

doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2023.06.016

基于免疫多 Agent 技术的煤矿综合能耗 B/S 动态监控方法

罗 伟

(国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司, 陕西 神木 719315)

摘 要: 为实现煤矿内所有耗能设备的动态监控, 为节能优化措施的提出提供重要依据, 进一步贯彻落实国家绿色低碳环保的发展理念, 提出基于免疫多 Agent 技术的煤矿综合能耗 B/S 动态监控方法。结合自动控制理论和计算机技术, 根据分站控制原理, 合理划分煤矿内能源消耗设备的类型, 并为每个设备配备可编程控制器。通过极大似然估计法构建线性方程, 确定各组设备的监测节点位置。利用多种通信协议, 在三层网络结构中部署 B/S 监测架构, 从计量终端收集煤矿能耗设备的运行数据。基于免疫多 Agent 技术构建学习模型, 分析并推理接收到的数据信息, 实现对煤矿综合能耗的动态监测。结果表明: 以不同的能耗设备为测试对象, 基于免疫多 Agent 技术的煤矿综合能耗 B/S 动态监控方法可以准确地获取全部运行信息, 有效实现能耗设备的动态监测, 能够全面监控煤矿中所有耗能设备的运行情况, 并为其后期运行和管理提供理论依据, 具有应用价值。

关键词: 免疫多 agent 技术; 煤矿综合能耗; B/S 动态监测; 网络通讯

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-7854(2023)06-0115-07

B/S dynamic monitoring method of coal mine comprehensive energy consumption based on immune multi-Agent technology

LUO Wei

(CHN Energy Group Shendong Coal Group Co. Ltd., Shenmu 719315, Shaanxi, China)

Abstract: To achieve dynamic monitoring of all energy consuming equipment in coal mines, provide important basis for proposing energy-saving optimization measures, and further implement the national development concept of green, low-carbon, and environmental protection, a BS dynamic monitoring method for comprehensive energy consumption in coal mines based on immune multi-agent technology is proposed. Combining automatic control theory and computer technology, based on the principle of substation control, the types of energy consumption equipment in coal mines are reasonably classified, and each device is equipped with programmable controllers. A linear equation is constructed using the maximum likelihood estimation method to determine the monitoring node positions of each group of equipment. Multiple communication protocols are utilized to deploy a B/S monitoring architecture in a three-layer network structure to collect operational data of coal mine energy consumption equipment from metering terminals. A learning model based on immune multi-agent technology is built to analyze and infer the received data information, and achieve dynamic monitoring of comprehensive energy consumption in coal mines. The results show that the B/S dynamic monitoring method for comprehensive energy consumption in coal mines based on immune multi-agent technology can accurately obtain all operational information and effectively monitor the operation of energy consumption equipment, with different energy consumption equipment as the test objects. It can comprehensively monitor the operation of all energy consumption equipment in coal mines and provide theoretical basis for their later operation and management, and has application value.

Key words: immune multi-agent technique; comprehensive energy consumption of coal mine; B/S dynamic monitoring; network communication

收稿日期: 2023-05-19

第一作者: 罗伟, 学士, 工程师, 研究方向为煤矿机电管理。

E-mail: zhaoye7170022@163.com

煤炭在我国能源体系中占据主体地位, 煤炭企业作为能源行业的重要组成部分, 在生产能源的同时也会消耗能源^[1-3]。为有效管理能源消耗

问题,在煤矿中建设能耗管理系统,可实时对煤矿的整体运行进行监测。为实时监测煤矿的运行情况,需要设计一个有效的监测方法,许多科研人员开展了监测方法的研究,并取得了一定的研究成果。如文献[4]选择无线动态监测传感器设计了一个监控系统,针对于煤矿开采深度、空间以及强度进行分析,有效防范了煤矿的冲击地压事故。该系统主要通过无线动态监测传感器进行数据采集,在不同的监测节点中获取多种类型数据,对不同的岩层应力进行实时监测,可以实时掌握煤矿的动态变化规律,以此实现了煤矿中不同应力参数的监测。但由于传感器在数据传输过程中,会受到多种因素影响,导致在数据传输过程中会同时带有干扰信号,增加了测量难度。文献[5]对现有的远程监测系统进行了改造,提高了煤矿系统的稳定性和安全性。该改造方法主要是利用综合监测设备,在共同的组网中进行连接,增加了数据信息传递的可靠性,可以实现越级监测和远程控制。

为更加有效地对煤矿中的数据进行检测,本文以免疫多 Agent 技术为研究基础,重新设计一个新的动态监测方法。通过合理划分设备类型并配置可编程控制器,实现对不同设备的监测与控制。采用极大似然估计法构建线性方程,在多个未知节点中确定各组设备的监测节点位置,能够准确且有效地确定监测节点,确保数据采集的精确性和全面性。以多种通信协议部署 B/S 监测架构,在三层网络结构下实现数据的采集和传输,保证能耗设备运行数据的及时采集和准确传输,并为后续的数据分析和决策提供支持。通过基于免疫多 Agent 技术的学习模型,对接收到的数据信息进行分析 and 推理,实现对煤矿综合能耗的动态监测,提高能耗设备动态监测的准确性和效率。

1 分站控制原理划分煤矿能源消耗设备类型

为了全面解决动能问题,煤矿企业对煤矿内的动能能耗产生设备进行有效管理^[6-8],以动态监测为应用前提,采用分站控制原理对煤矿内的能源消耗设备类型进行划分。此次选定煤矿内的空压机房、水站以及皮带机和绞车为监测对象,分别应用自动控制理论和计算机技术对上述仪器进行连接,具体组成原理见图 1。

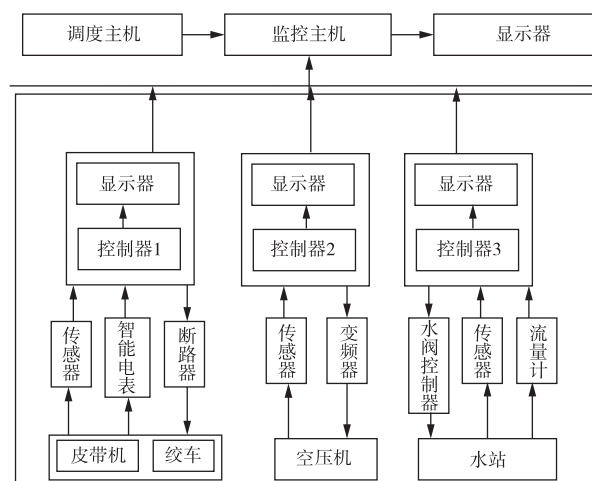


图 1 基于分站控制连接煤矿耗能设备

Fig. 1 Connecting coal mine energy consumption equipment based on substation control

如图 1 所示,针对不同的能耗设备,对应应有各自的传感器,分别对各组设备的传感器进行分类。其中皮带机与绞车设备会产生较大电能,采用温度传感器;空压机的功率变化较大,采用压力和温度两种传感器;水站运行时会产生较大水压,因此采用压力传感器。

整体监测结构以调度主机为集中管理中心,可以随时查看煤矿内的电能和风能以及水能的运行情况,并在传感器的作用下,将数据传入至显示器^[9-11]。在对应的设备中以分站控制原理独立监控各组设备,将现场设备形成的数据转化为光纤信号,能够通过以太网进行数据交换。具体模式见图 2。

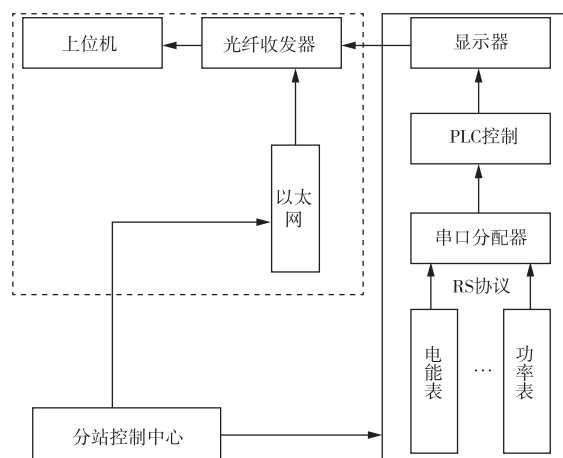


图 2 基于分站控制连接煤矿耗能设备

Fig. 2 Connecting coal mine energy consumption equipment based on substation control

根据图 2 内容所示,以分站控制为煤矿设备的监测核心,在不同的控制器下连接产生能耗的设备,

对其电能数据和功率数据进行接收,并各自分配有对应的多路串口器。由于此次选择以太网结构交换数据,直接通过以太网接口连接传感器,在光纤收发器的作用下,将分站中的设备信息上传到网络。

2 极大似然估计法确定设备监测的节点位置

在划分完煤矿内的能源消耗设备类型后,针对不同的设备接入对应传感器,为准确获取设备产生的能耗信息,需要计算具体的监测节点位置^[12-14]。本次选择极大似然估计法确定节点位置,假定存在有 p 个监测节点,表示为 $o_y(i_y, u_y)$,以保证在上述所有节点中存在合理的监测节点,根据距离公式计算得出:

$$\begin{cases} (i_1 - i)^2 + (u_1 - u)^2 = t_1^2 \\ (i_2 - i)^2 + (u_2 - u)^2 = t_2^2 \\ \dots \\ (i_y - i)^2 + (u_y - u)^2 = t_y^2 \\ \dots \\ (i_p - i)^2 + (u_p - u)^2 = t_p^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: (i, u) 为监测节点; (i_1, u_1) 为第 1 个节点; (i_2, u_2) 为第 2 个节点; (i_y, u_y) 为第 y 个节点; (i_p, u_p) 为第 p 个节点。 t 为节点之间的距离。基于此,以线性矩阵表示最大似然估计矩阵为:

$$rw = e \quad (2)$$

$$r = \begin{bmatrix} 2(i_p - i_1) & 2(u_p - u_1) \\ \dots & \dots \\ 2(i_{p-1} - i_p) & 2(u_{p-1} - u_p) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$w = \begin{bmatrix} i \\ u \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$e = \begin{bmatrix} i_1^2 - i_p^2 + u_1^2 - u_p^2 + t_p^2 - t_1^2 & \dots \\ \dots & \dots \\ i_{p-1}^2 - i_p^2 + u_{p-1}^2 - u_p^2 + t_p^2 - t_{p-1}^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

公式 3 为线性方程组。 r 为标准差向量函数矩阵。 w 为监测节点坐标矩阵,表示设定的监测节点具体坐标。 e 为均方差函数矩阵。通过对假定的节点位置与其余位置的距离计算,在标准均方差估算下获取节点位置。在此基础上,以极大似然估计法中的三边测量获取具体监测节点的位置坐标:

$$\begin{bmatrix} i \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(i_q - i_a) & 2(u_q - u_a) \\ 2(i_s - i_a) & 2(u_s - u_a) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} i_q^2 - i_a^2 + u_q^2 - u_a^2 + t_a^2 - t_c^2 \\ i_s^2 - i_a^2 + u_s^2 - u_a^2 + t_a^2 - t_c^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中:分别在监测节点周围设置另外三组节点,

假定其余监测节点能够形成三边示意结构,三组节点分布为 (i_q, u_q) 、 (i_a, u_a) 、 (i_s, u_s) ,其距离监测节点 (i, u) 的距离分别为 t_q 、 t_a 、 t_s 。该方法为最大似然估量法中的特殊案例,能够在三边确定的基础上固定出具体的监测位置,减少节点的设计误差。

3 通信协议部署 B/S 架构获取煤矿运行数据

为动态获取各组设备的运行数据,以多种通信协议部署 B/S 架构,全方位地统计设备能耗数据,如图 3 所示。

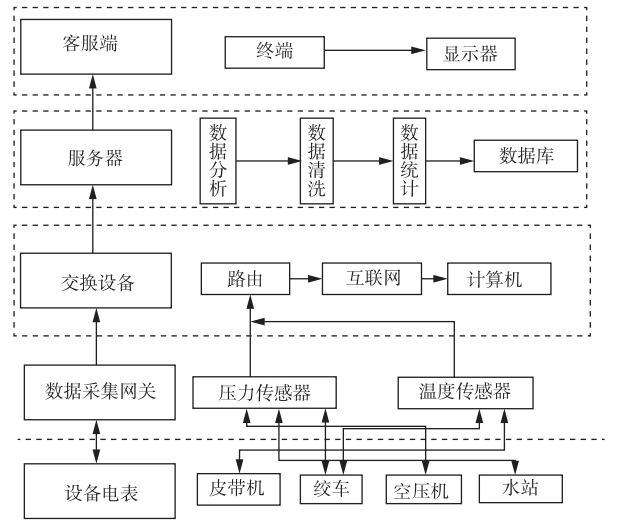


图 3 煤矿运行设备 B/S 监测架构

Fig. 3 B/S monitoring architecture for coal mine operation equipment

根据图 3 内容所示,为实现煤矿内的运行设备能耗数据的全方位采集,将 B/S 监测架构设定为 3 层模式,分别为数据采集、数据传输以及数据处理层。根据该架构的组成模式,在多种通信协议的连接作用下,从计量终端对设备的运行数据进行采集,并可以实现数据的转发与分析^[15]。分别对每个结构进行划分。

1) 数据采集层与传输层:主要用来采集设备的运行数据,并对重点用能设备进行监控,需要实时采集其负荷和电压信息。该层级同时支持井下与地面的运行设备,不仅可以直接通过传感器获取设备信息,也能够从电表等计量终端采集数据。

2) 数据处理层:该层的主要功能是处理采集到的数据,首先是对数据进行合理检查,是否存在缺失数据和异常数据;其次是对异常数据进行清洗以及对缺失数据进行补充;最后是对数据进行分类,按照对应的工序和班组实现分类保存。

3)数据分析展示层:将数据按照不同的工作班组进行统计,直接饼图和曲线图以及柱状图的展示,能够实现数据的同比和环比以及类比分析,为煤矿企业的能耗进行有效统计。

以三层 B/S 监测结构获取设备的运行数据,分别对皮带机、压力机以及水站系统的数据进行采集,并另外设置能耗指标,当数据超过限值时发出预警信号,实现设备的综合能耗动态监测。

4 免疫多 Agent 技术动态监控煤矿综合能耗

Agent 技术可以通过感知环境做出相应的动作,并应用不同的知识对目标进行求解,具有交互性和交流协商性。因此,以免疫多 Agent 技术为基础构建慎思型模型,对煤矿内设备的综合能耗历史数据进行分析,设计一个监测限值,将其作为判断依据,实现不同机组在不同时段内的数据监测。具体模型见图 4。

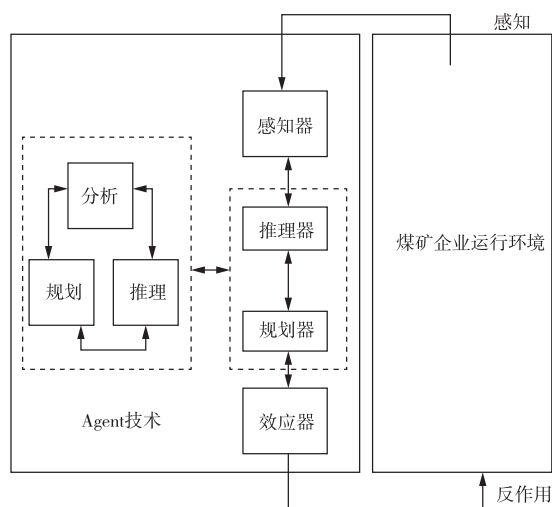


图 4 基于免疫多 Agent 技术的慎思型模型结构

Fig. 4 The structure of the deliberative model based on immune multi-agent technology

如图 4 所示,在该模型中具有感知器、推理器和规划器以及效应器,通过感知器对煤矿内的运行环境进行信息感知,再经由推理器和规划器进行分析、推理以及规划,整个过程需要在 Agent 知识库的支持下进行,处理完毕后会形成指示命令,将其作为依据,通过效应器作用于煤矿设备运行环境之中,形成一个闭环。其学习过程如下:

$$g(h, j) = k(h, j) + \beta \sum_{h \in l} z(h, j, h'') \max_j g(h'', j) \quad (7)$$

式中: $g(\cdot)$ 为多 Agent 技术模型的学习函数; β 为学习的折扣因子; $k(\cdot)$ 为收敛函数; $g(h, j)$ 为 Agent 在 h 状态下执行动作 j 获取的最优奖赏折扣和; l 为动作集合; h'' 为执行结果; $z(\cdot)$ 为更新函数。根据学习函数能够动态化规划交互过程,以此对煤矿内的运行设备进行增量式跟踪,设定其学习效率: $g_{z+1}(h, j) = (1 - j)g_z(h, j) + j[\beta_z + \beta \max g(h'', j)]$ (8)

式中: z 为更新次数。在每次更新中对每一个 Agent 行为进行考察,在每一次学习过程中均可以保证为最佳状态。在执行完感知动作后,能够对学习值和结果进行观察和记录。将最大的结果作为判断指标,以此对采集到的数据进行对比,实现动态的监测。

5 试验测试分析

为验证新方法的应用效果,采用对比测试方法完成论证。分别采用基于无线传感器的动态监控方法和基于智能设备的监控方法作为对照组,验证不同方法的监控效果。

5.1 获取煤矿设备运行数据

为保证此次测试的真实性,以某省效益较好的煤矿企业作为测试对象,对其中运行的多组设备进行数据统计。设定采集间隔为 1 h,分别采集皮带机、水站以及绞车的运行数据,以运行功率为测试数据,具体结果见表 1。

表 1 设备运行功率数据

运行时间	皮带机	水站	绞车
8 : 00	1.0	1.1	0.8
9 : 00	1.2	1.6	0.9
10 : 00	1.4	1.7	1.1
11 : 00	1.5	2.0	1.1
12 : 00	1.8	2.0	1.3
13 : 00	1.9	2.1	1.5
14 : 00	2.1	2.1	1.7
15 : 00	1.6	2.1	1.7
16 : 00	1.1	1.5	1.5
17 : 00	1.0	1.4	1.4
18 : 00	0.9	1.3	1.4

此次对三组高耗能设备作为测试对象,分别对其一天内的运行功率进行采集,通过表 1 数据可知,水站的运行功率最大,而绞车的运行功率较低。为实现不同设备的能耗监控,分别将上述数据上传至 MATLAB 测试平台,并连接三组监控方

法，验证不同方法的应用效果。

5.2 近距离设定下监控效果

将监控节点安置在较近距离，分别设置皮带机、水站以及绞车监测节点距离为 30、50 和 80 m，结果如图 5 所示。

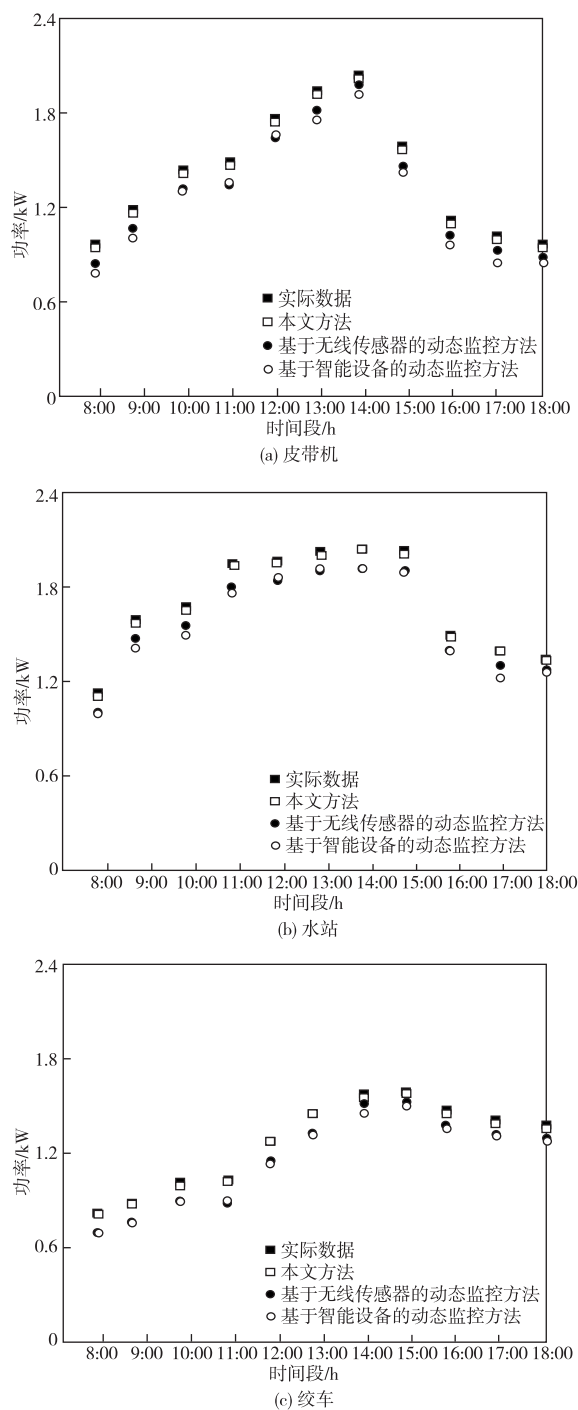


图 5 监控结果

Fig. 5 Monitoring results

如图 5 所示，在本文方法应用下可以实现各组设备的近距离监控，且得到的数据与实际值相一

致，而两组传统方法会产生一定误差，说明本文方法更加有效。

5.3 远距离设定下监控效果

上一组测试结果能够证明本文方法的近距离监控效果，为进一步验证本文方法的应用价值，以远距离监控为测试条件，分别将皮带机、水站以及绞车监测节点，设置在 150、200、250 m 处，结果见图 6。

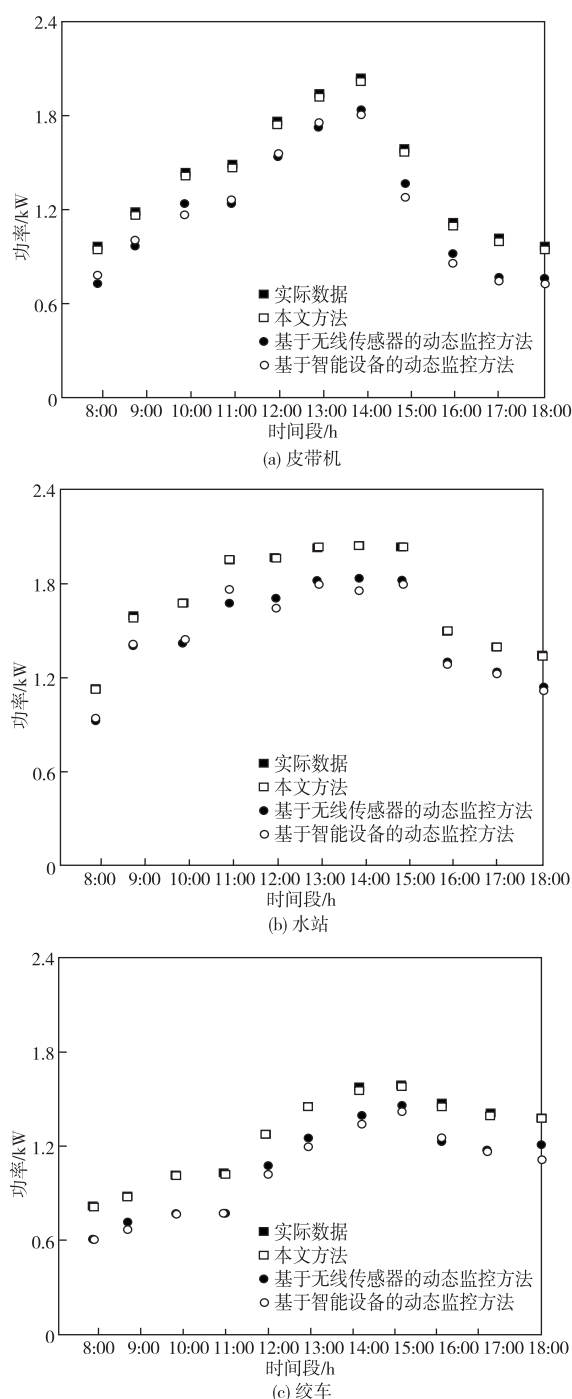


图 6 监控结果

Fig. 6 Monitoring results

如图 6 所示, 在远距离条件下对本文方法的监控结果影响较小, 对两组传统方法的影响较大, 会产生更大的数据误差, 综合结果表明, 本文方法更加有效。

6 结束语

能耗管理系统能够为煤炭企业的节能降耗提供重要决策, 并促进企业的整体水平提升, 在有效管理煤矿综合能耗的过程中, 也能够有效落实国家绿色低碳发展理念, 逐步实现能耗总量和强度的“双控”目标。本文以此为基础, 通过 Agent 技术设计了新的监控方法, 并在试验论证的基础上验证了新方法的有效性, 具有现实应用价值。但由于此次时间有限, 在研究中仍存在不足之处, 如对缺失数据的插补过程没有详细说明, 后续研究中会针对这一方面进行改进, 为煤矿运行提供更具体的理论支持。

参考文献

- [1] 夏琪琪, 杨惠珍, 王越. 基于信息熵的多 Agent 协同观测轨迹优化方法[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(8): 92-97.
XIA Q Q, YANG H Z, WANG Yue. Information-entropy-based optimization method research of collaborative observation trajectory for multiple Agents [J]. Fire Control & Command Control, 2022, 47(8): 92-97.
- [2] 李峻森, 方依宁, 张云安, 等. 面向任务的装备保障体系多 Agent 建模与评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45(1): 279-290.
LI J S, FANG Y N, ZHANG Y A, et al. Multi-agent modeling and evaluation method for mission-oriented equipment support SoS[J]. Systems Engineering and Electronics, 2023, 45(1): 279-290.
- [3] 赵莉, 李君茹. 基于多 Agent 技术的云计算任务分解方法研究[J]. 南京理工大学学报, 2022, 46(3): 298-303.
ZHAO L, LI J R. Cloud computing task decomposition method based on multi-agent technology [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2022, 46(3): 298-303.
- [4] 杨晓东, 高强, 吴宇鹏. 基于无线动态监测传感器的矿山压力监控系统研究及应用[J]. 中国煤炭, 2022, 48(增刊 1): 33-37.
YANG X D, GAO Q, WU Y P. Research and application of mine pressure monitoring technology based on wireless dynamic monitoring sensor [J]. China Coal, 2022, 48(Sup. 1): 33-37.
- [5] 韩建萍. 煤矿井下无人值守变电所远程智能监控系统升级改造[J]. 煤炭工程, 2022, 54(10): 90-94.
HAN J P. Upgrading and transformation of remote intelligent monitoring system of unattended substation in coal mine [J]. Coal Engineering, 2022, 54(10): 90-94.
- [6] 王莉, 刘致君, 李磊, 等. 注意力分配方式对煤矿安全监控行为影响的眼动研究[J]. 煤矿安全, 2022, 53(3): 243-248.
WANG L, LIU Z J, LI L, et al. Eye movement research on influence of attention distribution on coal mine safety monitoring behavior [J]. Safety in Coal Mines, 2022, 53(3): 243-248.
- [7] 辛凤阳, 王忠鑫, 田凤亮, 等. 基于 BS 架构的露天矿连续工艺一体化管控平台设计与实现[J]. 金属矿山, 2021(12): 177-182.
XIN F Y, WANG Z X, TIAN F L, et al. Design and implementation of integrated management and control platform for open pit continuous process based on BS architecture [J]. Metal Mine, 2021(12): 177-182.
- [8] 陈洋, 王伟. 采空区自燃火灾预报方法与监测新技术[J]. 煤矿安全, 2021, 52(8): 118-122.
CHEN Y, WANG W. Prediction method and new monitoring technology of goaf spontaneous combustion fire [J]. Safety in Coal Mines, 2021, 52(8): 118-122.
- [9] 陈清. 基于国产化的煤矿安全监控系统联网平台设计[J]. 工矿自动化, 2021, 47(8): 115-120.
CHEN Q. Design of networking platform for coal mine safety monitoring system based on localization [J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(8): 115-120.
- [10] 陈仁祥, 周君, 胡小林, 等. 多 Agent 深度 Q 学习和模糊积分的行星齿轮箱故障诊断[J]. 振动与冲击, 2021, 40(11): 147-153.
CHEN R X, ZHOU J, HU X L, et al. Fault diagnosis of planetary gearbox based on multi-Agent deep Q-learning and fuzzy integral [J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(11): 147-153.
- [11] 任秋兵, 李明超, 沈扬, 等. 耦合时空相关特性的大坝变形动态监控模型[J]. 水力发电学报, 2021, 40(10): 160-172.
REN Q B, LI M C, SHEN Y, et al. Dynamic monitoring model for dam deformation with spatiotemporal coupling correlation characteristics [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2021, 40(10): 160-172.

- CAO Y. Basic research on the application of decompression and activation of fine-grained cassiterite flotation under reduction system [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2022.
- [16] 莫峰, 谢贤, 童雄, 等. 高效抑制剂在微细粒锡石浮选工艺中的试验研究[J]. 矿冶, 2021, 30(4): 41-46.
- MO F, XIE X, TONG X, et al. Experimental study on high efficiency inhibitor in fine-grained cassiterite flotation process [J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(4): 41-46.
- [17] 王明燕, 肖仪武, 刘娟. 砷的赋存状态对云南某银铅锌多金属矿选矿的影响[J]. 有色金属工程, 2023, 13(1): 81-85.
- WANG M Y, XIAO Y W, LIU J. Effect of arsenic occurrence state on beneficiation of silver-lead-zinc polymetallic ore in Yunnan[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2023, 13(1): 81-85.
- [18] ZHANG M, CHEN F F, YAN G Y, et al. The distribution regularity and flotation study of niobium-bearing minerals in Baiyun Obo[J]. Minerals, 2023, 13(3), 1-16.
- [19] XU C L, ZHONG C B, LYU R L, et al. Process mineralogy of Weishan rare earth ore by MLA [J]. Journal of Rare Earths, 2018, 37(3), 334-338.
- [20] 张小普, 艾光华, 严华山. 磁黄铁矿选矿研究进展与发展趋势[J]. 矿产综合利用, 2022(5): 102-107.
- ZHANG X P, AI G H, YAN H S. Research progress and development trend of pyrrhotite beneficiation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(5): 102-107.
- (编辑: 王爱平)

(上接第 120 页)

- [12] 赵小强, 牟森. 基于 GSFA-GNPE 的动态-静态联合指标间歇过程监控[J]. 上海交通大学学报, 2021, 55(11): 1417-1428.
- ZHAO X Q, MOU M. Batch process monitoring with dynamic-static joint indicator based on GSFA-GNPE[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2021, 55(11): 1417-1428.
- [13] 伍晓泉, 胡春潮, 孙毅. 基于多 Agent 的多源水电微网负荷平衡控制方法[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(1): 97-103, 111.
- WU X Q, HU C C, SUN Y. A load balance control method of multi-source hydropower micro grid based on multi-Agent [J]. Power System and Clean Energy, 2021, 37(1): 97-103, 111.
- [14] 张瑾玉, 夏晨辉, 谷政. 基于 agent 的多重社会网络中破产传染模型研究[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(6): 1709-1717.
- ZHANG J Y, XIA C H, GU Z. Research of bankruptcy contagion model in multiplex network based on multiagent [J]. Application Research of Computers, 2021, 38(6): 1709-1717.
- [15] 伍京华, 吴学桥. 基于 Agent 的改进贴近度的多属性评价模型[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(5): 65-70.
- WU J H, WU X Q. Multi-attribute evaluation model based on improved closeness of Agent [J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(5): 65-70.
- (编辑: 王爱平)