

天然气压缩机组远程停机系统改造

朱洪伯 李二东 付瑞泽

国家管网西北公司山西输油气分公司 山西 太原 030000

摘要: 天然气压缩机组是能源传输领域的关键设备,其运行安全性直接影响生产连续性与运营效益。传统停机系统依赖本地操作与有线传输,在复杂工况与偏远部署场景下,易因响应不及时、操作受限等引发设备故障甚至安全隐患。本文分析传统停机系统现状与改造需求,阐述远程停机改造核心技术基础,设计“云端-边缘-现场”三级架构改造方案,明确硬件搭建、软件集成及系统调试要点。提出全方位安全防护策略与可行性保障措施,为天然气压缩机组远程停机系统改造提供技术参考。

关键词: 天然气;压缩机组;远程停机;系统改造

引言:天然气压缩机组传统停机系统存在响应滞后、操作局限、监测不全等问题,制约机组安全稳定运行。远程停机改造是解决上述问题的有效路径,但需突破信号传输、状态感知等核心技术瓶颈。随着工业智能化发展,远程控制技术为停机系统升级提供可能,但现有改造面临技术适配、系统兼容、安全保障等诸多挑战。本文聚焦天然气压缩机组远程停机系统改造,系统梳理现状问题、核心技术与实施方案,旨在构建高效可靠的远程停机体系,提升机组运行安全管控水平。

1 天然气压缩机组停机系统现状分析

1.1 现有停机系统结构与工作原理

现有天然气压缩机组停机系统主要由信号采集模块、逻辑控制单元、执行机构及辅助保护组件构成。信号采集模块通过温度传感器、压力变送器、振动检测器等设备,实时捕捉机组缸体温度、进出口压力、轴系振动等关键运行参数;逻辑控制单元以PLC控制器为核心,预设参数阈值,对采集到的信号进行实时比对分析;执行机构包含电磁阀、液压执行器等,负责接收控制指令完成燃油切断、进气阀关闭等停机动作。其工作原理为:当机组运行参数超出预设阈值,或操作人员发出手动停机指令时,控制单元立即触发逻辑判断,向执行机构发送动作信号,同时联动辅助保护组件切断相关动力源,实现机组快速停机,避免故障扩大。

1.2 现有系统存在的核心问题

现有停机系统存在三大核心问题。一是响应时效性不足,信号采集与指令传输依赖传统有线传输方式,在复杂工况下易受电磁干扰,导致信号延迟,无法实现故障的瞬时响应;二是操作局限性明显,主要依赖现场手动操作或本地控制室控制,当机组部署在偏远区域或恶劣环境中,操作人员无法及时抵达现场,难以快速处理

突发故障;三是状态监测不全面,控制单元对停机系统自身组件的健康状态缺乏有效监测,如执行机构卡滞、传感器失效等问题无法提前预警,易导致停机指令执行失效,引发安全隐患^[1]。

1.3 远程停机系统改造的核心需求

远程停机系统改造的核心需求围绕提升响应效率、拓展操作范围、强化系统可靠性展开。一是需实现信号传输的高速度与稳定化,采用无线通信技术搭建远程数据传输链路,确保机组运行参数与控制指令的实时交互,缩短故障响应时间;二是要构建远程操控平台,支持操作人员通过电脑、移动端等终端远程监测机组运行状态,一键下发停机指令,突破地域与环境对操作的限制;三是需完善系统自诊断功能,增加对采集模块、执行机构等关键组件的状态监测,实时排查设备故障并发出预警,同时具备停机指令执行反馈机制,确保停机动作精准落地,提升系统运行的可靠性与安全性。

2 远程停机系统改造的核心技术基础

2.1 远程信号传输技术

远程信号传输技术是远程停机系统的核心通信支撑,其核心要求为高可靠性、低延迟性与抗干扰性。改造过程中需采用工业级无线通信技术为主体,结合光纤通信作为补充,构建双链路传输架构。工业级无线通信可选用第五代移动通信(5G)技术或远距离无线电(LoRa)技术,5G技术凭借大带宽、低时延特性,能实现机组运行参数、控制指令的高速实时传输,保障远程操作的及时性;LoRa技术则具备远距离传输与低功耗优势,适用于偏远区域机组的信号覆盖。同时,需配备信号加密与校验机制,通过高级加密标准(AES)算法对传输数据进行加密处理,结合循环冗余校验(CRC)技术排查数据传输过程中的错误,防止数据被篡改或丢失,确保远程

通信的安全性与准确性。

2.2 机组状态感知与信号采集技术

机组状态感知与信号采集技术是实现精准停机控制的前提,需在现有采集体系基础上升级优化,提升感知的全面性与数据的精准度。一方面,拓展感知参数范围,新增对机组润滑油压力、冷却系统温度、电机电流等关键参数的监测,同时引入高精度振动传感器、红外温度传感器等设备,提升对微小故障信号的捕捉能力;另一方面,采用智能化采集终端,具备数据预处理功能,可对采集到的原始信号进行滤波、放大、模数转换等处理,剔除环境干扰带来的无效数据,提升数据质量。并通过时间同步技术实现各采集节点的数据同步采集,确保不同参数数据的时间一致性,为控制逻辑判断提供精准的数据支撑^[2]。

2.3 安全联锁与控制逻辑技术

安全联锁与控制逻辑技术是保障远程停机系统可靠运行的核心,需构建多层次、高容错的控制体系。控制逻辑设计采用模块化编程,搭建故障诊断、停机决策、应急处理协同模块:实时分析参数判定故障类型与等级,按故障等级匹配停机策略并区分紧急与正常模式,极端情况下触发本地冗余停机。通过多重参数阈值联锁强化保护,单一参数超标预警,多关联参数超标或突变时立即强制停机,规避误判风险,提升安全性。

2.4 抗干扰与冗余备份技术

抗干扰与冗余备份技术是提升远程停机系统稳定性的关键保障。抗干扰方面,通过电磁屏蔽处理核心部件,结合数字滤波剔除信号干扰噪声。冗余备份采用多层次架构:通信链路实现无线与有线双链路切换,控制单元配置双机冗余确保无缝接管,电源系统配备不间断电源保障突发停电运行。同时建立系统状态实时监测与自修复机制,持续监控冗余组件状态,及时处置故障,保障全天候稳定可靠。

3 天然气压缩机组远程停机系统改造方案设计

3.1 改造总体架构设计

本次远程停机系统改造采用“云端-边缘-现场”三级架构设计,实现远程精准控制与本地可靠保障的协同运行。(1)云端层为远程监控中心,部署服务器集群、监控平台及数据存储系统,负责机组运行数据的集中管理、状态监测、指令下发及历史数据追溯。(2)边缘层部署边缘计算节点,具备数据预处理、本地逻辑判断及应急响应功能,可在云端与现场通信中断时自主完成停机控制,降低对云端依赖;现场层对原有信号采集模块、执行机构进行升级改造,新增无线通信模块、状态监测

传感器及冗余保护组件,实现参数采集的全面性与指令执行的可靠性。(3)架构核心逻辑为:现场层实时采集机组运行参数及系统自身状态数据,经边缘层预处理后通过无线通信链路传输至云端层;云端层对数据进行深度分析,生成运行状态评估报告,操作人员可根据实际需求下发远程停机指令;指令经边缘层校验后传输至现场执行机构,完成停机动作,同时各层级实时反馈运行状态,形成闭环控制。

3.2 各核心模块详细设计

各核心模块按三级架构分层设计,精准匹配改造需求。(1)云端监控模块,采用B/S架构搭建远程监控平台,支持多终端接入,具备实时数据展示、参数阈值设置、停机指令下发、故障报警、历史数据查询等功能;数据存储采用分布式数据库,保障海量运行数据的安全存储与快速检索。(2)边缘计算模块,选用工业级边缘网关,集成数据滤波、逻辑运算、通信协议转换等功能,预设本地应急停机逻辑,当云端通信中断或出现极端故障时,立即启动本地控制模式,确保机组安全停机;同时具备通信链路切换功能,可在无线与备用有线链路间自动切换^[3]。(3)现场采集模块,升级原有传感器为高精度智能传感器,新增润滑油品质传感器、执行机构状态传感器等,拓展参数采集范围;采用模块化设计,便于故障排查与更换,采集数据经数字化处理后传输至边缘层。(4)执行与冗余模块,对原有执行机构进行液压/气动系统升级,提升动作响应速度;新增备用执行机构,与原有机构成冗余配置,当主执行机构故障时,备用机构立即启动;配置UPS不间断电源,保障突发停电时系统核心部件正常运行。

3.3 安全防护方案设计

安全防护方案从数据安全、控制安全、设备安全三个维度构建全方位防护体系。(1)数据安全方面,采用端到端加密机制,对采集数据、控制指令在传输全过程进行AES-256加密处理;云端部署防火墙、入侵检测与防御系统,拦截非法访问与恶意攻击;定期对数据进行备份与校验,防止数据丢失或篡改。(2)控制安全方面,设置多层次权限管理,对操作人员进行分级授权,不同层级人员拥有不同操作权限,关键停机指令需多人验证审批;引入控制指令校验机制,边缘层对云端下发的指令进行合法性与合理性校验,避免误指令或恶意指令执行;设置操作日志记录功能,对所有远程操作进行全程追溯。(3)设备安全方面,对现场电气设备进行防爆、防水、防尘改造,适配复杂工况环境;在执行机构、传感器等关键设备旁设置状态指示灯与故障报警装置,便于

现场人员快速定位故障；定期对设备进行校准与维护，建立设备健康档案，提前预警潜在故障^[4]。

3.4 改造方案的可行性分析

改造方案的可行性从技术、经济、工况适配性三个方面得到充分保障。(1) 技术可行性上，方案所采用的5G/LoRa无线通信、边缘计算、端到端加密等技术均为成熟的工业级技术，具备完善的技术标准与应用体系；核心设备如智能传感器、边缘网关、工业防火墙等均有成熟的商业化产品可供选择，且技术团队具备丰富的工业控制系统改造经验，可保障改造技术落地。(2) 经济可行性上，改造采用模块化升级方式，可充分利用原有PLC控制器、执行机构等设备，降低设备更换成本；改造完成后，可减少现场操作人员配置，降低人工成本；避免因故障停机不及时导致的设备损坏与生产损失，长期经济效益显著。(3) 工况适配性上，方案充分考虑偏远区域、恶劣环境等复杂工况特点，采用的无线通信技术具备强抗干扰能力与远距离传输特性，设备具备防爆、耐高低温等适配性能；边缘层的本地应急控制功能可有效应对通信中断等极端情况，确保系统在各种工况下稳定运行。改造过程可采用分阶段实施方式，先进行单台机组试点改造，验证方案可行性后再全面推广，降低改造风险。

4 远程停机系统搭建与调试

4.1 系统搭建核心环节

系统搭建需先完成核心组件选型与部署，包括远程控制终端、信号传输模块、执行机构及安全防护单元。需确保各组件兼容性，依据系统负载需求匹配硬件参数，同时完成软件系统安装与基础配置，搭建数据传输链路并进行加密处理，保障指令传输的安全性与稳定性。后续完成硬件接线与模块集成，核对各单元连接准确性，构建起“控制终端-传输链路-执行机构”的完整架构，为后

续调试奠定基础。

4.2 系统联调与参数优化

联调阶段先开展分模块测试，验证各单元独立运行状态，再进行全系统联动测试，模拟远程停机指令下发、信号传输、执行机构响应全流程。重点检测指令响应时效性与动作准确性，排查链路延迟、信号干扰等问题。参数优化需基于联调数据，调整信号传输频率、指令触发阈值等关键参数，提升系统抗干扰能力；同时优化执行机构响应逻辑，确保停机动作平稳可靠，最终实现远程停机指令的精准、快速执行，保障系统运行稳定性^[5]。

结束语：天然气压缩机组远程停机系统改造是提升系统运行安全性的关键。改造需立足硬件适配、软件协同与系统联调优化多维度协同发力，依托远程信号传输、状态感知等核心技术，构建“云端-边缘-现场”三级架构体系，实现信号高速传输、远程精准操控与系统可靠防护。通过全流程技术落地与优化迭代，有效突破地域与环境限制，强化系统响应与自诊断能力，为机组安全稳定运行筑牢防线，为工业机组远程管控升级提供可行路径。

参考文献：

- [1]黄永智,冯丞科,张举,等.天然气压缩机组故障智能诊断系统及应用研究[J].中国设备工程,2021(17):24-25.
- [2]柳洁,李飞,张少龙,等.天然气压缩机组状态监测探析[J].中国设备工程,2021(17):179-180.
- [3]赵鹏辉,赵刚,张国瑞.往复式天然气压缩机组工况升级改造技术研究[J].设备管理与维修,2024(12):123-126.
- [4]夏思访.天然气压缩机组可变级压缩改造方案探讨及经济性分析[J].压缩机技术,2025(4):43-46,57.
- [5]杨丽茹.离心式天然气压缩机组系统调试的优化组织[J].设备管理与维修,2023(7):131-133.