

火电厂电气自动化控制系统设计

刘通 陈昕 任晓楠 刘阳

北方联合电力有限责任公司呼和浩特金桥热电厂 内蒙古 呼和浩特 010030

摘要: 本文聚焦火电厂电气自动化控制系统设计。阐述了火电厂电气系统组成与运行特点,接着从设计原则、架构、网络通信方面介绍系统总体设计。深入探讨数据采集与处理、控制策略、故障诊断与保护、人机界面等关键技术设计。最后说明系统硬件、软件实现方式及测试验证流程。通过系统设计,提升火电厂电气系统自动化水平,保障电力生产稳定、高效、安全运行。

关键词: 火电厂; 电气自动化; 控制系统; 系统设计

引言: 在电力需求持续增长背景下,火电厂作为重要电力来源,其运行稳定性与效率至关重要。电气自动化控制系统是火电厂的核心组成部分,直接影响电力生产的质量与效益。当前,火电厂电气系统面临负荷波动大、工况复杂等诸多挑战,传统控制方式难以满足需求。因此,设计一套先进、可靠、高效的电气自动化控制系统,成为提升火电厂竞争力的关键,对保障电力供应安全稳定意义重大。

1 火电厂电气系统概述

1.1 火电厂电气系统组成

火电厂电气系统是保障电力生产稳定运行的核心基础设施,由发电、输电、变电、配电及用电等多个子系统协同构成。其中,发电子系统以汽轮发电机为核心,配套励磁系统、调速系统等关键设备,负责将热能转化为电能;输电与变电系统包含主变压器、高压断路器、隔离开关等设备,实现电能的升压传输与降压配电;配电系统由低压配电柜、电缆线路等组成,为电厂辅助设备及厂用电负荷供电;用电系统涵盖锅炉、汽轮机等主机辅机及照明、检修等辅助用电设备^[1]。另外,系统还包括继电保护、测量计量、自动控制等辅助装置,各子系统通过电气接线和控制链路有机衔接,形成分工明确、协同工作的整体,确保电能生产、传输、分配及使用的全流程顺畅高效。

1.2 火电厂电气系统运行特点

火电厂电气系统运行具有负荷波动大、连续性强、安全性要求高、工况复杂等显著特点。首先,系统需适应电力负荷的动态变化,电网用电需求的昼夜差异、季节波动会直接影响机组出力,要求系统具备快速调节能力以维持电压、频率稳定;其次,电力生产具有连续性,一旦系统中断运行将造成巨大经济损失,因此系统需长时间连续可靠工作,设备冗余设计和故障快速恢复

能力至关重要;再者,系统运行环境恶劣,高温、高湿度、多粉尘等环境易导致设备老化或故障,对设备绝缘性能、抗干扰能力提出严格要求;最后,系统包含大量高压、大功率设备,运行过程中存在电弧、过电压等安全隐患,且各设备工况关联紧密,某一设备故障可能引发连锁反应,需通过精准控制和可靠保护保障系统安全稳定运行。

2 火电厂电气自动化控制系统总体设计

2.1 系统设计原则

火电厂电气自动化控制系统设计需遵循可靠性、先进性、经济性、扩展性及兼容性五大核心原则。可靠性是首要原则,系统需采用成熟稳定的技术和设备,具备冗余设计和抗干扰能力,确保在复杂工况下连续稳定运行,避免因系统故障导致电力生产中断;先进性原则要求系统融合当前主流的自动化控制技术、网络通信技术及智能传感技术,提升系统控制精度和智能化水平,满足未来电力行业发展需求;经济性原则需兼顾系统建设与运维成本,在保障性能的前提下,优化设备选型和方案设计,避免过度投入;扩展性原则要求系统架构具备灵活扩展能力,可根据电厂机组扩容、功能升级等需求,便捷添加新的控制模块和设备;兼容性原则确保系统能与电厂现有DCS系统、SIS系统及电网调度系统无缝对接,实现数据共享和协同控制,提升整个电厂信息化管理水平^[2]。

2.2 系统架构设计

火电厂电气自动化控制系统采用分层分布式架构,自上而下分为站控层、间隔层和设备层三个层级,实现控制功能的分散执行与集中管理。站控层作为系统的核心管控中心,配置监控主机、操作员工作站、工程师工作站及数据服务器等设备,负责全局监控、数据存储、指令下发及人机交互等功能,可实现对整个电气系统运

行状态的实时监测和远程控制；间隔层位于站控层与设备层之间，包含PLC控制器、RTU远程终端单元等核心控制设备，按设备间隔或功能分区部署，负责本区域设备的数据采集、本地控制及故障保护，同时将数据上传至站控层并执行站控层下发的控制指令；设备层由各类智能传感器、执行器、保护继电器等设备组成，直接与现场设备连接，负责实时采集设备运行参数、状态信号，执行间隔层下发的控制指令，实现对现场设备的精准控制和状态反馈。各层级通过高速网络实现数据交互，确保控制指令的快速传输和系统的协同工作。

2.3 网络通信设计

火电厂电气自动化控制系统网络通信设计以“高速可靠、安全隔离、分层组网”为核心思路，构建工业以太网与现场总线相结合的混合通信网络。站控层采用工业以太网架构，选用千兆以太网交换机，通过星形拓扑结构连接各工作站、服务器等设备，实现站控层内部及与间隔层的数据高速传输，网络协议采用TCP/IP，保障数据传输的稳定性和通用性；间隔层与设备层采用现场总线技术，选用Profibus-DP、Modbus-RTU等成熟总线协议，实现间隔层控制器与现场智能设备之间的低速、实时数据交互，总线网络采用环形或树形拓扑结构，提升网络的抗干扰能力和可靠性。为保障网络安全，系统采用网络隔离技术，划分不同安全区域，设置防火墙、入侵检测系统等安全设备，防止外部攻击和数据泄露；同时配置网络冗余设备和链路，实现故障时的快速切换，确保通信网络的连续畅通，为系统稳定运行提供通信保障。

3 火电厂电气自动化控制系统关键技术设计

3.1 数据采集与处理技术

数据采集与处理技术是火电厂电气自动化控制系统的基础，直接影响控制精度和决策科学性。数据采集方面，系统采用分布式采集模式，通过电压传感器、电流传感器、温度传感器、压力传感器等各类智能传感设备，实时采集发电机出力、电压电流、设备温度、油位油压等关键运行参数，同时采集断路器分合状态、保护动作信号等开关量数据。采集设备具备高精度、高响应速度特性，支持多信号类型接入，满足不同设备的监测需求。数据处理环节，采用分层处理策略，现场采集数据先经间隔层控制器进行滤波、降噪等预处理，去除干扰信号；随后传输至站控层数据服务器，通过数据校验、格式转换、冗余数据剔除等处理，生成标准化数据；同时利用数据挖掘技术对历史数据和实时数据进行分析，提取设备运行规律和故障预警特征，为控制策略优化和故障诊断提供数据支撑。

3.2 控制策略设计

火电厂电气自动化控制系统控制策略设计以保障系统稳定运行、提升发电效率为核心目标，采用分层控制与复合控制相结合的方式。在机组级控制层面，采用协调控制策略，实现锅炉、汽轮机、发电机的协同调节，根据电网负荷指令精准调整机组出力，维持机组运行参数稳定；在设备级控制层面，针对不同设备特性制定专属控制策略，如发电机励磁系统采用PID调节与自适应调节相结合的策略，确保电压稳定；主变压器采用负荷分配控制策略，优化变压器运行效率^[1]。同时，融入智能控制算法，如模糊控制、神经网络控制等，提升系统对复杂工况和非线性特性的适应能力，实现参数的精准调节。设计连锁控制逻辑，当某一设备出现异常时，自动触发关联设备的保护动作，防止故障扩大；并具备手动/自动切换功能，提升系统运行的灵活性和可靠性。

3.3 故障诊断与保护技术

故障诊断与保护技术是保障火电厂电气系统安全运行的关键，系统采用“实时监测-智能诊断-快速保护”的全流程设计。故障诊断方面，结合硬件监测与软件分析，通过传感器实时采集设备运行参数和状态信号，利用故障诊断算法对数据进行分析，识别设备的异常状态，如短路、过载、绝缘损坏等故障类型，并精准定位故障位置。诊断算法融合专家系统、机器学习等技术，具备自学习能力，可不断提升故障诊断的准确率和时效性。故障保护方面，根据不同设备和故障类型设计专属保护方案，如发电机配置纵差动保护、过负荷保护、失磁保护等，主变压器配置瓦斯保护、纵差动保护、零序电流保护等。保护系统具备快速响应能力，故障发生时可在毫秒级内发出保护指令，通过断路器跳闸、隔离开关断开等方式切断故障回路，防止故障蔓延。

3.4 人机界面设计

人机界面设计以“便捷操作、信息直观、安全可靠”为原则，为运维人员提供高效的操作与监控平台。界面采用分层设计架构，分为总览界面、子系统界面、设备详情界面等，总览界面实时展示整个电气系统的运行状态、关键参数及故障报警信息，便于运维人员全局掌握系统情况；子系统界面按发电、输电、配电等功能分区，展示各子系统的详细运行数据和设备状态；设备详情界面可查看单台设备的实时参数、历史数据、故障记录等信息。界面采用图形化展示方式，通过流程图、趋势图、仪表盘等元素直观呈现数据变化，关键参数超标时采用颜色报警和声音提示，提升故障警示效果。操作功能设计简洁易懂，支持参数设置、控制指令下发、

手动/自动切换等操作,同时具备操作权限分级管理功能,不同岗位人员分配不同操作权限,防止误操作。界面支持历史数据查询、报表生成与打印等功能,为运维管理提供便捷的数据支撑。

4 火电厂电气自动化控制系统实现与测试

4.1 系统硬件实现

火电厂电气自动化控制系统硬件实现以“可靠性优先、性能匹配、易于扩展”为原则,按站控层、间隔层、设备层分层选型与部署。站控层硬件选用高性能工业控制计算机作为监控主机和工程师工作站,配置大容量数据服务器实现数据存储与管理,配套打印机、UPS不间断电源等辅助设备,确保核心设备稳定运行;间隔层选用高性能PLC控制器和RTU远程终端单元,根据控制需求配置相应的I/O模块,实现对现场设备的精准控制和数据采集,控制器具备冗余功能,提升控制可靠性;设备层选用高精度智能传感器、执行器及保护继电器等设备,传感器选用符合工业标准的电压、电流、温度等类型,执行器具备快速响应和稳定运行特性,保护继电器选用动作可靠、抗干扰能力强的产品。硬件安装过程中,严格遵循电气安装规范,对设备进行接地、屏蔽处理,减少电磁干扰;同时进行硬件调试,检查设备连接正确性、信号采集准确性及控制指令执行有效性,确保各硬件设备协同工作,为系统稳定运行提供硬件保障。

4.2 系统软件实现

系统软件实现基于分层架构设计,采用模块化开发方式,提升软件的可维护性和扩展性。站控层软件选用工业组态软件如WinCC、Intouch作为开发平台,开发监控界面、数据管理、报表生成等功能模块,实现对整个系统的集中监控和管理;同时开发数据库管理软件,采用SQL Server数据库存储实时数据和历史数据,支持数据查询、统计分析等功能。间隔层软件基于PLC编程软件如Step7、TIA Portal开发,采用梯形图、功能块图等编程语言,实现数据采集、控制逻辑执行、故障诊断等功能,软件具备在线调试和修改功能,便于现场优化。设备层软件采用嵌入式开发技术,为智能传感器、执行器等设备开发控制程序,实现数据采集与指令执行。另外,系统软件具备良好的兼容性和稳定性,通过软件测试消除漏洞,并配置软件冗余和备份功能,防止软件故障导致

系统停运,确保软件系统稳定可靠运行。

4.3 系统测试与验证

火电厂电气自动化控制系统测试与验证旨在全面检验系统性能,确保满足设计要求和实际运行需求,测试过程分为单元测试、集成测试和现场验收测试三个阶段。单元测试针对各硬件设备和软件模块单独测试,硬件测试重点检查设备性能参数、信号采集精度、控制指令执行准确性等;软件测试通过模拟工况验证模块功能完整性、逻辑正确性及稳定性^[4]。集成测试将各层级硬件和软件整合,测试系统整体协同工作能力,重点验证网络通信稳定性、数据传输准确性、控制策略执行有效性等,模拟各类正常和故障工况,检验系统的响应速度和处理能力。现场验收测试在电厂实际运行环境中进行,连续运行一段时间验证系统长期稳定性和可靠性,测试系统在真实负荷波动、复杂工况下的运行性能,同时检验人机界面操作便捷性、故障诊断与保护功能有效性。测试过程中详细记录测试数据,对比设计指标,对不满足要求的部分进行优化整改,直至系统各项性能指标均达到设计标准,确保系统可安全可靠投入实际运行。

结束语

火电厂电气自动化控制系统设计是一项复杂且关键的工作。通过遵循科学设计原则,构建分层分布式架构,运用先进关键技术,并完成硬件软件实现与严格测试验证,可打造出满足火电厂实际需求的自动化控制系统。该系统能有效提升火电厂电气系统的自动化、智能化水平,增强系统稳定性与可靠性,为火电厂的安全运行和高效发电提供有力保障,推动火电厂在电力市场中持续发展。

参考文献

- [1]付雪佳.火电厂热工自动控制可靠性分析[J].中国设备工程,2021,(21):79-80.
- [2]张磊.火电厂燃烧锅炉干湿态自动化控制技术[J].工业加热,2025,54(02):32-36.
- [3]李常彬.基于智能化的火电厂电气工程自动化技术探析[J].电力设备管理,2025,(02):93-95.
- [4]刘鹏云.研究电气自动化技术与火力发电厂的发展和创新发展[J].水利电力技术与应用,2023(6):107-109.