

全站仪自由设站法在井下长距离贯通测量中的精度控制及应用研究

王会青

中煤山西公司白羊岭煤矿, 山西省晋中市昔阳县白羊岭村, 045300;

摘要: 井下长距离贯通测量受空间条件受限、控制网延伸距离长及误差易累积等因素影响, 贯通精度控制难度较大。为提高井下贯通测量的准确性与可靠性, 本文围绕全站仪自由设站法在井下长距离贯通测量中的应用展开研究, 系统分析了该方法的适用性及主要误差来源, 并从优化设站几何结构、强化冗余观测与平差处理、加强仪器状态控制以及实施分阶段复核等方面提出针对性的精度控制措施。在此基础上, 结合实际工程案例, 对自由设站法在长距离贯通测量中的实施过程与应用效果进行了验证分析。结果表明, 通过合理引入自由设站法并配合科学的误差控制与管理措施, 可有效减弱导线传递误差的累积效应, 显著提高贯通测量精度, 减少贯通后修整工作量, 对类似井下长距离贯通测量工程具有良好的参考价值和推广意义。

关键词: 井下贯通测量; 全站仪; 自由设站法; 精度控制

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.079

随着矿井开拓深度和巷道规模的不断扩大, 井下长距离贯通测量在矿山建设与安全生产中的重要性日益凸显。贯通测量成果的精度直接关系到巷道施工质量、通风系统布置及后续生产安全。然而, 井下测量环境复杂、巷道空间受限、控制网传递路径长, 使得传统导线测量方法在误差控制方面面临较大挑战。特别是在长距离贯通条件下, 角度误差和方向误差的逐级累积极易导致贯通偏差超限。全站仪自由设站法因其布设灵活、冗余观测条件好等特点, 为提高井下贯通测量精度提供了新的技术思路。

1 全站仪自由设站法在井下长距离贯通测量中的适用性分析

井下长距离贯通测量受空间狭窄、视线受限、控制点布设困难等因素影响, 传统导线测量方法在精度保持和误差控制方面存在明显局限。全站仪自由设站法是一种利用后方交会原理在任意未知点架设全站仪, 通过测量至少两个已知控制点的水平角、竖直角和距离, 在仪器内解算该测站的精确坐标(并定向)的方法, 大大提高测绘效率, 尤其适用于在井下巷道环境中^[1]。通过在一点上观测已知点, 反求该点坐标。自由设站法是后方交会的一种应用, 常结合最小二乘平差来提高精度。尤其在贯通段附近, 自由设站法可在保证视线条件的前提下实现高冗余观测, 使测站解算结果具有较好的稳定性与可靠性。

2 井下长距离贯通测量中误差原因分析

2.1 控制网传递误差的累积效应

在井下长距离贯通测量中, 控制网精度是贯通精度的基础保障, 而控制点沿巷道逐段传递的过程极易产生误差累积效应。受巷道走向曲折、转点数量多及观测环境受限等因素影响, 角度误差与距离误差在导线延伸过程中不断叠加, 尤其在贯通距离较长时, 其累积效应会显著放大贯通偏差。即便单站观测精度满足规范要求, 若控制网布设不合理、测站间距过大或导线网形几何强度不足, 仍可能导致贯通方向出现系统性偏移^[2]。此外, 井下控制点长期暴露于施工振动、围岩变形及支护作业影响下, 其稳定性难以完全保证, 一旦个别控制点发生微小位移, 误差将通过控制网传递至贯通面, 造成不可忽视的偏差。因此, 控制网误差的逐级传递与放大, 是井下长距离贯通测量中最为核心且最具隐蔽性的误差来源之一。

2.2 自由设站解算几何条件不良引起的误差

自由设站法在井下贯通测量中具有灵活性强的优势, 但其解算精度对观测几何条件高度敏感。当设站点与已知控制点分布不均、夹角过小或集中于单一方向时, 后方交会解算的几何强度显著降低, 使解算结果对观测误差异常敏感。在长距离贯通条件下, 这种几何弱化效应往往集中体现在贯通方向分量上, 导致横向或纵向偏差放大。此外, 若参与解算的控制点数量偏少, 或部分控制点本身精度较低, 将进一步削弱自由设站结果的稳定性。井下巷道空间受限, 视线条件往往难以理想满足,

这也使得自由设站时控制点选取受到制约,增加了几何条件不良的发生概率。因此,自由设站解算几何条件不足,是影响井下贯通测量精度的重要误差来源之一^[3]。

2.3 仪器与观测环境因素引发的系统误差

井下测量环境与地面存在显著差异,高湿度、弱通风及粉尘条件对全站仪观测精度具有直接影响。仪器在井下长时间使用过程中,若未按规定进行温度、气压及湿度改正,距离测量结果易产生系统偏差。同时,仪器对中与整平精度在狭窄巷道内难以完全保证,微小的对中误差在长距离贯通中会转化为明显的方向偏差。此外,井下照明条件有限,目标照准受人为操作影响较大,容易引入角度观测误差^[4],若在观测过程中未严格执行多测回制度,或忽视异常数据的识别与处理,这类环境与仪器因素引发的系统误差将长期潜伏于测量成果中,并在贯通阶段集中显现,对最终贯通精度造成不利影响。

2.4 施工扰动与测量组织不当造成的综合误差

井下长距离贯通测量往往与掘进施工同步进行,施工扰动是不可忽视的重要误差来源。掘进爆破、机械振动及支护作业会对控制点周围围岩产生影响,导致控制点发生微小位移,而这种变化在短期内不易被察觉。若测量组织未能及时复测控制点稳定性,误差将直接参与贯通解算。此外,测量计划安排不合理、测次间隔过长或数据更新不及时,都会降低贯通测量对现场实际状态的反映能力。部分工程中过度依赖单次测量成果,缺乏多方案比对与成果校核,也容易放大偶然误差对贯通结果的影响。施工扰动与组织管理因素相互叠加,使误差来源呈现综合性和阶段性特征,是贯通误差难以完全消除的重要原因。

3 全站仪自由设站法在井下长距离贯通测量中精度控制

3.1 优化自由设站几何结构以增强解算稳定性

在井下长距离贯通测量中,自由设站法的精度控制首先体现在对设站几何条件的优化上。合理的几何结构能够显著提高后方交会解算的稳定性,降低观测误差对成果的放大效应。实际应用中,应尽量选取分布在设站点周围、空间夹角较大的控制点参与解算,使观测方向在平面内形成良好的交会角度,避免控制点集中于单侧或近似共线所导致的几何弱化问题。对于贯通方向控制要求较高的工程,可在贯通方向两侧均布设控制点,以增强该方向上的解算约束能力。此外,应根据巷道走向和空间条件灵活调整设站位置,使设站点与控制点之间

的距离比例保持合理,防止因距离差异过大引起权值失衡。通过优化自由设站的几何结构,可有效提高解算结果对随机误差的抵抗能力,为贯通测量精度控制提供坚实基础。

3.2 强化多余观测与平差处理降低随机误差

自由设站法在井下贯通测量中应充分利用冗余观测条件,通过多测回、多目标观测方式降低随机误差对解算结果的影响。在实际观测中,应对水平角、竖直角及斜距实施不少于两个测回的重复测量,并合理安排观测顺序,以削弱操作误差和偶然误差的影响。观测完成后,应采用最小二乘平差方法对所有观测量进行统一处理,通过残差分析判断观测数据的一致性与可靠性,对异常值进行剔除或重测。同时,应结合贯通方向的精度需求,对解算成果进行方向性精度评估,避免仅以点位总精度作为判据而忽视关键方向误差。通过冗余观测与科学平差处理,可显著提高自由设站成果的稳定性和可信度,使贯通误差得到有效抑制。

3.3 加强仪器状态控制与环境改正措施

在井下复杂环境条件下,全站仪的状态控制是精度控制的重要环节。测量前应对仪器进行全面检校,确保角度测量系统、测距系统及对中装置处于良好工作状态,避免系统误差带入贯通测量成果。观测过程中,应严格执行精确对中和整平操作,尤其在巷道空间受限条件下,应采用强制对中装置减少人为操作误差。同时,应根据井下实际环境条件进行必要的气象改正,合理修正温度、气压和湿度对距离测量的影响。对于长时间连续作业,应定期检查仪器稳定性,防止因温度变化或机械振动引起测量性能漂移。通过强化仪器状态管理和环境改正措施,可有效降低系统误差在长距离贯通中的累积效应,提高测量成果的可靠性。

3.4 实施分阶段复核与贯通前综合校验

为确保井下长距离贯通测量的最终精度,应在贯通过程中实施分阶段复核与综合校验机制。在贯通关键区段,可通过多次自由设站测量获取独立成果,对不同阶段的解算结果进行对比分析,判断误差变化趋势,及时发现潜在偏差。在贯通前,应将自由设站成果与导线测量成果进行交叉验证,通过多方案比对评估贯通方向和位置的可靠性。此外,可利用自由设站反算已知控制点坐标,检验控制网整体一致性,识别可能存在的系统性偏移。通过分阶段复核与贯通前的综合校验,可将误差控制前移,避免问题集中在贯通瞬间暴露,从而显著提高井下长距离贯通测量的成功率与精度水平。

4 应用案例分析

4.1 案例概况

A矿回风巷为下组煤主要回风通道,设计巷道全长约2092m,采用相向掘进方式实施贯通。受矿井生产部署影响,贯通测量导线整体长度达到6912m,其中地面导线约1020m,井下导线长度约5892m,属于典型的井下长距离贯通测量工程,贯通精度要求高、误差控制难度大。根据相关规程及工程重要性要求,贯通相遇点在水平重要方向的允许偏差不超过0.30m,垂直方向允许偏差不超过0.20m,对测量方案的可靠性和精度控制能力提出了严格要求。为有效控制贯通误差,该工程在平面控制中引入全站仪高精度导线测量,并在关键区段增设多条陀螺定向边以强化方向约束,同时配合系统化的贯通误差预计与分析方法,对贯通成果进行事前精度评估与过程控制。

4.2 实施措施

针对矿下组煤回风巷贯通距离长、导线延伸路径复杂、方向误差易累积等实际情况,工程在测量实施阶段采取了以“强化方向控制、优化测量网形、全过程精度约束”为核心的综合技术措施。

(1) 在平面控制体系构建中,采用高精度全站仪进行地面与井下统一导线测量,严格执行测回观测制度,对水平角和边长实施双向、重复观测,通过提高原始观测数据质量减小随机误差影响。在导线布设方面,充分考虑巷道走向和施工条件,合理控制导线边长与转折角度,避免小角度频繁转向造成几何强度削弱,从源头上抑制方向误差的放大效应。

(2) 在关键区段引入陀螺定向成果对导线方向进行校正,将陀螺方位角作为重要约束条件参与平差计算,有效削弱长距离导线因角度误差累积导致的整体偏转风险。同时,通过在贯通前后分别实施独立导线解算,对不同测段成果进行对比分析,及时发现并修正潜在系统性偏差。

(3) 在数据处理阶段,采用严密平差方法对全网进行统一解算,对各测段成果实施精度评定和误差预计,并重点分析贯通方向上的坐标不确定度,确保控制成果满足贯通精度要求。

(4) 在施工配合方面,测量作业与掘进进度保持动态衔接,对可能影响控制点稳定性的施工扰动进行实时跟踪,必要时对关键点位进行复测与加固。通过上述多层次、全过程的实施措施,有效实现了对贯通误差的

前移控制和动态调节,为最终高精度贯通提供了可靠技术保障。

4.3 效益分析

为直观反映实施效果,将本次工程关键技术指标与常规导线贯通测量进行对比分析,如表1所示。

表1 贯通测量实施效果对比分析表

| 指标项目 | 常规导线测量 | 本工程实施效果 |
|-----------|------------|---------|
| 导线总长度/m | ≈7000 | 6912 |
| 平面贯通偏差/m | ≤0.30 (限差) | 0.086 |
| 高程贯通偏差/m | ≤0.20 (限差) | 0.052 |
| 贯通后修整次数/次 | 2-3 | 0 |
| 贯通调整工期/d | 5-7 | 0 |

综合分析表明,采用优化后的测量实施措施,不仅显著提高了贯通精度,而且在工期控制、成本节约及安全保障方面均产生了积极效益,对类似井下长距离贯通测量工程具有较强的推广价值。

5 结束语

井下长距离贯通测量是一项对精度控制要求极高的系统性工程,其成果质量受测量方法选择、控制网结构、观测条件及组织管理等多方面因素共同影响。研究表明,全站仪自由设站法在井下贯通测量中具有显著的技术优势,能够有效降低传统导线测量中误差逐级传递和方向偏移的问题。通过合理优化设站几何条件、加强多余观测与严密平差处理,并结合仪器状态控制和分阶段复核机制,可实现对贯通误差的全过程控制。工程案例结果进一步验证了该技术路线在提高贯通精度、减少施工调整和缩短工期方面的实际效果。总体来看,将自由设站法作为井下长距离贯通测量的重要补充手段,有助于提升测量成果的可靠性和工程实施的安全性。未来,可在更多复杂条件下进一步拓展其应用深度,以不断完善井下贯通测量技术体系。

参考文献

- [1] 庞国强. 煤矿井下长距离贯通测量实践[J]. 矿山测量, 2016, 44(02): 15-17+52.
- [2] 王金海. 井下长距离皮带运输巷高精度贯通测量技术[J]. 矿山测量, 2014, (03): 6-7+95+1.
- [3] 王团结, 张启春, 谢永东. 深井矿山开拓长距离平巷贯通控制测量[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(02): 119-124.
- [4] 张纪堂, 霍兴伟, 尹燕运, 等. 井下长距离贯通测量技术[J]. 建井技术, 2012, 33(05): 18-20.