

华北油田水源热泵技术应用实践与分析

李小龙 金晨阳

中国石油工程建设有限公司华北分公司

DOI:10.32629/pe.v4i1.19004

[摘要] 为推进低碳油田生产建设,华北油田自2017年起逐步开展热泵技术试点及规模化应用,涵盖压缩式水源热泵及燃气吸收式水源热泵主流技术。本文基于华北油田多区域、多类型热泵站场的长期运行数据,系统梳理了热泵技术的应用现状,深入分析了设计、设备、运行及管理等环节存在的关键问题,结合实际案例提出针对性优化措施,并通过技术特性对比明确不同热泵类型的适用场景。研究结果表明,热泵技术在油田节能替代燃油和市政燃气中效益显著,但需通过精准设计、设备升级、规范运行及全流程管控提升应用效果。本文可为油田领域清洁能源替代工程提供技术参考与实践借鉴。

[关键词] 油田热泵技术; 清洁替代; 运行优化; 节能增效

中图分类号: TE33+1 **文献标识码:** A

Application and Analysis of Water Source Heat Pump Technology in North China Oilfield

Xiaolong Li Chenyang Jin

China Petroleum Engineering Construction Co., Ltd.

[Abstract] To promote the production and construction of low-carbon oil fields, the North China Oilfield has gradually carried out pilot and large-scale application of heat pump technology since 2017, covering mainstream technologies such as compression-type water source heat pumps and gas absorption-type water source heat pumps. Based on the long-term operation data of multiple regional and various types of heat pump stations in the North China Oilfield, this paper systematically summarizes the current application status of heat pump technology, deeply analyzes the key problems existing in design, equipment, operation and management, proposes targeted optimization measures in combination with actual cases, and clarifies the applicable scenarios of different types of heat pumps through technical characteristic comparisons. The research results show that heat pump technology has significant benefits in energy saving and replacing fuel and municipal gas in oil fields, but the application effect needs to be improved through precise design, equipment upgrading, standardized operation and full-process control. This paper can provide technical references and practical lessons for clean energy substitution projects in the oilfield field.

[Key words] Oilfield heat pump technology; Clean substitution; Operation optimization; Energy saving and efficiency improvement

引言

在“双碳”目标引领下,石油行业低碳转型进程加速,清洁能源替代成为油田节能减排的核心路径之一。水源热泵技术作为高效的余热回收与供热解决方案,能够实现低品位热能向高品位热能的转化,在油田站场采暖伴热、掺水加热等场景中具有广阔应用前景。华北油田自2017年起分阶段开展热泵技术试点及推广应用,先后在冀中地区、二连严寒地区等多个站场部署不同类型水源热泵机组,形成了规模化应用格局。本文通过对华北油田热泵应用历程、装机情况及运行数据的全面梳理,分析当前应用中存在的突出问题,提出系统性优化建议,为油田热泵技术的高效应用提供支撑。

1 热泵技术应用现状

1.1 应用历程与阶段特征

华北油田水源热泵应用可分为三个关键阶段:2017-2018年为试点应用期,采油三厂在河一联、王四联试点应用压缩式和燃气吸收式水源热泵,通过对油田现场出水水质、热水运行参数进行适配,完成技术可行性验证;2019-2022年为冀中地区规模应用期,采油一厂、三厂陆续推进联合站节能替代工程,通过压缩式水源热泵替代传统燃气加热,部分站场实现显著节能效果;2022~2025年为二连高寒地区串联推广期,二连分公司在阿一联、哈一联、宝一联等站场部署压缩式水源热泵系统,替代站内燃油加热,适配高寒地区特殊工况^[1]。

表1 水源热泵与燃油加热炉方案比选表

序号	项目	单位	方案一 水源热泵	方案二 燃油加热炉
1	用热负荷	kW	4400	4400
2	全年用热量	万 kWh	3404.1	3404.1
3	转化效率	/	2.9	0.88
4	耗油量	万 t/a	0	3.3
5	耗电量	万 kWh/a	1214.3	6.3
6	排放 CO ₂	t	121.1	98269.1
7	油价	元/t	1955	1955
8	电价	元/kWh	0.46	0.46
9	年供热费	万元/a	558.6	6363.9
10	设备维护费	万元/a	25.6	0
11	年运行费用	万元/a	584.2	6363.9
12	主要工程量		1、2200kW 水源热泵 2套; 2、 配套结构、电气、仪表	维持现状 热源依托站 内已建燃油加热炉
13	工程投资	万元	1280.00	0.00
14	5年费用现值	万元	3740.68	26806.97

2.2 设备层面问题

设备自身故障频发,电磁阀失效、工质泄漏、压缩机超温启停等问题造成7座站场热泵停机或者不能满负荷运行;压缩机热泵大多为螺杆压缩机无变频功能,阿一联300h内启停150次,机组无法适应现场变工况变负荷运行,设备存在调节性差导致故障率偏高;冷凝器出口温度控制精度不够,高阳站热泵出口温度只有67℃,比目标温度73℃低很多,需要额外消耗燃气来补充供热;掺水换热器换热能力不足,阿一联传热热负荷只有900kW,远低于设计值4300kW,造成系统回水温度偏高。

2.3 运行管理层面问题

水质控制不到位,站内热水和采出水含油造成换热器堵塞,河一联冷凝器铜管油污附着引发高温停机;采出水部分走旁通管回流(例如河一站、赛汉站),余热未充分利用;伴生气冬季骤减且含水重烃,影响运行稳定性,王四联伴生气波动导致燃烧器频繁熄火;部分站场变工况调节不及时,缺少自动控制仪表,存在运行参数设置不合理、巡检不到位等问题^[3]。

施工环节留有疏漏,高温管道、换热器未做保温处理,造成散热损失和安全隐患;数字化监测体系不健全,部分站场缺少温度、压力、流量等重要数据采集点,加大人工巡检力度。

3 针对性解决措施

3.1 设计优化措施

建立基础数据复核机制,在设计阶段反复核准用热负荷、采

出水参数、未来生产趋势,重点核实采出水流量、温度波动范围,保证设备选型准确;针对热水含油问题,增加热水侧换热器进行隔离换热,虽然会增加系统耗电,但是可以保护热泵机组;优化采出水换热器、掺水换热器设计,增加热洗、反洗接口,选用耐油耐腐蚀材料,适当增大换热面积,提高传热系数;取水点从喂水泵泵后汇管选取并关闭旁通阀,高温采出水余热利用后再与清水混合回注,避免温度稀释,结合热力系统梯级换热改造,实现采暖与工艺管网独立运行,提高热泵适配性,提升设计方案整体水平^[4]。

3.2 设备升级与改造

更换故障部件,增设组态报警功能,采出水换热器密封垫采用耐油耐腐蚀材料,设备投运前做好水联运和试压,防止运输途中松动;对螺杆压缩机增设变频器,阿一联等站场实现负荷无级调节,减少频繁启停故障,提高运行稳定性;调整运行参数,降低回水温度或者提高目标温度至75℃来解决冷凝器超温问题;对换热能力不足的设备采取串联应用或者更换升级,阿一联新增200m²掺水换热器与原有设备串联,采出水换热器设置在线自动清洗设施,按每季度清洗频次加强维护。

3.3 运行管理改进

增加污水端换热器反冲洗流程,压差达到0.15MPa时强制反洗,保证传热效率;针对伴生气不稳定问题,增设分液罐实现缓冲分液、稳压脱硫,更换适配性更好的低氮燃烧器,解决王四联等站场伴生气燃烧熄火问题;加强操作人员培训,规范参数设置和巡检流程,增加自适应调节逻辑控制设计,弥补自动控制仪表不足,避免变工况调节滞后^[5]。

完善施工质量标准,对高温管道及换热器强制实行保温处理,构建全参数数字化监测体系,增设温压一体变送器、含油检测仪等远程仪表,实现重点参数实时监测,降低人工巡检强度;将马一站闲置吸收式热泵调配至伴生气不足但有污水资源的站场,提高设备利用率,进一步强化节能设备利用率^[6]。

4 结论与应用建议

4.1 主要结论

(1) 热泵技术在华北油田清洁替代中,能够有效节约燃气或燃油消耗,具备显著经济效益和环保效益,但需根据工况精准选型;

(2) 设计参数偏离、设备适配性不足、运行管理不规范是影响热泵效能的核心因素,其中基础数据精准度及水质管控是关键控制点;

(3) 不同类型热泵技术特性差异明显:压缩式水源热泵COP高、近零排放,适合采出水余热充足、伴生气较少的站场;吸收式水源热泵运行费用低,适合伴生气资源丰富的站场;

(4) 热泵系统的高效运行需依托精准设计、优质稳定设备、规范操作及全流程管控的协同保障。

4.2 应用建议

(1) 技术选型差异化:根据站场余热资源、伴生气情况、环境温度及热负荷需求科学选型,高寒地区优先考虑压缩式水源热泵,伴生气充足站场可选用吸收式水源热泵;

(2) 强化设计管控: 增加变频调节离心压缩热泵选型对比, 预留制热水温度富余量; 重点核查基础数据、换热器选型及含油处理方案;

(3) 优化系统配置: 减少多级传热损失, 借鉴二连油田阿一联经验, 简化供热流程, 热泵优先直接加热负荷大、低温需求介质;

(4) 健全管理体系: 建立覆盖基础数据、设备制造监督、施工监管、投产试运及变工况调节的全流程审核机制; 定期开展设备维保及运行评估, 持续优化运行参数;

(5) 推进数字化升级: 构建热泵运行智能监控平台, 实现参数实时监测、故障预警及远程调控, 降低劳动强度并提升运行稳定性。

[参考文献]

[1] 刘琴, 李庆, 冷冬梅, 等. 浅谈油田余热利用过程中采出水

直进热泵机组技术[J]. 油气田地面工程, 2024, 43(12): 9-15.

[2] 王琦. 热泵提取含油污水余热技术的创新与应用[J]. 石油石化节能与计量, 2023, 13(09): 6-11.

[3] 邓克宁. 热泵技术在油田热能资源开发中的应用[J]. 石油石化节能与计量, 2023, 13(09): 89-93.

[4] 卿红霞, 牛忠晓, 杨松毅, 等. 热泵技术在华北油田站场的应用[J]. 石油石化节能, 2023, 13(07): 20-24.

[5] 白晓东. “碳中和”愿景下油田地面工程新能源替代及低碳绿色发展对策[J]. 油气与新能源, 2021, 33(4): 16-21+42.

[6] 孟维. 油田联合站污水余热梯级利用的应用探讨[J]. 区域供热, 2020, (01): 131-137.

作者简介:

李小龙(1989--), 男, 汉族, 河北任丘人, 硕士, 工程师, 研究方向: 节能与清洁供热。