

基于GNSS-RTK技术的高精度地形测量应用研究

管宏业

浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院） 浙江 杭州 310000

摘要：本文聚焦于基于GNSS-RTK技术的高精度地形测量实施研究。首先阐述了GNSS-RTK技术的基本原理与特点，分析其在高精度地形测量中的优势。接着详细探讨了该技术在地形测量实施过程中的关键环节，包括测量前的准备工作、外业数据采集的实施要点以及内业数据处理的流程与方法。同时，对应用中存在的问题及解决措施进行了深入剖析。

关键词：GNSS-RTK技术；高精度地形测量；实施研究；精度控制

1 引言

地形测量作为地理信息获取的重要手段，在工程建设、城市规划、资源勘探、地质灾害监测等众多领域发挥着不可或缺的作用。传统的高精度地形测量方法，如全站仪测量、水准测量等，虽然具有较高的测量精度，但在测量效率、作业范围和受地形条件限制等方面存在诸多不足。随着全球导航卫星系统（GNSS）技术的不断发展，实时动态差分定位技术（RTK）应运而生，GNSS-RTK技术以其高精度、高效率、实时性等显著优势，逐渐成为高精度地形测量的主流技术之一。深入研究基于GNSS-RTK技术的高精度地形测量实施方法，对于提高地形测量工作的质量和效率，推动相关领域的发展具有重要的现实意义。

2 GNSS-RTK 技术概述

GNSS是由多个卫星导航定位系统组成的全球系统，涵盖GPS、GLONASS、BDS、Galileo等。GNSS-RTK技术是基于GNSS的实时动态差分定位技术，在基准站设接收机观测并发送数据，流动站接收卫星信号与基准站数据，经差分处理获精确三维坐标，实现厘米级实时定位。该技术特点显著：高精度，能消除大部分误差，满足高精度测量要求；实时性强，可即时获取结果并检查质量；高效率，无需通视，能快速完成大面积测量；操作简便，测量人员经短期培训即可掌握，减少繁琐观测计算过程。

3 GNSS-RTK 技术高精度地形测量应用过程

3.1 测量前准备工作

3.1.1 资料收集与分析

在进行GNSS-RTK地形测量前，需要收集测量区域的相关资料，包括地形图、控制点成果、坐标系统和高程系统参数等。对收集到的资料进行详细分析，了解测量区域的地形地貌、交通状况、卫星信号遮挡情况等信

息。例如，通过分析地形图，可以确定测量区域内的高山、河流、建筑物等分布情况，初步评估卫星信号可能受到遮挡的区域；了解交通状况有助于规划外业测量的路线和安排测量人员的行程。

3.1.2 控制点布设与测量

根据测量区域的大小和形状，合理布设一定数量的控制点。一般来说，对于面积在几平方公里到几十平方公里的测量区域，控制点的数量可根据区域复杂程度控制在5-15个左右。控制点应尽量均匀分布在整个测量区域内，且具有良好的通视条件和稳定的地质基础，避免布设在易受人为活动影响或地质不稳定的地方。控制点的测量可以采用静态GNSS测量方法，按照相关规范要求进行观测。观测时，每个控制点的观测时间应根据测量精度要求和卫星状况确定，一般不少于45-60分钟^[1]。例如，在进行高精度地形测量时，为了保证控制点的精度，每个控制点观测时间可设置为60分钟。观测过程中，要确保接收机正常工作，记录完整的观测数据。对观测数据进行处理，采用专业的GNSS数据处理软件，如GAMIT、GIPSY等，进行基线解算和平差处理，得到控制点的WGS-84坐标，其平面精度应达到毫米级，高程精度应达到厘米级。

3.1.3 设备检查与校准

在测量前，对GNSS-RTK设备进行全面检查，包括接收机、天线、电池、电台等部件的性能是否正常。对仪器进行校准，如对中杆的垂直度、基座的整平精度等进行检查和调整。对中杆的垂直度偏差应控制在 $\pm 0.5\text{mm/m}$ 以内，基座的整平精度应达到水准气泡居中偏差不超过 ± 1 格。确保仪器处于良好的工作状态，同时，准备好测量所需的辅助设备，如对中杆、脚架、棱镜等。

3.1.4 坐标系统和高程系统转换参数求解

GNSS-RTK测量得到的是WGS-84坐标系下的坐标，

而在实际工程中通常需要使用地方坐标系或国家坐标系。因此,需要求解坐标系统转换参数,将WGS-84坐标转换为所需的坐标。同样,对于高程测量,也需要将GNSS-RTK测量得到的大地高转换为正常高。可以通过在测量区域内已知控制点上同步观测,利用软件求解坐标转换参数和高程拟合参数。常用的坐标转换模型有布尔莎模型、四参数模型等。以布尔莎模型为例,该模型包含三个平移参数、三个旋转参数和一个尺度变化参数,通过多个已知控制点的WGS-84坐标和地方坐标,利用最小二乘法求解这些参数。在求解过程中,已知控制点的数量应不少于3个,且分布要均匀合理。求解完成后,对转换参数进行检验和评估,通过将转换后的坐标与已知坐标进行比对,计算坐标中误差。一般来说,平面坐标转换中误差应小于 $\pm 2\text{cm}$,高程拟合中误差应小于 $\pm 3\text{cm}$,确保转换参数的准确性。

3.2 外业数据采集

3.2.1 基准站设置

基准站应选择在视野开阔、交通便利、地势较高且远离大功率无线电发射源(如电视台、雷达站等)和高压输电线(距离应大于200m)的位置,以确保基准站能够接收到良好的卫星信号,并且便于电台信号的传输。将GNSS接收机安置在基准站上,对中整平后,连接天线、电台和电源等设备。设置基准站的工作模式、坐标系统、电台频率等参数^[2]。工作模式一般选择RTK模式;坐标系统设置为测量所需的坐标系统;电台频率应根据周围环境选择干扰较小的频段,一般可在450-470MHz范围内选择。启动基准站开始观测,观测过程中要密切关注接收机的信号指示灯和数据显示,确保基准站正常工作。

3.2.2 流动站操作

流动站测量人员携带GNSS接收机、对中杆等设备到达待测点位,将接收机安置在对中杆上,对中整平后,设置流动站的工作模式、电台频率等参数,使其与基准站保持一致。等待流动站接收卫星信号和基准站传输的数据,当仪器显示达到固定解状态时,记录该点的三维坐标。在测量过程中,要注意观察仪器的信号强度、卫星数量和精度因子(PDOP)等指标。信号强度应保持在良好以上(一般接收机有信号强度指示,如以格数表示,应达到3格以上);卫星数量应不少于5颗,且分布均匀;PDOP值应小于3,以确保测量数据的可靠性。

3.2.3 地形特征点采集

根据地形测量的要求,合理采集地形特征点,如山顶、山脊、山谷、鞍部、陡崖、河流、湖泊、道路、建筑物等的位置和高程。对于平坦地区,可以适当减少特

征点的采集密度,一般每隔20-50m采集一个特征点;对于地形复杂、起伏较大的地区,应增加特征点的采集密度,如在山坡陡峭处每隔5-10m采集一个特征点,以准确反映地形地貌的变化。在采集特征点时,要注意点位的合理性和代表性,避免遗漏重要地形信息。例如,在采集河流特征点时,应采集河流的起点、终点、拐点以及河宽变化较大处的点位。

3.2.4 碎部点采集

除了地形特征点外,还需要采集一定数量的碎部点,以更详细地描绘地形地貌。碎部点的采集可以采用草图法或编码法。草图法是在测量过程中,测量人员根据实地情况绘制草图,记录碎部点的位置和属性信息,内业时根据草图将碎部点连接成地形图。编码法是为不同类型的地物和地貌赋予相应的编码,测量人员在采集碎部点时输入对应的编码,内业时通过软件自动生成地形图^[3]。在采集碎部点时,采样间隔应根据地形复杂程度和测量比例尺确定。在1:500比例尺地形测量中,对于平坦地区,采样间隔可设置为5-10m;对于地形复杂地区,采样间隔可缩小至2-5m。同时,要注意碎部点的分布均匀性,避免出现局部区域碎部点过于密集或稀疏的情况。

3.3 内业数据处理

3.3.1 数据传输与预处理

将外业采集的数据从GNSS接收机传输到计算机中,一般可通过数据线或蓝牙方式进行数据传输。使用专业的数据处理软件对数据进行预处理,包括数据格式转换、数据筛选、异常值剔除等操作。例如,将接收机采集的原始数据格式转换为软件可识别的通用格式,如RINEX格式;筛选出有效观测数据,剔除因信号遮挡、仪器故障等原因产生的异常数据。检查数据的完整性和准确性,对缺失或错误的数据进行补充和修正。

3.3.2 坐标转换与高程拟合

利用外业求解的坐标转换参数和高程拟合参数,将GNSS-RTK测量得到的WGS-84坐标转换为所需的坐标,将大地高转换为正常高。在坐标转换过程中,要确保转换参数的正确输入,避免因参数错误导致坐标转换错误。对转换后的坐标和高程数据进行检查和评估,通过与已知控制点进行比对,计算坐标中误差和高程中误差。如发现误差超出允许范围,应重新检查转换参数或对数据进行处理。

3.3.3 地形图绘制

根据外业采集的地形特征点和碎部点数据,使用绘图软件(如AutoCAD、CASS等)绘制地形图。在绘制过

程中,要按照相关规范和要求设置图层、线型、颜色等参数,正确表示各种地物和地貌的符号和注记。例如,建筑物用实线表示,道路用双线表示,等高线用曲线表示并根据地形起伏设置不同的高程值。对地形图进行编辑和修饰,使其清晰、美观、准确。

3.3.4 精度检查与质量评估

对绘制好的地形图进行精度检查和质量评估,可以采用与已知控制点进行比对、检查地形图的几何关系等方法。计算地形图的中误差,评估地形图的精度是否满足设计要求。例如,在1:500比例尺地形测量中,地形图的平面中误差应小于 $\pm 0.25\text{m}$,高程中误差应小于 $\pm 0.1\text{m}$ 。对发现的问题及时进行修改和完善,确保地形图的质量。

4 GNSS-RTK 技术在地形测量应用中存在的问题及解决措施

4.1 信号遮挡问题

GNSS-RTK技术需要接收卫星信号才能进行定位测量,但在一些地形复杂的环境中,如山区、森林、城市高楼密集区等,卫星信号可能会受到遮挡,导致测量精度下降甚至无法测量。

解决措施:选择合适的测量时间和地点,尽量避免在卫星信号遮挡严重的时间段和区域进行测量。采用多基站技术,在测区内设置多个基准站,通过多个基准站的信号覆盖,提高卫星信号的接收质量^[4]。结合全站仪等传统测量仪器进行辅助测量,在卫星信号遮挡严重的区域,使用全站仪进行测量,以保证测量工作的顺利进行。

4.2 多路径效应问题

多路径效应是指卫星信号在传播过程中,遇到反射物(如建筑物、水面等)发生反射后,与直接到达接收机的信号产生干涉,从而导致测量误差的现象。多路径效应会严重影响GNSS-RTK技术的测量精度,特别是在城市高楼密集区和大型水面附近。

解决措施:选择合适的测量点位,尽量避免在反射

物附近设置测量点。采用抗多路径效应的天线,这种天线能够有效地抑制反射信号的接收,提高测量精度。增加观测时间,通过多次观测取平均值的方法,减少多路径效应对测量结果的影响。

4.3 数据精度稳定性问题

GNSS-RTK技术的测量精度受到多种因素的影响,如卫星数量、卫星分布、大气环境等,这些因素的变化可能会导致数据精度不稳定。

解决措施:在测量前,对测区进行卫星可见性分析,选择卫星数量较多、分布较好的时间段进行测量。实时监测测量过程中的数据精度指标,如固定解的可靠性、误差范围等,当发现数据精度不符合要求时,及时进行重新测量。定期对GNSS-RTK设备进行校准和维护,确保设备的性能稳定。

结语

本文深入研究了基于GNSS-RTK技术的高精度地形测量实施,分析其原理特点,阐述测量关键环节,剖析存在的问题及解决措施,该技术有效可靠,具有高精度、高效率、实时性等优势,应用前景广阔。展望未来,随着GNSS技术发展,GNSS-RTK技术将不断完善,多系统融合成趋势,与INS、LiDAR等技术集成应用将拓展其领域,且伴随人工智能、大数据等技术进步,数据处理和质控将更智能、自动,提升测量效率与质量。

参考文献

- [1]韩钧宇.工程测量工作中的GNSS-RTK技术实践[J].中华建设,2024,(11):148-150.
- [2]田慧,吴文娟.GNSS-RTK倾斜测量技术可靠性和精度测试及河道断面测验应用研究[J].城市勘测,2025,(01):67-71.
- [3]张笑蓉.GNSS-RTK技术在建筑工程测量中的应用及其对策研究[J].四川建材,2023,49(07):20-22.
- [4]伊马刚.工程测量工作中GNSS-RTK技术实践探究[J].房地产世界,2024,(01):134-136.