

水源热泵空调系统在火电厂的应用

中南电力设计院 卢柏春[☆] 王明国 谢网度

摘要 针对凝汽器冷却水余热的特点,某电厂空调系统采用水源热泵。详细介绍了该空调系统的供水方案和设备配置,并与常规的空调系统方案进行了初投资和运行费用的比较,结果表明,该水源热泵空调方案初投资降低,运行费用减少。测试结果表明空调系统能满足供冷供热的需求。

关键词 水源热泵 凝汽器 冷却水 节能

Application of water-source heat pump air conditioning system to thermal power plants

By Lu Baichun[★], Wang Mingguo and Xie Wangdu

Abstract In view of the characteristics of waste heat from cooling water of condensing turbines, a thermal power plant applies the water-source heat pump units. Presents the water supply scheme and equipment configuration in detail, and compares the initial investment and operation costs with those of conventional air conditioning system, and the results show that the water-source heat pump air conditioning system can save both initial investment and operation costs in this project. Testing result shows that the desired heating and cooling effect can be achieved.

Keywords water-source heat pump, condensing turbine, cooling water, energy saving

★ Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan, China

①

0 引言

在火力发电厂中,冬季汽轮机凝汽器冷却水属于低品位的热源,一般情况下,不经利用就被直接排放或通过冷却塔排放了。

水源热泵系统利用凝汽器冷却水废热,将低品位热能转化为高品位的可以使用的热能,供给电厂建筑实现冬季供暖,从而达到节能环保的目的。

1 凝汽器冷却水废热利用价值分析

假设夏季运行时,水源热泵机组中蒸发器的进、出水温度分别为 $t_{11} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{12} = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$,低温热源温度取进出水温度的平均值, $t = 9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,蒸发器内制冷剂和载冷剂之间的平均温差取 $\Delta t'_m = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$;冷凝器中以凝汽器冷却水源作为载冷剂,冷却水进入冷凝器进行换热,出冷凝器后其温度上升 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷凝器内制冷剂和冷却水之间的平均传热温差取 $\Delta t_m = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。忽略水质、输送过程中的损耗、压缩机的磨损、制冷剂的种类、流速和泄漏等不利条件、换热器的污染等因素的影响,计算将汽轮机凝汽器冷却水作为夏季低温热源时,热泵能达到的性能系数

及其热力完善度,结果见表1。

假设冬季运行时,水源热泵机组中冷凝器的进、出水温度分别为 $t'_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t'_{w2} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,高温热源温度取进出水温度的平均值, $t = 47.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷凝器内制冷剂和冷却水之间的平均传热温差取 $\Delta t_m = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;蒸发器中以汽轮机凝汽器冷却水作为载冷剂,冷却水进入蒸发器进行换热,出蒸发器后其温度下降 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,蒸发器内制冷剂和载冷剂之间的平均温差取 $\Delta t'_m = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。忽略水质、输送过程中的损耗、压缩机的磨损、制冷剂的种类、流速和泄漏等不利条件、换热器的污染等因素的影响,计算将汽轮机凝汽器冷却水作为冬季低温热源时,热泵能达到的性能系数及其热力完善度,结果见表2。

①[☆] 卢柏春,男,1967年3月生,教授级高级工程师
430071 武汉市武昌民生路668号中南电力设计院
(027) 68716830
E-mail: lubaichun@csepedi.com
收稿日期:2011-11-16

表1 夏季运行制冷工况的利用性能数据

平均水温/℃	实际冷凝温度/℃	制冷系数(逆卡诺循环) ϵ	制冷系数(有传热温差) ϵ'	逆卡诺循环 COP	有传热温差 COP'	热力完善度
28.5	37.34	13.140	8.081	14.140	9.081	0.642
29.5	38.34	12.556	7.851	13.556	8.851	0.653
30.5	39.34	12.021	7.634	13.021	8.634	0.663
31.5	40.34	11.531	7.429	12.531	8.429	0.673
32.5	41.34	11.078	7.234	12.078	8.234	0.682
33.5	42.34	10.660	7.050	11.660	8.050	0.690

注:测试时间为2010年8月10日;测试地点为湖南涟源;当日室外气温为32.5℃;实际蒸发温度为3.16℃。

表2 冬季运行制热工况的利用性能数据

平均水温/℃	实际蒸发温度/℃	制冷系数(逆卡诺循环) ϵ	制冷系数(有传热温差) ϵ'	逆卡诺循环 COP	有传热温差 COP'	热力完善度
23.5	14.66	11.094	7.522	12.094	8.522	0.705
24.5	15.66	11.569	7.751	12.569	8.751	0.696
25.5	16.66	12.082	7.993	13.082	8.993	0.687
26.5	17.66	12.638	8.245	13.638	9.248	0.678
27.5	18.66	13.244	8.518	14.244	9.518	0.668
28.5	19.66	13.907	8.804	14.907	9.804	0.658

注:测试时间为2011年2月22日;测试地点为湖南涟源;当日室外气温为18℃;实际冷凝温度为52.90℃。

表1,2是在理想状态下通过理论计算得到的数值,在实际循环中,其制热系数及制冷系数不仅与两热源温度有关,同时也与制冷工质循环中的过热度、过冷度、制冷工质的种类等有关。

低温热源温度对性能系数的影响大于高温热源温度对性能系数的影响,采用较高温度的低温热源有利于提高热泵机组的性能系数。电厂凝汽器冷却水的温度范围为23.5~28.5℃,是水源热泵空调系统良好的冷热源,具有较高的利用价值。

2 水源热泵系统在电厂中的应用实例分析

2.1 工程概况

华润电力涟源坑口电厂工程位于湖南省娄底地区涟源市渡头塘乡,西距涟源市区约30 km,东距娄底市约10 km,处于华中电网。本期安装2台300 MW 燃煤机组,燃料主要为涟源市无烟煤,电厂留有再扩建的条件。该工程由华润电力控股有限公司全额投资建设,于2007年6月18日开工建设,2008年7月18日1#机组投产,同年10月18日2#机组投产。暖通空调系统于2008年9月投入使用。

2.2 水源热泵空调系统设计

2.2.1 水源热泵空调系统服务范围

主厂房、化水/检修/材料综合楼、生产办公楼、综合服务楼设置水源热泵机组维持冬夏季室内所需的温湿度^[2-3]。

2.2.2 冷热负荷分布(见表3)

2.2.3 水源热泵空调系统的供水方案

对于水源热泵空调系统而言,水源的稳定及可

表3 建筑物和房间冷热负荷

房间名称	空调面积/ m ²	夏季冷负荷/ kW	冬季热负荷/ kW
主厂房			
配电室、化水控制室等	2 009.5	488.8	42.2
电子设备间、集控室	1 000.0	351.0	85.0
小计	3 009.5	839.8	127.2
化水/检修/材料综合楼			
办公室等	920.0	110.0	74.0
实验室、化验室等	1 080.0	130.0	86.0
小计	2 000.0	240.0	150.0
生产办公楼			
办公室、会议室等	3 710.0	445.0	295.0
综合服务楼			
宿舍等	2 280.0	273.6	185.0
餐厅包间等	1 850.0	370.0	150.0
小计	4 130.0	643.6	335.0
总计	12 849.5	2 168.4	907.2

靠是保证系统高效运行的前提,因此全厂水源热泵空调系统设置了一个集中的水泵房向各房间的空调设备供水,根据建筑物的分布、负荷大小、使用功能及冷却水的温度状况,取水及水泵配置方案如下:在夏季,空调水泵从汽轮机凝汽器的冷却水供水母管取水(水温28~35℃),然后将冷却水分别送至主厂房区域及厂前区集中制冷站各水源热泵空调机组,经水源热泵机组升温后的冷却水排至冷却塔底部水池。在冬季,空调水泵从汽轮机凝汽器的冷却水排水母管取水(水温18~23℃),然后将热水分别送至主厂房区域及厂前区集中制冷站各水源热泵空调机组,经水源热泵机组降温后的热水排至冷却塔底部水池。

表4,5给出了主厂房和厂前区空调水系统的各项参数。

表4 主厂房空调水系统

	取水点	回水点	水泵参数	用水设备
夏季工况	汽轮机凝汽器冷却水供水母管(水温 28~35 ℃)	冷却塔底部水池	流量 250 t/h,扬程 45 m,电动机功率 55 kW,2台,一用一备	1) 分体式水源热泵空调机组 2) 水源热泵屋顶式空调机组
冬季工况	汽轮机凝汽器冷却水排水母管(水温 18~23 ℃)	冷却塔底部水池	流量 150 t/h,扬程 44 m,电动机功率 30 kW,2台,一用一备	1) 分体式水源热泵空调机组 2) 水源热泵屋顶式空调机组

表5 厂前区空调水系统

	取水点	回水点	水泵参数	用水设备
夏季工况	汽轮机凝汽器冷却水供水母管(水温 28~35 ℃)	冷却塔底部水池	流量 250 t/h,扬程 39 m,电动机功率 45 kW,3台,两用一备	螺杆式水源热泵冷(热)水机组
冬季工况	汽轮机凝汽器冷却水排水母管(水温 18~23 ℃)	冷却塔底部水池	流量 100 t/h,扬程 40 m,电动机功率 22 kW,2台	螺杆式水源热泵冷(热)水机组

水泵的取水及运行方式如下:

正常运行时,主厂房空调水泵及厂前区空调水泵均有一台投入运行,由于两台汽轮机的冷却水管完全独立,所以,夏季空调水泵将从两台汽轮机的冷却水供水母管上取水,冬季将从汽轮机的冷却水回水母管上取水,取水管上均设有手动蝶阀,如电厂1#机或2#机停运,则通过阀门控制水泵的取水点。电厂1#机及2#机停运时,为了维持电厂主厂房区域内的电子设备间及控制室的室内温湿度环境,空调系统的供水由冷却塔流道清污泵提供。

2.2.4 水源热泵空调系统的设备配置方案

1) 主厂房空调系统

汽轮机房及集控楼内需设降温通风的 6 kV 配电间、380 V/220 V 配电室、直流及 UPS 配电室、电气继电器室、汽水取样仪表盘间、汽水化验站、凝结水处理控制室等设有分体式水源热泵空调机组用于夏季及冬季空调。

集控楼内的集中控制室及电子设备间采用水源热泵屋顶式空调机组用于夏季及冬季空调。主厂房空调系统详见图 1。

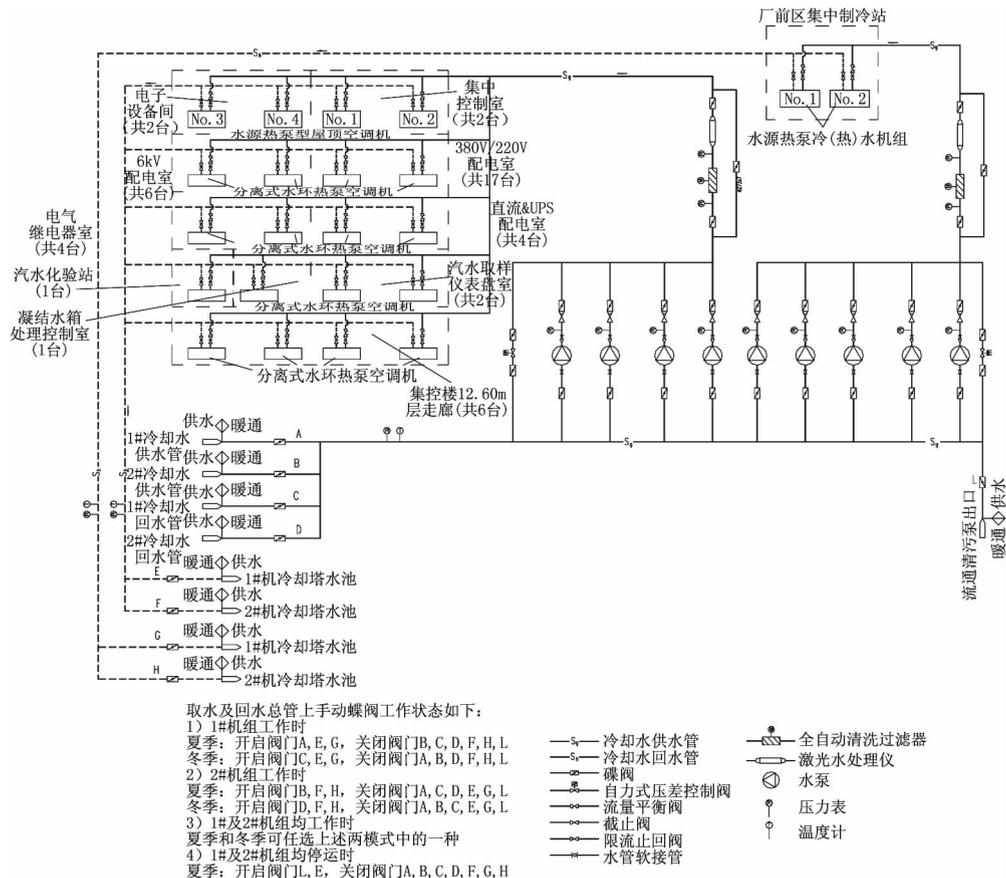


图1 主厂房水源热泵空调系统供水流程图

2) 厂前区空调系统

厂前区生产办公楼、综合服务楼、化水/检修/材料综合楼空调系统设置一集中制冷站,制冷站内

布置 2 台螺杆式水源热泵冷(热)水机组为上述建筑物空调系统提供冷水或热水,空调末端设备采用风机盘管。厂前区空调系统详见图 2。

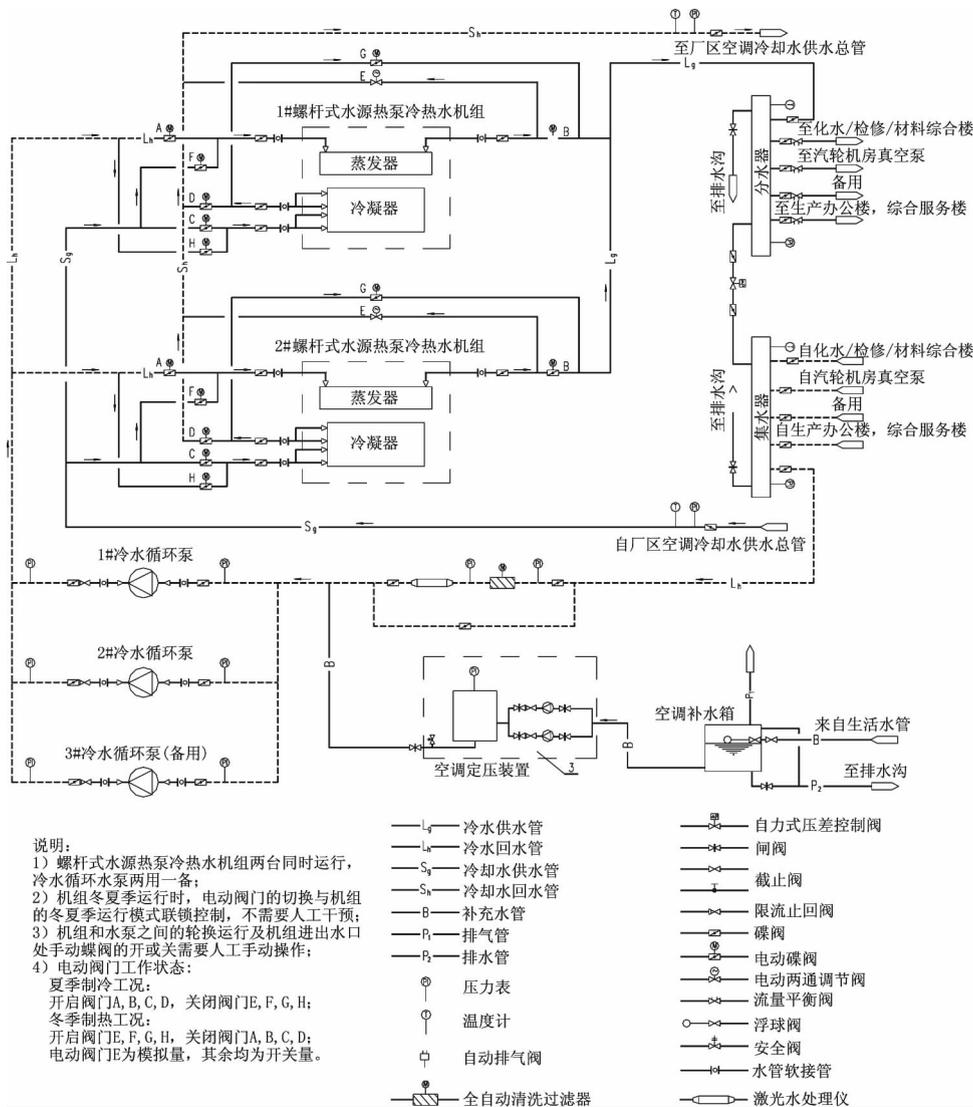


图 2 厂前区空调制冷系统流程图

2.3 水源热泵空调系统与常规空调系统方案比较

2.3.1 设备初投资

1) 水源热泵空调机组空调设备及价格见表 6。

表 6 水源热泵空调机组方案设备及价格

服务区域	主要设备	总价/万元
主厂房区域	分体式水源热泵空调机组	132.20
集控楼区域	水源热泵屋顶式空调机组	204.80
厂前区	风机盘管机组	89.91
厂前区制冷站	螺杆式冷水机组	104.00
水泵房	冷却水泵、冷水泵及土建费用	50.70
总计		581.61

2) 采用螺杆式冷水机组常规方案时,全厂夏季需要设置制冷机房,制冷机房制备 7℃冷水通过

管网送至各空调房间的末端设备,主厂房内的汽轮机电子设备间、锅炉电子设备间及控制室,空调末端设备采用组合式空调机组,主厂房其他房间如 400 V 配电室、6 kV 配电室、直流及 UPS 配电室、取样仪表盘间等采用柜式空调机组;化水车间、除尘配电间、生产行政办公楼、综合服务楼及检修间及材料库等建筑物空调末端设备采用风机盘管。

在冬季,有人长期工作和值班的房间需要供暖,为此需要设置供暖加热站,汽水换热器制备 55℃的热水,通过管网送至各空调房间的末端设备,向各房间供暖。

螺杆式冷水机组方案的设备及价格见表7。

表7 螺杆式冷水机组方案设备及价格

主要设备	参数	总价/万元
制冷机房设备		
螺杆式冷水机组	制冷量 1 800 kW	126.00
冷水循环泵	流量 340 t/h	10.00
冷却水循环泵	流量 430 t/h	11.00
闭式冷却塔	流量 450 t/h	150.00
管道及阀门		25.00
小计		322.00
末端设备		
主厂房区域	吊柜式空调机组	33.90
集中控制室区域	恒温恒湿屋顶组合式空调机组	223.60
厂前区	风机盘管机组	89.91
小计		347.41
供暖加热站设备		
换热机组	制热量 860 kW	22.00
热水循环泵	流量 32 t/h	2.00
凝结水回收装置	箱体容积 2.5 m ³	2.00
管道及阀门		12.00
小计		38.00
供暖加热站		
土建费用		14.70
总计		722.11

表8 年运行费用表

	水源热泵空调机组方案	螺杆式冷水机组+换热机组方案
夏季用电量	用电量:246.44 kW×2 160 h=5.33×10 ⁵ kW·h 181.85 kW×720 h=1.31×10 ⁵ kW·h	用电量:474.36 kW×2 160 h=10.24×10 ⁵ kW·h 200 kW×720 h=1.44×10 ⁵ kW·h
夏季电费	单价:0.231元/(kW·h) 小计:5.33×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=12.31万元 1.31×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=3.03万元 总费用:15.34万元	单价:0.231元/(kW·h) 小计:10.24×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=23.65万元 1.44×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=3.33万元 总费用:26.98万元
冬季用电量	用电量:199.2 kW×2 160 h=4.3×10 ⁵ kW·h 44.85 kW×720 h=0.33×10 ⁵ kW·h	用电量:60.2 kW×2 160 h=1.3×10 ⁵ kW·h 59.59 kW×720 h=0.43×10 ⁵ kW·h
冬季电费	单价:0.231元/(kW·h) 小计:4.3×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=9.93万元 0.33×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=0.77万元 总费用:10.70万元	单价:0.231元/(kW·h) 小计:1.3×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=3.00万元 0.43×10 ⁵ kW·h×0.231元/(kW·h)=1.00万元 总费用:4.00万元
夏季用水量		时间:2 160 h 水量:10 t/h×2 160 h=21 600 t
夏季水费		单价:1.36元/t 总价:21 600 t×1.36元/t=2.94万元
冬季供暖标准煤耗		时间:2 160 h 热负荷:1 170 kW 折合成标准煤:334 t
供暖费用		单价:442.47元/t 总价:334 t×442.47元/t=14.78万元
总运行费	小计:12.31万元+9.93万元=22.24万元(2 160 h费用) 3.03万元+0.77万元=3.80万元(720 h费用) 总计:26.04万元	小计:23.65万元+3.00万元=26.65万元(2 160 h费用) 3.33万元+1.00万元=4.33万元(720 h费用) 总计:48.70万元

表9 初投资及运行费汇总

	水源热泵空调机组方案	螺杆式冷水机组+换热机组方案
初投资	581.61万元	722.11万元
年运行费	26.04万元	48.70万元
最小费用年值(固定费用率按14.58%计算)	581.61万元×14.58%+26.04万元 =110.84万元	722.11万元×14.58%+48.70万元 =153.98万元

2.3.2 年运行费用(见表8)

由于电气设备房间发热量较大,控制设备房间要求温湿度恒定,空调系统一般连续运行,故计算运行费用时,冬夏季运行时间各取3个月(2 160 h);而办公房间冬夏季运行时间取每天运行8 h,连续运行3个月,即720 h。

2.3.3 初投资及运行费汇总(见表9)

2.4 系统测试

2010年8月10日及2011年2月22日,笔者分别对系统的夏季和冬季运行工况进行了现场实测,选择了一些具有代表性的房间,如主厂房区的电子设备间、集中控制室、配电室和厂前区办公楼内的办公室等。测试时室外空气参数为:夏季工况室外空气温度为32℃,相对湿度63.5%;冬季工况室外空气温度为10.6℃,相对湿度52.7%。空调室内温湿度实测结果见表10,11。

由表10,11可以看出,采用水源热泵空调系统能够满足夏季制冷、冬季制热的效果,满足人员房间的舒适性及电气室设备运行的可靠性要求。

3 结语

表 10 夏季空调室内实测温湿度

	办公室	汽轮机房运行层	集中控制室	电子设备间	办票室	6 kV 配电室	380 V 配电室	检修配电室
温度/℃	26.0	33.8	25.4	27.2	26.9	29.2	29.5	29.2
相对湿度/%	63.5	65.2	65.0	63.0	65.7	58.2	53.8	60.4

表 11 冬季空调室内实测温湿度

	办公室	汽轮机房运行层	集中控制室	电子设备间	办票室	客房	包间	餐厅
温度/℃	21.5	17.2	22.1	19.1	21.5	18.5	20.7	17.4
相对湿度/%	55.9	57.6	55.0	59.7	55.9	60.8	52.5	72.0

3.1 在本工程应用中,与水冷冷水机组常规方案相比,水源热泵空调系统较简单,设备投资、土建及安装调试费用均较少。

与水冷冷水机组常规方案相比,采用水源热泵空调系统时,设备初投资可以节约 140.5 万元,年运行费用可以节约 22.66 万元。

3.2 水源热泵机组夏季运行时,其能效比高于水冷冷水机组及空气源热泵机组。冬季可利用汽轮机凝汽器排水(约 20℃)制热,水体温度比环境空气温度高,所以热泵循环的蒸发温度将提高,其能效比将提高,同时减少了供暖系统一次能源(蒸汽)的消耗。

水源热泵利用电厂循环冷却水作为冷热源进行能量转换,减少了汽轮机凝汽器废热向大气的排放;供冷时,空调系统不必再配备专用冷却塔,避免了空调专用冷却塔产生的噪声污染和水污染。

3.3 水源热泵机组夏季供冷,冬季供暖,实现了一

机多用,提高了设备的利用率。而且某些房间制冷,另一些房间可同时制热,适用性广,使用灵活,能满足建筑物或房间不同功能的需要。

3.4 冬夏季汽轮机凝汽器循环冷却水温度相对稳定,其波动的范围远远小于空气温度的变动,使得热泵机组的运行更稳定、更可靠,保证了系统的高效性和经济性。由于每台水源热泵机组均带有制冷压缩机,当个别空调机组发生故障时,只需要关闭其冷却水进出水阀门,即可对其维修,不影响其他机组的使用。

参考文献:

- [1] 王明国,付祥钊,王勇,等. 利用长江水作水源热泵冷热源的探讨[J]. 暖通空调,2008,38(4):33-34
- [2] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2004
- [3] 李善化,康慧,孙相军,等. 火力发电厂及变电所供暖通风空调设计手册[S]. 北京:中国电力出版社,2000