

油田集输系统中水源热泵的应用研究

郝 悅 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要:作为一种环保、高效的能源利用方式,水源热泵技术在油田集输过程中占据非常重要的地位。作为地源热泵的一个分支,水源热泵也随着科学技术的发展开始在各个行业广泛应用,在油田集输系统中提供重要的热能或冷能,让能源利用效率得到进一步提升,符合当前国家提出的可持续和绿色发展理念。本文研究的最终目的,是通过合理的设计来提升油田集输的效率,充分发挥水源热泵系统环保、节能的优势,为油田的可持续发展提供重要支持。

关键词:油田; 集输; 水源热泵; 能效; 换热效率

中图分类号: TE866 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 023-0089-04

Research on the Application of Water Source Heat Pump in Oilfield Gathering and Transportation System

Hao Yue (Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: As an environmentally friendly and efficient energy utilization method, water source heat pump technology plays a very important role in the oil field gathering and transportation process. As a branch of ground source heat pumps, water source heat pumps have also been widely used in various industries with the development of science and technology. They provide important thermal or cooling energy in oil field gathering and transportation systems, further improving energy utilization efficiency and in line with the current national concept of sustainable and green development. The ultimate goal of this study is to improve the efficiency of oilfield gathering and transportation through rational design, fully leverage the environmental and energy-saving advantages of water source heat pump systems, and provide important support for the sustainable development of oilfields.

Keywords: oil field; Gathering and transportation; Water source heat pump; Energy efficiency; Heat exchange efficiency

数据显示,截至2024年,我国的油气产量首破4亿t。其中原油产量为2.13亿t,天然气产量为2464亿m³。以往原油加热以加热炉加热为主,需要消耗大量的化石燃料,并排放大量温室气体,存在能耗高、不环保的缺陷。

随着油田开采难度的增加以及原油产量上涨,亟须对传统的原油加热方式进行改变。使用水源热泵系统来代替传统加热炉,可以根据油田集输的实际需求,对制冷或供热能力进行灵活调节,提升整个系统的运行效率,最终达到节能环保的目的。

1 油田集输系统相关概述

1.1 基本功能与组成

在石油工业中油田集输系统是非常重要的组成部分,主要功能包含了原油的采集、处理、储存和输送。在进行原油采集的过程中,可以通过集输系统中的集输管线、计量设备、井口装置等设施运送原油到处理站。实际在进行输送的过程中,需要由中央处理设施精确控制原油的压力和温度,杜绝出现原油过度挥发或凝固等问题。对于油田集输系统本身来说,包含了收集系统、处理系统以及储存和运输系统。在收集系统中,包含了对油井产出物的收集,通过对产出的油、

气、水等混合液汇集到集输站。

另外,在处理系统中,主要是对油、气、水混合液进行分离,得出原油、天然气和采出水。在进行原油处理的过程中,为了确保原油满足运输和储存的要求,需要经过脱水、脱气、稳定、加热等一系列操作,并在储存的过程中使用大型储罐确保原油的安全性和稳定性。在储存和运输系统中,主要的储存方式为储罐,针对的是处理后的原油临时储存。而外输管道主要是将处理后的原油,通过船舶、铁路、长输管道输送到炼厂。在这一过程中还需要使用压缩机站、泵站提供输送动力。

1.2 集输系统面临的挑战

作为石油工业重要的组成部分,油田集输系统的能源消耗以及环境影响始终备受关注。在整个油田生产的过程中,集输过程产生的能耗占比达到了30%~40%,主要的能源消耗点是原油的加热和冷却系统。油田集输系统在当前环保法规和全球能源危机背景下,亟待制定更加绿色、环保、高效的能源解决方案,例如目前广泛应用的水源热泵系统,可以降低原油加热和冷却能耗20%以上,充分满足当前提出的可持续发展战略要求。

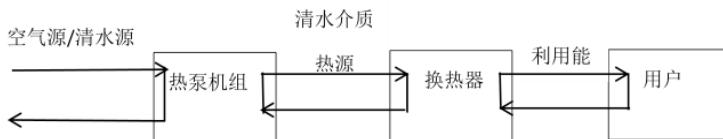


图 1 双源热泵技术原理

2 水源热泵技术相关概述

2.1 工作原理

在热能转换设备中，水源压缩式热泵技术是通过少量的电能驱动，基于逆卡诺循环，实现从工业废水、地表水、地下水等低温热源中提取冷量或热量，并转移到相关介质中。目前水源压缩式热泵机组的能效比（COP）能够达到3.0以上，水源热泵技术在油田集输系统中的应用，能够有效提升能源利用效率，降低能源消耗。而且在水源热泵技术支持下，也有效降低了对水资源的使用，比如，热泵技术不需要通过冷却塔散热，从而避免了因蒸发而造成的大量水损失；而且相比较传统系统循环水用量更少，满足了可持续发展和节约能源的战略要求。如图1所示的双源热泵加热工艺。

2.2 组成与分类

作为一种高效节能的热能转换技术，水源热泵系统在油田集输系统中的地位逐渐提升。水源热泵系统的关键组成部件有：热交换器、热泵机组、水源、末端系统、控制系统、输送管道等。根据驱动形式、能量形式，分为压缩式热泵和吸收式热泵，压缩式热泵用电驱动，吸收式热泵用燃气驱动，来实现热能从低温向高温转移。按照应用场景可以分为集中式水源热泵系统和分散式地源热泵系统。前者主要应用于建筑群或大型建筑，由一个或多个大型热泵机组为整体区域提供服务；后者适用于住宅或小型建筑，在每个单元或家庭安装独立小型水源热泵机组。在选用水源热泵系统过程中，要综合考虑油田的用热需求，资源情况、燃气价格、电力价格、当地法律法规要求等综合因素，确保水源热泵系统能够满足油田集输系统的实际使用要求。

3 水源热泵在油田集输中的应用

3.1 水源热泵的加热应用

水源热泵技术在油田集输系统中的应用效果，直接关系到原油是否能够顺利流动到地面处理，也是目前高效节能的重要手段。在油田加热中对于水源热泵的应用，无论是环境效益还是经济效益都比较突出，例如XX油田的水源热泵项目，通过一年的使用，节约能源成本达到了40%。另外，在水源热泵技术应用下，还能够大大减少对周边环境的热污染，对油田作业区的微气候进行一定程度的改善。为了确保水源热

泵系统的长期稳定运行，在设计系统时需要充分考虑可用水源的物理性质、流量和温度，可以通过模拟软件，对系统优化和热负荷计算进行模拟，确保油田集输系统的有效安全运行。

3.2 水源热泵的冷却应用

为了确保原油品质和生产效率，需要在油田集输系统中进行冷却。在这一过程中应用水源热泵系统，可以把冷却水温度降低10℃左右，有效保证了原油品质的稳定性。实际在进行冷却的过程中，根据热力学第一定律，通过转移热能的方式减少对能源的消耗，在提高油田冷却效率的同时，也降低了对环境的污染。

4 油田集输系统优化调整措施

4.1 联合站优化

对油田联合站进行总体优化，能有效提升油田的生产效率和经济性。在进行优化的过程中，涉及到的内容主要是对加药量变化的控制、节约能力以及达到原油破乳脱水效果等。对于油田集输系统来说，需要严格控制站内和站外的运行参数，确保泵效最大或泵能量消耗最小。通过对联合站优化的过程中，还可以通过余热对换热介质加热，让热利用效率得以提升，并让油品中的热能损失降低。通过对油田技术系统设备流程和工艺的简化，比如强化管道、设备，减少管线安装间距，都能够让油田生产经济性得以增加。

4.2 布站方式的优化

通过对石油管道布展的方式，可以提高安全性和经济效益。由于三级布站方式会增加安全风险和成本，因此采用二级布站方式，并对计量站进行撤销，采用增压点或转油站进行计量的方式，实现集中管理，从而提高经济收益。除此之外，为了提高油田集输的安全性和成本，还可以通过在输油点进行单井大罐计量的方式，而且该方法对石油管道能够更好地管理。

4.3 变频调速器的应用

目前在化工、水处理等多个领域常用的泵机，离心泵可以有效节约能源，提高效率。在这一过程中，使用变频调速系统可以对泵机的转速进行控制，最大程度减少泵机排量，提高电能应用效率。在变频调速系统中，会对泵机转速根据负载情况自动调节，比如，当负载减小时，变频器会对频率降低，从而降低泵机排量；如果负载较大时，会增加频率，增加泵机排量。通过对变频调速器的应用，让出口门阀保持全开状态，

这样可以降低电流运行，减少泵管压差，从而提高节能降耗的效果。

4.4 泵叶轮改造

油田在输油过程中，泵压和管压会随着油量的变化而不断发生改变，这就导致管压、泵压不匹配，从而造成较大的电能浪费。为了尽可能减少对能源的消耗，可以通过改装叶轮的方式，及时调整管压和泵压的匹配状态。在离心泵中，叶轮是非常重要的组成部分，直接关系到离心泵的效率和性能。实际在改造的过程中，为了避免影响到水泵工作效率，对于叶轮直径的切削不宜过大，进行切削时要及时更换不同尺寸，根据管压、泵压的实际变化情况确保与叶轮匹配。通过改装叶轮，可以让整个输油过程变得更加低能耗、高效能。

4.5 密闭流程改造

对储罐是否存在泄漏要定期检查，尤其是对于集输管线、阀门是否存在漏点或关闭是检查的重点环节。在检查的过程中，对于储罐内部是否存在压力泄漏，要使用专业设备进行检测，并做好定期清洗和维护工作。除此之外，需要对关键参数做好监管，如：流量、压力、温度等，对各个参数的范围严格控制。

5 油田集输项目改造

5.1 项目概况

本文选择 XX 油田作为研究对象，XX 油田拥有石油总资源量 85.88 亿吨，天然气总资源量 10.7 万亿 m³，同时还蕴藏着丰富的煤炭、岩盐、煤层气、铀等资源。该油田所在地区历年平均气温为 8.5 度，历年平均总降水量为 418mm，历年平均能见度为 24.9km。其中，XX 油田所在地区地表水和地下水可用资源总量约为 104 亿 m³/年，水资源较为丰富，能够满足能源基地建设近期和中期用水需求。

5.2 系统改造目标

本项目针对油田集输老旧设施进行更新，改善由于技术落后、设备老化等问题带来的安全隐患。设计的改造目标为提升设施的安全性，延长使用寿命，确保能满足新的生产需求和开发需求。尤其是在当前数字化时代下，要充分发挥出大数据分析技术、自动化控制系统、物联网（IoT）等技术的应用。重点内容是对集输系统的优化，通过对节能泵的更换，对变频控制的增设，起到节能降耗的效果。另外，进一步调整了集输工艺，针对脱硫、脱水工艺进行了深度优化。

5.3 系统改造内容

对集输系统中的原水套炉更换为换热器，可以通过水源热泵机组制取高温热水，再利用换热器与原油进行换热，让原油温度得以提升。通过对系统改造，

可以在水源热泵机组发生故障时，自动启动燃气水套炉加热原油。另外，增设了油气水分离系统，采用更先进的高效三相分离器、旋流分离技术，让原油处理效率得到进一步提升。并设置气体压缩 / 液化装置，最大程度实现资源化利用。为了实现系统的长期、稳定、安全运行，增设了 SCADA 系统，可以实现远程控制。并利用数字孪生构建计算系统虚拟模型，并联合 AI 分析设备运行数据，实现了预测性维护，最大程度确保系统的运行稳定和安全，确保每一个环节得到监控和自动化处理。

5.4 数据采集及处理

在本项目改造工作中，设计了数据采集装置，旨在优化原油集输加热系统的运行性能。在该装置内，添加了 MCGS 组态软件，可以通过电磁流量计、多功能电力仪表、温度传感器等测试仪器，自动将收集到的数据信号传送到计算机中，由 MCGS 组态软件同步显示并储存。在进行数据处理的过程中，选取热泵机组 COP 为指标，其计算公式为：

$$COP = \frac{Q_2}{W} \quad (1)$$

在公式（1）中，W 代表的是机组内压缩机功耗量。对于原油与热水之间的换热效率，计算公式为：

$$\eta = \frac{Q_1}{q_w p_w c_w (t_4 - t_3)} \quad (2)$$

在公式（2）中， η 代表的是原油与热水之间的换热效率； q_w 代表的是热水流量； t_4 代表的是热水进口温度； t_3 代表的是热水出口温度。

5.5 实验结果

通过对 XX 油田集输系统的改造，在满负荷运行 24h 后的负荷侧和源侧的进出口温度和温差的检测，源侧进口温度稳定在 12.98℃ 左右，出口温度稳定在 8.87℃ 左右，进出口温度在小范围内波动，较稳定。如图 2 所示。

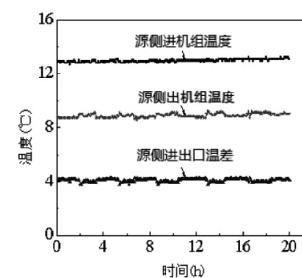


图 2 源侧进出口温度和温差

对于负荷侧来说，系统在运行初期出口温度有明显的上升趋势，但随着系统运行温度也逐渐稳定，出口温度稳定在 60℃ 左右，进口温度稳定在 57℃ 左右。如图 3 所示。

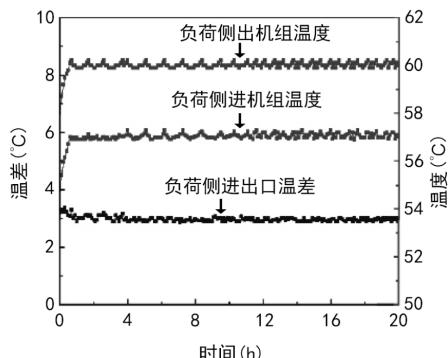


图 3 负荷侧进出口温度和温差

通过对原有集输加热系统的改造，XX 油田改造项目能够有效满足原油加热时的热水升温的需求，同时达到节能降耗的目的。但通过进一步调查研究显示，原油与热水之间的换热效率不高，原因在于改造加热系统时，为保留原有的燃气水套炉功能以及降低改造成本，只是改造了原有的燃气水套炉，增设新的油水换热器。原有设备供热水设计温度更高，实际在进行油水换热的过程中效率不高，还需要进一步针对换热器部分进行改造。

6 结束语

综上所述，水源热泵技术在油田集输系统中的应用，具有显著的环境友好性和节能效益，甚至可以降低 30% 的能源消耗。根据国际能源署（IEA）的报告

显示，应用水源热泵技术每年可以减少数亿吨的二氧化碳排放。本文选择 XX 油田作为研究对象，对油田集输的实际情况进行了简单论述，通过对油田集输系统的改造，结果显示改造后的集输系统中，油水换热器和水泵有效提升了系统能效，进一步提高油田经济效益和生产效率。通过优化调整油田集输系统，不单单包含了技术层面的改进，还需要积极创新管理内容。

参考文献：

- [1] 胡琪, 刘逸, 陈培强, 等. 水源热泵在油田集输中的应用研究 [J]. 制冷, 2021, 40(04):72-77.
- [2] 朱学娟, 代晓东, 马腾祥, 等. 胜利油田桩西联合站油气集输系统节能潜力分析 [J]. 节能, 2018, 37(09):56-59.
- [3] 刘清源, 祖贺川, 王婧, 等. 吸收式水源热泵技术在油田联合站的应用 [J]. 石油石化节能, 2018, 8(07):24-26+9.
- [4] 宗晓军, 刘远辉, 鞠岳军, 等. 油田集输原油脱水工艺的优化与改进 [J]. 化工管理, 2020(24):191-192.
- [5] 张建华, 文永财, 潘顺利, 等. 油田集输机泵的维护及保养分析 [J]. 中国设备工程, 2022(01):68-69.
- [6] 杨东海, 李文洋, 李金永, 等. 高含水期原油低温集输温度界限模型研究 [J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2023, 50(01):29-37.
- [7] 贺松. 自动化技术在油田集输站的应用 [J]. 石化技术, 2021, 28(02):70-71.



广告