

# 基于数字孪生的智能采矿可视化集控平台的搭建与应用

刘娜, 黄振林, 刘俊杰, 邹波

(宁波和利时智能科技有限公司 解决方案部, 北京 100013)

**[摘要]** 智能采矿可视化集控平台是智慧矿山的现场边缘侧的生产制造运营平台,采用边缘计算和数字孪生可视一体化技术,软件组件/模块的(微)服务化、容器化和虚拟化设计,通过与 BIM + GIS 深度融合,建设边缘的微型数据中心,将智能采矿所需实时分析的地测型过程数据、业务数据、流媒体数据整合为统一接口网关,实现对采矿感知执行层数据的采集和处理,然后对数据进行数字模型的构建以及可视化运用。同时集控平台可以通过端-边-云架构,与工业互联网平台协同数字模型和功能应用的上传下达,与现场端的生产业务和自动化设备控制系统协同管控。

**[关键词]** 智能采矿;集控平台;边缘计算;数字孪生;可视化

**[中图分类号]** TD67      **[文献标志码]** B      **[文章编号]** 1003-8884(2022)04-0006-05

**DOI:**10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.04.002

## 0 前言

伴随着智慧矿山的提出,专家和学者们围绕着智能采矿的生产场景,在数字孪生、边缘计算、云计算、BIM、GIS、工业互联网等新技术领域做了大量研究,并输出有关采矿信息模型的构建、智慧矿山平台的建立、边云协同计算架构的搭建等方面的科研成果。比如,王国法、任怀伟<sup>[1-2]</sup>等人建立海量的煤矿信息提供信息模型框架,为预测开采行为提供推理依据;葛世荣、张帆<sup>[3]</sup>等人通过边缘计算、数据驱动、矿山数字孪生模型(MDTM),搭建了智慧矿山平台;姜德义<sup>[4]</sup>等人设计了基于边缘云协同计算的智慧矿山技术架构。张建中<sup>[5]</sup>分析并验证 BIM 模型,采用云计算架构搭建 BIM 建模,集成存储、显示和交互操作框架;庞义辉<sup>[6]</sup>等构建了多源异构大数据共享平台,为生产经营上层提供数据支撑,而且为底

层设备智能操控提供决策依据;刘娜<sup>[7]</sup>等基于数据服务的智能管控平台,以多源异构数据应用为场景,提出了智能巡检应用需求和主要功能设置。以上成果都为矿山企业在智慧矿山架构和生产管控方面提供了解决方案。

本文以上述的研究成果为依据,围绕采矿业务的多源数据模型建立和模型数据的关联问题,搭建具有数字场景、可视化模块开发工具和渲染引擎的智能采矿可视化集控平台,借助数字孪生可视一体化技术,研究集控平台对采矿生产数据的可视化应用效果,服务于采矿生产元数据从采集、处理、存储到事件驱动、功能应用的全过程。

## 1 智能采矿可视化集控平台架构

工业互联网云平台部署于集团、总公司运营层面,边缘层部署在各地域的生产单位,对接数据传输实时性要求高的采矿现场设备端,如图 1 所示,展示了智能采矿可视化集控平台的组成部分。平台由一系列服务/微服务组件所组成,服务之间通过 Restful API 和 OPC UA (C/S 和 Pub/Sub) 进行通信。平台通过数据集成功能和通信安全性的通信驱动程序连接现场设备、传感器和现有子系统,包括生产环境在线检测系统(通风、排水、人员定位等子系统)和采矿自动化设备系统(生产掘进、立井提升等子系

**[收稿日期]** 2022-03-09

**[作者简介]** 刘娜(1990—),女,北京市人,中级工程师,博士,主要从事矿山智能装备和数字化生产研究工作。

**[基金项目]** 国家重点研发专项(R-D701910BZ)

**[引用格式]** 刘娜,黄振林,刘俊杰,等.基于数字孪生的智能采矿可视化集控平台的搭建与应用[J].有色设备,2022,36(4):6-10.

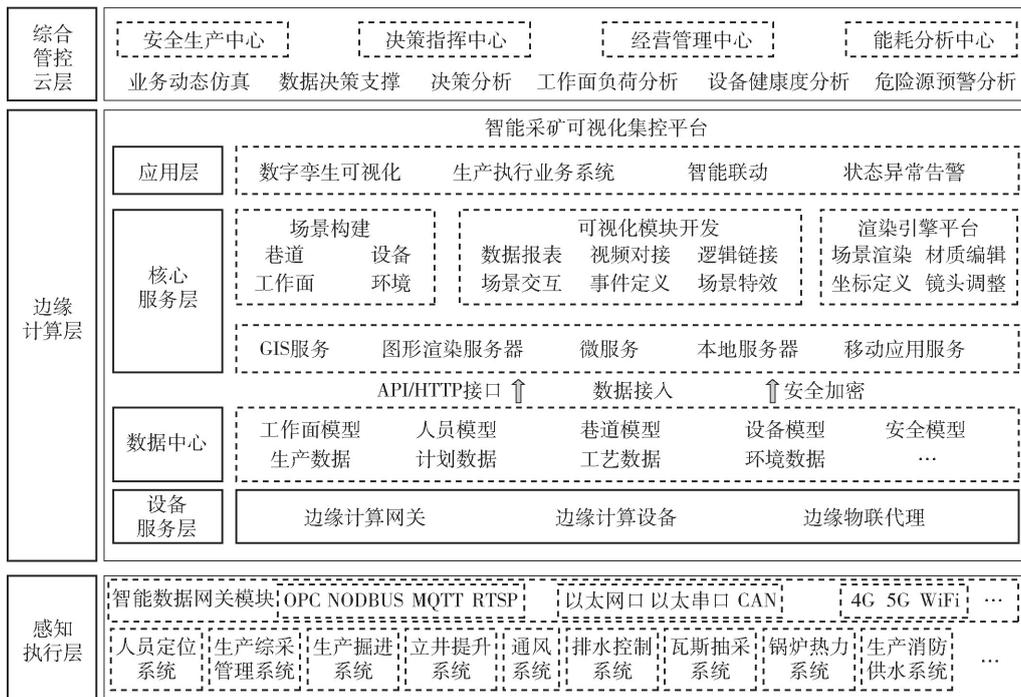


图1 智能采矿可视化集控平台架构

统)。场景构建服务是对数字孪生模型按照业务逻辑构建不同的业务场景,可视化模型开发和渲染引擎平台使得数字场景可视化。平台向管控云层上传数字模型形成资产,提供大数据分析用于经营决策,同时模型训练的结果和拓展应用可以通过接口从云层下载到平台应用。

## 2 基于数字孪生的智能采矿可视化集控平台的搭建

### 2.1 三维数字重构

智能采矿的三维数字重构主要是采矿区平行世界的构建,借助于数字孪生技术实现数字孪生世界与物理世界的一一映射。三维数字重构的关键是数字模型。对采矿过程设备、人员、巷道岩体结构、工作面等静态或者动态数据的统一配置,构成采矿区

平行世界的数字模型,主要包括环境模型、设备模型、工作面模型、生产过程模型、安全模型、算法模型、行业知识模型。这些模型为采矿数字化管理奠定了数据基础,如图2所示。

采矿环境模型库:对真实环境的模型建立,包括洞室、采矿巷道岩体结构建立模型,以及工作人员信息的模型,方便集成GIS实现环境中工作人员的定位;

采矿设备模型库:建立采矿主要设备的信息模型,对设备的属性、参数、数据格式、信息关联关系等进行规范化描述,支撑新添设备的标准化接入;

采矿工作面模型库:工作面的点云数据模型优化,场景坐标的读取,工作面纹理的加载;

采矿生产过程模型库:管理采矿流程信息,对采矿进度、产量等信息采集,并构建优化分析模型;

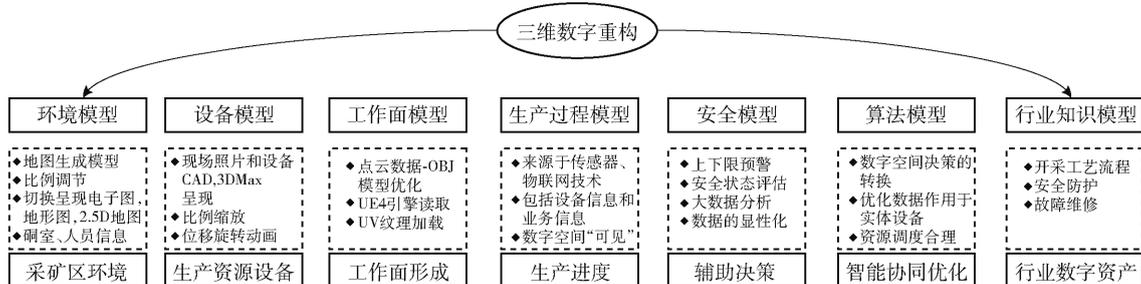


图2 三维数字重构

采矿安全模型库:建立采矿关键环节的安全模型,对重要参数预警、事件报警、安全状态评估等进行规范化模型描述;

采矿算法模型库:包括报警、调度、人员排班、采掘计划等业务算法模型;

采矿行业知识库模型:将开采工艺流程知识、安全防护知识、故障维修知识等行业相关经验沉淀到知识库,指导业务操作、工艺设置、安全生产、故障维修业务。

## 2.2 设备服务层

平台的设备服务层提供实时数据和业务数据的采集、处理以及数据存储管理的服务,实现对采矿设备自动化系统、采矿业务数据的数采和集成,并将数据发送至数据中心和核心服务层。

## 2.3 数据中心

第一,数据中心存储和管理实时采集的设备/子系统数据,来自地测系统的动态数据,GIS 系统的人员定位数据;第二,整合生产、运输、存储、人员、安防、环境等数据,做到业务数据与模型信息数据的关联,为矿区各业务部门数据运用和共享做基础支撑;第三,云层大数据分析的结果数据。

## 2.4 核心服务层

通过渲染引擎平台建立三维的结构化、数字化场景,实现采矿区三维数字场景中数字模型的空间整合,同时对矿区的数字信息进行可视化模块开发,能够快速调用分享模型中的信息,并以数据报表、视频对接、场景交互等形式呈现。

## 2.5 服务应用层

提供边缘侧分析和应用服务,比如对各监控子系统的生产工况参数进行综合分析,并关联到数字模型,支撑可视化调用呈现;借助触发条件规则引擎,还可以通过集控平台实现远程监视和自动控制;建立系统级,多层级的预警、报警机制,实现报警联动、视频联动、超限测值的联动、生产综合监控系统与调度室 LED 系统联动、语音系统的联动。

## 3 平台功能

智能采矿集控平台是提供三维可视化和采矿生产运营过程管控的数字化平台,主要功能描述如下:

(1)模型创建与场景编辑。平台可以直接导入数字元素模型,例如三维软件创建的设备三维模型

(Creo/3DMax),或者扫描点云数据创建的三维环境模型;或者通过采矿设计类软件(3DMine)对地表、岩体、巷道、工作面创建的实体模型。场景伴随着模型的动态更新而实时更新。起始的采矿环境是个静态的场景模型,通过迭代采矿每时每刻动态变化的实际数据信息,不断更新采矿生产过程实时数据,环境监测数据,装备运行状态数据、人员以及设备的定位信息等,形成一个自适应的采矿场景。

(2)数据组织与管理。系统中的数据分为由空间数据和属性数据组成的基础数据、采矿现场的生产数据。根据矿区空间关系、设备类型进行分类管理,实现对设备或资产信息的查询和快速定位。比如可以查询到设备相关属性信息,包括名称、资产编号、生产厂家、规格、图纸、维护记录等。极大提高矿区管理部门对矿区内各类设备资源的快速监管效率。生产数据是指生产过程中产生的实时信息(包括产量数据、装备运行状态和人员定位等)的组织和管理。对于不同厂家的分布式子系统产生的异构数据,需要通过异构数据的数据引擎来管理。

(3)生产过程监控。对采集生产过程产生的实时信息提供数据统计和实时分析,输出各种统计分析报表,同时以二维或三维可视化呈现装备的状态、人员位置、过程报警和分析预警等信息。基于事件驱动的信息流触发相关接入子系统的实时联动,做出决策并发布控制命令或向调度员提供操作建议,实现对采矿装备等子系统的一键启动和智能调度。

(4)三维可视化与人员装备仿真。采矿区平行世界的“虚拟采矿”包括矿区内重要场所、工作面、硐室、巷道三维可视化、人员和生产设备的三维可视化,以及对安全预警、报警提醒和安全事件的可视化分析。回放的虚拟生产过程包括井巷地理网络的人员和装备运行轨迹的仿真。

(5)辅助决策。集控平台为决策者提供权限查看,提供采矿驾驶舱、信息一张图、报警分析、智能联动等可视化的辅助决策支撑。

## 4 平台应用的预期效果

以平台对接人员定位子系统和通风子系统为例,说明智能采矿可视化平台建设前后的预期效果对比分析,如表 1 所示。

表1 平台建设前后预期效果对比分析表

系统名称	功能模块	现有问题	建设后效果
人员定位子系统	人员定位	1. 人员实时位置查看,仅显示在人员所在分站位置,无法精确定位;2. 现有系统仅包括部分信息查询功能,如人员历史数据查询、人员基本信息查询、分站信息查询等;3. 分站覆盖范围不完整;4. 无法满足爆破区域人员统计的需要;5. 没有人员轨迹跟踪功能。	能够对井下人员(车辆)的分布情况分重点、禁止、普通区域可视化实时监测。能够实时监测全矿井下矿工(车辆)总数,能够实现区域矿工(车辆)总数统计。能够实时监测、查询指定员工(车辆)的实时位置。
	人员轨迹回放		可在三维GIS总貌图上直观查看下井人员行进的路径信息,并自动模拟井下作业人员的行进轨迹。
	存储查询功能	实现基础信息查询,包括区域信息查询、分站信息查询、矿领导信息查询、特种人员信息查询、人员定位设备查询、特种人员应到地点查询、人员证照查询、人员系统信息查询等。可实时信息和历史信息的查询等。	
	安全管理功能	干部下井管理、区域超员报警、人员超时报警。	
	统计分析功能	系统实现按天、按月、按年,对人员基础信息、人员实时信息以及历史信息等进行查询,统计、分析。统计分析内容包括:超时、限制区域有人、特种人员异常、求数等报警信息统计,系统工作异常信息统计,整点井下人数统计,下井人员人次统计。	
通风子系统	控制模式切换	现有的手动变频控制风量	对主通风机、局部通风机进行远程控制、具备检修/就地/远程三种控制功能。
	远程合闸、启停		主通风机和局部通风机宜采用变频控制,具有风量自动调节功能。
	变频调速		
	风机故障诊断		风机故障预警、风机寿命预测。
	实时数据采集 & 显示		电机定子温度、电机前后轴承温度、风机振动、电机电压、电机电流、有功功率、功率因数、累计电量等运行数据。
	历史数据查询		电机前/后级轴承温度、定子温度、压差、负压、风量、风门开/关状态等数据历史数据曲线显示;用户自定义查看趋势组。
	设备故障分析		设备报警原因分析;设备报警记录数随设备部件分布分析;报警记录数、报警发生时长、报警处理时长对比分析;设备重复报警率对比分析等。
	故障报警及联动		当通风子系统发生重大报警时,触发联动操作,联动视频、广播、人员、风机控制、供电等子系统。
	统计报表		根据需要生成各种数据的统计报表。
WEB/手机应用	网页/手机端查看系统运行情况,消息/任务推送等。		

## 5 结论

在采矿数字化转型的背景下,智能采矿可视化集控平台应运而生。端边云的协同架构实现了以数据价值为中心,提供采矿设备接入、采矿系统集成、采矿业务数据存储、数据管理、数据可视化访问、数据资产沉淀的全流程数据服务。平台由三维数字重构、设备服务层、核心服务层、服务应用层模块构成,提供模型创建与场景编辑、数据组织与管理、生产过程监控、三维可视化与人员装备仿真和辅助决策的功能。通过人员定位和通风子系统管理业务的预期效果分析,展示了智能采矿可视化集控平台的价值。

同时平台的异常告警配置、采矿业务报表设计器、采矿事件驱动等业务配置工具,为后期平台的数字孪生漫游、一键启动等应用开发提供通用组态的能力。

### [参考文献]

- [1] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿2025情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018,43(2):295-305.
- [2] 任怀伟,王国法,赵国瑞,等.智慧煤矿信息逻辑模型及开采系统决策控制方法[J].煤炭学报,2019,44(9):2923-2935.
- [3] 张帆,葛世荣,李闯.智慧采矿数字孪生技术研究综述[J].煤炭科学技术,2020,48(7):168-176.
- [4] 姜德义,魏立科,王翀,等.智慧采矿边缘云协同计算技

- 术架构与基础保障关键技术探讨[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1):484-492.
- [5] 张建中. 基于 Web3D 技术的煤矿 BIM 模型集成及可视化研究[J]. 煤炭工程, 2020, 52(7):161-168.
- [6] 庞义辉, 王国法, 任怀伟. 智慧煤矿主体架构设计与系统平台建设关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3):35-42.
- [7] 李琼峰, 刘娜, 王振伦, 等. 基于数据流的柿竹园多源异构智能巡检应用方案[J]. 有色设备, 2021, 35(5):8-15.

## The Establishment and Application of a Digital-Twin-Based, Visualized, Integrated Control Platform for Intelligent Mining

LIU Na, HUANG Zhen-lin, LIU Jun-jie, ZOU Bo

**Abstract:** A visualized, integrated control platform for intelligent mining is an on-site manufacturing operation platform on the edge side. Based on edge computing and digital-twin visualization, the system adopts a service-oriented architecture (SOA) and microservices, container and virtualization technology, with intensive integration with BIM + GIS, and hosts an edge-based, micro data center. The platform provides an integrated gateway for ground-measured process data, operational data, and stream data, collects and process data from the sensing and execution layers, and builds digital models thereon and feed them to visualized applications. By leveraging the end-edge-cloud architecture, and with interactions between the IoT platform and digital models and their applications, the integrated control system can collaborate with field control systems for production operation and automated equipment.

**Key words:** intelligent mining; integrated control platform; edge computing; digital twin; visualization



---

### 敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591 联系。

《有色设备》编辑部