

质量评估。验证方法包括实测数据对比、钻探验证及已知地质资料对照,通过统计分析计算解释误差,误差控制在10%以内可视为可靠结果。不确定性分析通过蒙特卡罗模拟,对模型参数进行多次随机扰动,评估不同参数组合对结果的影响范围。分析过程中可生成置信区间,对磁化强度、埋深等关键参数给出误差范围。利用灵敏度分析方法识别对结果影响较大的参数,重点优化其取值范围。数据质量评估通过计算信噪比及残差分布,对异常解释结果进行量化检验。结合多源数据交叉验证,可进一步提高结果可信度^[4]。通过系统化验证与分析,可有效降低解释风险,为工程决策提供可靠依据。

5.4 智能化异常识别与解释流程优化方法

引入人工智能技术,可构建数据驱动与知识引导相结合的地面磁法异常解释优化流程。首先,基于卷积神经网络建立磁异常图像自动识别模块,实现对弱异常、叠加异常及线性构造的高效提取。训练样本通过正演模拟生成,并结合典型地质体的磁异常特征库,识别准确率可达85%以上。其次,要引入主动学习策略,由解释人员对低置信度结果进行干预修正,迭代优化模型参数。流程优化方面,建立标准化数据处理流水线,涵盖数据清洗、网格化、滤波增强、异常分离、反演计算及结果输出等环节,模块间自动衔接,减少人工误差。构建解释知识图谱,辅助新测区解释方案快速制定。该方法可显著提升异常解释效率与一致性,降低对人员经验的依赖,为磁法数据快速精准解释提供支撑。

6 地面磁法勘探数据处理与异常解释集成优化策略

6.1 数据处理与异常解释一体化流程构建

地面磁法勘探流程需要实现数据处理与异常解释的深度融合,通过构建一体化处理体系提升整体效率与精度。流程设计以数据采集、预处理、异常提取及反演解释为主线,各环节之间形成闭环反馈机制。数据处理阶段通过自动化算法实现去噪与标准化处理,处理效率可提升30%以上。异常提取结果直接输入反演模型,实现数据共享与过程联动。流程中引入参数自适应调整机制,根据异常特征动态优化处理参数,使处理结果更加稳定。通过建立统一数据管理平台,实现数据版本控制与处理记录追踪,保证数据处理过程的可追溯性。该一体化流程能够减少重复计算,提高整体工作效率,同时提升异常解释结果的一致性与可靠性。

6.2 信息化平台支撑下的数据处理效率提升方法

信息化平台通过集成数据管理、计算分析及结果展示功能,实现磁法数据处理的高效运行。平台采用分布式计算架构,将数据处理任务进行并行分配,计算效率可提升40%以上。数据存储采用结构化数据库与空间数据库相结

合的方式,支持大规模数据快速读取与调用。处理过程中引入自动化脚本与算法模块,实现批量数据处理与参数自动调整。通过建立实时监控机制,对数据处理进度与质量进行动态跟踪,异常数据可及时识别与修正。平台支持多源数据接入,实现数据共享与协同分析。通过标准接口实现与其他地球物理系统的互联,提高整体应用效率。该方法能够显著缩短数据处理周期,提升数据利用效率,为复杂工程项目提供技术支撑。

6.3 面向工程应用的解释成果表达与决策支持优化方法

异常解释成果需要以直观、准确的方式进行表达,以满足工程应用需求。通过构建三维可视化模型,将磁异常分布与地下结构进行立体展示,使解释结果更加直观。模型精度通常控制在米级范围内,可满足工程设计要求。成果表达结合剖面图、等值线图及异常分布图等多种形式,实现多维度展示。数据分析结果通过指标量化方式进行表达,如异常幅值、埋深范围及体积估算等,为工程决策提供明确依据。结合地质资料与工程需求,对解释结果进行分级评价,提出针对性建议。通过建立决策支持系统,将解释成果与工程方案进行关联,实现数据驱动的决策优化^[5]。该方法能够提高成果应用效率,使磁法勘探结果在工程实践中发挥更大价值。

7 结语

地面磁法勘探数据处理与异常解释方法的优化,有助于提升复杂地质条件下磁异常识别的精度与稳定性。通过完善数据预处理技术、强化异常提取能力以及引入定量反演与多参数融合方法,磁法解释逐步实现由经验判断向数据驱动转变。结合一体化处理流程与信息化平台支撑,数据利用效率与成果可靠性得到显著提升。面向工程应用需求,解释成果表达与决策支持能力不断增强,为资源勘查与工程建设提供更加科学的技术支撑。

参考文献

- [1] 李鹏飞,马标,黄坤朋,陈昆明,张瑞.磁法勘探在金属矿开采中的实施探讨[J].冶金与材料,2025,45(07):136-138.
- [2] 柴佳琪,何云.基于磁法勘探的隐伏断裂定位研究[A].第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集(四)[C].江西省工程师联合会:2025:14-17.
- [3] 孔诗羽.磁法探测地下管道材料中的应用研究[J].江苏建材,2025,(01):67-69.
- [4] 兰超歌.磁法勘探技术在复杂地质构造区矿产资源调查中的应用研究[J].世界有色金属,2025,(01):37-39.
- [5] 王淑娟,徐山.磁法勘探在浅覆盖区地质填图中的应用[J].今日科苑,2015,(12):99.

Research on the Control of Measurement Accuracy in Railway Tunnel Construction under Complex Geological Conditions

Jiahua Cui

China Railway 12th Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030032, China

Abstract

In complex geological environments, adverse geological factors such as karst formations, fault fracture zones, significant soft rock deformation, and sudden water intrusions significantly increase the difficulty of precision control in railway tunnel construction surveying. The accuracy of construction surveying directly determines tunnel construction quality and penetration errors, serving as a critical factor influencing project effectiveness and long-term operational safety. Based on practical railway engineering experiences under complex geological conditions and focusing on the core technical requirements of construction surveying, this paper first elucidates the engineering significance of precision control in railway tunnel construction surveys under such conditions, outlines the key components and technical essentials of precision control, and provides a reference for similar geological scenarios to enhance surveying accuracy and ensure construction quality and operational safety.

Keywords

complex geology; railway tunnel; construction surveying; precision control; tunnel breakthrough

复杂地质条件下铁路隧道施工测量精度控制研究

崔家华

中铁十二局第二工程有限公司, 中国·山西太原 030032

摘要

在复杂地质环境中, 岩溶、断层破碎带、软岩大变形、突涌水等不良地质因素, 会大幅提升铁路隧道施工测量的精度控制难度。施工测量精度直接决定隧道施工质量与贯通误差, 是影响工程建设成效与长期运营安全的关键环节。本文结合复杂地质条件下的铁路工程实际, 围绕施工测量的核心技术需求, 首先明确复杂地质条件下铁路隧道施工测量精度控制的工程意义, 梳理精度控制的核心内容与技术要点, 为同类地质条件下的铁路隧道施工测量工作提供参考, 辅助提升测量精度, 保障工程施工质量与运营安全。

关键词

复杂地质; 铁路隧道; 施工测量; 精度控制; 隧道贯通

1 引言

铁路隧道施工测量是贯穿工程全流程的基础性核心工作, 涵盖洞口放线、洞内控制测量、断面检测、贯通测量等环节, 测量精度直接决定隧道施工质量、贯通精度与运营安全。复杂地质条件下, 岩体破碎、地下水位波动、围岩形变、视线遮挡等问题, 会降低测量仪器稳定性、造成测量数据失真, 引发测量偏差。若偏差超过规范允许阈值, 可能导致隧道轴线偏移、断面尺寸不符合设计要求、贯通误差过大等问题, 既会提升工程返工成本、延误施工进度, 也可能诱发隧道坍塌、涌水等安全事故, 威胁施工人员生命安全与工程整体结构稳定性。

【作者简介】崔家华(1999-), 男, 满族, 中国吉林通化人, 本科, 助理工程师, 从事工程测量研究。

2 复杂地质条件下铁路隧道施工测量精度控制的重要意义

2.1 保障隧道施工质量与贯通精度

复杂地质条件下的隧道施工多采用多工作面同步作业模式, 测量精度把控难度显著提升。精准施工测量可为隧道开挖、支护、衬砌各环节提供数据支撑, 确保隧道轴线、断面尺寸、高程等参数符合设计标准, 规避轴线偏移、断面超欠挖等常见问题。有效的精度控制可将隧道贯通误差控制在规范允许范围内, 减少测量偏差引发的返工, 压缩工程建设成本, 同时保障隧道结构的完整性与稳定性, 为后续铁路运营安全提供基础条件^[1]。

2.2 防范施工安全风险, 保障施工顺利推进

精准测量监测可实时获取围岩变形、隧道沉降等数据, 快速识别施工异常, 为安全预警与防控措施制定提供科学依据, 便于提前采取针对性方案规避风险。精准施工测量还可

保障隧道开挖、支护等工序的施工质量，减少施工偏差引发的结构失稳问题，降低坍塌、涌水等事故的发生概率。针对浅埋段隧道施工，高精度沉降测量与动态监测可实时反馈地表及隧道围岩的变形状态，支撑施工参数动态调整，尽可能降低施工对围岩的扰动，防范坍塌风险，保障施工有序推进。

2.3 提升工程运营安全性与耐久性

施工测量偏差会导致隧道结构受力不均，长期运营下易出现衬砌开裂、渗漏水等病害，不仅缩短隧道使用寿命，严重时还会引发安全事故。严格控制施工测量精度，可保障隧道结构尺寸、轴线位置等参数符合设计要求，使隧道结构受力处于合理区间，从源头减少运营阶段的病害隐患，提升隧道耐久性与运营安全性，在延长隧道使用寿命的同时降低后期维护成本，为铁路长期安全运营提供基础支撑^[2]。

3 复杂地质条件下铁路隧道施工测量精度控制的核心内容

3.1 洞口控制测量精度控制

复杂地质条件下的洞口普遍存在地形陡峭、岩体破碎、滑坡风险高等特征，会大幅提升控制测量的实施难度(图1)。洞口控制测量分为平面控制测量、高程控制测量两类：平面控制测量多采用导线测量、GPS测量等方法，高程控制测量以水准测量为核心手段。精度控制阶段需结合洞口实际地质条件布设控制网点，优先避开岩体破碎带、滑坡易发区、积水区域，保证网点的稳定性与安全性，避免网点受地质变形、不均匀沉降等因素影响发生偏移；洞口投点必须设置在地基稳固、不易受施工活动干扰的位置。测量所得数据需经过多次复核以消除误差，保障数据精度，为洞内控制测量提供可靠基准，同时实现设计单位移交的CPI、CPII控制网与施工单位加密的施工控制网的相互校核^[3]。



图1 洞口控制测量精度控制

3.2 洞内控制测量精度控制

洞内控制测量是复杂地质条件下铁路隧道施工测量精度控制的核心环节，分为洞内平面控制测量与洞内高程控制测量两类，测量精度直接决定隧道轴线与高程的准确性。洞内平面控制测量需结合隧道长度、断面尺寸及地质条件选择导线测量方式。岩体破碎、围岩变形较大的区域可采用闭合导线或附合导线测量，通过增加观测次数提高精度；长大隧道需建立独立的洞内导线控制网，定期开展联测，可结合数字化技术实现导线测量数据的实时处理分析，及时发现并修

正测量偏差。洞内高程控制测量需遵循“分级测量、逐级复核”的原则，采用水准测量或三角高程测量方法获取高程数据。地下水位变化较大、围岩沉降明显的区域，需适当提高高程测量频次，跟踪高程动态变化，及时调整测量方案，保障高程控制精度。

3.3 隧道开挖与断面测量精度控制

复杂地质条件下，围岩破碎、软岩大变形等问题极易引发开挖超欠挖，需在开挖全过程严格控制测量精度。开挖阶段测量需实时跟进隧道开挖轮廓，可采用3D激光扫描仪采集开挖断面数据，将实测数据与设计断面对比后，及时调整开挖参数，控制超欠挖幅度。与传统断面仪相比，3D激光扫描仪单次可覆盖60米测量范围，按30厘米间隔提取断面，测量效率与精度均有明显提升。断面测量需覆盖隧道全断面，重点核查拱顶、边墙等关键部位的尺寸偏差，确保断面参数符合设计要求。进行开挖轮廓线放样时，需预先计入设计预留变形量与施工沉落量，严格控制欠挖，周边眼放样误差需控制在2cm以内。测量所得数据可直接为衬砌施工提供依据，避免因断面偏差出现衬砌厚度不足或混凝土过度损耗问题，保障隧道结构整体稳定性^[4]。

3.4 隧道贯通测量精度控制

隧道贯通测量是铁路隧道施工测量的最终环节，也是精度控制的核心工作。在复杂地质条件下开展多工作面同步施工时，贯通测量精度直接决定工程建设质量。贯通测量需要整合洞口控制测量、洞内控制测量、开挖测量的相关数据，精准测算、分析隧道贯通偏差，提前预判偏差变化趋势，及时调整施工参数，确保贯通偏差控制在规范允许范围内，其中横向贯通误差需满足高等级铁路的对应精度要求。贯通测量作业时需选用高精度测量仪器，适当增加观测次数，对原始测量数据开展多次复核和平差处理，减少测量误差；同时结合现场地质条件变化动态调整测量方案，规避不良地质段对测量精度的干扰，保障隧道按要求顺利贯通。

4 复杂地质条件下铁路隧道施工测量精度控制的技术要点

4.1 优化测量方案，适配复杂地质条件

结合前期地质勘察资料优化测量方案，保证方案与场地地质特征、现场施工工艺相适配。施工前需全面梳理项目地质条件，明确不良地质的分布范围、具体类型及对施工的影响程度，同时结合隧道设计长度、断面尺寸、施工工作面布置情况，合理确定测量方法、选配测量仪器。岩溶发育、地下水位较高的施工区域，优先选用具备防水、抗干扰性能的测量仪器；软岩大变形、围岩稳定性差的区域，采用动态测量模式，适当增加测量频次，实时跟踪围岩变形量与测量偏差，动态调整测量方案。测量实施过程中需建立完善的复核制度，明确复核流程与岗位职责分工，保障测量数据的准确性与可靠性，为精度控制提供制度基础^[5]。