

GPS 和精密导线在轨道交通控制测量中的应用

郭玉波

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 轨道交通是现代城市中不可或缺的重要组成部分, 在轨道交通的建设和运营过程中, 精确测量和控制是非常重要的, 此时, GPS 和精密导线作为现代控制测量技术的代表, 已经被广泛应用于轨道交通的控制测量中。基于此, 本文从轨道交通控制测量出发, 先对精密导线测量概念进行论述, 随后阐述了线路 GPS 控制布设的技术和应用要求, 以供相关人员参考。

关键词 GPS; 精密导线; 轨道交通; 控制测量

中图分类号: U12; P22

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0025-03

全球定位系统 (GPS) 是一种利用地球上的卫星进行定位和导航的系统, 能够提供高精度的位置和时间信息, 且 GPS 系统的测量精度可以达到几米甚至更高; 精密导线是一种利用线测量原理进行测量的技术, 它通过在轨道上铺设特殊的导线, 并利用测量仪器对导线进行测量, 可以获得高精度的位置信息。基于此, 本文对 GPS 和精密导线在轨道交通控制测量中的应用进行论述, 希望可以进一步增强轨道交通的安全性。

1 精密导线测量概述

精密导线测量是一种精确度要求非常高的导线测量方法, 因此, 在城市轨道交通工程平面控制网中, 精密导线测量通常用于建立二等控制网, 且与国家规范和城市规范四等导线相比, 精密导线测量技术要求基本一致, 但在导线总长度和导线边长上却有所缩短。另外, 精密导线网布设通常沿地铁线路方向进行, 并以附和导线、闭合导线或结点导线网的形式来呈现, 这种布设方式可以确保在不同区域测量结果保持一致性, 且能与现有城市坐标系统一致。

此外, 精密导线测量在建设工程中起着重要的作用: 其一, 它可以提供精确的空间坐标信息, 为工程的设计、施工和监测提供准确基础; 其二, 精密导线测量可以帮助确定地铁线路的位置和形状, 确保铁路和隧道的准确建设; 其三, 精密导线测量还可用于地形和土地测量, 以支持城市规划和土地管理。

2 线路 GPS 控制网

2.1 控制网布设

线路 GPS 控制网是在城市轨道交通工程中进行测量的重要工具, 用于实现精确的位置定位和导航, 而

在进行 GPS 控制网的布设时, 需按照一定的布网原则和步骤来进行, 此时, 应从整体到局部开展相应的布设, 进而确保布设控制点能覆盖整个轨道交通项目的范围, 在布设前需收集相关资料, 并进行现场探勘, 进一步了解项目建设区域的实际情况, 在这个过程中, 还需根据现场探勘和资料收集的结果, 结合国家控制网或平面控制网已有基础, 落实 GPS 控制网联测方案。

具体而言, 需满足以下几点要求: (1) 控制网内至少需要覆盖 3 个现有城市一等或二等控制点, 且这些控制点应均匀分布在控制网内, 对于不同线路交叉存在联络线的情况, 或者同一线路前的后期工程的相应衔接处也需敷设多个重合点, 如此, 方可确保精确测量的连续性。(2) 在非同步独立观测的过程中, 需借助非同步独立基线来设计闭合环或附合路线, 且所有闭合环或附合路线边数需高过 6 条以上, 与此同时, 控制网的布设也需在线路两侧并排进行, 此时, 控制点也需合理地布设在隧道的两侧出入口、竖井或车站附近, 且车辆段附近也需布设 3 个对应的控制点, 而相邻的控制点需符合通视需求。另外, 在布设控制点时, 应考虑到线路换乘站处及其他线路位置的布设, 以保证城市轨道交通项目的卫星定位控制网可以同城市轨道交通线路卫星定位控制网开展对应的平面衔接联系^[1]。

2.2 GPS 控制网的选点

GPS 控制网的选点是 GPS 测量中非常重要的一项工作, 它直接关系到测量结果的准确性和可靠性。第一, 控制点需至少关联两个以上方向通视要求, 且在进行 GPS 测量时, 信号可以从至少两个方向到达控制点, 并持续提高测量结果的可靠性; 控制点选址应避免高层

建筑物、玻璃幕墙及多路径效应的影响；第二，高层建筑物和玻璃幕墙会产生信号反射和折射，从而干扰测量结果。而多路径效应一般是信号在传播期间遇到障碍物后产生的干扰问题，针对这个问题，我们需要在视野极为开阔的地点开展相应的控制点布设工作；第三，控制点选址应考虑到能永久保存和施工便利的因素，避免受到施工机械的影响，同时，应参照施工全流程对控制点存在的影响问题进行后续工作，并明确方便施工的位置；第四，对于建筑物楼顶上的控制点，应选择联测极为便利的楼顶承重结构进行敷设；第五，为确保控制测量结果的精确性，要求控制点周围 200 m 内不存在无线电发射装置，并与高压输电线路保持 50 m 以上的距离，且在控制点高度角 15° 以上，不可出现过多的障碍物，以避免信号的遮挡和干扰；第六，选定好点位后，需对已有的城市控制点进行稳定性和完好性的检查，在这个过程中，如果发现已有的控制点不稳定或者损坏，需进行修复或重新选取；第七，选定好点位后需在现场进行标记，并绘制略图，这样可以方便后续的测量工作，并提供对控制点的准确定位和使用。

2.3 GPS 控制网形

就核心城区轨道交通沿线而言，其 GPS 点间距或车站间距需控制在 1.5 km 以内，而精密导线的布设需附合在 GPS 网上，且呈现单一附合导线或少量结点附合导线形式，由于部分轨道交通沿线只有 GPS 骨架点，且这些骨架点的距离大都不小于 2 km，区间长度较长，而这些 GPS 骨架点区间通常采用盾构法进行施工，在这种情况下，精密导线可附合在 GPS 网骨架点上，成为有很多节点的主副导线。另外，GPS 控制网络是现代轨道交通测量中非常重要的一部分，此时，在关键位置布置 GPS 点，可以对轨道交通进行精准监测和测量，而在一些核心城区轨道交通线路上，由于车站密集，为更准确地掌握每个车站的位置和方向，每个车站附近都布设有一个 GPS 点，这样就可以通过 GPS 测量和水准测量来获得每个车站的坐标和高程等信息，用于精确的设计和施工，以实现高精度的测量。

2.4 涉及变量

在卫星定位技术中，基线长度是指两个相邻测量点的位置之间的距离，其中，基线长度精度表示卫星定位控制网的测量精度，通常用单位长度内的误差标准差来表示，在实际测量中，基线长度测量误差包括随机误差和系统误差，而随机误差是由于观测仪器、

观测环境等因素所引起的不可预知的误差；系统误差是指与观测仪器校准和环境条件稳定因素有关的误差，且系统误差通常是恒定的，可以通过仪器校准和环境调节等手段来进行补偿。基于此，为了保证卫星定位控制网的测量精度，需按照一定要求选择观测时段数，而观测时段数的选择是基于统计学原理来确定的，在此期间，根据统计学原理，观测时段数越多，测量结果越可靠，基线长度精度越高，但在实际测量中，观测时段数不能无限制地增加，因为观测时段数的增加会增加测量时间和成本，因此，需确定一个最少的观测时段数，最少观测时段数确定需考虑测量精度和测量成本。

2.5 基线解算

基线解算是大地测量领域中的一项重要任务，它用于确定不同测量点之间的距离和方位角，对于短基线，可使用双差固定解和双差相位观测值来进行解算。而对于长基线，一般可以从双差固定解和双差浮点解中选择最优结果。在进行卫星定位控制网基线解算时，可采用卫星广播星历来提供定位信息，其中，基线解算主要模型和参数会根据不同时段进行调整，在每个时段解算时，需考虑卫星截止高度角、采样间隔、观测组合方式等相关因素，且在此过程中不需要考虑其他卫星轨道误差，只使用固定 IGS 轨道数据即可，除此以外，在进行基线检核时要求所有外业观测数据必须经过重复基线、同步环和异步环的检验，这样可以确保解算结果的准确性和可靠性，基线解算成果可以为地质勘探、测绘制图、导航定位等领域提供测量基础。

2.6 GPS 测量平差计算

在进行 GPS 控制网平差前，需确保控制网中的基线、重复基线、同步环、异步环都解算合格。然后根据实际需要选定国家点或城市高等级控制点进行三维无约束平差，并对起算点的可靠性及精度进行检查分析，确定起算数据无误后再进行二维约束平差。最终建立项目独立坐标系时，首先应计算并判断国家标准 2000 平面坐标系是否满足每个控制点投影变形不大于 $1/40000$ 的要求，在不满足要求的情况下选择合理的中央子午线和投影高建立独立坐标系^[2]。

3 精密导线测量

精密导线测量是一种重要的测量方法，广泛应用于建筑、工程以及制造业等领域，为确保测量结果的准确性，规范规定了精密导线测量需按照一定的技术要求进行操作，精密导线测量方法包括：全站仪测量法、

激光测距仪测量法，而无论是在建筑、工程还是制造领域，精密导线测量的应用都具有重要的作用。与此同时，精密导线测量方法的基本步骤包括：

1. 准备工作：确定测量区段和时间，确保安全，清理测量工具和设备。
2. 安装测量设备：使用专业测量仪器将测量设备安装在轨道上，确保设备能够准确获取导线的位置数据。
3. 开始测量：根据测量设备的指示，按照预定的测量路线进行测量；测量过程中要注意操作规范，保持测量设备的稳定状态，减少误差。
4. 数据处理：将测量得到的数据进行处理和分析，生成测量报告，此时，报告应包含导线的几何参数和位置偏差等信息，以便后续修正和维护。

4 GPS 在轨道交通控制测量中的应用

4.1 精确定位

无论是城市地下铁道线路还是乡村铁路，GPS 系统都能精准地定位列车的位置和速度。在过去，运输管理人员需通过人工巡视或依赖其他传感器设备来监控车辆的运行情况，而有了 GPS 系统的支持，管理人员可以远程实时监控所有车辆的位置和运行状态，及时发现并解决交通拥堵、故障和事故等问题，从而保证轨道交通运行的安全性和流畅性。与此同时，乘客可以通过 GPS 技术在手机或导航仪上实时查看到达目的地所需的时间以及最佳路线，从而节约了时间和精力。另外，GPS 系统还能够为乘客提供列车到站时间、接驳交通信息等实用功能，让乘客能更加方便地规划行程，进而提高出行的效率和舒适度^[3]。

4.2 线路规划和调度

利用 GPS 系统所提供的精准定位服务，轨道交通管理人员能准确了解车辆的实时位置和运行状态，且基于这些数据，他们能根据交通状况和乘客需求来优化轨道交通线路的规划，如在高峰时段分析实时车辆位置和拥堵情况，系统可以智能地调整公交车的行程路线，使得公交车更加高效地运行，减少拥堵问题，为乘客提供更舒适的乘坐体验。

另外，调度员可以实时查看车辆的位置、速度和运行路线，从而使得调度工作更加准确和高效，并根据实时数据来调整车辆的出站时间和站点到达顺序，确保车辆与乘客需求的匹配，最大程度地减少乘客的等待时间^[4]。

4.3 实时监控和紧急响应

随着世界人口的不断增长和城市化进程的加速，

轨道交通的重要性愈发凸显，然而，随之而来的问题也随之增多，在这一背景下，GPS 在轨道交通中的应用主要体现在实时监控功能，此时，安装 GPS 设备在交通工具中，监控人员可以实时获得交通工具的位置信息以及运行速度等数据，如是否出现拥堵、超速或者停滞的情况。

另外，一旦出现交通事故或紧急状况，监控人员可以通过 GPS 设备快速定位交通工具的位置，并迅速通知相关救援人员前往现场，这种应急响应机制可以极大地减少救援人员的反应时间，提高救援效率，并有可能挽救更多的生命，此外，GPS 定位还可以为救援人员提供实时导航信息，帮助他们快速到达目的地^[5]。

5 精密导线在轨道交通控制测量中的应用

5.1 轨道测量和调整

精密导线可以用于测量轨道的水平和垂直位移，以确保轨道的准确性和安全性，根据测量结果，可以及时对轨道进行调整和修正，保证列车的平稳运行。

5.2 结构监控

精密导线可以用于监测轨道交通系统的地下隧道、桥梁、车站等结构的形变和变化，通过持续地监测和分析，可以及早发现和解决潜在的问题，确保轨道交通系统的安全性和稳定性。

6 结束语

GPS 和精密导线技术在轨道交通控制测量中的应用为城市轨道交通的安全和运营效率提供了重要支持，通过精准的测量，运营人员能够及时采取措施来解决问题，并提高运营效率和安全性，且随着技术的不断发展，这些技术的应用将会更加广泛，为我们的城市交通带来更大的便利和改善。

参考文献：

- [1] 苏涛, 马全明, 宋超. BDS 在城市轨道交通工程控制网测量中的应用实践 [J]. 城市勘测, 2023(03):128-131.
- [2] 张成志, 刘晓晖, 罗育荣, 等. TD-LTE 系统新增 GPS 时钟源方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2023, 59(05):42-45.
- [3] 许家伟, 吴迪军. 城市轨道交通工程精密导线控制测量 [J]. 城市勘测, 2023(03):155-158.
- [4] 徐琳平. 城市轨道交通施工控制网测量技术探究 [J]. 智能城市, 2018, 04(08):129-130.
- [5] 孙颖慧. 轨道交通精密导线边长改正研究 [J]. 科技资讯, 2017, 15(33):57-58.