

水环热泵辅助热源性能研究

吴 薇

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 介绍了水环热泵空调系统各种辅助热源的形式, 针对传统水环热泵空调系统采用高位能(电、燃气、油、煤等)通过锅炉(或换热装置)转变为循环水的低位能, 再由室内水/空气热泵提升后向室内供热的不合理的用能方式, 提出了由空气源热泵代替锅炉的空气源-水环复合热泵空调系统, 对其冬季建筑物内外分区不同的冷热负荷比下运行的性能进行了研究, 并和使用锅炉的传统水环热泵空调系统的能耗进行了比较, 体现出空气源-水环复合热泵空调系统具有较高的能效比。

[关键词] 水环热泵, 辅助热源, 能耗

[中图分类号] TB657.2 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2005)04-0087-04

The Performance Studies on Auxiliary Heat Source of the Water Loop Heat Pump

WU Wei

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

Abstract The forms of different auxiliary heat sources in the air conditioning system of water loop heat pump are introduced. Aiming at the irrational traditional way of supplying heat in which the high potential energy source (electricity, gas, oil, coal, etc) is changed into the low potential energy of boiling water by boiler (or heat transfer installation) and the boiling water is heated by the indoor water/air source heat pump and then supplies energy to indoor units, the paper proposes the air source-water source hybrid heat pump system in which the boiler is replaced by air source heat pump, carries out the performance operated in the condition of different cold-and-hot load ratio of inside and outside building district in winter, and compares it with the energy consumption of traditional water loop heat pump in which the boiler was used. The results show that the energy efficiency ratio of the air conditioning system of air source-water source hybrid heat pump is higher.

Key words water loop heat pump, auxiliary heat source, energy consumption

0 引言

随我国近年来国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高, 制冷空调设备广泛应用, 在工业能耗中已占据了相当大的比例, 引起了能源紧张和电网昼夜负荷差加大。水环热泵技术可回收建筑物内部余热, 节约电能消耗, 具有较高的能效比, 便于分户计量和计费, 安装、管理方便, 污染较小, 在提倡节约型社会的今天有着广阔的应用前景。

所谓水环热泵空调系统是指小型水/空气热泵机组的一种应用方式, 即用水环路将小型水/空气热泵机组(水环热泵机组)并联在一起, 构成以回收建筑物内部余热为主要特征的热泵供暖、供冷的

空调系统, 不但可以用于多层公寓住宅, 还可以用于大型高层商业建筑。水环热泵系统开创于 20 世纪 60 年代初, 由美国加州格费斯-萨特勒公司与加州热泵公司所发明, 首先在美国加州得到了应用, 故在美国称为“加利福尼亚热泵系统”, 很快传遍美国实现商业化。如美国空气过滤器公司生产的恩纳康(Enercon)系统, 美意、特灵公司生产的水源热泵机组等。到了 20 世纪 70 年代, 英国最主要的制造商“维塞坦普”也批量生产水源热泵并设计了这种系统, 广泛应用于 5 000~20 000 m² 的商业建筑中, 所以在西欧把这种水环热泵系统又称为“维塞坦普”系统, 由于该系统具有较高的能效比, 在国外诞生以来受到了普遍重视。20 世纪 80 年代初,

收稿日期: 2005-09-07

作者简介: 吴薇(1974-), 女, 讲师, 主要从事环境保护与能源利用的教学与研究。E-mail: wuwe@njnu.edu.cn

我国在一些外商投资的建筑中开始采用该空调系统,20世纪90年代该空调系统在我国得到广泛应用.目前在北京、上海、深圳等地已有很多工程采用了水环热泵系统,如北京天安大厦、青岛华侨饭店、深圳光通大厦、上海锦江第4号楼、惠州大酒店、泉州大酒店和南京和园饭店等.

根据用冷场所的需要,水环热泵可按供热工况运行,也可按制冷工况运行.夏季,各水环热泵机组全部按制冷工况运行,向水环路释放热量,这时冷却塔投入运行,将冷凝热释放到大气中;冬季,所有水环热泵机组全部或大部分按供热工况运行,从水环路中吸取热量,这时辅助加热器投入运行,使水环路水温上升;过渡季节,有的水环热泵机组按制冷工况运行,有的水环热泵机组按供热工况运行,这时根据水环路水温来判断是运行冷却塔或辅助加热器.由此可见,大型建筑物有内外分区,内区有全年性冷负荷时,选用水环热泵系统是最节能的.

1 水环热泵空调系统辅助热源的形式

为了使水环热泵空调系统能正常运行,在水系统中需设置辅助加热设备,当水环路中水温低时,辅助加热设备投入运行.目前国内外水环热泵辅助热源形式主要有燃煤锅炉、电热锅炉、燃油(气)炉、太阳能、水(地表水、井水、河水、海水等)能、土壤能、空气等.

燃煤锅炉是常规空调的常用热源形式,但其热效率低且易造成环境污染,逐渐被电锅炉和燃油锅炉取代.电锅炉根据电加热原理和电加热元件的不同种类很多,其中电热管电加热锅炉具有使用安全、调节简便等优点,是水环热泵空调系统中应用最广泛的一种.燃油(气)热水锅炉也是水环热泵空调系统常选用的加热设备,具有热效率高、环保效益好、对水质要求低、运行操作方便、安全可靠等优点.但是,这些采用高位能(电、燃气、油、煤等)通过锅炉(或换热装置)转变为循环水的低位能,再由室内水/空气热泵提升后向室内供热的用能方式十分不合理,不符合按质用能的原则.解决这一问题的途径就是由建筑物外部引进可再生能源作为水环热泵空调系统的辅助热源.

水环热泵空调系统可利用的外部能源有太阳能、水(地表水、井水、河水、海水等)能、土壤能、空气等.众所周知太阳能是21世纪人类可期待的能源.我国太阳能资源非常丰富,居世界第二位.用太阳能加热低温热水的太阳能热水系统是当前太阳

能利用技术中应用广泛、发展迅速的一个领域.但是由于季节和气候的影响,太阳能具有间歇性和不稳定性,如密度很低时要收集足够量的太阳能需要很大面积的高效集热器.深井水的水温常年保持不变,冬季用深井水作为外部热源、夏季用深井水作为冷却介质的井水源水环热泵空调系统,可以通过调节井水流量来调节环路中的水温,十分方便,引入地下水作低位热源,节约能源,无任何污染,保护环境.但是井水源水环热泵空调系统会出现水井老化,回灌技术要求高,回灌易堵塞,回灌投资和运行费用较高,机组性能受地下水文地质条件的变化影响较大,寒冷地区井水水温低,地热水会对管路和设备造成腐蚀生锈,井水泵功耗过高,控制水源水质的管理工作麻烦等问题,使地下水源热泵系统无法大规模推广.地下埋管换热器利用的是地表浅层低温地热能源,亦称地温能、大地能.地下埋管换热器的设计难度很大,在设计时必须对建筑物的冷热负荷、钻孔空间、钻孔填充物材料、土壤的热特性等进行精确勘测.不同土壤的热导率、密度、比热容差异很大,也给设计带来了难度.

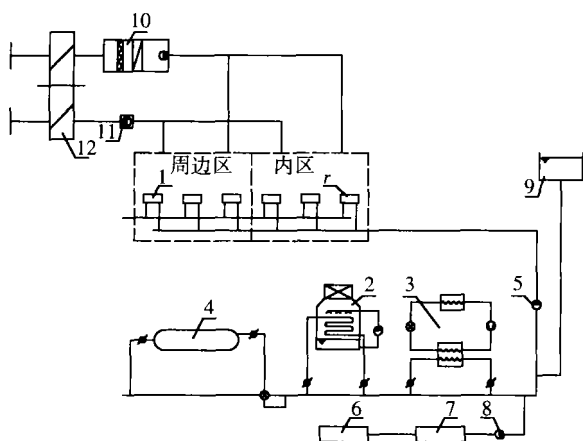
基于以上的不足,本文主要对由空气源热泵代替锅炉的空气源-水环热泵复合空调系统的性能进行分析与研究.

2 空气源-水环热泵复合循环系统的工作原理

空气源-水环热泵复合空调系统的工作原理如图1所示.它与传统的水环热泵空调系统相比,其差异在于用空气源热泵机组即空气/水热泵机组代替了锅炉.夏季时各室内水环热泵机组即小型水/空气热泵机组都按制冷工况运行,向环路中释放冷凝热,通过冷却塔将冷凝热释放到大气中.过渡季节时周边区的水/空气热泵机组部分按制热工况运行部分按制冷工况运行,内区的机组按制冷工况运行,若冷热负荷相当,环路供水温度维持一定范围内,室外空气源热泵机组和冷却水系统都不投入运行.冬季时周边区的水/空气热泵机组大部分或全部按制热工况运行,内区的机组按制冷工况运行,循环水温下降,此时室外空气源热泵机组投入运行,向水环路不断供给热量.

3 性能计算

现设有100台室内水环热泵机组,每台额定制热量为5.6kW,额定制冷量为5.5kW,均在额定工况下运行.制冷工况蒸发温度 t_e 取5℃,冷凝温度



1. 水环热泵机组; 2. 冷却塔; 3. 空气源热泵; 4. 蓄热装置;
5. 循环水泵; 6. 水处理装置; 7. 补给水箱; 8. 补给水泵;
9. 定压装置; 10. 新风机组; 11. 排风机组; 12. 热回收装置.

图 1 空气源-水环热泵复合循环系统的原理图

t_k 取循环水温 $t_w + 5^\circ\text{C}$, 消耗指示功率为 N_1 , 供热工况下冷凝温度 t_k 取 50°C , 蒸发温度 t_0 取循环水温 $t_w - 5^\circ\text{C}$, 消耗指示功率为 N_2 . 系统循环水在室内水环热泵机组进口处的温度保持不变, 则水环热泵机组从循环水中吸收的总热负荷等于空气源热泵机组的供热负荷, 机组风侧传热温差取 10°C , 水侧传热温差取 5°C , 在此供热负荷 Q_3 下的空气源热泵消耗指示功率为 N_3 . 为方便计算, 计算中过热度取 5°C , 过冷度取 3°C , 指示效率 η_i 取 0.8 机械效率 η_m 取 0.9, 火电站发电效率取 η_1 取 0.3 输配电效率 η_2 取 0.9 则发电总效率 $\eta_d = \eta_1 \eta_2 = 0.27$ 将空气源-水环热泵复合空调系统的一次能耗与使用电锅炉和燃煤锅炉的传统水环热泵空调系统的一次能耗进行比较, 其中电锅炉热效率 η_{b1} 取

1.0 折算成一次能源 $\eta_{b1} \eta_d = 0.27$ 燃煤锅炉热效率 η_{b2} 取 0.7 则:

空气源-水环热泵复合空调系统的一次能耗为:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_m \eta_d}$$

采用电锅炉的传统水环热泵空调系统的一次能耗为:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta_m \eta_d} + \frac{Q_3}{\eta_{b1} \eta_d}$$

采用燃煤锅炉的传统水环热泵空调系统的一次能耗为:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta_m \eta_d} + \frac{Q_3}{\eta_{b2}}$$

系统循环水温对于水环热泵和空气源热泵的效率影响很大. 循环水温越高, 供热工况下运行的水环热泵机组的蒸发温度越高, 其性能系数提高; 制冷工况下运行的水环热泵机组的冷凝温度升高, 其性能系数降低; 而相应的, 空气源热泵机组的冷凝温度升高, 导致其效率下降. 下面分别计算内外区不同冷热负荷比的情况下, 冬季室外温度为 -10°C 、 -5°C 、 0°C 、 5°C 、 10°C , 循环水温为 $10 \sim 32^\circ\text{C}$ 时空气源-水环热泵复合空调系统与采用锅炉的传统水环热泵空调系统的能耗.

分别取建筑内外区负荷比为 2:8 (即 20 台处于建筑内区, 冬季在制冷工况下运行, 其余 80 台处于建筑外区, 冬季在供热工况下运行) 和 4:6 时计算空气源-水环热泵复合空调系统的一次能耗, 并与使用电锅炉和燃煤锅炉的传统水环热泵空调系统的一次能耗进行比较, 计算结果如表 1 表 2 所示.

表 1 建筑内外区负荷比为 2:8 的能耗

循环水温 / $^\circ\text{C}$	不同室外温度下复合系统一次能耗 /kW					使用电锅炉时一次能耗 /kW	使用燃煤锅炉时一次能耗 /kW
	-10°C	-5°C	0°C	5°C	10°C		
10	559.88	535.22	510.89	486.98	463.46	1291.40	741.02
12	558.08	533.09	508.44	484.18	460.29	1290.08	732.43
14	556.53	531.20	506.16	481.57	457.32	1288.76	723.84
16	555.41	529.74	504.36	479.42	454.84	1287.47	715.41
18	554.68	528.65	502.97	477.67	452.72	1286.20	707.11
20	554.29	527.93	501.91	476.26	450.99	1284.94	698.90
22	554.30	527.62	501.25	475.25	449.67	1283.71	690.84
24	554.63	527.67	500.93	474.63	448.68	1282.49	682.88
26	555.43	528.15	501.12	474.43	448.17	1281.30	675.08
28	556.56	528.97	501.62	474.62	448.01	1280.12	667.39
30	558.26	530.33	502.69	475.36	448.40	1278.98	659.96
32	560.17	531.98	503.99	476.37	449.06	1277.84	652.54

表 2 建筑物内外区负荷比为 4:6 的能耗

循环水温 /℃	室内供热 能耗 /kW	室内制冷 能耗 /kW	不同室外温度下复合系统总能耗 /kW					电锅炉 /kW	燃煤锅炉 /kW
			-10℃	-5℃	0℃	5℃	10℃		
10	280.54	20.68	330.32	325.96	321.65	317.42	313.26	459.75	362.37
12	267.30	30.20	328.85	324.39	320.00	315.67	311.41	458.69	355.46
14	254.00	37.86	325.88	321.28	316.74	312.27	307.87	458.82	356.25
16	240.84	46.66	324.05	319.34	314.69	310.11	305.60	458.38	353.41
18	227.76	55.60	322.48	317.66	312.90	308.21	303.59	457.97	350.71
20	214.71	64.74	321.16	316.23	311.38	306.59	301.87	457.57	348.16
22	201.76	74.02	320.09	315.08	310.12	305.23	300.42	457.21	345.76
24	188.84	83.47	319.25	314.15	309.09	304.12	299.22	456.86	343.49
26	176.04	93.14	318.73	313.55	308.42	303.36	298.37	456.55	341.45
28	163.28	103.04	318.48	313.22	308.01	302.87	297.81	456.26	339.58
30	150.72	113.14	318.59	313.26	307.99	302.78	297.64	456.02	337.98
32	138.08	123.44	318.82	313.44	308.10	302.83	297.61	455.78	336.45

空气源—水环热泵复合空调系统与采用电锅炉或燃煤锅炉的传统水环热泵空调系统相比,不会对环境产生严重污染,从而带来了环保效益.由表 1 和表 2 还可知,空气源—水环热泵复合空调系统与相同条件下采用电锅炉或燃煤锅炉的传统水环热泵空调系统相比总能耗明显降低.取室外温度 -10℃ 循环水温 10℃,内外区负荷 2:8 时总能耗比使用电锅炉降低 55.62%,比使用燃煤锅炉降低 23.68%;若内外区负荷比为 4:6 时总能耗比使用电锅炉降低 19.04%,比使用燃煤锅炉降低 5.50%.室外温度为 10℃ 其他条件相同比值分别为:62.95%、36.29%、21.54%、8.4%.即水环热泵需要外界补充的热量越大,采用空气源—水环热泵复合空调系统越节能,这主要是缘自热泵本身的节能性.而复合系统节能效果的优劣主要取决于室外的空气源热泵的性能,当其性能随蒸发温度提高而提高后,复合系统的节能性也随着提高.

4 结论

(1) 建筑物有内外分区或同时存在供热与制冷的场合采用水环热泵空调系统具有节能和环保意义.

(2) 空气源—水环复合热泵空调系统通过复合,由于热泵本身的节能性,与传统的锅炉作辅助热源的水环热泵系统相比,能耗降低.

(3) 水环热泵需要外界补充的热量越大,采用空气源—水环热泵复合空调系统越节能.

[参考文献]

- [1] 马最良,姚杨,杨自强,等.水环热泵空调系统设计[M].北京:化学工业出版社,2005
- [2] 汪训昌.水环热泵的热回收特性及其设计方法[J].空调设计,1997(1):61-72
- [3] Hughes P J. Survey of water-source heat pump system configurations in current practice [J]. ASHRAE Trans 1990, 12(1): 1021-1028
- [4] 汪训昌.水环热泵(WLHP)系统及其热回收特性[J].制冷与空调,1997(2):12-19
- [5] 吴薇.空气源—水源热泵复合热泵循环系统的性能研究[D].南京:东南大学,2005
- [6] 谢汝镛.我国水源热泵机组应用的现状与发展[J].现代空调,1999(2):66-77
- [7] 姜益强,姚杨,马最良.外部低位热源与水环热泵空调系统[C]//全国热泵与空调技术交流会议论文集.宁波,[出版者不详],2001:111-115
- [8] 吴业正,韩宝琦.制冷原理及设备[M].西安:西安交通大学出版社,1997.

[责任编辑:刘健]