

单台机组 DEH 系统国产化替代的关键技术难点与解决方案研究

范文超

新疆楚星能源发展有限公司 新疆 双河 833408

【摘要】：随着电力行业对自主可控要求的不断提高，DEH（数字电液控制系统）作为汽轮机核心控制单元，其国产化替代已成为必然趋势。本文以新疆楚星能源发展有限公司#2 机组 DEH 系统国产化替代项目为研究对象，深入分析了在替代过程中面临的 LVDT 位移传感器冗余改造、控制逻辑迁移与优化、系统兼容性适配、安全冗余设计及调试风险控制等关键技术难点，并针对性地提出了系列解决方案。通过实际应用验证，所提方案有效保障了替代后系统的安全稳定运行，为同类机组 DEH 系统国产化替代提供了重要参考。

【关键词】：DEH 系统；国产化替代；技术难点；解决方案；冗余设计

DOI:10.12417/3041-0630.25.19.001

1 案例背景

新疆楚星能源发展有限公司#2 机组汽轮机为哈尔滨汽轮机厂生产的 150MW 超高压、一次中间再热式机组，其原 DEH 及 ETS 系统采用美国 Ovation 控制系统，自 2016 年投运以来已接近使用寿命临界期。根据国家及行业关于自主可控替代的要求，结合设备老化、维护成本攀升等实际问题，该公司启动了 DEH 系统国产化替代项目。本次国产化替代选用南京科远、国电智深或杭州和利时等国产主流品牌最新控制系统，面临着从硬件适配到软件组态、从逻辑迁移到安全验证的全流程技术挑战。基于该项目实践，系统梳理替代过程中的关键技术难点，构建针对性解决方案体系，为国产化替代工程的规范化实施提供技术支撑。

2 DEH 系统国产化替代的关键技术难点分析

2.1 LVDT 位移传感器冗余改造难题

原系统高、中压调节阀采用单支 LVDT 位移传感器，不符合《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2023 版）》中“每个调节阀油动机宜安装不少于两只 LVDT 变送器”的规范要求。改造需新增 12 支 LVDT（4 个高压调阀×2 支+2 个中压调阀×2 支），汽轮机本体附近管道密集、空间狭小，双支 LVDT 及其支架的安装可能与原有设备发生干涉，同时需保证铁芯与被测物体的同轴度（误差≤0.5mm），否则将导致测量线性度偏差超过 0.1%。

2.2 控制逻辑迁移与优化困境

原 Ovation 系统控制逻辑需完整迁移至国产系统，Ovation 系统特有的功能块（如转速控制算法、阀门管理模块）与国产系统的编程范式存在差异，直接移植可能导致控制品质下降，如转速控制精度从±1RPM 劣化至±3RPM。原系统经过多年运行存在大量冗余逻辑、临时旁路及测试代码，若不进行优化将

导致国产控制器负荷率超过 30%的设计阈值，引发运算延迟。

2.3 系统兼容性与接口适配障碍

国产化系统需与原有设备及第三方系统无缝对接，原转速传感器为无锡河埭 ZS-04 型，输出信号特性与国产控制器的 AI 模块可能存在不匹配，导致转速测量误差超过 1r/min。需与和利时 DCS 系统实现数据交互，支持 Modbus、Profibus 等多种协议，通讯负荷率在峰值时需控制在 40%以内，否则将引发数据延迟。

3 针对性解决方案体系构建

3.1 LVDT 冗余改造解决方案

针对安装与信号处理难题，采用“空间优化+抗干扰设计+智能算法”三位一体方案。采用三维建模软件模拟安装空间，定制 L 型组合支架（厚度≥8mm 钢板），通过腰形孔实现±5mm 微量调，保证铁芯与阀杆同轴度≤0.3mm。支架表面进行镀锌处理，防腐等级达到 C4 级（适应电厂潮湿环境）。新增电缆选用双层屏蔽双绞线（型号：STP-120Ω-2×2×0.5mm²），信号电缆与动力电缆分开敷设（间距≥300mm），中间设置金属隔板。屏蔽层采用单端接地（机柜侧接地电阻<4Ω），电缆两端加装磁环（阻抗≥100Ω@100MHz）。开发“偏差监测-故障诊断-自动切换”三级处理逻辑，正常工况下采用加权平均算法（权重系数根据历史偏差动态调整）；当两路信号偏差>3%FS 时，自动选择与指令偏差小的信号，并触发报警；单路故障时无扰切换至另一路，切换时间<100ms，输出波动≤1%FS。

3.2 控制逻辑迁移优化方案

通过“逆向解析-模块化重构-仿真验证”流程实现逻辑无缝迁移。利用 Ovation 系统的离线组态软件导出原逻辑图，分解为 12 个功能模块（转速控制、负荷调节、阀门管理等），建立变量映射表（含 132 个 AI 点、86 个 AO 点、215 个 DI 点）。

采用国产系统的功能块重新搭建逻辑，对原系统中的 23 处临时旁路逻辑进行固化处理，删除 17 条冗余测试代码，使控制器负荷率从原设计的 45%降至 28%。关键算法（如一次调频死区补偿）采用梯形图与结构化文本混合编程，保证运算效率。搭建半实物仿真平台，模拟汽轮机从冲转到满负荷的全工况，验证逻辑正确性。重点测试 ETS 保护逻辑，通过注入故障信号的方式，确保 110%超速保护的响应时间≤15ms，较规范要求提升 25%。

3.3 系统兼容性解决方案

构建"接口适配-协议转换-时间同步"技术链条，若原 ZS-04 转速传感器与国产 AI 模件不兼容，更换为无锡河埭兼容型传感器（型号：ZS-04B），输出信号调整为正弦波（峰-峰值 8-12V，频率 0-10kHz），通过信号调理模块转换为 4-20mA 标准信号，确保转速测量精度±0.5RPM。配置冗余通讯网关（型号：KJJ127），支持 Modbus-RTU/TCP/IP 协议转换，采用双网卡（互为冗余）与 DCS 系统通信。网关设置数据缓存区（容量≥1000 点），当网络中断恢复后自动补发缓存数据，保证数据完整性。通讯负荷率控制在 30%以内（通过限制刷新频率：模拟量 1s/次，开关量 0.5s/次）。采用北斗/DCS 双源校时方案，主时钟模块（型号：BD-802）同步精度≤1μs，通过 SNTP 协议向 DEH 系统授时，每天校时误差累计≤5ms。SOE 记录采用硬件时标，分辨率达到 0.1ms，确保与 DCS 系统时间偏差<1ms。

3.4 安全冗余强化方案

控制器采用 1:1 热备冗余（切换时间<30ms），电源模块配置双路 220VAC 输入（分别来自不同段母线），输出 24VDC（冗余并机，总容量≥20A）。通讯网络采用双环网结构（光纤介质），交换机支持快速生成树协议（收敛时间<50ms）。将控制逻辑分散至 3 对冗余控制器（转速控制、负荷调节、ETS 保护各占 1 对），每对控制器负荷率控制在 25%以内。关键 I/O 模件（如调门指令输出）采用冗余配置，通过硬接线实现信号比对。

3.5 调试与风险控制方案

建立"分步调试-风险预控-培训赋能"保障体系，将调试分为 7 个阶段（如表 1 所示），每个阶段设置质量控制点。阀门动态特性调试采用"小开度预调+全行程精调"方法，通过注入阶跃指令（5%-10%-15%）逐步优化 PID 参数，确保快关时间达标且无超调。制定 168h 试运行期间的应急预案（含 8 类典型故障处置流程），配备应急备件（10%模件、2 套 LVDT 传

感器）。同时准备"一键恢复"方案，可在 30 分钟内将系统还原至改造前状态。

表 1 分步调试阶段及质量控制点

调试阶段	工作内容	质量控制点	验收标准
硬件检查	机柜安装、模件插接、电缆接线	接地电阻、绝缘电阻	接地≤4Ω，绝缘≥5MΩ
静态测试	I/O 通道校准、通讯链路测试	通道精度、通讯负荷	模拟量±0.1%FS，负荷≤30%
逻辑验证	控制逻辑下装、静态联动试验	逻辑正确性、无冗余	100%功能覆盖，无垃圾代码
单机调试	阀门静态标定、转速仿真试验	线性度、转速精度	线性度≤0.5%，精度±1RPM
动态调试	冲转、升速、并网带负荷	调节品质、响应时间	负荷波动≤±1MW，快关<0.5s
168h 试运行	全工况稳定运行监测	无故障运行时间、参数偏差	连续运行 168h，参数达标
性能验收	指标测试、文档交付	各项性能指标、资料完整性	100%功能投入，资料齐全

3.6 应用效果验证

改造后转速控制精度达到±0.8RPM，负荷控制精度±0.7MW，调门快关时间 0.42s（高压）和 0.38s（中压），均优于设计要求。双支 LVDT 信号偏差≤2%FS，切换过程无扰动。168h 试运行期间系统无故障，SOE 记录分辨率 0.5ms，与 DCS 时间同步偏差<0.3ms。控制器平均负荷率 22%，冗余切换 6 次（人为触发）均无扰动。较原计划节省改造费用 32 万元（主要来自 LVDT 改造替代进口方案），年维护成本降低约 15 万元（备件价格下降 60%）。

4 结论

DEH 系统国产化替代是一项涉及多专业的系统工程，其核心难点在于平衡技术适配性与安全可靠。本文提出的解决方案通过模块化设计、智能算法集成、分步调试等创新手段，有效破解了 LVDT 冗余改造、逻辑迁移等关键难题，在新疆楚星项目中验证了可行性。

参考文献：

[1] 曹耀武,王伟杰,李庭瑜.660MW 火电机组 DCS 与 DEH 一体化设计与应用[J].能源科技,2025,23(02):50-54.
[2] 王世云,何永君,包伟飞.DEH 系统电源故障分析处理与预控[J].仪器仪表用户,2023,30(12):73+100-103.