

煤矿井下巷道内贯通测量技术应用分析

田乃杰

中煤昔阳能源有限责任公司白羊岭煤矿，山西省晋中市昔阳县，045300；

摘要：煤矿井下巷道贯通测量是保证掘进施工精度与安全生产的关键环节。本文首先阐述了贯通测量的重要性，接着从贯通勘察、陀螺定向、中腰线测量及现代化测量技术（全站仪、GNSS/INS）等方面，系统介绍了各类测量方法的应用原理与优势。然后，针对实际工程需求，提出了多技术融合、数据实时监测、标准化流程制定、专用地面控制网建设、设备校准维护及人员培训的应用策略，旨在提升测量精度和效率，并为矿山智能化、数字化管理提供有力支撑。

关键词：巷道贯通测量；多技术融合；数据实时监测；标准化流程

DOI：10.64216/3080-1508.25.05.023

随着煤矿开采向深部、复杂地质条件延伸，巷道贯通测量的任务难度和风险不断加大。传统的光学测量方法在视线受限、环境光照不足的井下环境中难以满足高精度掘进对点需求，而现代化测量技术虽具备自动化、智能化优势，却也面临设备适应性与数据集成的挑战。因此，如何构建高效、可靠的贯通测量体系，成为提升掘进质量、保障矿工安全与推进矿山数字化转型的核心课题。本文在概述各种测量技术原理的基础上，提出了一套涵盖技术、管理与人员的综合应用策略，以期为工程实践提供参考与借鉴。

1 煤矿井下巷道内贯通测量的重要性

煤矿井下巷道内贯通测量是煤矿安全生产和开采效率提升的重要基础环节。通过精确测定相对巷道的空间位置与角度关系，可以有效指导掘进施工，保证掘进方向与设计线路的一致性，减少施工偏差和返修成本。同时，贯通测量结果可作为瓦斯防治、水文地质及通风系统设计的关键依据，为巷道支护、水电管线铺设和风流分配提供精准坐标信息。在复杂地质条件下，及时、准确的贯通数据能够预警可能的地质突变和围岩失稳风险，为安全监测和应急处置提供科学支撑，进一步提升煤矿井下作业的整体安全性和生产效益。此外，随着现代化测量技术的应用推广，贯通测量也成为满足国家矿山安全生产法规及行业技术标准的硬性要求，任何偏差超限都将引发严重的安全隐患和法律责任。

2 煤矿井下巷道贯通测量技术方法

在煤矿井下巷道贯通测量中，多种技术方法相辅相成，共同满足精度和效率的双重需求。传统的光学导线测量具有设备简单、操作便捷的优点，但受光线条件和

视距限制较大，不适合长距离或视线受阻的巷道环境；与此同时，随着陀螺定向技术的发展，井下贯通测量的自动化与智能化水平显著提升，为复杂地质条件下的掘进控制和测量精度保驾护航，并在提高施工效率和减少人力投入方面展现了独特优势。

2.1 巷道贯通勘察

巷道贯通勘察是贯通测量工作的前期准备阶段，主要包括地质勘探、巷道轴线设计、预探孔设置及测量方案制定等环节。在该阶段，首先通过地质钻探与地震勘测资料，对岩层结构、断层走向及围岩稳定性进行详细评估，并结合矿山总体规划和安全评估报告，确定巷道贯通点的设计坐标及标高。随后，设计人员依据测量需求布设导线点，采用铅垂法或经纬仪导线法进行放样；在条件允许时，可辅以全站仪扫描法对勘察点进行高密度测量，并对放样结果进行初步校核，以保证勘察坐标与设计坐标之间的高度一致性。精细化的勘察准备不仅为后续测量提供了精准的基础数据，也为避免地质风险、优化掘进工艺和保障掘进安全奠定了坚实基础。

2.2 陀螺定向技术

陀螺定向技术在井下巷道贯通测量中发挥着关键作用，其核心原理是利用高精度机械或光学陀螺仪测量旋转角速度，通过积分运算实现空间方位角及俯仰角的高精度解算。该技术能够在无磁干扰、无光照条件的井下环境中保持长时间稳定定向，并通过与全站仪或 GPS 的数据联动，实时获取巷道轴线的三维坐标。在施工过程中，测量人员仅需在预先布设的控制点处启用陀螺定向仪，经过几分钟的旋转初始化后即可输出可靠的方向

参数,并配合全站仪进行贯通对点操作,显著提高了掘进精度和施工进度。相较于传统光学测量方式,陀螺定向技术不仅有效降低了测量误差,还简化了操作流程,减少了对人工视线和环境光照的依赖,已成为现代煤矿井下巷道贯通测量的主流技术方案之一。

2.3 中腰线测量

中腰线测量是井下巷道贯通测量的重要环节,其核心在于沿巷道中心线布设测量控制点,以保证掘进方向和巷道断面形状的准确性。首先,应利用全站仪或经纬仪在巷道入口及中间里程处建立测点,并测定相对位置与高程;随后,结合巷道设计轴线,对测点间距、角度偏差和直线偏差进行连续校核。中腰线测量能够及时发现掘进中的偏差趋势,并通过快速放样调整掘进机导向,有效避免斜度和走向的累积误差。尤其在长距离巷道或高倾角巷道中,中腰线测量可采用分段交替测量与重复观测方式,以加强测量精度。结合地质条件和掘进工艺,中腰线测量数据还可输入地理信息系统(GIS)或矿山生产管理系统,为施工进度控制与安全监测提供实时数据支持。

2.4 现代化测量技术

现代化测量技术在煤矿井下巷道贯通测量中日益普及,涵盖电子、光学、惯性、激光等多种测量手段的融合与协同应用。相比传统光学与机械测量,现代技术能够在复杂、潮湿、无光照的井下环境下,提供更高的自动化与智能化水平,缩短测量周期、减少人工作业强度,并提升整体作业安全性。以全站仪、全球定位系统(GPS)及组合导航系统(GNSS/INS)为代表的技术手段,可互为补充,满足不同测量距离、环境和精度要求。

2.4.1 全站仪测量

全站仪测量结合电子经纬仪与电子测距仪,实现了角度测量与距离测量的数码化、自动化。现场作业时,测量人员在巷道控制点安放三脚架,仪器通过棱镜反射获取相对位置,并实时记录空间坐标与高程数据;这些数据可通过无线网络或手持终端上传至矿山测量管理平台。全站仪具有精度高(角度分辨率可达 $1''$ 至 $5''$ 、距离精度可达 $\pm(2\text{ mm}+2\text{ ppm})$)和稳定性好等优势,适用于中短距离巷道测量及贯通对点。结合全天候电池供电和防尘防水设计,全站仪可在井下复杂环境中长时间作业。

2.4.2 全球定位系统

全球定位系统(GPS)因其对空间位置的高效获取能力,常用于地面测量与井口定位校核,但在深井环境中信号被围岩阻隔,无法直接应用于井下测量。为此,现代矿山测量常将GPS与惯性导航系统(INS)结合,形成GNSS/INS组合导航方案:在地面使用GPS进行初始定向与控制点布设,再通过光纤陀螺或MEMS惯性传感器将定位信息传递至井下,利用惯性数据维持短期高精度定位。

3 煤矿井下巷道内贯通测量技术应用策略

3.1 多技术结合

在复杂地质条件和多变施工环境下,单一测量手段往往难以兼顾精度与效率。多技术结合策略通过将全站仪、陀螺定向、惯性导航等技术有机集成,实现优势互补。具体做法是:首先,依据巷道长度及施工进度选用全站仪完成控制网络与中腰线测量;其次,在贯通对点阶段启用陀螺定向仪,确保方向参数的高精度输出,最后与地面GNSS基准联动,实现井下测量的连续性和自主导航。

3.2 数据实时监测策略

首先,通过在沿线布设全站仪点位,对关键道岔、桥梁接头及线路中重大变形区进行定时高精度测量;同时利用GPS接收机结合CORS基站,实现对轨道整体坐标和沉降变化的连续实时定位,确保大范围监测不中断。其次,在管理平台中引入时序数据分析与可视化工具,对各测点的坐标变化、断面形变和轨距偏差等指标进行动态展示,并结合历史维修记录与轨道设计参数,设定多级阈值预警机制。当数值超出预警范围时,系统会自动生成异常报告并向维修人员发送短信或微信推送,实现第一时间告警。最后,为保证监测精度与系统可用性,应定期组织设备校准与网络连通性检查。对全站仪进行光学和电气性能校验,对GPS接收机做卫星信号跟踪测试,并对CORS基站的参考点坐标进行多点重复测量,以验证其稳定位移。

3.3 制定标准化流程

首先,明确测量方案编制、设备选型、人员资质和作业环境要求,形成书面技术规范。其次,按照“前期勘察—控制网络建立—中腰线测量—贯通对点—成果验收”的顺序,细化每个环节的操作要点、测量精度与质量检验标准,并配备相应的检查表和验收报告模板。

再次,建立定期培训和考核机制,确保测量人员熟练掌握各类设备使用与数据处理软件操作,提高团队整体专业水平。最后,形成归档管理制度,对测量原始记录、点云数据、偏差分析报告和验收资料进行统一存档,为后续复核、审计和技术改进提供依据。

3.4 建立专用的地面控制网

首先,应在矿区平面范围内选择地质稳定、交通便利、无遮挡的地点布设高精度 GNSS 连续运行参考站,以获取实时差分定位数据。其次,结合全站仪与水准仪测量,形成覆盖巷道走向的网格化控制点,点间距根据巷道长度与地形起伏确定,一般取 200 - 500 米。每个控制点需测定三维坐标(X、Y、Z)及相关大地基准信息,并建立水准连测线路,确保高程基准一致性。第三,所有控制点坐标通过野外测量与平差计算后,上传矿山测量管理平台并定期复核,以应对地表沉降或基准变动。最后,应配备专业维护团队,定期检校 GNSS 天线、接收机及三脚架等硬件设备,并对控制网数据进行比对分析,及时修正异常偏差。专用地面控制网不仅为井下测量提供绝对基准,还可为通风、排水及安全监测系统提供共享坐标,提高矿区综合管控水平。

3.5 设备校准与维护管理

首先,测量仪器出厂后及定期使用前,需由具备资质的计量检测机构进行全参数校准,包括角度、距离、倾斜及时间同步等指标;校准报告与证书应归档存档,作为质量审计依据。其次,现场测量前,测量人员应按操作手册进行仪器自检,如检查全站仪棱镜焦距、光轴对中及电子水准泡平衡状态,确保短期记忆效应和动力学误差可控。同时,在井下高温、高湿环境中,仪器易受尘土和潮气侵蚀,应严格落实防尘罩、防潮箱与干燥剂更换制度。第三,对移动部件(如陀螺转子、MEMS 单元)和光学系统(如滤光镜、镜头)定期加注润滑油或更换配件,并在地面实验室进行年度全面检修。

3.6 人员培训与能力建设

测量团队的专业素质与实践能力直接决定贯通测量的实施效果。首先,应制定系统化培训计划,涵盖测量原理、仪器操作、点云处理、数据平差及软件应用等模块,并邀请行业专家或设备厂家工程师开展专题讲座

与操作演示。培训形式可包括课堂教学、现场模拟、实操考核及案例研讨,以确保理论与实践同步推进。其次,建立师徒制或“挂职观摩”机制,使新入职测量员在资深人员带领下完成全站仪放样、陀螺定向初始化、点云拼接与偏差分析等实战任务,快速掌握关键操作要点和技术细节。最后,应鼓励测量人员参与外部技术交流与学术会议,获取最新测量方法和软件工具,不断提升团队整体专业水平,保障煤矿井下巷道贯通测量的高质量、高可靠性。

3.7 风险预警与应急响应机制

在贯通测量项目中,应依托数字化监测平台构建风险预警与应急响应机制。通过将测量数据与断面偏移、地质变化等指标实时比对,设置多级警戒阈值并自动发送通知到监测中心与现场负责人。遇突发偏离或设备故障时,系统将快速生成预警报告,并按照预案明确各岗位职责和信息流转路径,以确保现场人员能够及时采取封闭支护、撤离避险或调整测量方案等措施。定期组织应急演练和预案评估,将演练结果与监测平台数据相结合,对预警阈值和应对流程进行复核和优化。同时,应建立事故报告与事后分析制度,针对每次预警或故障产生的原因进行深入追踪,归纳典型案例并更新应急预案库。

4 结语

煤矿井下巷道贯通测量技术正朝着多源数据融合与智能化方向发展。通过建立专用地面控制网、实施设备校准与维护、强化人员能力建设,以及构建实时监测与标准化流程,能够有效提升测量精度与工程效率。未来,伴随大数据、人工智能和物联网技术的深度应用,贯通测量将实现更高层次的自动化与精细化管理,为煤矿安全生产和智能矿山建设提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1]包东海,孙钰真,刘海伟.煤矿井下巷道内贯通测量技术应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2025,(05):136-138.
- [2]许永杰.煤矿井下巷道内贯通测量技术应用分析[J].新疆有色金属,2023,46(06):16-17.
- [3]王广胜.浅谈如何提高井下巷道贯通的精度[J].能源与环境,2023,(02):40-42.