

# 空压机温度测点单点联锁技术改造与应用研究

单少军

安阳钢铁股份有限公司动力作业部 河南 安阳 455000

**摘要:** 空分机组空压机原有温度测点采用单点联锁架构, 仪表线路故障极易引发机组非计划误停车。现场配套FOXBORO I/A Series、横河CENTUM VP两套异构DCS系统, 硬件、采集卡件、信号采集模式差异显著。统一搭建“二选二”冗余联锁逻辑。改造后仅双通道同步超温才触发停机, 单通道断线、接触不良、信号漂移等仪表故障仅输出声光报警, 彻底消除虚假高温跳车隐患。机组长期运行稳定, 联锁动作精准可靠, 可为冶金行业同类空分压缩机组仪表联锁安全升级提供可复制工程范本。

**关键词:** 空压机; 温度测点; 单点联锁; DCS; 冗余改造; 异构信号; 仪表容错

## 1 引言

空分装置是制氧供气核心单元, 23500Nm<sup>3</sup>/h机组配套空压机为整套装置动力核心, 轴承、齿轮箱、密封、供油等关键温度测点是预判烧瓦、转子抱死等重大机械故障的核心监测依据, 温度联锁直接决定机组连续稳定供气能力。

装置现场长期处于复杂工况, 热电阻老化、端子氧化松动、电缆破损、卡件通道接触不良等故障频发, 极易产生虚假高温信号触发紧急停机。单次非计划停机恢复周期长达3小时, 低温精馏系统反复升降温会造成大量气体、液体放空损耗; 机组频繁启停对转子、轴承、膨胀机等精密设备形成交变冲击, 缩短设备服役周期, 增加高空、高压应急抢修安全风险与运维人力成本。

当前工业旋转设备保护体系已由事后抢修转向事前主动预防, 双传感器冗余联锁成为行业主流方案。现有成熟改造案例大多针对同型号DCS、硬件通道充足机组开展标准化双热电阻改造, 而老旧厂区普遍存在备件枯竭、机柜无空余I/O通道、多品牌异构DCS并存、就地控制箱空间狭窄、混合电流/电阻信号采集等复合工况, 对应的成套差异化改造工艺、分场景组态方案公开研究与落地案例较少。

本文依托4套空分空压机温度联锁容错改造工程, 结合两套异构DCS硬件特性与三类差异化施工痛点, 系统阐述备用通道扩容、旧卡件利旧、异构信号归一化三大核心技术实施路径, 完整覆盖现场勘查、物资筹备、布线施工、DCS组态、故障模拟、传动验收、长期投运全流程质量管控, 量化评估改造经济、安全、技术综合效益, 总结标准化改造流程, 为行业同类压缩机组仪表联锁升级提供完整工程参考。

## 2 项目背景与现存问题

### 2.1 机组整体配置概况

行业内普遍存在空压机数量多、分布散、用人多、不易于管理情况。特别是采用人工操作不能及时、合理和准确的实现对空压机的控制。为了更好的创造安全生产环境、提升节能水平, 实现安全生产, 对空压机的运行状态实时准确监测及智能分析, 同时, 制定一体化解决方案, 这能为当前空压机稳定运行、智能控制研究提供方向, 并真正实现空压机一体化管理、动态监测<sup>[1]</sup>。

4套23500Nm<sup>3</sup>/h空分机组分属两套独立DCS平台, 每套机组压缩机、电机配置十余组关键联锁温度测点, 全部测点仅单路信号参与停机联锁, 无故障判别、冗余表决功能。四套机组机柜余量、备件储备、现场安装条件差异大, 需制定专项改造方案。

### 2.2 分机组核心问题

2.2.1 1#、3#机组 (FOXBORO I/A Series, FBM203 RTD卡件)

DCS机柜预留充足插槽与闲置热电阻采集通道, 现场桥架、就地箱体具备新增电缆敷设空间, 改造约束少。改造核心需求为在线施工、不中断生产, 快速完成双支热电阻新增布线、通道接入与标准化冗余逻辑组态, 实现低成本快速升级。

2.2.2 2#机组 (FOXBORO I/A Series, FBM203卡件)

装置投产年限久, 历次技改机柜已无空余I/O通道, 企业无全新FBM203备件库存, 外购新卡采购周期长、成本高。改造难点在于退役旧卡件可靠性检测、系统版本兼容验证、72小时稳定性模拟测试; 机柜无空余插槽需重新布局卡件、重构测量回路, 全程管控带电插拔、线路改动带来的运行风险。

2.2.3 4#机组 (横河CENTUM VP, AAI143-H电流输入卡)

与其余三套机组DCS完全异构,测点采用“RTD直采+温变4-20mA电流”混合采集模式,两路信号物理量、采集卡件完全不同;就地控制箱出厂无预留端子安装位,狭小空间高密度布线易产生电磁干扰。核心攻关内容为异构信号统一换算、数值比对表决,配套狭小箱体分层抗干扰布线工艺。

### 3 国内外研究现状、行业趋势

#### 3.1 行业技术现状

大型旋转设备保护体系全面向主动预防转型,老旧装置单点联锁稳定性缺陷突出,单点仪表故障即可造成重大经济损失。现阶段主流改造方案均采用双传感器“二选二”冗余逻辑,但现有文献与工程案例场景单一,极少覆盖多品牌异构控制系统、备件短缺、安装空间受限多重约束叠加的成套改造方案<sup>[2]</sup>。本项目同步覆盖FOXBORO、横河两大主流DCS,一次性解决通道充裕、备件枯竭、混合信号采集三类典型难题,工程经验具备独特推广价值。

#### 3.2 行业技术发展趋势

##### 3.2.1 软冗余降本替代硬冗余

减少冗余控制器、新增采集卡等高成本硬件投入,依托DCS功能块、故障算法、精细化表决逻辑搭建软件冗余,以低成本实现同等安全等级,契合企业降本增效需求。

##### 3.2.2 设备全生命周期一体化设计

技改兼顾短期联锁功能,实现与长期巡检、备件更换、系统扩容便利性,优化机柜布线、测点标识、逻辑分层,降低日常运维工作量。

##### 3.2.3 异构DCS兼容改造普及

多品牌控制系统共存是老旧厂区常态,通过信号归一化、定制化编程,形成通用冗余保护架构。

### 4 项目关键技术方案

本次改造统一采用“二选二”冗余联锁核心逻辑:同一测点两路独立温度通道同步采集,系统实时对比数值;单通道断路、短路、超量程故障仅触发声光报警,联锁保持投用、不停车;仅两路温度同步超出停机阈值时判定设备真实超温,执行紧急停机,兼顾设备本体安全与生产连续性。结合机组硬件条件制定三套差异化技术路线。

#### 4.1 1#、3#机组:备用通道扩容+标准冗余组态

4.1.1 硬件施工:现场定位全部联锁温度测点,采用KVVP3屏蔽电缆980m、1520m,沿原有桥架分层敷设新增双支热电阻线缆,按照提前编制的通道地址台账,将备用热电阻接入机柜闲置通道。竣工后形成标准化测点

台账。

4.1.2 DCS组态与模拟测试:在FOXBORO组态软件中统一双通道量程、高低报警、停机阈值;搭建标准化“二选二”表决功能块,独立配置单通道仪表故障BAD信号报警。使用信号发生器模拟断线、短路、信号漂移、双通道同步超温等工况,逐点校验报警弹窗、声光提示、联锁动作逻辑,消除组态漏洞。

#### 4.2 2#机组:旧FBM203卡件利旧+机柜回路重构

4.2.1 旧卡件三级可靠性验证:外观、电路板、端子通断检测,直接剔除损坏卡件;接入模拟机柜,持续72小时通入标准热电阻信号,监测采集精度与长期稳定性;接入在线机组备用插槽,完成系统版本匹配、卡件地址识别,确认硬件兼容稳定。

4.2.2 机柜空间优化与回路重构:机柜无空余插槽前提下重新排布卡件,优化线槽空间,安装FBM203卡件;分层梳理全部冗余测点测量回路。

4.2.3 在线施工管控与统一组态:避开机组高负荷时段开展机柜带电作业,仪表、工艺全程监护;联锁表决逻辑与1#、3#机组完全统一,降低运维学习与故障排查难度。

#### 4.3 4#机组:异构信号归一化+狭小箱体精密布线

4.3.1 异构信号归一化编程:对电流、电阻两类信号统一量程校准,将两种物理量换算为统一摄氏度数值,实现两路实时比对;设计差异化故障判别逻辑,分别识别电流回路断线、热电阻老化故障,弹窗精准标注故障类型,缩短维修定位时间<sup>[3]</sup>。

4.3.2 狭小空间抗干扰布线工艺:就地箱体开孔加装新增端子排,强弱电线缆分区隔离、分层布线扎固,保障两路测量精度稳定。

### 5 改造实施质量管控

#### 5.1 前期勘查与物资筹备

每套机组配置专属仪表技术小组,提前现场勘查,核对测点位号、卡件型号、空余通道、箱体尺寸,识别施工难点,编制单机组专项方案、安全作业票、物资清单。全项目合计领用屏蔽电缆数量,提前完成旧卡全套兼容性测试。统一规划全部冗余测点通道地址,编制《温度冗余测点通道地址附表》,FOXBORO记录CP通道编号,横河记录区域地址,归档作为组态、检修基础资料。

#### 5.2 DCS组态与全工况模拟测试

硬件完工后分两套DCS独立组态、全覆盖故障模拟,避免逻辑缺陷遗留至生产阶段。

##### 5.2.1 FOXBORO系统(1#、2#、3#):绑定FBM203

通道地址,统一温度量程、报警、停机参数,搭建标准化二选二表决逻辑;模拟仪表故障与设备超温工况,逐点位校验报警、联锁状态,不合格的重新优化组态。

5.2.2 横河CENTUM VP系统(4#):配置电流卡、RTD采集通道参数,编写异构信号换算功能块,搭建混合信号专用冗余判断逻辑;分别模拟温变断线、热电阻漂移、双通道同步超温,验证故障识别速度与联锁动作准确性。

### 5.3 联锁传动验收与长期投运

单机组组态、模拟测试合格后,组织工艺、电气、仪表开展整机联锁传动试验,模拟仪表故障、设备超温,完整验证容错报警与停机保护功能,四套机组全部性传动合格,无误动作、漏动作现象。分机组分批上线运行,连续72小时跟踪两路温度采集精度、报警功能、机组运行状态,确认无异常后长期稳定投用。

## 6 改造效果与综合效益评估

### 6.1 机组运行效果

6.1.1 1#、3# FOXBORO机组:双通道采集响应稳定,单通道仪表故障仅弹窗报警、机组不停机,双通道同步超温联锁动作精准,运维台账清晰、检修便捷,杜绝单点误跳车。

6.1.2 2# FOXBORO机组:长期采集精度达标,与现有DCS兼容无异常。

6.1.3 4#横河异构机组:4-20mA与RTD信号归一化换算偏差极小,混合信号故障识别精准,混合采集冗余改造达到预期目标。

### 6.2 综合效益量化分析

#### 6.2.1 直接经济效益

单次合计损失73440元;单台年挽回损失146880元,四套机组年度合计挽回直接产品损耗595520元。同时减少频繁启停带来的备件更换、应急抢修人工成本,长期收益持续稳定。

#### 6.2.2 安全效益

改造前单点跳车易造成空压机转子、轴承交变载荷冲击,存在轴瓦烧毁、转子损坏重大设备风险;紧急放空介质带来高空、高压泄漏隐患,应急抢修作业风险高。改造后可提前预警,运维人员可利用生产平稳窗口计划性检修,消除突发停机引发的设备损伤、介质放空、人员高危操作多重隐患。

### 6.2.3 技术沉淀效益

项目完整掌握FOXBORO、横河两类主流DCS冗余改造工艺,形成硬件充裕、备件短缺、异构混合信号、狭小箱体施工四类工况成套技术方案、施工规范、组态模板;建立标准化技改流程库、测点地址台账、故障模拟测试标准,完成企业内部自动化技改技术储备。整套差异化方案可复制用于厂区存量空分装置升级,同时为冶金、化工行业同类压缩机组容错改造提供工程案例。

## 结论

针对安钢4套23500Nm<sup>3</sup>/h空分空压机温度测点单点联锁缺陷,结合FOXBORO I/A Series、横河CENTUM VP异构DCS硬件差异、机柜通道余量、就地安装空间多重约束,实施分机组定制化冗余容错改造。项目采用备用通道扩容标准化组态、FBM203卡件利旧重构、4-20mA与RTD异构信号归一化表决三项核心技术,统一搭建“二选二”冗余联锁,实现单通道仪表故障仅报警、双通道同步超温才停机,从根源解决热电阻回路故障导致的非计划误停车。

工程实践证明,老旧旋转机组联锁安全升级无需大批量采购全新硬件,通过精细化现场勘查、分场景定制方案、全流程施工组态质控,依托软件冗余、闲置硬件复用即可实现低成本、高可靠安全升级;面对多机组异构控制系统、多重施工约束叠加场景,差异化改造路线是解决复合型技改难题的核心手段。

改造后四套空分机组长期稳定运行,冗余联锁逻辑动作精准可靠,每年直接挽回产品经济损失595520元,同步消除设备、人员多重安全风险,沉淀成套标准化技改技术经验。后续可基于现有DCS实时数据开发温度测点智能故障诊断算法,实现仪表故障趋势预判、提前预警,推动机组保护体系由故障容错向事前主动预防智能化升级,持续提升空分装置自动化、安全运行水平。

## 参考文献

- [1]王应洲.空压机智能控制系统应用与发展[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(23):117-118.
- [2]刘运谭.空压机常见故障的防范措施[J].乡镇企业科技,2001,(10):43.
- [3]刘建.离心式空压机振动故障及处理方法探究[J].化工管理,2020,(4):138-139.