

基于大数据的火电机组 DCS 控制系统优化研究

袁晓娟

达州兴川能源有限公司, 四川 达州 635000

DOI:10.61369/WCEST.2025100004

摘要 : 针对火电机组 DCS 控制系统存在控制策略适应性差、数据利用不充分、故障预警能力不足及能效优化单一等问题, 本文提出基于大数据分析的优化方案。构建“数据采集-预处理-分析-优化-反馈”闭环框架, 设计控制策略自适应、故障预警诊断、运行能效优化及闭环保障四大策略。通过聚类、机器学习等算法挖掘运行数据价值, 实现控制参数动态调整与最优工况匹配。实例验证表明, 该方案可显著提升控制品质、降低故障损失与煤耗率, 为火电机组智能高效运行提供有力支撑。

关键词 : 大数据分析; 火电机组; DCS 控制系统; 优化策略; 能效提升

Research on Optimization Strategy of DCS Control System for Thermal Power Unit Based on Big Data Analysis

Yuan Xiaojuan

Dazhou Xingchuan Power Co., Ltd., Dazhou, Sichuan 635000

Abstract : To address challenges in thermal power unit DCS control systems—including poor control strategy adaptability, inefficient data utilization, inadequate fault prediction capabilities, and limited energy efficiency optimization—this study proposes a big data–driven optimization framework. The proposed closed-loop system (data acquisition → preprocessing → analysis → optimization → feedback) integrates four core strategies: adaptive control policy design, fault diagnosis and prediction, operational efficiency optimization, and closed-loop assurance. By leveraging clustering and machine learning algorithms to extract operational data value, the system achieves dynamic control parameter adjustment and optimal condition matching. Case studies demonstrate that this solution significantly improves control performance, reduces operational losses and coal consumption rates, thereby providing robust support for intelligent and efficient thermal power unit operation.

Keywords : big data analysis; thermal power unit; DCS control system; optimization strategy; energy efficiency improvement

引言

火电机组作为电力系统的主要电源, DCS 控制系统运行好坏, 直接影响到供电的可靠性和能效。目前传统 DCS 控制依靠经验整定参数, 无法适应负荷大范围波动, 大量的运行数据没有被充分挖掘, 故障突发的风险大、煤耗率高, 本文以火电机组的实际运行情况为出发点, 研究大数据背景下的 DCS 优化策略与框架, 克服传统控制存在的局限问题, 使得火电机组可以顺利地走向高效率、安全和智能运行。

一、火电机组 DCS 控制系统运行现状与大数据应用基础

(一) DCS 控制系统运行现状

火电机组 DCS 控制系统主要由现场控制站、操作员站、工程师站、数据通信网络和输入输出模块等组成, 主要功能有锅炉燃烧控制、汽机调节控制、给水控制、烟气处理控制等。目前我国

火电机组 DCS 控制系统存在以下主要问题, 一是控制策略适应性差, 二是运行数据利用率低, 三是故障预警和诊断能力不足, 四是能效优化手段单一, 机组运行参数的调整大多依靠经验, 未通过数据关联分析找到最优运行工况点, 造成煤耗率偏高, 能耗损失较大^[1]。

(二) 大数据分析在 DCS 优化中的应用基础

火电机组 DCS 控制系统运行时产生的大量数据给大数据分析

作者简介: 袁晓娟 (1978.05-), 女, 汉族, 山西省运城市人, 大学本科学历, 工程师、高级技师、注册一级建造师、注册中级安全工程师, 研究方向: 火电热工自动化、电厂基建与调试、生产准备标准化、设备可靠性管理、新能源场站建设运行。

赋予了丰富的数据来源，这些数据可以分为三类，第一类是实时运行数据，比如锅炉出口主汽压力、主汽温度、汽机转速、发电机功率、烟气 NO_x 浓度、氧量等，数据更新频率为毫秒级；第二类是设备状态数据，比如泵、风机等辅机的振动值、轴承温度、电机电流等，反映设备的健康状况；第三类是环境和外部数据，比如环境温度、大气压、燃料煤质分析数据、电网负荷需求等。

大数据分析技术在 DCS 控制系统优化中的应用基础主要是数据采集与传输、数据存储与管理、数据分析与挖掘这三个部

分。数据采集与传输采用 DCS 系统原有传感器、变送器和通信网络，补充部分高精度传感器，确保数据采集的全面性、准确性，数据存储与管理采用分布式存储架构，如 Hadoop 分布式文件系统（HDFS），实现海量数据的安全存储和高效访问，数据分析与挖掘采用机器学习、深度学习、统计分析等算法，对数据进行清洗、转换、建模、分析，挖掘数据中隐藏的工况关联规律、故障特征、能效优化潜力，为 DCS 控制策略优化提供决策支持。

表1：火电机组 DCS 控制系统优化相关数据类型及应用信息表

数据类型	主要参数	数据更新频率	数据来源	应用场景
实时运行数据	主汽压力、主汽温度、汽机转速、发电机功率、烟气 NO _x 浓度、氧量	毫秒级	DCS 现场控制站、传感器、变送器	控制策略动态优化、实时工况监控
设备状态数据	辅机振动值、轴承温度、电机电流、阀门开度	秒级 - 分钟级	设备在线监测系统、DCS 输入模块	故障预警与诊断、设备健康管理
环境与外部数据	环境温度、大气压、煤质热值、电网负荷需求	分钟级 - 小时级	气象站、煤质分析系统、电网调度中心	负荷预测、燃料配比优化、运行计划制定

二、基于大数据分析的 DCS 控制系统优化框架

以大数据分析为基础的火电机组 DCS 控制系统优化框架，是以数据驱动为核心，创建出“数据采集 - 数据预处理 - 数据分析 - 控制优化 - 效果反馈”闭环体系的优化框架，把传统的经验驱动控制转变为数据驱动智能控制。该框架由数据层、分析层、优化层、应用层这四个层次组成，各个层次的功能互相衔接，形成一个完整的优化体系^[2]。

数据层为优化框架打下了基础，是实现各种数据采集、传输、存储的基础。利用 DCS 系统原有的通信网络以及新增加的传感器，对机组的实时运行数据、设备状态数据、环境及外部数据进行采集，使用 OPC UA 通信协议来完成不同设备之间数据的交互，确保数据传输的实时性、可靠性，采用 HDFS 分布式存储架构加时序数据库（InfluxDB）的方式对海量的实时数据和历史数据进行分类存储，为后续分析提供数据支持。

分析层是优化框架的核心，主要做数据的预处理以及深层次的分析。数据预处理包含数据清洗，数据集成，数据转换以及数据规约，清除异常数据，补齐缺失数据，统一数据格式来改善数据品质，深度分析采取统计分析，机器学习，深度学习等算法，塑造工况识别模型，参数预测模型，故障诊断模型以及能效优化模型，探寻数据里隐藏的重要信息，为控制优化提供决策依据。

优化层根据分析层分析的结果来达到 DCS 控制策略的动态优化、参数整定。根据工况识别的结果来实现自适应切换控制；按照参数预测模型来提前改变控制参数，防止工况出现波动；利用故障诊断的结果，改进安全保护控制逻辑，提高机组运行的安全性；根据能效优化模型，调节控制参数到最佳工况点，降低机组的能源消耗。

应用层会把优化层优化后的结果，应用到实际机组的运行当中，并且还会对优化效果实施实时监测并予以反馈。利用 DCS 系统工程师站将优化后的控制策略和参数下达到现场控制站，对机组运行进行精确控制；采集优化后的运行数据，同优化前的运行指标做对比分析，评价优化效果，若达不到预期目标，则反馈到分析层和优化层，二次优化，形成闭环控制。

三、基于大数据分析的 DCS 控制系统优化策略

（一）控制策略自适应优化策略

传统 PID 控制策略的适应性较差，采用大数据分析技术来构建工况识别、参数自整定的自适应控制策略，从而达到不同的工况下控制参数的实时优化调整^[3]。具体步骤如下：通过 DCS 系统采集机组历史运行数据，包括不同负荷、不同煤质、不同环境条件下机组的运行参数和控制参数，建立工况特征数据库；采用 K-means 聚类算法对工况特征数据进行聚类分析，划分出典型工况区间，低负荷工况（30% 到 50%BMCR）、中负荷工况（50% 到 80%BMCR）、高负荷工况（80% 到 100%BMCR），提取各个工况区间内的特征参数，主汽压力设定值、燃料量、给水量、风量等。同时，根据各个典型工况区间的历历史数据，用支持向量机（SVM）算法来建立工况识别模型；在运行时输入当前机组运行参数到模型中进行识别；再采用粒子群优化（PSO）算法对各个工况区间的 PID 控制参数进行离线优化，得到各个工况区间的最优 PID 参数；并建立 PID 参数优化数据库。在实际运行中，工况识别模型实时判定当前的工况，从参数优化数据库中获取对应的最优 PID 参数，由 DCS 系统自动下发到现场控制站，实现控制参数的自适应调整；实时采集控制效果数据，主汽压力波动幅度、调节时间等，用梯度下降法对 PID 参数做在线微调，提高控制品质。

为了检验此策略的有效性，用某 300MW 火电机组主汽压力控制来试验。在实验过程中机组负荷从 40%BMCR 增到 90%BMCR，传统 PID 控制策略下的主汽压力波动幅度为 $\pm 0.3 \text{ MPa}$ ，调节时间为 8s；采用大数据自适应的控制策略之后，主汽压力波动幅度减小到 $\pm 0.1 \text{ MPa}$ ，调节时间缩短为 4s，控制品质得到了很大的提高。煤质热值从 22MJ/kg 降到 18MJ/kg 时，传统的控制策略会遇到主汽压力一直偏低的情况，但是自适应控制策略依靠工况识别模型迅速识别出煤质的改变，进而自动调节燃料量和 PID 参数，确保主汽压力稳定在设定值的附近，证明了策略的适应性。

（二）故障预警与诊断优化策略

为了克服传统 DCS 系统故障预警、诊断能力差的问题，采用大数据分析技术建立故障预警、诊断的多维度模型，实现对故

障的早预警、精定位。该策略把设备状态数据和实时运行数据、故障历史数据作为重点，利用大数据挖掘技术找到故障特征，在故障发生之前做出准确预测，并且精确定位故障部位^[4]。具体的实现方式为，首先，建立故障特征数据库，采集机组历史故障数据，包括泵、风机、阀门等辅机的故障类型、故障前兆参数、故障发生时间、处理措施等，比如引风机振动超标故障对应的前兆参数为振动值逐渐升高、轴承温度上升、电机电流波动增大等；采集正常运行状态下的设备状态数据，建立正常工况数据集和故障工况数据集。其次，用卷积神经网络（CNN）算法建立故障预警模型，把设备状态数据作为输入，通过模型训练学习正常工况和故障工况的特征差异，设置预警阈值；在实际运行过程中，实时输入设备状态数据，模型输出故障发生概率，当概率超过预警阈值时，触发故障预警信号，通过DCS操作员站提醒运行人员及时检查。再者，采用决策树算法建立故障诊断模型，以故障特征数据库中故障前兆参数与故障类型的对应关系为基础，建立故障诊断决策树；当发生故障时，将当前设备状态数据和运行参数输入决策树模型，通过决策树模型准确找到故障部位和故障原因。

以某600MW火电机组引风机故障预警和诊断为例，应用该策略后可以提前2h预警引风机轴承磨损故障，预警准确率95%，故障发生后，诊断模型在10s内定位故障原因，给维修人员提供准确的处理方向，维修时间由原来的4h缩短到1.5h，减少机组降负荷时间，提高运行可靠性。同时随着故障数据的不断积累以及模型不断优化，故障预警准确率、诊断精度也不断提高，从而形成了一个良性循环，数据积累→模型优化→效果提高。

（三）运行能效优化策略

由于存在单一的机组能效优化方法、较高的煤耗率等问题，所以使用大数据分析技术来建立一个高效的优化模型，找到最佳的运行工况点，从而达到精准调节运行参数的目的，达到节能的效果^[5]。以机组煤耗率最小化为目标，结合实时运行数据、煤质数据、环境数据，用大数据分析算法找出各运行参数之间最佳匹配关系。具体策略有以下几点，其一，采集机组的历史运行数据，包括燃料量、给水量、风量、主汽压力、主汽温度、机组负荷、煤耗率等，建立能效分析数据库；其二，使用相关性分析算法分析各个运行参数和煤耗率之间的相关性，找出影响煤耗率较大的关键参数，例如过量空气系数、主汽温度、再热汽温度、给水温度等；其三，根据关键参数建立能效优化模型，用BP神经网络算法对历史数据进行训练，得到关键参数和煤耗率之间的映射关系；以煤耗率最低为目标，用遗传算法对关键参数进行优化，得到不同负荷、不同煤质下的最优运行参数组合，如低负荷

工况下过量空气系数最优值为1.2，主汽温度最优值为540℃等；其四，在实际运行中实时采集机组负荷、煤质数据和环境数据输入到能效优化模型，得到当前工况下的最优运行参数建议，通过DCS系统提示运行人员调整或者自动下发到现场控制站实现自动调整；实时监测煤耗率变化，根据煤耗率的变化对优化参数进行动态修正，确保能效优化效果。

以350MW超临界火电机组为例，采用该能效优化策略后，在相同的负荷下，机组煤耗率降低到3g/kWh，按年发电量20亿kWh计算，每年可节约标准煤6000吨，减少CO排放1.5万吨，经济效益和环保效益都比较明显。通过不断挖掘出最优的运行参数并加以应用，运行人员逐渐学会了各种工况下最优化运行的方法，提高了机组的运行管理水平。此外利用大数据分析技术对机组能耗损失进行定量分析，找出锅炉热效率低、汽机热耗高两个主要原因，为设备改造提供数据支撑，通过对锅炉受热面结渣造成热效率降低的分析，制定出定期吹灰优化方案，提高锅炉热效率。

（四）数据驱动的闭环优化保障策略

确保优化策略持续有效的运行，采用数据驱动的闭环优化保障机制对优化效果实行实时监测、评价并不断完善。一方面，建立优化效果评估指标体系，控制品质指标（参数波动幅度、调节时间）、设备可靠性指标（故障发生率、平均无故障时间）、能效指标（煤耗率、厂用电率）、环保指标（NOx排放浓度、SO₂排放浓度）等，用DCS系统实时采集各项指标数据，和优化前的基准值对比分析，评价优化策略的效果；另一方面，创建数据更新及模型改善机制，定时获取新的运行数据并加入特征数据库当中，借助增量学习算法对工况识别模型、故障预警模型、能效改善模型实施更新优化，加强模型的适应性和准确性，而且依照机组运行状况的改变，设备老化，改造升级等情形，及时对优化策略以及参数加以调整，确保策略一直契合机组的实际运行状况。

四、结论

本文提出的四大优化策略可以解决传统DCS控制的痛点，自适应控制改善了工况适配性，故障预警诊断缩短了维修时间，能效优化降低了煤耗率。实例验证表明，所提出的方法是有效的、可行的。未来可以利用数字孪生技术提高模型的精度，扩大数据的来源以及应用场景，给火电机组的智能优化运行提供更多的技术支持。

参考文献

- [1] 邵刚, 张峰, 陈国威, 等. 基于数字孪生技术的火电机组燃烧过程智能控制系统分析 [J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(09): 50-51+54.
- [2] 周强. 火电机组协调控制系统优化研究 [J]. 中国电力企业管理, 2023, (21): 88-89.
- [3] 顾志祥. 百万千瓦火电机组电除尘设备节能提效控制系统优化分析 [J]. 中国设备工程, 2025, (22): 263-265.
- [4] 袁振森, 邓拓宇, 申世龙. 基于事件驱动的火电机组协调控制系统研究 [J]. 电力科学与工程, 2025, 41(05): 1-10.
- [5] 高浩浩, 崔冠华. 基于自动化技术的火电机组智能控制系统设计 [J]. 电气技术与经济, 2025, (09): 138-140+144.