(4):780-787.

Reflection on the Application of InSAR Technology in Geological Disasters

Jiayi Hu

Guangdong Provincial Institute of Land and Resources Surveying and Mapping, Guangzhou, Guangdong, 510630, China

Abstract

Geological disasters occur frequently in China, and there are many hidden dangers of geological disasters, with a certain concealment, and many geological disasters have a long incubation period, seriously harm the safety of people's life and property, and is not conducive to the sustainable development of social economy. In addition, China's geological environment is relatively complex, which increases the difficulty of ground investigation and is difficult to find hidden dangers of geological hazards in time. Therefore, the original monitoring means of satellite InSAR should be optimized, so as to fully grasp the development law of geological disasters and minimize the harm of geological disasters. This paper mainly analyzes the application points of satellite InSAR technology in geological disasters, so as to further improve the level of geological disaster monitoring, and optimize the monitoring accuracy, and provide optimization ideas for the effective prevention and control of geological disasters.

Keywords

InSAR technology; geological disaster; application points

InSAR 技术在地质灾害中的运用思考

胡家毅

广东省国土资源测绘院, 中国·广东广州 510630

摘要

中国地质灾害发生较为频繁,且地质灾害隐患较多,具有一定的隐蔽性,而且很多地质灾害的潜伏期较长,严重危害人们的生命财产安全,且不利于社会经济的可持续发展。再加上中国地质环境较为复杂,加大了地面调查难度,难以及时发现地质灾害隐患。因此,要在原有的星载InSAR监测手段上进行优化,以此全面掌握地质灾害发展规律,最大程度上减少地质灾害的危害性。论文主要对星载InSAR技术在地质灾害中的应用要点进行分析,从而进一步提高地质灾害监测水平,且优化监测精度,为地质灾害的有效性预防和控制提供优化思路。

关键词

InSAR技术; 地质灾害; 运用要点

1 引言

随着城市化进程的加快,城市、农村地质安全问题日益严重,尤其是地质灾害的发生,对人们的生命财产安全造成极大的威胁。其中地表形变引起的地面沉降是地质灾害的重要因素,且由于地质环境较为复杂,加大了地面勘查难度。基于此,需要利用 InSAR 技术对地质灾害引起的形变进行全面监测,为地质灾害有效预控提供数据依据。星载 InSAR 技术属于对地观测技术,是对信息技术、摄影测量技术、数字信号处理技术的有效结合,且该技术能够保障地质灾害监测工作的高精度、全天候,且监测范围较大,属于一种主动监测技术,尤其可以对地表微小形变进行有效监测,是预防地质灾害的重要手段。该监测技术的精度、分辨率较高,

且地表监测精度高达毫米级,能够对持续且缓慢发展的边坡活动进行连续捕捉。该技术成本较低,不需要设置地面基准点。

2 InSAR 技术原理

InSAR 技术即把合成孔径雷达放置在卫星上,利用两幅天线开展同步观测,也可以分开两次开展平行观测。通过这种方式照着目标场景,以便对地表相同景观的复图像进行抓取,结合实际观测需求,重访周期可以达到几天一次^[1]。获得复图像时,需要对目标区域的干涉图进行滤波、解缠处理后,进而获得两次成像微波路程差,才能对被测对象的平面位置、地面高程等数据进行精准掌握。该技术应用不需要在地面设置观测站,只需要利用雷达卫星实现对地观测,并采集相关数据,属于主动式观测方式,且能够进行全天候、实时性数据采集,监测范围较广,成本低,具有较高的性价比。InSAR 技术的广泛应用,能够进行创新和优化地质灾害

[作者简介]胡家毅(1996-),男,中国广东中山人,本科,助理工程师,从事测绘工程研究。

调查方法,且监测效果较高,能够有效弥补GPS技术的不足之处,有效提高测量精度和测量可达性。在星载InSAR技术应用中,往往不会受到云雨条件的限制,且可以短时间内快速采集相关数据,可以对大面积范围内的区域变形情况进行实时监测,尤其是在各类地质灾害监测中占据重要地位,如地面沉降、地面塌陷、山体滑坡等地质灾害监测中进行有效应用,且监测精度高达毫米级。例如,在滑坡地质灾害监测作业中,星载InSAR技术的应用,可以进行区域滑坡识别或者单体滑坡识别等^[2]。前者主要针对滑坡位置、规模、数量、背景环境的速度差值、灾害发育程度等进行全面监测;后者主要是对滑坡范围、滑坡变形量、滑坡变形发展趋势等情况进行动态化、全方位监测。

3 中国主流 InSAR 技术类型

3.1 D-InSAR 技术

D-InSAR技术主要是利用SAR传感器对相同区域的多幅影像进行同步采集,并通过干涉处理方式,其相关影响因素进行有效清除,其中包含大气相位、地形相位、噪声相位等,进而对采集的数据进行精准筛选,提取地形形变信息。当前,在地质灾害形变监测中常用的D-InSAR方法包含二轨法、三轨法、四轨法^[3]。其中二轨法,主要是对被测区域的两景SAR影像进行集成处理,形成一个干涉对,并去除外部DEM模拟的SAR相位,从而对地表形变信息进行有效采集。该技术方法主要在地表沉降监测中进行使用,且分辨率较高,监测精度可达毫米级。

3.2 时序 InSAR 技术

该技术应用中,需要结合基线约束条件,对长时间序列上的SAR复数图像进行有效性分组,同时对空间基线的长度进行严格控制,进而进一步提升干涉图的相干性,在此基础上要对差分干涉图进行多视处理,以便最大程度上降低噪声,通过这种方式才能有效提升相干性单元;之后还需要同奇异值分解法,对影像序列间地表形变速度的最小范数最小二乘解进行精准解算^[4]。SBAS-InSAR技术的应用,能够通过高相干目标点的相位进行时序分析的方式,从而对地表时序形变数据信息进行有效性采集。此外还需要在理论分析基础上,对形变模型进行合理性计算,这样可以最大程度上降低D-InSAR处理中时间与空间失关影响,这样才能有效提升形变监测精度。

4 InSAR 技术在地质灾害形变监测中的应用点

4.1 形变监测要点

在地表形变动态监测中,需要对地表变形速率、时间序列形变数据进行全面提取,并明确变形速度波动较大的斜坡,从而对活动斜坡类型、典型斜坡空间、时间变形特征进行全面分析。①滑坡形变监测。该类地质灾害监测中主要是针对处于变形发展阶段且年变形量为毫米级的滑坡灾害进行监测;通过InSAR监测可以获得高速率变形图斑^[5]。在

对滑坡监测时往往包含区域滑坡识别和单体变形特征监测。前者针对滑坡位置、规模、数量等数据进行监测;后者主要针对滑坡范围、变形量、各个部位的变形差异、滑坡成因机制等进行全面性监测。通过该技术的应用,能够精准计算滑坡体运动的速度,且减少植被覆盖的干扰,降低大气因素的影响,提升监测结果分辨率。②崩塌变形特征及监测内容。该监测工作主要针对崩塌体、危岩体等进行监测,尤其针对坡度陡、面积小的三维几何陡坡进行监测。崩塌监测包含区域崩塌识别和单体变形特征监测。前者包含崩塌位置、分布、灾害发育程度等内容;后者主要针对崩塌范围、变形量、位移方向等进行监测。③泥石流变形特征及监测内容。该对这类灾害进行监测时,主要是利用监测物源区变形情况对泥石流灾害发展趋势进行监测,该类变形问题的分布范围广,且变形量、位移方向差异较大。在对该方面的监测包含区域潜在泥石流沟的识别和单沟泥石流活动性监测。具体监测工作中,主要结合InSAR观测流域内泥石流物源区或堆积区的变形特征和空间分布规律,结合泥石流的地质条件进行综合分析。

4.2 形变区分析

①提取形变区。在具体实施中,需要结合持久散射体点形变数据,结合形变范围、整体形变速率、最大形变量等数据,以年平均形变速率绝对值大于10mm/a且局部连续进行分析提取。针对高危斜坡区,由于该区域与居民生产生活区较为相近,高差较大,且人员难以到达,如果PS点形变量与周边区域形变差异较大,需要对其相应的提取分析。此外还需要对不同时期采集的D-InSAR监测数据比较分析,同时要对形变反应较为突出且独立的区域进行全面提取和精准分析,在此基础上提取被测目标区域的形变区^[6]。②形变区筛查。结合以上提取的形变区,需要根据三维影像地图,对形变区的地面部位、地面坡度、重要水利等地质灾害威胁对象,需要对区域内已有的地理国情、基础地理信息等成果数据进行动态分析,以便实现形变区筛查工作,以此确定最终监测发展的形变区。③形变程度划分。在该环节中需要对监测筛查形变区年平均形变速率进行统一化统计分析,同时对InSAR技术进行优化应用,同时结合区域InSAR技术形变特征,对形变程度等级进行合理划分。④形变区编号规则。对筛查出来的地质灾害隐患点的空间位置进行关联分析,同时按照相关技术规范要求进行编号命名。

4.3 监测数据分析

在InSAR技术应用中,需要对监测到的地质灾害信息进行优化分析,其中数据分析流程如图1所示。

此外,还需要对雷达卫星技术进行优化应用,进而对采集的数据进行科学合理的分析处理。之后还需要选取监测时间,以便对雷达数据进行针对性采集,进而对一定分辨率的长波数据进行精确配准,其中数据处理方法如图2所示。

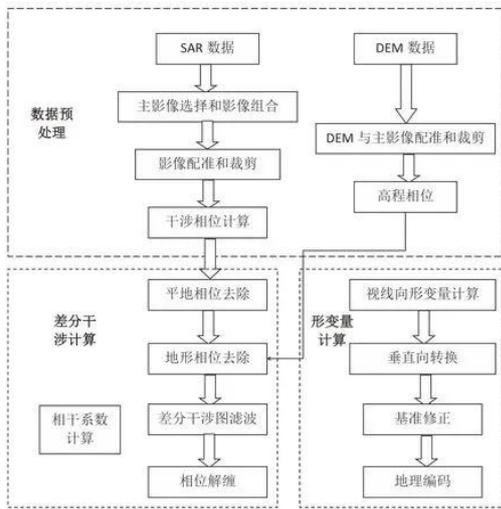


图1 星载 InSAR 数据处理流程

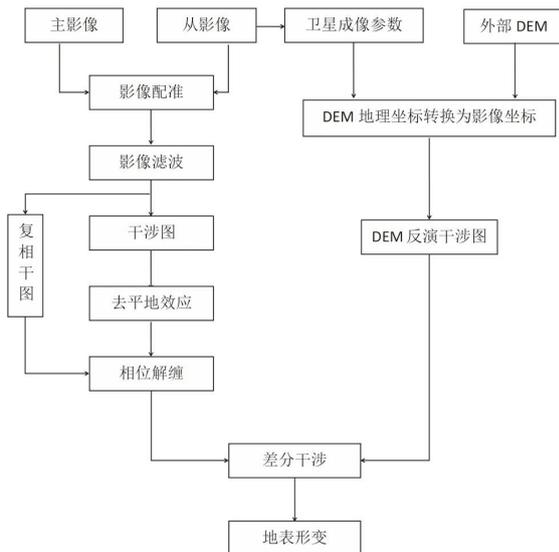


图2 星载 InSAR 监测数据分析方法流程

另外，还需要做好数据精度控制工作，尤其要全方位评定监测精度，对变形年速率误差进行合理控制。针对不同的 SAR 数据、不同处理方法获得的监测结果开展交叉检验工作。此外还需要结合高精度 DEM 进行形态分析工作，叠加显示严重变形区的滑坡部位。针对分辨率在 3m 以上的遥感影像解译滑坡拉裂缝、后缘陡坎等地质特征、变形量的对应关系进行综合性分析^[7]。

完成地质灾害监测工作后，需要监测结果进行全面性分析，尤其要以变形空间分布和量值为基础，同时要结合坡体形态、高程、植被类型等特征，通过层次分析法对变形滑坡进行精准性识别和综合性划分。滑坡地质灾害的诱发原因不同，分析方法也存在一定的差异性。如针对降雨诱发的滑

坡，需要结合重点部位变形速率、时程曲线，同时对滑坡地质特征进行分析，以便对滑坡变形趋势和危险性进行综合性分析。此外针对相同因素引起的滑坡灾害，需要根据以往滑坡案例、区域统计数据等对滑坡灾害的潜在危险性进行科学预测。此外还需要对滑坡变形时程曲线中的大变形时间段与雨季、地震等灾害与人类工程活动相关性进行综合性分析。

4.4 其他方面

①野外验证。通过该环节能够对形变影像中较为模糊的信息进行全面采集，探查多解地物类型。同时还需要全面验证解译工作，逐一核实影像中不确定的图斑，确保数据准确性^[8]。②资料整理。完成野外验证工作后，需要对野外资料进行全面整理和分析，尤其要全面解译地质灾害、孕灾地质背景等数据，同时要对初步解译成果进行有效修改，补充遗漏的地质灾害，以便通过解译成果对监测区域的地质灾害情况进行全方位、准确性体现。一旦在此过程中发现不足之处，需要第一时间安排人员进行野外补充调查。

5 结语

综上所述，为了对地质灾害进行有效性监测，把地质灾害危害性控制在最小化，对 InSAR 技术进行优化应用不言而喻，其可进一步强化其监测预警和防范能力，为地质灾害监测提供更高效率的监测途径。需要对 InSAR 技术进行优化应用，充分发挥其优势作用，进一步强化其监测预警和防范能力。

参考文献

- [1] 王雅平,杨明龙,吴学群,等.InSAR技术在滇中红层公路地质灾害监测中的应用[J].中国水运(下半月),2024,24(8):127-129.
- [2] 李洪涛,陈文乐.基于InSAR技术的西南区域天然气管道周边地质灾害监测方法[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(11):96-98.
- [3] 邵东桥,张文伦,靳军,等.SBAS-InSAR技术在地质灾害精细化调查前期隐患识别中的应用[J].甘肃地质,2024,33(2):80-88.
- [4] 李昊,李叶繁,魏长婧,等.基于SBAS-InSAR技术的登封市潜在地质灾害识别研究[J].河南科学,2024,42(8):1170-1178.
- [5] 张迪.联合时序InSAR和机器学习的滑坡灾害易发性评价[D].重庆:重庆交通大学,2024.
- [6] 王新龙,车子杰,马飞,等.基于PS-InSAR技术的晋城矿区地表形变监测及地质灾害风险预警[J].安全与环境工程,2024,31(2):173-179+212.
- [7] 蔡瑞庆,马立龙,李倩文,等.基于SBAS-InSAR技术的若羌县地质灾害识别与监测[J].河南科技,2024,51(6):95-99.
- [8] 邵海.天一空一地一内一体化技术在高寒艰险地区地质灾害调查中的应用与思考[J].科技创新与应用,2020(8):178-179.

Drilling Wall Stability Analysis and Improvement Strategy Research

Dengbing Liu Pengxiang Zhang Chuangke Zhang Jun Li Zhendong Yang

West Drilling Engineering Co., Ltd. Tuha Drilling Company, Turpan, Xinjiang, 838200, China

Abstract

Wellbore stability in drilling operations is an important research topic in the field of oil and gas field development. In view of the limitation of traditional analysis of borehole stability, this study uses the method of combining theoretical analysis and experiment to deeply study the problem of borehole stability. The key geological factors and operating parameters, such as ground stress, rock mechanical properties and drilling fluid properties, are identified by establishing a mechanical model to analyze the stress state of borehole wall. Based on this, this paper proposes a set of improvement strategies, including optimization of drilling fluid formulation, adjustment of borehole structure and use of advanced wall treatment technology. Simulation experiment and field application prove that the proposed improvement measures can significantly improve the stability of borehole wall, reduce drilling accidents, and improve drilling efficiency and safety. The research results have important guiding significance for the control of wellbore stability in deep water drilling and complex formation drilling.

Keywords

wall stability; drilling operations; ground stress; drilling fluid optimization; rock mechanics

钻井井壁稳定性分析及改进策略研究

刘登兵 张鹏翔 张创科 李军 杨振东

西部钻探工程有限公司吐哈钻井公司, 中国·新疆吐鲁番 838200

摘要

钻井作业中的井壁稳定问题是油气田开发领域的一个重要研究课题。针对传统井壁稳定性分析的局限性,本研究采用了理论分析与实验相结合的方法,对井壁稳定性问题进行了深入研究。通过建立力学模型分析井壁受力状态,识别了关键影响井壁稳定的地质因素和作业参数,如地应力、岩石力学属性和钻井液性能。基于此,论文提出了一整套改进策略,包括优化钻井液配方、调整井眼结构和使用先进的井壁处理技术。模拟实验和现场应用证明,所提出的改进措施能显著提升井壁稳定性,减少钻井事故,提高钻井效率及安全性。研究结果对于指导深水钻井和复杂地层钻井的井壁稳定性控制具有重要指导意义。

关键词

井壁稳定性; 钻井作业; 地应力; 钻井液优化; 岩石力学

1 引言

在复杂地质条件下的油气田开发,钻井作业的井壁稳定性问题一直对石油工程师们提出着严峻挑战。尤其在深海和复杂地层钻井过程中,井壁稳定性问题会更为尖锐,不仅严重影响钻井效率,还可能引发各种严重的钻井事故,威胁着钻井过程的安全性。因此,钻井井壁稳定性研究始终被视为油田开发领域的三大重要研究课题之一。虽然业界长期以来都在探索井壁稳定性问题,但传统的稳定性分析方法及应对措施在一定程度上存在着局限性,无法适应钻井工程在遇到越来越多的复杂条件时对井壁稳定性保障的需求。而本研

究正是基于对传统方法的局限性及其原因的深入理解,采用了理论分析与实验相结合的研究思路,从而识别出影响井壁稳定的关键地质因素和作业参数,并据此提出了一套针对性较强的稳定性改进策略,为井壁稳定性问题的解决提供了新的思路。

2 井壁稳定性问题的理论分析

2.1 地应力对井壁稳定性的影响

地应力在钻井过程中对井壁稳定性有着关键性的影响^[1]。地应力主要包括三个方面:上覆应力、水平最大主应力和水平最小主应力。这些应力根据地层的深度、地质构造以及历史地质事件等因素形成复杂的分布情况。地应力的分布和数值直接影响井壁的受力状态,从而决定井壁的稳定性。

【作者简介】刘登兵(1978-),男,中国甘肃酒泉人,本科,高级工程师,从事钻井工程研究。

在钻井过程中，上覆应力是指由地层上方所有岩石重量产生的垂直压力，它的数值随着深度增加而线性增大。水平主应力则受到地质构造、沉积环境和构造应力场等多方面因素的影响。由于地层在历史过程中受到了多次构造运动的作用，水平主应力分布通常是各向异性的，水平主应力的差异会在井壁产生剪切应力，这一应力是导致井壁稳定性问题的主要原因之一。

地应力对井壁产生的作用力会促发一系列的复杂效应。当井筒内外的压力平衡被打破时，可能会引发井壁的压裂或者坍塌。某些情况下，过高的地应力可能会超出岩石的抗剪强度，从而使井壁发生破裂或剪切滑移。当井眼周围的地应力较高时，井壁周围的岩石会产生塑性变形，进而导致井筒收缩、变形，甚至井壁失稳。

为分析地应力对井壁稳定性的具体影响，需要建立井壁力学模型。该模型通常以弹性力学或弹塑性力学为基础，考虑岩石材料的非线性特征和各向异性特性。通过模型计算，可以获取井壁周围的应力分布情况，进而评估井壁的稳定性。相关的数学模型和数值模拟方法，如有限元分析和边界元法，常用于分析井壁的应力和变形状态。这些方法能够提供井壁在不同地应力条件下的应力场和变形场，帮助确定最容易失稳的位置和最危险的应力状态。

地应力不仅直接影响井壁的力学状态，还通过它与钻井液的相互作用进一步复杂化该问题^[2]。钻井液的密度和压力需要合理设计，以平衡地应力，确保井壁稳定。了解地应力分布和特性是制定合理钻井参数和井壁稳定性控制策略的前提条件。

通过深刻理解地应力在井壁稳定性中扮演的角色，可以更准确地预测井筒的安全和稳定性，制定出优化的钻井方案，减少钻井风险，提高作业安全性。

2.2 岩石力学特性与井壁稳定性

岩石力学特性对井壁稳定性具有重要影响。不同类型的岩石在地质压力和钻井操作中表现出不同的机械行为。岩石的强度、变形特性和破裂模式是评估井壁稳定性的关键参数。

岩石的压缩强度直接关系到井壁在钻进过程中的承载能力。高压缩强度的岩石能够更好地抵抗由地层压力和钻井液压力引起的破坏。若地层中的岩石压缩强度较低，在钻进过程中容易发生破碎或坍塌，导致井壁不稳定。

弹性模量和泊松比是描述岩石变形特性的两个重要参数。高弹性模量和低泊松比的岩石表现出较小的变形，在钻进过程中能够维持较好的井壁形态，减少井壁失稳的可能性。当岩石受到钻井液和地层压力作用时，会发生弹性变形和塑性变形。较大的弹性变形能够减缓外力的直接作用，而塑性变形则可能使井壁发生不可逆的损伤和失稳。

岩石的断裂韧性决定了其在应力集中情况下的破裂倾向。岩石在受到地层应力、钻井应力及冲击载荷时，如果其

断裂韧性较低，则在力集中区域容易产生裂纹扩展和断裂，从而引发井壁失稳。实际施钻过程应根据岩石的断裂韧性，对钻井方案进行适当调整，以避免局部力集中导致的井壁破坏。

岩石的天然裂隙和结构异质性也是影响井壁稳定性的因素。天然裂隙增加了岩石的潜在破裂面，使其在外力作用下更容易产生应力集中并导致失稳。岩石的层理和节理面使得其力学行为各向异性明显，在不同方向上的承载能力和变形特性差异较大，这对井壁的整体稳定性构成了挑战。

深入理解岩石力学特性是解决井壁稳定性问题的基础。通过评价岩石的强度、变形特性和断裂韧性，可以在制定钻井方案时采取有效的对策，确保井壁稳定，提高钻井安全性和效率。

2.3 钻井液性能对井壁稳定性的作用

钻井液性能对井壁稳定性有重要作用。钻井液能通过平衡地层压力，防止井壁坍塌。其粘度、密度及滤失量是关键参数，直接影响井壁稳定性^[3]。粘度过高可能引起井下压力增大，导致井眼扩大或坍塌；过低则会降低井壁支撑能力。密度若不适应地层压力，也可能引发井壁失稳。滤失量需控制在合理范围，避免泥饼形成过快导致卡钻或井壁松动。另外，钻井液的润滑性和攀岩性能也对井壁稳定有显著影响，确保钻井作业的顺利进行。

3 井壁稳定性改进策略与应用

3.1 钻井液配方优化策略

钻井液在井壁稳定性中起着至关重要的作用。通过合理的钻井液配方，可以有效改善井壁稳固程度，防止井壁塌陷和掉块等事故的发生。针对不同地质条件下的井壁稳定问题，研究了优化钻井液配方的策略，并提出了一系列改善方案。

地质应力和岩石力学特性是影响井壁稳定的关键因素，钻井液的选择必须考虑这些因素。具体来说，不同地层具有不同的地应力和物理性质，如黏土层、砂岩层、页岩层等，各有其特色。钻井液在渗透到这些地层时，会与原有地层形成相互作用，从而影响井壁的稳定性。

一种有效的钻井液应具备高黏度和适宜的密度，以抵抗地层压力和提供适当的井眼支撑力。钻井液必须具备优良的润滑性能，以减少钻头与井壁的摩擦。钻井液黏度过高可能导致钻井速度减慢，影响作业效率；黏度过低则可能无法提供足够的支撑力，导致井壁塌陷。在配方中适当添加膨润土、聚合物和其他增黏剂，能够有效提升钻井液的力学性能。

另一个重要因素是钻井液的抑制性。井壁失稳的一个主要原因是水分子进入岩孔，导致岩石松散。高抑制性的钻井液可以有效防止水分子进入，提高井壁的机械强度。为此，可以在钻井液中添加一定量的抑制剂，如有机胺、钾离子、钠离子等，以改善其抑制特性，提高井壁稳定性。

防漏失性能也是钻井液配方中需重点考虑的指标。在高孔隙度地层中,钻井液容易渗透,从而导致井壁失稳。优化钻井液配方时,可以添加适量的防漏剂,如细纤维、颗粒吸附剂等,可以有效地填补地层孔隙,减少钻井液的泄漏。

结合现场应用中的反馈,钻井液配方的优化还需具有可调节性和适应性。每个钻井地层的具体情况都可能不同,在实际作业中需要根据井下实时数据对钻井液配方进行调整。配备一些实时监测设备,如钻井液性能监测仪,可以及时捕捉井下变化,并提供优化建议。

以上策略在实际应用中显示出了显著效果,通过对钻井液配方的优化,不仅有效提升了井壁的稳定性,还显著减少了钻井时间和事故发生率,具有很高的实用价值。

3.2 井眼结构调整策略

井眼结构的优化对于增强井壁稳定性起着至关重要的作用。现有的研究表明,井眼形状和尺寸对井壁承受应力状态具有显著影响。传统的圆柱形井眼在受力过程中易形成应力集中,导致井壁破裂甚至坍塌。针对不同地质条件和应力环境,调整井眼结构以分散和均衡应力是提高井壁稳定性的有效手段。

一种常见的井眼结构优化策略是采用非圆形井眼,如椭圆形井眼。椭圆形井眼能够更好地分散地应力,降低应力集中效应,减少井壁破裂的风险。变径井眼设计也可用于井壁稳定性控制。通过增加井眼直径,可以减少钻头与井壁的接触面积,进而减少井眼周围岩石的应力集中。相对较大的井眼直径能够减轻机械作用对井壁的破坏力,提高井壁的整体稳定性。

另外,井眼倾角的调整也是一种行之有效的策略。适当的井眼倾角能够更有效地分散地层内部的应力,减少井壁所受的局部高应力集中区域。在水平井和定向井中,这一策略尤为重要。合理的井眼轨迹设计,也能避免井眼在高应力区或软弱带的位置,从而提升井壁的稳定性。

为了实现井眼结构的优化,先进的模拟技术和数值分析工具被广泛应用。通过三维地质建模和数值模拟,可以准确预测井眼在不同地质条件下的应力分布状况,从而为井眼结构的调整提供准确的参考数据和决策依据。

井眼结构的优化不仅可以有效提升井壁稳定性,还能够提高钻井效率,减少钻井事故的发生,是改善井壁稳定性

的一项关键策略。

3.3 先进井壁处理技术的应用

先进井壁处理技术在提高井壁稳定性方面起到了关键作用。这些技术主要包括井壁强化、物理处理和化学处理等方法。井壁强化技术,如井壁稳定剂和防塌材料的使用,有助于提高井壁的机械强度,减少井壁坍塌的风险。物理处理技术,包括利用先进的声波测井、微地震监测等手段,实时监测井壁状态,从而及时采取应对措施,避免井壁失稳。化学处理技术通过添加特定的化学试剂,如聚合物、纳米材料等,增强钻井液的封堵性和润滑性,降低砂石层对井壁的侵蚀风险。综合应用这些先进的井壁处理技术,可有效提升井壁的抗压和抗剪性能,显著改善井壁稳定性,减少井漏和井塌等事故的发生。具体应用实例表明,采用这些技术不仅显著提升了井壁稳定性,还在深水钻井和复杂地层作业中显现出其优越性,有力地支持了油气田开发的高效和安全运行。

4 结语

论文以钻井井壁稳定性问题为研究对象,运用理论分析与实验相结合的方式对井壁稳定性问题进行了深入探索。通过建立力学模型对井壁受力状态进行分析,识别了关键影响井壁稳定的因素如地应力、岩石力学属性和钻井液性能。在此基础上,论文提出了一整套改进策略,包括优化钻井液配方、调整井眼结构和使用先进的井壁处理技术。实验模拟和现场应用的结果证明,此举能够有效提升井壁稳定性,减少钻井事故,提高钻井效率和安全性。但是,本研究的局限性还表现在一些因素,如地应力测井技术的准确性,井眼结构设计的细节等,尚需要通过融入更多的交叉学科知识,如地球物理学和岩石力学,进行进一步的优化和提高。尽管如此,本项研究的综合战略对深水钻井和复杂地层钻井的井壁稳定性控制具有重要指导意义,对于石油和天然气领域的国家在井壁稳定性研究上具有推动作用。

参考文献

- [1] 张利威.钻井液性能对井壁稳定性的影响[J].中国石油和化工标准与质量,2020(4):54-55.
- [2] 刘向君,高士根,梁利喜,等.优选钻井液对F区块井壁稳定性影响[J].现代商贸工业,2020,41(15):196-197.
- [3] 贾力勇.探析钻井液性能对井壁稳定性的影响[J].中国化工贸易,2020,12(27):237-239.

Application of 3D Resistivity Imaging Technology in Urban Underground Cavity Detection

Jian Cai

Shanxi Coal Geological Geophysical Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Jinzhong, Shanxi, 030600, China

Abstract

Three-dimensional resistivity imaging is an important technology in geophysical exploration, and its application in urban underground cavity detection is increasingly widespread. This paper focuses on the effectiveness and feasibility of 3D resistivity imaging in urban underground cavity detection. Its working principle and application cases in urban underground cavity detection are analyzed in detail. It is found that the technique can reflect the changes of various underground physical parameters successfully, and effectively distinguish whether there is a hole in the underground. In addition, compared with traditional seismic reflection method, electromagnetic method and other methods, three-dimensional resistivity imaging technology has many advantages, such as large measurement depth, high spatial resolution, and high positioning accuracy. However, this technology also has some limitations in practical application, such as weather and noise interference. The results of this paper provide an important reference for the detection of underground voids in urban construction, and improve the safety and stability of urban construction.

Keywords

three-dimensional resistivity imaging technology; urban underground cavity detection; working principle; comparative analysis; application limitation

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用探索

蔡健

山西省煤炭地质物探测绘院有限公司, 中国·山西 晋中 030600

摘要

三维电阻率成像技术是地球物理勘查中的一项重要技术, 其在城市地下空洞探测中的应用日益广泛。论文集中探讨了三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中应用的有效性和可行性。详细分析了其工作原理, 及其在城市地下空洞探测中的具体应用案例。发现, 该技术可以成功地反映出地下各种物理参数变化, 并有效地区分地下有无空洞。此外, 对比传统地震反射法、电磁法等方法, 三维电阻率成像技术有诸多优势, 如测量深度大、空间分辨率高、定位精度高等。但该技术在实际应用中也存在一些局限性, 如受天气、噪音干扰较大等。论文的结果为城市建设中的地下空洞探测提供了一个重要的参考, 提高了城市建设的安全性和稳定性。

关键词

三维电阻率成像技术; 城市地下空洞探测; 工作原理; 对比分析; 应用局限性

1 引言

在城市化进程中, 地下空洞的探测始终是地质工程和城市建设中不可或缺的一部分。此类工作的重要性不能被忽视, 因为它关系到建筑物的稳定性和人们的生命安全。然而, 由于地下环境的复杂性, 使用传统方法(如地震反射法和电磁法)进行地下空洞探测工作困难重重, 如测量深度受限、空间分辨率较低等问题, 严重限制了探测工作的进展。幸运的是, 随着科技进步, 一种名为三维电阻率成像技术的新型地球物理勘查方法应运而生, 并在短时间内得到了广泛

应用。该技术以其测量深度大、空间分辨率高、定位精度高等优点, 为解决上述问题提供了新的可能性。然而, 这一领域的研究仍然存在许多待解决的问题, 如技术的可行性、有效性, 以及在现实环境中如何应对各种干扰等等。因此, 研究三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用, 尤为重要。

2 三维电阻率成像技术概述

2.1 技术原理解析

三维电阻率成像技术的基本原理主要基于电阻率测量, 通过在地表或者地下布设电极阵列, 向地层中注入电流, 并测量电极间的电位差^[1]。通过多点电极数据的收集, 利用反演算法构建出地下介质电阻率的三维分布图像。在实施过程

【作者简介】蔡健(1989-), 男, 中国山西吕梁人, 本科, 工程师, 从事电法勘探、地质灾害监测预警研究。

中,电流通过地下不同介质的电阻率差异产生不同的电位响应,反映出不同地下结构的电性特征。电阻率较低的区域通常代表地下空洞或含水层,而电阻率较高的区域通常代表致密的岩层或干燥的砂土。通过对这些电性参数的精细解析,可以揭示地质结构及其变化情况,为地下空洞的探测提供可靠的数据支持。该技术在地球物理勘查尤其是城市地下结构探测中具有重要的应用价值,通过精确的电阻率成像,能够有效地识别和定位地下空洞,从而提高城市地下工程的安全性和稳定性。

2.2 技术发展现状

三维电阻率成像技术在近年来得到了迅速发展。其基础理论源于电阻率法,但通过增加空间维度和高精度电子设备,实现了对地下结构更为准确的成像。现代三维电阻率成像技术的进步包括高空间分辨率成像、实时数据处理和多频率测量等方面。先进的算法和计算机技术推动了数据处理效率和成像精度的提升,能够更加精准地反映地下电阻率分布。各类高性能电极和传感器的应用,使得该技术在不同地质条件下均能获得可靠数据。当前,三维电阻率成像已被广泛应用于环境工程、矿产勘探、地质灾害评估、考古等多个领域,显示出其在复杂地质环境下的优越性。该技术在城市地下空洞探测中的应用前景也日益受到重视,对城市建设和安全评估具有重要意义^[2]。

2.3 技术应用领域

三维电阻率成像技术在多个领域展现了其显著优势。在环境地球物理中,该技术用于检测地下污染、评估地下水资源以及监测土壤和岩石的物理性质。在工程地质中,广泛应用于隧道、桥梁等基础设施的勘察和维护,以预防地质灾害。在考古学中,被用于探测埋藏遗迹和文物。该技术在能源勘探中,包括石油、天然气及地热资源的勘探,提供了高分辨率的地下成像^[3]。其在城市地下空洞探测中的应用,为城市建设提供了可靠的安全保障。

3 在城市地下空洞探测中的应用分析

3.1 技术实施细节

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用过程,可分为数据采集、数据处理和数据解释三个主要步骤。数据采集阶段,通过在地表布设电极阵列,并向地下输入电流,记录各电极之间的电位差。所选电极布设方式和数据采集密度会直接影响成像效果。数据处理阶段,采用反演算法将采集到的电位差数据转换为地下电阻率分布图像。常见的反演算法包括有限差分法和有限元法,目的是解决地下复杂地质结构的影响,提高成像精度。数据解释阶段,结合城市地下环境的已知信息,对反演后的电阻率剖面图进行分析,识别可能存在的地下空洞区域。利用地质、地貌和工程地质等背景知识,进一步验证和校正电阻率异常的解释,提高结果的可靠性和准确性。技术实施过程中,需注意外部环境干

扰对数据质量的影响,采取有效的抗干扰措施以确保数据的有效性。

3.2 技术成功应用案例

某市为解决潜在的地下空洞隐患,采用三维电阻率成像技术进行详细勘查。在市中心一处建筑密集区内布设电极,进行系统性测量。通过高密度电阻率数据的采集与处理,生成了地下三维电阻率分布图。成像结果显示,在地面以下20m处存在明显异常区,经进一步对比和分析,确认该区域为大型地下空洞。随后,进行了土体钻探验证,发现该空洞直径约为8m,深度约为10m,与成像结果高度一致^[4]。通过修复工程,这一潜在风险得以排除。验证结果表明,三维电阻率成像技术能够准确定位和定量评估地下空洞,为城市规划和建设提供了可靠依据,有效提升了城市基础设施的安全性和稳定性。

3.3 技术应用效果评估

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用效果显著^[5]。在多个城市地下勘测案例中,通过该技术成功辨识出地下空洞和其他异常结构,验证了技术的高灵敏度和精确度。相比传统方法,三维电阻率成像技术在地下空洞的定位、形态和规模等方面表现出更高的准确性。该技术在城市地下管线和施工区域的空洞探测中,提供了精确的地质信息,帮助减少了工程施工风险,提升了城市建设的安全性。该技术在不同地质条件下均展现出良好的适应性,进一步体现了其应用的广泛性和可靠性。

4 三维电阻率成像技术与传统方法的对比分析

4.1 与地震反射法的对比

在城市地下空洞探测的众多方法中,三维电阻率成像技术与地震反射法之间存在显著差异。地震反射法通过人工激发的地震波在不同介质界面的反射特性,探测地下结构。该方法对地下空洞的分辨能力有限,具有较低的空间分辨率,特别是在识别小规模空洞方面。地震反射法的探测深度在受浅层复杂地质条件影响时,也会出现精度下降的问题。

与之相比,三维电阻率成像技术在空间分辨率和探测深度方面表现出色。该技术基于不同介质对电流的传导性,能够通过电阻率的差异清晰地描绘出地下结构的细节。高空间分辨率使其在识别和定位地下空洞方面尤为擅长。具体而言,三维电阻率成像可有效克服地震反射法在浅层复杂地质条件下的局限,并提供更为详细的地下空洞信息。

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测方面具有明显优势,特别是在空间分辨率和探测深度上,其性能显著优于传统的地震反射法。

4.2 与电磁法的对比

三维电阻率成像技术在地下空洞探测中的优势显著,相较于电磁法,其测量深度更大,空间分辨率和定位精度更高。电磁法依靠地下介质电磁性质的变化进行探测,适用于

较浅层的勘探,受地表和近地表噪声的影响较大,且在高电导率环境中的效果不佳。三维电阻率成像技术则通过测量地下电阻率分布,能够更有效地反映地下不同材质的变化,尤其适合识别深层的空洞和异常。电阻率成像在处理复杂城市地下环境时表现出更高的适应性和可靠性,尽管电磁法在快速扫描及初步探测方面有其优势,但在精细探测和结果精度上,电阻率成像技术表现更为优越。在城市基础设施隐患排查中,三维电阻率成像技术的应用前景更加广阔。

4.3 技术优势与局限性探讨

电阻率成像技术在城市地下空洞探测中展现了显著优势。该技术测量深度大,能够捕捉地下较深层次的物理变化;其高空间分辨率使得探测精度显著提升,有利于准确定位地下空洞。实际应用过程中也面临一些局限性,如天气和环境噪声可能对数据采集产生干扰。设备成本较高,操作复杂性增加了现场工作的难度。这些因素在一定程度上限制了该技术在某些复杂城市环境中的普及和广泛应用。

5 三维电阻率成像技术的应用展望

5.1 针对技术局限性的解决方案

面对三维电阻率成像技术应用中的局限性,提出几种有效的解决方案。针对天气影响的问题,可以采用全天候适用的先进传感器和设备,提升数据采集的稳定性。例如,使用能够抵御极端天气的防水防尘传感器,以减小环境因素对数据质量的影响。为了降低噪声干扰,可应用抗干扰性能强的信号处理技术或使用高灵敏度的探测器,通过优化数据采集和处理流程来提高信号的清晰度和准确性。为了增强技术的易操作性和数据解读的精确性,可以开发更先进的数据处理软件和算法,从而简化操作流程,提升数据的解析能力,减少人为误差。在实际应用中,采用多种地球物理探测方法协同工作,可以有效弥补单一方法的不足,提升探测结果的可靠性。例如,结合三维电阻率成像技术和地震反射法等其他方法,可以提高对城市地下空洞的探测精度和全面性。通过这些针对性措施,可以显著提升三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用效果。

5.2 技术发展趋势

三维电阻率成像技术在未来的发展中将朝着自动化、高精度、多功能集成的方向推进。自动化的数据采集与处理技术将得到广泛应用,减少人为操作带来的误差。算法优化和人工智能技术的引入将显著提升数据反演精度,提供更为

清晰的地下结构图像。传感器技术的发展将使测量装备更加轻便和高效,提高现场作业灵活性和速度。未来,将进一步融合不同地球物理方法,如地震、重力和磁法等,实现多源数据的综合解析,增强地下空洞探测的准确性和可靠性。移动测量平台和无人驾驶技术的结合将拓展技术应用场景,有望在复杂或危险环境中实现高效探测,推动城市地下空间勘查技术的全面进步。

5.3 提升城市建设安全性和稳定性的建议

提升城市建设安全性和稳定性的建议包括:加强对三维电阻率成像技术的培训和推广,确保操作人员具备专业技能;提高设备的抗干扰能力和数据处理精度,以减小外界环境对测量结果的影响;建立空间数据共享平台,促进结果数据和经验的交流与共享;加强与其他探测技术的联合应用,通过多技术融合提高综合探测精度;制定和推广技术标准和规范,确保应用过程中的操作一致性和数据可靠性。

6 结语

论文重点探讨了三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测应用的有效性和可行性。研究发现此项技术具有测量深度大,空间分辨率高,定位精度高等优点,并已经成功地在实际城市地下空洞探测中应用,取得了显著成果。虽然该技术确实受到天气和噪声及其他因素干扰,存在一定局限性,但这些问题并不影响其在城市建设中的地下空洞探测作用的重要性,也不影响其作为一种新颖、高效的探测工具的价值。本研究结果将进一步推动和优化三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用,提供更加高效和精准的探测方式。同时,本研究也提示,尽管三维电阻率成像技术有一定的局限性,但是通过技术进步和研究深入,有望进一步克服这些限制,为我国城市建设提供更加稳定、安全的保障。

参考文献

- [1] 徐磊,吴宇豪,蔡克俭.超高密度电阻率法在某城市空洞探测中的应用[J].勘察科学技术,2021(2):50-51.
- [2] 周瑜琨,张巍,刘立岩,等.高密度电阻率法在城市地下空间探测中的应用研究[J].河北地质大学学报,2022,45(2):75-80.
- [3] 王拯.基于三维电阻率成像的薄基岩形态分析[J].矿业装备,2023(8):19-21.
- [4] 李妙平.高密度电阻率法在城市地下管线探测中的应用探讨[J].中国科技期刊数据库 工业A,2021(12):65-66.
- [5] 索奎,刘文辉,倪云鹏,等.三维电阻率成像在小型滑坡探测中的应用[J].华北水利水电大学学报:自然科学版,2022,43(6):71-78.

Jiqing Shale Oil Drilling Drilling Technology is Applied in Well Jhw 17-45

Dongxu Zhang¹ Donglai Yu² Jianjun Zhu² Lian Qiao² Qinghua Niu¹

1. Northwest Project Department of Great Wall Drilling Company, Panjin, Liaoning, 124010, China
2. Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract

In recent years, with the progress of exploration technology and the increase of energy demand, the reserves and production of shale oil and gas have increased year by year. The drilling industry has accumulated rich experience in this process, especially in dealing with complex geological conditions and construction problems. For example, in the drilling of Jiqing shale oil block, the challenges include the drilling fluid pollution of the surface salt layer, the collapse caused by the strong lithologic water sensitivity of the second well section, the coexistence of leakage collapse, the complex underground well network, and the serious interference of water intrusion in fracturing drilling at the same time. To meet these challenges, a series of measures were taken, including optimizing drilling fluid performance, refining construction schemes, and optimizing drilling tools. In the application of JHW 17-45 well, these measures improve the drilling cycle, which provides a useful reference for the construction of horizontal Wells in similar blocks.

Keywords

drilling speed; horizontal well; leakage collapse; water intrusion; drilling fluid performance

吉庆页岩油优快钻井技术在 JHW17-45 井应用

张东旭¹ 于东来² 朱建军² 乔梁² 牛庆华¹

1. 长城钻探钻井二公司西北项目部, 中国·辽宁 盘锦 124010
2. 新疆油田公司, 中国·新疆 克拉玛依 834000

摘要

近年来, 随着勘探技术的进步和对能源需求的增加, 页岩油气的储量和产量逐年增加。钻探行业在这一过程中积累了丰富的经验, 尤其是在处理复杂地质条件和施工难题方面。例如, 在吉庆页岩油区块的钻探中, 面临的挑战包括表层膏盐层钻井液污染、二开井段岩性水敏性强导致的坍塌、漏层塌层共存、井下井网错综复杂以及压裂钻井同时施工水侵干扰严重等问题。为了应对这些挑战, 采取了一系列措施, 包括优化钻井液性能、细化施工方案、优选钻工具等。并在JHW17-45井的应用中, 通过这些措施提高了机械钻速、缩短了钻井周期, 为类似区块的水平井优化施工提供了有益的参考。

关键词

钻井提速; 水平井; 漏塌并存; 水侵; 钻井液性能

1 引言

水平井钻井提速是一个复杂的系统工程, 涉及到众多因素。从施工情况来看, 影响水平井钻井提速的因素主要包括地质特征、钻井工具的选择、钻井液性能以及压裂施工等。以吉庆页岩油吉 179 井区 JHW17-45 井为例, 该井在施工过程中遇到了膏盐层、漏层、塌层、压裂水侵层等复杂情况, 这些都是钻井过程中需要特别关注和处理的问题。针对这些问题, 采取相应的技术措施, 如优化钻井轨迹、使用高性能的钻井工具和钻井液等, 以提高钻井速度和效率。同时, 借鉴国内外的研究成果和实践经验, 不断优化和完善钻井技

术, 提高了该井的钻井速度^[1]。

2 施工难点

2.1 表层易垮塌, 膏盐层污染

吉庆作业区一开深表层, 穿越多个层系, 施工表现: 一是第四系未成岩, 300m 前砂岩疏松、易塌、窜漏、井眼扩大率较大; 二是新近系、古近系膏质、灰质泥岩发育, 易造成钻井液污染、井眼缩径, 区域施工普遍存在起下钻阻卡严重, 划眼困难, 环空憋堵卡钻等问题; 三是侏罗系泥岩较发育, 水敏性强, 易水化膨胀和分散, 导致井眼产生掉块甚至垮塌; 四是表层 311.2mm 井眼、可钻性好、机速快给钻井液维护带来困难。

2.2 漏塌并存, 施工风险高

二开在侏罗纪西山窑组、八道湾组煤层以及二叠系非

【作者简介】张东旭(1989-), 男, 满族, 中国辽宁铁岭人, 本科, 助理工程师, 从事石油工程研究。

菜园组至梧桐沟组井段时，由于这些地层的特殊性质，钻井过程中会遇到一些特定的挑战。煤层易漏易塌，而泥岩层则容易水化膨胀，导致井壁垮塌。这种“上漏下塌”的情况在钻进过程中容易导致卡钻等事故复杂。

2.3 井下井网错综复杂

油田开发过程中，为了实现油气的有效开采储层，需要在地下构建一个复杂的井网系统。吉庆页岩油亦是如此。如 JHW17-45 井，属于老平台加密井，此类井储层岩性裂缝多甚至破碎，漏失和水侵较高。页岩油气区块通常具有低孔低渗特点，水平井和压裂技术是开发此类储层的两大核心技术。随着吉庆页岩油区块几年的持续滚动开发，“钻”“压”“同时”“同层”势在必行。此条件下，井下地质情况变得复杂，压力异常、岩层破碎、地层裂缝、水侵干扰漏失等问题严重影响钻井提速作业。

2.4 全井段轨迹控制

在梧桐沟底部砂砾薄层之间的不整合带，以及水平段储层薄且存在褶皱的地质条件下，钻井施工面临井斜和方位控制困难。造斜段定向施工难度大^[2]；钻遇率对钻进轨迹精度要求较高；且储层上下存在盖层，钻头接触后磨损严重；长裸眼段的摩擦扭矩大；水平段由于钻具托压定向钻进困难，复合钻进增斜，稳斜效果不易掌握等问题严重制约了施工进度。

3 施工技术措施

3.1 表层合理储备钻井液，适时转换钻井液体系

针对吉庆作业区开发中表层遇到的施工问题，JHW17-45 井通过下述措施和技术创新，有效应对吉庆作业区页岩油开发中的挑战，推动页岩油不断优化和创新技术。

①表层易垮塌和窜漏问题：在施工前，应给予聚合物和膨润土充分的水化时间，以增强钻井液的护壁效果。同时，弃用导管通过砂泵建立地表循环，减少环空液柱高度，从而降低管鞋处的压力，减少井漏和窜槽的风险。控制钻井参数，减少对井壁的冲刷，有助于钻井液在渗透性好的砂岩地层形成致密的泥饼，降低钻井液的出口循环密度（ECD），减少井漏和窜槽的可能性。

②钻井液污染问题：提前配置好转换钻井液，当钻至泥岩层时，立即将钻井液体系转换为复合盐体系。在施工期间，监测并维持氯化钾含量不低于 8.5%，氯离子含量不低于 100000mg/L，FA-367 按 1% 添加，对于膏岩层段施工时，FA-367 的添加量可提高至 1.5%。这种性能的钻井液既可以防止钻井液污染，也能抑制侏罗系泥岩的水化膨胀和分散，减少井眼掉块和垮塌的风险。同时，配合大排量冲刷可以有效携砂，防止井筒岩屑吸附，控制施工风险，实现提速。

③水敏性强的膏、泥岩：对于侏罗系泥岩，水敏性强，易水化膨胀和分散，导致井眼产生掉块甚至垮塌。可以通过使用抗水敏性强的钻井液和添加剂，减少泥岩与水接触后的反应，从而降低井眼垮塌的风险。

④钻井液维护困难：对于表层 311.2mm 井眼，虽然可钻性好、机速快，但给钻井液维护带来困难。可以通过实时监测井下的流体动态和钻井参数变化，确保钻井液液性满足施工要求，严禁盲目施工。

JHW17-45 井一开指标对比见表 1。

表 1 JHW17-45 井一开指标对比

井号	一开井深 m	一开纯钻 时间 h	一开钻速 m/h	一开钻井周期 d
区域平均值	1794.28	40.90	43.87	2.95
JHW17-45 井	1763.00	24.00	73.46	1.25
对比	-31.28	-16.90	29.59	-1.70

3.2 油基钻井液性能调整，养漏防塌

①堵漏材料的选择与应用：在油基钻井液中，常用的堵漏材料包括随钻堵漏剂、橡胶颗粒、刚性颗粒、凝胶微球和纤维等。尽管这些材料在实际应用中堵漏效果可能有限，但可以通过优化钻井液性能和钻井参数来提高防漏堵漏效果。

②降低环空 ECD：在易漏失的煤层及水平段裂缝发育地层中，可以通过降低环空当量密度（ECD）来减少漏失风险。通常优化钻井液密度和 PV 值等参数，降低井眼液柱压力、循环压耗。通过排量、钻速、转速以及短起下措施方案的优化，提高井眼清洁效率。降低漏失风险同时保证井眼清洁效率，快速通过漏层，以后期钻进期间添加随钻堵漏剂养护来完成封堵，逐渐提高承压能力。例如，最近施工的 JHW17-45 井钻进至水平段出现漏失，漏速 3~4m³/h，通过降排量和密度快速钻穿漏层，通过补充随钻堵漏剂、纤维、纳米封堵剂、沥青等封堵材料成功解决了漏失问题。

③化学支撑和提高钻井液封堵性^[3]：对于二叠系水敏性强的泥岩地层，选择放弃物理支撑方案，转而采用化学支撑和提高钻井液封堵性。从化学封堵防塌着力，以不同目数超细钙 +2%~3% 天然沥青干粉 +1% 微纳米封堵剂 ZK-601，通过提高钻井液的润湿性和矿化度来构建广谱封堵防塌体系。该体系可以有效提高井壁稳定性，不仅解决了起下钻遇阻划眼复杂。同时释放密度空间，降低漏失风险。

④钻井液性能优化：在钻井液中添加特定的添加剂，如抑制剂，降低油基失水，抑制泥岩的水化作用，减少井壁垮塌的风险。同时，通过优化钻井液配方，提高其在高温高压条件下的稳定性，提高抗污染能力。

3.3 预防为主，提高钻井液抗水侵能力

压裂与钻井同步施工，井下窜通问题是常见且复杂的。尽管井下窜通往往是不可抗拒的，但通过一系列的预防和监测措施，可以尽量降低其发生的风险和影响。

①地质工程一体化：通过强化钻井与地质部门之间的沟通协调，预判地层流体的大致走向，实现风险规避。通过精细刻画中小尺度裂缝，建立多尺度裂缝三维空间分布模型，设计井眼轨道时避开风险地带，进行钻前风险提示，指导钻井作业采取相应的防范措施。

②主动预防：在进入风险层位后（A点后，储层内），提前调整钻井液配方，提高油水比至 85 : 15 以上，增加电稳定性（ES）至 1000v 以上，碱度提至 3.0 以上，矿化度盐含量提至 30% 以上，使钻井液具有良好的流变性、抑制性、抗污染能力和润滑性，同时增强钻井液的封堵性和稳定性，降低水侵风险。

③及时发现和处理：协调录井、钻井液三方共同监测液面总量、出口流量、全烃值及钻井液性能变化。这需要实时监测钻井液的油水比、密度、流变性能、ES 值和氯离子等关键参数，以便及早发现和应对井下复杂情况。

3.4 优选工具仪器，保证轨迹平滑，提高储层钻遇率

①钻具组合优化：使用钻头 +172mm × 210 扶 × 1.25° 单弯螺杆 + 无磁钻铤 + 钻铤 5 根 + 钻杆的组合，这种配置可以充分利用地层条件，增加复合钻进占比，提高钻井效率。无磁钻铤的使用可以为磁性测量仪器创造无磁环境，保证井眼轨迹测量信息的准确性。

②增斜与稳斜控制：在一次造斜点后，通过地层倾角及倾角方向进行增斜，实现 3000m 前整个稳斜段全复合钻进。这样可以减少滑动钻进比例，提高钻头的使用寿命和机械钻速。

③二次造斜点策略：到达二次造斜点后，优选旋转导向工具，实际轨迹走设计轨迹上线，为自然降斜井段留足调整空间。这样可以避免因造斜率不足而导致的施工困难。

④与地质导向师的协同工作：在水平段施工中，与地质导向师合作，提前预判地层倾角及褶皱，减少出层概率，保护钻头，提高机速。地质导向师的关键作用在于准确预测和实时调整井眼轨迹，确保钻井作业的精确性和安全性。

⑤钻井液和支撑剂优化：选择适合地层的钻井液和支撑剂，以减少钻具与井壁的摩擦，降低钻压，减少磨损。同时，优化支撑剂的选择和用量，以提高裂缝导流能力和储层改造效果。

⑥钻井参数优化：通过优化钻井参数，如钻压、转速和钻井液流量，来提高钻井效率并减少钻头磨损。

4 应用效果

JHW17-45 井在施工中取得了显著的成绩，其水平段黄金靶体钻遇率达到了 90%，这是一个非常高的指标，表明钻井轨迹与预期目标的匹配度非常好。全井平均机速为

27.59m/h，说明在钻进过程中效率较高，这个速度在吉庆钻井作业中也名列前茅。钻井周期为 21.0 天，钻完井周期为 24.75 天，与区块平均数据相比，钻井周期降低了 8.32 天，钻完井周期降低了 10.63 天，这些数据表明 JHW17-45 井施工效率和速度都有了显著提升。

JHW17-45 井完井指标对比见表 2。

表 2 JHW17-45 井完井指标对比

井号	完钻井深 m	水平段 m	钻井 工期 d	钻完井 周期 d	全井段钻速 m/h
区域平均	5771.98	1659.11	29.32	35.38	18.14
JHW17-45	5609.00	2009.00	21.00	24.75	27.59
对比	-162.98	349.89	-8.32	-10.63	9.45

5 结论与建议

①开钻前准备工作至关重要，确保钻井液中的药品完全水化，以便其能够有效地发挥作用。在砂岩层段，应使用聚合物体系钻井液，并配合低参数钻井，以防漏窜和保证携砂能力。在泥岩层段，应采用复合盐体系钻井液，优化钻井液性能，并配合大排量施工，以提高表层钻井速度。

②在造斜段和直井段施工时，应充分利用油基钻井液的优势。通过钻井液的化学支撑和封堵性，控制环空当量循环密度（ECD），以达到防漏塌、养护地层和抑制掉块的目的。

③在水平段施工时，要注意“钻”和“压”的相互干扰。应以预防为主，及时发现问题为首要任务。通过施工前期的调查和风险预判，施工时做好风险防控，以确保施工安全和效率。

④全井施工应以提高钻遇率为目标，通过优化钻井轨迹、优选钻具组合、优化导向仪器等措施，实现提速提效。

参考文献

[1] 郭亮,邹荣,王维良,等.新疆吉木萨尔页岩油水平井钻井关键技术[J].西部探矿工程,2016(11).

[2] 李焱坤,宋朝晖,高飞,等.昌吉油田致密油长水平段水平井优快钻井技术[J].西部探矿工程,2017(7).

[3] 李强.苏里格区块小井眼开窗侧钻水平井钻井技术[M].北京:中国石油石化,2016.

Research on the Adjustment and Treatment of Buried Hill Gas Injection Blocks

Deqiao Wang

Xinglongtai Oil Production Plant, Liaohe Oilfield Company, Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract

In this paper, the relevant research on gas injection adjustment and treatment in Xinggu Qianshan Xinggu 7 main gas injection block from 2022 to 2023 is carried out, and the gas injection adjustment and gas channeling well treatment experiments are carried out in view of the increasingly serious gas channeling problems faced by the block and the corresponding safety hazards associated with it, which provides technical guidance for the gas flooding management and later gas channeling control of the same type of massive fractured reservoirs. It is proposed to combine the evaluation of gas flooding with gas flooding adjustment to guide the adjustment of reservoir schemes, and implement a series of treatment schemes, which provides a working idea for the development of gas injection in massive fractured reservoirs. Carry out research on the adjustment and treatment of gas channeling wells, and explore reasonable gas channeling well treatment technology, which saves the cost of gas injection and improves the efficiency of gas injection and energy replenishment.

Keywords

gas channeling well treatment; evaluation of air flooding effect; dynamic monitoring

潜山注气区块调整与治理研究

王德俏

辽河油田分公司兴隆台采油厂, 中国·辽宁 盘锦 124000

摘要

论文针对2022—2023年兴古潜山兴古7主体注气区块开展注天然气调整与治理相关研究, 针对区块面临的愈发严重的生产井气窜问题, 以及伴随而来的相应安全隐患问题开展了注气调整以及气窜井治理实验等工作, 为同类型块状裂缝型油藏的气驱管理及后期气窜治理提供了技术指导方向。提出实施气驱评价与气驱调整相结合, 指导油藏方案调整, 实施一系列治理方案, 为块状裂缝型油藏注气开发提供了工作思路。开展气窜井调整与治理研究, 探究合理的气窜井治理技术, 节约了注气成本, 提升了注气补能效率。

关键词

气窜井治理; 气驱效果评价; 动态监测

1 引言

潜山油藏自2006年投入开发, 2012年产量达到高峰。随着开发的深入, 受压力下降, 底水锥进影响, 2013—2016年兴古潜山产能递减加快。2014年对兴古7块实施注氮气开发进行能量补充, 2018年转为注天然气开发。随着注天然气持续进行, 区块能量得到一定补充, 压力递减趋势得到缓解。但同时受区块各井完井方式的因素影响, 部分生产井发生不同程度的气窜。同时, 部分气窜井受固井质量问题, 存在一定安全风险。多口生产井的气窜, 导致大量注入天然气未能在油藏顶部形成有效气顶, 从注气井重新采出, 对油藏开发注气补能造成了不利影响。论文论证了在这种情况下

如何进行气窜井治理, 实现区块有效补能稳产, 对于注气区块开发都具有重要意义^[1]。

2 项目研究背景

2.1 地质概况

兴古潜山构造上位于渤海湾盆地辽河西部凹陷南部兴隆台—马圈子潜山构造带东北部, 与盘山洼陷、陈家洼陷、冷家断阶带、马圈子构造四周相接, 构造面积55.49km²。

兴古7块位于兴古潜山的主体部位, 油藏类型为巨厚块状底水深层变质岩裂缝性油藏。油藏顶面埋深2335m, 含油幅度2335m, 探明含油面积9.77km², 探明原油地质储量3537万吨, 已全部动用。太古界地层由变质岩和岩浆岩构成, 储集空间以构造裂缝为主, 为裂缝型块状底水变质岩潜山油藏。

目前, 兴古7块油井57口, 开井28口, 日产油186t,

【作者简介】王德俏(1991-), 男, 中国辽宁盘锦人, 本科, 工程师, 从事石油天然气开发研究。

日产水 135m³, 日产气 13.5 万 m³, 综合含水 42.05%, 油气比 724m³/t, 累产油 548.6 万吨, 累产气 16.9 亿 m³, 累产水 55.7 万 m³, 采油速度 0.18%, 采出程度 15.51%。

兴古 7 块自 2014 年开展注氮气试验, 2018 年实施天然气重力驱试验, 注气井 13 口, 其中注氮气井 10 口, 累计注氮气 5.28 亿 m³, 均已停注。注天然气 3 口井, 累计天然气 3.1 亿 m³, 目前开井 2 口, 日注 23.0 万 m³。折地下体积 470 万 m³。

2.2 区块开发存在的主要问题

2.2.1 目前注采井网未能实现方案设计

受钻井施工难度大、投入高等因素影响, 注气井数由 7 口减为 3 口; 设计在 28MPa 压力下日注气 60 万 m³, 目前 3 口井只有 2 口井能够注气, 日注 25 万 m³, 虽采取压裂、水力扩容措施也未达到预期。

2.2.2 兴古 7 块受完井方式限制, 气窜井较多

兴古潜山开发初期大量大斜度井及水平井使用裸眼完井, 在投产初期大段的裸眼井段投产, 取得了较好的产能。区块开发初期使用天然能量开发, 地层能量下降, 油井产能逐步递减。为了补充区块能量, 2014 年开始实施注气开发, 受潜山完井方式的制约, 注天然气过程中, 出现了较多气窜井。完井方式与气驱开发存在不适应性。作为主力生产的 II 段开发井中, 共有 18 口大斜度水平井进山裸眼/筛管完井, 其中 10 口井发生不同程度的气窜。导致油井产量下降, 井控风险增加^[2]。

截至 2023 年年初, 18 口气窜风险井中, 开井生产 11 口, 日产油 54.7t, 日产气 12.6 万 m³, 存在较大井控安全风险。出现气窜后, 油井产量呈阶梯式下降, 气油比逐渐上升, 气窜前 18 口井日产油 347t, 气油比 260, 气窜后日产油下降至 54.7t, 气油比上升至 35 : 31。

2.2.3 无效注气量逐年增加, 油藏顶部气顶增加缓慢

随着注天然气持续进行, 部分油井气窜加重, 气窜井产气量增加, 导致注入天然气优先由气窜井产出, 形成无效注气, 致使油藏原开发方案中在顶部形成有效气顶难度增大, 位于气顶天然气量增加缓慢。截至目前, 兴古 7 块已累注气 8.4 × 10⁸m³, 折算地下体积 470.0 × 10⁴m³, 留存 350 × 10⁴m³, 占据 I 段 (-3000m 以上) 宏观 + 微观裂缝体积的 47.2%, 预测已形成 300m 气顶。较小的顶部气顶难以形成有效重力驱动, 提高区块采收率。

2.2.4 未实现连续注气造成产量波动大

注氮气阶段和天然气阶段受钻井、气源不稳定等因素影响停注后均出现了明显的产油量下降, 含水上升。2022 年 12 月 2 日停注后, 含水由 48.9% 上升至最高 60%, 产量由 240t 快速降至 178t, 1 月份恢复注气后产量回升至 247t, 含水下降至 47%。

3 主要研究内容及研究成果

3.1 实施潜山油井动态监测, 认识油藏压力分布规律

为配合注气开发关键技术研究, 开展动态监测工作, 主要包括油藏压力变化情况监测、工程测井、油气水组分分

析监测等为注气开发技术与试验提供依据。

2022—2023 年, 在兴古潜山区块共测流静压 229 井次/38 口井, 其中流压 10 口井 102 井次, 静压 28 口井 127 井次。通过对油井进行流静压测试, 对位于兴古 7 块各个构造位置及生产层系在实施注气期间的压力变化情况进行动态监测, 论证注气过程中区块能量补充情况。

从兴古 7-H328 井连续定点测压并测压情况上看, 2021 年受注天然气影响, 兴古 7 块静压整体趋于平稳, 但 2021 年 11 月注天然气停注后, 该井静压下降加快, 2022 年 3 月实施注气恢复后, 该井静压恢复平稳。

通过对兴古 7-S105 等受注气影响明显的一段开发井的静压变化情况, 可以看出区块顶部压力变化与注天然气呈正相关关系。通过注气压力监测可知, 保持乃至扩大气驱规模, 是补充地层能量, 确保潜山油藏压力平稳的关键措施。

3.2 进行油藏动态分析, 开展气驱评价研究

3.2.1 气驱效果评价

运用动态分析技术, 综合油井受效过程中生产动态数据, 同时, 通过对注气井周边井的气样进行气组分分析, 通过油井天然气组分分析与受效油井的产量、压力变化的时间对应关系, 分析注采对应关系, 从而进一步分析油藏内注气驱油效果及补能情况^[3]。

①注气有效遏制递减, 实现油藏稳产。兴古 7 块实施注气开发后, 取得了一定阶段效果, 保压控水降递减效果显著, 递减率已由天然能量开采时大幅下降, 阶段累增油量达 49.2 万 t。

②注气开发有效补充地层能量, 抑制底水侵入。兴古 7 块主体块目前累注气 8.4 × 10⁸m³, 实施注气后, 压力得到一定补充, 尤其是注气恢复之后, I 段压力系数 0.80, II 段主力采出段压力系数 0.69, III 压力系数部分井达到 0.95。

气驱阶段区块油水界面上升速度由天然能量阶段的 150m/年下降至 20m/年, 见水井增多趋势得到了有效的控制。

③气驱开发具有良好的经济效益。与天然能量开发对比, 注气开发增加油气当量 48.6 × 10⁴t, 证实气驱提高采收率切实可行, 具备推广潜力。

3.2.2 气窜井认识及治理研究

①气驱动态调整, 论证注气与采出井产能间的相关性。

因设备保养及气源紧张等原因, 在 2021 年年底、2022 年年底分别进行了天然气停注, 论证天然气停注后, 区内各油井产量变化情况。

2021 年年底停注后, 潜山主体块日产油由 2021 年 11 月的 291t 下降至 2022 年 1 月底的 183t, 区块综合含水由 44.8% 上升至 52.6%。2022 年年底实施停注后, 区块含水大幅度上升, 含水由 48.9% 上升至最高 60%, 产量快速下降由 240t 降至 178t。

2022 年 3 月 6 日区块复注后, 部分油井见到一定效果, 含水下降, 区块日产油由 205t 恢复至最高时 278t, 平稳时 240t, 含水由 60.4% 下降至 44.3%。2023 年 1 月份恢复注气后, 区块产量回升至 247t, 含水下降至 47%。

两次动态停注试验,停注后区块产量明显下降,复注后均出现了产量回升。由此可见兴古7天然气驱与产量存在较强相关性,注气停注对产量影响较大。

②开展转注试验,探究转注补能效果。

目前区块仅2口井进行注气补能,2口注气井位于兴古7块中部和东部,从平面上看,兴古7块西部一直无注气井,西部底水持续上升,需尽快恢复顶部注气,补充能量。从区块上看,两口注气井均位于兴古7主体部位,兴古7-12低潜山产量规模大无能量补充,2016—2022年新增见水井8口,其中兴古7-12块6口,影响日产油235t,考虑在兴古7-12块加大注气规模降水控递减。

综合区块断块分布情况以及平面各井分布位置,将位于兴古7块西部井区、同时位于兴古7-12断块的兴古7-H5进行灌注作业。

兴古7-H5井2023年9月6日转注开井,日注气2.6万 m^3 ,至2024年1月3日停注,阶段注入天然气195.8万 m^3 。

实施转注后,部分邻井含水下降,液量上升,兴古7-H138、兴古7-H228等井出现不同程度产量上升的情况。停注后,部分油井同时出现含水上升,产量下降,兴古7-H229、兴古7-H227产量下滑。

实施转注试验期间,区块油井含水上升趋势得到缓解,停注后,部分油井出现了明显的产量下降。由转注试验可知,实施转注补能对保障区块整体开发效果具有重要作用。

③实施气窜井治理实验,减少无效注气。

2020—2023年,针对气窜带来的井控风险、无效注气等一系列问题,实施多种气窜井治理试验。

在治理初期,实施了控制气窜井生产制度、实施气窜井动态关停等一系列治理方案。发现即使控制生产制度仍无法完全避免大量的无效产气;部分气窜严重井实施动态关停后井口压力迅速升高,造成井控风险大大增加。针对控制生产制度、频繁动态关井等简单治理方式存在的诸多问题,2023年开始对18口气窜井实施分类分批次管理,对气窜严重井(气液比大于1000)、低效井(日产油小于2t)、高渗漏风险井(发现井口渗漏)尽快实施封堵处理;针对低效井、低泄露风险井实施关井处理;针对发生气窜的高产井,实施气窜井段封窜处理。

通过对气窜井封堵治理,可在最大限度保证井控安全、油井生产效益的情况下,因地制宜、因井制宜地完成各类气窜井的治理工作。有效减少潜山无效注气造成的气量流失,增大了地下存气量,为潜山气顶能量保持发挥了重要作用,确保了地层压力稳定。

4 实施效果分析

4.1 持续稳定注气,控制区块递减

2023年实施持续稳定注气,区块年递减率已降至13.85%,对比2022年(17.32%),通过控制区块递减,阶段实现增油3015t。

4.2 实施气窜井治理,减少无效注气

兴古7-H209、兴古7-H311导两口井的裸眼完井方式已不适应气窜井生产动态形势,针对两口高产井气窜日益加剧的情况,2024年5—8月实施完善井筒结构,对气窜井段的实施封窜处理,在合理保障油井产能的前提下,完成气窜井的封窜作业。预计至2024年年底,可实现日增油10t,日减少无效注气3.2万 m^3 ,阶段减少无效注气869.1万 m^3 。

2023—2024年实施气窜井针对性治理8口,气窜井关停2口,实施封堵4口,气窜井段封窜2口,减少无效日注气9.4万 m^3 ,阶段减少无效注气2128万 m^3 。

4.3 编制了扩大气驱方案,探求增产控水

兴古7-H5转注气,对应受效井兴古7-H228、兴古7-H138阶段增油265.1t。虽然由于井筒完整性标准的限制停注,但实施意义重大,通过对该井转注工作的启发,进一步验证了注气是目前唯一可行的有效开发方式进一步推进了气驱方案的扩大实施。

4.4 措施增油效益汇总计算

目前各项区块调整与治理措施累积增油0.3281万t,节约注气2128万 m^3 ,合计创经济效益1787.5万元。

5 技术创新点

①进行老井转注气井补能试验,进一步验证了注气补能在潜山油藏上的适用性,推进了补充气驱方案的扩大实施。②兴古潜山注气开发以来,首次实施气驱评价与气驱调整相结合,指导油藏方案调整,实施稳定住气、增加补能、气窜井封堵等一系列治理方案,为块状裂缝型油藏注气开发提供了工作思路。③针对各井具体情况,将气窜井实现分类分批次逐井治理,合理考虑井控风险和运行成本,避免了同质化处理。

6 结语

①近三年兴古7块注气量逐年提高到8808万 m^3 ,产量和含水稳定,递减有效减缓,证实了注气开发对于潜山油藏的可行性。②因完井方式等原因造成油井气窜,针对气窜井的治理与调整工作,是注气开发工作中不可缺少的一环。③由于潜山岩性特殊、埋藏深、温度及压力高,且井型特殊,常规测试方法、仪器难以满足油气界面、气驱前缘等监测。因此,定期开展吸气剖面监测、井间示踪剂监测、长效温压监测等一系列监测手段,是完善气驱评价、气窜井治理的工作基础。④注气是目前唯一可行的有效补能方式,应持续推进气驱方案的扩大实施。

参考文献

- [1] 司勇,赵磊,梁飞,等.潜山油藏气窜识别方法的建立与应用[J].陕西科技大学学报,2020,38(3):94-101.
- [2] 孙博.兴古潜山非烃类气驱气窜调控应用效果分析[J].中国化工贸易,2018,10(18):111.
- [3] 林健,周华,吴超,等.潜山非烃类气驱技术探索与试验[C].//2015中国非常规油气论坛论文集,2015:1-18.