

卫星导航技术、地理信息系统技术与遥感技术研究及应用

开丽曼尔·吐逊江

新疆维吾尔自治区测绘院

DOI:10.32629/gmsm.v9i3.2467

[摘要] 矿山测绘是矿产资源开发利用的基础工作,其技术手段的演变直接关系到矿产资源开发效率和生产安全。随着卫星导航、地理信息系统技术、遥感技术(统称“3S”技术)的不断成熟,这三种技术在各类测绘工程中显示出明显的优势。本文就以3S技术作为研究对象,对3S技术的基本内涵和应用机理进行了系统的阐述,在此基础上,并以某矿山地质环境监测项目为例,对卫星导航技术、地理信息系统技术与遥感技术的具体应用展开论述,希望能为相关领域人员提供一定参考。

[关键词] 卫星导航技术; 地理信息系统(GIS); 遥感技术; 矿山测绘; 数据融合

中图分类号: U666.134 文献标识码: A

Research and Application of Satellite Navigation Technology, Geographic Information System Technology and Remote Sensing Technology

Keli Maner Tuoxunjiang

Xinjiang Uyghur Autonomous Region Surveying and Mapping Institute

[Abstract] Mine surveying is the basic work for the development and utilization of mineral resources. The evolution of its technical means directly affects the efficiency of mineral resource development and production safety. With the continuous maturity of satellite navigation, geographic information system technology, and remote sensing technology (collectively referred to as "3S" technology), these three technologies have shown obvious advantages in various surveying projects. This paper takes 3S technology as the research object and systematically expounds the basic connotation and application mechanism of 3S technology. On this basis, taking a certain mine geological environment monitoring project as an example, this paper discusses the specific applications of satellite navigation technology, geographic information system technology, and remote sensing technology, hoping to provide certain references for relevant personnel.

[Key words] Satellite Navigation Technology; Geographic Information System (GIS); Remote Sensing Technology; Mine Surveying; Data Fusion

引言

矿产资源开发过程中,不可避免地会引起地表沉陷、边坡和土地破坏等一系列的工程地质和环境问题,如不及时发现和处理,将严重影响生产秩序和人民生命财产的安全。传统的矿山测绘主要依靠传统测绘仪器如全站仪、水准仪等,采用单点、逐级测量的方式进行作业,不仅劳动强度大,耗时长,而且很难获得整个矿区的变形场信息^[1]。近几年来,卫星导航已具备厘米至毫米级精度的实时动态定位能力,遥感技术可以定期获取矿区地表的高分辨率图像,而GIS为多源数据的存储、管理和空间分析提供了一个有效的平台。上述三种技术的融合应用,促进了测绘由点向面连续、由静态数据获取向动态时空分析的跨越。本文结合实际工作,分析讨论了测绘领域3S技术应用的方法,具体如下。

1 3S技术的内涵概述

1.1 卫星导航技术

这项技术通常以美国GPS(Global Positioning System, GPS)、我国北斗为代表的卫星,卫星导航是指利用多个导航卫星发出的测距信号,采用空间距离交会原理,反演接收天线所在位置的三维坐标。目前,煤矿井下测图方法主要有两种,一种是实时动态定位法,另一种是静态相对定位。实时动态定位技术充分利用基准站与流动站之间的差分相关信息,实时获取厘米级的定位结果,在矿区控制测量、地形测绘、采矿工程定位等方面有重要的应用价值。静态相对定位技术通过对长时间连续观测资料的后处理,可以实现毫米级乃至亚毫米级的定位精度,主要用于矿区地表变形观测、重大建筑物形变监测等高精度应用领域^[2]。尤其是,随着北斗全球网络的建成,其在亚太地区的服

务性能将显著优于其他导航系统:多系统融合定位不仅可以增加可见星数量,改善矿坑、沟谷等地形条件,还可以利用不同系统之间的频率差,提高电离层时延修正模型的精度。

1.2 地理信息系统技术 (GIS)

地理信息系统是一门综合性技术,它不只是一个简单的电子地图制图工具,而是一个综合的空间数据获取、存储、管理、分析、建模与可视化表达的技术体系。面向矿山应用的地理信息系统的核心价值体现在两个层面:一是为矿区各类专题要素(如地形地貌、地质构造、勘探网络、采矿工程、交通运输体系、地表构造等)提供统一的坐标参考框架与数据组织规范。宁夏某矿区新近完成的坐标系转换项目是GIS基本功能的典型体现,项目组已完成北京54坐标系向CGCS2000国家大地坐标系升级,依托GIS平台研发坐标转换模块,实现海量历史数据的批量更新与新旧数据无缝对接。利用地理信息系统进行矿产资源储量评估、开采方案优选和地质灾害危险性评估。

1.3 遥感技术

遥感技术是利用传感器记录被测物反射或发射的电磁波,而不直接接触被测物,从而确定被测物的属性与状态的一种检测技术。矿山测绘中常用的遥感数据按照搭载平台不同可以分为三类:卫星遥感、航空遥感和无人机遥感^[3]。卫星遥感覆盖范围大,重访周期稳定,多光谱、高光谱数据能有效识别矿区植被覆盖度、水体污染程度及地表扰动情况;航空遥感具有机动灵活和高分辨率等特点,适合重点地区精细勘测;近几年来,无人机遥感技术得到了快速发展,它具有对起降环境要求低,飞行高度可调,数据采集时间短等优点,已逐渐成为矿井地形测绘的重要手段。在电磁波段中,可见-近红外可识别地物类别及植被长势,热红外可探测采空区自燃火区,SAR可穿透云雨区及夜间成像,其差分干涉法可获取毫米级地表形变信息。遥感技术的核心优势是其“宏观、快速、客观”的观测能力,可周期性地为矿山环境监测和灾害辨识提供基础数据。

2 3S技术的主要应用

2.1 卫星导航技术的应用

卫星导航技术可用在多个领域,以矿山领域为例,在矿井设计、施工、生产到关闭矿井的整个过程中,都采用了卫星导航技术。在矿区一级控制测量阶段,一般采用静态相对定位方式布设GPS/北斗控制网,观测时长大于45分钟,采样间隔5~15 s,卫星高程截断角15°,经基线解算和网平差处理,得到精度优于±5 mm的控制成果。实时动态差分测量具有不可替代的作用,它通过架设于已知控制点对卫星信号进行连续观测和差分改正,流动站接收到差分信号后,几秒钟就能达到厘米级的定位精度。

2.2 地理信息系统技术的应用

GIS技术存储着大量的地理信息及各类测绘成果,可应用在工程及矿山等各类测绘中,如在矿山测绘工程项目中,可利用GIS的缓冲区分析功能划分采空区影响范围,如建立100米、200米、500米的缓冲带,统计各缓冲带内的居民、道路和耕地的分布状况。通过对不同时期遥感解译结果的叠加运算,可以准确地

确定采矿活动新增用地面积及类型^[4]。通过DEM的分析,可以生成矿区的地表坡度、坡度图,为排土场的选址、边坡的稳定性评价提供依据^[5]。近年来,随着三维地理信息系统(GIS)技术的广泛应用,通过数字高程模型和高分遥感影像的叠加,并结合地下采矿工程数据,构建矿区上地下一体化三维空间模型,实现井下控制关系的可视化展示和分析。

2.3 遥感技术的应用

遥感技术能快速获取大范围的地表信息,并对其进行变化监测,如在矿山勘测工作中,采用无人机倾斜摄影测量技术,在150~300 m高度范围内,航向重叠度不小于80%,旁向重叠度不小于70%,经三维重构软件处理,可得到分辨率5 cm以上的数字表面模型,完全满足1:2000地形图测绘的需求。针对地表沉陷监测,合成孔径雷达差分干涉测量技术具有独特优势,选择中分辨率Sentin-1雷达资料,结合时序InSAR处理技术,获取矿区地表沉陷盆地分布范围较大,监测精度达到毫米量级,对隐伏采空区的识别与灾害风险评估有重要价值。针对矿区生态环境监测,利用多光谱遥感数据计算植被指数(NDVI),结合矿区不同时期植被指数的变化,定量评价矿区植被恢复工程的实施效果。当某一区域的地表温度显著高于周围背景温度时,应及时组织现场核查和处置。遥感技术的应用不单单是影像解译,还需结合地面观测资料对反演模型参数率定和精度校验。

3 3S技术的应用实例分析

3.1 案例概况

某矿区位于华东平原与丘陵过渡区,主采层厚度4.5 m,采深450~600 m,采用走行壁综放开采,顶板完全垮落。矿区地表分布有大量的村镇、耕地、道路及少量工业企业,开采沉陷对地表建筑及生态环境造成严重影响。本项目基于“3S”技术,构建1~12 km范围内的3S协同监测体系,以掌握地表移动对建筑物结构的影响程度。主要研究内容包括:获取采动期地表三维位移时程曲线,揭示采动期地表移动量与采动期采动推进速率的对应关系。确定了塌陷区范围,计算了塌陷区范围,并对预测参数进行了验证;研究塌陷区地表裂缝的分布和发育状况,可为地面建筑物的保护提供预警。

3.2 案例项目中运用3S技术

在卫星导航技术应用方面,本项目将在矿区主要断裂带及采空区周边布设24个北斗GNSS地表形变监测站,监测点采用混凝土墩浇筑方式埋设,墩顶设置强制对中盘和北斗接收天线,接收机支持北斗三号信号全频点接收,数据采集频率设置为每小时一组,实时数据通过4 G网络传输至监测中心服务器。同时,将3个参考站布设于矿区外围稳定岩层区域,通过静态相对定位方式对各监测点进行三维坐标解算,使监测精度面好于±3 mm,高程好于±5 mm。

在GIS技术应用层次上,以超图地理信息系统平台为平台,建立矿区地质环境监测与预警系统。该系统整合北斗监测点位移序列、无人机正射影像、遥感解译成果和水文地质钻孔资料,形成一个统一的空间数据库。在空间分析模块中,设置两个级别

的预警阈值: 单点沉降累计沉降大于30 mm或者沉降速率大于每天2 mm的时候触发蓝色预警; 当沉降量大于50 mm或者沉降速率大于每天3 mm的时候, 就会触发黄色警报。同时, 该系统还集成了植被覆盖度分析功能, 实现了不同时相遥感图像上植被指数的自动计算, 生成植被变化曲线。

在遥感技术应用方面, 本项目采用多源遥感信息融合的技术方案, 对遥感数据进行融合处理。在此基础上, 本项目在5、9月采集1次高分辨率遥感图像(0.5 m, 多光谱2 m), 应用于矿区土地利用/覆被分类及植被长势监测。在200 m高空开展无人机航拍, 获取矿区关键区域正射影像, 获取高分辨率优于0.1 m的地表正射影像, 精细识别地裂缝分布及土地毁损情况。同时, 利用Sentin-1雷达覆盖矿区, 利用时序InSAR技术, 反演过去3年地表沉降演化过程。上述数据处理结果以图层形式入库, 为地理信息系统的基础图及变化检测提供了数据来源。

3.3应用结果

本项目通过12个月的连续运行, 获得了较为丰富的应用成果。根据北斗监测数据, 监测期间, 矿区累计沉降最大值186 mm, 盆地形态与开采进度存在较好的时空对应关系, 工作面推进过程中下沉速率明显加快, 而停采后下沉速率逐渐降低。系统累计发出27次蓝色预警、6次黄色预警, 所有预警信息都被及时推送至矿山管理部门, 有两个预警区域经现场巡查发现有地裂缝发育, 矿方及时采取了裂缝充填及警示围栏设置措施。

通过遥感反演结果, 两期高分辨率遥感影像解译对比发现, 复垦区植被覆盖度稳步提高, 复垦区植被覆盖度由0.21提高到0.28, 新形成的采煤沉陷区植被覆盖率略有下降, 该规律可为下一步的生态修复重点区确定提供依据。无人机图像解译结果显示43个5 m以上长的地裂缝, 主要分布在采空区边界上方, 最宽处约120 mm, 经GPS现场监测验证, 定位误差在0.5 m以内, 属性判别率大于92%。并实现了对多源监测数据的集中管理和可视化表达, 使矿区管理者可以在网上或手机上实时浏览各监测点位移曲线、预警统计报告和遥感图像变化点。

基于GIS平台, 对采动区沉陷区面积与采出量之比为1.28, 沉降盆地周缘为3.5 mm/m, 划分出3平方公里的地表建筑物监测重点区域。通过以上方案, 成功为采煤沉陷区土地复垦和生态修

复方案的制定提供科学依据。

4 结语

测绘技术的发展离不开测绘手段的革新, 由最早的经纬仪、水准仪等手工测量, 到如今的卫星导航、地理信息系统与遥感技术的融合应用, 每一步的飞跃, 都大大扩大了矿山测绘的范围与服务能力。笔者多年的实践经验表明, 3S技术融合并非简单的功能叠加, 要使其发挥更大的作用, 还需要在数据基准统一、时空尺度匹配、精度指标衔接等方面展开深入研究。利用卫星导航技术, 解决了矿区高精度定位基准问题, 为各类测绘活动提供了统一坐标系; 遥感技术可以在短时间内获得大范围的地表信息, 实现动态监测, 弥补地面点式观测的不足; 地理信息系统为多源数据的集成管理与深度分析提供了平台支撑, 使之成为决策依据。目前, 随着北斗三号全球定位系统的建成, 国产高分遥感卫星星座逐步完善, 地理信息系统平台智能化水平不断提升, 3S技术应用于矿山测绘具有广阔的发展前景。从长远看, 将监测数据与开采工艺参数深度融合, 构建全生命周期空间信息模型, 并开发基于人工智能的形变预警技术, 是煤矿形变监测技术进一步发展的方向。

[参考文献]

- [1]张伟. 林业调查规划设计中3S技术的应用[J]. 林业科技情报, 2025, 57(03): 140-142.
- [2]赵庆林. 3S技术在地质矿产工程测绘中的运用[J]. 世界有色金属, 2026, (01): 193-195.
- [3]罗光超. 3S技术在地质资源勘查中的应用[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(12): 30-32.
- [4]毛嵩. 矿山生态修复动态监测中3S技术的应用探讨[J]. 中国金属通报, 2025, (10): 125-127.
- [5]陈晨. 3S技术在森林资源调查规划中的应用[J]. 林业科技情报, 2025, 57(03): 110-113.

作者简介:

开丽曼尔·吐逊江(1994—), 女, 维吾尔族, 新疆阿图什人, 大学本科, 助理工程师, 主要研究方向为遥感影像的智能化应用与测绘生产。