

自动化控制在核电厂热工仪表中的应用探讨

● 葛海波



[摘要] 热工仪表是核电厂控制的重要元件,为了对其进行有效地控制管理,核电领域逐渐向着自动化方向迈进,发展出了仪控系统。自动化控制在核电厂常规岛热工仪表中的应用,是核电厂高效、安全运行的关键。本文从核电厂常规岛热工仪表的控制系统入手,分析其所应用的自动化控制技术,从非安全级 DCS 系统、系统平台 NASPIC、TG 包控制系统三个方面探讨自动化控制在核电厂常规岛热工仪表的控制系统中的应用。

[关键词] 自动化控制技术;核电厂;热工仪表;DCS

核电作为清洁能源,相关建设和应用力度在不断提高。核电厂对发电过程的参数控制有较火电厂等传统发电端口更高的要求,应用自动化控制是提升核电厂发电安全性、稳定性的关键。自动化控制技术的应用,可以帮助核电厂取得参数领域的准确性、科学性保障,提高核电厂运行的质量、效率和安全,减轻核电厂工作人员的工作强度。

Q 热工仪表概述

核电厂中的热工仪表主要指发电生产中的表征参数的仪器设备,主要表征对象是核电厂的温度、压力、流量、物位、转速等常规控制参数。热工仪表的应用,可实现对核电厂运行系统的状态量化,为系统的自动化管理和控制提供依据。目前,市面上的热工仪表不仅可以显示所检测的目标参数数值,还可提供参数曲线,支持工作人员进行一定时间或流量区间内的参数状态识别;可以支持一段时间内的参数记录汇总导出,借助数据整理分析软件评估系统运行水平,识别系统可优化的相关参数,实现核电厂的降本增效;可以提供参数安全限度设置和超限预警,辅助工作人员有效掌握核电厂运行系统的状态发展趋势,帮助工作人员提前发现系统问题,及时处理故障,保证核电厂的系统运行安全稳健。具备一定自动化、智能化水平的热工仪表,搭配核电厂内的中央控制系统,可形成一个覆盖核电厂的自动化控制网络,辅助工作人员实现对核电厂整体的自动化控制,保障核电厂的运行安全、运行效率和发电质量。

Q 核电厂热工仪表中应用的自动化控制技术

(一) DCS 系统

DCS 系统,分散式控制系统(Distributed Control System)是一种以计算机、局域网为基础,将控制系统分成多个分布式节点,对控制网络中的仪表、设备进行数据采集、监视和控制的系统。DCS 系统可以同时处理控制网络中的多个仪表和设备,无需依靠大量电缆实现系统设备之间的连接,且不会因为单个处理器的故障而影响整个控制网络的运行,是有效控制热工仪表、实现自动化控制的技术系统。DCS 系统可以辅助核电厂主辅机和系统实现系统检测、系统故障检测、控制故障区域、及时报警、联锁保护等功能。DCS 系统可实现对核电厂常规岛的发变组、高低压电源系统进行监视和覆盖。

以“华龙一号”常规岛的 DCS 控制系统为例:①控制逻辑设计。逻辑控制是常规岛自动化控制技术应用的主要神经,它关于整个厂区的安全运行。“华龙一号”常规岛的控制逻辑采用标准化的逻辑模块设计,可以满足“华龙一号”常规岛的阀门驱动需求。②功能图标准化设计。标准化是自动化控制技术应用于核电厂的基础设计的前提。因为标准化,所以 DCS 系统可以用框图的形式表示系统各个功能,用标准算法块控制开关量部分的控制部分,用标准算法或复杂算法通过构图元素向公众展示,以框图表达自己的逻辑关系、信号流向和接口功能。③驱动级功能模块设计。核电厂常规岛保护数十个工艺系统,保护数不清的气动阀、电动阀。工艺系统设计时,需用标准模块化设计来统一不

同阀门区域的表达方式，提高设计效率，避免因设计时思路不同、理解不同，影响后续其他人员理解系统控制逻辑。

表 1 常规到驱动功能后续

序号	驱动级功能模块名称	功能
1	全开全关型无中间停电动执行机构逻辑模块	开关型电动执行机构的监视和机构
2	带中间停就地无自保电动执行机构逻辑模块	带中停电动执行机构的监视和控制
3	带中间停就地有自保电动执行机构逻辑模块	带中停电动执行机构的监视和控制
4	单电控电磁阀得有电关启动执行机构逻辑模块	得电全开的气动执行机构监视和控制
5	单电控电磁阀得气开启动电动执行机构逻辑模块	得电全开的气动执行机构监视和控制
6	双电控电磁阀气动执行机构逻辑模块	双电控电磁七气体执行机构内监视和控制

(二)NASPIC 平台

NASPIC 是我国核动力研究设计院拥有自主知识产权的核电厂 DCS 平台，是核电厂自动化控制的中枢神经，具备故障探测和自诊断功能，能够为 DCS 系统提供维护指导，提供核电厂的安全系数。DCS 系统的监视对象覆盖具有关键功能的平台硬件、软件，监视信号采集、信号处理、信号输出、数据通信等设备，一旦发现故障数据，通过数据质量位或状态信息将故障上报。NASPIC 平台的基础功能模块中包含主控、I/O、通讯模块，模块应用嵌入式软件完成输入输出驱动、程序调度、冗余管理等与应用功能无关的基础性功能。基础功能模块在软件中分层排列，每层负责单独的基础功能。

(三)TG 包控制系统

核电厂常规岛中，汽轮发电机组的控制由 TG 包控制系统 TCS 实现。TCS 系统是指汽轮发电机组中的汽轮机、发电机、汽水分离再热器(MSR)、凝汽器、加热器等主要设备及它们之间的连接系统，负责将热能高效、安全、稳定转化成电能，实现对核能的利用。

Q 自动化控制技术核电厂在热工仪表中的应用

(一)DCS 系统在核电厂热工仪表中的应用

1. 监控蒸汽汽轮机

蒸汽汽轮机是核电厂中实现热能到电能结果的重要中间设备，主要由锅炉和蒸汽发生器产生的蒸汽带动，将蒸汽热能转化成电能。蒸汽转化发电过程中，蒸汽的温度、压力、流量等参数直接影响蒸汽汽轮机的运行状态和效率，影响热能转化成电能的过程效率。DCS 系统的应用可以根据仪表参数调节蒸汽转化环节锅炉、蒸汽汽轮机的运行，达到提高热能转化效率、提高发电效率的目的。

2. 监控辅助设备

核电厂常规岛中除了重要的蒸汽发生设备，还存在许多系统，如水冷却系统、通风系统、辐射监测系统等。辅助系统是核电厂常规岛部分安全、有效运行的重要保障力量，是让核电厂处于最佳发电环境、发电状态的关键。辅助系统中的设备也在 DCS 系统的监视和控制范围内，依靠 DCS 系统的监控来实现自动化工作，节约辅助系统能源消耗，提高核电厂整体生产效率，降低核电厂发生安全事故的概率。通风系统是核电厂常规岛重要的辅助设备，是帮助常规岛区域控制温湿度以及空气质量水平的系统，在 DCS 系统的监视和控制之下。DCS 系统会结合常规岛区域内安装的传感器反馈数据，分析评估常规岛区域是否需要调节通风系统，提高通风量或减小通风量，始终将常规岛区域的环境水平稳定在理想区间内。

3. 监控仪表安装

(1) 仪表表盘和设备控制下的安装和应用。自动化控制技术应用于常规岛热工仪表，保证仪表性能完整、处于工作状态、参数运行正常、无潜在故障威胁。全自动压力校验台可以对常规岛热工仪表中的压力部分进行校验，精确测定压力表、压力变送器、压力传感器的适用范围。全自动压力校验台对压力仪表的监控精度可以达到 0.05 级。常规岛设备仪表的压力范围大致分为四个部分，-20~20kPa 设备处于微压状态，-0.1~0MPa 设备处于中空之中，0~6 设备处于 0~6MPa 的气压影响下，而水泵与油泵的压力大约在 0~60MPa。自动监控和校验平台全天自动检修，控制分辨率在 0.1μV/0.1MΩ，分辨准确度达到 0.995%。系统重视且依赖对常规岛中数据信息的获取，应用自动化控制技术与压力测试氛围一起结合，是因为可以将平安到场、施工视为胜利。在检测工序治疗时可进行数据策略和管理采取，帮助数字滤波去除，提高常规岛热工仪表设备的使用效率。

(2) 仪表相关管路和配线的铺设和安装。热工仪表与测量目标设备之间需要管路、配线的铺设，确保热工仪表的工作不受电磁干扰等影响，保证热工仪表正常运行。热工仪表与管路配线连接前，应充分考虑常规岛中热工仪表检测的重要性，进行有效管路、配线的铺设和安排。铺设的管路和连接的配线需保证外部没有裂纹、没有锈蚀，较低的管路和配线的结合可以有效减轻管线部分的敷设成本和长度，为后期管线维护视为成长后的节奏，方便常规岛的管线维护管理。管路和配线在连接中应遵从常规岛运行的原则，带有一定的坡度，让管线中的流体利用重力和初速度实现管路中运行，确保气体液体有效分离。

(3) 吹扫管路与调试器的安装和应用。热工仪表在常规岛中的应用前，要求管路内不应有垃圾、杂物、灰尘等影响仪表的安装使用。一旦发现管路内有不符合质量要求的残

留物，吹扫系统可根据指令开机、吹扫，降低工作人员的工作压力，提升管路内清除杂物、回馈的质量和效率。若仪表被安装在常规岛高温、高压情境下，需对核电厂热工仪器的数据可靠性做保障，确保高温、高压环境对数据的质量提升有益。

(4) 仪表安装后开试运行，观察热工仪表能否正常显示参数，及时发现仪表问题、及时调整。热工仪表自动化试运行中，一方面需对大型仪表内置的数据进行独立衡量，确保大型仪表能够正常显示参数；另一方面需结合机组运行状态，如超 80h 试运行下的机组设备温度、压力、物位仪表综合显示参数情况，合理评估仪表的安装效果，确定热工仪表能够在常规岛自动化控制中发挥出应有的作用。

(二) NASPIC 平台故障诊断和报警应用

NASPIC 平台的自诊断分为平台自诊断和工程应用自诊断。

1. 平台自诊断

平台的自诊断能力依靠自诊断程序和电路实现，可以对平台模块进行初始化、静态、动态、周期性、连续性诊断，诊断故障属于信号源故障、信号通信链路故障还是模块故障，为故障排除做准备。① I/O 模块被诊断出故障时，如初始化失败、CPU 故障、电源故障、周期超时故障等，首先会在嵌入式软件环节完成数据采集、信号质量判断、自诊断信息上报。然后会在安全层中添加 CRC 查错校验码等信息，在通信层中添加源地址、目的地址、帧头/长度/尾信息，在链路层中添加帧序号和 CRC。如此逐层将诊断结果送至物理层做编码，达到主控模块被接收并在面板上显示，等待工作人员指示。② 通讯模块被诊断出故障时，如配置数据错误等，首先会熄灭 RUN 运行指示灯，亮起红色的 ERR 故障指示灯，熄灭 COM 指示灯，向工作人员提示发现故障、软件停止、电路已断开，等待维修。若通讯模块被诊断出主从故障时，会亮起红色的 COM 指示灯。③ 主控模块有两种诊断模式，分别在面板上以“下装”和“维护、正常”显示做区分。“下装”模式主要诊断主控模块和下装软件是否出现故障；“维护、正常”模式主要诊断平台软件和板卡是否出现故障。主控模块被诊断出故障时，如 ARM 芯片内核外围错误、通信故障等，会在液晶模块上显示故障编码，通过系统变量上报故障信息。下装软件被诊断出故障时，如用户参数错误、数据包校验失败、数据表序号错误等，会在液晶模块上显示故障编码，通过系统变量上报故障信息。板卡被诊断出故障时，也会利用液晶模块显示错误类型，但因为 I/O 模块等没有单独的液晶显示，所以会以前

两位表示故障模块所在的槽号。

2. 工程应用自诊断

工程应用自诊断主要针对 DCS 系统在核电厂中的应用而设计，覆盖核电厂中的设备状态，如机柜温度、机柜电源电压等。① 机柜温度超上限是工程应用自诊断的目标故障类型之一，通过机柜内的触点型温度控制开关进行监视和控制。一旦机柜内的温度超出限制，触发温度控制开关，开关会输出温度超上限报警信号。② 电源故障分为进线电源故障和电源模块故障。进线电源通过监测失压的触点和指示灯，诊断进线电源是否处于正常状态；电源模块通过一对故障触点针对输入电源故障和模块自身故障进行区分和信号上报。③ 机柜门开关状态也是工程应用自诊断的对象之一，通过柜门开关位置的触点实现对柜门状态的把握，每次柜门打开、关闭，都会通过触点输出“开门”“关门”信号。

(三) TG 包控制系统在常规岛应用

我国主要核电厂中的汽轮发电机组的 TG 包控制系统已经基本实现全面国产化。TCS 系统通常在主控室拥有两台专用的操作台，关联先进的传感器、执行器，通过传感器获取汽轮发电机组的热工仪表参数，通过执行器执行对汽轮发电机组的控制指令。一方面监控汽轮发电机组的运行情况，确保核电厂发电任务完成；另一方面保证汽轮发电机组的控制过程具有安全性、可靠性。

Q 结束语

核电是我国重要的清洁能源。我国有大量使用中、建设中的核电厂，核电运行安全稳健高效是关键。本文从核电厂常规岛热工仪表入手，分析其应用的自动化控制技术，从非安全级 DCS 系统、系统平台 NASPIC、TG 包控制系统三个方面探讨自动化控制技术在核电厂常规岛热工仪表中的应用。

参考文献

- [1] 李鸣谦, 王硕, 陈日晔. 核电厂智能化仪控系统应用框架设计及其实现构想[J]. 产业与科技论坛, 2022, 21(22): 42-44.
- [2] 李映林, 刘亚, 田苗. 核电厂半数字化仪控系统调试方案研究[J]. 仪器仪表用户, 2022, 29(04): 58-61+87.
- [3] 王国敬. 核电厂数字化仪控系统 I/O 通道自动化测试技术的研究与应用[J]. 自动化博览, 2021, 38(03): 48-51.

作者简介:

葛海波(1988—), 女, 汉族, 河北张家口人, 本科, 工程师, 大唐国际发电股份有限公司陡河热电分公司, 研究方向: 热工仪表。