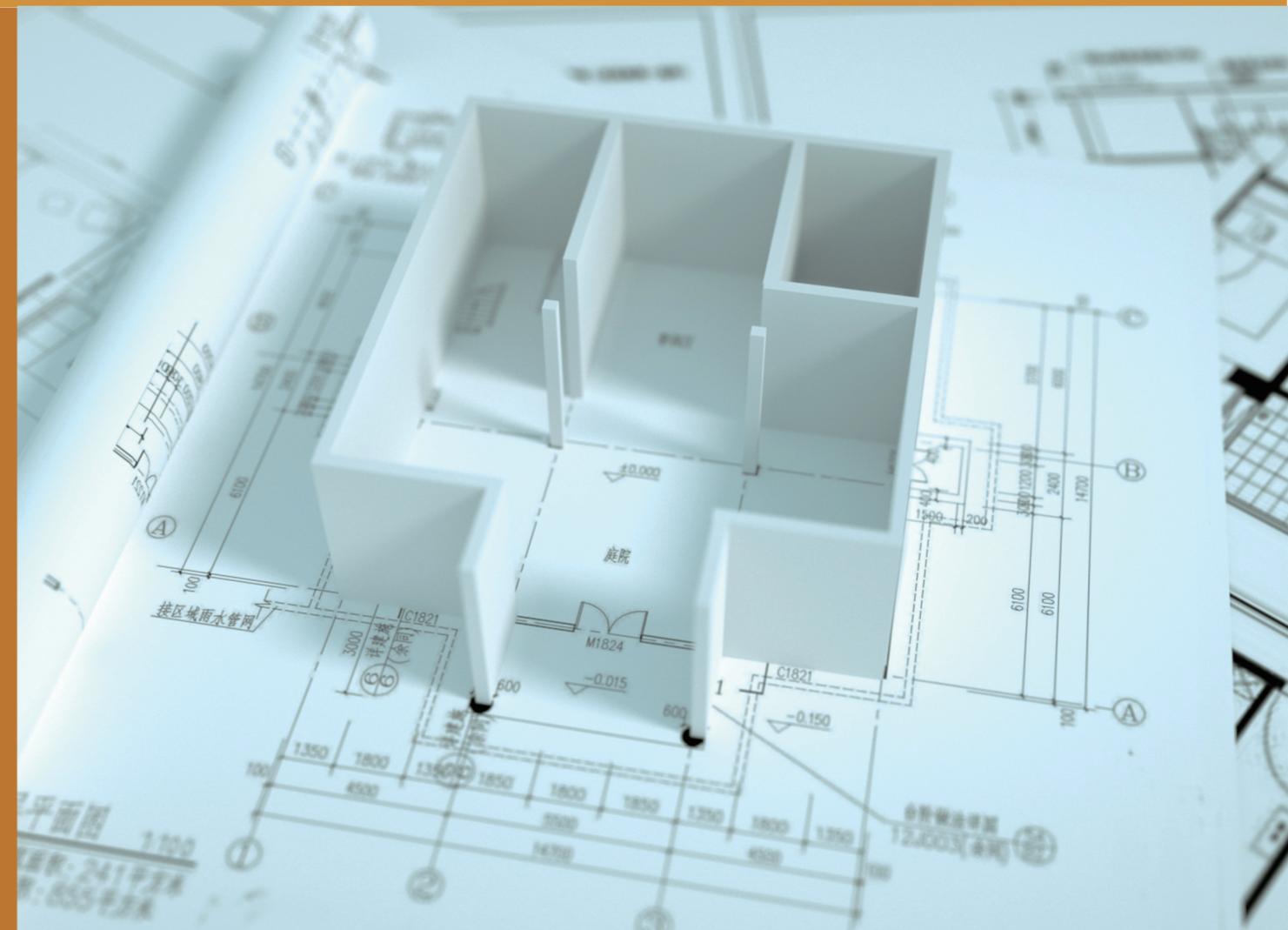


# 现代测绘工程

Modern Surveying & Mapping Engineering



Volume 8 Issue 6 · November 2025 · ISSN 2705-0521

中文刊名：现代测绘工程  
ISSN：2705-0521（纸质）  
出版语言：华文  
期刊网址：<https://ojs.s-p.sg/index.php/xdchgc>  
出版社名称：新加坡协同出版社

Serial Title: Modern Surveying & Mapping Engineering  
ISSN: 2705-0521 (Print)  
Language: Chinese  
URL: <https://ojs.s-p.sg/index.php/xdchgc>  
Publisher: Synergy Publishing Pte. Ltd.

## 《现代测绘工程》征稿函

### 期刊概况：

中文刊名：现代测绘工程  
ISSN：2705-0521(Print)  
出版语言：华文  
期刊网址：<https://ojs.s-p.sg/index.php/xdchgc>  
出版社名称：新加坡协同出版社

## Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

### 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。

Synergy Publishing Pte. Ltd.

电子邮箱 /E-mail: [contact@s-p.sg](mailto:contact@s-p.sg)

官方网址 /Official Website: [www.s-p.sg](http://www.s-p.sg)

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



Modern Surveying & Mapping Engineering

# 现代测绘工程

November 2025 | Volume 8 · Issue 6 | ISSN 2705-0521

## 主编

申冲

中北大学，中国

## 编委

郭斐

武汉大学测绘学院，中国

涂锐

国家授时中心，中国

纪元法

桂林电子科技大学，中国

张伟

深圳大学，中国

郭稳

北京工业大学，中国

叶文

中国计量科学研究院，中国

张且且

北京航空航天大学，中国

张鹏飞

中国科学院国家授时中心，中国

史俊波

武汉大学，中国

宫晓琳

北京航空航天大学，中国

- 1 智能传感器在建筑物变形监测中的实时数据处理研究 / 岑花葵
- 4 多源遥感与地面水文测量协同的干旱区地下水储量评估模型研究 / 霍亮清
- 7 水利工程变形监测中 GNSS 与水准测量融合技术应用 / 杨立晋
- 10 水利水电工程河道地形测量的适应性优化研究 / 陈华平
- 13 三维激光扫描在矿产资源管理测绘中的精度分析 / 陈冬冬
- 16 试析房产测量测绘工程的质量管理措施 / 韩忠伟 韩忠旺
- 19 智慧技术在土地管理中的应用研究 / 杨立果
- 22 土地执法工作开展方向探讨 / 胡育峰
- 25 浅析土地资源管理中地籍测量技术的实践应用 / 梁达飞
- 29 历史建筑保护中的数字化测绘与信息管理研究 / 李华森
- 32 试析国土变更调查中的测绘技术应用 / 宇文海龙 张东申
- 35 无人机航测技术在地形测绘中的应用效果与优化策略 / 徐其学
- 38 超贫磁铁矿高效选矿技术及工艺流程优化研究 / 王勇
- 41 基于卫星遥感的高光谱图像分类方法及其应用 / 韩婷婷
- 44 测绘新技术在公路勘测设计中的应用与发展趋势 / 陈旭齐 陈国秦
- 48 无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的方法优化 / 刘冬
- 51 关于云南省地质灾害专群结合监测预警体系建设的探讨 / 姜跃斌 李晓梅
- 54 地质灾害防治与水工环工程安全性评估 / 付强
- 57 抗高温高密度水泥浆体系研究与应用 / 李全双 郑双进
- 60 试析 GPS 测量技术及其在工程测量中的应用策略 / 吉玮
- 63 集体土地所有权确权登记信息化建设与实践探索 / 朱磊
- 66 不动产登记背景下的地籍数据整合建库关键技术研究 / 李文义
- 69 农村宅基地房地一体确权登记历史遗留问题破解路径研究 / 陈健
- 72 测绘遥感技术支撑下的林草湿荒资源调查智能化方法研究与应用 / 李大鹏 钟华 郭富良
- 76 陡帮开采在露天石灰石矿山的应用 / 陈杰 张宁 阳锐
- 79 无人机航测的山区地形测绘精度优化研究 / 孟东坡
- 82 三维地籍场景应用精度分析 / 仇俊 李远志
- 85 遥感技术在土地利用动态监测中的应用分析 / 邱学智 张丽斌

- 1 Research on real-time data processing of intelligent sensors in building deformation monitoring / Huakui Cen
- 4 Study on groundwater reserve assessment model of arid region based on multi-source remote sensing and ground hydrological measurement / Liangqing Huo
- 7 The Application of GNSS and Leveling Measurement Fusion Technology in Deformation Monitoring of Water Conservancy Projects / Lijin Yang
- 10 Research on the Adaptive Optimization of River Topography Survey in Water Conservancy and Hydropower Projects / Huaping Chen
- 13 Precision analysis of 3D laser scanning in mineral resource management mapping / Dongdong Chen
- 16 An analysis of the quality control measures of real estate surveying and mapping engineering / Zhongwei Han Zhongwang Han
- 19 Research on the Application of Smart Technology in Land Management / Liguo Yang
- 22 Discussion on the direction of land law enforcement / Yufeng Hu
- 25 A Brief Analysis of the Practical Application of Cadastral Surveying Technology in Land Resource Management / Dafei Liang
- 29 Research on Digital Mapping and Information Management in the Protection of Historical Buildings / Huasen Li
- 32 Analysis of surveying and mapping technology application in land change survey / Hailong Yuwen Dongshen Zhang
- 35 Application effect and optimization strategy of UAV aerial surveying technology in topographic mapping / Qixue Xu
- 38 Research on High-Efficiency Beneficiation Technology and Process Optimization of Super-Poor Magnetite / Yong Wang
- 41 Hyperspectral image classification method based on satellite remote sensing and its application / Tingting Han
- 44 Application and development trend of new surveying and mapping technology in highway survey and design / Xuqi Chen Guoqin Chen
- 48 Method Optimization of UAV Oblique Photogrammetry Technology in Land Expropriation Field Survey / Dong Liu
- 51 Discussion on the Construction of a Specialized and Mass Combined Monitoring and Early Warning System for Geological Disasters in Yunnan Province / Yuebin Jiang Xiaomei Li
- 54 Geological disaster prevention and control and safety assessment of water conservancy, hydropower and environmental engineering / Qiang Fu
- 57 Research and Application of High-Temperature Resistant High-Density Cement Slurry System / Shuangquan Li Shuangjin Zheng
- 60 Analysis of GPS Surveying Technology and Its Application Strategy in Engineering Surveying / Wei Ji
- 63 Informatization Development and Practical Exploration of Collective Land Ownership Registration / Lei Zhu
- 66 Research on Key Technologies for Cadastral Data Integration and Database Construction in Real Estate Registration Context / Wenyi Li
- 69 Research on Resolving Historical Legacy Issues in Integrated Rural Housing-Land Ownership Registration / Jian Chen
- 72 Research and Application of Intelligent Methods for Surveying Forest, Grassland, Wetland and Desert Resources Supported by Surveying and Remote Sensing Technology / Dapeng Li Hua Zhong Fuliang Guo
- 76 The Application of Steep Slope Mining in Open-pit Lime-stone Mines / Jie Chen Ning Zhang Rui Yang
- 79 Optimization of topographic mapping accuracy of mountainous area by UAV aerial survey / Dongpo Meng
- 82 Precision Analysis of 3D Cadastral Scene Applications / Jun Qiu Yuanzhi Li
- 85 Application Analysis of Remote Sensing Technology in Dynamic Monitoring of Land Use / Xuezhi Qiu Libin Zhang



# Research on real-time data processing of intelligent sensors in building deformation monitoring

Huakui Cen

Western Building Seismic Investigation and Design Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

## Abstract

As the construction industry advances, the safety and stability of buildings have become increasingly important. Deformation monitoring is a crucial method for ensuring the structural safety of buildings. Traditional monitoring methods, which often rely on manual measurements, are inefficient and lack precision. In recent years, the advent of smart sensors has provided more efficient and real-time data collection and analysis for building deformation monitoring. This paper explores the application of smart sensors in building deformation monitoring, analyzes their advantages in real-time data processing, and focuses on key technologies for data collection, transmission, and processing. It also discusses the challenges and solutions in real-time data processing.

## Keywords

intelligent sensor; building deformation monitoring; real-time data processing; data acquisition; data transmission

# 智能传感器在建筑物变形监测中的实时数据处理研究

岑花葵

西部建筑抗震勘察设计研究院有限公司，中国·陕西 西安 710054

## 摘要

随着建筑行业的发展，建筑物的安全性和稳定性越来越受到关注。建筑物的变形监测是确保建筑物结构安全的重要手段之一，传统的监测方法通常依赖人工测量，存在效率低、精度差等问题。近年来，智能传感器的出现为建筑物变形监测提供了更加高效、实时的数据采集与分析手段。本文探讨了智能传感器在建筑物变形监测中的应用，分析了智能传感器在实时数据处理中的优势，重点介绍了数据采集、传输和处理的关键技术，并探讨了实时数据处理中的挑战和解决方案。

## 关键词

智能传感器；建筑物变形监测；实时数据处理；数据采集；数据传输

## 1 引言

随着城市化进程的加快，建筑物的数量和规模日益增加，建筑物的安全性和稳定性成为社会关注的焦点。建筑物在长期使用过程中，常常由于结构老化、自然灾害、施工缺陷等因素发生不同程度的变形，这些变形若得不到及时监测和处理，可能会导致结构的损坏甚至是灾难性事故的发生。因此，建筑物的变形监测对于确保建筑物的安全至关重要。传统的建筑物变形监测方法通常依赖人工测量，尽管可以在一定程度上获取建筑物变形的数据，但由于测量周期长、精度差且无法实时反馈，导致了其在一些需要精确和快速反应的场合中无法满足要求。近年来，随着智能传感器技术的快速发展，智能传感器已被广泛应用于建筑物变形监测中。智能传感器通过集成多种传感器元件，能够实时监测建筑物的变形情况，采集到的数据可以直接传输至计算平台进行处

理，从而为工程师提供实时的监测信息。智能传感器不仅能够提高数据采集的精度，还能够通过实时数据处理和分析，及时发现建筑物的变形问题，提前采取相应的措施，有效提高建筑物的安全性。

## 2 智能传感器在建筑物变形监测中的应用背景与优势

### 2.1 智能传感器的基本原理与工作机制

智能传感器是一种能够通过感知外部物理量或化学量，并将其转化为电信号进行处理的设备。不同于传统的传感器，智能传感器具备数据处理、分析和自我校正的能力。智能传感器通常集成了多种传感器元件，如应变计、加速度计、温度传感器等，能够实时感知建筑物的变形、振动等物理变化，并将其转化为数字信号进行传输和分析。智能传感器不仅具备数据采集的功能，还能够进行实时数据处理，甚至可以通过内置的算法进行初步的数据分析，为后续的决策提供依据。通过智能传感器，建筑物的变形数据可以在短时间内被准确采集并及时反馈，极大提高了变形监测的效率和精度 [1]。

**【作者简介】**岑花葵（1995-），女，壮族，中国广西百色人，工程师，本科，从事测绘工程研究。

## 2.2 智能传感器在建筑物变形监测中的应用优势

智能传感器在建筑物变形监测中具有许多传统方法无法比拟的优势。首先，智能传感器能够实现实时数据采集和分析。通过集成先进的数据处理模块，智能传感器能够在现场实时采集建筑物的变形数据，并通过无线通信网络将数据传输至监控平台，保证了变形监测的实时性。其次，智能传感器的高精度使得监测数据更加可靠。传统的手工测量往往受到人为因素的影响，精度较低，且无法进行持续监测。而智能传感器通过自动化采集和高精度的传感技术，能够获得更加精准的数据，避免了人为误差。第三，智能传感器的智能化处理能力大大提高了数据的处理效率。通过内置的处理单元，智能传感器能够对采集到的数据进行初步分析，将重要信息提取出来，并及时传递给相关人员，减少了人工干预的需要，提高了监测的自动化程度。最后，智能传感器具备较强的适应性，可以在不同环境下进行长期稳定的监测。无论是高温、高湿，还是强震、雷电等极端环境，智能传感器都能够正常工作，确保建筑物变形的持续监测。

## 2.3 智能传感器在建筑物变形监测中的挑战与发展方向

尽管智能传感器在建筑物变形监测中具有诸多优势，但在实际应用中仍面临一些挑战。首先，智能传感器的成本较高，尤其是在大规模监测过程中，传感器的采购、安装和维护成本可能成为制约其普及的因素 [2]。其次，智能传感器的数据传输和存储问题也是需要解决的难题。大规模监测中，传感器采集的数据量庞大，如何保证数据传输的稳定性和实时性，如何处理和存储大量的数据，是需要解决的技术难题。最后，智能传感器在长期使用过程中可能会出现故障或性能下降，这需要有高效的维护机制来保障其正常运行。未来，随着技术的发展，智能传感器的成本有望逐步降低，数据传输和存储技术的创新将为其提供更加稳定的支撑。此外，智能传感器的集成度和处理能力将不断提升，能够满足更复杂的建筑物变形监测需求。

# 3 智能传感器在建筑物变形监测中的实时数据处理技术

## 3.1 数据采集技术

智能传感器的核心功能之一是数据采集。准确的采集技术直接决定了变形监测的精度。在建筑物变形监测中，通常采用应变计、位移传感器、加速度计等传感器元件来感知建筑物的变形。这些传感器能够精确地监测建筑物的形变、振动、位移和运动等物理参数，并将其转化为电信号进行传输。应变计通常用于检测建筑结构的应变变化，而位移传感器则用于监测结构的位移或变形程度，提供关于建筑物变形的关键数据。加速度计则能帮助监测建筑物的振动情况，尤其是对于地震或强烈外力作用下的建筑物，能够有效反映建筑物的动态响应。

智能传感器在数据采集过程中，采用了先进的模数转换技术，将模拟信号转换为数字信号，确保采集数据的高精度。模数转换技术使得传感器能够将采集到的连续信号转换为离散的数字信号，避免了信号衰减和失真，提升了数据的可靠性和稳定性 [3]。此外，现代传感器通常还配备了高精度的时间同步系统，这一点对于大规模的建筑物变形监测尤为重要。时间同步系统可以确保不同传感器之间的数据同步，避免由于不同传感器采集数据时间存在差异而导致的测量误差。这种时间同步技术在多传感器系统中尤其关键，因为它可以确保所有传感器采集的数据能够准确地整合在一起，从而避免对数据分析结果的影响，提高整个监测系统的精确度和有效性。

## 3.2 数据传输与处理技术

在数据采集之后，智能传感器需要通过无线通信技术将数据传输到监控平台进行处理。常用的数据传输技术包括无线局域网（WLAN）、蓝牙、Zigbee 和 4G/5G 网络等。每种传输方式有其独特的优势，WLAN 和 4G/5G 网络能够支持长距离、大流量的数据传输，适用于大规模的建筑物变形监测系统，尤其是在高层建筑或大型建筑群的监测中，可以实现广域覆盖和实时数据传输。而 Zigbee 和蓝牙等短距离通信技术，则适用于较小规模的传输，尤其是在需要进行局部监测、低功耗操作和简单部署的情况下，它们能够提供高效、稳定的通信连接。

在数据传输过程中，数据的安全性是至关重要的。由于传输的数据信息通常涉及建筑物的安全状况，因此需要通过加密技术来确保数据的安全性，防止数据在传输过程中被篡改或丢失。常见的加密技术包括数据加密、身份认证和访问控制等。这些安全措施能够保障传输过程中的数据隐私和完整性，确保监测数据的可靠性，避免因恶意篡改或数据丢失导致的安全隐患。

数据处理技术是智能传感器的重要组成部分。智能传感器通常配备内置处理单元，能够对采集到的数据进行初步的分析处理。数据处理主要包括信号的降噪、平滑处理以及无效数据的去除。降噪处理是为了去除由于环境干扰或仪器精度限制所带来的不必要信号，确保数据的准确性。平滑处理则是通过一定算法对信号进行处理，消除短时间内波动，使得数据更加稳定和可靠。此外，针对复杂的变形监测系统，实时数据处理能够有效减少数据传输和存储的压力，确保数据的时效性和准确性，使得监测结果能够实时反馈到控制平台，提供及时、精确的决策依据。

## 3.3 实时数据分析与决策支持

数据采集和传输完成后，下一步是数据的进一步分析与处理，才能为决策提供有价值的信息。实时数据分析技术能够快速对采集到的建筑物变形数据进行处理，将其与预设的安全标准进行比对，及时发现潜在的安全隐患。例如，当传感器监测到建筑物的变形值超过设定的安全阈值时，系统

能够实时发出预警，通知相关人员进行进一步的处理。实时预警功能为施工和建筑维护人员提供了宝贵的时间，使其能够及时采取防范措施，减少灾难性事件的发生。

除了基础的监测和预警，实时数据分析还可以通过机器学习和人工智能技术进行趋势预测，分析建筑物未来的变形趋势。这一预测能够帮助预测建筑物在未来一段时间内可能发生的变形，提前发现潜在的结构问题，为预防性维护提供科学依据。例如，基于传感器采集的历史数据和当前的变化趋势，智能分析系统能够预测建筑物的疲劳程度，建议合适的维护时间和方式，以防止更大范围的损坏。

智能传感器结合实时数据分析与决策支持系统，能够显著提高建筑物变形监测的响应速度和预防能力。这不仅有助于保障建筑物的结构安全，也为建筑物的长期运营和维护提供了强有力的支持 [4]。通过系统化的数据分析，建筑行业能够更好地应对潜在的安全风险，确保建筑物在整个生命周期中的稳定性和安全性。通过这些高效、智能化的监测和决策支持系统，建筑安全管理进入了一个新的时代。

## 4 案例分析与实践效果

在某大型商业建筑项目中，智能传感器技术被成功应用于建筑物的变形实时监测。该项目共布设了 200 多个智能传感器，涵盖了建筑物的主要结构部分，包括基础、承重墙、梁柱等关键区域。这些传感器能够实时采集建筑物在施工过程及使用过程中的变形数据，数据包括建筑物的倾斜度、位移、振动等重要指标，实时反映结构的健康状态。通过无线通信技术，传感器将采集到的数据无缝传输到监控平台，避免了传统有线传输可能带来的麻烦和限制，确保了数据传输的高效性和可靠性。

在数据处理和分析系统的支持下，监控人员能够实时查看建筑物的变形情况，并根据实时数据动态调整施工方

案。例如，在项目的后期阶段，监测系统通过精准的数据分析，发现了建筑物局部结构出现的微小变形，这些变形在传统监测手段中可能会被忽视。由于实时监测系统的介入，施工团队及时发现了潜在问题，并进行了必要的加固处理，避免了可能产生的安全隐患。这个成功的案例不仅证明了智能传感器在建筑物变形监测中的有效性和优势，也为类似项目提供了宝贵的经验。通过这样的技术应用，建筑行业能够更好地保障建筑安全，提升项目管理的精细化水平，减少风险，并确保建筑物的长期稳定性 [5]。

## 5 结论

智能传感器在建筑物变形监测中的应用，为传统监测方法提供了更加高效、精准的解决方案。通过实时数据采集、传输和处理，智能传感器能够有效提高监测效率和精度，确保建筑物的安全性。尽管在实践中仍存在一些挑战，如成本、数据处理和传输等问题，但随着技术的不断发展，这些问题有望得到解决。未来，随着人工智能、物联网和大数据技术的不断进步，智能传感器在建筑物变形监测中的应用将会更加广泛，并为建筑安全管理提供更加可靠的技术支持。

## 参考文献

- [1] 杨珺,王浩渺,潘倩,等.北斗卫星导航系统在水库大坝变形监测中的应用[J/OL].南水北调与水利科技(中英文),1-5[2025-07-01].
- [2] 李高峰,刘晓鹏,陈震震,等.BIM+无人机在钢结构运维阶段变形监测中的应用研究[J].智慧城市,2024,10(11):4-7.
- [3] 周云,陈建伟,邹少豪,等.基于星载InSAR技术的城市建筑群变形监测与安全风险评估研究综述[J/OL].土木工程学报,1-25[2025-07-01].
- [4] 陈洪志.高层建筑物变形监测技术分析[J].中国住宅设施,2024,(07):112-114.
- [5] 徐坤.高回填土新建建筑变形监测技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(18):96-98.

# Study on groundwater reserve assessment model of arid region based on multi-source remote sensing and ground hydrological measurement

Liangqing Huo

Shanxi Dezehou Geological Exploration Co., Ltd., Jinzhong, Shanxi, 030600, China

## Abstract

Groundwater resources in arid regions play a vital role in regional ecological and socio-economic development. However, traditional surface hydrological monitoring has limitations in comprehensively and dynamically reflecting storage variations. In recent years, multi-source remote sensing technology has opened new opportunities for groundwater reserve monitoring and assessment. This paper systematically reviews the theories, technologies, and model construction methods for groundwater reserve evaluation in arid regions based on the synergistic integration of multi-source remote sensing and surface hydrological observations, analyzing key implementation aspects. Case studies demonstrate that collaborative models exhibit significant advantages. The paper also explores emerging trends such as intelligent assessment models, providing support for water resource management and ecological conservation.

## Keywords

multi-source remote sensing; surface hydrological monitoring; arid regions; groundwater reserves; model integration; water resource assessment

# 多源遥感与地面水文测量协同的干旱区地下水储量评估模型研究

霍亮清

山西德泽厚地质勘查有限公司，中国·山西晋中 030600

## 摘要

干旱区地下水资源对区域生态与社会经济发展意义重大，但传统地面水文测量有局限，难全面动态反映其储量变化。近年来，多源遥感技术为监测和评估地下水储量带来新契机。本文以多源遥感与地面水文观测协同融合为基，梳理了干旱区地下水储量评估的理论、技术与模型构建方法，分析关键环节。经典型区域案例验证，协同模式优势明显。文章还展望了评估模型智能化等发展趋势，为水资源管理和生态保护提供支撑。

## 关键词

多源遥感；地面水文测量；干旱区；地下水储量；模型融合；水资源评估

## 1 引言

干旱区分布于我国西北、华北及部分中亚地区，是国家战略资源与生态屏障的关键部分。这里降水少、蒸发强、地表水有限，地下水是保障生态、农业、城市及工业用水的关键。但过度开发与气候变化致其储量锐减、水位下降、地面沉降，威胁水生态与社会可持续发展。科学评估地下水储量是水资源管理、调度及生态文明建设的基础。传统评估依赖地面水文测量，但受点位、空间、周期、成本等限制，难满足大尺度、动态化管理需求。多源遥感技术具大范围、周

期性、自动化观测优势，在区域水资源监测中潜力巨大。将多源遥感与地面测量融合，构建协同评估模型是前沿方向。本文梳理了模型构建路径等，为区域水资源管理提供理论与技术支持。

## 2 干旱区地下水储量评估的理论基础与技术现状

### 2.1 地下水储量评估的理论框架

地下水储量评估的理论基础主要依托地下水均衡原理和水量动态变化分析。通过定量描述地下水补给、径流、排泄与消耗等各环节的输入输出关系，实现区域水资源的科学核算。经典方法包括水量平衡法，通过长期监测降水、蒸发、地表径流与地下水位等指标，推算地下水储量的变化趋势；

**【作者简介】**霍亮清（1986—），女，中国山西长治人，本科，从事水文地质、测量研究。

地下水水流数值模拟(如 MODFLOW)则基于地下水流动方程,结合区域水文地质参数,对地下水系统进行空间动态模拟。SPAC(土壤—植被—大气连续体模型)和储水曲线法等方法进一步细化了水文过程的物理机制。上述模型的准确性依赖于充足的水文地质参数和高密度、长期的动态观测数据。然而,受限于干旱区地下水系统的复杂性和基础数据的空间代表性,传统方法在大范围、动态储量评估中存在一定局限,需与新兴技术深度融合加以改进。

## 2.2 地面水文测量的关键参数与技术特点

地面水文测量以高精度、物理属性明确为显著优势,主要包括地下水位动态观测、抽水试验、水文地质剖面分析、补给与排泄定量估算以及地面沉降监测等环节。这些测量手段不仅为模型提供权威的参数输入,也为水量平衡和流场模拟提供了实地校准依据。通过精确测量地下水埋深、补给量、排泄量等参数,能够反演区域水力传导性、储水系数等关键指标,显著提升模型定标和反演的可靠性。然而,地面水文测量受限于监测井点位分布和人工运维条件,难以实现干旱区大范围、长期连续观测。在地形复杂、交通不便或无人区,布设和维护监测设施面临技术与经济双重挑战。因而,地面水文数据更适于局部精细分析和遥感成果校正,是多源数据融合不可或缺的基础支撑。

## 2.3 多源遥感在地下水变化监测中的优势与不足

多源遥感技术突破了地面监测的空间和时效局限,为干旱区地下水变化的大尺度、动态化观测提供了全新途径。GRACE 重力卫星能够监测大范围内的总水储量变化,InSAR 技术则可对地表沉降进行高精度动态监测,从而间接反映地下水位波动。光学与微波遥感则侧重于反演地表水体、土壤湿度与植被覆盖等水文过程相关参数,便于综合分析区域水循环变化。遥感的主要优势在于空间覆盖无缝、自动化观测、时间分辨率高及历史数据可回溯,为地下水储量变化的动态监测与趋势分析提供有力支撑。然而,遥感数据在物理属性反演上存在一定的间接性和不确定性,空间分辨率有限,对地下水埋深及局部变化敏感度不足,需依赖地面观测数据进行辅助解译和误差校正。实现遥感与地面数据的深度融合,是提升干旱区地下水储量动态评估科学性和决策支撑力的关键技术方向。

# 3 多源遥感与地面水文测量协同评估模型构建

## 3.1 模型体系架构与参数集成思路

协同评估模型体系以区域地下水均衡理论为基础,强调多层次、多尺度参数的集成融合。模型首先通过遥感获取的区域水储量变化、地表沉降、植被覆盖等宏观变量,为整体水文变化提供边界条件。地面水文测量则补充了地下水位动态、补给与排泄关系、地质剖面等微观参数信息,实现对区域地下水系统结构和动态过程的细致刻画。整个模型体系划分为数据采集、预处理、参数反演、模型耦合和结果校

正五大环节,形成了遥感与地面数据优势互补、时空匹配、参数协同的多源信息集成框架。该思路能够充分挖掘不同数据源的互补性,通过多维参数的协同约束与动态优化,实现对干旱区地下水储量的高精度、多尺度动态评估,为区域水资源科学管理和决策提供坚实的技术支撑。

## 3.2 GRACE 与 InSAR 遥感数据的集成与利用

GRACE 卫星通过观测地球引力场变化,可大尺度反演区域水储量的总变化,尤其适用于干旱区地下水动态评估。InSAR 技术利用雷达干涉测量地表形变,能够灵敏捕捉因地下超采引发的地表沉降过程,为识别地下水抽采强度和空间分布提供有力证据。二者集成后,可实现“地表—地下”多维联动分析:GRACE 反映整体水量变化趋势,InSAR 则细化地面沉降分布和动态过程,通过二者的互约束增强地下水位变化和储量评估的科学性。为避免气象与水文过程的干扰,遥感数据需与降水、蒸散发、土壤湿度等气象与地表水文资料联合分析,精准剔除外源影响,提升模型的时空分辨率与动态响应能力。集成遥感技术不仅拓展了地下水储量监测的空间覆盖,也为模型评估提供了多源、动态、连续的数据支撑。

## 3.3 地面水文测量与遥感数据的协同建模

地面水文测量为协同模型提供了精准的初始条件、参数反演与空间约束,涵盖地下水埋深、补给区划分、水力传导性等关键指标。遥感监测则可修正地面数据的空间盲区和采样间断,强化模型在区域尺度上的整体约束能力。协同建模采用分层参数优化,将遥感宏观反演与地面微观观测融合,通过数据同化、模型嵌套和误差反演等机制,实现储量估算的动态优化。进一步结合 GIS 空间分析、统计推断与机器学习等前沿方法,模型能够自动调整参数权重,实现对地下水储量时空变化的高精度模拟和前瞻性预测。该协同建模框架,有效提升了模型的适应性与鲁棒性,为干旱区地下水科学评估与可持续管理提供了可扩展的技术基础和创新思路。

# 4 干旱区地下水储量协同评估模型的关键技术环节

## 4.1 数据预处理与空间同化

多源遥感与地面水文测量数据因观测原理和采集手段不同,存在时空分辨率、采集频率、数据精度等多方面差异。协同评估前,需对所有数据进行标准化处理,包括格式统一、空间重采样、异常剔除、缺测填补和空间配准。科学的数据预处理不仅消除不同数据源间的系统性偏差,也为后续建模和融合奠定基础。空间同化技术,如卡尔曼滤波、集合平均等,能够将不同时空尺度、观测精度的数据纳入统一的空间参考框架,实现多源信息的互补融合,有效提升数据整体可用性与模型输入质量。预处理与空间同化的严谨性,直接影响协同评估模型的稳定收敛与最终储量评估精度,是整个系

统科学性的首要保障。

## 4.2 模型参数反演与不确定性分析

多源协同模型依赖大量参数驱动，包括由遥感反演获得的区域宏观参数（如地表蒸散发、地壳形变）和由地面测量反演的微观水文地质参数（如水力传导性、储水系数等）。为确保模型的科学性与实用性，必须开展系统的参数敏感性分析和不确定性定量评价。常用方法包括贝叶斯推断、蒙特卡洛模拟等，通过统计手段综合历史观测、遥感推算与现场监测数据，对模型输出的不确定性进行动态校正。多维交叉验证闭环，即“遥感—地面—模型”三重互校，显著提升了参数估算的可信度和模型鲁棒性，有效避免了单一数据源带来的系统误差，为地下水储量动态评估提供了坚实的科学依据。

## 4.3 动态优化与实时监测机制

随着遥感、物联网和自动化监测技术的不断发展，地下水协同评估模型正朝着智能化、实时化方向快速演进。现代模型集成自动数据采集、模型自适应调参与动态优化功能，实现对地下水储量的持续滚动更新和动态监测。通过实时采集气象、用水、地表径流等外部数据，并与地下水动态模型耦合，可对干旱区地下水资源进行前瞻性管理与多情景预警分析。模型结构、参数和数据源支持动态调整，随着观测手段和算法的进步不断自我完善。该机制不仅提升了评估的时效性和响应速度，也为区域水资源管理部门提供了更为科学、主动的决策支持工具，是未来地下水储量评估智能化、精细化管理的必然趋势。

# 5 典型干旱区应用案例与模型评估成效

## 5.1 西北内陆河流域协同模型应用

以河西走廊、塔里木盆地等西北典型干旱区为代表，协同模型应用基于 GRACE 重力卫星和 InSAR 地表形变数据，结合区域水文观测并与地质剖面资料，形成了多源数据融合的地下水储量动态评估体系。通过构建时空耦合模拟模型，能够精准反映区域地下水储量的时序变化和空间分布特征，对地下水补给、消耗与动态埋深实现全过程动态监控。该模型不仅提升了对地下水资源变化的预测能力，还为流域水资源调度、生态修复工程提供了量化、科学化的决策依据。研究结果表明，协同模型评估结果与多期实测数据吻合度高，能有效提升干旱区地下水储量评估的时空分辨率和动态响应能力，为干旱区水资源的可持续利用和生态保护提供了坚实技术支撑。

## 5.2 黄河流域上游干旱带地下水评估

针对黄河流域上游干旱带，协同模型通过 GRACE 反演总水储量数据与地面观测站水位变化进行耦合，建立地

表—地下水一体化评估体系。该模型能揭示地下水补给过程、消耗路径以及埋深的动态变化，准确捕捉季节性与年际变化趋势。在模型参数优化和误差校正环节，通过水文地质调查、抽水实验与遥感观测结果的对比验证，确保评估精度和科学性。实际应用表明，模型输出与实测数据一致性高，评估误差控制在合理范围，有效提升了区域资源配置的科学性与前瞻性。成果为黄河上游灌溉规划、用水红线制定及地下水管理政策提供了重要决策支持，显著降低了地下水过度开采和生态风险。

## 5.3 国际干旱区协同模型推广实践

协同模型在中亚、非洲等典型国际干旱区的推广应用，显著提升了跨境水资源的动态评估和科学管理水平。多国合作项目中，借助 GRACE、InSAR 与地面监测井等多源观测数据融合，实现了对区域地下水储量的高效动态共享和多尺度决策支持。协同模型不仅为区域水资源的可持续利用和调度提供了数据基础，也为国际流域水资源协商、生态恢复工程及水灾害预警等提供了科学工具。实践证明，协同模型具备良好的适应性和推广性，有力推动了跨境水资源管理体制创新与国际水务合作，为全球干旱区地下水资源保护和利用提供了可复制、可持续的发展范式。

# 6 结语

多源遥感与地面水文测量协同的干旱区地下水储量评估模型，是实现地下水科学管理与生态安全保障的关键技术路径。该模型通过多源观测数据的集成融合，有效提升了地下水储量动态监测的精度、时效性和空间覆盖能力，为干旱区水资源合理调度与政策制定提供了坚实基础。未来，应持续完善遥感与地面观测技术，推动模型智能化、自动化、精细化发展，加强跨学科合作与国际经验共享，不断提升地下水储量评估的科学水平与管理价值。

## 参考文献

- [1] 孙立全,郭家龙,苑紫岩,等.基于深度学习和地理分析的淤地坝遥感识别[J].农业机械学报,2025,56(09):526-535.
- [2] 尚嗣梁,陈国鹏,杨永红.无人机多源数据与机器学习协同的冻胀丘高精度识别及多尺度空间聚集研究——以美仁草原为例[J/OL].生态学报, 2026,(01):1-17[2025-09-23].
- [3] 乔锴, 黄勇, 权立诚, 等。西藏马攸木地区多源遥感蚀变信息提取研究及找矿预测[J/OL]。地质通报, 1-16[2025-09-23].
- [4] 林国敏,邓仕雄,刘继庚,等.无人机多光谱遥感技术对城市水生态环境监测研究应用进展[J].中国水运,2025,(18):87-88+117.
- [5] 邓辉婷,赵婉妤,李应裕庭,等。机器学习耦合多源变量预测农田重金属分布与生态风险[J/OL]。农业环境科学学报, 1-14[2025-09-23].

# The Application of GNSS and Leveling Measurement Fusion Technology in Deformation Monitoring of Water Conservancy Projects

Lijin Yang

Xinjiang Jianghai Surveying and Mapping Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

In the guarantee system for the long-term safe operation of water conservancy engineering structures, deformation monitoring technology plays a key role. GNSS technology has the advantages of all-weather and highly automated real-time three-dimensional positioning, while leveling measurement has a significant advantage in vertical direction accuracy control. The integration and application of the two in deformation monitoring of water conservancy projects can not only achieve the unification of high precision and high timeliness of monitoring data, but also enhance the stability and adaptability of the monitoring system in complex environments. This paper systematically discusses the principle characteristics, fusion paths, data processing methods of GNSS and leveling technology, as well as their practical effectiveness in engineering deformation monitoring. It proposes the comprehensive advantages of fusion technology in improving monitoring accuracy, enhancing system reliability, and optimizing engineering early warning response capabilities. It emphasized the significant importance of building a standardized and intelligent integrated monitoring system for the safe operation of water conservancy projects.

## Keywords

GNSS Leveling measurement Deformation monitoring Fusion technology Water conservancy project

# 水利工程变形监测中 GNSS 与水准测量融合技术应用

杨立晋

新疆疆海测绘科技有限公司，中国·新疆乌鲁木齐 830000

## 摘要

在水利工程结构长期安全运行的保障体系中，变形监测技术发挥着关键作用。GNSS 技术具备全天候、高自动化的实时三维定位优势，而水准测量则在垂直方向精度控制上具有显著优势。二者融合应用于水利工程变形监测，不仅能实现监测数据的高精度与高时效统一，还能在复杂环境下提升监测系统的稳定性与适应性。本文围绕 GNSS 与水准测量技术的原理特性、融合路径、数据处理方法及其在工程变形监测中的实际效能进行系统探讨，提出融合技术在提升监测精度、增强系统可靠性和优化工程预警响应能力方面的综合优势，强调了构建标准化、智能化的融合监测体系对水利工程安全运行的重要意义。

## 关键词

GNSS；水准测量；变形监测；融合技术；水利工程

## 1 引言

水利工程结构长期处于自然荷载与人为扰动的综合作用下，极易发生微小甚至隐蔽的变形过程，若不能及时掌握其变化趋势，将对工程安全与运行稳定性构成潜在威胁。变形监测作为防灾减灾体系的关键环节，正逐步向高精度、自动化和实时化方向发展。GNSS 技术以其全天候、长距离、高动态性能受到广泛应用，而水准测量则以高精度的高程控制能力在关键节点中仍具不可替代的作用。将两种技术融

合，形成多维度、高精度的协同监测体系，已成为当前变形监测的发展趋势。本文从技术融合出发，探讨其在水利工程监测中的实际应用价值与优化路径，以期为提升监测体系效能提供理论与实践支持。

## 2 GNSS 与水准测量技术原理概述

### 2.1 GNSS 定位技术的基本原理与误差来源

GNSS 定位技术通过接收多个导航卫星发射的微波信号，基于多站观测和时间差计算出接收端的空间三维坐标，常用系统包括 GPS、GLONASS、北斗等。GNSS 利用载波相位观测、伪距测量、星历信息与钟差数据完成定位解算，可实现静态或动态的连续测量。其核心在于同步多个卫星与

【作者简介】杨立晋（1984—），男，中国新疆奇台人，本科，高级工程师，从事水利工程测量研究。

地面站的时间信息并构建几何结构以增强定位精度。在实际应用中, GNSS 系统易受多路径效应、电离层延迟、对流层折射、星历误差、天线相位中心偏移等因素干扰, 引发坐标解算偏差。基准站布设不合理、观测时间不足、设备自身噪声也可能降低测量稳定性。在变形监测中, 这些误差必须通过差分处理、滤波算法或融合校正机制加以控制, 才能保证其在工程安全监测中的实用性与高精度。

## 2.2 水准测量技术的测量机制与精度特性

水准测量技术主要依靠水平视线比测高差的方式确定目标点间的高程关系, 采用水准仪与配套尺子进行观测操作。通过设定观测点的已知高程作为基准, 结合前视与后视读数差值求取未知点的高程, 测量过程需要严格控制仪器整平、尺垂度和视距平衡。水准测量按精度等级可分为普通水准、中等级水准与高精度水准, 常用于水工建筑物关键部位的沉降监控。其突出特点是抗干扰能力强, 受外界电磁、气候等因素影响较小, 尤其在小范围垂直位移监测中精度可达亚毫米级。但其测程受限、作业效率低、人工参与度高等问题使其难以满足大范围、实时化需求。为提升测量效率并兼顾高精度, 需结合其他现代技术进行协同使用, 实现对高程变化的稳定追踪。

## 2.3 两种测量技术在变形监测中的优势互补关系

GNSS 与水准测量技术在测量机制、空间维度、适用场景等方面存在显著差异, 但二者在变形监测中的应用具有高度互补性。GNSS 技术可实现长时间、全自动的三维定位, 适用于广域布点和动态过程监测, 其数据更新频率高、响应速度快, 有助于捕捉工程结构形变的空间特征。而水准测量凭借其在垂直方向的高精度优势, 适合在关键控制点进行定期复测与高程校正, 为 GNSS 监测提供稳固的垂向控制基准。在实际工程中, 将 GNSS 数据作为主控信息, 结合水准测量结果进行高程修正与偏差拟合, 不仅能提升整体监测精度, 还能增强异常变形识别能力。两种技术融合构建的监测系统, 在空间分辨率、时间响应性与测量精度方面形成互补支撑, 为水利工程安全运行提供更加全面的技术保障。

# 3 水利工程变形监测的技术需求分析

## 3.1 水工建筑物变形监测的关键指标与变化特征

水工建筑物在运行过程中受水压、地基沉降、温度变化及荷载波动等因素影响, 可能产生位移、倾斜、沉降、裂缝等多种形式的结构变形。变形监测的核心指标包括平面位置变化、高程变化、结构应力响应及变形速率等, 需对其变化趋势、累积量和周期性波动进行持续追踪。工程早期变形幅度通常较大, 随后趋于稳定, 而突发性或加速性变形往往预示潜在结构隐患。因此, 监测系统应具备高灵敏度、高频采样与稳定的长期运行能力。变形特征具有渐进性、非线性与不确定性, 需要通过多点布控、连续测量与历史数据比对识别其发展规律。为满足这些监测需求, 技术手段需支持多

维度数据采集、高精度定位与数据自动化处理, 实现结构形态的动态可视化与预警模型构建。

## 3.2 传统测量方法在复杂环境下的局限性分析

在山地、峡谷、水库岸坡等地形复杂区域, 传统的水准测量、全站仪测距等方法在布设路径、视线通畅性、测量周期等方面均受到显著限制。水准路线难以连续布控, 地形遮挡、作业人员进出受限等问题增加了测量误差与作业风险。在极端气候条件下, 人工测量效率明显下降, 数据更新周期延长, 难以满足实时监控的需求。此外, 人工操作对人员经验依赖度高, 数据采集过程易产生系统性偏差, 影响监测结果的稳定性与可比性。在施工期与运行期变形速率较快阶段, 传统方法难以及时反映微小变化, 存在监测盲区与信息延迟问题。这些局限性促使工程测量从单一技术走向多源融合, 以克服环境适应性差与测量响应迟滞的瓶颈, 提高变形监测的全面性与精确性。

## 3.3 高频动态监测对测量系统稳定性的要求

水利工程某些关键部位在汛期、水位剧烈变化或运行负荷变化时, 结构变形表现出动态性与突发性, 要求监测系统具备高频次数据采集与实时传输能力。监测系统需长时间稳定运行, 保障数据链路不中断、数据完整性不受影响, 并具备容错能力与自校验功能, 提升异常工况下的监测可靠性。系统还需支持多类型传感器接入与数据同步处理, 提升对微小形变的识别能力。为防止误报与漏报, 必须建立完备的时空数据匹配机制与滤波算法, 对外部干扰进行有效剔除。高频监测对电源稳定、设备维护与环境适应性也提出更高要求, 系统结构设计应兼顾布设灵活性与抗干扰能力。在融合 GNSS 与水准测量的技术框架下, 动态监测体系可有效满足变形发展全过程的连续跟踪与趋势预测需要。

# 4 GNSS 与水准测量融合的技术路径

## 4.1 测量数据的坐标统一与基准转换方法

在 GNSS 与水准测量的融合过程中, 不同测量系统所获取的数据往往基于不同的空间参考框架, 需要通过坐标统一和基准转换确保数据间的可比性和一致性。GNSS 测量结果通常采用地心坐标系统或区域大地坐标系表示, 水准测量则以国家高程基准为基础, 侧重于高程数值的精细控制。将两者结合需构建包括大地高、正常高和正常高差之间转换关系的模型, 同时利用已知的公共控制点作为基准, 通过最小二乘拟合或参数平差等方法建立坐标转换模型。转换过程中需考虑椭球参数、大地水准面起伏、重力异常等多源误差影响, 以实现空间三维坐标与高程体系的精确对接。坐标统一不仅是数据融合的前提, 也是保障监测精度和动态变化趋势分析可信度的基础, 对监测系统整体稳定运行具有重要意义。

## 4.2 融合算法设计与差异权重的调整机制

GNSS 与水准测量的融合需要构建适应不同测量精度与

数据特性的权重分配机制，以实现多源数据的优化整合。融合算法以加权平差为基础，结合两类数据的观测方差、历史稳定性和当前环境条件设定差异性权重，通过卡尔曼滤波、贝叶斯融合或最小二乘动态调整方法对融合结果进行优化。**GNSS** 数据在动态响应方面具有时效优势，但在垂直方向上误差较大，水准数据在高程方向精度高但更新频率低，需合理平衡其权重比例。算法设计中还需考虑数据冗余控制、误差传播路径及参数稳定性，以保证融合结果的可靠性与稳定性。通过差异敏感调整和反馈迭代机制，可实现对突变数据的抑制和异常值的剔除，进一步提升融合系统的鲁棒性和适应能力，为复杂工程环境下的实时变形监测提供技术支撑。

#### 4.3 多源测量数据的实时采集与融合建模流程

融合监测系统的数据采集与建模流程需在硬件接入、数据流转与模型计算之间实现高效协同。**GNSS** 模块通过接收天线和数据采集终端进行持续坐标解算，水准测量则以定期巡测方式补充高程数据，二者通过无线通信或局域网络统一上传至监测平台。在数据采集阶段需进行格式标准化、时间戳匹配与空间坐标同步，确保数据在同一时空基准下参与建模。融合建模依托三维形变模型或时间序列模型，以连续数据拟合变形趋势，并引入环境因子修正模型对气候、地质等外界影响进行调节。系统还需具备实时分析、趋势预测与预警功能，通过模型输出结果驱动监测响应机制。整个流程强调自动化运行、容错能力与数据闭环管理，在保障数据连续性的基础上实现融合分析的高效执行。

### 5 融合技术在变形监测中的应用效能分析

#### 5.1 变形信息提取精度的提升效果

**GNSS** 与水准测量技术的融合显著提升了变形监测结果的精度水平，尤其在高程变化识别方面效果更为突出。**GNSS** 技术在水平方向具备较高的解析能力，但垂直方向受电离层延迟、多路径效应等干扰影响较大，而水准测量能够在短距离内实现毫米级高程控制。通过融合处理，系统可对 **GNSS** 获取的垂向数据进行修正补偿，消除系统偏差与随机误差，提高整体数据精度。在空间监测网络中布设多个 **GNSS** 基站与水准测点形成互为校验的冗余结构，有助于异常点识别与误差溯源分析。融合后变形信息的提取可在毫米级别内实现动态变化捕捉，有效支撑工程早期微小变形识别与临界状态判定，满足高标准水利工程对监测精度的严苛要求。

#### 5.2 数据冗余提升监测系统可靠性的表现

融合技术构建了多路径、多传感器互为补充的数据结构，为监测系统带来显著的数据冗余优势。**GNSS** 连续观测提供实时三维定位，水准测量周期性复测为系统提供基准核校数据，两者在数据流中相互印证，形成双重验证机制。该

结构可在设备故障、信号丢失、天气干扰等情况下提供备用数据来源，增强系统抗风险能力。通过冗余数据对比分析，还可发现系统运行中潜在的误差趋势与传感器漂移情况，便于运维人员提前介入调整。在监测数据采集频率提高的同时，融合机制提升了容错阈值，有效减少误判与信息遗漏现象。监测系统在面对环境变化或工程干扰时仍能保持稳定运行状态，提升了关键期变形识别的准确性与工程安全保障水平。

#### 5.3 动态与静态信息融合对监测周期优化的推动

动态信息以 **GNSS** 等连续测量数据为主，能实时反映工程结构运行状态，静态信息则以水准测量等定期数据为核心，强调高精度基准控制。二者融合为监测周期的优化提供了新的技术基础。在非关键变形期可依赖 **GNSS** 持续监控，减少人工干预与测量成本，在结构状态突变或检测预警时再辅以高精度水准测量验证，提升监测系统的响应效率与资源配置合理性。通过融合建模分析可提取结构变形的周期性规律与阶段特征，为制定监测频率与测点布设策略提供依据。周期优化不仅提升了数据采集效率，也增强了对突发性结构风险的识别能力，保障了水利工程运行期间的预警能力和响应速度。在资源有限的条件下实现了监测效率与精度的协调发展，是融合技术在实际工程应用中的重要价值体现。

### 6 结语

**GNSS** 与水准测量的融合应用，为水利工程变形监测提供了更为高效、精准和稳定的技术支撑。该技术路径不仅弥补了单一测量方法在空间精度和环境适应性方面的不足，也推动了监测系统向实时化、自动化与智能化方向转型。在工程运行过程中，通过融合算法实现多源数据协调，提升了变形信息提取的准确性与监测响应的及时性，有效保障了工程结构的长期安全稳定。未来应进一步完善融合机制与数据管理体系，拓展其在更复杂工况下的适用范围，为水利工程安全管理提供更有力的技术保障与决策支撑。

#### 参考文献

- [1] 赵军平,杨昆仑,魏亚龙.高精度**GNSS**变形监测网在水库工程的应用[J].陕西水利,2025,(09):103-105.
- [2] 范志峰.水利工程中引水隧洞施工控制测量的技术要点[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):71-73.
- [3] 刘玉中.基于**GNSS**技术的水利工程高精度地形测量方法研究[A].智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集（二）[C].重庆市大数据和人工智能产业协会、重庆建筑编辑部、重庆市建筑协会:2025:794-796.
- [4] 姜卫平,谢秉辰,陈渠森,陈华,陈剡,赵小阳,韩荣荣.融合**GNSS**与RTS观测值的紧组合变形监测方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(05):823-835.

# Research on the Adaptive Optimization of River Topography Survey in Water Conservancy and Hydropower Projects

Huaping Chen

Guangdong Yue Hydropower Survey and Design Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528000, China

## Abstract

This paper focuses on the adaptive optimization of river topography survey in water conservancy and hydropower projects, systematically exploring the application paths of modern technologies such as 3S, GPS, GIS, and RS with traditional engineering geophysical exploration methods like gravity and magnetic exploration, seismic reflection, and electromagnetic exploration. It also analyzes the measurement advantages of new geophysical exploration methods, including the color television system for drilling and geophysical tomographic imaging technology. By analyzing the principles and key points of application of each technology, this paper aims to provide technical support to enhance the accuracy, efficiency, and adaptability of river topography survey. The rapid development of new surveying technologies has made it crucial to construct an adaptive optimization measurement system that integrates multi-source data, which is essential for improving the precision of river topography modeling and the scientific nature of engineering decision-making.

## Keywords

water conservancy and hydropower; topography survey; application

# 水利水电工程河道地形测量的适应性优化研究

陈华平

广东粤水电勘测设计有限公司，中国·广东 佛山 528000

## 摘要

本文聚焦水利水电工程河道地形测量的适应性优化，系统探讨 3S、GPS、GIS、RS 等现代技术与重磁勘探、地震反射法、电磁勘探等传统工程物探技术的应用路径。同时分析钻孔彩色电视系统、地球物理层析成像技术等新型物探手段的测量优势，通过剖析各技术原理与应用要点，为提升河道地形测量的精准性、效率与适应性提供技术支撑。新型测绘技术的快速发展，如何构建多源数据融合的适应性优化测量体系，成为提升河道地形建模精度与工程决策科学性的关键课题。

## 关键词

水利水电；地形测量；应用

## 1 引言

水利水电工程作为水资源开发与防洪减灾的核心基础设施，其规划、设计及施工均需依赖高精度河道地形数据支撑。然而，复杂自然河道的动态演变特征（如冲淤变化、岸坡侵蚀）与传统测量技术的局限性（如效率低、成本高、难以覆盖复杂地形），导致现有测量方案在精度、时效性及适应性方面存在显著不足。

## 2 地形测量技术在水利水电工程中的意义

在水利水电工程全生命周期中，地形测量技术作为核心支撑，其意义贯穿工程规划、设计、施工与运维的各个环节，是保障工程安全、高效、可持续运行的关键基石。从宏

观层面看，精确的地形测量数据为工程选址提供了不可替代的科学依据。在坝址选择过程中，通过 3S 技术与传统物探技术结合，能够全面评估区域地形地貌、地质构造及水文条件。例如，利用 GIS 技术整合多源数据生成的高精度数字高程模型（DEM），可直观呈现河道的坡度、坡向及汇水区域，结合重磁勘探与地震反射法获取的地下地质结构信息，能有效规避断层、溶洞等不良地质区域，确保坝址具备良好的地基稳定性与防渗条件，避免因选址不当导致的工程风险与经济损失。

在工程设计阶段，地形测量技术为方案制定提供了详实的数据基础。基于 RS 技术获取的多时相遥感影像，设计人员可清晰掌握河道演变趋势，结合 GPS-RTK 技术提供的高精度地形坐标，能够精准规划河道整治、堤坝建设及输水线路走向。例如，通过无人机倾斜摄影生成的三维实景模型，不仅包含地形信息，还能真实还原河道周边的植被、建筑物

**【作者简介】**陈华平（1995-），男，瑶族，中国湖南永州人，本科，工程师，从事水利水电勘测研究。

等环境要素，使设计方案更贴合实际地形条件，减少施工过程中的设计变更。同时，地球物理层析成像技术揭示的地下地质体分布，为基础设计、防渗处理等关键环节提供精准数据，优化设计方案，提升工程的安全性与经济性。

进入施工阶段，地形测量技术是确保工程质量与进度的重要保障。施工前，利用 3S 技术实时传输的测量数据，可快速建立施工区域的三维坐标基准，指导施工机械精准作业；施工过程中，通过持续的地形监测，及时发现因开挖、填筑等施工活动引发的地形变化，利用钻孔彩色电视系统辅助判断地基处理效果，确保工程施工符合设计要求。此外，在高边坡、深基坑等危险作业区域，基于 GPS 与 GIS 的实时监测系统能够对地形变形进行动态预警，保障施工人员安全与工程顺利推进。

工程建成后的运维阶段，地形测量技术同样发挥着不可替代的作用。河道地形会因水流冲刷、泥沙淤积等自然因素发生变化，通过 RS 技术周期性获取的遥感影像，结合 GIS 的空间分析功能，可及时掌握河岸线迁移、河床演变等情况，为河道清淤、岸坡防护等维护工作提供决策依据。同时，利用电磁勘探与电法勘探技术对堤坝进行定期检测，能够及时发现渗漏通道、空洞等隐患，结合地球物理层析成像技术精准定位异常区域，为针对性的维护加固提供技术支撑，延长工程使用寿命，保障工程长期稳定运行。

### 3 3S 技术在河道地形测量中的应用

#### 3.1 3S 技术的测量数据传输优化

在河道地形测量作业中，3S 技术凭借其高速数据传输特性，彻底革新了传统数据传输模式。当野外测量人员使用全站仪对河道控制点进行测量，或是运用多波束测深仪开展水下地形探测时，通信网络如同一条无形的“数据高速公路”，能以每秒百兆级的传输速率，将地形坐标、高清影像等海量数据实时回传至数据中心。与传统的存储介质带回处理方式相比，不仅避免了因存储设备损坏导致的数据丢失风险，还消除了人工搬运数据过程中可能出现的延迟。此外，采用的通用数据传输协议具备极强的适配性，无论是老旧型号的测量设备，还是新型智能化仪器，都能实现无缝对接，极大地提升了测量数据的时效性与完整性。在水利水电工程建设中，通过 3S 技术构建的动态监测体系，工程师可实时掌握河道地形变化情况，为工程施工进度调整与安全管控提供有力保障。

#### 3.2 GPS 技术的高精度定位测量

GPS 技术依托全球卫星定位系统，为河道地形测量带来了前所未有的高精度定位能力。在河道控制点布设工作中，传统测量方式往往需要在通视条件良好的情况下，耗费大量时间与人力进行控制点的测量与标定，而 GPS-RTK（实时动态）技术打破了这一限制。测量人员只需将 GPS 接收设备安置在测量点，短短几分钟内，便可获取厘米级甚至

毫米级精度的三维坐标数据。在山区河道，由于地形复杂、植被茂密，传统测量方法难以实施，GPS 技术却能轻松应对，在无通视条件下快速完成测量任务，测量效率较传统方式提升数倍。其差分定位模式通过基准站与流动站之间的信号差分处理，有效消除了卫星信号传播误差、电离层延迟等干扰因素，即便在信号遮挡严重的峡谷河道区域，也能确保定位数据的可靠性，为河道地形测绘提供了精准的空间坐标基础。

#### 3.3 GIS 技术的地形数据管理与分析

GIS 技术构建的空间分析平台，为河道地形数据管理与分析提供了强大的技术支撑。当 GPS 测量获取的坐标数据与 RS 遥感影像数据导入 GIS 系统后，系统可通过先进的算法，自动生成高精度的数字高程模型（DEM）。在这个三维可视化的模型中，河道的每一处地形起伏、每一个弯道走向都清晰可见。利用 GIS 的空间分析功能，工程师可对河道地形进行深入研究，精确计算出坡度、坡向等地形参数，分析汇水区域的分布情况。在水利水电工程选址阶段，通过 GIS 技术对不同区域的地形条件、地质状况等因素进行综合评估，能够快速筛选出最优的坝址位置；在防洪设计中，借助其模拟洪水演进过程，可科学规划防洪堤的高度与走向；在河道整治方案制定时，通过对地形数据的分析，合理规划河道疏浚与拓宽工程，为水利水电工程建设提供全面、科学的决策依据。

#### 3.4 RS 技术的大范围地形信息获取

RS 技术借助航空、卫星遥感平台，实现了对河道地形的大面积、周期性监测。高分辨率卫星遥感影像，如同“天眼”般，能够捕捉到河道的细微变化，准确识别河岸线的迁移、水域面积的增减等信息。通过对不同时期遥感影像的对比分析，研究人员可以清晰掌握河道多年来的演变趋势，为预测河道未来发展变化提供数据支持。无人机遥感在局部河道测量中发挥着独特优势，其灵活的飞行特性使其能够贴近河道进行低空飞行，获取分辨率达厘米级的高精度地形影像。配合倾斜摄影技术，可生成逼真的三维实景模型，模型中不仅包含精确的地形信息，还完整保留了河道周边建筑物、植被等纹理细节，为工程设计人员提供了直观、详细的空间信息，使设计方案更加贴合实际地形情况。

### 4 河道地形测量中 GPS 地形图测量技术

在工程河道 GPS 地形图测量中，精度控制、变形监测和水域测量是关键环节，以下是相关介绍：

#### 4.1 精度控制

控制网优化是保障测量精度的核心环节，需结合项目精度需求、地形条件等综合规划，具体从布设、测量模式、数据处理三方面发力：

科学布设控制点：基于项目整体测量范围和精度标准，采用“分级布网、逐级控制”原则布设 GPS 控制点。在平

原等地形简单、精度要求常规的区域，按规范间距均匀布设；重点加密地形复杂（如山地、丘陵、水域周边）及精度要求高（如工程施工核心区、精密测绘路段）的区域，通过缩小控制点间距、增加布设密度，提升对复杂地形的覆盖度和数据采集可靠性。

**选用高效测量模式：**优先采用静态 GPS 测量模式，该模式通过将 GPS 接收机固定在控制点上进行长时间连续观测（观测时长根据精度等级调整，常规精密测量不低于 45 分钟，超高精度测量需延长至数小时），有效减少卫星信号漂移、电离层干扰等因素带来的误差。同时，对关键控制点采用“多时段观测”策略，分别在不同时间段（如上午、下午、夜间）进行多次测量，进一步规避时段性干扰。

**精准处理观测数据：**对多次观测获取的原始数据，先通过专业软件进行预处理，剔除信号失锁、信噪比过低等无效数据；再采用“多次测量取平均”的方法，结合最小二乘法等数据处理模型，对有效观测数据进行平差计算，削弱偶然误差影响，最终确定高精度的控制点坐标，为后续测量工作提供可靠基准。**2.2 设备校准与选型：**定期对 GPS 设备进行检校，确保仪器的准确性。根据工程精度要求选择合适的 GPS 接收机，如高精度的 RTK 设备，其平面定位精度可达到厘米级。

**测量环境选择：**避开高大建筑物、树木等对 GPS 信号有遮挡的区域，选择开阔地带进行测量。同时，远离无线电发射站、变电站等干扰源，减少信号干扰。

**数据处理与质量检查：**采用专业的数据处理软件，对采集的数据进行严格的质量检查，剔除异常数据。通过增加观测次数、进行重复测量等方式，提高数据的可靠性。

## 4.2 变形监测

**监测点布设：**在河道堤防、边坡等容易发生变形的部位，合理布设变形监测点。监测点应具有良好的稳定性和代表性，能够反映实际的变形情况。

**监测频率设定：**根据工程的重要性和变形趋势，确定合理的监测频率。在工程施工期间或变形活跃期，增加监测次数；在稳定期，可适当减少监测频率。

## 4.3 数据处理与分析

利用 GPS 技术实时获取监测点的坐标数据，通过与初始坐标进行对比，计算出变形量。采用统计分析、趋势分析等方法，对变形数据进行分析，及时发现变形异常情况。

## 4.4 预警机制建立

设定变形预警阈值，当变形量超过阈值时，及时发出预警信号。预警机制应包括预警方式、预警对象和应急处理措施等，确保能够及时采取措施应对变形问题。

## 5 水域测量

**水下地形测量方法：**采用 GPS 与测深仪协同测量技术，GPS 实时定位平面坐标，测深仪同步采集水下深度数据，结合实时水位观测值，通过“水底高程=水位高程-实测水深”公式精准计算水底高程，实现水下地形的三维数据采集。

**测深仪校准与参数设置：**测量前需完成测深仪零位校准（消除换能器安装误差）和测深比对校正（与标准深度值校验）；根据水质（浑浊度、含沙量）、水深（浅水区 < 5 米、深水区 > 20 米）差异，调整工作频率（浅水用高频、深水用低频）及发射功率，保障数据有效性。

**测量路线规划：**按“平行断面法”规划路线，直线段按等间距布设，确保全覆盖；在弯道（水流复杂区）、浅滩（水深突变区）等关键区域，缩小断面间距、加密测量点，提升数据分辨率。

**数据处理与成图：**用专业软件整合 GPS 与测深数据，经编辑（剔除异常值）、滤波（消除信号干扰）后，生成水下地形图；成图时注重等高线平滑衔接，清晰标注浅滩、深槽等关键地物，兼顾准确性与可读性。

综上所述，3S 技术、GPS 地形图测量技术，共同构建起河道地形测量的多元技术体系。3S 技术凭借其高效的数据传输、高精度定位、空间分析及大范围监测能力，为河道地形测量提供了宏观把控与精准数据支撑；地形图测量技术设备精准专业，这些技术不仅显著提升了河道地形测量的效率与准确性，更为水利水电工程的科学选址、安全设计、合理施工奠定坚实基础，有力推动着水资源开发与河道治理工作迈向更高水平，为保障生态安全与经济可持续发展提供强大的技术保障。

## 参考文献

- [1] 三维激光扫描仪在河道带状地形测量中的应用. 吴伟;廖超;刘海洋;彭格;徐亚龙.江西科学,2023(03)
- [2] 水陆一体化扫测系统在长江中游河段河道地形测量中的应用研究. 杜俊杰;吴昊;张怀球.长江工程职业技术学院学报,2018(01)
- [3] GPS 在水文河道地形测量中的应用. 孙明龙.科技创新导报,2022(31)

# Precision analysis of 3D laser scanning in mineral resource management mapping

Dongdong Chen

Maguan County Natural Resources Bureau, Wenshan, Yunnan, 663700, China

## Abstract

Accurate topographic and geological data acquisition constitutes the fundamental prerequisite for effective mineral resource management and scientific governance. Conventional surveying methods often demonstrate limitations in efficiency and precision when applied to complex mining environments. This study investigates the application of 3D laser scanning technology in mineral resource mapping, with a focus on its precision characteristics. Through detailed technical explanations, comprehensive analysis of precision determinants, and optimization strategies supported by specific parameters and case studies, the research provides theoretical foundations and practical guidance for precise implementation of this technology in mining operations. The findings aim to advance the refinement and efficiency of mineral resource management systems.

## Keywords

3D laser scanning; mineral resources; precision analysis

# 三维激光扫描在矿产资源管理测绘中的精度分析

陈冬冬

马关县自然资源局，中国·云南文山 663700

## 摘要

矿产资源管理测绘工作之中，准确得到地形、地质之类的信息是保证资源合适开采并开展科学治理的基本条件。传统测绘手段在复杂矿区环境面前，常常出现效率低、精度受限的状况。本文聚焦于三维激光扫描技术在矿产资源管理测绘领域的应用，深入探究其精度特性。通过对技术原理的详细阐释、影响精度因素的全面剖析以及优化策略的研究，结合具体技术参数与实际案例，旨在为该技术在矿业实践中的精准应用提供理论支持与实践指导，推动矿产资源管理的精细化与高效化发展。

## 关键词

三维激光扫描；矿产资源；精度分析

## 1 引言

三维激光扫描技术因其非接触、高精度以及可以迅速获取海量数据等优势，渐渐变成矿产资源测绘的关键技术。但实际应用时其精度会受到诸多因素的影响，研究该技术原理、分析影响精度的因素并寻找改进方法，对于促进矿产资源管理精细化与高效化具有重要意义。

## 2 三维激光扫描技术原理剖析

### 2.1 激光测距核心机制

三维激光扫描以光速恒定与时间飞行法为基础实现测距。扫描仪发射特定波长激光脉冲，经光学系统准直后投向目标，遇目标漫反射，部分能量沿原路返回被接收器捕获。

系统借测定激光往返时间差及光速算出扫描仪中心至目标点距离。主流地面设备激光波长多在 532nm - 1550nm 间，不同波长有不同穿透力与抗干扰性。高端扫描仪 50 米内单点测距精度达  $\pm 2$  毫米，其性能受脉冲频率、功率、接收器灵敏度等参数影响，关乎适用性与数据质量，为矿产管理中的变形检测和储量核算提供技术支持。

### 2.2 扫描系统工作方式

该系统靠精密机械结构操控激光束空间定向扫描。内部有两套垂直旋转棱镜或反射镜控垂直与水平偏转，水平由伺服电机驱动可 360° 连续旋转，垂直扫描范围约 270 - 310 度。控制系统依角分辨率控反射镜转动，使激光束小角度间隔逐点扫描目标区。典型设备垂直角分辨率 0.005 度、水平 0.002 度，高精度编码器记录发射角度，结合测距数据得目标点三维坐标。非接触式扫描适用于危险难达区域如高陡边坡、采空区测绘，高端设备采用温度补偿与防震设计保复杂环境下测量精度稳定。

**【作者简介】**陈冬冬（1986-），男，中国云南马关人，本科，工程师，从事地质测绘研究。

### 2.3 点云数据生成过程

点云数据的产生是一个繁杂的多步骤过程，包含原始数据采集、坐标转换以及点云组织等诸多环节。扫描仪得到的原始数据主要是每个激光脉冲的测距值，水平角，垂直角以及反射强度。这些原始数据经过内部处理器的实时计算，转换为相对于扫描仪中心的三维坐标。坐标转换通常采用球坐标系到直角坐标系的数学模型，通过三角函数关系计算每个点的 X、Y、Z 坐标值。反射强度信息表现了目标表面对激光的反射状况，这是后续点云分类及特征识别的重要依据。生成的点云数据一般以特定格式保存，包括空间坐标及属性信息，在矿产资源测绘过程中，点云密度是评价数据质量的关键指标，常常通过单位面积内包含的点数量来体现。高密度点云能更细致地描绘矿区地形和地质构造，不过也会加重数据存储与处理的负担，现代扫描仪每秒可获取数万到数十万个点，从而形成庞大的点云数据。这些数据经过预处理后，可用于建立矿区数字高程模型、三维地质模型等成果。点云数据的生成质量直接影响后续应用的精度，因此需要在扫描阶段就合理设置参数，确保获取满足精度要求的原始数据<sup>[1]</sup>。

## 3 影响精度的关键要素

### 3.1 仪器自身系统误差

光学元件加工精度、电子电路稳定性以及机械结构刚性等因素引入了系统误差，比如，光学镜片表面平整度不够时，激光束散射现象就愈加多，对距离测量精度也多有影响；电子设备的温度漂移也引起信号放大倍数发生变化，测距精度同样出现偏差。扫描仪的角度测量装置中也多有误差存在，点的方位角也发生偏移，多款不同品牌的三维激光扫描仪，曾经在研究中进行了对比实验测试，即使在完全相同的条件下，测量结果仍存在一定差异，这些都源于制造公差和性能特点，矿产资源管理测绘项目对高精度要求高，选择仪器并进行定期校准都至关重要。

### 3.2 外界环境干扰因素

自然环境中的多种因素会对三维激光扫描产生干扰。强风天气会使仪器产生晃动，降低测量稳定性；气温变化会引起空气折射率的改变，导致激光传播路径发生弯曲，从而影响距离测量结果。光照条件也是一个重要因素，强烈的阳光直射会使背景噪声增加，降低信噪比，给回波信号的识别带来困难。在一个露天铁矿的扫描项目中，由于中午时分阳光过于强烈，导致部分区域的点云数据稀疏且噪声较大。此外，空气中的水汽、尘埃等微粒也会散射和吸收激光能量，衰减信号强度。在粉尘浓度较高的作业环境中，如煤炭开采现场，激光的有效传输距离明显缩短，需要适当增加扫描次数以保证数据的完整性。

### 3.3 目标物体表面特性

目标物体的表面材质、颜色与表面粗糙度对反射特性

影响程度大，光滑金属表面高反射率容易使探测器饱和，细节信息容易丢失；黑色吸光材料则会使回波信号强度削弱。表面粗糙度的改变会使得激光散射程度不同，漫反射在粗糙表面使激光斑点变大，中心点位置难以精确确定，以花岗岩矿石堆扫描为实例，矿石表面光泽与凹凸不平的特征，导致点云数据分布不均匀，局部区域出现空洞或畸变现象，扫描参数调整，如降低激光功率、改变入射角度等，这些都可应对这种情况，以达到更好的扫描效果。

### 3.4 数据处理算法误差

点云数据的原始形式过渡到三维模型的最终结果，需要经过滤波、配准与重建等数据处理步骤，而这些步骤都不可避免地会引入误差，统计滤波算法在具体使用时可能会误删真实的数据点，同时保留部分噪声点；迭代最近点算法在进行点云配准过程中，初值选择不当可能会降低收敛速度，或者使解陷入局部最优。数据处理软件对结果的差异性也存在一定的解释性，因为不同的软件所采用的算法逻辑和方法有所不同，在具体进行方法与软件选择时，为充分考虑项目的需求与数据的特征，可以进行多次试验对比，最终选择合适的组合形式。

## 4 维激光扫描在矿产资源管理测绘中精度提升优化策略

### 4.1 高精度设备选型，定期维护校准

高精度扫描设备的选用，对矿产资源测绘成果质量的保证是前提性的，矿区环境特征、精度需求和作业效率等，都应是设备选型时的考虑内容。大型露天矿山做高精度监测任务时，高端扫描仪就应满足测距精度优于  $\pm 2$  毫米、角度精度优于  $\pm 8$  秒这些要求，矿区覆盖需求与扫描范围相关，通常有效测距能力不小于 500 米。设备在粉尘、潮湿等恶劣条件下稳定工作，要求具备宽工作温度范围和高防护等级等良好的环境适应性，1550nm 波长激光的人眼安全性更好，穿透粉尘能力也较强，更适合矿区环境，激光波长选择也很重要，设备维护是保持精度的举措里的关键一环，清洁光学镜头、检查机械部件、更新固件程序等应包含在定期维护制度的建立内容中<sup>[2]</sup>。镜头污染对信号接收质量存在严重影响，机械部件磨损也使定位精度下降，这些都要求进行频繁的检查与维护，作业前后需要检查镜头并清洁，定期更换易损件同样在任务范围内。全面校准设备的系统误差每年一次，内容包括测距、角度和轴系关系等，校准工作应在专业实验室通过标准检定装置完成，性能参数误差也应记录在档案中，对于频繁使用的设备，每季度可以进行简易校准，主要性能指标是否处于允许范围内是检查的目标，通过建立设备的性能档案，可对精度变化趋势进行跟踪记录，为维护和更新提供依据，硬件保障也确保了高精度测绘要求。

### 4.2 扫描时机择取，环境适应调整

选择合适的扫描时机对提高三维激光扫描精度是重要

策略，矿区环境复杂多变，气象条件在不同时间段的差异较大，这直接影响扫描质量。清晨大气稳定，温度梯度小且湍流弱，为理想的扫描时间点，此时空气湿度相对较高，粉尘沉降使能见度较好，有利于激光信号的传播<sup>[3]</sup>。正午时太阳辐射强、地表温度高，大气湍流剧烈，不适宜进行长距离扫描，因为光束传播路径会大受严重影响，傍晚时段温度开始下降，大气逐渐稳定，也是较好的扫描时机。阴天条件下光照均匀，避免了太阳辐射引起的局部热对流，有利于扫描精度提高，季节选择同样重要，雨季矿区湿度大、粉尘少，但可能存在雾气影响；旱季粉尘较多，但大气透明度较好。矿区具体环境特征影响下，选择季节进行扫描存在显著性，环境适应调整为应对不良条件的措施，风力强时增加扫描重叠度，采取多次扫描取平均可提高结果精度。温度变化剧烈的工况下仪器需要适应时间，避免热变形对内部结构测量的不良影响，大气折射需要借助气象改正模型处理，根据实测参数计算改正量。矿区粉尘和烟雾等特殊环境，可调整激光功率并提高采样率，提高信噪比，扫描时机科学选择后采取适应性措施，复杂矿区的三维激光扫描测量精度可显著提高<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 目标预处理措施，反射增强方案

矿区目标表面特性差异显著，有效的预处理和反射增强方案对提高扫描精度存在助力，暗色岩石、煤炭这些低反射率的表面，喷涂可洗反光漆或反光粉末等临时性反光材料，可以将表面反射率调整到理想范围，这种方法对高精度控制点或特征区域的测量特别地管用，金属设备、湿润岩石等高反射率表面，激光功率的参数可进行调整，降低接收器饱和风险；偏振滤光片的使用也让镜面反射的影响减少。处理表面粗糙度可采用其他有效方法，例如对过于光滑的表面使用哑光喷雾，可强化漫反射特性并改善信号接收质量，清洁目标表面是基础措施，但常被忽视，清除表面污染物，比如灰尘、泥土和水分，显著提升了反射特性。在长期监测中，固定反射标志的安装具有高反射率和已知几何特性，为多期数据配准提供依据，矿区环境的特性要求标志的设计应使用耐候性材料，确保长期的稳定特性<sup>[5]</sup>。

#### 4.4 数据处理算法优化，噪声滤除方法

数据处理算法的优化对提高三维激光扫描成果精度异常的关键，点云配准算法的优化波动态，直接影响多站扫描数据的统一精度<sup>[6]</sup>。基于特征的全局配准方法与迭代最近点（ICP）算法结合使用后，配准的精度与鲁棒性均存在提高现象，在粗差剔除机制的引入过程中，需要通过匹配排除异

常点，错误匹配的风险在识别环节中降低。矿区控制点不足时，基于地形特征的配准方法可作为有效方法，自然地物为配准依据，噪声滤除算法的优化逻辑与矿区点云特点相关，统计滤波方法邻域点数与距离阈值的设定，对离群点去除的机制存在设定链式反应。半径滤波方法通过邻域半径最小点数的参数调整，稀疏噪声点的去除结果存在局部动态，矿区点云密度不均特点下，自适应滤波算法的采用是动态调整滤波参数的关键前提。数据简化算法有效减少数据量时，精度保持为前提，曲率抽稀方法基于表面曲率变化保留关键点，平坦区域减少点数，特征区域保持点的高密度。矿产资源储量管理中体积计算算法优化尤为重要，采用基于不规则三角网（TIN）精确体积计算方法精度比传统格网方法更高，复杂矿体发展分区建模策略时根据地质特征划分为若干子区域分别建模后合并计算，误差传播分析是精度控制的重要手段，通过蒙特卡洛模拟等方法评估各处理环节误差对最终成果的影响识别关键误差源<sup>[7]</sup>。

### 5 结语

三维激光扫描技术在矿产资源管理测绘方面有着极大的潜力和应用前景，经由对技术原理的理解、影响精度因素的剖析并执行优化策略，就能最大限度地发挥这项技术的优势，提升测绘工作中的精准度与效率。在以后的发展当中，相信随着技术不断的更新和改善，三维激光扫描会在矿产资源的勘探、开发和管理方面起到更重要的作用，为矿业行业持续性发展助力。

### 参考文献

- [1] 张国栋. 三维激光扫描技术在矿山超层越界测绘中的应用[J]. 经纬天地, 2025,(04):68-72.
- [2] 马海军, 马海龙. 金属矿山开采过程中的测量数据处理与误差分析[J]. 世界有色金属, 2025,(13):100-102.
- [3] 邱俊秀, 石勇, 徐浩然. 三维激光扫描技术在煤矿超层越界核查中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2025, 43(06):103-106.
- [4] 田婧. 三维激光扫描技术在金属矿山大比例尺地形图测绘中的应用探究[J]. 中国金属通报, 2025,(04):70-72.
- [5] 宋涛涛, 曹瑞, 赵闯, 王汝杰, 程东江, 韩东. 基于高精度实景三维的矿山智慧监管应用探索[J]. 山东国土资源, 2025(2).
- [6] 王智君, 张杰. 三维激光扫描技术在矿山测量中的应用与研究[J]. 中国金属通报, 2022(3):28-30.
- [7] 郝起运. BIM 与三维激光扫描技术在矿山建设施工测量应用中问题分析及规划[J]. 世界有色金属, 2021, 000(011):17-18.

# An analysis of the quality control measures of real estate surveying and mapping engineering

Zhongwei Han Zhongwang Han

Guangxi Hongfu Surveying and Mapping Co., Ltd., Hechi, Guangxi, 547000, China

## Abstract

The effective implementation of real estate surveying and mapping projects can provide substantial support for property rights definition, transactions, and urban planning and construction. The accuracy, reliability, and authenticity of surveying and mapping results directly impact the rights of multiple stakeholders. In this context, strengthening quality control in surveying and mapping is essential. This can be achieved through multiple dimensions including establishing standardized technical management systems, enhancing talent development, and improving full-process quality control mechanisms to boost quality management capabilities and effectiveness, thereby ensuring the precision and reliability of surveying and mapping outcomes. It effectively addresses current challenges such as mismatches between technical standards and equipment, uneven professional competence among personnel, and weak control points in process management.

## Keywords

real estate; surveying and mapping engineering; quality control; implementation points

# 试析房产测量测绘工程的质量管理措施

韩忠伟 韩忠旺

广西宏福测绘有限公司，中国·广西 河池 547000

## 摘要

房产测量测绘工程的有效落实可以为房产产权界定、交易和城市规划建设提供更多帮助。房产测量测绘结果是否准确、可靠将会影响多方主体的权益，在这样的背景下加强测量测绘工程质量管控是十分必要的，可以从构建标准化技术管理体系、强化人才队伍建设、健全全流程质量管控机制等多个维度出发来提高质量管理能力和成效，确保房产测量测绘成果精度和可靠性。有效解决现阶段房产测量测绘工程技术标准与设备不匹配、人员专业素养参差不齐、流程管控存在薄弱环节等相应问题。

## 关键词

房产；测量测绘工程；质量管控；落实要点

## 1 引言

房地产行业的迅速发展以及新型城镇化建设的不断推进使得现阶段房产测量测绘工程的应用场景在不断拓展，在这样的背景下保证房产测量测绘结果的准确性、真实性和可靠性则显得十分必要，这是房产产权登记面积测算的重要依据，同时也可为城市规划基础设施建设以及房地产健康运行提供保障，应当引起关注和重视，通过质量管理来确保房产测量测绘工程结果准确，而就现阶段来看房产测量测绘工程质量仍存在如下几点问题。

## 2 房产测量测绘工程质量管理的现存问题

首先，为技术标准与设备应用不匹配的问题，即部分

企业在实践工作落实的过程中所采用的规范要求并没有及时的更新和优化，与现行房产测量规范及地方标准脱节。这就导致了在实践工作落实的过程中工作人员缺乏有效的依据作为参考。同时设施设备更新不及时，老旧仪器的自有误差也会影响房产测量测绘工程质量。

其次，为人员素养能力参差不齐，房产测量测绘对于从业工作人员的专业素养能力要求较高，尤其是现阶段各种现代化技术的引入不仅需要相关工作人员接受过专业系统的培训，同时还需要掌握测绘软件的应用方法并树立质量意识，但是在房产测量测绘的过程中仍旧容易出现测绘人员质量意识不足、简化作业流程、忽视细节校验等相应问题，影响成果质量<sup>[1]</sup>。

最后，为流程管控薄弱，房产测量测绘属于一项系统性、技术性相对较强的工作。在实践工作落实的过程中各节点都很有可能会影响测绘结果的准确、真实、可靠，例如前期现

**【作者简介】**韩忠伟（1984—），男，壮族，中国广西东兰人，本科，工程师，从事房产测绘研究。

场勘察不全面、作业过程中缺乏实施校验机制、成果审核流于形式等等都会影响测绘成果。但是部分单位在实践工作落实的过程中往往并没有从全流程出发建立完善的规章制度，明确质量控制要点，进而导致了薄弱环节的出现，影响测绘精度。

### 3 房产测量测绘工程质量管控核心措施

#### 3.1 构建标准化技术体系

构建标准化技术体系可以为房产测量测绘工作的顺利推进有序开展和高质量落实提供更多的助力，而在标准化技

术管理体系构建的过程中可通过统一技术标准和作业流程、推动技术升级与技术融合来实现。

在统一技术标准和作业流程的过程中必须做好数据资料的收集整合，明确国家规范和地方实际情况，对技术操作手手册进行细化和完善，明确不同环节、不同工作内容的要点及精度标准和成果格式。在此基础之上可通过技术标准动态更新机制的优化和调整确保新的技术应用规范能够及时的融入到实践工作当中。通过技术标准与作业流程优化保障各项工作落实的规范性，如表 1 所示为房产测量测绘核心技术标准清单。

表 1：房产测量测绘核心技术标准清单

作业环节	核心技术标准	精度要求
现场勘察	《房产测量规范》第 3.2 节	地形识别误差 $\leq 0.1m$
数据采集	《数字测绘成果质量要求》GB/T 17941-2008	坐标误差 $\leq \pm 0.05m$
面积测算	《房产测量规范》第 5.2 节	面积误差 $\leq \pm 0.02m^2$
成果绘制	《房产图图式》GB/T 17986.2-2000	图上距离误差 $\leq 0.1mm$

在设备升级与技术融合方面，相关单位需要加大资源投入，引入三维激光扫描仪、无人机航测系统、高精度 GNSS 接收机等相应现代化设备，进一步降低数据采集的时间成本和采集误差。在此基础之上需要做好信息技术的融入，通过 GIS 地理信息系统、BIM 建筑模型等相应数字化技术的应用实现对房产测量测绘动态管理，利用实时数据来更好的明确实践工作落实过程中存在的欠缺和不足，提高质量管理效能。此外，BIM 技术可以通过构建数字模型的方式可视化房产测量测绘工作，为质量管控提供更多的帮助<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 强化人才队伍建设

工作人员始终是工作开展的最终落脚点和第一执行人，工作人员的素养能力、观念意识对于工作落实的效率质量也会起到至关重要的影响，因此加强人才队伍建设是十分必要的，可从如下几点着手做出优化和调整。首先，需要提高人才准入门槛，在人才招聘的过程中考核工作人员是否接受过专业系统的培训，分析工作人员的能力素养是否达标。从源头上提高人才队伍的整体素养，为房产测量测绘工作的落实提供人才基础。

其次，需要建立分层培训体系，根据不同工作人员的工作岗位、工作内容、工作要求来优化培训内容，实现个性化、差异化培训。同时也需要根据不同工作人员的入职时间、素养能力来调节培训难度，可以将培训内容划分为基础培训、专项提升和进阶研修三大层次。新入职的员工需要接受基础培训，明确技术标准、操作规范、安全规范以及不同项目的项目特点，帮助新入职工作人员更好地适应工作岗位，提高工作能力和工作质量。专项提升培训则面向一线工作人员，聚焦实践操作，同时通过专项培训内容的设计帮助相关工作人员更好地解决个性化问题。工作人员可以根据实践工作落实过程中遇到的困境、常见的工作问题来筛选专项内

容，不断提高自身的综合素养而。进阶研修则是面向技术骨干和管理人员，可通过质量管理理论等相应内容的培训提高相关工作人员的质量意识，不断地强化相关工作人员的专业素养，帮助相关工作人员能够灵活地解决实践工作中的各种困境。同时也可以通过培训内容的优化来培养相关工作人员的自主学习意识、创新意识等等。

最后，可通过人员考核和激励机制的建设和完善为人才队伍打造效果的提升提供更多的助力。相关单位可以建立技能考核加质量绩效双重考核体系，定期对相关工作人员的技术操作能力、成果质量贡献率等相应工作内容和工作成果进行评估和分析。综合评估结果相对较好的员工可以接受所属单位的资金扶持、带薪休假、晋升机会等相应的激励奖项。以此来提高相关工作人员的主观能动性，让相关工作人员在实践工作落实的过程中自觉主动的去分析如何提高工作质量和工作成效。为了更好地发挥激励机制的观念驱动功能，还可以从精神激励和物质激励两个维度出发丰富激励奖项，配合与员工的沟通和调查，了解员工需求，针对性设计激励，满足员工的多元化需要<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 健全全流程质量管控机制

可以从事前预防、事中控制、事后复核三大关键环节出发来提高质量管控能力。在事前预防方面需要通过基础资料审核、现场勘查、计划和方案制定等相应工作的有效落实来为后续各项工作的顺利推进和高质量开展提供保障基础。资料审核是指相关工作人员需要做好房产项目的规划图纸、土地权属证明、建筑施工图纸等相应资料信息的收集整合，对测绘项目有较为全面的了解，同时通过资料信息整合明确测绘范围和技术要求。现场勘查计划则是通过人工勘察配合设备探测的方式收集地形地貌数据、建筑结构数据等相应数据信息，在此基础之上可借助人工智能技术、大数据技术对

数据进行清洗、整合和分析，明确在房产测量测绘工作落实过程中可能影响测量精度的因素。在此之后则需要进行方案制定，根据项目特点和质量标准来确定专项测绘方案，对作业流程、设备配置、人员分工和质量控制点作出适当的调整和优化，确保方案设计的针对性、适切性与有效性<sup>[4]</sup>。

在事中控制的过程中可紧抓工序交接检验制度和动态监测制度两大关键要点来展开分析。工序交接检验制度是指在每一道工序完成结束以后质检人员需要通过复核工作的落实来判断其是否达标，及时的发现问题，避免问题累积影响后续各项工作的正常推进。若复核质量达标则可以进入下一道工序，而动态监测技术则是借助 GNSS 实时定位、数据同步传输等相应技术方法来加强质量控制，提高质量控制能力。相关工作人员可以紧抓控制点布设、数据采集、数

据处理、图形绘制等相应关键要点明确检验内容合格标准。在此基础之上，通过机器检测、人工复核、实时校验、软件校验、人工验算、专业审核等相应的检查方法确保各工序的工作质量达标，提高整体工作水平，如表 2 所示。

在事后复核阶段可通过多级复核来保障测量测绘结果质量。首先，可以由作业人员进行自我检验，通过核查测绘数据、图形、报告等相应的数据信息来及时的发现问题。在作业人员自我检验结束之后则需要由质检部门进行专项审核，通过人工审核配合软件检测的方式及时的发现测绘成果中存在的精度问题、完整性问题和规范性问题。最后可以通过邀请第三方审核的方式确保审核结果符合法定要求和项目需求<sup>[5]</sup>。

表 2：事中控制要点

工序名称	检验内容	合格标准
控制点布设	控制点密度、位置合理性	控制点间距 $\leq 50m$ , 误差 $\leq \pm 0.02m$
数据采集	数据完整性、精度	覆盖率 100%, 误差 $\leq \pm 0.05m$
数据处理	数据格式、计算准确性	计算误差 $\leq \pm 0.01m$
图形绘制	图形完整性、标注规范性	要素标注完整, 图面清晰无错漏

## 4 结语

房产测量测绘工程质量管理工作有效落实可以确保测绘结果准确、真实、可靠，为房产产权界定、交易、城市规划建设提供更加可靠的数据信息，应当允许关注和重视。相关单位可以紧抓标准化技术管理体系构建、设备升级与技术融合、全流程质量管控机制构建等相应关键重点来加强质量管控，提高质量管控成效。

## 参考文献

[1] 周士淳. 房产测量测绘工程的具体流程及质量控制措施 [J]. 大

众标准化, 2024, (04): 22-24.

- [2] 李景伟. 房产测量测绘工程的流程及要点分析 [J]. 江西建材, 2021, (06): 84-85.
- [3] 司杰. 房产测量测绘工程的过程及重点探索 [J]. 居舍, 2021, (14): 177-178.
- [4] 花彬. 房产测量测绘工程的过程及要点研究 [J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2020, (07): 126-127.
- [5] 于德威. 房产测量测绘工程的过程及要点分析 [J]. 门窗, 2019, (22): 251.

# Research on the Application of Smart Technology in Land Management

Liguo Yang

Natural Resources Bureau of Honghuagang District, Zunyi, Guizhou, 563000, China

## Abstract

This paper focuses on the application of smart technologies in land management, taking GIS, big data, Internet of Things and other technologies as the research core. By combining theoretical analysis with practical cases, it systematically explores their application scenarios throughout the entire process of land investigation, planning, approval and supervision. Research has found that smart technologies can significantly enhance management efficiency. Based on this, countermeasures are proposed from three aspects: technical optimization, management improvement, and security guarantee, including building a unified data platform, strengthening grassroots training, and establishing a full-process data protection system. The conclusion of this article can provide practical references for the intelligent transformation of land management. Subsequently, the integrated application of emerging technologies such as 5G and blockchain can be further explored.

## Keywords

Smart technology ;Land management ;Land approval

# 智慧技术在土地管理中的应用研究

杨立果

遵义市红花岗区自然资源局，中国·贵州遵义 563000

## 摘要

本文聚焦智慧技术在土地管理中的应用，以GIS、大数据、物联网等技术为研究核心，结合理论分析与实践案例，系统探究其在土地调查、规划、审批、监管全流程的应用场景。研究发现，智慧技术可显著提升管理效率。基于此，从技术优化、管理完善、安全保障三方面提出对策，包括构建统一数据平台、加强基层培训、建立全流程数据防护体系。本文结论可为土地管理智慧化转型提供实践参考，后续可进一步探索5G、区块链等新兴技术的融合应用。

## 关键词

智慧技术；土地管理；土地审批

## 1 绪论

当前我国土地管理正面临“保护与发展”双重压力下的现实困境：一方面，城镇化快速推进与耕地保护红线形成刚性约束，全国耕地面积需坚守18亿亩底线，而城乡建设用地需求持续增长，土地资源供需矛盾日益突出；另一方面，传统土地管理依赖人工调查、纸质审批、事后监管，存在数据更新滞后、跨部门协同效率低、违法占地发现不及时等问题，如部分地区土地权属调查周期长达数月，难以适配动态化管理需求。

在此背景下，智慧技术为破解土地管理痛点提供了关键路径。以GIS、大数据、物联网、人工智能为核心的技术体系，可实现土地数据“实时采集、精准分析、智能决策”：

通过无人机航测与遥感技术，土地地类调查效率较传统人工提升5-10倍；借助大数据建模能精准预测区域土地供需趋势，为规划编制提供科学支撑；依托智能监控系统可对耕地保护、建设用地开发进行24小时动态监管，大幅降低违法违规风险。

研究智慧技术在土地管理中的应用，不仅能推动管理模式从“经验驱动”向“数据驱动”转型，提升土地资源配置效率，更能为严守耕地保护红线、保障土地市场规范运行、助力乡村振兴与新型城镇化建设提供技术支撑，兼具重要的理论创新价值与实践指导意义。

## 2 智慧技术在土地管理中的应用场景与实践

### 2.1 土地调查与数据采集

传统土地调查依赖人工实地丈量、纸质记录，存在周期长（单区域调查常需1-3个月）、误差大（地类判定准确率约85%）、受地形气候影响大等问题。而物联网传感器、

**【作者简介】**杨立果（1982-），中国湖北咸丰人，工程师，从事土地资源管理研究。

无人机航测、遥感技术的应用，彻底重构了数据采集模式：物联网土壤传感器可实时采集地块湿度、肥力等属性数据，为耕地质量评估提供微观支撑；无人机航测搭配高清相机与激光雷达，能快速覆盖复杂地形区域，1 天内可完成 50 平方公里的地类标注，精度达厘米级；高分辨率遥感卫星（如高分七号）则实现大范围土地利用变化监测，每季度更新一次全国地类数据，较传统年度更新效率提升 3 倍以上。三者协同形成“空天地”一体化采集网络，让土地权属、地类、面积等数据获取更高效、精准、动态。

## 2.2 土地规划与决策

大数据技术与 AI 算法为土地规划从“经验判断”转向“科学决策”提供核心支撑。在土地供需预测中，通过整合人口增长、产业布局、交通建设等多源数据，大数据模型可精准预测未来 5-10 年区域建设用地需求与耕地保护缺口，如某省会城市借助该技术将供需预测误差控制在 10% 以内。在规划方案模拟上，GIS 与大数据结合能可视化呈现不同规划方案的土地利用效率、生态影响等效果，帮助管理者直观对比选择；AI 算法则可进一步优化方案，例如通过遗传算法自动调整地块用途布局，在满足建设需求的同时，使耕地保护面积最大化，某试点地区应用后规划方案的生态效益提升约 15%<sup>[1]</sup>。

## 2.3 土地审批与政务服务

“互联网 + 政务”模式下的智慧平台，打破了土地审批的“部门壁垒”与“线下壁垒”。以往企业办理土地出让审批需跑多个部门、提交多份纸质材料，流程长达 20-30 个工作日；如今通过省级统一的土地智慧审批平台，企业可在线提交电子材料，平台自动实现公安、自然资源、税务等部门的数据共享核验，无需重复提交证明。同时，平台设置审批流程跟踪功能，用户可实时查看进度，审批时限压缩至 7-10 个工作日。部分地区还推出“不见面审批”服务，通过电子签章、线上缴费完成全流程办理，2024 年某省该类审批占比已达 60%，企业办事效率显著提升。

## 2.4 土地动态监管

GIS 技术与实时监控技术的融合，构建了土地“全天候、全覆盖”的动态监管网络。在违法占地监管中，通过在耕地保护红线区、生态敏感区布设视频监控设备，结合 GIS 空间定位功能，一旦发现违法建设行为，系统可自动抓拍取证并推送预警信息至执法人员，响应时间从传统的“days 级”缩短至“小时级”；在耕地保护上，利用卫星遥感监测与地块电子台账比对，能快速识别耕地“非粮化”“非农化”现象，2023 年全国通过该技术发现并整改耕地问题地块超 10 万块；在土地开发利用进度监管中，GIS 叠加无人机航拍数据，可实时跟踪建设用地项目开工、竣工进度，避免土地闲置，某开发区应用后土地闲置率下降 8%。

## 3 智慧技术应用面临的问题与挑战

### 3.1 技术层面：协同性与经济性双重制约

智慧技术在土地管理中的应用，首当其冲面临技术协同性不足与成本过高的问题。一方面，“数据孤岛”现象普遍存在：不同部门（如自然资源、住建、农业农村）的土地数据分属不同系统，数据标准不统一（如地类编码、坐标体系差异），即使部分地区推动数据整合，也因历史数据格式不兼容、接口不开放，导致数据共享难以实现，例如某地级市自然资源局与农业农村局的耕地数据，因统计口径不同，重合区域的数据误差率达 12%。另一方面，多技术融合存在兼容性难题：物联网传感器采集的实时数据、无人机航测的影像数据、AI 分析的结果数据，需依托统一平台联动，但现有技术体系中，硬件设备（如不同品牌的传感器）与软件系统（如 GIS 平台与 AI 算法模型）的适配性差，易出现数据传输中断、分析结果偏差等问题。此外，高精度数据获取成本居高不下，厘米级无人机航测每亩成本约 15 元，高清遥感卫星数据单次采购费用超百万元，对经济欠发达地区而言，难以承担常态化数据采集支出，导致技术应用仅局限于重点项目，无法全面推广。

### 3.2 管理层面：能力与制度适配性不足

基层土地管理部门的执行能力与制度体系，难以适配智慧技术的应用需求。从人员能力来看，基层工作人员多熟悉传统管理流程，对智慧技术的操作与应用能力薄弱：某县自然资源局调查显示，仅 30% 的工作人员能独立操作 GIS 分析平台，仅 15% 会使用 AI 数据处理工具，遇到技术故障时需依赖第三方运维，严重影响工作效率。同时，专业人才短缺问题突出，兼具土地管理专业知识与信息技术能力的复合型人才，多集中在一二线城市与高校，县域层面人才引育困难，部分基层单位甚至无专职技术人员，导致智慧系统“建而不用”。从制度层面来看，现有管理制度与智慧技术应用存在适配断层：传统土地审批、监管制度以人工流程为核心，未针对智慧平台的数据共享、电子签章、自动预警等功能制定配套规则，例如部分地区仍要求纸质材料存档，与“不见面审批”的电子流程冲突，导致智慧技术的效率优势难以充分发挥<sup>[2]</sup>。

### 3.3 安全层面：数据全生命周期风险凸显

土地数据的特殊性，使其在存储、传输、共享环节面临多重安全风险。在数据存储层面，土地数据包含涉密地理信息（如军事用地坐标）、敏感权属信息（如集体土地确权数据），部分基层单位的存储系统安全防护等级低，存在黑客攻击、数据泄露风险，2023 年某省就发生过因存储服务器漏洞导致数千条土地权属数据被窃取的事件。在数据传输层面，智慧技术依赖网络传输实时数据（如监控视频、传感器数据），但部分地区的传输网络未采用加密技术，数据在

传输过程中易被拦截、篡改，影响监管决策的准确性。在数据共享层面，共享范围与权限界定模糊：为提升管理效率，土地数据需在多部门间共享，但目前缺乏明确的共享规则，易出现超范围共享、滥用数据的情况，例如某部门将包含居民隐私的土地权属数据，违规提供给第三方企业用于商业开发，引发隐私泄露争议，既威胁数据安全，也损害公众信任。

## 4 优化智慧技术在土地管理中应用的对策建议

### 4.1 技术优化：打破壁垒，降低成本，推动融合

针对技术层面的痛点，需从平台、设备、创新三方面发力。首先，构建省级统一的土地数据共享平台，明确数据标准（如统一地类编码、坐标体系），强制要求自然资源、住建、农业农村等部门接入平台，通过“一数一源、动态更新”机制消除“数据孤岛”，同时预留开放接口，支持后续技术升级与跨区域数据互通。其次，研发低成本高精度技术设备，鼓励高校、企业联合攻关，例如开发适用于基层的轻量化无人机（成本降低 30% 以上）、低成本土壤传感器，同时通过政府集中采购、补贴等方式，降低经济欠发达地区数据采集成本，推动技术常态化应用。最后，加强多技术融合创新，建立“物联网+GIS+AI”协同技术体系，开发兼容性强的中间件，实现传感器实时数据、遥感影像数据与 AI 分析模型的无缝对接，例如通过 AI 算法自动识别遥感影像中的地类变化，直接同步至 GIS 平台生成监管台账，提升技术应用效率<sup>[3]</sup>。

### 4.2 管理完善：提升能力，健全机制，适配制度

管理层面的优化需聚焦“人”与“规则”的适配。在人员能力提升上，构建分层培训体系：对基层工作人员开展基础操作培训（如 GIS 软件、智慧审批平台使用），每年不少于 40 学时；针对技术骨干，组织高阶培训（如 AI 数据建模、系统运维），并与高校合作开展定向培养，解决复合型人才短缺问题。在考核机制上，将智慧技术应用纳入基层土地管理部门考核指标，例如把“智慧平台审批占比”“动态监管响应时效”等作为核心指标，考核结果与评优、资金拨付挂钩，倒逼部门主动应用智慧技术。在制度适配方面，修订完善现有政策，明确电子签章、电子档案的法律效力，取消与“互联网+政务”冲突的纸质材料强制要求；同时出台智慧监管配套规则，规范预警信息处置流程、数据共享范围，确保技术应用有章可循。

### 4.3 安全保障：全流程防护，筑牢数据安全防线

围绕土地数据全生命周期，构建多维度安全防护体系。在数据存储环节，采用“本地备份+云端加密”双重模式，

对涉密地理信息、权属数据等敏感信息进行脱敏处理，同时升级存储服务器安全防护系统，部署防火墙、入侵检测设备，定期开展安全漏洞扫描。在数据传输环节，全面采用 SSL/TLS 加密技术，确保实时监控数据、共享数据在传输过程中不被拦截、篡改，对重要数据传输设置二次验证机制。在数据共享与访问环节，建立分级权限管控体系：按“部门职责+数据敏感级”划分访问权限，例如普通工作人员仅可查看非涉密数据，核心数据需经审批方可访问；同时引入安全审计机制，对数据查询、修改、共享等操作全程留痕，一旦发现异常操作，立即触发预警并追溯责任人，切实保障土地数据安全<sup>[4]</sup>。

## 5 结论与展望

### 5.1 研究结论

研究表明，智慧技术已深度融入土地管理全流程并展现显著价值：在调查环节，“空天地”一体化技术使数据获取效率提升 5-10 倍；规划阶段，大数据与 AI 让决策从“经验驱动”转向“数据驱动”；审批场景中，智慧平台将流程耗时压缩 60% 以上；监管领域，动态监测实现违法占地响应从“天级”到“小时级”的跨越。但应用中仍存在核心瓶颈：技术层面受困于“数据孤岛”与高成本，管理层面面临基层能力不足与制度适配性差的问题，安全层面则需防范数据全生命周期风险。关键发现为：智慧技术的落地效果，取决于技术融合、管理机制与安全防护的协同推进，而非单一技术的升级。

### 5.2 未来展望

新兴技术将为土地管理带来新突破：5G 技术可支撑海量传感器实时数据传输，实现监管“零延迟”；区块链凭借不可篡改特性，能构建土地权属登记的可信存证体系；元宇宙可搭建虚拟土地空间，实现规划方案的沉浸式模拟与公众互动参与。后续研究可聚焦三方面：一是探索“5G+区块链”在土地交易、确权中的融合应用；二是开展元宇宙技术在土地规划公众参与中的实证研究；三是构建智慧技术应用的效果评估指标体系，为各地推广提供量化参考。

## 参考文献

- [1] 肖月.当前土地规划中存在的问题及解决方法[J].中外企业家,2017(09)
- [2] 白晓,史军军.土地规划合理性问题分析[J].建材与装饰,2017(38)
- [3] 李彦忠.新时期土地资源管理与土地利用综合规划[J].产业创新研究,2020(08)
- [4] 李春阳.立足土地资源整治管理的城镇土地规划利用[J].新型城镇化,2025(06)

# Discussion on the direction of land law enforcement

Yufeng Hu

Guangdong Provincial Institute of Map, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

## Abstract

In recent years, as challenges in land law enforcement have intensified, improving enforcement efficiency and accuracy has become an urgent issue. To address this demand, land law enforcement models have been continuously adjusted and optimized. In 2023, the “monthly clearance, monthly verification, annual evaluation” model was implemented. However, due to its cyclical nature and high-frequency monitoring requirements, this approach resulted in excessive workload and data inaccuracies. In 2024, the quarterly satellite imagery and annual satellite imagery model was introduced, effectively reducing redundant inspections. Nevertheless, challenges such as delayed data updates and uneven enforcement intensity across regions persist. Since 2025, local authorities have implemented self-inspection systems instead of centralized issuance of satellite imagery patches, enhancing operational autonomy. However, this shift has also brought challenges in standardizing local enforcement practices.

## Keywords

land enforcement; working mode; satellite image mode; local inspection; data application

# 土地执法工作开展方向探讨

胡育峰

广东省地图院，中国·广东广州 510000

## 摘要

近年来，随着土地执法工作面临的挑战日益增多，如何提高执法效率与精确度成为亟待解决的问题。为适应这一需求，土地执法模式在不断调整与优化。2023年，实施了“月清、月核、年度评估”的模式，但由于执行的周期性与高频率监控，造成了执法工作的负担过重且存在数据不精准的问题。2024年，推行了季度卫片与年度卫片模式，这一调整有效减少了重复检查的频次，但依然面临数据更新滞后与地方执行力度不均的难题。2025年起，地方实施自行巡查而不再集中下发图斑，提升了地方执法的自主性，但也带来了地方执行的标准化问题。

## 关键词

土地执法；工作模式；卫片模式；地方巡查；数据应用

## 1 引言

土地执法作为保障土地资源合理利用与防止非法占地的重要手段，长期以来在确保土地秩序、推进法制建设中发挥着至关重要的作用。然而，随着土地利用需求的多样化和复杂性，传统的执法模式暴露出效率低、监管难度大、数据不准确等问题。特别是近年来，随着国家对土地保护和管理要求的提高，土地执法模式经历了多次调整，从初期的传统人工巡查，到后来的卫片模式，再到地方自治巡查，每一次模式的变化都旨在应对新的执法挑战。尽管如此，土地执法工作仍然面临诸如执法周期过长、数据滞后、地方执行标准不一致等难题，亟需进一步的改革与创新。下面就近年来（2023-2025年）的土地执法工作做一个探讨分析。

## 2 月清、月核、年度评估”的工作模式与问题

### 2.1 月清、月核、年度评估的工作模式

2023年2月20日，自然资源部办公厅发布《关于开展2023年卫片执法工作的通知》，对2023年卫片执法工作任务、时间安排等作出了部署。2023年土地执法工作实行“月清、月核、年度评估”模式。“月清”要求县级地区按月上报部上一个月下发图斑合法性判定结果及相关举证材料；“月核”指省级按月对地方上报的结果进行审核把关后报部；“年度评估”则是根据年度内整改落实结果计算一个地区违法占用耕地数量和比例，评估是否达到问责标准。

### 2.2 实施效果与不足

虽然月清、月核、年度评估的工作模式加强了对违法行为的日常监控，并有助于发现土地利用的潜在问题，但执行中的问题依旧明显。执法频次的增加导致了部分基层执法人员的疲于应对，导致工作质量下降。同时过高的工作频率和频繁的调度使得相关部门的人力资源严重紧张，往往无法

【作者简介】胡育峰（1997-），男，中国广东清远人，本科，助理工程师，从事测绘工程研究。

做到全覆盖、全方位的检查。尤其是在较为偏远地区，执法资源的配置和监管的力度难以满足高频次的工作要求。并且在执行过程中出现了重复工作与监管漏洞，造成了资源的浪费。每月一次的清查和核查工作，尤其是与年度评估结合，虽然能够实现土地违法行为的早期发现，但该模式的局限性使得其在实际操作中并未完全达到预期效果。总体来看，2023 年的模式未能彻底解决现有问题，亟需寻找更加高效和可持续的方式 [1]

### 3 土地执法工作模式的调整与优化

#### 3.1 季度卫片、年度卫片模式的实施与效果

2024 年 2 月 26 日，自然资源部办公厅印发《关于利用 2024 年季度卫片监测成果开展日常执法工作的通知》（自然资办发〔2024〕4 号），2024 年 10 月 25 日，自然资源部办公厅印发《关于开展 2024 年度土地卫片执法工作的通知》（自然资办发〔2024〕49 号）。2024 年，土地执法模式进行了重要调整，引入了季度卫片与年度卫片的结合模式。季度监测图斑下发各地，辅助地方早发现、早处置，无需反馈核实举证信息。年度监测与国土变更调查相衔接，一次性下发图斑，将农用地和未利用地变更为新增建设用地图斑作为执法图斑，由地方一次性核查举证。这一新模式的实施有效减少了高频次的巡查工作，降低了执法人员的工作压力，同时提升了土地资源监控的精确性。季度卫片的引入，使得每季度能够依据卫星影像技术对土地使用情况进行监控，并及时发现潜在的违法行为。然而，尽管模式有所优化，仍存在卫片数据更新不及时的情况，需要进一步加强卫片数据的实时更新机制 [2]。

#### 3.2 季度卫片、年度卫片模式下新问题的出现

尽管季度卫片与年度卫片模式在一定程度上解决了过去模式中频繁检查带来的资源浪费与效率低下的问题，但新问题也随之出现。首先，季度卫片的更新虽然提高了发现问题的及时性，但由于技术依赖较重，部分偏远地区的卫星图像分辨率不足，导致一些小规模的违法行为未能及时捕捉到。此外，地方执法机构对卫片数据的解读与应用能力参差不齐，导致数据分析不精准，部分地区执法响应速度较慢，影响了处理效果。因此，尽管新模式有效提升了部分工作效率，仍然需要解决技术不均衡与能力不足的问题。

#### 3.3 地方自主巡查模式的优势与挑战

2025 年，土地执法工作迎来了一次较为重大的转变，即不再集中下发图斑，地方开始自行进行巡查。这一模式的实施使得地方政府在土地执法中拥有了更大的自主权与灵活性，提高了地方执法的响应速度和准确度。地方政府能够根据本地区的实际情况，灵活调整巡查的频率与方式，从而有效提升了土地资源的管理效率。。然而，这一模式的挑战也不容忽视。首先，地方执法人员的专业性和技术能力参差不齐，导致部分地区在巡查过程中无法做到标准化操作。其次，地方的资金与技术支持往往有限，部分基层执法机构在执行过程中缺乏必要的设备与培训，影响了巡查效果。因此，如何加强地方执法力量的培训与设备建设，确保巡查工作的规范性与标准化，是当前面临的重要课题 [3]。

### 4 土地执法工作中数据应用的潜力

#### 4.1 遥感技术在土地执法中的作用

遥感技术通过卫星影像和无人机等设备，能够在较大范围内对土地使用情况进行实时监控，提供高效、精确的执法支持。利用遥感数据，可以及时发现非法占地、违法建筑等土地违法行为，尤其是在偏远地区，遥感技术能够有效弥补人工巡查的不足。通过对卫片影像的定期分析，土地执法部门能够发现土地利用变化的趋势并进行比对，有效提高了违法行为的检测精度。遥感技术的引入使得土地管理工作从传统的人工检查转向了数据驱动，极大提升了工作效率和覆盖范围。此外，遥感技术还可与其他数据源结合，进一步提升执法精准度，优化土地资源管理。

#### 4.2 大数据分析与土地执法的结合

大数据分析在土地执法中的应用为精准执法提供了重要支持。通过集成各类土地信息数据，包括土地使用权、土地覆盖情况、土地变更记录等，大数据技术能够从海量数据中提取出有价值的执法信息。借助数据分析工具，执法部门可以更精准地识别潜在的违法行为，预测违法活动的高发区域并优化巡查策略。大数据的应用不仅提升了土地执法的决策支持能力，还能在跨部门数据共享的基础上，形成全面、系统的土地资源管理体系。通过对历史数据的回溯分析，执法部门还能够发现以往遗漏的违法案件，提升工作精度和及时性。

#### 4.3 数据共享与协作机制的构建

土地执法的高效开展离不开跨部门的数据共享与协作机制。通过建立统一的土地执法数据平台，各相关部门如土地管理、规划、环境保护等可以实时共享信息，实现数据的跨部门整合。数据共享机制的建立，能够促进信息流通，避免部门间的信息孤岛现象，确保执法部门能够基于完整、准确的数据做出决策。同时，协作机制的构建能够加强地方与省级、不同地方之间的联动，提高执法工作的协调性和一致性。通过共同的数据平台，基层执法部门与上级主管部门可以及时发现问题并快速响应，确保土地执法工作更加高效、公正。

### 5 土地执法工作中的管理机制与政策支持

#### 5.1 基层与省级自然资源系统协同机制的强化

土地执法工作需要基层与省级自然资源系统的密切合作与协调。基层政府在土地管理中的第一线执行作用不可或缺，然而上级政府则需从政策和资源支持层面提供有效指导。通过明确责任分工，强化上下级之间的信息流通，为地方提供政策指导、技术培训和资金支持，从而保障地方在执

行土地执法工作中的资源投入和能力提升。加强协同合作，不仅能够提升土地执法的效率，还能确保执法过程中的政策执行力和透明度，避免执法不公或地方政府在执行中的随意性。

## 5.2 法制建设对土地执法的促进作用

土地执法工作的顺利开展离不开完善的法律体系和政策支持。通过健全土地法制建设，能够为土地执法工作提供法律依据和支持，确保执法行为合法、规范。法制建设的推进使得土地执法部门可以依法依规进行检查与处罚，避免执法过程中可能出现的随意性和偏差。此外，强化土地执法的法律责任追究机制，有助于规范土地资源管理行为，增强执法人员的责任意识。通过完善土地管理法律体系，能够有效防止土地资源的浪费、非法占用等问题，促进社会公平与资源合理利用 [4]。

## 5.3 土地执法政策的长期发展与监管

土地执法政策的长期发展与监管应注重持续性和前瞻性。随着社会经济的不断变化，土地资源的管理面临新的挑战和要求。土地执法政策需要不断根据实际情况进行动态调整，适应新的土地管理需求。加强政策的监督与执行力度，确保土地执法政策能够落地生效，是提升土地执法效果的关键。监管部门需要不断评估现有政策的实施效果，及时发现问题并提出改进方案，确保土地资源得到高效、合理的利用。通过建立长效监管机制，保障政策的有效执行，才能在未来实现土地执法的持续优化。

# 6 未来土地执法工作的新方向

## 6.1 智能化与精细化管理

随着科技的进步，土地执法工作正逐步向智能化、精细化管理发展。通过引入智能化管理工具，如人工智能、大数据分析、机器学习等，可以进一步提升土地执法的精准度与效率。智能化系统能够实时监控土地资源的变化，自动识别潜在的违法行为，并快速反馈给相关执法人员，缩短问题发现与处理的时间。此外，精细化管理能够根据土地使用情况、违法类型等因素，制定更加针对性的执法方案，确保土地执法工作的高效性与规范性。

## 6.2 地方自治与灵活应对的结合

未来土地执法工作中，地方自治将成为一项重要趋势。通过赋予地方政府更多的自主权，使其能够根据本地区的实

际情况灵活应对土地执法工作中的挑战。地方自治能够提高地方政府在土地管理中的积极性和主动性，提升问题的响应速度和处理效率。同时，地方自治与中央政策的衔接要保持密切联系，确保在灵活应对的同时，不偏离国家法律和政策的要求，从而实现土地执法工作的有效平衡。

## 6.3 创新驱动的土地执法体系建设

土地执法工作需要不断创新，以应对新的挑战。创新驱动的土地执法体系应注重技术与管理手段的有机结合。通过引入先进的监控技术、数据分析工具、信息化管理系统等手段，可以有效提升土地执法的效率和覆盖面。此外，创新驱动的土地执法体系还应注重多部门协同作业，打破传统的管理模式，推动信息共享与合作，形成全方位、多层次的执法网络。通过创新，土地执法工作能够实现从传统人工管理向智能化、自动化管理的转型，提高执法效率，确保土地资源的合理使用与保护。

# 7 结语

土地执法工作作为保障土地资源合理利用、维护社会公平的重要手段，随着经济社会的不断发展，面临着日益复杂的挑战。通过对近年来土地执法工作模式的分析与调整，可以看出，尽管实施了季度卫片和地方自主巡查等新模式，依然存在技术不均、数据滞后等问题。因此，未来土地执法工作应着眼于智能化、精细化管理的推进，加强信息化建设，提升数据共享与协作机制，完善省级与地方的协同合作。此外，法制建设和政策支持的持续完善也将为土地执法提供强有力的保障。通过创新驱动与科技手段的不断引入，土地执法工作将在提高效率、保障公平和推动可持续发展的过程中发挥更为关键的作用。唯有不断优化和创新，才能实现土地资源的高效、合理利用，为社会的长远发展提供坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 朱建阳.F县土地执法监察存在的问题及对策研究[D].导师：申丽娟.西南大学,2024.
- [2] 周复宏.增强紧迫性和责任感落实“长牙齿”的硬措施——广西部署推进2024年度土地卫片执法工作[J].南方自然资源,2025,(01):2.
- [3] 马欣.《土地管理法》之执法措施研究[D].导师：裴兆斌;陈茹馨.大连海洋大学,2024.
- [4] 魏孟泽.县域土地执法监察工作的困境及对策研究[D].导师：王晓波.河北师范大学,2024.

# A Brief Analysis of the Practical Application of Cadastral Surveying Technology in Land Resource Management

Dafei Liang

Shanxi Jinou Land and Mineral Resources Consulting Service Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

Within China's land resource management framework, comprehensive documentation and archiving of spatial distribution patterns, land area specifications, topographic characteristics, ownership relationships, and usage status of various land types are mandated. These records are centrally managed by government authorities to ensure sustainable long-term utilization of land resources. Effective land management significantly enhances resource efficiency, with cadastral surveying—central to this process—providing critical data support. This study examines the interconnections between cadastral surveying and land management, while conducting an in-depth analysis of its practical applications through multiple dimensions including control surveying, topographic reconnaissance, and indoor data processing.

## Keywords

cadastral survey; land management; land survey

# 浅析土地资源管理中地籍测量技术的实践应用

梁达飞

山西金瓯土地矿产咨询服务有限公司，中国·山西 太原 030000

## 摘要

在我国土地资源管理体系中，涉及各类土地的空间分布、占地面积、地貌特征、权属关系及使用状况等细节，均须详细记录并归档，由政府部门统一管理，旨在推动土地资源的长期可持续使用。高效的土地管理工作有助于增强土地的使用效率，而地籍测绘作为土地管理核心环节，其积极作用在于为土地资源管理提供关键的数据支持。本文在探讨地籍测绘与土地管理之间的联系及其核心内容的同时，着重从控制测量、地形勘查、室内数据加工等多个维度，深入剖析地籍测绘在土地管理实践中的运用。

## 关键词

地籍测量；土地管理；土地测量

## 1 引言

土地作为人类生活与进步的根本依托，其特性在于无法复生。在当今社会与经济快速发展的背景下，土地资源变得极为稀有。为了促进土地资源使用的最大化效益，就必须执行地籍测量任务，这将为土地管理提供不可或缺的数据支撑。掌握土地信息数据，地籍测量起着决定性作用，执行地籍测量时必须恪守精确的测量规范，确保所获得的每项数据都精确且有效。本篇文章旨在探讨地籍测量在土地管理领域的作用及其运用。

## 2 地籍测量的概念及重要意义

### 2.1 地籍测量的概念

土地管理领域内，地籍测绘占据着核心地位，其根基在于周详的地籍勘探，即依托尖端科技手段开展的土地勘探活动。目前，从提升生产效率、确保土地登记精准性的角度，国土部门往往会安排掌握专业技巧的地籍测绘工作者应用现代设备对土地资源进行监管，获取精确的土地信息。现阶段，土地信息基本包括如下内容：土地总数量统计、土地用途效益评价、土地所有权确权等。相关机构会对这些信息进行收集，并按照搜集的信息制订相关的计划方案，而这正是地籍测绘的重要任务之一。作为一种专门的测绘工作，地籍测绘既能满足我国对土地资源管理的基本要求，同时也可为政府机构和人员创造显著收益，所以对它的深入研究具有非常重要的意义。

### 2.2 地籍测量的重要意义

公共部门进行的地籍测绘等工作是受到法律严格保护

【作者简介】梁达飞（1985-），男，中国山西左云人，本科，工程师，从事工程测量研究。

的活动范围，其测量结果直接关系到人们的公共利益，对国家的整体土地资源管理策略起到了直接作用，是保证国家土地科学规划以及有条不紊地进行管理的关键前提。因此，在实际操作过程中，应该对地籍测量工作严格管理，同时对参与工作人员的质量进行高要求。现如今，地籍测量已经成为国家土地税款征收的保障、也是保护个人土地权利的主要保障措施，并且不断推动着社会的进步和发展。因此，我们必须重视地籍测量的作用，通过利用有效方式来解决现有问题，减小规划管理工作的负担。当前地籍测量已经用于了比如房屋开发、城市工业区建设等众多领域。

### 3 土地管理地籍测量的应用

在开展土地管理工作时，可以实现土地管理地籍测量的应用。这种方法对于推动土地管理工作具有重要价值，主要通过测量土地地理位置来判断是否存在闲置的土地，以避免长期闲置而未利用的情况。

#### 3.1 地籍测量应用于土地测绘方面

在详细地区不动产计划和记录的过程中，地理测绘能够起到至关重要的作用，根据地物的形态、面积和位置等多个方面指标绘制出地区的具体图象。这样就使地区所有的特性一目了然。地区登记提供真实的、详细的资料支持，包括地区的精确位置及其实际范围等信息。通过这样的方式就可以获得每一地块的相关信息并建立起整个地区的详细资料库。现在地区的地理测绘实务主要是通过使用来自于地区登记的数据来创建地图，进一步显示数据和图片的关系。除此之外，在地区测绘的同时，利用地区登记的数据可以分析地区资源变动的变化趋势。利用收集到的地区数据和用地登记的数据，除了能够进行两者之间的相互检验和分析，还可以提升地区管理的质量和效益。

#### 3.2 地籍测量应用于土地监测方面

土地信息情况和土地信息数据之间的密切联系使得土地状态的变化会影响到相关的数据信息。在土地管理信息系统之中，为了确保土地信息系统数据的准确和完整，很重要的一点就是要根据当前的土地状态对数据进行更新<sup>[1]</sup>。而土地管理工作在工作的整个环节中对于土地变动监测情况来说是一个极其重要的步骤。土地管理同地籍测绘是紧密联系的，如果要依靠人力对工作进行实现的话，必然会消耗较多的劳力和物力，而且也不能及时获得中国土地资源的信息情况。以地籍测绘技术为基础，建立起来的一种网络体系构架可以成为一个完整的土地管理体系，在这种由各个网络节点覆盖的构成的网络区域内，可以通过支持来落实土地变化的监测跟踪。

#### 3.3 地籍测量应用于土地规划方面

土地资源的合理规划在土地管理领域占据核心地位。为了高效利用土地资源，必须基于科学方法对土地进行规划，而这一过程中，对地籍的精准测量是不可或缺的。测量

工作为土地信息的深度分析奠定了基础，从而构建起一套完整的土地数据体系。在土地管理信息系统中，通过地籍测量所获取的数据可以进行系统的归类与整合<sup>[2]</sup>。借助系统的高级计算能力，能够进一步探究地籍数据之间的内在联系，并实现对地籍信息的图形化表达。基于地籍测量绘制的地籍图对于土地规划工作具有重要的实际意义。这种绘图技术能够结合地形特征和区域划分，以更为清晰的方式呈现土地资源，便于规划人员实施具体工作。

#### 3.4 地籍测量应用于土地界点方面

在我国的土地管理体系中，对土地进行明确划分是至关重要的环节。无论是基于行政区域的土地资源划分，还是依据地理特征的划分，为了精确界定土地资源的具体范围和形态，必须确立各类土地资源的界限点。这些界限点相互连接，形成土地资源的连续分界线。在确定土地界限点的过程中，可以充分发挥地籍测绘技术的作用，例如运用全球定位系统（GPS）等技术手段，为每个界限点赋予独一无二的经纬度坐标进行定位。地籍测绘通过坐标系统，把土地界限点以精确的数据形式呈现<sup>[3]</sup>。由于测量过程中可能出现微小的偏差，可以通过多次测量并取平均值的方法来提升界限点的定位精确性。通过土地管理平台，我们可以将每次测量得出的界限点以图形化的方式直观展示，并进行比较分析，以观察地籍图上的细微差异，进而通过地籍测绘技术的精确对比来减少界限点数据的误差。

#### 3.5 地籍测量应用于土地控制方面

在进行土地测绘的流程中，首先需对目标地块实施分区的划分，随后在该地块上搭建起专属的测绘网络体系。地籍测绘技术多采用以信息技术为基础的测量节点，各个节点因受限于特定的测量幅度，在实施地籍测绘时，通过精确的计算与合理的布局设置众多的测量节点，这些节点联合起来作为一个整体在地籍测绘中发挥功效<sup>[4]</sup>。该测绘技术能够在特定区域内建立起一个测点网络，并以该网络为中心实现对该区域的全面覆盖。此类测绘由点及面，由初级土地划分逐步过渡到高级的土地划分。例如，在针对城市区域的地籍测绘工作中，测绘人员需深入到乡镇级别的土地管理部门进行实地操作。此外，地籍测绘工作还需与土地管理体系的构建相结合。地籍测绘所得的数据构成了土地管理体系的基础资料，而土地管理体系也为地籍测绘提供了重要的数据参考。通过与地籍测绘技术的整合，使得测绘数据得以融入土地管理体系之中。

#### 3.6 地籍测量应用于土地面积方面

在土地信息数据体系中，土地面积是一项至关重要的指标。为了深入了解土地状况，必须对其面积进行精确掌握。地籍测量技术在此扮演着关键角色，通过其建立的精确测量体系，我们能够获得土地面积的数据<sup>[5]</sup>。土地面积的测定往往需要经过反复测量才能得到确认。在进行广阔区域的土地面积测量时，地籍测量构建的测量网络能够从单个地块的面

积测量着手，将众多基础地块的位置与面积数据整合，形成覆盖整个区域的面积数据。这种科学严谨的土地面积测算方法，为土地管理工作提供了坚实的依据。在土地管理实践中，通过土地面积的准确数据，可以进行区域规划划分、土地资源的合理开发，从而提升我国土地资源的社会利用效率。

## 4 地籍测量在土地管理中的具体应用

### 4.1 对土地资源信息的综合管控

在经济与科技发展的我国，许多先进的测量技术已广泛应用于土地资源管理和监督工作中，并取得了巨大的成效。毋庸置疑，土地工作合理顺利实施的重要前提条件是一定技术的支持，例如如今的大城市中我国的地籍测量均已广泛使用全球导航卫星系统 (GPS)，其精准定位将地籍测量的效力充分彰显了出来，如此来推动我国土地资源管理的高效性。我们必须要充分应用地籍测量技术来发挥其潜在价值，应用我国各级国土资源管理机构，组成一个技术力量强大且迅速反应的综合信息网架，该架构可以全方位评估中国各地的土地资源管理情况与土地资源利用情况。

### 4.2 结合实际情况界定土地范围

仅仅依赖历史痕迹与地籍测量资料的结合才能清楚其边界的具体情况<sup>[7]</sup>。因此，采用地籍测量措施可以对土地管理区域的相关数据进行更充分的信息的采集工作。当进行土地测量的时候，工作人员应当尽可能地采用多种信息网络和定位技术来获得数据的采集工作，保障了其收集获得的数据达到高效程度，并为顺利完成土地分割工作的实施提供了稳定的数据保障。

### 4.3 地籍测量在土地管理系统打造中的应用

土地管理体系构建依赖于地籍测量的精确图像和数据支撑。一旦地籍测量数据出现显著误差，将影响构建高效的信息整理参考系统。利用全球定位系统技术，能够实现对多个地点的同时测绘，从而减少人力操作的时间和精力消耗，同时降低测量成本，增强测绘的整体效率（见图 1）。此外，地籍测量亦有助于工作人员更深入地了解建筑结构详情、楼层分布及河流宽度等信息，并能将这些资料以表格或图形方式整理呈现，有效减轻工作压力，并提升土地规划信息使用的准确性。

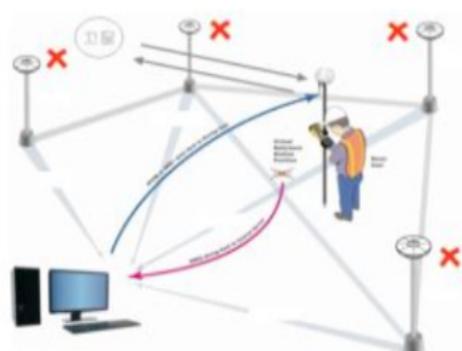


图 1 基础的定位与导航装备

### 4.4 地籍测量为土地勘测指明方向，提供技术支持

在土地利用规划的过程中，地籍测绘数据是不可或缺的基石。依托这些数据，对土地的面积、界限节点和地籍图纸进行多维度的整合工作，以此提炼出全方位的土地资讯，为设计工作者在土地资源规划设计中提供关键性的依据，进而制定出与工程项目实际相符的土地运用策略，最大程度地挖掘土地潜力<sup>[8]</sup>。此外，在土地资源的勘查作业中，勘查技术人员通过运用尖端科技手段对土地的面积、界址点等关键信息进行精准测量，为土地资源的全面利用提供了坚实的技术支撑。数字化技术在地籍测绘领域的应用，也保障了相关数据的合理化应用，其核心在于将各类信息数字化存储，便于技术人员迅速检索各类信息，进而对海量数据开展综合性的分析，为土地管理提供了更为精确的数据支撑（如表 1）。

表 1 手工测绘与数字化内业扫描技术对比

数据项目	传统手工测绘	数字化内业扫描技术
地籍档案扫描时间 (h)	20	5
扫描精度 (误差范围 mm)	2	0.5
数据处理时间 (h)	10	2
地籍档案存储究竟 (GB)	10	1
数据传输速度 (MB/s)	1	10

### 4.5 地籍测量在居民居住区中的应用

进行地籍信息采集时，需对建筑的层高、体积、占地面积等方面进行细致入微的测定。即使是新建的住宅，亦需实施地籍测绘，包括对房屋的大型台阶、斜坡、大型雨篷等结构进行现场实测，并将这些因素纳入考量范围<sup>[9]</sup>。至于那些临时性建筑或建筑的细部结构，如街边的非法建筑则无需测绘。然而，对于公共洗手间、牲口棚以及企业内部面积超过六平方米的车棚等设施，则必须进行测量记录。对于多层建筑，则要对其总体结构和各层情况进行测量并登记造册。

### 4.6 地籍测量在内业数据处理中的应用

土地测绘工作的周期通常较长，且工作条件相对艰苦，这对从事测绘的工作人员提出了更高的技能要求。在实际操作过程中，测绘人员必须对收集的每一条数据都保持高度的责任心，确保及时对所收集的专业数据进行处理<sup>[10]</sup>。同时，在信息整合与分析阶段，应主动采用前沿的数据处理与测绘软件，有效整合数据资源，形成图表，并且要确保数据的储存和备份工作得当，以防数据丢失。除此之外，在进行数据审核时，工作人员需保持一丝不苟的审查态度，针对那些不满足标准的测量点，进行精确的误差分析，以提升数据和测绘成果的精确度，确保其与实际情况相符。

## 5 结语

鉴于地籍测绘与土地管理之间密不可分的联系，它们彼此支撑并共同发展，任何一方都不可或缺。因此，在进行土地管理的过程中，相关人员必须借助尖端的测绘手段执行地籍测绘任务，以此提升地籍测绘的工作效率，保障测量数

据的准确性，进而提高地籍信息的精确性。

## 参考文献

- [1] 应鹏.地籍测绘与土地管理信息技术在城市发展中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(22):162-164.
- [2] 谭玮.数字化测绘技术在地籍测量工程中的应用[J].江苏建材,2024(02):135-136.
- [3] 梁彦文.现代测绘技术在地籍测量中的应用研究[J].四川建材,2023,49(07):25-27.
- [4] 许其宁,王云凌.三维激光扫描技术在地籍测量中的应用[J].经纬天地,2023(01):8-10,14.
- [5] 郭中卿.基于地籍测量的技术方法与应用研究[J].华北自然资源,2023(01):108-110.
- [6] 吴辉.三维激光扫描技术在地籍测量中的应用研究[J].冶金管理,2023(01):81-83.
- [7] 王俊念,杨岩岩,顾久美.数字化测图技术在城镇地籍测量中的应用研究[J].房地产世界,2022(21):148-150.
- [8] 刘祚城.农村集体土地确权地籍测量中应用测绘新技术的要点分析[J].黑龙江粮食,2022(09):67-69,42.
- [9] 戴洪宝,许继影.应用型本科测绘专业地籍测量学课程改革探讨[J].科技视界,2022,12(19):81-83.
- [10] 刘雪云.地籍测量在土地管理中的运用研究[J].黑龙江粮食,2022(04):91-93.

# Research on Digital Mapping and Information Management in the Protection of Historical Buildings

Huasen Li

Beijing Xinxing Huanyu Information Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

## Abstract

With the rapid development of digital technology, the application of digital surveying and information management technologies in the protection of historical buildings has become increasingly important. High-precision measurement techniques such as 3D laser scanning, drone aerial photography, and optical imaging can comprehensively record the geometric features and structural details of historical buildings, providing a scientific basis for subsequent protection and restoration work. The building data management system based on Building Information Modeling (BIM) technology enables efficient storage, sharing, and management of historical building information, supporting multi-party collaboration. In the process of historical building protection and restoration, digital surveying technology not only improves the accuracy and efficiency of data but also plays a crucial role in architectural restoration decision-making and protection plan design. This paper discusses the current application and technological innovations of digital surveying in historical building protection and highlights the importance of information management platforms in building data integration, sharing, and visualization, offering new ideas and methods for the sustainable protection of historical buildings.

## Keywords

Digital surveying; Historical building protection; 3D laser scanning; Building Information Modeling; Information management system

# 历史建筑保护中的数字化测绘与信息管理研究

李华森

北京新兴环宇信息科技有限公司，中国·北京 100000

## 摘要

随着数字化技术的快速发展，数字化测绘与信息管理技术在历史建筑保护中的应用日益重要。通过三维激光扫描、无人机航拍及光学成像等高精度测量手段，可以全面记录历史建筑的几何特征和结构细节，为后续的保护和修复工作提供科学依据。基于建筑信息模型（BIM）技术的建筑数据管理系统，能够实现对历史建筑信息的高效存储、共享与管理，支持多方协作。在历史建筑的保护与修复过程中，数字化测绘技术不仅提高了数据的准确性和效率，还在建筑修复决策和保护方案设计中发挥了重要作用。本文探讨了数字化测绘技术在历史建筑保护中的应用现状及技术创新，提出了信息管理平台在建筑数据整合、共享与可视化方面的重要性，为历史建筑的可持续保护提供了新的思路与方法。

## 关键词

数字化测绘；历史建筑保护；三维激光扫描；建筑信息模型；信息管理系统

## 1 引言

历史建筑承载着丰富的文化和历史价值，其保护工作不仅关系到文化遗产的传承，也对城市规划和社会发展具有重要意义。然而，由于历史建筑的复杂性和脆弱性，传统的保护方法往往存在信息采集不全、数据处理不精确等问题，影响了保护工作的效果和效率。随着数字化技术的飞速发展，数字化测绘技术作为一种高效、精确的数据采集手段，已广泛应用于历史建筑的保护与修复中。数字化测绘能够通

过三维激光扫描、无人机航拍等技术手段，对历史建筑进行全面扫描与建模，提供精准的数据支持。此外，建筑信息模型（BIM）技术的引入，使得历史建筑的保护与修复工作能够实现信息化管理和数字化协同，提高了修复工作的精度和效率。本文将深入探讨数字化测绘与信息管理技术在历史建筑保护中的应用，分析其优势与挑战，并探讨未来的技术发展方向。

## 2 数字化测绘技术在历史建筑保护中的应用

### 2.1 三维激光扫描技术的应用

三维激光扫描技术作为高精度、高效率的数据采集手段，已成为历史建筑保护中不可或缺的工具。通过激光扫描仪获取的点云数据，能够精确记录建筑物的几何形态和细

【作者简介】李华森（1992—），男，中国北京人，助理工程师，从事工程测量研究。

节，捕捉到建筑表面的每个微小变化。这种技术不仅能快速获取三维空间数据，还能在复杂的建筑结构中进行高密度的扫描，确保建筑各部分的精确还原。扫描得到的三维点云数据经过处理与分析，能够生成高精度的三维模型，进而为历史建筑的修复与保护提供科学依据。

## 2.2 无人机航拍与影像处理技术

无人机航拍技术在历史建筑保护中的应用，提供了一种灵活、便捷且高效的解决方案。通过无人机搭载高清摄像设备，可以获取建筑物全貌及其细节的高清影像，并能够覆盖传统测绘方式难以到达的高空及狭小空间。无人机能够在短时间内完成大范围、高分辨率的影像采集，为历史建筑的测绘提供了基础数据。结合影像处理技术，采用多视角影像拼接与立体重建方法，可以实现建筑物的三维模型重建。

## 2.3 光学成像与深度学习技术结合的创新方法

光学成像技术作为历史建筑数字化测绘的重要组成部分，利用高分辨率相机进行建筑外观的详细拍摄，获取精确的图像数据。通过将光学成像与深度学习技术相结合，能够从大量影像数据中提取出建筑的微小特征，并进行自动化分析与识别。这一创新方法不仅提升了数据处理的效率，还提高了分析的准确度。深度学习算法可以通过训练样本自动识别建筑的损伤、裂缝等问题，从而为保护和修复工作提供科学依据。该技术结合现代计算机视觉与人工智能，在提高测绘精度的同时，也大大降低了人工干预的需求，使得历史建筑的数字化保护过程更加智能化与自动化。

# 3 历史建筑数据采集与建模

## 3.1 建筑三维模型的构建技术

建筑三维模型的构建技术，尤其是结合激光扫描与摄影测量，已经成为历史建筑保护的重要技术手段。通过对建筑物进行高精度扫描与影像拍摄，结合激光点云数据与传统图纸信息，能够精准重建出建筑的三维几何模型。现代建模软件，如 Revit、3ds Max 等，支持多种数据格式的输入与处理，能够根据采集的数据自动生成精确的三维模型。这些模型不仅反映了建筑物的空间结构，还能通过增加材料属性和建筑历史信息，提升其在修复过程中的实用性。通过对模型的虚拟重建与修复仿真，能够进行更细致的损伤评估和修复方案设计，为保护工作提供科学依据。

## 3.2 数据整合与标准化处理

在历史建筑数字化保护中，数据的整合与标准化处理是确保测绘数据准确性与一致性的关键环节。历史建筑的数字化测绘通常涉及多个数据来源，包括激光扫描点云、无人机航拍图像、建筑图纸以及现场测量数据等。这些数据存在格式、精度和尺度上的差异，如何将其有效整合并转换为统一的标准格式，是确保保护效果的前提。采用先进的数据处理算法，结合地理信息系统 (GIS) 与建筑信息模型 (BIM)，可以实现各类数据的统一管理与应用。通过数据标准化处

理，能够确保不同来源的数据能够无缝对接与融合，从而为历史建筑的精确建模与保护提供可靠的数字基础。

## 3.3 高精度测量仪器与数据校正

高精度测量仪器在历史建筑保护中的应用，尤其是全站仪、GNSS 测量系统以及三维激光扫描仪，已成为数据采集的核心工具。这些仪器具备极高的测量精度和稳定性，能够在复杂的环境中获取精确的数据。然而，测量数据的精度往往受环境因素、仪器误差等影响，因此对数据进行校正是确保测量精度的关键环节。通过后期的数据校正方法，可以消除或减少由于测量误差、仪器校准问题等引起的偏差。在历史建筑的数字化测绘中，精确的误差分析与校正技术使得采集的数据更加可靠，进而提高三维模型的构建精度，为保护修复工作提供更加科学的数据支持。

# 4 历史建筑信息管理系统的设计与实现

## 4.1 建筑信息模型 (BIM) 技术的应用

建筑信息模型 (BIM) 技术在历史建筑保护中的应用，代表了数字化建筑管理的前沿发展。通过 BIM 技术，历史建筑的各类数据，包括结构、材料、施工工艺以及历史演变过程等，都可以集成到一个三维数字化平台中，形成一个完整的信息模型。这一模型不仅反映了建筑物的物理属性，还可以实时更新建筑的运行状态和修复历史，为建筑的生命周期管理提供精准的数字支持。BIM 技术的协同工作能力使得各方参与者能够在同一平台上进行信息共享与交流，优化设计和施工方案，降低项目风险。在历史建筑的修复过程中，BIM 技术通过模拟与分析，帮助识别潜在的损伤与风险，并根据真实数据提供修复方案的科学依据，从而实现更加精准、高效的历史建筑保护。

## 4.2 信息管理平台的架构与功能

历史建筑信息管理平台的设计与架构，旨在实现多方数据的高效整合、管理与共享。该平台基于云计算技术构建，能够处理来自不同来源的多种数据，包括三维点云、影像、修复记录等信息，并进行统一的管理与展示。平台的核心功能包括数据存储、检索、可视化和决策支持，通过强大的数据库管理系统与数据分析模块，实现对历史建筑全生命周期的监控与管理。在平台架构设计上，采用模块化结构，可以根据需求扩展功能模块，确保平台具备灵活性与可持续性。用户可以通过平台进行建筑物数据的实时更新与维护，平台也支持与其他相关管理系统的互联互通，实现多方协同合作和信息的无缝对接。通过该信息管理平台，历史建筑的保护与修复工作能够更加精细化、系统化，提高管理效率并减少人为干预。

## 4.3 数据共享与协同工作的技术保障

数据共享与协同工作技术是实现历史建筑保护高效管理的关键。通过构建一个集成化的信息共享平台，采用高性能的云计算和大数据技术，可以确保不同领域专家、机构

及政府部门间的信息互通与共享。平台提供了基于权限的访问控制，保证了数据的安全性与隐私性。在协同工作方面，平台通过实时数据同步与多用户并发操作的技术，支持不同参与者在同一系统中进行同步编辑与数据更新，大大提高了工作效率。数据共享技术确保了历史建筑各项数据（如修复记录、结构评估、材质检测等）的统一标准与及时更新，避免了信息孤岛现象，减少了工作中的重复劳动与信息滞后问题。基于区块链技术的溯源机制，使得数据的真实性与可靠性得到了有效保障，确保历史建筑保护决策基于最精确、最及时的数据进行。

## 5 历史建筑保护中的数字化测绘技术创新

### 5.1 增强现实（AR）与虚拟现实（VR）技术在保护中的应用

增强现实（AR）与虚拟现实（VR）技术在历史建筑保护中的创新应用，极大提升了建筑保护的可视化与互动性。AR 技术通过将虚拟信息叠加到现实世界中，使得历史建筑的现状与其数字化重建或修复方案能够实时对比和展示，帮助保护团队在现场进行精确的决策与操作。通过智能眼镜或移动设备，专家可以实时查看建筑的虚拟模型与实际结构的对照，从而精准评估修复效果。虚拟现实（VR）则提供了一个完全沉浸式的虚拟环境，使得用户能够在三维虚拟空间中进行建筑的虚拟漫游、修复演练及历史场景重现。VR 技术的沉浸感不仅帮助修复团队更好地理解建筑结构和修复需求，也为公众教育与文化传承提供了全新的体验方式。结合 AR 与 VR 的应用，历史建筑的保护工作不仅变得更加直观、灵活，同时也能够进行更具前瞻性的虚拟修复和风险评估，推动历史建筑保护的数字化、智能化进程。

### 5.2 云计算与大数据技术在信息管理中的作用

云计算与大数据技术的引入，为历史建筑信息管理提供了强大的技术支持。通过云计算平台，可以实现大规模的数据存储与处理，所有的建筑信息、历史记录、测绘数据等都能够在云端进行高效管理和共享。这种集中式的管理模式使得历史建筑的各类数据不再孤立，可以跨部门、跨地域地进行协同合作，推动保护工作的高效推进。大数据技术则通过对历史建筑相关数据的分析与挖掘，能够揭示出建筑结构的潜在风险与问题，优化修复方案。例如，通过对建筑历史数据的时序分析，可以预测建筑物在不同环境条件下的变化趋势，从而实现更精确的长期保护规划。大数据技术还能够对修复过程中的各类数据进行实时监控与评估，提升决策过程的科学性与准确性。云计算与大数据的结合，为历史

建筑的全生命周期管理提供了一个系统、精准的数字化解决方案。

### 5.3 智能化测量与自动化数据处理技术

智能化测量与自动化数据处理技术在历史建筑保护中的应用，显著提升了测量精度与工作效率。通过人工智能与机器学习算法的结合，智能化测量设备能够自主识别建筑物的关键特征，自动进行测量与数据采集。这些设备不仅可以在复杂的建筑环境中精确地进行扫描，还能根据建筑物的实时状态调整测量方案，确保数据的全面性与精确度。自动化数据处理技术使得历史建筑的数字化测绘过程更加高效，传统的手工处理与人工分析流程被自动化算法所替代，从而减少了人为误差与工作时长。通过自动化处理，采集到的大量点云数据、影像数据等能够迅速转化为可用的信息，为三维建模、结构分析和修复规划提供准确支持。智能化测量与自动化数据处理技术不仅推动了历史建筑保护工作的数字化转型，也大大提升了修复项目的效率和精度，减少了成本和时间的浪费。

## 6 结语

历史建筑保护作为文化遗产传承的重要任务，随着数字化测绘与信息管理技术的不断发展，已经进入了一个全新的时代。三维激光扫描、无人机航拍、BIM 技术等数字化手段，极大提升了保护工作的精度和效率，使得历史建筑的修复与维护能够更加科学、精准。与此同时，AR/VR 技术、云计算、大数据以及智能化测量等创新技术的应用，也为历史建筑保护带来了更多的可能性。这些技术不仅提升了数据采集、分析与处理的能力，还促进了多方协同与信息共享。未来，随着技术的不断进步与优化，历史建筑的保护将更加依赖于数字化、智能化的手段，推动文化遗产的可持续发展与传承。通过持续创新与技术融合，我们有理由相信，历史建筑将在现代科技的帮助下，焕发新的生命力，继续承载着历史与文化的价值。

### 参考文献

- [1] 陈楠.数字建造技术在历史建筑保护综合改造项目的应用研究[J].建筑施工,2025,47(01):47-50.
- [2] 丹妮.数字测绘技术精准赋能历史建筑保护修缮——专访上海建工四建集团有限公司总工程师张铭[J].中国测绘,2022,(04):26-29.
- [3] 杨新.数字技术在历史建筑保护与修复中的应用研究[J].中国房地产,2021,(21):74-79.
- [4] 王娟芬.数字媒体技术在历史建筑保护中的应用[J].住宅科技,2020,40(03):34-36+42.

# Analysis of surveying and mapping technology application in land change survey

Hailong Yuwen Dongshen Zhang\*

Inner Mongolia Autonomous Region Surveying and Mapping Geographic Information Center, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

## Abstract

The National Land Change Survey, a crucial annual assessment of China's land resources and development status, focuses on accurately tracking changes in land use patterns nationwide while maintaining data currency. To fulfill its objectives, the survey employs geomatics technologies to generate precise survey data, providing essential references for policy-making and resource allocation. This study provides an overview of the survey's implementation framework, analyzes the advantages of geomatics applications, and explores practical implementation strategies to serve as a reference for stakeholders.

## Keywords

land change survey; surveying and mapping technology; application

# 试析国土变更调查中的测绘技术应用

宇文海龙 张东申\*

内蒙古自治区测绘地理信息中心，中国·内蒙古 呼和浩特 010000

## 摘要

国土变更调查是一项年度性的重大国情国力调查，核心任务是准确掌握全国土地利用现状的变化情况，保持国土调查数据的现势性。而为了满足国土变更调查工作的各项要求，应用测绘技术进行有效支撑，获得更加精准的调查数据。为各项工作提供依据。鉴于此，开展本文的研究工作，简单概述国土变更调查的具体情况，分析测绘技术的应用优势，并探究测绘技术的具体应用，以供相关人员参考。

## 关键词

国土变更调查；测绘技术；应用

## 1 引言

国土变更调查主要是指基层国土资源管理部门以上级部门下发的工作要求与相关国家政策为基础，利用各项技术和工具开展的土地资源应用变更情况调查工作，包括行政区划变化、土地权属变化、土地利用现状变化等多个方面。在调查工作中，应用测绘技术，例如遥感技术、GIS 技术、航空摄影测量技术等，可以获得更加精准的测量成果，为土地资源管理和决策提供强有力的技术支撑。

## 2 国土变更调查概述

国土变更调查是对国土利用现状变化的更新调查，保持国土调查成果的现势性和准确性。通过实地调查举证和数据分析，及时掌握土地利用、土地权属以及行政区划等方面的变化情况。通过开展国土变更调查工作，进一步了解土地资源的应用状况，把握用地性质，得到准确的统计信息，为决策者提供精确及时的土地变化信息，帮助他们制定更加科学合理的策略<sup>[1]</sup>。同时也能开展对土地资源的合理规划与管理，最大化地实现土地的经济社会和生态效益，从而促进可持续性发展。而且，开展国土变更调查，获取详细全面的数据，揭示土地使用的历史和现状，预测未来土地的使用趋势，避免盲目决策，确保土地政策的科学性和有效性。国土变更调查可以为国家提供有关土地资源配置、利用效率以及潜在风险的详细数据，保障国土资源的权益，避免资源争端，维护国家的经济安全和社会稳定。

**【作者简介】**宇文海龙（1977—），男，中国内蒙古呼和浩特人，本科，副高级工程师，从事城市空间监测核查与年度国土变更核查研究。

**【通讯作者】**张东申（1980—），男，中国内蒙古呼和浩特人，本科，工程师，从事城市空间监测核查与年度国土变更核查研究。

### 3 国土变更调查中测绘技术的应用优势

#### 3.1 数据获取范围更广、精度更高

国土变更调查工作中，应用测绘技术可以充分发挥技术优势，获得范围更广、精度更高的数据。应用全球导航卫星系统技术，实现厘米级甚至毫米级定位，精准地获取地块边界、权属拐点等关键信息，避免人工丈量的误差<sup>[2]</sup>。而通过遥感技术的应用，能够快速覆盖全域，捕捉耕地、建设用地等土地类型的变化，无需逐地块人工巡查。应用无人机航测技术，灵活深入山区、城乡结合部等一些复杂区域，获取高分辨率影像，清晰识别房屋新建、道路拓宽等一些细微的变更情况。

#### 3.2 数据处理效率快

测绘技术应用于国土变更调查工作中，可以进一步提升数据处理的效率。AI 技术的遥感影像解译系统的应用，可以自动识别土地利用类型变化情况，初步筛选出变更图斑，替代传统的人工判读，效率提升数倍。地理信息系统可将遥感影像、权属资料等有效整合，构建国土变更调查数据库，实现数据的统一管理、查询与分析，避免数据分散混乱。而且通过测绘技术的标准化流程，例如影像校正、坐标转换等，可以有效控制数据误差，确保不同批次、不同区域的调查数据具有一致性，便于全国范围内的汇总和对比，从而提高数据处理的效率。

#### 3.3 实现动态监测

在测绘技术的支持下，可以开展长期动态的国土变化监测工作，为国土空间监管提供重要依据。应用高时间分辨率的遥感卫星技术，定期获取同一区域的影像，结合 GIS 的叠加分析功能，可以快速发现土地利用的实施变更情况，及时掌握违法占地等情况<sup>[3]</sup>。通过存储不同时期的测绘数据，可追溯土地利用的历史变化轨迹，为国土规划和生态保护等提供数据支撑。

### 4 国土变更调查中测绘技术的具体应用

#### 4.1 卫星遥感技术的应用

遥感技术是国土变更调查最基础、最先导的技术手段。它可以利用高分辨率的卫星影像和航空影像，获取全覆盖、多时相的遥感数据。该技术覆盖范围广，获取速度快，不受地面条件限制。在国土变更调查中，遥感技术可进行大规模观察，具有一定的应用优点，兼具时效性、合理性和综合性。通过多光谱 HD 高清航拍，对指定区域进行测量获取比例图，展开分析工作。卫星遥感技术可进行连续的大范围的地表覆盖监测工作，定期获取卫星遥感影像，对比不同时间的地表覆盖情况，识别出土地利用类型的变化，例如耕地转为建设用地、林地退化等基本情况，可以为政府制定土地利用规则和规划提供科学依据<sup>[4]</sup>。卫星遥感技术在土地矿产资源监测中发挥重要作用，勘察矿产开采情况，及时发现并处理非法采矿的行为，保护国家资产安全。卫星遥感技术应用会受到

天气、云层等自然条件的限制，因此在应用该技术时需要充分考虑这些因素，优化选择。

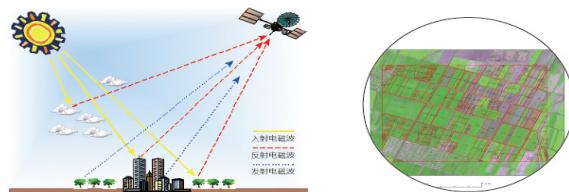


图 1 遥感技术及遥感图斑

#### 4.2 航空摄影测量技术的应用

航空摄影测量技术是一种高效准确的地面信息采集技术，在国土变更调查中的应用效果显著。航空摄影测量技术可以提供高分辨率的影像数据，清晰地展示地表细节和特征，对于识别土地类型、划定土地边界有着十分重要的意义。而且基于高分辨率影像数据，还可以制作数字正射影像图和数字高程模型，为土地规划设计提供依据<sup>[5]</sup>。无人机搭载多镜头相机从垂直和倾斜多个角度采集影像，能够快速获取复杂区域的详细数据，不会受到现场环境的影响。生成的实景三维模型可以量测长度、面积、体积，地物属性一目了然，便于顺利开展内业判读和外业复核。而且该技术可获取厘米级精度的三维数据，适用于违法用地监测、建设用地审批等多个场景中。而对于单体复杂建筑或地形，可应用三维激光扫描技术进行超高精度的三维数字化存档。在一些特定需求下，该技术是无法替代的。例如古建筑保护区的变更调查。该技术还可以与 GIS 等技术相结合，实现数据的自动处理和分析，提高工作的效率。

#### 4.3 GIS 技术的应用

GIS 技术指的是地理信息系统技术，是一种集空间数据采集存储管理分析和可视化于一体的综合性技术。在 GIS 平台中包含了遥感影像、无人机三维模型、GNSS 测量的图斑等各类数据。工作人员可在 GIS 软件中直接进行遥感解译、图斑边界勾绘、属性录入和拓扑关系检查。在 GIS 空间分析功能的支持下，可进行数据逻辑一致性检查、变化流量分析等各项工作，确保最终成果的质量。最后生成国家要求的各种统计报表、专题图鉴和数据库成果，从而为国土空间规划等提供数据支持。

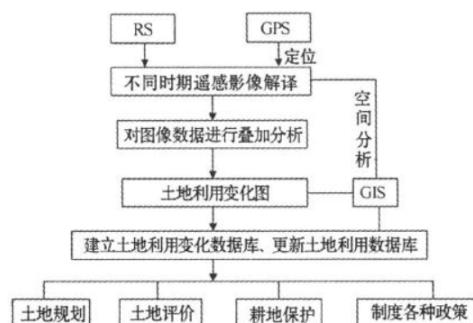


图 2 GIS 技术与 RS、GPS 技术的结合应用流程

#### 4.4 全球导航卫星系统的应用

全球导航卫星系统（GNSS）在调查中主要应用于外业核查和测绘的精准定位。它通过接收来自多颗导航卫星的信号，可以实时准确地确定地面点的三维坐标。在国土调查工作中，可高效应用GNSS技术。首先GNSS技术可以实现土地界址点的精准测量。在传统测量工作中会受到地形天气的影响，而该技术可以很好地克服这一障碍，提高测量的工作精度和效率。为土地权属的明确提供依据。其次，GNSS技术还可以测量土地面积。测量土地边界各点坐标，与GIS技术结合，精准计算出土地的面积。外业核查工作中，调查人员可以根据内业提取的变化图斑，到实地进行核实。而对于新增或者发生变化的内容，例如新建的道路、建筑物等，调查人员可以直接使用RTK采集其边界坐标，直接生成符合精度要求的电子数据，更新内业数据库。在该技术的支持下，可开展土地的动态管理工作，为各项工作提供依据。

#### 4.5 CORS技术的应用

CORS系统指的是连续运行参考站系统，是国土变更调查中一项重要的空间基础设施。它通过建立若干个固定的连续运行的GPS/GNSS基准站，利用卫星定位技术、计算机网络和数字通信技术，可以为广阔区域内的用户提供实时、全天候、高精度的三维坐标信息。在国土变更调查的外业数据采集工作中，依托于CORS系统的厘米级实时定位能力，外业人员通过移动终端，直接获取变更图斑的精确坐标。针对遥感影像未能清晰识别的隐蔽变更，CORS系统可现场快速补测。CORS系统与PAD、嵌入式GIS等集成，开发出了便于野外携带和操作的专用测绘装备，实现了定位与长途一体化。可进行内外业无缝衔接的全数字化土地调查工作。CORS系统可以与多项技术综合应用。例如，该系统可以为卫星遥感和无人机航测提供高精度控制点。在应用无人机航空摄影测量时，CORS可快速完成像片控制测量，检核数字正射影像成果的平面精度，确保影像解译的可靠性。获取的三维坐标数据，可与GIS数据库中的历史调查成果进行叠加分析。例如，在集体土地所有权调查工作中，CORS系统提供统一的坐标基准，确定不同时期不同来源的权属数据空

间的一致性，可以减少因坐标差异导致的纠纷。

#### 4.6 激光雷达技术的应用

激光雷达技术是一种光学遥感技术，通过向目标发射激光束，测量激光信号从发射到被物体反射回来的时间，计算与目标之间的距离。它能够获取厘米级甚至毫米级精度的三维空间数据，而且不依赖环境光，白天黑夜都能工作。但是会受到雨雪等天气的影响。在国土变更调查工作中，应用激光雷达技术可获得更加高精度、高分辨率的数据。具体应用中，通过使用激光扫描地面获取地表的三维坐标信息，进而构建出高精度的数字高程模型。而且还能够实现对植被覆盖区域的精准测量。与传统的遥感技术相比，激光雷达技术可以穿透植被层获取地表的真实信息，明确植被分类情况，计算植被覆盖面积<sup>[6]</sup>。而且，激光雷达技术可应用于三维模型构建中，直观地展示土地资源的空间分布和特征。

### 5 结语

综上所述，新时期国土变更调查工作开展时可合理应用测绘技术，发挥遥感技术、CORS系统、GIS技术、GNSS技术、激光雷达技术等多项技术的优势开展。更加详细全面的调查工作，获得精准可靠的数据信息，为国土空间管理提供重要依据，更好地服务国家和社会的发展。

#### 参考文献

- [1] 朱鹏飞. 国土变更调查中的测绘新技术应用研究[J]. 工程管理与技术探讨,2025,7(6).
- [2] 任露. 测绘新技术在国土三调以及国土变更中的应用分析[J]. 低碳世界,2025,15(2):46-48.
- [3] 胡昕,王斌. 年度国土变更调查技术的创新与应用[J]. 测绘与空间地理信息,2025,48(6):139-140,144.
- [4] 赵欢欢,李博,韩晓飞,等. 现代测绘技术在国土调查中的应用与挑战[J]. 科技资讯,2025,23(3):205-208.
- [5] 杨春安. 国土变更调查中的测绘新技术应用研究[J]. 城市情报,2024(8):153-154.
- [6] 张晓宇. 国土变更调查的实施方法探索及问题处理[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(z1):184-185,188.

# Application effect and optimization strategy of UAV aerial surveying technology in topographic mapping

Qixue Xu

China Railway 11th Bureau 5th Company, Chongqing, 400037, China

## Abstract

With the continuous advancement of aerial photogrammetry and remote sensing technologies, drone aerial surveying has gained widespread application in topographic mapping due to its advantages of mobility, cost-effectiveness, and ease of operation. This technology not only enables efficient acquisition of high-precision terrain data in complex environments but also integrates with multi-source data to provide crucial support for land planning, resource surveys, environmental monitoring, and engineering projects. Starting from the fundamental principles of drone aerial surveying, this paper systematically analyzes its primary applications in topographic mapping, thoroughly explores existing challenges, and proposes targeted optimization strategies to provide theoretical references and technical guidance for related research and practices. Through comprehensive analysis of technical characteristics, application advantages, and development bottlenecks, the study aims to promote the standardization, intelligentization, and sustainable development of drone aerial surveying technology in topographic mapping.

## Keywords

UAV aerial survey technology; topographic mapping; application effects; optimization strategies

# 无人机航测技术在地形测绘中的应用效果与优化策略

徐其学

中铁十一局五公司，中国·重庆 400037

## 摘要

随着航空摄影测量与遥感技术的不断发展，无人机航测技术凭借其机动灵活、成本相对较低、操作简便等优势，在地形测绘领域的应用日益广泛。该技术不仅能够在复杂环境下高效获取高精度地形数据，还能与多源数据融合，为国土规划、资源调查、环境监测、工程建设等领域提供重要的数据支撑。本文从无人机航测技术的基本原理出发，系统分析其在地形测绘中的主要应用效果，深入探讨当前存在的问题与挑战，并提出针对性地优化策略，以期为相关研究与实践提供理论参考与技术指引。通过对技术特点、应用优势及发展瓶颈的全面剖析，本文旨在推动无人机航测技术在地形测绘领域的规范化、智能化与可持续发展。

## 关键词

无人机航测技术；地形测绘；应用效果；优化策略

## 1 引言

地形测绘为地理信息科学的关键组成部分，是获取地表形态、地物分布连同地理空间关系的基础工作。在国民经济建设、生态环境保育、灾害应急响应等范畴，地形测绘成果所起的作用不可替代。传统地形测绘主要借助载人航空摄影、卫星遥感以及地面测量等方式，即便有着一定的技术成熟基础，但成本高昂、作业周期冗长、灵活性欠佳、环境适应性受限等问题普遍存在。无人机航测技术的崭露头角，为地形测绘开拓了全新的发展空间，全面分析这些问题并给出优化策略，对推动无人机航测技术于地形测绘领域的稳健发

展意义重大。

## 2 无人机航测技术概述

### 2.1 基本原理

无人机航测技术是一种把航空飞行、遥感测量、地理信息采集与处理集于一身的综合技术，其核心工作流程涉及任务规划、数据采集、数据预处理、数据解算与建模、成果输出与应用等环节。任务规划阶段，须依照测绘目标与精度要求，制定合理的飞行航线，明确飞行高度及重叠度，然后调整传感器参数<sup>[1]</sup>。数据采集阶段，无人机携载光学相机、多光谱相机、激光雷达等传感器，沿预设航线自行完成影像或点云数据采集工作。处于数据预处理环节，针对原始数据实施辐射校正、几何校正、去噪等处理举措，借此消除系统误差与环境干扰。数据解算建模阶段，依靠空中三角测量、

【作者简介】徐其学（1980-），男，中国云南曲靖人，高级工程师，从事精密工程测量、高精度定位测量研究。

点云匹配、三维重建等算法，得到数字高程模型、数字正射影像、数字线划图等标准化成果。把已处理的成果用规范格式输出，为各类应用供给数据支撑。

## 2.2 系统组成

无人机航测系统是一个靠多模块协同工作组成的有机整体，各部分功能相辅相成、不可或缺。整个系统以无人机平台为基础，依作业需求可分成多旋翼、固定翼、无人直升机等类别，各平台于飞行稳定性、续航能力、载荷能力等方面特点各异。飞行控制系统恰似无人机的“大脑”，从事姿态控制、航线执行、定位导航及应急处理相关工作，直接关乎作业的安全性与精度，任务载荷乃是数据采集的关键核心，涉及光学、多光谱、激光雷达等诸多传感器，其性能参数对数据类型、分辨率与精度起着决定性作用，数据传输系统达成飞行状态跟采集数据的实时传输，保证作业过程处于可监控与可调整状态。数据处理系统由硬件设备及专业软件组成，达成从原始数据到最终成果的处理及分析，硬件层面需高性能计算机及大容量存储设备，软件层面需借助专业的数据处理平台，达成数据预处理、解算、建模及成果输出。

## 3 无人机航测在地形测绘中的应用效果

### 3.1 提高测绘效率

无人机航测借助自动化飞行及数据采集，极大减少了野外作业的时间与人工干预的程度，进而显著增进测绘效率，能在短时间内覆盖广袤区域，通过多架次接力及分区域作业实现连续测绘。与传统地面测量相比，既减少了人力投入，还排除了因地形复杂引起的作业延误。与载人航空摄影相较，无人机航测无需繁琐的起降准备及航线协调，可在更短时间内达成数据采集任务<sup>[2]</sup>。无人机凭借快速响应能力，在应急测绘中脱颖而出，可以在事件发生后迅速加以部署，为决策及时呈上数据支持。

### 3.2 提升数据精度

无人机航测于数据精度方面的优势主要展现为高分辨率传感器与高精度导航系统的结合。高分辨率光学相机及激光雷达等载荷可捕捉细微地形特征，产出高密度点云或影像数据，为后续处理给予丰富信息，如RTK、PPK技术的高精度导航系统，可获取厘米级定位精度，保障数据采集在几何层面的精准性。在开展数据处理工作阶段，如空中三角测量、多视图立体匹配等先进算法，可有效去除影像畸变与测量误差，生成数字高程模型、正射影像及线划图，这些成果足以契合不同比例尺地形测绘的精度标准，还可为各类应用筑牢可靠的数据根基。

### 3.3 增强环境适应性

无人机航测的环境适应性主要展现为其对复杂地形与恶劣环境的应对能力。与传统地面测量相比，无人机无需人员进入作业区，可在山地、峡谷、森林、水域等通行受阻的地形中灵活展开作业<sup>[3]</sup>。在植被密集区，将激光雷达(LiDAR)

与多光谱成像同步采集，利用激光雷达穿透冠层的能力获取地面真实高程，同时结合多光谱数据识别植被类型与生长状态，实现地形与生态信息的同步提取。对于水域及湿地，可搭载高光谱传感器识别水体深度与水质参数，配合激光雷达测深数据，形成高精度的水下地形模型。开发基于实时三维点云的自主避障系统，使无人机在峡谷、森林等复杂地形中能以超低空飞行模式紧贴地表，保持安全距离的同时最大化提升数据分辨率。

### 3.4 降低作业风险

在地形测绘工作中，作业安全始终是关键考量内容，特别是在复杂或危险区域作业之际，传统方法一般伴随着较高风险，依靠“无人化”作业模式的无人机航测，使测绘人员无需直接去往滑坡区、塌陷区、边境地带等高风险区域，全面保障了人身安全。由于无人机具有低成本特性，设备损失风险降低了，就算出现飞行故障，经济损失相对较少。

### 3.5 支持多源数据融合

现代地形测绘对数据丰富性与综合性方面的要求不断提升，单一的数据类型难以契合复杂应用要求。无人机航测可获取多类型且高精度的原始数据，为多源数据融合给予了有力支撑，把无人机影像数据和激光雷达点云相融合，可充分运用影像的纹理信息与点云的高程精度，生成兼具高分辨率及高精度的三维模型。结合无人机与卫星遥感这两类数据，能达成大范围宏观监测与小范围精细测绘优势的相互补充。与地面测量数据进行融合，即可凭借高精度控制点校准无人机成果，进一步增强数据的可靠性。

## 4 存在的问题与挑战

### 4.1 技术标准化不足

虽然无人机航测技术进步迅猛，但技术标准方面存在显著短板。设备性能指标、数据采集规范、成果精度评价等方面未形成统一标准，造成不同机构成果在格式、精度以及质量方面存有差异，阻碍数据共享与互操作的开展。标准缺失或许会造成作业流程不规范，加大质量控制难度。不同单位采用的飞行参数及数据处理方法或许不同，造成相同区域的测绘成果可比性不足，给后续利用增添麻烦，标准未统一同样对行业整体发展速度造成了影响，致使无人机航测技术在更大范围的推广应用受限，建立健全技术标准体系成为推动行业规范发展的急切需求。

### 4.2 数据处理复杂度高

无人机航测产出的海量高分辨率数据，需高性能计算设备及专业软件予以支持，处理流程有一连串复杂操作，对技术人员能力的要求相对较高，从数据预处理起至最终成果输出，各环节均需专业知识与经验，尤其是影像匹配、空中三角测量、点云分类等关键步骤，算法的选择以及参数的设置对成果质量影响显著，数据处理期间有可能碰到数据量繁多、存储压力巨大、计算耗时等难题，应配备高性能硬件与

高效软件平台。

### 4.3 受天气与空域限制

自然环境与政策因素对无人机航测的影响程度较大。大风、降雨、大雾等天气情形会直接影响飞行安全以及数据质量，甚至造成作业中断。空域管理政策或许会对飞行区域与时间加以限制，造成作业安排的不确定性加大。空域申请流程繁琐，审批所需时间久，降低了作业的及时性与灵活性<sup>[4]</sup>。即便处于可飞行区域，限高、限飞时段等限制条件或许也会存在，对作业范围造成了进一步的限制，这些因素让项目管理难度攀升，还易引发作业成本攀升以及进度滞后。

### 4.4 续航能力有限

续航能力是影响无人机航测效率的关键所在。消费级及工业级无人机续航时长有限，难以胜任大范围、长时间的连续作业要求，需频繁进行起降或更换电池操作，这不仅造成作业效率降低，进而提升了操作难度系数，身处偏远地区作业之际，充电和电池储备也可能演变成难题。即便部分固定翼无人机续航时长可观，但起降场地有不足，灵活性也欠佳，增强续航能力需从电池技术、动力系统、机身设计等多方面进行优化，同时借助作业规划优化，减少无意义飞行时间，续航问题若被解决将直接增进无人机航测的实用性与竞争力。

## 5 优化策略

### 5.1 完善技术标准体系

构建统一的无人机航测技术标准体系，是推动行业步入规范化的根基。标准体系需覆盖设备性能指标、数据采集规范、处理流程、成果质量评价等范畴，厘清各项技术参数与质量要求，依照行业发展实际情形，按时刷新标准内容，适应技术进步以及应用需求。依靠标准统一，可提升不同机构成果间的一致性与可比性，实现数据共享与互操作。制定标准也应借鉴国际先进经验，助力国内技术标准与国际接轨同步，增进行业竞争力水平。在标准实施阶段，应加大监督与评估力度，保证各单位切实执行，以此提升整体作业质量。

### 5.2 提升数据处理智能化水平

推动智能化技术应用乃是降低数据处理门槛、提升处理效率的关键。应当进一步加大自动化、智能化数据处理软件的研发投入，从原始数据直至最终成果的半自动化或全自动化处理。采用人工智能与机器学习算法，提高影像匹配、点云分类、特征提取等环节的自动化水平，降低人工介入<sup>[5]</sup>。依靠云计算技术构建分布式数据处理平台，实现海量数据的高效存储及运算，弱化对本地硬件的依赖。凭借技术创新，优化处理流程、缩减处理周期，助更多机构高效实现数据处

理任务，促进技术全面普及。

### 5.3 加强空域协调与天气应对

鉴于空域限制状况，建立高效的空域申请与协调机制，优化审批环节，增强作业机动性。行业协会需与相关部门增进沟通，推动出台契合无人机航测特点的空域管理相关政策，助力实现合法合规作业。强化气象监测与预报力度，凭借实时气象数据改进作业计划，避开恶劣天气阶段。在作业期间配备应急方案，防范突发天气变动，降低作业中断概率。依靠政策协调与技术手段结合，将空域与天气因素对作业的影响降至最低限度。

### 5.4 提高无人机续航能力

提升续航能力得借助多技术路径协同推进。须着重开展电池技术研发，增强能量密度与充放电效率。探索太阳能辅助动力、混合动力等新型动力系统，让飞行时间变长。从机身设计角度来看，运用轻量化材料与气动优化削减能耗，规整作业规划，减少无意义飞行路径，加大单位时间里作业的效率。针对大规模作业，可运用多机协同跟自动换电技术，达成连贯作业，续航能力若提升将直接加大无人机航测的实用性和竞争力，扩充其应用规模。

## 6 结论

地形测绘中无人机航测技术展现出突出的应用优势，可有效提高测绘效率以及数据精度，增进在不同环境下的适应性，降低作业面临的风险，还可为多源数据融合给予支撑。该技术于标准化建设、数据处理、空域管理及续航能力等方面依旧面临挑战。依靠完善技术标准体系、提高数据处理智能化水准、加强空域协调及天气应对举措、提升续航能力以及推动多技术融合应用等策略，可有效应对现有状况，更充分挖掘无人机航测技术的潜力。未来伴随技术持续进步与行业不断发展，无人机航测在地形测绘领域将发挥更关键的作用，推动地形测绘朝向更高精度、更高效率、更广泛应用的方向挺进。

## 参考文献

- [1] 王泽阳.无人机航测及地理信息技术在地形测绘中的应用[J].大众标准化,2025,(18):169-171.
- [2] 亓峰,卢雪玉.无人机航测技术在复杂地形测绘中的应用研究[J].坦克装甲车辆,2025,(16):83-84.
- [3] 宗瑜航.地形测绘中无人机航测技术运用探究[J].低碳世界,2025,15(05):49-51.
- [4] 魏涛,韩磊.无人机航测技术在复杂地形测绘中的精度分析[J].北斗与空间信息应用技术,2025,(02):87-89+106.
- [5] 姚祥飞.无人机航测技术在矿山地形测绘领域的运用阐述[J].中国金属通报,2025,(04):130-132.

# Research on High-Efficiency Beneficiation Technology and Process Optimization of Super-Poor Magnetite

Yong Wang

Xinjiang Nonferrous Metals and Metallurgy Design & Research Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

China's iron ore resources are characterized by their low grade, high impurity, and fine particle size, with ultra-poor magnetite reserves accounting for over 70% of the country's total iron ore reserves. As high-grade ores gradually deplete, the development and utilization of low-grade magnetite have become a crucial direction for achieving sustainable development in the steel industry. Due to their low iron content, fine dissemination, complex gangue, and difficult separation, ultra-poor magnetite has emerged as a focal point and challenge in mineral processing technology. Based on a systematic review of domestic and international research achievements, this paper combines process practices from typical mining areas to provide an overview from five aspects: ore characteristics, separation mechanisms, key technological advancements, process flow optimization, and green development directions. The study identifies the integrated use of wet-dry combined separation, high-pressure roll milling dry separation, combined strong magnetic and reverse flotation, and intelligent control systems as core approaches for the efficient utilization of ultra-poor magnetite.

## Keywords

ultra-poor magnetite; mineral processing technology; dry separation; wet separation; process flow optimization

# 超贫磁铁矿高效选矿技术及工艺流程优化研究

王勇

新疆有色冶金设计研究院有限公司，中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

中国铁矿资源贫、杂、细特征显著，超贫磁铁矿储量占全国铁矿总量的70%以上。随着高品位矿石逐渐枯竭，开发利用低品位磁铁矿已成为实现钢铁工业可持续发展的重要方向。超贫磁铁矿因铁品位低、嵌布细、脉石复杂、分选困难而成为选矿技术的重点与难点。本文在系统梳理中国外相关研究成果的基础上，结合典型矿区的工艺实践，从矿石特征、分选机理、关键技术进展、工艺流程优化与绿色化发展方向五个方面进行综述。研究指出，干湿联合选别、高压辊磨干选集成、强磁与反浮选组合以及智能控制系统的应用是实现超贫磁铁矿高效利用的核心途径。

## 关键词

超贫磁铁矿；选矿技术；干选；湿选；工艺流程优化

## 1 引言

超贫磁铁矿通常指全铁(TFe)含量低于30%、伴生矿物复杂且嵌布细的铁矿类型。这类矿石在中国、俄罗斯、印度、澳大利亚等国家分布广泛，是未来铁矿资源开发的重要潜力区。受限于矿石性质，传统弱磁选工艺在选别超贫磁铁矿时回收率低、能耗高，且选矿用水量大、尾矿排放压力重，难以满足当前绿色低碳的政策导向。近年来，随着高梯度磁选、干式磁选、高压辊磨与智能控制技术的发展，超贫磁铁矿的分选效率和资源利用率显著提高。本文旨在对近年超贫

磁铁矿选矿技术的发展现状与优化方向进行系统总结与综合分析。

## 2 矿石特征与可选性分析

### 2.1 矿石物质组成与嵌布特征

超贫磁铁矿的矿物学特征决定了其选矿工艺的复杂程度和经济可行性<sup>[1]</sup>。研究表明，此类矿石多形成于岩浆晚期分异或岩浆热液交代阶段，受构造运动及后期氧化作用影响明显，具有铁含量低、矿物组合复杂、嵌布粒度细微等典型特征。金属矿物以磁铁矿、钛铁矿为主，伴生少量赤铁矿、褐铁矿及黄铁矿；非金属矿物主要为石英、长石、绿泥石、方解石、榍石及少量磷灰石。磁铁矿多呈半自形粒状或不规则粒状分布，部分与钛铁矿、赤铁矿交代连生，构成“复合体”结构，是造成磁性差异减弱的重要原因。

显微镜与X射线衍射分析结果显示，矿石结构致密，

**【作者简介】**王勇（1984-），男，中国新疆昌吉人，本科，副高级工程师，从事矿物加工工程，矿山安全与管理研究。

粒度分布极细。磁铁矿单体粒度多在 0.02 ~ 0.15 mm 之间, -0.074 mm 粒级含量约占总量的 60% ~ 70%, 部分矿物颗粒细至 10 μm 以下, 单体解离率低于 80%。这类细粒结构导致矿物间的包裹关系明显, 磁铁矿常被石英、长石等非金属矿物包裹, 而钛铁矿又沿磁铁矿晶边呈条带状镶嵌, 使分选难度显著增加。物理性质测试表明, 矿石密度约 3.0 g/cm<sup>3</sup>, 普氏硬度系数 12 ~ 14, 属中等偏硬矿石, 破碎能耗较高。矿体在空间上多呈透镜状、层状或似脉状展布, 沿接触带或构造裂隙延伸, 内部脉石分布均匀, 矿石整体表现为浸染状构造。

表 1 超贫磁铁矿典型物理性质与化学组成特征

项目	含量 / 数值	特征说明
TFe (全铁)	25% ~ 28%	铁品位低, 属典型超贫矿
TiO <sub>2</sub>	3% ~ 5%	含钛较高, 伴生钛铁矿
SiO <sub>2</sub>	35% ~ 40%	脉石矿物主要成分
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10% ~ 12%	多来源于长石、黏土矿物
CaO	约 5%	方解石及榍石成分
MgO	约 8%	绿泥石、角闪石等贡献
硫、磷	< 0.2%	对冶炼有一定影响
密度	约 3.0 g/cm <sup>3</sup>	中等密度矿石
硬度 (普氏)	12 ~ 14	中等偏硬, 磨矿能耗较高
-0.074 mm 粒级含量	60% ~ 70%	嵌布细密, 单体解离困难

由表 1 可见, 该类矿石化学成分以高硅、高铝、低铁为主要特征, 且伴生 Ti、Mg 等元素, 说明脉石含量高、矿物复杂、可选性差。

## 2.2 化学组成与可选性分析

化学成分是评价超贫磁铁矿可选性的重要指标。化学分析结果表明, 该类矿石 TFe 一般为 25% ~ 28%, SiO<sub>2</sub> 约为 35% ~ 40%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 10% ~ 12%, CaO 约 5%, MgO 约 8%, TiO<sub>2</sub> 含量在 3% ~ 5% 之间, 硫与磷含量通常小于 0.2%。这种高硅、高铝、低铁的化学特征表明脉石含量高、可选性差, 同时矿石氧化程度较高, 部分磁铁矿已转化为赤铁矿或褐铁矿, 需在强磁场或反浮选条件下实现富集<sup>[2]</sup>。

在矿物化学结构上, 磁铁矿中常含 Ti、Mg、Al 等元素的类质同象替代, 使磁化率降低, 表现出弱磁性特征; 钛铁矿与磁铁矿间存在连续固溶体, 界面模糊, 难以在低磁场下有效分离。能谱分析 (EDS) 结果显示, 磁铁矿晶体中 TiO<sub>2</sub> 含量约 0.8% ~ 1.5%, 部分样品达 3%, 说明矿物间存在明显的元素混入与共生关系。由于这种固溶状态导致磁差减弱, 单一磁选难以实现高品位回收。磁性测试结果进一步揭示, 超贫磁铁矿中磁铁矿与钛铁矿的磁化率差异仅为 10<sup>-4</sup> 量级, 弱磁选难以区分二者; 而在高梯度磁选条件下 (磁场强度 1.5 ~ 1.8 T), 磁铁矿可被有效捕获, 钛铁矿与脉石随尾矿排出, 从而显著改善精矿品位。与此同时, 反浮选技术通过调节矿浆 pH 值并采用石英抑制剂, 可实现铁与硅的高效分离。

## 3 超贫磁铁矿选矿技术现状

### 3.1 干式选矿技术的应用与进展

干式磁选作为贫矿预选的重要环节, 因节水、低耗、流程简短而被广泛用于矿石初步富集和预抛尾环节。其基本原理是在强磁场中分离磁性矿物和非磁性脉石, 以提高入选品位。近年来, 永磁筒式干选机、立环干式磁选机以及高梯度电磁干选设备得到改进, 磁场强度可达 1.6 ~ 1.8 T。试验研究表明, 当矿石粒度控制在 -8 mm 以下时, 干选可使 TFe 由原矿 27% 提高至 35% 左右, 预先抛弃 60% 以上的脉石物质, 铁回收率稳定在 85% 以上。然而, 干选在处理细粒级矿物时效率显著下降, 主要受限于颗粒磁化率差减弱和空气动力干扰。为此, 研究者提出了“高压辊磨—干选一体化”技术, 通过层压粉碎形成新的微裂隙, 改善矿物表面磁化率差异, 提高细粒磁选效率。该技术能耗仅为传统湿磨的 60%, 成为当前干旱及缺水地区超贫矿选矿的首选方案<sup>[3]</sup>。

### 3.2 湿式磁选与反浮选联合工艺

湿式磁选技术仍是精矿提纯的主导方法, 尤其适用于细粒级铁矿物的分选。典型工艺为“一粗一精选”或“一粗两精选”, 通过控制磁场强度与磨矿细度, 精矿 TFe 可稳定在 60% 左右, 铁回收率达 85% ~ 90%。在此基础上, 反浮选技术被引入精矿提纯环节, 通过使用淀粉、石灰等抑制剂抑制石英、长石等脉石, 实现铁与硅的有效分离。反浮选的核心在于化学选择性与 pH 值调控, 其应用显著改善了精矿品位与脱硅效率。此外, 阶段磨矿—磁选—反浮选联合流程在国内外多个选矿厂实践中取得良好效果。该流程在第一阶段实现初步富集, 第二阶段通过再磨强化单体解离, 第三阶段利用浮选药剂控制脉石行为, 使得精矿品位可达 61% ~ 63%, 铁回收率超过 87%。这类干湿结合的复合工艺不仅提高了选矿效率, 也有效降低了单位能耗与药剂成本。

### 3.3 高压辊磨干选集成系统的创新应用

高压辊磨 (HPGR) 技术的引入代表了超贫磁铁矿选矿流程的重要变革。其利用层压粉碎原理在颗粒内部形成微裂纹, 使矿物沿晶界解离而非整体破碎, 显著减少磨矿能耗。将高压辊磨与干选系统集成后, 形成“破碎一分级—干选”闭路循环流程, 不仅节能降耗, 还提高了磁铁矿的解离效率。实践数据表明, 采用 HPGR 集成系统后, 精矿 TFe 提高 3 ~ 5 个百分点, 铁回收率可提升至 90%, 而能耗降低 15% ~ 20%。此外, 该系统结构紧凑、自动化程度高, 适用于处理规模 50 万 ~ 200 万吨/年的选矿项目, 尤其在西北干旱地区得到广泛应用。目前的研究方向集中于 HPGR 辊面结构优化、压力分布均匀化以及与磁场耦合机制的协同控制。一些研究团队通过引入智能控制系统, 对辊压参数和给矿量进行动态调节, 实现了能耗最优与回收率最大化的双重目标。这种智能化、连续

化干选模式正成为未来选矿工艺的发展趋势。

## 4 工艺流程优化与发展趋势

超贫磁铁矿选矿的核心目标在于实现“低品位高回收、低能耗高效率、低污染高利用”。随着矿石资源品质下降和选矿规模扩大，传统流程的能耗高、流程长、效率低等问题愈发突出。

### 4.1 流程结构的系统优化

针对超贫磁铁矿嵌布细、可选性差的特征，优化后的流程一般遵循“多碎少磨—干选预抛尾—高压辊磨精选—湿式提纯—尾矿干排”原则。首先，通过三段一闭路破碎控制粒度至 $-8\text{ mm}$ ，实现矿石的预解离；其次利用干式磁选机抛弃大部分脉石物质，使入磨品位由27%提高至35%以上；在磨矿环节，采用干式格子球磨机或高压辊磨系统实现颗粒层压破碎，减少过磨现象；随后进入湿式磁选与反浮选联合流程，通过强化解离与药剂控制提升精矿品位；最后，尾矿经脱水系统干排，实现资源回收与环境治理的统一。该优化模式不仅缩短了流程长度，还实现了能量与物料的高效匹配。与传统弱磁选—反浮选两段流程相比，该系统在保证精矿品位60%以上的同时，铁回收率提高5%~8%，单位能耗降低约15%~20%。此外，通过干选预抛尾减少入磨量，磨矿介质与衬板的消耗降低近25%，显著改善了设备的经济运行水平。

### 4.2 设备性能与工艺参数的协同匹配

设备选择与参数匹配是影响流程性能的关键因素。高压辊磨机的应用实现了磨矿粒度可控化与能耗分级利用，其层压粉碎原理促使矿物沿晶界解离，为后续磁选提供了更优粒级结构。实验结果显示，在辊压强度6 MPa、辊面线速度1.5 m/s的条件下，可将 $-0.074\text{ mm}$ 粒级提高10%~15%，而能耗降低约18%。磁选设备方面，高梯度立环磁选机与干式永磁筒式磁选机的联合使用显著改善了分选效果。立环磁选机磁场强度可调至1.8 T以上，可有效分离细粒磁铁矿与钛铁矿；干式磁选机在处理粗粒贫矿时表现出良好的节能特性。浮选环节则通过控制矿浆pH值（一般为8~9）和药剂体系（石灰—淀粉—胺类捕收剂组合），实现铁矿物与硅质脉石的选择性分离。此外，参数优化的核心是“过程协同”，即在破碎、磨矿、

磁选与浮选之间建立能量与粒度的动态反馈机制。近年来，利用数值模拟与人工智能算法建立的“选矿数字孪生模型”，能够实时预测粒度分布、磁化率变化及选别曲线，实现工艺参数的自适应优化与生产自动调节。

### 4.3 自动化与智能化控制技术的集成

现代选矿工艺优化不仅依赖设备性能提升，更强调系统控制的智能化。通过工业物联网（IIoT）与大数据分析平台的引入，选矿过程实现了从“静态控制”向“动态自调节”的转变。自动化监控系统可实时采集给矿量、磨矿细度、磁场强度、精矿含水率等关键参数，并通过模型预测控制（MPC）算法实现多变量耦合调度。部分研究单位已建立“选矿数字孪生平台”，通过虚拟仿真模拟矿浆流动、颗粒分选轨迹及能耗分布，从而在不影响生产的情况下进行参数试算与工艺调整。该技术不仅提高了选矿系统的响应速度与运行稳定性，还能减少人工干预带来的误差。智能控制技术的推广，标志着超贫磁铁矿选矿由传统经验操作进入到“数据驱动—模型决策—自动优化”的新阶段。

## 5 结语

超贫磁铁矿的高效选矿已成为中国钢铁原料保障与资源绿色开发的重要方向。通过对矿石组成、分选机理、技术路径及工艺优化的系统分析可以看出，干湿联合选矿、高压辊磨干选集成、强磁—反浮选联合及尾矿干排综合回收，构成了当前超贫磁铁矿选矿的主流体系。未来，随着人工智能、数字孪生及节能装备技术的深入应用，选矿过程将实现全流程可视化与智能化控制，进一步降低能耗与损失率。实现从“高能耗粗放选矿”向“低碳智能选矿”的转变，是推动低品位铁矿资源高效利用和矿业可持续发展的必然趋势。

## 参考文献

- [1] 李亚,王英凯,牛艳萍,等.黑龙江某含钒超贫磁铁矿选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2022,(3):108-112.
- [2] 张美诺,石康兴,邱昆峰,等.冀东司家营BIF铁矿床磁铁矿类型与成因及其对高品位铁矿成矿机制的启示[J].现代地质,2025,39(1):96-114.
- [3] 母传伟,苑仁财,张皓楠,等.基于多目标决策综合效用值法优选超贫磁铁矿选矿工艺流程研究[J].现代矿业,2025,41(9):25-31.

# Hyperspectral image classification method based on satellite remote sensing and its application

Tingting Han

Liaoning Provincial Natural Resources Service Center, Shenyang, Liaoning, 110034, China

## Abstract

Hyperspectral remote sensing technology provides a powerful tool for surface feature identification and classification by acquiring high-resolution information of ground objects across continuous spectral bands. Satellite-based hyperspectral image classification methods can comprehensively utilize spectral, spatial, and temporal characteristics to achieve precise identification and dynamic monitoring of landforms. This paper systematically analyzes the fundamental principles and data characteristics of hyperspectral imaging, while exploring the theoretical foundations and applicability conditions of various classification methods including statistical feature analysis, band selection techniques, and spatial information fusion. By integrating support vector machines, spectral angle mapping, and deep fusion algorithms, the study conducts comparative analysis of classification performance across different models. The research demonstrates that optimizing band feature selection and model architecture can significantly enhance classification accuracy and stability, providing high-precision remote sensing support for agricultural, geological, and ecological environment monitoring applications.

## Keywords

satellite remote sensing; hyperspectral images; classification methods; feature extraction; accuracy assessment

# 基于卫星遥感的高光谱图像分类方法及其应用

韩婷婷

辽宁省自然资源事务服务中心，中国·辽宁 沈阳 110034

## 摘要

高光谱遥感技术通过获取地物在连续光谱波段上的高分辨率信息，为地表特征识别与分类提供了强有力的手段。基于卫星遥感的高光谱图像分类方法，能够综合利用光谱、空间与时间特征，实现地物的精细识别与动态监测。本文系统分析了高光谱成像的基本原理与数据特征，探讨了统计特征法、波段选择法及空间信息融合等多种分类方法的理论基础与适用条件。结合支持向量机、光谱角映射和深度融合算法，对不同模型的分类性能进行比较分析。研究指出，通过优化波段特征选择与模型结构，可显著提高分类精度与稳定性，为农业、地质与生态环境监测等领域提供高精度的遥感信息支持。

## 关键词

卫星遥感；高光谱图像；分类方法；特征提取；精度评估

## 1 引言

随着遥感技术的快速发展，高光谱影像凭借其高光谱分辨率和丰富的地物特征信息，已成为卫星遥感应用研究的重要方向。相较于多光谱影像，高光谱图像能够在数百个连续波段上反映地物的细微光谱差异，为精准识别和分类提供了科学依据。然而，高光谱数据维度高、信息冗余度大、噪声干扰强等问题，给分类算法的设计与应用带来了挑战。为此，研究者们不断探索适合不同应用场景的分类方法与特征提取策略，推动了算法体系的持续优化。本文立足于卫星遥感背景，围绕高光谱图像的分类原理、主要方法体系及典型

应用展开系统分析，旨在为高光谱遥感在地表信息识别与环境监测中的应用提供技术参考与理论支持。

## 2 高光谱遥感技术的基本原理与发展概况

### 2.1 高光谱成像的物理基础与数据特征

高光谱成像技术以电磁辐射与地物反射特性为基础，通过分光仪对连续波段的光谱信息进行获取，形成空间与光谱双维度的数据立方体结构。每个像元包含数百个波段的反射率信息，能够精确刻画地物的光谱特征，实现细微差异识别。高光谱数据具有高光谱分辨率、高信息量和强区分能力等特征，在地表覆盖、植被监测和矿产勘查中表现出独特优势。随着探测技术与成像算法的发展，高光谱影像的空间分辨率不断提升，数据获取与传输能力显著增强，为多源数据融合与智能分类提供了丰富的信息支撑与技术基础。

**【作者简介】**韩婷婷（1988—），女，蒙古族，中国辽宁阜新人，硕士，高级工程师，从事高光谱遥感应用研究。

## 2.2 卫星遥感系统的观测模式与传感器类型

卫星遥感系统通过轨道高度、成像方式与光谱分辨率的不同，构建多层次、多角度的观测模式。高光谱卫星主要采用推扫式与成像光谱仪观测技术，通过线阵探测器扫描地表，实现连续波段信息采集。国内典型高光谱卫星包括资源一号 02D/02E 星、高分五号、珠海一号、西光壹号系列等，覆盖从可见光到短波红外的广谱范围。传感器类型多样，既有反射式高光谱仪，也有红外辐射计与成像干涉仪，可根据任务需求选择不同波段组合。现代卫星系统还配合地面定标与星上辐射校正技术，提高数据的精度与可比性，为高光谱分类研究提供可靠的数据来源<sup>[1]</sup>。

## 3 高光谱图像分类的主要方法体系

### 3.1 基于统计特征的传统分类方法

传统高光谱分类方法多基于统计学原理，通过对样本的概率分布建模实现地物识别。最大似然法、最小距离法与马氏距离分类器是常用算法，它们假设各类地物样本服从特定统计分布，并依据光谱特征计算样本间的相似性。此类方法实现简单、可解释性强，适用于样本分布稳定的场景。但在高维数据中，协方差矩阵的估计误差和样本数量不足常导致分类结果波动。为提高鲁棒性，研究者引入贝叶斯判别、主成分分析及特征选择策略，有效减轻维度冗余对分类精度的影响，增强算法的泛化性能。

### 3.2 基于谱维特征的波段选择与特征提取技术

波段选择与特征提取技术通过降低数据维度和剔除冗余信息，提高高光谱分类的效率与准确性。波段选择主要依据光谱特征重要性排序，常用方法包括相关系数法、信息熵法与最优子集搜索算法。特征提取则利用数学变换将高维光谱映射到低维空间，典型算法有主成分分析、独立成分分析与线性判别分析。近年提出的局部保持投影与稀疏表示技术进一步强化了非线性特征表达能力。通过合理选择波段与提取关键特征，可在保证信息完整性的前提下，减少计算量、提高分类稳定性，并改善模型在复杂地物场景下的适应性。

## 4 高光谱图像分类的模型构建与算法比较

### 4.1 支持向量机与随机森林的分类性能分析

支持向量机通过构建最优超平面实现样本间的最大间隔分类，适用于高维、小样本的高光谱数据。其核函数的灵活选取可处理非线性问题，具有较强的泛化能力。随机森林基于多棵决策树的集成思想，通过随机抽样与特征分割，提升了分类的稳定性与抗噪性。两者在处理高光谱数据时表现出较好的性能差异，支持向量机在边界样本识别中具有更高精度，而随机森林在多类复杂地物中表现出更强的适应性。通过参数优化与特征加权，可进一步提升二者的分类效果，为模型构建提供互补支持。

### 4.2 光谱角映射与最小距离法的适用性研究

光谱角映射方法基于光谱夹角计算地物相似性，

不受光照强度变化影响，适合反射率差异明显的地表特征分类。最小距离法以样本均值向量为参照，通过计算待测像元与样本中心的欧氏距离实现分类，计算速度快、实现简便。光谱角映射在矿产识别、植被类型划分中具有较高鲁棒性，而最小距离法在噪声较低的数据集中表现稳定。研究表明，在高光谱数据波段多、噪声复杂的场景下，光谱角映射具有更优性能。结合两者优势，可采用加权混合策略提升总体分类精度与模型稳健性。

### 4.3 集成学习与深度特征融合的分类策略

集成学习通过融合多个基学习器的分类结果，显著提升模型的泛化能力与鲁棒性。常见的集成框架包括 Bagging、Boosting 及 Stacking 结构，能够在高光谱数据中减弱单模型过拟合风险。深度特征融合方法基于卷积神经网络与自编码器等模型，自动提取光谱与空间层级特征，实现端到端的特征学习。该策略在处理复杂地物与非线性关系时具备明显优势。通过融合卷积特征与光谱统计特征，分类精度可提升约 10% 至 15%。未来的算法研究正趋向轻量化网络与多源数据融合方向，以实现更高的处理效率与实时应用能力<sup>[2]</sup>。

## 5 高光谱图像分类在典型区域的应用研究

### 5.1 土地利用与覆盖变化监测中的应用

高光谱图像在土地利用与覆盖变化监测中能够实现对地表类型的高精度识别，通过连续光谱反射特征区分农田、林地、水体、建筑物和裸地等地物类别。利用高光谱数据的细致波段信息，可以构建植被指数、湿度指数和城市化指数等多维参数，对区域变化进行定量分析。通过多时相影像比对与分类结果叠加分析，可追踪土地利用动态过程，识别出耕地转建设用地、森林退化或湿地缩减等现象。研究表明，在采用光谱角映射与随机森林分类算法的基础上，土地利用分类精度可超过 90%。高光谱影像的应用不仅提升了地表变化监测的时空分辨能力，还为区域规划与生态评估提供了科学依据。

### 5.2 农作物精细识别与长势评估分析

高光谱遥感通过捕捉农作物在可见光、近红外与短波红外等波段的光谱响应特征，实现对不同作物类型的精细识别。不同作物在光谱反射曲线形态、红边位置和波段吸收深度上存在显著差异，可用于建立作物识别模型。结合地面样点数据与时间序列影像，可实现对作物生长阶段、叶面积指数及氮含量的动态监测。研究表明，基于支持向量机与特征波段选择算法的分类方法在玉米、水稻、小麦识别中表现稳定，分类精度提升约 12%。通过引入多光谱指数融合与生理参数反演技术，高光谱遥感已成为农业精准管理与产量预测的重要工具，对提高农田管理精细化水平具有重要意义<sup>[3]</sup>。

### 5.3 矿产资源与地质信息提取的应用实践

高光谱遥感在矿产资源勘查中具备独特优势，通过识

别地表矿物的光谱吸收特征, 实现矿物成分与岩性分布的快速提取。矿物如高岭石、绿泥石和赤铁矿在特定波段存在明显吸收峰, 可利用光谱匹配与特征波段比值进行识别。结合地质背景与构造信息, 可生成矿化蚀变带分布图, 为找矿预测提供依据。在实际应用中, 通过光谱角映射与主成分变换方法对新疆、内蒙古等地区的高光谱影像进行处理, 矿化信息提取精度达到 85% 以上。高光谱技术的引入显著缩短了地质调查周期, 减少了地面取样成本, 实现了从区域普查到精细勘查的无缝衔接, 推动了地质遥感向定量化、智能化方向发展。

## 6 高光谱分类结果的精度验证与优化路径

### 6.1 分类精度评估指标与验证方法

分类精度评估是高光谱遥感研究的重要环节, 常用指标包括总体精度、用户精度、生产者精度及 Kappa 系数。通过构建混淆矩阵, 可定量评估分类结果与实测数据的一致性。样本划分方式对评估结果影响显著, 通常采用交叉验证与分层随机抽样策略保证样本代表性。地面实测数据、无人机影像及历史遥感影像均可作为验证依据。在模型训练阶段引入留出法可避免过拟合, 提高模型泛化能力。研究显示, 当训练样本量达到总样本的 20% 且样本分布均衡时, 分类精度可提高 8% 至 10%。系统的精度验证方法有助于评估分类算法的稳定性与可靠性, 为后续模型优化提供参考, 详见图 1。

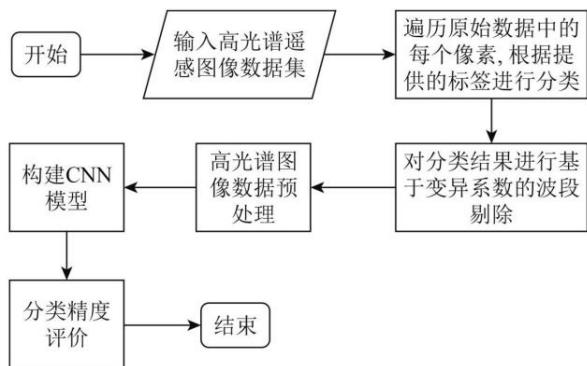


图 1 高光谱分类结果的分类精度评估流程

### 6.2 噪声抑制与光谱混合问题的处理对策

高光谱影像在成像过程中受传感器性能、大气散射和地表复杂反射的影响, 易产生噪声干扰与光谱混合现象。噪声抑制常采用维纳滤波、小波变换和主成分重建等方法, 能

够有效降低随机噪声对光谱曲线形态的影响。光谱混合问题源于像元内多种地物反射的叠加, 可通过线性混合模型或非线性解混算法进行分解, 提取纯端元光谱信息。结合最小噪声分离与独立成分分析, 可进一步提高分解精度。实验结果表明, 优化后的解混模型在复杂地表环境中地物识别率提升约 15%。噪声与混合处理的有效性直接影响分类结果的稳定性与可靠性, 是高光谱数据预处理的重要步骤<sup>[4]</sup>。

### 6.3 分类结果的后处理与可视化表达优化

高光谱分类结果在生成后需经过空间后处理与可视化优化, 以提升图像表达的直观性与实用性。后处理常采用空间滤波、区域合并与边缘平滑算法, 消除孤立像元和误分类区域, 增强地物边界的连续性。可视化表达通过颜色映射、层级渲染与三维建模技术, 将分类结果与地理空间信息系统融合, 实现对地物类型的多维展示。研究表明, 结合多尺度滤波与分割后的后处理流程可使分类图像的 Kappa 系数提高 0.07 以上。通过构建交互式可视化平台, 可动态展示分类结果与光谱信息关联, 方便用户进行数据解译与决策分析, 为高光谱遥感成果的应用推广提供技术支撑。

## 7 结语

基于卫星遥感的高光谱图像分类技术以其高光谱分辨率和强信息获取能力, 已成为地表信息识别与环境监测的重要手段。通过多维特征提取、空间信息融合与模型优化, 分类精度与稳定性显著提升。不同算法在地物识别、农情监测和地质勘查中展现出广泛适应性与实际应用价值。随着遥感卫星平台的更新与数据处理技术的进步, 高光谱分类将更加智能化、精细化与多源化。未来研究应注重算法轻量化与实时分析能力建设, 实现从数据获取到决策支持的全链条优化, 为自然资源管理、生态保护及农业监测提供更加精准的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 张威.基于元学习的小样本高光谱图像分类[D].导师: 程玉虎.中国矿业大学,2024.
- [2] 王新鹏.基于四元数判别分析和稀疏张量判别回归的高光谱图像特征提取和分类技术研究[D].导师: 凌永权 (Wing-Kuen LING).广东工业大学,2024.
- [3] 赵恒赫.基于机器学习的草地牧草高光谱图像识别算法研究[D].导师: 潘新.内蒙古农业大学,2021.
- [4] 刘梦滢.基于多分类器的高光谱图像半监督方法研究[D].导师: 谢福鼎.辽宁师范大学,2021.

# Application and development trend of new surveying and mapping technology in highway survey and design

Xuqi Chen Guoqin Chen

Hainan Kaiqi Survey, Design and Consulting Co., Ltd., Haikou, Hainan, 570100, China

## Abstract

The “air-ground-water-underground” multi-dimensional data collection system developed through new surveying technologies has become a core approach to enhance quality and efficiency in highway survey and design. Aerial drones equipped with radar simulate ground-level flight to capture 3D terrain point clouds, while vehicle-mounted systems utilize Beidou positioning to collect dynamic corridor data. Underwater unmanned vehicles overcome blind spots in water surveys, and handheld scanners address modeling challenges in confined spaces like bridge underpasses. This multi-technology collaboration optimizes survey workflows, providing foundational support for route optimization and BIM design. It demonstrates the significant value of technological integration in improving overall project efficiency, injecting new momentum into the development of highway survey and design.

## Keywords

highway survey and design; multi-dimensional mapping technology; point cloud acquisition; BIM collaboration; data fusion

# 测绘新技术在公路勘测设计中的应用与发展趋势

陈旭齐 陈国秦

海南凯琦勘测设计咨询有限公司，中国·海南海口 570100

## 摘要

测绘新技术搭建的“空-地-水-地下”多维采集体系，已成公路勘测设计提质增效核心路径，空中无人机雷达仿地飞行，捕获地形三维点云；车载系统依托北斗定位，收集道路廊道动态数据；水下无人船突破水域勘察盲区，手持扫描仪解决桥底涵洞等密闭空间建模难点。多技术协同推进勘测工作流程优化，为路线优化与 BIM 设计筑牢底层支撑，展现技术融合提升工程整体效能的重要价值，为公路勘测设计领域发展注入新动力。

## 关键词

公路勘测设计；多维测绘技术；点云采集；BIM 协同；数据融合

## 1 引言

公路勘测设计是影响工程投资与运维质量的关键环节，传统人工勘测在复杂地形中效率低、数据完整性差，难满足智慧交通发展需要，G98 高速改扩建工程中需把运营 35 年的四车道高速扩为双向八车道，对勘测精度与效率要求极高。无人机雷达、车载移动测量、水下无人船与手持扫描等技术构建起空天地水一体化勘测体系，实现全要素采集，突破传统作业瓶颈，为工程设计提供统一可靠的数据基础。

## 2 多维测绘技术应用框架构建

### 2.1 空中无人机雷达勘测系统搭建

空中无人机雷达勘测系统集成激光雷达、高清影像与北斗定位模块，形成“规划-采集-回传”一体化作业链路（见图 1），系统沿公路廊道预设仿地飞行航线，在复杂

地形中穿透植被覆盖并同步获取高清影像，单次续航满足带状区域勘测需求<sup>[1]</sup>。采集数据经预处理后直接输出点云为地形建模提供基础数据源，G98 高速 SJ02 标段项目采用 CW-30 LiDAR 系统，设定航高 400 米，航向与旁向重叠率分别达 70% 和 55%，激光频率 400Hz，点云密度 40 点/平方米，仿地飞行有效获取沿线植被区与丘陵地带的高精度三维点云，为 1:2000 地形图与 DEM 制作提供可靠保障。

### 2.2 车载动态数据采集设备部署

车载动态采集系统集成激光扫描、惯导与北斗 RTK 定位模块，依托车顶刚性支架在行驶中持续采集道路中线、坡度及地物信息，系统有高精度定位与快速更新能力，支持高速改扩建地形复测，数据实时回传云端自动比对历史数据生成变化报告。作业前完成惯导校准与信号测试，信号薄弱区依靠惯性导航保持定位连续，G98 项目沿 83 公里主线布设 329 个标靶点，采用双向扫描、车速 80km/h，点云平均间距 2-3 厘米，平差后平面与高程中误差分别为 1.79 厘米和 1.09 厘米，完全满足改扩建精度要求。

**【作者简介】**陈旭齐（1976-），男，中国海南人，本科，工程师，从事测绘工程研究。

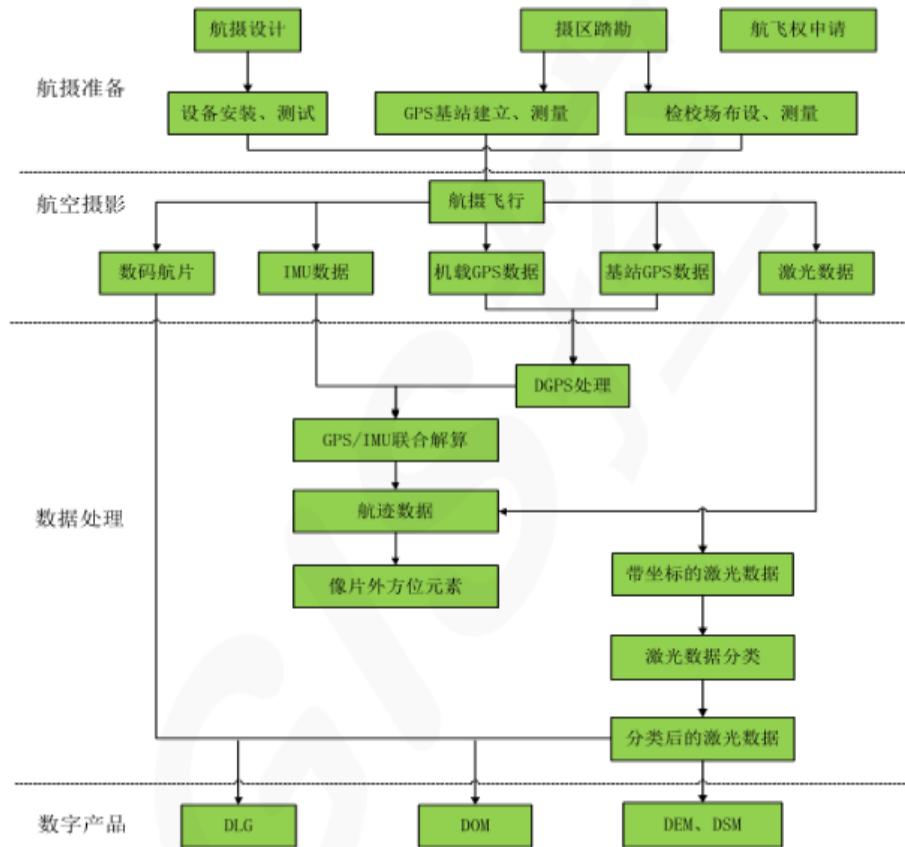


图 1 激光雷达航测作业流程图

### 2.3 水下无人船与手持扫描配置

水下无人船搭载多波束测深仪与侧扫声呐，可用于跨河桥段河床地形勘测，能生成高精度水下三维模型；手持扫描仪融合 SLAM 与 RTK 技术，有大视场角与密闭空间作业能力，可快速获取结构完整断面，二者依托统一坐标系实现数据融合，共同构建水陆一体化模型。G98 项目南渡江特大桥及沿线大型池塘的水下地形测量中，采用智能测量无人船 W100，经精度评价，水下测量高程中误差 0.046 米、平面中误差 0.018 米，满足 1:2000 地形图精度要求。

## 3 各技术模块勘测原理与流程

### 3.1 无人机雷达点云捕获机制

无人机雷达依托激光测距原理获取点云数据，结合 IMU 姿态数据与北斗定位信息生成目标三维坐标，作业时沿线路带状扫描，激光脉冲经地物反射后，凭时间差计算距离，融合位姿参数形成三维点云，流程涵盖航线规划、航带重叠设置、实时点云监测与飞行参数调整，飞行结束后开展数据去噪、拼接与坐标转换，输出标准点云模型。G98 项目中布设 2 个地面 GPS 固定基准站与机载 POS 系统开展差分测量，解算后先做三维自由网平差，再做二维约束平差，最终输出海南海口平面坐标系成果，确保点云的地理空间精度。

### 3.2 车载系统数据实时传输路径

车载系统采用“端 - 边 - 云”三级传输架构，终端采集的激光点云与影像数据，于边缘节点完成压缩、滤波与格式转换，经 4G/5G 网络上传云端，云端平台具备分布式存储与数据校验能力，凭坐标比对确保质量，传输加密且支持断点续传。G98 项目实践中外业采集结束后，开展 POS 数据、激光点云数据及全景影像数据的完整性核检，借助 CoPre 软件完成 POS 数据与基站数据的联合解算，以及点云解算和全景拼接，生成具有统一三维地理空间坐标的激光点云和全景影像，为后续处理奠定基础。

### 3.3 密闭空间手持扫描操作规范

手持扫描在密闭空间作业遵循“标定优先、整体到局部”原则，作业前用标准靶球标定，建立局部与工程坐标系转换关系；扫描时采用环绕式路径，保持设备与结构面适宜距离避免数据失真，隧道等场景采用断面式扫描，按间距设置断面并保证扫描时长，确保拱顶、边墙等关键部位全覆盖。数据导出后即时检查完整性对缺失区域补扫，G98 项目中针对沿线 125 处涵洞及南渡江特大桥等结构，采用手持扫描与 RTK 联动方式，共采集特征点 15199 个，点位平面中误差 3.44 厘米，高程中误差 2.39 厘米，有效支撑结构物建模与改扩建设计。

## 4 复杂场景勘测痛点破解实践

### 4.1 山区地形无人机勘测方案

山区地形勘测存在植被茂密、地形陡峻、信号遮挡等麻烦，无人机勘测方案借助“分层扫描 + 多传感器融合”突破难题，在具体区域勘测期间，设备借助低空飞行开展近地表植被扫描，随后升高高度开展地形骨架采集工作，通过算法分离两层数据生成无植被干扰的地形模型<sup>[2]</sup>。针对信号面临遮挡的情形，于山顶部署中继站增强卫星信号强度，联合惯性导航达成无 GNSS 区域的定位接续，于隧道勘测期间，依靠无人机雷达明晰地下暗河走向，联合大地电磁系统核查地质构造，为隧道线路优化给予数据支撑进而缩短隧道长度，飞行时借助避障传感器实时监测障碍物，自动变更航线躲避山体滑坡风险地带。

### 4.2 水域路段水下地质探测技术

水域路段勘测面临的核心痛点为水下地形不可见与地质取样困难，水下无人船探测技术借多设备协同达成精准勘察，针对跨河桥梁选址进行勘测期间，无人船按设定航速沿测线前行，多波束测深仪持续发出声波且覆盖宽度较大，同步获取河床地形以及地质分层数据，侧扫声呐对河床表面孤石、管线等障碍物进行成像，且成像分辨率较高，设备配备的沉积物取样器可自行采集河床表层土样，依照水质传感器数据判断水下环境对桥梁基础的腐蚀关联，在具体大桥勘测期间，此技术探测到水下溶洞，为基础设计类型的调整给予支撑，切实规避后期施工时可能出现的风险。

### 4.3 桥涵结构手持扫描应用案例

桥底与涵洞勘测面临着空间狭隘、光线黯淡、人工难以抵达等痛点，手持扫描技术借助灵活作业及高精度采集达成突破，在具体大桥桥底实施勘测之际，借助胸托式手持扫描仪沿桥墩周边行走，短时间内便可实现单个桥墩扫描，所获点云数据可清晰展现混凝土裂缝宽度及钢筋外露状况。进行特定直径涵洞的勘测期间，操作人员背负设备顺着涵洞轴线移动，设备自动组合多视角点云，生成三维模型可精准算出涵洞断面变形量，于针对某高速公路涵洞的检测项目，该技术大幅缩减检测时间且精度颇高，成功辨认出多处结构裂缝隐患，扫描时借助内置光源补充光线，维持阴暗区域数据采集的质量水准。

## 5 多源数据融合处理关键技术

### 5.1 点云与影像数据配准方法

点云同影像数据配准采用“特征点匹配 + 迭代最近点”组合算法，先由影像提取角点、边缘等特征点，利用 SIFT 算法同点云中的特征点达成初步匹配，算出初始转换矩阵，再借助迭代最近点算法优化匹配结果，求取点云与影像特征点的欧式距离，依靠最小二乘法迭代调整变换参数，直至平均误差限定于合理范围<sup>[3]</sup>，针对具体高速项目，该方法实现无人机雷达点云与高清影像的配准，让地形模型保有三维空

间信息，还存有真实纹理细节，配准期间引入地面控制点实施精度校验，按密度进行控制点布设，保证配准结果契合勘测规范要求。

### 5.2 跨设备数据格式兼容技术

跨设备数据兼容凭借统一交换标准与格式转换达成，以 XML 定义点云、影像等数据的元数据规范，规定坐标系统与精度参数内容；构建专用转换插件，把无人机、车载、手持设备等多源数据转变为通用格式，转换时借助特征点坐标比对开展精度校验，杜绝数据失真。该技术于多设备协同勘测里达成了数据无缝融合，为 BIM 建模构建完整、一致的数据支撑，G98 项目而言机载以及车载激光雷达点云通过靶标控制点完成七参数拟合，达成两种源数据平面及高程的精度统一，消除了多源点云在道路廊道内的融合阻碍，为 BIM 建模以及横断面提取提供了无缝贴合的三维底图。

### 5.3 BIM 模型数据集成路径

BIM 模型数据集成借助“分层导入 + 关联约束”路径，把地形点云数据输入 Civil3D 进而生成数字地面模型，作为路线设计的基础凭借；把道路中线、横断面等设计数据导入自 CAD，构建与地面模型的拓扑关系，把手持扫描生成的桥梁、涵洞等结构物数据模型导入 Revit，与路线模型完成空间对齐工作，实现结构跟地形的精准匹配。针对特定大桥项目，集成后的 BIM 模型能清晰呈现桥梁基础与河床地形的衔接关系，借助碰撞检测找出设计冲突，集成进程以采用 IFC 标准作为数据交换格式开展，维持不同软件平台间数据的一致性，与此同时构建数据版本管理机制，记录每次集成时的修改内容与时间点。

## 6 技术应用效能提升与优化

### 6.1 勘测周期缩短技术保障

借助“并行作业 + 智能处理”，勘测周期缩短，无人机、车载设备和水下无人船同步实施空、地、水数据采集作业，自动化处理凭借 AI 算法达成数据智能预处理，像点云去噪、影像拼接这类传统上需人工耗时去做的工作，如今能够借助自动化手段迅速达成<sup>[4]</sup>。在 G98 - SJ02 标段内，利用机载与车载激光雷达协同实施作业，自 2023 年 5 月 11 日进场直至 6 月 15 日提交最终成果，仅用 35 天就完成了主线 32.346 公里的控制测量、51 平方公里：囊括 2000 地形图测绘和 83 公里车载激光测量等全部勘测事宜，跟传统人工勘测比，工期缩短约 40%。

### 6.2 数据精度控制实践策略

数据精度控制借助“设备校准—过程校验—成果核验”三级策略，作业开始前，对无人机、车载与手持设备逐个开展测距、惯导及扫描精度标定工作；过程中按时比对控制点坐标，实时调整采集参数；成果阶段凭借多源数据交叉验证，及时开展超限数据补测工作。有关 G98 项目，依靠该三级控制策略，四等 GNSS 控制网里，最弱点点位误差是 1.42

厘米，最弱边边长的相对中误差为 1 比 49300；每公里高差中误差 4.63 毫米属于三等水准，均未超出规范限值，保证了全线勘测数据拥有高可靠性。

### 6.3 工程成本优化实施路径

工程成本优化主要经由“精准数据减少返工”与“技术替代人工”这两条路径达成，高精度勘测数据令路线设计更契合实际地形，从最初阶段杜绝设计变更；技术应用极大削减外业人员投入规模，少量设备操作人员可替换传统大规模勘测团队，针对 G98 - SJ02 标段项目而言，外业人员投入同传统方式相比减少约 50%，极大降低了勘测直接人工成本及间接管理支出，高精度点云数据为路线优化及工程量精准计算提供了基础，从根本上杜绝了因数据不准确引发的后期设计变更及返工，实现全生命周期成本的优化成效。

## 7 结语

新型测绘技术的问世和推广为公路测量测绘工程带来了全新的生命力，有效应用新型测绘技术不仅可以解决传统

测量技术的不足，还能更好地促进我国公路的建设与发展。通过新型测绘技术应用优势的积极发挥，可为公路的建设质量提供有力保障，与此同时也能使公路测量测绘工程更好地满足经济社会的发展需求。本文阐述无人机雷达、车载设备等在公路勘测设计中的应用体系，展现多维技术协同破解复杂场景勘测难题的优势。数据融合推动勘测设计一体化发展，技术创新促进效率提升与成本优化，为智慧交通建设提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1] 陈双森.自然资源调查中的测绘新技术应用研究[J].科技与创新,2025,(18):210-212+219.
- [2] 杨翠花.测绘新技术及设备在国土工程测绘中的应用[J].中国设备工程,2025,(16):219-221.
- [3] 刘雨婷,张超.测绘新技术在林业资源调查与监测中的应用[J].现代园艺,2025,48(23):172-174.
- [4] 唐斌.浅谈现代工程测量中测绘新技术的应用[J].中华建设,2025,(09):132-134.

# Method Optimization of UAV Oblique Photogrammetry Technology in Land Expropriation Field Survey

Dong Liu

Land Management Center of Guoneng Zhuneng Group Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 010300, China

## Abstract

With the rapid development of drone technology, the application of oblique photography technology in the field of surveying and mapping has gradually deepened, particularly showing its significant advantages in land acquisition field surveys. By carrying high-precision cameras and sensors, drone oblique photography technology captures multi-angle images of ground objects from the air, providing rich spatial information for land acquisition surveys. This paper aims to analyze the current status of drone oblique photography technology in land acquisition field surveys, explore its optimization paths, and propose corresponding technical improvements to enhance its precision and efficiency in practical applications, thereby promoting its wider adoption and application.

## Keywords

Drone oblique photography; Land acquisition survey; Data collection; Technology optimization; Surveying and mapping applications

# 无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的方法优化

刘冬

国能准能集团有限责任公司土地管理中心，中国·内蒙古鄂尔多斯 010300

## 摘要

随着无人机技术的快速发展，倾斜摄影技术在测绘领域的应用逐渐深入，特别是在征地外业调查中，显示出其显著的优势。无人机倾斜摄影技术通过搭载高精度的相机和传感器，在空中完成地面物体的多角度拍摄，为征地调查提供了丰富的空间信息，本文旨在分析无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的现状，探讨其优化路径，并提出相应的技术改进措施，以提高该技术在实际应用中的精度和效率，从而推动其更广泛的推广和应用。

## 关键词

无人机倾斜摄影；征地调查；数据采集；技术优化；测绘应用

## 1 引言

随着城市化进程的加速，征地外业调查作为土地开发和城市规划的重要环节，面临着对数据精度与效率的更高要求。传统的地面测量方法在征地调查中由于受限于地理条件和人员能力，往往难以提供高精度、全面的数据支持，且效率低下。近年来，无人机倾斜摄影技术作为一种新兴的遥感测绘技术，在征地外业调查中得到了广泛应用。通过无人机搭载的多光谱摄像头及传感器，可以从多个角度对地面进行拍摄，从而提供更加全面、精准的地理空间数据。与传统方法相比，无人机倾斜摄影技术具有更高的采集效率与数据精度，同时能够有效降低天气、地理条件的影响和现场操作的风险。然而，技术应用过程中也存在一定的挑战，如飞行计

划设计、数据精度控制及后期处理等问题，亟需通过优化手段进一步提高其在征地调查中的应用效果。

## 2 无人机倾斜摄影技术概述

### 2.1 无人机倾斜摄影技术的基本原理

无人机倾斜摄影技术是一种基于无人机平台，通过安装多台高精度相机和传感器，进行多角度拍摄并结合光学影像进行数据采集的技术。相机安装在无人机的不同角度，能够实现从多个方向对目标区域进行立体拍摄，生成高分辨率的影像数据。这些影像数据经过特定的图像处理和三维重建算法，能够生成精确的三维点云和地形模型。该技术通过无人机的飞行路线规划，能够迅速覆盖大面积的区域，采集到丰富的空间信息。数据处理后的结果可以用于地形测量、建模、三维建构以及环境监测等多个领域。通过实时传输和自动化数据处理，倾斜摄影技术极大提高了数据采集的效率和精度，能够为各类地理信息系统提供关键支持。

### 2.2 无人机倾斜摄影技术在测绘中的应用

无人机倾斜摄影技术广泛应用于各类测绘任务中，包

**【作者简介】**刘冬（1980—），男，中国内蒙古鄂尔多斯人，本科，工程师，从事土地监察管理和土地征收领域的应用研究。

括但不限于地形测量、建筑物三维建模、土地资源调查以及城市规划等领域。在测绘中，无人机倾斜摄影技术可以快速获取广泛区域的高清影像资料，进行高精度的地理空间数据采集。与传统的地面测量方法相比，倾斜摄影技术不仅提高了数据采集的速度，而且通过立体影像和点云处理，能够为复杂地形的测量提供精确的空间数据，避免了人工测量误差。此外，该技术能够提供比传统手段更为详细的细节，尤其在狭窄区域、难以到达的地方或者高危环境下，表现出其独特的优势。近年来，倾斜摄影技术逐渐成为了城市规划、工程建设等多个领域的重要数据采集工具。

### 2.3 无人机倾斜摄影技术的优势与挑战

无人机倾斜摄影技术的优势主要体现在高效率、高精度和低成本等方面。与传统的地面测量相比，倾斜摄影可以在更短时间内覆盖大面积区域，并且通过多角度拍摄，能够获得更多的空间信息，提高数据的完整性。无人机的操作灵活性使其能够轻松进入复杂地形或危险区域，避免人工操作的风险。此外，无人机倾斜摄影技术通过自动化数据采集与处理，不仅减少了人工干预，提高了工作效率，还降低了测量成本。尽管如此，技术应用过程中仍面临着一些挑战，首先是飞行规划的复杂性，确保航线的覆盖度和影像重叠度是实现精确数据的关键。其次，数据处理方面需要高性能的计算设备与专业的软件支持，且数据精度控制与后期处理常常需要较长时间。此外，环境因素如天气条件、飞行障碍物等，也可能影响无人机的飞行稳定性与数据采集质量。

## 3 征地外业调查的传统方法与不足

### 3.1 传统地面测量方法的局限性

传统地面测量方法依赖人工操作，通常采用全站仪、经纬仪等仪器进行数据采集。这些仪器对操作人员的专业技能要求较高，且在复杂地形、较大范围或高风险区域的应用受限。地面测量的速度较慢，尤其是在广阔的土地范围内，数据采集所需时间较长，无法满足大规模征地调查对时效性的需求。此外，人工测量还容易受到环境因素影响，如天气、光照、复杂地形条件及仪器信号稳定性，导致测量精度降低。此外，传统方法在进行大范围调查时难以做到数据的全面性和高效性，尤其是当面对需要反复测量的复杂场地时，存在重复劳动和资源浪费的问题。

### 3.2 传统方法在征地外业调查中的效率问题

传统地面测量方法的效率相对较低，特别是在广阔或复杂的地形中，工作人员需要花费大量时间进行现场测量，且每一测量点的采集都需耗费相当的精力。由于工作方式多依赖人工，操作的精度和速度受制于测量人员的经验与设备的性能。大规模的征地调查项目通常需要多个测量人员协同作业，但由于测量范围大、现场环境复杂，效率始终难以提升。此外，现场数据记录常常需要人工输入和处理，这不仅增加了出错的风险，还延长了整个数据采集和处理的周期。

与无人机倾斜摄影技术相比，传统方法在时效性、工作量和数据准确性方面存在较大差距。

### 3.3 征地外业调查中信息精度和完整性的问题

传统地面测量方法在征地外业调查中往往难以确保信息的全面性和精确性。首先，由于测量点有限，数据采集的覆盖面不足，导致地面特征数据无法全面反映目标区域的复杂情况。其次，由于地形因素和人为误差的干扰，测量精度常常存在较大偏差，尤其是在复杂地形或不可达区域，传统方法往往无法提供精确的三维数据。再者，传统方法采集的数据多为点数据，缺乏对整个区域的空间信息的完整记录。对于大范围的土地调查，数据的精度和完整性直接影响后续分析和决策。缺乏全面的数据支持，征地调查结果的可靠性和有效性难以得到保障。

## 4 无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的应用

### 4.1 无人机倾斜摄影技术在征地调查中的数据采集

无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的数据采集通过多角度拍摄，能够迅速获取大量的地面信息。在数据采集过程中，无人机搭载多台摄像机，能够同时从不同的角度拍摄同一地点，获取全面的空间数据。这些相机包括垂直和倾斜的镜头，可在同一飞行过程中拍摄出覆盖广泛、清晰度高的图像。通过飞行路径的精确规划，无人机可以有效避开障碍物，确保数据采集的完整性与精度。在进行大面积土地调查时，倾斜摄影技术比传统地面测量方法具有显著优势，能够在短时间内覆盖大范围区域，采集到大量的影像资料。这些数据为征地调查提供了丰富的空间信息，可以用于后续的三维建模、地形分析及地块划分等任务，极大提高了工作效率并减少了人工成本。

### 4.2 无人机倾斜摄影数据的处理与分析方法

无人机倾斜摄影数据处理包括影像的几何校正、匹配和三维重建等步骤。首先，通过影像匹配技术，将来自不同角度的图像进行精确对接，确保图像之间的几何一致性。在此基础上，通过影像拼接和点云生成，构建出目标区域的三维模型。接下来，利用结构光、激光雷达等技术对数据进行密集点云处理，提升模型的细节表现及精度。数据处理还包括色彩还原、表面纹理映射等，以确保模型的真实感与数据的一致性。采用自动化的数据处理流程能够显著提高效率，减少人工干预的误差，同时确保生成的数据高精度且具有良好的空间分辨率。处理完成后，生成的三维点云和数字表面模型（DSM）可为后续的地形分析、附着物清点及地块划分等提供准确依据。

### 4.3 无人机倾斜摄影技术在实际应用中的效果分析

无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的应用效果显著。实际案例中，采用无人机进行土地测量的过程中，飞行高度为 300 米，覆盖范围达到 150 公顷。相较于传统的地

面测量方法，数据采集时间缩短了70%，并且能够在较短的时间内完成大范围区域的高精度影像采集。在数据精度方面，使用该技术测量误差控制在2厘米以内，远低于传统方法的5厘米误差范围。此外，生成的三维点云数据和数字表面模型精度达到1:1000以上，满足地块划分和附着物调查的高精度要求。整体来看，采用无人机倾斜摄影技术能够在短时间内提供更为精确、全面的地理信息，大幅提升征地外业调查的效率和数据质量，且减少了现场人工操作的复杂性。

## 5 无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的优化方法

### 5.1 优化飞行规划与数据采集方案

优化飞行规划和数据采集方案是提升无人机倾斜摄影技术应用效果的关键。在飞行规划阶段，需要根据征地调查的具体区域和任务要求，合理设定飞行路径、飞行高度和拍摄角度。飞行高度直接影响拍摄视野和影像的分辨率，较高的飞行高度可以覆盖更大范围，但也可能降低图像的清晰度，因此需要在飞行高度与拍摄精度之间进行平衡。此外，合理的飞行路径设计可确保数据采集的全面性和重叠度，提高后期影像拼接和三维重建的精度。数据采集方案的优化还应考虑现场环境和天气条件，避开高风速、强光照和电磁干扰等不利因素。同时，在飞行任务的执行过程中，通过实时监控和调整飞行状态，确保数据的完整性和质量，减少飞行过程中的异常情况，从而提高整体数据采集效率。

### 5.2 提高数据精度与点云处理算法的改进

提高数据精度是无人机倾斜摄影技术应用中的重要课题。在点云数据处理过程中，采用先进的点云去噪技术能够有效减少噪声点，提升点云质量。为了提高数据的精确度，还需要对点云的配准算法进行优化，采用多视角影像拼接技术，保证在不同角度拍摄的影像间的几何一致性。对于复杂地形，采用高精度的差分GPS定位系统进行辅助测量，可以提高数据的空间精度。点云处理算法的改进还涉及到自动化程度的提升，采用基于深度学习的自动化算法处理点云，能够更精确地识别地面、建筑物等不同类型的物体，提高数据处理的效率。此外，针对大规模数据集，采用分布式计算平台进行处理，可以有效缩短处理时间，提高点云数据生成与重建的精度，为后续的分析与应用提供高质量的空间数据支持。

### 5.3 优化数据处理流程与系统集成

数据处理流程的优化和系统集成的高效实施是提升无人机倾斜摄影技术应用效果的另一关键点。在数据采集后，通常需要多个步骤进行数据清洗、配准、拼接和建模等操作。为了提高处理效率，可以通过自动化的流程减少人工干预，在每个环节之间建立智能化的连接，确保数据流的顺畅。在数据处理软件的选择上，应根据实际需求，采用高效且具有良好兼容性的集成平台，使得不同类型的数据能够快速、准确地整合。例如，将点云处理与影像拼接、三维建模系统进行无缝对接，实现数据处理的快速转化和共享。此外，系统集成的优化还应注重数据存储和计算能力的提升。采用云计算平台进行大数据处理和存储，可以有效解决数据量庞大的问题，保障数据安全并提升处理速度。通过整合数据采集、处理和应用的全过程，可以显著提高无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的整体效率和质量。

## 6 结语

无人机倾斜摄影技术在征地外业调查中的应用，显著提高了数据采集效率与精度，为土地测绘和地表附着物数据采集提供了更加全面和准确的空间数据。通过优化飞行规划、数据采集方案及处理算法，能够更好地适应不同的环境条件与测量需求，提升数据的可靠性和适用性。然而，尽管该技术已经展现出其独特的优势，在实际应用中仍需解决一些挑战，如飞行过程中的稳定性、数据处理的精度与效率等问题。未来，随着无人机技术和数据处理算法的不断发展，结合更多先进技术，无人机倾斜摄影技术将在征地调查中发挥更大的作用，推动测绘行业的智能化和自动化进程，为相关领域的决策提供更加高效、精准的技术支持。随着技术的不断优化和完善，该技术将在土地测量、地表附着物数据采集等诸多领域得到更广泛的应用，彻底颠覆土地征收外业调查的技术手段。

## 参考文献

- [1] 史炜东.激光雷达技术在露天煤矿征地外业调查中的应用[J].露天采矿技术,2024,39(06):28-31.
- [2] 韦雄飞.水利工程征地移民实物调查内外业一体化平台研发[J].广西水利水电,2024,(02):117-119+136.
- [3] 史炜东.无人机倾斜摄影测量技术在露天煤矿征地中的应用[J].露天采矿技术,2023,38(01):39-41+45.

# Discussion on the Construction of a Specialized and Mass Combined Monitoring and Early Warning System for Geological Disasters in Yunnan Province

Yuebin Jiang<sup>1</sup> Xiaomei Li<sup>2</sup>

Yunnan Geological Engineering Second Investigation Institute Co., Ltd., Dali, Yunnan, 671000, China

## Abstract

As one of the provinces in China with the most severe geological disasters, by the end of 2020, Yunnan Province had 23,267 registered geological disaster hazard points, threatening a total of 3.7804 million people and property worth 79.673 billion yuan. Monitoring and early warning, as an important component of the comprehensive prevention and control system for geological disasters, is a significant means to reduce casualties and property losses caused by geological disasters. Since the 12th Five-Year Plan, Yunnan Province has established a geological disaster mass monitoring and prevention system that covers all known geological disaster hazard points. Under the current new situation of scientific and technological disaster prevention, the construction of a monitoring and early warning system combining professional and mass efforts is particularly necessary.

## Keywords

Yunnan; Geological disasters; Specialized and mass combined monitoring and early warning system

# 关于云南省地质灾害专群结合监测预警体系建设的探讨

姜跃斌<sup>1</sup> 李晓梅<sup>2</sup>

云南地质工程第二勘察院有限公司，中国·云南大理 671000

## 摘要

云南省作为全国地质灾害最严重的省份之一，截至2020年底，全省登记在册的地质灾害隐患点23267处，共威胁人口378.04万人，威胁财产796.73亿元。监测预警作为地质灾害综合防治体系建设的重要组成部分，是减少地质灾害造成人员伤亡和财产损失的重要手段。“十二五”以来，云南省建立了已知地质灾害隐患点全覆盖的地质灾害群测群防体系，在当前科技防灾的新形势下，专群结合监测预警体系建设显得尤为必要。

## 关键词

云南；地质灾害；专群结合监测预警体系

## 1 云南省专群结合监测预警体系建设现状

### 1.1 建设成效

自2021年云南地质监测预警体系建设以来，截止2023年4月15日，在云南省自然资源厅统一领导和组织下，云南省构建形成国家—省—市—县互联互通、“群专结合、专群并重”的四级监测预警网络体系，开发与定制了云南省地质灾害监测预警系统，建成了覆盖全省16个地州（市）的监测预警体系。系统总计接入6862处地质灾害监测预警点，安装各类监测预警设备33820台（套），设备上线率100%，汛期平均在线率超过97%，初步实现了对所有监测

预警点及设备的线上统计、运行管理，预警分析、数据存储、模型预警设置及综合展示等功能，“人防+技防”监测预警体系基本建成。目前，全省“人防+技防”专群结合监测预警已成功预报14起，有效预警97次，成功避免17663名群众、74578万元的生命财产损失，“人防+技防”的地质灾害监测预警体系初见成效。

### 1.2 存在不足

从近三年监测预警体系实施的情况来看，普遍存在虚警率高、监测数据稳定性较差、监测设备维护不及时等问题，迫切需要依托现有群测群防体系及新技术装备手段加强专群结合监测预警体系建设，以适应新时期地质灾害防治需求。

**【作者简介】**姜跃斌（1988—），中国云南楚雄人，本科，高级工程师，从事地质灾害防治、监测预警、矿山生态修复等研究。

## 2 专群结合监测预警体系建设

### 2.1 完善现有群测群防体系建设

依据地质灾害隐患识别、调查评价和汛期常规性地质灾害巡查排查成果，及时调整完善县、乡、村、组四级地质灾害群测群防网络体系，确保地质灾害隐患群测群防全覆盖。依托驻守专业队伍，加强监测人员技术培训和现场指导，强化监测设备配备，提高群测群防人员识灾、辨灾、观测、处置、自救、互救等能力。进一步完善地质灾害群测群防工作制度和机制，完善网格化管理模式，加强群测群防员遴选考核，健全完善群测群防资金保障机制和成功避险奖励机制，稳定群测群防监测队伍。

### 2.2 稳步推进地质灾害监测预警新技术及设备的应用

以当前较为先进的智能传感、物联网、北斗定位、磷酸铁锂供电、大数据、云计算、人工智能、便捷式安装等新技术作为技术支撑，在对各灾害体开展调查工作的基础上，结合地质灾害的形成机理、成灾特征及影响因素，选用监测精度适当、运行可靠、功能简约、性价比高、安装便捷、易于维护、可实现智能预警且易于推广普及的监测设备，提供准确程度高、完整性好且有效的监测数据，切实提高数据质量<sup>[1]</sup>。

### 2.3 持续加强群专结合监测预警体系建设

按照“群专结合、专群并重”的要求，通过安装普适型监测预警设备和加强专业技术人员指导等举措，继续推进新型高效的“人防+技防”地质灾害监测预警体系建设，提升云南省地质灾害群测群防信息化、专业化水平，提高地质灾害防治科技支撑能力。充分发挥资质队伍“驻地值守、技术研判、动态跟踪、科学预警、辅助决策”等专业优势，提高地质灾害监测预警效率。健全完善地质灾害监测设备运行与维护机制，加大政府购买服务力度，健全“行政统筹、规划引领，属地管理、分级负责，统一平台、上下联动，运营服务、市场配置”的监测预警项目管理机制，构建“政府部门主导、技术单位支撑、总承建单位维护、防灾主体使用”的综合监测预警体系。

#### ① 加强灾害体特征分析，因地制宜选择监测设备

在对各灾害体及周边地质环境条件进行调查的基础上，分析灾害体的发育特征、成因机制、稳定性、发展趋势及危险性，选择运行稳定、集成度高、功耗低、建设成本低、精度适中，可进行智能预警的普适型监测设备。滑坡及崩塌以监测变形和降雨为主，常用的监测设备有自动化雨量计、多参数 GNSS 地表位移监测站、多参数裂缝计、倾角计、加速度计、含水率计、无线智能广播等；泥石流以监测降雨、物源补给过程、水动力参数为主，常用监测设备有自动化雨量计、图像泥位计、断线图像监测仪、次声监测站、视频监测站、无线智能广播等。

#### ② 完善专群结合监测预警培训

群测群防员作为专群结合监测预警体系建设的重要参与者，在项目建设及运营过程中需要更多的参与进来。在年

度例行群测群防业务培训的基础上，项目总承建单位应对各监测点的群测群防员就设备布置、基本功能、简单维护、本地预警、预警处置等方面进行现场培训，定期在监测预警系统内更新群测群防员信息，收到各级预警信息分析研判后，及时进行有效处置，降低地质灾害风险。<sup>[2]</sup>

#### ③ 加强运维保障，及时处置各类预警信息

总承建单位作为运行维护的第一责任人，应在项目所在地设置运行维护项目部，辐射各监测点进行定期巡查维护。运维项目部的人员由地质灾害防治专业技术人员、设备专业人员及后勤保障人员组成，充分利用系统平台进行设备故障统计，安排专人对设备进行定期巡检，及时发现问题并进行维护，汛期内每月对监测点位进行巡检，非汛期每季度巡检一次，不同地区在汛期按照降雨情况进行加密检查。

收到各类预警信息后，总承建单位专业技术人员第一时间对灾害体的成灾可能性及发展趋势进行分析研判，并及时与群测群防员联动现场复核，按照预警发布与处置流程，与各防灾责任人开展现场调查处置。对于现场复核后有明显变形的灾害点，群测群防员应与村、乡镇防灾责任人立即开展现场巡查，发现险情及时上报，发现重大险情及时组织群众转移避险；总承建单位选派专家开展现场调查，协助基层部门做好应急处置，做好预警信息的闭环管理；县级自然资源部门率县级技术指导站专家会同总承建单位开展现场调查；州（市）自然资源部门密切关注隐患点的变化情况，必要时率州（市）指导中心专家开展现场指导；省级地质灾害防治技术指导中心接收到有效红色预警信息，随时做好重大地质灾害险情应急会商和技术指导。

## 3 项目案例分析

### 3.1 项目背景

巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡监测点为2022年实施的普适型监测点，2022年7月31日至8月11日，在连续强降雨影响下，滑坡持续发生滑移变形，并连续触发监测预警系统红色预警<sup>[3]</sup>，收到预警信息后，总承建单位专业技术人员和各级防灾责任人联动，于2022年7月31日到现场进行复核，经现场调查，滑坡后缘的主裂缝宽约100cm，形成错台最大深度约90cm，原覆盖薄膜部位已拉裂，中部张拉横向裂隙加宽，滑坡体前缘局部已滑至地里，08GP02（地表位移）距后缘主裂隙约5m，监测数据与现场测量结果基本相符（照片1~2）。在单点暴雨或连续降雨条件下滑坡会持续变形，对周围6户30人生命财产安全造成较大威胁，险情等级为小型。

### 3.2 灾害体概况及监测工作部署

拉哈咱滑坡所在斜坡上地形坡度一般25~30°，出露填土及残坡积层松散土体。经调查走访，该滑坡前期就有不同程度的变形，近年来雨季滑坡整体变形活动有所加剧。滑坡后缘紧邻村民房屋，前缘有村民居住。2022年3月现场

调查时(设备安装前),后缘裂缝清晰可见。该滑坡周界清晰,主滑方向为 $81^{\circ}$ ,滑坡体长约40m,宽约40m,厚约2-4m,平面投影面积约 $0.16 \times 104\text{m}^2$ ,滑动体积约 $0.4 \times 104\text{m}^3$ ;滑体主要物质由填土及第四系残坡积土体组成,下伏侏罗系下统漾江组(J1?) y)强风化紫红色泥岩夹砂岩;填土及第四系残坡积层结构松散,孔隙较大,密实度差,推测滑面为岩土接触面。该滑坡属小型推移式土质滑坡。

根据《地质灾害专群结合监测预警技术规范》中滑坡监测点位布设原则,结合滑坡变形模式和地貌特征,本滑坡的监测以变形监测为主,沿主滑方向布置1条监测线,监测线布置1套三参数GNSS地表位移监测站,在滑坡体外围稳定地段布设雨量计和GNSS基站,并在农户分布较集中区域布设无线预警广播站。



图1 图2 2022年7月31日现场实地复核滑坡变形情况

### 3.3 预警发布处置响应

#### 3.3.1 监测系统平台预警过程

##### ①预警信息发布

监测预警平台2022年4月15日至8月11日雨量、地表位移、变形速率及多参数综合分析的监测曲线。

通过监测数据分析得知,2022年5月份以来,该隐患点所在区域降雨量开始逐渐增多,呈现出多轮强降雨;每一轮的强降雨,都会带来地表位移、倾角、加速度都会出现新的变化;2022年8月11日14:42:03,其累计水平位移是982.2mm,累计垂直位移是855.5mm,累计合位移是1302.3mm;其变形速率在8月8日急剧加快。曲线变化与

监测员反馈滑坡变形发生时间及现场量测的裂缝宽度基本一致,经现场踏勘复核人员综合分析研判,该滑坡处于不稳定状态,发现再次滑动的可能性大,现场紧急撤离人员2户8人,属成功预报。<sup>[4]</sup>

巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡变形监测预警信息									
监测点信息	日期:	开始日期	结束日期	预警等级	预警状态	传感器名称:	传感器名称:	查询	预警状态
监测曲线	□	序号	报警时间	报警等级	报警描述	2022-08-11 14:42:03 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到148.7毫米,触发红色预警。	已解除		
综合分析	□	2	2022-08-10 12:30:56	红色预警	2022-08-10 12:30:56 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到109.6毫米,触发红色预警。	已解除			
初步报警	□	3	2022-08-09 10:30:43	红色预警	2022-08-09 10:30:43 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到79.8毫米,触发红色预警。	已解除			
预警判断	□	4	2022-08-08 09:13:05	红色预警	2022-08-08 09:13:05 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到16.6毫米,触发红色预警。	已解除			
雨量、位移预警判断	□	5	2022-08-05 08:38:56	红色预警	2022-08-05 08:38:56 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到15.4毫米,触发红色预警。	已解除			
预警模型	□	6	2022-08-05 01:49:42	蓝色预警	2022-08-05 01:49:42 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008LQ01雨量,前一日雨量到达30.0毫米,触发蓝色预警。	已解除			
别警发布通知	□	7	2022-08-04 06:37:05	红色预警	2022-08-04 06:37:05 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到15.1毫米,触发红色预警。	已解除			
多媒体资料	□	8	2022-08-03 04:45:36	红色预警	2022-08-03 04:45:36 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到15.7毫米,触发红色预警。	已解除			
全数据	□	9	2022-08-02 02:26:34	红色预警	2022-08-02 02:26:34 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日水平位移变幅达到159.6毫米,触发红色预警。	已解除			
三维模型	□	10	2022-08-01 00:36:04	红色预警	2022-08-01 00:36:04 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日合位移变幅达到11.4毫米,触发红色预警。	已解除			
	□	11	2022-07-31 22:41:29	黄色预警	2022-07-31 22:41:29 在巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡008GP02地表位移,前一日合位移变幅达到11.4毫米,触发黄色预警。	已解除			

图3 监测系统平台预警发布

#### 3.3.2 现场处置响应

收到预警信息后,总承建单位专业监测技术人员及时与现场群测群防员联系并通知其对现场进行了复核,同时安排专人对监测数据进行实时跟踪。群测群防员结合总承建单位开展的地质灾害专群结合监测预警培训知识,对拉哈咱滑坡现场进行初步核实,发现裂缝加宽出现险情时,立即上报村委会、乡政府、巍山县自然资源局及大理州自然资源和规划局。各级防灾责任单位收到险情通报后,按照云南省预警信息发布与处置流程,自然资源主管部门及时组织专家队伍对现场进行综合分析研判,最终成功预报,切实避免了人员伤亡和财产损失。

### 4 结语

专群结合监测预警体系建设应坚持“以人为本,科技防灾”的原则,在完善现有群测群防的基础上统筹兼顾技防与人防,加强群测群防员专群结合监测预警体系知识培训,动态优化和调整预警阈值,挑选监测精度适当、运行可靠、功能简约、性价比高、安装便捷、易于维护、可实现智能预警且易于推广普及的监测设备进行实时监测,收到预警信息后及时分析研判,按照预警发布流程进行有效处置,切实降低地质灾害风险。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国自然资源部.地质灾害专群结合监测预警技术规范[S].
- [2] 云南省地质环境监测院.云南省地质灾害防治“十四五”规划(2021—2025年)[R].云南省自然资源厅, 2022.
- [3] 云南省地质灾害监测预警体系建设2021-2023年度总结报告[R].云南省地质环境监测院.2022.
- [4] 姜跃斌.巍山县巍宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡监测专报[R].云南地质工程第二勘察院有限公司.2022年8月.

# Geological disaster prevention and control and safety assessment of water conservancy, hydropower and environmental engineering

Qiang Fu

Yunnan Geological Engineering Second Investigation Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650218, China

## Abstract

Geological disaster prevention and the safety assessment of hydro-environmental engineering are closely related, serving as vital components in ensuring construction safety and ecological stability. Geological disasters are characterized by concealment, sudden occurrence, and regional concentration, often posing risks such as structural damage, seepage, and landslides to hydro-environmental projects. This paper explores the impact of geological conditions on engineering safety based on the types and formation mechanisms of geological disasters and establishes a scientific prevention technology framework and safety assessment model. By comprehensively considering geological structures, hydrological conditions, engineering characteristics, and human activities, a multidimensional risk identification and early warning mechanism is constructed to enhance the overall disaster prevention and mitigation capacity of projects. The study aims to provide scientific support for the planning, design, construction, and operation stages of hydro-environmental engineering, achieving the dual goals of project safety and ecological harmony.

## Keywords

Geological disaster prevention; Hydro-environmental engineering; Risk assessment; Safety analysis; Ecological stability

# 地质灾害防治与水工环工程安全性评估

付强

云南地质工程第二勘察院有限公司，中国·云南昆明 650218

## 摘要

地质灾害防治与水工环工程安全性评估密切相关，是保障工程建设安全与生态环境稳定的重要环节。地质灾害具有隐蔽性、突发性和区域性特征，易对水工环工程造成结构破坏、渗漏和滑坡等风险。本文从地质灾害的类型与形成机制出发，探讨地质环境对水工环工程安全的影响，构建科学的防治技术体系与安全性评估模型。通过综合考虑地质构造、水文条件、工程特征及人类活动等因素，建立多维度的风险识别与预警机制，提升工程整体防灾抗灾能力。研究旨在为水工环工程规划、设计、施工及运行阶段提供科学依据，实现工程安全与环境协调发展的双重目标。

## 关键词

地质灾害防治；水工环工程；风险评估；安全性分析；生态稳定

## 1 引言

地质灾害的频发对工程建设安全构成了持续威胁，尤其在水利、水资源和环境工程领域，其影响范围广、破坏力强。随着我国基础设施建设向山区、河谷及生态脆弱区推进，地质灾害与水工环工程之间的风险耦合问题愈加突出。地质条件复杂的地区往往伴随滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降等灾害，对工程结构稳定和运行安全造成潜在威胁。水工环工程由于涉及地表水、地下水及地质结构的多重交互，对地质安全的依赖程度更高。为此，构建科学的地质灾害防治体系

与工程安全性评估模型，不仅能够提高防灾减灾水平，还能为工程选址、设计与管理提供决策支持，对推动生态安全与工程可持续发展具有现实意义。

## 2 地质灾害防治的基础理论与技术体系分析

### 2.1 地质灾害的成因类型与分布特征

地质灾害是地壳运动、气候变化和人类工程活动共同作用的结果，具有复杂的地质成因和显著的区域性特征。地震带活动频繁区、岩溶发育区和软土沉积区是主要分布区域，灾害类型包括滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷和地裂缝等。地质构造的断裂带活动会改变地应力场，引发地表不稳定现象，气候条件变化导致的强降雨或冻融循环进一步加速地质灾害发生。地貌类型与岩性结构的差异决定了灾害的空间分

【作者简介】付强（1996-），男，中国云南景洪人，本科，助理工程师，从事水工环地质研究。

布格局,如山地地带滑坡密度大于平原区两倍以上。地质灾害的形成过程呈现突发性与渐进性并存的特征,空间分布具有聚集效应,受地形坡度、岩层倾向、地下水渗流及工程扰动等多因素控制。

## 2.2 地质灾害防治的基本原则与技术路线

地质灾害防治遵循预防为主、综合治理和科学规划的基本原则,以减少灾害发生概率和降低工程风险为核心目标。防治技术路线包括灾害识别、风险评估、防护设计、施工治理及监测反馈五个阶段。风险识别阶段通过地质调查和遥感分析获取地质信息,形成风险分布图;评估阶段应用数值模拟与层次分析法计算风险等级;设计阶段根据稳定性分析确定防护结构参数;施工阶段选取抗滑桩、锚固、排水、加固等工程措施;监测阶段利用 GNSS 与 InSAR 技术进行位移监控,实现动态预警与修正。该路线实现从灾害成因认知到全过程管理的闭环控制,提升防治工作的科学性与时效性。

## 3 水工环工程的地质灾害风险特征分析

### 3.1 水工环工程建设中的地质灾害敏感区识别

水工环工程地质灾害敏感区识别是工程选址与安全设计的重要环节,通过地质勘查、遥感监测和地质建模综合确定高风险区域。不同地貌类型的工程具有不同的敏感性特征,山区水利工程多受滑坡、崩塌等重力灾害影响,平原与滨河地带则以地面沉降、管涌及渗漏为主。利用高分辨率遥感影像与数字高程模型可识别潜在灾害地貌单元,通过空间叠加分析计算敏感度指数,敏感区通常占工程区总面积的 25% 至 40%。地质构造破碎、地下水位波动频繁、土体结构松散等区域被划定为重点监测区。敏感区识别结果为工程防灾设计与安全评估提供空间基础数据支撑。

### 3.2 水文地质与工程地质条件对风险的影响

水文地质与工程地质条件直接决定水工环工程的稳定性与耐久性。地层岩性、地下水动态及孔隙结构对地质灾害风险具有控制作用。地下水位上升引发的渗透破坏使边坡稳定系数下降约 15%,高含水砂层易产生液化风险。岩体节理密度增加、岩性软弱化及地应力集中会导致边坡滑动或坝体裂缝扩展。工程施工扰动改变原有地应力平衡,诱发地表塌陷与渗流变形。通过钻孔取样与原位测试可获取地层参数,采用 FLAC3D 或 PLAXIS 等数值模型分析地应力与渗流耦合效应,识别潜在不稳定区域。合理控制地下水渗流路径与基岩结构调整是降低风险的重要手段。

## 4 地质灾害防治技术在水工环工程中的应用

### 4.1 地质灾害防治工程措施与施工技术

地质灾害防治工程措施在水工环工程中应用广泛,涵盖排水、支挡、加固及地基改良等多项技术。排水措施通过暗沟、渗井等结构降低孔隙水压力,边坡稳定系数提升 0.2 至 0.3;支挡结构如重力式挡墙、抗滑桩可有效抵抗滑动力;

锚索加固提高岩体整体抗剪强度 10% 以上。软弱地基区域采用高压注浆与 CFG 桩复合处理,改善承载力与抗变形性能。施工过程中注重信息化监测,采用三维激光扫描与变形监控仪同步获取数据,实时调整支护参数,确保防治工程与主体结构的协调性。通过科学选型与分区治理,实现结构安全与地质稳定的双重保障。

### 4.2 监测技术与信息化管理在防治中的作用

现代监测技术为地质灾害防治提供数据支撑与决策依据。GNSS 实时监测、InSAR 形变反演、光纤传感与无人机影像解译构成多层监测体系,可实现毫米级精度的位移识别。信息化管理平台集成数据采集、处理与预警功能,通过云端传输实现多部门协同。监测数据与气象、水文、地质信息融合,形成灾害动态数据库,用于趋势分析与风险预测。信息系统建立分级预警机制,根据阈值自动触发响应,缩短应急处置时间 30% 以上。该模式改变了传统静态监测方式,形成“感知—分析—决策—反馈”闭环管理,提升防治工作的智能化与精准化水平。

### 4.3 综合防治与生态修复技术的协同应用

综合防治与生态修复技术的协同应用是实现水工环工程可持续发展的重要方向。工程治理措施与生态修复相结合,可在稳定地质环境的同时恢复生态功能。植被护坡、生态格构与生物固土技术降低地表径流冲刷强度 20% 以上,改善土体结构。生态排水沟与透水护岸在防渗的同时促进地下水循环。综合治理体系中,硬质防护与软性修复形成互补关系,兼顾防灾与景观。通过生态评估模型计算修复后生境质量指数提高 0.15,体现出防治与生态共赢效益。该协同模式有助于构建“工程安全—生态稳定—环境友好”的复合型防治格局,为水工环工程长期运行提供系统保障。

## 5 水工环工程安全性评估体系构建

### 5.1 安全性评估指标体系与分级标准

水工环工程安全性评估指标体系以地质稳定性、结构完整性、水文响应性及运行可靠性为核心,通过多维度指标建立量化体系。地质环境指标包括岩体完整性、地层抗剪强度及地下水动态;工程结构指标涵盖坝体应力分布、地基沉降速率、渗流强度及边坡变形量;运行安全指标涉及监测精度、应急响应能力及设备完好率。各项指标采用定量化评分法,权重分配依据层次分析法结果确定,权重区间在 0.05 至 0.25 之间。安全等级划分为 I 至 IV 级, I 级代表结构稳定、风险极低, IV 级为高风险状态。评估结果用于指导风险分区管理、工程加固设计与运行维护策略,形成科学、系统的安全性评估标准体系。

### 5.2 地质灾害风险与工程安全的耦合分析方法

地质灾害风险与工程安全存在显著的时空耦合关系,其分析方法以地质环境数据、结构应力参数及动态监测信息为基础,建立多源融合模型。通过 GIS 空间分析与地质灾

害分布叠加，识别风险影响区；基于有限元法分析地质扰动引发的应力应变变化，计算结构安全储备系数。采用模糊综合评价法对风险等级进行综合判定，结果以风险指数 R 表示，R 值超过 0.7 即进入重点防控区。耦合模型通过灰色关联度分析量化地质灾害对结构安全的影响程度，相关系数达到 0.85 以上时表明地质因素主导风险。该方法实现地质环境与工程响应的动态关联分析，为安全性预测与预警提供量化依据。

### 5.3 安全评估模型与定量评价方法研究

安全评估模型基于多参数综合分析与定量化评价方法构建，采用风险矩阵法、层次分析法与 BP 神经网络相结合的混合模型。模型输入包括地质灾害频度、地形坡度、岩性系数、渗流强度及结构应力等多维参数，通过归一化处理后进入风险计算模块。BP 神经网络利用历史监测数据训练权重，实现风险趋势预测，其平均预测精度可达 92%。模型输出以综合安全指数 S 表示， $S \geq 0.8$  判定为安全状态， $S < 0.5$  为高风险状态。通过多次迭代优化提升模型适应性，并与实时监测数据联动，实现动态评估。该模型具备高精度、高时效与可扩展特征，为水工环工程安全管理提供定量化决策支持。

## 6 水工环工程安全管理与防治策略优化

### 6.1 地质灾害风险预控与动态管理机制

地质灾害风险预控与动态管理机制以“监测—评估—响应—反馈”闭环体系为核心，通过全过程管理实现风险最小化。预控环节以地质灾害风险图编制为基础，建立重点监测区与控制区，确定监测频率与阈值。动态管理依托信息化平台，整合气象、水文、地质与工程数据，实现实时监测与自动预警。当监测数据偏离设计阈值超过 10% 时系统自动生成风险警报，触发应急响应程序。该机制强化多部门联动与数据共享，确保信息传输的准确与及时。通过周期性评估与风险更新，构建工程全生命周期的安全监管体系，使风险识别与控制由静态转向动态，提升工程安全韧性与防灾能力。

### 6.2 防治工程与安全评估结果的反馈应用

防治工程与安全评估结果的反馈应用构成水工环工程管理优化的重要环节。评估结果通过数据回溯与模型修正作用于防治设计，实现动态调整与持续改进。若评估结果中结构安全系数下降至设计值的 0.8 以下，系统自动触发加固方

案评估，调整防渗结构或支挡措施。监测数据与评估模型交互更新，形成数据闭环，使工程运行状态与风险变化实现实时对应。通过反馈机制将安全评估成果应用于施工质量控制、运行调度与维护决策，优化资源配置，提高治理精度。该模式实现防治工程与风险评估的耦合联动，为水工环工程长期稳定运行提供技术支撑与决策依据。

### 6.3 政策支持与技术创新在防治体系中的融合路径

政策支持与技术创新是构建地质灾害防治体系可持续发展的关键动力。国家层面出台的《地质灾害防治规划》《水利工程安全管理条例》等政策，为制度设计与资金投入提供保障。地方政府结合区域地质特征制定分区防控策略，推动防治标准化建设。技术创新方面，遥感监测、无人机航测、物联网传感与人工智能算法的融合应用显著提升风险识别与决策效率。信息化监管平台实现防治项目全过程数字化管理，数据共享率提升 40% 以上。政策推动与技术创新形成互促关系，促使防治体系从工程防护向智能防控转变，构建以科技支撑为核心的长效机制，保障水工环工程与地质环境的协同安全发展。

## 7 结语

地质灾害防治与水工环工程安全性评估的融合研究，是实现工程安全、生态稳定与资源高效利用的关键路径。通过构建完善的防治体系、建立科学的风险评估模型以及引入信息化监测技术，能够有效提升工程抗灾能力与运行安全水平。实践表明，强化地质环境调查、推进动态监测与智能化预警，是降低工程风险的有效途径。未来防治工作应在政策引导、技术创新与管理协同的支撑下，形成多层次、全周期的安全管理格局，实现从“灾后治理”向“灾前预控”的转变，为我国重大水工环工程的安全运行和生态文明建设提供持续的技术保障与科学支撑。

### 参考文献

- [1] 崔闯,李凤萍.水工环地质调查和评价在露天矿开采边坡中的应用[J].有色金属设计,2025,52(03):117-122.
- [2] 宋小军.水工环地质技术在矿山地质灾害防治中的应用分析[J].能源与节能,2025,(09):341-344.
- [3] 刘彦阳.矿山水工环地质灾害综合防治策略的研究与实践[J].冶金管理,2025,(08):87-89.
- [4] 洪宇.水工环地质勘查技术在矿山地质灾害防治中的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(08):33-35.

# Research and Application of High-Temperature Resistant High-Density Cement Slurry System

Shuangquan Li Shuangjin Zheng

School of Petroleum Engineering Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434000, China

## Abstract

In response to the challenges of high temperature and high pressure encountered in cementing operations for deep natural gas wells in China's Sichuan-Chongqing region, this study systematically selected high-temperature-resistant, high-density weighting materials and functional additives based on the principles of dense packing and particle-size distribution. Through laboratory-optimized formulations, a high-temperature high-density cement slurry system suitable for high-temperature and high-pressure environments was developed. The system features an adjustable density range of 1.90–2.40 g/cm<sup>3</sup>, temperature resistance up to 150°C, and demonstrates excellent sedimentation stability, rheological properties, and gas migration resistance. It provides reliable technical support for cementing operations in deep high-temperature high-pressure wells.

## Keywords

Cementing; High-Temperature Resistance; High-Density; Cement Slurry; Dense Packing; Particle-Size Distribution

# 抗高温高密度水泥浆体系研究与应用

李全双 郑双进

长江大学石油工程学院，中国·湖北 荆州 434000

## 摘要

针对国内川渝地区深层天然气井固井作业面临的高温和高压难点，本文基于紧密堆积与颗粒级配原理，系统优选抗高温高密度加重材料和功能外加剂，通过室内实验优化配比，构建了一套适用于高温高压环境的抗高温高密度水泥浆体系。该体系在密度1.90~2.40 g/cm<sup>3</sup>范围内可调，抗温能力达150°C，具有良好的沉降稳定性、流变性能和防气窜能力。为深层高温高压井固井提供了可靠技术支撑。

## 关键词

固井；抗高温；高密度；水泥浆；紧密堆积；颗粒级配

## 1 引言

川渝地区深层天然气井具有井底温度高、地层压力大的特点，常规水泥浆体系难以满足固井质量要求。高温高压环境下，水泥浆易出现沉降稳定性差、流动性不良、强度衰退、气窜等问题。为此，国内外学者围绕高密度水泥浆体系开展了大量研究<sup>[1]</sup>。斯伦贝谢公司开发的 DensCrete 体系通过优化颗粒级配实现高密度与良好流动性；哈里伯顿公司研发的可分散加重剂提升了现场混配效率。国内研究多集中于加重材料与外掺料的优选，但在抗高温外加剂方面仍存在性能不稳定、成本高等问题。本文结合紧密堆积理论与颗粒级配技术<sup>[2]</sup>，系统研究抗高温高密度水泥浆的组成与性能，旨在形成一套适用于川渝地区的高性能水泥浆体系。

**【作者简介】**李全双（1988-），男，中国山东青岛人，本科，工程师，从事石油固井技术研究与应用研究。

## 2 材料优选与体系构建

### 2.1 加重材料优选

高密度水泥浆体系中，加重材料的性能直接影响浆体的密度、稳定性和强度<sup>[3]</sup>。通过对重晶石、钛铁矿、赤铁矿、还原铁粉和高效加重剂的对比分析（表1），赤铁矿因其密度高（4.8~5.2 g/cm<sup>3</sup>）、需水量小、流动性好，被选为主要加重材料。

表 1 加重剂性能对比

加重剂	密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	特点	加重能力 / (g/cm <sup>3</sup> )
重晶石	4.1-4.4	吸水大，增稠	≤2.28
赤铁矿	4.8-5.2	吸水大，微增稠	≤2.60
钛铁矿	4.4-4.5	吸水小，增稠	≤2.40
还原铁粉	6.5-7.5	沉降稳定性差	≥2.60
高效加重剂	4.8	悬浮稳定性好	≤3.0

基于颗粒级配理论，确定三级颗粒最佳粒径比例为： $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 0.475 : 0.09$ ，对应质量比为 117:25:1。实验表明，

三级级配水泥浆的抗压强度显著高于单一级配(表 2)，且流变性更优。

表 2 三级颗粒级配对水泥石抗压强度的影响

颗粒级配类型	抗压强度 /MPa (60℃)	抗压强度 /MPa (90℃)
一级颗粒	16.65	19.63
二级颗粒	18.88	21.62
三级颗粒	21.76	23.73

## 2.2 强度稳定剂优选

为抑制高温下水泥石强度衰退，引入硅粉作为高温稳定剂<sup>[4]</sup>。硅粉与水泥水化产物反应生成低钙硅比的水化硅酸钙，提升高温强度。实验表明，硅粉加量为 15% 时，水泥石在 130℃ 下 48 h 强度达 24.5 MPa。

## 2.3 外加剂优选

防气窜剂：本文优选有机胶乳与纳米液硅作为防气窜剂，其主要特色是与缓凝剂配伍性良好，加量对水泥浆稠化时间的影响较小，通过计算试验评价数据计算水泥浆防气窜能力的性能系数 SPN 值均小于 3，具备较好的防气窜能力<sup>[5]</sup>。

降失水剂：本文选用一种高分子聚合物<sup>[6]</sup>并掺以特定的辅助材料组成的降失水剂，在水泥浆中能够有效的吸附于水泥颗粒表面，改变水泥颗粒表面的物理化学性能，形成一种以水泥颗粒为节点的网状聚集体，在颗粒表面迅速覆盖孔道形成致密的滤饼，从而有效降低水泥浆的滤失。其适用于 70 ~ 150℃ 范围内 API 标准各级油井水泥，且与其他外加剂配伍性强，在合理加量范围内均可以控制失水量在 50 mL 以下，对水泥石强度影响小。

膨胀剂：本文选用了金属氧化物类膨胀剂，在加量为 4%

时，通过室内水泥浆养护 7 天后的膨胀率结果显示，其水泥石膨胀率达 1.17%，胶结强度提升 152.4%。

缓凝剂：针对抗高温和大温差作业条件，依据缓凝机理，选取合适缓凝剂，缓凝剂的加量敏感性和温度敏感性必须满足行业标准，本文优选的缓凝剂在 80 ~ 130℃ 范围内可灵活调控稠化时间，具有良好的温度广谱性和加量敏感性。

## 2.4 确定体系配方

结合抗高温高密度水泥浆体系需求，在满足水泥浆浆体性能和水泥石力学性能前提下，系统优化外加剂的加量，由此确定出抗高温高密度水泥浆体系。

(1) 加重型领浆配方：G 级水泥 + 铁矿粉 + 硅粉 + 降失水 + 膨胀剂 + 胶乳 + 缓凝剂 + 淡水

(2) 防气窜尾浆配方：G 级水泥 + 硅粉 + 降失水剂 + 膨胀剂 + 胶乳 + 缓凝剂 + 淡水

## 3 水泥浆体系性能评价

### 3.1 基本性能

构建的领浆与尾浆体系密度分别为 2.25 g/cm<sup>3</sup> 与 1.90 g/cm<sup>3</sup>，失水量分别为 28 mL 与 36 mL，自由水为 0，稠化时间分别为 286 min 与 189 min，均满足现场施工要求。

表 3 水泥浆基本性能

项目	领浆	尾浆
密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	2.25	1.90
失水量 /(mL)	28	36
稠化时间 /min	286	189
48 h 强度 /MPa	18.3	22.1
自由水 /mL	0	0

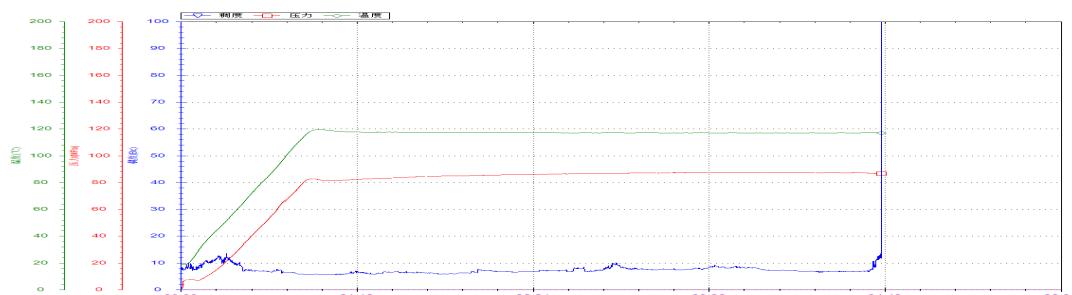


图 1 加重型防气窜领浆稠化曲线

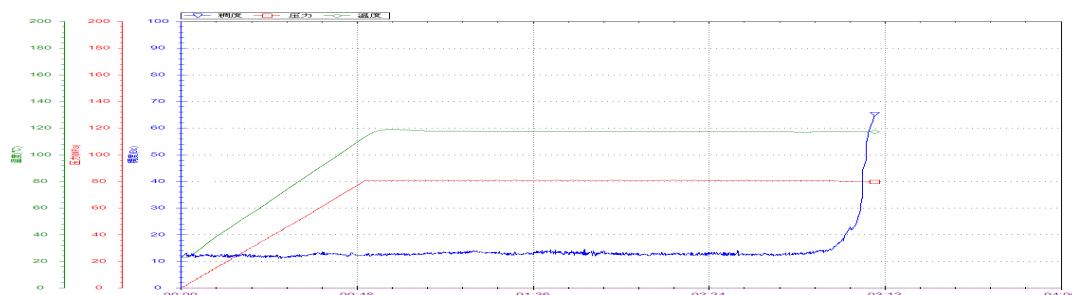


图 2 弹韧性防气窜尾浆稠化曲线

### 3.2 沉降稳定性

水泥柱上下密度差均小于  $0.03 \text{ g/cm}^3$ , 表明体系具有良好的沉降稳定性。

表 4 水泥浆沉降稳定(单位:  $\text{g/cm}^3$ )

配方	1#	2#	3#	4#	5#	6#
密度值	2.406	2.305	2.252	2.178	2.052	1.905
	2.404	2.303	2.254	2.177	2.052	1.906
	2.401	2.303	2.250	2.177	2.051	1.905
	2.401	2.299	2.249	2.176	2.050	1.902
密度差	0.005	0.006	0.005	0.002	0.002	0.004

### 3.3 力学性能

水泥石弹性模量均小于  $7 \text{ GPa}$ , 泊松比为  $0.07 \sim 0.09$ , 具备良好的韧性与抗冲击能力。密封性测试表明, 水泥环在循环加载后仍保持良好密封性, 微间隙渗透率仅为  $0.0035 \text{ md}$ 。

表 5 水泥石力学性能

配 方	密度 / ( $\text{g/cm}^3$ )	P/ ( $50^\circ\text{C}/48\text{h}$ )	P/ ( $130^\circ\text{C}/24\text{h}$ )	弹性模量 / ( $\text{GPa}/72\text{h}$ )	泊松比
1#	2.40	15.2	25.7	6.0	0.08
2#	2.30	15.7	25.3	5.6	0.07
3#	2.25	14.9	24.5	5.4	0.09
5#	2.05	14.1	24.8	5.75	0.09

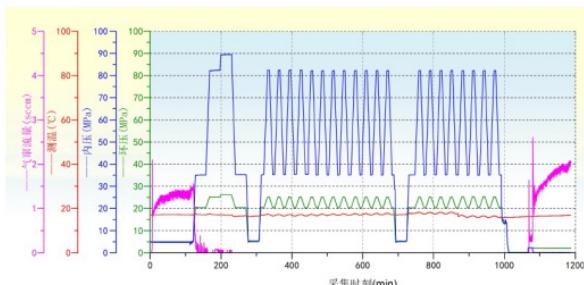


图 3 1# 水泥环密封性测试实验过程图

### 4 现场应用

该体系在川渝地区现场固井作业总进行了成功应用, 应用的井深范围为  $5390 \sim 5990 \text{ m}$ , 水泥浆密度为  $2.05 \sim 2.30 \text{ g/cm}^3$ , 固井质量优良率达  $100\%$ 。通过应用结果表明, 该体

系具有良好的适应性、可泵性与稳定性, 有效保障了高温高压井的固井质量。

### 5 结语

基于紧密堆积与颗粒级配理论, 构建了以 G 级水泥、赤铁矿、硅粉为核心, 高分子降失水剂、膨胀加、缓凝剂、胶乳等为功能外添加剂的抗高温高密度水泥浆体系。

该体系在密度  $1.90 \sim 2.40 \text{ g/cm}^3$  范围内可调, 抗温达  $150^\circ\text{C}$ , 失水量小于  $50 \text{ mL}$ , 抗压强度大于  $14 \text{ MPa}$ , 具备优良的综合性能。

现场应用表明, 该体系能够有效应对川渝地区高温高压井固井难题, 具备良好的推广价值。

建议下一步针对油基钻井液对水泥浆力学性能的影响<sup>[8]</sup>, 开发配套的高效前置液, 进一步提升固井界面胶结质量。

### 参考文献

- [1] 熊洪钢.高温高密度页岩气固井技术研究及应用[J].中国石油和化工标准与质量, 2021.
- [2] 冯克满等.颗粒级配技术的超高密度水泥浆体系研究[J].长江大学学报, 2010.
- [3] 王成文等.高密度水泥浆高温沉降稳定调控热增黏聚合物研制与性能[J].石油学报, 2020.
- [4] 秦宏宇, 王世永, 李超, 蔡东胜.石英砂加量对高密度水泥石高温衰减的影响[J].西部探矿工程, 2020, 32(10):59-61+66.
- [5] 韩成, 罗鸣, 杨玉豪等.莺琼盆地抗高温高密度防窜水泥浆研究及应用[J].钻采工艺, 2020, 43(04):101-104+12.
- [6] Siming Yan. Synthesis and mechanism study of temperature resistant fluid loss reducer for oil well cement[J]. Advances in Cement Research, 2017, 29(5):183-193.
- [7] 谭春勤, 周仕明, 王其春.高性能超高密度水泥浆技术研究与应用[J].石油天然气学报, 2013, 35(11):98-100+119+8.
- [8] Arbad Nachiket, Rincon Fernando, Teodoriu Catalin, Amani Mahmood. Experiment al in investigation of deterioration in mechanical properties of oil-based mud (OBM) contaminated API cement slurries & correlations for the reason of cement analysis[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2021, 205.

# Analysis of GPS Surveying Technology and Its Application Strategy in Engineering Surveying

Wei Ji

Xinyu Iron and Steel Group Co., Ltd., Xinyu, Jiangxi, 338001, China

## Abstract

As a fundamental component of engineering construction, engineering surveying critically impacts project quality, progress, and safety. The Global Positioning System (GPS) has become an indispensable technological tool in modern engineering surveying. Characterized by high precision, efficiency, and all-weather adaptability, GPS technology drives innovation in the surveying industry. Its strategic application in engineering surveying yields comprehensive data, enhancing operational efficiency while providing construction management references to ensure project stability. This study systematically outlines GPS technology's advantages and practical implementations in engineering surveying, offering valuable insights for professionals.

## Keywords

GPS surveying and mapping; engineering surveying and mapping; application strategy

# 试析 GPS 测量技术及其在工程测量中的应用策略

吉玮

新余钢铁集团有限公司，中国·江西新余 338001

## 摘要

工程测量是工程建设的基础环节，影响到工程的质量进度和安全。全球定位系统（GPS）是现代工程测量领域中不可或缺的技术手段。GPS 测量技术具有高精度、高效率、全天候的特点，应用于测绘行业，实现有效创新。在工程测量中合理应用 GPS 测量技术，获得更加全面详细的信息，不仅提高工程测量的工作效率，也能为施工管理提供依据，可以促进工程项目稳定运行。鉴于此，开展本文的研究工作，简单概述 GPS 测量技术和它的应用优势，探究该技术在工程测量中的具体应用，以供相关人员参考。

## 关键词

GPS 测量技术；工程测量；应用策略

## 1 引言

建筑工程规划与设计长期依赖人工操作，存在耗时长、劳动强度大且容易受人为因素干扰的问题，导致误差逐渐累积。基于此，引入 GPS 测量技术，减少人为因素的影响，发挥技术优势，获得更高精度、更全面的测量数据，为工程项目的顺利实施提供有力保障。在具体应用中，做好准备，明确技术的应用流程，开展动态监测和工程测量工作，为各项工作提供依据。

## 2 GPS 测量技术的概述

GPS 测量技术是工程测绘领域的一项重要技术手段，在实践中得到了广泛的认可和应用。GPS 定位的基本原理是空间距离交会法，通过测量 GPS 接收机到多颗卫星的距

离，然后利用距离交会的方式确定接收机的三维坐标。根据定位模式，该技术分为绝对定位和相对定位两种。在工程测量中，相对定位是提高精度的关键技术，特别是实时动态定位（RTK）技术，能够实现厘米级甚至毫米级的高精度定位。

与传统测量技术相比，GPS 测量技术有着显著的应用优势。一，高精度与高效率。GPS 测量能够达到极高的精度水平，在控制测量中，实时动态定位能够在动态环境下实现厘米级的高精度定位<sup>[1]</sup>。这一特点使 GPS 技术能够满足各类工程测量的严格要求。GPS 测量技术具有高效率。在具体应用中，GPS 测量不要求测站间通视，避免了传统测量中频繁迁站的问题，减少了作业时间。而且该技术可以实现自动化测量，只需在测站安装接收机并开机观测，便可自动完成数据采集和处理。二，全球定位覆盖。GPS 是一种全球性的定位系统，可以在地球上的任何位置进行测量。这一特性对于跨国工作和远洋工程等大规模工程具有重要意义。GPS 技术不会受到时间和气候条件的限制，在任何天气条件下能够进行连续作业。三，自动化程度高。GPS 接

【作者简介】吉玮（1996-），男，中国江西新余人，本科，助理工程师，从事测绘工程研究。

收机集成了先进的数据处理软件，实现了从数据采集到成果输出的全自动化处理。GPS 内置微处理器和专业软件，实时解算点位坐标，缩短数据处理时间。GPS 技术能够提供三维坐标信息，同时确定测站间的平面位置和高程，实现真正意义上的三维测量，工作效率高。

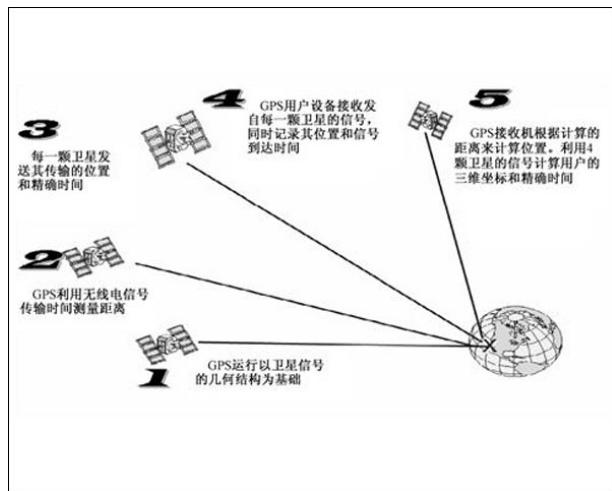


图 1 GPS 的应用原理

### 3 GPS 测量技术在工程测量中的应用价值

#### 3.1 提高测绘作业效率

在工程测量工作中，应用 GPS 测量技术可以大幅度提升测量作业效率。GPS 提升目标定位与探测的能力，精准的定位与导航特性满足了高动态移位载体对精密导航的迫切需求<sup>[2]</sup>。而且 GPS 技术正在创新发展，缩短了静态相对定位的观测周期。可以实现测绘作业的全面覆盖，提高测量精度，大幅度提升测量速度，从而有效提升工作效率。

#### 3.2 优化流程，增强便利性

GPS 测量技术应用于工程测量中，可以改善传统测量工作的流程，增强便利性。GPS 技术的自动化程度高，测量人员无需前往现场，即可远程获取所需的数据，而且数据的质量和精度得到充分地保障，测量工作便利。GPS 技术还具有显著的自检功能，快速检测操作的异常，并触发报警，及时发现问题，做好维修，提高工作效率。

### 4 GPS 测量技术在工程测量中的应用策略

#### 4.1 准备工作

GPS 测量技术应用于工程测量中，要做好前期准备工作，包括人员配置和设备配置。工程测量中，根据自身规模组建专业团队，通常是由一位具备测绘工程师资质的技术负责人牵头，带领 3~5 名经过专业培训的测量员进行工作，熟练 RTK 静态测量、动态测量等各项操作<sup>[3]</sup>。在设备方面，根据工程特点，配置双频或多频 GPS 接收机。如果是在山区或信号遮挡区域，可配备具有抗干扰功能的增强型接收机。现场准备阶段，进行提前勘察工作，重点标注高压线塔、

通信基站等电磁干扰源位置，规划卫星信号接收良好的基准站架设点。确定基准站位置，周围没有遮挡、无电子干扰、地质稳定。安装调试基准站设备，完成卫星信号接收测试、数据传输链路搭建，录入基准站坐标等基础数据。正式测量前需要检查好各项设备，确保在检定有效期内，并在初测前进行常规检查与测试。

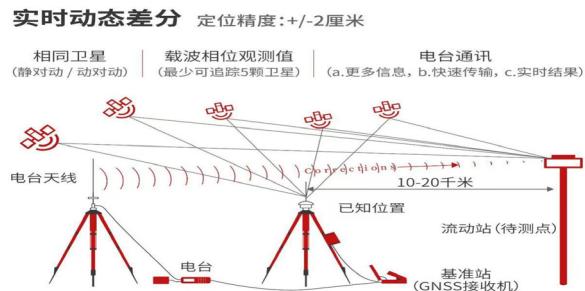


图 2 实时动态差分技术的应用

#### 4.2 技术应用流程

在应用 GPS 测量技术开展工程测量工作时，要严格遵守相应的流程，确保各个环节衔接有序，获取更加可靠的数据信息。首先，根据工程范围与精度要求，采用三角形、多边形等网型布设 GPS 控制网，均匀分布控制点，确保覆盖整个测量区域。在关键部位应当适当加密，确保相邻控制点间通视条件良好，满足 GPS 观测要求。其次，开展外业数据采集工作，在预设点位上严格对中、整平接收机，量取并记录天线高，且需采用同一方式，量测两次取平均。开机以后，核对点名、采样间隔等设备信息<sup>[4]</sup>。多台接收机同时开机或关机，确保同步接收数据。观测期间，观测员需要密切注意仪器的工作状态。防止人为因素中断观测，详细记录外业观测的点号、时段、仪器号、天线高等各类信息。第三，做好内业数据处理。将外业观测数据导入到专业软件中。进行数据预处理，剔除其中的无效数据，将数据转换为合适的格式。并采用基线解算、网平差等方法，结合已知控制点的坐标，解算出各测量点的三维坐标，输出相关报告。在具体的工程测量中，严格按照这一流程进行操作，可以提高工作效率，获得更加精准的测量结果。

#### 4.3 高精度测量

GPS 技术在工程测量中具有高精度的优势，道路测量、桥梁测量等需要高精度测量任务，因此可以合理应用 GPS 技术。应用静态定位技术，主要针对控制测量、精密工程放样等高精度需求场景。观测时长根据精度要求，设置为 1~4 小时，确保可以接收足够多的卫星观测数据，提高计算精度。通过精密的数据后处理，其相对定位精度可达毫米级甚至更高。网形设计应保证足够的冗余观测和图形强度；合理安排观测时段，选择卫星几何分布良好的时间窗口；确保足够的观测时长，削弱大气延迟等误差的影响<sup>[5]</sup>。

在某些动态环境下，仍需要获得厘米级精度时，可以

应用后处理动态测量（PPK）技术，该技术与 RTK 类似，但不对观测数据进行实时传输与处理，而是将基准站和流动站的原始观测数据一并记录下来，进行事后联合处理。该技术作业距离更短，而且在信号短暂失锁后，能够快速重新固定整周模糊度，适用于航道测量、航空摄影测量等场景。

#### 4.4 动态监测与形变分析

GPS 技术可以应用于动态监测与形变分析工作中，为工程安全提供实时保障。首先在工程关键部位合理布设监测点，确保监测点牢固固定、不易变形，能够清晰地接收到卫星信号。同时布设一定数量的基准点，确保监测数据的稳定性和可比性。进行 24 小时不间断观测，数据处理中心通过互联网实时汇集各站数据进行连续结算，获得监测点毫米级甚至亚毫米级的时续三维位移量<sup>[6]</sup>。例如桥梁挠度、路基沉降实时监测。也可采用静态监测模式，适用于长期形变观测，定期观测一次，获取形变累积数据。在监测工作中，可以采用自动化的观测设备实现监测数据的联系采集与自动传输，对监测数据进行实际分析，计算监测点的沉降量、水平问题量、形变速率等各类参数，采用趋势拟合、回归分析的方法，预测工程结构的形变发展趋势，建立形变预警阈值，当超过阈值时，立即发送预警信号，提醒工作人员重视。

#### 4.5 工程布置与导线测量

施工阶段，GPS 测量技术的应用改变了传统的工程布置与导线测量方式。利用 RTK 技术，可以快速灵活地在施工区域布设图根点和测站点，作为全站仪等设备进行细部测量的依据。在公路、铁路管线等线路工程中，设计方提供的中线桩点坐标，可以直接输入 RTK 中。引导作业员实时精准地找到设计点位，在实地的位置并打桩标记，提升放样的效率。GPS 辅助导线测量，使用 GPS-RTK 技术进行导线点的快速定位与复合，提高导线布设的效率。而在一些地形复杂、通时困难的区域，也可以利用 GPS 技术突破通时限制，优化导线网的布设方式。利用全站仪进行导向转折角、边长观测，观测数据需要满足规范要求。结合 GPS 控制点坐标，进行导线网平差计算，获取导线点的高精度坐标。将这一坐标作为施工放样的局部基准，确保工程布置的准确性。

#### 4.6 数据分析处理

数据的分析处理，保障 GPS 测量技术的应用效果。在具体应用中，要加强基线解算质量控制。工作人员检查各颗卫星各个历元的观测值残差，过大的残差通常表明周跳未修复完好，或存在多路径效应。比率值是反映整周模糊度固定可靠性的重要指标，通常要求大于 3。参考方差则反映了观测值与模型的整体拟合程度。参考这些参数，加强控制工作。

开展网平差计算。根据控制网类型，如高程控制网、平面控制网，选择合适的平差方法。根据实测数据的具体条件，采用三维平差、二维平差和水准高程拟合等方法进行平差计算。录入已知控制点坐标，对整个控制网进行平差计算，获取各未知点的最终坐标与精度评定结果。

### 5 结语

综上所述，GPS 技术具有高精度、高效率，自动化程度高等一系列应用优势，在道路桥梁、水利水电、建筑工程、矿山工程等多个领域得到了广泛应用，为工程建设的规划设计、施工建设、运营监测提供了精准、高效的测量支持。在工程测量中，应用 GPS 技术时需要做好充足准备，优化其工作流程，开展高精度分析和实际观测工作，优化数据处理，从而提高工程测量的整体质量。

#### 参考文献

- [1] 赵建伟. 工程测量中GPS技术的精准应用分析[J]. 智能建筑与工程机械,2025,7(5):92-94.
- [2] 郑垒. 关于GPS测量技术在工程测绘中的应用探讨[J]. 消费电子,2025(9):179-181.
- [3] 施志永,金齐,叶飞.GPS测量技术在工程测量中的应用探微[J]. 建筑·建材·装饰,2022(10):187-189.
- [4] 余赵进.GPS测量技术应用于工程测绘中的策略分析[J]. 建筑工程技术与设计,2021(30):353-354.
- [5] 王文平. 工程测绘中GPS测量技术的应用研究[J]. 工程管理与技术探讨,2024,6(19).
- [6] 邵奇惠. 探析GPS测量技术及其在工程测量中的应用[J]. 建筑工程技术与设计,2021(7):67.

# Informatization Development and Practical Exploration of Collective Land Ownership Registration

Lei Zhu

Shanxi Jin 'ou Land and Mineral Resources Consulting Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

This study examines the informatization development of collective land ownership registration. Grounded in theoretical frameworks and policy guidelines, it first analyzes the implementation pathways, then explores practical approaches tailored to regional contexts, and finally identifies challenges and proposes solutions. The research aims to accelerate informatization efforts, protect landowners' interests, and advance modern natural resource management.

## Keywords

collective land ownership; registration; informatization; practical exploration; optimization pathways

# 集体土地所有权确权登记信息化建设与实践探索

朱磊

山西金瓯土地矿产咨询服务有限公司，中国·山西太原 030000

## 摘要

本文以集体土地所有权确权登记信息化建设工作为背景，基于理论基础与政策依据，首先分析信息化建设工作建设路径，然后结合实际不同的地域进行实践探索，最后总结信息化建设中存在的问题以及解决的对策，希望能够通过本文的研究助力加快发展集体土地所有权确权登记信息化工作，保障土地所有人的利益，推进自然资源管理现代化。

## 关键词

集体土地所有权；确权登记；信息化建设；实践探索；优化路径

## 1 引言

集体土地是农民的集体财产，确权登记是维护农村土地产权秩序，保障农民合法权益的一项基本工作，随着信息技术的发展，原先的纸面确权登记进行产权登记已无法满足新形势下信息共享、高效管理、实时监管的需求，集体土地所有权确权登记信息化建设对于促进确权登记工作科学高效运行，为集体土地流转、土地利用规划、乡村发展建设等奠定坚实基础。基于此，本文从集体土地所有权确权登记信息化建设的理论政策、建设路径、实践案例、完善方向等方面进行阐述，为相关工作开展提供实践参考。

## 2 集体土地所有权确权登记信息化建设的理论与政策基础

集体土地所有权确权登记信息化建设以产权理论、信息管理理论为核理论支撑。产权理论强调对产权在资源配置作用中的界定，利用信息技术手段，记录、查询，使集体

土地所有权透明化，规避产权纷争。信息管理理论指导数据的收集、存储、分析、利用，有助于构建科学的信息系统，科学、有序地进行确权登记。

政策方面，国家先后出台了系列政策文件引领信息化建设工作。《不动产登记暂行条例》要求建立不动产登记统一信息管理基础平台，推进集体土地所有权等不动产登记信息的集成和共享，《关于进一步加快推进宅基地和集体建设用地使用权确权登记发证工作的通知》要求加快推进宅基地和集体建设用地使用权确权登记发证信息化建设，推进登记信息和有关部门信息共享，自然资源部《关于加快完成集体土地所有权确权登记成果更新汇交的通知》（自然资发〔2022〕19号）明确了做好确权登记成果更新汇交工作，为信息化建设明确了工作方向<sup>[1]</sup>。

## 3 集体土地所有权确权登记信息化建设的路径

### 3.1 数据资源整合

#### 3.1.1 基础资料数字化处理

综合分析集体土地权属，历史确权档案、地籍调查源档、土地利用现状图、权属界线协议书等。组织专业技术人员对纸质资料进行扫描和拍摄，然后一户一档、一地一码，建立

【作者简介】朱磊（1991—），男，中国山西朔州人，本科，工程师，从事国土测绘工程研究。

档案电子数据，对矢量数据、影像数据进行格式和坐标转换，满足国家地理信息数据要求，便于数据库建设。

### 3.1.2 跨部门数据协同整合

主动与农业农村部门对接，采集土地承包经营权集体土地确权数据，摸清土地承包地块与土地集体土地所有权地块权属关系，与林业部门对接，采集林地权属登记数据，摸清集体林地与非林地的边界，与水利部门对接，采集土地被占用水利设施数据作为备注。

### 3.1.3 数据库动态更新维护

建立集体土地所有权确认登记基础数据库，赋予数据录入、审核、变更、修改等权责，对数据实行留痕管理。然后，建立数据库数据更新的机制，结合年度地权变更调查和集体土地变更登记等工作对新增集体土地权属信息、变更土地用途信息等数据进行及时更新<sup>[2]</sup>。最后，对信息进行质量核查，检查数据是否全面、准确无误、前后一致，如发现问题及时修改，保证数据质量。

## 3.2 信息系统构建

### 3.2.1 核心功能模块开发

开发地籍调查数据管理模块，支持矢量图形绘制、界址点坐标录入、权属信息关联，实现图形数据与属性数据的双向查询与联动更新，搭建业务办理模块，设置线上申请、材料上传、部门审核、登记发证等流程节点，配备流程跟踪与提醒功能，方便申请人实时查看办理进度，构建查询统计模块，提供按区域、权属单位、土地用途等多维度查询功能，支持生成确权登记覆盖率、土地面积统计等报表，满足政府监管与决策需求。

### 3.2.2 多端应用场景适配

面向不同对象开发不同终端界面，面向干部开发手机APP，方便外出的干部采集现场信息，现场照片取证和上传，面向政府开发电脑管理机，实现批量处理、权限管理、统计分析等功能，面向社会，开发微信小程序或者网页端口查询，让土地所有人经过身份验证，查询自家集体土地的权属证明、土地登记时间、土地范围等信息公开，提高透明度。

### 3.2.3 系统安全体系搭建

使用网间隔离技术断开信息系统与互联网的关系，防止遭到外界网络的攻击，对敏感数据资料，权属人的身份证号、土地坐落等资料使用国密算法进行加密存储，确保数据传输和存储安全，另外，还要建立操作日志记录，对用户所有登录、查询、更改等操作记录日志，便于对异常用户追踪，系统安全漏洞扫描，系统渗透，发现漏洞，立即修复，不影响系统运行。

## 3.3 技术应用融合

### 3.3.1 空间信息技术深度应用

采用GPS-RTK测量集体土地界址，精度可达厘米级，确保了权属边界无误差，特别适合于平原连片地块的界址测量，采用GIS技术建立三维空间数据库，在土地权属、土

地利用、地形地貌等图层上叠加，清晰显示山地、丘陵区集体土地的空间分布及地形地貌，解决复杂地形下的空间权属问题，采用RS技术获取高解遥感影像，定期更新影像，对比分析集体土地利用变化，发现违法占地、非法改变土地用途等现象，做到即时监控<sup>[3]</sup>。

### 3.3.2 新兴技术创新探索

探索区块链技术，将权属人、界址坐标、登记时间等信息上链进行登记的集体土地确权登记工作的内容，发挥区块链的不可篡改、不可回溯的特征，保障登记的真实性与公信力，防止权属纠纷，探索人工智能技术，通过智能审核模型自动对数据填写的错误、界址重合等信息进行审核，提高数据审核效率，降低人工成本，探索大数据分析技术，分析研判集体土地流转、利用情况，为土地规划、乡村产业等提供数据支持。

## 4 集体土地所有权确权登记信息化建设的实践探索

### 4.1 平原地区信息化建设实践做法

平原土地主要是成片的耕地，地块比较规整，土地权属性质相对单一，信息化建设主要是做好数据的整合和使用的便携。在数据获取上，用GPS-RTK进行大面积的连片测量，高清遥感影像提供底图，地块边界位置信息和现状用地信息快速获取，减少外业测量工作。对现有的耕地土地的地块进行编码，形成一定的规则，土地地块和土地承包经营权进行信息关联，实现地权与承包权数据的关联，在系统功能设置上，构建“查地地块+流转备案”系统，土地所有者在线上查询土地的权属性质，土地流转直接向系统提交土地流转备案，不再需要线下跑腿提交，将土地确权数据和农业土地生产数据对接，为科学施肥、良种种植等农业现代化提供数据基础，在数据管理上，构建片区级的数据库，对片区所有的平原土地数据进行信息归集，并设置定期更新，结合土地利用年度调查对土地用途、权属变更等数据信息进行更新。

### 4.2 山地地区信息化建设实践做法

山地地形复杂，集土大多位于山顶山坡、沟谷内，地头地脚、地权边界不清晰，信息化建设重点解决“信息难获取、地权不易界定”的问题。在信息采集过程中，组建专业技术队伍，携带小型GPS-RTK和无人机，对陡峭的山坡地头地块，利用无人机航拍，初步建立地头地脚影像，在影像基础上手工建立初始界址点的坐标点，使坐标点数据更精确，建立离线获取功能，深山内网络信号弱，工作人员对地块进行现场数据采集，待网络信号恢复，信息自动导入系统中，避免数据丢失。在地权界定过程中，利用GIS构建三维地形模型，在模型上叠加集体土地所有权空间图层，结合三维地形模型直观呈现地块的地势高程、坡度及集体土地所有权边界等信息，让村干部及村民现场确认，减少纠纷，在信息系统中增加“地形标注”一栏，标注地块坡度、坡向、

海拔等，为发展林下经济、生态旅游提供地形数据基础。

### 4.3 丘陵地区信息化建设实践做法

丘陵地区既有平原田块，还有林山林地，地块分散、土地权属复杂，信息系统强调数据管理，便于操作。数据采集时，培训基层工作人员使用采集移动数据终端，以“一地一走、一户一确认”的模式，到实地现场采集地块点位、面积、用途、土地权属人的信息，并对地块现场照片进行拍摄上传数据，实现图、数、实地三统一，因丘陵地形起伏而造成地块面积计算不准确，在采集数据终端嵌入符合地貌的计算算法，根据地块坡度自动调整地块面积计算方式，提高地块面积计算精度。系统功能设计时，设置“用途类别”标签，区分出耕、林、园等不同类型，可根据用途类别来筛选数据信息，便于分类管控，建立“乡镇、村、组”三级数据平台，乡镇组村组人员可按权限查看、审核属地内的数据，乡镇组村组人员问题可直接上报，节省了处理时间。

## 5 信息化建设中的问题与优化路径

### 5.1 存在的问题

#### 5.1.1 数据标准混乱

由于部分地区的信息化建设起步阶段都是自行制定数据标准，不同地区数据格式、字段定义都不尽相同，数据汇交需要大量转码调整，加大了数据整合成本，降低了全国数据共享速度。

#### 5.1.2 系统集成不畅

在集体土地所有权确权登记业务中，涉及和自然资源、农业部门、民政部门等部门信息的联系，但现阶段各部门信息系统各自为政、互不相通，各部门之间没有信息系统相通，缺乏跨部门、跨系统信息共享、业务协同，例如农业部门土地承包经营权信息和自然资源部门的集体土地所有权信息不能实现信息数据共享，在土地权属纠纷的处理中需要重复查询数据信息，效率低。

#### 5.1.3 基层技术水平薄弱

基层人员普遍缺乏信息技术操作能力、数据管理能力，部分乡镇人员对信息系统不熟悉，采集信息、录入信息时容易出现失误，且基层维修人员缺乏，信息系统损坏时不能及时发现并处理，对确权登记工作的开展有影响。

### 5.2 优化路径

#### 5.2.1 统一数据标准体系

在国家自然资源部门主导下，建立全国统一的集体土地所有权确权登记数据标准，统一数据调查范围、格式、字段、代码、字段编码、数据编码，全国数据调查。确立数据质量检查制度，采取软件自动检查与人工抽查相结合的检测

方式，对获取的数据质量进行检测，保证数据的真实性和一致性，为全国数据的整合共享做准备。

#### 5.2.2 加强系统集成

强化部门信息共建，明确部门共享数据、共享方式、共享职责、共享口径，共享数据接口，集体土地所有权确权登记信息系统有效对接农业、民政、税务等部门信息系统，与土地承包经营权数据有效对接，实现土地所有权、土地承包经营权数据互查询互认可。与税务部门信息系统有效衔接，为征收集体土地相关税费提供依据，强化部门业务协同。

#### 5.2.3 加强基层技术帮扶

加大基层技术人员培训，分级制定培训计划，对乡镇技术人员进行信息系统使用、数据采集规范等实用技术培训，对县级技术人员进行数据库管理、系统运维等专业技术人员培训，采取理论培训、现场培训、案例培训等，强化基层技术人员计算机技能。建立技术帮扶制度，加强省级技术单位与基层建立技术帮扶制度，通过远程指导、现场技术帮扶，帮助基层进行技术攻关，为基层开展信息化建设提供帮助。

#### 5.2.4 加强数据安全管理

加强信息系统安全保护，运用防火墙、入侵检测、数据加密等技术，避免数据被非法访问、更改。建立数据分级管理制度，根据数据的安全级别设置不同数据级别，对于高敏感数据实行更高级别的访问权限、操作日志等保护。建立数据备份、恢复制度，对于确权登记数据进行备份，采用本地备份和异地备份，保证发生数据丢失可以立即复原数据，保护集体土地产权信息的安全和完整性。

## 6 结语

集体土地所有权确权登记信息化建设是加快建设自然资源管理新时代、维护农民集体土地权益的新实践。本文以理论和政策为引领，建立高效信息系统，以区地实践，形成因地制宜信息化建设经验，随着信息技术演进，不断摸索信息技术在集体土地确权登记中的应用，针对不同区地信息化建设特色，提升信息化建设水平，更好支持合理利用、有效管理集体土地，更好服务乡村振兴、城乡融合发展。

### 参考文献

- [1] 李振红,厉俊,龙武,甘明超.湖南省集体土地所有权确权登记成果更新和应用思考[J].国土资源导刊,2025,22(1):114-119
- [2] 程颖.自然资源确权登记视角下集体土地所有权现状分析及对策研究[J].华北自然资源,2025(3):150-153
- [3] 王志浩.农村房地一体不动产确权登记管理平台建设研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(8):90-93

# Research on Key Technologies for Cadastral Data Integration and Database Construction in Real Estate Registration Context

Wenyi Li

Shanxi Jin 'ou Land and Mineral Resources Consulting Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

In the process of advancing China's unified real estate registration system, cadastral data integration has become a critical bottleneck due to fragmented sources, heterogeneous formats, and inconsistent quality standards, necessitating urgent research on database consolidation. This paper first outlines the fundamental concepts of real estate registration and the definition/importance of cadastral data, followed by an analysis of current data management practices. It then examines technical requirements for data integration from three perspectives: data source types, technical challenges, and quality/standardization requirements. The study further explores five key technologies: data collection and preprocessing, format conversion and unification, spatial data integration, storage and management, and query applications, supported by practical case studies. This research provides technical references for resolving the "information silo" issue in cadastral data and enhancing digitalization of real estate registration. It holds practical significance for improving the real estate management data system and ensuring property transaction security.

## Keywords

real estate registration; cadastral data; data integration and database construction; spatial data integration; data quality control

# 不动产登记背景下的地籍数据整合建库关键技术研究

李文义

山西金瓯土地矿产咨询服务有限公司，中国·山西 太原 030000

## 摘要

在中国不动产统一登记制度推进过程中，地籍数据因来源分散、格式异构、质量参差等问题制约登记效率，亟需开展整合建库研究。本文首先概述不动产登记的基本概念与地籍数据的定义、重要性，分析当前数据管理现状；接着从数据来源类型、技术难点、质量与标准化要求三方面，剖析地籍数据整合的技术需求；最后围绕数据采集与预处理、格式转换与统一、空间数据集成、存储与管理、查询与应用五大关键技术，结合实际案例展开探讨。该研究为破解地籍数据“信息孤岛”难题、提升不动产登记数字化水平提供技术参考，对完善不动产管理数据体系、保障产权交易安全具有现实意义。

## 关键词

不动产登记；地籍数据；数据整合建库；空间数据集成；数据质量控制

## 1 引言

随着中国不动产统一登记制度深化，地籍数据作为核心支撑，却因分散、异构等问题影响登记效能。本文聚焦地籍数据整合建库，剖析技术需求与关键技术，为提升登记数字化水平、完善管理体系提供助力。

## 2 不动产登记与地籍数据概述

### 2.1 不动产登记的基本概念

不动产登记是指不动产登记机构按法定程序将不动产的权利归属、变动状况及其他依法规定的相关事项精准完整

记录到不动产登记簿的行政行为，关键在于借法定流程固定不动产权利相关信息以生成具法律效力的登记成果，该成果既能为不动产权利归属提供权威性证明，又为后续不动产交易、抵押、流转等活动打造合法根基，同时还承担维护不动产市场秩序、保障权利人合法权益、推动不动产管理规范化提升等重要职责，是连接不动产管理与产权保护关系的核心环节。

### 2.2 地籍数据的定义与重要性

地籍数据是在包含地籍调查、测绘、权属审核、登记管理等整个工作流程中逐渐形成的能全方位描述不动产核心特点的信息集合，囊括不动产的空间位置、界限范围、物理外貌形态、权利属性、用途类别及权属来源等关键要点，在多维度意义重大：从管理角度是不动产登记机构实施权属

【作者简介】李文义（1983-），男，中国山西大同人，工程师，从事国土测绘工程研究。

审核、颁发证书、动态监督管理的核心参照依据，直接决定登记工作的准确性与权威性；从实际应用角度为国土空间规划编制、土地资源集约使用、城市精细化管理提供基础数据支持；在权益方面是确保权利人产权稳固、减少产权纠纷、维护交易安全的重要信息承载载体，对推动不动产市场健康发展有不可替代的重要作用。

### 3 地籍数据整合的技术需求分析

#### 3.1 地籍数据来源与类型

地籍数据来源呈现多样性和繁杂性特征，既囊括历史登记阶段各部门留存的如早期土地、房屋登记纸质档案数字化成果等存量数据，又包含当下地籍调查产生的如实地测绘获得的地理信息及权属审核形成的权利记录等新数据，还涉及相关部门提供的如规划审批文件、交易监管信息等协同数据；从数据类型划分，包含用于描述空间位置的矢量与栅格数据、记录权利属性的结构化数据及承载权属证明的非结构化文档数据，这些不同来源和类型的数据共同构成地籍数据整合工作基础对象，并决定该项整合工作多方面需求。

#### 3.2 地籍数据整合的关键技术难点

地籍数据整合工作面临多层面技术难题，一是数据异构性问题，不同阶段和部门采用的坐标系统、编码规则及数据格式不同致数据无法直接兼容；二是数据冲突处理难题，因历史误差及业务差异，同一不动产空间信息和属性记录可能矛盾，需精确识别并合理调和；三是数据关联构建困境，空间、属性及文档数据间逻辑关联不紧密，难形成完整数据链条；四是海量数据处理压力，随登记业务累积，数据规模增大，对整合中数据处理效率及存储能力提出更高要求。

#### 3.3 数据质量控制与标准化要求

数据质量控制需围绕准确性、完整性、一致性、时效性搭建多维度管控体系，以保证空间数据坐标精度与属性数据信息真实可靠，确保数据无缺失、无冗余，达成不同来源数据逻辑统一且能及时更新以反映不动产最新状态；标准化建设需依照国家相关规范，统一数据格式、坐标基准及编码体系，明确数据采集、处理及存储等技术标准，制定数据质量评价指标及检测流程，借助标准化手段消除数据障碍，为地籍数据整合提供统一技术框架，保证整合后数据具备可用性和互操作性。

### 4 地籍数据整合建库的关键技术

#### 4.1 数据采集与预处理技术

结合数据采集和预处理属于地籍数据整合建库关键基础阶段，此环节从多来源采集完整数据并借技术手段提升数据质量以打造后续整合稳固根基；数据采集依存量与增量数据特性选合适技术，存量数据用数字化扫描及批量提取技术将纸质档案、旧版电子文档等转为可编辑数字化样式，增量数据用高精度测绘技术和移动采集工具及时获取不动产界址、地形等空间信息及权利人信息、权属证明等属性与文档

数据；预处理重点对数据清洗、补全和标准化处理，借逻辑校验算法找出并纠正数据冗余、格式错误等问题，对缺少重要信息通过权属追溯和实地核查补充，以保证数据进整合流程前达基本质量标准。

某地级市推动地籍数据整合工作时，针对辖区内 2000 年到 2015 年历史不动产登记数据，用高清扫描设备对 12 万份纸质档案开展数字化处理，利用 OCR 文字识别技术从档案提取权利人、宗地编号等属性信息，同时借专业数据提取工具从原国土、住建部门旧版数据库导出矢量格式空间数据，完成存量数据采集；预处理阶段技术团队研发逻辑校验程序对采集属性数据进行一致性检查，查出并改正“宗地面积与界址点坐标计算结果不一致”“权利人姓名出现错别字”等 3200 多条问题数据，对 1500 宗缺失界址点坐标土地，安排测绘人员带 RTK 定位设备实地补测以补充完整空间数据。

#### 4.2 数据格式转换与统一

结合空间数据、属性数据、文档数据各自不同格式特点，搭建规范化转换流程与规则，以达成多源数据格式相互兼容，此为化解地籍数据异构性难题关键技术的数据格式转换与统一，其中就空间数据需借助专业 GIS 工具格式转换接口处理好矢量数据与栅格数据格式差别，在保留空间拓扑关系及坐标信息时完成不同坐标系统转换，针对属性数据要依靠建立字段映射模型应对关系型与非关系型数据库数据结构差异，以实现属性信息完整转移及格式统一，至于文档数据需将 PDF、Word、扫描件等格式统一转成标准化电子文档格式，并提取关键信息构建索引以确保与空间、属性数据关联。

某省会城市进行地籍数据整合工作时遇原国土部门 CAD 格式宗地空间数据、住建部门 Shapefile 格式房屋空间数据及民政部门 Excel 表格权属属性数据格式不一致情况，该城市技术团队依托 ArcGIS 平台开发专门数据转换工具，先将 CAD 格式宗地数据转为 Shapefile 格式，转换中通过坐标转换模块把北京 54 坐标系数据转成 CGCS2000 坐标系数据并保留宗地界址线、界址点等空间拓扑关系，针对 Excel 格式属性数据，通过构建“宗地编号 - 权利人 - 权利类型”字段映射表，利用 ETL 工具将数据成批导入 Oracle 数据库并与空间数据借宗地编号字段实现关联。

#### 4.3 空间数据集成技术

借助空间匹配、拓扑修复以及一体化建模手段，以消除不同出处空间数据之间界限为目标的空间数据集成技术，通过打造统一的空间数据架构达成不动产空间信息无缝隙的融合，其关键要点在于处理空间数据位置一致性与逻辑关联性方面的难题，即运用空间匹配算法辨别不同数据库里关于同一不动产的空间数据以搭建空间对应联系，利用拓扑修复工具改正空间数据界址重叠、拓扑错误等状况保证拓扑一致性，并在此基础上构建涵盖宗地、房屋、附属设施等多个要素且明确各要素之间空间关联规则的一体化空间数据模型，使集成后的空间数据完整呈现不动产空间形态及位置

关系，满足登记业务在空间信息查询、分析等方面的需求。

在某经济开发区开展地籍空间数据整合工作时，察觉原土地管理系统的宗地空间数据与房产管理系统的房屋空间数据出现部分界址不吻合、房屋坐落与宗地归属不相符状况，技术队伍先运用 ArcGIS 叠置分析工具对宗地数据和房屋数据实施空间叠加操作，识别出 230 处界址重叠区域与 180 处房屋跨宗地的空间矛盾点，针对界址重叠问题依据实地测量的 RTK 坐标数据对冲突区域界址点重新校准以修复空间拓扑关系，对房屋跨宗地问题借助查阅规划审批相关文件与权属档案资料确定房屋实际应归属的宗地进而调整房屋空间数据位置属性，最终依托 GeoDatabase 空间数据模型构建“宗地 - 房屋 - 界址点”三级空间关联模型，以宗地为基础单元，让房屋数据与对应宗地通过空间位置建立联系，界址点数据与宗地、房屋通过独一无二识别码关联，形成一体化空间数据体系，集成后的空间数据支持“以房查地”“以地查房”两种双向查询方式，满足开发区不动产登记业务对空间信息的需求。

#### 4.4 数据存储与管理技术

结合地籍数据规模庞大、类型多样等特性，通过搭建具备高运行效能、可拓展能力、安全可靠性的存储管理体系，实现数据高效获取、存储、动态维护的存储与管理技术，在存储架构规划设计环节，选取混合存储模式：将结构化属性数据放于关系型数据库以依靠其事务处理能力确保数据一致性，把大量空间数据存储于地理数据库或分布式文件系统并借助空间索引技术提高访问效率，把非结构化文档数据存于对象存储服务以低成本存储海量文档，并实现快速查询检索；在数据管理方面，设立通过业务系统与数据库即时交互达成登记业务数据自动更新的动态更新机制。

某省自然资源厅在开展省级地籍数据库建设工作时，针对全省约 5000 万条不动产登记数据产生的存储与管理需求，采用混合存储架构：把属性数据存于 Oracle RAC 集群数据库，并运用数据库分区技术按行政区划分区以提升查询效率，将空间数据储于 ArcSDE 地理数据库，并结合 HDFS 分布式文件系统存储高清遥感影像数据，凭借空间索引及数据压缩技术将空间数据查询响应时间控制在 1 秒以内，把文档数据存到阿里云 OSS 对象存储服务并利用 CDN 加速技术实现全省范围文档快速访问；在数据管理事宜上，研发与各市不动产登记业务系统对接，一旦市一级完成登记业务数据就自动同步到省级数据库以实现实时更新的数据动态更新系统。

#### 4.5 数据查询与应用技术

以不动产登记业务及政府管理需求为核心，打造一套

融合数据查询和运用技术且高效便利的查询体系并拓展多样应用场景，是地籍数据整合建库价值的一种展现形式。在查询功能规划设计上，达成具备支持依属性信息精准与模糊查询、借助空间查询技术在特定空间范围查找数据、“属性加空间”综合查询方式的多层面、高精准度查询能力，以满足复杂业务场景查询要求；在应用场景延伸拓展方面，将整合后的地籍数据与不动产登记业务系统、政务信息共享平台对接，既支撑登记业务线上办理，又为国土空间规划、土地征收、房地产市场监管等多领域提供数据服务，同时利用数据可视化技术直观展现数据成果辅助政府决策，还面向社会公众提供一定限度数据查询服务增强政务服务便捷程度。

某地级市完成地籍数据整合工作后，以整合后的数据库为基础开发“智慧不动产登记与服务平台”，该平台在查询功能上，支持从多维度查询，如用户输入不动产单元号可准确查询权利人、权利类型、空间位置等整套完整信息，通过平台地图模块运用多边形选框工具选定区域能查询该区域内所有不动产分布状况和基本属性信息，且支持“权利人姓名加区域”组合查询方式解决重名时精准查询难题，其查询准确率达 99.8%，平均响应时间仅 0.8 秒；在应用场景层面，该平台与该市政务服务网对接，市民可直接线上申请不动产登记查询、证明开具等服务项目无需线下办理，此外还给市规划局提供地籍数据接口，规划部门编制城市总体规划时，可通过该平台查询规划区域不动产权属及分布情况辅助规划方案制定。

#### 5 结语

本文围绕不动产登记背景，系统研究地籍数据整合建库关键技术，明确数据整合需求，提出采集预处理、格式统一等技术方案并结合案例验证。这些技术可有效破解数据管理难题，提升登记效率与质量。未来还需探索 AI 在数据质控的应用，进一步完善数据安全与共享机制，助力不动产管理高质量发展。

#### 参考文献

- [1] 张正明,徐海洋.不动产登记地籍与房产数据整合建设关键技术研究[J].现代测绘(4期):56-58[2025-11-21].
- [2] 鞠军.市级不动产统一登记关键技术研究[D].中国矿业大学[2025-11-21].
- [3] 邓绍春.不动产登记地籍与房产数据整合建设关键技术分析[J].建筑知识,2017(15):1.
- [4] 王斌.不动产登记中的房产与地籍测绘数据整合[J].建筑工程技术与设计,2017,000(024):4021-4021.

# Research on Resolving Historical Legacy Issues in Integrated Rural Housing-Land Ownership Registration

Jian Chen

Shanxi Jin 'ou Land and Mineral Resources Consulting Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

Integrated rural housing-land ownership registration (hereinafter referred to as “ownership registration”) is a crucial component of China’s rural development reform, directly impacting the well-being of countless households. As the most contentious yet widely concerned issue among farmers, this study, guided by the vision of building a modern socialist countryside, combines the author’s grassroots experience to propose practical solutions for historical legacy issues in ownership registration. The aim is to provide substantive assistance for advancing rural real estate registration, standardize land management practices, and ultimately facilitate the effective implementation of rural revitalization initiatives.

## Keywords

rural homestead; property rights; historical development; legacy issues; solutions; land surveying

# 农村宅基地房地一体确权登记历史遗留问题破解路径研究

陈健

山西金瓯土地矿产咨询服务有限公司，中国·山西 太原 030000

## 摘要

农村房地一体确权登记（以下称确权登记）是我国目前乡村发展改革工作中的重要内容之一，直接关系到千家万户的美好生活，是农民群众最关心也最容易发生争议的一项工作。本文以建设社会主义现代化新农村理念为导向，结合笔者多年以来在基层工作的经验和体会，针对确权登记历史遗留问题提出了一些个人见解，希望可以为农村不动产登记工作发展提供实质性帮助，使农村房地管理更加规范，进而有效推动乡村振兴工作进一步落实。

## 关键词

农村宅基地；产权问题；历史发展；遗留问题；解决对策；国土测绘

## 1 引言

随着城乡一体化进程的加快，农村房地一体确权登记的受重视程度日益提高，在相关政策引导及推动下，确权登记工作取得了良好的成果，部分地区的农民已经获得了不动产权证书，这标志着他们的土地使用权得到了国家的认可并受到了法律的保护。但是，在具体落实过程中也遇到了一些问题，一些偏远或欠发达地区的确权登记工作进展缓慢，甚至由于权属争议等问题爆发矛盾。对此，相关工作者有必要针对具体问题进行深入分析并探索有效的解决方案，进而有效推动国家相关政策落地，促进农村社会经济全面发展。

## 2 农村房地一体化项目确权登记的主要内容

房地一体化项目确权登记主要依据《地籍调查规程》及相关政策和标准，开展权属调查、界址调查、登记发证

等工作，包括农村宅基地使用权、房屋等建筑物的所有权、农村集体用地的使用权等。在整个调查过程中，调查员或其他相关工作人员需要详细调查每宗土地的具体位置、范围、面积、用途等信息并填写在调查表当中。在开展权属调查工作时，需要完成房产要素测量、房屋面积计算、制作房产图等工作，并且，还要按照地籍信息化的要求，利用国家规定的地理信息系统软件完成宗地信息的录入、保存等工作，最终在输出各类汇总数据以及确定权属登记后向农民群众颁发不动产权证书。以上内容仅为笔者对本地农村房地一体化项目的简要总结，不同地区在政策及标准方面可能略有出入，具体应当以当地实际情况为准。

## 3 农村房地一体确权登记面临的历史遗留问题及其原因

### 3.1 问题分析

在国家相关政策及法规的引导下，农村房地一体化确权登记工作的技术问题已基本解决，比如电子登记系统的开发和应用、整体工作体系的构建等。但是，一些历史遗留问

【作者简介】陈健（1990-），男，中国山西大同人，本科，工程师，从事国土测绘工程研究。

题依然存在，这导致确权登记工作整体效率并不理想。具体来说，历史遗留问题主要包括以下几个方面：①一户多宅问题。国家土地管理相关法规明确指出，农村居民宅基地需遵守“一户一宅”原则，一个家庭只能申请一块宅基地并在该地块上建房，对于已有宅基地的居民，不应批准其再次申请。但是，由于房屋租赁买卖、房屋继承、新建家庭等多种因素影响，一户多宅问题较为普遍，几乎每个村庄都有具体的案例，这对土地公平性会造成一定影响。②宅基地面积超出。根据《山西省农村宅基地审批管理办法》第十一条规定，新申请的宅基地面积每户不能超过 200 平方米。但在实际调查中笔者发现，部分农民家庭实际居住面积超过了该标准。③法律意识较为欠缺，存在违法侵占现象。部分农民群众法律意识淡薄，在继承宅基地或购买房屋后却未进行过户手续，这可能导致工作人员和当事人产生矛盾。此外，私自占用耕地或其他集体用地的情况和只有宅基地却未建设（或建设暂停时间长）等情况也依然存在，这对确权登记工作造成一定困难。④土地权属资料不清或丢失。在社会发展初期，农村管理处于摸索阶段，由于村民文化水平不足等原因对宅基地的审批规划手续资料认识不足，对文件的储存和管理工作也不够科学，最终导致部分居民在房地确权时拿不出对应的登记资料。

### 3.2 原因分析

在我国，宅基地的流转受到法律的保护以及严格的限制，尤其是近几年更是针对农村宅基地问题出台了一系列法律法规，比如《中华人民共和国民法典》第三百六十三条明确规定：宅基地使用权的取得、行使和转让，适用于土地管理的法律和国家有关规定。但是，在农村地区由于流转机制不完善，村民私下交易或非法转让宅基地的情况时有发生，这会导致宅基地出现产权混乱等问题，不仅给确权登记工作造成了阻碍，还对村民行使宅基地效益形成限制。此外，随着城市化进程的加快，进城务工的农民群体数量越来越多，农村宅基地的使用率和利用率随之不断降低。在这样的环境下，由于监督管理工作不到位，部分村干部或村民为了追求利益将宅基地私自出租、转让，或者违法占地建房，严重破坏了宅基地的权属关系，给确权登记工作带来了很大的挑战。

## 4 农村房地一体确权登记工作优化路径探索

### 4.1 加强房地相关法律宣传，提高农民群众法律意识

确权登记工作需要依据国家法律法规执行，其整个过程受法律保护。同时，村民有义务配合工作人员完成提供房地资料、宅基地数据测量等工作。对此，针对确权登记工作中部分村民不理解、不支持的态度，国家和地方层面可以考虑加强相关法律法规宣传，通过官方渠道向广大村民介绍有关农村宅基地的政策和法律，引起村民的重视，确保宣传工作和确权登记工作顺利进行。

首先，村委会要做好对广大村民的宣传工作，比如通过村广播语音宣传、村务通知栏张贴告示或微信群等方式发布房地一体登记相关事宜，从基层做好对确权工作的宣传，让村民在工作人员到达前提前准备好相关的材料。或者，村委会也可以号召已经拿到不动产证书的村民在微信群内说一下整个过程，减少其他村民的心理负担，提高村民配合确权登记工作的意识。此外，对于在外务工或长期在外生活的村民，村委会也要通过电话通知等方式通知到具体的房主，并协商好具体的工作计划，比如房主按时回村完成确权登记工作，或者由村干部取得授权后代为办理相关的工作等；然后，国家和地方层面要充分利用新媒体受关注度高等优势开展宣传工作，比如由地方政府官方账号发布有关农村宅基地房地一体确权登记工作的新闻，结合具体案例让村民充分意识到确权登记工作的重要性。或者，地方政府也可以鼓励自媒体用户参与宣传工作或成立志愿服务组织，全过程指导村民完成资料整理、资料补充等细节，进而增强村民对确权工作的配合，加快工作完成的速度和质量。

### 4.2 基于严格监督推进农村宅基地流转制度改革

基于法律的宅基地正常流转是推动确权登记工作顺利进行的重要因素之一，针对传统的农村宅基地流转存在的弊端以及诸多限制而导致土地资源难以得到充分利用甚至产生的一些宅基地产权问题，当地政府和自然资源管理人员应加强对宅基地流转和违规建筑的监管，避免村民出现知法犯法的情况，将历史遗留问题扼杀在源头，让历史遗留问题真正成为“历史”。

首先，上级部门需要加强对基层单位的监督和管理，区县或乡镇级政府在确权登记工作开展期间需要设立专项工作小组定期到村委会进行调查和统计，并将重点放在村民宅基地申请、户口迁入和迁出等方面，避免出现非法交易宅基地、违规建房等情况；然后，地方法院可以根据工作计划成立农村宅基地房地一体确权登记问题案件小组，定期处理宅基地流转、违规建设等问题。据笔者调查发现，本地一乡镇级法庭开展了为期 7 天的专项调查和审理工作，共计解决宅基地非法流转等案件 18 件，进一步推动了确权登记工作的顺利开展；最后，基层执法部门还可以考虑设立匿名举报机制，鼓励当地村民对土地违法建设等行为进行举报，通过村民间相互监督的方式减少宅基地相关争议问题。据笔者搜索的具体案例，本地某村村民举报某处宅基地被一退休干部购买并打算自建平房居住，后经法院受理决定取消本次农村宅基地非法流转，这不仅消除了对确权工作的不利因素，还在很大程度上保护了村民的合法权益。

### 4.3 加强权属问题调节与处理工作

在农村房地一体确权登记工作过程中，权属争议是影响工作效率的主要问题之一，如何解决权属争议问题是保证登记工作顺利进行的关键。对此，地方政府或相关企业需要考虑构建一个多层次、多渠道的权属争议解决机制，以法律

为基础及时处理村民之间的权属争议问题。

权属问题调节与处理是一项系统性的工作，具有复杂性和有序性的特点，并且需要更多工作人员的参与或学习更多的法律相关知识。首先，需要建立快速反应机制和分类管理机制，针对不同地区、不同类型的争议采取不同的处理策略，同时根据村民对处理结果的满意程度和意见生成数据库，确保后续类似的权属争议问题可以在最短时间内得到妥善解决；然后，要加强对调解人员的培训工作，提高其法律知识和调节技巧，比如组织专项培训会议，通过展示真实调节录像等方式帮助调解人员了解更多与村民沟通的技巧，以便其可以及时、有效的调解村民之间的矛盾；最后，还要加强与地方司法机关的合作，将调解不成功的权属争议问题及时移交法院，通过法律途径解决。比如，针对本地的一个权属纠纷问题，在以村干部和村中德高望重的老党员为核心成立的协调小组调节无果后，无奈只能交由地方法院通过严格的法律途径解决。

#### 4.4 推进信息化建设与技术应用，简化确权登记流程

推进信息化建设是提升确权登记工作效率和质量的必经之路。在国家的指导和帮扶下，各地区已基本实现了农村土地资源管理系统建设工作，村民信息认证、宅基地测量数据、产权证书等信息资源都可以录入到对应的系统内以及供广大村民查询。比如，通过微信搜索进入“全国农村集体资产监督管理平台”小程序后，按照指引输入姓名、身份证号码和手机验证码以及通过实名认证后即可查看自家宅基地的确权面积、位置等信息。不过，根据笔者长期的工作经验来看，对现代化信息技术的应用还有一定的进步空间，尤其是在确权登记流程方面，更是需要进行优化和调整。

首先，在数据收集阶段可以尝试利用卫星遥感、地理信息系统以及基于人工智能的无人机技术等方式快速获取土地信息，这样不仅可以提高宅基地数据的准确度，还可以有效节约人工勘测的时间和成本。同时，基于现代科技获取的数据资源更便于实现数据的实时更新和共享，确保数据信

息的安全性和实效性；然后，为提升农村房地一体不动产权登记效率，需要对现有的登记流程进行改革和优化，依据法律法规删掉不必要的环节，实现登记流程的精简和优化。比如，笔者所在地的相关部门和企业正在建立一站式服务窗口，其目的在于减少村民因为某个文件或某个证件而不断奔波的次数，这样不仅可以避免村民对登记工作产生质疑等情绪，还可以加速登记工作的完成。不过，针对当下的信息技术发展趋势来看，电子登记系统更适合广大村民的生活节奏，所以打造在线服务平台或产权登记平台也很重要，通过引导村民在线提交资料以及工作人员在线审核资料的方式大幅度缩短登记时间，提高登记效率，使村民可以像网络购物那样更轻松、更便捷的配合完成确权登记工作；最后，确权登记工作的工作人员和服务对象都是具体的人，所以相关部门还要建立标准化的培训工作体系，以信息化系统学习为核心提高工作人员的专业技能和服务意识，为村民提供更优质的服务。此外，加强网络安全建设以及提高工作人员保密意识也是信息化建设过程必须重视的问题，做到保护好每一份登记信息，避免村民提供的数据信息被非法获取和滥用。

#### 5 结语

农村宅基地房地一体确权登记是广大人民群众追求美好生活的基本保障。面对权属纠纷等历史遗留问题，地产相关工作人员应当有序开展确权登记工作，同时不断学习新的政府文件和法律法规，结合农村宅基地的复杂性及时采取有效措施加强管理工作，有效保障农民的合法权益以及推动农村经济发展，从而推动乡村振兴工作健康发展。

#### 参考文献

- [1] 梁开伦. 茂名市电白区房地一体农村不动产确权登记意愿及影响因素研究[D]. 广东:华南理工大学,2024.
- [2] 张丽斌. 镇江市Y镇农村宅基地管理问题与对策研究[D]. 江苏:江苏大学,2023.
- [3] 胡少兵. 四川省夹江县农村宅基地房地一体确权登记的问题与对策研究[D]. 四川:电子科技大学,2022.

# Research and Application of Intelligent Methods for Surveying Forest, Grassland, Wetland and Desert Resources Supported by Surveying and Remote Sensing Technology

Dapeng Li<sup>1</sup> Hua Zhong<sup>2</sup> Fuliang Guo<sup>2</sup>

1. Qingdao Laoshan District Emergency Management Bureau; Qingdao, Shandong, 266000, China

2. Qingdao Laoshan District Natural Resources Bureau; Qingdao, Shandong, 266000, China

## Abstract

To address issues such as low efficiency, insufficient accuracy, and lag in dynamic monitoring of traditional forest, grassland, wetland, and desert resources surveys, this paper proposes an integrated survey technology system combining multi-source remote sensing data and intelligent algorithms. By fusing optical, SAR, and hyperspectral remote sensing data, and combining GIS technology with Convolutional Neural Networks (CNN), a full-process framework of ‘data preprocessing - feature extraction - intelligent classification - accuracy verification - dynamic update’ is constructed. Taking a provincial ecological reserve as a case study, the automated identification of forest land, grassland, wetland, and desert land is achieved, with an overall classification accuracy of 92.7% and a Kappa coefficient of 0.89. The survey efficiency is improved by more than 80% compared to traditional methods. The study shows that this intelligent method can effectively break through the bottlenecks of traditional surveys and provide reliable technical support for dynamic monitoring, protection and restoration, and scientific management of forest, grassland, wetland, and desert resources.

## Keywords

Surveying and Remote Sensing Technology; Forestry, Grassland, Wetland, and Desertification Resources; Intelligent Surveying; Resource Classification; Dynamic Monitoring

# 测绘遥感技术支撑下的林草湿荒资源调查智能化方法研究与应用

李大鹏<sup>1</sup> 钟华<sup>2</sup> 郭富良<sup>2</sup>

1. 青岛市崂山区应急管理局, 中国·山东青岛 266000

2. 青岛市崂山区自然资源局, 中国·山东青岛 266000

## 摘要

针对传统林草湿荒资源调查效率低、精度不足、动态监测滞后等问题，本文提出整合多源遥感数据与智能化算法的调查技术体系。通过融合光学、SAR、高光谱遥感数据，结合GIS技术与卷积神经网络（CNN），构建“数据预处理-特征提取-智能分类-精度验证-动态更新”全流程框架。以某省级生态保护区为案例，实现林地、草地、湿地、荒地的自动化识别，总体分类精度达92.7%，Kappa系数0.89，调查效率较传统方法提升80%以上。研究表明，该智能化方法可有效破解传统调查瓶颈，为林草湿荒资源动态监测、保护修复及科学管理提供可靠技术支撑。

## 关键词

测绘遥感技术；林草湿荒资源；智能化调查；资源分类；动态监测

## 1 引言

林草湿荒资源作为陆地生态系统的核心载体，在维系生物多样性、调节气候、涵养水源、防治水土流失等方面发挥着不可替代的作用，其精准调查与动态监测是生态文明建设、国土空间规划及生态安全保障的重要基础。我国林草湿

荒资源分布广泛、类型复杂，传统调查方法主要依赖人工实地勘测、样地调查与常规遥感解译，存在耗时费力、成本高昂、覆盖范围有限、动态更新困难等突出问题。例如，完成一个省级区域的林草湿荒资源普查，传统人工调查需投入大量人力物力，耗时1-2年，且数据精度易受地形条件、人为判断等因素影响，难以满足新时期生态环境保护与资源精细化管理的需求。

随着测绘遥感技术的快速迭代，高分辨率卫星遥感、无人机遥感、合成孔径雷达（SAR）等技术实现了大范围、

【作者简介】李大鹏（1981-），男，中国黑龙江佳木斯人，本科，高级工程师，从事林业工程研究。

周期性、实时性的地表观测，为林草湿荒资源调查提供了海量高质量数据源；而人工智能、大数据与地理信息系统(GIS)技术的深度融合，进一步推动资源调查从“人工解译”向“智能识别”转型。测绘遥感技术具备宏观性、快速性、客观性等天然优势，可突破传统调查的时空限制；智能化算法能够自动提取地物深层特征、实现精准分类，显著提升调查效率与数据精度。因此，开展测绘遥感技术支撑下的林草湿荒资源调查智能化方法研究，构建高效、精准、自动化的技术体系，对提升我国生态资源管理的科学化、精细化、智能化水平具有重要理论价值与实践意义。

## 2 国内外研究现状

国外在林草湿荒资源遥感调查领域起步较早，已形成较为成熟的技术体系。美国利用 Landsat 系列卫星数据，结合随机森林(RF)、支持向量机(SVM)等机器学习算法，构建了全国尺度的土地覆盖分类与林草资源动态监测系统，分类精度稳定在 85%-90%；欧洲通过 Sentinel-1/2 卫星星座构建全球生态环境监测网络，实现湿地、草地等资源的常态化监测与变化预警；日本、加拿大等国则探索无人机遥感与深度学习算法结合的小尺度林草资源调查，进一步提升局部区域调查精度。

国内相关研究近年来取得显著进展，学者们基于高分系列卫星(GF-1/2/6)、无人机遥感等数据，结合面向对象分类、深度学习等方法开展区域尺度研究。例如，张锦等(2022)基于 GF-6 卫星数据与随机森林算法，实现黄土高原林草资源精准分类，总体精度达 89.3%；李娜等(2023)融合 Sentinel-1 SAR 数据与光学数据，提升云遮挡区域湿地识别能力。<sup>[1]</sup>但现有研究仍存在不足：一是多源遥感数据融合不够充分，单一数据类型难以适应复杂地形与植被覆盖场景；二是智能化算法针对性不足，对林草湿荒资源细微特征捕捉不够精准；三是技术方法工程化应用不足，缺乏全流程标准化体系，难以满足实际管理需求。

## 3 研究内容与技术路线

本文围绕林草湿荒资源调查智能化方法展开系统研究，核心内容包括：1) 多源遥感数据预处理与融合技术研究，提升数据质量；2) 林草湿荒资源多维度特征提取，构建综合特征集；3) 基于 CNN 的智能化分类模型构建与优化；4) 实证研究与动态监测应用分析。

**技术路线：**首先收集研究区多源遥感数据及辅助数据(地形数据、实地调查数据)，进行辐射校正、几何校正、滤波去噪等预处理及像素级融合；其次提取光谱、纹理、地形、时序等多维度特征，利用随机森林算法筛选关键特征；然后构建 CNN 分类模型，通过实地调查数据训练与精度验证；最后将模型应用于案例区，实现资源分类与动态监测，生成可视化成果。

## 4 林草湿荒资源调查智能化方法体系构建

### 4.1 多源遥感数据获取与预处理

#### 4.1.1 数据获取

选取某省级生态保护区为研究区，收集 2023 年 GF-2 高分辨率光学卫星影像(空间分辨率 1m，光谱范围 0.45-0.95 μm)、Sentinel-1 SAR 影像(C 波段，双极化模式，空间分辨率 10m)、Hyperion 高光谱影像(242 个波段，光谱分辨率 10nm)作为主要数据源。同时收集 30m 分辨率数字高程模型(DEM)、研究区行政边界数据及 366 个实地调查样点数据(含林地、草地、湿地、荒地的地理位置、植被类型、覆盖度等信息)，作为辅助数据与验证数据。多源数据的互补性可有效克服单一数据在云遮挡、植被阴影、复杂地形等场景下的局限性。<sup>[2]</sup>

#### 4.1.2 数据预处理

光学遥感数据预处理：采用 ENVI 5.6 软件进行辐射校正，消除传感器误差；通过 FLAASH 大气校正模型去除大气散射与吸收影响；结合地面控制点进行几何精校正，确保几何精度误差小于 1 个像素。

SAR 数据预处理：利用 Sentinel Toolbox 软件进行多视处理(视数 5×1)、Lee 滤波去噪，提升数据信噪比；基于 DEM 数据进行地形校正，消除地形起伏导致的雷达影像畸变。

数据融合：采用小波变换融合方法，将 GF-2 影像的高空间分辨率与 Hyperion 影像的精细光谱特征、Sentinel-1 影像的纹理信息相结合，生成兼具高空间分辨率(1m)与高光谱分辨率的融合数据，为特征提取与分类提供高质量支撑。

#### 4.1.3 林草湿荒资源特征提取

基于预处理后的多源融合数据与 DEM 数据，提取多维度特征，构建综合特征集：

**光谱特征：**计算归一化植被指数(NDVI)、增强植被指数(EVI)、归一化水体指数(NDWI)、土壤调节植被指数(SAVI)等 12 个指数，其中 NDVI 有效反映植被覆盖度，NDWI 对湿地水体具有强敏感性，可快速区分植被覆盖区、水体与陆地。

**纹理特征：**采用灰度共生矩阵(GLCM)在 8 个方向、4 个距离下提取均值、方差、对比度、熵等 8 个纹理参数，反映地物空间结构信息，有效区分林地(纹理复杂)与草地(纹理均匀)、湿地(纹理细腻)与荒地(纹理粗糙)。

**地形特征：**从 DEM 数据中提取海拔、坡度、坡向等 3 个地形参数，分析地形对资源分布的影响，提升山区、丘陵等复杂地形区域分类精度。

**时序特征：**结合 2023 年 3 月、6 月、9 月三期 GF-2 影像，提取植被生长周期特征(如 NDVI 时序曲线)，进一步区分季节性草地与永久性林地、临时性湿地与常年湿地。

## 4.2 智能化分类模型构建

### 4.2.1 模型选择与优化

构建“特征筛选 - 深度学习分类”混合模型：首先利用随机森林算法对 23 个特征进行重要性评估，筛选出贡献度排名前 12 的关键特征（包括 NDVI、NDWI、对比度、熵、海拔等），减少冗余特征干扰；其次构建 CNN 分类模型，由 3 个卷积层、2 个池化层、1 个全连接层和 1 个 Softmax 输出层组成，输入维度为  $12 \times 256 \times 256$ ，卷积核大小  $3 \times 3$ ，池化窗口  $2 \times 2$ ，激活函数采用 ReLU，dropout 概率 0.5，防止模型过拟合。<sup>[3]</sup>CNN 模型强大的深层特征自动提取能力，可有效捕捉林草湿荒资源细微差异，提升复杂场景分类精度。

### 4.2.2 模型训练与验证

将 366 个实地调查样点按 7:3 比例划分为训练集（256 个）与验证集（110 个），采用自适应动量估计（Adam）优化器训练模型，学习率 0.001，迭代次数 100 轮，批量大小 32。以混淆矩阵、总体分类精度（OA）、Kappa 系数作为评价指标：总体分类精度表示正确分类样本占比；Kappa 系数衡量分类结果与真实情况的一致性，取值越接近 1 精度越高。

### 4.2.3 动态监测与成果输出

基于智能化分类模型，结合 2020 年与 2023 年两期多源遥感数据，实现林草湿荒资源动态监测：通过对比两期分类结果，采用转移矩阵分析资源类型数量变化与空间转移规律；利用 ArcGIS 10.8 软件构建空间数据库，生成资源分布图、动态变化图等可视化成果，为管理部门提供决策支持。

表 1 林草湿荒资源分类精度验证混淆矩阵

类别	林地（实测）	草地（实测）	湿地（实测）	荒地（实测）	总计	用户精度
林地（分类）	89	4	1	2	96	94.2%
草地（分类）	3	85	2	4	94	91.5%
湿地（分类）	1	3	83	2	89	93.1%
荒地（分类）	2	3	1	81	87	89.7%
总计	95	95	87	89	366	-

注：Kappa 系数 =0.89，总体分类精度 =92.7%

### 5.3.2 分类结果分析

2023 年研究区林草湿荒资源分类结果如图 1 所示：林地面积 1860km<sup>2</sup>，占比 37.2%，集中在东南部山地丘陵区；草地面积 1520km<sup>2</sup>，占比 30.4%，分布于中部过渡带；湿地面积 680km<sup>2</sup>，占比 13.6%，沿水域形成生态廊道；荒地面积 940km<sup>2</sup>，占比 18.8%，主要在西北部干旱区域。

分类结果与实际资源分布高度吻合，且调查周期仅 15 天，较传统方法效率提升 80% 以上，大幅降低了调查成本与劳动强度。

## 5 实证研究

### 5.1 研究区概况

研究区为某省级生态保护区，位于我国北方半干旱地区，地理坐标东经  $110^{\circ} 30' - 112^{\circ} 00'$ ，北纬  $38^{\circ} 00' - 39^{\circ} 30'$ ，总面积约 5000km<sup>2</sup>。区域地形复杂，涵盖山地、丘陵、平原、湿地等多种地貌，海拔 800-2300m；属温带大陆性气候，年平均气温 8.5℃，年降水量 350-500mm，生态环境脆弱。区内林草湿荒资源丰富：林地主要分布在东南部山地丘陵区，以落叶阔叶林、针叶林为主；草地集中在中部平原与丘陵过渡带；湿地沿河流沿岸及低洼地区分布，包括河流、湖泊、沼泽等；荒地多为未利用土地，集中在西北部干旱区域。

### 5.2 数据处理与模型应用

按照构建的智能化方法体系开展调查：1) 完成两期多源遥感数据预处理与融合，生成 1m 分辨率融合影像；2) 提取多维度特征集，筛选 12 个关键特征；3) 训练 CNN 模型，训练集准确率 95.3%，验证集准确率 92.7%；4) 应用模型对两期影像分类，结合无人机影像与实地调查数据修正结果。

### 5.3 结果分析

#### 5.3.1 分类精度验证

2023 年分类结果精度验证如表 1 所示，林地、草地、湿地、荒地的用户精度分别为 94.2%、91.5%、93.1%、89.7%，生产者精度分别为 93.8%、92.3%、91.8%、90.2%，总体分类精度 92.7%，Kappa 系数 0.89。湿地与林地分类精度较高，得益于多源数据融合增强的特征信息；荒地精度相对较低，因部分荒地与退化草地特征相似度高。整体来看，模型精度满足实际调查需求。

#### 5.3.3 动态监测应用

对比 2020 年与 2023 年分类结果，资源动态变化显著：林地面积从 1780km<sup>2</sup> 增至 1860km<sup>2</sup>（增幅 4.5%），得益于人工造林与生态修复工程；草地面积从 1560km<sup>2</sup> 减至 1520km<sup>2</sup>（减幅 2.6%），部分因过度放牧转化为荒地；湿地面积从 650km<sup>2</sup> 增至 680km<sup>2</sup>（增幅 4.6%），归因于生态补水与保护政策；荒地面积从 1010km<sup>2</sup> 减至 940km<sup>2</sup>（减幅 6.9%），部分通过生态治理转化为草地。动态监测结果清晰反映生态保护与资源利用趋势，为政策优化与精细化管理提供科学依据。

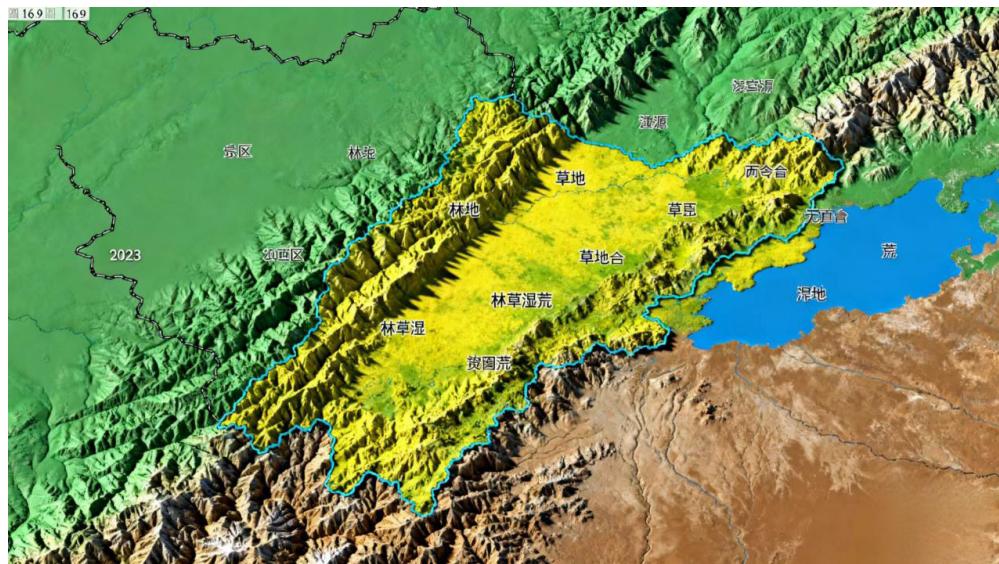


图 2 研究区 2023 年林草湿荒资源分类分布图

(注: 图中绿色表示林地、黄色表示草地、蓝色表示湿地、褐色表示荒地, 底图为研究区行政边界与 DEM 地形渲染图; 图表类型为专题地图, 数据来源为多源遥感融合数据与实地调查数据)

## 6 结语

本文构建了测绘遥感技术支撑下的林草湿荒资源调查智能化方法体系, 通过多源遥感数据融合、多维度特征提取与 CNN 模型构建, 实现了资源高效精准识别与动态监测。实证研究表明: 1) 多源遥感数据融合 (光学 +SAR+ 高光谱) 可充分发挥数据源互补优势, 克服云遮挡、地形畸变等问题, 提升数据质量; 2) 多维度特征集能全面反映资源特征差异, 为精准分类奠定基础; 3) CNN 模型总体分类精度达 92.7%, Kappa 系数 0.89, 效率较传统方法提升 80% 以上,

满足精细化管理需求; 4) 该方法可有效捕捉资源动态变化, 为生态保护与修复提供技术支持。

## 参考文献

- [1] 刘敏,唐小琼,孙宇,等.无人机承载不同类型传感器在草原监测中的应用与展望[J].草原与草坪,2024,44(06):1-10.
- [2] 杨晶月.朋曲流域荒漠化动态遥感监测及驱动力研究[D].四川农业大学,2023.
- [3] 李武乾.基于多源遥感数据的矿区植被变化监测[D].河北工程大学,2021.

# The Application of Steep Slope Mining in Open-pit Limestone Mines

Jie Chen Ning Zhang Rui Yang

Sichuan Zhongding Blasting Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

In response to the imbalance in the deepening speed of the east and west mining areas and the lag in the recovery of high-quality ore at the bottom of the east mining area in a certain open-pit limestone mine, by introducing the steep slope mining technology of metal mines and optimizing the combination of step parameters, the time for extracting high-quality resources at the bottom and inferior resources in the middle and upper parts was adjusted, the secondary transportation cost of low-quality ore was saved, and the imbalance in deepening between the east and west mining areas was adjusted. Match the descending speed of the shaft and each platform, optimize the transportation distance of the ore, and save transportation costs. While slowing down the mining speed in the west mining area, the extraction of high-quality ores in the middle and lower parts of the east mining area was accelerated, achieving scientific allocation of high and low-grade ores. This effectively guaranteed the stability of ore quality during the resource depletion period and significantly reduced the mining cost.

## Keywords

Limestone mine, steep slope mining, reducing mining costs

# 陡帮开采在露天石灰石矿山的应用

陈杰 张宁 阳锐

四川中鼎爆破工程有限公司，中国·四川成都 610000

## 摘要

针对某露天石灰石矿东西采区延深速度失衡及东采区底部优质矿石回收滞后问题，通过引入金属矿山陡帮开采技术，优化台阶参数组合，调整了底部优质资源与中上部劣质资源出矿时间，节约了低质矿二次转运成本，调整了东、西采区延深不平衡，匹配竖井与各平台的降段速度，优化矿石运距，节约运输成本。在延缓西采区开采速度的同时加速东采区中下部优质矿石采出，实现高低品位矿石的科学配采，有效保障了资源枯竭期的矿石质量稳定性并显著降低开采成本。

## 关键词

石灰石矿；陡帮开采；降低开采成本

## 1 引言

露天开采是指用一定的开采工艺，按一定的开采顺序，移走矿体上的覆盖物（剥离工序），从敞露地表的采矿场采出有用矿物（采矿工序）的过程。露天开采是矿产资源开采的主要类型之一<sup>[1]</sup>，相对于地下开采其难度较小。我国露天采矿技术：在露天矿陡帮开采、高台阶开采、穿爆技术方面发展迅速并具有一定技术优势，部分技术达国际领先水平。

## 2 陡帮开采技术

缓帮开采技术因可以为后期开采创造宽广、便利的工作条件，在我国早期矿山开采得到普遍应用，其工作帮坡脚 $8^\circ \sim 15^\circ$ 。国外已经普遍在应用陡帮开采技术，工作帮坡

角达到 $20^\circ \sim 35^\circ$ 甚至更大。主要从两个方面增加帮坡脚：一是缩小工作平台宽度，其基本参数为台阶高 $12 \sim 15m$ ，工作平台宽度 $40 \sim 60m$ ，临时非工作平台宽度 $3 \sim 10m$ ；二是增加台阶高度减少工作平台个数，部分硬岩矿山台阶高度可以达到 $20 \sim 25m$ ，经研究表明，当露天矿山深度为 $100 \sim 200m$ 、 $300m$ 和 $500m$ 时，适宜台阶高度分别为 $24 \sim 27m$ 、 $30m$ 和 $45m$ <sup>[2]</sup>。陡帮开采可以均衡生产剥采比，推迟非工作帮的暴露时间；降低前期生产剥采比。

陡帮开采方式常见的陡帮开采方式分为4种<sup>[2-3]</sup>：倾斜条带开采、组合台阶开采、并段爆破分段采装开采、雁行追踪式开采。

倾斜条带开采是整个帮只有一个台阶作业，从上到下轮流作业，其余不工作的台阶为较窄的临时非工作平台。采用此种开采方式可以最大限度地提高工作帮坡角，适用于剥离物厚度大、地质构造简单、岩性坚硬的露天矿，受制于其

**【作者简介】**陈杰（1991-），男，中国四川达州人，本科，工程师，从事采矿技术研究。

开采的局限性，对于剥离物厚度变化较大的露天矿，其应用效果并不理想。

组合台阶开采是 1 台铲装设备负责开采一个组合，每个组合有 2 ~ 5 个台阶。组合内自上而下单台阶依次循环开采，不开采的台阶只留较窄的平台。各组之间留有一定的开采安全距离。组合台阶开采不仅可以提高工作帮坡角，对不同的地质条件适用范围也较广，特别是剥采比变化较大的露天矿的开采，可以有效调节剥采量的搭配。然而，由于各台阶需轮流开采，因此，需要频繁移动采掘设备，降低了设备的使用效率。

并段爆破分段采装开采是将相邻的 2 个开采台阶合为一个开采台阶进行穿爆，之后再分段采装。此种开采方法简单实用，应用范围广，同样适用于剥离物厚度变化大的露天矿。但其对岩石的岩性有一定的要求，不适用于岩性松软的露天矿开采。与其他陡帮开采方式相比，其加陡工作帮的幅度较小。

雁行追踪式开采为将工作帮分成若干个组，组内各台阶跟随着其前一个台阶共同向前推进。雁行追踪式开采年推进度比其他陡帮开采方式大，尤其适用于生产能力大且剥采比较大的露天矿。然而，由于组内台阶均同时同方向开采，上下相邻台阶必然会造成一定的影响，降低设备的使用效率。

### 3 矿山开采现状

某露天石灰石矿山采用竖井平硐方式开拓，采场内汽车运输至竖井口卸料。竖井位于矿界内东采区中心位置，设计井口标高在 +648m 平台，现已降至 +624m 平台。西采区为重车上坡运输，东采区 +624m 平台以上重车下坡，其他台阶为重车上坡。整个矿山以中间为界分为东、西两个采区，经过十余年的开采整个矿山东采区已经形成 +600m ~ +684m 共 7 个平台，其中上面 6 个平台现有宽度仅 8 ~ 15 米宽。西采区已经采至最低开采标高 +585m 处，东、西采区高差 99m 生产不均衡，东采区延深进度慢。

### 4 陡帮开采方案选择

陡帮开采技术大多数都是用在煤矿或金属矿前期剥离量特别大的矿山，而大多数的石灰石矿山因其埋藏浅、剥离量少开采难度低，一般采用缓帮开采。该石灰石矿山低质矿指的氧化钙  $\leq 49\%$ ，氧化镁  $\geq 2.3\%$ ，氧化硫  $\geq 0.25\%$ ，因在前期的开采中指标要求，低质矿石未及时搭配处理，导致底部优质矿无法采出。低质矿分布区域主要集中在东采区东南侧终了帮附近 +612m ~ +660 标高，矿层产状  $190 \sim 220^\circ \angle 8 \sim 15^\circ$  北侧台阶自上而下优质矿逐渐增多。整体推进方式为工作线南北方向布置，自西向东推进；靠近终了边坡区域工作线东西方向布置，自北向南推进。该推进方向的改变目的是利用东北侧优质矿石搭配东南侧的低质矿石。

为保证矿山可持续生产，需将底部优质矿提早采出搭

配上部低质矿使用，将无法单独生产使用需要搭配的低质矿看作“剥离物”。满足 600 万 t/a 生产指标需 450 万 t 优质矿 150 万 t 低质矿，低质矿的最大比例达到了 25%。

剥离物集中且量偏大，采剥空间受到限制上窄下宽。现使用液压反铲挖掘机移动灵活，且需加大东采区的开采强度，东采区西侧形成临空面。故选择东采区上部 1 个组合台阶 + 下部雁行追踪式开采。

## 5 陡帮开采参数

### 5.1 台阶高度的确定

本矿山属于中硬矿岩，生产台阶高度定为 12m。

### 5.2 最小工作平台宽度确定

本矿采用  $2.5 \text{ m}^3$  的液压挖掘机采掘、60t 矿用自卸汽车运输最小工作平台宽度确定为 40m。

### 5.3 临时非工作平台宽度

临时非工作平台宽度可以截住上一平台爆破冲出的石头，同时也可做辅助运输道路，在其他参数确定的情况下，临时非工作平台越宽，工作帮坡脚越小。本矿山采用的是逐孔毫秒微差松动爆破，宽体矿卡运输和台阶高度等因数综合考虑取临时非工作平台宽度为 15m。

### 5.4 组合台阶个数

组内台阶个数是针对组合台阶开采及雁行追踪式开采，其个数  $n$  主要根据采剥量的大小，采场作业空间，施工的设备类型和生产能力等因素决定。在其他开采参数不变时，组内台阶数与工作帮坡角成正比。

$$n = kQ/(LB_p h) \quad [4] \quad (1)$$

式中： $n$  — 组合台阶个数； $k$  — 系数，一般取 1 或 2； $h$  — 台阶高度，12m； $Q$  — 采剥能力，根据现有设备其能力可达  $242247 \text{ m}^3/\text{月}$ ； $L$  — 工作线长度，120m； $B_p$  — 最小工作平台宽度和安全平台宽度；取 55m。计算得出  $n=3.06$ ，取组合台阶个数为 3。

## 6 边坡的安全性

矿山采用陡帮开采边坡稳定，通过 2024 年现状边坡稳定性分析资料结合 GPS 在线位移监测，保障矿山安全生产。

根据《非煤露天矿边坡工程技术规范》（GB 51016-2014），极限平衡法简化毕肖普法与摩根斯坦 - 普赖斯法结果，对存在多种破坏模式或多个滑动面的边坡，应分别对各种可能的破坏模式或滑动面进行稳定性计算，并应以最小安全系数作为边坡安全系数。分析该矿山现状边坡在自重 + 暴雨（地下水）、自重 + 暴雨（地下水）+ 爆破振动力和自重 + 暴雨（地下水）+ 地震力三种工况下的稳定性。综合研究结果如表 1 所示。

矿山在 +648m 安全平台建有 2 个 GPS 在线监测，实时保证现场边坡安全监测。在数值超过一定值域会以短信预警给管理人员，相关人员收到预警短信后到现场核实边坡情况，并重点关注后期其位移变化趋势。

表1 各剖面不同工况下的稳定性系数

计算剖面	计算方法	自重 + 暴雨	自重 + 暴雨 + 爆破振动力	自重 + 暴雨 + 地震力
L-L1 剖面	简化毕肖普法	3.112	2.970	2.777
	M-P 法	3.114	2.968	2.775
M-M1 剖面	简化毕肖普法	2.988	2.853	2.670
	M-P 法	2.980	2.844	2.660

## 7 陡帮开采效益

### 7.1 陡帮开采推迟剥离量

陡帮开采提高临时工作帮坡角，最主要的是要缩小最小工作平台宽度和增加开采的阶段高度。对该石灰石矿山从穿孔爆破、铲装、运输等方面来看，最小工作平台宽度控制在 40m 左右是可以实现的。如果以 12m 段高 3 个台阶一组进行组合台阶开采，阶段高 36m，则工作帮坡角由的 22° 提高到 29° 左右，在技术上也是完全可以实现的见图二。通过 (2) ~ (4) 式计算得出单位延迟剥离量为 434.8m<sup>3</sup>。

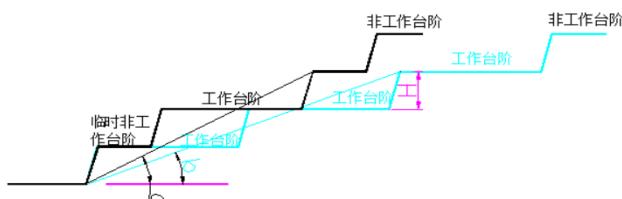


图1 推迟剥离量示意图

$$\Delta V = n^2 H^2 (ctgb - ctga)/2 \quad (2)$$

$$b = arctg \frac{nH}{(n-1)w + nH / tg\alpha} \quad (3)$$

$$a = arctg \frac{nH}{w + (n-2)l + nH / tg\alpha} \quad (4)$$

式中  $\Delta V$  — 为每米延迟剥离量；  $b$  — 为缓帮开采帮坡脚，根据 (3) 式计算得 22°；  $a$  — 为陡帮开采帮坡脚，根据 (4) 式计算得 29°；  $w$  — 为最小工作平台宽度，40m；  $l$  — 为临时非工作台阶宽度，15m；  $H$  — 为台阶高度，12m；  $\alpha$  — 为工作台阶坡面角，75°；  $n$  — 为组合台阶个数，根据 (1) 式取 3。

### 7.2 经济效益

整个东采区上部区域大体为长条状，从南向北推进陡帮开采的具体方法是：+660m 平台推进至优质矿位置时，+648m 平台开始从南（低质矿）向北（优质矿），工作平台超前距离 200m。从南侧靠边界位置修建矿区内运矿道路至 +624m 以上各平台。保障低质矿持续开采，并且可以根

据搭配比例随时调整低质矿的出矿量。增加东采区使用量，减缓西采区优质矿石的使用量，逐渐平衡东、西采区开采高度差距。西采区运距约 1.22km，东采区运距为 0.56km 运输成本 0.78 元/(t·km)，东矿每年出矿量约 172 万吨，减少了距离较远的西采区出矿量，节约运费 88 万元。同时将台阶与竖井降段匹配，使得后期开采整体运距得到优化，减少重车上坡距离。

东采区低质矿南北长约 350m，陡帮开采延迟出矿量约有 40.6 万吨，按挖装成本 3 元/吨。避免了集中开采此区域无法全部用于搭配生产，产生的二次堆放挖装费用约 121.8 万元。

### 7.3 增加作业面，保证施工安全

雁行追踪式开采可以有多个台阶同时工作，但必须保障相邻台阶超前距离符合安全要求。上一台阶爆破或排危对下面台阶都有一定影响，但现场施工组织合理可缩短影响。多个台阶同时出矿才能够保障低质矿搭配所需要的量，杜绝交叉作业，保障生产安全。陡帮开采减少人员、设备暴露在终了边坡附近作业时间，且根据边坡稳定性分析可看出在不同工况下其稳定性系数均大于三级边坡安全稳定性系数。

## 8 结语

该石灰石矿山采用陡帮开采方式调整了底部优质资源与中上部劣质资源出矿时间，节约了低质矿二次转运堆放成本；同时调整了东、西采区延深不平衡，匹配竖井与各平台的降段速度，使得各平台尽量以重车下坡或平路行驶为主优化矿石运距，节约运输成本。各台阶的施工组织安排是陡帮开采的关键工作，必须重视相邻台阶间钻、爆、挖、运及辅助各工序的统筹安排。

## 参考文献

- [1] 石磊.关于露天采矿技术及应用发展阐述[J].冶金与材料,2023,43(4):115-117.
- [2] 杨鹏,蔡嗣经.高等硬岩采矿学[M].北京:冶金工业出版社,2010,68-69.
- [3] 王寰宇,韩延清,渠爱巧,等.某露天煤矿陡帮开采技术方案比选[J].现代矿业,2017(6):57-62,75.
- [4] 林荣平,刘献华.陡帮开采技术在紫金山金矿的应用[J].有色金属(矿山部分),2002,54(3):14-15,20.

# Optimization of topographic mapping accuracy of mountainous area by UAV aerial survey

Dongpo Meng

湖北电力规划设计研究院有限公司, 武汉 430040

## Abstract

To address the challenges of rugged mountainous terrain, low efficiency, and insufficient accuracy in traditional surveying, this study conducts research on optimizing topographic mapping accuracy for drone aerial surveys in mountainous areas. By identifying key error sources in processes such as ground simulation flight, image control point layout, and data processing, a comprehensive precision positioning optimization system is developed. Two practical case studies—road surveying in Gansu's 16-square-kilometer mountainous region and hydropower project mapping in Shaanxi—are employed to validate the effectiveness of the optimization strategy. Through DEM fusion-based flight path planning, adaptive image control point deployment, and multi-source data integration, the system achieves maximum planar accuracy of 1.8cm and elevation accuracy of 2.7 cm, with 40% higher efficiency and 55% lower costs compared to traditional methods. The research demonstrates that this optimization framework effectively resolves issues like uneven resolution and model voids in mountainous aerial surveys, providing reliable support for large-scale topographic mapping in mountainous regions.

## Keywords

UAV aerial survey; mountain terrain; surveying and mapping accuracy optimization

# 无人机航测的山区地形测绘精度优化研究

孟东坡

湖北省电力规划设计研究院有限公司, 中国·湖北武汉 430040

## 摘要

针对山区地形起伏大、传统测绘效率低、精度不够的问题，本文进行无人机航测山区地形测绘精度优化研究。根据仿地飞行、像控点布置及数据处理等重要过程误差来源，创建全流程精确定位优化系统。利用甘肃16平方公里山区公路勘测、陕西水电工程测绘两个实战案例来检验优化策略的有效性，采用DEM融合航线规划、自适应像控点布设、多源数据融合处理后，平面精度最高可达1.8cm，高程精度可达2.7cm，比传统方案效率提高40%，成本降低55%。经研究发现，此优化体系可以很好地解决山区航测时出现的分辨率不均、模型空洞等状况，给大比例尺山区测绘提供可靠的支撑。

## 关键词

无人机航测；山区地形；测绘精度优化

## 1 引言

山区地形测绘对于公路建设、水电开发、地质灾害监测等都有着十分重要的基础性意义，但是由于其起伏剧烈、高差显著等特点，给传统的测绘技术带来了很大的挑战。固定高度无人机测绘容易出现高海拔区域重叠度低，低海拔区域分辨率过高的问题，造成空三失败或者成果精度不均。传统“粗测+精测”迭代模湖北省武汉市式可以提高精度，但是成本增加，效率低。近些年来，仿地飞行、倾斜摄影等技术的发展给山区测绘提供了一条新路子，已有研究证明仿地飞行可以明显提高高程精度，但是在 DEM 预处理、航线

参数优化等方面还没有系统方案。本文针对精度优化过程中的关键环节给出全方位的技术方案，有重要的现实意义，对推进山区测绘智能化升级起到了一定的推动作用。

## 2 无人机航测山区地形测绘的研究意义

### 2.1 破解山区测绘技术瓶颈的核心价值

山区地形复杂给传统测绘技术带来许多局限，GPS 全野外作业劳动强度大、周期长，陡坡、密林区难以进行。无人机航测由于机动性好、覆盖范围大，成为山区测绘的主要方式，而精度优化研究则直接针对它的主要问题展开。经由解决仿地飞行航线规划、影像匹配误差等事宜，可以有效地避开模型空洞、扭曲变形这些质量瑕疵，在陕西水电工程测绘当中，精度改良之后即便是在 800 米高差的地形上依然能取得高精度成果，冲破了原先的技术应用界限，给予复杂山

**【作者简介】** 孟东坡（1987-），男，中国湖北武汉人，硕士，从事电力研究。

区测绘赋予可行的方案。

## 2.2 支撑工程建设提质增效的实践价值

山区公路、水电等工程建设对测绘精度要求很高， $1:500$ 比例尺地形图的平面和高程精度直接关系到工程设计是否合理、施工是否安全。精度优化研究能提高成果的可靠性，在甘肃某山区公路勘测项目里，采取优化策略之后，模型完整度做到99.3%，对比传统办法周期减短40%，节约开支55%。高精度测绘成果能缩减工程返工率，减小施工风险，在边坡稳定性评定时准确的高程数据可改善灾害预警精确度，给工程安全赋予坚固保证<sup>[1]</sup>。

## 2.3 推动测绘行业技术升级的创新价值

目前无人机航测技术正处于快速发展阶段，山区测绘精度优化研究可以推动多技术融合创新。在研究过程中用到的DEM数据融合技术、航线平滑算法优化、AI地形预测等技术可丰富无人机航测技术体系。像基于地形复杂程度的自适应像控点布置策略，根据数学模型进行像控点数量精确计算，摆脱了以往按经验布置的方式。这些技术创新除了可以运用到山区测绘之外，还可以向应急抢险、文物保护等领域延伸，推进测绘行业的智能化与精细化发展<sup>[2]</sup>。

## 2.4 服务生态保护与灾害监测的社会价值

山区属于生态保护的重点区域，同时也是地质灾害易发区，高精度测绘成果对于生态监测以及灾害防控具有重要意义。精度提升之后的无人机航测可以实现对植被覆盖区地形的精确还原，从而给生物栖息地守护以及退耕还林状况监测赋予数据依靠。地质灾害监测利用前后期高精度测绘数据对比，可以准确找到滑坡、泥石流等地质灾害发生时变形的特点，提高地质灾害预警的时效性。山区洪水淹没范围监测用厘米级精度的正射影像，可以为救灾方案的制定提供准确的依据，最大程度上减少人员和财产的损失。

# 3 无人机航测山区地形测绘的发展现状

## 3.1 核心技术应用日趋成熟

无人机航测技术在山区测绘中已经形成基本体系，仿地飞行作为核心技术，已经发展出DSM仿地和实时仿地两种主流模式。DSM仿地通过导入地形数据生成变高航线，其中预扫模式虽然增加了作业时间但是安全性更高，基础模式使用公开DEM数据成本低但是需要人工干预修正；实时仿地通过传感器实时感知地形实现“贴地”飞行。倾斜摄影技术和仿地飞行的结合越来越广泛，多镜头同步拍摄可以提高模型的立体感，高山测区用该组合技术制作的 $1:500$ 地形图，其平面中误差为0.291m，符合规范要求<sup>[3]</sup>。

## 3.2 精度影响因素研究较为深入

学界已经明确无人机航测山区精度主要影响因素为前期DEM数据精度、飞行参数设置、像控点布设和后期数据处理方法。DEM数据误差会直接叠加到飞行高度上，造成总高度误差变大；飞行参数中航向重叠率80%-85%、旁向

重叠率70%-80%是最佳范围，过低容易产生航摄漏洞，过高会加重数据冗余；像控点布设上地形特征点优先布设能提高解算精度，60%控制点+40%检查点的分级使用模式已成共识；数据处理软件ContextCapture、Pix4D等空三解算效率较高。

## 3.3 实践应用中仍存突出瓶颈

尽管技术已有了一定的发展，但在实践中还有很多问题。复杂地形的适应性差，高差大于800m且气象条件差的地方，航线会剧烈震荡，影像质量受影响；数据处理速度慢，大量的倾斜影像匀色、空三解算要耗费很长时间，模型拉花、空洞等问题还需要人工修正；成本控制难，高精度DEM数据获取、专业设备投入、技术人员培训等费用高，中小测绘单位难以承受；四是标准化程度低，不同测区的技术方案没有统一的标准，造成成果的精度稳定性不好。

## 3.4 技术发展呈现新趋势

无人机航测山区精度优化正在向智能化、多平台协同发展。加入AI技术以后，地形特征可以自动识别和预估，根据有限的数据对航线进行规划，激光雷达与视觉SLAM技术融合之后，使得实时仿地飞行不再需要事先的DEM数据，提高了在复杂地形中的适应能力。无人机集群作业模式通过多机协同完成大面积测区的快速覆盖，空天地一体化监测体系把卫星遥感、地面监测数据结合起来，形成全方位的测绘网络。新的趋势给精度优化提供了一条新路径，给行业发展注入了新的活力。

# 4 无人机航测山区地形测绘精度优化策略

## 4.1 前期规划阶段，DEM数据融合与航线优化

前期规划是精度保障的基础，核心就是创建高质量的基础数据并规划科学航线。使用多源数据融合和安全余量干预的DEM预处理方案，将AW3D30、ALOS等公开DEM与已有地形图融合，在ArcGIS软件中进行叠加校正，剔除高程异常点，对断层、陡崖等特殊地形区域用实地踏勘数据补充修正。安全余量设置根据地形坡度来调整，坡度 $\leq 30^\circ$ 时取20米， $30^\circ < \text{坡度} \leq 60^\circ$ 时取35米，坡度 $> 60^\circ$ 时取50米，有效避免无人机撞山。航线规划用WayPointMaster软件，根据DSM数据生成平滑航线，用加权函数算法平滑航线拐点，减少飞行高度突变。针对不同的地形设置不同的参数，高山区域为85%的航向重叠率和75%的旁向重叠率，平缓区域为80%的航向重叠率和70%的旁向重叠率，保证全域分辨率一致。例如测区设置相对航高359.40m，影像地面分辨率达到0.05m，完全满足 $1:500$ 地形图精度要求，航线总长度比传统方案缩短了12%，提高了作业效率<sup>[4]</sup>。

## 4.2 数据采集阶段：设备选型与像控点优化布设

设备选型要符合测区的要求，建立“地形复杂度”和“设备性能”之间的匹配模型。高差超500米的高山区首选大疆M300 RTK无人机，最大飞行海拔7000米，载重1.7kg，

可搭载哈苏 P1 全画幅相机，有效像素 5000 万，保证远距离拍摄影像清晰度；植被覆盖率超 60% 的区域选择 RIEGL miniVUX-1UAV 激光雷达设备，测距精度  $\pm 5\text{cm}$ ，点云密度 100 点 /  $\text{m}^2$ ，可穿透中低植被获取地面真实高程数据。像控点布设采取“自适应 + 分级”办法，依照地形复杂程度公式  $N=k \times S \times \sigma / H$  来精确计算布设数量， $k$  值按照测区地形类型决定，山地 0.5，丘陵 0.3，山间平原 0.2。在山脊、山谷、坡脚等地形特征点强制布设，用梅花形均匀分布的方式，整体上保持 500 米间距，特殊地方加密到 300 米。像控点标志为  $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$

#### 4.3 后期处理阶段，多技术融合数据解算

后期处理用软件协同加误差修正的方式，创建起预处理、解算、建模、修正闭环体系。影像预处理阶段用 PhotoScan 软件批量匀色，用色彩平衡算法统一影像色调，用相机内参数进行畸变校正，用 SIFT 算法剔除模糊、曝光异常、重叠度过高的冗余影像，保留的有效影像率  $\geq 95\%$ 。空三解算采用 ContextCapture 和 Pix4D 联合解算，先用 Pix4D 初解得到外方位元素的初始值，再导入 ContextCapture 精解，用光束法平差进行交叉验证，重投影误差控制在 0.3 像素以内，对粗差较大的像点采用人工干预剔除。三维建模时利用 Smart3D 软件和倾斜摄影数据创建高密度点云模型，点云密度  $\geq 500$  点 /  $\text{m}^2$ ，拉花、空洞处采用立体像对量测补测，补测精度为  $0.1\text{m}$ 。采用气象补偿算法，用飞行时的温度、气压数据来修正影像畸变，温度每变化  $10^\circ\text{C}$  相机内参数调整  $0.02\%$ ，气压每变化  $10\text{kPa}$  飞行高度调整  $0.5\text{m}$ 。陕西水电工程中，在该算法下  $-5^\circ\text{C}$  低温、 $85\text{kPa}$  低气压环境下依然可以得到平面精度  $1.9\text{cm}$ 、高程精度  $2.8\text{cm}$  的高精度结果。最终用 EPS 软件完成地形图采集，对等高线、地物要素进行人工核查修正，保证成果符合《无人机航测数字地形图技术规程》的要求。

#### 4.4 质量控制阶段：全流程精度检测体系

形成“分段检测、综合查验、动态反应”质量把控系统，保证精度始终处在可控范围之内，并且能实现问题的即时修正。前期检测 DEM 数据精度，采用随机抽样法抽取 20% 的区域设置实地采样点，利用 GNSS 静态测量得到真实高程并与 DEM 数据进行对比计算中误差，保证 DEM 高程中

误差  $\leq 1\text{m}(1 : 5000)$ ，如果不满足则重新融合数据。飞行中利用无人机地面站实时监测重叠度、航高稳定性、电池电量等参数，设置航高偏差  $\pm 5\text{米}$ 、重叠度偏差  $\pm 5\%$  的预警阈值，一旦发现异常马上停止飞行，重新规划航线再作业。后期处理时用分层抽样法选取 10% 至 15% 的检查点，优先选择道路拐点、房角点、高程特征点等，用 GNSS RTK 技术实测坐标，通过距离中误差公式  $M = \sqrt{[\sum (P-Q)^2 / (n-1)]}$ 、高程中误差公式  $M = \sqrt{[\sum (H-H')^2 / (n-1)]}$  计算，保证  $1:500$  比例尺地形图平面精度  $\leq 0.3\text{m}$ 、高程精度  $\leq 0.5\text{m}$ 。设置动态反馈环节，把检测结果传回前期规划和数据采集阶段，某个区域精度不够时，找到原因再改航线参数或者增多像控点重新飞行。项目结束后形成包含技术方案、原始影像、空三报告、精度检测报告等的完整档案，用区块链技术存证数据，给后续项目提供可追溯的参考依据，建立成果复用数据库，把同类型测区技术参数沉淀下来，降低重复测绘成本。

### 5 结语

综上所述，本文从无人机航测山区地形测绘精度优化入手，对前期规划、数据采集、后期处理、质量控制这四个环节的关键影响因素进行剖析，构建出一个全程技术优化方案。实践案例显示，运用 DEM 融合航线规划、自适应像控点布设以及多软件协同解算的方法，可以很好地解决山区测绘中由于分辨率不均和模型畸变所造成的误差，从而大幅提高成果精度和作业效率。但是研究还存在复杂气象条件下精度控制、AI 技术深度融合等不足。可以进一步研究机器学习在航线自动优化中的应用，结合激光雷达和视觉 SLAM 技术来提高仿地精度，并推进技术标准化的建设，给山区测绘的高质量发展提供更强的技术支撑。

### 参考文献

- [1] 许春萌,段勇. 多旋翼无人机航测在山区水库测量中的应用[J]. 水利科技与经济,2024,30(05):101-105.
- [2] 郑光辉,张军. 无人机航测技术在山区河道治理中的应用[J]. 江西测绘,2023,(04):39-42.
- [3] 孟涛. 无人机航测在山区水利测绘中的应用要点[J]. 石材,2023,(05):94-96.
- [4] 张顺迎. 多旋翼无人机航测在山区水库测量中的应用[J]. 河北水利,2022,(12):48+17.

# Precision Analysis of 3D Cadastral Scene Applications

Jun Qiu Yuanzhi Li

First Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Changsha, Hunan, 410000, China

## Abstract

With the advancement of digital and 3D-oriented cadastre information management, the precision construction and application of 3D cadastral scenes have become increasingly prominent. This paper elaborates on the precision requirements for various application scenarios of 3D cadastral scenes, while also discussing the impact of data collection and processing accuracy. Based on high-precision cadastral data acquisition, a professional processing workflow is established to create 3D cadastral models, followed by precision evaluation to analyze the application effects of these models. The study concludes that proper data processing can effectively enhance the accuracy of 3D scenes, thereby improving their utility for subsequent applications. It proposes optimization strategies for enhancing precision and refining application scenarios in 3D cadastral systems. Finally, the research provides practical references for future 3D cadastral information management practices.

## Keywords

3D cadastral; accuracy assessment; data acquisition; data processing; scenario application; application effect

# 三维地籍场景应用精度分析

仇俊 李远志

湖南省第一测绘院，中国·湖南长沙 410000

## 摘要

由于地籍信息管理朝着数字化、三维化的方向发展，三维地籍场景的精准化构建与应用也愈加显现。笔者就三维地籍场景的不同应用场景，对其精度要求做了详细说明，同时针对其数据采集及处理的精度影响展开论述；在采集高精度的地籍数据的基础上开展专业的处理流程，建立三维地籍模型，并通过精度评价的方式展开地籍模型应用的效果分析。基于此得出合理的数据处理能有效提高三维场景的精度，更好地服务于后期的应用效果，并给出适用于三维地籍场景精度的提高以及应用场景的应用优化方案。最后为今后三维地籍信息管理的实践提供了参考。

## 关键词

三维地籍；精度评估；数据采集；数据处理；场景应用；应用效果

## 1 引言

由于我国城市化进程的快速发展以及城市建设过程中建设用地资源的相对稀缺，在以往二维地籍模式下已无法有效应对如今的各类复杂空间关系、立体产权及地下空间利用等情况，因此引入了三维地籍技术来建设真实、精确度高的三维场景，实现地物、地物与人之间的融合感知，同时将真实的三维场景用于地籍相关业务工作中，并辅以真实可靠的三维数据信息开展更实用化的服务工作<sup>[1-3]</sup>。其中，地籍三维场景精度是衡量场景成形优劣的关键因素。在不同的应用场景下，对地籍三维场景精度的要求也不相同，例如，在进行土地确权登记时需要达到厘米级精度，而在进行城市规划等工作时则需达到米级精度即可，因此，研究地籍三维场景的精度需求并探索其对场景精度产生影响的机理，从而

指导三维地籍系统更为合理有效地进行构建和使用都具有重要的价值和意义<sup>[4-6]</sup>。

本文就三维地籍场景应用精度问题进行研究，在此基础上进行了以下工作：一是从各种应用场景出发确定不同的精度要求；二是基于 GNSS/INS 组合与激光雷达扫描仪的数据采集方式获取高精度地籍数据；三是通过 ContextCapture 软件和泊松重建算法进行数据处理以及三维建模；四是构建精度评估体系，利用交叉验证法检验三维地籍场景精度；五是对其应用效果进行分析，检验优化后的三维地籍场景是否能够在实际应用过程中使用。

## 2 研究方法与数据处理

### 2.1 数据采集

利用多传感器集成技术对数据采集，并且采用了高精度测量仪器。主要设备为：NovAtelProPak6 全球导航卫星系统接收机（厘米级定位精度）、RieglVZ—400i 三维激光扫描仪（扫描速度 40 万点 / s，测距精度 ±3mm）及

【作者简介】仇俊（1983—），男，本科，高级工程师，从事基础测绘、实景三维、低空无人机遥感等研究。

CanonEOS5DSREDSMAX 数码相机等。主要技术指标为：平面定位精度 ( $H/V$ )  $\leq \pm(2.5+1 \times 10^{-6}x/D)$  mm, 高程精度  $\pm 3$  mm; 点云密度  $\geq 1000$  点 / m<sup>2</sup>; 影像分辨率达到 2cm / 像元。

数据采集流程包括前期准备（测区踏勘、控制网布设、设备检校）、现场采集（车载和架站相结合的方式）、数据记录和质量控制。本次数据采集共获取地籍点 1000 个，覆盖面积约 5 平方公里，点云数据约 50GB，影像数据约 20GB。

## 2.2 数据处理

利用先进的技术手段完成数据处理，才能达到准确且适用三维地籍场景的目的。（1）数据预处理：包含数据清洗（剔除异常值 / 离群点 / 重复数据）；数据去噪（结合使用统计离群点移除滤波器以及半径离群点移除滤波器两种滤波器对噪声数据进行去除）；数据配准（使用 ICP 迭代最近点算法配准，配准精度控制在 2cm 以内）；数据融合（综合考虑 GNSS、IMU 及激光雷达数据生成高精度点云数据）。

（2）三维建模：运用泊松重建算法进行三维建模，这是根据点云数据来进行三维网格重建的一种方法，通过求解泊松方程实现隐式曲面的重建，可有效的去除噪音数据并得到光滑连续的三维曲面，具体步骤分为法向量估计（利用 PCA）、八叉树构建（设置深度为 10，分辨率为约 2cm）、泊松方程求解以及等值面提取（使用 Marching 本文就三维地籍场景应用精度问题进行研究，在此基础上进行了以下工作：一是从各种应用场景出发确定不同的精度要求；二是基于 GNSS/INS 组合与激光雷达扫描仪的数据采集方式获取高精度地籍数据；三是通过 Cubes 算法）等，可以很好的处理一些噪音数据并生成平滑连续的网格模型，并且三维重建精度很高，能达到厘米级左右。

（3）纹理映射：采用 UV 映射技术实施纹理映射时主要是经过对纹理图样拍摄（用数码相机拍摄，成像分辨率要大于 2cm/ 像素）、纹理坐标生成（利用自动生成法）、纹理图样处理（色差调整、亮度修正、图片拼接）、纹理映射与优化这几个步骤，UV 映射能够使三维地籍场景拥有非常好的逼真度以及视觉表现力，纹理映射误差不超过 1 个像素。

（4）精度验证：利用交叉验证的方法进行精度检验，按照随机划分的方式，把采集的数据划分成训练集（占数据总量的 70%）、测试集（占数据总量的 30%），其中训练集用来建立三维模型，测试集用来检验三维模型的精度。检验指标包括平面位置误差、高程误差、均方根误差 (RMSE)、平均绝对误差 (MAE)，使用交叉验证法对三维地籍场景精度进行全面评定。

## 3 实验与结果分析

### 3.1 实验设计

为验证本文方法，采用三维地籍场景构建及精度检测

实验，选取某城市中典型建成区作为试验区，试验区范围约 5km<sup>2</sup>，用地性质包含住宅用地、商业用地和工业用地等，具有较强的示范性；实验平台使用 Intel Corei9-10900K 处理器，内存 64GB，显卡 NVIDIA RTX3090，软件环境包括 Windows10 操作系统，ContextCapture、CloudCompare 等软件。

实验内容包括：（1）通过布设 50 个控制点，采集地籍点 1000 个，得到点云数据约 50GB、影像数据约 20GB 的数据采集试验（2）利用采集的数据进行预处理、三维建模、纹理映射等数据处理试验；（3）利用交叉验证法进行三维地籍场景精度评估试验；（4）利用建立的三维地籍场景实现对土地管理和城市规划等方面的运用效果试验。

### 3.2 精度评估结果

通过交叉验证方法对三维地籍场景的精度进行评估，评估结果如下：

（1）平面位置精度：测试集包含 300 个地籍点，平面位置误差的统计结果如表 1 所示。X 方向的 RMSE 为 0.035m，Y 方向的 RMSE 为 0.038m，综合 RMSE 为 0.036m，满足地籍测量规范中对于界址点精度（ $\pm 0.05$ m）的要求。

表 1 平面位置误差统计结果

统计指标	X 方向 (m)	Y 方向 (m)	综合 (m)
最大值	0.089	0.092	0.095
最小值	0.003	0.002	0.004
平均值	0.028	0.031	0.029
均方根误差	0.035	0.038	0.036
标准差	0.021	0.023	0.022

（2）高程精度：高程误差的统计结果如表 2 所示，高程方向的 RMSE 为 0.025m，满足地籍测量规范中对于高程精度（ $\pm 0.03$ m）的要求。

表 2 高程误差统计结果

统计指标	Z 方向 (m)
最大值	0.067
最小值	0.001
平均值	0.019
均方根误差	0.025
标准差	0.016

精度分布分析：由图 1 可知：误差在整个测区内分布比较均匀，不存在明显系统性误差，但在建筑物密集的地方，误差略大一些，因为此区域遮挡较多，不易于采样；而在开阔的地方，误差较小，精度也相对较高。从直方图可以看出，无论是平面位置误差还是高程误差都呈现出了几乎符合正态分布的特性，所以误差的分布还是比较合理的，不存在比较明显的系统性的偏差；由图 1 可知：累计分布曲线表示有 68% 的测试点平面位置误差  $< 0.035$ m，有 95% 的测试点误差

<0.055m, 达到了地籍测量的要求。

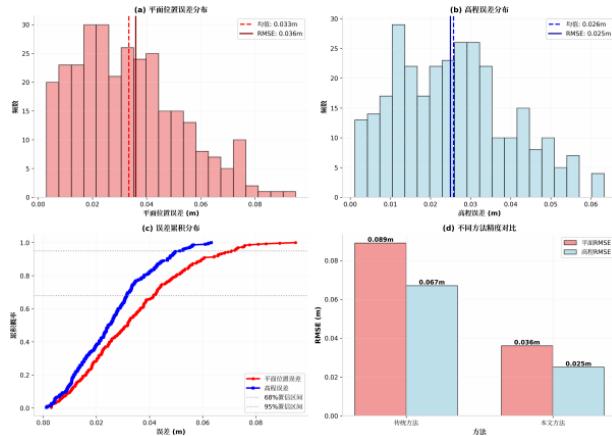


图1 误差统计分析图

(4) 不同方法的精度对比: 为了验证本文方法的优势, 在本文方法上的基础上和基于二维地籍数据的传统方法进行了对比实验, 具体见表3。由表3可知, 本文方法的精度方法较高, 相比于传统的基于二维地籍数据的方法, 平面精度提高了59.6%, 高程精度提高了62.7%。因此本文提出的方法是有效的。

表3 不同方法精度对比

方法	平面 RMSE	高程 RMSE	综合精度
传统方法	0.089m	0.067m	中等
本文方法	0.036m	0.025m	高

### 3.3 应用效果分析

将建立好的三维地籍场景用于实际工作上之后可以取得比较理想的效果, 在土地确权登记工作中, 通过三维地籍场景, 清晰可见土地边界与建筑物的空间关系, 让确权登记更有效率; 在城市规划方面, 利用三维地籍场景可以提供空间参考, 便于城市规划和用地布局调整; 在不动产统一登记工作中, 三维地籍场景可以体现不动产的立体空间信息, 将为不动产统一登记工作提供强大的技术支持。

## 4 结论与展望

### 4.1 主要结论

就本文而言, 研究三维地籍场景的应用精度, 经过系统实验分析可知: 通过对三维地籍场景精度要求进行系统分

析, 提出了三维地籍场景的完整数据采集方案; 实验表明, 数据采集精度达到地籍测量规范要求, 为后面建立三维地籍场景奠定了基础; 采用先进的数据处理流程: 数据预处理—泊松重建—纹理映射; 经对比实验验证, 利用本文方法建立的三维地籍场景平面精度优于5cm, 高程精度优于3cm, 相比于传统的应用方法有着较高的精度优势, 证明本文方法的有效性; 最后运用交叉检验法以及应用效果分析得出本文提出的三维地籍场景应用方案有效提高了三维地籍场景的应用精度与效果, 在三维地籍信息管理方面提供了重要的技术支持。

### 4.2 研究展望

本研究有待改进的地方在于以下几方面: 一是加大试验范围, 可以试验更多的地域和地形类型以及不同种类的建筑类型; 二是提高自动化程度, 研究更简便的数据处理方法来代替人工进行数据处理; 三是在一定时间内研究基于人工智能的建模方法来进行自动化的三维地籍建模; 四是补充和完善精度评估体系, 建立起多维度(几何精度、语义精度和时态精度)的精度评估标准。

所谓地籍技术是地籍管理工作技术方向之一, 发展三维地籍技术将会为国土空间规划及自然资源的管理工作提供更多有用信息。

### 参考文献

- [1] 汪连贺. 无人艇组网测量应用场景研究及精度分析[J]. 海洋测绘, 2022, 42(3): 45-50.
- [2] M Zrinjski, U Barkovi, A Tupek, et al. Accuracy Analysis of the Applicability of UAVs in Cadastral Surveys[J]. Geodetski Vestnik, 2019, 63(2): 203-218.
- [3] 黄流川. 基于车路协同的典型应用场景构建与仿真研究[J]. 交通运输工程学报, 2021, 21(4): 156-167.
- [4] O Duran, Y Ahn. A Comparative Accuracy Analysis of 3D Model Programs-A Case Study of SfM and Photogrammetry-Based Programs[J]. Surveying & Land Information Science, 2022, 81(2): 89-102.
- [5] 王安辉, 谭鑫鑫, 徐义仟. 三维地籍建模技术应用研究[J]. 测绘与勘探, 2022, 48(6): 112-118.
- [6] CIC Gkeli. Crowdsourced 3D cadastral surveys: looking towards the next 10 years[J]. Journal of Geographical Systems, 2019, 21(3): 345-367.

# Application Analysis of Remote Sensing Technology in Dynamic Monitoring of Land Use

Xuezhi Qiu Libin Zhang

Yunnan Provincial Remote Sensing Center, Kunming, Yunnan, 650034, China

## Abstract

Remote sensing technology, as a comprehensive observation technique that collects electromagnetic radiation or reflection characteristics of targets through platforms such as aircraft or satellites equipped with optical, infrared, microwave (radar), and hyperspectral sensors without contacting the targets, is widely applied in various fields of China's social and economic development. Land resources, as important means of production, require dynamic monitoring of their utilization to ensure that relevant departments can timely and accurately grasp the specific land use situation, thereby providing a reliable basis for the formulation and implementation of social and economic policies. In view of this, the article puts forward several perspectives on the application of remote sensing technology in dynamic land use monitoring.

## Keywords

remote sensing technology; land use; dynamic monitoring; application; value; key points

# 遥感技术在土地利用动态监测中的应用分析

邱学智 张丽斌

云南省遥感中心，中国·云南昆明 650034

## 摘要

遥感技术作为一项在不接触目标的前提下通过航空器或卫星等平台搭载光学、红外、微波（雷达）、高光谱等传感器，采集目标电磁辐射或反射特征并用于定量判识与时空变化监测的综合性观测技术，其广泛应用于中国社会经济发展各领域。土地资源作为重要的生产资料，针对其利用动态监测旨在确保相关部门能及时、精准地掌握土地具体利用情况，从而为有关社会与经济政策制定、实施提供可靠的依据。有鉴于此，文章围绕于遥感技术在土地利用动态监测中的应用提出几点看法。

## 关键词

遥感技术；土地利用；动态监测；应用；价值；要点

## 1 引言

遥感技术及其所包括的机载系统是实现对土地利用进行动态监测的重要手段。基于对中国土地利用动态监测工作中存在的艰难性以及监测成果多样性的考虑，遥感技术如何在该项工作中有效应用成为一项值得深入研究的课题<sup>[1]</sup>。对此，下文将基于相关文献研究及工作实践情况下就遥感技术在土地利用动态监测中的应用展开探讨，以供参考。

## 2 遥感技术概述

遥感技术是以非接触方式利用电磁波（包括可见光、

红外、微波等）获取地表与大气信息的综合观测手段与方法，涵盖传感器平台、影像获取、辐射校正与定量反演等环节。在实践中，遥感体系呈“陆海空天”一体化布局，广泛服务于耕地与农情监测、林业资源普查、地质调查、海洋测绘与应急灾害监测等工程化应用；技术实施重点集中在传感器分辨率、观测重访周期与定标精度的控制，以确保产品可用性和结果可追溯性。近年来中国遥感卫星发射与产业化快速推进，已形成多分辨率合理配置与常态化观测能力，进一步降低数据获取成本并提升响应时效。遥感在土地利用、生态监测、灾害与资源调查中已形成规范化技术路线和产品体系，并由国家相关部门和科研机构支撑运行与应用推广。

## 3 遥感技术在土地利用动态监测中的应用价值

遥感技术在土地利用动态监测中的应用价值体现在业务导向的时空信息支撑、量化样本与要素提取、以及对政策与执法的直接服务能力。首先，基于高分专项系列卫星（如高分二号、高分四号等）提供的亚米到十米级影像，可实现

**【作者简介】**邱学智（1976—），男，中国云南宣威人，本科，高级工程师，从事基础测绘、工程测量、摄影测量与遥感、实景三维建设、土地利用及变更调查、国土空间规划等相关技术研究。

耕地、建设用地、林草与湿地等基本地物的定量识别与精度控制，为年度或季节尺度的土地现状更新提供可靠影像来源。其次，多源数据（高分光学、雷达、高光谱及光谱分辨率增强）互补，能够降低单一传感器在光照、云遮或作物生长周期造成的误判，提升土地变化提取的时效性与分类稳定性。再次，遥感成果可直接服务国土空间监测、土地整治与违法用地监管，通过要素化产出（矢量要素、变化斑块清单与面积统计）支撑自然资源管理与城乡规划执行。最后，遥感方法学便于标准化和可复制，有利于建立分级监测体系与动态更新机制，在区域差异大的中国国土管理实践中，可按需配置分辨率与时相，兼顾全国覆盖与重点地区精细监测，从而在资源监管、粮田保护与生态修复等领域形成可操作的技术路径与业务闭环<sup>[2]</sup>。

## 4 遥感技术在土地利用动态监测中的应用

### 4.1 监测数据获取与时相配置

在土地利用动态监测业务中，监测数据获取与时相配置需在长期运行条件下保持技术路线稳定且具备区域适应性，首先在数据来源配置方面，应结合中国现行自然资源调查与国土变更监测业务体系，优先选用成像模式固定、覆盖周期明确的国产对地观测卫星数据，并在年度监测尺度内保持同一传感器或同类传感器组合使用，通过限定空间分辨率、观测角度和轨道参数范围，控制不同年度影像在几何特性与光谱响应上的差异，从而在源头上降低地类判读中由数据条件变化引入的不确定性。其次，在时相组织上，应围绕耕地、建设用地、林草地等主要地类的物候节律和利用方式差异进行精细安排，结合不同区域作物熟期、轮作制度及自然植被季节变化规律，优先选取地表覆盖状态相对稳定、地类边界清晰的关键时段获取影像，避免因播种、收割或季节性裸露造成地类光谱混叠，同时在跨区域监测中通过分区设定时相窗口，减少南北差异对统一判读标准的干扰。再次，在具体实施过程中，应充分考虑云量、薄雾及影像拼接完整度等客观限制，通过建立多时相、多景影像备选机制，对同一监测单元引入相邻轨次或邻近日期数据进行补充筛选，并在质检阶段对影像可判读面积进行量化评估，仅将满足覆盖完整性和影像质量要求的数据纳入变化分析流程，以保证监测结果的连续性和可比性。最后，在数据整理与组织环节，应严格执行统一的空间参考系统和标准分幅规则，对不同年度、不同来源影像进行规范化编号与归档管理，并在数据入库前完成几何一致性检查和裁切对齐处理，使后续变化提取、图斑叠加和成果比对均建立在稳定一致的数据框架之上<sup>[3]</sup>。

### 4.2 地类判读规则构建与判读尺度控制

遥感技术在土地利用动态监测应用实践中，地类判读规则构建需首先从监测任务尺度与影像分辨率的匹配关系入手，结合年度变更调查、专项监测等不同业务需求，明确最小判读单元的面积阈值和形态约束条件，通常通过对典型区

域样本进行反复试判，综合评估斑块稳定性与判读工作量，形成适用于区域实际的尺度控制参数，从而在源头上统一地类划分标准并减少人为主观波动。其次，判读规则的具体构建应以影像直观判读为核心，系统梳理各类土地利用在不同成像条件下表现出的色调组合、纹理疏密及斑块形态特征，并结合既有土地分类体系，对易混类别逐项列出可识别要素，通过图例样本和文字说明同步固化判读依据，使规则在不同作业人员和不同年度监测中保持可复用性。再次，针对建设用地与裸地、耕地与园地等高频混淆类型，应引入多时相对照判读方式，利用季节变化下地表覆盖状态的稳定差异作为辅助约束条件，在规则中明确对比时相选择原则和判读侧重点，避免单一影像条件下因短期扰动导致的地类误判<sup>[4]</sup>。最后，在实际生产过程中需对判读尺度实施动态控制，根据平原区、丘陵区及城镇密集区等不同用地结构特点，对斑块合并与细分规则进行适度调整，并通过阶段性成果抽检及时修正尺度偏差，使判读规则在保持总体一致性的前提下具备区域适应能力。

### 4.3 土地利用变化信息提取

遥感技术在土地利用变化信息提取上主要包括以下四方面环节：首先，数据准备与基准文档构建。实施时以国家与省级现有土地利用现势成果为基准，选取与基准时相匹配的多源光学与微波影像，包括 Landsat、Sentinel-2 与国产高分系列，并对影像实施辐射定标、大气校正、几何配准和地形校正，统一投影与像元尺寸，建立波段规范与指数全集，明确最小制图单元与判读尺度以减少多时相差异带来的虚假变化。其次，变化识别策略与样本管理。采用分层判读策略，先在大尺度上以像元差值和变化向量法筛选候选变化区，再在对象尺度通过分割与属性阈值进行细化，制定分区采样计划，实施系统野外核查并建立分层随机样本库，用以支撑人工判读、专家复核与后期精度评估。再次，光谱-时序特征融合判定。通过构建多季节光谱响应曲线与植被、湿地等指数时序特征，结合光谱混合分析与波段比值差分规则识别易混淆地类的转换关系，对混合像元采用对象复分配与不确定性定量规则以获得稳健判定。最后，结果校核与成果产品化。对最终判读成果开展基于混淆矩阵的用户精度与制图精度分析，按区域实施交叉验证与典型样带精细核查，编制带版式的更新图幅与标准化元数据，明确变化时间窗、变化方向与驱动要素描述，输出包含不确定性图层的变化产品，并按国土资源与林业管理部门规范整理交付格式，配套提供变更日志与样本库以便溯源与复审。

### 4.4 监测成果校核与质量控制

在土地利用动态监测成果形成阶段，质量控制应从内部校核机制入手加以落实，具体做法是在影像预处理、解译标注与变化提取等关键环节分别设置独立检查节点，由不同技术人员依据统一技术规程对几何精度、辐射一致性及地类判读结果进行交叉比对，通过重复抽查和差异记录的方式识

别系统性偏差，并结合历次监测成果对变化幅度异常的图斑进行重点复核，以保证基础成果在技术层面的稳定性。其后在区域尺度较大的监测任务中，应依据地貌类型、土地利用结构和人类活动强度差异，科学选取具有代表性的样区开展专项核查，样区内采用高分辨率影像与外业资料相结合的方法，对变化图斑边界、地类属性及变化时间判定进行逐项核对，并将样区核查结果与整体成果进行统计对照，从而评估成果在不同区域条件下的一致程度。同时对于自动识别或人工判读中存在疑问的变化区域，应系统调取既有土地调查成果、规划数据及历史影像资料进行多源复核，重点排除季节差异、影像噪声和临时用地等非实质性变化因素的干扰，确保变化结论建立在连续证据基础之上。最后在成果定稿前需形成规范化技术说明文件，对数据来源、时相配置、处理流程、判读依据及质量检查方法进行完整记录，并明确成果更新与追溯规则，使监测成果在后续业务应用和年度对比中具备可核查性和一致性<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 成果表达与业务衔接

在土地利用动态监测业务中，成果表达与业务衔接应围绕管理使用场景进行系统化设计，首先在成果表达层面，应依据自然资源管理部门长期形成的图件使用习惯，采用统一比例尺、统一图式结构和规范注记方式组织成果内容，将变化图斑、地类调整范围与现状底图进行同图呈现，同时配套形成以行政单元和地类类型为主线的统计表格，使管理人员在不依赖额外解释的情况下即可完成变化定位、范围判断与数量核对，从而保证成果在业务流转初期具备直接可读性。其次，在成果输出与系统衔接过程中，应严格对照现行土地调查、变更调查及日常监管业务的成果入库标准，对图斑编号、地类编码、面积精度和属性字段进行前置整理，确保遥感监测成果在进入业务系统前已完成必要的结构校核，避免因格式不统一或属性缺失导致重复整理和人工修订，使成果能够在既有业务流程中顺利流转。再次，在成果应用环

节，应将遥感监测结果定位为业务线索型成果，重点突出变化发生的空间位置、变化方向和疑似问题类型，并与日常巡查、执法检查及用地审批资料进行对照使用，通过分级分类推送方式引导基层单位开展针对性核实，使遥感成果在业务执行中发挥指引和筛选作用，而非单独作为结论性依据。最后，在成果归档与管理阶段，应结合年度监测任务和阶段性专项工作要求，对遥感监测成果实行分期建档和统一编号管理，将历年成果按照时间序列和区域单元进行系统保存，并同步记录判读依据和处置结果，确保历史监测信息在后续业务中能够被连续调用和横向比对，从而保持土地利用动态监测工作的连续性和可追溯性。

### 5 结语

综合实际工作经验可以看出，遥感技术已成为中国土地利用动态监测体系中不可或缺的重要技术手段，其工程化应用水平直接影响监测工作的连续性和规范性。通过合理组织数据获取、稳步推进变化提取、强化质量控制并做好成果衔接，遥感技术能够在现有管理框架内发挥稳定支撑作用。未来，在保持技术路径相对稳定的前提下，进一步总结实践经验、优化应用流程，将有助于推动土地利用动态监测向更加规范和可持续的方向发展。

### 参考文献

- [1] 韦丽莹.基于遥感技术的城市土地利用变化监测与规划研究[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术, 2024(002):000.
- [2] 廖小燕.遥感监测技术在土地利用监管中的作用分析[J].中国科技期刊数据库工业A, 2023(4):4.
- [3] 曹仰坤.土地利用动态遥感监测及其技术应用现状研究[J].住宅与房地产, 2023(Z1):153-155.
- [4] 梁静桦.基于遥感影像处理技术的土地利用变化研究[J].测绘与空间地理信息, 2023, 46(10):110-113.
- [5] 郭猛,李万明.遥感技术在土地调查与监测中的应用与实践[J].2024(9):358-360.