

Analysis of the Control Strategy of Engineering Surveying Accuracy for Urban Light Rail Metro

Sicong Liu

Changchun Surveying and Mapping Institute, Changchun, Jilin, 130022, China

Abstract

Engineering surveying for urban light rail and subway systems serves as the cornerstone for ensuring both construction and operational maintenance. Precision control is critical to project quality, operational safety, and long-term maintenance efficiency. This paper systematically analyzes key precision control measures in urban rail transit engineering surveying, starting from core requirements and integrating relevant standards with practical experience. The analysis covers three dimensions: fundamental surveying theories, precision control strategies for critical phases, and quality assurance systems. Specifically, it proposes theoretically grounded and practically implementable precision control methods for key processes such as second-order GNSS surveying, precision traverse surveying, and second-order leveling, providing technical references for urban light rail and subway engineering surveying.

Keywords

Light rail metro; Engineering surveying; Precision control; GNSS surveying; Leveling

城市轻轨地铁工程测量精度控制策略探析

刘思聪

长春市测绘院, 中国·吉林 长春 130022

摘要

城市轻轨地铁工程测量是保证线路建设及运营维护的基础工作, 精度控制关系到工程质量、运营安全、后期运维效率。本文以城市轨道交通工程测量核心需求为出发点, 结合相关规范标准和工程实践经验, 从测量基础理论、关键环节精度控制策略、质量保障体系三个方面, 系统分析城市轻轨地铁工程测量精度控制要点。主要针对二等GNSS测量、精密导线测量、二等水准测量等关键测量环节, 提出具有理论支撑和实践可操作性的精度控制方法, 为城市轻轨地铁工程测量工作提供技术参考。

关键词

轻轨地铁; 工程测量; 精度控制; GNSS测量; 水准测量

1 引言

伴随着城市化进程的加速, 作为大容量、高效率的公共交通工具, 城市轻轨地铁在缓解交通拥堵, 改善城市空间布局方面起着举足轻重的作用。城市轻轨地铁工程线路跨度大, 穿越区域地质条件复杂, 周边建(构)筑物密集, 因此对测量精度要求极高。测量工作贯穿于工程规划设计、施工建设、运营维护的整个过程之中, 精度的好坏直接关系到线路平顺性、结构稳定性和运营安全。

在运营维护阶段, 受地质沉降、周边施工扰动等因素影响, 原测量控制点易发生位移或物理损坏, 因此需要定期进行复测来保证后续修复设计、运维作业的顺利开展。长春市轨道交通4号线由于运营时间长出现线路沉降位移, 需要

通过二等GNSS测量、精密导线测量和二等水准测量进行复测, 其成果采用长春市坐标系统和长春市高程系统, 核心技术指标要满足相邻点相对点位中误差 $\pm 10\text{mm}$ 等严格要求。因此建立科学完善的精度控制策略, 是提高城市轻轨地铁工程测量质量的关键。

2 项目概况

本次项目为长春市轨道交通4号线控制网测量第二次复测, 任务源于线路运营多年后出现的沉降、位移等变形问题, 原有测量控制点部分损坏或丢失, 需通过复测保障后续修复设计及运维作业。测区涵盖4号线正线、其他线及天工路车辆段, 其中正线长约16km(含3.2km地下段), 设16座车站, 其他线长约9km。项目核心任务为二等GNSS测量27个点、精密导线测量96个点、二等水准测量联测138个点, 计划工期3个月(2025年4月-6月), 成果采用长春市坐标及高程系统。

【作者简介】刘思聪(1989-), 男, 中国山东安丘人, 本科, 工程师, 从事城市测量与监测研究。

3 城市轻轨地铁工程测量精度控制理论基础

3.1 精度控制核心目标

城市轻轨地铁工程测量精度控制的主要目的,是保证测量成果可以达到工程各个阶段的技术要求,即平面控制网相邻点相对点位中误差满足规范标准,高程控制网高差中误差满足线路平顺性要求,测量成果具有较好的稳定性、可靠性,为工程设计、施工、运维提供准确的数据支持。不同的测量环节的精度要求不一样,二等 GNSS 控制网最弱边相对中误差不小于 1/100000,二等水准测量每千米高差中数偶然中误差不大于 $\pm 2\text{mm}$ 。

3.2 核心参考规范与标准

测量精度控制要严格按照相关国家及行业规范执行,主要参考文件有《城市轨道交通工程测量规范》(GB/T50308-2017)、《国家一、二等水准测量规范》(GB/T12897-2006)、《工程测量标准》(GB50026-2020)等。对于测量仪器要求、观测流程、数据处理、精度指标等都做了明确规定,是精度控制的理论依据和技术准则^[1]。城市轨道交通工程测量规范中明确以中误差作为测绘精度的标准,以二倍中误差作为极限误差,给精密导线测量等环节的精度控制提供量化标准[参考资料城市轨道交通工程测量规范(GB/T50308-2017)]。

4 城市轻轨地铁工程测量关键环节精度控制策略

4.1 二等 GNSS 测量精度控制策略

GNSS 测量是城市轻轨地铁平面控制网建立和复测的主要方法,精度控制需贯穿仪器选择、观测实施、数据处理全过程。仪器选择上应该使用 4 台以上双频徕卡 GNSS 接收机进行静态相对定位观测,接收机的标称精度要满足 $\leq (5\text{mm}+5\text{ppm} \times d)$ (d 为相邻点之间的距离)。所有仪器必须经过法定计量检定单位的检定合格并在有效期内,作业前要检查电池容量、内存大小和参数设置的一致性^[2]。

观测实施阶段精度控制的核心内容为优化观测条件、规范观测操作流程。应选择卫星高度角大于等于 15 度、有效观测卫星数大于等于 4 颗的时段进行观测,同步观测接收机数量不少于 3 台,观测时段长度不小于 60 分钟,数据采

样间隔设为 5 秒,保证点位几何图形强度因子 PDOP 小于 6。天线安装需严格对中整平,对中误差 $\leq 2\text{mm}$; 天线定向应指向正北方向,架设高度需根据观测环境控制在 0.5m~1.8m 范围内。观测前、后各量取一次天线高,两次互差小于 3mm 时取平均值,超过规定值要查明原因并重新观测。

数据处理阶段需采用专业软件保障精度,基线解算使用徕卡 LGO 后处理软件,平差计算使用武汉大学编制的科傻平差软件。基线解算优先使用双差固定解,对同步环、异步环、重复基线进行严格的检验,独立基线构成的独立环各坐标分量及全长闭合差要符合规范要求。平差处理应按以下顺序开展:三维无约束平差→三维约束平差→二维约束平差,无约束平差中基线向量改正数应小于 3 倍中误差,约束平差前需验证已知点相容性,相邻已知点相对点位中误差不应大于 50mm。

4.2 精密导线测量精度控制策略

精密导线测量是城市轻轨地铁平面控制的重要补充,在 GNSS 信号遮挡严重的地下线路或者密集建筑群区域使用较多。精度控制主要从仪器精度、角度观测、距离测量和平差计算四个方面入手。仪器采用 0.5 秒级徕卡 TS30、TS50 全站仪,标称精度为 $\pm (0.6\text{mm}+1\text{ppm} \times D)$,作业前要对仪器轴系、测距精度等做全面检校。

角度观测采用方向观测法,方向数大于 3 个时需要归零,使用 TS50 全站仪自动观测 4 测回,半测回归零差 $\leq 6''$,一测回内 2C 较差 $\leq 9''$,同一方向值各测回较差 $\leq 6''$ 。高层建筑物上的控制点观测时,垂直角大于 3° 时,读取照准部水准管气泡两端读数,进行横轴倾斜改正。距离测量采用对向观测,测前、测后各测一次温度、气压,取平均值用于气象改正,温度读到 0.2°C ,气压读到 50Pa。测距限差一测回中读数间差 $\leq 3\text{mm}$,单程各测回间差 $\leq 4\text{mm}$ 。

平差计算前要对测距边进行高程归化改正,归化到城市平均高程面上,由于城市轻轨地铁导线边长较小,投影变化值可以忽略不计。用科傻平差软件进行严密平差,在平差时需要把导线两端控制点原成果坐标作为已知点,减小测量误差的影响。平差后需要对复测成果和原测成果进行比较,按照城市轨道交通工程测量规范(GB/T50308-2017)的要求,同一控制点坐标分量较差的极限误差应小于 2m (m 为复测点位中误差),保证成果的可靠性^[3]。

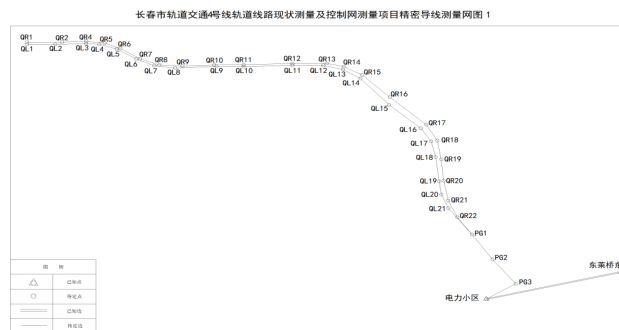


图 1 精密导线设计附图

4.3 二等水准测量精度控制策略

二等水准测量是保证城市轻轨地铁线路高程精度的主要方法,直接影响轨道铺设的平顺性以及结构高程控制质量。精度控制要包含仪器检校、观测条件、观测方法和数据处理等各个方面。仪器采用 S05 级徕卡 DNA03 自动安平水准仪和铟瓦尺或条码尺,水准仪 i 角应小于 15",作业期间每天作业前应进行 i 角检测。

观测条件应避开日出后 30 分钟至日落前 30 分钟、气温突变、标尺影像跳动剧烈等时段,每条路线采用往返观测或单程双测站方式,同一区段往返测用同一类型仪器和转点尺承。观测方法为奇数站后—前一前一后,偶数站前一后—前一前,视线长度 3~60m,前后视距差 ≤ 2.0m,前后视距累计差 ≤ 6.0m,视线高度 ≥ 0.55m, ≤ 2.8m。测站观测限差要符合上下丝读数平均值与中丝读数之差 ≤ 3.0mm,基辅分划读数之差 ≤ 0.5mm,基辅分划所测高差之差 ≤ 0.7mm。

数据处理要严格按照规范要求,高差中数取到 0.1mm,最终成果取到 1.0mm。需要计算每千米高差中数的偶然中误差和全中误差,其中水准测量每千米的高差中数偶然中误差 (M_{Δ}) 按下式计算:

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{[\Delta^2 / L] / (4n)}$$

式中:

- M_{Δ} ——每千米高差中数偶然中误差 (mm);
- L——水准测量的测段长度 (km);
- Δ ——水准路线测段往返高差不符值 (mm);
- n——往返测水准路线的测段数。

使用平差软件进行水准网严密平差,计算最弱点高程中误差和相邻点相对高差中误差,保证高程精度满足工程要求。由于相邻水准点距离较近、纬差较小,可以免做每米真长改正和水准面不平行改正。

5 城市轻轨地铁工程测量精度保障体系

5.1 组织保障措施

建立层级分明的组织管理体系,明确各岗位的职责。设立工程总负责人、技术质量总负责人、生产组织总负责人等核心岗位,明确作业科室、质量管理科、总工办等职责分工,形成作业员—班组长—工程负责人—总工的质量信息反馈渠道。关键环节控制点普查维护、仪器检校、数据处理等由技术骨干来完成,保证各项精度控制措施的落实^[4]。

5.2 资源保障措施

根据任务量、工期要求合理配置人员、仪器设备、车辆等资源,投入足够数量合格的测量仪器并保证每台仪器都处于良好的工作状态。加强人员培训,作业前组织学习技术

设计书及有关规范,就精度控制要点、操作流程等进行专项讲解,保证作业人员全面掌握技术要求。配置专业的数据处理软件以及计算机设备,以保证数据处理的效率和精度。

5.3 质量控制措施

实行两级检查制度,即作业科室过程检查、质量管理科最终检查,关键生产环节设置质量控制点,标志普查维护、开工前培训、仪器检校、GNSS 观测与数据处理、水准观测等,由总工和质量理科严格把关。确定质量目标,保证最终产品 100% 合格,优良品率不低于 85%,所有的检查工作留有记录,保证质量可追溯。

5.4 数据安全措施

建立完善的数据备份、管理制度,对工序的电子数据及时异机备份,同时对备份文件的完整性、准确性进行检查。最后测量的成果由专业的部门进行归档管理,保证数据不会丢失、不会泄露。数据处理时不能随意删除或者修改原始数据,保证测量成果的真实性、可靠性^[5]。

6 结论

城市轻轨地铁工程测量精度控制属于系统工程,应根据工程实际需求,从理论依据、关键环节控制、保障体系构建这三个方面进行推进。二等 GNSS 测量、精密导线测量、二等水准测量作为核心的测量手段,精度控制要集中于仪器选型、观测规范、数据处理等关键环节,严格按照相关规范标准。完善的组织保障、资源保障、质量控制、数据安全等各项保障措施可以提高测量成果的精度和可靠性。

经过实践验证,科学合理精度控制策略可以给城市轻轨地铁工程的设计、施工、运维提供准确数据支撑,保证工程质量及运营安全。随着测量技术不断发展,可以采用智能测量设备、数据处理等技术,提高精度控制自动化水平及效率,给城市轨道交通工程高质量发展提供强有力的技术保障。

参考文献

- [1] 曹宝栋,方明. 三维激光扫描装备与技术在地铁测量中的应用[J].现代制造技术与装备,2023,(S1):22-24.
- [2] 雷飞. 地铁施工测量精度的影响因素及技术应用分析[J].运输经理世界,2023,(29):7-9.
- [3] 王渝,廖焱,张靖霞,等. 独立坐标系适应地铁规范测量精度的改造方法研究[J].重庆建筑,2023,22(03):62-66.
- [4] 蒋敏卫. 关于地铁工程测量的控制要点分析[J].科技创新与应用,2023,13(02):100-102+106.
- [5] 蔡嵩. 地铁施工测量精度的影响因素及技术应用[J].工程技术研究,2022,7(09):130-132.