

基于 GIS 的矿区地质信息集成与 测绘管理系统研究

秦 启

(晴隆县能源局, 贵州 黔西南 561400)

摘 要 矿区的地质以及测绘数据的多异性和多源型给综合管理、深度使用带来了诸多挑战。本文主要研究地理信息系统在矿区的专业化应用, 系统地研究建立矿区地质信息集成与测绘管理系统的必要性和技术途径。通过对目前矿区地质和测绘数据在集成、管理、分析、服务等方面存在的主要问题进行分析, 提出了基于统一数据模型的多源融合、三维动态建模与管理、智能分析模型集成、协同服务等主要策略, 旨在为矿山数字化、智能化转型提供统一、高效、智能的空间信息管理平台。

关键词 地理信息系统; 矿区地质; 信息集成; 测绘管理; 三维地质模型

中图分类号: TD17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.039

0 引言

矿产资源高效、安全、绿色开发需要对矿区地质条件及空间信息有准确的把握, 并且进行科学的管理。传统的地质图件、测绘成果、勘探资料大多是以分散的、静态的方式存在, 不能满足现代矿山精细化、动态化管理的要求。地理信息系统依靠强大的空间数据管理、分析和可视化能力, 为破解矿区信息孤岛、实现多源信息深度融合、协同应用提供了理想的框架。

1 矿区地质信息集成与测绘管理的内涵与 GIS 支撑

1.1 矿区地质信息的多元异构特征分析

矿区地质信息属于综合性数据集合, 它的多元异构特征比较明显且繁杂。多元性包括基础地理地形、区域地质构造等许多专业领域, 也包括各个领域数据所具有的特有的专业内涵和用途。异构性上数据格式有图形、表格、文本、点云等, 精度、比例尺参差不齐, 影响数据适用范围, 时空基准不同, 数据不能直接融合。这些数据在勘查、设计等不同阶段产生, 由不同的部门用不同的软件生成, 虽然彼此之间有联系但是各自独立。只有对多元异构特征有深刻的认识, 才能准确把握数据的特点, 为之后设计出科学有效的集成管理系统, 实现数据高效整合和利用打下基础。

1.2 现代矿山对测绘管理的动态化与精细化需求

现代矿山的动态化要求, 核心是对时空连续变化的准确感知和快速反应。随着开采活动向深部、复杂

地质条件的区域推进, 岩层应力、地表形变、边坡位移等都处在不断变化之中, 传统的周期性或者阶段性测绘已经存在明显的滞后性。动态化测绘管理要建立空天地井一体化的实时监测网, 采用 GNSS、三维激光扫描、InSAR、微震监测等多方面的传感技术, 达到毫米级或者更高的精度连续数据采集的目的。创建时空数据模型和预警体系, 可以自动识别出异常变形的趋势, 给边坡稳定评价、采空区处理、防灾减灾提供及时的决策支持, 把测绘管理由“静态记录”转变成“动态感知和智能预警”。

将测绘数据转变成覆盖矿山规划、生产、运营和复垦全过程的精确“数字底图”, 从而达到对生产流程精确控制、资源科学调配的目的。

1.3 GIS 作为集成管理核心平台的技术优势

GIS 的主要优势是具有很强的多源异构数据整合能力。矿山的数据来源众多, 有地质勘探数据、地形图、遥感影像、监测传感器数据、设计图纸和各种业务报表等, 格式和标准各不相同。GIS 使用统一的空间参考基准和灵活的地理数据库模式, 可以很好地把多个时相、多种尺度、各种类型的多源数据进行集成, 建立起逻辑上的联系, 从而彻底打破“信息孤岛”, 形成一个完整的“矿山地理信息全景图”。一体化管理保证了数据的一致性和权威性, 也为后面深度分析和应用打下了良好的基础^[1]。

作者简介: 秦启 (1991-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 地质测绘。

GIS空间分析、可视化和决策支持功能能把它的价值由原来的对数据的管理提高到了对知识的发现层面。它自带的缓冲区分析、叠加分析、网格分析、三维建模以及专业的地质统计分析工具,可以直接用于矿体储量计算、开采沉陷预测、地下水渗流模拟、地质灾害危险性分区等专业领域,把原始的数据转换成有指导意义的空间规律和决策的知识。另外,GIS卓越的可视化能力可以把复杂的、抽象的地质构造、矿层分布、应力场等信息用二维、三维或者动态的地图形式直观地展示出来,大大提高了信息的沟通效率 and 管理的直观性,是矿山数字化、智能化建设中必不可少的空间信息基础设施和决策中心。

2 矿区地质与测绘信息管理面临的主要问题

2.1 多源异构数据的集成融合难题

目前矿区地质和测绘信息管理中多源、多尺度等数据不能融合。不同部门产生的各种数据由于各自的数据标准、存储格式、坐标系统的独立性,只能实现文件层面的叠加,不能进行语义级的集成与关联查询^[2]。钻孔相关数据分散在不同的系统中,关联分析和三维重构比较困难。数据格式的转换会损失信息,而坐标配准会有误差。低层次的集成使得大量的数据不能够协同,综合应用价值受限,数据资产效能不能充分发挥。由此产生矿区数据管理混乱的现象,无法给后续分析决策提供可靠的依据,影响矿区的整体规划与发展,急需解决数据集成融合的问题。

2.2 三维地质建模与动态更新的技术瓶颈

高精度三维地质模型的创建是实现矿区地下空间透明化的关键,但是也存在技术瓶颈。建模依赖于地质工程师的经验,由于地下信息的不完备性和解译的多解性,不同的人建立的模型相差较大,客观性、可重复性差。离散数据插值外推成三维体模型,算法及参数决定结果,无最优实践。模型动态更新更麻烦,矿山生产不断改变地质环境,新数据要及时加入模型,但是大多数建模软件侧重静态构建,缺少高效智能的更新机制,更新常常需要推倒重来或者复杂的手工编辑,耗时费力,模型版本滞后,不能真实反映地质认识,削弱了指导生产决策的实时性和可靠性^[3]。

2.3 专业分析功能孤立与决策支持不足

现有的矿区信息管理系统或者专业的软件,分析功能是孤立的,缺乏决策支持。地质储量估算、边坡稳定性分析等专业功能模块由不同的软件来实现,由于数据接口不通畅、数据格式不相容等问题而造成。对开采方案进行综合分析,即对边坡、地下水系统的

影响进行评估,在多软件间烦琐操作,过程长容易出错,造成决策支持碎片化,管理者很难得到多维度关联的结论。系统多起到“数据仓库”和“图形浏览器”的作用,缺少把多源数据经由分析模型链转变成决策知识的能力,不能直接支撑生产规划、安全预警和资源评价,智能决策支持水平有待提高,以满足矿区复杂决策的需求。

2.4 信息共享与协同服务机制缺失

矿山企业各部业务互相关联,但是信息共享、协同服务没有得到实现。各部门因为业务习惯、数据安全或者软件限制等原因而形成“数据烟囱”,造成有价值的信息不能流通。缺少协同服务机制,没有统一的平台来支持跨部门、跨专业的协同工作。采矿设计人员利用最新的地质模型、测绘数据优化设计,方案调整后反馈给测量、安全部门,目前大多依靠会议、邮件、文件等方式传递,效率低且容易产生版本混乱。没有集中的数据、支持在线协同标注、设计会审、任务流转、信息推送的一体化平台,造成业务链条衔接不畅,信息传递滞后失真,制约矿山整体运营效率和管理水平的提高。

3 基于GIS的集成管理系统构建策略

3.1 构建统一时空基准的多源数据融合模型

破解数据集成难题的根本办法是建立一个以统一时空基准为依据、具有很强的语义关联能力的多源数据融合核心模型。该模型首先要确定全矿区统一、高精度的空间坐标基准和时间基准,作为所有空间数据接入的基准框架。在此基础上,设计出一个面向矿区的专业数据模型,该模型要抽象出钻孔、地层、构造、矿体、采空区、监测点等核心实体对象,明确定义几何特征、属性结构、对象间空间关系和逻辑关系^[4]。使用GIS的空间数据库引擎来建立一个集中的、逻辑统一的矿区空间数据库,所有来源的数据都按照制定的数据接口规范和ETL流程转换并映射到这个统一模型里。对于半结构化或者非结构化的数据,比如地质描述文本、勘探报告等,应该使用元数据标准化以及关键信息提取的技术来建立它和空间实体对象的关联索引。更重要的是,要建立数据血缘追溯和版本控制机制,对数据的来源、处理过程以及更新历史进行记录,从而保证数据可以被信任,并且相互之间不存在矛盾。

3.2 发展耦合地质认知与数据驱动的动态建模方法

为了冲破三维地质建模的瓶颈,要创建一种把地质专家认知与数据驱动算法融合起来的、可以动态更新的智能建模方法体系。该方法的核心是创建一个“人

机协同”的建模环境。建模之初系统给出了诸多依靠机器学习的插值算法,例如克里金法、径向基函数法、随机模拟等,可以迅速由离散的钻孔数据创建起初始的三维属性模型。关键之处在于系统要提供强大的、灵活的三维交互编辑工具,使地质工程师能够根据自己的专业知识以及新的揭露信息,对自动生成的模型进行可视化审查、解释性修改和不确定性标注,把人的认知直接嵌入模型当中。为了实现动态更新,系统要具备增量建模的机制。当新钻孔或者巷道编录数据输入的时候,系统可以自动识别影响区域,按照预先设定的规则或者人工干预来完成局部智能的更新和整体一致性的调整,而不会做全模型的重建。

3.3 集成专业分析模型构建智能决策支持链条

矿区智能化是产业安全、高效发展的核心,而复杂地质条件下巷道掘进作为智能开采的关键环节,以实现煤矿地质特征的透明化解析,成为破解智能开采“地质透明化”瓶颈的核心需求^[5]。首先,整理出矿山核心的业务,即资源评估、开采设计、安全预警、环境保护等环节,从中发现哪些是关键步骤,以及需要什么样的模型。其次,利用 GIS 提供的脚本开发环境或者模型构建器工具,将地质统计学储量估算模型、边坡稳定性极限平衡模型、数值分析模型、开采沉陷预计模型、地下水数值模拟模型等封装成可调用的标准化服务组件。接着,以 workflow 引擎技术为基础,把分散的分析模型组件按照业务逻辑进行可视化编排和串联,形成储量动态估算、边坡稳定性综合评价、开采对地下水影响评估等自动化或者半自动化的分析流水线。当用户触发某项分析任务的时候,系统可以自动地从数据中心获取需要的数据,驱动相关的模型一个接一个地运行,最后再把各个阶段的中间结果和最终结论一起综合地用可视化的方式展示出来,形成一份报告。该模式把复杂的分析过程标准化、自动化,管理者可以跳过软件障碍,直接得到基于多模型融合的深度决策支持信息。

3.4 构建云端协同平台与全生命周期信息服务框架

为了建立高效的共享、协同机制,以云 GIS 技术为基础创建起矿区多部门、多角色的云端协同工作平台和全生命周期信息服务系统。平台采用浏览器、服务器等途径,使用用户不需要安装客户端软件,只需要通过网络就可以进入相同的系统界面。创建一套严格的基于角色、数据的权限控制系统,保证数据的安全性、可控性,同时达到资源共享的目的。平台要提供在线地图标注、三维场景协同浏览、设计图纸在线

会审、任务工单发布流转、实时消息通知等协同工具,促使地质、测量、采矿、安全等各个部门在同一个空间场景里展开业务协作和交流。信息服务上要创建起从数据、信息到知识、决策的全生命周期服务架构。提供原始数据查询下载的同时还应该提供专题地图服务、三维场景服务、空间分析服务和移动端野外数据采集、巡检服务等。把系统能力以服务的形式发布出去,可以方便地同其它生产管理系统进行集成,达到数据和业务双向流动的目的。云端协同平台将会彻底改变传统的做事方式,冲破部门壁垒,达到实时数据共享、在线业务协作、连续知识积累的全新矿山数字运行的新环境,从而提升整个矿产生产系统信息化管理与决策能力^[6]。

4 结束语

创建以 GIS 为基础的矿区地质信息集成和测绘管理平台,是面对矿山数据成爆炸性增长,管理要求越来越高的一种必然选择。本文针对目前矿区信息管理数据集成、三维建模、分析应用、协同共享存在的主要问题,提出建立统一数据融合模型、发展动态建模方法、集成智能分析链条、构建云端协同平台等主要策略。该系统成功实施之后,能很好地整合矿山全生命周期的空间信息资产,使地质认知透明化、管理决策科学化、业务协同高效化,为矿山安全生产、资源高效利用和绿色可持续发展提供坚实可靠的空间信息基础设施和智慧大脑,有力推动传统矿业向数字化、智能化矿山转型升级。

参考文献:

- [1] 陈麒玉,荀磊,崔哲思,等.三维地质建模技术的最新进展和发展趋势[J].地质科技通报,2025,44(03):373-387.
- [2] 张建龙,朱焕春,葛隆发,等.三维地质建模与数据交互技术发展现状分析[J].水电与抽水蓄能,2022,08(05):14-22.
- [3] 王洋,赵雅诗,王锐柯,等.三维地质建模技术的发展现状[J].化工设计通讯,2019,45(08):243-244.
- [4] 张文彪,段太忠,刘彦锋,等.定量地质建模技术应用现状与发展趋势[J].地质科技情报,2019,38(03):264-275.
- [5] 马斌,杨辉,安又新,等.复杂地质条件下煤矿井下高精度三维地质建模方法研究[J].工矿自动化,2025,51(S2):315-318.
- [6] 向中林.矿区三维地质建模方法研究及深部综合信息找矿预测[D].焦作:河南理工大学,2019.