

# Application and exploration of green mining technology in coal mine engineering

Hongzheng Wang

National Energy Group, Ningxia Coal Industry Jinfeng Coal Mine, Wuzhong, Ningxia, 751100, China

## Abstract

Green mining technology covers filling technology, water conservation mining technology and ecological reconstruction technology and other aspects. In coal mine engineering, these technologies show extremely significant effects, not only can effectively improve the mining efficiency of coal mine, but also to ensure safe production, reduce the negative impact of the environment is of great significance. At the same time, in view of the various challenges in the process of technology application, accurate analysis, put forward the government tax preferential support policies, such as increasing technology research and development, joint research institutions customized solutions and strengthen personnel training strategies, for coal mine engineering green, sustainable development, provide both theoretical depth and practical value of comprehensive reference.

## Keywords

coal mine engineering; green mining technology; filling technology; water conservation mining; ecological reconstruction

## 绿色开采技术在煤矿工程中的应用探索

王宏政

国家能源集团宁夏煤业金凤煤矿, 中国·宁夏 吴忠 751100

## 摘要

绿色开采技术涵盖了充填技术、保水开采技术以及生态重建技术等多个方面, 在煤矿工程中, 这些技术显示出极其显著的功效, 不仅可以有效提高煤矿的开采效率, 而且对保障安全生产、减少环境负面影响具有重要意义。同时, 针对技术应用过程中遇到的各类挑战, 文章精准分析, 提出政府出台税收优惠等扶持政策、企业加大技术研发、联合科研机构定制方案及加强人员培训等应对策略, 为煤矿工程实现绿色、可持续发展, 提供兼具理论深度与实践价值的全面参考。

## 关键词

煤矿工程; 绿色开采技术; 充填技术; 保水开采; 生态重建

## 1 引言

煤作为我国能源体系的重要支柱, 煤矿长期以来为经济发展提供了强大动力, 但传统煤矿开采模式造成的资源浪费、环境污染和生态退化等问题日益严重, 对行业可持续发展形成严重制约。在这样的背景下, 绿色开采技术应运而生, 成为煤矿项目转型升级的关键, 秉承可持续发展的理念, 绿色开采技术致力于实现资源高效利用、生态环境友好、经济效益和社会效益在煤矿开采过程中的协调统一, 绿色开采技术的发展理念将成为煤矿项目转型升级的关键。深入研究和广泛应用绿色开采技术, 对于促进我国煤矿工业优质发展, 践行生态文明建设具有深远意义。

## 2 绿色开采技术

### 2.1 充填技术

充填技术是防止煤矿地下采空区塌陷, 减少环境污染的重要手段, 其核心在于对性能优良的充填材料, 根据煤矿现场的地质条件、开采规模等因素精心准备, 这些材料需要具有特定的关键性能, 如抗压韧性、抗压延展性、弹性模量等。以抗压韧性为例, 通过精确计算材料受力过程中所吸收的变形量, 反映充填物在承受压缩荷载时的吸能能力。

制备充填材料时, 合理选材和精准设计配合比至关重要。以尾砂胶结充填体材料为例, 参照《全尾砂膏体充填技术规范(GB/T3948i9-2020)》, 选用尾砂作为骨料, 并搭配适宜的胶结材料。此外, 为进一步优化充填体性能, 可引入长丝状PVC、聚丙烯纤维等改性物料。长丝状PVC具有密度为 $1.62\text{g}/\text{cm}^3$ 、平均长度约20mm、平均直径0.3mm、弹性模量3255MPa、抗拉强度67MPa、回潮率不超0.03%等特性, 化学组成中Ca含量55.51%、Cl含量36.12%等。

【作者简介】王宏政(1984-), 男, 中国甘肃民勤人, 本科, 工程师, 从事煤矿采掘生产技术管理研究。

聚丙烯纤维密度  $0.91\text{g}/\text{cm}^3$ ，平均长度约  $6\text{mm}$ ，平均直径  $0.1\text{mm}$ ，弹性模量  $4665\text{MPa}$ ，抗拉强度  $590\text{MPa}$ ，回潮率不超  $0.03\%$ ，以纯净聚丙烯为主要成分。不同改性物料对充填材料性能影响各异，需结合煤矿采空区地质环境特点进行科学选择。

## 2.2 保水开采技术

煤矿开采作业极易扰动地下含水层，威胁矿山开采结构的稳定性，保水开采技术以增加等效阻水厚度为核心原理，通过精确计算、合理设计，减少煤层开采对地下含水层的干扰，为安全高效开采创造有利条件。矿山工程底板隔水层厚度的精确测定是关键，在计算底板隔水层厚度时，需要对几项关键参数进行综合考量，从而达到精确测定。其中，承压水导升高，高度是重要依据，裂缝表面的粗糙系数与涉及裂缝宽度、静水压力自然对数等参数的承压水导升高高度之间是反比例关系。实际计算中，裂缝宽度一般在  $0-20\text{mm}$  范围内，若按均值  $10\text{mm}$  计算，根据技术标准，裂缝面粗糙系数取值  $0.0023$ ，静水压力通常取值  $4\text{MPa}$ ，据此可计算出相关取值范围。将计算结果与矿山实际工作面至地下含水层的有效隔水厚度范围进行比较，如果前者大于后者，则在矿山工作面开采时，局部容易发生出水风险<sup>[1]</sup>。

## 2.3 生态重建技术

煤矿开采必然会造成土地破坏、植被破坏等生态问题，严重影响矿区生态环境和经济发展生态重建技术，旨在通过系统的矿山采空区域填海造地和生态修复工作，全面治理矿区生态环境，有效控制水土流失。在新的时代背景下，通过构建一体化的工艺系统，将剥离工艺、开采工艺、填海造田工艺有机融合，占地复垦周期可以大大缩短，实现了生态再造和经济效益的双赢。以剥离工艺为例，需要在详细了解作业现场环境、做好技术交底的基础上，根据矿体顶板起伏情况，精确控制剥离深度，以灰岩出露为标准，小心避开石牙，清除浮石，合理堆放，以便后续生态重建利用，如剥离后的土体直接运到复垦采场进行覆盖。开采工艺应根据煤矿特点合理选择，如岩溶堆积型煤矿可采用平面扩张型露天机械开采，以中心放射状向外围扩展，以提高薄层的开采效率。围垦工艺可将剥离工艺与泥浆压滤系统相结合，将洗矿浆用于法代替湿法处理，形成滤饼，用于采空区围垦，应用生态重建技术后，还需要对其应用效果进行科学验证，通过计算植被覆盖率、土壤空隙度等参数，对其进行综合处理，使其在采空区围垦中得到有效应用。

# 3 绿色开采技术在煤矿工程中的应用案例分析

## 3.1 充填体改进力学特性在某煤矿的应用

某煤矿为提高充填作业质量，针对自身采空区地质条件，对多种充填材料展开深入研究。以尾砂胶结充填料为基础，严格遵循《全尾砂膏体充填技术规范（GB/T3948i9-2020）》，选用尾砂为骨料，与胶结料配套使用。同时，引入长丝状聚氯乙烯、聚丙烯纤维作为不同胶结充填

试件的改性材料，实验对比发现，聚丙烯纤维凭借较高的弹性模量和抗拉强度，在增强充填体抗压强度方面效果突出，与煤矿采空区充填需要更加贴合，因而具有较高的抗拉强度。

在充填体系准备过程中，针对充填体试件脱模这一关键而棘手的环节，煤矿进行了创新改进，传统的脱模方式由于充填体试件强度、硬度不高，容易对试件造成损坏。为此，制作了长方形的脱模薄膜，主要是聚丙烯塑料，并在模具内壁涂上脱模剂，将薄膜卷好放入模具后，与模具紧密贴合，既有薄膜的弹性，又有脱模剂的粘性。试件浇筑完成后，只需捏住比模具部分高的丙烯膜，就能将填好的试件完整取出，试件制作效率和完整性明显提高。

煤矿通过改善充填体力学特性和制备工艺，充填作业质量得到明显提高，充填体稳定性大大增强，有效降低了采空区塌陷风险。同时，长丝状聚氯乙烯废料利用和充填材料性能优化，使资源利用率得到提高，矿山项目现场环境得到改善，绿色发展理念得到有效践行。

## 3.2 矿山底板承压水治理的实践

某煤矿在开采前对矿山工程底板隔水层厚度进行精确计算，发现从采矿工作面到含水层的有效隔水厚度在  $5.3\text{m}-7.9\text{m}$  之间，明显小于裂缝宽度为  $10\text{mm}$  时的含水层承压水导升高度值范围，这表明该煤矿在开采作业中极易出现局部出水问题，严重威胁开采安全和环境。

为解决这一难题，该煤矿在矿山工作面采用孔-巷相结合的方法，铺设测线对底板破坏特征进行全面观测。通过对  $4$  条测线的监测，获取了不同测线的底板最大破坏深度数据<sup>[2]</sup>。结合矿山工作面承压含水层最大水压值、含水层岩层总厚度等关键数值，计算从承压含水层到工作面直接底的等效阻水厚度。在计算等效渗透系数时，充分考虑矿山岩层总厚度、单一岩层厚度以及岩层变形情况，通过引入求和公式，精确计算单一岩层  $i$  的厚度总和，从而确定总体的等效渗透系数大小。

将相关参数代入等效渗透系数计算过程，预测分析工作面采煤保水可行性判定条件，明确了能够实现保水采煤的最大开采厚度。根据承压渗透分析结果，对渗透严重区域采用换填法改善地质承载能力，对渗透较轻区域采取防护保护措施。通过这些科学治理措施，在保障采矿作业安全的同时，极大减轻了对地下含水层的扰动影响，维护了当地生态环境，成功实现绿色开采目标。

## 3.3 岩溶堆积型煤矿环境改造

某岩溶堆积型煤矿积极应用生态重建技术，构建了生态重建一体化工艺系统。在剥离工艺方面，做好技术交底，根据矿体顶板起伏精准控制剥离深度，以灰岩出露为标准，避开石牙并清除浮石。针对该类型煤矿表土剥离量极少的特点，将剥离工艺与洗矿和浓缩拍泥系统结合，重点清除矿层矿石中的胶结物。在采矿工艺上，采用平面拓展型露天机械开采，以中心放射状向外围扩展，满足薄矿层快速开采推进

需求。在复垦工艺中,将剥离工艺与泥浆压滤系统结合,以干法代湿法处理洗矿泥浆,形成滤饼用于采空区复垦。

应用生态重建一体化技术对该煤矿现场环境有关指标进行全面评估,通过计算植被覆盖率、土壤孔隙度等参数,验证该技术的应用成效。结果显示,回水利用率高、拍泥负担轻,灰岩底板采空区复垦缺水问题得到有效缓解,既考虑煤矿开采经济效益,又兼顾生态环境效益,切实贯彻落实绿色开采原则。

## 4 绿色开采技术应用的挑战与对策

### 4.1 技术成本挑战

绿色开采技术如充填技术中特殊充填材料的研发与制备、保水开采技术中高精度监测与计算设备的购置、生态重建技术中一体化工艺系统的构建等,往往需要高额的前期成本投入。这成为制约绿色开采技术广泛应用的重要因素。为应对这一挑战,政府应发挥引导作用,出台税收优惠、财政补贴等扶持政策,降低企业技术应用成本。同时,企业自身需加大技术研发投入,通过技术创新降低材料消耗和设备成本,提高技术应用的经济性和可行性。

### 4.2 技术适应性挑战

不同煤矿的地质条件、开采规模、煤层赋存状态等存在明显差异,这给绿色开采技术的应用带来很大差异,保水开采技术在复杂地质构造煤矿应用效果可能不佳。煤矿企业应联合科研机构对煤矿自身地质条件进行详细勘查,综合分析,为自身量身打造合适的绿色开采技术方案。同时加强技术人员培训,提高技术人员技术水平,使技术人员能够根据实际情况及时调整技术参数,保证绿色开采技术在不同煤矿上发挥最好的技术效果<sup>[3]</sup>。

### 4.3 人员意识挑战

部分煤矿职工对绿色开采技术的重要性认识不足,存在着传统开采理念不够牢固,部分技术推广应用存在阻力问题,绿色开采技术推广应用存在一些不适应的问题,煤矿企业要开展专题培训、技术讲座、案例分享等活动,强化宣传培训,提高职工对绿色开采技术的认知水平和操作技能,推广和应用企业绿色开采技术;把绿色开采理念融入企业文化建设,营造全员参与、全员践行绿色开采的良好氛围,促使全体员工从思想上深刻认识绿色开采的重要意义,主动学习并应用、创新绿色开采技术。

## 5 绿色开采技术在煤矿工程中应用探索的未来展望

### 5.1 技术创新引领高效绿色开采

工业固废的利用,充填技术会得到更加充分的应用,

如钢渣、粉煤灰等可以作为高强度、高流动性的充填材料的原料,既可处理废料,又能降低成本、提高充填体性能;物联网、5G通信等将融入充填设备中,实现远程、自动充填,实时监测充填参数,保障作业高效、安全。保水开采将依托大数据、人工智能等实现突破,多源数据集成建模地下水资源动态监测模型,深度学习煤层开采对含水层的影响,提前制定保水方案。新型自修复纳米复合隔水材料等不断涌现,强化底板隔水层阻水能力,应对复杂地质条件。

生态重建技术向精准化、智能化迈进,对矿区生态变化进行高分辨率卫星遥感、无人机航测等实时监测,并及时调整策略,进行数据分析。植被恢复和土壤改良、适应当地环境的植物培育、生态系统重建加速等生物技术都是利用基因编辑、微生物修复等生物技术进行的。

### 5.2 产业融合推动绿色开采协同发展

煤炭开采环节,绿色开采与智能开采协同,智能采煤机根据煤层状况自动调整参数,减少煤炭损失与矸石混入,优化通风系统降低瓦斯排放,实现生产过程的智能化控制,提高效率,减少污染。

在煤炭洗选加工环节,绿色开采与清洁生产相结合,在洗选精度上有所提高,减少煤炭杂质含量,减少燃烧污染,并在建筑材料、井下填平、土地复垦等方面,研究开发出了高效煤矸石综合利用技术,使之资源化,减少了固体废弃物的排放,从而达到了煤炭的资源化利用。

煤炭运输与储存环节,绿色开采与绿色物流融合,推广新能源运输车辆、封闭运输系统,降低运输扬尘和能耗,采用密封式储煤仓、添加抑尘剂等技术,减少煤炭储存中自燃和扬尘污染,全方位促进煤矿行业绿色发展。

## 6 结语

绿色开采技术在煤矿工程中应用探索取得一定成果,解决了采空区塌陷、水资源破坏、生态环境破坏等三大问题。但是,在技术成本、适应性、人员意识等方面存在一定的问题,通过技术创新、产业融合等手段,将改变煤矿工程不能高效、绿色、可持续发展的问题,促进煤矿工程转型升级。

### 参考文献

- [1] 王勇强,郑和忠.绿色开采技术在采矿工程中的应用研究[J].中国金属通报,2024,(21):27-29.
- [2] 张鹏,李林杰,王亮,等.探索智能化技术在煤矿开采中的运用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(17):139-141.
- [3] 梁宇宇,李斌,周立国.绿色勘查技术在探矿工程中的应用[J].中国金属通报,2024,(13):151-153.