

文章编号: 2095—0411 (2014) 03 - 0047 - 04

工业热泵提取污水废热技术及经济性分析^{*}

游庆生, 郭 强, 马书寒

(常州大学 石油工程学院, 江苏 常州 213016)

摘要: 针对一个从事稀土分离生产的企业, 对其生产后排放的大量的超温工业污水 (平均温度 55℃), 利用工业热泵提取污水废热, 用于将锅炉给水和萃取工艺所需纯水分别预热至 60℃ 和 75℃, 大大减少了企业的燃气的消耗量。通过数据计算和静态经济评价指标对该方案的经济性、可行性和成本回收周期进行了分析, 结果表明: 该企业采用工业污水源热泵系统每年节省费用达 140 万左右, 静态投资回收周期在 2 年以内, 同时为工业热泵提取废热技术的推广应用提供参考。

关键词: 工业热泵; 污水废热; 经济评价指标

中图分类号: TK 8

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.03.010

Technical and Economical Analysis of Utilizing Sewage Water Heat with Industrial Heat Pump

YOU Qing-sheng, GUO Qiang, MA Shu-han

(School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The sewage water with high and stable temperature (with an average temperature of 55℃) was utilized for an enterprise engaged in rare earth separation production. When heated to 60℃ and 75℃, the heat of sewage water was extracted by using industrial heat pump for boiler feed water and the pure water needed by extraction technology. It reduces immensely the gas consumption every year for the enterprise. Based on the calculation of data and the analysis of its static economic index, feasibility and cost recovery period, the results were drawn that 1.4 million Yuan of RMB could be saved for the enterprise as a result of utilizing industrial heat pump, and the static investment recovery period was within 2 years. The result could offer reference to the popularization and application for the technology of utilizing sewage heat by using industrial heat pump.

Key words: industrial heat pump; sewage waste water; economic evaluation index

随着工业化进程的加速, 我国的能源短缺及大量一次能源的消耗所带来的环境问题日益凸显。根据《中国统计年鉴 2012》数据表明: 全国的污水排放总量高达 659 亿吨^[1], 国家节能减排“十二五”规划中指出要大力发展循环经济, 降低能源消耗。针对某从事稀土分离生产的企业, 根据其生产工艺中排放的大量工业污水具有高温 (平均温度约为

55℃) 的特点, 改进原有的废水处理方式, 利用成熟的工业热泵技术提取废水废热用于锅炉给水预热和萃取工艺纯水预热, 实现低品位能源回收利用, 节能降耗。

1 工业热泵技术应用及优势

目前的工业热泵机组技术成熟, 在工业领域废

^{*} 收稿日期: 2013 - 11 - 10。

作者简介: 游庆生 (1989—), 男, 湖南衡阳人, 硕士生。

热回收使之重新利用，具有很大的节能潜力^[2]。高温型热泵机组大多均采用半封闭螺杆压缩机，具有结构简单，单机容量大，性能稳定可靠以及使用寿命长等优点^[3-4]。例如型号为 GSHP - 0288H 特高温型热泵机组采用德国比泽尔半封闭螺杆压缩机，同时该型号热泵机组将满液式蒸发器应用到水源热泵机组，比干式蒸发器效率要高出 10%~15%^[5]，不仅提高了能效系数（COP 值），而且维护更方便，运行可靠性更高。相比传统的污水源热泵而言，污水可以直接进入 GSHP - 0288H 特高温型热泵机组的换热器，没有中间的二次换热使得换热效率进一步提高。使用的制冷剂是由该公司自主研发的 LAND01 新型多元混合制冷剂，在以 38~55℃ 的污水作为热源时，能提供 75~85℃ 的热水。采用先进的集成电子技术和自动控制技术，使得热泵机组在运行时能实现精确且专业的智能化控制。该型号特高温热泵使用高精度电子膨胀阀（专利号

CN02268480.8）^[6]，能够对压缩机运行时实检测，整个机组的控制系统配备 GSM 无线监控系统（专利号 CN02214653.9）^[7]，能够使系统实现智能化控制，且热泵机组系统使用寿命能达 10 年以上。

通常高温水源热泵的制热能效系数相对于传统低温水源热泵要低。在热源温度相对稳定的情况下其制热性能系数最高可以达到 4.0 左右，考虑到冷凝温度的升高会增加机组的能耗，热泵的 COP 会有所下降，GSHP - 0288H 特高温型热泵机组的平均制热系数可以达到 3.3。与锅炉（电、燃料）供热系统相比，获得同样多热量，水源热泵系统的节能优势较为明显，将 1 吨水从 25℃ 加热到 75℃ 所需要的热量 $Q_1 = cm\Delta t = 4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 1000 \text{ kg} \times 50^\circ\text{C} = 209\,500 \text{ kJ}$ ，不同加热方式的供给热 $Q_2 = \text{热源用量} \times \text{热源发热值} \times \text{热效率}$ ，费用 $W = \text{热源单价} \times \text{热源用量}$ 。使用不同类型的加热设备的能耗和费用对比见表 1（江苏价格）。

表 1 不同加热设备的能耗和费用对比
Table 1 Contrast of enery consumption and operation cost for different heating equipment

名称	燃油锅炉	燃气锅炉	电锅炉	水源热泵
能源品种	0#柴油	天然气	电能	电能
热源单价	8.9 元/kg	3.6 元/m ³	0.89 元/（kW·h）	0.89 元/（kW·h）
热源燃烧值	10 200 kcal/kg	8 500 kcal/m ³		
热效率/%	85	89	95	330
热源用量	5.8 kg	6.6 m ³	61.3 kW·h	17.6 kW·h
费用/元	51.6	23.8	54.6	15.7

说明：表中电费按江苏工业用电收费标准，若使用工业谷电（价格为 0.33 元/（kW·h）），电锅炉和水源热泵的费用分别为 20.2 元和 5.8 元。

由表 1 数据可知，在获取相同热热量时，水源热泵系统要比燃油锅炉节省 2/3 的费用，比燃气锅炉节省 1/3 的费用，若使用工业谷电水源热泵的运行费优势更为显著，同时还能减少燃料消耗带来的环境污染问题。

2 主要用热点和原有废水处理方式

该企业从事生产的用热点之一是浓缩锅内加热工艺，采用的方式是利用锅炉将 25℃ 的软水加热至 1.0MPa 的蒸汽进入浓缩锅换热。工业污水包括由浓缩锅内流出的污水，其温度范围在 45~60℃，且高达 800t/d。

如图 1 所示，原有的污水处理方式是将污水经污水蓄水池进入冷却塔处理至曝气温度后送往污水处理厂。显然这种的污水处理方式存在如下弊端：首先，大量的高温污水所含有的低品位热能没有得到回收利用；其次，冷却塔将污水冷却至曝气温度需消耗一定量的高品位电能，从而造成企业的运行

成本的增加。

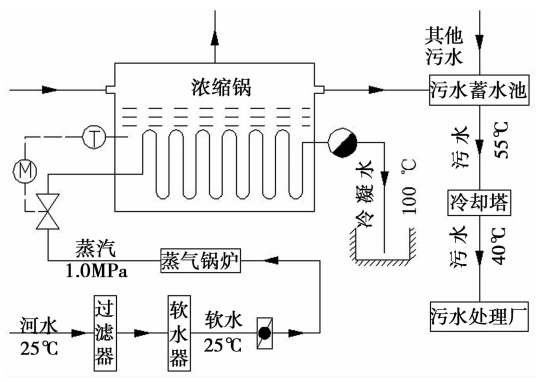


图 1 加热工艺流程和原有的污水处理
Fig. 1 The heating process and the way of wastewater treatment

3 工业热泵加热纯水、锅炉预水工艺

3.1 工艺介绍及解决的主要问题

现利用工业热泵将污水废热提取出来，用于直

接加热纯水至 75℃ 然后由蒸汽补热至 80℃ 满足萃取工艺用热需求; 预热锅炉软水至 60℃。具体工艺流程如图 2 所示。

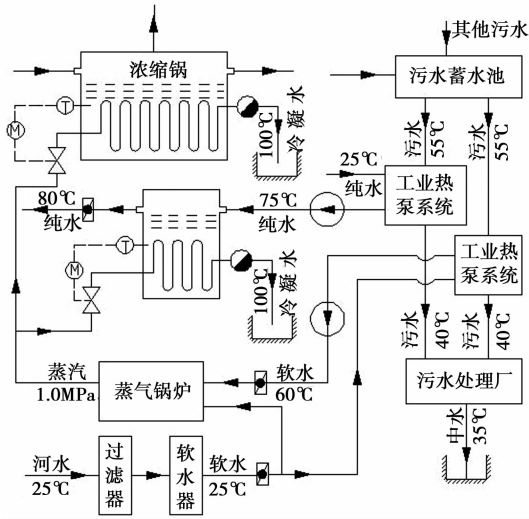


图 2 工业热泵处理污水加热纯水、锅炉预水工艺

Fig. 2 The process of using industrial heat pump treatment wastewater heated pure and boiler water

该工艺流程解决以下问题: ①通过回收热量的利用, 减少蒸汽用量, 避免过多采用高温蒸汽加热 25℃ 的常温水所造成的高品位能源的浪费; ②使用工业热泵用于回收排放到污水中的热量, 最大限度地减少了一次性不可再生能源的消耗量, 节省了大量的运行费用; ③减少排污水在进入污水处理厂前, 为满足污水处理曝气的温度要求而进行的冷却塔降温处理。

3.2 设备的主要技术参数及防腐

图 2 所示的工艺流程选用 3 台型号为 GSHP - 0288H 特高温型热泵机组, 其主要的技术参数见表 2。

表 2 GSHP - 0288H 特高温型热泵主要技术参数

Table 2 The technical parameters about GSHP - 0288H heat pump

机型	GSHP - 0288H
名义制热量	293 kW
能量调节范围	25~100
输入热功率	91 kW
蒸发器	满液式, 流量 19 m ³ /h
制冷剂	LAND01
冷凝器	水冷壳管式, 流量 25 m ³ /h
压缩机	半封闭螺杆压缩机
控制系统	专用微电脑控制器, GSM 无线监控
额定热源水进出水温度	55/40℃
额定热水进出水温度	75/85℃
质量	1 870 kg
长/mm×宽/mm×高/mm	2 675×1 245×1 430

在稀土分离生产过程中, 其工业废水 (含有一定量的 H⁺、NH⁺、Fe³⁺、Si⁴⁺、Ca²⁺、Al³⁺ 等成分) 和其他污水不可避免的含有一定量的腐蚀性物质, 换热设备结垢腐蚀的现象对其换热性能具有一定的影响, 在污水进入换热设备前对其采取酸碱调节、物化聚凝沉淀等措施, 然后经过污水防堵机 (图 2 中未标出) 再进入换热器。

电化学腐蚀是指金属表面与含有导电粒子的液体介质发生电化学反应的腐蚀现象^[8], 伴随的磨损腐蚀也是污水换热器最常见的腐蚀, 不但影响换热器的使用寿命, 而且由腐蚀造成的结垢严重降低其换热效率^[9]。针对这些问题 GSHP - 0288H 特高温型热泵机组换热器采用海军铜和钛钢混合材质的管箱, 并对其还安装了定期清洗装置, 能够有效的防止腐蚀和结垢问题, 管箱表面是采用纳米涂层技术的 SiO₂ 纳米涂层膜, 该种耐腐涂层不仅使换热表面具有耐渗透、抗冲刷和耐湿变的性能, 同时也降低了机组的清洗频率和延长机组的使用寿命。

4 工业热泵的经济性分析

4.1 相关数据计算

利用污水源热泵提取废热加热纯水的计算分析见表 3, 相同产热量下的燃气锅炉每天消耗的燃气量为 2 103m³, 一年按 360d 计算, 每年天然气的费用高达 2 725 560 元, 比采用污水源热泵多出的费用为 1 366 200 元。其中天然气价格和电费价格分别为 3.6 元/m³ 和 0.89 元/(kW·h), 燃气锅炉效率为 89%, 污水平均温度为 55℃。

利用工业污水源热泵系统工程具有每年节省费用 140 万左右的节能潜力, 整个改造项目实际总投资 270 万。

4.2 静态经济评价分析

4.2.1 投资收益率

投资收益率是指一定时期内投资净收益 (税后) 占投资成本的比例, 它是静态投资方案获利水平的评价指标^[10-11]。该工程改造方案总投资额 *I* 为 270 万元, 经济效益额根据计算结果可知为 140 万元, 考虑节能减排技术改造企业所得税率优惠政策, 对该项投资收益不收取所得税, 能源行业基准投资收益率 *R_c* 取 9%, 投资收益率 $R = A/I \times 100\% = 140/270 = 51.9\%$ 。投资收益率 *R* 远大于行业基准投资收益率 *R_c*, 故依据此指标该方案投

资是可行的。

4. 2. 2 静态投资回收周期

静态投资回收周期是指用净收益额抵偿全部投资额所需要的时间。在不考虑资金时间价值的条件下，用净收益回收其总投资所需要的时间：

$$P_z = I/A = 270/140 = 1.9 \text{ 年}$$

由上式可知，净收益回收总投资的时间约为 1.9 年，投资回收期小于 2 年，因此该项目的经济性很好。

表 3 污水源热泵的数据计算
Table 3 The calculation data about sewage - source heat pump

项目	依据	数值
每天从污水中提取的热量/kJ	55 ℃污水降温至 40 ℃	50 280 000
每天耗电量/kJ	能效系数 3.3	15 236 363
每天折合耗电度数/kW · h	1 kJ=1/3 600 kW · h	4 232
热泵冷凝器每天的产热量/kJ	从污水提取的热量+耗电量	65 516 363
每天用于加热纯水量/t	由 25 ℃加热至 75 ℃	313
每天电费/元	0.89 元/kW · h	3 776
每年电费/元	一年按 360 d 计算	1 359 360

5 结 论

在污水热源温度高、水量比较稳定的情况下，利用工业热泵提取低品位热能回收可用于工艺用热，该技术具有较大的节能潜力，这样做既可降低企业运行成本，又有利于改善环境热污染。由以上方案改进和相关数据计算可知，此方案投资可行性强，回收周期短，经济性很好，在目前工业热泵技术已超成熟的背景下，针对各种低品位废热能的热泵回收利用具有较好地前景。

参考文献：

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2012 [R]. 北京：中国统计出版社，2012：586 - 587.
[2] ZHAO Song - ying, WANG You - tang, YU Hua - lun. Energy - saving analysis of heat pump in industrial application [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2010 (1): 107 - 120.

[3] 严天宏，梁嘉麟，李青. 压缩机的现状、发展及新型技术展望 [J]. 压缩机技术，2011 (1): 52 - 57.
[4] Kazuo Matsuda, Daisuke Kurosaki. Industrial heat pump study using pinch technology for a large scale petrochemical site [J]. Chemical Engineering, 2012 (29): 67 - 72.
[5] 潘丽君. 满液式蒸发器与干式蒸发器的区别 [J]. 制冷，2011, 30 (3): 80 - 81.
[6] 孟庆山，林邵风. 中央空调机组制冷流量控制装置：中国，02268480.8 [P]. 2003 - 07 - 02.
[7] 孟庆山. 中央空调 GSM 无线监控系统：中国，02214653.9 [P]. 2003 - 04 - 30.
[8] 张宝宏，丛文博，杨萍. 金属电化学腐蚀与防护 [M]. 北京：化学工业出版社，2011：3 - 4.
[9] Hui Li, Yan Feng Liu, Ming Guo. Study on the growth characteristics of fouling in sewage source heat pump systems [J]. Advanced Materials Research, 2011, 11: 86 - 89.
[10] 魏娟，朱学义. 企业长期投资收益率的计算与评价 [J]. 会计师，2013 (2): 36 - 37.
[11] 刘德英，董藩. 外商直接投资的区域差异分析 [J]. 黑龙江对外贸易，2007 (11): 46 - 48.