

地铁盾构隧道施工测量误差分配及控制措施分析

崔盟昭 郑煜

北京市政建设集团有限责任公司 北京 100010

摘要: 地铁盾构隧道施工测量精度直接影响工程质量与安全。控制网测量、联系测量、地下控制测量及盾构机姿态测量等环节产生的误差,相互耦合构成复杂误差体系。通过对各环节误差源的深入分析,科学分配误差权重,提出优化控制网测量方案、改进联系测量技术、加强地下控制测量管理及完善盾构机姿态测量系统等控制措施,可有效降低累积误差,提升隧道施工精度,为地铁工程高质量建设提供技术保障。

关键词: 地铁盾构隧道; 施工测量; 误差分配; 控制措施

引言

随着城市轨道交通的快速发展,地铁盾构隧道施工规模与日俱增,对测量精度的要求也愈发严苛。施工测量误差贯穿控制网构建、联系测量传递、地下控制测量实施及盾构机姿态监测等全流程,任一环节的误差积累都可能导致隧道轴线偏差、贯通误差超限等问题。本文针对地铁盾构隧道施工测量误差,系统研究各环节误差分配方法,并结合工程实践提出精准控制措施,旨在为保障地铁隧道施工质量与安全提供理论支撑和实践指导。

1 地铁盾构隧道施工测量概述

地铁盾构隧道施工测量是确保盾构隧道精确贯通及安全施工的关键环节,涵盖地面控制测量、联系测量、地下控制测量及盾构施工测量等多个方面。地面控制测量通过建立精密导线网和水准网,为后续测量提供起算依据,其精度需满足国家相关规范要求,确保控制点的稳定性和可靠性。联系测量则通过一井定向、两井定向或陀螺经纬仪定向等方法,将地面控制点的坐标、方位角和高程传递至地下,形成统一的坐标系统,保证地下工程与地面工程的几何联系。地下控制测量包括地下导线控制测量和地下水准控制测量,是盾构掘进过程中的重要测量手段。地下导线控制测量采用支导线形式向前延伸,通过布设主导线和施工导线进行分级控制,确保横向贯通误差在限差范围内。地下水准控制测量则沿隧道直线段和曲线段分别布设固定水准点,采用二等水准测量方法进行独立观测,保证高程传递的精度。盾构施工测量是地铁盾构隧道施工的核心,通过实时监测盾构机的位置和姿态,指导盾构机按照设计轴线推进。利用洞内导线点测定盾构机的当前空间位置和轴线方向,通过推进油缸施以不同的推力调整盾构机的掘进方向。盾构施工测量还包括管片姿态测量、盾构机初始姿态人工测量及导向系统安装调试等工作,确保盾构机的掘进精

度和管片拼装质量。地铁盾构隧道施工测量具有高精度、高复杂性和高难度的特点,需要采用先进的测量技术和设备,如三维激光扫描仪、自动导向系统等,提高测量效率和精度。施工过程中需加强测量数据的处理和分析,及时发现和纠正测量误差,确保盾构隧道的精确贯通和安全施工。

2 地铁盾构隧道施工测量误差分配方法

2.1 控制网测量误差分配

控制网测量作为地铁盾构隧道施工测量的基础,其误差分配直接影响后续测量工作的准确性。在地面控制测量构建精密导线网和水准网时,误差来源呈现多源性特征。观测误差方面,仪器的对中误差、照准误差以及读数误差会在测量过程中不断累积。例如,全站仪在测量角度和距离时,若对中不精准,将导致测量目标偏离实际位置,产生角度和距离偏差;水准测量中,水准尺读数的微小偏差也会造成高程测量误差。控制点的稳定性同样至关重要,地面控制点受地质条件、地下水位变化、周边施工活动等因素影响,可能发生位移。若控制点在测量周期内发生位移,基于该控制点的后续测量数据将出现系统性偏差。控制网的图形强度对误差分配影响显著。优化控制网图形结构,合理布设控制点,能够有效控制边长和角度的误差传播。通过增加多余观测,采用严密平差方法处理测量数据,可将控制网测量误差控制在合理范围内,为后续测量提供可靠的起算依据,确保测量基准的准确性^[1]。

2.2 联系测量误差分配

联系测量承担着将地面控制点的坐标、方位角和高程传递至地下的关键任务,其误差分配关乎地下工程与地面工程几何联系的准确性。在采用一井定向、两井定向或陀螺经纬仪定向等方法进行联系测量时,误差主要源于投点误差、连接误差以及定向误差。投点过程

中, 钢丝或铅垂的摆动、井壁的干扰等因素会导致投点位置不准确, 进而影响坐标传递的精度。连接测量时, 仪器的架设精度、觇标的对中精度以及角度和距离测量误差, 都会在连接环节引入误差。以陀螺经纬仪定向为例, 陀螺轴的漂移、观测时间和环境温度等因素, 会对定向结果产生影响。联系测量过程中的多次观测和数据转换, 也会造成误差的累积和传播。为减小联系测量误差, 需严格控制投点和连接测量的操作精度, 合理选择观测时段和仪器设备, 采用多次观测取平均值的方法, 并对观测数据进行严密的平差计算, 确保地面与地下坐标系统的统一和高精度传递, 为地下控制测量和盾构施工测量奠定坚实基础。

2.3 地下控制测量误差分配

地下控制测量包含地下导线控制测量和地下水准控制测量, 其误差分配对盾构掘进过程的精度控制至关重要。地下导线控制测量采用支导线形式向前延伸, 由于缺乏检核条件, 误差容易累积。在布设主导线和施工导线进行分级控制时, 角度测量误差和边长测量误差是主要误差来源。地下环境复杂, 湿度、温度变化和照明条件等因素会影响仪器的性能和测量人员的操作, 导致角度观测误差增大。地下导线边长较短, 仪器的对中误差和照准误差对边长测量精度的影响更为显著。导线点的稳定性在地下易受隧道开挖引起的地层变形影响, 若导线点发生位移, 将直接导致后续测量数据偏差。地下水准控制测量沿隧道直线段和曲线段布设固定水准点, 采用二等水准测量方法进行独立观测。水准测量中的仪器误差、标尺误差以及观测误差, 如前后视距不等、视线高度变化等, 都会影响高程传递的精度。通过优化导线布设方案, 加强对导线点的稳定性监测, 采用高精度测量仪器和严格的观测方法, 以及对测量数据进行科学的误差分析和处理, 可有效控制地下控制测量误差, 保证盾构隧道的横向贯通精度和高程控制精度^[2]。

2.4 盾构机姿态测量误差分配

盾构机姿态测量是确保盾构机按照设计轴线推进的关键环节, 其误差分配涉及多个方面。利用洞内导线点测定盾构机的当前空间位置和轴线方向时, 洞内导线测量误差会直接传递到盾构机姿态测量结果中。盾构机姿态测量系统本身存在仪器误差, 如传感器的精度、安装误差等。自动导向系统中的激光发射器、棱镜和测量全站仪等设备, 其测量精度和稳定性对盾构机姿态测量结果影响重大。盾构机在掘进过程中, 受地质条件变化、推进油缸推力不均、管片拼装等因素影响, 会产生姿态变化。这些外部因素导致的盾构机姿态变化, 若不能及

时准确地被测量系统捕捉和反映, 将造成姿态测量误差。管片姿态测量误差也会间接影响盾构机姿态测量的准确性, 因为管片的实际位置和姿态是盾构机掘进姿态调整的重要参考。为减小盾构机姿态测量误差, 需定期对测量系统进行校准和维护, 提高测量仪器的精度和稳定性; 加强对盾构机掘进过程中的实时监测, 结合地质条件和施工参数, 对测量数据进行动态分析和修正, 确保盾构机姿态测量的高精度, 从而指导盾构机准确按照设计轴线推进, 保证隧道的施工质量。

3 地铁盾构隧道施工测量误差控制措施

3.1 优化控制网测量方案

(1) 在地面控制测量中, 采用高精度全站仪进行导线测量, 通过增加测回数 and 观测时段, 降低观测误差的影响。例如, 在进行角度测量时, 可采用多个测回观测, 并在不同时间段进行测量, 取平均值以减小仪器的对中误差、照准误差以及读数误差。在水准测量环节, 选用高精度水准仪和钢瓦水准尺, 严格控制前后视距, 确保高程测量的准确性。(2) 充分考虑地质条件、地下水位变化、周边施工活动等因素对控制点稳定性的影响, 对控制点进行定期复测。在控制点的埋设过程中, 采用稳固的基础结构, 增强控制点的抗变形能力。对于受外界因素影响较大的控制点, 建立实时监测系统, 利用GNSS技术实时监测控制点的位移情况, 一旦发现控制点位移, 及时对测量数据进行修正。(3) 优化控制网图形结构, 合理布设控制点。在满足测量规范要求的前提下, 增加多余观测, 构建边角网等图形结构, 提高控制网的图形强度。采用严密平差方法处理测量数据, 利用专业的测量平差软件, 对观测数据进行全面的误差分析和调整, 将控制网测量误差控制在最小范围内, 为后续测量工作提供高精度的起算依据。

3.2 改进联系测量技术

(1) 在联系测量投点过程中, 采用高精度的投点设备, 如高精度铅垂仪或陀螺稳定投点系统, 减少钢丝或铅垂的摆动误差。对投点环境进行优化, 在井筒内设置防风、防干扰装置, 避免井壁干扰对投点精度的影响, 确保投点位置的准确性, 从而提高坐标传递的精度。(2) 在连接测量环节, 提高仪器的架设精度和觇标的对中精度。采用强制对中装置, 减少仪器对中误差; 对觇标进行精确校准, 确保觇标中心与控制点中心重合。在角度和距离测量时, 严格按照操作规程进行操作, 采用高精度的测量仪器, 增加观测次数, 取平均值以减小测量误差。(3) 针对陀螺经纬仪定向, 优化观测方法和观测条件。在观测前, 对陀螺经纬仪进行充分预热和校

准,减小陀螺轴的漂移误差;选择合适的观测时段,避开环境温度剧烈变化的时间段进行观测。采用多次观测取平均值的方法,并对观测数据进行严密的平差计算,提高定向结果的准确性,确保地面与地下坐标系统的高精度传递^[3]。

3.3 加强地下控制测量管理

(1) 优化地下导线布设方案,根据隧道的实际情况和施工要求,合理确定导线点的间距和位置。在布设主导线和施工导线时,尽量使导线点分布均匀,减少导线转折角,避免短边和长边交替出现,降低角度测量误差和边长测量误差的累积。加强对导线点的保护,设置明显的标识,防止施工过程中对导线点造成破坏。(2) 加强对地下控制测量仪器的管理和维护,定期对全站仪、水准仪等测量仪器进行校准和检定,确保仪器的性能和精度满足测量要求。在测量过程中,严格按照仪器的操作规程进行操作,避免因操作不当导致的测量误差。配备备用测量仪器,以应对突发情况,保证测量工作的连续性。(3) 对地下控制测量人员进行专业培训,提高测量人员的操作技能和专业水平。在测量工作中,要求测量人员严格遵守测量规范和操作规程,加强对测量数据的质量控制。建立测量数据的复核制度,对测量数据进行多次复核和检查,及时发现和纠正测量误差,确保地下控制测量数据的准确性和可靠性,为盾构隧道的施工提供精确的测量保障。

3.4 完善盾构机姿态测量系统

(1) 强化设备校准与维护。需定期对盾构机姿态测量系统的核心设备,如激光发射器、棱镜、全站仪及各类传感器进行校准与维护。采用高精度校准工具,确保设备参数精准无误,维持其测量精度与稳定性。建立详尽的维护档案,记录设备使用、校准及维护详情,以便

随时掌握设备运行状况。(2) 构建实时监测与动态分析体系。鉴于盾构机掘进中易受地质变化、推进油缸推力不均、管片拼装等因素影响,需建立实时监测与动态分析机制。借助先进传感器与数据采集系统,实时获取盾构机姿态数据,并结合地质勘察与施工参数,进行动态分析。依据分析结果,及时调整掘进参数,修正盾构机姿态,确保其沿设计轴线推进。(3) 优化管片姿态测量。为提高管片姿态测量精度,采用三维激光扫描等高精度测量技术,精确测量管片位置与姿态。建立管片姿态测量数据库,详细记录与分析测量数据,为盾构机姿态调整提供准确依据。加强管片与盾构机姿态测量的协同,确保数据一致性与准确性,保障隧道施工质量^[4]。

结语

综上所述,地铁盾构隧道施工测量误差分配及控制是保障工程质量的关键环节。通过科学合理地分配控制网、联系测量、地下控制测量及盾构机姿态测量等环节的误差,采取针对性的优化与改进措施,可显著提升施工测量精度。未来,随着测量技术的持续创新,应进一步探索智能化、自动化的误差监测与控制手段,推动地铁盾构隧道施工测量技术向更高水平发展,为城市轨道交通建设注入新动能。

参考文献

- [1] 陈达.地铁盾构隧道施工测量误差分配及控制措施分析[J].科学技术创新,2021(24):154-155.
- [2] 徐秀川,段双全,张伟.盾构法地铁隧道施工测量误差控制技术措施和方法[J].城市勘测,2021(3):135-138.
- [3] 张神勇.地铁隧道盾构测量误差控制环节探讨[J].科学与财富,2022,14(32):61-63.
- [4] 赖阳迅.地铁隧道盾构施工风险分析与控制措施[J].绿色环保建材,2020(12):98-99.