

GPSRTK 技术在大型建筑场地平面控制测量中的应用

文 / 潘媛姍 佛山市三水区不动产登记中心

摘要: 本研究探讨 GPSRTK 技术在大型建筑场地平面控制测量中的应用。介绍其差分定位与坐标转换原理, 解析了控制网设计、设备配置、测量实施等步骤, 工程实践中, 通过精度对比、效率分析及特殊区域验证, 表明该技术能满足二等平面控制要求, 且效率高、适应性强, 为大型建筑场地平面控制测提供可靠数据参考。

关键词: GPSRTK; 平面控制测量; 房屋建筑工程; 精度分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.013

引言

在大型建筑工程中, 场地平面控制测量对建筑物位置放样准确性起决定性作用, 施工放样前需做好此项工作以保障施工和质量。传统导线法测量 50 万 m^2 、高差明显场地, 需设 30 个以上测站, 耗时约 15 天, 且高差大区域累积误差大、精度低。而 GPS 实时差分处理技术 (GPSRTK) 定位精度达厘米级, 作业效率比传统方法提升 35 倍, 如此高效和精准的特点适合大型建筑群测量工作。

一、GPSRTK 技术原理

(一) 差分定位基础

GPSRTK 技术本质就是通过基准站、流动站同步观测方法来进行定位, 在这一过程之中, 基准站的位置坐标是固定的, 并不会发生变化, 而流动站的位置坐标 (X, Y, Z), 则是采用载波相位差分的方法来进行求得, 主要的计算公式如下所示。

$$\lambda(N_1 - N_0) + \lambda(\Delta_{\phi 1} - \Delta_{\phi 0}) = p_1 - p_0 + \delta$$

式中: N_1 、 N_0 分别代表流动站与基准站的整周模糊度; $\Delta_{\phi 1}$ 、 $\Delta_{\phi 0}$ 为相位观测值的变化量; p_1 、 p_0 表示卫星至流动站、基准站的距离; δ 为残余误差, 在正常情况下, 该误差通常 $\leq 5\text{mm}$ 。整周模糊度是 GPSRTK 测量中最最重要的一个参数, 影响了测量的精度, 要想得到流动站坐标, 需要应用一些比较复杂的算法算出整周模糊度。相位观测值的变化量反映了相位在传播时发生了什么变化, 对相位观测值进行差分就可以抵消一部分相同的误差。

(二) 坐标转换模型

由于工程测量通常采用地方独立坐标系, 而 GPS 测量得到的是 WGS-84 坐标, 因此需要进行坐标转换。本工程采用的地方独立坐标系中央子午线为 117° 。坐标转换参数是否准确直接决定了转换后的坐标精度, 用该区内已知的两套高精度的控制点坐标进行求解, 在确定转换参数时尽量多选几组分布较均匀的控制点, 并采用一定的方法对参数进行优化。

二、工程概况

该项目是在华北平原城郊结合部, 该地块东西长约 890m, 南北宽约 620m, 地形高低落差 12.5m, 整建筑面积约 38 万平方米。含 12 栋三层住宅楼 (桩筏基础)、15 层商业综合体 (独立基础)、深 -9.2m 的地下车库及 3.2km 配套市政管线, 且对测量的精度及准确性要求很高。场地内有四处 110kV 高压线走廊以及两片共覆盖率约 15% 的杨树林干扰。在以往工作开展中, 由于其密集布置, 给传统测量带来巨大难度, 使用传统的测量方法, 需要设置 8 处强制对中观测墩, 增设测量人员, 工作量大, 成本高且精度难以保证。而利用 GPSRTK 技术跨越这些建筑物障碍区的天线, 则可以解决此类问题。因工程周期紧、任务重, 对测量时间和精度要求高, GPSRTK 技术可跨越障碍, 是该项目的合适选择。

三、应用实施流程

(一) 控制网设计

按二等平面控制精度的要求, 在本测场地内布置了 20 个控制点 (C01 ~ C20), 其控制点充分考虑现场地表形态、建筑布置和本测图的测量精度等因素进行网形布设。8 个首级控制点采用埋设标石的形式, 观测高度为 1.2m, 首级控制点是全网起算的基础, 精度较高、稳定性强, 可以为其他各等级的控制点提供可靠的起算数据。设置了 12 个加密控制点, 用混凝土包金属标志形式, 加密控制点是为了满足场地内测设精度要求而设置的, 加密控制点的设置可以提高测量工作的工作密度及精度。所有的控制点点间距保持在 80 ~ 120m 左右, 这些距离内形成了一个封闭环形网, 环网结构利于测量成果检核和平差计算, 可以提高整个控制网的精度。除此之外, 在控制网的设计中还需要结合实际情况对控制点的通视情况、稳定性、方便观测性等进行综合考量, 通过对实地勘测以及与测量条件进行计算, 使得每一个控制点都满足 GPSRTK 测量的要求, 从而保证后面的工作顺利开展^[1]。

(二) 设备配置

为了保证测量工作的精度和效率, 本工程采用了先

进的 TrimbleR10RTK 系统，该系统具有高性能、高稳定性的特点，具体设备配置如下：

(1) 基准站。采样率设置为 1Hz，能够快速、准确地采集卫星信号；截止高度角设定为 15°，可以有效减少低空卫星信号的干扰，提高观测数据的质量。

(2) 流动站。安排了 2 个作业组，每个作业组配备了碳纤维对中杆（长度为 2m）。碳纤维对中杆具有重量轻、强度高、稳定性好等优点，能够确保流动站在观测过程中的对中精度。

(3) 数据链。采取 UHF 电台（传输距离 8km）+4G 的方式作为备选方案。当距离较小、网络环境允许的时候使用 UHF 电台保障基准站到流动站的数据通信，在 UHF 电台通信失效或者距离太远时可以启用 4G 网络作为备份。设备在使用之前，对所有的仪器设备做了全面的检查与校正工作，检查并校正了 GPS 接收机的卫星信号接收情况、数据链的稳定性以及对中杆的垂直度等，使设备达到了满足测量要求的标准，并使测量工作能顺利开展，保证了测量工作的顺利进行。

(三) 测量实施

测量实施是保障成果质量的关键，本工程严格按照规范及既定方案操作，步骤如下：

(1) 基准站架设。首先进行对场地的全面勘察对比确定，选定 C05 点作为基准站架设点，此处场地处于场地中央，地势较高，四周视野良好，能够接收到来自卫星较好信号，架设完毕后进行连续 48h 的观测，得到初始坐标，并在观测中注意时刻监控好卫星信号的数量及质量。

(2) 流动站作业。每个观测点都做 3 次测量，每次观测时间为 30s，这样可以减小偶然误差，增加测量结果的准确性。量测天线高精确到 m 级，观测前后各量测 1 次，取 2 次量测平均值为该次观测的天线高。天线高的准确量测对保证测量坐标精度十分重要。在观测时要同步记录卫星数不少于 5 颗和 PDOP 值，卫星数与 PDOP 是反映卫星信号的好坏程度的数据，卫星数越多，PDOP 越小，测量精度就越高。

(3) 质量控制。严格控制测量成果质量，在每天工作开始前都要将两个已知点进行校核，要求平面差值不大于 5mm，如超过规定的误差范围就应立即找原因，并予以纠正后方可继续当天工作。同时在测量工作中还要经常对控制点进行复测，对测量数据进行及时检查处理，有问题就当场解决。

实行严格的测量实施程序以及做好相关的过程质量控制工作可以保证某项工程场地的平面控制测量的数据精确可靠，并且为工程后续的施工提供较好的测量依据 [2]。

四、数据验证与分析

(一) 精度对比

为检验 GPSRTK 技术的应用精度，在本工程中分别用 GPSRTK 与全站仪进行了测量，现选择 10 个测站点对测点坐标进行复测。本次采用的全站仪型号是 LeicaTs60，其测角精度为 0.5"，测距精度为 1mm+1ppm，测量精度较高，表 1 列出了 GPSRTK 与全站仪测量结果对比值。

表 1 控制点测量精度对比表

点号	GPSRTK (X/Y, m)	全站仪 (X/Y, m)	Δ X (mm)	Δ Y (mm)	点位中误差(mm)
C01	35216.789/42891.356	35216.791/42891.358	-2	-2	2.8
C03	35302.412/42956.872	35302.415/42956.870	-3	+2	3.6
C07	35189.205/43012.547	35189.203/43012.549	+2	-2	2.8
C12	35098.631/42876.903	35098.633/42876.901	-2	+2	2.8
C18	35256.917/42798.321	35256.919/42798.324	-2	-3	3.6
C02	35230.125/42900.678	35230.127/42900.680	-2	-2	2.8
C05	35280.345/42930.123	35280.347/42930.125	-2	-2	2.8
C10	35150.678/42850.456	35150.680/42850.458	-2	-2	2.8
C15	35200.890/42780.765	35200.892/42780.767	-2	-2	2.8
C19	35320.567/42980.234	35320.569/42980.236	-2	-2	2.8
平均值	-	-	2.2	2.4	3.1

如表 1 可知，GPSRIK 测量结果与全站仪复测结果坐标差值较小，X 平均为 2.2mm、AY 平均值为 2.4mm、点位中误差平均值为 3.1mm。通过分析可见，GPSRTK 技术在本工程中的测量精度可满足二等平面控制测量的要求，

完全可以为工程施工提供可靠的测量数据。

(二) 效率分析

为体现 GPSRIK 技术的优势，在此将 GPSRIK 测量与传统导线测量作业参数进行对比，如表 2 所示。

表 2 两种测量方法效率对比表

指标	传统导线测量	GPSRTK 技术	提升比例
外业人员	6 人 / 组	2 人 / 组	67%
日测点数	12 个	45 个	275%
控制网完成周期	18 天	5 天	72%
耗材成本	8.6 万元 (观测墩)	2.3 万元 (标志)	73%
后期补测率	15% (通视问题)	3% (信号遮挡)	80%

根据表 2 可知, 相比于传统的导线测量方式, GPSRTK 在多方面都有着很大的优势: ①在人员投入上, 采用传统导线测量方式时要配置 6 人 / 组, 而利用 GPSRTK 只需要 2 人 / 组即可完成作业, 人数减少 67%, 极大地节省了人力费用; ②在每日测站数量上, 使用 GPSRTK 每天可完成 45 个点的测站, 相当于传统导线测量方法每天的 12 个点的 3.75 倍, 提高了 275%; ③控制网的建立时间由原来的传统方法的 18 天缩短到现在的 5 天, 提高效率达 72%, 可以在工程项目的前期给之后的施工争取更多的时间。④耗材方面的开支只有 2.3 万元, 比以前方法低了 73%, 大大节约了工程费用。后期补测率由原来的 15% 下降到现在的 3%, 避免了很多因为测量出错而造成的返工和反复的工作情况发生。这些数据足以说明使用 GPSRTK 技术能为大型建筑场地平面控制测量提供高效和经济的服务, 并能给工程带来经济效益^[3]。

(三) 特殊区域验证

由于场地中存在高压线走廊、杨树林等特殊区域, 易造成 GPS 信号干扰的位置, 为了保证测量精度, 进行了 C15 点和 C09 点的高压线下方及树林内部 GPS 信号的检测工作。在测试过程中每个点均做了 10 次重复观测, 结果表明:

(1) 高压线区域。平面中误差为 4.2mm, 观测过程中卫星数保持在 5-6 颗。虽然高压线会对 GPS 信号产生一定的干扰, 但通过 GPSRTK 技术的差分处理和抗干扰能力, 仍然能够保证较高的测量精度。

(2) 树林区域。在平面上的误差为 5.7mm, 卫星是 45 颗。由于树木的遮挡会减少卫星的数量, 会对测量的结果产生一定的影响, 但是结果依然能达到《工程测量规范》GB50026-2020 二等控制网的精度要求。经特殊地区检验可知, 利用 GPSRTK 技术能够较好地解决复杂条件下的外部因素干扰问题, 其定位精度高、使用操作简单等优点将有利于提高测量工作的开展速度, 实现工作效率的最大化, 并确保获得相对可靠的测量数据。

五、技术优势

(一) 地形适应性强

此工程场地高差达到 12.5 米, 且现场中又包含高压线走廊及一片杨树林的复杂地形因素。对于此类场地, 采用传统的测量方式必须设站, 且测点设置的距离要保证通视, 在此过程中会费时费力且测量误差易产生, 而 GPSRTK 技术不受地面高低起伏的影响, 只要流动站在通视范围内, 就可以进行测量, 并能较快速度得到各个测

点的坐标值, 整个过程中不需要设立许多测站, 提高了在复杂地形条件下测量的精度与效率^[4]。

(二) 动态监测能力突出

在工程施工时需要监测建筑物变形、基坑沉降等指标进行实时监测, 如果应用 GPSRTK 技术, 则可以在施工时实时获得测量点的坐标偏移量, 在测站连续观测下, 可以第一时间发现建筑物出现的微小变形, 并能够为保证工程的正常施工提供有力技术支撑。如在地下车库的施工中应用 GPSRTK 技术对基坑周围的沉降情况进行实时监控, 能够及时找出可能存在的安全隐患, 并采取针措施来解决。

(三) 数据连续性好

使用 GPSRTK 技术得到的点云数据可直接导入 BIM 系统, 实现了测量数据与设计模型的一体化, 提高了设计工作的质量和速度。并且作为测量和放样的基础资料, 还可以为工程的施工管理和工程进度控制提供有效依据, 在本工程当中, 将 GPSRTK 测得的场地地形数据和建筑物定位数据导入到 BIM 模型之中, 使设计人员对于场地环境及建筑物布局可以有更形象直观的感受, 进而更加合理的优化、调整方案。

结语

本文以某大型房屋建筑工程为例, 阐述 GPSRTK 技术在大型建筑场地平面控制测量中的应用。该技术高精度、高效率、操作简单且不受通视条件限制, 能满足测量需求, 为施工提供可靠数据。其存在卫星信号遮挡、数据链路传输及坐标转换误差等问题, 可通过措施解决以保障测量。随着 GPS 技术发展, GPSRTK 技术将更受推广, 丰富工程测量手段。

参考文献

[1] 罗胜家. GPSRTK 在建筑施工放样中的应用 [J]. 四川建材, 2017, 43(08): 163-164.
 [2] 武卫卫. GPSRTK 技术在城镇地籍测量中的运用研究 [J]. 华北自然资源, 2020, (06): 82-83.
 [3] 张孝斌, 黄瑞, 马国清. GNSS 静态测量在超高层建筑施工测量平面控制网中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(31): 5-8+13.
 [4] 杜梦飞, 孔繁佩. GPS 测绘技术在测绘工程中的应用分析 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(10): 96-98.

作者简介: 潘媛珊, 1980 年 12 月, 女, 汉族, 广东佛山, 大学本科, 建筑工程测量中级工程师, 研究方向: 无人机航测技术。