

煤矿地质测量空间信息系统及关键技术的研究

张彪

曲靖市麒麟区能源局, 中国·云南 曲靖 655000

摘要: 随着我国煤矿智能化开采技术的快速迭代升级, 传统的、依靠人工完成地质测量、纸质图纸归档、静态数据分析等工作的模式, 已经不能满足现代煤矿安全高效生产的需要。煤矿地质测量工作是矿井开拓、采掘设计、灾害防控、资源储量核算的根基, 它有着数据量大、种类繁多、空间联系紧密、动态变化较快的特性。因此本文对煤矿地质测量空间信息系统的主要构成进行了系统的整理, 对各项关键技术的应用逻辑以及实践优势做了深入的分析, 为现代化煤矿地测信息化系统的建设以及技术优化提供一定的参考。

关键词: 煤矿地质测量; 空间信息系统; 三维 GIS; 数据融合

Research on the Spatial Information System and Key Technologies of Coal Mine Geological Surveying

Zhang Biao

Qujing Qilin District Energy Bureau, China Yunnan Qujing 655000

Abstract: With the rapid iteration and upgrading of intelligent mining technology in China's coal mines, the traditional mode of relying on manual completion of geological surveying, paper drawing archiving, static data analysis and other work can no longer meet the needs of modern coal mine safety and efficient production. Coal mine geological surveying work is the foundation of mine development, mining design, disaster prevention and control, and resource reserve accounting. It has the characteristics of large data volume, diverse types, close spatial connections, and rapid dynamic changes. Therefore, this article systematically summarizes the main components of the coal mine geological survey spatial information system, and conducts in-depth analysis of the application logic and practical advantages of various key technologies, providing a certain reference for the construction and technical optimization of modern coal mine geological survey information systems.

Keywords: Coal mine geological survey; Space information system; 3D GIS; Data fusion

0 引言

煤炭是我国能源体系的主体能源, 在国民经济的发展中占有不可取代的战略地位。地质测量工作贯穿于煤矿生产全过程, 即矿井开拓、巷道掘进、工作面回采、闭坑治理等各个环节, 是保证煤矿安全生产、提高资源回收率、降低开采成本的基础性、保障性工作^[1]。传统的煤矿地质测量大多采用人工野外勘探、井下实测、图纸手绘归档的方式进行, 数据记录大多是静态的纸质资料, 存在着数据更新不及时、空间信息关联性差、数据分析滞后、图纸管理混乱等诸多弊端, 不能准确地反映井下地质构造、岩层分布、水文条件、采空区形态等动态变化的情况, 容易造成采掘设计错误、透水、顶板垮落等安全隐患, 阻碍了煤矿智能化、标准化的发展^[2]。

1 煤矿地质测量空间信息系统组成

1.1 多源数据采集模块

多源数据采集模块为系统的数据输入端, 也是整个系

统稳定运行的基础, 主要对煤矿地质测量中涉及的各类空间数据和属性数据进行全方位、高精度的获取, 实现井下、井上数据一体化采集。该模块的数据来源包含传统勘探数据和智能化监测数据两种, 数据类型繁多并且有很强的空间相关性^[3]。基础采集数据有煤矿地形地貌数据、井下巷道测量数据、地质构造数据、岩层分布数据、煤层厚度与倾角数据、水文地质数据、瓦斯地质数据、采空区分布数据等传统的地测数据, 智能化采集数据有无人机航测影像数据、三维激光扫描点云数据、卫星遥感监测数据、井下物联网传感器实时监测数据等动态数据^[4]。本模块可以实现多设备、多场景协同采集, 可以适应地面勘探、井下实测、远程遥感等各种作业环境, 同时具有数据预处理功能, 可以自动完成原始数据格式统一、坐标校正、噪声剔除、精度校验等操作, 解决了传统地测数据格式杂乱、坐标不统一、误差大的问题, 为后面的数据存储、分析、建模提供准确、规范的基础数据支撑, 保证系统的数据真实性、

有效性。

1.2 空间数据库管理模块

空间数据库管理模块是系统的主要存储容器，不同于传统的单一属性数据库，它用空间 GIS 技术创建，把煤矿地测空间数据和属性数据联系起来，形成了结构化的、一体化的存储管理体系^[5]。模块采用分层分类存储方式，按照地形数据、巷道工程数据、地质构造数据、水文灾害数据、开采动态数据等分类建立独立的数据图层，并将每一类空间数据与之对应属性信息关联起来，即数据采集时间、采集点位、参数指标、精度等级等，创建起“空间位置 + 属性信息”的双维度数据存储结构。本模块具有数据存储、查询、修改、更新、备份、权限管理等功能，可以容纳大量的煤矿地测数据，可以稳定地存储海量遥感影像、三维点云、矢量图纸等大容量数据。模块具备动态数据更新特性，可以随时获得井下采掘进展、岩层位移、水文状况等各项动态数据并加以输入到数据库里，保证数据同矿井实际状况达成同步。另外系统有严格的权限控制，可以对不同的岗位进行不同的操作权限的设置，保证地测核心数据的安全、规范，防止出现数据被篡改、丢失、泄露等情况。

1.3 空间数据分析处理模块

空间数据分析处理模块是系统实现智能化应用的关键部分，依靠 GIS 空间分析算法、大数据运算模型、地质专业分析模型，对数据库里的多源地测数据实施深入挖掘和专业处理，冲破传统人工数据统计、分析的束缚。该模块的主要功能有空间叠加分析、缓冲区分析、拓扑分析、数据对比分析、趋势推演分析等，可以准确地完成煤矿地质构造解析、煤层赋存规律分析、水文异常区判断、采空区范围确定、资源储量动态计算等工作。同时，模块化集成煤矿地质专业的算法，可以对矿井生产中出现的主要问题进行分析，例如利用岩层移动数据分析预测顶板稳定性、用水数据叠加分析确定透水风险区、利用煤层数据统计分析优化采掘布局等。相比传统的手工分析方法，本模块大大提高了数据分析的精度和速度，可以快速发现大量的数据背后所隐藏的地质规律以及安全隐患，给矿井的采掘设计、灾害防治、资源开发提供准确的数据支持，使地测数据由原来的“存储归档”变为“价值挖掘”。

1.4 可视化应用服务模块

可视化应用服务模块属于系统的输出终端和应用载体，主要完成地质测量空间信息的直观化、立体化、可视化展示，并且给矿井生产各个岗位提供便捷的信息服务和决策支持。该模块抛弃了传统的二维纸质图纸展示方式，

实现了二维平面图纸和三维立体模型的双向转换显示，可以全方位地展示矿井地形地貌、巷道布置、地质构造、煤层分布、采空区形态、灾害隐患点位等全部的空间信息，使隐藏在地下深处的复杂地质环境一目了然。

2 煤矿地质测量空间关键技术应用

2.1 多源异构空间数据融合技术

煤矿地质测量数据涵盖钻探、三维地震、瞬变电磁、井下测量、遥感影像和地质写实等多个专业，呈现多尺度、多时相、多语义的显著异构特征。多源异构空间数据融合技术以统一空间框架为基准，依次进行坐标系统一、格式互操作、语义对齐与精度配准，将离散的信号集成为一体化的矿山空间数据模型，是实现地质体与采掘工程透明化表达的关键。该技术首先建立 CGCS2000 与矿区独立坐标系的高精度转换关系，并利用 FME 或自定义插件将 DXF、Shapefile、SEG-Y 等格式进行互转；进而通过构建煤矿地质本体库，消除“砂岩”与“粗粒砂岩”等命名歧义，实现语义融合。在空间配准环节，采用最小二乘平差与克里金插值对控制点、属性进行严密融合，保证井上下数据精确套合。为直观展示融合对象，主要数据源及方法如表 1 所示。

表 1 煤矿地质测量多源异构数据融合示例

数据类别	数据来源 / 格式	空间特征	融合方法	应用目标
钻探数据	钻孔柱状图、Excel 台账	点状，离散属性	空间插值、三维建模	构建煤层顶底板界面
三维地震	SEG-Y 数据体	体状，连续网格	重采样与坐标配准	识别断层、陷落柱
瞬变电磁	二维剖面、电阻率等值线	线面状	反演结果与地质剖面联合约束	富水区空间定位
井下测量	全站仪、陀螺定向导线点	点线，高精度	最小二乘平差与三维激光点云融合	巷道精准建模
遥感影像	无人机正射影像、LiDAR 点云	面状、地表真三维	多源控制点几何纠正、纹理映射	地表沉陷与开采损害监测

2.2 三维可视化地质建模技术

三维可视化地质建模技术是实现煤矿地质空间信息立体化展示的主要技术，也是现代化智能矿山建设的主要技术之一。传统的煤矿地质展示主要依靠二维平面图纸来表现，不能直观地体现出井下岩层、构造、煤层的立体空间分布情况，也不能准确地反映出复杂的地质条件的空间形态。三维可视化地质建模技术依靠融合过的多源地测数据，利用曲面重构、实体建模、拓扑拟合等算法来创建矿井全域三维地质实体模型。该技术可以精确地再现矿井地形地

貌、巷道网络、煤层赋存情况、断层、褶皱、陷落柱等地质构造的立体面貌,并且可以对水文岩层、瓦斯富集区、采空区、围岩破碎区等特殊地段做精细的建模。模型具有分层显示、剖切查看、缩放漫游、属性查询等功能,工作人员可以利用剖切模型来清楚地看到地下各个深度的地质构造,单击模型就可以得到该区域煤层参数、岩层特征、水文指标等详细属性信息。同时支持模型可以动态调整,根据采掘进程及地质变化情况及时修改模型参数,从而达到地质模型同井下实际工况动态同步的目的,给采掘设计优化、隐蔽致灾因素排查赋予直观可视的支持。

2.3 GIS 空间智能分析技术

GIS 空间智能分析技术属于煤矿地质测量空间信息系统开展智能化决策的重要支撑技术,它不同于传统的简单的数据统计功能,依靠地理信息系统算法和煤矿地质专业知识,对地测空间数据展开深入的挖掘和专业的分析。该技术包含空间拓扑分析、叠加分析、缓冲区分析、网络分析、趋势分析等众多的功能,可以全方位地满足煤矿地测专业分析的需求。在矿井生产应用中,利用空间叠加分析可以将煤层分布数据、地质构造数据、水文数据、瓦斯数据进行叠加,准确划定高风险开采区域;利用缓冲区分析可以对断层、陷落柱、采空区等危险区域设置安全缓冲范围,给巷道掘进、工作面布置提供安全依据;利用空间拓扑分析可以校验巷道布局、地质模型的合理性,规避采掘设计冲突问题;利用动态趋势分析可以预判煤层厚度变化、岩层移动规律、水文动态变化趋势。该技术克服了人工分析经验化、主观性强的缺点,用数据代替人工进行精确化、标准化的分析,大大提高了煤矿地质研判和生产决策的科学性,有效地降低了开采的安全风险。

2.4 地质动态监测与智能预警技术

煤矿井下地质环境存在动态变化的特点,采掘作业会造成原来的岩层应力状况发生改变,进而引起岩层位移、水文状况的变动以及瓦斯涌出等动态变化,很容易造成各种地质灾害的发生。地质动态监测和智能预警技术利用物联网感知设备、数据实时传输技术、智能研判算法等手段,对煤矿地质环境和开采状况进行全方位、实时的监测,并且可以对异常进行智能的判断和预判,从而保障煤矿的安全生产。采用在井下巷道、工作面、采空区周边设置位移

传感器、水文监测传感器、瓦斯传感器、应力传感器等方式,对岩层位移、围岩应力、涌水量、瓦斯浓度等进行实时监测,然后将数据传送到空间信息系统中。系统依靠预先设定好的灾害阈值模型以及智能研判算法,对实时监测的数据实施动态剖析,当监测数据超越安全阈值或者出现异常变化趋向的时候,系统就会自动察觉风险种类,找出风险所在之处,判定风险严重程度,立刻发出声光预警,发送预警信息。系统可以自动生成风险处置建议,给工作人员开展隐患排查、应急处置提供支持,从而有效地提高地质灾害的早发现、早预警、早处置能力,从源头上减少煤矿地质灾害的发生。

3 结语

煤矿地质测量空间信息系统是煤矿数字化、智能化建设的基础性工程,对传统的煤矿地测工作方式和管理方式进行彻底的改变。随着煤矿智能化建设的不断推进,未来的煤矿地质测量空间信息系统将会向着高精度建模、全场景智能感知、大数据深度挖掘、智能化决策推演的方向不断改进,从而提高系统的自动化、智能化水平,促进煤矿地质测量工作向数字化、可视化、智慧化全面转变,为我国煤炭行业的高质量、安全化、智能化发展提供有力的支撑。

参考文献:

- [1] 宋丽强,王学增,褚旭等. 五阳煤矿掘进工作面地质异常超前探测[J]. 凿岩机械气动工具, 2026,52(6):213-215.
- [2] 宋小刚. 煤矿地质测量空间信息系统及关键技术的研究[J]. 能源与节能, 2025(5):42-45.
- [3] 杨丽婷,冯上运. 煤矿地质测量空间信息系统及其关键技术[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(21):184-186.
- [4] 齐超. 煤矿地质测量空间信息系统及其关键技术[J]. 能源与节能, 2024(3):172-175.
- [5] 刘莉,王慧芳,陈大林. 煤矿地质测量的空间信息系统关键技术探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(4):190-192.

作者简介:张彪(1980.01-),男,彝族,云南宣威人,大专学历,工程师,主要从事:煤矿安全监管与技术服务指导工作。