

综合运用激光扫描与全站仪提升井下测量贯通精度

陈明飞

北方铜业股份有限公司铜矿峪矿 山西 运城 043700

摘要:本文分析了影响井下测量贯通精度的因素,包括测量仪器误差(全站仪和三维激光扫描仪的测角、测距等误差)、井下环境因素(巷道变形、粉尘水汽光线条件、通风气流影响)以及测量方法与操作因素(测量方案不合理、操作人员技术水平)。提出综合运用三维激光扫描仪与全站仪提升精度的措施:优化测量方案,合理布设控制点、规划路线;做好数据采集与处理,对三维模型和全站仪数据进行处理融合;控制与修正误差,定期检定校准仪器;加强人员培训与管理,提高技术水平和质量管理。铜矿峪矿实践案例表明,该方法能有效提升贯通精度,严格控制超欠挖,满足工程要求。

关键词:三维激光扫描仪;全站仪;井下测量;贯通精度

1 引言

井下工程,如矿山开采、隧道掘进等,在国民经济建设中占据重要地位。井下测量作为这些工程的基础工作,其精度直接决定了工程能否按照设计要求准确贯通。贯通误差一旦超出允许范围,可能导致工程报废、资源浪费,甚至引发安全事故。综合运用三维激光扫描仪与全站仪,充分发挥二者的优势,对于提升井下测量贯通精度具有重要的理论和实践意义。

2 影响井下测量贯通精度的因素分析

2.1 测量仪器误差

2.1.1 全站仪误差

全站仪在测量过程中会受到多种误差因素的影响,如测角误差、测距误差、仪器对中误差、整平误差等。测角误差主要来源于仪器轴系误差、度盘分划误差以及测角方法误差等;测距误差则与激光发射频率稳定性、大气折射率变化、仪器常数误差等因素有关。仪器对中误差和整平误差是由于操作人员在安置仪器时未能使仪器中心与测站点标志中心精确重合,以及仪器竖轴未能严格处于铅垂位置而产生的,这些误差会直接影响到测量结果的准确性。

2.1.2 激光扫描仪误差

激光扫描仪的误差主要包括测距误差、测角误差、控制点布设误差以及点云数据处理误差等。测距误差和测角误差的产生原理与全站仪类似,但三维激光扫描仪的测距方式和工作模式不同,其误差特性也有所差异。控制点布设误差是指控制点未完整覆盖整个扫描区或布设成直线状而引起的整体发生偏移及旋转。点云数据处理误差则主要来源于点云与坐标结合、滤波、去噪等处理过程中,因操作不当而导致的误差。

2.2 井下环境因素

2.2.1 巷道变形

井下巷道在开采过程中会受到地压、采动影响等因素的作用,导致巷道发生变形。巷道变形会使原有的测量标志发生位移或破坏,从而使测量数据失去基准,严重影响测量贯通精度。例如,在4#矿体417穿、418穿因岩石破碎引起顶板下沉、两帮片石塌落等现象较为常见,这些变形量在不同时间和地点具有不确定性,给测量工作带来了很大困难。

2.2.2 粉尘、水汽和光线条件

井下环境通常存在大量粉尘和水汽,这些微粒会对激光信号产生散射和吸收作用,降低激光信号的强度和质量,从而影响激光扫描仪和全站仪的测距精度。此外,井下光线条件较差,尤其是深部巷道,自然采光不足,人工照明又可能产生不均匀的光照效果,这对测量仪器的观测和瞄准造成一定干扰,增加了测量误差^[1]。

2.2.3 通风和气流影响

井下通风系统产生的气流会对激光信号的传播路径产生影响,导致激光束发生偏折,进而影响测距精度。特别是在长距离测量时,气流的影响更为明显。此外,通风还可能引起测量标志的晃动,进一步加大测量误差。

2.3 测量方法与操作因素

2.3.1 测量方案不合理

测量方案的制定是井下测量工作的重要环节。如果测量方案不合理,如控制点布设密度不足、测量路线选择不当等,会导致测量数据不能全面、准确地反映井下实际情况,从而影响贯通精度。例如,在长距离巷道测量中,如果控制点间距过大,会使测量误差积累过大,难以满足贯通精度要求。

2.3.2 操作人员技术水平

测量操作人员的技术水平对测量精度有着直接影响。操作人员在使用测量仪器时,如果不能熟练掌握仪器的操作方法和测量技巧,如对中不准确、整平不严格、读数误差大等,都会引入人为误差。此外,操作人员对测量环境的判断和处理能力不足,也会影响测量工作的正常进行和测量结果的准确性。

3 综合运用激光扫描与全站仪提升井下测量贯通精度的方法

3.1 测量方案优化

3.1.1 控制点布设

在井下测量中,合理布设控制点是保证测量精度的基础。综合运用三维激光扫描仪与全站仪时,应充分发挥两种仪器的优势,根据井下巷道的实际情况和贯通要求,科学规划控制点的位置和密度。可利用全站仪进行常规控制点测量,保证控制点的精度和稳定性,再采用三维激光扫描仪进行数据采集,通过点云数据处理获取控制点的精确位置信息^[2]。同时,增加控制点的密度,特别是在巷道转弯、交叉口等关键部位,以有效控制测量误差的积累。

3.1.2 测量路线规划

在规划测量路线时,要充分考虑激光扫描与全站仪的特点。对于长距离直线巷道,可先利用全站仪进行导线测量,建立基本控制网,然后使用激光扫描仪对巷道断面进行详细扫描,获取巷道表面的三维信息,为后续的贯通设计和施工提供依据。在复杂巷道区域,如存在多个分支巷道、巷道断面变化较大等情况,采用激光扫描仪进行整体扫描,快速获取该区域的三维点云数据,再结合全站仪对关键点进行精确测量,以弥补激光扫描仪在精度上的不足。通过合理规划测量路线,确保测量数据能够全面覆盖井下工程区域,提高测量的完整性和准确性。

3.2 数据采集与处理

3.2.1 三维激光扫描数据采集与处理

在进行三维激光扫描数据采集时,要根据井下环境特点选择合适的扫描角度、扫描范围、扫描速度等。对于重要区域或需要高精度测量的部位,适当加长扫描时间,以获取更详细的点云数据。采集完成后,对点云数据进行预处理,包括去噪、配准等操作。去噪处理是为了去除点云数据中的噪声点和离群点,提高数据质量;配准处理则是将扫描获取的点云数据合并至井下坐标系下,确保数据的完整性和一致性。通过点云数据处理,得到井下巷道的高精度三维模型,为后续的测量分析和贯通设计提供可靠的数据基础。

3.2.2 全站仪数据采集与处理

使用全站仪进行数据采集时,要严格按照操作规程进行仪器对中、整平、瞄准和读数等操作,确保测量数据的准确性^[3]。在测量过程中,要记录好测量时间、环境条件等相关信息,以便后续对测量误差进行分析和修正。采集到的全站仪测量数据需要进行平差处理,通过最小二乘法等数学方法,对观测值进行调整,消除测量误差的影响,得到最可靠的测量结果。同时,将全站仪测量数据与三维激光扫描获取的点云数据进行融合处理,利用全站仪测量数据的高精度特点对点云数据进行校准和修正,进一步提高测量数据的准确性。

3.3 误差控制与修正

3.3.1 仪器误差修正

针对全站仪和三维激光扫描仪的仪器误差,要定期对仪器进行检定和校准,确保仪器处于良好的工作状态。根据检定结果,对仪器的测角误差、测距误差等进行修正。对于全站仪,可采用电子补偿器对仪器轴系误差进行自动补偿;对于激光扫描仪,可通过内置的误差修正算法或外部校准设备对测距和测角误差进行修正。在数据处理过程中,充分考虑仪器误差的影响,将修正后的数据用于后续的计算和分析。

3.3.2 环境误差修正

对于井下环境因素引起的误差,要采取相应的措施进行修正。针对巷道变形问题,定期复测控制点坐标,对坐标进行修正。对于粉尘、水汽和光线条件的影响,在选择测量时间时,尽量避开粉尘浓度较高、水汽较大的时段,同时优化照明条件,减少光线对测量的干扰^[4]。对于通风和气流引起的误差,可加重悬挂物重量,照准顶板控制点线绳根部以降低气流对测量结果的影响。

3.4 人员培训与管理

3.4.1 技术培训

加强对测量操作人员的技术培训,使其熟练掌握三维激光扫描仪与全站仪的操作方法、测量原理和数据处理技术。培训内容应包括仪器的基本操作、参数设置、常见故障排除等方面,同时要注重培养操作人员对测量环境的判断和处理能力,以及运用测量数据解决实际问题的能力。通过定期组织技术培训和交流活动,不断提高操作人员的技术水平和业务素质。

3.4.2 质量管理

建立健全测量质量管理体系,加强对测量工作的全过程质量管理。在测量过程中,加强现场监督和检查,确保测量操作符合规范要求;在测量完成后,对测量数据进行严格审核和检查,对发现的问题及时进行改正^[5]。

通过加强质量管理，规范测量操作流程，减少人为误差的产生，提高井下测量贯通精度。

4 工程实践案例分析

4.1 铜矿峪矿井下巷道贯通工程概况

铜矿峪矿4#矿体434水平顶联道413穿顶-431穿底进行一条长距离井下巷道的贯通工程，巷道总长度约为753米，巷道断面形状4.7*4.2拱形，断面尺寸为18.02㎡。该工程对贯通精度要求较高，贯通误差在水平方向不得超过±0.1米，高程方向不得超过±0.2米。井下环境复杂，因属于独头巷道，存在大量粉尘、水汽，且存在多个分支巷道和交叉口，给测量工作带来了很大挑战。

4.2 测量方案制定与实施

4.2.1 测量方案制定

综合考虑工程特点和贯通精度要求，制定了综合运用三维激光扫描仪与全站仪的测量方案。在巷道入口和关键节点处布设高精度控制点，采区控制导线随巷道掘进每30-100米延伸一次，采用全站仪进行导线测量，建立基本控制网：巷道每掘进5-10m，检查一次中及腰线，每掘进20-30m用仪器标定巷道中线桩一组。在测量路线规划上，先利用全站仪对巷道进行导线测量，定期使用三维激光扫描仪对巷道断面和复杂区域进行详细扫描，获取全面的测量数据。

4.2.2 测量实施

在测量过程中，严格按照测量方案进行操作。使用全站仪进行导线测量时，操作人员认真进行仪器对中、整平，精确瞄准目标点线绳，多次测量取平均值，确保测量数据的准确性。对于三维激光扫描仪测量，合理布设扫图控制点，确保涵盖整个扫描区，且不得布设为一

条直线，对巷道进行全面、细致的扫描。扫描完成后，及时对点云数据进行预处理，去除噪声点和离群点，生成巷道的三维模型。同时，将全站仪测量数据与激光扫描数据进行融合处理，利用全站仪数据对点云模型进行校准和修正。

4.3 误差控制与修正措施

4.3.1 仪器误差修正

在测量前，对全站仪进行全面的检定和校准，根据检定结果对仪器误差进行了修正。在测量过程中，定期对仪器进行检查和维护，确保仪器性能稳定。对于全站仪的测角误差和测距误差，通过电子补偿器进行自动补偿；对于激光扫描仪的测距和测角误差，采用软件内置的误差修正算法进行处理。

4.3.2 环境误差修正

对于粉尘、水汽和光线条件的影响，选择了在粉尘浓度较低、水汽较小的时段进行测量，并优化照明设备，减少了光线干扰。对于通风和气流引起的误差，测点时悬挂重物，尽量靠近线缆上根部照准以减弱通风和气流引起的误差。

4.4 贯通精度分析

经过综合运用三维激光扫描仪与全站仪进行测量和数据处理，铜矿峪矿4#矿体顶联道413穿顶-431穿底巷道贯通工程取得了良好的效果。贯通后，对贯通误差进行了实际测量，水平方向贯通误差为±0.052米，高程方向贯通误差为±0.135米，均满足设计要求的精度指标。与以往仅采用全站仪进行测量的类似工程相比，贯通精度有了显著提高，证明了综合运用三维激光扫描仪与全站仪在提升井下测量贯通精度方面的有效性和优越性（表1）。

表1 矿体顶联道贯通测量数据统计表

导线全长/m	测站数/站	坐标闭合差/cm	全长相对闭合差	方位角闭合差	横向贯通误差/cm	高程贯通误差/cm
753	15	1.8	1/41667	±52"	±5.2	±13.5

结语

综合运用三维激光扫描仪与全站仪技术可有效提升井下测量贯通精度。优化测量方案能发挥二者优势，全面精准获取数据。数据采集处理中，三维激光扫描仪快速获取三维点云助力建模，全站仪高精度测量关键点并校准修正点云数据。针对各类误差采取控制修正措施，如仪器、环境误差修正，可提高数据准确性。该实践显示，此项技术能满足高精度贯通工程需求，保障井下工程安全高效施工。未来可深入探究二者集成技术，实现无缝连接与数据实时交互，提升测量效率与自动化水平。加强复杂环境下测量技术研究，探索多元测量方法，推动井下测量技术发展，为井下工程提供更精准高

效的技术支撑。

参考文献

[1]曾令华.多项测量技术在首山一矿主斜井分段施工贯通测量中的应用[J].建井技术,2024,45(02):25-29+15.

[2]孙元成,初长江.探讨金矿矿井中贯通测量的应用[J].世界有色金属,2025,(03):169-171.

[3]曹睿婧.煤矿井下巷道贯通测量技术的应用研究[J].石化技术,2024,31(09):329-330.

[4]刘璐.煤矿井下巷道贯通测量精度分析及技术方法探讨[J].内蒙古煤炭经济,2024,(13):31-33.

[5]成建峰.大型矿井高精度贯通测量技术控制研究[J].西部探矿工程,2024,36(01):170-172.