

王美君, 谭章禄, 吕晗冰, 等. 选煤厂智能化建设技术架构与技术策略研究[J]. 矿业科学学报, 2024, 9(6): 1017-1026. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2024908

WANG Meijun, TAN Zhanglu, LÜ Hanbing, et al. Technical architecture and strategies for intelligent construction of coal preparation plant[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2024, 9(6): 1017-1026. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2024908

# 选煤厂智能化建设技术架构与技术策略研究

王美君, 谭章禄, 吕晗冰, 桂谕典

中国矿业大学(北京)管理学院, 北京 100083

**摘要:**选煤厂智能化是煤炭洗选高质量发展的核心技术支撑。针对选煤厂智能化建设亟需顶层设计这一问题,从选煤厂数字化转型的根本目的和基本动机出发,首先基于选煤厂智能化建设的底层逻辑论述选煤厂智能化建设的技术目标和根本任务;然后基于分层架构思想,设计选煤厂智能化建设“四横三纵”的总体技术架构,提出选煤厂智能化建设的5项核心能力要求——“透彻感知、深度互联、自主学习、智能应用、全局协同”;进一步基于能力成熟度思想,指出选煤厂智能化建设分级达标的技术路径和各阶段需完成的重点工作,包括初级阶段的选煤数据集成、中级阶段的业务优化算法研发和高级阶段的选煤人工智能大模型赋能;最后基于复杂系统发展规律,凝练选煤厂智能化建设的96字方针,指明选煤厂智能化建设的技术策略,以期从顶层设计角度为选煤厂智能化建设的技术实现提供参考。

**关键词:**选煤厂智能化;技术架构;技术策略;数据标准;数据治理;顶层设计;智慧工厂

中图分类号:TD 948

文献标志码:A

文章编号:2096-2193(2024)06-1017-10

## Technical architecture and strategies for intelligent construction of coal preparation plant

WANG Meijun, TAN Zhanglu, LÜ Hanbing, GUI Yudian

School of Management, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China

**Abstract:**Intelligentization of coal preparation plant is the core technical support for the high-quality development of coal washing. This study targets at the top-level design for the intelligent construction of coal preparation plant. Departing from the fundamental purpose and motivation of digital transformation of coal preparation plant, we 1) discuss the technical objectives and major tasks of intelligent construction of coal preparation plant based on the underlying logic of intelligent construction of coal preparation plant; 2) propose the overall technical architecture of CNSASSM for the intelligent construction of coal preparation plant based on layered architecture, with five core competence requirements: “thorough perception, deep interconnection, autonomous learning, intelligent application, and global coordination”; 3) point out the technical pathway for intelligent construction of coal preparation plant and the major tasks to be completed at each phase based on capability maturity, including the integration of standard coal preparation data at the primary phase, the research and development of business optimization algorithms at the intermediate phase, and the empowerment of artificial intelligence model on coal

收稿日期:2024-03-04 修回日期:2024-06-03

基金项目:国家自然科学基金(61471362)

作者简介:王美君(1995—),男,四川泸县人,博士研究生,主要从事智慧矿山、数据治理等方面的研究工作。Tel:15210738036, E-mail:wangmeijun@126.com

通信作者:谭章禄(1962—),男,江西赣县人,博士,教授,主要从事智慧矿山、数据治理、管理信息系统等方面的研究工作。Tel:18600075661, E-mail:tanzl@vip.sina.com

preparation at the advanced phase; 4) generalize a 96-word guideline of technical strategies for intelligent construction of coal preparation plant based on patterns of complex system development, so as to provide reference for the technical realization of intelligent construction of coal preparation plant from the perspective of top-level design.

**Key words:** intelligentization of coal preparation plant; technical architecture; technical strategy; data standard; data governance; top-level design; intelligent factory

煤炭洗选高质量发展是煤炭绿色生产的关键,是煤炭清洁高效利用的基础,是发展洁净煤技术的前提,对于优化煤炭产业结构、增加清洁能源供给、实现双碳目标具有重要意义。选煤厂智能化建设将为煤炭洗选的高质量发展提供核心技术支撑。2020年2月,八部委联合发布《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》(发改能源〔2020〕283号),确定了选煤厂智能化建设的总体要求、主要任务和保障措施,为选煤厂智能化建设提供了根本遵循。2021年6月,国家能源局和国家矿山安全监察局发布《煤矿智能化建设指南(2021版)》(国能发煤炭规〔2021〕29号),明确了选煤厂智能化建设的总体目标、技术要求、技术路径和建设内容,构建了选煤厂智能化建设的发展蓝图。2021年12月,国家能源局发布《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》(国能发煤炭规〔2021〕69号),规定了选煤厂智能化建设的验收标准,提供了选煤厂智能化建设的行动指南。2023年3月,《国家能源局关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》(国能发科技〔2023〕27号)中进一步强调要大力推进数字化智能化技术对选煤厂安全高效生产的深度赋能,坚定了选煤厂智能化建设的技术方向。

顺应煤炭智能洗选关键技术发展趋势,选煤厂智能化建设在总体设计、基础平台建设、基础自动化建设、智能控制建设、智能管理与决策建设等方面的理论研究和实践探索方兴未艾。在选煤厂智能化总体设计上,王然风等<sup>[1]</sup>较早探讨了智能化选煤厂的内涵,提出了智能化选煤厂技术架构,指出了智能化选煤厂建设的关键技术和发展方向;梁彦国<sup>[2]</sup>介绍了选煤工艺、选煤设备及其智能化发展现状,指出了选煤厂智能化建设趋势。在基础平台建设方面,孙小路等<sup>[3]</sup>和赵鑫等<sup>[4]</sup>开发了选煤标准数据平台,推动了选煤数据标准体系建设。在基础自动化建设方面,付翔等<sup>[5]</sup>设计了选煤设备远程故障预测系统,为选煤设备全生命周期的健康管理提供了技术支撑。人工智能(Artificial Intelligence, AI)视频图像分析技术在异物检测、煤矸智能分选<sup>[6]</sup>、设备运行状态检测、煤炭粒度检测、人员监控和环境安全检测等方面取得重要进展<sup>[7]</sup>。

在智能控制建设方面,分级破碎机已装备自动控制、自动润滑、自动移位、主轴转速测控等智能化技术,将向智能感知、智能决策、智能执行和智能健康管理方向发展<sup>[8]</sup>。适应于我国煤种煤质特征,干法选煤、重介质选煤、浮游选煤等成为主流选煤方法。风力分选、气固流态化分选<sup>[9]</sup>和光电分选等干法选煤理论、技术与装备在智能化方向上已取得长足进步<sup>[10]</sup>。代伟等<sup>[11]</sup>基于对重介选煤过程自适应运行反馈控制方法的研究以及对先进控制技术研究方向的把握<sup>[12]</sup>,构建了基于机理与数据混合驱动的重介质选煤过程动态模型<sup>[13]</sup>,奠定了智能重介分选的基础,指出了智能重介分选从局部智能化走向整体智能化的发展思路<sup>[14-15]</sup>。桂夏辉等<sup>[16]</sup>提出了低品质煤泥浮选过程强化的技术体系和发展方向,奠定了智能浮选的技术基础。杨鹏民<sup>[17]</sup>基于自适应BP神经网络构建了压滤智能控制模型。采制化技术尚处于人工操作为主导的机械化阶段, $\gamma$ 射线测灰、无源测灰、X荧光测灰、中子活化测灰和激光诱导测灰等技术逐步成熟<sup>[18]</sup>。在智能管理决策方面,郭庆华等<sup>[19]</sup>基于建筑信息模型理念和数字孪生技术构建了选煤信息模型,为选煤厂3D可视化管理系统的开发奠定了理论和技术基础。

然而,当前选煤厂智能化建设尚处于起步阶段,仍存在以下显著问题。第一,关注局部系统的智能化改造,缺乏整体智能化建设的顶层设计,技术架构不规范,技术路径不明确,技术策略不科学,数据难以集成应用,系统难以联动协同;第二,智能化发展不平衡不充分,尚需进一步突破重介分选、粗煤泥分选、浮选、煤泥水处理等关键环节和采制化、安全监测、能耗监测、智能巡检等关键设备仪表的核心智能化技术;第三,工艺参数设定依赖于经验判断,缺乏机理与数据融合驱动的选煤过程先进控制模型研究,使得工艺过程控制存在不可预估的偏差,导致工艺过程和产品质量不稳定;第四,工艺过程控制依赖于人工操作,尚未实现人工智能技术的深度赋能,难以切实降低车间工人的劳动强度,容易因为人因失误导致安全生产事故。

为了进一步加快选煤厂智能化建设,需要加强对选煤厂智能化建设技术目标、根本任务、技术架构、技术路径和技术策略的研究,以建立健全选煤厂智能化建设顶层设计,在技术架构的规范下形成选煤厂智能化建设合力,促进信息通信技术对基础平台、基础自动化、智能控制、管理与决策的深度赋能。因此,基于选煤厂智能化建设的底层逻辑,论述选煤厂智能化建设的技术目标和根本任务;进一步结合信息通信技术发展趋势和选煤厂智能化建设实际构建选煤厂智能化建设的技术架构,基于能力成熟度思想构建选煤厂智能化建设的技术路径;最后根据复杂系统发展规律,提出选煤厂智能化建设实施的技术策略。

## 1 选煤厂智能化建设技术目标与根本任务

### 1.1 选煤厂智能化建设技术目标

煤炭洗选与信息通信技术的深度融合,即选煤厂数字化转型,其根本目的是促进选煤厂产出增加和效率提升<sup>[20]</sup>。根据生产力发展的基本原理,阻碍选煤厂产出增加和效率提升的关键因素是员工所固有的心理、体力、能力、智力等方面的局限<sup>[21]</sup>。选煤厂数字化转型的基本动机是以数据资源作为关键生产要素,以工业互联网和工业物联网作为重要载体,通过有效使用信息通信技术,运用自动化、智能化和智慧化的手段和工具克服员工在心理、体力、能力、智力等方面的固有局限,逐步推动选煤厂文化、战略、组织、业务、技术和数据变革,在选煤厂生产力与生产关系的矛盾运动中,实现选煤厂的高质量发展。选煤厂智能化建设是选煤厂实现数字化转型的必由之路。

智能化选煤厂是由意识世界、物理世界和信息世界耦合而成的复杂系统<sup>[22]</sup>。意识世界是存在于选煤厂员工意识空间里的文化、使命、愿景、价值观、战略、目标等要素的集合。物理世界是存在于选煤厂自然物理空间里的人员、机器、原料、工艺、环境等要素的集合。信息世界是存在于选煤厂赛博空间(Cyberspace)里的数据资源、网络资源、存储资源、计算资源等要素的集合。

选煤厂智能化建设的技术目标是在选煤厂现有的产业条件、资源基础和经营能力之上,以煤炭加工利用、机械电气、安全管理、环境保护、经营管理等学科专业知识为基础,充分运用云计算、大数据、工业物联网、工业互联网、人工智能等信息通信技术构建选煤厂信息世界,同时改造选煤厂的意识世界和物理世界,使选煤厂具备透彻感知、深度互联的结构特征,自主学习、智能应用的功能特征,以

及全局协同的价值特征,最大限度地用自动化、智能化、智慧化的手段和工具去武装选煤厂受煤、配煤、筛分、破碎、选煤、仓储、装车、运输、销售等煤炭洗选加工和管理过程,实现煤炭洗选加工和管理过程中组织协同、方案决策、资源配置、设备联动、过程控制、状态分析、趋势预测、风险识别和目标优化的自动化、智能化和智慧化,以克服选煤厂员工在心理、体力、能力和智力等方面存在的固有局限,最终把选煤厂打造成智能结构完善、层级架构健全、支撑体系发达、高度智能的智能工厂,实现“保障生产安全、坚持环境友好、稳定产品质量、降低生产成本、提高劳动效率、减少作业人数、增长经济效益”的高质量发展愿景。

### 1.2 选煤厂智能化建设根本任务

选煤厂智能化建设的根本任务主要有3个:第一,在现有的产业条件、资源基础和经营能力之上构建选煤厂信息世界;第二,对选煤厂的意识世界和物理世界进行自动化、智能化和智慧化改造;第三,实现选煤厂意识世界、物理世界和信息世界三者之间由数据驱动的融合协同<sup>[23]</sup>。

选煤厂信息世界的构建包括网络系统建设、云边端一体化平台建设、数据中心与信息建设、专家知识库建设、可视化交互平台建设、智能化运维管理平台建设等内容。网络系统建设的关键在于集团-二级公司-选煤厂三级网络架构的布局优化、生产环网带宽升级、工业无线网络组网以及网络安全建设。云边端一体化平台建设关键在于云边端计算架构布局优化、集中云计算基础模型开发、分布式边缘计算模型开发以及终端数据采集和敏捷控制。数据中心与信息建设的关键在于集团-二级公司-选煤厂三级数据架构的布局优化以及智能化信息安全体系建设。专家知识库建设的关键在于基于专家经验创新选煤机理驱动模型和数据驱动模型。可视化交互平台建设的关键在于选煤信息模型开发、三维可视化系统建设和可视化交互方式选择,实现选煤厂信息的融合交互。智能化运维管理平台建设的关键在于选煤厂智能运维管理体系的构建以及各类信息基础设施的实时状态监控、故障预测和敏捷响应。

选煤厂意识世界的改造关键在于选煤厂智能化建设理念的统一、选煤厂智能化标准体系的规范、选煤厂智能化建设顶层设计方案认同以及智能管理和智能决策模型的开发,目的是在选煤厂组织文化中植入数据驱动基因,推动选煤厂体制机制变革,实现选煤厂精益管理和科学决策。选煤厂物理世界的改造关键在于受煤、配煤、筛分、破碎、选

煤、仓储、装车、运输、销售等全工艺环节仪器仪表的网络化、智能化改造和协同组网,构建选煤厂工业物联网,实现全工艺环节设备运行控制的联动协同。

实现三个世界融合协同关键在于选煤全工艺过程先进控制理论和控制模型的研发<sup>[13]</sup>以及选煤厂的数据治理体系<sup>[24]</sup>和数据标准体系<sup>[25]</sup>建设。选煤全工艺过程先进控制理论和控制模型的研发不仅要考虑局部或单一工艺过程控制的决策优化,更需要关注选煤全工艺环节的协同控制,建立基于先进控制理论的机理与数据混合驱动选煤全工艺过程控制动态模型。选煤厂数据治理体系和数据标准体系则是为选煤全工艺环节的协同控制提供安全、一致、可信、及时的信息通道,保障选煤全工艺环节协同控制指令的精准执行和动态反馈。

## 2 选煤厂智能化建设技术架构与技术路径

### 2.1 选煤厂智能化建设技术架构

为了促进选煤厂智能化建设形成合力,实现选煤厂智能化建设的技术目标,根据选煤厂智能化建设根本任务的安排,结合信息通信技术发展趋势和选煤厂智能化建设实际,基于分层架构思想,使智能化选煤厂应用前台轻量化、支撑中台敏捷化、基础后台专业化,选煤厂智能化建设总体遵循“四横三纵”技术架构(图1)。其中,“感知控制层”重点体现了对选煤厂物理世界的改造;“网络通信层”和“数据及应用支撑层”重点体现了对选煤厂信息世界的构建;“应用与展示层”重点体现了对选煤厂意识世界的改造;“智能化标准体系”、“智能化信息安全体系”和“智能化管理运维体系”重点体现了三个世界之间由数据驱动的融合协同。

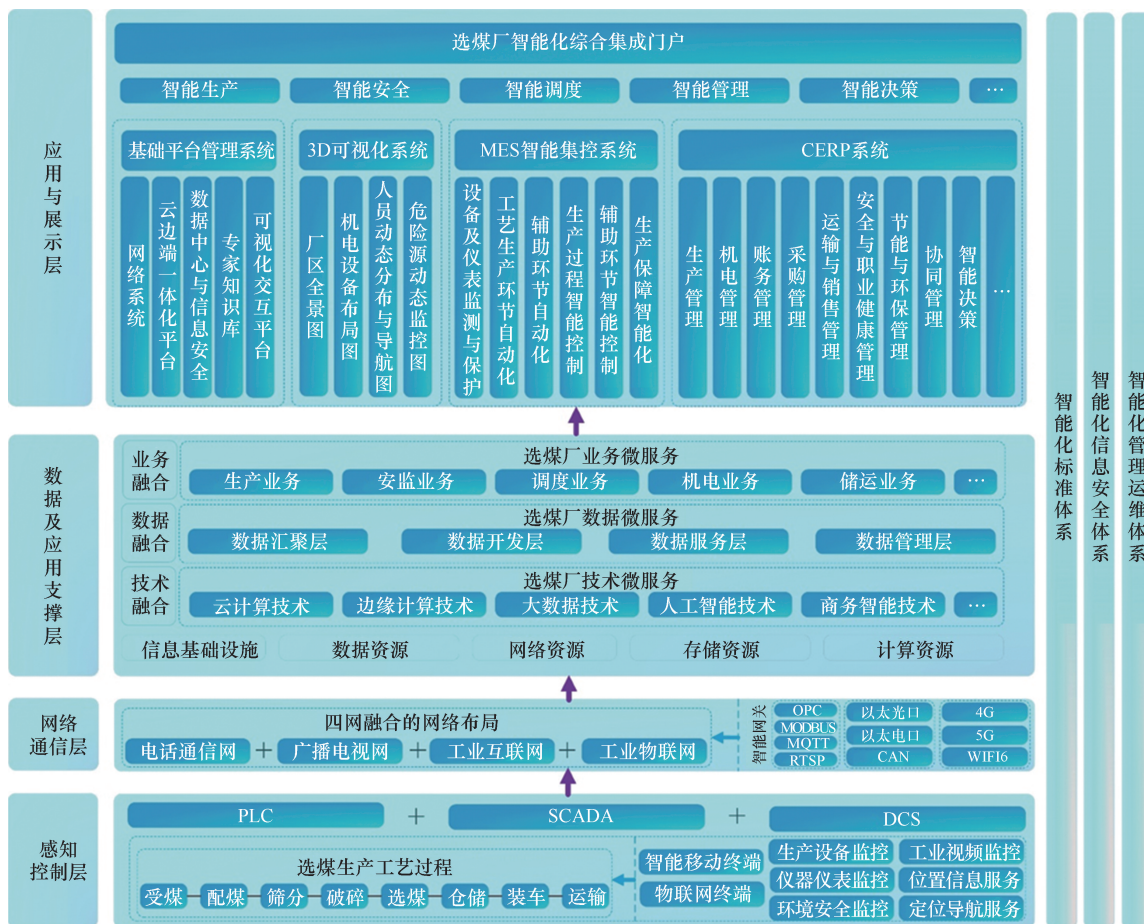


图1 选煤厂智能化建设“四横三纵”技术架构

Fig.1 Technical architecture of CNSASSM for intelligent construction of coal preparation plant

#### 2.1.1 感知控制层

感知控制层通过固定监测传感设备和移动监测传感设备构建基于工业物联网的选煤厂泛在感知网络,实现受煤、配煤、筛分、破碎、选煤、仓储、装

车、运销等工艺过程中设备运行状态参数、选煤过程控制参数、生产过程变量监控参数、煤药介等选煤指标预测参数<sup>[26]</sup>、智能视频监控信号等全业务、全链条、全环节、全方位数据的自动化采集,通过可

编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)、监视控制与数据采集(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)系统、分布式控制系统(Distributed Control System, DCS)三位一体架构,实现选煤数据的整合集成、设备仪表的集控保护、环境安全的实时监控。透彻感知是感知控制层的核心能力要求,关键在于选煤厂设备仪表的网络化、智能化改造,选煤厂工业物联网的泛在连接,以及选煤厂数据质量和数据安全的保障。

### 2.1.2 网络通信层

网络通信层通过对选煤厂电话通信网、广播电视网和工业互联网的技术改造,依托智能网关与感知控制层的工业物联网实现无缝、安全链接,构建四网融合的深度互联网络,为选煤厂提供包括视频、图像、语音、文本、数字等的综合多媒体通信服务,使选煤厂具备无障碍的数据交互能力。深度互联是网络通信层的核心能力要求,强调选煤厂中人与人之间、人与机器之间、机器与机器之间信息的有效交互,核心是选煤厂数据通信接口的开放、数据交互协议的互认以及网络安全的保障。

### 2.1.3 数据及应用支撑层

数据及应用支撑层采用技术融合、数据融合、业务融合的三中台融合架构进行建设<sup>[27]</sup>,通过技术微服务、数据微服务和业务微服务,支撑应用与展示层的敏捷开发,重在依托选煤厂数据治理体系<sup>[24]</sup>构建选煤厂数据中台,为选煤厂智能应用体系提供智能化的数据服务;依托对云计算、边缘计算、大数据、人工智能、商务智能等通用技术的整合、内化和创新,构建选煤厂技术中台,为选煤厂智能应用体系提供智能化的算法模型;抽取选煤厂共性业务,依托选煤厂智能化数据服务和算法模型,优化选煤厂工艺过程和管控逻辑,使选煤厂业务系统具备自适应、自感知、自处理、自决策、自执行和自反馈的自主学习能力。

### 2.1.4 应用与展示层

应用与展示层在数据及应用支撑层的基础上构建选煤厂智能化综合集成门户,形成以“基础平台管理系统、3D可视化系统、MES智能集控系统、CERP系统”为核心的选煤厂智能应用体系,逐步发展与完善智能生产、智能安全、智能调度、智能管理、智能决策等智能应用场景。其中,基础平台管理系统实现选煤厂网络系统、云边端一体化平台、数据中心与信息安全、专家知识库、可视化交互平台等信息基础设施的运维管理;3D可视化系统基于选煤厂信息模型对选煤厂进行三维建模,在厂区全景图的总领下,构建机电设备布局图、人员动态

分布与导航图和危险源动态监控图,分别实现选煤厂设备、人员和危险源的动态监测以及安全风险预测预警;MES智能集控系统实现设备及仪表监测与保护、工艺生产环节自动化、辅助环节自动化、生产过程智能控制、辅助环节智能控制、生产保障智能化等建设内容所涉及的工艺系统、机电设备和仪器仪表的集成和管控;CERP系统实现对选煤厂生产管理、机电管理、财务管理、采购管理、运输与销售管理、安全与职业健康管理、节能与环保管理、协同管理等智能管理系统以及生产情况分析、工艺效果评价、生产指标预测、产品结构优化、经济效益预测、设备运行分析、生产组织决策、综合辅助决策等智能决策系统的集成管控。

智能应用是应用与展示层的核心能力要求,强调选煤厂应用体系、集成门户、应用系统、应用功能和数据服务的智能化,核心是以数字连续性支持选煤厂业务应用需求的敏捷响应。

### 2.1.5 三大支撑体系

“智能化标准体系”“智能化信息安全体系”“智能化管理运维体系”是保障智能化选煤厂4个技术层级安全可靠运行的3大支撑体系。智能化标准体系由基础通用标准子体系、数据与模型标准子体系、生产系统与技术装备标准子体系、管理决策与应用标准子体系和信息安全标准子体系构成<sup>[28]</sup>。智能化信息安全体系由物理安全体系、数据安全体系、网络安全体系、系统安全体系和应用安全体系构成,重点需要健全选煤厂数据安全体系和网络安全体系。智能化管理运维体系包括智能化管理运维组织建设、管理运维服务开发、管理运维平台建设、管理运维人才培养、管理运维绩效评估等内容,可参考ISO 20000的信息技术服务管理体系和信息技术基础架构库(Information Technology Infrastructure Library, ITIL)的运维管理最佳实践进行建设。

全局协同是3大支撑体系的核心能力要求,强调通过战略导向、决策模式、业务需求等驱动选煤厂从以单系统联动为核心的局部协同,走向以“生产柔性化、安全本质化、管理精益化”为特征和“人机料法环优化配置、供产销用一体化联动”为核心的全局协同,关注选煤厂信息流、资金流、物质流、服务流和价值流的协同性。

## 2.2 选煤厂智能化建设技术路径

选煤厂智能化建设是一个长期复杂的系统性工程。基于能力成熟度思想<sup>[29]</sup>,充分考虑选煤厂智能化建设技术架构中重点项目的战略优先级、技术成熟度、成本效益和验收要求,选煤厂智能化建

设总体上将历经3个阶段(图2)。各阶段以选煤厂智能化核心能力要求的实现为完成标志。

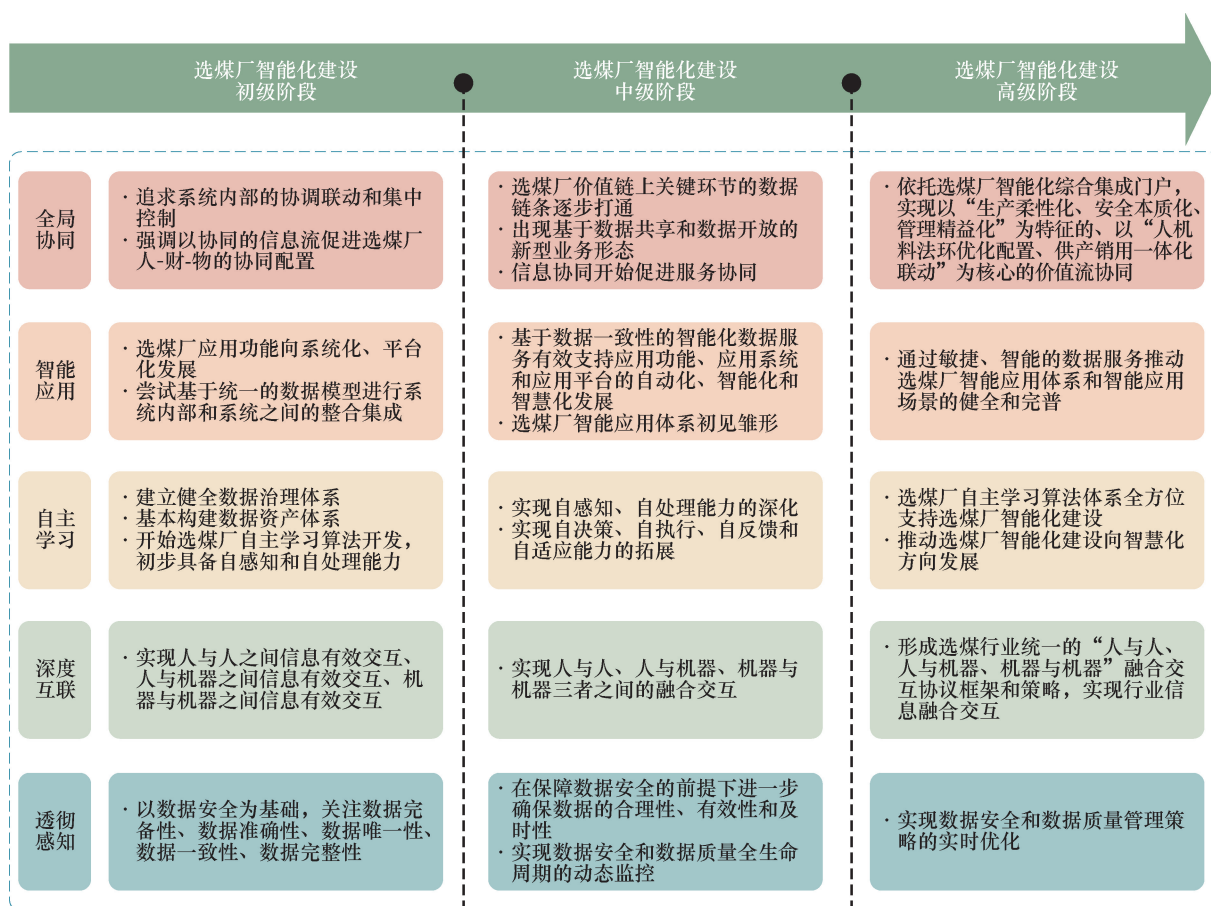


图2 选煤厂智能化建设技术路径

Fig. 2 Technical pathway for intelligent construction of coal preparation plant

### 2.2.1 选煤厂智能化建设初级阶段

选煤厂在战略层面制定系统性的智能化建设规划,在顶层设计要求下构建统一的智能化组织体系、制度体系、架构体系(包括业务架构、技术架构、数据架构)和标准体系,奠定选煤厂智能化建设的技术基础,标准化地开展智能化建设工作。

本阶段在透彻感知能力上,以数据安全为基础,关注数据质量的保障;在深度互联能力上,基本实现选煤厂人与人之间、人与机器之间、机器与机器之间信息的有效交互;在自主学习能力上,建立健全数据治理体系,基本完成数据资产体系构建,依托云边端一体化平台逐步开始选煤厂自主学习算法开发,初步具备自感知和自处理能力;在智能应用能力上,选煤厂应用功能向系统化、平台化发展,尝试基于统一的数据模型进行系统内部和系统之间的整合集成;在全局协同能力上,强调以协同的信息流促进选煤厂人-财-物的协同配置。

该阶段建设内容主要包括选煤厂智能化建设顶层设计、选煤厂智能化标准体系建设、选煤厂智能化信息安全体系建设、选煤厂智能化管理运维体

系建设、选煤厂数据治理体系建设、网络系统建设、云边端一体化平台建设、数据中心与信息安全建设、专家知识库建设、可视化交互平台建设,具体建设要求可参考《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》(国能发煤炭规[2021]69号)的相关规定。

### 2.2.2 选煤厂智能化建设中级阶段

选煤厂在统一的架构体系引导下,基本实现工艺系统、生产设备和仪器仪表的智能化改造,完成工业物联网搭建,形成安全、生产、经营等领域的自主学习算法体系,基于机理与数据混合驱动选煤全工艺过程控制动态模型,有效地支持选煤厂安全、生产和经营的过程控制和管理决策,精益化地开展智能化建设工作。

本阶段在透彻感知能力上,在保障数据安全的前提下进一步确保数据的合理性、有效性和及时性,实现数据安全和数据质量全生命周期的动态监控;在深度互联能力上,实现“人与人、人与机器、机器与机器”三者之间的融合交互;在自主学习能力上,实现自感知、自处理能力的深化以及自决策、自执行、自反馈和自适应能力的拓展;在智能应用

能力上,基于数据一致性的智能化数据服务有效支持应用功能、应用系统和应用平台的自动化、智能化和智慧化发展,选煤厂智能应用体系初见雏形;在全局协同能力上,选煤厂价值链上关键环节的数据链条逐步打通,出现基于数据共享和数据开放的新型业务形态,信息协同开始促进服务协同。

该阶段建设内容主要包括智能分选、智能浓缩、智能压滤、智能采制化、智能仓储与配煤、智能装车、智能配电、关键场所机器人巡检、机电设备实时监测与智能控制、全厂区智能视频监控与进出场控制等系统的建设,具体建设要求可参考《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》(国能发煤炭规〔2021〕69号)的相关规定。

### 2.2.3 选煤厂智能化建设高级阶段

选煤厂持续促进智能化建设战略、顶层设计、架构体系和标准体系的创新,持续推动选煤厂智能化建设资源和能力的优化,完整构建选煤厂智能化应用体系和能力体系,深入开展智能化建设最佳实践的行业分享,标杆化地开展智能化建设工作。

本阶段在透彻感知能力上,实现数据安全和数据质量管理策略的实时优化;在深度互联能力上,形成选煤行业统一的“人与人、人与机器、机器与机器”融合交互协议框架和策略,实现行业信息融合交互;在自主学习能力上,选煤厂自主学习算法体系全方位支持选煤厂智能化建设,推动选煤厂智能化建设向智慧化方向发展;在智能应用能力上,通过敏捷、智能的数据服务推动选煤厂智能应用体系和智能应用场景的健全和完善;在全局协同能力上,依托选煤厂智能化系统集成门户,实现以“生产柔性化、安全本质化、管理精益化”为特征的、以“人料法环优化配置、供产销用一体化联动”为核心的价值流协同。

该阶段建设内容主要包括基础平台管理系统建设、3D可视化系统建设、MES智能集控系统建设、CERP系统升级改造和选煤厂智能化系统集成门户建设,具体建设要求可参考《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》(国能发煤炭规〔2021〕69号)的相关规定。

## 3 选煤厂智能化建设技术策略

为了切实推动选煤厂智能化建设的落地实施,充分考虑选煤厂智能化建设的价值导向和问题导向,保障选煤厂智能化建设产生实效,根据复杂系统发展规律,参考选煤厂智能化建设成熟经验,提出选煤厂智能化建设遵循的技术策略。

### 3.1 统一理念,统一标准,顶层设计

选煤厂智能化建设应充分贯彻“精益管理,降本增效”的建设理念,构筑选煤厂智能化建设灵魂;充分把握“标准先行,体系引领”的建设思路,建立健全选煤厂智能化建设标准体系,引领选煤厂智能化建设;严格落实“顶层设计,科学论证”的建设方法论,构建以战略规划、业务架构、技术架构、数据架构、智能化标准体系、智能化管理运维体系、智能化信息安全体系等为核心内容的选煤厂智能化建设顶层设计方案,锚定选煤厂智能化建设蓝图。

### 3.2 摸清家底,盘活存量,综合集成

选煤厂智能化建设应科学、充分地立足于选煤厂现有的信息化基础。要透彻摸清家底,掌握选煤厂智能化建设的基础、现状和需求;要盘活存量,基于成本收益原则,充分运用信息基础设施,避免重复投资和过度投资;要综合集成现有信息化系统,对标选煤厂智能化建设顶层设计和标准体系,打破信息孤岛和数据鸿沟,贯通选煤全生命周期数据链条,形成支撑选煤厂智能化建设的大数据底座,奠定选煤厂智能应用敏捷开发的基础。

### 3.3 新建项目,效益优先,应需而建

选煤厂智能化建设的新建项目,要紧扣产出增加或效率提升这一根本目的,统筹考虑战略优先级、技术成熟度、成本收益和验收要求等影响项目效益的因素,科学论证项目建设的必要性和可行性;要充分分析和把握选煤厂智能化建设的长期性和艰巨性,谨遵选煤厂智能化建设顶层设计要求,切实做好项目过程风险管控,杜绝烂尾工程;项目建设要实事求是,立足自身需求,谋定未来发展,稳步有序推进,不求“高而上”“大而全”,不做面子工程。

### 3.4 智能选煤,试点突破,逐步推广

智能分选、智能浓缩、智能压滤、智能采制化等智能选煤系统的升级改造,是选煤厂智能化建设的核心项目。由于选煤厂生产工艺的差异性、选煤智能算法泛化能力的局限性以及选煤厂智能系统运维能力不足等原因,智能选煤系统的升级改造需要个性化定制和外包化运维,导致项目投资大、技术复杂、运维困难,在投资、建设和运行方面具有较高风险。为了有效降低智能选煤系统升级改造的试错风险和规避智能选煤系统升级改造的运行风险,应当“先试点、求突破、积经验、再推广”,不能为追求进度而全面铺开。

### 3.5 环境设备,煤耗电人,透彻感知

安全生产是选煤厂智能化建设的核心要义,生产环境、生产设备、煤质、药耗、水耗、介耗、电气和

人员是选煤厂安全生产的重要管理要素,不仅关系着选煤厂的生产安全,还影响着选煤厂的生产效率。选煤厂智能化建设需要综合运用工业物联网、视频识别、大数据分析、人工智能等先进信息技术,实现对选煤厂安全生产要素的透彻感知,绘制智能化选煤厂安全生产一张图,动态掌握安全生产要素历史发展现状和未来演变趋势,奠定选煤厂本质安全和高效生产的数据基础。

### 3.6 六线为纲,十块为目,深度互联

为了打造选煤厂精益管理模式,实现降本增效,选煤厂企业总部应紧抓六条业务主线(资本财务、协同办公、采购供应、安全生产、智能调度、运输销售),实现对经营管理“纵到底”的集中管控;选煤厂专业部门应集成十大业务板块(受煤系统、配煤系统、筛分系统、破碎系统、分选系统、仓储系统、装车系统、安监系统、成本管理、绩效管理),实现对安全生产“横到边”的联动协同。六线十块以业务关系为链接,以数据信息为驱动,纲举目张,构建深度互联的协同管控格局。

### 3.7 人机联动,分析决策,智能管控

“三个有利于”是选煤厂智能化核心能力从初级阶段到高级阶段逐步成熟的标志。在初级阶段,选煤厂智能化建设将有利于促进生产控制的自动化,可根据设定的生产经营任务实现业务操作的人机联动,其关键在于选煤数据的集成。在中级阶段,选煤厂智能化建设将有利于促进管理决策的智能化,可根据设定的业务目标实现选煤厂安全、生产和经营各领域业务的智能优化,其关键在于业务优化算法的研发。在高级阶段,选煤厂智能化建设将有利于促进目标分解的智慧化,可根据战略意图实现智能化选煤厂安全、生产和经营各领域业务目标的智慧分解,其关键在于选煤 AI 大模型的赋能。

### 3.8 变革机制,先进文化,精益管理

选煤厂智能化建设是推动选煤企业适应数字经济、进行数字化转型、实现机制变革、文化创新和管理优化的过程,是选煤企业取得数字竞争优势的一把手工程,要依托体制机制引力,破除组织文化阻力,发挥管理决策定力,释放技术创新活力。一方面,要不断优化创新环境,增强创新动力,培养专业人才,提高创新能力,根据切实需求引入先进的管理理念与智能技术,探索符合自身实际的智能化建设模式和建设路径;另一方面,在选煤厂智能化建设过程中要不断凝结具有“智能选煤”特色的精益管理文化,以行动发展文化,以文化引领行动,文化和行动双向促进,形成文化创新长效机制,保障选煤厂智能化建设的成功实现。

## 4 结论

本文基于选煤厂智能化建设的底层逻辑,从选煤厂数字化转型的根本目的和基本动机出发,系统阐述了选煤厂智能化建设的技术目标和根本任务、技术架构和技术路径、落地实施的技术策略,旨在解决选煤厂智能化建设顶层设计中的关键问题。

(1) 选煤厂数字化转型的根本目的是促进选煤厂产出增加和效率提升;基本动机是以数据资源作为关键生产要素,以工业互联网和工业物联网作为重要载体,通过有效使用信息技术,运用自动化、智能化和智慧化的手段和工具克服员工在心理、体力、能力、智力等方面的固有局限,逐步推动选煤厂文化、战略、组织、业务、技术和数据变革,解放和发展选煤厂的生产力;必由之路是实现选煤厂的智能化建设。

(2) 选煤厂智能化建设的技术目标是将选煤厂打造成智能结构完善、层级架构健全、支撑体系发达、高度智能的智能工厂,根本任务是“构建选煤厂信息世界、改造选煤厂意识世界和物理世界、实现三个世界的融合协同”,实现“保障生产安全、坚持环境友好、稳定产品质量、降低生产成本、提高劳动效率、减少作业人数、增长经济效益”的高质量发展愿景。

(3) 基于分层架构思想,选煤厂智能化建设总体遵循“四横三纵”技术架构,包括“感知控制层、网络通信层、数据及应用支撑层、应用与展示层”4大架构层级和“智能化标准体系、智能化信息安全体系、智能化管理运维体系”3大支撑体系,完整构建选煤厂“透彻感知、深度互联、自主学习、智能应用、全局协同”5大核心智能化能力。

(4) 基于能力成熟度思想,选煤厂智能化建设总体上将历经3个阶段。初级阶段标准化地开展选煤厂智能化建设工作,实现生产控制的自动化,关键在于选煤数据的集成。中级阶段精益化地开展选煤厂智能化建设工作,实现管理决策的智能化,关键在于业务优化算法的研发。高级阶段标杆化地开展选煤厂智能化建设工作,实现目标分解的智慧化,关键在于选煤 AI 大模型的赋能。

(5) 根据复杂系统发展规律,选煤厂智能化建设应遵循“统一理念,统一标准,顶层设计;摸清家底,盘活存量,综合集成;新建项目,效益优先,应需而建;智能选煤,试点突破,逐步推广;环境设备,煤耗电人,透彻感知;六线为纲,十块为目,深度互联;人机联动,分析决策,智能管控;变革机制,先进文化,精益管理”的96字方针。

## 参考文献

- [1] 王然风,高建川,付翔. 智能化选煤厂架构及关键技术[J]. 工矿自动化,2019,45(7): 28-32.  
WANG Ranfeng,GAO Jianchuan,FU Xiang. Framework and key technologies of intelligent coal preparation plant [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45 ( 7 ) : 28-32.
- [2] 梁彦国. 双碳和智能化背景下的选煤厂设计现状与展望[J]. 煤炭工程,2022,54(3): 40-44.  
LIANG Yanguo. Current situation and outlook of coal preparation plant design in the era of intelligentization carbon emission reduction[J]. Coal Engineering, 2022, 54(3): 40-44.
- [3] 孙小路,周春侠,张永志,等. 选煤生产过程标准数据平台建设及其关键技术[J]. 煤炭工程,2021,53(1): 38-42.  
SUN Xiaolu,ZHOU Chunxia,ZHANG Yongzhi, et al. Construction of standard data platform for coal preparation process and its key technologies[J]. Coal Engineering, 2021, 53(1): 38-42.
- [4] 赵鑫,王然风,付翔. 基于 Hadoop 生态圈的选煤数据中台设计[J]. 工矿自动化, 2021, 47 ( 12 ) : 121-127.  
ZHAO Xin,WANG Ranfeng,FU Xiang. Design of coal preparation data center platform based on Hadoop ecosystem[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47 ( 12 ) : 121-127.
- [5] 付翔,王然风,庞亮. 选煤设备远程故障预测系统设计[J]. 工矿自动化,2019,45(7): 48-52.  
FU Xiang,WANG Ranfeng,PANG Liang. Design of remote fault prediction system for coal preparation equipments[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(7): 48-52.
- [6] 徐志强,吕子奇,王卫东,等. 煤矸智能分选的机器视觉识别方法与优化[J]. 煤炭学报,2020,45(6): 2207-2216.  
XU Zhiqiang,LÜ Ziqi,WANG Weidong, et al. Machine vision recognition method and optimization for intelligent separation of coal and gangue[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(6): 2207-2216.
- [7] 折小江,刘江,王兰豪. AI 视频图像分析在选煤厂智能化中的应用现状与发展趋势[J]. 工矿自动化, 2022, 48( 11 ) : 45-53, 109.  
ZHE Xiaojiang, LIU Jiang, WANG Lanhao. Application status and prospect of AI video image analysis in intelligent coal preparation plant[J]. Industry and Mine Automation, 2022, 48( 11 ) : 45-53, 109.
- [8] 李朋,张明远,王保强. 分级破碎机智能化技术现状与发展方向[J]. 煤炭工程,2022,54(1): 133-136.  
LI Peng, ZHANG Mingyuan, WANG Baoqiang. Status and development trends of intelligent technology of sizing crusher[J]. Coal Engineering, 2022, 54( 1 ) : 133-136.
- [9] 张赣苏,董良,周恩会,等. 干法重介质流化床压力多尺度分析与流化质量表征[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51( 4 ) : 215-223.  
ZHANG Gansu, DONG Liang, ZHOU Enhui, et al. Multi-scale pressure analysis and fluidization quality characterization of dry dense medium fluidized bed[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51( 4 ) : 215-223.
- [10] 赵跃民,张亚东,周恩会,等. 清洁高效干法选煤研究进展与展望[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51 ( 3 ) : 607-616.  
ZHAO Yuemin, ZHANG Yadong, ZHOU Enhui, et al. Research progress and prospect of clean and efficient dry coal separation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51( 3 ) : 607-616.
- [11] 代伟,张凌智,褚菲,等. 重介质选煤过程模型与数据混合驱动的自适应运行反馈控制[J]. 控制理论与应用, 2020, 37( 2 ) : 283-294.  
DAI Wei, ZHANG Lingzhi, CHU Fei, et al. Model-data hybrid driven adaptive operational feedback control of dense medium coal preparation process [ J ] . Control Theory & Applications, 2020, 37( 2 ) : 283-294.
- [12] 张凌智,代伟,马小平. 重介质选煤过程先进控制: 研究进展及展望[J]. 工矿自动化, 2020, 46 ( 8 ) : 21-27, 69.  
ZHANG Lingzhi, DAI Wei, MA Xiaoping. Advanced control of dense medium coal separation process: research progresses and prospects[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46( 8 ) : 21-27, 69.
- [13] 王光辉,彭勇,代伟,等. 基于灵敏度分析与增强捕食-食饵优化的重介质选煤过程动态模型[J]. 煤炭学报, 2021, 46( 9 ) : 2813-2823.  
WANG Guanghui, PENG Yong, DAI Wei, et al. Dynamic models of dense medium coal preparation using sensitivity analysis and reinforcement prey-predator optimization[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46 ( 9 ) : 2813-2823.
- [14] 代伟,王昱栋,董良,等. 煤炭智能重介分选技术进展与探索[J]. 工矿自动化, 2022, 48 ( 11 ) : 20-26, 44.  
DAI Wei, WANG Yudong, DONG Liang, et al. Development and exploration of intelligent dense medium separation technology for coal[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48( 11 ) : 20-26, 44.
- [15] 代伟,王昱栋,彭勇. 重介质选煤过程数学模型的研究现状与展望[J]. 控制工程, 2023, 30 ( 10 ) : 1759-1766.  
DAI Wei, WANG Yudong, PENG Yong. Research status and prospect of mathematical model of dense medium coal preparation process[J]. Control Engineering of China, 2023, 30( 10 ) : 1759-1766.
- [16] 桂夏辉,邢耀文,曹亦俊,等. 低品质煤泥浮选过程

- 强化研究进展及其思考[J]. 煤炭学报, 2021, 46(9): 2715-2732.
- GUI Xiahui, XING Yaowen, CAO Yijun, et al. Recent advances and thinking in process intensification of low quality coal slime flotation[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(9): 2715-2732.
- [17] 杨鹏民. 基于BP神经网络的选煤厂压滤控制系统智能化改造[J]. 煤炭工程, 2023, 55(1): 18-22.
- YANG Pengmin. Improvement of filter press control system in coal preparation plant based on BP neural network[J]. Coal Engineering, 2023, 55(1): 18-22.
- [18] 武国平, 胡金良, 吉日格勒. 智能化选煤厂的自动采样技术发展与实践[J]. 煤炭技术, 2021, 40(1): 142-144.
- WU Guoping, HU Jinliang, JI Rigele. Development and practice of automatic sampling technology in intelligent coal preparation plant[J]. Coal Technology, 2021, 40(1): 142-144.
- [19] 郭庆华, 卫中宽, 张树森, 等. 基于选煤信息模型的智能化选煤厂三维可视化管理平台设计[J]. 工矿自动化, 2022, 48(11): 54-62.
- GUO Qinghua, WEI Zhongkuan, ZHANG Shusen, et al. Design of 3D visualization management platform for intelligent coal preparation plant based on coal preparation information model[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(11): 54-62.
- [20] 国家统计局. 数字经济及其核心产业统计分类(2021)[EB/OL]. (2021-05-27)[2024-03-02]. [https://www.stats.gov.cn/xxgk/tjzb/gjtjzb/202106/t20210603\\_1818135.html](https://www.stats.gov.cn/xxgk/tjzb/gjtjzb/202106/t20210603_1818135.html).
- National Bureau of Statistics. Statistical classification of the digital economy and its core industries (2021)[EB/OL]. (2021-05-27)[2024-03-02]. [https://www.stats.gov.cn/xxgk/tjzb/gjtjzb/202106/t20210603\\_1818135.html](https://www.stats.gov.cn/xxgk/tjzb/gjtjzb/202106/t20210603_1818135.html).
- [21] 谭章禄, 吴琦. 智慧矿山理论与关键技术探析[J]. 中国煤炭, 2019, 45(10): 30-40.
- TAN Zhanglu, WU Qi. Analysis and discussion of smart mine theory and key technologies[J]. China Coal, 2019, 45(10): 30-40.
- [22] 谭章禄, 吴琦. 基于层级链参考模型的智慧矿山建设问题分析[J]. 矿业科学学报, 2022, 7(2): 257-266.
- TAN Zhanglu, WU Qi. Analysis of the problems of smart mine construction based on the layer-level-chain reference model[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2022, 7(2): 257-266.
- [23] 谭章禄, 王美君. 智慧矿山数据治理概念内涵、发展目标与关键技术[J]. 工矿自动化, 2022, 48(5): 6-14.
- TAN Zhanglu, WANG Meijun. Research on the concept connotation, development goal and key technologies of data governance for smart mine[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(5): 6-14.
- [24] 谭章禄, 王美君, 叶紫涵. 智能化煤矿数据治理体系与关键问题研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(5): 22-29.
- TAN Zhanglu, WANG Meijun, YE Zihan. Research on intelligent coal mine data governance system and key issues[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(5): 22-29.
- [25] 谭章禄, 王美君. 智能化煤矿数据归类与编码实质、目标与技术方法[J]. 工矿自动化, 2023, 49(1): 56-62, 72.
- TAN Zhanglu, WANG Meijun. The essence, goal and technical method of intelligent coal mine data classification and coding[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(1): 56-62, 72.
- [26] 周长春, 温智平, 周脉强, 等. 基于数据生命周期的煤泥浮选智能控制技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(1): 45-57.
- ZHOU Changchun, WEN Zhiping, ZHOU Maiqiang, et al. Research progress and prospect of intelligent control technique in coal flotation based on the perspective of data life cycle[J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(1): 45-57.
- [27] 谭章禄, 王美君. 智能化煤矿数据治理概念模型及技术架构研究[J]. 矿业科学学报, 2023, 8(2): 242-255.
- TAN Zhanglu, WANG Meijun. Research on the conceptual model and technical architecture of data governance for intelligent coal mine[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2023, 8(2): 242-255.
- [28] 王国法, 杜毅博. 煤矿智能化标准体系框架与建设思路[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 1-9.
- WANG Guofa, DU Yibo. Coal mine intelligent standard system framework and construction ideas[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(1): 1-9.
- [29] 王美君, 谭章禄, 李慧园, 等. 智能化煤矿数据治理能力评估与提升策略研究[J]. 矿业科学学报, 2024, 9(1): 106-115.
- WANG Meijun, TAN Zhanglu, LI Huiyuan, et al. Research on evaluation and promotion strategy of data governance capability for intelligent coal mines[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2024, 9(1): 106-115.

(责任编辑:陈贵仁)