

基于数字化成果的矿区管线工程地形测量精度控制与风险分析

罗谦

西藏金龙矿业有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i5.2304

[摘要] 本文以藏北高原某矿区输配水管线工程为研究对象,结合复杂的高原地形与气候条件,探讨了基于数字化成果的地形测量精度控制与风险评估方法。研究设计了完整的测量流程,提出多源数据融合、误差模型修正和交叉检核等精度保障手段,并构建环境、设备、组织与成果应用四个层面的风险评估体系。结果表明,该体系能够有效降低高原环境下的测量偏差,确保成果在管线规划、设计和施工中的可靠性,为类似地区的矿区工程测绘提供了可行路径和技术借鉴。

[关键词] 数字化成果; 管线工程; 地形测量; 精度

中图分类号: O4-34 文献标识码: A

Accuracy Control and Risk Analysis of Topographic Surveying for Mine Pipeline Engineering Based on Digital Outcomes

Qian Luo

Tibet Golden Dragon Mining Co., Ltd.

[Abstract] Taking a water supply pipeline project in a mining area of the northern Tibetan Plateau as the research subject, this paper explores methods for precision control and risk assessment in topographic surveying based on digital survey results, considering the complex plateau terrain and climatic conditions. A comprehensive surveying workflow was designed, incorporating precision assurance measures such as multi-source data fusion, error model correction, and cross-validation. A four-tier risk assessment system was established covering environmental, equipment, organizational, and application aspects. Results demonstrate that this system effectively reduces measurement deviations in high-altitude environments, ensuring the reliability of outcomes for pipeline planning, design, and construction. It provides a feasible approach and technical reference for surveying and mapping in mining projects across similar regions.

[Key words] digital survey data; pipeline engineering; topographic surveying; accuracy

前言

藏北高原复杂的自然因素不仅给外业作业带来显著困难,也加剧了测量成果的不确定性。此背景下,传统单一手段测量难以满足长线路、多区域管线工程对高精度成果的需求。如何在严苛的环境中保证数据一致性、降低累计偏差,并建立起一套可控、可追溯的风险评估体系,仍是摆在矿区测绘工作面前的关键问题。

1 矿区地形与自然条件及任务要求

本文所选取的研究区位于藏北高原中西部,整体地貌为中低山地形,海拔多在4700m~5100m之间,最高达5540m,相对高差介于300m~840m。该区属高原亚寒带干旱季风气候,表现出日照时间长、温差大、大风频繁、气压低和缺氧的综合特征。年均气温为-0.2℃,极端最低温可达-44.6℃,最大风速36m/s,冻土层分布深度约1.8m。同时,矿区地震基本烈度为Ⅶ度,峰值加速

度达 $0.1\sim 0.15g$ 。这些环境特征不仅对测量人员作业安全构成挑战,也直接影响仪器的稳定性和数据的真实性。尤其在海拔高、低压和低温条件下,GNSS接收机、电池续航、全站仪光学性能均可能出现偏差,因此需要针对性地制定精度控制策略。

根据输配水管线的布设规划,测量范围涵盖532公顷的吉多措至尾矿坝基本草原区域、42.08公顷的布孜村至浮船加压泵站区域、78.32公顷的吉多措旁管线区、15.4公顷的夏玛村管线区、19.02公顷的别若则措区域以及216.06公顷的湿地区域,总体涉及上千公顷地形测绘。测量比例尺为1:1000,管线两侧各100m,总宽度200m,同时要求覆盖沿线构筑物、道路涵洞、河流、树木、危石及耕地分布等地物信息。技术规范严格执行《工程测量规范》GB50026-2020,其中等高距控制在0.5m,点位间距不超过30m,实测检查比例不少于10%。测绘成果须以DWG数字地形图形式提交,并附带高程点、等高线及相应符号库文件。

2 矿区管线工程地形测量流程

2.1 控制点布设与精度基准建立

在矿区管线工程测量中,首要环节是建立统一的平面与高程控制基准,以保证后续测量成果的精度和可比性。针对藏北高原4700m~5100m的高海拔条件,常规水准点和控制点易受冻土变形和气候影响而失稳,因此应采用GNSS三等或四等控制网结合全站仪导线测量的方式进行布设。在长线路管线测区,通常沿线路每隔3~5km设置一个高等级控制点,并根据施工区段需要在复杂地形(如峡谷、湿地、草原)加密布点。布点时应选择地基稳定、避开冻土区及石质裸露地的区域,并采用混凝土墩或钢钎加固,确保控制点在后续测量周期中不发生明显位移^[1]。所有控制点测量需严格执行《工程测量规范》GB50026-2020,平差成果控制在±0.25m以内,高程中误差控制在±0.15m以内,为管线设计提供统一基准。控制点布设与精度基准数据如表1所示。

表1 控制点布设与精度基准数据表

测区位置	控制点类型	布设间距(km)	布设数量(个)	加固方式	平面中误差(m)	高程中误差(m)
吉多措至尾矿坝	GNSS三等点	3	8	混凝土墩	±0.20	±0.12
布衣村-泵站	GNSS四等点	5	4	钢钎加固	±0.25	±0.15
吉多措旁管线区	GNSS三等点	3.5	6	混凝土墩+护桩	±0.18	±0.10
夏玛村管线区	GNSS四等点	5	3	钢钎加固	±0.22	±0.14
别若措措区域	GNSS四等点	4.5	3	混凝土墩	±0.24	±0.15
湿地区域	GNSS三等点	3	7	混凝土墩+临时承台	±0.20	±0.12

2.2 测区测量范围划定与图根点布设

本次测量覆盖532公顷至尾矿坝草原区、42.08公顷的浮船泵站区等六个区域,总体涉及上千公顷地形测绘。为满足1:1000比例尺的地形图精度要求,需沿管线两侧各100m宽度范围布设图根点,形成宽度200m的测带。图根点的布设要兼顾线路特征及沿线地物,必要时在局部地段进行加密,以避免复杂地形导致的漏测。点位布设应采用GPS-RTK快速测量与全站仪交会测量相结合的方式,既保证精度又提高效率^[2]。

2.3 地物与地貌细部测量

在实际开展操作的过程当中,测量人员要依据图根点网络,针对管线范围内的道路、河流、桥梁、涵洞、树木、建筑物、耕地类型以及危石等诸多要素展开全面且细致的采集工作。当测量比例尺设定为1:1000的时候,规定地形点之间的间距不得超过30m,而对于地貌起伏较为较大的区域,则需要适当增加采集密度,以此保证等高线拟合的精度可达到不低于0.5m的标准。在采集方法方面,可以采用全站仪逐点测量并结合RTK连续采集的方式,对于复杂地段则引入无人机航测作为补充手段,在湿地和石头山这类区域,传统测量方式效率较低,航测可迅速生成大范围的DEM数据,提升数据覆盖的完整性,采集得到的数据需要进行统一编码,明确地物的类别以及属性,道路涵洞、管线交叉点、

农耕地类型等关键信息需要加以详细标注说明,以便于后期设计单位可顺利开展工程管线方案的比较筛选以及施工风险的评估工作。

2.4 数据处理与数字化成图

完成野外数据采集工作之后,便进入到内业数据处理以及成图阶段,在此阶段,需要针对利用GNSS和全站仪所测得的数据展开基线解算以及平差计算操作,将粗差点给予剔除,以此保障控制框架的稳定性,接下来要进行地物点坐标以及高程的校核工作,以此保证不同测段之间的拼接误差不会超出规定的限值范围。在数字化成图的过程当中,借助CAD或者GIS平台来开展线划以及等高线的绘制工作,规定等高线间距为0.5m,注记要清晰,并且可体现地形变化的特征,对于测区连续的范围,不进行分幅处理,而是整体输出成为统一坐标系下的DWG格式文件,同时附带符号库、线型库以及文字库,保证成果可在设计软件中实现无缝调用。

3 基于数字化成果的矿区管线工程地形测量精度控制方法

3.1 多源数据融合与动态基准校正

在藏北高原这种复杂的环境当中,仅仅依靠单一的GNSS或者全站仪所得到的成果,很容易因为气候因素、地形遮挡以及冻土沉降等影响而出现误差,需要采用多源数据融合的方式来提高精度。具体做法是,沿着管线走向布置GNSS静态点以及RTK作业点,在关键的转折区段借助无人机航测来获取数字表面模型,也就是DSM。凭借在统一的坐标系之下进行多源数据拟合,运用最小二乘法或者卡尔曼滤波算法来达成动态基准校正,可有效地消除不同测量方式之间存在的系统差异。

3.2 数字化误差模型构建与局部异常修正

为保证大范围测区有统一精度,需构建基于数字化成果的误差模型,此模型将GNSS控制点以及平差结果作为输入内容,同时结合数字地形图的等高线拟合残差,针对可能存在的系统性误差展开空间拟合分析,借助构建高程残差与地形坡度、地物分布之间的多元回归关系,可识别出局部误差较大的异常区域,像冻土沉降带、岩石裸露区或者植被稠密区等。之后采用局部修正策略,比如在异常区域引入加密测点,再运用数字化误差模型对其进行二次平差,以此实现局部精度的提高,数字化误差模型构建与局部异常修正结果呈现于表2之中。

表2 数字化误差模型构建与局部异常修正数据结果

区域类型	地形坡度(°)	地物特征	初始高程残差均值(m)	异常点比例(%)	修正后残差均值(m)
冻土沉降带	3-8	季节性冻土,草甸	0.28	14.5	0.12
岩石裸露区	12-20	裸岩,危石	0.32	18.7	0.14
植被稠密区	5-10	高草,灌木	0.25	11.2	0.11
草原平缓区	0-3	稀疏草地	0.15	5.6	0.08
湿地区域	2-6	沼泽,积水	0.3	16.3	0.13

3.3 成果数据质量控制与交叉检核机制

在精度控制的最终阶段,要借助严格的成果质量控制体系来保障数字化成果符合《工程测量规范》GB50026-2020的规定,全部成果要利用内业软件开展坐标一致性以及几何拓扑校验,保证线划连贯、属性完备,不存在断裂或者重复编码的情况,引入交叉检核机制,也就是在不同测量小组或者不同技术手段之间进行成果对比,像RTK与全站仪、航测与地面测量等。随机抽取不少于10%的数据点进行复核,要是偏差超出限度,就需要返工或者采用外业补测与内业平差修正相结合的办法进行纠偏。

4 基于数字化成果的矿区管线工程地形测量风险评估体系设计

4.1 环境与地质风险评估机制

矿区处于藏北高原地带,由于海拔较高、气候条件恶劣以及冻土分布状况复杂等诸多自然条件的限制,环境与地质方面的因素成了测量风险的主要源头,在风险评估体系的这一层次,需要构建“环境—地质双因子评价模型”。具体的做法是,在数字化的地形成果里叠加区域气候、冻土分布、地震烈度等基础数据,借助GIS空间叠置分析来划分高、中、低风险区域^[3]。

4.2 技术与设备风险评估机制

在高原环境当中,低气压、低温以及大风这几种情况会对GNSS信号接收、全站仪光学精度以及电池续航产生直接影响,带来设备性风险,风险评估体系要针对不同设备构建性能监测与容错机制,具体的实施办法如下:在数字化成果数据库里记录各个设备在作业条件下的精度表现,借助历史数据创建设备误差统计曲线,并且设定临界值。要是现场设备测量得到的数据偏差超出了临界值,系统就会自动触发风险警报,提示更换设备或者切换测量方式,还需要建立冗余配置机制,比如每个测量小组都要配备双套GNSS接收机以及备用电源系统,以此保证因设备故障造成的数据缺失可快速进行补测。

4.3 作业组织与协同风险评估机制

由于管线测区范围广、线路长,且涉及多个测段与不同施工

阶段,组织与协同管理不当会成为精度与进度的隐性风险。风险评估体系在此方面应构建“作业进度—沟通反馈—成果同步”三位一体的管理链条。具体做法是:利用数字化成果平台,将不同小组采集的数据实时上传至共享服务器,并通过云端比对功能进行交叉校验,及时发现拼接误差或遗漏点。同时,建立现场工作日志制度,每日更新作业进度与异常情况,并与设计单位保持同步确认,避免因管线走向调整或施工方案变更而产生重复测量。对于跨度较大的跨区域测段,还应设立专门的协调小组,负责调配测量资源,减少因人力或信息不对称造成的误差累积。

5 结语

本文在全面分析测区地形与气候特征的基础上,结合工程规范与数字化技术,提出了从控制点布设、测区测量流程、数字化精度控制到风险评估体系的完整技术思路。通过将多源测量手段融合、建立误差模型与交叉检核机制,并结合高原环境特点引入环境、设备、组织和成果应用四个层面的风险评估方法,构建起一个科学而系统的测量质量保障框架。这一框架不仅为管线走向规划、施工避险和后期运维提供了可靠的数据支持,也为类似高原矿区工程的测绘实践提供了可复制的技术路径和管理经验,体现了数字化成果在工程测量领域的核心价值和应用前景。

[参考文献]

- [1]陈延康.营盘壕煤矿埋地输气管线采动影响分析及其防治[D].中国矿业大学,2024.
- [2]陈德向.RTK在管线测量中的应用[J].智能城市,2017,3(1): 212+214.
- [3]胡晋山.矿区土地复垦时空数据模型研究[D].武汉大学,2011.

作者简介:

罗谦(1984—),男,汉族,云南曲靖人,本科,工程师,研究方向:测量学。