

界线测绘界址点坐标精度检核方法研究

王永江

文山土投矿产资源开发有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i2.18948

[摘要] 为解决跨坐标系界线测绘成果检核中观测数据质量不均、转换误差传播被忽视的问题,本研究以云南省某县山区界线项目为例,提出一种基于抗差估计与误差传播的界址点坐标精度检核方法。该方法采用IGG抗差估计方案识别并剔除粗差观测,通过三维七参数模型解算坐标转换参数,构建顾及转换参数不确定度传播的精度评定模型,建立分级质量判定准则。研究表明,该方法使转换参数拟合残差精度提升51%,超限点位识别准确率达76.5%,有效解决了复杂观测条件下跨基准检核的精度评定问题,检核结果更加客观可靠。

[关键词] 界线测绘; 界址点; 坐标精度检核; 抗差估计; 误差传播

中图分类号: P2 **文献标识码:** A

Research on the Method for Checking the Accuracy of Boundary Surveying and Boundary Point Coordinates

Yongjiang Wang

Wenshan Tu Tou Mineral Resources Development Co., Ltd.

[Abstract] To address issues of uneven observation quality and ignored transformation error propagation in cross-coordinate boundary surveying verification, this study proposes a robust estimation and error propagation-based accuracy checking method. Using a mountainous boundary project in Yunnan Province as a case, the method employs IGG robust estimation for outlier removal, seven-parameter transformation, and accuracy evaluation considering parameter uncertainty propagation. Results show 51% improvement in transformation parameter accuracy and 76.5% accuracy in identifying non-compliant points, providing more objective and reliable verification results.

[Key words] Boundary surveying; boundary markers; coordinate accuracy verification; tolerance estimation; error propagation

引言

行政区划界线测绘是国家基础测绘的重要组成部分,界址点坐标精度直接关系到界线成果的可靠性和权威性。随着测绘技术发展和坐标系更新,不同时期界线成果往往采用不同坐标基准,跨坐标系统的精度检核成为界线复核工作的关键环节。本研究针对山区复杂观测条件下跨基准检核面临的数据质量不均和转换误差传播问题,提出一种基于抗差估计与误差传播的界址点坐标精度检核方法,旨在提高跨坐标系界线测绘成果检核的客观性和可靠性,为界线复核工作提供技术支撑。

1 项目概述

本研究依托云南省某县行政区划界线联合检查项目开展。该项目检核范围涉及山区界线约120公里,界址点680个,需对本次复测成果与历史界线成果进行坐标精度检核。项目存在以下特殊情况:一是历史界线成果采用1980西安坐标系施测,本次复核

采用CGCS2000国家大地坐标系,两期成果坐标基准不一致,需通过坐标转换方可进行比对;二是检核区域地处山区,地形起伏剧烈,林木遮挡严重,导致GNSS观测条件恶劣,重复观测数据中存在因卫星信号遮挡、多路径效应等引起的粗差观测值,数据质量参差不齐^[1]。

传统检核方法通常采用最小二乘法解算坐标转换参数后进行坐标比对,但在该项目中存在明显局限性:首先,最小二乘估计对粗差观测高度敏感,单个异常观测值即可导致转换参数解算结果显著偏离真值,影响整体检核精度;其次,传统方法仅将观测中误差作为精度评定指标,未考虑坐标转换参数本身存在的不确定度及其向界址点坐标的传播效应,导致精度评定结果不能客观反映界址点坐标的综合误差水平^[2]。

针对该项目中观测数据质量不均、跨坐标系检核的实际问题,本研究提出一种基于抗差估计与误差传播的界址点坐标

精度检核方法,为类似条件下的界线测绘成果质量检核提供技术支持。

2 界线测绘界址点坐标精度检核方法

2.1 观测数据的粗差识别与剔除

针对山区观测环境下GNSS数据中存在的粗差观测问题,采用IGG抗差估计方案构建粗差识别模型。首先对界址点重复观测坐标序列进行标准化处理,计算各观测值相对于中位数的标准化残差,通过设定临界值识别异常观测。抗差权因子采用分段函数形式,根据标准化残差量值对观测值赋予差异化权重^[3]。当标准化残差绝对值小于等于临界值 k_0 时观测值视为正常观测赋予单位权,当标准化残差绝对值介于 k_0 与 k_1 之间时观测值权重按残差量值反比例降低,当标准化残差绝对值大于 k_1 时观测值权重重置零予以剔除。抗差权因子计算公式为:

$$P_i = \begin{cases} 1, & |v_i| \leq k_0 \\ \frac{k_0}{|v_i|}, & k_0 < |v_i| \leq k_1 \\ 0, & |v_i| > k_1 \end{cases} \quad (1)$$

其中 P_i 为第 i 个观测值的权因子, v_i 为标准化残差, k_0 、 k_1 为临界值常数,通常取 $k_0=1.5$ 、 $k_1=3.0$ 。通过迭代加权最小二乘计算,逐步降低粗差观测的影响直至收敛,最终剔除权重为零的观测值,获得质量可靠的观测数据集,为后续坐标转换参数解算提供可靠的数据基础。

2.2 坐标基准的转换参数解算

利用经粗差剔除后的可靠观测数据,采用三维七参数相似变换模型建立1980西安坐标系与CGCS2000坐标系之间的数学关系。选取分布于检核区域内的公共控制点作为基准点,要求基准点数量不少于3个且分布均匀以保证几何图形强度^[4]。七参数模型包含三个平移参数、三个旋转参数和一个尺度参数,能够综合考虑及两坐标系间的位置偏移、姿态差异和尺度差异。采用最小二乘平差原理,以基准点在两坐标系下的坐标较差平方和最小为准则,解算七个转换参数及其协方差矩阵。三维七参数相似变换模型的数学表达式为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 (X, Y, Z) 为CGCS2000坐标系下坐标, (x, y, z) 为1980西安坐标系下坐标, ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 为三个平移参数, α 、 β 、 γ 为三个旋转参数, m 为尺度参数。通过平差计算获得七个转换参数的最优估值及其协方差矩阵,该协方差矩阵定量描述了转换参数的不确定度,为后续误差传播分析提供数学依据,确保界址点坐标转换至统一基准后可进行精度评定。

2.3 界址点坐标的精度评定模型

基于坐标转换参数将历史界址点坐标归算至CGCS2000坐标

系后,构建顾及误差传播的精度评定模型。界址点坐标的总误差由两部分组成:一是原始观测误差,二是坐标转换参数不确定度传播产生的转换误差^[5]。根据误差传播定律,转换参数的协方差矩阵通过雅可比矩阵传播至界址点坐标,与观测误差协方差矩阵叠加形成综合协方差矩阵。将检核坐标与转换后坐标的差值分解为平面分量和高程分量,分别计算平面点位中误差和高程中误差。顾及误差传播的平面点位精度评定公式为:

$$m_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\Delta X_i)^2 + (\Delta Y_i)^2]}{n} + \text{tr}(JQ_p J^T)} \quad (3)$$

其中 m_p 为综合点位中误差, ΔX_i 、 ΔY_i 为第 i 个界址点的平面坐标较差, n 为检核点数量, J 为坐标转换函数对转换参数的雅可比矩阵, Q_p 为转换参数协方差矩阵, $\text{tr}(\cdot)$ 为矩阵迹运算。该模型将观测误差和转换误差统一纳入精度评定体系,克服了传统方法仅考虑观测误差的局限性,为质量判定提供客观准确的精度指标。

2.4 检核结果的质量判定准则

依据界址点综合精度评定结果,建立分级质量判定准则体系。综合考虑界址点类型、地形类别、界线重要性等因素,制定差异化的精度阈值。对于一般地区界址点,点位中误差限差取5cm,高程中误差限差取10cm;对于地形复杂的山区界址点,点位中误差限差适当放宽至8cm,高程中误差限差放宽至15cm。采用相对精度指标评价检核质量,相对精度计算公式为:

$$\eta = \frac{m_0}{m_p} \times 100\% \quad (4)$$

其中 η 为相对精度, m_p 为实际点位中误差, m_0 为规范规定的点位中误差限差。根据相对精度值划分质量等级:当 $\eta \leq 70\%$ 时判定为优秀,表明界址点坐标精度储备充足;当 $70\% < \eta \leq 100\%$ 时判定为合格,表明界址点坐标精度满足规范要求;当 $\eta > 100\%$ 时判定为超限,需进一步分析超限原因。针对超限点,通过残差分布特征和协方差分析追溯误差来源,判断是观测粗差残留、转换参数偏差还是局部系统性误差,输出详细的质量检核报告,为界线测绘成果验收和整改提供科学依据。

3 方法验证

3.1 方法应用

将本研究提出的检核方法应用于云南省某县界线项目680个界址点的精度检核工作。数据准备阶段,收集历史界线1980西安坐标系成果和本次CGCS2000坐标系复测成果,整理界址点重复观测数据。

粗差剔除阶段,设定IGG方案临界值 $k_0=1.5$ 、 $k_1=3.0$,对观测序列进行抗差估计迭代计算,识别出42个粗差观测值予以剔除。转换参数解算阶段,选取区域内15个分布均匀的公共控制点,通过三维七参数模型解算坐标系转换参数,获得平移、旋转、尺度

等七个参数估值及协方差矩阵。

精度评定阶段,将历史界址点坐标转换至CGCS2000系后与复测坐标比对,通过雅可比矩阵传播转换参数协方差,计算包含观测误差和转换误差的综合点位中误差。

质量判定阶段,根据一般地区点位中误差限差 $\pm 5\text{cm}$ 、山区点位中误差限差 $\pm 8\text{cm}$ 的标准,计算各界址点相对精度指标,按优秀、合格、超限三级进行质量分级,形成包含680个界址点精度指标和质量等级的检核成果表。

3.2 效果分析

为评估方法改进效果,设计对比试验,采用传统最小二乘法和本研究方法分别对同一数据集进行检核,统计结果见表1。

表1 两种检核方法对比分析

检核方法	转换参数拟	界址点平均点	优秀/个	合格/个	超限/个	复测验证超
	合残差/cm	位中误差/cm				限准确率/%
传统方法	± 4.7	± 3.2	512	168	0	-
本研究方法	± 2.3	± 3.1	387	276	17	76.5

表1表明,本研究方法在参数解算精度、误差评定客观性、质量判定准确性三方面均优于传统方法。参数解算精度方面,粗差剔除使转换参数拟合残差从 $\pm 4.7\text{cm}$ 降至 $\pm 2.3\text{cm}$,精度提升51%,说明抗差估计有效抑制了异常观测对参数解算的影响。点位精度方面,本研究方法界址点平均点位中误差为 $\pm 3.1\text{cm}$,传统方法为 $\pm 3.2\text{cm}$,两者相近,但本研究方法基于更可靠的转换参数计算,结果更可信。

质量判定准确性方面,传统方法判定512个优秀点位、168个合格点位、0个超限点位,优秀率达75.3%;本研究方法判定387个优秀、276个合格、17个超限,优秀率56.9%。

对17个超限点现场复测验证,13个确实存在问题,准确率

76.5%,证明本研究方法能有效识别质量隐患,而传统方法因未顾及转换误差传播,精度评定偏乐观导致问题点位漏判。

4 结语

本研究针对跨坐标系界线测绘精度检核中的实际问题,构建了基于抗差估计与误差传播的检核方法体系,通过粗差识别剔除、转换参数解算、误差传播精度评定、分级质量判定四个环节,实现了复杂观测条件下界址点坐标的客观精度评定。实际项目应用表明,该方法使转换参数精度提升51%,超限点位识别准确率达76.5%,有效解决了传统方法精度评定偏乐观、质量隐患漏判的问题。未来研究可进一步探索不同地形条件下临界值的自适应确定方法,以及多源异构数据融合检核技术,提升检核方法的普适性和智能化水平。

[参考文献]

- [1]崔成龙,胡斌斌,李涛,等.自然资源确权登记界址点更新流程深度优化探究[J].测绘标准化,2025,41(04):114-118.
- [2]宋英伦.数字化地籍测绘中宗地起始界址点点位确定及点号序排的程序设计[J].经纬天地,2025,(03):49-51+56.
- [3]孙爱红,曹晨光,秦祖力.土地确权中无人机遥感技术在权属界址点测量中的应用探索[J].智慧中国,2025,(03):58-59.
- [4]陈哲仁.基于最小二乘法实景三维建模在界线测绘的应用研究[J].中国高新科技,2024,(13):56-59.
- [5]王小标,曾飞翔,徐鹏.基于GIS的界址调查成果质量控制和管理应用[J].绿色科技,2024,26(22):217-222.

作者简介:

王永江(1986--),男,壮族,云南砚山人,本科,工程师,研究方向:测绘工程。