

基于北斗卫星导航系统的城市轨道交通工程控制网测量

孙普卫

西安铁一院工程咨询管理有限公司 陕西 西安 710065

摘要: 本文探讨了基于北斗卫星导航系统的城市轨道交通工程控制网测量技术。北斗系统以其高精度、短报文通信及与多系统兼容等优势,为城市轨道交通工程提供了可靠的定位支持。分析了传统测量方法的局限性,并提出基于北斗卫星导航系统的控制网测量方案设计,包括控制网布设原则、控制點選点与埋石、观测方案设计和数据处理方法等。通过具体工程实例,验证北斗系统在城市轨道交通工程控制网测量中的精度和可靠性,为工程的顺利推进和高质量完成提供技术保障。

关键词: 北斗卫星导航系统;城市轨道交通;控制网测量

1 北斗卫星导航系统概述

1.1 北斗卫星导航系统的组成与工作原理

北斗卫星导航系统是我国自主研发、独立运行的全球卫星导航系统,其构成主要由空间段、地面段和用户段三大部分组成。空间段包括多颗卫星,它们在地球周围按照特定轨道运行,不断向地球发射导航信号,覆盖全球范围。地面段则包括主控站、监测站以及信息注入站等地面设施,负责监控卫星状态、处理导航信号以及向卫星注入指令。用户段则是指各类接收机终端,能够接收卫星发射的信号,并通过计算得出用户的位置、速度和时间信息。北斗卫星导航系统的工作原理基于卫星测距和时间同步。卫星持续向地面发射包含卫星位置、时间和导航电文的广播信号,用户接收机接收到来自多颗卫星的信号后,通过测量信号传播的时间差,利用数学方法解算出自身的三维坐标、速度和时间信息。这一过程需要用户接收机具备高精度的时间测量能力和多频信号接收能力,以确保定位的精度和可靠性。

1.2 北斗卫星导航系统的优势

北斗卫星导航系统相较于其他全球卫星导航系统,具有多方面的显著优势。第一,北斗系统采用混合轨道设计,确保了在全球任何时间、任何地点都能有更多的可见卫星,从而提高了定位的精度和可靠性。第二,北斗系统还具备短报文通信功能,这是其他系统所不具备的独特优势,使得用户可以在没有网络覆盖的情况下实现信息交换和共享,尤其在搜索救援、灾害应急管理和部队指挥调度等方面具有重要应用价值^[1]。第三,北斗卫星导航系统还具备与GPS、GLONASS和GALILEO等系统的兼容互操作能力,多模接收机可以接收多个系统的信号,从而提高定位的精度和可靠性。同时,北斗系统的建设和发展也充分考虑了国家安全和战略需求,具有较

高的自主可控性和安全性。这些优势使得北斗卫星导航系统在全球范围内得到了广泛应用和认可,为我国的经济社会发展提供重要支撑。

2 城市轨道交通工程控制网测量需求分析

2.1 城市轨道交通工程特点

城市轨道交通工程作为现代城市交通体系的重要组成部分,具有一系列显著特点。首先,其采用列车编组化运行,运量大,能够有效缓解城市交通拥堵问题,提升公共出行效率。其次,城市轨道交通工程具备优良的线路条件与控制体系,使得列车行驶速度快、运行平稳,为乘客提供舒适、快捷的出行体验;该工程通常采用电力牵引,具有污染少、环保性好的优势,符合现代城市可持续发展的要求。在城市轨道交通工程的建设过程中,还需要考虑其敷设方式的多样性。工程可根据实际情况采用地下或高架敷设方式,占地面积小,对城市地面空间的影响较小。同时,城市轨道交通工程采用全隔离的路权方式,确保行车安全和可靠性,减少与其他交通方式的干扰。为了提升乘客的乘车体验,工程还配备了良好的环控体系和候车环境,为乘客提供舒适的候车空间。

2.2 控制网测量的精度要求

控制网的精度直接关系到后续工程的施工质量和运营安全,因此必须严格遵守相关规范和标准。一般来说,城市轨道交通工程控制网的建立需要满足以下精度要求:第一,控制网的布设应确保足够的密度,以满足地籍测量和图根测量的需求。根据规定的平均边长,可求出一个点的平均控制面积,确保整个工程区域都能被有效控制。第二,控制网的精度应根据实际测量需求和可能条件来确定。为了满足工程测量的高精度要求,通常要求一、二等控制网的边长误差小于0.1米至0.2米,

三、四等边长误差小于0.1米；控制网的布设还应考虑统一性，严格按照国家颁布的规范、规程以及测区的技术设计书进行作业，确保各级控制网的作业方法和精度要求得到严格执行。第三，在控制网测量过程中，还需要采用先进的测量技术和方法，如全站仪法、GPS测量法、电子经纬仪法等，以提高测量的精度和效率。同时，还需要对测量结果进行严格的质量检查和处理，确保数据的准确性和可靠性。

2.3 传统测量方法的局限性

传统测量方法在城市轨道交通工程控制网测量中表现出一定的局限性。传统测量工具（如千分尺、百分表、游标卡尺等）的精度相对较低，且测量基准通常为非加工面而非直接的主轴基准，容易导致测量结果不够准确；人为测量操作的随机性误差也较大，进一步影响了测量结果的可靠性。传统测量工具的量程较小，对于尺寸大、形状复杂的工程构件进行测量时显得力不从心。许多测量任务（如曲线、曲面类零件的测量）用传统工具难以完成，且测量过程耗时较长，降低了生产效率^[2]。另外，传统测量方法在城市轨道交通工程控制网测量中还存在一些其他局限性。如测量过程中容易受到天气、环境等因素的影响，导致测量精度下降。同时，传统测量方法对于控制网的实时动态监测和数据处理能力有限，难以满足现代城市轨道交通工程对高精度、高效率测量的需求。

3 基于北斗卫星导航系统的控制网测量方案设计

3.1 控制网布设原则

在基于北斗卫星导航系统的城市轨道交通工程控制网测量中，控制网的布设应遵循一系列原则以确保测量精度和可靠性。控制网应满足全域覆盖的要求，确保城市轨道交通工程沿线及关键区域都能被有效控制，不留死角；控制网应具有较高的精度和稳定性，以满足工程测量的高标准要求。为了实现这一目标，需要选用高精度的测量设备和先进的技术手段，并严格遵守测量规范和操作流程。在布设控制网时，还应考虑与城市轨道交通工程整体规划的协调性。控制网的布设应与工程线路、站点、隧道等基础设施的布局相协调，避免相互干扰和冲突。同时，还应预留一定的扩展空间，以适应未来可能的建设和改造需求。为了增强控制网的稳定性和可靠性，还应合理布设冗余控制点，确保在部分控制点受损或失效时，整个控制网仍能保持正常工作。

3.2 控制点的选点与埋石

控制点的选点和埋石是控制网测量中的重要环节，直接关系到测量结果的准确性和可靠性。在选点过程

中，应充分考虑控制点的稳定性和易于观测性。控制点应选在坚固稳定的地基上，远离振动源、电磁干扰源等不利因素，以确保测量过程中点位不发生移动或变形；控制点还应具有显著的标识和标志，便于后续的观测和维护工作。在埋石时，应选用质量可靠、耐久性好的材料制作控制点标志，并按照规范要求安装和固定。标志的埋设深度、尺寸和位置应符合设计要求，以确保其稳定性和安全性。在埋石完成后，还应应对控制点进行必要的保护和维护工作，如设置保护围栏、警示标志等，以防止人为破坏或自然侵蚀等不利因素的影响。

3.3 观测方案设计

观测方案设计是控制网测量中的关键环节之一，它直接决定了观测数据的精度和可靠性。在观测方案设计时，应充分考虑北斗卫星导航系统的特点和优势，制定科学合理的观测策略。首先，明确观测目标和任务，确定需要观测的控制点数量和分布范围。其次，选用高精度的测量设备和观测技术，如双频接收机、实时动态差分技术等，以提高观测精度和效率^[3]。在观测过程中，严格控制观测条件和环境因素，如卫星高度角、信号强度、多路径效应等，以减少对观测数据的干扰和误差；合理安排观测时间和周期，确保观测数据的连续性和完整性。在观测结束后，应对观测数据进行严格的质量检查和处理，包括数据筛选、粗差剔除、平差处理等步骤，以确保数据的准确性和可靠性。

3.4 数据处理方法

在数据处理过程中，应充分利用北斗卫星导航系统的数据资源和算法优势，采用科学合理的处理方法来提高数据的精度和可靠性。对原始观测数据进行预处理和筛选，剔除粗差和异常值等不利因素对数据的影响；采用精密的平差算法对数据进行处理和分析，如最小二乘平差、卡尔曼滤波等算法，以减小误差的积累和传递。在数据处理过程中，充分考虑控制网的几何形状和观测条件等因素对数据处理结果的影响。通过对控制网进行几何检核和统计分析等步骤，可以进一步验证数据处理结果的可靠性和精度。同时，还可以利用现代化的数据处理软件和工具来提高数据处理效率和自动化程度；在处理完数据后应生成详细的测量报告和图表等成果资料，以供后续工程设计和施工参考使用。

4 北斗卫星导航系统在城市轨道交通工程控制网测量中的应用实例

4.1 工程概况

(1) 项目背景：本项目位于某大型城市的南北交通轴线上，旨在构建一条贯穿城市核心区域的快速轨道交

通线路,以缓解日益增长的交通压力。随着城市人口的快速增长和经济的发展,传统的地面交通已经难以满足市民的出行需求,因此,该项目被视为解决城市交通问题的关键举措。

(2) 工程规模与特点:该项目全长约30公里,共设站15座,其中包括地下站10座、高架站5座。工程沿线穿越繁华商业区、历史文化保护区、城市绿地及河流等多样化区域,地质条件复杂多变。为保证列车运行的安全和高效,项目对控制网的精度要求极高,需达到毫米级水平。

4.2 控制网测量实施过程

在项目启动前,项目团队对北斗卫星导航系统进行详细的研究和测试,确保其能够满足项目的精度需求。同时,收集项目区域的地形图、地质勘察报告等基础资料,并进行了现场踏勘,确定控制点的初步布设方案;制定详细的测量计划和安全保障措施,为后续的测量工作打下坚实的基础;根据前期准备工作的结果,项目团队在项目区域内精心布设了100个高精度控制点,控制点间距约为300米,确保了控制网的密度和覆盖范围。在观测过程中,采用北斗卫星导航系统接收机进行多时段、多频次的观测,每个控制点均进行了至少12小时的连续观测,确保了观测数据的充分性和可靠性。同时还采用严格的观测质量控制措施,如卫星高度角限制、信号强度监测等,以减少观测误差;观测结束后,项目团队使用专业的数据处理软件对收集到的观测数据进行了严格的筛选、平差和精度评估。首先,剔除了含有粗差和异常值的观测数据;利用双差固定解算法进行了基线解算,得到了高精度的基线向量;通过三维无约束平差和约束平差,得到了控制网的平面坐标和高程成果。经过数据处理后的平面控制网精度达到 $\pm 1\text{mm}+1\text{ppm}$,高程控制网精度达到 $\pm 3\text{mm}$,远超传统测量方法的精度水平。

4.3 测量结果与精度分析

(1) 平面控制网精度:平面控制网的精度分析表明,北斗卫星导航系统在该项目中的应用达到了极高的精度水平。经过严格的数据处理和分析后,平面控制网各控制点间的相对精度均优于 $\pm 1\text{mm}$,完全满足项目对控制网精度的要求。这一成果不仅提高了施工测量的准确性,还为后续工程的结构变形监测、线路调整等工作提

供可靠的基准^[4]。(2) 高程控制网精度:高程控制网的精度同样令人瞩目。在北斗卫星导航系统的支持下,高程控制网的精度达到了 $\pm 3\text{mm}$,这对于城市轨道交通工程的高精度施工至关重要。高程控制网的精确建立,确保了隧道掘进、轨道铺设等关键施工环节的垂直度和平顺性,有效避免因高程误差导致的施工质量和安全隐患。

(3) 与传统测量方法对比:与传统测量方法相比,北斗卫星导航系统在城市轨道交通工程控制网测量中展现出显著的优势。传统测量方法如全站仪、GPS等虽然也能满足一定的精度要求,但存在观测效率低、受环境影响大、数据处理复杂等问题。而北斗卫星导航系统凭借其高精度、高可靠性和广泛的覆盖范围,大大提高测量工作的效率和精度,降低测量成本和人力投入。

4.4 应用效果评价

北斗卫星导航系统在城市轨道交通工程控制网测量中的应用取得显著的成效。首先,提高测量精度和效率,为工程的顺利推进提供有力保障;其次,降低测量成本和人力投入,提高项目的经济效益;再次,为施工过程中的变形监测和质量控制提供可靠的基准和依据;最后,推动测绘技术的创新和发展,为我国城市轨道交通工程的现代化建设提供了有力支持。

结束语

随着北斗卫星导航系统技术的不断发展和完善,其在城市轨道交通工程控制网测量中的应用前景将更加广阔。未来,随着北斗系统在全球范围内的进一步推广和应用,其在城市基础设施建设、智能交通管理等领域将发挥更加重要的作用,为我国的现代化建设和经济社会发展提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1]赵鹏飞,陈高峰,李小娟,等.基于北斗三号导航系统的卫星定位技术[J].中国空间科学技术,2022,42(2):7.
- [2]杨子辉,薛彬.北斗卫星导航系统的发展历程及其发展趋势[J].导航定位学报,2022,10(01):1-14.
- [3]苏相琴.北斗卫星导航系统的现状及发展前景分析[J].广西广播电视大学学报,2019,30(03):89-92.
- [4]李烽.城市轨道交通工程控制网测量建网策略[J].门窗,2020,(6):241-242.