

Research on Multi source Data Fusion and Collaborative Scheduling Mechanism in Intelligent Construction of Coal Mines

Yapeng Chen

Gansu Jingmei Energy Co., Ltd., Dashitou Coal Mine Branch, Baiyin, Gansu, 730913, China

Abstract

With the coal industry entering a stage of high-quality development, the intelligent construction of coal mines has become the key to achieving safe and efficient production and green low-carbon transformation. The intelligent coal mine system covers multiple subsystems such as geological exploration, equipment control, safety monitoring, and production scheduling, which generate a large amount of heterogeneous data during operation. How to achieve efficient fusion and collaborative scheduling of multi-source data has become an important issue at present. This article focuses on the research of data fusion and collaborative scheduling mechanism in the intelligent construction of coal mines. It analyzes the theoretical basis, system architecture, and algorithm design of data fusion, and explores the application of fused data in production safety, energy consumption control, and emergency management. By constructing a unified data governance system and scheduling collaboration framework, a hierarchical fusion and dynamic scheduling model is proposed to provide a scalable technical path and management approach for the intelligent construction of coal mines.

Keywords

Coal mine intelligence; Multi source data fusion; Collaborative scheduling; Information Physical Systems; Intelligent perception

煤矿智能化建设中多源数据融合与协同调度机制研究

陈亚鹏

甘肃靖煤能源有限公司大水头煤矿分公司, 中国 · 甘肃 白银 730913

摘 要

随着煤炭工业进入高质量发展阶段, 煤矿智能化建设成为实现安全高效生产和绿色低碳转型的关键。煤矿智能化系统涵盖地质探测、设备控制、安全监测、生产调度等多个子系统, 这些系统在运行过程中产生大量异构数据。如何实现多源数据的高效融合与协同调度, 成为当前的重要课题。本文围绕煤矿智能化建设中的数据融合与协同调度机制展开研究, 分析了数据融合的理论基础、系统架构与算法设计, 探讨了融合数据在生产安全、能耗控制与应急管理中的应用。通过构建统一的数据治理体系与调度协同框架, 提出了一种分层融合与动态调度模型, 以期煤矿智能化建设提供可推广的技术路径与管理思路。

关键词

煤矿智能化; 多源数据融合; 协同调度; 信息物理系统; 智能感知

1 引言

煤矿智能化是煤炭产业数字化、网络化与智能化深度融合的集中体现, 是推动传统矿井向现代智能矿山转型的重要方向。近年来, 随着物联网、人工智能、边缘计算与 5G 通信等技术的迅速发展, 煤矿现场数据获取与传输能力显著增强, 为多源数据融合与协同调度提供了技术基础。然而, 由于煤矿生产环境复杂、信息来源多样、设备体系差异显著, 不同系统间的数据存在格式异构、时间不同步、语义不统一等问题, 造成信息孤岛现象严重, 制约了智能化系统的整体

效能。当前, 煤矿企业普遍面临数据难融合、调度不协调、响应不及时等问题, 亟需构建一套可扩展、可协同、可实时响应的多源数据融合与调度机制。本文旨在通过理论分析与系统建模, 研究智能矿山建设中多源数据融合与协同调度的关键问题, 提出可行的技术路径与优化策略, 以实现煤矿生产过程的全面感知、科学决策与高效调度。

2 煤矿智能化建设的总体架构与数据特征

2.1 智能化煤矿系统架构特征

智能化煤矿的体系结构一般包括感知层、传输层、平台层与应用层四个层级。感知层通过传感器、摄像装置和智能终端实现对井下设备、环境参数及人员状态的实时采集; 传输层利用工业以太网、5G 专网或光纤通信将数据高效传

【作者简介】陈亚鹏 (1981—), 男, 中国甘肃白银人, 本科, 工程师, 从事机电、信息化管理研究。

输至地面平台；平台层承担数据处理、存储与分析功能，是信息融合与调度决策的核心；应用层则面向生产、安全、设备维护与应急管理场景提供智能化服务。各层级之间存在大量数据交互，形成复杂的信息流与控制流网络。由于各系统的设计标准不同，数据接口兼容性差，信息传输路径复杂，若缺乏统一的数据治理与协同调度体系，智能化系统难以实现整体优化。

2.2 多源数据的类型与异构性

煤矿运行过程中产生的数据类型丰富，主要包括环境监测数据（瓦斯浓度、温湿度、风速）、设备运行数据（电机电流、振动信号、温度）、地质勘探数据（地层结构、岩性参数）、安全监控视频及调度指令数据等。这些数据在采集频率、格式结构、数据精度及时间同步等方面差异显著。例如，传感器采集的数据为高频数值型数据，而视频监控属于非结构化数据，管理系统记录的作业信息又多为文本与表格形式。这种异构性使得数据融合过程面临语义冲突、时间错位及冗余数据处理等问题，必须依托统一的数据标准和多模态融合算法，才能实现不同类型数据的有效关联与共享。

2.3 智能化建设中的数据管理挑战

当前煤矿智能化建设中存在数据孤岛、标准不统一、实时性不足等突出问题。一方面，设备供应商众多，不同厂商之间的通信协议差异较大，导致数据采集与传输环节无法兼容；另一方面，缺乏完善的数据治理体系，数据质量参差不齐，存在缺失、噪声与冗余现象。此外，煤矿井下通信环境复杂，网络延迟与信号衰减影响了数据实时性。面对这些问题，需要从系统架构设计与数据治理机制入手，构建统一标准、集中管理、协同共享的多源数据融合平台，为智能调度奠定基础。

3 多源数据融合的理论基础与方法体系

3.1 数据融合的理论模型

多源数据融合是将不同来源、不同格式的数据通过数学模型与算法处理，形成对客观系统的综合描述与最优判断过程。其理论基础主要包括信息论、贝叶斯推理、模糊数学与机器学习等。融合模型通常分为数据层融合、特征层融合与决策层融合三类。数据层融合强调原始数据的统一处理，适用于实时性要求高的监测场景；特征层融合注重不同传感器数据特征的提取与匹配；决策层融合则综合多模型输出结果，实现高层智能判断。针对煤矿的复杂工况，可采用多层次融合架构，将不同层级融合结果动态反馈，实现系统的自适应优化。

3.2 融合算法与实现路径

在算法层面，常用的融合方法包括加权平均法、卡尔曼滤波、D-S 证据理论、支持向量机（SVM）融合、神经网络融合等。对于井下实时监测系统，可采用扩展卡尔曼滤波或自适应滤波算法，提高信号精度与时效性；在设备故障

诊断中，可结合深度学习模型进行多模态特征融合，实现复杂信号的模式识别与异常检测；对于生产调度与安全预测，可构建基于贝叶斯网络的决策融合模型，实现多源信息的综合分析 with 动态优化。算法的选择需根据数据类型、应用场景与实时性要求综合考虑，确保融合结果的准确性与稳定性。

3.3 数据融合平台的技术架构

多源数据融合平台是智能矿山建设的中枢系统。其架构应包含数据采集、清洗、融合、分析与服务五个模块。数据采集模块负责接入多类型传感终端与业务系统；清洗模块执行数据过滤、去噪与格式标准化处理；融合模块通过算法引擎实现多源信息的逻辑整合；分析模块借助人工智能与数据挖掘模型进行趋势预测与模式识别；服务模块向各业务系统提供统一接口，支撑调度、预警与决策功能。平台建设应遵循分层解耦、模块化与开放性原则，保证系统可扩展性与数据安全性。

4 煤矿智能化协同调度机制的构建

4.1 协同调度的概念与功能定位

协同调度是煤矿智能化体系中的关键环节，其核心在于通过统一的数据平台，实现生产、安全、设备、能源与应急等多系统的实时协同与全局优化。与传统单一系统调度不同，协同调度强调信息共享与动态反馈，通过多源数据的融合分析实现多环节联动控制。其目标不仅是提高生产效率，更在于实现安全与效益的平衡。协同调度系统通常具备四项核心功能：数据互通、任务联动、应急联控与决策支持。数据互通确保不同子系统间的信息同步传递，任务联动实现采掘、运输、通风、供电等环节的统一协调，应急联控保障突发情况下的快速响应，而决策支持功能则基于实时数据与预测模型自动生成最优调度方案。通过建立集中管理与分布执行的协同体系，系统可在复杂矿山环境下实现资源的全局最优配置，减少人工操作的滞后性和误差，为安全高效生产提供技术保障。

4.2 基于数据驱动的调度优化模型

数据驱动的调度优化模型是协同调度系统的技术核心。该模型基于对煤矿生产系统的实时感知与动态分析，将设备状态、作业计划、能源负荷和安全监测数据进行融合处理，形成对矿井运行状态的全局认知。模型利用多目标优化算法与智能决策技术，对资源配置、生产节奏与运输路线进行动态调整，实现生产计划的最优平衡。在采掘环节，系统可根据设备健康状态和人员分布自动生成作业方案，减少空转与等待；在能耗管理方面，通过对负荷数据与生产计划的匹配分析，优化供电调度与通风控制，降低能源浪费；在安全应急场景中，系统融合传感器数据与视频识别结果，快速判定风险类型与影响范围，并自动规划撤离路径或救援方案。模型内嵌的自学习机制使其能在运行中不断修正参数与优化策略，形成可持续进化的动态调度能力，从而实现对煤矿复

杂系统的智能化管理。

4.3 协同调度系统的运行机制

高效的协同调度系统应遵循“感知—决策—执行—反馈”的闭环运行逻辑,实现信息流、控制流与业务流的有机融合。感知层负责多源数据的实时采集与预处理,包括设备运行参数、环境监测数据及作业状态信息;决策层基于融合算法与优化模型,对采掘计划、运输调度和能耗控制进行综合分析,生成多目标最优决策方案;执行层通过自动化控制系统将指令分发至各作业单元,协调机械设备与人员行动,实现精确执行;反馈层则实时监控执行结果,对偏差进行评估并动态修正模型参数,确保调度体系具备自适应调整能力。为了增强系统的协同性,应在调度中心建设统一的可视化控制平台,实现各子系统间的标准化接口与数据同步更新。

5 多源数据融合与协同调度的关键支撑技术

5.1 边缘计算与云架构协同

煤矿智能化建设中,数据来源广泛、传输链路复杂、实时响应要求极高,传统的集中式计算模式难以满足多节点并发处理与低延迟控制的需求。边缘计算的引入,为数据就近处理与快速响应提供了技术支撑。通过在井下及地面关键节点部署边缘计算设备,可实现数据预处理、异常检测与局部决策,减少对上层网络的依赖,从而降低通信延迟与带宽压力。与此同时,云计算平台作为系统的全局调度与决策中心,负责集中存储、历史数据分析与模型训练。边缘与云端的协同运行可构建“云—边—端”三层架构:终端负责数据采集与初步反馈,边缘节点执行实时分析与局部优化,云端则进行全局协调与策略生成。该架构实现了数据处理的分层优化与资源的动态分配,使煤矿生产系统在高并发环境下依然保持高效与稳定运行,为智能调度和安全管控提供了坚实技术基础。

5.2 人工智能与知识图谱的融合应用

人工智能技术在煤矿智能化建设中发挥着核心作用,特别是在多源数据的智能分析与复杂系统的决策优化方面具有突出优势。通过引入知识图谱技术,可将煤矿领域的设备信息、工艺流程、地质结构、安全规程和历史经验等知识进行语义化、结构化表达,构建煤矿领域知识体系,实现数据与知识的深度融合。知识图谱为人工智能模型提供了逻辑推理与语义支撑,使算法不仅具备数据驱动能力,还具备知

识驱动的解释性。结合深度学习、强化学习等算法,可实现设备状态的预测性维护、危险源识别及事故趋势预判。例如,通过对传感器信号与设备运行记录的关联分析,系统能够提前识别潜在异常并生成维护计划,减少非计划停机。人工智能与知识图谱的融合,不仅提升了系统的认知能力与决策智能,也推动煤矿安全管理由经验依赖向智能驱动转变,实现了从“事后处理”到“事前预防”的根本跃升。

5.3 数据安全性与标准化管理

多源数据融合与协同调度系统的高效运转必须建立在完善的数据安全与标准化管理基础之上。煤矿智能化系统涉及生产调度、安全监测、设备控制等核心环节,一旦数据遭到篡改或泄露,可能引发严重的安全后果。为此,应建立完善的数据分类分级制度,对不同类型数据制定相应的访问权限与加密措施。网络层面可采用多重身份认证、端到端加密与动态密钥更新机制,确保数据传输的完整性与保密性。同时,标准化管理是实现多系统互联互通的前提。

6 结语

煤矿智能化建设是推动我国能源产业现代化的重要路径,其核心在于实现数据驱动的安全高效生产。多源数据融合与协同调度机制作为智能化矿山的关键技术环节,决定着系统的运行效率与安全水平。通过构建统一的数据治理体系、完善的融合算法体系与动态调度机制,可实现煤矿生产的全面感知、科学决策与精准控制。未来,应进一步加强边缘计算、人工智能与工业互联网的深度融合,建立跨矿区、跨系统的数据协同网络,推动煤矿智能化由局部智能向全局协同演进。只有持续完善数据融合与调度机制,才能真正实现煤矿生产的智能、安全与可持续发展。

参考文献

- [1] 张顺,卞涛,李勇.基于多源数据融合分析的智能煤矿设备健康保障与远程会诊中心建设应用与研究[J].中国矿业,2023,32(S2):67-72.
- [2] 郭倩倩.煤矿井下基于PDR/Wi-Fi多源融合定位算法研究[D].内蒙古科技大学,2022.
- [3] 武玉梁.智能化煤矿安全风险管控关键技术研究.四川省,四川科技职工大学,2022-05-13.
- [4] 郭昌放.基于多源数据协同和智能算法的煤矿工作面透明化系统研究[D].中国矿业大学,2020.
- [5] 杜毅博,赵国瑞,巩师鑫.智能化煤矿大数据平台架构及数据处理关键技术研究[J].煤炭科学技术,2020,48(07):177-185.