DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)07-0175-05

基于 IMS 平台的实时负荷优化调度智能火电技术研究

姜天培[1], 林周勇[1], 易秉恒[1], 康孝种[1], 许文顺[1], 柯一鸿[1], 张 原[2], 张爱福[2]

(1. 国能(泉州)热电有限公司,福建 泉州 362804; 2. 国能信控互联技术有限公司,北京 100120)

摘 要:火电机组在参与电网深度调峰时,负荷频繁变动,锅炉燃烧状态响应滞后,难以快速跟随负荷动态变化,易造成燃烧过程不完全,导致机组飞灰含碳量分数升高,降低机组的整体运行效果。为此,提出基于 IMS 平台的实时负荷优化调度智能火电技术研究。在火电机组控制单元中接入 IMS 平台,实时采集机组运行数据,计算锅炉正平衡效率、散热损失、热耗率等关键参数,解析煤耗特性;通过构建传递函数分析过热器在负荷变动时的热平衡关系,并将其作为约束条件,进而实现实时负荷优化调度下运行参数的自适应寻优。仿真测试结果表明,所提方法的飞灰含碳质量分数均低于 10%,优于对比方法。该技术能够有效降低飞灰含碳量,提高火电机组运行效率,改善机组运行经济性与环保性,具有实际应用价值。

关键词:智能火电技术;实时负荷优化调度;IMS 平台;火电负荷调度;火电技术;负荷调度

中图分类号: TM73;TP273 **文献标志码**: A **文章编号**: 1003-7241(2026)07-0175-05

Research on intelligent thermal power technology for real time load optimization and scheduling based on IMS platform

Jiang Tianpei[1], Lin Zhouyong[1], Yi Bingheng[1], Kang Xiaozhong[1], Xu Wenshun[1], Ke Yihong[1], Zhang Yuan[2], Zhang Aifu[2]

(1. CHN Energy (Quanzhou) Thermal Power Co., Ltd., Quanzhou 362804, Fujian, China;
2. CHN Energy Information Control Interconnection Technology Co., Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract: When thermal power units participate in deep peak regulation of the power grid, the load changes frequently, causing a lag in the boiler combustion state response. This makes it difficult to quickly follow the dynamic load variations, easily leading to incomplete combustion, which increases the carbon content of fly ash and reduces the overall operational efficiency of the unit. To address this problem, an intelligent thermal power technology based on the IMS platform for realtime load optimization scheduling is proposed. The IMS platform is integrated into the control unit of the thermal power unit to collect real-time operating data, calculate key parameters such as the positive-balance efficiency of the boiler, heat dissipation loss, and heat consumption rate, and analyze the coal consumption characteristics. A transfer function is constructed to analyze the heat balance relationship of the superheater under load variations, which is then used as a constraint to achieve adaptive optimization of operating parameters under real-time load optimization scheduling. Simulation test results show that the carbon content of fly ash using the proposed method is consistently below 10%, which is better than that of the compared methods. This technology can effectively reduce the carbon content of fly ash, improve the operational efficiency of thermal power units, enhance the economic and environmental performance of the units, and has practical application value.

Keywords: intelligent thermal power technology; real time load optimization scheduling; IMS platform; thermal power load dispatch; thermal power technology; load dispatch

在当前能源需求持续增长、电力市场日趋复杂的背景下,通过智能化手段,实现对火电发电厂实时负荷的高效、精准调度,能够在一定程度上确保电力系统稳定可靠运行[1-2]。此外,火电的智能化运行还能有效降低能源消耗和运营成本,提升电力市场的竞争力,并推动电力行业的可持续发展。在这样的情况下,领域内对于火电技术有着广泛的研究,很多研究人员提出了火电负荷调度方法。

文献[3]提出了基于等微增率的火电负荷调度方法。在不考虑火电机组上下界物理约束的情况下,对火电机组的负荷进行等微增率下的重分配,实现相应的调度过程。但该方法在处理多源电力供应时,往往无法充分考虑到各种能源之间的互补性和替代性,从而影响了火电的运行效率。文献[4]提出热再特征面积的概念以及对变负荷工况能耗计算的修正方法。基于热再特征面积的修正方法

收稿日期:2024-11-28;**录用日期**:2024-12-30

基金项目:国家电网科技项目资助项目(SGGSPX00HLWJS2200097)

作者简介:姜天培(1971—),男,高级工程师,研究方向为智慧电厂。

引用本文:姜天培, 林周勇, 易秉恒, 等. 基于 IMS 平台的实时负荷优化调度智能火电技术研究[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(7):175-179. (Jiang Tianpei, Lin Zhouyong, Yi Bingheng, et al. Research on intelligent thermal power technology for real time load optimization and scheduling based on IMS platform[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(7):175-179.)

在能耗实测、深度调峰、滑压优化等试验项目中进行了应用,提高了火电机组采用水侧流量 DCS 数据进行能耗计算的试验精度。但火电机组在变负荷工况下运行时,水侧流量 DCS 数据的测量精度受到限制,影响能耗计算的准确性。文献[5]提出了基于聚类的火电负荷调度方法。定义火电机组在高、低两种负荷状态下的分配目标。通过 k 均值聚类算法的处理解析火电煤耗特性,并利用增量分配等方法完成负荷调度过程。但火电负荷数据中可能存在噪声和异常值,这些值可能会对聚类结果产生负面影响,从而降低了火电机组的运行状态。文献[6]提出了基于 AGC 负荷指令优化分解的火电负荷调度方法。改进传统的 AGC 指令分解方法。通过分级指令控制火电机组的凝结水节流参数,在增率范围内实现火电机组负荷的调度控制。但该方法缺乏根据火电机组实际运行情况和机组性能进行自适应调整的能力,导致在某些特殊情况下,该方法无法提供有效的应对措施。文献[7]提出了基于负荷预测的火电负荷调度方法。采用基于树的机器学习算法构建相应的负荷回归预测模型,利用该模型预测火电的负荷需求。结合火电机组飞轮系统的实时电荷状态,以最小化调节速率为目标,实现火电的负荷调度。但该方法通常基于对历史数据的分析和预测,在实际应用中,该方法对于突发事件这些因素的响应能力有限。

综上所述,尽管国内外学者和相关工作者在火电负荷调度方法的研究上已经取得了一定的成果,但各种方法在面对复杂多变的火电负荷调度环境时,都展现出了一定的局限性。因此,需要持续深化研究,进一步研究火电负荷调度方法。本研究在结合 IMS 平台基础上,提出了一种实时负荷优化调度智能火电技术。该项技术通过 IMS 平台的应用获取实时的火电机组运行状态数据,从而通过数据的分析与计算,实现实时负荷优化调度智能火电技术的设计。

1 实时负荷优化调度技术

1.1 基于 IMS 解析火电煤耗特性

为了实现火电技术的智能化,本研究在火电机组的控制单元中引入了 IMS 平台架构。通过 IMS 平台采集火电机组的实时运行数据,并以此解析相应的火电煤耗特性。

本研究采用 SIP 服务器作为 IMS 平台的核心服务器,结合互通网关的架设实现与火电机组控制单元的连接。具体的平台数据交互结构如图 1 所示[8-9]。

如图 1 所示,本研究将互通网关作为 IMS 平台与火电机组之间的协议转换器。在数据流的传输过程中,将火电机组的运行数据转换为 PLAY 字段,从而在相关人员的客户端中进行数据可视化。定义该架构下 IMS 平台 SIP 服务器的协议栈,如表 1 所示[10]。

通过上述构建的 IMS 平台采集火电机组的实时运行数据。在此基础上,本研究解析了火电机组的实时煤耗特性。定义火电机组的燃料消耗量与发电功率之间的关系为机组的煤耗特性[11]。基于这一定义,计算火电机组锅炉单元的正平衡效率,如式(1)所示。

$$\eta_a = \frac{Q_0}{BQ_r} \tag{1}$$

式中,a 表示火电机组的锅炉单元,η_a 表示相应的正平衡效率,Q_0 表示有效吸热量,B 表示单位时间内的煤耗量,Q_r 表示燃料的发热量。

本研究考虑到火电机组在运行的过程中将由于蒸发的原因产生一定的散热损失,基于此,对火电机组的实际散热损失进行定量计算。具体的计算方法如式(2)所示。

$$q = q_0 \times \frac{D_0}{Q_0 \cdot w} \tag{2}$$

式中,q 表示火电机组实际散热损失,q_0 表示额定散热损失,D_0 表示火电机组锅炉单元的额定蒸发量,w 表示灰渣物理显热损失。

基于这一参数,计算火电机组相应的热耗率,如式(3)所示[12]。

$$\delta = \frac{D_0 h_0 + H}{q \cdot P} \tag{3}$$

式中,δ 表示热耗率,h_0 表示火电机组的实时给水流量,P 表示发电机功率,H 表示焓值。

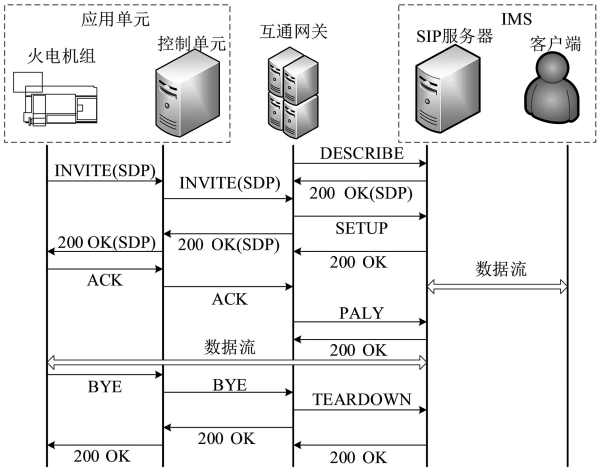


图 1 IMS 平台架构

Fig. 1 IMS platform architecture

表 1 IMS 平台 SIP 服务器协议栈

Tab. 1 SIP server protocol stack of IMS platform

项目	配置	大小
VOCAL	Few	6 MB
ReSIProcate	Few	<2.5 MB
o SIP	YES	400 kB
OPAL	None	8 MB
sipX	None	<4 MB

通过上述参数的计算,解析火电机组的煤耗特性。求解方法如式(4)所示。

$$F = \frac{Q_b(P + \Delta P)}{\alpha R} \tag{4}$$

式中，F 表示火电机组煤耗特性，Q_b 表示标准煤发热量，ΔP 表示机组发电机功率的波动值，R 表示排烟焓，α 表示机组排烟处的过量空气系数。

通过上述步骤，完成基于 IMS 平台的火电机组煤耗特性实时解析过程。

1.2 过热器负荷热平衡关系

为了保证火电机组在运行过程中的安全性，本研究针对火电机组的过热器单元在负荷变化时的动态特性进行了解析，并以此构建相应的热平衡关系。

构建负荷变化对火电机组内部气温影响的传递函数，相应的函数表达式如式(5)所示[13]。

$$W(s)=\frac{K}{1+Ts}\mathrm{e}^{-\tau s} \tag{5}$$

式中，s 表示火电机组负荷，$W(s)$ 表示传递函数，K 表示负荷变化的放大系数，T 表示时间常数，e 表示自然常数，τ 表示负荷变化对内部气温影响的滞后时间。

通过对该函数的求解，得到火电机组过热器在负荷变化影响下的动态特性曲线，如图 2 所示。

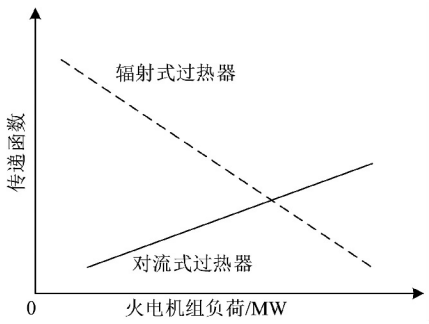


图 2 火电机组过热器动态特性

Fig. 2 Dynamic characteristics of superheater in thermal power unit

如图 2 所示，在火电机组的实际应用中，主要应用中的过热器包含对流式以及辐射式两种类型[14]。本研究以两者的平衡点定义火电机组过热器的热平衡关系，如式(6)所示。

$$\begin{cases} A=KF(\theta_s-\theta_1) \\ A-A_1=cM\dfrac{\theta_1}{t} \\ A_1=kF(\theta_1-\theta_2) \\ A_1=dD_0\dfrac{\theta_2}{t} \end{cases} \tag{6}$$

式中，A 表示烟气通过过热器管壁过程中的放热量，A_1 表示烟气放热扰动量，θ_s 表示负荷变化下的过热器出口温度，θ_1 表示蒸汽温度，c 表示过热器管道长度，M 表示传热面积，t 表示火电机组运行时间，k 表示蒸汽比热，θ_2 表示减温器的减温温度，d 表示蒸汽流量。

通过上述步骤，完成了对火电机组过热器在负荷变化下的热平衡关系的分析。

1.3 智能火电的实时负荷优化调度

结合上述步骤分析的煤耗特性，在过热器热平衡关系的约束下，设计相应的实时负荷优化调度的智能火电技术。

求解火电机组的实时负荷优化调度的运行状态参数，其表达式如式(7)所示[15-16]。

$$U=N\sum_{t=1}^{T}\sum_{t=1}^{N}\begin{bmatrix}U_1\\U_2\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\hat{p}\\\hat{T}\\\hat{P}\end{bmatrix} \tag{7}$$

式中，U 表示火电机组运行状态参数，N 表示火电机组中的高压汽轮机数量，U_1 表示火电机组处于运行状态，U_2 表示火电机组处于停机状态，$\hat{p}$ 表示压力优化参数，$\hat{T}$ 表示温度优化参数，$\hat{P}$ 表示负荷优化参数。

在式(7)的基础上，添加煤耗特性的影响以及热平衡关系约束，求解最优状态参数，如式(8)所示。

$$\hat{U}=\sum_{t=1}^{T}F\sum_{t=1}^{N}U,\ \text{s.t.}\ (A,A_1) \tag{8}$$

式中，$\hat{U}$ 表示火电机组的最优状态参数。

通过上述步骤，完成基于 IMS 平台的实时负荷优化调度智能火电技术的设计研究。

2 智能火电技术应用测试

2.1 火电机组仿真

由于条件有限，本次实验采用模拟仿真的形式开展。

本次实验以某火电厂所建设的火电运行单元为依托，仿真构建本次实验的测试环境。该火电单元的结构如图 3 所示。

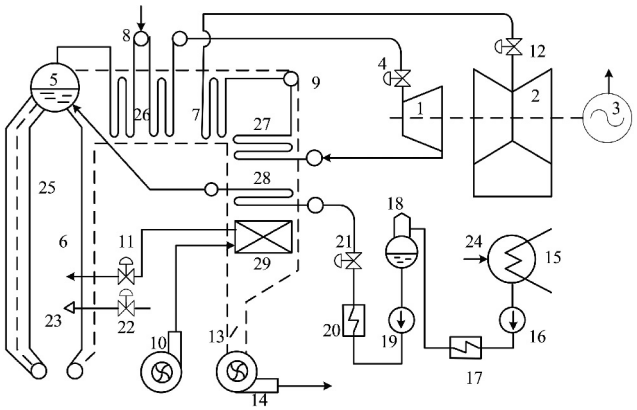


图 3 火电机组单元结构

Fig. 3 Unit structure of thermal power unit

在如图 3 所示的火电机组单元结构中，主要设备名称如表 2 所示。

在上述结构的火电机组单元下，构建本次实验的仿真测试环境。

2.2 智能火电技术应用测试

在仿真的火电机组运行环境下，对本文所提出的智能火电技术进行应用测试。

在火电机组的控制单元中接入本文技术的 IMS 架构，如图 4 所示。本研究通过以太网的连接作为智能火电技术的实现媒介。在此基础上，分析应用本文智能火电技术后，火电机组的运行状态。

表 2　火电设备名称

Tab. 2　Name of thermal power equipment

序号	名称
1	高压汽轮机
2	中、低压汽轮机
3	发电机
4	高压汽机调门
5	汽包
6	炉膛
7	烟道
8	过热器喷水减温器
9	再热器喷水减温器
10	送风门
11	调风门
12	中、低压汽机调气门
13	烟道挡板
14	引风机
15	冷凝器
16	凝结水泵
17	低压加热器
18	除氧器
19	给水泵
20	高压加热器
21	给水调节机构
22	燃烧量控制机构
23	喷燃器
24	补充水
25	水冷壁管
26	过热器
27	再热器
28	省煤器
29	空气预热器

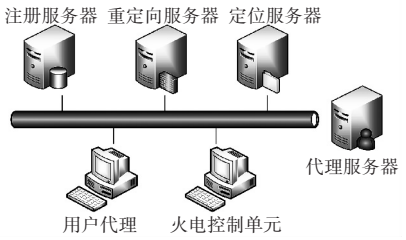


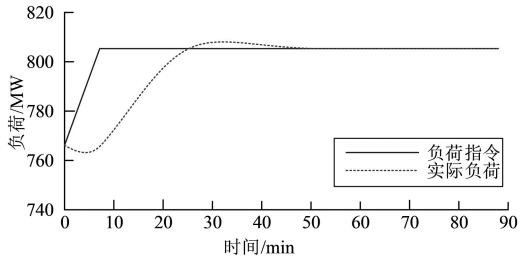
图 4　IMS 接入架构

Fig. 4　IMS access architecture

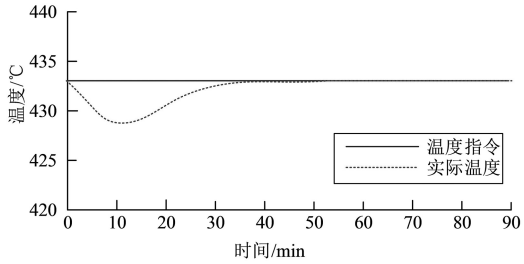
考虑到火电机组在实际应用中受到多种因素的影响，往往难以以定压的方式运行。基于此，测试火电机组运行方式在连续状态时，本文所提技术的应用性能。具体的火电机组连续变化状态为：升负荷 10%一段时间后再次升负荷 5%，最后降负荷 40%。在此状态下，本文所提技术的应用结果如图 5 所示。

由图 5 可见，在定压方式运行工况下，本文技术根据实时的负荷需求，为火电机组的运行状态参数生成相应的控制指令。在指令的智能控制下，火电机组的负荷、温度以及压力参数均趋于稳定。在此情况下，进行相应的负荷优化调度，结果如图 6 所示。

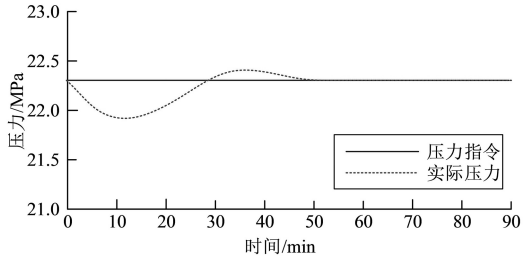
由图 6 可见，在本文所提技术的应用下，火电机组的负荷调度结果中，热负荷与供热煤耗量呈现正相关的关系，说明负荷的调度结果较为平衡，调度分配合理。由此可见，本文所提出的智能火电技术具备实践应用可行性。



(a) 负荷指令与实际负荷响应曲线



(b) 温度指令与实际温度响应曲线



(c) 压力指令与实际压力响应曲线

图 5　定压方式的智能火电运行状态

Fig. 5　Intelligent thermal power operation state under constant pressure mode

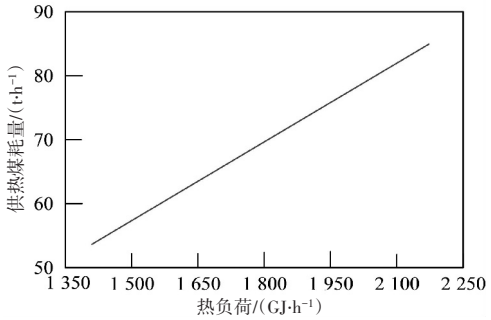


图 6　火电负荷曲线

Fig. 6　Thermal power load curve

2.3　性能对比分析

为了进一步验证本文所提技术在实践中的应用性能，分别以文献[5-7]所提方法作为对比方法，对本文所提技术的实际应用性能进行对比分析。

经过时长为 35 h 的仿真测试后，各方法的应用结果如图 7 所示。

在本次测试中，设置了火电机组的长时间运行环境。由此得到各方法的应用性能结果。由图 7 可知，与其他方法相比，在本文技术应用下，火电机组在运行过程中所产生的飞灰的含碳量最低，有着较大幅度的改善。这一结果

说明本文所提技术能够通过智能调节运行参数实现火电机组的高质量运行,始终保持较高的燃烧效率,煤炭得到了更充分的利用。

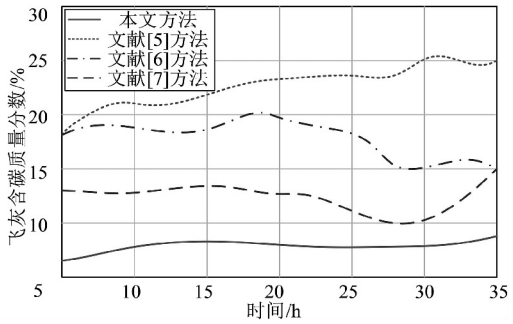


图 7　性能对比分析

Fig. 7　Performance comparison analysis

根据对比实验结果可以判断本文所提出的智能火电技术在实际应用中效果良好,有助于改善火电机组的运行状态,意味着污染物的排放量会相应减少,有利于环保。

3　结论

本文面向火电应用领域的实际需求,提出了基于 IMS 平台的实时负荷优化调度智能火电技术的研究。尽管经过仿真测试验证本文研究内容在实际应用中的性能,但由于火电在实际应用中的复杂性,本文所提技术仍有待改进。当前很多火电厂采用了不同架构的管理网络,使得产生的负荷数据呈现出异构的形态这可能影响实时负荷数据的共享能力。基于此,在后续的研究工作中,还需针对这一不足进行改进和优化,从而进一步提高火电技术的应用性能水平,助力火电技术在电力系统中的大规模应用。

参考文献

[1]蔡佳辰, 李军, 高明, 等. 基于深度强化学习的火电机组制粉系统自启停智能决策[J]. 热力发电, 2024, 53 (3): 146-152.
[2]杨林, 徐有和, 张伟. 基于数据挖掘的发电厂烟气循环排放自动监测系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43 (3): 57-61.
[3]丁涛, 黄雨涵, 张洪基, 等. 基于等微增率并计及机组功率约束的火电机组最优负荷分配精确解[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44 (4): 1446-1460.
[4]李俊, 王异成, 蔡文方, 等. 热再特征面积在火电机组变负荷工况能耗试验的应用研究[J]. 汽轮机技术, 2023, 65(5): 382-386.
[5]任燕燕, 曹惠琳, 姜海岩, 等. 基于聚类的火电机组深度调峰负荷优化分配研究[J]. 热力发电, 2023, 52 (9): 48-57.
[6]赵征, 孙赫宇, 陈江丽. 基于 AGC 负荷指令优化分解的火电机组蓄能综合利用[J]. 动力工程学报, 2023, 43 (5): 575-581,589.
[7]魏乐, 苏少忻, 房方, 等. 基于负荷预测的飞轮-火电系统自动发电控制响应性能优化[J]. 热力发电, 2023, 52 (5): 92-99.
[8]胡国峰, 李勇, 曹一家, 等. 考虑多能负荷波动实时平衡的综合能源系统多时间尺度优化调度[J]. 电力自动化设备, 2024, 44 (5): 120-126.
[9]郑见云, 史耕金, 王佑, 等. 基于前馈增益调度的火电机组协调控制及应用[J]. 计算机仿真, 2023, 40 (11): 96-100,106.
[10]毛翠骥, 余雄江, 徐进良, 等. 耦合熔融盐储热的火电机组灵活调峰系统关键技术研究进展[J]. 热力发电, 2023, 52 (2): 10-22.
[11]李院霞, 梁栋, 杨晓茹, 等. 面向新能源接入的电网设备资源优化调度策略[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44 (9): 49-53,78.
[12]张虹, 孟庆尧, 王明晨, 等. 考虑火电机组参与绿证购买交易的含氢综合能源系统经济低碳调度策略[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51 (3): 26-35.
[13]丛若晨, 王骁, 王岩庆, 等. 考虑负荷变动运行风险的零碳微网经济优化调度[J]. 电子设计工程, 2024, 32(2):17-21,26.
[14]王佳惠, 牛玉广, 陈玥, 等. 计及火电深度调峰的高比例可再生能源电力系统日前优化调度研究[J]. 太阳能学报, 2023, 44 (1): 493-499.
[15]陈奥洁, 周云海, 石亮波, 等. 考虑需求响应和含储火电参与深度调峰的电力系统随机优化调度[J]. 科学技术与工程, 2023, 23 (3): 1087-1095.
[16]张元鹫, 邓长虹, 曹鹏, 等. 一种分时段多目标火电机组实时调度策略及可再生能源消纳能力评估[J]. 武汉大学学报(工学版), 2023, 56 (1): 63-70.

(上接第 40 页)

联网部分负责 PLC 控制双电机数据的云端存储与读取,实现远程精确控制步进轴同步跟随伺服轴运动的控制目的,系统运行稳定,控制精度高,有效达到设计目的。

参考文献

[1]王钰. 基于 PLC 设计伺服轴和步进轴的同步跟随运动系统[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(9):115-116.
[2]黄晓伟, 宋黎菁. 高速状态下伺服随动控制系统设计与实践[J]. 价值工程, 2020, 39(4):220-223. .
[3]张浩林. 多轴运动控制系统设计研究[D]. 武汉:武汉纺织大学, 2023.
[4]黄坤. 基于以太网的多轴运动控制系统设计与实现[D]. 杭州:浙江理工大学, 2022.
[5]王晓瑜, 赵军峰. 基于模糊 PID 双电机同步控制的 PLC 设计与实现[J]. 现代制造工程, 2020 (10):128-133.
[6]王晓瑜. 基于 PLC 与 HMI 的伺服电机运动控制系统设计与实现[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(7):31-34. .
[7]王晓瑜, 杨志超. 基于 S7-1200 PLC 与物联网的自动化仓库系统设计与实现[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(4):25-28.
[8]王晓瑜, 李嘉伟. 基于物联网与 PLC 的高炉槽下液压站控制系统试验台设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2023(6):54-59.
[9]王建荣, 陈斌. 基于 PLC 的工业物联网云平台研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2022 (7):104-107.
[10]韩莅莉, 王婷, 辛天舒. 基于物联网技术的医院楼宇智能控制系统[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(6):103-106.
[11]张继伟. 基于 PLC 的数控机床电气设备电压稳态控制研究[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(6):46-49.
[12]王晓瑜, 阎宇威. 基于物联网与 PLC 的立体车库控制系统设计与实现[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(2):30-33, 108.
[13]王钰. 基于 PLC 设计的伺服轴和步进轴的同步跟随运动系统[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(9):115-116.
[14]魏振华, 符阳. 露天横移带式输送机履带车同步跟随技术研究[J]. 煤矿机电, 2022, 43(3):16-19.
[15]王文卉, 王成晖, 苏祥竣, 等. PLC 对多台伺服电机通信控制方案的设计与实现[J]. 机电信息, 2025 (10):10-13.