

# Contrastive Study on Wastewater Waste Heat Utilization System in Oilfield

Xinfeng Guo<sup>1,2</sup>, Jiaguo Hu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>SINOPEC Star Petroleum Co., Ltd., Beijing

<sup>2</sup>China National Research and Technology Center of Geothermal Energy, Beijing

Email: guoxinfeng20@126.com

Received: Jun. 6<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 20<sup>th</sup>, 2019; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

As the oilfield production can produce a large number of available waste heat resources, most of the resources are wasted. In this paper, the energy storage heat pump system is introduced and compared with heat pump system, absorption heat pump system and gas boiler system. The result shows that the energy storage heat pump system can greatly reduce the existing heating system operating costs, and has high energy-saving and emission reduction benefits.

## Keywords

Oilfield, Waste Heat, Energy Storage, Heat Pump

---

# 油田采油污水余热利用系统对比研究

郭新锋<sup>1,2</sup>, 胡甲国<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国石化集团新星石油有限责任公司, 北京

<sup>2</sup>国家地热能源开发利用研究及应用技术推广中心, 北京

Email: guoxinfeng20@126.com

收稿日期: 2019年6月6日; 录用日期: 2019年6月20日; 发布日期: 2019年6月28日

---

## 摘要

伴随油田生产会产生大量可以利用的余热资源, 但是该部分资源大部分被白白浪费。本文引入了蓄能式热泵系统, 并与热泵系统、吸收式热泵系统、燃气锅炉系统的经济效益和节能减排效益做了对比分析, 得出蓄能式热泵系统可有效利用污水余热, 大幅降低现有加热系统的运行费用, 并具有很高的节能减排效益。

## 关键词

油田, 余热, 蓄能, 热泵

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

据统计, 中国油田采出水总量在几亿立方米以上, 常规油田采出水温度为  $38^{\circ}\text{C}\sim 43^{\circ}\text{C}$ , 稠油油田采出水温度为  $60^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ , 蕴藏着大量的热能资源[1]。油田生产过程消耗大量煤炭、石油、天然气化石能源, 是高产能、高耗能的大型企业, 随着节能减排工作的持续推进, 人们开始注意到油田采油污水中储存着巨大的余热能源。赵达等人研究了地源热泵技术在油田中的应用, 采用地源热泵替代原油加热锅炉, 通过试验系统运行, 节约的能源费用可在 4.82 年收回地源热泵系统投资, 具有较好的经济效益和环保效益[2]。耿建安等人利用蒸汽作为驱动热源, 采用吸收式热泵系统提取采油污水中的余热, 制取  $80^{\circ}\text{C}$  的热水为居民供暖, 系统性能系数可达到 1.77, 年可降低消耗一次能源 54% [3]。

本文主要引入了蓄能式热泵系统, 通过与热泵系统、吸收式热泵系统及锅炉系统的对比分析, 认为蓄能式热泵系统比其他三个系统运行成本更低, 节能效果更加明显。

## 2. 余热利用技术介绍

### 2.1. 常规热泵加热系统介绍

目前, 油田的加热系统主要是采用燃油、燃气、燃煤锅炉, 用于加热原油、脱水、伴热及居民供暖, 许多研究人员也尝试使用常规热泵系统或吸收式热泵系统替代锅炉系统, 流程图如图 1 所示。污水经过板式换热器为热泵机组提供热源, 在热泵机组中通过循环工质的相变换热, 将污水中的热量提取出来, 制造高温热水, 加热需要被加热的介质。

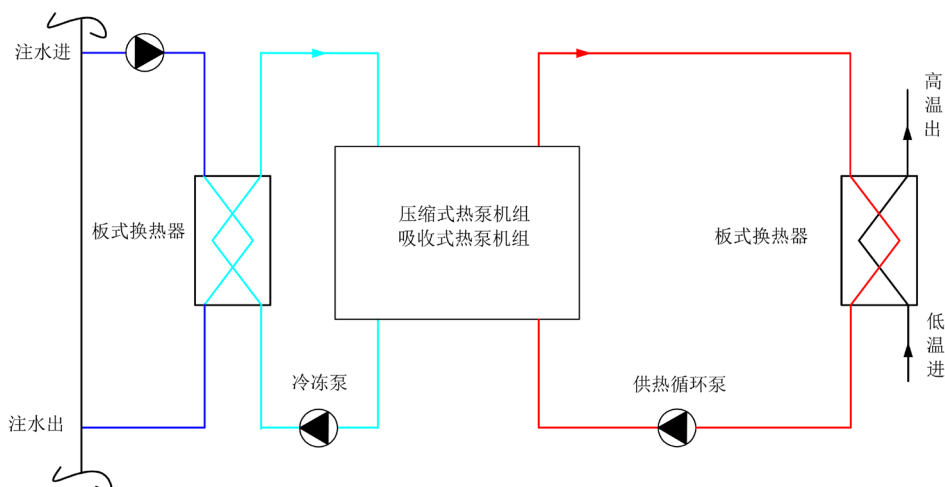


Figure 1. Flow chart of conventional heat pump heating system

图 1. 常规热泵加热系统流程图

压缩式热泵主要由蒸发器、冷凝器、压缩机、膨胀阀组成, 通过制冷剂的压缩、冷凝、节流、膨胀四个过程, 将污水中的热量源源不断的向高温侧转移。压缩式热泵靠电能驱动, 制冷工质一般为有机工质, 其经济性指标为性能系数 COP [4]。

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

$Q_h$ ——热泵机组供出的热量, kW;  $W$ ——输入的能量, kW。

吸收式热泵机组主要由蒸发器、冷凝器、发生器、吸收器、溶液循环泵等组成, 该机组的制冷剂为二元溶液, 常用的是氯化锂和氨水溶液, 沸点低的为制冷剂, 沸点高的为吸收剂。它的驱动热源主要有高温热水、蒸汽、化石能源等, 其经济性指标为热力系数  $\zeta$  [5]。

$$\zeta = \frac{\phi_k}{\phi_g} \quad (2)$$

$\phi_k$ ——机组提供的热量, kW;  $\phi_g$ ——机组消耗的热量, kW。

## 2.2. 蓄能式热泵系统介绍

蓄能式热泵系统主要是基于峰谷电价政策, 利用压缩式热泵提取采油污水中的热能, 在电价谷电时段热泵全开, 边供热边蓄能, 在电价峰值阶段, 热泵主机关闭, 利用所储蓄的能量向用热单位持续供热。系统流程如图 2 所示。

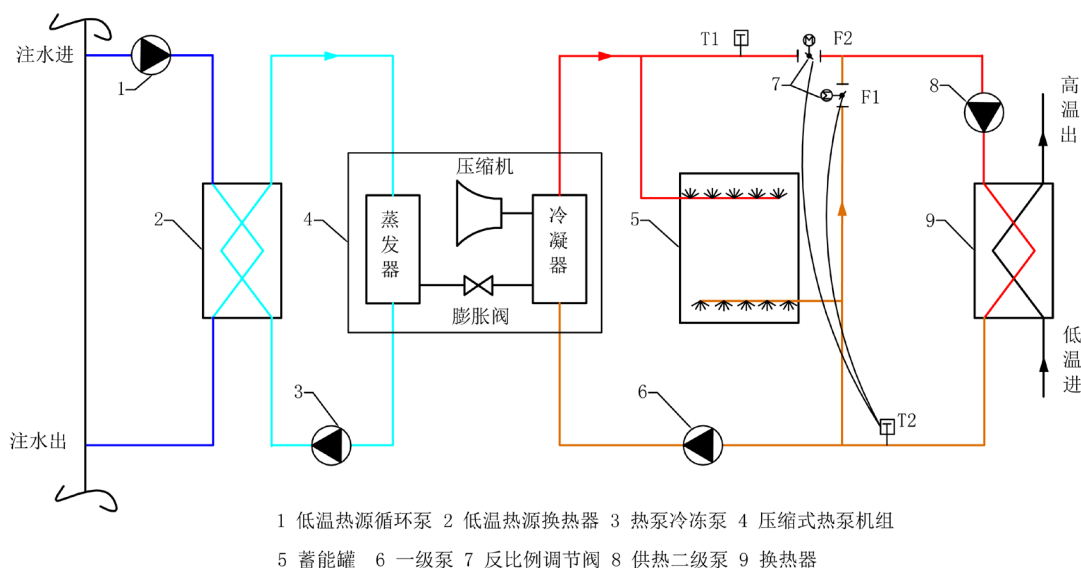


Figure 2. Flow chart of heat storage heat pump heating system

图 2. 蓄能式热泵加热系统流程图

注水经低温热源循环泵 1 加压, 经钛板板式换热器换热后重新回到注水管线, 做到只取热不取水, 另一侧得到热量的软化水经热泵冷冻泵 3 进入热泵机组 4, 热泵机组通过制冷剂的蒸发、压缩、冷凝、节流等环节, 将热量传递到冷凝器侧的软化水, 制取高温热水。夜间谷电时段内, 热泵机组开启, 一级泵 6、供热二级泵 8 同时开启, 一方面通过换热器 9 向被加热介质供热, 另一方面向蓄能罐 5 内充水蓄能。白天峰电和尖峰电价时段, 低温热源循环泵、热泵机组、热泵冷冻泵、一级泵停止运行, 供热二级泵继续运行, 利用蓄能罐的水继续提供热量。

### 3. 案例分析

#### 3.1. 基本情况介绍

以河南省某油田联合站为分析对象, 对比不同方案的投资、运行费用、经济效益和减排效益。联合站原加热系统采用天然气加热锅炉, 每年消耗天然气约 275 万立方米, 天然气价格 2.9 元/立方米。污水温度为 40℃, 污水流量约 13,000 立方米/天。具体参数如表 1:

Table 1. Heating load

表 1. 加热负荷表

负荷类型	被加热介质	流量	比热	初始温度	最终温度	负荷
		t/h	J/kg/°C	°C	°C	kW
原油加热	原油	28	2200	49	72	393.6
掺水加热	污水	95	4200	49	70	2327.5
采暖	清水	40	4200	50	70	933.3
合计						3654.4

表 2 为河南省峰谷电价时刻表, 每天 8 个小时的谷电时段, 电价为 0.33917 元/kWh, 尖峰电价为 1.07585 元/kWh, 尖峰电价为谷电电价的 3 倍多, 因此可以利用这个特点, 利用蓄能技术在谷电时刻蓄能, 用于峰电和尖峰时刻的负荷加热, 可大大的降低运行成本。

Table 2. Peak and valley electricity price in Henan province

表 2. 河南省峰谷电价表

序号	时段	时长	电价(元/kWh)
1	00:00~08:00 (谷)	8	0.33917
2	08:00~12:00 (峰)	4	0.95983
3	12:00~18:00 22:00~24:00 (平)	8	0.62920
4	18:00~22:00 (尖峰)	4	1.07585

#### 3.2. 经济效益分析

经过计算 3 种方案的投资、运行支出, 与现有系统的运行费用作为收入计算出个系统的年收益, 从而计算出各方案的静态投资回收期, 系统计算期为 15 年。

从表 3 可以看出, 蓄能式热泵投资最高, 吸收式热泵系统投资最低, 一方面增加了蓄能罐的设备投资, 另一方面生产负荷为连续的, 蓄能过程中的负荷为基本加热负荷与蓄能负荷之和, 增大了热泵设备的选型。热泵系统和蓄能式热泵系统主要是依靠电能驱动, 年运行电费分别为 473.9 万元和 289.8 万元, 分别比锅炉系统运行费用降低 40.6%和 63.7%。蓄能式热泵系统的热泵设备基本都是在谷电运行, 在蓄热负荷不足的情况下在平电时段开启, 完全避开了峰电和尖峰电价时段, 可以大幅的减低运行成本, 缩短项目的投资回收期。吸收式热泵系统的运行费用最高, 运行性能系数在 1.5 左右, 年需天然气 184 万立方米, 节约天然气 91 万立方米, 比锅炉系统节约运行费用 146.7 万元。投资回收期蓄能式热泵系统为 4.7 年, 吸收式热泵系统为 7.6 年。可看出, 蓄能式热泵系统虽然增加了投资, 但运行费用最低, 经济效益最为明显。

**Table 3.** Three kinds of scheme investment and investment payback period  
**表 3.** 3 种方案投资及投资回收期

序号	系统形式	热泵	蓄能热泵	吸收式热泵	
1	总投资/万元	1367.8	1811	1114	
2	运行费用/万元	473.9	289.8	燃气/万元	533.6
				电费/万元	42.9
3	15 年寿命期内投资折旧/万元	91.2	120.7	74.3	
4	15 年寿命期内年均费用/万元	565.1	410.5	650.8	
5	现有系统运行/万元	797.5	797.5	797.5	
6	改造方案运行/万元	557.1	410.5	650.8	
7	运行收益/万元	232.4	387	146.7	
8	静态投资回收期/年	5.9	4.7	7.6	

### 3.3. 节能效益分析

将 3 个系统所消耗能量折合成标煤, 再进行减排二氧化碳进行计算, 其中电煤转化量按 0.36 kg/kWh, 天然气热值为 8500 大卡/立方米。从表 4 中可以看出, 替代系统都可以取得较好的减排效果, 蓄能式热泵系统的减排效果最为显著, 相比原来的系统年可减排二氧化碳 2219 吨/年, 吸收式热泵系统次之, 热泵系统最差。

**Table 4.** Carbon dioxide reduction  
**表 4.** 3 种方案二氧化碳减排情况

序号	系统形式	热泵	蓄能热泵	吸收式热泵	燃气锅炉		
1	能量消耗	电	万 kWh	718	677	65	/
		燃气	万 NM <sup>3</sup>	/	/	184	275
3	折合标煤	合计	T	2585	2437	2468	3339
		排放量	T	6359	5996	6072	8215
4	二氧化碳减排计算	减排量	T	1856	2219	2143	0
		减排比例	%	22.59	27.01	26.08	0.00

## 4. 结论

热泵系统、蓄能式热泵系统、吸收式热泵系统与天然气锅炉系统相比, 都可以取得较好的经济效益和减排效益, 蓄能式热泵系统的经济效益和节能效益最高。热泵系统的性能系数可达到 3 以上, 吸收式热泵系统的热力系数在 1.5 左右, 都能很好地利用油田采油污水余热, 替代现有的燃油、燃煤、燃气锅炉, 可成为油田企业降本增效的重要措施。

## 参考文献

- [1] 陈山旺, 余绩庆, 林由, 等. 油气田节能技术发展现状与展望[J]. 中外能源, 2009, 14(9): 88-94.
- [2] 赵达, 张欣艳, 刘逸. 地源热泵加热系统在油田的应用研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2010, 22(1): 92-95.
- [3] 耿建安, 李华玉. 油田热污水余热利用的可行性分析及尝试[J]. 制冷与空调, 2004, 4(2): 68-70.

- [4] 沈维道, 童钧耕. 工程热力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [5] 彦启森, 石文星, 田长青. 空气调节用制冷技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-9219, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [se@hanspub.org](mailto:se@hanspub.org)