

# 基于 BIM 技术的选煤厂生产运维管理关键技术研究

颜静, 杨曦\*, 曹洪弟, 李燕, 焦明明

北京洛斯达科技发展有限公司, 北京, 中国

\*通讯作者

**【摘要】**选煤厂在生产运维方面已实现自动化管理,但是在管理过程中对人工依赖程度依然较高,生产运维信息的记录、传递智能化程度仍有待提高。针对选煤厂行业治理体系和治理能力现代化要求,本研究开展基于 BIM 技术的选煤厂三维可视化运维平台的研发,提升选煤厂多源异构数据的管理及展示能力,用数据说话、用数据决策、用数据管理,打造基于 BIM 的三维可视化管理模式,推动业务管理智能化,提高选煤厂生产经营运维质效。

**【关键词】**选煤厂; BIM; 数字孪生体系; 可视化运维; 三维漫游巡检

## 1. 概述

能源行业作为国民经济的核心支柱产业,直接关乎国家能源安全保障、资源利用效率提升与民生环境可持续发展。目前大部分能源行业仍然采用传统的运行、管理方式,需要依赖先进的生产设备和硬件来提升生产力[1]。在“中国制造 2025”和 DT 数据智能的今天,互联、集成、海量数据、创新和转型是能源行业走向智能的重要因素,这就要求能源企业更多从数据出发,将企业内一切有效数据进行采集和处理,并且将这些数据进行有效地利用,用恰当的方法让软件和硬件,虚拟和现实进行连接,让数据帮助业务成长[2]。煤炭是我国主要能源,在当前“双碳”发展的大背景下,煤炭行业向着智能化发展是时代发展的必然,而选煤厂智能化建设和数字化转型正是实现煤炭清洁高效利用、绿色低碳持续发展的重要环节。

BIM (Building Information Model, 简称 BIM) 定义为在建设工程及设施全生命期内,对其物理和功能特性进行数字化表达,并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称,简称模型。对应的 BIM 术不只是一个模型工具,而且是一个从规划、设计、施工到运营的全过程都贯穿的管理思想和方法[3]。BIM 技术是多维模型信息集成表达技术,项目所有参与方,包括政府主管部门、项目建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、运营单位、用户等,在项目从设计到运行全过程内都能够在模型中交互,提高工作效率和质量。依托 BIM 相关软件,可以将组成构件的信息按时间、类别存储,在项目设计、施工、运行各环节,可进行数据共享、分

析、计算,被很多学者认为是工程行业的第二次革命[4-6]。

当前我国煤炭产量稳步提升,对煤炭分选要求逐步提高。随着智能化时代的到来,一些智能化新技术也逐渐在选煤厂中应用。需依托当前新兴智能化技术,提高分选效率与质量,降低分选成本,同时兼顾环保要求[7]。

选煤智能化主要利用新兴智能化技术,通过在线实时调控系统整合选煤设备,实现智能化调节,提升分选效果。其核心逻辑在于打造智能化管控中枢,促成生产管理各环节的紧密协同,以此实现生产组织架构与运行模式的迭代优化,大幅提高生产效能及作业智能化程度。选煤厂智能化生产架构具体如图 1 所示,分为四个层级,即物联网层、控制层、管理层和决策层。该架构的核心构成包含三大关键部分:信息化云平台、智能控制管理体系以及智能化设备矩阵。

智能化信息平台的构建对选煤厂生产智能化体系的构建起着决定性作用。图 2 所示为选煤智能化信息平台图。

在平台建设前期,需预先对平台投用后待采集的各类数据信息实施全方位剖析,为平台运行的可靠性与稳定性筑牢基础;在实际开展数据采集工作时,需依据现场工况特点进行数据归集,保障采集数据的真实性、有效性与完整性[8]。

选煤厂生产系统智能化应遵循“统筹谋划、注重实用、突出重点、分步实施”的原则[9]。一方面充分利旧,利用现有各类设备等资源;另一方面强化生产体系的标准化建设,落实贯彻执行。选煤厂智能化生产系统

是涵盖选煤设备、洗选工艺等多维度的综合体系，需深度融合传感监测、物联网、智能信息化平台等多元技术。在建设过程中，应优先进行选煤管理与生产过程的智能化顶层设计，逐步推进各环节的智能化升级，最终实现全生产流程的智能化闭环。

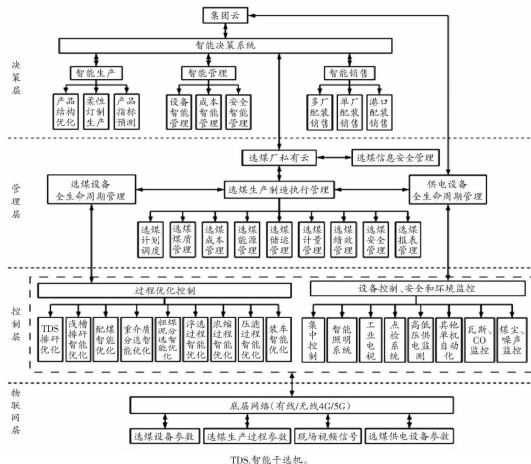
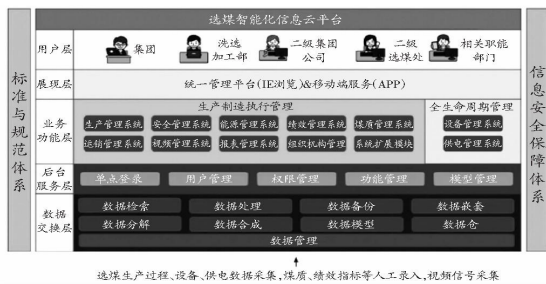


图 1.选煤厂智能化生产架构图



选煤生产过程、设备、供电数据采集,煤质、筛效指标等人工录入,视频信号采集

图 2.选煤智能化信息平台图

本研究依托选煤厂 BIM 模型和生产业务数据，结合选煤厂生产运维管理需求以 BIM 模型基础，对接融合选煤厂工业监控、PLC 控制系统[10]、物联网传感器等方面的信息，开展基于 BIM+ 的智能巡检、设备管理、智能维检修等选煤厂业务管理关键技术研究，打造基于 BIM 的选煤厂生产运维三维可视化管理模式，实现基于 BIM 的选煤厂生产运维三维可视化管理。面向选煤厂行业治理体系和治理能力现代化要求，提升选煤厂智能化运维管理能力，用数据说话、用数据决策、用数据管理，为选煤厂进行数字化管理及数字化升级改造提供技术支撑，推动业务管理向智能化方向发展。

## 2.技术方案

面向智能选煤厂数据与业务需求，基于 BIM 标准体系，以三维引擎轻量化、大数据分析等关键技术为支撑，将在设计阶段的数字化交付成果和建设管理阶段的工程建设数据无缝移交至生产运行阶段，与选煤设备运

维业务相结合，以三维可视化的方式对选煤厂设备进行透明化集成管理，形成面向 BIM 三维可视化的安全、高效、稳定的选煤厂生产运维管理技术体系。

### 2.1 基于 BIM 技术的选煤厂数字孪生体系构建研究

结合选煤厂从设计阶段到施工阶段积累的 BIM 数据，基于 1:1 的真实比例，采用三维激光扫描、无人机倾斜摄影等技术[11]完成选煤厂的数字化重建工作，采集厂内设备的空间位置与外部形态，采集零部件级别的属性信息，建立拓扑关系，构建选煤厂数字孪生体系，提高项目的观赏度及阅读能力，增加建筑整体的真实性及体验感。实现基于 BIM 模型的选煤厂生产数据及设备数据的可视化管理（图 3），提升数字资产的完整性。



图 3.选煤厂 BIM 模型

### 2.2 基于 BIM 技术的选煤厂资产数据管理研究

基于选煤厂 BIM 模型，以统一的设备编码体系为纽带，建立选煤厂主要设备资产的管理体系，主要包含设备设计属性管理、设备设计施工图纸管理、设备台账管理以及设备运行健康状态分析，以设备 BIM 模型为基础进行三维可视化的资产管理。

#### 2.2.1 数字档案查询

数字档案查询可对 BIM 设计、施工、图纸、文档等各类数据档案进行查询，在列表中点击查询查看（图 4），可查询设备属性、文档、PDF 图纸等资料，可进行设备单体模型的在线查看浏览。

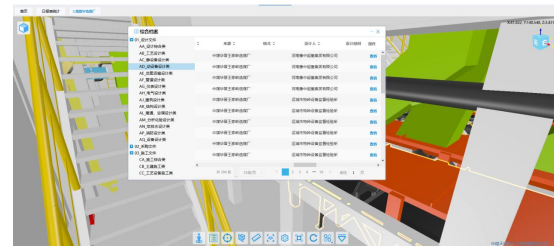


图 4.数字档案管理

#### 2.2.2 选煤厂 P&ID 图二三维联动

实现选煤厂主要设备与 P&ID 图纸的关联展示、联动（图 5）。利用标准编码进行快速查询物项的关联信息及图纸，实现二、三维关联检索展示。

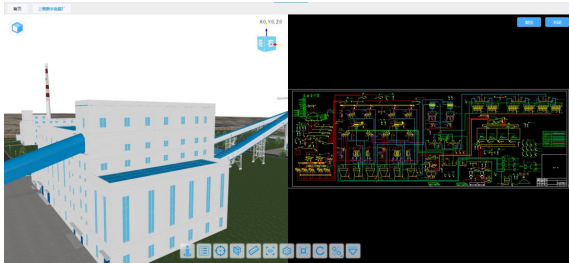


图 5.设备与图纸联动展示

### 2.2.3 设备资产数据查看

基于选煤厂 BIM 模型对已有的数据进行关联性管理，能非常便利地查询到关联信息（图 6），包括设备编码、专业结构、文档类型（例如工程文档、图纸、设备管理文档、厂商资料等）、检维修信息（例如主数据信息、工单信息、维修记录等）、设备或部件的技术参数。

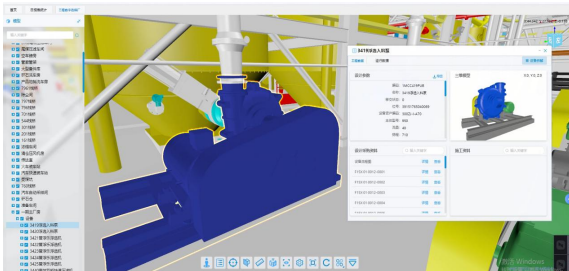


图 6.选煤厂属性查看

### 2.2.4 设备模型查询定位

模型查询定位可进行工业场区内及选煤厂范围内 BIM 模型的查询、定位、拾取（图 7），在资产目录树点击查询，可对满足条件的查询结果进行显示；点击定位，可将该 BIM 模型在场景上进行高亮显示；模型可通过鼠标进行拾取。

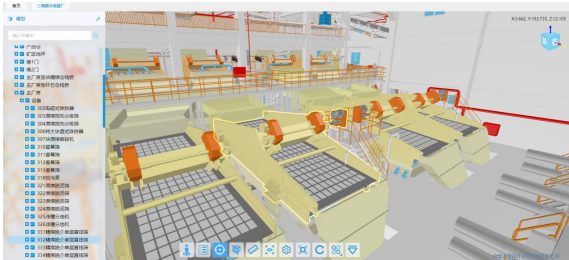


图 7.模型查询定位

## 2.3 基于 BIM 技术的选煤厂生产运行状态在线监测研究

集成对接融合选煤厂工业监控、PLC 控制系统、物联网传感器等方面的信息，接入生产运行、管理、设备监测等数据，并与三

维模型关联融合集成管理。通过设备三维模型，实现选煤厂视频监控画面、在线监测数据、仓储料位、皮带秤数据、瓦斯监测数据、设备运行状态、阀门监测数据、仪表监测数据和灰分仪监测数据等 9 类生产运行数据与选煤厂设备 BIM 模型关联集成的查询展示，实现在 BIM 三维场景中对选煤厂生产现场监控画面和生产运行数据的实时在线监控。

### 2.3.1 BIM+视频监控

在 BIM 模型中实现视频监控的集成显示，在 BIM 模型中点击摄像头，可对摄像头的基础属性信息进行展示，同时连接视频的监控画面，实现实时在线监控。

巡检室内通过视频监控，查看重点设备工程的生产运行情况，减少人工现场巡检工作量。

### 2.3.2 BIM+在线监测集成展示

集成智能选煤厂系统，接入生产运行、管理、设备监测等数据，并与三维模型关联融合集成管理。可通过设备三维模型，查看选煤厂生产运行数据。

接入的信息数据包括：

PLC/SCADA 数据接入展示；

瓦斯监测数据接入展示；

仓储料位计数数据接入展示；

皮带秤等产量、运销数据接入展示。

接入方式：

当前选煤厂的监测信息，基本是通过 PLC 采集。大数据平台通过协议适配采集 PLC 的数据，应用层接入大数据平台推送的数据，实现选煤厂生产运行数据、设备状态监测信息的集成（图 8），实现生产运行数据的三维可视化展示。



图 8.设备监测状态示意

## 2.4 基于 BIM 技术的选煤厂生产设备维检修管理研究

基于选煤厂 BIM 三维模型，研究通过移动端融合二维码等方法与技术手段，建立集成现场检测与数据无线传输、信息双向传递、故障检测与预警等功能的智能巡检平

台，提高巡检工作的集约化管理水平，实现“调度室里看工厂”“拿着手机去巡检”等目标。

#### 2.4.1 BIM 巡检管理

在平台中统一管理巡检点位，实现巡检点位信息查询、信息录入、巡检路线规划与监督等，通过选煤厂三维可视化管理平台总揽全局，实现厂区巡检的三维可视化管理。

三维可视化平台与移动巡检系统融合，结合三维场景规划巡检路线及方案，实现巡检过程实时监控与三维展现（图9）。基于选煤厂BIM模型及巡检扫码定位，匹配巡检人员的巡点检轨迹，对巡检人员的工作执行情况进行监督。

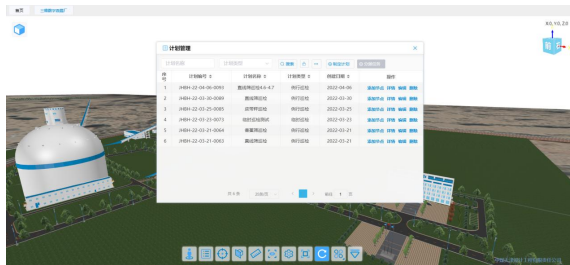


图9.三维巡检计划

#### 2.4.2 三维漫游巡检

在三维BIM选煤厂环境下，实现固定巡检线路的三维漫游巡检。平台接入选煤厂的视频监控系统，并将视频监控点位在选煤厂三维场景中标定。

工人通过平台进行定线巡检（图10），按照固定的巡检路线对设备进行巡检，根据巡检任务，依次调取监控画面以及读取设备参数，在平台进行巡检记录，足不出户完成固定路线的巡检。



图10.三维漫游巡检

#### 2.4.3 维检计划管理

设备定期维修计划可结合现场实际情况周期性及一次性维检计划，协助设备管理人员和检修人员合理制定维修计划。维修计划内容包括手动添加或者导入需维修的设备信息、暂不处理的缺陷信息、设备。维修计划创建完成后，可下发至执行部门，由该部门人员对下发的维修计划进行处理。针对维修

计划的维修项目，提供执行维修、查询和转工单等操作。

#### 2.4.4 维修工单

可以通过维检计划进行任务分配，生成维检任务；可以查看维检任务清单；可以根据维检任务清单，查看任务完成情况，同时查看上报问题清单。

#### 2.4.5 基于知识图谱的设备故障预警

通过平台的日常运行，在积累了大量生产日常维检修记录的基础上，基于大数据知识图谱，实现生产设备的故障预测，并在平台上提示报警（图11）。如根据筛板检修历史故障数据，预测筛板的故障发生时间，提示及时检修维护。

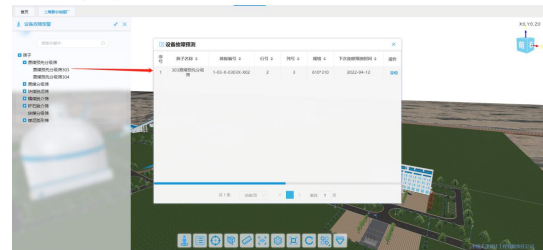


图11.故障预警

### 3.关键技术研究实现

#### 3.1 基于BIM的三维漫游巡检管理研究

在BIM平台中静态线路场景的展示难以满足生产运行的交互性、实时性需求[12]。三维交互漫游已成为BIM必不可少的基础功能。以路线走向为路径进行漫游路线设计后，通过漫游获得真实的巡检效果[13]。

##### (1) 路径涉及

漫游路径关键点的选取可在三维场景进行添加，通过接口设定漫游高度、经纬度坐标等信息。

##### (2) 漫游指令设置

三维漫游采用飞行式导航模式，其应用程序接口可通过指令精准配置漫游的空间位置、行进方向及移动速度，并支持多维度逼近目标对象。漫游过程中对镜头位置进行逐点精准控制，确保巡检视角的稳定性与数据采集的准确性。

##### (3) 漫游视角调整

三维漫游视角沿指定向量路径飞行时，为保障漫游效果的连贯性，需对视角每一帧的空间位置进行动态调节，精准控制高程参数。

##### (4) 漫游路径变化识别

针对飞行路径坡度变化、方向转折场景，聚焦视角衔接的平滑性与精度控制，通

过时间维度动态调节替代距离依赖方案，解决高速飞行下的路径偏差问题。

在三维 BIM 选煤厂环境下，对已经添加的巡检方案，可按照固定巡检线路进行三维漫游巡检，同时平台接入选煤厂的视频监控系统，并将视频监控点位在选煤厂三维场景中标定，三维平台可实时调取巡检区域的视频监控图像，查看巡检设备的信息。

### 3.2 选煤厂多源异构生产数据的标准化采集研究

选煤厂在生产运行阶段已经拥有多套业务系统，且各系统的建设标准不统一，导致系统之间的数据缺乏统一的数据标准[14]；另外，各系统独立分散，数据在选煤厂各环节之间没法有效地流动。基于选煤厂数据现状，如何构建标准化的数据采集建设是提升选煤厂多源异构数据采集能力的根本，是推动选煤厂业务向智能化方向发展的基础建设。

针对选煤厂 CPIM 数据模型中批数据和流数据并存且相互交融的复杂场景，研究选煤厂流批融合处理技术，主要包括基于 Flume 的多源异构生产数据分层采集技术、基于 OPC 接口的 PLC 实时数据采集技术以及数据采集标准化技术等，从而实现选煤厂多源异构生产数据的标准化采集。

基于 OPC 的 PLC 实时数据采集技术。首先，基于 OPC 技术在 PLC 系统中的应用原理构建了 OPC 逻辑对象模型；其次，提出一种基于 OPC 接口的 PLC 数据采集流程，并设计了一套基于 C/S（Client-Server，服务器-客户机）式的 OPC 数据采集客户端，用于采集现场各种类型的终端数据、现场仪器仪表的运行数据以及与 OPC 服务端的连接情况等，从而对选煤厂数据的采集过程进行集中式监控和分布式管理，可为生产管理提供高效稳定的信息传输。

以数据采集任务为驱动，对数据源层中的原始数据资料进行前置存储，并由数据处理接口进行处理，最终形成结构化数据。基于选煤厂前期数据调研结果以及选煤厂的业务背景，标准化的数据采集总流程如图 12 所示。

考虑到选煤厂现阶段运行的业务系统以及数据情况，将选煤厂数据采集分为实时采集方式、文件采集方式、数据库采集方式、人工填报方式四种采集方式，具体选煤厂数据采集对象表如表 1 所示。

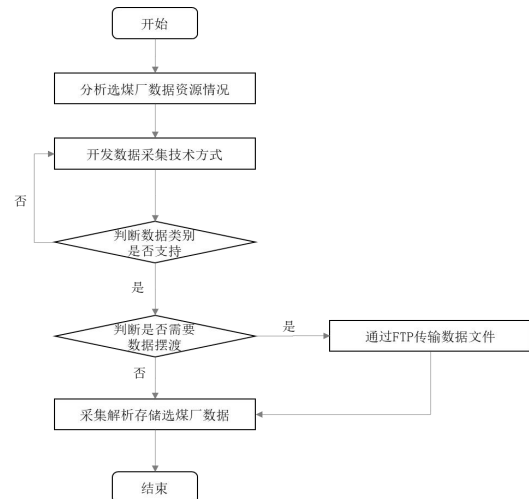


图 12. 标准化数据采集总体流程

表 1. 选煤厂信息化系统数据采集对象表

数据采集方式	数据采集内容
实时采集方式	设备预警系统
	温震在线监控系统
	PLC 系统
	电力监测系统
文件采集方式	皮带秤系统
	瓦斯系统
数据库采集方式	三维数字化工厂信息管理平台
	生产系统
人工填报方式	设备管理系统
	报表系统

表 2. 选煤厂设计信息数据表结构

字段名	中文解释
Id	主键 id
categoryId	目录 id
Fid	模型服务 id
Nid	模型 id
Nodename	节点名
Type	类型
Owner	所有者
Description	描述
Code	编码
Name	名称
Kks	新编码

数据的采集方式包括实时采集方式、文件采集方式、数据库采集方式和人工填报方式。其中文件采集方式是在主机上配置好 FTP 服务/SFTP 服务，使用协议适配与内容解析系统配置好待采集端的 FTP 信息（IP 地址，用户名、密码、通信类型、端口，以及文件目录、文件解析方式等），实现全自动化、全量、增量、文件日期过滤等方式的文

件类型数据的采集；数据库采集方式是应提供待采集的信息源的配置信息，如数据库的IP地址、用户名、密码等信息，经过协议适配与内容解析系统web界面简易点击配置，实现对周期、全量、增量数据的采集。通用数据库采集方式采集数据设计中心系统设备信息的数据，设备信息包括三类：设计信息（表2）、资产信息（图13）、图档信息（表3）。人工填报方式是通过人工填报、人工导入等方式获得数据。

表 3.选煤厂图档信息数据表结构

字段名	中文解释
Id	主键 id
categoryId	目录 id
Fid	模型服务 id
Nid	模型 id
Filename	关联的文件
Code	编码
Name	名称

编码	名称	移交状态	设备位号	资产编码	规格	型式	磁洗机型号	功率kw	电压v	转速s
1MCC114AMB	机械_3114主选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC114AMB	20051365040001	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC115AMB	机械_3115主选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC115AMB	20051365040002	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC116AMB	机械_3116主选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC116AMB	20051365040003	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC127AMB	机械_3127再选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC127AMB	20051365040007	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC128AMB	机械_3128再选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC128AMB	20051365040008	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC214AMB	机械_3214主选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC214AMB	20051365040004	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC215AMB	机械_3215主选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC215AMB	20051365040005	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC216AMB	机械_3216主选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC216AMB	20051365040006	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC227AMB	机械_3227再选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC227AMB	20051365040009	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89
1MCC228AMB	机械_3228再选磁选机.dgn.i.dgn	是	1MCC228AMB	20051365040010	1219×2972	双滚筒	K97DV132S4-KS	5.5	660	77.89

图 13.资产信息样例数据

#### 4.结论

本研究以 BIM 技术为核心，全面归集选煤厂工程前期和设计施工全过程关键数据信息并进行统一管理，打造基于 BIM 的选煤厂三维可视化生产运维管理模式，用于辅助开展选煤厂设备资产台账、生产运行状态在线监测、运维检修等生产运维管理，提升选煤设备可靠运维水平，实现机电装备状态感知、分析、推理、诊断和决策为一体的运行监测与故障智能预警，提高设备运行可靠性，减少现场设备维护和避免非计划停产带来的损失，有效保障选煤生产连续稳定运行，为选煤厂进行数字化管理及数字化升级改造提供技术支撑。

利用选煤厂 BIM 三维数字化移交成果将选煤厂内相关设备设施 BIM 模型，设备属性信息、业务关联信息等结构化数据，以及图纸、报告、照片、视频等非结构化数据，融合空间坐标、监测信息等，叠加到三维环节展示，构建选煤厂数字孪生体系。对从设计、生产、至运行、报废等设备全过程进行管理，在三维数字孪生体系中动态查询展示与应用。

资产数据管理可对选煤厂 BIM 设计、施工、图纸、文档等各类数据档案进行查询，设备档案以资源目录形式呈现，在列表中点击查询查看，可查询设备属性、文档、PDF 图纸等资料，可进行设备单体模型的在线查看浏览，实现对选煤厂从设计、施工到运行生命周期各阶段业务资料的数字化管理。

生产运行状态在线监测实现选煤厂视频

监控画面、在线监测数据、仓储料位、皮带秤数据、瓦斯监测数据、设备运行状态、阀门监测数据、仪表监测数据和灰分仪监测数据等 9 类生产运行数据与选煤厂设备 BIM 模型关联集成的查询展示，实现在 BIM 三维场景中实现对选煤厂生产现场监控画面和生产运行数据的实时在线监控。

维检修基于选煤厂 BIM 三维模型，融合二维码与移动端、多传感器融合技术以及智能导航与自主运动规划等方法与技术手段，建立集成现场检测与数据无线传输、信息双向传递、故障检测与预警等功能的智能巡检平台，提高巡检工作的集约化管理水平，实现“调度室里看工厂”“拿着手机去巡检”等目标，对设备维检进行统一管理，针对定期的备件更换、清理、加固等检修工作，制定周期性的设备检修计划，自动创建检修工单，从而提高设备消缺率和消缺质量，提高设备的可用率和健康水平。

#### 参考文献

- [1]杜修宪.葫芦素选煤厂智能化建设与应用[J].煤炭加工与综合利用, 2023, (07): 29-32+36.
- [2]张延生.数据要素驱动下的能源行业: 转型、创新与发展[J].中国科技投资, 2024 (33): 1-6+10.
- [3]李明柯.BIM 技术在建筑工程全生命周期管理中的应用实践[J].城市建设, 2025 (24): 29-31.
- [4]常非.BIM 技术在土建工程施工管理中的应

- 用探索[J].城市建筑, 2025, 22(18): 213-216.DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2025.18.55.
- [5]王杨.BIM技术在水利工程施工中的应用[J].智能建筑与智慧城市, 2025(09): 93-95.DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.09.028.
- [6]齐康康, 周闻彤, 张洁贞.基于BIM技术的地铁精细化建筑设计分析[J].智能建筑与智慧城市, 2025(09): 84-86.DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.09.025.
- [7]朱德康.智能化新技术在选煤厂的应用[J].能源与节能, 2021(10): 192-193.DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2021.10.075.
- [8]郭庆华, 卫中宽, 张树森, 王然风.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.DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.17936.
- [9]秦森.选煤厂智能化生产研究分析[J].能源与节能, 2021(11): 50-51+183.DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2021.11.020.
- [10]杨国放.基于PLC选煤厂智能控制系统的应用研究[J].自动化应用, 2023, 64(19): 46-48.
- [11]梁志华, 赵生兵, 陈祥宵.基于三维激光扫描与倾斜摄影的数字城市三维建模方法[J].测绘标准化, 2021: 37(02): 50-53.DOI: 10.20007/j.cnki.61-1275/p.2021.02.012.
- [12]丁思维.基于倾斜摄影及GIS的城轨线路方案三维建模方法研究[D].西南交通大学, 2020.
- [13]李莹, 赵宁曦.三种基于Cesium的重庆市漫游飞行算法及其对比分析[J].吉林大学学报(地球科学版), 2024, 54(02): 709-720.DOI: 10.13278/j.cnki.jjuese.20230029.
- [14]蒋章雷, 李念雪, 李云鹏, 吴国新, 刘秀丽, 门大超.基于OPC UA的多源异构工业数据协同管理信息模型构建技术研究[J].机床与液压, 2024, 52(22): 8-15.