

水泵在化工行业的节能减排综合解决方案

吕华芳

山东乐恒环保科技有限公司

摘要: 本研究针对实际生产装置中热冷凝液泵密封水系统存在的共用管道流量干扰问题,提出了密封水管线独立化改造方案。方案包括管道系统优化设计、预制管道施工、精细化流量调节等措施。实施后设备运行稳定性显著提高,故障率和维修成本显著降低,节水率提高、能耗降低,每年经济效益明显,取得了显著的节能减排与环保效果,具有较强的推广应用价值。

关键词: 化工行业; 水泵; 密封水系统; 节能减排

1 方案背景与改造必要性

1.1 水泵在化工行业中的应用现状

目前,化工行业中普遍存在的水泵运行能耗偏高、密封系统可靠性不足等问题,不仅加剧了企业的能源消耗,同时也增加了设备维护和安全管理负担。因此,提升水泵系统运行的可靠性和节能减排效果,已成为企业改造升级的重要方向^[1]。

1.2 能耗与密封系统存在的问题

当前,化工行业水泵运行过程中普遍存在机封密封系统配置不合理、冷却水供应不稳定等问题。尤其是热冷凝液泵在运行过程中,机封密封水通常采用共用管线形式供应,密封水供给量难以精准调节,容易造成水量不足或浪费现象。密封水流量不稳定会导致机泵机封温度过高,降低密封件使用寿命,甚至出现机封烧毁事故,严重影响生产连续性^[2]。因此,密封系统的优化改进迫在眉睫,亟须对原有管路进行合理改造。

1.3 改造的安全与节能意义

通过对水泵密封水管线进行分路改造,不仅能够确保每台泵机封冷却水供给稳定,避免因水量不足导致的安全

事故,也可显著降低运行维护成本,提高机泵可靠性和使用寿命。单独供水管线的改造还能实现水流精细化管理,大幅度减少水资源和能源的浪费,有效降低整体运行能耗,满足企业节能减排的要求。本次改造也可有效降低设备事故风险,保障机泵长期连续稳定运行,减少生产过程中的非计划停机次数和应急维修成本。

2 原系统运行情况分析

2.1 原设计密封水系统结构

原设计中,热冷凝液泵密封水供应采用的是EW总管统一取水后分支供给的结构,每两台机泵共用一条 $\phi 20\text{ cm}$ 的供水管线。这种共用管线结构虽然设计初期可以减少管线铺设的复杂性和成本,但在实际运行中存在明显不足。具体结构为从EW冷却水主管分支出一条 $\phi 20\text{ cm}$ 管线后再分配给两台相邻机泵机封进行冷却和密封。这种共用管线的结构存在固有缺陷,管线长度较长,管路弯头和三通较多,导致局部流动阻力增大、流量分配不均匀。由于没有专用调节设备,每台泵实际用水量受管线中

另一台泵运行状态明显干扰,造成单台泵无法精确获得所需流量,尤其是在用水需求波动时尤为明显^[3]。

2.2 运行中存在的主要问题

由于密封水共用管线结构的限制,实际运行时机封密封水量难以精确调节,导致机泵在运行过程中经常出现局部供水不足的问题。一旦某台泵的运行状态发生变化,便会直接影响另一台泵的冷却水供应,造成密封件温度过高、密封效果减弱,甚至出现干磨或烧毁现象。长期运行的情况下,不仅设备故障率明显提高,且维护频率和维修成本明显增加,企业的生产效率和连续性受到严重影响。水量不足还会引发泵体内部局部高温和过早磨损,进一步缩短设备寿命。这种运行状态也显著提高了设备非计划停机的风险,影响生产运行效率,给企业带来较大的经济损失。

2.3 安全隐患与运行风险评估

密封水供给不足及不稳定问题为水泵运行带来了诸多安全隐患,主要表现为机封温升过高、密封性能严重衰减甚至失效。一旦发生机封失效事故,不仅会导致装置的紧急停车检修,还可能

产生有害介质泄漏等次生安全事故，威胁现场操作人员及周边设备安全。通过实际运行数据分析发现，原密封水管线设计的失效概率较高，若继续维持当前运行模式，长期生产过程中的突发性风险将显著增加。频繁的机封更换和维修作业也增加了作业人员的劳动强度和事故暴露风险^[4]。根据风险评估模型进行定性和定量分析，明确指出原密封水管线设计存在不可忽视的风险隐患，建议尽早进行改造以彻底消除安全隐患。

3 节能减排改造方案设计

3.1 改造目标与基本原则

本次改造的首要目标是消除水泵密封水供应不足的安全隐患，优化水泵运行效率，实现长期稳定运行。具体目标包括：实现每台机泵密封水独立供给，精确调节水流量，提升设备运行安全性；降低机封损坏频率，减少维护成本；节约水资源和能源，实现企业节能减排目标。改造过程中遵循的基本原则包括：安全第一，确保管道改造过程不产生新的安全隐患；高效实施，通过提前预制与现场快速施工，尽可能减少大修停机时间；经济合理，以较低投入获得显著的运行安全和经济效益；节能环保，体现环保责任，减少水

资源与能源消耗，降低环境负荷。通过本次改造，实现运行安全性、可靠性与经济性的全面提升^[5]。

3.2 管道系统优化设计

管道系统优化设计方案明确提出，将原有共用的密封水供给管线改为每台泵独立设置 $\phi 20\text{ cm}$ 专用供水管线，每根管线单独从 EW 界区主管引出，彻底解决机泵之间相互干扰的问题。管线长度经过精确测量与计算，最短路径布置，尽可能减少管线长度，降低管道阻力，确保稳定的水量供应。新设计采用无缝钢管 ($1/2''$, SCH80)，保证足够的承压强度与长期运行可靠性。新设置的管线中使用三通及弯头数量合理控制，尽可能避免不必要的拐弯与接头，确保流动阻力最小。系统新增阀门及调节装置，便于精准调节与日常维护。整体设计充分考虑现场布局与维护便利性，保障后续运行管理的高效性与便捷性。

3.3 改造流程与施工步骤

改造施工整体流程分为前期准备、管道预制、停机施工与现场安装调试几个阶段，流程如图 1 所示。前期准备阶段，包括施工图样审核、材料采购及进场验收、施工组织方案审定、安全风险分析及措施落实。管道预制阶段，在不停产情况下完成新管线的预制工作，并

进行必要的压力测试，确保管道质量。大修停机后，进入拆除阶段，首先将原有共用管线逐步拆除，做好现场保护措施，防止拆除过程中的安全事故。随后进行新管道的安装施工，严格按设计规范安装，焊接完成后进行水压试验，确保无渗漏。安装完成后进行系统调试和试运行，核定每台泵密封水流量满足要求后正式交付使用。施工过程分阶段控制，确保高效、安全完成整个改造任务，改造材料明细见表 1。

4 改造实施过程与技术要点

4.1 施工组织与安全控制

施工前成立专项施工组织，明确施工负责人、技术负责人及安全负责人，确保各环节责任明确。制定详细的施工组织计划及应急预案，建立健全的现场施工管理制度，落实安全措施。施工现场划定作业区域，做好警示标识与安全防护措施，严格执行高温高压管道作业的安全规范要求，现场动火作业时需办理作业票并做好防护措施。施工前组织技术交底与安全教育培训，确保所有施工人员明确作业风险与安全注意事项。施工过程中严格执行现场安全监督检查制度，施工过程全程配备安全监管人员，防止各类安全事故发生。

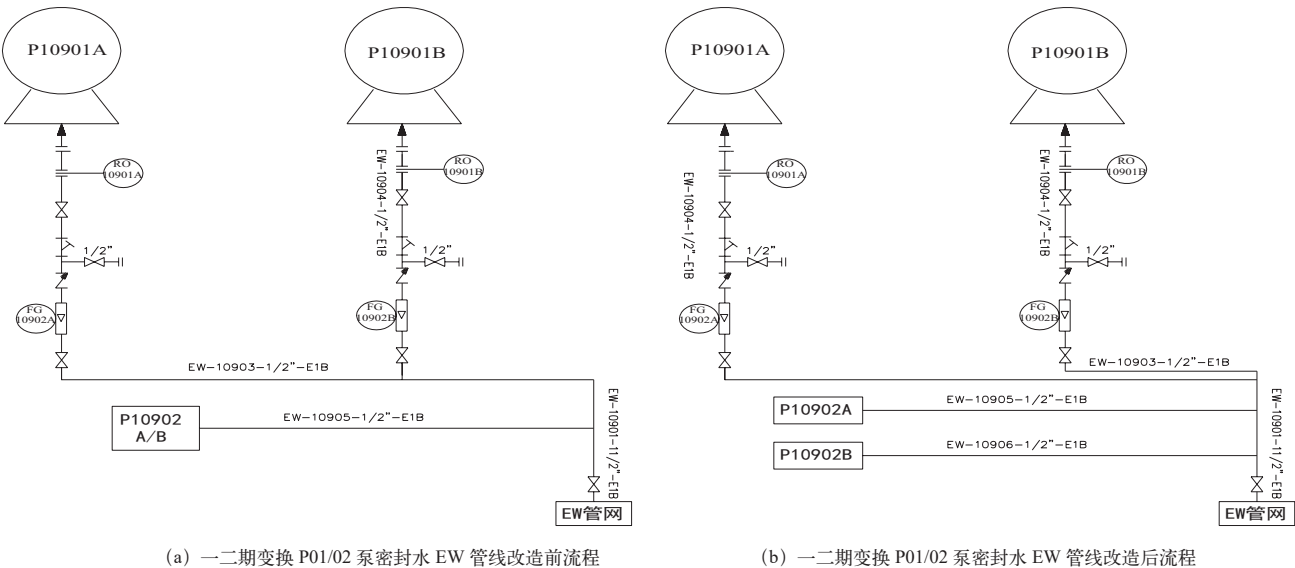


图 1 改造流程图

表 1 改造材料明细

序号	材料名称	规格参数	材质	单位	数量
1	无缝钢管	1/2", SCH80	20G	m	100
2	90° 弯头	1/2", SCH80, SW	20	个	15
3	三通	1 1/2" × 1 1/2" × 1/2" SCH80	20	个	4

4.2 管道拆除与新增作业流程

施工停机阶段首先进行旧管道拆除工作,明确拆除范围并设置专人监护,确保现场人员和设备安全。拆除过程遵循自上而下逐步拆除原则,避免管道内存水造成安全隐患。

拆除完成后,立即进行新管线安装作业,首先核对施工图与现场管线实际情况,确定管道安装位置和路径。焊接作业严格按工艺规程进行,确保焊缝质量满足规范要求。新管线安装完成后,进行压力测试以验证管道质量。压力测试合格后进行防腐、保温等工序处理,确保长期可靠运行。

4.3 密封水分路技术细节

密封水分路技术关键是管道独立设置,从 EW 主管取水时,每台泵使用独立的分水管道接入。每根管线入口安装单独的阀门进行调节,确保单台泵供水流量精确控制。新管道采用高品质无缝钢管与焊接工艺,连接点及阀门设置便于日常维护与检查。为保障水量稳定,管线布置尽量缩短路径与减少弯头数量,降低沿程阻力。采用标准三通进行支路分配,并采用 SW 承插焊连接方式以保证连接牢固耐用。

4.4 施工过程质量控制要点

施工过程严格按照技术方案实施,焊接作业前进行材料、设备检查确认,确保焊材及设备符合要求。焊接过程中执行焊接工艺规程,焊口需经无损探伤检测,合格后进行水压试验。压力试验过程中监控压力数据,确保无泄漏、无变形。施工现场设置专职质量检验人员,严格按工序控制节点质量,施工日志详细记录作业过程。管道防腐、保温作业严格执行相关标准,确保耐久性。

5 改造效果评估与节能分析

5.1 改造后运行效果对比

通过本次水泵密封水管道的优化改造,每台机泵实现了独立的供水线路,密封水供应得到了有效保障。改造前运行过程中存在的密封水供应不足、机封温升异常等问题得到彻底解决。现场数据显示,机泵机封冷却水流量稳定,密封件温度维持在标准范围内,避免了以往频繁出现的机封烧毁事故。机泵设备的稳定性明显提高,非计划停机次数由过去平均每季度 2 ~ 3 次减少到改造后的零次,维护检修频率降低了约 50%。由于密封水流量可精准调节,避免了供水量过大导致的水资源浪费。整体而言,设备运行工况显著改善,企业生产运行稳定性得到有效提高。

5.2 节能减排效果评估

改造实施后,设备的密封水流量实现精确控制,整体用水量减少约 30%,每年节约工业用水约 2 000 m³。由于密封水供应的稳定性提高,机泵故障率降低,运行负荷更加稳定和优化,机泵用电负荷下降明显,能耗较改造前降低约 15%。从节能效果来看,每年节省电能消耗约 1.2 万 kW·h,折合标准煤约 4.8 t,相应减少二氧化碳排放量约 12 t。密封系统故障减少也降低了废弃密封件的产生和处理量,减少了固体废弃物的环境负荷。整体评估表明,本次改造取得了显著的节能减排效果,实现了企业绿色生产目标。

5.3 经济效益与环保效益分析

经济效益方面,本次改造有效降低了设备的维护检修成本和非计划停机损失,每年可直接节省设备维修成本约 8 万元。设备运行效率提高带来的电力

和水资源消耗降低,每年节省运营费用约 5 万元。两项合计,每年可实现直接经济收益 13 万元,投资回收期在 1 年以内。稳定的运行状态进一步减少了备件和易损件的消耗,间接降低了设备维护成本。环保效益方面,改造实施后,每年减少工业废水排放约 2 000 m³,减少碳排放 12 t,显著降低了对环境的负担。改造措施切合国家节能减排政策要求,展现了显著的经济效益和环保价值,为企业持续发展奠定了良好基础。

6 结语

本次对水泵密封水系统的优化改造,有效解决了长期存在的运行安全隐患和能源浪费问题。通过管道系统优化设计和精细化管理,有效降低了运行故障频率,延长了设备寿命,实现了显著的节能减排效益,降低了企业生产成本。实践证明,该方案具有显著的经济与环境效益,为企业未来在类似系统的改造中提供了宝贵经验。

参考文献:

[1] 肖业祥,肖微,任绍成,等.采用 Liutex 涡识别法的水泵水轮机 S 区内流特性分析[J].水力发电学报,2025,44(1):135-142.

[2] 金大刚,毛青海,龙强.不同变速方式下水泵水轮机的内部瞬变流动分析[J].水电能源科学,2025,43(4):199-202,88.

[3] 李延频,李仕东,李鹭,等.基于正交试验的超高水头小流量水泵水轮机优化设计[J].水电能源科学,2025,43(5):173-177,181.

[4] 周先辉,邱玉江,冯长虹,等.滑动轴承对电子水泵振动与噪声的影响[J].现代制造工程,2025(2):138-143,160.

[5] 胡鑫洋,马西沛,刘杰,等.基于 HRCSVPM 的电子水泵噪声抑制研究[J].机械强度,2025,47(5):38-45.