

文章编号: 1000-8241(2012)04-0289-03

太阳能与热泵技术在原油加热系统的应用

裴峻峰 陈广敏

常州大学机械工程学院, 江苏常州 213016

裴峻峰等. 太阳能与热泵技术在原油加热系统的应用. 油气储运, 2012, 31(4): 289-291.

摘要: 利用燃油、燃气加热炉加热原油会造成能源浪费和环境污染, 以太阳能和回注水热交换所获热量为高温水源热泵的低温热源, 以电加热器为备用热源, 用于集输原油的循环加热, 可以达到节能减排的目的。分别建立了太阳能集热器和高温水源热泵的数学模型, 采用 Matlab 中的 Simulink 仿真技术建模, 输入现场运行参数进行仿真, 通过模拟仿真预测太阳能与热泵联合供热系统的运行情况, 并将模拟运行结果与其他供热系统进行经济性比较。结果表明: 太阳能与高温热泵联合供热系统的制热温度达 75 °C, 制热系数达 3.5, 年运行费用较电锅炉加热节省 40.23×10^4 元, 增加的投资 14 个月即可收回, 经济效益比较显著。

关键词: 太阳能; 高温热泵; 联合供热系统; 仿真模拟; 节能

中图分类号: TE98

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2012.04.012

随着能源供需矛盾的日益加剧, 提高能源的利用效率、回收各种生产余热以节能降耗, 成为迫切需要解决的问题。油田生产过程中, 原油集输系统是最基本的产能系统, 其能耗较高, 而热能主要由燃煤和燃油锅炉供应^[1], 该加热方法热效率不高, 且会造成环境污染; 油田开发过程中, 会产生大量温度达 30~70 °C 的含油污水^[2], 其余热未被充分利用就进行回注或外排, 造成资源浪费和一定程度的热污染^[3]。若将高温水源热泵技术和太阳能集热技术应用到油田生产中, 则能够最大限度地利用油田的余热资源, 利用污水余热来制取 70~90 °C 的热水^[4], 并直接用于原油集输加热, 开创节能降耗的新途径。

1 系统设计

该原油加热系统由水源侧热交换器、储热水箱、高温热泵、补水箱、太阳能集热器、泵及管路等组成, 采用油田回注水和太阳能集热系统作为低温热源, 优先使用太阳能, 再利用高温热泵将储罐中的原油从 45 °C 加热至 55 °C 外输。整个加热系统由回注水模式、太阳能集热模式和管路电加热模式组成(图 1), 光照充足时, 使用储热水箱的水作为高温热泵的低温热源; 阴天或夜晚时, 利用回注水热交换所获热量作为高温热泵的低温热源; 如果高温热泵出现故障, 则可开启管路电加热器, 由此保障原油连续、安全加热。

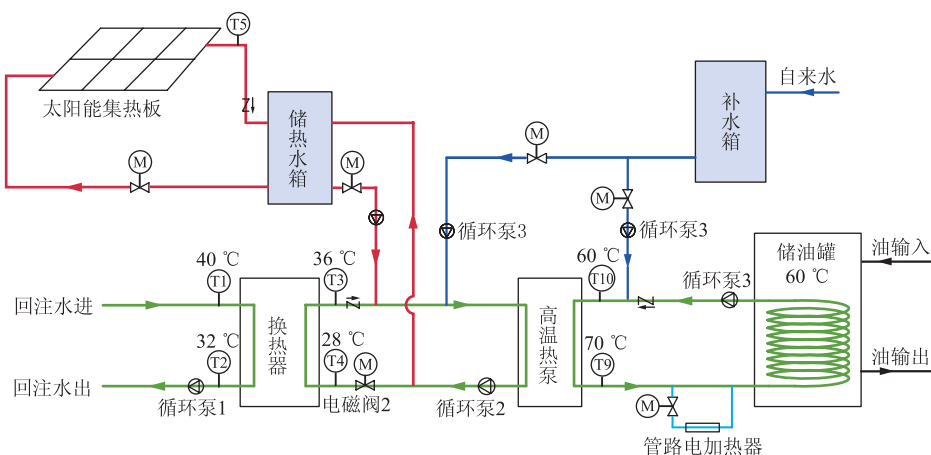


图 1 太阳能与热泵联合供热系统

2 数学模型

2.1 太阳能集热器

忽略太阳能集热器循环管路的热损失,假定循环水在管内沿轴向一维流动,则集热器非稳态能量平衡方程的微分方程^[5]为:

$$C_c \frac{dT_{s,m}}{dt} = F'[S - U_L(T_{s,m} - T_a)] + Gc_p(T_{s,i} - T_{s,o}) \quad (1)$$

式中: C_c 为集热器单位面积的有效热容, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$; F' 为集热器的效率因子; S 为集热器单位面积吸收的热量, MJ ; U_L 为热损失系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$; G 为集热器单位面积的流量, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; c_p 为水的比定压热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$; $T_{s,m}$ 为吸热板的平均板温, C ; T_a 为环境温度, C ; $T_{s,i}$ 为进入集热器的流体温度, C ; $T_{s,o}$ 为流出集热器的流体温度, C 。

因吸热板的平均板温难以实测或计算,故采用循环水的进口温度来代替,则式(1)转换为:

$$C_c K \frac{dT_{s,o}}{dt} = F_R [S - U_L(T_{s,i} - T_a)] + Gc_p(T_{s,i} - T_{s,o}) \quad (2)$$

$$K = \frac{Gc_p}{2Gc_p - F'U_L}$$

$$F_R = \frac{1}{\frac{1}{F'} + \frac{AU_L}{2\dot{m}c_p}}$$

式中: F_R 为热转移因子; A 为集热器面积, m^2 ; \dot{m} 为介质流量, kg/s 。

2.2 热泵机组

忽略热泵机组的热损失,假定循环水为一维流动,根据能量守恒定律:

$$Q_{\text{out}} = m_r c_p (T_{r,i} - T_{r,o}) \quad (3)$$

则:
$$T_{r,o} = T_{r,i} - \frac{Q_{\text{out}}}{m_r c_p} \quad (4)$$

式中: Q_{out} 为热泵机组的输出热量, MJ ; m_r 为热泵循环水的流量, kg/s ; $T_{r,i}$ 为热泵进口循环水的温度, C ; $T_{r,o}$ 为热泵出口循环水的温度, C 。

3 系统仿真与分析

3.1 仿真模型

根据太阳能集热器和热泵机组的数学模型,利用 Matlab 中的 Simulink 仿真工具建立原油加热系统的仿真模型(图2)。

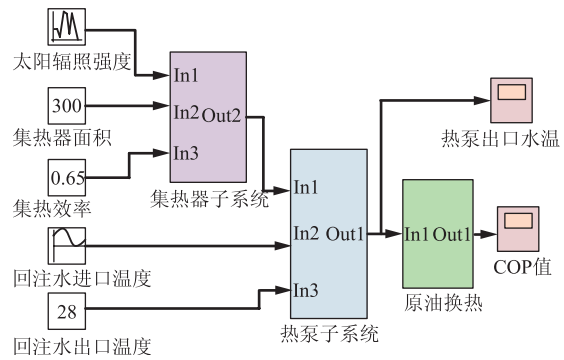


图2 太阳能与热泵联合加热系统的仿真模型

3.2 结果分析

模拟过程中,采用江苏油田的原油含水率、回注水温度和当地太阳光照强度等数据进行计算,结果表明:热泵出口处温度介于 $70 \sim 80 \text{C}$ (图3),该温度可提供原油加热所需的热量,经过储油罐内盘管换热后,能够保证原油温度达到 60C 左右,从而顺利外输;整个太阳能与热泵联合加热系统的性能系数(COP)值介于 $3 \sim 4$ 之间(图4),该加热系统具有较好的运行效率,而且节能效果良好。

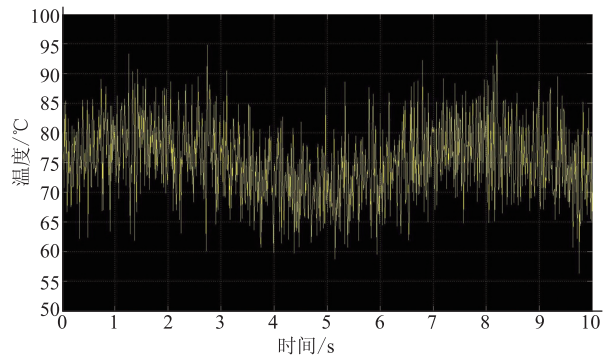


图3 热泵出口处温度数据曲线

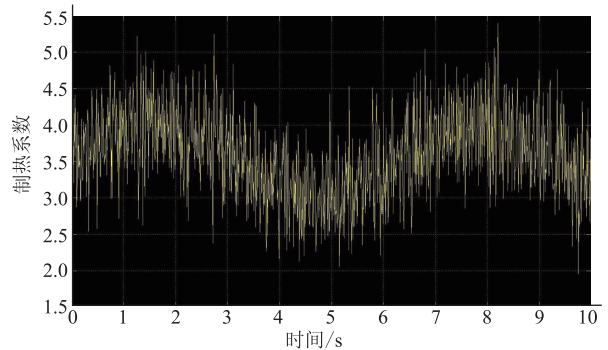


图4 加热系统性能系数(COP)数据曲线

4 实例分析

4.1 经济效益

以江苏某油田 $270 \text{ t}/\text{d}$ 的原油处理量为例进行计

算,进入储油罐的原油温度为 40 ℃,需要将其加热至 55 ℃外输,原油比热容为 2.1 kJ/(kg·℃),油田工业平均电价 0.74 元/(kW·h);原油价格 4 300 元/t,原油热值 11.62 kW·h;基于上述数据计算得出所需能量为 2 362.5 kW·h。

按全年运行 300 天计,用燃油锅炉(效率为 80%)加热,每天费用 1 092.8 元,全年费用 32.78×10^4 元;用电锅炉(效率为 95%)加热,每天费用 1 840.3 元,全年费用 55.21×10^4 元;采用高温热泵(热泵系统的制热系数为 3.5)加热,每天费用 499.5 元,全年费用 14.98×10^4 元。

对高温热泵、燃油锅炉和燃气锅炉 3 种加热方式的投资和运行费用进行计算(表 1),结果表明:高温热泵加热系统较电锅炉系统年费用节省 40.23×10^4 元,增加的投资费用 14 个月即可收回,整个系统的运行寿命可达 15 年,经济效益比较显著。

表 1 3 种加热系统的投资与运行费用比较

加热系统	用能方式	投资费用 /(10 ⁴ 元)	日运行费用 /元	年运行费用 /(10 ⁴ 元)
高温热泵	电	57.3	499.5	14.98
燃油锅炉	原油	16.5	1 092.8	32.78
电锅炉	电	14.5	1 840.3	55.21

4.2 环境效益

太阳能与高温热泵联合加热系统采用太阳能或回注水作为低温热源,太阳能属于清洁能源,回注水的余热利用也符合节能减排的发展趋势。以此加热系统替代燃煤、燃油锅炉,避免了原加热系统中废气、废渣对周围环境的污染,节省了燃煤运输、设备除尘和人工等费用,同时解决了油田污水排放后造成的环境污染问题,社会效益良好。

5 结论

在目前全球能源短缺和环境危机日益严重的形势下,将太阳能技术和高温热泵技术相结合代替传统的燃油、燃气锅炉为外输原油加热是一种可行的油田集输工艺改造方案。对太阳能集热器和热泵机组分别建

立了数学模型,并据此模型进行建模仿真和分析,结果表明:高温水源热泵和太阳能技术联合供热系统与传统的燃油、燃气供热系统相比,具有能源利用效率高、运行费用低和环境污染小等优点,很大程度上节约了石油和天然气等资源,对环境保护的效果比较显著,能够保证加热系统长期稳定运行,在油田生产过程中产生了一定的经济效益。

参考文献:

- [1] 张鸿兵,刘文涛,顾岩森.热泵技术在油田生产中的应用[J].油气地面工程,2009,28(11):48-49.
- [2] 毕海洋,端木琳,朱颖心.污水源热泵替代原油加热炉的研究[J].可再生能源,2007,25(2):97-99.
- [3] 何卫兵.应用热泵型原油加热系统回收高温污水余热[J].中外能源,2009(5):110-111.
- [4] Minsung Kim, Young Jin Baik. Design of a high temperature production heat pump system using geothermal water at moderate temperature[J].Current Applied Physics, 2010(10):117-122.
- [5] 余驰,王磊,李泽荣.太阳能低温水源热泵辅助供暖系统模拟研究[J].制冷与空调,2006(1):1-7.

(收稿日期:2011-06-24;编辑:谷英翠)

作者简介:裴峻峰,教授,1954 年生,2006 年博士毕业于中国石油大学(北京)机械设计与理论专业,现主要从事石油、石化设备可靠性和故障诊断的研究工作。

电话:0519-83290254;Email:peijf@em.jpu.edu.cn

更正

本刊 2012 年第 2 期、第 3 期版权页中“封面摄影佚名”更正为“封面摄影 李宗元”。