地热电站自动化控制系统优化分析

张成成
山东电力建设第三工程有限公司　山东　青岛　266073

摘　要：地热电站能否持续平稳生产，很大程度上取决于自动化控制系统的保障能力。文章围绕这套系统展开研究，说明它对电站安全生产、减少能耗以及保护周边生态有着关键价值。研究从硬件设备、配套软件、控制逻辑和现场运维四个层面，梳理出设备老旧、不同模块适配性不足、功能缺失、控制方法落后、运维流程不标准等现实难题。结合现场实际情况，分别给出硬件更新、软件迭代、优化智能控制方案、健全运维管理制度等改进办法，以此改善地热电站运行状态，推动电站朝着智能化方向升级。

关键词：地热电站；自动化控制；系统优化

引言

地热电站依靠自动化控制系统维持稳定生产，这套系统的好坏直接关系地热资源利用水平和电站收益。现阶段不少地热电站自控系统存在明显短板，硬件老化、软件功能不全、控制方案老旧、现场运维管理松散等问题，阻碍电站长期稳定与智能化推进。本文立足现场运行工况，梳理自控系统各类缺陷，从硬件配置、软件模块、控制方案、运维机制四个方面给出优化措施，帮助地热电站改善运行水平，实现长效稳定运营。

1 自动化控制系统在地热电站中的重要性

地热电站想要维持安全可靠、经济高效的持续生产，自动化控制系统是必不可少的基础装备，也是地热发电产业稳步发展的重要支撑。地热发电整套工序包含地热流体抽取、换热发电、设备巡检、工艺参数调节等多个相互关联的环节，如果只依靠人工操作管控，很难做到各项参数持续精准把控。借助自动化控制系统，可以对电站全流程实施不间断监测，实时调整运行工况，依靠智能手段优化生产过程，保障整套发电系统平稳运转。在日常生产阶段，系统能够对机组工作状态、介质温度、压力、流量等关键指标实施精细调节，减少人工操作容易出现的偏差和疏漏，提升发电设备运行可靠性与电能产出水平。采用自动化管控方式，还可以压缩现场人工值守工作量，减少多余能源消耗与机件磨损，从长期运营角度缩减电站投入成本。除此之外，自控系统对于地热资源合理开采和区域生态保护同样意义重大。系统能够约束地热流体开采规模，防止过量抽取造成资源浪费，推动地热这类清洁能源得到科学利用[1]。系统还可持续采集生产环节各类环境监测数据，对换热、排水等工序及时调整，减轻发电活动对周边生态带来的扰动，让电站运营同时兼顾安全收益、经济收益与生态收益。

2 地热电站自动化控制系统现存问题分析

2.1 硬件方面

一是硬件设备老化问题突出，国内多数地热电站投运年限较久，其配套的自动化控制硬件设备长期处于不间断运行状态，加之缺乏系统性的迭代更新，设备老化损耗问题愈发明显。各类监测传感器长期受地热特殊环境影响，采集数据的精准度持续下降，温度、压力、流量等核心参数采集存在偏差，同时阀门、调节器等执行机构出现卡顿、响应滞后、动作失灵等情况，直接降低系统数据采集质量与精准控制能力。二是新旧硬件设备兼容性不足，随着自动化控制技术快速迭代，新型智能硬件设备不断普及，但多数电站仍沿用老旧主控系统，原有硬件架构、通讯协议与新型设备不匹配，导致新设备无法顺利接入原有控制系统。三是硬件抗干扰性能薄弱，地热电站现场工况环境复杂，设备运行产生的电磁辐射、机械振动，以及地热介质带来的温湿度变化，都会对控制硬件造成干扰。现有部分硬件防护等级低、抗干扰设计不足，易受外界环境影响，频繁出现数据波动、信号中断、系统误触发等问题，大幅降低了控制系统的运行稳定性与可靠性。

2.2 软件方面

（1）软件功能完整性不足。现有控制系统软件功能体系较为单薄、覆盖面有限，功能设计偏向基础化、单一化，仅能满足简单的设备监测、基础操控等基础工作。随着地热电站机组运行工况愈发复杂、运维管理标准持续提升，现有软件功能已难以适配多元化的运

行管理需求。尤其缺少设备故障智能诊断、故障提前预测、运行数据智能分析等核心智能化功能，无法提前预判设备潜在隐患，仅能在故障发生后被动处置，大幅降低了电站运维的智能化与高效化水平。（2）软件运行稳定性欠佳。软件系统在长期连续运行过程中，稳定性与可靠性表现不佳，频繁出现程序卡顿、系统死机、运行中断等故障，同时还存在历史运行数据、设备参数数据丢失、数据传输异常等问题。此类软件故障会直接打乱自动化控制系统的连续运行节奏，导致设备管控失效、运行数据断层[2]。（3）软件人机交互体验较差。软件用户界面设计缺乏人性化、合理化规划，布局烦琐、操作逻辑复杂，交互设计老旧且不符合一线运维人员的操作习惯。管理人员在开展设备巡检、参数调试、系统维护等工作时操作烦琐、耗时费力，上手难度较高，极大降低了日常运维工作的效率，也增加了人为操作失误的概率。

2.3 控制策略方面

第一，控制算法较为滞后。目前多数地热电站沿用传统的控制算法，算法逻辑固化、更新滞后，无法结合电站实时运行数据、工况状态动态调整控制参数。这种僵化的控制模式难以适配设备运行的细微变化，直接导致系统控制精度不足，大幅降低了地热资源的转化与利用效率，造成能源浪费。第二，系统自适应调控能力缺失。现有控制系统智能化程度较低，无法精准感知外界环境温度、水文条件以及机组设备的运行状态变化，不能自主优化调整控制策略。面对复杂多变、波动不定的运行工况时，系统调控响应滞后，极易出现运行参数偏移的问题，难以保障地热电站持续稳定运行。第三，多设备协调控制能力不足。地热电站属于综合性复杂运行系统，各类设备、运行环节关联性极强。但当前控制系统缺乏系统化的协同调控机制，各设备多为独立控制，无法实现联动适配，容易出现单一设备运行最优、整体系统运行失衡的情况，制约电站整体运行效能的提升。

2.4 运维管理方面

（1）运维人员专业能力不足。现有部分一线运维人员专业技术储备薄弱，对电站自动化控制系统的运行原理、核心技术、操作逻辑掌握不够透彻。同时人员常态化专项培训、实操演练机制缺失，实战运维经验不足，面对系统突发故障、隐蔽性故障时，无法快速精准定位故障根源，故障排查、修复效率偏低，易造成系统带故障运行的情况。（2）运维管理制度体系不健全。现阶段尚未建立标准化、系统化的运维管理流程与规章制度，设备日常巡检、维护保养、故障处置、台账记录等核心工作缺乏明确的标准规范和责任划分。运维工作开展无据可依、流程混乱，常态化运维落实不到位，大幅降低了控制系统运行稳定性。（3）备品备件管理不规范。备件库存管控缺乏科学规划，库存盘点、申购、存储管理机制不完善，普遍存在备件积压、关键备件短缺等问题[3]。当设备部件损坏需要更换维修时，无法及时匹配所需备件，导致设备停机维修时间大幅延长，直接影响电站整体运维效率和常态化生产运行。

3 地热电站自动化控制系统优化策略

3.1 硬件优化

一是落实老旧硬件更新改造，构建常态化设备巡检、性能检测与状态评估体系，全面排查控制系统各类传感设备、执行装置及配套元器件的运行状态，对测量精度大幅下降、频繁出现故障、运行工况不稳定及超期服役的老旧设备进行批量更换，彻底解决老旧硬件带来的数据失真、控制失灵等问题。二是规范硬件兼容适配管理，在新增和替换硬件设备过程中，严格恪守行业标准化设计规范，统一各类设备的接口型号、传输规格及通信协议，充分考量新设备与原有控制系统、老旧配套设备的适配性，有效规避软硬件兼容冲突、设备联动卡顿等问题，实现新老硬件无缝对接、协同运行。三是强化硬件抗干扰能力建设，结合地热电站复杂的现场运行环境，优先选用高适配的工业级硬件设备，同时针对性实施信号屏蔽、规范接地布线、信号滤波处理等防护措施，有效抵消现场电磁干扰、温湿度变化等外界因素影响，全方位提升自动化控制系统硬件设备的运行稳定性与安全防护水平。

3.2 软件优化

（1）完善核心软件模块。结合地热电站设备工况、现场运维习惯以及现有软件存在的不足，对原有自控软件开展功能更新与扩充。改变系统仅能完成基础数据采集和简单控制的传统模式，增加设备故障自动识别、运行风险提前预警、海量运行数据挖掘分析等功能模块。系统持续采集发电机组、换热装置等关键设备的实时数据，依靠数据对比识别潜在异常，提前预判设备故障。同时汇总多年运维历史数据，为工艺参数调整、设备检修计划编制、现场运维安排提供数据依据，进一步增强系统智能管控能力。（2）增强软件可靠程度。选用成熟的开发手段重构系统框架与底层逻辑，修正原有代码存在的缺陷。建立完整的软件测试方案，分别在常规负荷、满负荷以及特殊工况条件下开展多轮测试，查找并处理程序缺陷、响应延迟等问题。依靠持续版本更新与漏洞修复工作，降低软件报错、中断、失效等现象发生

概率，提高系统抗干扰能力。（3）优化人机交互页面。根据现场运维人员实际操作习惯，对软件操作界面进行改造升级[4]。删减冗余页面元素，采用清晰规整的页面布局，利用动态图表直观呈现设备参数、工作状态以及报警提示信息。简化各项操作步骤，降低上手难度，便于运维人员快速开展设备监视、参数修改、故障定位等工作，缩短异常处置时间。

3.3 控制策略优化

第一，更新优化智能控制算法，不再沿用老式固定的控制方式，引入模糊控制、神经网络、模型预测控制等前沿技术。结合地热机组的运行特点与热源流量波动规律，建立贴合现场工况的仿真模型，摆脱人工反复整定参数带来的局限，对关键运行参数进行动态自主调节，提升控制精度，减少生产能耗，充分发挥地热资源的利用潜力。第二，增强系统自适应调节能力，开发适配地热电站多变工况的自适应控制框架。系统持续采集环境温度、地热流体流量、设备磨损状态等信息，自主判断工况变化，在不需要人工介入的前提下调整控制参数与逻辑，适配高低负荷切换、昼夜温度变化、设备轻微老化等场景，保障电站全天候稳定运转。第三，健全多设备协同控制机制，构建全站设备联动调控模型。统一管理发电机组、换热装置、循环泵等核心设备，改变单台设备独立调节的模式，避免出现单设备工况最优但整站运行效益偏低的情况，实现各设备之间工况匹配、联动调节，进一步提高地热电站整体运行效率与综合运维能力。

3.4 运维管理优化

一是强化运维人员专业能力建设，常态化开展运维专项培训与技术交流工作，围绕自动化控制系统核心原理、实操规范、故障排查、日常维护等重点内容搭建系统化培训体系，定期组织技能学习、案例研讨、技术对标等活动，全方位夯实运维人员的专业基础，提升实操处置与问题攻坚能力。二是健全标准化运维管理体系，梳理完善全套运维工作制度与作业流程，细化设备日常保养、定期巡检、故障上报、应急处置、复盘总结等各环节工作标准，明确岗位职责与作业规范，同时搭建运维监督考核机制，对各项运维工作的落实情况、工作质量、处置效率进行全程监督考评，倒逼运维工作规范化落地，切实提升整体运维质效。三是优化备件库存管控模式，搭建科学化、精细化的备件库存管理体系，结合设备运行频次、损耗规律、故障发生率等数据精准测算备件储备量，引入 ABC 分类法、经济订货批量模型等先进管理手段，分类分级管理各类备件，精准把控备件采购、储备、领用全流程，有效规避备件积压、短缺等问题，保障运维备件按需、及时供应，为设备稳定运维筑牢物资保障。

结语

综上所述，地热电站自动化控制系统的运行质量，直接关乎电站安全运行、发电效能与清洁能源利用水平。当前系统在硬件设备、软件功能、控制策略及运维管理等多方面存在明显短板，制约地热发电产业规范化、智能化发展。针对性开展硬件升级、软件迭代、控制算法优化及运维体系完善等改良工作，可有效解决系统运行隐患，提升设备管控精度与电站运行效率，降低运营能耗与成本。此举能够推动地热资源高效绿色开发，助力地热发电行业长效稳定发展。

参考文献

[1] 原辉. 燃气供热电站余热锅炉连排余热利用改造研究 [J]. 能源科技,2025,23(3):49-51.

[2] 康宁, 李栋, 徐皓鹏, 等. 槽式光热电站集热回路流量不均影响分析 [J]. 电力勘测设计,2025,(2):24-28+92.

[3] 黄巨朋. 光热电站的新能源电力外送系统优化技术探析 [J]. 电力设备管理,2025,(4):135-137.

[4] 陈伟, 刘文翰, 魏占宏, 等. 计及需求响应的光热电站参与深度调峰的分层优化调度策略 [J]. 太阳能学报,2024,45(3):579-590.