

铁路工程北斗卫星导航系统测量技术分析

于 锋

(山西天昇测绘检测工程有限公司, 山西 太原 030001)

摘 要 本文以北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System, 简称 BDS)作为研究对象,阐述了 BDS 测量技术要点,包括基准站网布设、精密控制测量以及高精度变形监测,并分析了 BDS 测量技术的优势以及与其他技术的融合应用路径。根据大量工程数据结果显示,BDS 无论是在提高工程测量精度方面,还是在改善工程施工安全性方面,都具有显著作用,能够为铁路工程建设与运维提供技术支撑。

关键词 智慧管理;精细化测量;北斗卫星导航系统;通信网络

中图分类号:U28; P22

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.007

0 引言

BDS 是指由我国自主研发的全球卫星导航系统,而 BDS 测量技术则是基于北斗卫星导航系统,运用卫星信号接收、误差修正等一系列技术手段,实现目标位置、高程等几何参数的精确测量。其主要作用在于以相关数据参数,构建框架平面控制网,为工程线路设计或施工作业提供精准基准;也能利用布设监测点的方式,实现灾害预测与识别,保证施工工艺及时调整,维护措施具有针对性与可靠性,实现铁路安全运行。为保障 BDS 测量技术的合理应用,本文将阐述 BDS 测量技术的应用要点、应用优势以及创新方法。

1 铁路工程北斗卫星导航系统测量技术要点

1.1 布设基准站网

基准站网是指用于提供数据、定位、通信等服务的综合系统,其主要结构组成可分为以下三点。

1.1.1 基准站

基准站是指用于对卫星导航信号进行长期观测,并依靠通信设施,将数据结果传送至数据中心的固定观测站。其位置的选择效果将直接决定 BDS 的测量精确性,因此需要工作人员全面考虑工程所在区域的地形地貌以及地质条件,尽可能避开断层、滑坡等位置,优先选择地势较高、视野开阔的位置,完成基站建设。并要求各基准站沿线路走向交替布设,相邻站点的间隔距离应控制在 15 km 以内,保证基准站卫星信号追踪功能、可靠性监测功能的顺利实现。配备高精度北斗接收机,要求设备在静态测量模式下,定位精度达到毫米级,配备不间断电源,促进数据的连续可靠采集。一般情况下,星链数据的传输时间间隔应控制在 15 s 以内。

1.1.2 数据中心

数据中心的主要作用在于实现观测数据的解算分析以及平差处理,保证定位结果精度较高,之后依托数据播发系统,将其传输至用户终端。在实际应用时,为确保能够为用户提供高质量的位置服务,需要在数据中心设置自检功能、基站管理功能、用户管理功能以及系统监测功能。并配备高性能的服务器集群,要求每天可处理测量数据超过 10 GB,搭载数据处理算法以及卡尔曼滤波算法,提高数据的去噪效果、解算效率。结合数据备份机制,确保数据的安全性,避免因数据丢失,影响伪距改正,拖延工程进度。

1.1.3 通信网络

通信网络负责将采集后的观测结果实时传递至数据中心,常见的通信方式大多以光纤、5G 网络以及卫星通信为主。要求数据传输阶段,延迟不可超过 10 ms,数据传输成功率应超过 99.5%。而基准站接入端的误码率应控制在 10^{-8} 以内,链路可用性趋近于 100%。

1.2 精密控制测量

1.2.1 北斗框架平面控制网测量

北斗框架平面控制网是为全部测量工作提供统一的平面基准,因此其精度将直接决定工程在平面位置上的准确性。在构建控制网时,需要预先沿铁路沿线每隔 50 km 布设一个框架控制点,并结合静态相对定位技术以及接收机,做到同步观测多颗卫星,结合卫星信号的相关性,减少测量误差,且每个控制点均保持 48 小时以上的持续观测,确保数据丰富且稳定,直至观测结束后,结合数据处理软件,完成相关信息的过滤、筛选、提炼与存储。一般情况下,框架平面控制网的点位精度应控制在 $-5 \sim +5$ mm 之间。

1.2.2 基础平面控制网测量

基础平面控制网是以框架平面控制网为依托,经过一系列加密布设而成,其主要作用在于为工程详细测量,比如隧道等关键部位,提供更加精确、完整的控制点。在实际测量时,需要充分考虑工程所处地区的地形条件以及实际需求,将控制点间距控制在150~250 m之间,凭借接收机+全站仪的测量方式,获取控制点的大致坐标。之后对坐标结果实现精准测量与校准,计算控制点与已知点间的距离关系,该测量方式能够保证控制网点位精度在-3~+3 mm之间。

1.2.3 线路平面控制网测量

线路平面控制网是沿铁路线路走向布设的控制网,其主要作用在于调控线路的平面位置与走向,使其满足设计标准,提高列车安全性。以某铁路工程作为研究对象,为进一步增加测量的可靠性,工作人员选择BDS+GPS的创新测量组合,既能发挥GPS系统卫星分布广泛的优势,也能凸显BDS定位精度高、信号强的特点。在实际测量阶段,需要每隔50 m左右设置一个控制点,搭配差分定位技术,在已知坐标的基准站上测量卫星信号,在整合误差信息后,由流动站实现修正处理。根据分析结果显示,该工程中线路平面控制网的定位精度大约在-10~+10 mm之间,满足列车高速运行的严苛要求。

1.2.4 施工平面控制测量

施工平面控制测量的核心任务在于满足施工环节的精度要求,需要以基础平面控制网为基准,在施工现场设置大量的加密控制点。以载波相位差分原理为核心,利用基准站与流动站间的数据传输,确保在施工现场获取控制点的精准坐标。一般情况下,测量精度应达到厘米级,以桥梁墩台为例,在施工阶段需要完成控制点的测量放样,并将获取到的坐标与设计坐标比对,计算墩台的准确位置,指导后续施工作业,其中墩台的定位误差应控制在-5~+5 cm之间,用于保证桥梁结构稳定^[1]。

1.3 高精度变形监测

1.3.1 沉降监测

沉降监测的内容主要涵盖路基表面与基底、软土地基水平位移等,需要工作人员借助埋设沉降观测桩的形式,获取相关数据信息,并结合BDS系统,测量各主要层位的沉降量以及孔隙水压力。以某铁路工程为例,在路基沉降监测阶段,需要凭借BDS+水准仪的方式,在路基沿线每隔5 m左右设置一个沉降监测点,依靠接收机获取监测点的高程变化数据。根据数据显示,路基填筑后的半年内,沉降速率相对较大,

每月沉降量接近7 mm,而在12个月后,沉降趋于稳定,每月沉降量仅为1 mm。依靠数据分析,能够为后续的施工工艺调整提供参考依据,及时调节加载速率,保证路基稳定。

1.3.2 滑坡监测

滑坡监测是利用BDS系统,根据监测结果,判断是否存在山体崩塌、滑坡灾害隐患,在应用过程中需要将阵列式传感器以及光纤光站传感器有机结合,识别边坡岩土体的沉降现象、错动现象以及孔隙水压力变化情况,捕捉边坡特征信息。依靠无线方式将数据发回至数据中心,由工作人员采用分析软件,测算边坡的整体稳定性,从而及时发布预警灾情。比如某山区铁路工程项目,经过一年监测,发现某滑坡体在雨季的位移较大,当连续降雨三天后,滑坡体的水平位移一度达到15 mm。根据预警机制,工作人员第一时间采取防护措施,有效避免了滑坡对工程建设以及周边居民造成的安全危害。

1.3.3 膨胀监测

膨胀检测主要表现为存在特殊地质条件的铁路工程,比如膨胀土地区在夏季因失水收缩,导致路基存在一定的下沉现象,或是雨季膨胀土吸水,造成路基隆起,需要工作人员在路基中埋设传感器,结合BDS系统,掌握路基的变形状况,及时采取相应的排水措施。同时,在寒冷地区,部分季节性冻土在低温条件下容易出现体积膨胀,引发基面抬升。此类现象严重影响高速铁路的运行安全性,为此需要相关人员基于神经网络、云计算、数据库构建路基冻胀变形监测系统,该系统内置BDS程序,能够实现远程无人监控,自动收集季节性冻土的温度、水分等参数,捕捉路基性状变化,并依靠无线通信,将数据传递至监测中心,以便工作人员发布预警提示,为后续的防治对策提供参考依据。

1.3.4 挠度监测

挠度检测可以理解为对结构静态变形、混凝土徐变等现象的监测,若发现桥梁部分轴线位置变化偏离既定标准值,则可能对行车安全性产生严重威胁。为此,工作人员需要预先结合监测结果,判断梁轴线和悬索桥的主梁轴线位置是否超出安全阈值,提前判断桥梁的健康状态,保证组成挠度监测系统的基准站、监控中心能够实现数据的高度共享,以及实时交互。并结合桥梁加载实验,计算桥梁挠度,若桥梁承受设计荷载的80%,跨中挠度通常在15 mm,利用对挠度的实时监测,可以第一时间发现潜在的桥梁结构隐患,为桥梁的安全运营保驾护航。

1.4 动态测量

动态测量适用于铁路工程的轨道铺设阶段以及列车运行阶段,需要依靠 BDS 系统+惯性测量单元完成列车的动态定位以及姿态测量。该组合形式能够精确获取列车的速度、加速度等参数,通过搭载人工智能程序,可进一步提高监测作业的自动化水平,具有极高的推广价值^[2]。

2 铁路工程北斗卫星导航系统测量技术优势

BDS 在工程测量领域的优势主要表现为定位精度高,无论是在平面控制方面,还是在高程控制方面,都能使测量精度达到厘米级,甚至毫米级,且系统本身具有极强的抗干扰功能。比如在工程建设阶段难以避免地会受到各类电磁干扰,而该系统由于采用先进的信号处理技术以及抗干扰机制,即便在复杂电磁环境下仍能稳定作业。同时,系统的实时性特征显著,依靠实时动态差分技术以及网络实时动态技术,保证数据的快速交互,为工程施工与运维提供信息支持。

3 铁路工程北斗卫星导航系统测量融合应用

3.1 轨道精细化测量

BDS 系统可通过与其他技术软件程序有机结合,进一步提高应用效果,比如 BDS 系统+动态差分定位技术+惯性导航系统+数据处理程序,不仅能够有效完成轨道的平顺性参数采集,也能自主获取轨道的空间位置信息。以某铁路工程精调项目作为研究对象,该工程通过将多项技术整合,能够准确获取轨道的平面位置以及高程信息,并在施工现场布置激光测量设备以及全站仪,可进一步获取轨道的轨距以及高低差等信息。另外,也能精准测量轨道的曲线要素,在数据整合后,保证轨道精调后的精度控制在 $-0.5 \sim +0.5$ mm 之间,能够大幅度提高列车运行的舒适性,真正实现轨道测量作业的少人化,显著减少测量成本^[3]。

3.2 地质灾害监测

通常来说,铁路工程在穿越复杂地质区域时,难以避免地会受到多种灾害的威胁。为解决以往铁路隐患点排查不清、智能化水平较低、管理难度较大的问题,工作人员可将 BDS 系统作为技术核心,结合传感器技术、物联网以及 5G 通信、数据识别算法,搭载高清摄像头、激光雷达以及测斜仪,形成多元一体的智能化监测预警平台。在实际应用时,需要依托云计算、区块链以及机器学习算法,完成大数据处理,用于动态掌握地层变形量,设计预警阈值,完成铁路沿线高陡边坡位移、路基沉降等信息的监测预警,做到地质灾害的全

天候预警响应,致力于提高铁路运营管理效率。同时,在应用过程中还要为管理人员配备移动终端,使其通过手机 APP,实时获取施工装置的运行状态,也能快速定位人员所在位置,保证施工任务合理部署,完成施工材料的智能化管理,避免出现资源浪费^[4]。

3.3 智慧工地管理

智慧工地管理是将传统的被动监控转变为主动监管,需要将 BDS 与高分地图有机融合,搭配 GIS 系统以及 BIM 模型,组建智慧化网络管理平台,并为相关职工配备定位工卡、安全防护装置以及车载定位终端。在施工现场,布置大量传感器,将采集结果传输至数据终端,完成信息的集中整合、分析、存储与应用。根据数据反馈结果,实现人、机、料等因素的控制管理,要求平台能够具备智能决策、信息共享、互联协同等一系列功能。根据数据结果,界定不同区域的安全风险等级,并设计差异化的电子围栏。通过对比人员所在位置、活动轨迹与安全区域的重合状况,发布预警提示,提醒人员做好个人防护。同时,在应用过程中也要为平台布置自控制算法以及机器学习模型,使其能够自动优化、升级、更新,满足使用人员的多样化需求^[5]。

4 结束语

通过对铁路工程 BDS 测量技术应用要点展开分析讨论,包括科学布设基准站网,做好线路平面、基础平面、施工平面的控制测量,实现沉降监测、滑坡监测以及挠度监测;借助多技术融合应用,使 BDS 能够在提高测量精度、保证工程安全方面发挥重要作用,为铁路工程建设运营带来革命性改变。

参考文献:

- [1] 谢军,张建军.大数据时代“北斗”卫星导航系统发展研究[J].中国航天,2023(01):8-19.
- [2] 孙树芳,许云燕.北斗卫星导航系统在土地测绘坐标系选择中的应用研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2023,44(11):96-101.
- [3] 罗程.北斗卫星导航系统伪距差分定位技术的分析[J].科技创新与应用,2023(26):156-157.
- [4] 李克昭,石俊鹏.北斗/GNSS 实时动态差分技术的实验教学解析[J].测绘工程,2022,27(08):76-80.
- [5] 叶峰.大地测量及卫星导航定位技术分析[J].建筑·建材·装饰,2023(13):172-174.