

文章编号: 1671-251X(2024)05-0084-09

DOI: [10.13272/j.issn.1671-251x.2024010022](https://doi.org/10.13272/j.issn.1671-251x.2024010022)

基于工业互联网的煤矿综采设备信息模型研究

潘文龙^{1,2}, 李胜军², 高全军², 杨路余², 刘庆富³, 张和明¹

(1. 清华大学 信息科学技术学院, 北京 100084; 2. 华阳新材料科技集团有限公司, 山西 阳泉 045000;
3. 和利时卡优倍科技有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 煤矿综采工作面设备来自不同厂商, 接口不统一、数据系统和业务逻辑不同, 造成数据壁垒, 系统间数据交互慢。基于工业互联网架构, 提出了包括设备层、接入层、边缘层、PaaS 层、应用层的智能化综采技术架构; 基于该架构, 将煤矿综采设备作为整体数据对象, 设计了一种煤矿综采设备信息模型构建方法, 定义了属性、方法、事件、报警 4 个关键要素和建模规则, 从而实现各物理实体与异构系统之间的无缝通信, 即对综采设备信息资源进行定义、描述和关联, 提供完备、统一的数据对象表达、描述和操作模型; 针对综采设备信息模型属性元素过多的问题, 提出了一种基于重要度和语义相似度的属性元素优化机制。采用上述方法建立了华阳新材料科技集团有限公司一矿 81004 工作面综采设备信息模型, 对综采设备电动机运行情况进行评价, 结果表明基于该模型可监测工作面所有电动机短时间内启动次数、多电动机设备启动功率平衡和运行效率, 并形成分析结果, 为决策工作提供数据支持。

关键词: 综采工作面; 综采设备; 工业互联网; 信息模型; 属性元素优化

中图分类号: TD67

文献标志码: A

Research on information model of coal mine fully mechanized mining equipment based on industrial Internet

PAN Wenlong^{1,2}, LI Shengjun², GAO Quanjun², YANG Luyu², LIU Qingfu³, ZHANG Heming¹

(1. School of Information Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Huayang New Material Technology Group Co., Ltd., Yangquan 045000, China;
3. Holli Cube Technology Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: The equipment for coal mine fully mechanized working faces comes from different manufacturers, with inconsistent interfaces, different data systems and business logic, resulting in data barriers and slow data exchange between systems. Based on the industrial Internet architecture, an intelligent fully mechanized mining technology architecture including equipment layer, access layer, edge layer, PaaS layer and application layer is proposed. Based on this architecture, coal mine fully mechanized mining equipment is treated as the overall data object, and a method for constructing an information model of coal mine fully mechanized mining equipment is designed. Four key elements and modeling rules, including attributes, methods, events, and alarms are defined to achieve seamless communication between various physical entities and heterogeneous systems. This means defining, describing, and associating information resources of fully mechanized mining equipment, providing a complete and unified data object expression, description, and operation model. A modeling element optimization mechanism based on importance and semantic similarity is proposed to address the problem of excessive attribute elements in the information model of fully mechanized mining equipment. A fully mechanized mining equipment

收稿日期: 2024-01-09; 修回日期: 2024-05-18; 责任编辑: 李明。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFB3402002); 国家自然科学基金重点支持项目(U22A2047)。

作者简介: 潘文龙(1987—), 男, 河北邢台人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事煤矿机电管理和煤矿智能化技术研究与应用工作,

E-mail: 261584123@qq.com。

引用格式: 潘文龙, 李胜军, 高全军, 等. 基于工业互联网的煤矿综采设备信息模型研究[J]. 工矿自动化, 2024, 50(5): 84-92.

PAN Wenlong, LI Shengjun, GAO Quanjun, et al. Research on information model of coal mine fully mechanized mining equipment based on industrial Internet[J]. Journal of Mine Automation, 2024, 50(5): 84-92.



扫码移动阅读

information model for the 81004 working face of No.1 Mine of Huayang New Materials Technology Group Co., Ltd. is established using the above method. The operation status of the electric motors of the fully mechanized mining equipment is evaluated. The results show that based on this model, all electric motors in the working face could be monitored for starting times in a short period of time, multiple motor equipment starting power balance, and the operating efficiency. Analysis results are generated to provide data support for decision-making work.

Key words: fully mechanized working face; fully mechanized mining equipment; industrial Internet; information model; modeling element optimization

0 引言

随着煤矿智能化技术发展,各类信息化体系和基础设施基本建立,有效地提升了安全生产管理能力。但煤炭行业发展面临新形势和新要求,当前的信息化发展水平与煤矿企业管理方式的创新能力还不足^[1]。煤矿生产系统庞大,众多子系统形成了一个大规模复杂运行体系。该体系虽然工业化程度很高(机械化程度达90%以上,生产能力可达千万吨级),但信息化程度不足^[2]。煤矿内部信息往往来源于不同的工业设备、软硬件平台、操作系统、网络环境等,如DCS(Distributed Control System,集散控制系统)、PLC等底层控制系统,上层的MES(Manufacturing Execution System,生产执行系统)、PLM(Product Life-cycle Management,产品生命周期管理)系统、ERP(Enterprise Resource Planning,企业资源计划)系统等通常来自不同的厂家,易出现数据壁垒^[3]。

综采工作面是煤矿生产核心系统^[4],具有采煤机、液压支架等8大系统、3 000~5 000个数据点位,是多设备、多厂家、跨系统、多变量的多源异构数据控制系统。各系统在数据对接过程中需要频繁进行数据点表与语义对应,导致系统互联和数据共享成本激增,且不具备可移植性^[5]。针对该问题,亟需采用统一的综采工作面信息模型对数据进行梳理和组织,定义统一描述格式,实现物理对象向数据对象的转换,解决系统间数据交互慢的问题。

煤炭行业信息模型研发目前处于起步阶段。本文参考工业互联网架构^[6],提出智能化综采技术架构,将煤矿综采设备作为整体数据对象^[7],构建了一种智能化综采设备信息模型,并将其应用于华阳新材料科技集团有限公司一矿81004综采工作面,实现了设备运行评价。

1 工业互联网信息模型

信息模型是工业互联网领域应用程序、系统和设备之间实现信息互联、互通、互操作的基础。目前主流的信息模型来源于工业垂直领域,不同领域

不同厂家的信息模型互通性和适用范围存在局限性。如:基于Automation ML的信息模型主要用于实现生产系统间工程信息的标准化,解决工程实施过程中信息交换和集成问题,如实现产线上机器人、机械臂等相关对象间的信息互通;基于Instrument ML的信息模型主要用于实现仪表信息的标准化,包括仪表身份标志信息和仪表应用属性信息,以及仪表基本特性信息;基于Pack ML的信息模型主要用于包装过程描述,处于信息化应用层,可实现机器状态与操作模式的信息标准化;OPC UA(Open Platform Communications-Unified Architecture,开放平台通信-统一架构)信息模型主要包括机器人信息模型、机床信息模型、机器视觉信息模型和塑料加工机械信息模型^[8-12]。上述信息模型难以覆盖工业互联网全面互联、互通、互操作的需求。

我国工业互联网产业联盟于2020年提出了工业互联网信息模型,基本架构如图1所示。该模型可实现数据和信息在全要素、全价值链、全产业链的无缝传递,使异构的应用程序、系统等在数据层面相互“理解”,从而实现数据互操作与信息集成。



图1 工业互联网信息模型架构
Fig. 1 Structure of industrial Internet information model

2 智能化综采技术架构

工业互联网平台按照功能可划分为边缘层、PaaS层和应用层。边缘层提供海量工业数据接入、转换、数据预处理、边缘分析应用等功能。PaaS层提供资源管理、工业数据与模型管理、工业建模分析等功能。应用层提供工业创新应用、开发者社区、应用商店、应用二次开发集成等功能。要实现综采工作面多源异构数据融合分析,需要对设备接口、设备协议、信息模型进行标准化的规范^[13-14]。基于工业互联网架构,提出智能化综采技术架构,如图2所示。该架构自下向上分为设备层、接入层、边缘层、PaaS层、应用层^[15-16]。

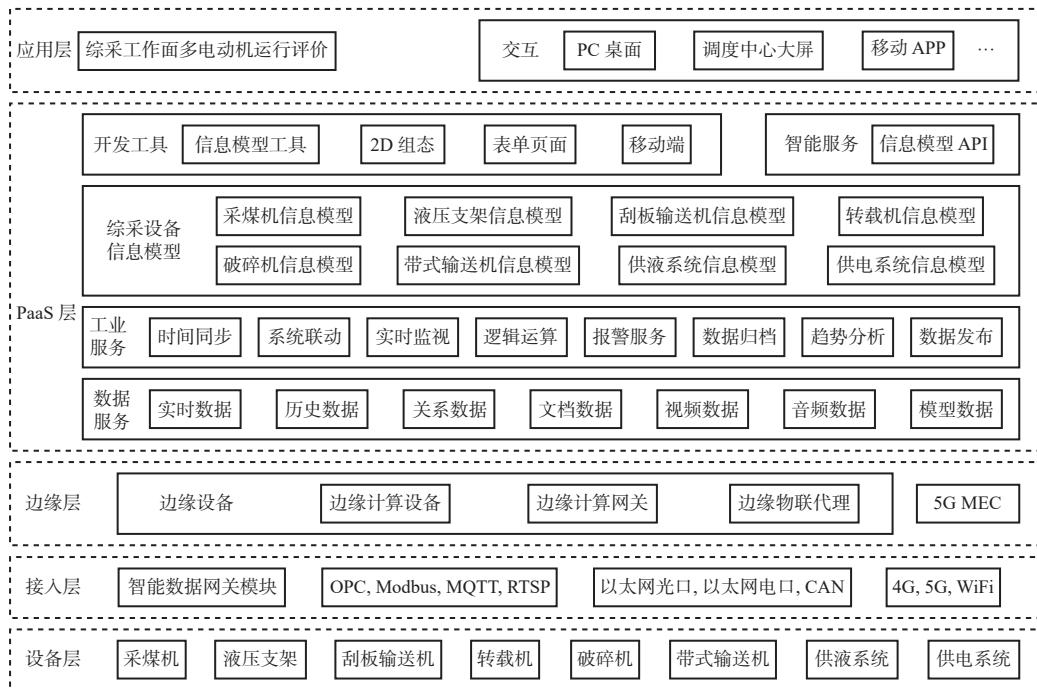


图 2 智能化综采技术架构

Fig. 2 Structure of intelligent fully mechanized mining technology

设备层主要包括采煤机、液压支架、供电等设备或系统, 是数据采集的前端。接入层和边缘层是对接口和协议的规范^[17]。目前综采工作面系统主要的物理接口和通信协议见表 1, 本文以标准 OPC UA 工业协议为基础构建接入层和边缘层, 可有效解决物理接口和通信协议不同导致数据无法传输的问题。PaaS 层和应用层是对数据和信息模型的规范。

基于智能化综采技术架构, 将煤矿综采设备作为整体数据对象, 构建智能化综采设备信息模型。通过虚实设备之间的映射, 指定系统中静态和动态行为的描述, 实现各种物理对象和异构系统之间的无缝通信, 即对煤矿综采设备信息资源进行定义、描述和关联, 提供完备、统一的数据对象表达、描述和操作模型。

3 综采设备信息模型

煤矿综采设备信息模型由属性、方法、事件、报警、子信息模型组成, 如图 3 所示。5 个组成部分均为可选, 但至少应包含其中 1 个。信息模型建模支持嵌套规则, 信息模型可包含子信息模型, 子信息模型仍可包含子信息模型。

3.1 属性

属性是表示设备性质、状态和特征的数据, 包括静态属性和动态属性 2 类。静态属性是指设备基本不变的一些固有性质和特征数据, 包括基础属性、网络属性, 其中基础属性为设备的基础定义数据, 用于

表 1 综采工作面系统主要的物理接口和通信协议

Table 1 Main physical interface and communication protocol in fully mechanized working face system

系统	物理接口	通信协议
采煤机控制系统	RS485接口 CAN总线	EIP, EtherCAT, Modbus-TCP Modbus RTU CANOpen
液压支架控制系统	RS485接口 CAN总线	EIP, EtherCAT, Modbus-TCP Modbus RTU CANOpen
刮板输送机、转载机、破碎机控制系统	RS485接口	EIP, EtherCAT, Modbus-TCP Modbus RTU
带式输送机控制系统	RS485接口	EIP, EtherCAT, Modbus-TCP Modbus RTU
供液控制系统	RS485接口	EIP, EtherCAT, Modbus-TCP Modbus RTU
供电系统	RS485接口	EIP, EtherCAT, Modbus-TCP Modbus RTU
集中控制系统		EIP, OPC UA

设备辨识和管理, 网络属性为设备网络配置的相关数据。动态属性为设备运行状态和过程数据, 包括状态属性和配置属性, 其中状态属性描述设备工作状态, 配置属性为设备设定值或配置参数。

3.1.1 属性规则设置

定义属性所采用的规则见表 2。

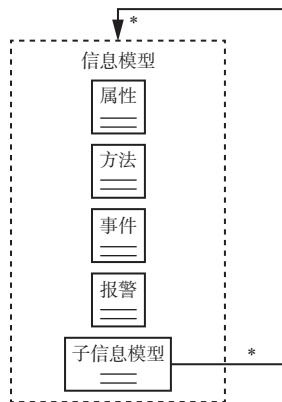


图3 煤矿综采设备信息模型架构

Fig. 3 Structure of information model of fully mechanized mining equipment

表2 属性规则

Table 2 Attribute rules of the information model

属性条目	说明
中文名称	属性名称, 含义宜具有唯一性
英文名称	属性英文名称, 在信息模型内应具有唯一性
描述	描述属性的含义和特征
读写权限	访问权限, 可为“读”或“读/写”
数据类型	描述属性的数据类型
数据值	由数据类型决定, 在实例化时有具体的数据, 信息模型定义时不描述该条目, 默认为有
建模规则	“必选”表示在建模时应包含该属性, “可选”表示在建模时可以包含该属性, 也可以不包含该属性

3.1.2 属性元素优化

针对属性元素的不同特征, 结合设备厂家点表信息可知, 1台设备的属性元素可能有100个以上。属性元素过多会导致信息模型过于复杂, 属性元素过少可能导致模型表达不足。因此, 本文提出根据属性元素的重要度和语义相似度对属性元素进行优化。

设属性元素在建模过程中的重要度为 V , 阈值为 V_t 。根据 V_t 将属性元素分为4类: ①必用的属性元素, $V=1$; ②常用的属性元素, $V_t < V < 1$; ③不常用的属性元素, $0 < V \leq V_t$; ④不用的属性元素, $V=0$ 。 V_t 可根据应用场景设置, 本文取0.5。将所有属性元素中重要度大于 V_t 的提取出来, 得到初步优化的属性元素^[18-19]。

根据属性元素之间的关系计算语义相似度, 如图4所示。假设元素之间的语义相似度范围为 $[0, 1]$ 。如果2个属性元素之间有1条连接路径, 说明二者是相关的。如 C_n ($n=1, 2, \dots, N$, N 为节点总数)为 C_1 的母语义节点, 这2个节点之间的语义相似度为 $1/n$ 。同样, 若 C_i 的上 $m-1$ 层和 C_j 的上 $n-1$ 层为同一母语义节点, 则 C_i 和 C_j 的语义相似度为

$(1/m)(1/n)$ 。如果2个属性元素之间没有连接路径, 则其语义相似度为0。1个属性元素与其自身的语义相似度为1。

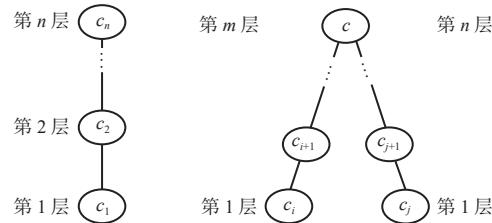


图4 属性元素语义相似度计算方法

Fig. 4 Semantic similarity calculation method of attribute factors

以煤矿综采工作面普通架(单架)属性为例说明属性元素优化过程。参照设备厂家点表信息, 提取出63个属性元素, 见表3。

表3 综采工作面普通架(单架)属性元素

Table 3 Attribute factors of ordinary support (single support) in fully mechanized working face

类型	名称
静态属性	设备型号、制造商名称、工厂批次、序列号、制造日期、设备类型、协议版本、硬件版本、安标信息、设备编号、设备在用状态、工作面编号、巷道编号、位置信息
状态属性	运行状态、支架功能、左前柱压力、右前柱压力、左后柱压力、右后柱压力、推移行程、支架高度、顶梁俯仰角度、顶梁倾斜角度、掩护梁倾斜角度、四连杆倾斜角度、底座俯仰角度、底座倾斜角度、一级护帮行程、一级护帮接近开关、一级护帮压力、二级护帮接近开关、三级护帮接近开关、故障
动态属性	支架编号、编号增向、主控时间、前柱补压上限、前柱补压下限、前柱目标压力、前柱补压时间、前柱补压间隔、前柱补压次数、后柱补压上限、后柱补压下限、后柱目标压力、后柱补压时间、后柱补压间隔、后柱补压次数、降柱延时、降柱时间、抬底延时、抬底时间、移架时间、推溜时间、推溜目标行程、邻架最大差值、推溜允许压力、收护帮时间、伸护帮时间、收伸缩梁时间、伸伸缩梁时间、反冲洗时间
配置属性	

根据重要度优化液压支架信息模型的属性元素, 结果如下。

1) 静态属性。设备型号、设备类型、安标信息对于煤矿行业是必须考虑的属性元素, 重要度设为1。在设备验收时会用到制造商名称、制造日期、协议版本、硬件版本4种属性元素, 其重要度设为0.5~1。在设备使用时会用到设备编号、设备在用状态、工作面编号、巷道编号、位置信息5种属性元素, 重要度设为1。上述情况下均不使用工厂批次和序列号2种属性元素, 其重要度设为0~0.5, 予以删除。

2) 状态属性。运行状态、左右前柱压力、左右后柱压力、推移行程、支架高度、顶梁俯仰角度、顶梁倾斜角度、故障是必须考虑的属性元素, 重要度设为1。特定需求下可能使用支架功能、掩护梁倾斜角度、四连杆倾斜角度、底座俯仰角度、底座倾斜角

度、一级护帮行程、一级护帮接近开关、一级护帮压力、二级护帮接近开关、三级护帮接近开关, 将其重要度设为 0.5~1。

3) 配置属性。支架编号、编号增向、主控时间是必须考虑的属性元素, 重要度设为 1。特定需求下可能使用前柱补压上限、前柱补压下限、前柱目标压力、前柱补压时间、前柱补压间隔、前柱补压次数、后柱补压上限、后柱补压下限、后柱目标压力、后柱补压时间、后柱补压间隔、后柱补压次数、降柱延时、降柱时间、抬底延时、抬底时间、移架时间、推溜时间、推溜目标行程、邻架最大差值、推溜允许压力、收护帮时间、伸护帮时间、收伸缩梁时间、伸伸缩梁时间、反冲洗时间, 将其重要度设为 0.5~1。

根据语义相似度对属性元素进行优化。建立支

架信息模型, 部分模型如图 5 所示。计算得到属性元素之间的语义相似度, 见表 4。

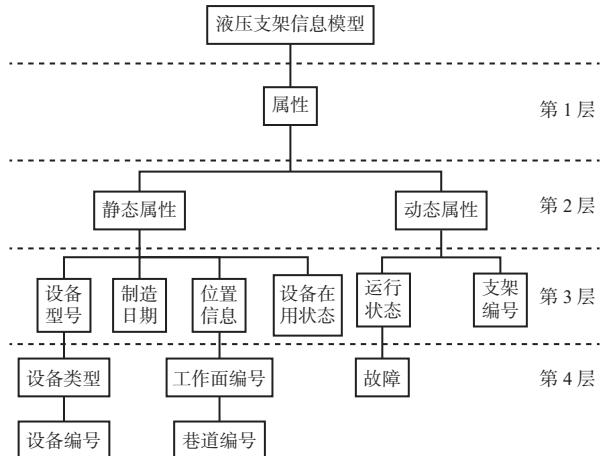


图 5 液压支架信息模型(部分)

Fig. 5 Partial hydraulic support information model

表 4 液压支架信息模型属性元素语义相似度计算结果

Table 4 Calculated semantic similarity of attribute factors of hydraulic support information model

项目	设备型号	设备类型	设备编号	制造日期	位置信息	工作面编号	巷道编号	设备在用状态	运行状态	故障	支架编号
设备型号	1	1/2	1/3	(1/2)(1/2)	(1/2)(1/2)	(1/3)(1/2)	(1/4)(1/2)	(1/2)(1/2)	(1/3)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/3)(1/3)
设备类型	1/2	1	1/2	(1/2)(1/3)	(1/2)(1/3)	(1/3)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/2)(1/3)	(1/3)(1/4)	(1/4)(1/4)	(1/3)(1/4)
设备编号	1/3	1/2	1	(1/2)(1/4)	(1/2)(1/4)	(1/3)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/2)(1/4)	(1/3)(1/5)	(1/4)(1/5)	(1/3)(1/5)
制造日期	(1/2)(1/2)	(1/2)(1/3)	(1/2)(1/4)	1	(1/2)(1/2)	(1/3)(1/2)	(1/4)(1/2)	(1/2)(1/2)	(1/3)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/3)(1/3)
位置信息	(1/2)(1/2)	(1/2)(1/3)	(1/2)(1/4)	(1/2)(1/2)	1	1/2	1/3	(1/2)(1/2)	(1/3)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/3)(1/3)
工作面编号	(1/3)(1/2)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/2)	1/2	1	(1/3)(1/2)	(1/2)(1/3)	(1/3)(1/4)	(1/4)(1/4)	(1/3)(1/4)
巷道编号	(1/4)(1/2)	(1/4)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/4)(1/2)	1/3	(1/3)(1/2)	1	(1/2)(1/4)	(1/3)(1/5)	(1/4)(1/5)	(1/3)(1/5)
设备在用状态	(1/2)(1/2)	(1/2)(1/3)	(1/2)(1/4)	(1/2)(1/2)	(1/2)(1/2)	(1/2)(1/3)	(1/2)(1/4)	1	(1/3)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/3)(1/3)
运行状态	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/4)	(1/3)(1/5)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/4)	(1/3)(1/5)	(1/3)(1/3)	1	1/2	(1/3)(1/2)
故障	(1/4)(1/3)	(1/4)(1/4)	(1/4)(1/5)	(1/4)(1/3)	(1/4)(1/3)	(1/4)(1/4)	(1/4)(1/5)	(1/4)(1/3)	1/2	1	(1/2)(1/2)
支架编号	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/4)	(1/3)(1/5)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/4)	(1/3)(1/5)	(1/3)(1/3)	(1/3)(1/2)	(1/2)(1/2)	1

本文中语义相似度阈值设为 0.25, 即 2 个属性元素之间语义相似度大于 0.25 可聚类。从表 4 可看出: ① 静态属性中, 设备类型与设备型号之间、设备编号与设备型号之间、设备编号与设备类型之间的语义相似度均大于 0.25, 因此这 3 种属性元素聚类为设备型号, 删除设备类型和设备编号; 工作面编号和位置信息之间、巷道编号与位置信息之间的语义相似度大于 0.25, 将这 3 种属性元素聚类为位置信息, 删除工作面编号和巷道编号。② 动态属性中, 故障与运行状态之间的语义相似度大于 0.25, 聚类为运行状态, 删除故障。

优化后的液压支架信息模型属性元素见表 5。对比表 3 和表 5 可看出, 属性元素由 63 个减少至 54 个, 降幅为 14.3%。

3.2 方法

方法为设备的操作方式或自身功能, 定义方法所采用的规则见表 6。

3.3 事件

事件是设备产生的某些重要信息的记录。定义事件所采用的规则见表 7。

3.4 报警

报警是需要确认相关状态的事件类型。定义报警采用的规则见表 8。

4 信息模型与实体设备关系

建立设备信息模型是实现综采设备数字孪生的基础。信息模型与实体设备之间存在映射关系, 如图 6 所示。

表5 优化后的综采工作面普通架(单架)属性元素

Table 5 Optimized attribute factors of ordinary support (single support) in fully mechanized working face

类型	名称
静态属性	设备型号、制造商名称、制造日期、安标信息、设备在用状态、位置信息
状态属性	运行状态、支架功能、左前柱压力、右前柱压力、左后柱压力、右后柱压力、推移行程、支架高度、顶梁俯仰角度、顶梁倾斜角度、掩护梁倾斜角度、四连杆倾斜角度、底座俯仰角度、底座倾斜角度、一级护帮行程、一级护帮接近开关、一级护帮压力、二级护帮接近开关、三级护帮接近开关
动态属性	支架编号、编号增向、主控时间、前柱补压上限、前柱补压下限、前柱目标压力、前柱补压时间、前柱补压间隔、前柱补压次数、后柱补压上限、后柱补压下限、后柱目标压力、后柱补压时间、后柱补压间隔、后柱补压次数、降柱延时、降柱时间、抬底延时、抬底时间、移架时间、推溜时间、推溜目标行程、邻架最大差值、推溜允许压力、收护帮时间、伸护帮时间、收伸缩梁时间、伸伸缩梁时间、反冲洗时间
配置属性	

表6 方法规则

Table 6 The method rules

方法条目	说明
中文名称	方法名称,含义宜具有唯一性
英文名称	方法英文名称,在该信息模型内应具有唯一性
描述	描述方法的含义和功能
输入参数	方法执行时输入的参数信息,包括类型、数据
返回值	方法执行后返回的输出结果信息,包含类型、数据
建模规则	“必选”表示在建模时应包含该方法,“可选”表示在建模时可以包含该方法,也可以不包含该方法

表7 事件规则

Table 7 The event rules

事件条目	说明
事件源名称	产生事件的对象名称,含义宜具有唯一性
事件源ID	事件源标志,在该信息模型内应具有唯一性
发生时间	事件发生的时间戳,在实例化时有具体的数据。信息模型定义时不描述该条目,默认为有
描述	事件发生的重要信息描述
建模规则	“必选”表示在建模时应包含该事件,“可选”表示在建模时可以包含该事件,也可以不包含该事件

综采设备信息模型分为组件级、设备级、多设备级模型。组件级模型是指一个整体中的关键组件构成的信息模型。以采煤机截割电动机为例,建立其信息模型,如图7所示。通过对关键组件建模,将分散的设备数据、工艺数据、维修数据以属性、方法、事件、报警的形式转换为标准化的模型数据。

以采煤机为例,将多个标准化的组件级信息模型通过定义逻辑关系相互关联,组合成设备级信息模型,如图8所示。

多设备级信息模型如图9所示。将整个综采工作面设备抽象为数字化模型,每台设备具有各自的

表8 报警规则

Table 8 The alarming rules

报警条目	说明
报警源名称	产生报警的对象名称,含义宜具有唯一性
报警源ID	报警源标志,在该信息模型内应具有唯一性
发生时间	报警发生的时间戳,在实例化时有具体的数据。信息模型定义时不描述该条目,默认为有
描述	报警发生的重要信息描述
报警级别	定义报警的重要性,宜包括一般、较重、严重和特别严重4个级别
状态	1(报警发生),2(报警恢复),3(报警确认),4(报警证实),5(报警禁止),6(报警使能),7(报警复归),8(报警超时消失)。在实例化时有具体的数据,信息模型定义时不描述该条目,默认为有
建模规则	“必选”表示在建模时应包含该报警,“可选”表示在建模时可以包含该报警,也可以不包含该报警

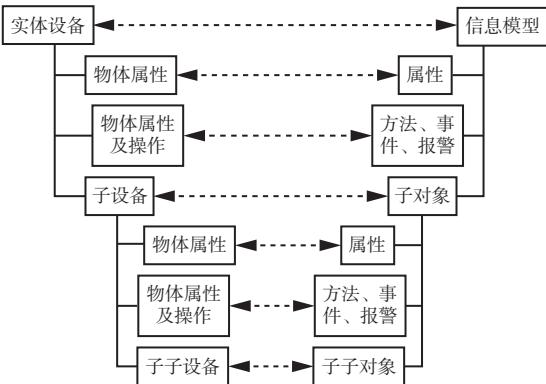


图6 信息模型与实体设备映射关系

Fig. 6 Mapping relationship between information model and physical devices

子模型(组件级信息模型),通过定义设备与设备之间的逻辑关系,将多台设备相互关联,实现跨系统、跨设备的互联、互通、互操作。

综采设备信息模型包括采煤机信息模型、液压支架信息模型、刮板输送机信息模型、转载机信息模型、破碎机信息模型、带式输送机信息模型、供液系统信息模型、供电系统信息模型。综采设备信息模型与实例对应关系见表9。

5 模型应用

按照本文方法建立华阳新材料科技集团有限公司一矿8403综采工作面综采设备信息模型。以综采设备电动机运行评价为例,基于建立的信息模型监测电动机短时间内启动次数,并对多电动机设备启动功率平衡、运行效率进行分析。

综采工作面电动机主要在采煤机、液压支架等设备中,如图10所示。采用本文方法建立电动机信息模型,具体参考采煤机截割电动机信息模型建立过程。

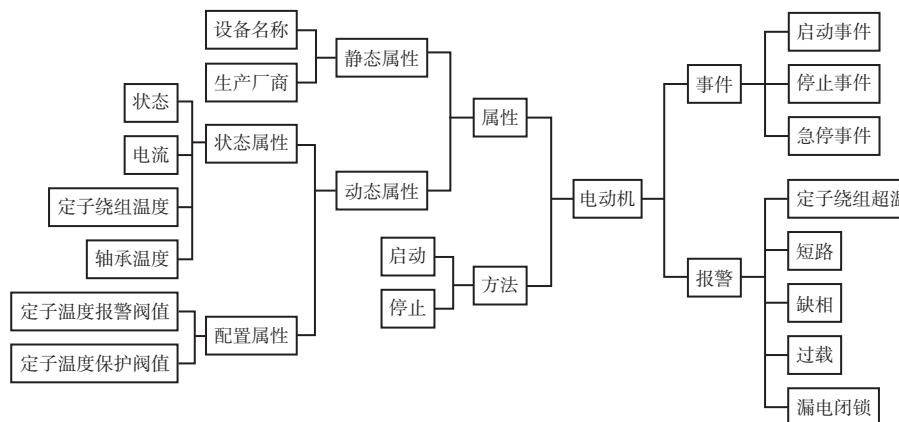


图 7 组件级信息模型(以采煤机截割电动机为例)

Fig. 7 Component level information model(cutting motor of shear as an example)

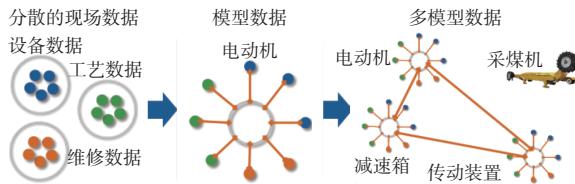


图 8 设备级信息模型(以采煤机为例)

Fig. 8 Equipment level information model(shear as an example)

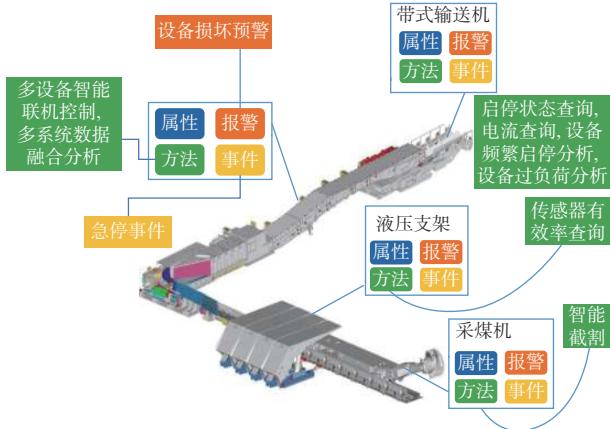


图 9 综采工作面多设备级信息模型

Fig. 9 Multi-equipment level information model of fully mechanized working face

基于综采设备信息模型建立的监测系统平台可显示电动机短时间内启动次数, 如图 11 所示。根据统计结果进行评价, 若 3 min 内启动少于 2 次(包括 2 次)则评定为优, 多于 2 次评定为差。

多电动机设备启动功率平衡分析如图 12 所示。平台可显示多电动机设备运行期间加速时间超过 $\pm 5\%$ 次数、不平衡度峰值、峰值时电流、达到峰值次数。从图 12 可看出, 2022-04-07T13: 00—2022-04-08T13: 00, 带式输送机电动机启动和运行不平衡度峰值达到 20% 的次数为 64。根据分析结果, 建议检查是否存在输送带松导致打滑、主从动辊尺寸不一致问题。

电动机运行效率分析如图 13 所示。平台可显示设备运行时间、空载运行时间、带载运行时间, 以及效率计算结果。经分析得出, 2022-04-07T13: 00—

表 9 综采设备信息模型与实例对应关系

Table 9 Correspondence relationship between the information model of fully mechanized mining equipment and instance

信息模型			子信息模型		
模型名称	实例数	建模规则	模型名称	实例数	建模规则
采煤机	1	必选	截割	2	必选
			牵引	≥ 2	必选
			破碎	1	可选
			液压	1	必选
液压支架	1	必选	普通架(单机)	≥ 2	必选
			普通架(成组)	≥ 2	必选
			过渡架(单机)	≥ 1	可选
			过渡架(成组)	≥ 1	可选
			超前架	≥ 1	可选
			端头架(放顶煤)	≥ 1	可选
			智能截割		
刮板输送机	1~2	必选	电动机	1~4	必选, 与变频器电动机一体机互斥
			减速器	1~4	可选, 与变频器电动机一体机互斥
			变频器	1~4	可选, 与变频器电动机一体机互斥
			变频器电动机一体机	1~4	必选, 与电动机、减速器、变频器互斥
转载机	1	必选	电动机	1~2	必选, 与变频器电动机一体机互斥
			减速器	1~2	可选, 与变频器电动机一体机互斥
			变频器	1~2	可选, 与变频器电动机一体机互斥
			变频器电动机一体机	1~2	必选, 与电动机、减速器、变频器互斥
破碎机	1	可选	电动机	1	必选
			减速器	1	可选

续表

信息模型			子信息模型		
模型名称	实例数	建模规则	模型名称	实例数	建模规则
带式输送机	1~2	必选	电动机	1~4	必选,与变频器电动机一体机互斥
			减速器	1~4	可选,与变频器电动机一体机互斥
			变频器	1~4	可选,与变频器电动机一体机互斥
			变频器电动机一体机	1~4	必选,与电动机、减速器、变频器互斥
			乳化液泵	≥1	可选
供液系统	1	必选	乳化液箱	≥1	可选
			喷雾泵	≥1	必选
			水箱	≥1	必选
			智能配液	1	可选
供电系统	1	必选	移动变电站	≥1	必选
			馈电开关	≥1	必选
			低压交流真空电磁启动器	≥1	必选
			多回路低压交流真空电磁启动器	≥1	必选
			照明综保	≥1	必选

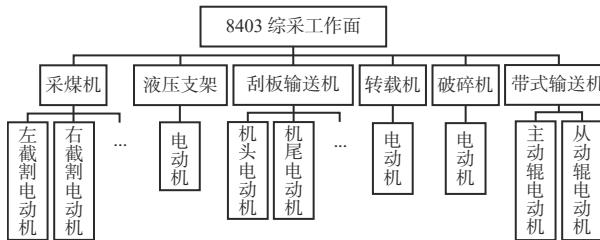


图 10 综采工作面电动机

Fig. 10 Motors in fully mechanized working face

序号	设备用途	功率/kW	3 min 内最大启动频次	3 min 内超过启动 3 次频次	设备运行时间/min	总启动次数	评价
1	前部机尾电动机	700	3	6	926	146	差
2	前部刮板输送机机头电动机	700	5	6	926	146	差
3	转载机电动机	400	1	0	960	64	优
4	乳化液泵 4 号泵电动机	280	1	0	360	4	优
5	乳化液泵 3 号泵电动机	280	1	0	360	4	优
6	乳化液泵 2 号泵电动机	280	1	0	360	4	优
7	加压泵 2 号泵电动机	200	1	0	416	9	优
8	乳化液泵 1 号泵电动机	280	1	0	360	4	优
9	加压泵 1 号泵电动机	200	1	0	502	15	优
10	破碎机电动机	250	1	0	970	64	优

说明: (仅做说明用, 正常页面不显示此内容)
电动机启动次数评价排序先按 3 min 内最大启动频次降序排列, 再按 3 min 内超过启动 3 次频次排序, 无上述现象者评价为优。
3 min 内最大启动超过 2 次为差, 表示应关注该电动机的使用情况并采取措施。

图 11 3 min 内电动机启动次数统计

Fig. 11 Statistical motor starting number in three minutes

2022-04-08T13:00, 后部刮板输送机空载运行时间长、效率低, 建议结合该时期产量, 检查是否有开空溜不放煤现象。

6 结论

1) 基于工业互联网架构, 提出了包括设备层、传输层、边缘层、PaaS 层、应用层的智能化综采技术架构。在接入层和边缘层提出以标准 OPC UA 工业

结论:此工作面在 2020-04-07T13:00-2022-04-08T13:00 期间, 带式输送机启动和运行不平衡度峰值到 20% 达 64 次, 电流分别为主电动机 180 A, 从电动机 144 A。建议:检查是否存在输送带松导致打滑, 或者主动辊尺寸不同问题。请及时调整策略, 检查电动机绝缘情况。

序号	多电动机协调运行设备	电动机功能	功率/kW	驱动方式	主从设置时间/s	30 s 内超过 ±5% 次数	30 s 内不平衡度峰值%	峰值时电流/A	峰值次数
1	前部刮板输送机	机头电动机	700	变频	0	0	2	160	146
		机尾电动机	700	变频	0	0	2	160	146
2	后部刮板输送机	机头电动机	700	变频	0	0	1	160	146
		机尾电动机	700	变频	0	0	1	158	64
3	带式输送机	主动辊电动机	315	变频	0	1	20	180	64
		从动辊电动机	315	变频	0	1	20	144	4
4	采煤机电动机	左行走电动机	90	变频	0	0	4	135	4
		右行走电动机	90	变频	0	0	4	129	4

说明: (仅做说明用, 正常页面不显示此内容)
双驱模式分为变频、软启、直启, 通常直启模式与软启模式要结合主从设置时间, 变频驱动功率平衡一般是转矩或转速跟随, 不存在主从设置。

图 12 多电动机设备启动功率平衡分析

Fig. 12 Analysis of starting power balance of multi motors

结论:此工作面在 2020-04-07T13:00-2022-04-08T13:00 期间, 后部刮板输送机空载运行时间长, 效率低, 建议结合期间产量, 检查是否有开空溜不放煤现象。									
序号	设备用途	功率/kW	额定电流/A	空载电流设定期定值/A	设备运行时间/min	空载运行时间/min	带载运行时间/min	有效效率%	
1	前部刮板机机尾电动机	700	140	手动输入	926	106	820	88.55	
2	前部刮板机机头电动机	700	140	手动输入	926	106	820	88.55	
3	转载机电动机	400	84	手动输入	960	55	905	94.27	
4	破碎机电动机	250	52	手动输入	970	755	215	22.16	
5	胶带主动辊电动机	315	190	手动输入	1020	260	760	74.51	
6	胶带从动辊电动机	315	190	手动输入	1020	260	760	74.51	
7	后部刮板机机尾电动机	700	140	手动输入	640	250	390	60.94	
8	后部刮板机机头电动机	780	140	手动输入	640	250	390	60.94	
9	采煤机左牵引电动机	90	135	手动输入	680	80	600	88.24	
10	采煤机右牵引电动机	90	135	手动输入	680	80	600	88.24	

说明: (仅做说明用, 正常页面不显示此内容) 以空载电流值为设定值(此值可计算实际空载时的运行值区间最小值), 计算其效率。

图 13 电动机运行效率分析

Fig. 13 Operation efficiency analysis of motor

协议为基础的协议规范, 解决了物理接口和通信协议不同导致数据无法传输的问题。

2) 将煤矿综采设备作为整体数据对象, 提出一种综采设备信息模型构建方法, 定义了属性、方法、事件、报警 4 个关键要素和建模规则, 实现了综采设备多源异构数据融合分析。

3) 在华阳新材料科技集团有限公司一矿 8403 工作面进行建模方法验证。以工作面综采设备电动机信息模型为例, 进行电动机运行评价。基于该模型可监测工作面所有电动机短时间内启动次数、多电动机设备启动功率平衡、运行效率, 并形成分析结果, 为决策工作提供数据支持。

4) 目前仅针对综采设备构建了技术架构和信息模型, 下一步将该建模方法应用于矿井其他系统, 致力于通信协议、语法和语义标准化工作。

参考文献(References):

- [1] 王国法, 刘峰, 孟祥军, 等. 煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 1-36.
WANG Guofa, LIU Feng, MENG Xiangjun, et al. Research and practice on intelligent coal mine construction(primary stage) [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8): 1-36.
- [2] 王国法, 范京道, 徐亚军, 等. 煤炭智能化开采关键技术创新进展与展望[J]. 工矿自动化, 2018, 44(2): 5-12.
WANG Guofa, FAN Jingdao, XU Yajun, et al. Innovation progress and prospect on key technologies of intelligent coal mining[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2): 5-12.
- [3] 工业互联网产业联盟. 工业互联网信息模型白皮书

- (征求意见稿)[EB/OL]. [2023-11-30]. <http://www.aii-alliance.org/index/c316/n47.html>.
- Alliance of Industrial Internet. Industrial Internet information model white paper(consultative document)[EB/OL]. [2023-11-30]. <http://www.aii-alliance.org/index/c316/n47.html>.
- [4] 王金华, 黄乐亭, 李首滨, 等. 综采工作面智能化技术与装备的发展[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1418-1423.
WANG Jinhua, HUANG Leting, LI Shoubin, et al. Development of intelligent technology and equipment in fully-mechanized coal mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1418-1423.
- [5] 杜毅博, 张乘风, 巩师鑫. 基于 OPC UA 的智能化综采工作面信息模型[J]. 工矿自动化, 2022, 48(2): 42-48.
DU Yibo, ZHANG Chengfeng, GONG Shixin. Information model of intelligent fully mechanized working face based on OPC UA[J]. Industry and Mine Automation, 2022, 48(2): 42-48.
- [6] 王健全, 马彰超, 孙雷, 等. 工业网络体系架构的演进、关键技术及未来展望[J]. 工程科学学报, 2023, 45(8): 1376-1389.
WANG Jianquan, MA Zhangchao, SUN Lei, et al. Evolution, key technology, prospects, and applications of industrial network architecture[J]. Chinese Journal of Engineering, 2023, 45(8): 1376-1389.
- [7] 葛世荣. 煤矿智采工作面概念及系统架构研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(4): 1-9.
GE Shirong. Research on concept and system architecture of smart mining workface in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(4): 1-9.
- [8] 刘洋. 面向工业场景的 OPC UA 信息模型建模研究与应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2023.
LIU Yang. Research and application of OPC UA information model construction for industrial fields[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2023.
- [9] 王立平, 张兆坤, 邵珠峰, 等. 机床制造加工数字化车间信息模型及其应用研究[J]. 机械工程学报, 2019, 55(9): 154-165.
WANG Liping, ZHANG Zhaokun, SHAO Zhufeng, et al. Research on the information model of digital machining workshop for machine tools and its applications[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(9): 154-165.
- [10] 张卡. 面向石化智能工厂测控与控制设备的信息模型设计与验证[J]. 当代化工研究, 2023(23): 194-196.
ZHANG Ka. Information model design and verification of measurement and control equipment for petrochemical intelligent plant[J]. Modern Chemical Research, 2023(23): 194-196.
- [11] 李迪, 张柳, 张春华, 等. 基于 AutomationML 的信息物理生产线系统模型驱动开发方法[J]. 机械设计与制造, 2021(10): 295-299, 303.
LI Di, ZHANG Liu, ZHANG Chunhua, et al. A model-driven approach to cyber-physical production line system development based on AutomationML[J]. Machinery Design & Manufacture, 2021(10): 295-299, 303.
- [12] 李锋, 张坤, 原丽娜. 基于 OPC UA 的纺织智能染整车间信息模型研究与实现[J]. 纺织学报, 2020, 41(2): 149-154.
LI Feng, ZHANG Kun, YUAN Li'na. Research and implementation of information model for textile intelligent dyeing and finishing workshop based on OPC UA[J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(2): 149-154.
- [13] 王国法, 任怀伟, 庞义辉, 等. 煤矿智能化(初级阶段)技术体系研究与工程进展[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 1-27.
WANG Guofa, REN Huaiwei, PANG Yihui, et al. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7): 1-27.
- [14] 王国法, 杜毅博, 任怀伟, 等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 1909-1924.
WANG Guofa, DU Yibo, REN Huaiwei, et al. Top level design and practice of smart coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(6): 1909-1924.
- [15] 孟庆勇, 顾闯. 煤矿工业互联网信息安全风险评估[J]. 工矿自动化, 2019, 45(8): 43-47.
MENG Qingyong, GU Chuang. Information security risk assessment of industrial Internet of coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(8): 43-47.
- [16] 崔竟成. 煤矿云边协同智能云盒系统设计研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(7): 206-209.
CUI Jingcheng. Design and research of coal mine cloud-box system based on cloud edge collaboration[J]. Coal Technology, 2022, 41(7): 206-209.
- [17] 余思聪, 黄颖, 刘阳, 等. 工业互联网信息模型发展现状及趋势研究[J]. 信息通信技术与政策, 2020(6): 36-41.
YU Sicong, HUANG Ying, LIU Yang, et al. Research on the development status and trend of industrial Internet information model[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2020(6): 36-41.
- [18] 余思聪, 黄颖, DU Tao, et al. The proposal of a modeling methodology for an industrial internet information model[J]. PeerJ Computer Science, 2022, 8. DOI: [10.7717/PEERJ-CS.1150](https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1150).
- [19] 涂凡, 黄海松, 姚立国. 面向离散车间制造信息本体建模的研究[J]. 机械设计与制造, 2018(2): 263-266.
TU Fan, HUANG Haisong, YAO Liguo. Research on ontology modeling of manufacturing information for discrete workshop[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(2): 263-266.