

煤矿电厂辅机冷却水废热回收利用试验研究

牛永胜¹, 王建学²

(1. 华北科技学院, 北京 101601; 2. 北京矿大节能科技有限公司, 北京 100083)

摘要: 为解决煤矿用热需求不断增大而电厂能量转化过程中热利用率较低这一矛盾, 采用搭建的专门热泵试验检测平台进行电厂辅机冷却水余热回收运行模拟试验研究。通过试验掌握了电厂辅机冷却水水量、水温及蕴含的能量等参数, 测试了电厂辅机冷却水废热回收的运行工况, 为电厂辅机冷却水废热回收的工业应用提供了理论基础。研究表明: 模拟运行末端室内温度达 33 ~ 35 ℃, 洗浴热水温度达 45 ~ 50 ℃, 热风出风口温度 50 ~ 55 ℃, 能够满足煤矿洗浴热水以及建筑冬季采暖等用热温度需求。

关键词: 电厂辅机; 冷却水; 热泵; 废热回收利用; 煤矿

中图分类号: TM621; X706 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2012)09-0125-04

Study on Waste Heat Recovery and Utilization Experiment of Cooling Water from Auxiliaries in Coal Mine Electric Power Plant

NIU Yong-sheng¹, WANG Jian-xue²

(1. North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China;

2. CUMT Energy - Conservation Technology Company Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve to the contradiction between the thermal requirements increased continuously in coal mine and the low thermal utilization of the energy conversion process in the power generation plant, a special heat pump experiment measuring platform was established to the study on the simulation experiment of waste heat recovery operation from the cooling water of the auxiliaries in the power generation plant. With the experiments, the cooling water quantity, water temperature, potential energy and other parameters of the auxiliaries in the power generation plant were mastered, the operation performances of the cooling water heat recovery of the auxiliaries in the power generation plant were measured and those provided the accurate theoretical basis to the industrial application of the cooling water heat recovery of the auxiliaries in the power generation plant. The study showed that the indoor temperature at the operation end of the simulation reached at 33 ~ 35 ℃, the bath water temperature reached at 45 ~ 50 ℃ and the temperature at the heat ventilation outlet reached at 50 ~ 55 ℃. All those could meet the mine bath hot water, the heating supply of the buildings in winter and other heating requirements.

Key words: auxiliaries of electric power plant; cooling water; thermal pump; waste heat recovery and utilization; coal mine

近年来, 依托煤矿资源的坑口电厂发展迅速。一方面, 煤矿冬季建筑采暖、井筒防冻及洗浴热水需要大量热能; 另一方面, 煤矿电厂在能量转换过程中存在着各种热损失, 这些热量被冷却介质携带, 通过冷却塔散失到空气中^[1-2]。如果能将这部分热能回收利用, 完全可以取代煤矿现有的供热形式, 满足煤矿用热需求。这样, 在不影响电厂正常运行、不增加电厂容量及污染物排放的情况下, 煤

矿电厂在满足煤矿电力需求的同时能够承担一定的供热任务。对于一些采用空冷机组的发电厂, 汽轮机排气采用直接空冷系统从而节省循环冷却水的消耗, 辅机冷却系统并不适用^[3]。辅机冷却水多采用循环水, 经过需冷却的电厂辅助设备后, 回至冷却塔冷却降温后循环使用, 这部分热量经过冷却塔散失^[4]。由此可见, 电厂辅机冷却水蕴含热量大, 回收利用价值高^[5], 以山西大同塔山电厂为例,

收稿日期: 2012-04-11; 责任编辑: 张 扬

作者简介: 牛永胜 (1973—), 男, 内蒙古武川人, 博士研究生。Tel: 137200976921, E-mail: nnyss8888@sina.com

网络出版时间: 2012-09-17 10:33:18; 网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.125_032.html

引用格式: 牛永胜, 王建学. 煤矿电厂辅机冷却水废热回收利用试验研究 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (9): 125-128.

电厂辅机冷却水量最小为 $6\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ，出水温度 $25\sim 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，是非常理想的低温热源，可采用压缩式热泵机组将这一低温热能转化成供热、洗浴的高温热源。按 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温差回收这部分热量，就可供 50 m^2 的建筑采暖，节能减排效果明显。

1 试验背景及目的

塔山电厂区域供热需求巨大，塔山电厂现在不仅负责本厂区 14 万 m^2 建筑采暖，也同时负责 8 万 m^2 工业园区建筑采暖，由于塔山电厂采用纯凝汽机组，无法实现大量抽汽供热^[6]，当前不得不使用电厂的启动锅炉供热，未来工业园区新增建筑较多，供热需求压力巨大，因此考虑利用热泵技术回收塔山电厂辅机循环水热源，用于解决电厂现有供热的难题，更为工业园区提供了新的供热热源。

但目前回收电厂凝气冷却水的工程案例较多^[7-9]，对于回收电厂辅机冷却水的应用研究还没有先例。因此，有必要通过搭建专门的试验测试平台，进行电厂辅机冷却水源热泵系统模拟运行试验，探讨电厂辅机冷却水余热回收利用的可行性，解决实际应用中可能出现的问题，预测节能经济效益及确定经济性指标，为电厂辅机冷却水废热利用的工业化应用提供理论基础。

1) 测量电厂辅机冷却水运行水量、水温，掌握电厂冷却水运行变化规律，为热能利用技术的开发提供基础条件。

2) 结合系统试验，进行相应的理论研究，计算电厂冷却水冬季最冷时可提取的热能，计算提取热能的最佳工况，计算热泵系统循环水量。

3) 通过电厂辅机冷却水源热泵系统模拟运行试验，观测热泵系统制热出水温度，分析确定电厂辅机冷却水废热利用的可行性。

4) 根据电厂辅机冷却水源热泵系统模拟运行试验结果，监测末端可达到的效果。

5) 研究电厂辅机冷却水与热泵系统结合的方式，确定提取废热后冷却水的温度是否适合电厂辅机冷却。

2 试验系统

搭建试验平台，对电厂辅机冷却水源热泵系统进行模拟运行试验，需测量的基本参数有：电厂辅机冷却水流量；冷却塔进、出水温度；热泵机组进

出水温度；热泵机组冷、热水循环流量；末端室内温度，洗浴热水温度，热风出风口温度。由于试验条件限制，不易测量冷却塔进、出水温，现采用测量冷却塔上水管温度和水池水温度来近似替代。根据各组关于热泵机组冷热水循环流量、进出水温等试验参数，对照各参数下末端设备达到的效果，测定提取热能的最佳工况。

1) 试验平台。在冷却塔附近搭建 10 m^2 的试验平台，作为热泵机房及末端。电厂辅机冷却水源热泵系统的试验测试平台如图 1 所示。在冷却塔水管上焊接取水口，取用进冷却塔之前的辅机循环冷却水，辅机冷却水进入热泵机组，经热泵机组取热后回到冷却塔底水池。

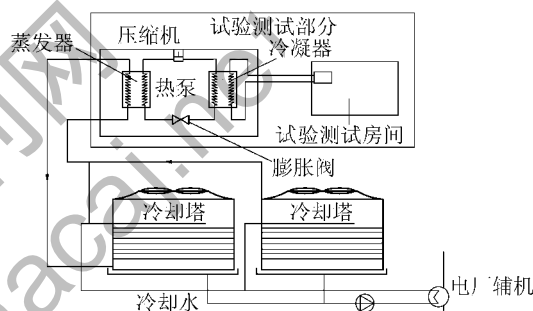


图 1 试验测试平台

热泵系统如图 2 所示，利用电厂辅机循环冷却水作为热泵热源，热泵机组将提取的电厂辅机冷却水热量提供给室内采暖、洗浴设备等用户设备，进行热水测试和采暖测试。

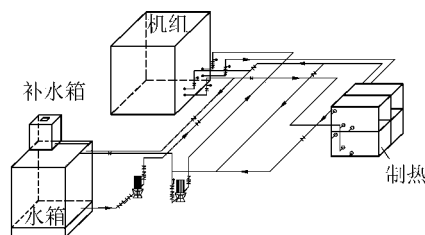


图 2 热泵系统

2) 测试要求。为了试验结果的精确，要求做到每天测量至少 6 次，每次数据记录时间间隔为 10 min ，测量不少于 3 d 。在 3 个冷却塔的上水管管路上焊接 3 个取水口，试验时测量各管路取水口温度及冷却水流量。室外环境温度在 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

3 试验结果及分析

3.1 电厂辅机冷却水流量

水管 1、2、3 所测水量之和为电厂辅机冷却水

总流量。3 d 所得电厂辅机冷却水流量实测值变化曲线如图 3 所示。由图 3 可知, 考虑到一定的试验误差, 剔除第 1 天测量值中 $6\,779\text{ m}^3/\text{h}$ 与第 3 天中的 $6\,678\text{ m}^3/\text{h}$, 并求平均值可知: 电厂辅机冷却水流量为 $6\,710.8\text{ m}^3/\text{h}$ 。

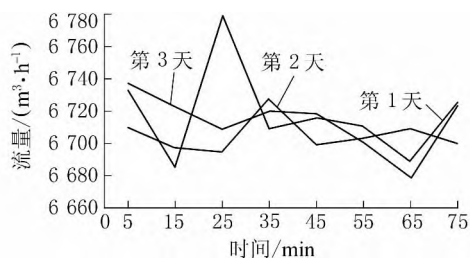


图3 电厂辅机冷却水流量实测值变化曲线

3.2 冷却塔进出水温度

试验所得冷却塔进、出水温度变化曲线(冷却塔上水管和水池水温度近似代替)如图4所示。

第1、2、3天所得平均温差分别为 3.6°C 、 3.5°C 、 3.6°C , 且第1天与第3天所测数据方差值相等,

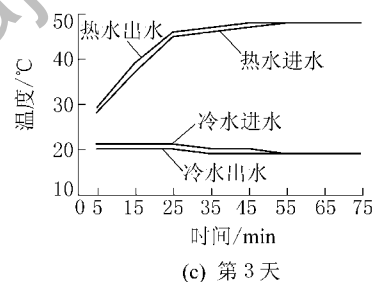
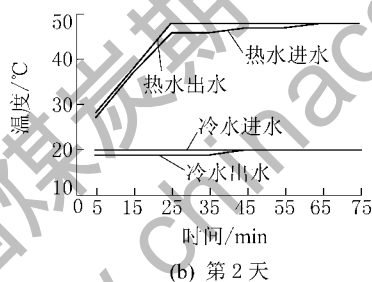
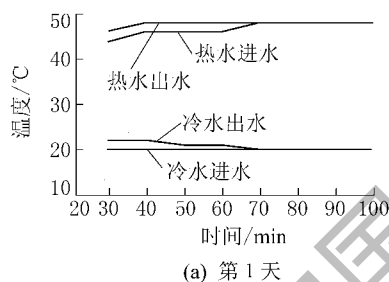


图5 第1—3天热泵机组进、出水温度变化曲线

第1天热泵机组稳定运行 30 min 后测量数据, 由图5a可知, 开机运行 30 min 后热水进、出水温度趋于稳定, 变化波动不大。图5b、图5c为第2天、第3天开机运行 5 min 之后的冷热水温度波动曲线, 在前3个测量点, 即开机运行 25 min 以内, 机组冷热水温度变化比较大, 25 min 以后机组冷热水温度变化趋于稳定, 与第1天开机运行 30 min 后的温度变化趋势一致。并且从图5中可以看出, 运用热泵技术提取电厂辅机冷却水可以在较短的时间内将水加热到 $45\sim 50^\circ\text{C}$ 。

3.4 热泵机组冷热水循环流量

试验所得热泵机组冷热水循环流量变化曲线如图6所示。考虑一定的测量误差、设备误差等, 根据热泵机组冷、热水循环流量变化曲线(图6), 可以看出热水流量变化不大, 冷水流量的变化最后都趋于稳定值, 因此可以近似认为热泵机组热水流

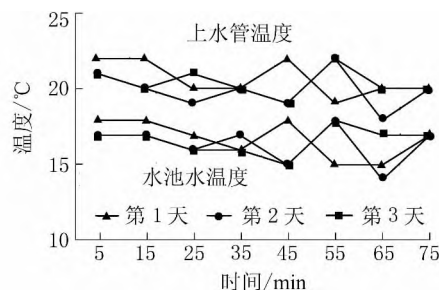


图4 冷却塔进、出水温度变化曲线

考虑一定的测量误差、仪器本身的误差、方法误差等, 加之试验时室外环境温度尚未达到冬季最冷时, 因此, 现认为冷却塔可提取的最大进、出水温度差为 3.6°C 。运行稳定后, 冷却塔上水管温度趋于 21°C 以上, 冷却塔底部水池水温度趋于 16°C 以上。

3.3 热泵机组进、出水温度

试验所得第1—3天热泵机组进、出水温度变化曲线如图5所示。

量为 $14.5\text{ m}^3/\text{h}$, 冷水流量为 $15.1\text{ m}^3/\text{h}$ 。

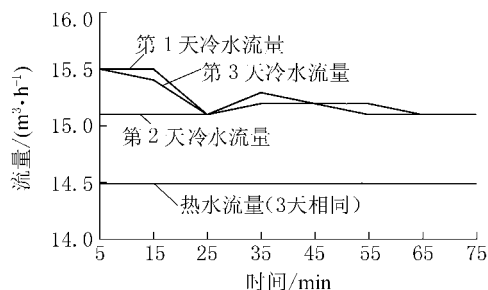


图6 热泵机组冷、热水循环流量变化曲线

3.5 试验效果

试验所得室内温度变化曲线如图7所示。

由室内温度变化曲线可以看出, 机组刚开始运行 30 min 以内室内温度会逐渐升温, 30 min 以后逐渐趋于一个稳定值, 试验(冬季运行工况)所得室内最终温度逐渐趋于 $33\sim 35^\circ\text{C}$ 。

试验所得洗浴热水温度变化曲线如图8所示。

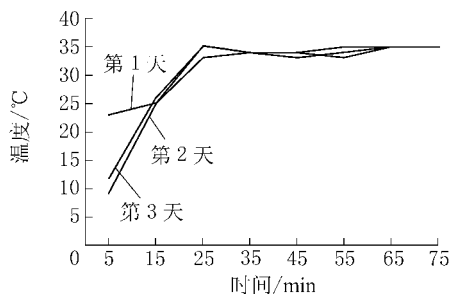


图7 室内温度变化曲线

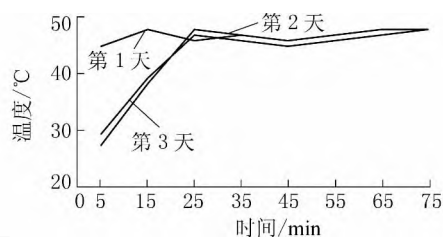


图8 洗浴热水温度变化曲线

由洗浴热水温度变化曲线可以看出,机组刚开始运行30 min以内洗浴热水温度会逐渐升温,30 min以后逐渐趋于一个稳定值,试验所得洗浴热水最终温度逐渐趋于45~50℃,能够很好地满足洗浴热水的温度。试验所得热风出风口温度变化曲线如图9所示。

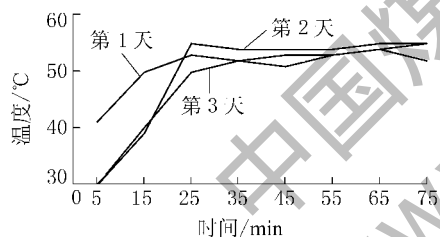


图9 热风出风口温度变化曲线

由热风出风口温度变化曲线可以看出,机组刚开始运行30 min以内热风出风口温度会逐渐升温,30 min以后逐渐趋于一个稳定值,试验所得热风出风口最终温度逐渐趋于50~55℃。

4 经济效益分析

以塔山电厂为例,拟采用热泵技术回收电厂辅机冷却水中蕴含的低温热源提供5万m²建筑物冬季供暖的热能。以建筑面积热指标70 W/m²计算,热负荷为3500 kW。年采暖周期120 d,采用热泵系统全年运行费用:热泵运行电费87.6万元,运行人员工资8万元,运行维修费用1万元,共计96.6万元。传统锅炉采暖运行费用如下:燃煤费用294万元,电费19.4万元,设备维修维护费10

万元,水处理费8万元,排污费4.6万元,人员工资80万元,共计416万元。由此可得,相比传统锅炉供暖,采用热泵技术每年可节省运行费用319.4万元,节能效果显著。

5 结 论

1) 塔山电厂辅机冷却塔进出水温差为3~4℃,循环水量为6700 m³/h。按热泵机组能效比4.5计算,电厂辅机冷却水全部回收利用冬季最冷时可提取的热能满足38万m²以上的建筑供暖。

2) 利用热泵技术提取电厂辅机冷却水废热后,冷却塔上水管温度趋于21℃,冷却塔底部水池水温度趋于16℃,电厂辅机冷却水提取废热后的温度适合电厂辅机冷却,并能有效地减少电厂辅机冷却水的水泵循环功率和冷却水蒸发损失。

3) 利用热泵技术回收电厂辅机冷却水的废热可以使末端室内温度达到33~35℃,洗浴热水温度达到45~50℃,热风出风口达到50~55℃,能很好地满足洗浴热水和末端采暖的温度需求。

4) 利用热泵技术回收电厂辅机冷却水的废热,使电厂辅机冷却水废热得到回收利用,可以满足塔山工业区全部建筑采暖热源要求和洗浴热水需求,大规模的工业应用是可行的,这一技术可以被大规模推广利用。

参考文献:

- [1] 张 然. 中国2020年单位GDP碳排放比2005年下降40%~45% [EB/OL]. [2009-11-26]. <http://www.eeo.com.cn>.
- [2] 郭小丹,胡三高,杨 昆,等. 热泵回收电厂循环水余热利用问题研究 [J]. 现代电力,2010,27(2): 58-61.
- [3] 李 海. 空冷电站辅机冷却水冷却方式的探讨 [J]. 电力勘测设计,2006(2): 36-38.
- [4] 师 彤. 电厂辅助冷却水系统的比较和分析 [J]. 科技情报开发与经济,2007,36(17): 283-285.
- [5] 李 博,王 威,刘 刚. 空冷机组辅机水冷却系统优化探讨 [J]. 黑龙江电力,2010,32(1): 28-30.
- [6] 李代智,周克毅,徐啸虎,等. 600MW火电机组抽汽供热的热经济性分析 [J]. 汽轮机技术,2008,50(4): 282-284.
- [7] 杨 俊. 电厂循环水余热回收供暖节能分析与改造技术 [J]. 节能,2011(1): 33-36.
- [8] 吴佐莲,刘小春,王 萌,等. 利用热泵技术回收热电厂余热的可行性与经济性分析 [J]. 山东农业大学学报: 自然科学版,2008,39(1): 62-68.
- [9] 王宝玉,周崇波. 热泵技术回收火电厂循环水余热的研究 [J]. 现代电力,2011,28(4): 73-77.