

Digital cadastral survey, GPS control network layout and accuracy analysis

Kai Jia

Taiyuan Urban and Rural Planning Survey Center, Taiyuan, Shanxi, 030002, China

Abstract

With the rapid advancement of digital cadastral surveying, GPS control network deployment has become a critical factor in enhancing measurement efficiency and result accuracy. This study investigates control point layout principles, observation methods, and network structure design under complex survey area conditions. By integrating rigorous adjustment models and error evaluation methodologies, we systematically analyze the precision performance in both planimetric and elevation directions. The results demonstrate that the constructed control network exhibits stable structure with reasonable error distribution, where observed data meet precision requirements. The proposed technical approach demonstrates strong applicability and promotion value in practical engineering applications.

Keywords

Digital cadastral surveying; GPS control network; Adjustment processing; Precision analysis

数字化地籍测量 GPS 控制网布设与精度分析

贾凯

太原市城乡规划测量中心, 中国·山西太原 030002

摘要

数字化地籍测量快速推进的背景下, GPS控制网布设成为提升测量效率与成果精度的关键环节。本文围绕测区复杂环境条件, 研究了控制点布设原则、观测方法与网络结构设计, 结合严密平差模型与误差评估方法, 系统分析了平面与高程方向的精度表现。结果表明所建控制网结构稳定、误差分布合理, 观测数据满足精度要求, 所提技术路径在实际工程中具备良好的适用性与推广价值。

关键词

数字地籍测量; GPS控制网; 平差处理; 精度分析

1 引言

国土资源信息化快速发展的背景下, 地籍测量逐渐向高精度、高效率的数字化方向转型, GPS 作为现代测量技术的重要组成, 其在地籍控制网建设中的应用已成为主流手段之一, 传统地籍控制方法存在布设周期长、人工干预多、精度受限等问题, 难以满足当前大范围、高密度、不规则用地测绘的技术需求。GPS 技术具有全天候、长距离、高精度等优势, 可以有效提升地籍测量的质量和作业效率, 在数字化测图系统中构建合理的 GPS 控制网, 是实现空间数据高质量获取的关键环节, 也是后续地籍信息管理与更新的基础支撑。

2 工程概况

本次地籍测量项目位于某市郊区城乡结合部, 覆盖面积约 48 平方公里, 地形类型以丘陵和平地相间为主, 局部区域存在水田、林地和建设用地混杂现象, 地貌复杂, 通视条件差异较大, 测区内既有多条高压线路和交通干线穿越, 又包含大量新旧混杂的居民住宅区, 测量环境干扰因素较多。区域内原有控制成果分布稀疏, 部分点位因城市扩展已遭破坏, 缺乏统一精度标准, 难以支撑大比例尺地籍图更新和权属管理, 项目任务要求建立完整的 GPS 控制网, 实现测区范围内控制点的重新布设、观测与精度检核, 为后续地籍数据采集与数据库建设提供技术支持。测量作业严格依据相关测绘技术规范组织实施, 控制网设计需兼顾布网合理性与成果精度, 满足后续图根控制需求, 并适应数字地籍信息系统的接口和位置精度要求。

【作者简介】贾凯 (1971-), 男, 中国山西万荣人, 本科, 工程师。

3 控制网布设技术

3.1 点位布设原则

控制网点位的布设直接影响整个地籍测量的精度、效率与数据一致性，满足《全球导航卫星系统测量规范》基础上，应结合测区内的实际环境条件和数字化作业需求进行点位设计。点位分布应覆盖整个作业范围，在区域几何形态上形成均匀分布，避免长条形、锐角形结构，控制点应选择在地质稳定、视通条件良好、易于长期保存的位置，远离高压线路、电磁干扰源以及建筑阴影遮挡区域。

城市边缘与乡村过渡区域常见的测量障碍如林带遮挡、水体反射等对信号接收有较大影响，点位应避免信号多路径效应显著的位置，为增强控制网整体刚度与数据可解性，控制点间应建立合理的观测通道，满足闭环环结构要求^[1]。布设时参考原有测点进行复测检核，对丢失或破坏点位进行补点并拓展合理分布，保证新旧控制体系的兼容性，图 1 为本项目 GPS 控制网布设示意图，展示了各等级控制点在测区中的分布结构及其连接关系，反映出控制点间观测通视线路的规划成果。

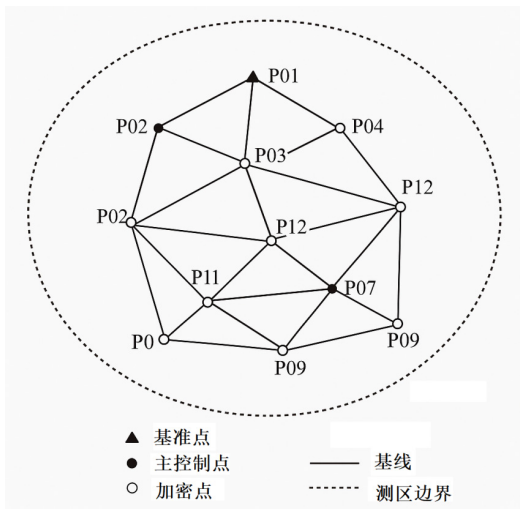


图 1 GPS 控制网布设示意图

3.2 观测方法选取

测量作业使用双频 GNSS 接收机进行数据采集，选用静态观测与快速静态观测相结合的方式开展作业，对基准点和主控制点，使用静态长时段观测，以获取高精度坐标成果，满足高等级平差要求，观测时间一般控制在 40 分钟以上，根据测区间视距和 GNSS 星历质量适当调整。

中继点与辅助控制点之间则使用快速静态观测技术，提高效率并减小布网周期，快速静态观测使用平均时长 15 至 30 分钟的观测方案，要求观测期间至少观测到 5 颗卫星，DOP 值不大于 4，数据采样间隔一般设置为 15 秒，全站仪用于辅助观测不可视的连接基线，作为独立检核数据参与平差计算^[2]。

作业期间对各测站进行多次重复观测，形成多条冗余

基线来增强数据的稳定性，原始观测数据经转换与格式统一后，统一进入数据后处理流程，保证数据时段、坐标系统、天线高等信息记录完整，观测时段避开太阳风暴、电离层扰动等异常气象周期，保证数据质量满足精度需求。

3.3 网络结构设计

控制网的结构设计关系到数据平差的稳定性与误差分布的合理性，网络设计以闭环环状结构为主，辅以十字形或放射状观测路线，保证整体网形张力的前提下增强点位之间的几何关系强度^[3]。主控制环路覆盖全区域边界，次级环路在主环内部填充，形成复合控制圈层结构，使得任何控制点均能处于多重约束中，有利于局部坐标误差的约束与消解。测区根据地形分布分为北、中、南三个子区，每个子区单独成环，环内各控制点之间形成双向基线观测路径，控制网连接线路在规划时尽量避免超过 25km 的长基线，减少大气延迟、基线解算误差等因素的影响，对视通条件受限区域通过短基线布设密集控制点，以维持基线长度一致性与网形平衡。

网络布设过程中，统一使用 2000 国家大地坐标系统与 1985 国家高程基准，坐标投影使用高斯 - 克吕格投影三度分带，所有控制点设立实物标志，使用钢筋混凝土基础与不锈钢测标，周边设置标识牌和保护装置，满足长期使用要求。点位信息基于 GNSS 原始解算成果传入控制网平差系统，形成统一的控制数据文件，便于归档与共享，网络设计阶段同步构建点位数据库，包括点名、坐标、类型、观测信息、周边环境照片等元数据，为后期测量作业、精度评估和数据更新提供结构化支持。网络结构在保证精度需求的基础上兼顾布网经济性与施工可行性，符合当前数字地籍测绘的精细化作业标准与工程实践需求。

4 精度分析方法

4.1 数据平差处理

GPS 控制网观测完成后所有原始数据需统一整理、格式转换并导入平差软件进行严密平差处理，本项目使用 GNSS 数据处理软件进行基线解算和网平差作业，基准数据输入包括观测基线向量、点位初始坐标、天线高、观测时段等核心信息，解算方法选用最小二乘平差模型。平差过程以自由网形式进行网络整体质量检查，解算出各基线向量的残差大小与误差传播规律，之后引入固定点作为控制基准进行约束平差，建立坐标约束条件来保证整个网络统一投影系统和坐标基准，网平差过程中设置点位观测权重和基线协方差矩阵，增强网络解算的合理性与稳定性^[4]。

结果输出包括点位坐标成果、误差椭圆参数、基线残差、协因数矩阵和中误差评估值，各点观测成果精度等级划分参考国家标准，对不满足精度标准的点位进行复测标记。残差大于容许限值的基线进行人工分析，判断误差来源与补测必要性，点位的重复观测值参与平差，并对比计算重复基线误

差,以检验数据一致性。表1列出了部分主要控制点的平差结果,涵盖平面与高程方向的中误差、基线残差及重复观测差值,反映了网络整体解算精度与数据质量。

表1 GPS 平差结果精度表

点号	平面中误差 (mm)	高程中误差 (mm)	最大基线残差 (mm)	重复观测差 (mm)
P01	±2.3	±4.1	5.2	2
P02	±2.7	±3.8	4.9	1.8
P03	±2.5	±4.3	5.4	2.3
P04	±2.2	±3.9	5	1.9

平面中误差均控制在±3mm以内,高程中误差维持在±4.5mm以下,最大基线残差未超过5.4mm,重复观测差异小于2.5mm,整体表现稳定,点位P01至P04在平面精度上数值较为集中,误差分布均衡,未出现单点精度偏离的情况。点P03的高程误差略高,但仍处于地籍测量规范允许范围内,重复观测差与基线残差之间呈一定正相关关系,说明控制网内部一致性良好,误差主要来自于观测条件波动而非系统性异常。整体数据表明控制网构型合理,点位观测质量稳定,具备作为地籍图根控制基础的坐标精度。

4.2 精度评价指标

GPS控制网的精度评价主要依赖点位误差椭圆与基线解算残差两个方面,误差椭圆作为平差结果中坐标误差传播的直观表达,反映出各控制点在不同方向上的误差扩展趋势,长轴方向代表误差主方向,短轴则反映误差在垂直于主方向上的分布,椭圆面积与形状受观测条件、网络结构和基线配置共同影响,可用于判断网络中误差的局部聚集性与整体分散性^[5]。图2展示了本项目主要控制点的误差椭圆分布状态,各点误差椭圆在方向与尺度上呈现出较好的平衡性,长短轴比例控制合理,误差方向分布无明显一致性,未出现大面积方向趋同或椭圆突变现象。

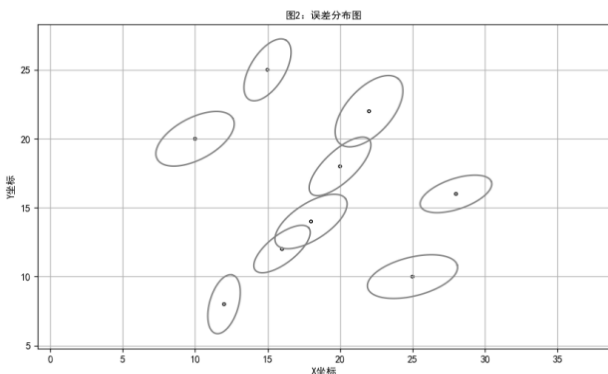


图2 误差分布图

基线解算残差作为控制点之间的相对精度表现,与误差椭圆形成互补评价,控制网中相邻点的基线残差维持在5mm以内,残差大小与观测基线长度、视通条件存在一定关联,但未表现出系统偏差。结合高程误差与地形变化分析,

在地形起伏明显区域,高程方向中误差略有上升,但未出现误差积累现象,平面与垂向误差之间关联性较弱,说明网络结构在应对高差变化时具备良好的独立性与抗扰能力。精度指标的整体表现满足地籍控制网的工程精度要求,并为后续图根测量提供可靠的坐标支撑。

4.3 误差控制策略

GPS控制网测量与数据处理过程中为降低系统误差与随机误差对成果精度的影响,建立多层次误差控制机制,观测环节选用多次重复基线方案来提高观测冗余度,并在点位选择阶段避开复杂电磁环境区域,减少多路径干扰与非视通影响。观测数据入库前进行全基线快速解算检查,剔除解算不稳定或星历异常数据段,在数据平差阶段建立权重调整机制,对观测条件不利基线降低权重,压缩误差传播效应,使用高精度基准站坐标作为约束条件,引入精密星历进行轨道拟合,控制卫星钟差影响。

观测计划编排上合理分配观测时段,避开低高度角卫星主导的时间段,天线高精度测量使用光学测距仪辅助检核,记录精确到毫米单位来减少人为误差积累,控制点建桩使用稳定基座与金属标志组合结构,桩基深度设计与地质条件匹配来减少沉降位移可能性,点位信息同步记录环境信息与照片,并建立数据库来防止重复布设与误测。

观测成果经多轮平差检核后归档,对误差大于阈值的基线进行实地核查与必要补测,精度分析结果作为下一阶段图根测量与成果验收的参考依据,建立完整的误差溯源链条,增强成果质量的可控性与可追溯性。

5 结论

GPS控制网在数字化地籍测量中的布设与精度分析结果表明,依据测区地形环境和作业需求合理设计点位布设方案,结合静态与快速静态观测方法进行分级控制,建立结构稳定、冗余充分的网络系统,可有效获得高精度、均衡分布的空间控制成果。平差处理结果中的中误差与残差指标均满足规范要求,误差分布形态稳定、方向合理,误差控制策略在观测设计、数据处理与点位管理各环节形成闭合机制,提升了成果质量的可靠性与工程测绘数据的整体可用性。

参考文献

- [1] 罗子端,王峥嵘.GPS控制测量和精密导线在隧道工程定向中的应用[J].建筑经济,2024,45(S2):386-389.
- [2] 许黎明.水利工程GPS静态测量控制网布设与测量精度控制[J].产业创新研究,2024(12):81-83.
- [3] 关延峰.水利工程GPS静态测量控制网布设技术与测量精度研究[J].东北水利水电,2024,42(05):65-67+72.
- [4] 郑超.基于CORS站解算布设铁路工程CPI控制网应用分析[J].交通科技与管理,2024,5(05):16-18.
- [5] 陈凤文.水利工程GNSS控制网布设与测量精度分析[J].水上安全,2024(03):43-45.