

供冷供暖供生活热水蒸发式 冷凝空调系统的应用

广州市设计院 谭海阳[☆] 屈国伦 黄 伟 江慧妍 陈少玲

摘要 针对目前供冷供暖供生活热水系统的热水温度达不到 60 ℃, 且系统能效较低的现状, 提出了该空调系统作为解决方案, 根据能源梯级利用原则, 在不提高冷凝温度的同时回收了部分潜热及全部显热。介绍了热回收系统蓄热阶段、用热阶段和不用热阶段的工作模式。结合某工程实例, 介绍了机组的详细参数以及热回收热水系统的设计计算, 供冷期的运行分析结果表明, 在不同负荷率工况下, 热回收量均大于生活热水用热量, 即在供冷期, 可以免费提供生活热水。

关键词 供冷 生活热水 蒸发式冷凝空调系统 热回收 蓄热 水罐容积

Application of evaporative condensation air conditioning system of cooling combined heating and domestic hot water supply

By Tan Haiyang[★], Qu Guolun, Huang Wei, Jiang Huiyan and Chen Shao ling

Abstract Considering supplied domestic hot water temperature lower than the required 60 ℃ and lower system energy efficiency of the existed system, presents the new system as solution to the above situation. Performing the heat recovering according to cascaded principle of energy use, recovers partial latent heat and total sensible heat while the condensing temperature is not risen. Presents the working modes of heat charging, discharging and standby of heat recovering system. With an actual project, presents the detailed parameters of the unit and design calculation of the heat recovering system. Operation analysis of cooling period shows that the heat recovering quantity is always more than heat demand of domestic water, namely, the free domestic hot water can be obtained in whole cooling period.

Keywords cooling, domestic hot water, evaporative condensation air conditioning system, heat recovering, heat recovery, water tank volume

★ Guangzhou Design Institute, Guangzhou, China

①

目前全年同时具有冷热需求的建筑物(如宾馆、酒店和医院等)越来越多, 其能源消耗需求大, 利用空调排热, 节能潜力大, 因此, 部分地区的建筑节能条例已经作出需要利用空调余热的规定。

1 供冷供暖供生活热水蒸发式冷凝空调系统

针对酒店、宾馆和医院等类型建筑物全年有供冷、供热、供生活热水需求, 且冷水机组一般为水冷冷水机组, 具有热泵工况的水冷机组不多, 而蒸发式冷凝冷水机组可以空气作为低位热源, 在热泵工况下运行。目前已有相关厂家生产出供冷供暖供生活热水蒸发式冷凝空调产品。但是查产品参数可知, 其提供的生活热水温度一般为 45 ℃, 此时能

效比较高, 但热水温度未达到生活热水 60 ℃ 的温度要求, 不能直接使用, 需要给排水专业生活热源提供再热; 其最高热水出水温度为 55 ℃, 仍不满足生活热水要求, 且此时冷凝温度高, 机组能效比低。故本文提出更加节能高效的供冷供暖供生活热水蒸发式冷凝空调系统, 其原理图见图 1。

该空调系统可以实现制冷、制冷+热回收、制

☆ 谭海阳, 男, 1985 年 9 月生, 硕士, 助理工程师
510620 广东省广州市天河区体育东路体
育东横街 3 号设计大厦 9 楼
(020) 87536214

E-mail: tanhaiyang2010@126.com

收稿日期: 2012-02-17

①修回日期: 2012-03-31



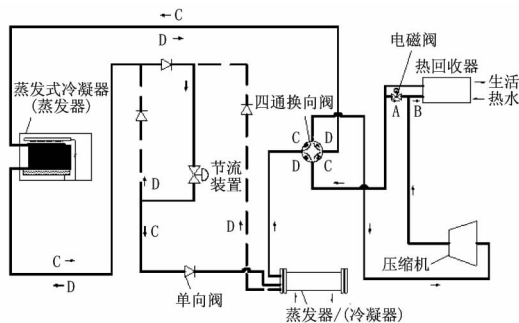


图1 供冷供暖供生活热水蒸发式冷凝空调

热、双温热水热泵等工况。AC 模式为制冷循环，制冷剂从压缩机出来，经过四通阀进入板管蒸发式冷凝器冷却，经节流后进入蒸发器完成制冷换热过程；BC 模式为制冷+热回收模式，制冷剂从压缩机出来后，先进入热回收换热器，再进入板管蒸发式冷凝器，经节流后进入蒸发器，从而实现制冷热回收工况，提供冷量的同时免费提供生活热水（60℃）。AD 模式为热泵工况，此时蒸发器转变为冷凝器使用，提供空调热水（35℃），板管蒸发式冷凝器作为蒸发器使用，从环境中获取低位热量。BD 模式为双温热水热泵模式，制冷剂在进入蒸发器（此时作冷凝器使用）之前，先进入热回收换热器，提供免费的生活热水（60℃），再进入蒸发器为空调提供热水（35℃）。当出现极端天气时，热回收热水系统可停止工作，由辅助热源提供生活热水热量，机组只提供空调供暖热负荷热量，此时通过向冷却水环路中添加防冻液防止蒸发式冷凝器（蒸发器）结冰（在广州地区，设计工况下蒸发器不结冰）。

根据需求，直供 60℃ 生活热水时，由于热水出水温度远高于冷凝器冷凝温度，因此需要利用显热回收才能满足要求。一般地，显热回收量仅为制冷量的 12% 左右，当该部分显热量不能满足生活热水用热量时，为提高显热量，可以通过提高冷凝温度来实现，但此时机组的能效比下降明显。笔者为了实现热回收 60℃ 出水温度，提高回收热量，同时维持正常的冷凝温度，保证机组能效比，提出热回收能源梯级利用原则，即在热回收换热器内先利用冷凝潜热将生活热水进水温度从低温（15℃）提升至中温（稍低于冷凝温度），再通过制冷剂蒸气显热将中温水加热至 60℃ 出水。该过程既保证了不提高冷凝温度，又利用了部分潜热及全部显热，同时也满足了 60℃ 出水温度要求。

2 热回收供生活热水系统

对于热回收的热水系统应用设计，一般来说，回收热量可以通过间接换热或者直接使用，为给排水生活热水系统提供补充热量，示意图见图 2、3。间接换热即通过热回收器获得一定温度的热水，再经过换热器，对给排水热水系统的补水进行预热。该方式由于间接换热，热量利用率不高，但是对热回收系统卫生要求低，可以保证生活热水水质不受影响。另外也可以通过将热回收热水系统直接接入生活热水系统，对该热回收热水进行直接利用。该方式无换热损失，热量利用率高，但是对热回收热水系统卫生标准要求高，需满足生活热水卫生要求。

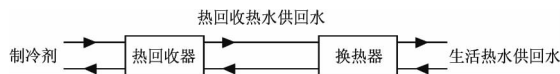


图2 热回收热水间接换热利用方式示意图

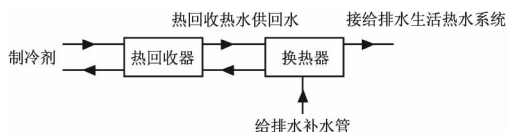


图3 热回收热水直接利用方式示意图

对于直接利用模式，需要解决的一个问题是如何保证蓄热水罐内的冷热水分层明显，防止冷热混合，降低热量品质。本文提出水罐串联连接蓄热模式，可以最大限度利用热回收热水并实现冷热水有效分层。其原理见图 4。

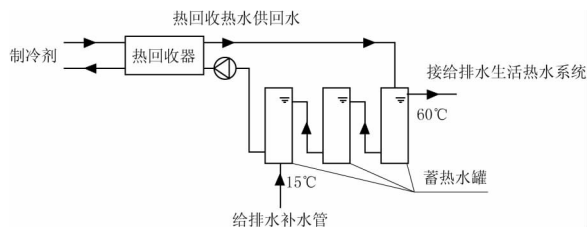


图4 水罐串联热回收热水系统示意图

参考水蓄冷系统中多罐串联式的蓄冷水罐连接方式，热回收热水系统中的蓄热水罐也采用水罐串联连接，并根据温度分层原理采用上进下出的连接方式，确保温度分层明显。以下说明该热回收系统工作过程。

蓄热阶段：热回收热水出水首先进入与给排水生活热水系统直接连接的最远蓄热水罐，最先把该水罐内的水置换成 60℃ 的热水，将冷水压出依次经过第二个、第三个水罐，最终进入热回收器内换

热。经过一段时间蓄热,最终将所有水罐内的水均加热至 60℃。

用热阶段:当给排水生活热水系统需用热水时,首先由热回收系统直接提供,即热回收热水出水直接供水至给排水生活热水系统;当热回收器无法提供足够热量时,停止热回收系统运行,由蓄热水罐提供热水;当仍不能满足要求时,则启动给排水生活热水系统侧的加热设备。由此可以最大限度地利用热回收免费热水,减少加热设备使用时间。

非用热阶段:水罐内均已蓄满 60℃热水,热回收系统停止工作,冷凝热由冷凝器排放。

3 工程实例

3.1 项目概况

广州某宾馆附楼建筑面积约 17 000 m²,包括办公和公寓楼。空调设计冷负荷 1 776 kW,热负荷 570 kW,夏季生活热水用量为 35 t/d。通过与生产企业合作开发,并根据工程实际情况,采用 3 台供冷供暖供生活热水蒸发式冷凝螺杆机组,制冷量 588 kW,制热量 575 kW,热回收量 129 kW。考虑到广州地区冬季气候,采用空调热水供回水温度 35℃/30℃,在满足空调热负荷要求的同时,可以提高机组的能效比。设备参数详见表 1。

表 1 螺杆机组参数

	制冷 工况	制冷+热 回收	制热 工况	双温热水 热泵工况
制冷量/kW	588	588		
制热量/kW			575	446
热回收热量/kW		129		129
冷水供回水温度/℃	7/12	7/12		
空调热水供回水温度/℃			35/30	35/30
热回收供回水温度/℃		60/15		60/15
COP(整机)	4.56	4.56	4.53	4.53
热回收热水系统流量/(m ³ /h)		2.47		2.47

从表 1 中可以看到,制冷热回收工况下,热回收热量为 129 kW,占制冷量的 22%左右,占总冷凝热量的 18%,热回收率并不高,这是因为只回收了部分潜热和全部显热,以达到热水出水温度 60℃,满足生活热水要求的目的。同样为达到热水出水温度 60℃,双温热水热泵工况下热回收量为 129 kW,占整个机组提供的热量的 22.4%。装机总制冷量 1 764 kW,装机总热回收量 387 kW。

制冷工况下,由于热回收并没有提高冷凝温度,因此机组整机 COP 并未下降,而保持了较高水平,为 4.56。该 COP 考虑了压缩机、冷却水泵和蒸发式冷凝排风机的功耗,相比风冷式机组国家标

准一级能效要求(3.4)高出 34%;也接近水冷式冷水机组国家标准三级能效要求 4.7。如果考虑水冷式冷水机组冷却水泵、冷却塔的功效,将优于三级能效比的水冷式冷水机组。

热泵工况下,由于热泵供回水温度为 35℃/30℃,因此能效比较高,整机 COP 达到 4.53,与普通空气源热泵机组制热进出水温度 40℃/45℃工况下整机能效比(3.25)相比,高出 39.4%。

3.2 热回收热水系统设计

本项目热回收热水系统直接与给排水生活热水系统连接,蓄热水罐采用串联连接方式。热回收器热水供回水温度为 60℃/15℃。

根据调查,宾馆生活热水最大用量一般在 18:00—22:00 和 6:00—8:00 两个时间段,且蓄热水箱容积一般按照保证 3~5 h 设计小时流量容积计算^[2]。根据 GB 50015—2003《建筑给水排水设计规范》,宾馆热水使用时间为 24 h,热水小时变化系数 $K_h=3.33\sim2.60$ 。根据业主提供的数据,夏季热水最大用量为 35 t/d,平均小时热水用量为 1.5 t/h;冬季热水最大用量为 50 t/d,平均小时热水用量为 2.1 t/h。全年最大设计小时流量为冬季设计小时热水流量,即:

$$G_{dh} = K_h g_h \tag{1}$$

式中 G_{dh} 为冬季热水设计小时流量, t/h; K_h 为热水小时变化数,取 3; g_h 为热水平均小时流量, t/h。

经计算,冬季设计小时热水流量为 6.3 t/h,蓄热水箱容积按照保证 4 h 设计小时流量容积计算,则需要的容积为 25.2 m³。考虑到给排水生活热水系统内有 10 m³ 热水罐,系统运行时将优先利用该 10 m³ 水罐内的热水,故热回收系统的蓄热水罐选取 3 个 6 m³ 的立式承压热水罐,共 18 m³。

3.3 运行分析

由于冬季供热工况下所获得的热热水实际上是通过热泵环路完成的,故需要消耗一定的电量,与燃气锅炉提供热水相比,由于其能效比较高,故仍具有节能性。但为了简化分析,且考虑到广州冬季供暖期不长,故只分析夏季机组提供的免费热水用量。

根据前述,当提供 60℃热水时,热回收量占总制冷量的比例为 22%。因此,如果全天空调冷负荷的 22%大于生活热水日用热量(暂不考虑生活热水输送管网热损失热量),则热回收可以满足该

日的热水量,否则只能提供全天空调冷负荷的 22% 的热回收量,不足部分需要由辅助热源提供。夏季生活热水日用量为 35 t/d,则夏季生活热水热负荷为

$$Q_{\text{sh}} = c G_{\text{sh}} (t_r - t_l) \quad (2)$$

式中 Q_{sh} 为夏季生活热水热负荷, kJ/d; c 为水的比热容, $c = 4.187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; G_{sh} 为夏季生活热水日用量, t/d; t_r 为热水温度, 60°C ; t_l 为冷水温度, 取 15°C 。

经计算,夏季生活热水热负荷为 6 594 525 kJ/d。参考夏热冬暖地区办公建筑冷水机组 IPLV 针对不同负荷率下的机组运行时间频率,可知在 100%, 75%, 50% 和 25% 负荷率下的时间频率分别为 2.21%, 46.31%, 41.21%, 10.27%。根据广州气候特点,以空调运行时间为 3—11 月共 9 个月 (270 d) 计算,最大热回收量按照机组 24 h 均处于热回收工况运行。热回收量与生活热水负荷比较结果见表 2。

表 2 供冷期热回收量与生活热水负荷比较结果

负荷率/ %	冷负荷/ kW	热回收量/ kW	最大热回收 量/(kJ/d)	生活热水负 荷/(kJ/d)	时间频 率/%
100	1 764	388.00	33 523 200	6 594 525	2.21
75	1 323	291.06	25 147 584	6 594 525	46.31
50	882	194.04	1 6765 056	6 594 525	41.21
25	441	97.02	8 382 528	6 594 525	10.27

从表 2 中可以看出,在不同负荷率情况下,热回收量均大于生活热水用热量,即在供冷期,可以全部提供免费热水。则供冷期 270 d 内总的免费

热量为 1.78 TJ,换算至由燃气热水锅炉提供生活热水,取燃气低位燃烧值 $40\,390 \text{ kJ}/\text{m}^3$,锅炉热效率 0.9,则全年可节省燃气 $48\,981 \text{ m}^3$,按照广州工商业用气价格 4.85 元/ m^3 ,则全年可以节省燃气费用 23.8 万元。

4 结论

4.1 蒸发式冷凝空调机组可同时供冷、供暖和供应生活热水,其能效比较高,相比风冷式机组国家标准一级能效要求 (3.4) 高出 34%;当冬季热泵工况在空调热水温度 $35^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 工况时,整机 COP 达到 4.53,与普通空气源热泵机组制热进出水温度 $40^\circ\text{C}/45^\circ\text{C}$ 工况下整机能效比 (3.25) 相比,高出 39.4%。

4.2 热回收系统蓄热水箱采用串联连接,可更好地实现冷热水分层,降低冷热水混合造成供水温度下降的影响。

4.3 相比于空调冷负荷,生活热水需求量较小的建筑物,可以采用热回收热量梯级利用模式,即全显热回收加部分潜热回收的热回收方式,不仅可以使热水出水温度达到生活热水温度要求,从而减少热水再热能耗,而且还可以维持相对较低的冷凝温度,保证冷水机组较高的能效比。

参考文献:

- [1] 梁增勇. 水冷冷水机组冷凝热回收的设计[J]. 暖通空调, 2009, 39(11): 107—110
- [2] 周志仁, 谭洪卫, 王恩丞. 酒店热水用热规律与热泵热回收系统设计[J]. 建筑节能, 2009, 39(1): 27—30