

在役火电机组 DEH 与 ETS 系统国产化替代关键技术研究

范文超

新疆楚星能源发展有限公司 新疆 双河 833408

【摘要】：本文以新疆楚星公司#1 机组（150MW 超高压空冷抽凝式汽轮机）DEH/ETS 国产化替代项目为研究对象，依据 DL/T 1083-2019《火力发电厂分散控制系统技术条件》与 DL/T 774《火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程》的技术要求，系统分析了在役机组核心控制系统国产化改造的技术方案与实施路径。项目采用“核心替换、精准适配”策略，在保留现场设备的前提下，完成控制系统硬件、软件全面替换及单支 LVDT 向双支冗余配置升级。研究表明，依据行业标准实施国产化改造，国产控制系统在系统精度、控制周期、抗干扰能力等关键技术指标上可满足 150MW 等级汽轮机控制要求，为同类型机组核心控制系统国产化替代提供了可复制的技术范式。

【关键词】：国产化替代；自主可控；数字电液控制系统；紧急跳闸系统

DOI:10.12417/3041-0630.26.11.002

汽轮机数字电液控制系统（Digital Electro-Hydraulic Control System, DEH）作为火电机组的关键控制设备，负责汽轮机的转速控制、负荷调节、超速保护等功能；紧急跳闸系统（Emergency Trip System, ETS）则是保障机组安全的最后一道防线。长期以来，国内在役火电机组的 DEH 与 ETS 系统高度依赖艾默生 Ovation、西门子 T3000 等进口平台，从核心芯片、操作系统到应用软件均存在技术依赖与供应链隐患。随着国际形势日趋复杂，关键控制系统“卡脖子”风险日益凸显。在此背景下，国家能源局及各大发电集团相继发文，要求加快推进核心控制系统的自主可控替代。据公开报道，大唐南京发电厂于 2025 年完成全厂 DCS、DEH、MEH、ETS 全流程控制系统 100% 自主可控改造，成为集团公司首家实现该目标的超超临界火电厂。

在火电厂分散控制系统领域，我国已形成较为完善的标准体系。DL/T 1083-2019《火力发电厂分散控制系统技术条件》由国家能源局发布，替代 DL/T 1083-2008 版本，规定了分散控制系统的硬件、系统软件、应用功能及验收测试的技术要求，适用于新建或改扩建火力发电厂单机容量 300MW 及以上机组的 DCS，其他容量机组可参照执行。DL/T 774 系列标准则规定了分散控制系统运行、检修及其技术管理的要求，为系统全生命周期管理提供依据。

本文以新疆楚星公司#1 机组（150MW 超高压空冷抽凝式汽轮机）DEH、ETS 国产化改造项目为案例，依据上述标准的技术要求，从系统设计、硬件配置、施工实施与验收测试等维度进行系统阐述，为同类机组的国产化升级提供参考

1 系统现状与改造必要性分析

（1）原有系统概括：新疆楚星公司#1 机组汽轮机为哈尔滨汽轮机厂产品，DEH 及 ETS 系统均采用美国 Ovation 控制系统，于 2016 年投运。系统配置单支 LVDT 位移传感器用于高、

中压调节阀位置反馈，工程师站与操作员站基于 Ovation 专用软硬件平台。原有系统存在以下突出问题：

①硬件老化与备件困难。Ovation 控制系统硬件价格高昂，主流工控机仅支持 WIN7 及以上操作系统，与原有 DEH 软件不兼容，备件采购与维护成本持续攀升。②技术封锁风险。国外系统将关键技术参数封装，存在技术安全等问题。自 2020 年以来，进口系统对国内企业的供货与服务已受到不同程度影响。根据《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2023 版）》9.3.8 条，每个调节阀油动机宜安装不少于两只 LVDT 变送器，原有单支 LVDT 配置存在传感器失效导致阀门失控的风险。

（2）改造的可行性：经调研，南京科远、国电智深、杭州和利时等企业均具备 DEH 及 ETS 系统国产化改造能力，产品已在多家国内火力发电企业成功应用。和利时在核电领域已签订超过 20 套核电机组的 DEH 合同；科远智慧 NT6000 系统在国内首台超超临界机组即实现 DEH 全自主可控。

2 基于 DL/T 1083 标准的系统技术要求

DL/T 1083-2019《火力发电厂分散控制系统技术条件》是本次改造设计、实施与验收的核心依据。该标准规定了分散控制系统的硬件、系统软件、应用功能、技术资料 and 验收测试等技术要求。以下结合标准条款对改造方案进行分析。

（1）硬件技术要求：DL/T 1083 标准对 DCS 硬件提出明确要求，包括控制器、I/O 模块、电源、机柜等。本项目硬件配置主要技术要求如下：

①控制器冗余配置。系统控制器、通讯卡、重要 I/O 模块、工作电源及通讯总线均冗余配置，故障时实现无扰切换。控制器负荷率在最繁忙时低于 30%，以太网平均通信负荷率不超过 20%。这一配置符合标准对可靠性设计的要求。② I/O 模块要求。根据 DEH 点表清册（附件 3）和 ETS 系统保护功能清册

(附件2), I/O 模件预留 20%备用通道。模拟量输入信号精度 $\pm 0.1\%$, 模拟量输出信号精度 $\pm 0.2\%$, 满足 DL/T 1083 对测量精度的要求。所有输入/输出模件在输入端子上误加 250V 电压时应不损坏。③机柜防护等级。电子装置机柜外壳防护等级室内应满足 IP52, 机柜钢板厚度不小于 2.0mm, 符合 GB 4208《外壳防护等级(IP 代码)》要求。机柜内弱电信号端子排应与控制、电源供电回路端子排物理分开。

(2) 系统性能要求: DL/T 1083 标准对 DCS 实时性提出明确要求。本项目关键性能指标设定如下:

- 模拟量控制处理周期: $\leq 250\text{ms}$
- 开关量控制处理周期: $\leq 100\text{ms}$
- 转速控制处理周期: $\leq 50\text{ms}$
- OPC 与 OPT 保护逻辑处理周期: $\leq 20\text{ms}$
- 主控扫描周期: $\leq 5\text{ms}$

上述指标与标准对火力发电机组控制系统的要求保持一致, 超速保护回路处理周期要求更为严格, 以保障机组安全。

(3) 软件与网络安全要求: DL/T 1083 标准对系统软件及安全防护提出要求。本项目软件要求终身免费授权, 操作系统优先采用完全自主可控的国产系统。DEH 系统须与现有和利时 DCS 系统实现 Modbus、Profibus、TCP/RTU 等标准协议无缝通讯。值得关注的是, DEH 系统须接入北斗校时系统, 解决原系统与 DCS 时间不同步问题, 提升事故追忆的准确性。系统应配备具有抵御网络攻击和病毒入侵能力的专用防护工具, 符合 GB 17859《计算机信息系统安全保护等级划分准则》相关要求。

3 基于 DL/T 774 标准的检修运维技术要求

DL/T 774-2015《火力发电厂分散控制系统运行检修导则》规定了分散控制系统运行、检修及其技术管理的要求, 适用于单机容量 300MW 及以上机组的 DAS、MCS、SCS、FSSS 及热工保护系统。虽然标准适用范围为 300MW 及以上机组, 但 150MW 机组可参照执行。DL/T 774 标准的核心要求包括: 系统应具有在线诊断功能, 诊断至模件级故障; 系统自诊断报警应在操作员站显示, 便于运行人员及时处置; 模件应具备在线带电插拔和更换能力, 不影响其他模件正常工作。本项目设计满足上述要求。此外, DL/T 774 与 DL/T 659 等标准共同规定

参考文献:

- [1] DL/T 1083-2019.火力发电厂分散控制系统技术条件.
- [2] DL/T 774-2015.火力发电厂分散控制系统运行检修导则.
- [3] 防止电力生产事故的二十五项重点要求(2023 版).

了系统抗干扰能力测试要求, 包括现场引入干扰电压测试和抗射频干扰能力测试。本项目系统接地电阻小于 4Ω , 电缆绝缘电阻不小于 $5\text{M}\Omega$, 信号电缆与电力电缆分开敷设, 并采取屏蔽与接地措施。

4 双支 LVDT 冗余改造方案

原有高、中压调节阀为单支 LVDT 配置, 不符合《防止电力生产事故的二十五项重点要求》9.3.8 条关于“每个调节阀油动机宜安装不少于两只 LVDT 变送器”的要求。本项目拆除原有 6 支单支 LVDT, 新增 12 支 LVDT 传感器: 4 个高压调阀各安装 2 支量程 60mm 传感器, 2 个中压调阀各安装 2 支量程 200mm 传感器。控制逻辑依据 DL/T 1083 对冗余配置的要求设计: 采用智能高选策略, 任意一路 LVDT 故障时系统自动选取另一路; 两路偏差大时自动选择与指令接近的测量值并触发报警; 伺服卡具备吊杆检测功能, 故障时自动切换至备用 LVDT; 同时设置手动切除功能, 确保系统稳定性。

5 双支 LVDT 冗余改造方案

验收测试严格依据 DL/T 1083-2019 及 DL/T 774 系列标准执行, 验收清单包含 50 余项检验内容(附件 5), 涵盖以下方面: (1) 系统性能验收。改造后 DEH、ETS 系统功能投入率 100%, 转速控制精度 $\pm 1\text{RPM}$, 负荷控制精度 $\pm 1\text{MW}$ 。调门油动机快关时间 $< 0.5\text{s}$, 主汽门油动机快关时间 $< 0.4\text{s}$ 。(2) 硬件精度验收。模拟量输入通道精度 $\pm 0.1\%$, 模拟量输出通道精度 $\pm 0.2\%$ 。接地电阻 $< 4\Omega$, 绝缘电阻 $\geq 5\text{M}\Omega$ 。(3) 冗余切换验收。电源冗余测试、控制器冗余测试、通讯网络冗余测试均要求无扰切换, 在操作员站有报警记录。(4) 抗干扰能力验收。参照 DL/T 774 和 DL/T 659 规定的测试方法, 进行现场引入干扰电压测试和抗射频干扰能力测试。

6 结语

新疆楚星公司#1 机组 DEH、ETS 国产化替代项目, 严格遵循 DL/T 1083-2019《火力发电厂分散控制系统技术条件》与 DL/T 774《火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程》的技术要求, 采用国产自主可控控制系统替代原有 Ovation 系统, 同步完成双支 LVDT 冗余改造与北斗校时功能接入。项目实践表明, 依据行业标准实施国产化改造, 国产控制系统在控制精度、处理周期、抗干扰能力等关键技术指标上可满足在役机组的技术要求, 验证了该技术路径的可行性。本案例为同类型机组的国产化替代提供了可复制的技术范式。