

复杂地质矿井中测量精度控制与优化

马 腾 李 振

陕西煤业化工建设（集团）有限公司 陕西 西安 710021

摘 要：复杂地质矿井的地质环境具备随机、复杂、动态的特点，矿井测量精度会受到地质构造、井下作业条件、技术系统及人工操作等多方面因素的干扰，本文梳理了复杂地质矿井测量的工作现状，总结出测量基准体系稳定性差、设备精度与适配性不足、现场作业流程不规范、管控机制与人才体系不完善等的主要问题，同时从基准体系优化、设备管理强化、作业流程规范、误差校正机制完善等方面提出精度控制对策，依托技术、管控、人才、机制四个层面搭建优化体系，可有效提升矿井测量精度，保障矿山生产建设的安全稳定运行。

关键词：复杂地质矿井；矿井测量；精度控制；测量优化

引言：复杂地质矿井的赋存条件具备多变性，井下开采与施工工作对测量数据的准确、稳定程度有着严格标准，测量作业能够为巷道开拓、支护施工、地质治水及井下安全作业提供基础支撑，测量精度也会直接左右矿井施工规划与开采安全，传统测量方式和管理机制较难适配复杂地质的动态干扰，测量误差问题较为普遍，本文结合现场工作实际梳理测量短板与影响因素，搭建对应的精度控制优化体系，可为矿山安全生产质量提升提供一定参考。

1 复杂地质矿井测量概述及精度影响因素

存在断层褶皱、围岩破碎、岩溶发育、地应力偏高、瓦斯聚集及地下水渗流等不良地质条件的矿井可被定义为复杂地质矿井，这类矿井的地质环境具备随机性、复杂性与动态性的基本特点，矿井测量工作贯穿矿山建设、生产及闭坑的全部阶段，工作内容主要包含井下平面与高程控制测量、巷道掘进测量、地质构造测绘及巷道变形监测等，复杂地质条件下的矿井测量工作不再局限于基础点位数据采集，其能够结合地质动态变化开展数据监测与分析工作，可为矿井生产建设的安全推进提供数据支撑，矿井测量精度会受到多重因素的综合影响，地质构造为核心自然影响因素，断层、褶皱及岩层破碎带会破坏井下测量基准的稳定性，容易造成测量点位坐标偏差、测量数据离散等问题^[1]。井下作业环境是主要外部干扰因素，井下粉尘雾气、狭窄空间、高湿环境及施工扰动等条件，都会从设备运行、人员操作等方面引发测量误差，技术体系与人为操作则是关键主观制约因素，传统测量技术的滞后应用、数据误差修正体系的不完善，以及测量人员专业能力不足、操作流程不规范、质量管控意识薄弱等问题，会直接降低矿井测量

成果的整体精度与有效性。

2 复杂地质矿井测量精度现存核心问题

2.1 测量基准体系稳定性不足

测量基准是矿井测量工作的重要基础，基准的稳定状态，能够直接影响测量成果的整体精度，复杂地质矿井会受构造运动、地应力作用以及井下施工扰动的共同影响，井下测量控制点普遍存在稳定性不足的问题，矿山控制网布设方式较为传统，没有结合特殊地质条件优化布设方案，控制点易发生位移与损坏，且矿区缺少常态化的基准复核更新工作，老旧数据持续使用会产生系统误差，进而造成各类测量数据出现偏差，影响井下精准施工。

2.2 测量设备适配性与精度不足

很多矿山的测量设备更新较为滞后，整体设备条件难以适配复杂矿井的高精度作业标准，老旧设备长期在井下恶劣环境中运行，内部精密构件容易出现老化与损耗，设备系统误差会不断增加，且常规校准工作落实到位，测量精度会持续降低，传统测量设备抗干扰能力较弱，无法完成井下动态监测工作，再加上智能测量设备的普及程度偏低，作业多依靠人工完成，人为误差的管控难度会有所增加，整体测量质量很难得到保障。

2.3 测量作业流程规范化程度偏低

复杂地质矿井的测量作业，普遍存在操作流程不够规范、现场管控不到位的问题，作业人员一般不会提前勘察现场地质与环境条件，测量方案的适配性相对较差，井下作业环节常会简化操作步骤，观测方式不够全面，复测制度也难以落实，作业产生的偶然误差无法

消除,测量数据的处理方式较为粗放,工作人员不会系统分析和修正误差,成果审核工作也缺乏多层级校验流程,各类数据偏差问题难以被及时发现,整体测量成果的可靠性会大幅下降。

2.4 测量管控体系与人才体系不完善

矿山现阶段的测量管理制度与人才建设工作都存在一定缺陷,现有管理制度难以适配复杂矿井的作业条件,相关管理条例较为笼统,无法对测量作业、设备维护和数据审核等关键环节形成有效约束,现场质量监督工作也较为缺失,作业规范性难以保障,企业测量人员的整体建设体系并不健全,工作人员普遍只掌握基础操作技能,专业技术储备有所不足,企业日常培训工作开展较少,新技术与新标准的普及速度较慢,人员综合能力难以匹配高精度测量的工作要求。

3 复杂地质矿井测量精度核心控制策略

3.1 优化测量基准体系

工作人员需要针对复杂地质矿井基准稳定性较差的问题,搭建适配井下特殊工况的高精度测量基准体系,工作人员可以结合井下地质勘察的相关结果调整控制点的布设方式,避开岩体不稳定的施工区域,将各类测量控制点布置在结构完整、质地坚硬的岩体之上^[2]。同时工作人员可以适当增加复杂地质区域的控制点数量,以此提升基准网络的整体覆盖效果,矿山需要建立常态化的基准点监测与复核制度,对高危区域的控制点开展周期性检查,及时排查点位沉降、位移和损坏等问题,同步更新基准数据,有效修正各类系统测量误差,矿山还可以对井下不同作业区域划分管控等级,落实差异化的精度管理标准,保障测量基准整体统一且稳定,为井下各项测量工作的开展提供基础保障。

3.2 强化设备管控

设备性能是影响矿井测量精度的核心硬件条件,矿区可以从设备更新维护、日常运维以及定期校准多个方面完善设备管控工作,矿山需要及时替换老旧、精度不达标的测量设备,选用能够适应井下粉尘、潮湿、振动环境的智能测量设备,以此适配复杂矿井的作业条件,提升设备抗干扰能力与测量准确度,企业需要建立完整的设备运维管理模式,落实日常保养与定期检修工作,工作人员可以在作业前后清理设备表面杂物与水汽,检查设备零部件的运行状态,同时定期送检校准在用设备,有效消除设备自带的系统误差,矿区还要结合不同井下作业场景匹配对应的测量设备,合理选用小型测量设备与自动化监测设备,充分发挥设备使用性能,从硬

件层面稳定提升矿井测量精度。

3.3 规范现场作业流程

标准化的现场作业模式,是矿井规避测量误差、稳定测量成果精度的关键方式,工作人员需要细化复杂地质矿井的整套测量作业规范,作业人员在开展测量工作前,需要全面排查作业区域的地质条件、巷道稳定状态以及各类环境干扰因素,结合现场实际工况制定对应的测量方案,明确作业参数、精度标准以及误差防控要点^[3]。测量现场需要统一仪器架设、整平、读数等基础操作标准,复杂工况下可以增加观测次数、调整观测角度,依靠多次观测数据抵消偶然误差,作业人员需要严格落实复测制度,规范数据采集与记录标准,杜绝数据涂改、缺失等问题,保证原始测量数据真实完整,通过全流程的标准化管控,能够有效降低人为操作和环境因素带来的测量误差。

3.4 优化误差分析与校正

复杂地质矿井产生的测量误差种类较多,隐蔽性也相对较强,工作人员需要搭建系统的误差分析与校正机制,以此实现各类误差的有效管控,作业人员可以提前划分各类误差的产生来源,结合地质、环境、设备以及人为操作等不同误差类型,建立对应的分析模型,精准判定不同作业工况下的主要误差来源,工作人员能够根据误差分类落实对应的校正手段,通过调整观测方式、运用补偿算法、更新基准参数以及设备校准标定等方式,修正各类测量偏差,矿区需要建立统一的误差阈值管控标准,明确不同测量工作的误差允许范围,对不符合精度要求的数据进行重新测量,分析误差产生的具体原因并优化作业方案,避免偏差数据投入使用,稳步提升矿井测量数据的整体精准程度。

4 复杂地质矿井测量精度系统化优化路径

4.1 推进测量技术智能化数字化升级

智能化与数字化技术的普及应用,能够有效提升矿井测量工作的质量与效率,也是优化复杂地质矿井测量精度的主要途径,矿山可以逐步用数字化测量方式取代传统人工测量模式,通过三维激光扫描技术采集井下巷道与地质构造的空间数据,搭建对应的三维立体模型,弥补传统单点测量数据零散、精度偏低的缺陷,企业可以依托物联网与传感技术搭建自动化监测体系^[4]。在地质条件薄弱区域布设监测点位,持续采集巷道变形、位移等动态数据,全天候掌握井下地质变化状态,矿山还可以搭建统一的数字化数据管理平台,整合井下测量、地质勘察与现场施工的各类数据,完成数据存储、分

析、误差修正等自动化处理工作,减少人工操作带来的干扰,有效提升测量数据的精准度与工作效率。

4.2 完善测量精度标准化管控体系

矿山企业需要结合复杂地质矿井的现场作业特点,搭建一套覆盖全面、标准统一的测量精度管控体系,企业可以根据井下不同区域的地质条件差异,制定对应的精度管控标准,明确各作业区域的测量技术指标、作业要求与验收规范,以此实现精细化的现场管理工作,矿区需要建立贯穿测量工作全过程的质量监督模式,把方案编制、现场施工、数据采集、误差处理和成果审核等各个环节都纳入监督范围,安排专职人员开展常态化巡查工作,及时整改各类不规范作业问题,企业需要落实三级审核工作制度,通过作业自检、班组复检和技术终检的方式层层把控测量质量,同时建立对应的质量考核机制,将精度管控成效与员工绩效考核相结合,能够有效提升全体作业人员的岗位责任心与精度管控意识。

4.3 强化专业人才培养与能力提升

优质的专业人才团队,是矿山长期优化测量精度、稳定测量工作质量的根本保障,企业可以通过多方面举措完善人才建设与培养工作,矿山需要优化人才引进模式,侧重招收矿山测量、地质工程相关专业的技术人员,搭建结构合理的人才梯队,以此保障井下测量工作可以持续稳定推进,企业需要建立固定的内部培训制度,定期开展工况测量技术、智能设备操作、误差处理及数字化建模等相关内容的教学工作,搭配井下现场实操训练,全面提升工作人员的现场作业与问题处理能力,矿山可以搭建内部技术学习与交流渠道,组织员工参与行业技术探讨和技能比拼,加快先进技术与作业方法的落地使用,企业还要清晰划分各岗位的工作权责,细化测量作业标准与精度管控职责,持续提升全体测量人员的专业素养与岗位责任意识。

4.4 建立动态化测量优化与长效改进机制

复杂地质矿井的地质与作业环境始终处于动态变化的状态,矿井测量精度的优化工作不能一成不变,需要

遵循动态调整、持续改进的基本工作原则,矿山企业可以建立常态化的工况研判机制,定期对井下作业区域的地质条件、巷道变形程度以及现场环境变化情况开展综合分析,工作人员可以结合工况的实时变化,灵活调整测量方案、点位布设形式、观测频次以及精度控制标准,让测量工作适配井下现场的动态变化^[5]。企业需要落实测量成果复盘优化制度,定期对测量数据精度、误差产生原因以及作业短板开展系统性分析,积累误差防控的工作经验,针对性改进现场作业流程与技术方案,矿区需要建立长效的技术迭代机制,持续学习行业新型测量技术、工艺与设备,结合矿井实际生产条件完成落地应用,不断完善测量技术体系与管控模式,实现矿井测量精度的稳步提升和长期稳定管控效果。

结束语

综上所述,矿井测量可以为矿山建设施工与安全生产提供基础保障,复杂的井下地质工况,会持续提升测量工作对于数据精准度和稳定性的作业要求,工作人员可以通过优化测量基准、细化设备管理、规范作业流程来处理各类测量误差,结合智能数字技术、标准化管控模式、人才队伍建设与长效工作机制,能够完善测量精度管控体系,适配井下工况变化,提升测量整体质量,为矿山安全运维与灾害防控提供数据保障。

参考文献

- [1] 任斌斌.高精度贯通测量技术在矿井测量中的应用研究[J].科技资讯,2026,24(5):183-185.
- [2] 任卫峰.高精度测量技术在矿山地质灾害监测中的应用[J].凿岩机械气动工具,2025,51(7):225-227.
- [3] 侯焕锐.复杂地质条件下现场施工测量误差控制及校正方法研究[J].科技信息与研究,2025,5(12):74-77.
- [4] 费登辉.复杂地质条件下帷幕灌浆压力控制工艺优化研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(11):091-094.
- [5] 王林,杜明山,孙青龙,张志强,樊蓉.复杂地质条件下底板施工方案分析与优化[J].建筑技术,2025,56(13):1644-1647.