文章编号: 1004- 6011(2009) 01- 0004- 05

星级宾馆用于回收优质杂排水热量的换热器研究

纪格文,　郝学军,　杨　晖
(北京建筑工程学院 环境与能源工程学院, 北京　100044)

摘　要: 针对原水的水质特点, 提出了一种防腐型翅片管换热器, 通过实验对其换热性能进行了试验测定, 并与铜盘管式换热器作了对比. 试验了原水池的曝气工艺对换热器性能的影响, 结果表曝气有助于增强换热器的换热效果. 针对原水池水位变化使换热量降低的问题, 又对防腐翅片管换热器的改进提出了几点建议, 使其在原水池中能更加稳定运行.

关键词: 星级宾馆; 原水; 换热器
中图分类号: TU832.1　　文献标志码: A

Study on Heat Exchanger for Recovering Heat Energy from Raw Water in Star Hotel

Ji Gewen, Hao Xuejun, Yang Hui
(School of Environment and Energy Engineering, BUCEA Beijing 100044)

Abstract: Aiming at the water quality characteristics of raw water, a kind of anticorrosive finned tube heat exchanger is proposed in the paper. Its heat transfer performance is tested by means of experiment and compared with copper coil tube heat exchanger. The effect of aeration system on the performance of heat exchanger is studied experimentally and the result shows that aeration system can enhance the heat transfer apparently. At last, some suggestions on the improvement of finned tube heat exchanger to make it under stable operation condition are given when the level of raw water pool changes.

Key words: star hotel; raw water; heat exchange

截止到 2006 年底, 全国共有星级饭店 13 378 家, 北京市星级饭店数量已经达到 700 家, 其中五星级 37 家, 四星级 91 家, 三星级 228 家[1]. 宾馆建筑对生活热水的需求量大(四星级以上酒店 265 L/(d·床)), 且水温较高(55 ℃以上)[2], 这些宾馆的洗浴、洗衣、洗涤、餐饮设备及健身、娱乐场所等每天的排水中带有大量的热量, 平均水温在 20 ℃~ 35 ℃, 如果能够回收这部分热量, 将有助于提高宾馆的能源利用率, 降低总体能源消耗. 对排水热能的利用有多种方式, 但最有效的方式是利用热泵, 回收排水中的热量来制取生活热水. 为了提高水资源的利用率, 许多宾馆安装有中水系统, 其中利用优质杂排水作为原水的中水系统因其具有原水水质好、处理容易和处理费用低的特点, 往往被优先采用[3], 本课题小组采用温度自动记录仪对北京市某星级宾馆的原水调节池水温做了长期跟踪测试, 通过对数据的分析可以得出原水调节池的水温在 33.82 ℃~ 28.71 ℃之间, 平均温度为 30.35 ℃, 原水的水温较高, 赋存热量大, 有利于作为热泵的低温热源.

原水热泵充分利用了原水中的热量, 减少了对

收稿日期: 2008- 11- 19
基金项目: 北京市教育委员会科技发展计划项目(KM200710016006).
作者简介: 纪格文(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 中水热泵热水换热器.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高位能源的消耗, 不仅节约了能源, 而且减少了环境污染和水资源的消耗. 用热泵回收原水中的热量虽然有很多优点, 但由于原水的特殊性, 容易造成热泵工作条件恶劣, 尤其是热泵中的换热器所处的工作条件更为恶劣. 当原水流经换热器时, 由于原水成分很复杂, 会造成换热器阻塞、腐蚀等现象. 由于这些现象的存在, 使得换热器的传热效率降低, 流体的流动阻力加大[4], 降低换热器的使用寿命, 有时甚至使换热器无法工作. 我国对污废水的热能回收及污水换热器研究比较晚, 哈尔滨工业大学的吴荣华对污水冷热源系统进行了探讨, 着重分析了淋水式、壳管式及浸泡式的优缺点, 并以实际工程为例介绍了壳管式换热器的设计参数和运行效果[5], 日本的 12 套污水源热泵系统均采用了壳管式换热器[6]. 山东建筑大学的曲云霞教授提出了采用中水的污水源热泵系统的水质标准及处理方法, 分析了各种污水换热器的特点及适用条件, 从经济性能、传热性能等方面综合分析, 建议采用 HDPE 管和 PE-X 管作为污水换热器管材[7]. 哈尔滨工业大学的姚杨教授对污水热泵中应用的淋激式换热器进行了详细的分析计算, 合理地设定了管列数、管径和管长[8]. 在已有的研究理论中对优质杂排水特别是宾馆原水的热回收利用研究的还比较少, 对原水换热器的选择、设计等问题研究不多. 在原水池中该采取什么系统形式, 采取什么材料及形式的换热器, 使其在原水中仍具有很好的传热性能, 这些问题是原水源热泵系统设计的难点, 也是本文研究的重点.

1　换热器的设计与选择

根据热泵机组换热器是否直接与原水接触, 原水源热泵系统可分为直接式原水源热泵系统和间接式原水源热泵系统. 直接式原水源热泵系统热泵机组内的换热器与原水直接接触, 虽然系统设备初投资低, 但机组换热器极易腐蚀和堵塞. 间接式污水源热泵系统通过原水换热器回收原水中的热量, 原水不进入热泵机组, 避免了原水对机组的腐蚀和堵塞, 虽然投资增加, 但系统设备运行可靠, 本文主要以间接式原水源热泵系统的原水换热器为研究对象.

本文选取了两种换热器作为实验对象, 一种是铜盘管换热器, 如图 1 所示, 沉浸于原水箱中, 水在换热盘管内循环流动, 与管外的原水进行换热, 铜管参数见表 1.

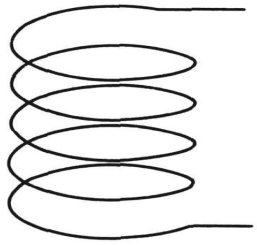

图 **1**　铜盘管换热器

表 **1**　铜盘管换热器参数

铜管内径/ mm	厚度/ mm	铜管长度/ m	导热系数 $W/(m\cdot k^{-1})$	截面积 / m^2	外表面积/ m^2
19	0. 8	11	398	0. 000 284	0. 7

原水水质复杂, 本课题小组对该星级宾馆的原水水样进行了检测, 水质指标如表 2 所示, 原水中的微生物是造成铜腐蚀的重要因素, 因为藻类和细菌最适宜的生长条件是温度 30 ℃~ 40 ℃, pH 5. 5~ 8. 9, 而水系统恰恰是在此条件下运行的. 藻类及其尸体助长了粘泥的产生, 粘泥污垢在设备上沉积, 在生物膜/ 金属界面上产生一个不同于本体溶液的特殊环境, 在这种特殊环境中各种微生物与金属进行着大量复杂的化学反应, 从而导致腐蚀. 还有水中溶解的 H_2S, 它能与铜作用生成黑色的 CuS, 加速了铜换热器的点蚀[9]. 由宾馆的用水特性所致, 原水池的水位不是固定不变的, 当宾馆用水量少时, 排水量减少, 原水池水位下降, 换热器的一部分就会暴露在空气中, 铜在潮湿的空气中极易被氧化产生铜绿, 同时大气中的氮化物、硫化物和粒子都能对铜换热器造成腐蚀[10].

表 **2**　某星级宾馆原水水质指标

pH	SS(mg/ L)	COD(mg/ L)	BOD5(mg/ L)	LAS(mg/ L)
7. 83	9	6	25	0. 79

由于原水及空气都会对换热器造成腐蚀, 换热器应使用耐腐蚀材料, 良好的选材能减少腐蚀的可能性和随之而来的换热器下降及其它运行问题, 因此本文又设计了一种翅片管式换热器, 上下共四层翅片管, 四层呈并联运行, 如图 2 所示, 对翅片管及翅片都做了镀塑处理, 在铜管和铝翅片表面镀了一层防腐材料, 可以很好地保护换热器在原水中不受腐蚀, 解决了原水换热器的腐蚀性问题, 但同时又带来了新的问题, 镀层的导热系数很低, 使得换热器的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

换热效果比未加镀层前要差. 翅片管换热器的参数见表3.

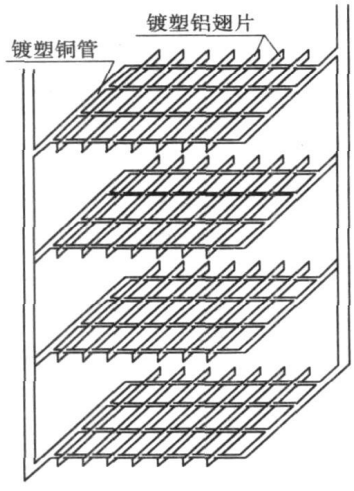

图2 翅片管换热器示意图

表3 翅片管换热器参数

铜管外径/mm	厚度/mm	每根铜管长度/m	每层翅片管根数	翅片间距/mm	翅片高度/mm
17	1	0.7	10	7	30

为了检验防腐翅片管换热器的换热性能, 本文搭建了小型热泵实验台对翅片管换热器的性能参数进行了试验测定, 并与铜盘管式换热器进行了对比.

2 换热器实验

2.1 试验装置

搭建热泵实验台对换热器性能进行测定, 实验装置如图3所示.

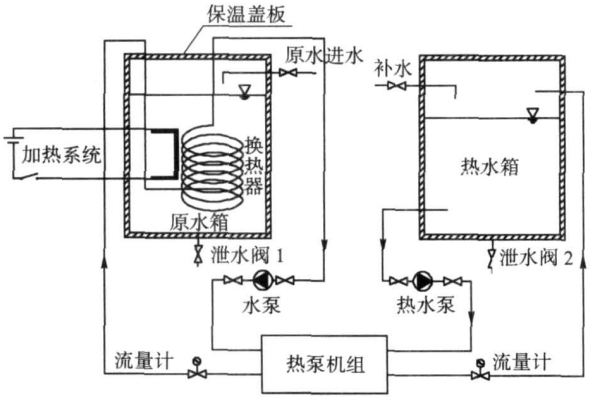

图3 实验装置示意图

主要实验设备与功能:

1) 热泵机组: 型号: SYRB1028, 名义制热量: 9 800 W, 输入功率: 2 300 W, 工作介质为R134a.

2) 循环管道泵: 型号: ZRS15-6, 转数分三档, 最大流量为40 L/min, 最大扬程为6 m, 最大转数为2 200 r/min.

3) 加热系统: 加热系统由感温探头、温控箱、加热器三部分组成, 在原水箱中安装四个不同功率的加热器来保持原水箱的水温.

4) 温度测量装置: 用来测量进出换热器的水温度, 温度测量采用铜-康铜热电偶, 同时用惠普公司的Agilent 34970A(HP34970A)数据采集仪进行采集并将信号传回电脑实时显示.

5) 转子流量计: 测量换热器中循环水的水流量, 测量范围5~35 LPM, 其精度为2.5级.

2.2 实验方法

分别在原水箱中安装铜盘管换热器和翅片管换热器来试验其性能, 开启加热系统使原水箱在热泵运行过程中始终保持在30.35 ℃左右, 热水箱温度由28 ℃逐渐升高, 当升高到50 ℃时停止运行, 每隔10秒由热电偶记录下各测试点的温度.

由于水处理工艺过程的需要, 很多宾馆的中水工程在原水池中装有曝气装置[11], 以增加氧气量. 因此在利用热泵从原水池中间接提取热量时, 根据实际情况考虑了曝气对换热器的影响. 实验中根据曝气量选取曝气泵向原水箱中鼓入空气来试验其对换热器的影响, 并与未加曝气情况下换热器的性能进行对比.

实际中水工程中原水池的水位是不断变化的, 原水池水位较低时, 换热器的一部分会露出水面暴露在空气中, 从而影响换热效果, 本文试验了换热器的一半露出水面时换热量的变化.

2.3 实验数据及处理

2.3.1 无曝气情况下各换热器数据分析

随着热水箱温度的不断升高, 热泵效能系数逐渐下降, 换热器换热量也逐渐下降, 各换热器换热量随时间的变化曲线如图4、图5所示. 铜盘管换热器的平均换热量为5.03 kW, 翅片管换热器的平均换热量为5.54 kW.

通过热电偶可测得原水箱及换热器进出口水温度, 根据公式 $K=\frac{Q}{A\cdot\Delta t}$ 可求得换热器的传热系数, 其中 Q 为换热器换热量, A 为换热面积, Δt 为平均温差. 经计算铜管换热器以外表积为基准的传热系

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

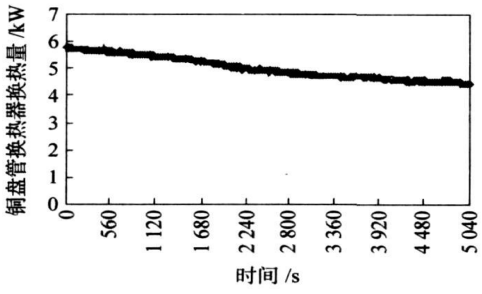

图 **4**　铜管换热器换热量变化曲线

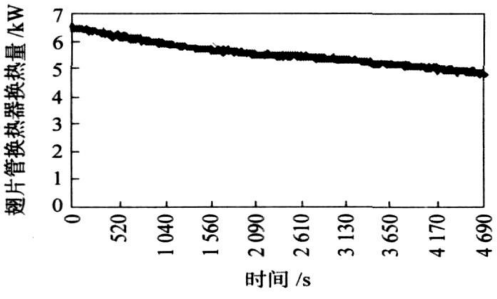

图 **5**　翅片管换热器换热量变化曲线

数为 467.4 *W*/(m^2•K), 翅片管换热器以光管外表面积为基准的传热系数为 438.7 W/(m^2•K).

铜盘管的外表积为 0.7 m^2, 翅片管的外表面积为 11 m^2, 由于换热面积较大, 翅片管换热量比铜盘管换热量增加了 10.1%, 但传热系数比铜盘管换热器要低 6.1%, 这是因为翅片管换热器的翅片管和铝翅片表面增加了镀塑层, 而镀塑层的导热系数又很低, 使得原本导热系数很高的铜管和铝翅片的导热性能下降, 从而影响了翅片管换热器的传热性能.

2.3.2　有曝气情况下各换热器数据分析

在原水箱中加入曝气试验其对换热器性能的影响, 各换热器的换热量随时间变化曲线如图 6、图 7 所示. 在有曝气情况下铜盘管换热器的平均换热量为 5.55 kW, 翅片管换热器的平均换热量为 6.38 kW.

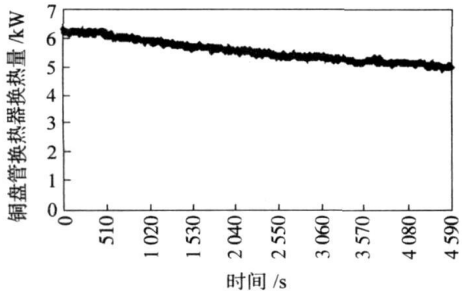

图 **6**　铜管换热器换热量变化曲线

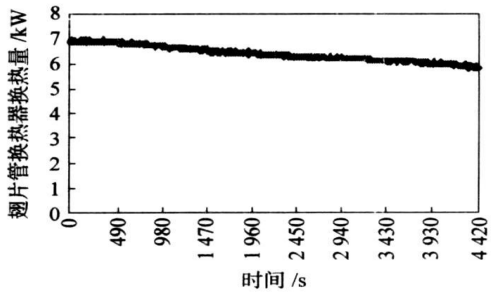

图 **7**　翅片管换热器换热量变化曲线

经计算在有曝气情况下铜管换热器以外表积为基准的传热系数为 730.9 W/(m^2•K), 翅片管换热器以光管外表面积为基准的传热系数为 634.9 W/(m^2•K).

加入曝气后换热器的换热效果明显增强, 铜管换热器和翅片管换热器的换热量分别比无曝气情况下增加了 10.3% 和 15.1%, 传热系数分别增加了 56.4% 和 44.7%.

2.3.3　原水箱水位变化对换热器的影响

在中水处理工程中原水池的水位是不定的, 经常会出现水位比较低的情况, 此时换热器的一部分会暴露在空气中, 影响换热器的换热效果和热泵的正常运行. 图 8、图 9 是两种换热器在有曝气情况下露出一半时换热量的变化, 其它实验条件与完全浸

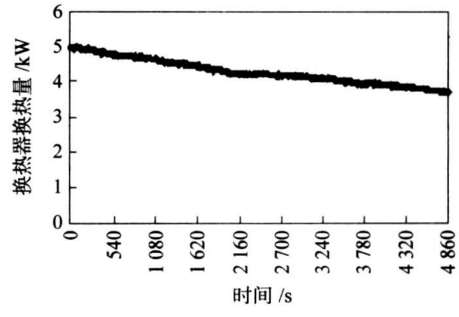

图 **8**　有曝气铜盘管换热器换热量变化

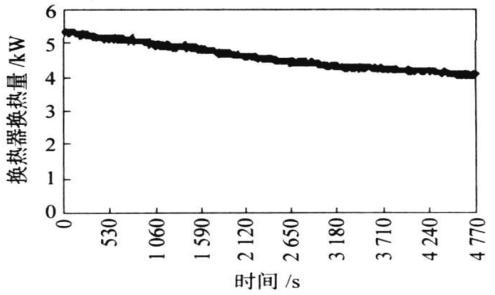

图 **9**　有曝气翅片管换热器换热量变化

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

没时相同.

由上图可得,水位降至换热器的一半时,平均换热量显著降低,变化情况见表4.

表4 换热器换热量对比表 kW

铜盘管完全浸没时平均换热量	5.55
铜盘管一半浸没时平均换热量	4.27
平均换热量减少百分比/%	23.1
翅片管完全浸没时平均换热量	6.38
翅片管一半浸没时平均换热量	4.61
平均换热量减少百分比/%	27.7

水位下降至换热器一半时,换热面积减少一半,冷冻水在换热器里的温升会减少,换热器内冷冻水平均温度降低,原水与冷冻水平均温差升高,导致两种换热器的换热量分别下降了23.1%和27.7%.在水位下降时如何增加换热面积成为解决此问题的关键,因此本文设想对防腐翅片管作出改进,在满足换热量的基础上再多加几层翅片管,同时加装液位控制阀,当液位较低时,上面几层关闭,而下面多加的几层开启,保证换热面积基本不变. 以本实验的翅片管换热器为例,在原来的基础上再多加两层翅片管,正常运行时,第1、2层的液位控制阀打开,第3、5层控制阀关闭,此时第1、2、4、6层翅片管并联运行,当水位降低至换热器一半时,第1、2层的液位控制阀自动关闭,第3、5层控制阀自动打开,保证换热器的换热面积以维持热泵的正常运行.

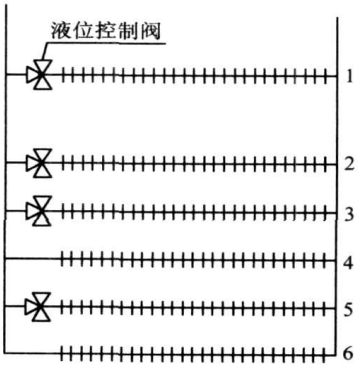

图10 翅片管换热器改进示意图

3 结论

1) 翅片管换热器镀塑后,防腐能力增强,比普通换热器更适合在原水中长时间运行. 加翅片后换热面积增加,换热量比铜盘管增加10.1%,但防腐镀层的导热系数较低,使得翅片管的传热性能变差,传热系数比铜盘管降低6.1%.

2) 原水池中的曝气处理工艺增强了换热器的换热性能,曝气使原水产生扰动,换热器与原水的换热方式由自然对流变为强制对流,铜管换热器和翅片管换热器的换热量分别比无曝气情况下增加了10.3%和15.1%,传热系数分别增加了56.4%和44.7%.

3) 针对水位下降换热器换热效果下降的问题,本文设想对防腐翅片管换热器作了改进,在原来的基础上再多加几层翅片管,并加装液位控制阀,当液位变低时,上层翅片管关闭,下层翅片管打开,使换热器与原水的换热面积维持基本不变,保证换热器的换热量.

参考文献:

[1] http://www.beijing.gov.cn/ggfw/lyz/lyxx/t714612.htm.

[2] 杨晖,邹文智,吴其伟.北京市某星级宾馆采用热泵回收中水热量的经济性分析[J].建筑科学,2008,24(4):15

[3] 王增长,曾雪华.建筑给水排水工程(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1998

[4] Hks H T, Svik RΦ. Heat pump for district heating using untreated sewage[A]. X VI the International Congress of Refrigeration[C]. Atlanta:[s.n.],1983

[5] 吴荣华,张承虎,刘志斌,等.城市原水污水冷热源系统形式及其应用[J].哈尔滨工业大学学报,2006,38(5):721-722

[6] ASANO T, MAEDA M. Waste water reclamation and reuse in Japan overview and implementation examples [J]. Wat Sci Tech,1996,34(11):219-226

[7] 曲云霞,李梅,杨勇,等.污水源热泵系统污水水质与换热器材质的选择[J].可再生能源,2007,25(4):72-75

[8] 姚杨,宋艳,那威.污水源热泵系统中多级淋激式换热器的设计与分析[J].暖通空调,2007,37(3):63-67

[9] 杨东升.循环冷却水对铜质换热器的腐蚀与对策[J].山西化工,2003,23(3):51

[10] 杨敏,王振尧.铜的大气腐蚀研究[J].装备环境工程,2006,3(4):38-39

[11] 北京市城市节约用水办公室.中水工程实例及评析[M].北京:中国建筑工业出版社,2003

[责任编辑:王克黎]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net