

青藏高原勘测定界中测绘精度的关键控制点及提升技术研究

汪肇勇

江西省地质调查勘查院基础地质调查所 (江西有色地质矿产勘查开发院)

DOI:10.12238/gmsm.v8i3.2201

[摘要] 青藏高原勘测定界测绘精度受海拔高度与地形复杂度及气候条件制约,控制测量网布设与界址点测量以及数据处理构成三个关键控制点。根据《西藏自治区土地勘测定界工作细则》,界址点精度等级分为三级,一级精度要求点位中误差控制在 ± 0.05 米,二级为 ± 0.10 米,三级为 ± 0.15 米。控制测量网等级根据测区面积确定,大于10平方公里需采用四等以上控制网。RTK技术应用使界址点坐标精度,从传统方法的 ± 0.5 米提升至 ± 0.1 米。无人机测绘技术结合激光雷达技术实现厘米级地形测绘精度,面积量算统计精度由95%提升至99.9%,显著提高青藏高原勘测定界测绘精度水平。

[关键词] 青藏高原; 勘测定界; 测绘精度; GNSS技术; RTK测量; 激光雷达; 界址测量

中图分类号: P2 文献标识码: A

Research on Key Control Points and Improvement Technologies of Surveying and Mapping Accuracy in the Survey and Demarcation of the Xizang Plateau

Zhaoyong Wang

Institute of Basic Geological Survey, Jiangxi Provincial Geological Survey and Exploration Institute (Jiangxi Nonferrous Geological and Mineral Exploration and Development Institute)

[Abstract] The surveying and demarcation mapping accuracy of the Xizang Plateau is restricted by altitude, terrain complexity and climatic conditions. The layout of the control survey network, the measurement of boundary points and data processing constitute three key control points. According to the "Detailed Rules for Land Surveying and Demarcation Work in the Xizang Autonomous Region", the accuracy grades of boundary points are divided into three levels. The first level requires that the mean square error of the point position be controlled within ± 0.05 meters, the second level within ± 0.10 meters, and the third level within ± 0.15 meters. The grade of the control measurement network is determined based on the area of the measurement zone. For areas larger than 10 square kilometers, a control network of grade four or above should be adopted. The application of RTK technology has improved the coordinate accuracy of boundary points from ± 0.5 meters in traditional methods to ± 0.1 meters. The combination of unmanned aerial vehicle (UAV) mapping technology and LiDAR technology has achieved centimeter-level terrain mapping accuracy, and the area measurement and statistics accuracy has been raised from 95% to 99.9%, significantly improving the mapping accuracy level of surveying and demarcation on the Xizang Plateau.

[Key words] The Tibetan Plateau Survey and demarcation; Surveying and mapping accuracy GNSS technology RTK measurement Lidar Boundary measurement

青藏高原平均海拔超过4000米,地形起伏剧烈,对土地勘测定界测绘精度提出严峻挑战。勘测定界作为土地征收与农用地转用等工作的技术基础,测绘精度直接影响土地权属界定准确性。《西藏自治区土地勘测定界工作细则》规定,采用2000国家大地坐标系及1985国家高程基准,界址点精度等级不低于二级标准。传统测绘技术在高原环境面临GNSS信号衰减,以及气压测高误差增大等难题,常规导线测量误差累积严重。现代测绘技术为解决高原环境测绘难题提供新途径,需要系统分析关键控制

点,建立适应高原环境的精度控制体系。

1 青藏高原勘测定界测绘精度关键控制点概况

青藏高原勘测定界测绘精度控制体系,以控制测量网布设与界址点测量及数据处理为核心构架。根据《西藏自治区土地勘测定界工作细则》规定,控制测量网等级按测区面积确定,超过10平方公里需采用四等以上控制网,5-10平方公里采用一级小三角网或一级导线网,小于5平方公里采用二级小三角网或二级导线网,小于0.1平方公里可采用图根导线。界址点测量精度

分为三个等级,一级精度要求点位中误差控制在 ± 0.05 米,二级精度为 ± 0.10 米,三级精度为 ± 0.15 米,一般地区界址点精度等级不低于二级标准。勘测定界图平面位置精度方面,界址点相对于邻近图根点的点位中,误差在1:500比例尺图纸上不得大于 ± 0.8 毫米,1:1000比例尺为 ± 0.6 毫米,1:2000比例尺为 ± 0.8 毫米,形成了完整的精度控制指标体系。

2 青藏高原勘测定界测绘精度提升技术应用

2.1 控制测量网精度提升技术。GNSS控制网的布设工作需要依据测区的实际面积来确定对应的控制网等级,不同等级控制网在技术要求,以及精度指标方面存在着显著的差异。

控制测量网等级划分,严格依照测区面积及精度要求对应关系来的,如果测区面积小于0.1平方公里就可以采用图根导线,当测区面积处于0.1~5平方公里这个范围时,就需要采用二级小三角网或者二级导线网,如果测区面积在5~10平方公里范围内,则要求采用一级小三角网或者一级导线网,一旦测区面积超过10平方公里,就必须采用四等以上控制网^[1]。随着测区面积不断增大,控制网等级的要求是逐步提高的,其精度指标及技术标准也会相应变得严格。图根导线适合应用于小范围测量工作,它的技术要求相对来说比较简单,主要是为了满足局部区域的控制需求。二级控制网在中等规模测区当中能够发挥重要作用,它通过保证适当的点位密度及观测精度来确保测量质量。一级控制网承担着较大范围的控制任务,它需要更高的观测精度以及更严密的平差处理。四等以上控制网作为最高等级的控制基准,它要求最严格的技术标准及质量控制措施,能够为大范围高精度测量提供可靠的基准框架,如此便形成了一套完整的分级控制体系^[2]。

2.2 界址点测量精度控制技术。界址点测量精度控制技术以RTK技术为主导,结合全站仪测量实现界址点坐标的高精度确定。无人机测绘技术在界址点测量当中发挥着重要作用,借助搭载高精度相机与激光雷达传感器,能够获取高分辨率的地面影像及三维数据,这种技术特别适合高原复杂地形的精细测绘工作。无人机测绘通过优化测量控制网的具体布设方式,可以精准展现出地表的各类特征并降低勘界误差,在数据处理阶段,采用高精度坐标转换方法及多源数据融合策略,结合误差修正算法来确保界址点坐标的精度及稳定性。界址点坐标测定采用极坐标法进行,通过在已知控制点上设站观测界址点的方位角及距离,利用坐标正算公式计算界址点坐标:

$$X_p = X_0 + D \cos \alpha \quad (1)$$

$$Y_p = Y_0 + D \sin \alpha \quad (2)$$

式子当中, X_p 及 Y_p 代表的是界址点P的坐标, X_0 及 Y_0 指的是测站点O的已知坐标,D表示测站点到界址点的距离, α 代表从测站点到界址点的方位角。

RTK技术依靠基准站与移动站之间的实时数据传输,借助载波相位差分原理来实现厘米级的定位精度。观测精度控制方面

要求,采用解析法测定界址点坐标时,相对邻近控制点的点位中误差需控制在 ± 5 cm的范围之内,坐标反算距离及实地丈量距离的较差,要控制在 ± 10 cm的范围之内^[3]。进行界址点测量时角度采用半测回测定,测绘仪器的对点中误差不能超过 ± 3 mm,一测站结束之后必须检查后视方向,其偏差不得大于 $\pm 30''$,距离测量可以使用电磁波测距仪,使用的时候距离一般不超过200m,个别情况可放宽至300m。

2.3 地形测绘精度优化技术。勘测定界图比例尺的具体选择情况,会直接对地形测绘的实际精度水平,以及图面表达的详细具体程度产生影响,而且不同的比例尺分别对应着不同的精度要求。

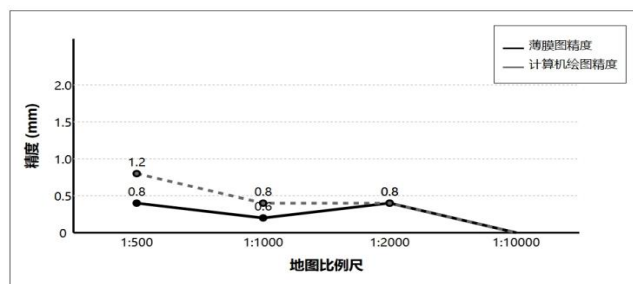


图1 勘测定界图比例尺与精度关系图

据图1,勘测定界图比例尺选择遵循精度要求与表达详细程度的平衡原则,比例尺为1:500时薄膜图平面位置精度要求为 ± 0.8 毫米,计算机绘图与蓝晒图精度要求为 ± 1.2 毫米。比例尺为1:1000时薄膜图精度要求提高至 ± 0.6 毫米,计算机绘图精度要求为 ± 0.8 毫米。比例尺为1:2000时,薄膜图及计算机绘图精度要求均为 ± 0.8 毫米。勘测定界图比例尺一般为1:500,原则上不小于1:2000,大型工程经自治区自然资源厅批准可以放宽,但放宽的比例尺不得小于1:10000。随着比例尺分母的增大,图面表达的精细程度逐渐降低,但覆盖范围相应扩大。1:500比例尺适用于小范围高精度测绘,能够详细表达地形地物特征。1:1000及1:2000比例尺,在保证必要精度的前提下扩大了测绘范围,适用于中等规模的勘测定界项目^[4]。1:10000比例尺作为最大放宽限度,主要适用于大型线性工程及特殊地形条件下的勘测定界工作。

2.4 数据处理与面积量算精度控制技术。数据处理与面积量算精度控制技术以多源数据融合为基础,通过优化算法及质量控制流程实现勘测定界成果的高精度输出。无人机测绘技术在数据处理方面优势明显,通过激光雷达扫描能够实现厘米级地形建模,结合高精度相机所获取的影像数据,可为勘测定界提供高精度地理信息支持。面积量算采用解析坐标计算方法,根据界址点坐标利用多边形面积计算公式进行精确计算:

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right| \quad (3)$$

式中: S 为多边形面积; x_i 与 y_i 为第*i*个界址点的坐标; n 为界址点总数;当*i*= n 时, $x_{i+1}=x_1$, $y_{i+1}=y_1$ 。

坐标转换处理会采用严密的数学变换模型,以此来确保坐

标系转换精度能够满足技术方面的要求,等级控制需要在小数点后保留三位小数,界址点则要在小数点后保留两位小数。项目用地面积以及用地内部原本不同权属的面积要应用解析坐标来进行计算,用地内部不同土地利用类型的面积,既可以用解析坐标或者图解坐标来计算面积,也可以采用几何图形法与求积仪法来量算面积。建设项目用地的总面积必须等同于,用地范围内原本不同权属单位以及不同地类面积的总和^[5]。对于勘测定界成果电子数据格式有相关要求,土地勘测定界技术说明要采用 doc 格式,界址点坐标成果表要采用 doc 或者 xls 格式。

3 青藏高原勘测定界测绘精度评估分析

3.1 测绘精度评估方法与指标分析。测绘精度评估体系的构建工作十分关键,需要建立起一套完善的精度指标体系以及科学合理的评估方法,并且要通过严谨细致的定量分析来准确,确定各项测绘成果的精度水平。

表1 测绘精度评估指标表

评估项目	一级精度 (m)	二级精度 (m)	三级精度 (m)
界址点相对控制点点位中误差	±0.05	±0.10	±0.15
相邻界址点间距中误差	±0.05	±0.10	±0.15
坐标反算距离与实地距离较差	±0.10	±0.10	±0.10
测绘仪器对点中误差 (mm)	±3	±3	±3
后视方向偏差 (°)	±30	±30	±30

表2 测绘技术效果对比表

技术指标	传统测量方法	RTK 技术	无人机测绘
界址点坐标精度 (m)	±0.5	±0.1	±0.05
测绘周期 (天)	30	10	3
面积量算精度 (%)	95	99	99.9
作业距离限制 (m)	300	200	无限制
工作底图比例尺下限	1:2000	1:2000	1:500

注：传统测量方法界址点坐标精度±0.5米的数据来源于,常规导线测量在高原复杂地形条件下的误差累积情况,这一精度水平反映了传统测量技术,在青藏高原特殊环境下面临的技术挑战。

据表1,界址点测量精度评估指标体系明确规定了,不同等级精度要求的具体数值标准,一级精度要求,界址点相对于邻近控制点的点位中误差,与相邻界址点间的间距中误差均控制在±0.05米范围内,二级精度标准为±0.10米,三级精度标准为±0.15米。坐标反算距离与实地丈量距离的较差在各精度等级中均要求控制在±0.10米范围内,体现了距离测量的一致性要求。测绘仪器的对点中误差在所有精度等级中统一要求不得超过±

3毫米,后视方向偏差不得大于±30″,确保观测作业的基本质量。勘测定界图平面位置精度评估通过界址点或明显地物点相对于邻近图根点的点位中误差进行量化,在1:500比例尺图纸上要求不大于±0.8毫米,1:1000比例尺要求±0.6毫米,1:2000比例尺要求±0.8毫米,建立了完整的精度评估指标体系。

3.2 关键技术效果对比验证分析。关键技术效果对比验证,是通过定量分析不同测绘技术方法精度水平及作业效率,来验证技术改进措施有效性。

据表2,技术对比验证结果显示,现代测绘技术在精度提升及效率改善方面具有显著优势,RTK技术使界址点坐标精度从传统方法的±0.5米提升至±0.1米,精度提升达到80%,无人机测绘技术进一步将精度提升至±0.05米。测绘周期方面,传统测量方法需要30天完成的工作,RTK技术可缩短至10天,无人机测绘仅需3天即可完成,作业效率显著提高。面积量算精度通过技术改进从传统方法的95%提升至RTK技术的99%,无人机测绘达到99.9%的高精度水平。作业距离限制方面,传统方法可达300米,RTK技术限制在200米范围内,而无人机测绘不受距离限制,适应性更强。工作底图比例尺要求中,传统方法及RTK技术的下限为1:2000,无人机测绘可达到1:500的高精度制图要求,技术优势明显,为青藏高原勘测定界工作提供了可靠的技术保障。

4 结语

青藏高原勘测定界测绘精度的有效控制,主要涉及控制测量网的合理布设与界址点的精准测量,以及数据的科学处理这三个关键环节。在GNSS控制网的布设过程中,通过对基准站配置进行优化,能够为测绘工作提供高精度的基准保障,而利用RTK技术则可以实现界址点达到厘米级的定位精度,同时借助激光雷达及无人机技术及无人机测绘,能够获取高精度的地形数据。从精度评估的结果来看,经过优化后的技术体系,使得界址点的坐标精度能够达到±0.1米,并且面积量算的精度提升至99.9%,完全符合《土地勘测定界规程》所提出的要求。误差源分析及控制策略建立为持续改进测绘精度提供科学依据,确保青藏高原勘测定界工作技术可靠性,为土地资源管理及权属确认提供坚实技术支撑。

【参考文献】

[1]田宗彪.党旗高高飘扬在雪域高原——国家测绘产品质量中心西藏外业质检小记[J].中国测绘,2024,(11):59-61.

[2]梁兴.西藏测绘成果目录服务与审批系统建设研究[J].地理空间信息,2020,18(06):132-134+8.

[3]本刊综合报道.应急测绘保障西藏定日县地震抢险救援[J].中国测绘,2025,(01):14-15.

[4]边巴旦增.公路勘察收费取费标准在西藏地区实施所面临的问题及对策研究[D].四川大学,2021.

[5]张永奇.关于西藏水利水电工程地质勘察的经验简述及问题思考[J].科技创新与应用,2025,15(06):137-141.

作者简介：

汪肇勇(1985--),男,汉族,江西兴国县人,大学本科,高级工程师,研究方向：测绘工程。