

浅谈长大隧道平面控制测量

蒲志鹏

中铁五局集团第一工程有限责任公司 湖南 长沙 410002

摘要:在长大隧道建设中,平面控制测量至关重要。本文先阐述核心环节,包括控制网布设、测量仪器选用及测量方法应用;接着分析常见问题,如洞内外坐标系统统一难题等,并给出针对性处理思路;然后探讨技术优化方向,涉及测量方法、仪器设备及测量流程的优化;通过系统论述,为长大隧道平面控制测量提供全面技术指导,保障测量精度与施工安全,推动隧道工程测量技术发展。

关键词:长大隧道;平面控制测量;误差控制;技术优化;测量方法

引言:长大隧道工程是交通基础设施建设的关键部分,其建设质量直接影响区域交通网络的完善与运行效率。平面控制测量作为长大隧道施工的基础性工作,为隧道掘进、支护等各环节提供精确的空间定位信息。准确的测量成果能够确保隧道按设计线形顺利贯通,避免因测量误差导致的施工偏差与安全事故。随着隧道工程向更长、更深方向发展,测量环境愈发复杂,对测量技术的精度与可靠性提出更高要求。深入探讨长大隧道平面控制测量技术具有重要现实意义。

1 长大隧道平面控制测量的核心环节

1.1 控制网布设

控制网布设是长大隧道平面控制测量的基础性工作。在布设过程中,需遵循分级布网、逐级控制的原则,确保各级控制网精度相互匹配,形成完整严密的测量控制体系^[1]。具体实施时,先构建高精度首级控制网作为整体框架,再根据隧道施工进度和精度要求,分阶段布设次级控制网,实现测量精度的有效传递。控制网布设流程包含三个关键步骤。第一步开展现场踏勘,全面掌握隧道进出口地形地貌、通视条件及既有控制点分布情况。第二步进行技术设计,根据隧道长度、线形特征及施工方法,确定控制网等级、图形结构和精度指标。第三步实施现场埋石,选择稳定基岩或坚固建筑物设置永久性控制点,采用强制对中装置确保观测基准统一。控制网点位选择需满足多重技术要求。点位应避开土质松软、易受震动区域,优先选择基岩裸露或坚硬土层位置。相邻点间通视条件良好,视线距地面障碍物高度角不小于15度。点位周边环境稳定,避免施工机械频繁活动影响,同时考虑便于长期保存和后期联测需求。

1.2 测量仪器选用

长大隧道测量常用仪器包含全站仪、精密水准仪和GNSS接收机三大类。全站仪需具备0.5秒级测角精度和

1mm+1ppm测距精度,满足洞内外控制测量需求。精密水准仪应达到DS1级精度标准,配合钢瓦尺实现二等水准测量要求。GNSS接收机需支持多系统多频点观测,具备厘米级实时定位能力。仪器选用依据主要考虑测量环境特征和精度指标要求。洞外开阔区域优先采用GNSS技术建立首级控制网,利用其作业效率高、覆盖范围广的优势。洞内受限空间则选用全站仪进行边角交会测量,通过设置多测回观测提高成果可靠性。精密水准仪专门用于高程控制测量,确保隧道纵向坡度符合设计要求。仪器前期调试包含三项关键工作。全站仪需进行2C值、指标差检校,确保测角系统精度达标;对气泡居中误差进行严格校正,保证仪器整平状态稳定。GNSS接收机要完成天线高量测、卫星星历更新和参数配置检查,确保数据采集质量。所有仪器使用前必须进行温度、气压等环境参数设置,消除系统误差影响。

1.3 测量方法应用

洞口控制测量采用边角交会与GNSS联合方法。在进出口附近布设高精度控制点,通过全站仪测量边长和水平角,结合GNSS静态观测确定三维坐标,形成洞口控制基准。洞内控制测量运用导线网形式,每200-300米设置一组控制点,采用双照准法观测水平角,往返测距消除系统误差,通过严密平差计算确定点位坐标。贯通面控制测量在隧道掘进至剩余200米时实施,采用陀螺全站仪进行方位传递,配合精密导线测量确保贯通精度,同时建立独立闭合环进行精度检核。

2 长大隧道平面控制测量的关键技术要点

2.1 洞口与洞内控制衔接技术

洞口与洞内控制网的无缝衔接是确保测量系统完整性的基础环节。洞口区域需构建独立控制基准,通过精密全站仪实施多测回边角观测,结合GNSS静态测量确定三维坐标框架。洞内控制网布设时,首级控制点应延伸

至洞口内侧不少于80米范围,采用强制对中装置固定仪器,减少对中误差对测量成果的影响^[2]。衔接测量采用边角交会与导线测量组合方法,在洞口附近设置过渡控制点,通过多组观测数据交叉验证提高点位精度。观测过程中需严格控制视线长度,避免大气折光对边长测量的干扰,同时采用温度、气压实时修正技术提升距离测量可靠性。对于偏压洞口等特殊地形,需建立动态监测机制,每日测量控制点位移量,当累计变形超过2毫米时立即启动复测程序。

2.2 测量过程中的误差控制技术

误差控制贯穿测量作业全生命周期。仪器误差通过系统检校消除,全站仪每月进行2C值、指标差检测,水准仪每季度完成i角检验,确保观测设备处于最佳工作状态。环境误差采取针对性抑制措施,洞外测量选择大气稳定时段作业,避开日出日落时段的大气湍流影响;洞内测量加强通风管理,降低氡气浓度对电子设备的影响。人为误差通过标准化流程控制,观测前对仪器进行30分钟预热处理,测回间变换仪器高度重新整平,数据记录实行双人独立录入与交叉核对制度。系统误差运用数学模型修正,根据隧道纵坡对水准测量实施曲率改正,采用对向观测消除地球曲率影响,通过严密平差计算提高成果精度等级。

2.3 复杂地质条件下的测量调整技术

复杂地质区域测量需实施动态调整策略。断层破碎带采用加密控制点方案,每40米设置一组双导线点,通过多重观测提高点位可靠性。岩溶发育区运用陀螺全站仪进行方位传递,每前进150米实施独立定向检查,确保方向精度满足设计要求。软弱围岩地段建立变形监测体系,在控制点周边布设监测桩,采用高精度收敛计每日测量位移量,当变形速率超过0.5毫米/日时启动应急测量预案。高温地区采用温度补偿技术,对全站仪测距结果进行实时修正,确保边长测量精度符合规范要求。富水区域实施防水处理,对控制点采取防潮封装措施,避免仪器受潮导致测量误差增大。

2.4 贯通测量的衔接技术

贯通测量衔接需建立多级检核机制。距离贯通面300米时,采用精密导线测量进行主控网加密,每60米设置一组测站点,通过双照准法观测水平角,角度观测值较差不得超过1.5秒。方位传递使用陀螺全站仪与几何定向组合方法,独立进行三次定向测量,取中数作为最终成果,方位角闭合差需控制在 ± 5 秒以内。高程控制采用三角高程与水准测量联合方案,在贯通面附近布设闭合水准路线,平差后高程较差不得超过 ± 3 毫米。贯通前最后

200米实施动态监测,每日测量控制点坐标变化,当日位移量超过0.8毫米时暂停掘进,重新进行控制网复测。贯通后立即组织联合测量,实测贯通误差并与设计允许值比对,形成完整的贯通测量技术报告,为后续施工提供基准依据。

3 长大隧道平面控制测量的常见问题及处理方法

3.1 测量过程中的常见问题

3.1.1 洞内外坐标系统统一难题

洞内外控制网衔接时,常出现坐标系统不匹配现象。洞口区域受大气折光、地形起伏影响,GNSS观测值与洞内全站仪测量值存在系统性偏差^[3]。部分隧道洞口存在偏压,导致控制点发生微小位移,进一步加剧坐标差异。

3.1.2 复杂环境下的观测精度衰减

洞内测量面临多重环境干扰。粉尘浓度过高会降低棱镜反射强度,导致测距信号衰减;施工机械振动引发控制点晃动,造成观测数据离散性增大;高温环境使全站仪内部温度梯度变化,影响测角系统稳定性。

3.1.3 贯通误差超限风险

长距离掘进过程中,方向传递误差呈累积效应。陀螺定向受地磁场干扰产生方位漂移,导线测量因边长缩短导致测角误差放大,两种因素叠加可能造成贯通面横向误差超过允许值。

3.1.4 数据处理异常问题

平差计算时易出现粗差剔除困难、单位权中误差超限等情况。控制网图形结构不合理导致法方程病态,观测值权重分配不当影响成果可靠性,异常天气条件下的观测数据未进行有效修正。

3.2 各类问题的针对性处理思路

3.2.1 坐标系统统一处理方案

建立洞口过渡控制网,在洞口内外各50米范围内布设双基准点。采用边角交会法进行三维坐标联测,通过严密平差消除系统误差。对偏压洞口实施动态监测,每日测量控制点位移量,当累计变形超过2毫米时重新进行坐标联测。

3.2.2 环境干扰抑制措施

洞内测量选择在爆破后2小时进行,利用通风系统降低粉尘浓度。采用防震基座固定控制点,观测前进行30分钟静置处理。高温环境作业时,对全站仪实施物理降温,每测回结束后暂停5分钟进行仪器冷却。

3.2.3 贯通误差控制技术

实施多级方向传递体系,每200米进行陀螺定向复核,独立观测三次取中值。优化导线网图形结构,在贯

通面附近设置闭合环,采用双照准法观测水平角。建立误差预计模型,根据隧道长度、测角精度等参数预先计算允许误差值。

3.2.4 数据处理优化方法

采用稳健估计理论进行粗差探测,结合数据探测法与选权迭代法定位异常值。通过增加多余观测改善网形结构,在关键区域增设过渡点形成附和导线。对不同天气条件下的观测数据分类处理,建立温度、气压修正模型提高距离测量精度^[4]。实施分段平差策略,将长隧道划分为多个控制单元分别处理,最后进行整体约束平差。

4 长大隧道平面控制测量的技术优化方向

4.1 测量方法的优化路径

长大隧道测量方法优化需突破传统技术框架,构建多维融合的测量体系。边角联测技术可引入动态观测模式,通过全站仪多测回连续观测获取边长与角度的时序数据,利用最小二乘平差模型实现参数动态解算,提升复杂环境下的测量稳定性。GNSS测量可拓展多系统联合定位应用,整合北斗、GPS、GLONASS卫星信号,在洞口开阔区域构建三维控制基准,配合精密单点定位技术减少地面控制点依赖,突破传统测量在空间覆盖上的局限。惯性测量技术可与全站仪形成优势互补,在洞内受限空间通过陀螺定向建立局部控制网,利用加速度计实时修正仪器姿态,解决传统方法在视线遮挡区域的测量难题。激光扫描技术可应用于洞室形态检测,通过高密度点云数据构建三维模型,为控制网优化提供几何约束条件,实现测量成果的三维可视化表达。

4.2 仪器设备的升级应用方向

仪器设备升级需聚焦智能化与高精度发展方向。全站仪应向多传感器集成方向突破,集成自动目标识别、激光对中、温度补偿等功能模块,实现观测过程的全自动化控制。GNSS接收机需支持全频点信号接收,配备抗多路径效应天线与自适应滤波算法,在复杂电磁环境下保持厘米级定位能力。惯性导航系统应降低零偏稳定性误差,提高动态测量精度,集成数据融合算法实现与全站仪的数据无缝对接。测量机器人可搭载机械臂与视觉识别系统,通过深度学习算法自动识别棱镜位置,配合高精度伺服系统实现仪器自动整平对中,将外业作业效率提升显著。智能监测系统可嵌入物联网模块,实时传输控制点变形数据,通过边缘计算技术实现异常数据即

时预警,为施工安全提供动态保障。

4.3 测量流程的简化与完善方向

测量流程优化需构建标准化与柔性化并重的作业体系。外业观测可推行模块化设计,将洞口控制、洞内导线、贯通测量等环节分解为独立作业单元,制定标准化操作手册规范作业流程,减少人为操作误差。数据处理应开发专用平差软件,集成误差修正模型与质量检核模块,实现数据自动处理与成果实时输出,通过图形化界面直观展示测量精度。质量控制可建立分级检核机制,外业观测数据实行双人独立录入,内业计算设置多级平差参数验证,贯通误差分析采用蒙特卡洛模拟方法评估可靠性,形成全流程质量追溯体系^[5]。信息化管理可搭建BIM测量平台,将控制网数据与隧道设计模型关联,通过三维可视化界面直观展示测量成果,为施工决策提供空间分析支持。成果交付应统一数据格式标准,建立电子化测量档案系统,实现全生命周期数据追溯与共享应用,为后续运维提供基础数据支撑。

结束语

长大隧道平面控制测量是一项系统且复杂的工作,涵盖多个核心环节与关键技术要点。从控制网布设到测量仪器选用,再到测量方法应用,每个步骤都紧密相连,共同保障测量精度。面对测量过程中的常见问题,需采取针对性处理措施,有效控制误差,确保隧道顺利贯通。随着技术不断发展,测量方法、仪器设备及测量流程的优化方向为测量工作带来新机遇。通过持续创新与实践,不断提升长大隧道平面控制测量水平,为隧道工程高质量建设提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]潘冬生.长大隧道平面控制测量网形改进与研究[J].科技创新与应用,2023,13(26):136-139.
- [2]孔刚,米文敏,贺奇,等.长大隧道平面控制测量网形改进与研究[J].城市周刊,2024(4):113-115.
- [3]马新文.长大隧道控制测量横向贯通误差精度研究[J].铁道建筑技术,2021(z1):223-227.
- [4]张小龙.长大隧道平面控制网测量及独立控制网测量技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2026,14(8):17-19.
- [5]邓云鹏.高铁长大隧道洞内施工平面控制测量方法研究[J].价值工程,2024,43(14):5-7.