

# 火电机组加热器关键参数智能寻优指导系统开发

姜国辉,刘红铭,肖承明,付青俊,李清

(国能黄金埠发电有限公司,江西 余干 335101)

**摘要:**作为火电厂回热系统关键辅助设备,加热器对确保火电机组的安全性和经济性起着至关重要作用。围绕现有加热器系统在水位和端差等关键参数的控制上存在效率低下、过分依赖经验以及在未知工况下的适应性不足等问题,文中结合大数据处理技术和长短期记忆神经网络,开发了一套基于浏览器/服务器架构的火电机组加热器智能寻优指导系统。该系统能够实现对加热器关键参数的实时在线监测、智能寻优以及提供优化指导建议,进而提升加热器水位控制的安全性和适应性,为发电企业进一步开展智慧电厂建设提供技术支撑。

**关键词:**火电机组;加热器;智能寻优;系统开发

**中图分类号:**TM 621.4 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)03-0055-05

## 0 引言

火电机组作为现代电力系统的重要组成部分,其运行效率和安全性直接关系到能源供应的稳定性和经济性。在火电机组众多辅助设备中,加热器作用尤为关键,它通过有效提高锅炉给水温度,优化整个机组的循环热效率,进而影响机组的煤耗水平和运行成本。加热器的性能受多种因素影响,其中水位和端差是两个至关重要的控制参数。水位的高低直接关系到加热器的传热效率和设备安全;端差大小则反映了加热器的换热性能,端差过大通常意味着换热不充分,这不仅降低了热效率,还可能增加煤耗,影响机组的经济运行。一直以来,这些参数的控制依赖于运行人员经验判断和手动调节,不仅效率低,而且在面对复杂多变工况时,难以保证控制的准确性和及时性。因此,对加热器关键参数进行智能寻优,对于及时改善加热器不合理的运行方式,提高火电机组热经济性具有重要意义。

加热器端差能够表征设备的传热效率,在一定程度上反映了机组的热经济性。加热器水位的恰当控制对于保障加热器的安全性能至关重要,它不仅决定了热量传递的效率,也是确保设备安全运行的关键因素。国内外诸多学者对此做出大量研究,李娟<sup>[1]</sup>等人利用热力系统矩阵方程的原理,针对各类加热器的特

性,成功推导出了一套用于评估加热器端差对发电机组功率增加量及吸热量影响的计算公式;阎顺林<sup>[2]</sup>等人依据热力系统的热平衡方程,开发出了一种通用的计算模型,用以分别评估上端差和下端差对机组燃煤消耗的影响;王富兴<sup>[3]</sup>等人则以小扰动理论为出发点,结合热力系统的热经济性基础方程,提出了一种在固定流量条件下,评估加热器端差对机组燃煤消耗影响的计算模型;庞占洲<sup>[4]</sup>等人基于最小二乘法,提出一种高压加热器水位改进前馈控制策略,该方法可有效减小机组运行在频繁波动性下的加热器水位偏差,但该方法在较大负荷时,动态过程调整时间较长;赵广辉<sup>[5]</sup>采用最小二乘回归分析筛选高加水位影响因素简约辨识建模问题,并使用果蝇算法对高加水位系统进行优化。上述研究详细分析了加热器端差对机组经济性的影响以及水位控制策略,但并未构建机组在多变工况时加热器水位和端差的理想值。李蔚<sup>[6]</sup>等人开发了火电机组能耗分析系统,能够实时监测并分析机组的运行参数并展示主要运行热力参数与理想值之间的偏差,以及这些偏差对整个电厂发电煤耗的具体影响;牟柯昱<sup>[7]</sup>利用NET Framework 4.5框架、SQL Server数据库以及EXA实时数据库技术,构建了一个厂级热电负荷优化调度平台;虞仕杰<sup>[8]</sup>等人开发了关于火电厂数据挖掘和关键目标寻优系统,通过分析稳定工况、运行参数聚类以及关键目标的对标寻优等方法,

收稿日期:2024-12-30

作者简介:姜国辉(1971),男,大专,工程师,从事电厂系统自动控制研究。

从历史工况数据中挖掘出有价值的信息;Y.J.Jeon<sup>[9]</sup>团队构建的汽轮机全工况仿真模型可精确模拟±20% 负荷波动特性;Piva<sup>[10]</sup>开发的模块化热力学仿真库通过参数封装技术可大幅提升建模效率。

针对上述问题,文中提出了一种火电机组加热器智能寻优指导系统。该系统采用浏览器/服务器(browser/server, B/S)架构,通过表述性状态转移 API(representational state transfer API, RESTful API)接口高效调用后端应用逻辑,构建了一个集数据监测、智能分析和决策支持于一体的智能寻优体系。该系统利用 WebSocket 协议,实时监听后端数据流和算法结果,动态展示客户端界面,为电厂运行人员提供科学的加热器操作指导建议。

## 1 加热器智能寻优系统设计

### 1.1 系统整体架构设计

本系统采用了 B/S 架构模式,在这种模式下,系统所有关键功能和处理能力都集中在服务器端,用户可以通过网络浏览器轻松访问这些功能,从而极大地优化了系统的开发流程、维护工作和用户操作体验。

本系统架构设计精心规划为四个层次:采集层、中间层、应用层和展示层。这种分层方法不仅提高了系统的可扩展性和模块化,也使得每一部分都可以独立更新和优化,而不会影响到其他部分。如图 1 所示,系统整体架构图清晰地展示了这四层结构的相互作用和数据流动。采集层可通过多种方式采集现场数据,中间层对这些数据进行处理和转换,应用层实现具体的业务功能和决策支持,最后展示层以可视化方式向用户展示信息和结果。

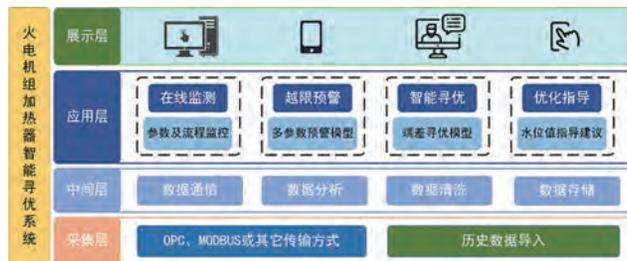


图1 系统整体架构图

这种分层架构的优势在于它提供了清晰的模块划分,使得系统的每一部分都可以独立开发和维护,同时保持了整体的协调性和一致性。通过这种设计,确保

了系统的高可用性、灵活性和未来的可扩展性,为用户提供了一个稳定、可靠且易于使用的操作环境。

### 1.2 系统逻辑结构设计

充分考虑电厂实际生产需求,本系统构建的逻辑结构设计如图 2 所示。系统涉及的参数分为两类:一次参数和二次参数。一次参数直接从电厂的核心生产控制系统,包括厂级监控信息系统(supervisory information system, SIS)和分散控制系统(distributed control system, DCS),通过数据采集软件实时获取,这些一次参数在本系统中将得到持续的监测和管理。

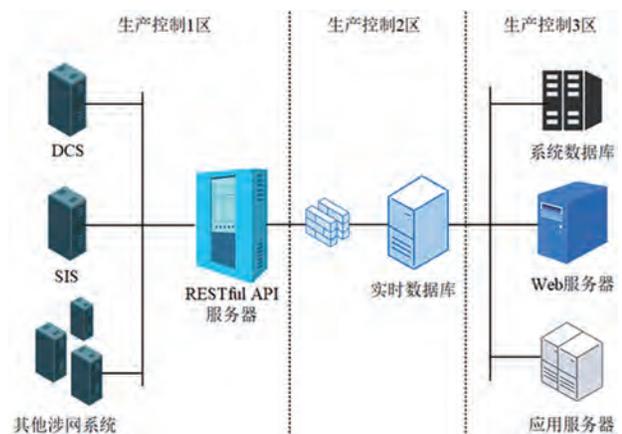


图2 系统逻辑结构设计

对于不能直接从 DCS 系统或 SIS 系统获得的二次参数,采取对一次参数进行深入的二次计算来生成这些参数。计算得到的二次参数与一次参数一起,被安全地存储在生产控制 2 区的实时数据库中,确保了数据的可访问性和实时性。

为了提升系统的易用性和维护性,系统软件的可视化平台部署在生产控制 3 区的 Web 服务器和应用服务器上。用户只需在同一网络环境下,通过访问服务器地址,即可方便地进入系统。此外,系统的后期维护工作也得到了极大的简化,仅需对服务器进行必要的更新和维护,显著降低了软件的维护成本和复杂性。通过这种设计,不仅提高了系统的运行效率和可靠性,也为用户提供了一个经济、易维护的解决方案,确保了电厂生产管理的现代化和智能化。

## 2 加热器智能寻优系统软件实现

### 2.1 数据采集

根据机组 DCS 系统和 SIS 系统的实际情况,通过

RESTful API 接口构建机组加热器侧主要输入/输出测点信息的数据采集系统。为满足数据交换需求,需建立数据库,将采集到的一次数据进行存储。系统采用 Tdengine 软件,在大数据存储、查询、分析和计算上有更强大的性能,同时具有可扩展性强、软件集成度高等优点。

## 2.2 系统关键技术

系统结合电厂实际生产需求进行开发,其中关键部分分别为应用开发设计、模型算法设计以及功能模块设计。

### 1) 应用开发关键技术

系统基于 B/S 架构,在应用层主要使用 RESTful API,调用不同业务功能模块,并采用目前最热门的 HTML5、WebSocket、Vue 等前端技术,通过 Web 界面展示给用户。系统前后端交互模式如图 3 所示。

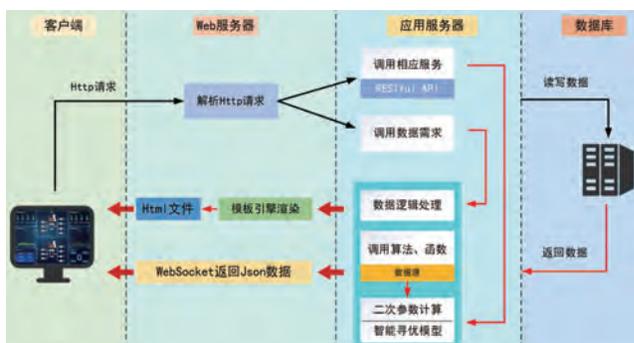


图3 系统前后端交互模式

(1) RESTful API 接口。RESTful API 是一种基于 REST 原则构建的网络应用程序接口,在 B/S 架构中,浏览器通过 Http 协议与服务器进行通信。在客户端处理 Http 请求后,调用应用服务器中的 RESTful API,以此执行对应的算法或函数,建立一种客户端和服务器之间结构化的数据交互模式。

(2) HTML5 网页技术规范。HTML5 是 HTML 的最新版本,它是一种用于创建网页和网页应用的标记语言。HTML5 在原先版本上引入了许多新的特性;新的结构元素使得网页结构更加清晰;提供更多的客户端存储选项,如 localStorage 和 sessionStorage; CSS3 和 JavaScript API 用于地理定位、拖放等,这些功能都使网页开发交互性更强。

(3) WebSocket 通信协议。WebSocket 是一种网络通信协议,提供了一个全双工通信渠道,通过一个单一的长期连接允许服务器主动向客户端发送消息。

WebSocket 协议的目的是解决传统 Http 协议的不足,如 Http 连接的无状态性和每次通信都需要建立连接的开销。

(4) Vue 框架。Vue 是一个用于构建用户界面的渐进式 JavaScript 框架,它具有以下特点:灵活性,响应式数据绑定,提供一个强大的组件系统,允许开发者构建可复用的组件,使得代码更加模块化和易于维护。

### 2) 智能寻优关键技术

火电机组回热系统所涵盖的相关参数众多,工况变化多样随机,系统内部机理复杂。在这种场景下建立智能寻优系统,需要满足以下关键技术要求:

(1) 数据预处理。在火电机组 DCS 或 SIS 系统采集到的原始数据不仅数据量巨大,同时还存在受噪声影响、不完整性、重复性等众多问题,因此数据预处理是后续工况划分和基于长短期记忆神经网络(long short-term memory, LSTM)进行端差建模的必要步骤。

(2) 工况划分。火电机组的工况划分是一种重要的数据分析方法,通过分析机组历史运行数据,使用模糊 C-均值聚类(fuzzy C-means, FCM)聚类算法等,将火电机组的运行状态划分成不同的区间,有助于对具体情形下的机组数据进行分析 and 计算,也有助于后续算法集成。

(3) 基于 LSTM 神经网络的端差寻优值建模。筛选典型工况,以加热器端差为目标,对相关参数进行灰色关联分析或相关性分析,得出加热器端差寻优相关参数。针对具体工况,对加热器端差寻优相关数据样本进行训练,建立端差寻优值模型。

(4) 基于最小二乘法的端差—水位模型。以端差寻优模型为基础,通过同工况实时数据端差寻优模型输入,端差作为模型输出,即可得到此时端差寻优值。基于历史数据样本,建立基于最小二乘法的端差-水位模型,通过端差寻优值,得到对应的水位寻优值。

(5) 历史标杆库。用于存储、迭代加热器端差、水位等寻优值结果,并基于实时寻优结果对库内历史寻优值进行迭代、更新。

### 3) 功能模块关键技术

系统功能模块的总体设计结合电厂实际生产需求,分为以下四个功能:在线监测模块、越限报警模块、智能寻优模块和优化指导模块。

(1) 在线监测模块。根据机组设备的运维特性,

梳理、筛选所有相关特征参数,通过机组DCS或SIS系统,实现远程数据采集和监视,建立设备联动机制,实现系统实时监测各参数变化;同时,通过流程图形式对加热器系统进行显示,建立加热器系统流程监控,流程规律特性监视包括监视各设备及辅机设备流程中的重要参数是否在正常范围内。

(2) 越限预警模块。可对在线监测模块中的实测越限数据提供异常报警功能。当实测值超过设定阈值时,便会推送紧急报警信息,提醒电厂运行人员机组发生故障。该模块可以实现不同参数分类、分系统等高级报警功能。

(3) 智能寻优模块。以火电机组加热器各相关参数为对象,以加热器端差为目标,通过深度学习算法及大数据挖掘技术,以火电机组经济性指标为目标函数,完成实时数据在各类典型工况下的自主寻优工作。

(4) 优化指导模块。以历史标杆库为依据,通过与实时参数建立工况对标,从而对同工况数据进行对比优化,引导运行人员调节设备参数,对于提高机组效率、调节机组最佳运行方式具有重要意义。

通过以上4个功能模块实现火电机组加热器智能寻优指导系统的数据监测、参数寻优和运行优化工作,进一步提升电厂智能化和数字化,降低电厂运维成本,提高生产效率,提升经济性,如图4所示,为系统功能模块架构图。

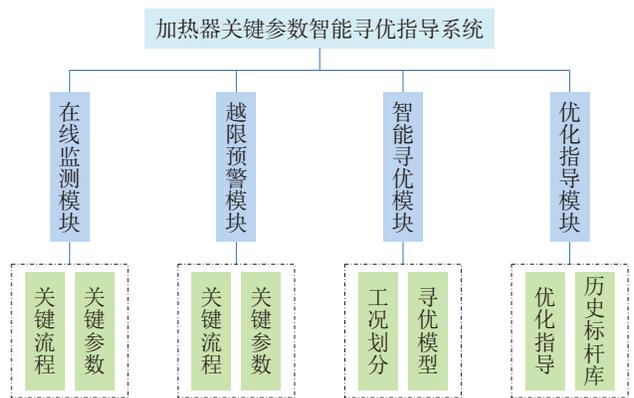


图4 系统功能模块图

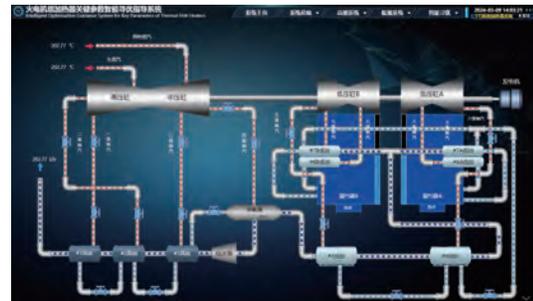
### 3 系统应用

火电机组加热器智能寻优指导系统界面如图5所示,主要包括系统主页、系统流程监控界面、智能

寻优指导界面等。系统主页能够实时查看机组运行状态,也展示了部分性能参数,如不同机组的负荷、主蒸汽压力、主蒸汽温度等;智能寻优部分展示了不同机组的高加水位实际值、寻优值等;系统流程监控界面显示加热器系统总体系统流程,对各个重要参数进行实时监测,并动态展示抽汽、疏水、给水、液位等画面;智能寻优指导界面分为两个功能模块,智能寻优模块能够展示各加热器水位实际值和寻优值;参数报警模块能够对加热器关键参数进行实时越限报警。



(a) 系统主页



(b) 系统流程监控界面



(c) 智能寻优指导界面

图5 火电机组加热器关键参数智能寻优系统

#### 3.1 应用效果

1) 流程监控可视化。通过图形界面实时展示加热器系统和相关设备的运行状态,使运行人员能够直观地了解整个生产流程。系统中突出显示关键参数并实时更新,确保运行人员可以迅速把握系统的核心运行状况,通过这种可视化手段,帮助运行人员识别

和理解流程中的规律性和异常模式,从而做出更加准确的判断。

2) 参数报警智能化。实时监控各参数,并与预设的安全阈值进行比较,一旦检测到参数越限,会立即触发报警,根据参数类型和系统模块进行分类报警,使得报警信息更加清晰、有针对性。报警通过声光信号或消息推送,迅速通知运行人员,及时提醒运行人员处理加热器不良运行状态。

3) 参数寻优智能化。利用深度学习算法和大数据技术,能够适应不同机组运行工况,自动寻找最优的加热器侧运行参数,为运行人员提供明确的指导建议。

### 3.2 应用价值

系统的应用价值主要为机组安全性和经济性提升;数据及算法关键技术模块化,可搭建应用平台扩展架构,确保系统数字化可扩展长远稳定使用;界面可视化,提升运行人员工作效率和质量。

1) 生产安全性提高。主动识别设备安全隐患并做出报警,基于2024年江西省某电厂3个月运行数据的测试结果,报警准确度在90%以上,可有效提升运行人员排查效率和效果。

2) 安全管理成本下降。智能化程度高,相较于电厂自身运维系统,可视化和系统集成度更高,节省电厂更多人力成本。

3) 机组经济性提高。通过优化机组加热器侧运行参数,提高能源利用效率,降低能耗,从而提高机组的经济性。

4) 可扩展性强。采用模块化的设计方法,将不同的功能如数据采集、报警处理、寻优算法等封装成独立的模块,便于后期管理和升级。

## 4 结语

在当今快速发展的能源行业,火电机组的智能化和自动化水平直接影响着其运行效率和经济性。文中研发的火电机组加热器关键参数智能寻优系统,通过集成先进的智能优化算法和大数据技术,实现了对加热器系统运行状态的实时监控、智能报警以及参数

寻优指导,显著提升了火电机组的运行安全性和经济性。

火电机组加热器智能寻优系统的设计采用了模块化方法,不仅增强了系统的可扩展性和可维护性,而且为未来技术升级和功能扩展提供了便利。通过可视化界面,系统将复杂的运行数据转化为直观的图形和参数,极大地提高了运行人员的工作效率和决策质量。

随着技术的不断进步和行业需求的增长,火电机组加热器智能寻优系统有望在提升能源利用效率、降低运营成本,以及推动能源行业的可持续发展方面发挥更大的作用。系统的研发和应用,不仅为火电行业提供了一个创新的解决方案,也为其他工业领域的智能化改造提供了宝贵的经验和启示。

### 参考文献:

- [1] 李娟,张春发.加热器端差对机组热经济性影响的改进计算模型[J].热力透平,2007,36(2):115-119.
- [2] 阎顺林,刘振刚,徐鸿,等.加热器上、下端差对机组煤耗影响的通用计算模型[J].热能动力工程,2008,23(2):161-164,216.
- [3] 王富兴,田松峰,麻东东,等.加热器端差对机组煤耗影响的简易计算[J].热力发电,2011,40(12):13-16.
- [4] 庞占洲,黄青岭,曹越,等.600 MW火电机组的高压加热器水位改进前馈控制策略研究[J].热能动力工程,2021,36(3):106-113.
- [5] 赵广辉.电厂高压加热器水位控制系统的智能优化方法[J].仪器仪表用户,2023,30(3):74-78.
- [6] 李蔚,任浩仁,盛德仁,等.300 MW火电机组在线能耗分析系统的研制[J].中国电机工程学报,2002,22(11):153-155.
- [7] 牟柯昱.基于数据挖掘的火电机组运行优化研究[D].南京:东南大学,2021.
- [8] 虞仕杰,蒋赢凯,尹贵豪,等.燃煤电厂大数据挖掘和关键目标寻优智能系统研究[J].浙江电力,2022,41(2):86-91.
- [9] J.Y.Shin, Y.J.Jeon. Analysis of the dynamic characteristics of a combined-cycle power plant[J]. Energy, 2002, 27(12): 1085-1098.
- [10] G.L.Morini, S Piva. The simulation of transients in thermal plant. Part I: mathematical model[J]. Applied Thermal Engineering, 2007, 26(11): 2138-2144.