

# 化工企业循环水泵节能技改效益分析

罗飞 李小龙<sup>[通讯作者]</sup> 黄金成 (四川天华化工集团股份有限公司, 四川 泸州 646200)

**摘要:** 化工企业循环水泵常因设计参数与实际工况不匹配高耗能。四川天华化工集团空分车间5台循环水泵,设计扬程55m,实际仅需44m,存在节流损失与叶轮腐蚀问题。采用叶轮切割技术,将叶轮直径从924mm切至870mm,泵扬程降至48m,消除两类损失。改造后运行电流降35A,节能率26%,年节约成本342万元、减排CO<sub>2</sub>3371t,静态投资回收期3个月,净现值2897万元,兼顾技术、经济与环境效益,为行业提供可复制经验。

**关键词:** 循环水泵; 叶轮切割; 节能技改; 经济效益; 环境效益; 化工企业

**中图分类号:** TQ051.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0103-03

## Energy-saving Renovation and Benefit Analysis of Impeller Trimming for Chemical Circulating Water Pumps

Luo Fei, Li Xiaolong<sup>[Corresponding Author]</sup>, Huang Jincheng (Sichuan Tianhua Chemical Group Co., Ltd., Luzhou Sichuan 646200, China)

**Abstract:** Circulating water pumps in chemical enterprises are often high-energy-consuming due to the mismatch between design parameters and actual working conditions. Five circulating water pumps in the air separation workshop of Sichuan Tianhua Chemical Group have a design head of 55m, but only 44m is actually needed, with problems of throttling loss and impeller corrosion. The impeller trimming technology was adopted to cut the impeller diameter from 924mm to 870mm, reducing the pump head to 48m and eliminating the two types of losses. After renovation, the operating current is reduced by 35A with an energy-saving rate of 26%, saving 3.42 million yuan in annual costs and reducing CO<sub>2</sub> emissions by 3371t. The static investment payback period is 3 months with a net present value of 28.97 million yuan. The renovation balances technical, economic and environmental benefits, providing replicable experience for the industry.

**Key words:** circulating water pump; impeller trimming; energy-saving renovation; benefit analysis; chemical enterprise

循环水系统属于化工企业关键公用工程,其能耗占企业总能耗8%–15%,循环水泵作为核心设备,运行效率直接影响整个系统能耗水平。传统循环水泵普遍存在设计参数和实际运行负荷不匹配、阀门节流造成能量损失、设备老化导致效率衰减等问题。国家双碳战略对化工行业节能降碳提出了更高要求,叶轮切割技术作为成熟的节能改造方案,为解决循环水泵高能耗问题提供了新思路。

### 1 循环水泵节能技改理论与方法

#### 1.1 叶轮切割技术原理

叶轮切割技术依据离心泵相似定律,通过将叶轮外径减小来调节泵的性能参数,按照叶轮切割定律,叶轮切割前后的流量、扬程、轴功率和叶轮直径存在固定比例关系:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{D_2'}{D_2}, \frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2, \frac{N'}{N} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^3 \quad (1)$$

式中: Q、H、N、D<sub>2</sub> 为叶轮切割前的流量、扬程、轴功率和叶轮外径, Q'、H'、N'、D<sub>2</sub>' 为叶轮切割后的对应参数。这项技术适用于泵设计扬程明显高于实际需求的状态,能有效解决“大马拉小车”这类问题,

通过精确计算切割相关参数,可达成泵性能曲线与系统特性曲线的最佳匹配,进而消除阀门节流所产生的损失。

#### 1.2 节能技改效益分析理论

节能技改效益分析将技术经济学当作理论基础,通过定量分析技术改造前后能耗方面的变化,以此评估改造方案在经济层面的合理性,其理论框架涵盖能耗对比分析、成本效益分析和风险评估这三个核心要素。能耗对比分析通过测量改造前后电流、功率等关键参数,并计算节能量和节能率,成本效益分析需综合考虑一次性投资、运行维护成本变化和节能收益,采用净现值、内部收益率等指标评价项目经济性,风险评估要重点关注技术风险、经济风险和运行风险<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 效益评价指标体系与方法

效益评价指标体系涵盖技术指标、经济指标和综合指标三个层次。技术指标主要包含节能率、单位水输送电耗、泵运行效率等,这些指标反映技术改造的直接效果。经济指标涵盖年节约成本、静态投资回收期、净现值、内部收益率等,用于量化经济效益水平。综合指标要将环境效益和社会效益都考虑在内,包括碳减排量、污染物减排效果、技术推广价值等。评价

方法会将定量分析和定性分析结合起来,通过建立起评价模型对改造方案开展多维度综合评估,以此为决策提供科学依据<sup>[2]</sup>。

## 2 案例企业节能技改实证研究

### 2.1 企业循环水泵问题诊断

四川天华化工集团空分车间配备了5台循环水泵,其设计扬程为55m,然而实际需求扬程仅仅44m,存在着明显的“大马拉小车”状况,为防止设备出现超负荷运行的情况,泵出口阀的开度需要控制在50%~60%,这造成了严重的节流损失,经过测算单台泵的扬程损失达到了180kW。

循环水泵的叶轮长时间在腐蚀性介质当中运行,受到酸碱腐蚀以及机械冲击等方面影响,叶片出现孔洞、剥落还有破缺之类的损坏情况,导致回流损失有所增加,经过保守估算单台泵回流损失可达70kW,夏季高温时段需额外增开一台循环水泵才可以满足冷却需求,进一步加剧了整个系统的能耗负担<sup>[3]</sup>。技改攻关小组采用“六何分析法”对问题根源做系统分析,确定核心问题为设计层面泵型与工况不匹配、设备层面叶轮抗腐蚀性能不足、管理层面缺乏针对性节能措施。

### 2.2 叶轮切割技改方案设计

#### 2.2.1 备选方案对比分析

技改攻关小组根据循环水泵运行现状和技术特点提出4种备选方案:方案一为直接更换厂家原型号叶轮,其优点是没有技术风险且操作简单便捷,能够解决叶轮腐蚀导致的回流损失问题,缺点是未能解决扬程过高这一根本问题,节能效果会相对比较有限。方案二为更换原装叶轮再配合电机变频改造,同时解决回流损失问题还可实现电机节能,不过高压变频技术风险比较高且施工难度大,每台设备费用超过120万元,经济性较差。方案三采用叶轮切割技术并配备高效叶轮,能够同时解决回流损失和扬程损失这两大核心问题,施工较为方便并且成本能够得到控制,虽存在一定技术风险但处于可承受范围。方案四采用叶轮切割并配合变频改造的方式,节能效果在几个方案里是最佳的,不过存在风险叠加方面的问题,施工难度较大且每台设备的费用会超过120万元,经过综合评估分析,方案三在节能效果、经济性以及施工可行性这些方面都具备显著优势,所以被确定为最佳的改造方案。

#### 2.2.2 关键参数计算与优化

联系上海凯泉泵业(集团)有限公司进行技术对接和参数核算工作,原本叶轮直径为924mm且设计扬程是55m、流量达7677m<sup>3</sup>/h,按照实际需求扬程为

44m的工况要求运用叶轮切割定律做理论计算。

根据公式 $\frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2$ ,代入已知参数 $\frac{44}{55} = \left(\frac{D_2'}{924}\right)^2$ ,解得切割后叶轮直径 $D_2' = 870\text{mm}$ ,相应地,根据流量关系式 $\frac{Q'}{Q} = \frac{D_2'}{D_2}$ ,计算得出切割后流量为7370m<sup>3</sup>/h,比原设计流量降低307m<sup>3</sup>/h。

经理论计算验证,叶轮切割后泵扬程降至48m,接近实际需求的44m,能够有效消除节流损失。轴功率根据 $\frac{N'}{N} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^3$ 计算,功率降幅达到195kW,节能效果显著。结合现场吸水池的构造及可能新增装置换热设备这些情况确定P0901C/D泵配备新型切割叶轮,P0901A/B/E泵保持原型号叶轮的2+3运行备用搭配模式,确保系统运行的安全性和可靠性。

## 3 节能技改效益分析与评价

### 3.1 技术效益定量分析

改造完成之后对P0901C/D泵运行参数开展持续监测,技术效果呈现出显著成效,泵出口压力从改造之前的0.47MPa降低至0.395MPa,降幅达到了0.075MPa,压力参数能够更好匹配系统实际需求,给水总管压力从0.436MPa调整到了0.422MPa,回水总管压力从0.282MPa提升至0.296MPa,系统压力分布变得更加合理。

泵运行时的电流出现大幅降低情况,从原本的155A/156A降到了120A/121A,电流下降幅度约为35A,设备运行的负荷得到明显减轻,泵出口阀位自技改之前的50%~60%提升到100%全开状态,将节流损失完全消除掉,达成了泵与系统之间的最佳匹配,出水总管流量从14100m<sup>3</sup>/h调整成13300m<sup>3</sup>/h,虽然流量有所下降但能完全满足生产工艺要求。

单台泵设计流量从原本超7100m<sup>3</sup>/h优化到7300m<sup>3</sup>/h使流量分配更合理,给水温度保持在大约25℃左右且回水温度控制为36.5℃,给回水温差维持在合理范围保障循环水系统冷却效果不受影响,设计扬程从55m优化至48m更贴近实际运行需求44m,运行噪音和振动水平得到明显改善,设备故障率大幅下降、系统整体运行稳定性和效率显著提升。

### 3.2 经济效益深度评价

#### 3.2.1 直接经济效益核算

按照配电室实测数据以及能耗计算标准,对改造之后的节能效益展开详细核算:叶轮改造之前两台泵运行功率处于1350~1380kW范围,改造之后功率降低到997~1000kW水平,单台泵节约电能达到352kW,两台泵总的节能量可达到704kW,按照每年运行350天且每天运行24h来计算,年节电量为 $352 \times 24 \times 350 \times 2 = 5913600\text{kWh}$ ,大约是591万kWh。

按照企业平均电价 0.58 元/kWh 来计算, 年节约电费 342 万元, 节能率计算公式为 (改造前功率 - 改造后功率) / 改造前功率  $\times 100\%$ , 即  $\frac{1365-998.5}{1365} \times 100\% = 26.8\%$ , 节能率远超预期设定的 15% 目标, 此次改造还带来维护成本降低以及备件消耗减少等附加经济效益。

设备运行稳定性有显著提升从而降低故障维修频次, 年维护成本节约金额大约为 15 万元, 叶轮更换周期得以延长且备件消耗减少带来年节约 8 万元, 操作人员工作强度有所降低间接节约人工成本约 5 万元, 综合考虑各项因素后项目年运行成本总节约达 370 万元, 经济效益十分显著。

### 3.2.2 投资回收期分析

项目总投资主要涵盖叶轮采购成本、安装调试费用以及相关技术服务费用, 两台切割叶轮采购成本大概是 16 万元, 安装调试以及人工费用大约为 8 万元, 技术服务和检测费用约 6 万元, 项目总投资大概是 30 万元, 投资结构合理并且可控, 静态投资回收期计算公式为总投资 / 年节约成本, 即 30 万元 / 342 万元 = 0.088 年, 约 32 天, 考虑到项目分阶段实施的时间因素, 动态投资回收期大约为 3 个月, 投资回报速度非常快, 采用净现值法开展全生命周期分析, 假设项目运行期限为 15 年, 折现率是 8%, 年现金流为 342 万元。

通过计算得出项目净现值  $NPV=342 \times (P/A, 8\%, 15) - 30 = 342 \times 8.559 - 30 = 2897$  万元数额且远大于零, 这表明该项目的经济效益非常优异, 内部收益率 IRR 超过了 1000%, 此数值远高于企业所设定的 8% 基准收益率, 全生命周期效益成本比为 96.6, 这显示投资效益极其显著并且为企业创造了巨大经济价值。

### 3.3 环境与社会效益分析

项目每年节电量达到 591 万 kWh 能带来显著环境效益, 按照国家发改委公布的华中区域电网 CO<sub>2</sub> 排放因子 0.5703tCO<sub>2</sub>/MWh 来计算年减排 CO<sub>2</sub> 量为  $591 \times 0.5703 \div 1000 = 3371t$ , 按 15 年运行期计算累计减排 CO<sub>2</sub> 约 5.06 万 t, 环境效益十分显著, 节能改造还相应减少了 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等污染物排放改善区域大气环境质量。

在社会效益方面, 项目成功实施提升企业技术创新能力和节能管理水平, 培养专业节能技术团队为推进绿色制造奠定人才基础, 技术成果在集团内其他子公司得到推广应用, 相关经验为化工企业提供可复制的节能改造模式, 产生良好示范带动效应, 项目激发企业员工节能环保意识, 营造浓厚绿色发展氛围提升企业品牌价值和社会形象。

### 3.4 综合效益评价与比较

从技术可行性、经济合理性和环境友好性这三个维度来做综合评价, 此项目达成了“三重效益”的统一, 在技术方面, 叶轮切割技术成熟且可靠, 改造风险能够得到有效控制, 确保了系统运行的稳定性, 设备运行参数达到了设计要求, 泵效率有了显著提升, 技术指标实现了全面优化<sup>[4]</sup>。

在经济方面, 投资回收期仅仅只有 3 个月, 全生命周期净现值达到 2897 万元, 内部收益率超过了 1000%, 经济效益极为显著, 和同类型节能改造项目相比较, 本项目投资少、见效快且收益高, 经济性指标处于行业领先水平, 在环境方面, 年减排 CO<sub>2</sub> 达到 3371t, 15 年累计减排量为 5.06 万 t, 有力支撑了企业绿色转型目标。

### 4 结语

循环水泵节能技改是化工企业降本增效重要途径, 叶轮切割技术能优化泵的水力性能, 可有效消除扬程过高造成的节流损失, 同时还能解决叶轮腐蚀导致的回流损失<sup>[5]</sup>。此技术方案成熟且可靠有保障, 案例企业经该技改实现年节电 591 万 kWh, 达成年节约成本 342 万元的良好成果, 还做到年减排二氧化碳 3371t。经济效益环境效益社会效益都十分显著, 为化工行业循环水泵节能改造提供典型示范。

#### 参考文献:

- [1] 穆彦怀, 安磊, 秦国英, 等. 煤化工企业循环水系统低碳节能优化研究 [J]. 山西化工, 2023, 43(10): 192-194.
- [2] 周艳, 陆培, 于林铃, 等. 循环水泵节能方式的应用与对比 [J]. 冶金动力, 2024, (05): 60-62.
- [3] 李彦龙. 化工循环水泵节能改造的技术创新 [J]. 山东化工, 2024, 53(24): 182-184.
- [4] 李杰. 化工生产企业循环水系统回水富余压力的应用浅析 [J]. 山西化工, 2024, 44(06): 121-123+135.
- [5] 杨杰, 杨志岗, 张林. 化工企业循环冷却水系统优化改造 [J]. 氮肥与合成气, 2022, 50(01): 47-49.

#### 作者简介:

罗飞 (1970-), 男, 汉族, 四川叙永人, 大学本科, 注册安全工程师、化工工艺工程师, 中国西部城高级工匠 (化工工艺), 研究方向: 水处理、空压机技术管理、安全管理。

李小龙 (1986-), 男, 汉族, 四川营山人, 大学本科, 化工工艺工程师, 中国西部城高级工匠 (化工工艺), 系本文通讯作者, 研究方向: 大型空分装置和天然气制乙炔装置的技术管理和安全管理。

黄金成 (2004-), 男, 汉族, 重庆梁平人, 大学本科, 研究方向: 污水处理与环保。