

测绘工程中的 GNSS 技术在长距离线性工程定位中的应用研究

文 / 黄俊文 山东国建土地房地产评估测绘有限公司

冠英杰 山东国建土地房地产评估测绘有限公司

刘尚才 山东国建土地房地产评估测绘有限公司

摘要：随着国家北斗三号全球卫星导航系统全面建成，GNSS 的应用越来越广泛。GNSS 主要应用在导航、定位和授时方面，其中定位是在测量中的主要应用。本文系统研究了 GNSS 技术在长距离线性工程定位中的应用模式及其在提高测绘精度和效率方面的作用，分析了 GNSS 定位精度的影响因素，并探讨了针对这些因素的优化策略。通过改进数据处理方法、提升信号可用性以及综合运用现代技术，可以显著提高 GNSS 技术在长距离线性工程中的测绘性能。最后，文章提出了一系列实用的优化措施，为相关领域的研究与实践提供了理论支持和技术指导。

关键词：GNSS 技术；长距离线性工程；定位精度；数据处理；信号优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.116

引言

GNSS 测绘技术在工程测绘中的应用，有着高精度、操作简便快捷、自动化程度高的特点，使得该项技术在工程变形监测、放线定位、测绘模拟、工程复测等环节中得到了广泛应用，极大地提高了工程测绘的精度、质量与效率^[1]。随着 GNSS 技术的不断发展和完善，其在工程应用中的潜力及挑战也日益凸显。因此，本文将系统分析 GNSS 技术在长距离线性工程中的应用现状，探讨提高定位精度的关键因素，并提出相应的优化策略，期为相关领域的研究和实践提供理论参考和技术支持。

一、GNSS 技术在测绘工程中的基础概述

（一）GNSS 技术的基本原理

全球导航卫星系统（GNSS）涵盖了多个全球和区域的卫星导航系统，其中包括美国的全球定位系统（GPS）、中国的北斗卫星导航系统（BDS）、俄罗斯的全球导航卫星系统（GLONASS）和欧洲的伽利略卫星系统（Galileo）。这些系统通过由地球同步轨道上的多颗卫星构成的网络，向全球范围内的用户提供定位、导航与时间传递（PNT）服务。

在技术原理上，GNSS 通过接收从四颗或更多卫星传送的信号来计算接收器的位置。该过程基于测量从卫星到接收器的信号传播时间，进而推算出接收器与每颗卫星的距离。结合这些卫星的已知位置，可以利用三角测量法计算出接收器在地球上的确切位置^[2]。核心定位技术包括单点定位（SP）、差分定位（DGPS）、实时动态定位（RTK）以及精密单点定位（PPP）。

（二）GNSS 在测绘工程中的应用模式

在测绘工程中，GNSS 技术的应用可大致分为静态与动态两种测量方式。静态 GNSS 测量通常用于建立高精度的地面控制点，这一过程需要在一个固定位置上长时间地收集卫星数据以确保测量结果的准确性。动态 GNSS 测量，则适用于在移动状态下进行定位和跟踪，常用于道路测绘、管线跟踪以及其他需要边移动边测量的场景。

高精度的 GNSS 测量方法如实时动态定位技术（RTK）和精密单点定位（PPP）在现代测绘中扮演着日益重要的角色。RTK 技术通过使用固定的基站和移动站之间的差分信号来实现厘米级的定位精度，极大地提高了测量的效率和精度。PPP 技术则通过利用卫星钟差、轨道误差等精密改正信息，即使在缺乏地面基站支持的环境中，也能实现高精度定位。此外，随着技术的进步，连续运行的参考站（CORS）网络的建设与应用，为大范围、高精度的 GNSS 测绘工作提供了有力支撑。CORS 网络通过提供实时的改正数据，使得广大用户在不设立基站的情况下，也能在较大区域内进行高精度的动态测量。

二、长距离线性工程的特点与定位需求

（一）长距离线性工程的主要类别

长距离线性工程主要涉及三大类：交通类、能源输送类和水利类工程（如图 1 所示）。交通类工程包括高速公路和铁路建设，它们通常覆盖广泛的地理区域，对定位的连续性和精度有极高要求。能源输送类工程，如油气管道和电力输送线路，其特点是跨越复杂的地形，同时要求高度的路线精确性以确保安全和经济效益。水利类工程，如大型输水工程，通常涉及大规模的地形调整和长距离的水流管理，对高程控制和定位准确性的需求尤为突出。

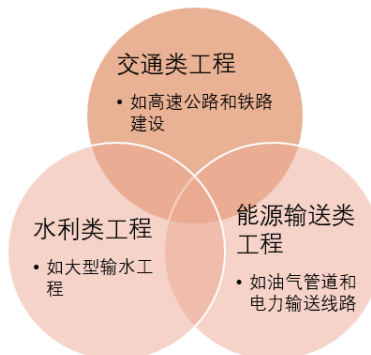


图 1 长距离线性工程的主要类别

（二）线性工程对 GNSS 定位的特殊需求

线性工程对 GNSS 定位技术提出了独特的需求，主要包括线路纵深性与高程控制需求、施工阶段的连续测量精度要求，以及复杂地形和环境干扰的挑战。线路纵深性要求 GNSS 系统能够提供连续的线性定位信息，支持工程全线的精准施工和后期维护。高程控制则是确保工程符合设计标准，特别是在地形起伏较大的区域。

施工阶段对测量精度的要求尤为严格。使用 GNSS 技术进行实时动态测量，可以有效地指导施工机械进行精确操作，减少人为误差，提高施工效率。此外，复杂地形如山地、城市或高桥隧道等地区，常会对 GNSS 信号造成干扰或阻挡，影响定位的准确性^[3]。因此，如何在这些环境下维持 GNSS 信号的稳定与精确，是技术改进和创新的重要方向。

三、GNSS 技术在长距离线性工程定位中的应用模式

（一）静态 GNSS 测量在长距离线性工程中的作用

静态 GNSS 测量是获取高精度控制点和精密基准数据的重要手段，常被应用于长距离线性工程的基准站设立与控制网络构建。该技术利用接收机在固定位置上连续观测较长时段的卫星信号，通过数据后处理来消除系统误差与随机噪声。此过程不仅为后续工程提供高精度的基准坐标，还为误差校准和坐标统一奠定了扎实的技术基础。由于长距离线性工程往往跨越多个地理区域，控制点分布的均衡性与观测时长的充分性对最终成果影响显著。为了提高测量成果的可靠性，应根据项目规模和环境特点，合理布设观测站，并对观测数据进行严格的质量控制与后期计算。在此过程中，常用的软件可根据轨道精密历元和钟差改正信息，对地形干扰及接收机硬件误差加以补偿，实现更加稳定的坐标解算精度。

（二）动态 GNSS 测量（RTK、PPP）在长距离线性工程中的应用

长距离线性工程施工与巡检任务，往往需要在移动或半移动状态下进行定位与导航。实时动态定位（RTK）技术可通过基准站与流动站之间的双向数据链，实现厘米级精度的动态定位。它在高速公路与铁路建设中作用明显，一方面为机械化施工提供准确的路线引导，另一方面辅助工程进度监控和质量评估。对于能源管道与输电线路的巡检，采用 RTK 能够快速判断作业点位置与既有线路偏差，降低安全风险。若工程环境复杂或基站信号覆盖不足，还可选用精密单点定位（PPP）模式。PPP 在缺乏地面基准支持的区域，依托精密轨道与钟差改正，维持亚分米至厘米级定位精度。由于水利调水工程常横跨山谷与平原，利用 PPP 在不便布设基准站地区实施动态测量，既可缩减人力投入，也能为后期管理提供连续的空间数据支撑^[4]。

（三）CORS（连续运行参考站）系统的协同应用

在长距离线性工程的测绘与定位中，CORS 系统通过区域性参考站网，为用户提供实时改正数据信息。其优

势在于可覆盖更大范围，并在多基准站联合解算的框架下显著提升定位精度。针对线性工程普遍存在的延伸性与多变地貌特征，可根据项目规模和技术要求布设 CORS 站点，保证信号覆盖的广度与质量。各参考站通常以固定坐标值为基准，通过网络化解算与通信系统向现场使用者发送高精度定位修正参数，进而使 RTK 或 PPP 接收机获得更可靠的位置信息。CORS 系统还可兼容多种卫星系统，包括 GPS、BDS、GLONASS 及 Galileo 等，有助于减轻遮挡环境中信号源不足的问题。对于地势起伏大的施工区域，CORS 提供的多路径误差校正与不良观测剔除机制，能强化数据的稳健性，使工程监测和施工放样具备更高可操作性与安全边际。因此，在长距离线性工程的全周期管理过程中，CORS 的应用不仅能够显著提高作业效率，还能为后续运维检测提供长期而高精度的空间参考依据。

四、长距离线性工程定位中影响 GNSS 定位精度的关键因素

（一）信号干扰与遮挡问题

在长距离线性工程中，复杂地形如山区和峡谷对 GNSS 信号的接收具有显著影响。这些地形会造成信号的遮挡，使得接收器无法捕获足够的卫星信号，从而影响定位的精确性。为克服这一挑战，采用多系统接收设备（如 GPS 结合 GLONASS 或 BDS）可以提高在复杂地形中的信号覆盖和可靠性。此外，城市环境中的高楼大厦也会引发多路径效应，即同一信号的多条路径反射导致接收器接收到多个信号。为改进此问题，现代 GNSS 接收器采用高级多路径误差缓解技术，如高精度相关技术和先进的信号处理算法，以区分直接和反射信号，提高测量数据的准确度。

（二）电离层和对流层延迟的影响

电离层和对流层延迟是影响 GNSS 信号传播时间，从而影响定位精度的两个重要大气因素。电离层延迟由卫星信号通过电离层时电子密度不均匀造成，其影响随频率变化而异。通过采用双频 GNSS 接收机，可以显著减少电离层引起的误差，因为两个不同频率的信号受电离层的影响程度不同，从而利用这一特性进行误差校正。对流层延迟则因气温、气压和湿度的变化而影响信号速度，其修正则依赖于精确的气象数据和复杂的算法模型，以预测和补偿这些延迟。

（三）卫星配置和几何分布

卫星的配置和几何分布对 GNSS 定位的精度起着决定性作用。理想的卫星几何分布可以极大地提高定位的精度和可靠性。当卫星分布广泛且均匀时，可以减少几何稀疏度（GDOP）的影响，从而提供更准确的位置信息。反之，如果卫星聚集在较小的空间区域内，其几何稀疏度增加，会导致定位精度下降。为此，GNSS 系统通常采用多颗卫星和多系统融合技术，以优化卫星的空间配置，确保在各种操作环境下都能维持高定位精度。此外，定期更新卫星星历和使用精确的卫星轨道数据也是保证定

位精度的关键措施。通过这些方法，可以显著降低因卫星配置不良带来的定位误差，特别是在长距离线性工程中，这一点尤为重要。

五、GNSS 技术在长距离线性工程中的优化策略

(一) 高精度 GNSS 测量的数据处理方法

在长距离线性工程的测绘与监测环节，数据处理的第一步往往围绕误差建模与后处理校正展开。实际操作时，可先将接收器采集的原始观测数据导入专业软件，以区分系统误差和随机噪声，并对卫星钟差、轨道误差以及电离层和对流层改正参数加以科学处置。为了提高解算的可靠性，需要通过多历元的观测冗余分析来识别异常值，并采用卡尔曼滤波或其他自适应算法对误差项进行实时或事后估计。该过程强调对基准站与流动站记录的同步检查，在保证时间基准一致的前提下，生成稳定的坐标序列。倘若区域内存在地形起伏或人造遮挡，应结合实地调查结果修正各观测点的环境参数，以便提升最终的坐标精度。

在组合测量方面，可将 GNSS 与惯性导航系统 (INS) 融合。INS 对短时段定位补偿在卫星信号遮挡明显的地域具有积极意义。融合算法一般可基于松耦合或紧耦合框架，将 IMU 的加速度和角速度信息与 GNSS 解算结果混合处理，得到平滑且连续的坐标轨迹。针对高精度地形测绘，还可采用 GNSS 与激光雷达 (LiDAR) 的联合作业^[5]。此时，激光点云数据将与 GNSS 位姿数据进行严格的时间标定和坐标系统转换，确保外方位元素的精确关联。为避免误差传播，应实施多次检校与配准，并在后期处理时根据激光回波信号的特性筛选噪声点。

(二) 提高 GNSS 信号可用性的措施

对于长距离线性工程而言，参考站布设策略直接影响数据采集效率与精度。通常可根据工程走向、施工环境以及卫星信号覆盖情况，在距离适宜且视野相对开阔的位置设置固定站。若线路跨域较广，可在关键节点建立多处参考站，利用覆盖重叠与互联通信系统进行网络化解算。这样能够保障不同作业队伍在统一基准下进行测量，并让后期的数据合并更为简便。参考站位置也应考虑地质和人文因素，以降低基准的稳固性风险。若涉及高海拔区域，需要额外关注温度、风力等环境条件对设备稳定运行的影响，并做好定期巡检与维护。

在卫星差分增强方面，卫星增强系统 (SBAS) 与地基增强系统 (GBAS) 具有可操作性。SBAS 能够向用户端下发广域差分改正信息，适宜大范围的定位修正。GBAS 则以地面站形式向附近范围内提供高精度定位改正值。要想切实应用这两种系统，需要在工程现场搭建符合标准的接收装置，或借助商业化服务平台获取相应的差分信号。对施工进度要求较高的项目，可以将 SBAS 或 GBAS 与施工机械控制系统进行软硬件联结，直接输出修正坐标供设备调用。

(三) 结合无人机和移动测量系统的综合应用

在超长距离或场地崎岖的工程区段，可以通过无人机搭载 GNSS 设备展开航空摄影测量。实施时，应先在布设若干已知坐标的像控标志点，让无人机飞行任务中获取的图像得到精确的外方位元素。随后，应将这些影像与 GNSS 空中差分定位信息配准，以生成三维地形模型或正射影像。对于航迹规划，应根据工程走廊的形状和高度变化进行分段设计，并保证影像覆盖具有一定的重叠率。无人机回收后，需要将导航数据和影像原始文件统一编号并导入处理软件，通过多视立体测图算法实现地物信息的数字化。

在平原或市政环境中，可利用配备多传感器的移动测量车搭载 GNSS 进行实时监测。此类车辆通常加载高精度惯导系统、高清摄像机以及激光扫描仪等设备，通过一体化数据采集程序，实时记录道路和周围环境的空间信息。为确保各模块之间的时空同步，需要在测量车上的主控系统设置稳定的时间基准。GNSS 天线应安装于无遮挡且结构牢靠的位置，使得接收的卫星信号持续且准确。对部分地形连续变化明显的路段，可选择分多次重复行驶，利用多帧数据互相校验，以确保坐标的连贯性和有效性。在全部数据整理完成后，可运用结构化数据库或地理信息系统 (GIS) 进行分类与汇总，并按照工程需求输出矢量或点云文件。借此手段，长距离线性工程的质量跟踪、进度安排以及后期规划都将获得可量化且精细化的空间信息支持。

结语

本文综合分析了 GNSS 技术在长距离线性工程测绘中的应用，突出了静态和动态 GNSS 测量的技术细节及其在工程中的具体应用。通过探讨影响 GNSS 定位精度的多种因素及其对应的优化措施，文章强调了数据处理的精确性、信号可用性的提高以及现代辅助技术的综合应用的重要性。研究表明，综合运用 GNSS 技术与现代测绘方法能够显著提升长距离线性工程的测绘精度和效率，有助于工程项目的精细化管理和高质量完成。未来，随着技术的不断进步和创新，GNSS 技术在工程应用中的潜力将进一步被挖掘，对工程测绘领域产生更深远的影响。

参考文献

- [1] 张盟. GNSS 测绘技术的特点及其在工程测绘中的运用 [J]. 科技资讯, 2021, 19(36): 31-33.
- [2] 郭永禧. GNSS 测量投影变形处理技术在公路工程中的应用 [J]. 云南水力发电, 2020, 36(08): 180-181.
- [3] 郑一涛. GNSS 测绘技术在工程测绘中的应用 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, (02): 99-101.
- [4] 赵文娇. GNSS 定位技术在测绘工程中的应用研究 [J]. 四川建材, 2022, 48(11): 251-253.
- [5] 马友俊, 金沙, 周学涛, 等. GNSS 测量技术在工程测绘中的应用 [J]. 中国住宅设施, 2024, (06): 109-111.