

DOI: 10.19666/j.rlfed.202308129

基于云平台的煤矿数据中心研究与应用

刘聪睿¹, 赵晋松¹, 王涛¹, 赵耀忠², 刘跃², 顾永全¹, 吴涛¹

(1.西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054;

2.华能伊敏煤电有限责任公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021130)

[摘要] 随着智能化矿山建设的逐步推进, 应用系统数量逐渐增加, 数据不能够完全统一、系统缺乏统筹管理、功能重复建设等问题逐渐凸显。为此, 以伊敏露天煤矿数据中心为例, 详细分析了煤矿数据中心的总体架构, 结合工业私有云开发平台及大数据技术建立了开放式、持续集成和部署、支持高负载弹性伸缩、满足智能化露天煤矿管理理念的数据中心, 基于数据中心多源数据存储架构解决了矿山领域数据采集难、数据无法统一存储、业务系统孤岛和采地测专业无法及时便捷共享数据等问题, 同时综合利用已有设备及其采集的系统数据, 采用数据共享和计算分析工具实现生产情况和设备状态的实时掌控, 提升了管理决策能力和手段。

[关键词] 露天煤矿; 数据中心; 容器平台; 数据采集; 数据分析

[引用本文格式] 刘聪睿, 赵晋松, 王涛, 等. 基于云平台的煤矿数据中心研究与应用[J]. 热力发电, 2024, 53(2): 153-161.
LIU Congrui, ZHAO Jinsong, WANG Tao, et al. Research and application of coal mine data center based on cloud platform[J]. Thermal Power Generation, 2024, 53(2): 153-161.

Research and application of coal mine data center based on cloud platform

LIU Congrui¹, ZHAO Jinsong¹, WANG Tao¹, ZHAO Yaozhong², LIU Yue², GU Yongquan¹, WU Tao¹
(1.Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China; 2.Huaneng Yimin Coal Electricity Co., Ltd., Hulunbuir 021130, China)

Abstract: With the advancement of intelligent mining construction, the number of application systems is gradually increasing, and problems such as incomplete data unification, lack of overall management of the system, and repetitive construction of functions are becoming prominent. To avoid these issues, this article takes the Yimin open coal mine data center as an example to analyze the overall architecture of the coal mine data center in detail. Based on the industrial private cloud development platform and big data technology, an open, continuous integration and deployment data center is established, and it supports high load elastic scaling and meets the concept of intelligent open-pit mine management. The data center solves problems such as difficulty in data collection in the mining field, inability to store data uniformly, isolated business systems, and inability to share data conveniently and in a timely manner among mining surveying professionals. It also comprehensively utilizes the collected equipment and system data to achieve real-time control of production status and equipment status, improving management decision-making ability and means.

Key words: open coal mine; data center; container platform; data collection; data analysis

近年来, 云计算、人工智能、物联网和大数据等技术快速发展, 智能化矿山的建设和管理迎来更多新的技术手段^[1-3], 随着智能化矿山建设的逐步推进, 应用系统数量逐渐增加, 数据不能够完全统一、系统缺乏统筹管理、功能重复建设等问题逐渐凸显。构建露天矿数据中心, 可实现各项主要业务层面的横向贯通和管理层面的纵向管控, 打破业务模

块之间的壁垒, 从而避免在建设过程中出现信息孤岛、系统集成度低、数据缺乏标准等问题^[4]。

目前, 大数据技术已经进入成熟期, 在国内, 阿里、华为等互联网企业均推出了自己的数据中心及云计算产品, 但这些产品通常面向大型商业消费场景, 需要较高的基础硬件设施支撑, 并且缺少对工业数据和协议的接入。本文基于虚拟化及容器技

收稿日期: 2023-08-23 网络首发日期: 2023-12-14

第一作者简介: 刘聪睿(1987), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电厂信息管理与监控技术, liucongri@tpri.com.cn。

术,最大化利用硬件资源,配合采用工业数据采集及存储工具实现适用于露天矿场景的数据中心。该数据中心的建立可解决矿山领域数据采集难、数据无法统一存储、业务系统孤岛、采地测专业无法及时便捷共享数据等难题,同时综合利用已采集的设备及系统数据,实现生产情况和设备状态的实时掌控,提升了管理决策能力和手段。

本文结合虚拟化平台、容器云平台及大数据技术,以伊敏露天煤矿(露天矿)数据中心为实例,详细介绍了数据中心开发过程,以虚拟化平台作为底层硬件平台,并在其上搭建基于容器的基础服务平台,通过基础服务平台支撑数据中心各层级服务应用,实现数据的统一存储和管理,最终在应用层实现数据的综合展示和分析。

1 总体架构

数据中心是企业的信息系统、业务系统与数据资源集中、集成、共享,以及对外交流的场所。完整的数据中心应该具备 IT 基础设施、工业云平台、数据存储中心、数据共享服务、应用层、统一门户和数据管控平台等内容^[5]。露天矿数据中心的建设应分析所涉及的网络环境、软件平台环境和硬件环境,考虑将新一代大数据技术融合进已经长期稳定运行很多年的基础信息环境中,用最低的成本复用现有的基础环境,同时保证已有系统的稳定性和安全性。通过数据中心的建设,为露天矿各类数据统一存储、管理、共享与交互提供数据平台支撑和数据应用基础,满足生产管控、运维管理、安环监管等多个应用场景的需求。

1.1 网络架构

露天矿网络环境复杂,业务系统分布在多个网络大区,矿内根据电力监控系统安全防护的规定,分为生产控制区、管理信息区和无线专网区,各区之间通过网闸和防火墙等安全防护工具隔离^[6],综合考虑数据中心建设的复杂度和成本,结合露天矿现有信息系统情况,数据中心部署在管理信息区,具体如图 1 所示。

生产控制区主要安装自动化系统和调度系统,包括露天矿自营卡车、电铲、连续系统和工程机械等设备的数据采集,与其他大区相互隔离,仅能通过单向网闸向管理信息区单方向传输数据。此区域的数据传输方式通常为在生产控制大区架设采集客户端,将数据打包后通过 TCP 传输方式或文件传输方式传给网闸对侧的采集服务端,经由服务端解

析后再存入数据中心。

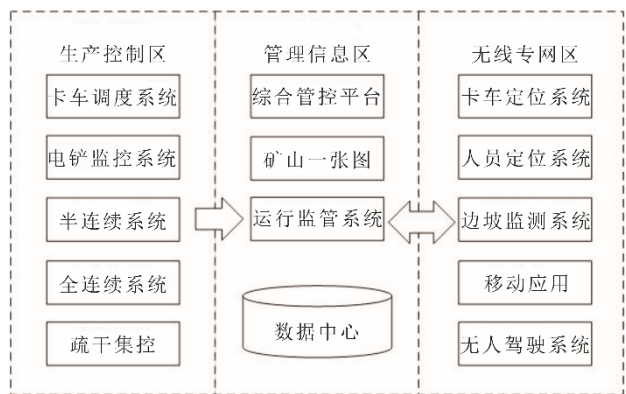


图 1 数据中心网络架构

Fig.1 Network architecture of the data center

管理信息区为露天矿的办公内网区,通常安装信息管理系统,如综合业务管控平台^[7]和运行监管系统等。由于数据中心部署在此区域,因此数据采集方式较为灵活,支持数据库直采、接口调用和消息订阅等多种方式。

无线专网区为露天矿从运营服务商处租用的 5G 专用网,通过指定的通信卡实现设备及传感器的无线数据传输,主要包括外委车辆定位、人员定位、边坡监测和移动应用^[8-10]等无线数据传输。无线专网区使用防火墙或双向网闸与管理信息区隔离,并可通过指定通道来实现与无线专网区的双向通信,采集该区域数据时,需在无线专网区架设采集服务,在管理信息区架设消费服务,由采集服务采集数据后调用消费服务相应的接口实现数据传输,为防止大区间网络故障导致的数据丢失,可在防火墙两侧架设 Kafka 消息队列,实现数据的缓冲和缓存。

1.2 总体架构

露天矿数据中心总体架构如图 2 所示。

数据中心包括虚拟化层^[11]、平台服务层、数据中心层和应用层 4 个部分,虚拟化层基于超融合平台^[12]将硬件资源共享成资源池,提供计算、存储、网络、安全等 IaaS (infrastructure-as-a-service, 基础设施即服务) 基础服务;平台服务层基于容器技术和开发平台,提供数据中心所需基础服务,同时基于源代码管理、流水线引擎等构建开发运维一体化,实现自动化运维和功能开发快速响应;数据中心层主体包括数据采集、数据存储、数据计算、数据服务、数据应用和数据治理核心组成部分,实现露天矿数据的统一接入、存储、计算和访问;应

用层基于数据中心低代码开发工具，实现分析展示应用的快速构建，包括一张图、驾驶舱、煤炭

全流程和智能分析等功能。下文将对各层级进行具体介绍。

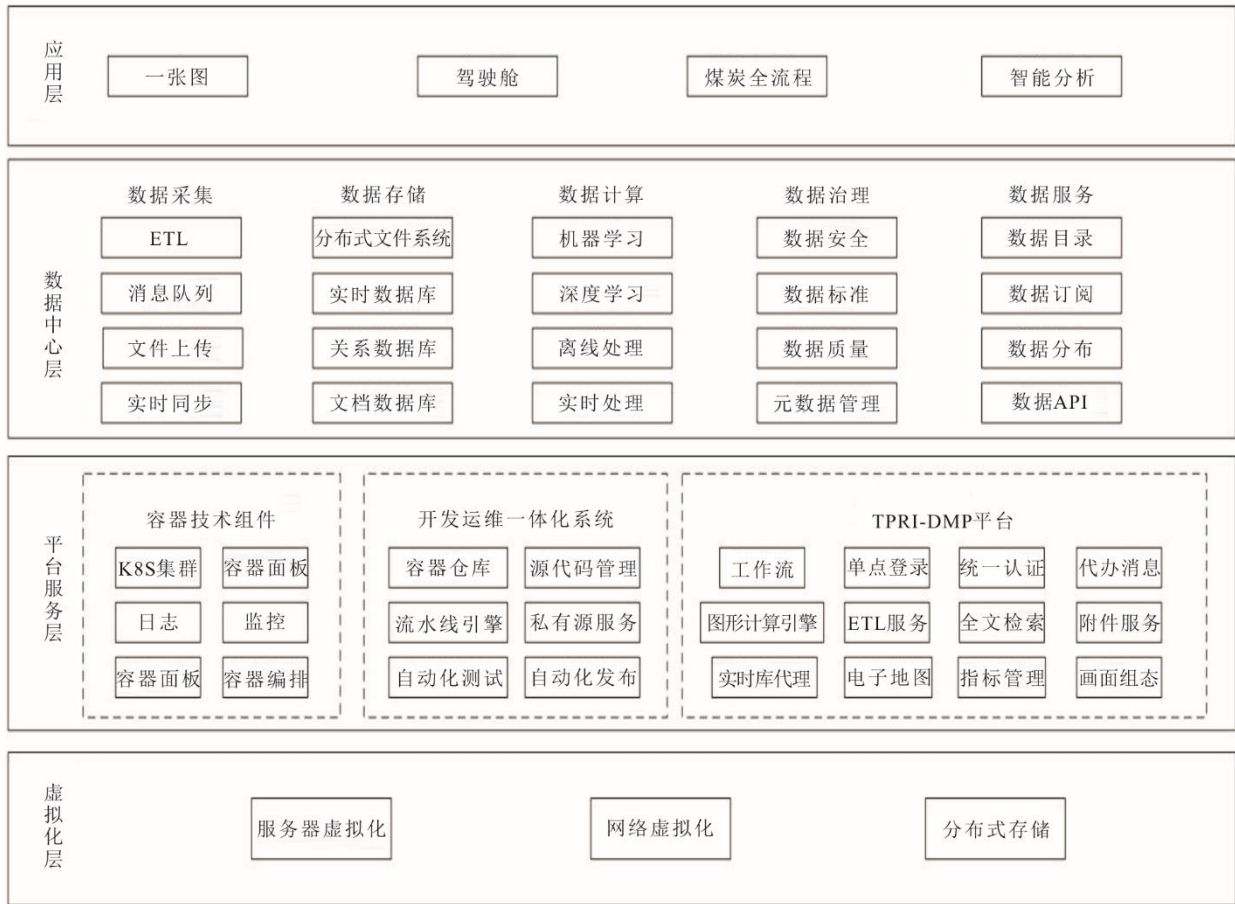


图 2 数据中心总体架构
Fig.2 Overall architecture of the data center

2 虚拟化层

传统部署方式存在投入成本高、扩展复杂和运维工作量大等问题，因此本文采用超融合技术构建虚拟化层，超融合技术包括服务器虚拟化、网络虚拟化和分布式存储，其中服务器虚拟化可实现对硬件资源的池化及虚拟资源统一管理，网络虚拟化用于实现虚拟化层网络资源的统一编排，分布式存储采用分层和条带化等技术，提供高性能的读写服务和稳定的存储服务，满足上层应用的存储需求。

3 平台服务层

平台服务层采用基于 Kubernetes 集群管理技术的容器云平台 and 开发运维一体化系统，并结合具有华能自主知识产权的 TPRI-DMP 开发平台，为数据中心提供一套基于微服务框架、容器化部署方案、容器编排技术的 PaaS (platform-as-a-service, 平台

即服务) 平台服务^[13]。TPRI-DMP 为具有华能自主知识产权的基于可重用组件的可视化流程的工业应用软件开发平台^[14]，包括前端模块代码开发和后端 API (application programming interface) 低代码开发工具，内置各类组件和服务，包括业务流程引擎、动态数据模型、表单设计器、单点登录、用户管理和待办消息等，适用于各类复杂业务处理类型应用系统的快速开发，可用于数据中心数据采集、存储和共享等多个环节。

容器云平台基于轻量级 Kubernetes 容器面板实现容器服务的管理，满足了容器资源的统一监控、调配和自动化部署需求，根据场景需要动态扩缩容器实例，同时提高应用系统的自动化部署与运维能力，这些能力主要包括服务容器编排、流量负载均衡、应用故障自愈、租户管理以及资源隔离等^[15]。

开发运维一体化系统基于源代码管理平台、容器仓库、流水线引擎和私有源服务实现数据中心采

集、存储和共享服务的自动化测试和发布，具体如图 3 所示。开发人员提交代码至源代码管理平台后，可触发流水线拉取代码进行构建和测试，继而将代码打包为镜像并推送至容器仓库。最终，容器云平台可从容器仓库拉去镜像并部署到正式运行环境。

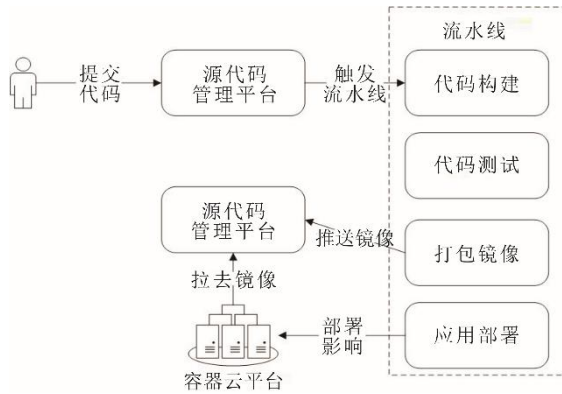


图 3 开发运维一体化流程
Fig.3 Process of DevOps

基于容器云平台的所有业务应用具备与底层数据松耦合特性，通过接口层提供的各种数据接口，向业务人员或第三方厂商提供开放 API 服务。根据不同的应用场景，通过对相应的 API 进行选择 and 组合，从而快速生成所需要的业务应用，以满足对应

用的快速开发、部署、上线的能力。

4 数据中心层

4.1 数据采集

数据采集层是数据中心的数据入口，通过数据采集，可以将来自不同数据源，不同格式数据文件，不同通信协议的数据统一加载到数据中心上。图 4 为数据采集架构。由图 4 可见，露天矿数据采集的对象主要包括业务数据和工业实时数据 2 大类型。业务数据采集用于与业务系统对接和采集数据，数据类型包括结构化数据和非结构化数据，数据源通常包括数据库、接口数据、文件数据和推送消息等。

数据采集层采用 ETL (extract transform load, 数据抽取转换工具)、DataX、flume 等组件实现结构化数据和非结构化数据的采集，并支持主流消息队列的订阅。此外，根据网络安全要求，露天矿各大区间有网闸和防火墙等隔离设备，因此数据采集需在每个大区部署采集服务，并在管理信息区提供数据消费服务来接收各大区回传的服务，针对以上跨大区通信的场景，业务数据采集基于 Kafka 在网络隔离设备两侧架设消息队列，以保证高并发传输和断网时的数据缓存和一致性。

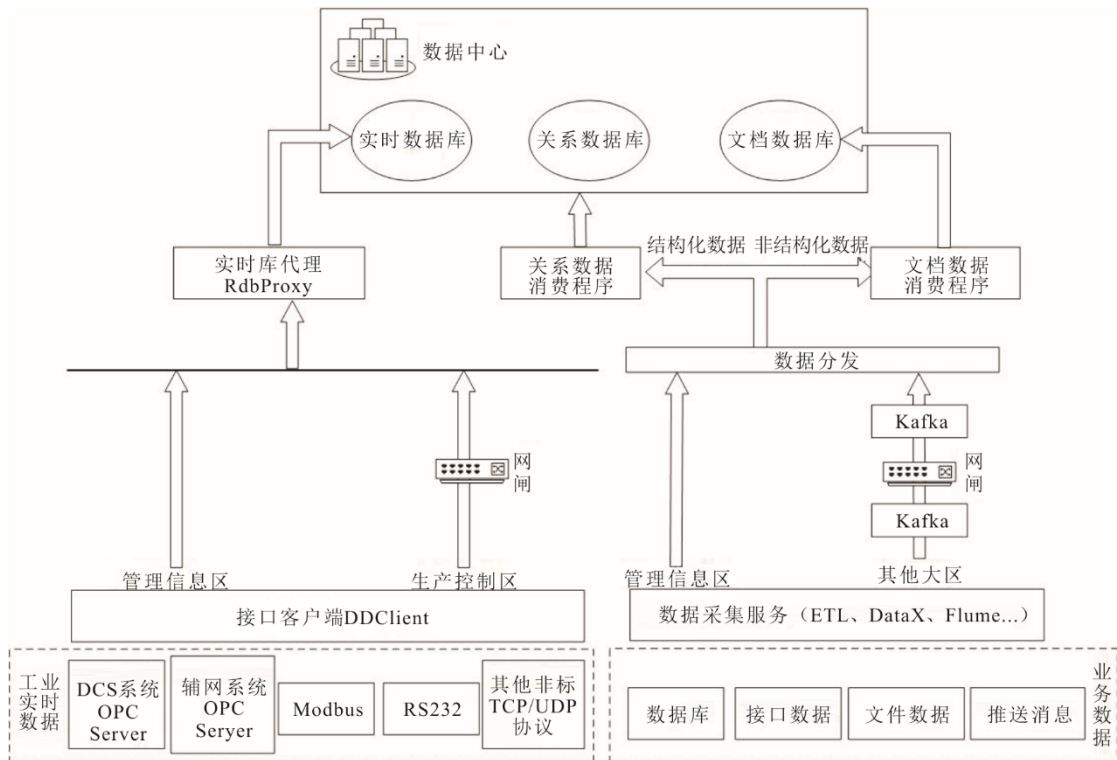


图 4 数据采集架构
Fig.4 Architecture of data acquisition

工业实时数据采集^[16-17]使用一套高度可扩展的数据采集和实时数据库数据标准化访问的系统平台,主要由 DDClient 客户端接口机和 RDBProxy 代理服务器 2 部分组成,DDClient 通过数据采集协议驱动方式支持不同数据源的数据采集,如常用的 OPC 服务器数据采集、电网 102、103、104 规约数据采集、Modbus 协议以及自定义的串口等协议的数据采集^[18]。RDBProxy 是实时数据库代理平台,它将不同的实时数据库进行统一化封装,为上层应用系统提供一套统一的实时数据库写入和访问接口。

4.2 数据存储

数据中心存储层包括通用型和特定领域型数据库,不同于传统业务系统单一的关系型数据库,数据中心根据实际数据业务需要,针对不同类型数据集,提供不同的数据库支撑^[19]。露天煤矿需要整合存储的数据包括:1) 实时设备运行数据,包括卡车、电铲及连续系统等各类生产设备的实时运行数据,通常由 VPDN 网段的无线传感器采集,该类数据的采集频率较高,需具备秒级甚至毫秒级的存储能力;2) 实时生产数据,包括各生产设备的实时产量信息、定位信息和油耗信息等,主要用于卡车调度系统,该类数据通常是采集频率在分钟级的关系型数据;3) 生产运维数据,包括设备检修记录、设备缺陷、交接班记录等运维信息;4) 报警数据,包括生产设备、人员、边坡监测等各类系统的报警数据;5) 文件信息,包括设备图纸、报警照片和视频等文件数据。

针对上述信息的特点,数据存储层采用 Hadoop 数据库、工业实时库、关系型数据库和文档数据库来进行存储和管理,其中 Hadoop HDFS 作为主数据集负责存储从各系统采集的原始数据,主要用于批量处理、数据挖掘和数据交换,当露天矿每天数据的产生量不足 100 兆字节时,也可选择 MySQL 集群替代 HDFS;工业实时库采用自主研发的 Rython 库,可支持毫秒级实时数据读写,用于存储采集频率较高的实时数据;关系型数据库采用 MySQL 集群,存储较为频繁应用和修改的参数或流程类的数据,如定位数据和产量数据;文档数据库采用 MongoDB,用于存储非结构化数据和小文件。

为满足数据标准化、共享和分析的需求,数据存储将来自数据生产端的多源异构数据统一归集到数据仓库,形成贴源层(operation data store,

ODS)数据,然后根据数据分析和应用需求构建分析主题、整合多源数据构建宽表、汇总计算指标,形成汇总层(data warehouse detail/service, DWD/DWS)和集市层(data mart, DM)数据,支撑数据分析应用。

4.3 数据计算

数据中心计算层整体遵循 Lambda 大数据架构设计思想并融合露天矿特有的工业大数据特征开展设计,包括流处理、批处理和服务层。其中,流处理层即实时处理架构,基于 Rython 实时库及计算工具体系实现实时流计算服务,支撑秒级或分钟级数据流分析业务的快速展现。批处理层指海量数据批次分析架构,主要在基础数据集之上进行批量计算分析。服务层是指通过对实时处理和批处理的结果进行整合并快速提供给客户端的服务架构,通常利用访问效率较高的存储库作为核心支撑。

数据计算层的整理数据流向如图 5 所示。结构化数据、非结构化数据、文件和音视频数据可通过 ETL 采集并实现全量数据留存;通过批处理计算,实现 ODS 到 DM 各层数据处理,处理结果可存入关系库和实时缓存中,供服务层应用。实时数据,如设备运行数据和实时监测数据等,通过 DDClient 进行采集,并存入实时库中留存,同时通过实时计算工具实现数据的实时处理,处理后的数据可直接提供事件报警,也可通过缓存库、实时库代理为服务层提供数据应用。

数据计算层的 AI (artificial intelligence, 人工智能)分析工具基于零编码算法建模设计,提供了自动化、智能化的分析模型构建能力。AI 分析工具基于大数据架构,支持分布式存储、分布式并行计算、内存计算,实现海量数据的高效分析,达到高性能的大数据计算。该工具内置多种分析算法,包含数据处理、特征工程、机器学习、统计分析、集成学习和深度学习等多种算法,支持用户以图形化、拖拽式的方式实现数据深度分析和模型构建。

4.4 数据治理

数据治理层针对关系、非关系数据和实时数据提供贯穿全生命周期的数据治理功能,主要包括元数据、主数据、数据标准化和数据质量等功能。

元数据是对于数据中心数据资产的体现,描述了数据中心存储了哪些数据、这些数据用来做什么以及谁在使用这些数据。基于 Hadoop 体系的元数据管理可采用 Hive 来实现。

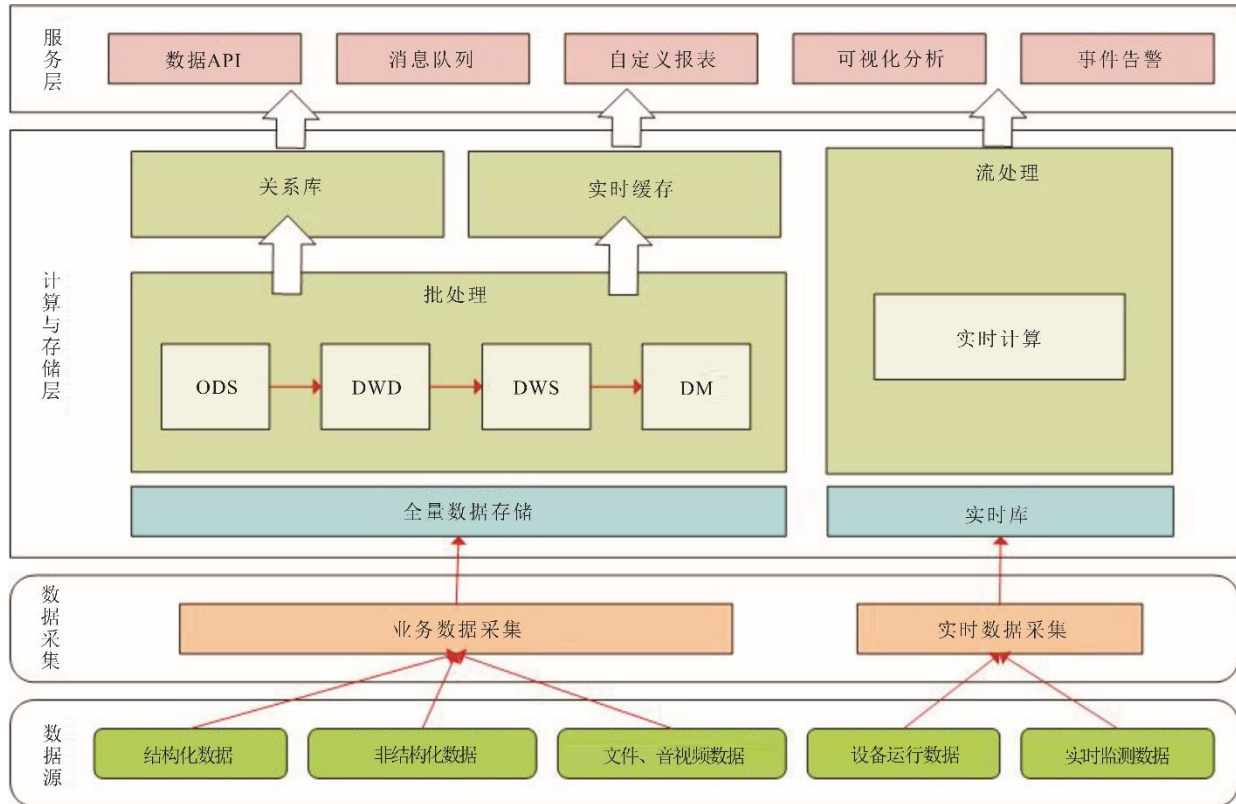


图 5 数据流图

Fig.5 Data flow of the data center

主数据统一管理是企业数字化的首要工程^[20]，露天矿主数据主要包括组织机构、人员、设备和物资信息，这些信息由数据中心主数据模块统一管理维护，对外提供同步接口和消息队列，业务系统可通过同步接口对主数据进行初始化同步，并通过订阅消息队列实现后续数据修改时的实时同步。

数据的规范和统一是数据共享和业务交互的前提^[21]，数据标准化针对各业务系统中的数据提取一套统一的数据命名、数据定义、数据类型、赋值规则等的定义基准，并基于此标准对源数据进行清洗转换，然后加载到标准数据存储层。

数据质量管理针对数据的正确性、完全性、一致性、合规性等，对数据进行全面检查^[22]，并可对检核规则或方法进行阈值设置，实现质量监控报警和流程处理，形成数据质量管理的闭环反馈。

4.5 数据服务

数据服务层是为数据的应用提供基础服务功能^[23]，通过数据共享工具和计算分析工具为上层业务应用系统提供数据利用的技术支持。

数据共享工具基于 TPRI-DMP 平台，对外提供数据推送和数据接口 2 种共享方式，其中数据推送

主要用于对数据同步实时性要求较高的场合和主数据类修改频率很低的数据同步，通过平台消息队列实现数据更改后的实时推送；数据接口基于平台的低代码开发工具，支持开发人员采用图形化的方式实现数据 API 的快速生成，同时平台的 API 网关模块对 API 接口全生命周期进行管理和监控，包括 API 注册、权限控制、日志记录等功能，实现对外数据 API 的统一管理。

计算分析工具包括商业智能 (BI) 展示、自定义报表和 AI 分析，通过低代码开发模式快速搭建图形化的数据分析和展示，支持业务人员以拖拽的方式自定义可视化分析页面、报表，并通过平台内置的数据处理、算法节点，以拖拽式迅速完成机器学习、深度学习、自然语言处理等算法模型构建，实现数据的关联分析、未来趋势预测等应用，最终给出决策方案。

5 应用层

5.1 露天矿一张图

露天矿一张图系统基于数据中心，将矿山中的固本信息即与空间位置直接有关的信息，如地表地

形地貌、水文地质及地质构造、矿山地质储量、开拓开采方案、已完成的采矿工程等数字化,按三维坐标组织成数字矿山,全面、详尽地刻画矿山的整体面貌;在矿山固本信息数字化基础上,进一步嵌入矿山开发与运行相关信息如卡车调度、人员定位、设备信息等数据组成一个意义更加广泛的多维数字矿山^[24],界面如图 6 所示。

5.2 管理驾驶舱

图 7 为管理驾驶舱。管理驾驶舱是数据中心的综合展示页面,也是露天矿大屏展示,其集成了生产实时、设备维护和决策信息等数据,提供实时、全面的信息展示,帮助管理人员监控生产、调度生产、监测安全、诊断故障和进行数据分析,提高矿区的生产效率、安全性和管理水平^[25]。

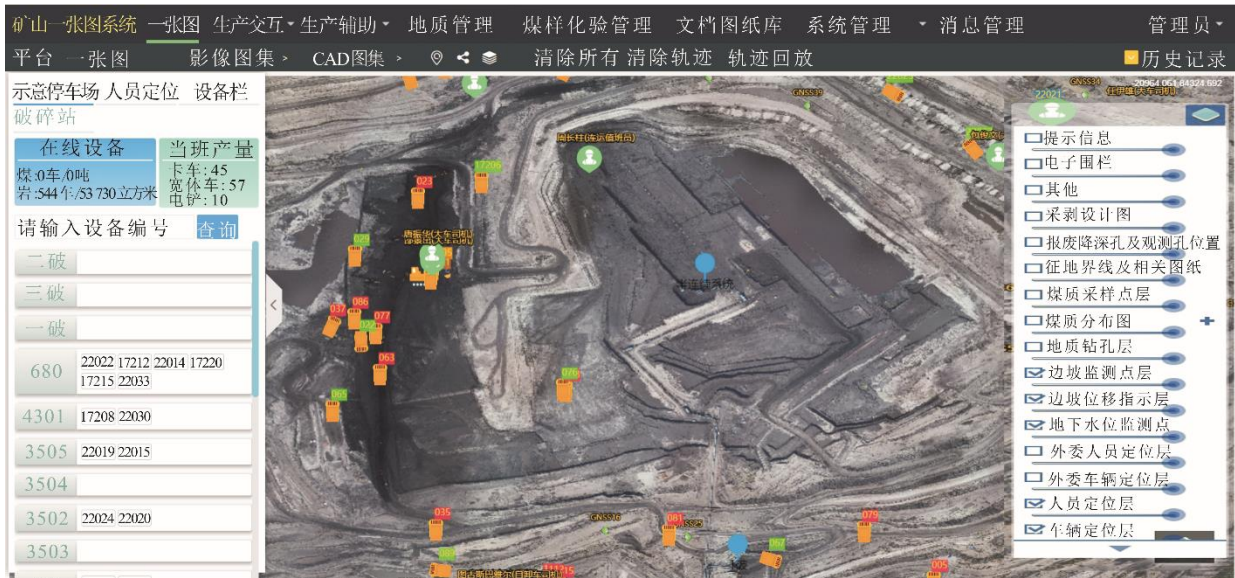


图 6 露天矿一张图
Fig.6 Digital map of the open mine



图 7 管理驾驶舱
Fig.7 Management cockpit

5.3 煤炭全流程

基于数据中心打通露天矿采矿到电厂用煤的数据链路,煤炭全流程系统实现了从露天矿采煤、

破碎站碎煤、皮带输煤、火车运煤、电厂用煤等环节的全过程燃料供应监控。煤炭全流程作为煤炭产、运、存、耗、销、排一体化桥梁纽带作用的关

键环节,兼具上下游环节的协同管控能力,在时间、空间上多维度精确管控,合理分配生产资源,全面提升煤炭运输效率,实现传统煤炭生产供给模式向全流程一体化智慧管控模式转变。

5.4 智能分析

基于 AI 分析工具,露天矿进行了多个场景的智能分析,如根据卡车现有特征采用随机森林算法对卡车缸温进行预测预警;采用 Topsis 算法进行了卡车安全行为分析和电铲安全行为分析,并进行评分排序;根据卡车发动机主要参数,采用 FP Growth 关联规则算法完成了卡车发动机故障预警。

6 结 语

本文以伊敏露天煤矿数据中心的构建为实例,介绍了基于容器云平台的露天矿数据中心架构及场景应用。该数据中心通过高速数据通道和数据采集网络采集各类设备数据,建立统一的数据采集平台、主数据管理平台、业务数据中心。在保证网络安全的情况下,实现了不同网络区域的数据共享,并提供指标计算和报表发布功能,实现了基于大数据中心的业务数据可视化探索以及 AI 分析决策。通过业务系统贯通与大数据智能分析,实现企业管理流程优化、实时快速响应,辅助管理决策,提升综合经营管理能力。目前该数据中心已在华能伊敏露天矿得到有效应用,可为各大智能矿山的建设提供有益的参考。

【参 考 文 献】

- [1] 赵红泽,刘元旭,王群,等.智慧露天矿山规划发展路径研究[J].中国煤炭,2021,47(1):27-34.
ZHAO Hongze, LIU Yuanxu, WANG Qun, et al. Study on the planning and development path of intelligent open-pit mine[J]. China Coal, 2021, 47(1): 27-34.
- [2] 孙春升,宋晓波,弓海军.煤矿智慧矿山建设策略研究[J].煤炭工程,2021,53(2):191-196.
SUN Chunsheng, SONG Xiaobo, GONG Haijun. Construction strategy of intelligent coal mine[J]. Coal Engineering, 2021, 53(2): 191-196.
- [3] 张瑞新,毛善君,赵红泽,等.智慧露天矿山建设基本框架及体系设计[J].煤炭科学技术,2019,47(10):1-23.
ZHANG Ruixin, MAO Shanjun, ZHAO Hongze, et al. Framework and structure design of system construction for intelligent open-pit mine[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10): 1-23.
- [4] 李首滨,刘道园.基于工业互联网的智能矿山研究与设计[J].中国煤炭,2021,47(2):59-65.
LI Shoubin, LIU Daoyuan. Research and design of intelligent mine based on industrial internet[J]. China Coal, 2021, 47(2): 59-65.
- [5] 陈永记,白光辉,周领.云边协同体系下水电厂统一数据平台研究与应用[J].电力信息与通信技术,2021,19(7):1-8.
CHEN Yongji, BAI Guanghui, ZHOU Ling. Research and application of unified data platform for hydropower plant under cloud-edge collaboration system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2021, 19(7): 1-8.
- [6] 刘中坚.水电厂二次系统安全防护技术研究[J].中国高新科技,2020(14):13-14.
LIU Zhongjian. Research on safety protection technology of secondary system in hydropower plant[J]. China High and New Technology, 2020(14): 13-14.
- [7] 张波,赵耀忠,刘跃,等.基于大数据的煤矿综合业务管控平台开发[J].热力发电,2021,50(9):72-79.
ZHANG Bo, ZHAO Yaozhong, LIU Yue, et al. Development of coal mine integrated business management platform based on big data[J]. Thermal Power Generation, 2021, 50(9): 72-79.
- [8] 刘聪睿,吴建国,王申,等.智能电厂生产管理系统移动应用设计与实现[J].热力发电,2019,48(9):120-124.
LIU Congrui, WU Jianguo, WANG Shen, et al. Design and implementation of mobile application for smart power plant production management system[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(9): 120-124.
- [9] 薛晗光,刘聪睿,赵轩,等.智能电站工作票移动办理的设计与实现[J].热力发电,2017,46(12):40-43.
XUE Hanguang, LIU Congrui, ZHAO Xuan, et al. Design and implementation of work order mobile management: practice of intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(12): 40-43.
- [10] 罗睿,徐衍安,王毅,等.电厂厂级监控信息系统移动端开发及应用[J].热力发电,2018,47(6):137-142.
LUO Rui, XU Yan'an, WANG Yi, et al. Development and application of mobile terminal in plant-level supervisory information system for power plant[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(6): 137-142.
- [11] 王明昊.基于VMware虚拟化技术的企业数据中心构建及安全问题研究[J].网络空间安全,2021,12(增刊2):37-42.
WANG Minghao. Research on enterprise data center construction and security based on VMware virtualization technology[J]. Cyberspace Security, 2021, 12(Suppl.2): 37-42.
- [12] 李宏超,刘永,王宇江,等.基于超融合体系的特大露天矿数据中心及应用支撑架构[J].露天采矿技术,2022,37(3):18-21.
LI Hongchao, LIU Yong, WANG Yujiang, et al. Data center and application support architecture of super large open-pit mine based on hyper converged infrastructure [J]. Opencast Mining Technology, 2022, 37(3): 18-21.
- [13] 张波,赵耀忠,刘跃,等.综合业务管控系统容器平台的构建及开发[J].热力发电,2021,50(12):59-65.
ZHANG Bo, ZHAO Yaozhong, LIU Yue, et al. Construction and development of container platform for integrated business management and control system[J]. Thermal Power Generation, 2021, 50(12): 59-65.
- [14] 王涛,单正涛,杜金刚,等.智能电厂生产管理开发平

- 台研发[J]. 热力发电, 2019, 48(9): 115-119.
WANG Tao, SHAN Zhengtao, DU Jingang, et al. Research and development of production management development platform for intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(9): 115-119.
- [15] 夏畅. 基于 Kubernetes 的企业级容器云平台建设[J]. 电信快报, 2021(1): 12-16.
XIA Chang. Construction of enterprise container cloud platform base on Kubernetes[J]. Telecom Letters, 2021(1): 12-16.
- [16] 陈晨. 数据采集技术在工业大数据平台中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(5): 81-82.
CHEN Chen. Application of data collection technology in industrial big data platform[J]. Modern Industrial Economy and Information Iization, 2023, 13(5): 81-82.
- [17] 李晓彬. 基于改进决策树的电力混合大数据实时采集方法[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(6): 93-96.
LI Xiaobin. Real time power hybrid big data acquisition method based on improved decision tree[J]. Automation & Instrumentation, 2023(6): 93-96.
- [18] 陈洪, 乐毅, 吴晓翠, 等. 基于大数据平台的水电机组状态数据处理架构研究[J]. 水电与新能源, 2019, 33(11): 42-47.
CHEN Hong, LE Yi, WU Xiaocui, et al. Condition data processing framework of hydropower units based on big data platform[J]. Hydropower and New Energy, 2019, 33(11): 42-47.
- [19] 徐丹, 王言国, 李枫. 基于云平台的水电数据中心解决方案研究[J]. 水电与抽水蓄能, 2018, 4(6): 23-29.
XU Dan, WANG Yanguo, LI Feng. Research on the solution of hydropower data center based on cloud platform[J]. Hydropower and Pumped Storage, 2018, 4(6): 23-29.
- [20] 任国琦, 张贺捷. 化工行业集团型企业主数据标准的设计和應用[J]. 现代化工, 2022, 42(1): 21-24.
REN Guoqi, ZHANG Hejie. Design and application of master data standard for group enterprise in chemical industry[J]. Modern Chemical Industry, 2022, 42(1): 21-24.
- [21] 张超超, 王兰, 林薇, 等. 矿山大数据标准化研究[J]. 信息技术与标准化, 2023(6): 67-70.
ZHANG Chaochao, WANG Lan, LIN Wei, et al. Research on the standardization of mine big data[J]. Information Technology & Standardization, 2023(6): 67-70.
- [22] 梁国豪, 朱梅清, 韦通明, 等. 一种基于 Spark 计算的数据质量评估方法[J]. 汽车电器, 2023(7): 65-66.
LIANG Guohao, ZHU Meiqing, WEI Tongming, et al. A data quality assessment method based on spark computing[J]. Auto Electric Parts, 2023(7): 65-66.
- [23] 刘海涛, 段敬, 张栋, 等. 电网 GIS 中台的研究与设计[J]. 电力信息与通信技术, 2021, 19(3): 107-111.
LIU Haitao, DUAN Jing, ZHANG Dong, et al. Research and design of grid GIS middle platform[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2021, 19(3): 107-111.
- [24] 王东明, 杨天鸿, 薛鹏展, 等. 基于 B/S 架构的抚顺西露天矿 WebGIS 系统构建[J]. 金属矿山, 2021(5): 56-64.
WANG Dongming, YANG Tianhong, XUE Pengzhan, et al. Establishment of Web GIS system of Fushun west open-pit mine based on B/S framework[J]. Metal Mine, 2021(5): 56-64.
- [25] 何帅, 王海洋, 赵力. 露天煤矿智慧化建设关键技术及智能管控理念[J]. 煤矿安全, 2020, 51(10): 298-304.
HE Shuai, WANG Haiyang, ZHAO Li. Key technology and intelligent management and control concept of intelligent construction of open-pit coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2020, 51(10): 298-304.

(责任编辑 杜亚勤)