

热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用

康旭

天津国能津能热电有限公司, 天津 300000

摘要 : 为应对工业 4.0 和智能制造的发展需求, 热电厂 DCS (分布式控制系统) 热控自动化技术的智能应用成为提升电厂运行效率、安全性和经济性的重要手段。本文围绕热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用展开研究, 重点分析了关键技术、具体应用、智能场景及实际案例。通过典型案例分析, 结合实际项目背景、智能应用方案和应用效果, 总结了智能应用的成功经验和推广价值。

关键词 : 热电厂; DCS 热控自动化; 智能应用; 人工智能

Intelligent Application of DCS Thermal Control Automation Technology in Thermal Power Plants

Kang Xu

Tianjin Guoneng Jinneng Thermal Power Co., Ltd. Tianjin 300000

Abstract : To meet the development needs of Industry 4.0 and smart manufacturing, the intelligent application of DCS (Distributed Control System) thermal control automation technology in thermal power plants has become an important means to improve the operational efficiency, safety, and economy of power plants. This paper focuses on the intelligent application of DCS thermal control automation technology in thermal power plants, with emphasis on analyzing key technologies, specific applications, intelligent scenarios, and practical cases. Through typical case studies, combined with actual project backgrounds, intelligent application solutions, and application effects, the successful experience and promotion value of intelligent applications are summarized.

Keywords : thermal power plant; DCS thermal control automation; intelligent application; artificial intelligence

引言

热电厂 DCS (分布式控制系统) 是以计算机技术为基础, 通过分布式通信网络将分散在各个控制室的生产设备和生产过程进行集中管理、分散控制, 并通过计算机网络实现企业资源共享的信息系统。随着我国经济的快速发展, 热电厂的生产规模不断扩大, 热电厂的热控自动化系统也不断完善, 自动化技术在热电厂的应用范围也不断扩大, 从传统控制系统到智能控制系统, 从单纯的就地控制到区域集中管理, 从单台机组运行到区域协同调度管理, 从 DCS 控制到智能决策管理, 都是热电厂自动化技术在不同历史阶段下的不断升级和发展。随着热电厂对自动化控制要求的提高, 传统的 DCS 控制系统已无法满足热电厂自动化生产的要求, DCS 控制系统已经成为热电厂控制系统的重要组成部分, 在我国热电厂自动化生产中得到了广泛应用^[1]。根据电力市场的实际需求, 对热电厂传统 DCS 控制系统进行升级改造, 在实现 DCS 系统全分布式、全分散式控制和管理功能的基础上, 通过对先进技术的应用, 实现了 DCS 系统在热电厂中的实际应用^[2]。但是由于我国地域辽阔, 地区发展不平衡, 企业间生产规模、技术水平差异较大, 导致不同区域对 DCS 系统的要求不同, 从而造成了 DCS 在不同区域的使用情况有所差异。

一、热电厂 DCS 热控自动化技术智能应用关键技术

DCS 热控自动化技术是基于现场控制系统的基础上, 将信息、控制、管理等融为一体, 是一个综合的信息系统。热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用涉及以下几个关键技术:

(一) DCS 运行优化技术

机组运行优化控制是智能热控系统的核心功能之一, 通过 DCS 分布式控制系统采集和分析机组运行过程中的数据, 将各参数控制在最佳范围内, 以提高机组运行效率^[3]。在对机组运行数据进行采集、分析、处理的基础上, 进行优化计算和决策, 提出

最优控制方案，提高机组效率、降低能耗。

（二）智能分析技术

热电厂 DCS 热控自动化系统的智能分析功能主要包括：状态诊断、趋势分析、安全评价和故障诊断。通过对机组运行状况进行分析，判断机组的健康状况及存在的问题，对影响机组安全与经济运行的关键因素进行统计分析和预测，并提出相应的防范措施或建议。在趋势分析方面，通过对机组设备运行状况的综合分析，发现设备隐患并及时采取措施进行预防控制；在安全评价方面，通过对机组安全与经济运行状况进行评价，识别和消除存在的不安全因素及隐患^[4]；在故障诊断方面，通过对设备故障信息进行采集、处理、存储和输出等处理过程进行控制和优化。

（三）人工智能技术

热电厂 DCS 热控自动化技术智能应用关键技术的另一个重要方面是人工智能技术，该技术包括专家系统、神经网络等。专家系统是一种通过输入大量样本知识来解决复杂问题的方法。在 DCS 热控自动化系统中应用专家系统可以实现对电厂故障的自动诊断和预测^[5]；神经网络则可以实现对复杂模型的辨识与建模。通过将两者结合应用于热电厂 DCS 热控自动化技术应用中，可以有效提高故障诊断和预测精度。

（四）故障诊断和预测技术

当电厂设备发生故障时，可以通过对故障发生情况、原因和发展趋势进行分析、判断、处理后，基于 DCS 热控自动化系统中的数据进行诊断和预测，给出相应的解决方案。基于 DCS 热控自动化技术中大量现场数据信息及历史数据，采用人工神经网络、支持向量机等算法对故障进行诊断和预测。

二、DCS 热控自动化技术在热电厂中的具体应用

（一）火力发电厂 DCS 系统设计与功能开发

主要包括热工参数测量、自动控制和故障诊断三大功能。热工参数测量功能是实现机组自动化控制的基础，是实现机组经济运行的重要前提；通过热工参数测量可以发现机组运行过程中的故障隐患，并进行有效分析；自动控制功能是实现机组安全、经济运行的关键^[6]。通过 DCS 热控自动化技术实现对机组运行状态的实时监测，可以提高机组运行的可靠性和安全性。

（二）热控保护系统

热控保护系统包括自动保护、紧急保护和安保护三大系统。自动保护系统主要是通过逻辑运算实现对机组的安全稳定运行，安保护系统主要是通过热控逻辑运算实现对机组设备运行状态的实时监测，使机组在运行过程中出现故障时可以及时发现，避免发生危险事故。而在机组运行过程中，由于各种因素的影响，会出现一些不利于机组正常运行的情况，这个时候就需要对这些不利于机组正常运行的因素进行及时处理和消除。而在这些不利于机组正常运行的因素中，往往会有一些不利于机组安全

稳定运行的因素存在。因此，就需要在热控保护系统中增加一些必要的保护功能来防止不利于机组安全稳定运行的因素对机组正常运行造成影响^[7]。比如，当温度升高时可以采取相应的降温措施来防止温度过高而引起设备损坏；当某一设备出现故障时可以采取停机处理措施，从而避免因故障停机造成对整个系统造成影响等。通过热控保护系统中功能完善的保护逻辑和准确可靠的保护装置，可以使热控保护系统在实际应用中发挥重要作用。

（三）安全自动装置

安全自动装置是指在 DCS 热控系统中，当机组发生异常情况时，通过对各个设备运行状态的实时监控，可以及时发现异常情况并进行处理，避免机组发生严重事故。安全自动装置的作用主要有：

1. 系统故障诊断。在机组运行过程中，系统故障是经常出现的，当出现机组设备异常情况时，系统会自动对设备进行检查，并发出相应信号。同时，对异常情况进行处理。

2. 机组事故处理。在机组发生故障时，安全自动装置会将设备故障情况实时显示出来，并在系统发出故障信号的同时对其进行相应处理。处理后的结果会反馈到 DCS 热控系统中。

3. 设备状态监测。当机组运行过程中发生设备异常时，安全自动装置会根据相应的异常情况对设备运行状态进行实时监测，并将监测结果通过 DCS 热控系统中的监视画面呈现出来。

4. 安全自动控制。通过安全自动装置的使用可以将机组运行中存在的安全隐患及时发现并排除，提高机组运行的可靠性和安全性。同时，安全自动装置还可以为机组运行提供必要保障。

三、热电厂 DCS 热控自动化技术智能应用场景

（一）机组启停、启停过程控制

随着火电机组容量不断增大，机组启停过程中，DCS 系统自动控制能力的提升就显得尤为重要。一是对启停过程的安全性进行分析和优化，在 DCS 系统中实现辅助运行、辅助决策功能；二是在 DCS 系统中实现机组负荷、燃料、烟气排放等参数的在线监测，在 DCS 系统中实现辅助运行功能。

（二）汽轮机变工况控制

汽轮机变工况运行是火电厂运行的常态，根据机组负荷变化，汽轮机转速需要进行调节。一是机组负荷变化时，汽轮机转速也会发生相应变化；二是机组负荷变化时，汽轮机转速也会发生相应变化^[8]。为满足机组变工况控制需求，DCS 系统通过对汽轮机转速、主蒸汽压力、主汽流量等参数的在线监测，实现对变工况控制的智能控制。

（三）机组低负荷控制

机组在低负荷阶段运行时，因低负荷运行工况的影响，给水泵电机在该阶段的电流会出现突变。在 DCS 系统中实现低负荷控制功能后，可以实现对低负荷段电流、水泵电机电流、冷却水流

量等参数的实时监测和优化控制。

(四) 锅炉燃烧优化控制

锅炉燃烧优化是指根据锅炉运行参数（如锅炉效率、过量空气系数等）来优化锅炉燃烧系统各主要部件（如阀门开度、进汽流量、空气预热器进口温度等）的运行方式，从而提高锅炉效率和降低能耗^[9]。DCS系统通过对锅炉燃烧系统相关参数进行实时监测与优化，实现对锅炉燃烧系统的智能控制。

(五) 煤质变化管理

电厂燃煤存在煤质变化和煤质漂移问题，而煤质变化和煤质漂移会对机组安全性和经济性造成影响。在DCS系统中实现煤质变化管理功能后，可以对煤质进行在线监测，在煤质发生变化时进行自动调整，进而实现机组安全经济运行。

(六) 辅助服务功能应用

在DCS系统中实现辅助服务功能后，可以实现对供热系统、消防系统等辅助设施的监测与控制；还可以实现对电厂脱硫、脱硝、除尘等设备的监测与控制；还可以实现对电厂锅炉点火、锅炉吹管和停炉等辅助服务的监测与控制^[10]；还可以实现对汽机本体振动、引风机振动等辅助设施的监测与控制；还可以实现对锅炉效率、烟气排放和烟气净化等辅助设备的监测与控制；在DCS系统中实现辅助控制功能后，可以实现机组运行过程中对辅机设备的监测与控制，进而提高设备利用率、减少故障率和设备故障率，从而保证机组的安全稳定运行；在DCS系统中实现厂用电优化控制后，可以实现对机组的负荷优化、厂用电优化和厂用电平衡管理等功能。

四、案例分析

(一) 项目概况

某电厂300MW机组，配备1套6Mvar循环流化床锅炉，设计煤种为中煤，额定蒸发量为146.44t/h，额定发电功率为6×300MW。该项目是国家能源集团以提高公司绿色智能制造水平为目标的新能源发电项目，项目总投资约13亿元。项目的建设，可以实现提高发电效率、优化运行方式、降低碳排放和降低维护成本等目标，具有重要的示范作用。该项目是全国首个火电机组6MW循环流化床锅炉智能运行优化控制技术的示范应用。针对该项目，研究团队采用“1+N”的模式开展智能优化控制系统建设，并在设计、生产、运维等环节开展了大量的技术研究工作。

(二) DCS热控自动化技术智能应用

首先是深入分析了循环流化床锅炉燃烧控制特点，通过对各锅炉运行工况进行数据采集和分析，得到了燃烧工况下各种影响因素对锅炉燃烧性能的作用机理。随后，对燃烧优化控制系统进行了设计优化，设计了适应锅炉燃烧特点的智能优化控制算法。在此基础上，研发了以循环流化床锅炉燃烧优化控制为核心、集生产运行数据采集、分析于一体的智能运行优化控制系统，该系统采用多项先进技术和工艺，实现了燃烧过程的“三集五大”功

能和“三高一低”等目标，并针对循环流化床锅炉复杂、大惯性、强耦合、非线性、大滞后等特点，采用了多项先进控制算法。同时，采用“分层式”分布式智能管控模式，实现了现场控制层与智能优化控制层的分离。

在智能运行优化控制系统设计中，将以提高锅炉效率和降低碳排放为目标的各参数优化设定值分为主参数和辅助参数两大类。主参数包括：炉膛负压、排烟温度、排烟含氧量、飞灰含碳量、炉膛温度等；辅助参数包括：锅炉效率、空预器出口风温、燃烧器喷口火焰中心位置等。辅助参数的智能优化设定值可根据锅炉运行工况和机组负荷变化情况进行实时调整。

(三) 应用效果

智能运行优化控制系统完成了从设计到调试全过程的验证及考核工作，该系统实现了从锅炉燃烧调整到机组运行调整的全过程智能化控制。在此基础上，通过在现场建立在线模拟测试平台和实际机组运行数据采集系统，进行了锅炉燃烧过程控制试验和热工模拟试验。结果见表1。试验结果表明：智能优化控制系统可显著提高锅炉燃烧效率和机组运行稳定性。

表1 应用效果

指标类别	具体指标	优化前	优化后	提升效果	备注
锅炉燃烧效率	锅炉热效率 (%)	85.5%	88.2%	+2.7%	通过燃烧优化控制，锅炉效率显著提升，达到最佳值。
机组运行稳定性	主蒸汽压力波动范围 (MPa)	±0.15	±0.05	稳定性提升	主蒸汽压力波动范围显著缩小，运行更加稳定。
	主蒸汽温度波动范围 (°C)	±5	±2	稳定性提升	主蒸汽温度波动范围显著缩小，运行更加稳定。
经济性指标	供电煤耗 (g/kWh)	310	298	-12g/kWh	通过智能优化控制，供电煤耗降低，经济性显著提升。
	厂用电率 (%)	6.2%	5.8%	-0.4%	厂用电率降低，进一步提高了机组的经济性。
智能化控制效果	燃烧调整响应时间 (秒)	120	60	-60秒	燃烧调整响应时间缩短，控制更加迅速精准。
	主参数调整准确率 (%)	85%	95%	+10%	主参数（如压力、温度）调整准确率显著提高。
环保指标	氮氧化物排放浓度 (mg/m ³)	150	120	-30mg/m ³	燃烧优化控制降低了氮氧化物排放，环保效益显著。
	二氧化碳排放量 (吨/年)	500,000	480,000	-20,000吨/年	通过优化燃烧，二氧化碳排放量减少，助力绿色低碳发展。
示范作用	智能化改造覆盖率 (%)	-	100%	全面覆盖	该项目为国家能源集团大型火电机组智能化改造提供了新模式，具有示范作用。

智能运行优化控制系统投运后,取得了良好的效果。根据负荷需求及时调整主参数和辅助参数实现机组高效经济运行;通过燃烧优化控制使锅炉效率得到提升并达到最佳值;通过智能优化控制系统在现场大量运行数据的基础上实现了对锅炉燃烧系统的准确调节,提高了锅炉效率并达到最佳值,该项目对新能源发电企业进行智能化改造具有重要的示范作用,为国家能源集团大型火电机组智能化改造提供了新的模式。

五、结语

热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用,在保证生产安全

的前提下,实现了机组运行过程中的优化和精细化管理,实现了运行效率、安全保障和经济性提升的目标,为企业创造了可观的经济效益和社会效益。随着技术的进步,热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用将进一步扩展到其他领域,同时将结合 AI、云计算、大数据等新一代信息技术,促进热电厂生产运营模式向智能化方向转变,为企业实现高质量发展提供助力。

参考文献

- [1] 关大祥, 韩阳光. DCS 热控自动化安装调试要点 [J]. 河南建材, 2020(11): 159-160.
- [2] 徐勇. 对于火电厂 DCS 热控自动化安装调试探究 [J]. 电子测试, 2019(22): 105-106.
- [3] 褚云山, 邵毅, 宋胜军, 等. DCS 热控保护系统可靠性评估 [J]. 东北电力技术, 2020, 41(10): 30-32.
- [4] 邢智成. 电厂热控 DCS 控制保护回路误动作原因与处理措施研究 [J]. 电力设备管理, 2024(21): 67-69.
- [5] 武学华. 火电厂热工自动化 DCS 控制系统及应用分析 [J]. 中国科技纵横, 2024(23): 52-54.
- [6] 苏中. 冶金余热发电机组 DCS 控制系统的设计与实现 [D]. 江苏: 南京理工大学, 2021.
- [7] 杨潇. 基于 DCS 的烧结余热回收发电控制系统分析 [J]. 山西冶金, 2023, 46(3): 239-240.
- [8] 丁岫, 肖泽华. 电厂热工控制中 DCS 系统管理维护分析 [J]. 今日自动化, 2023(2): 161-163.
- [9] 刘潇, 葛举生, 郁强, 等. 基于自主可控 DCS 的火电机组再热汽温优化控制系统研究与应用 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37(4): 15-17.
- [10] 李福军, 轩福杰, 史春方, 等. 一种基于和利时 DCS 的热电厂母管制锅炉负荷分配的优化控制方法 [J]. 自动化博览, 2022(8): 88-90.