

矿山地测采协同技术体系构建与应用 ——以康家湾矿为例

梁宗霍, 邱明, 左宗, 杨锋

(水口山有色金属有限责任公司, 湖南 常宁 421513)

摘要: 在矿山数字化转型背景下, 地质、测量与采矿等多专业之间长期存在的数据割裂、流程分散及协同机制不足等问题, 已成为制约矿山生产效率与技术管理水平提升的关键瓶颈。本研究以“地测采协同”研究为核心, 构建矿山生产全流程地测采协同技术体系。该体系在统一数据标准的基础上, 提出“数据层-工具集层-协同作业平台层-矿山业务层”的分层架构设计, 通过流程驱动机制实现地质建模、测量更新与采矿设计等核心业务的协同运行, 形成覆盖任务发起、过程管控、成果审核与归档共享的闭环技术管理模式。应用结果表明, 该技术体系有效解决了传统管理模式中普遍存在的数据版本混乱、业务流转难以追溯等问题, 显著提升了跨专业协同效率与技术管理水平, 推动矿山生产技术管理从经验驱动向流程化、数据化驱动转变。

关键词: 地测采协同; 数字化平台; 数字矿山; 业务流程; 数据标准; 数据融合; 矿山信息化; 康家湾矿

中图分类号: TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2026)03-0017-12

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2026.01.12

近年来, 随着矿山数字化转型的不断推进, 如何实现生产技术与管理的高效协同, 已成为驱动行业高质量发展的关键议题。在传统矿山生产管理体系中, 地质、测量与采矿作为支撑生产决策的三大核心技术环节, 长期存在数据标准不统一、业务流程分散、信息孤岛等突出问题^[1-3], 严重制约资源储量评价的精确性和生产计划的科学性, 导致信息传递滞后、管理成本骤升, 难以满足现代矿山安全、高效、绿色、智能发展的需求^[4-5]。

在此背景下, 矿山数字化平台的建设逐渐成为推动产业升级的重要途径^[6]。目前, 国内多数矿山正处于数字化转型的分步实施阶段, 主要表现为各类先进信息技术在矿业场景中的逐步应用。国家政策导向与国产矿业软件、智能装备的持续发展, 正强力推动中国数字矿山的建设进程^[7-9]。其中, “地测采协同”强调矿山系统中多专业领域之间的数据共享与业务联动, 驱动生产全流程的跨部门协同决策, 是矿山数字化平台建设的核心目标之一。

当前, 学者针对矿山单一领域数字管控与生产平台开展了相关研究。其中, 程宝军等通过系统分析煤电信息化建设中存在的问题, 提出基于GIS与三维空间数据智能化的矿山管控系统建设方法^[10]; 任建刚等通过研发矿山“一张图”管控系统, 实现了矿山主要领域的在线协同工作和各系统矿图的集成管理与及时更新^[11]; 武拴军等通过构建矿山协同平台, 将地、测、采等各生产过程间离散、独立的技术管理模式向三维化、集成化、融合化的高效管理模式转变, 从而实现信息的高度共享, 并在龙首矿进行了实践^[12]; Wang等为解决数字矿山建设过程中的信息孤岛等难题, 提出了矿山技术协同平台的概念、内涵、特征、架构和技术要求, 并以此指导福建马坑矿业有限公司矿山技术协同平台的研发与实施^[13]; 雷志勇等提出了一种用于露天煤矿连续采煤设备的智能控制平台, 通过集成双环网络传输、网络安全协议、多机协同控制、数字孪生建模和大数据分析等先进技术, 促进采煤设备间有效协调, 从而实现无缝连续

收稿日期: 2026-01-19; 修回日期: 2026-02-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFC2909500, 爆落矿岩散体时空运移数字孪生与运搬工艺智能化管控技术)

通信作者: 邱明

采煤作业^[14]。综上,尽管已有研究在矿山数字化与协同控制领域取得了一定成果,但多聚焦于特定业务模块^[15-16],缺乏针对地质、测量与采矿全流程一体化协同的系统性研究与实践。

为此,本研究围绕地测采协同技术的关键原理与工程实现,从数字地质、数字测量与数字采矿角度对地测采相关核心技术原理与方法进行分析,为协同应用提供理论基础。在此基础上,构建面向矿山生产实际的地测采协同平台架构,并结合其在矿山的应用案例,对其在提升数据共享能力、优化跨部门协作效率及支撑生产决策等方面的应用效果进行验证,以期类似矿山的数字化转型与协同管理提供可参考的技术路径与实践经验。

1 技术原理

地测采协同的本质在于,以统一的数据表达与计算模型为基础,建立地质、测量与采矿三大技术环节之间的耦合关系,从而实现信息在不同专业之间的连续传递与协同应用。

从技术重点上分析,地质工作侧重于基于离散观测数据的矿体空间建模与资源量估算;测量工作聚焦于矿山空间实体精细化几何信息的获取和更新;而采矿工作则以地质模型和测量成果为输入,完成开采方案设计与生产组织。这三者在数据类型、计算方法与应用目标上既相互独立,又高度关联,其协同效果直接决定矿山生产决策的科学性与执行效率。

本研究在开展平台架构设计与工程化实现之前,从技术原理层面对地测采相关核心方法及其协同机制进行系统梳理。

1.1 数字地质技术

地质工作是矿山生产技术体系的基础,其核心任务在于通过对有限地质观测信息的综合分析,构建能够反映矿体空间分布特征的三维地质模型,并为储量计算、采矿设计及生产决策提供可靠依据。

矿山地质信息主要来源于钻孔、刻槽及采样分析等离散观测数据,其本质为带有属性信息的三维空间采样点集。任一钻孔样点 p_i 可表示为

$$p_i = (x_i, y_i, z_i, a_i), \quad (1)$$

式中: (x_i, y_i, z_i) —样点空间坐标; a_i —品位、岩性等属性参数。地质建模的过程可视为将上述离散点集映射为连续空间实体的过程,即在三维空

间中构建矿体空间域 Ω_{ore} 。

在三维地质建模中,矿体通常可采用显式边界模型或隐式函数模型进行表达。对于隐式建模方法,可定义矿体指示函数

$$f(x, y, z) = \begin{cases} 1, & (x, y, z) \in \Omega_{\text{ore}} \\ 0, & (x, y, z) \notin \Omega_{\text{ore}} \end{cases} \quad (2)$$

在矿山生产阶段,地质模型还承担着资源量与储量计算的关键职能。基于块体模型的储量计算方法,将矿体空间划分为若干体积单元,其矿石量(Q)可通过式(3)进行表达。

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho_i \cdot \gamma_i, \quad (3)$$

式中: V_i —第 i 个块体体积, m^3 ; ρ_i —矿石密度, t/m^3 ; γ_i —品位(g/t 或 $\%$)或有效系数。

1.2 数字测量技术

平台支持三维扫描获取的点云数据与三维模型处理。三维激光扫描技术通过主动式激光测距,获取巷道、采场及采空区等复杂空间实体的高密度点云数据,为矿山测量提供精细化的三维空间信息。其基本测距原理可表示为

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}, \quad (4)$$

式中: d —激光测距值, m ; c —光速,取 $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$; Δt —激光发射与回波接收的时间差, s 。

不同测站点云在统一空间参考系下的融合,则采用基于最小二乘法意义的点云配准方法,其目标函数可表示为

$$\min_{\mathbf{R}, \mathbf{T}} \sum_{i=1}^n \|\mathbf{R} p_i + \mathbf{T} - q_i\|^2, \quad (5)$$

式中: $\mathbf{R}$ —旋转矩阵; $\mathbf{T}$ —平移向量; p_i 与 q_i 为两测站中对应点。通过迭代求解,实现点云在统一坐标系下的对齐,并结合重建算法生成井巷三维模型。

在矿山生产实际中,受历史资料缺失、作业条件受限或设备布设困难等因素影响,部分巷道工程难以通过三维激光扫描方式建立完整三维模型。针对上述情况,引入双线法与线框法作为补充测量手段,提取巷道关键几何控制线与轮廓特征,实现工程实体的结构化表达,并确保测量成果在地质建模、采矿设计及生产协同中的连续性与可用性。

1.3 数字采矿技术

采矿工作是矿山生产技术体系中将资源转化为产出的核心环节,其本质是在地质约束与测量

空间基准条件下,综合优化采场结构、开采顺序及工艺参数。在地测采协同技术框架中,采矿设计以地质模型与测量成果为输入条件,通过数字化手段实现多专业数据联动、动态更新与协同决策。

采矿设计对象通常可抽象为由若干采矿单元组成的空间集合,对象基本单元可表示为

$$u_k = (x_k, y_k, z_k, \theta_k), \quad (6)$$

式中:\$(x_k, y_k, z_k)\$—采矿单元在矿山坐标系下的空间位置;\$\theta_k\$—该单元对应的开采方式、工艺参数或状态属性(如中深孔采矿、充填采矿等)。采矿协同技术通过将采矿单元与地质块体模型及测量控制网进行空间对齐,实现设计对象在统一空间参考框架下的精确表达。

在采矿设计过程中,采场边界需严格受控于地质矿体空间域 \$\Omega_{\text{ore}}\$ 及安全约束条件,式(7)表示其关系约束。

$$\Omega_{\text{stope}} \subseteq \Omega_{\text{ore}} \cap \Omega_{\text{safe}}, \quad (7)$$

式中:\$\Omega_{\text{stope}}\$—采场空间域;\$\Omega_{\text{safe}}\$—由围岩稳定性、相邻采空区及工程规范共同限定的安全域。通过空间约束分析,平台可在采矿设计阶段自动识别越界采场、潜在冲突区域及安全隐患,提高设计的合理性与可靠性。

采矿协同技术的核心目标之一在于实现采矿方案的综合优化,总体优化目标函数可抽象为

$$\max F = w_1 R - w_2 L - w_3 C, \quad (8)$$

式中:\$R\$—资源回收效益;\$L\$—贫化与损失量;\$C\$—采矿成本,\$w_1\$、\$w_2\$、\$w_3\$为权重系数。该目标函数在地质约束、测量精度约束及生产能力约束条件下求解,为采矿方案优选提供定量依据。

1.4 协同机制

在数字地质、数字测量与数字采矿关键技术支撑下,地测采协同体系以统一空间基准与数据模型为核心,耦合矿山生产信息流与业务流,构建多专业技术活动之间的联动响应与协同优化机制。

在信息流层面,地测采协同的基础在于多源空间数据在统一坐标基准与数据标准下的持续更新与共享。地质模块以钻孔、采样等离散观测数据为输入,形成矿体模型与块体属性信息;测量模块通过三维激光扫描、工程测量等手段,获取巷道、采场及采空区空间形态,为地质模型修正与采矿设计提供精细化几何约束;采矿模块则以地质模型和测量成果为基础,开展采场设计、生产组织与方案优化。

在业务流层面,地测采协同贯穿于矿山生产

技术管理的多个关键环节,包括地质模型更新、采场设计调整、生产计划编制及工程实施反馈等。典型业务流程中,测量成果的更新往往作为触发条件,引发地质模型的局部重建或参数修正;更新后的地质模型进一步影响采矿设计边界、采场结构及资源回收方案;采矿实施过程中形成的工程进度与空间变化信息,逆向反馈至测量与地质环节,形成闭环业务流。

在信息、业务流运转过程中,主要包含三大关键协同节点:1)数据驱动型协同节点。当测量点云数据或工程控制线发生更新时,系统以数据变更为触发条件,驱动地质模型的局部重建与采矿设计成果的有效性校核。2)模型计算型协同节点。地质块体模型中品位、密度等关键属性的变化,直接作为输入参数参与采矿优化目标函数的求解过程,对采场边界、开采顺序及方案优选结果产生定量影响。3)成果发布型协同节点。经校核后的技术成果,以统一版本形式在平台中发布,并作为后续生产组织与技术决策的标准数据源,实现成果层面的协同应用。

2 平台架构

结合矿山生产组织特点与地测采协同管理需求及理论基础,本研究设计基于“数据层-工具集层-协同作业平台层-矿山业务层”,搭建四层生产技术协同平台架构体系(图1)。该架构以数据集中管理为基础,以流程协同与业务联动为核心,以专业工具集成与服务调度为技术支撑,实现矿山生产技术业务从数据获取、处理分析到成果应用与管理决策的全流程贯通。

2.1 数据层

数据层作为平台的基础支撑层,承担矿山生产技术数据的统一存储、规范管理与安全保障功能。该层以 PostgreSQL 关系数据库与 PostGIS 空间数据库为核心,构建面向地质、测量、采矿等多专业的中心数据管理环境。其中,地质业务要素类包括勘探线、采矿权界线与模型、钻孔数据库、矿体模型等;测量业务要素类包括地表测点、控制点、等高线、地表与采空区模型等;采矿业务要素类包括开采范围、机芯点、炮孔设计、爆破区域与模型等。以勘探线为例(表1),地质业务要素明确了唯一标识(uuid)、业务属性(勘探线号、勘探线组)、空间参数(方位角)、流程管理信息(作

业地点 ID、流程 ID、审批标记)、版本管理信息(版本起止)等数据标准。



图 1 矿山生产技术协同平台架构

Fig. 1 Architecture of mining production technology collaboration platform

表 1 勘探线数据标准

Table 1 Exploration line data standards

序号	字段名称	字段类型	字段长度	中文名称
1	uuid	TEXT	50	勘探线 ID
2	name	TEXT	50	勘探线号
3	line_id	TEXT	50	勘探线线 ID
4	workplace_id	TEXT	50	作业地点 ID
5	workflow_id	TEXT	50	流程 ID
6	approval_status	INTEGER	64	审批标记
7	version_from	INTEGER	64	版本从
8	version_to	INTEGER	64	版本至
9	comment	TEXT	200	注释
10	azimuth	NUMERIC	128	方位角
11	exploration_group	TEXT	200	勘探线组

关系数据库主要用于存储业务表单数据、流程信息、用户与权限配置等结构化数据;空间数据库则用于管理二维图形、三维模型及各类空间要素,实现矿山空间数据的统一组织与高效检索。此外,通过制定统一的数据标准与元数据体系,规范业务要素的编码规则、数据字典及版本控制方式,确保多源数据在全生命周期内的一致性与可追溯性,并集成权限隔离、数据审计、备份恢复与容灾机制,为数据安全提供保障。

2.2 工具集层

工具集层面面向矿山生产技术的专业分析与计算需求,是实现业务成果生成的关键支撑层。该层以 DIMINE 数字采矿软件为核心,集成三维建模、矿体建模、储量计算、采矿设计及空间分析等

专业功能模块,融合二维 CAD 图形处理、三维可视化渲染(OpenGL/WebGL)等技术,实现多维度成果可视化表达。

通过工具 API 封装与标准化接口设计,实现工具集层与协同作业平台层的数据双向交互:业务任务触发后,所需基础数据由中心数据库自动加载至工具端;成果生成后,系统按照预定义的数据结构与命名规则自动回传成果数据,完成版本标记与入库管理。

2.3 协同作业平台层

协同作业平台层是系统的核心控制层,负责业务流程组织、系统服务调度及通用能力支撑。该层基于 BPMN 规范进行业务流程建模,并采用 Activiti 工作流引擎实现流程的定义、执行、跟踪与归档管理,将地质、测量、采矿等技术业务固化为可配置、可追溯的数字化流程。

平台采用微服务架构,基于 Spring Boot 与 Spring Cloud 构建中间件与服务框架,通过 RESTful API 和 Web Service 实现模块间解耦调用。同时,该层中集成统一身份认证(SSO)、基于角色的访问控制(RBAC)、电子签名、任务监控、操作日志与审计机制,为多角色、多部门协同提供安全、稳定的运行环境。

2.4 矿山业务层

矿山业务层直接面向生产应用,是平台功能落地的最终载体。该层围绕矿山生产全生命周期,构建地质工程、测量工程、采矿工程及生产技术服务等业务模块,覆盖从基础数据维护、技术设计到成果审批与管理的全过程。用户可通过 Web 端、桌面端及移动端入口,完成业务流程发起、技术服务办理、成果查询与审批等操作。该层通过调用协同作业平台层的流程控制与服务能力,驱动工具集层完成专业计算与成果生成,并基于数据层提供的统一数据源开展协同作业,从而形成“业务驱动-工具支撑-数据共享”的闭环管理模式。

3 平台实现与应用

3.1 应用背景

康家湾铅锌金银矿隶属于水口山有色金属有限责任公司,1985 年建矿,1987 年试生产^[17]。矿区矿体共 69 个,其中主矿体 7 个,具有典型的铅锌金银多金属共生特征,矿体赋存复杂,生产组织和技术管理难度较大。

近年来,康家湾矿积极推进矿山信息化建设,已初步搭建工业互联网平台,涵盖人员定位、设备管理、资源调度、生产执行等多个系统,为生产运行提供技术支持。然而现有平台主要集中于生产组织和安全监管等方面,在地质、测量、采矿等技术管理的信息化协同应用方面仍存在不足,直接导致矿山跨专业数据难以共享、业务流程相对分散、工作效率不足。为应对上述挑战,水口山有色金属有限责任公司引进 DIMINE 数字采矿软件^[18],计划以此为核心构建统一的技术应用平台。

3.2 协同运行支撑系统

协同运行支撑系统是地测采协同技术得以工程化落地的基础保障,其可为多专业技术活动提供统一的流程组织与运行环境。系统通过对矿山生产中原本分散、依赖人工协调的地测采技术活动进行流程化建模,将其抽象为标准化、可追踪的数字化流程实例,实现跨专业、跨岗位的有序协同运行^[19-20]。在该机制下,地测采相关技术业务遵循“任务发起-过程办理-成果审核-数据归档”的统一模式运行,所有流程节点均在系统中形成状态记录,实现技术业务全过程可视化与可追溯管理,整体业务流转模式见图 2。



图2 业务流转路线图

Fig. 2 Business flow map

3.2.1 待办任务推送

平台以待办任务推送作为流程运行的起点,当业务流程被发起后,系统根据流程定义和角色权限,将任务自动推送至相关责任人的个人工作界面,替代传统的口头通知或纸质下达方式(图3)。系统中列举出当前待处理任务信息,按不同任务类型划分,且支持根据名称、日期、处理情况等多种不同维度进行查询。

3.2.2 流程配置

在流程配置阶段,本研究在调研矿山组织架构、岗位职责与业务逻辑的基础上,基于 Activiti 框架设计矿山技术业务流程配置功能,明确任务

发起、流转、审核与归档规范,将输入输出数据格式、审批节点、成果标准固化到系统中。图 4 展示了配置的一次典型技术业务流程定义示例,该流程通过条件判断与并行分支机制,支持多角色协

同参与和多路径流转,覆盖矿山不同业务场景实际需求且兼具良好的可扩展性,可根据矿山生产工艺调整、组织结构变化或管理制度更新进行灵活配置,而无需改动系统底层架构。



图 3 待办任务管理界面
Fig. 3 To-do task management interface

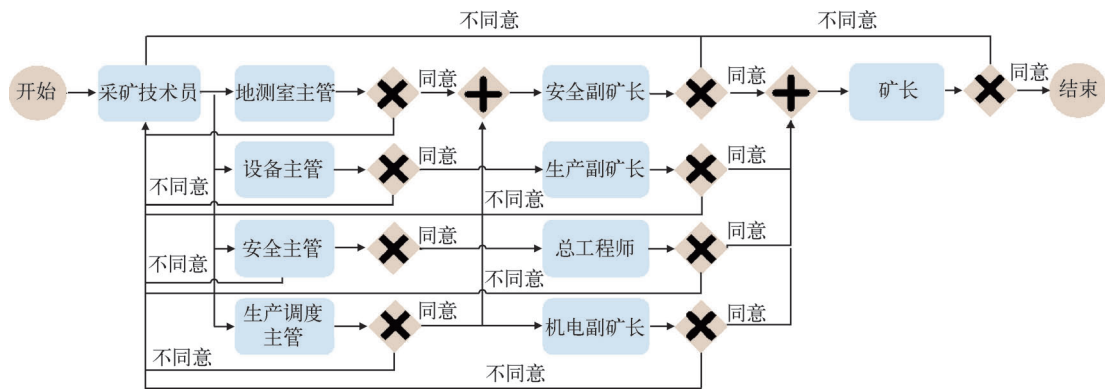


图 4 流程定义示例
Fig. 4 Example of process definition

3.2.3 业务办理

在业务办理过程中,协同平台与 DIMINE 数字采矿软件实现深度耦合。技术人员在平台中发起业务流程后,系统依据流程类型自动构建相应的功能环境,调用匹配的工具模块,并同步加载所需的数据模板与成果格式。业务办理过程中产生的数据输入与成果输出均与中心数据库保持实时同步,有效避免传统文件分散存储和多版本并行

带来的数据不一致与信息不对称问题。

以地质业务中的钻孔数据库管理为例,平台支持按作业区域对钻孔数据进行集中管理与条件查询,并可直接调用数字采矿软件进行三维可视化展示(图 5)。在此基础上,依托空间数据库的三维空间索引与分析能力,系统支持基于空间范围的关联查询与检索(图 6)。在钻孔数据库与矿体模型的联合查询过程中,可在三维视图中绘制

或选择查询范围,系统根据空间拓扑与碰撞关系自动检索范围内相关钻孔与矿体模型,并实时加载显示于三维场景中。

3.2.4 成果上传与审核

通过平台将成果上传后,进入线上审核环节。管理人员可直接在平台中查看三维模型

与二维图纸,并通过批注工具对成果进行修订意见标注。完成审核后,系统将自动在设计图纸的签名栏落签,实现电子化签批。通过将审批流程由线下转为线上,大幅缩短技术人员在不同部门之间传递文件的时间,并进一步确保图纸签署的可追溯性。



图 5 与数字采矿软件联动

Fig. 5 Integration with digital mining software

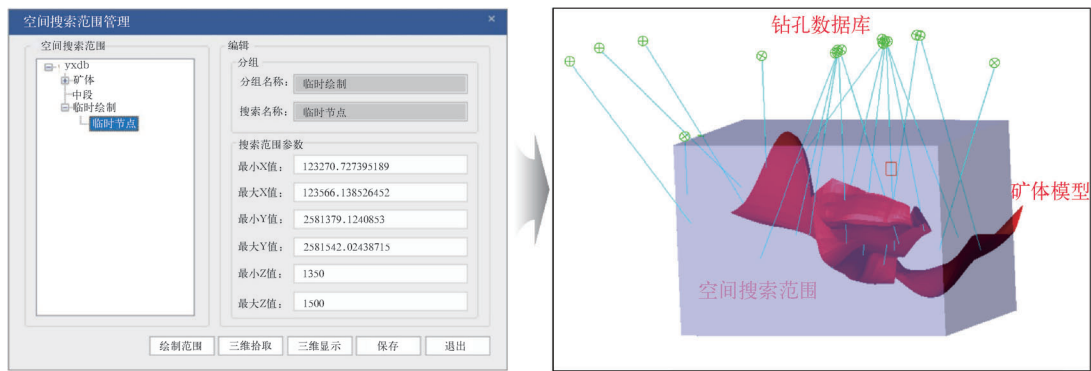


图 6 空间搜索

Fig. 6 Spatial search

3.2.5 成果归档

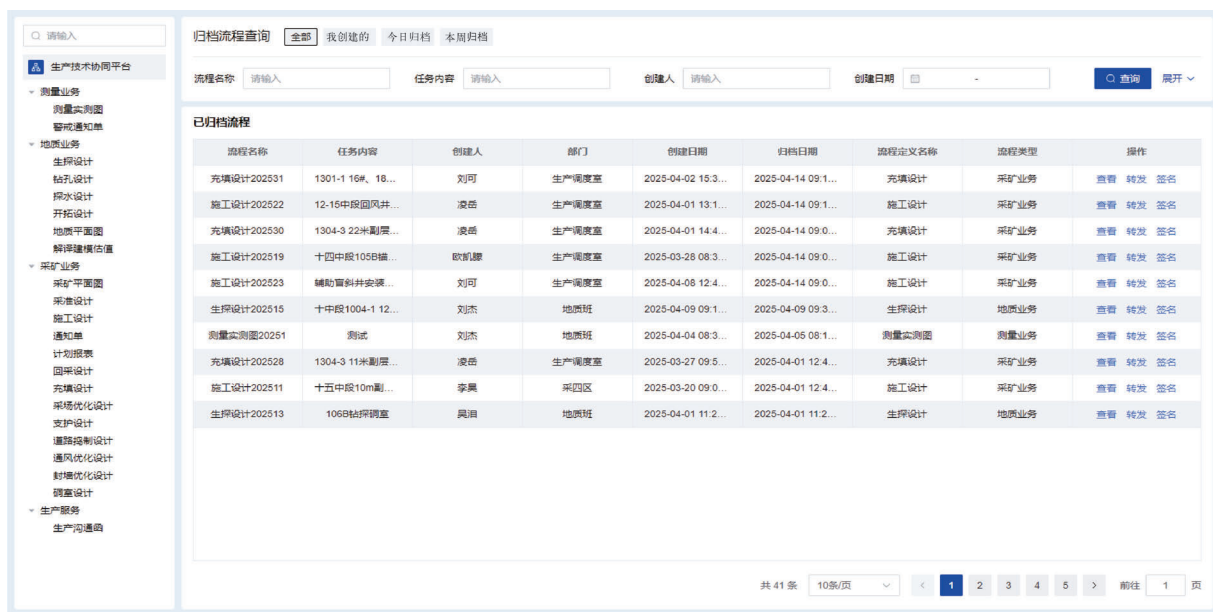
通过审核的技术成果及流程将自动归档至中

心数据库(图 7),依据预设权限向相关人员或业务部门开放共享,为后续设计、施工及生产环节提

供连续的数据支撑。

在康家湾矿的实际应用中,线上审批与成果集中管理机制显著缩短了跨部门沟通与技术签批时间。通过成果数据的集中存储与共享调用,减少了技术人员在数据查找、重复整理及多次报送过程中的无效时间消耗。以平台上线前后相同类型地测采技术业务为统计对象,对比分析业务平均处理时长,统计周期为连续 12 个月,整体技术业务处理效

率提升 40% 以上。目前,系统已覆盖测量验收、勘探建模、储量计算、采矿设计、充填设计等 21 类核心技术业务,支撑 12 个中深孔爆破采场及 17 个单体采场的全流程采矿设计工作,覆盖采准设计、充填设计与支护设计等关键技术环节,累计形成标准化技术成果 20 余项。矿山全部地测采设计业务均通过平台实现线上发起、审批与归档,基本实现对传统纸质流转与人工传递方式的全面替代。



流程名称	任务内容	创建人	部门	创建日期	归档日期	流程定义名称	流程类型	操作
充填设计202531	1301-1 16#、18...	刘可	生产调度室	2025-04-02 15:3...	2025-04-14 09:1...	充填设计	采矿业务	查看 转发 签名
施工设计202522	12-15中段回风井...	凌岳	生产调度室	2025-04-01 13:1...	2025-04-14 09:1...	施工设计	采矿业务	查看 转发 签名
充填设计202530	1304-3 22米副层...	凌岳	生产调度室	2025-04-01 14:4...	2025-04-14 09:0...	充填设计	采矿业务	查看 转发 签名
施工设计202519	十四中段1058梯...	欧凯康	生产调度室	2025-03-28 08:3...	2025-04-14 09:0...	施工设计	采矿业务	查看 转发 签名
施工设计202523	辅助斜井安装...	刘可	生产调度室	2025-04-08 12:4...	2025-04-14 09:0...	施工设计	采矿业务	查看 转发 签名
生探设计202515	十中段1004-1 12...	刘杰	地质班	2025-04-09 09:1...	2025-04-09 09:3...	生探设计	地质业务	查看 转发 签名
测量实测图20251	测试	刘杰	地质班	2025-04-04 08:3...	2025-04-05 08:1...	测量实测图	测量业务	查看 转发 签名
充填设计202528	1304-3 11米副层...	凌岳	生产调度室	2025-03-27 09:5...	2025-04-01 12:4...	充填设计	采矿业务	查看 转发 签名
施工设计202511	十五中段10m副...	李昊	采四区	2025-03-20 09:0...	2025-04-01 12:4...	施工设计	采矿业务	查看 转发 签名
生探设计202513	1058站探洞室	吴润	地质班	2025-04-01 11:2...	2025-04-01 11:2...	生探设计	地质业务	查看 转发 签名

图 7 归档成果查询

Fig. 7 Archived results inquiry

3.2.6 多端协同

在系统互联方面,平台通过标准化的数据接口、中间库和 WEB 服务,实现与矿山上下游系统的深度对接。协同平台支持无缝调用包括 DIMINE、iSchedule、iVent 及 iPlot 在内的专业工具软件功能模块,确保成果数据按照统一标准回流至中心数据库。结合实际现场需求,平台移动端支持三维模型和二维图纸的在线浏览功能,便于一线生产人员即时调取和核查相关设计成果,平台移动端应用界面见图 8。

在康家湾矿的实际应用中,多端协同机制有效打通了跨部门、跨专业与跨层级之间的信息壁垒,整体协同效率提升 50% 以上。在经济效益方面,应用系统后显著降低了跨部门沟通、设计返工及数据管理等成本。经年度核算,直接管理成本降低约 150 万元;通过间接

提升资源利用率与优化决策效率等产生的综合经济收益超过 500 万元。

3.3 协同技术应用

在协同运行支撑系统的基础上,可在统一的数据体系与业务流程框架下开展地质、测量与采矿等专业技术活动。结合在康家湾矿中的典型业务场景,对地测采协同技术在实际生产中的应用过程进行说明。

在测量业务中,三维激光扫描仪数据通过专业软件处理后,直接导入 DIMINE 软件生成采场、空区与充填体模型(图 9)。最新测量获取的巷道轮廓、采场边界及充填体空间位置,可直接用于校核现有工程模型的空间一致性,并为地质模型的局部修正提供真实几何边界。成果入库后,作为后续地质与采矿模型计算的重要约束条件。



图8 移动端应用

Fig. 8 Mobile application

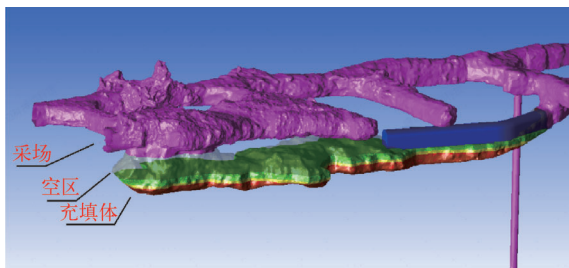


图9 采场、空区与充填体模型

Fig. 9 Stope, void area, and filling body model

在地质建模环节,平台将矿体、夹石、断层及采场工程对象统一抽象为可参与空间运算的三维实体模型。在此基础上,通过布尔运算实现地质模型对采矿活动和构造因素的动态响应。

随着采场推进,系统以采场工程实体为运算对象,对矿体模型执行差集运算,剔除已采区域或不参与资源计算的夹石体(图10)。该过程使矿体模型的几何形态与实际采掘状态保持一致,确保后续体积计算、品位估算及储量分析所依赖的模型基础处于同步更新状态。针对断层等地质构造因素,支持以断层面或地层界面模型作为切割对象,对矿体实体执行布尔切割运算(图11),将

矿体划分为多个在空间连续性和结构属性上存在差异的子块体,为采场划分提供空间边界条件。

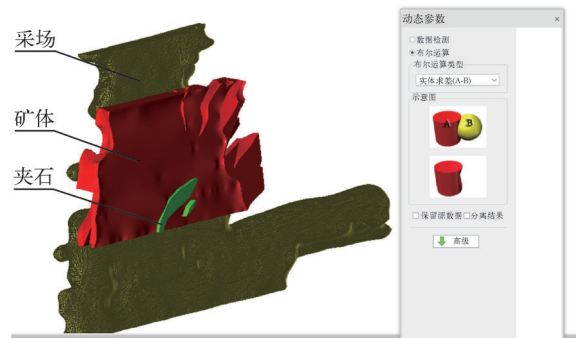


图10 采场、夹石处理

Fig. 10 Stope and barren rock handling

在采矿设计阶段,可在统一的三维模型环境下开展开拓与采准设计。设计所需基础数据包括经更新的矿体模型、夹石模型、断层模型、地层模型、勘探线及相关地质图件,同时叠加上下中段实测巷道模型、设计区域及周边空区与充填体等模型及设计区域内溜井模型等工程信息。基于此,将采矿单元与地质块体模型进行空间对齐,对采准设计方案进行空间关系校核与结构配置,采准设计示例见图12。

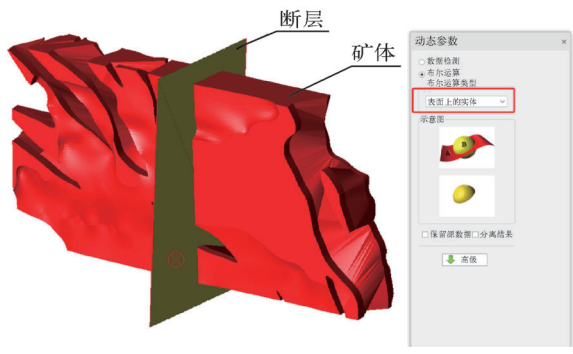


图 11 断层切割矿体

Fig. 11 Fault cutting ore body

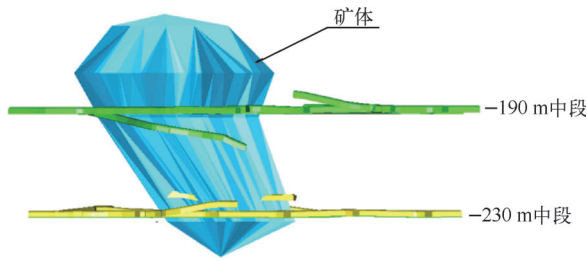


图 12 采准设计示例

Fig. 12 Example of mining preparation design

4 结论

本研究从数字地质、数字测量与数字采矿方面系统梳理了地测采协同的关键技术基础,明确核心业务在数据组织方式与技术逻辑上的内在关联。通过构建信息流与业务流耦合的协同运行机制,实现测量成果对地质模型更新的驱动、地质模型对采矿设计的约束,以及采矿工程信息对前序环节的反馈,形成闭环协同体系。基于该理论基础,提出并实现了“数据层-工具集层-协同作业平台层-矿山业务层”的分层架构设计,形成了覆盖矿山生产技术全生命周期的协同运行机制。以康家湾矿为实际应用对象,对地测采协同技术体系及流程支撑系统进行了验证。结果表明,该协同体系显著提升跨专业技术业务的协同效率与管理水平,整体技术业务处理效率提升 40% 以上,跨部门协同效率提升 50% 以上,并在多个采场的采矿设计与生产组织中形成标准化技术成果,取得了显著的经济效益与管理效益。相关研究成果可为类似多专业耦合程度高、生产组织复杂的矿山提供参考,对推进矿山生产技术数字化、协同化与精细化管理具有一定的理论意义与实践价值。

参考文献:

- [1] 董培林. 矿山地测采三维数字化协同平台研究与实现[D]. 长沙: 长沙矿山研究院, 2022.
- [2] 马天义, 寇向宇, 张翼翔, 等. 矿山地测采信息协同平台的基础体系研究及应用[J]. 采矿技术, 2023, 23(4): 222-226.
Ma Tianyi, Kou Xiangyu, Zhang Yixiang, et al. Research and application of the basic system of a collaborative information platform for mine surveying and mining[J]. Mining Technology, 2023, 23(4): 222-226.
- [3] 段文权, 赵辉军, 刘敬智, 等. 金属矿山生产全流程协同管控技术与平台研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(12): 172-179.
Duan Wenquan, Zhao Huijun, Liu Jingzhi, et al. Research on the technology and platform of collaborative management and control for the whole production process of metal mine[J]. Mining Research and Development, 2022, 42(12): 172-179.
- [4] 刘晓明, 马少维, 姜宏伟, 等. 基于三维设计与协同平台的矿产资源动态管理系统研究[J]. 铜业工程, 2025(3): 83-92.
Liu Xiaoming, Ma Shaowei, Lou Hongwei, et al. Dynamic management system of mineral resources based on 3D design and collaborative platform[J]. Copper Engineering, 2025(3): 83-92.
- [5] 关键, 吕文亮, 丁俊兰. 地浸铀矿山数字化集成管控平台设计与应用[J]. 铀矿冶, 2025, 44(3): 88-96.
Guan Jian, Lyu Wenliang, Ding Junlan. Design and application of digital integrated management and control platform for in-situ leaching uranium mine[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2025, 44(3): 88-96.
- [6] 李月晴, 牛风蕾, 郭庆节, 等. 基于物联网的矿山数字化管控平台研究与应用[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(1): 65-69.
Li Yueqing, Niu Fenglei, Guo Qingjie, et al. Research and application of mining digital control platform based on internet of things[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2025, 43(1): 65-69.
- [7] 毕林, 王晋淼. 数字矿山建设目标、任务与方法[J]. 金属矿山, 2019(6): 148-156.
Bi Lin, Wang Jinmiao. Construction target, task and method of digital mine[J]. Metal Mine, 2019(6): 148-156.
- [8] 王李管, 陈鑫. 数字矿山技术进展[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(8): 1693-1710.

- Wang Liguang, Chen Xin. Advancing technologies for digital mine[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2016, 26(8):1693-1710.
- [9] 尚雅琪,王向前.中国煤矿智能化知识图谱可视化分析[J].矿业研究与开发,2021,41(8):192-198.
- Shang Yaqi, Wang Xiangqian. Visual analysis of intelligent knowledge atlas of coal mines in China[J]. Mining Research and Development, 2021, 41(8):192-198.
- [10] 程宝军,陈跃朋,张天山.基于GIS一张图与三维空间数据智能化矿山管控系统应用[J].山东煤炭科技,2022,40(5):1-3.
- Cheng Baojun, Chen Yuepeng, Zhang Tianshan. Application of intelligent mine management and control system based on GIS one map and three-dimensional spatial data[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2022, 40(5):1-3.
- [11] 任建刚,李瑞群.煤矿“一张图”系统开发及应用[J].煤炭工程,2018,50(11):63-66.
- Ren Jiangang, Li Ruiqun. Development and application of one-map system for coal mines[J]. Coal Engineering, 2018, 50(11):63-66.
- [12] 武拴军,王永定,王俊超,等.数字化协同平台在龙首矿的应用[J].现代矿业,2024,40(2):86-91.
- Wu Shuanjun, Wang Yongding, Wang Junchao, et al. Application of digital collaborative platform in Longshou mine[J]. Modern Mining, 2024, 40(2):86-91.
- [13] Wang J M, Bi L, Wang L G, et al. A mining technology collaboration platform theory and its product development and application to support China's digital mine construction[J]. Applied Sciences, 2019, 9(24):5373.
- [14] 雷志勇,马小龙,赵树军,等.露天矿连采装备智能化协同管控平台[J].煤炭科学技术,2025,53(4):362-372.
- Lei Zhiyong, Ma Xiaolong, Zhao Shujun, et al. Intelligent collaborative management and control platform for continuous mining equipment in open-pit mines[J]. Coal Science and Technology, 2025, 53(4):362-372.
- [15] 刘伟.某露天铀钼矿资源储量可视化动态管理研究[J].铀矿冶,2024,43(4):44-51.
- Liu Wei. Research on visual dynamic management of resource reserves of a open-pit uranium molybdenum mine[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(4):44-51.
- [16] 王亚文,高莹超,白德威.石头梅露天煤矿资源动态管理系统应用研究[J].铀矿冶,2025,44(1):85-92.
- Wang Yawen, Gao Yingchao, Bai Dewei. Research on the application of dynamic resource management system in Shitoumei open-pit coal mine[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2025, 44(1):85-92.
- [17] 何从行,欧也斐,颜顺德.康家湾铅锌金银矿预选抛废工艺研究及应用[J].矿冶工程,2022,42(3):67-69.
- He Congxing, Ou Yefei, Yan Shunde. Pre-concentration process for waste rock discarding in beneficiation of lead-zinc-gold-silver ore in Kangjiawan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2022, 42(3):67-69.
- [18] 郑瑞朋.迪迈软件的应用实践[J].中国有色金属,2018(S1):429-431.
- Zheng Ruipeng. Application practice of Dimai software[J]. China Nonferrous Metals, 2018 (S1):429-431.
- [19] 李海泉,夏林,黄琨,等.紫金山金铜矿地测采三维协同平台开发实践[J].金属矿山,2021(9):169-176.
- Li Haiquan, Xia Lin, Huang Kun, et al. Development practice of 3D collaboration platform of geology, survey and mining on Zijinshan gold & copper mine[J]. Metal Mine, 2021(9):169-176.
- [20] 陈鑫,高峰,谢雄辉,等.矿山生产技术协同平台研发与应用[J].黄金科学技术,2021,29(3):449-456.
- Chen Xin, Gao Feng, Xie Xionghui, et al. Development and application of collaborative platform for mine production technology[J]. Gold Science and Technology, 2021, 29(3):449-456.

Construction and Application of Collaborative Technology System for Mine Geology, Surveying, and Mining: A Case Study of Kangjiawan Mine

LIANG Zonghuo, QIU Ming, ZUO Zong, YANG Feng

(Shuikoushan Nonferrous Metal Co., Ltd., Changning 421513, China)

Abstract: Against the background of digital transformation in the mining industry, long-standing issues such as data fragmentation, disjointed workflows, and insufficient collaboration mechanisms among geology, surveying, and mining disciplines have become key bottlenecks constraining improvements in production efficiency and technical management. Focusing on geology-surveying-mining collaboration, this study establishes a full-process collaborative technical system for mining production. Based on unified data standards, a layered architecture consisting of a data layer, toolset layer, collaborative operation platform layer, and mining business layer is proposed. A process-driven mechanism is employed to enable coordinated operation of core tasks such as geological modeling, surveying updates, and mining design, forming a closed-loop technical management model that covers task initiation, process control, result review, and archival sharing. Application results demonstrate that the proposed system effectively addresses common issues in traditional management modes, including data version inconsistency and poor traceability of business workflows, significantly enhances cross-disciplinary collaboration efficiency and technical management capability, and promotes the transformation of mining production management from experience-driven to process-and data-driven practices.

Key words: geology, surveying and mining collaboration; digital platform; digital mine; business process; data standard; data integration; mine informatization; Kangjiawan mine