

小型蓄冷空调系统循环效率研究

方贵银 杨 帆 邢 琳

(南京大学 物理系 , 江苏 南京 210093)

摘 要 阐述小型空调系统的工作原理和循环特性。基于热力学第一定律和第二定律 , 分析了该蓄冷空调系统的能效比 (制冷系数) 和有效能效率。结果表明 , 系统的能效比和有效能效率都得到提高和改善。实施该蓄冷空调系统是可行的。

关键词 蓄冷 ; 空调系统 ; 循环效率

中图分类号 : TB61

文献标识码 : A

文章编号 : 1006-7086 (2006)02-0083-04

STUDY ON CYCLE EFFICIENCY OF SMALL COOL STORAGE AIR CONDITIONING SYSTEM

FANG Gui-yin, YANG Fan, XING Lin

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The principle and characteristics of small cool storage air conditioning system are presented. The coefficient of performance and exergy efficiency of small cool storage air conditioning system are analysed based on the first law of thermodynamics and the second law of thermodynamics. The analytical results show that the coefficient of performance is increased and exergy efficiency is improved. The cool storage air conditioning system is feasible.

Key words: cool storage air conditioning system ; cycle efficiency

1 引 言

由于我国近年来经济的快速发展和人民生活水平的不断提高 , 大中城市制冷空调的用电量与日俱增 , 因此出现了电力供应高峰不足、低谷过剩的矛盾。要解决这个问题 , 除了加强能源建设外 , 还要科学的节约用电 , 移峰填谷 , 充分利用电力资源 , 大力开发低谷用电。在电力供应紧张的情况下 , 充分利用低谷电能成为蓄冷空调技术的一大优势。

根据蓄冷介质的不同 , 蓄冷系统又可分为水蓄冷、冰蓄冷和共晶盐蓄冷等几种类型^[1]。由于蓄冷介质水的热学性能较好以及价格低廉 , 它被广泛应用在蓄冷系统中 ; 但水蓄冷是利用显热蓄冷 , 它具有蓄冷密度低、蓄冷槽体积大及槽内不同温度的冷水易混合的缺点。冰蓄冷是利用水的相变凝固潜热来储存冷量 , 其相变潜热大 (334 kJ/kg) , 但冰的相变凝固点较低 (0 ℃) , 且蓄冰时存在较大的过冷度 (4~6 ℃)^[2]。为了储存冷量 , 空调机组必须运行在较低的工作温度范围 (-8~-10 ℃) , 这样就势必造成了空调机组的效率下降。空调机组在蓄冰工况的效率一般只有空调工况的 70%。另外 , 在空调工况和蓄冰工况时要配置双工况制冷主机 , 增加了系统的复杂性。共晶盐的优点是其相变温度与空调主机的蒸发温度相吻合 , 选用一台空调主机即可进行制冷、蓄冷工况运行 , 缺点是蓄冷密度较低、相变凝固时存在过冷现象且材料易老化变质、蓄冷性能易发生衰减

收稿日期 : 2005-08-01.

基金项目 : 江苏高校高新技术产业发展项目 (JHB04-026) 和江苏省自然科学基金项目 (BK2003072) 资助。

作者简介 : 方贵银 (1963-) , 男 , 安徽省望江县人 , 博士 , 副教授 , 从事制冷低温技术研究。

等^[3]。如果蓄冷材料的相变温度在 5~9 ℃ 范围,该材料就能被应用到蓄冷空调系统中。

现在大型的蓄冰空调已经在我国得到推广,而小型的、家用的蓄冷空调却迟迟未能出现,关键是未能找到合适的相变蓄冷材料。作者拟对这种小型蓄冷空调系统的循环效率进行分析,掌握其性能变化规律,为实际开发该空调机组奠定基础。

2 小型蓄冷空调系统

普通空调的制冷运行,通常是制冷剂经过压缩机压缩后,通过冷凝器冷凝成为高压、中温的液体,再流经膨胀阀节流,成为低压、低温的液体,然后在蒸发器中蒸发制冷,气化后的制冷剂蒸气再进入压缩机压缩而形成制冷循环。而小型蓄冷空调系统只是在室外单元或室内单元中加入一个小型的蓄冷单元,使之小巧、方便易用,具有实用价值^[4]。

在中小型建筑物空调中,大量应用着分体式空调机。以蓄冷分体式空调机组为例,介绍小型蓄冷空调的工作循环系统。蓄冷分体式空调机在结构上与非蓄冷分体式空调机比较,它是在室内单元和室外单元间增加了一个蓄冷单元,其中蓄冷槽的作用是在用电低谷时蓄存冷量以供白天空调工况运转时对制冷系统中的制冷剂进行过冷之用,从而降低空调机高峰用电时的耗电量。

图 1 所示为小型蓄冷空调系统的工作循环。夜间蓄冷运转时,蓄冷单元作为蒸发器使用,制冷剂只在蓄冷槽和室外单元之间循环。在蓄冷槽盘管内制冷剂蒸发,在盘管外部空间蓄冷材料凝固储冷。白天空调工况运转时,用电磁阀切换制冷剂的流动方向,蓄冷槽作为过冷器使用。这时其盘管内通过的制冷剂液体由盘管外的固态蓄冷材料融化过冷。过冷后的制冷剂液体再经室内机的电子膨胀阀节流降温后供蒸发器蒸发制冷,以降低室内空气温度。

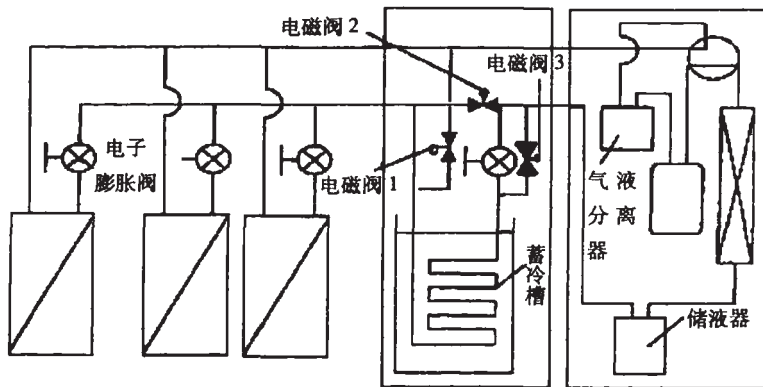


图 1 小型蓄冷空调系统工作循环

图 2 所示为制冷循环压-焓图。由图可知,由于蓄冷槽的过冷作用,所以单位制冷量将增加,增加量可用 4 和 4' 这 2 点的焓差 $h_4 - h_{4'}$ 表示。同时,因为系统能效比(制冷系数) $COP = \frac{q_0}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$,经过过冷后 h_4 减小为 $h_{4'}$, h_2 减小为 $h_{2'}$,因此 COP 值也提高了。由此可见,制冷剂的过冷提高了循环制冷量及制冷系数,同时也使压缩机的排气压力得以适当降低。当冷凝器结构一定时,夏季炎热高温的室外环境影响风冷冷凝器的冷凝效果,致使冷凝压力有所升高,这是由于少量制冷剂气体未完全冷凝成液体,当增加过冷器后,可使这部分气体全部冷凝成液体,并使所有冷凝器内液体在节流前成为过冷液体)。

3 小型蓄冷空调系统循环效率分析

目前,衡量空调机性能指标采用的主要是能效比 COP (亦即制冷系数)。为了实现空调机节能,我国已颁布了强制性空调能效比标准。它规定了各种类型空调机组的最低能效比及各个节能级别的能效比。严格地

说,该指标并不能反映空调机组的节能程度,通过调高空调机组的蒸发温度和增大换热器(蒸发器、冷凝器)的面积,也能达到提高空调能效比的目的。但这种空调并不是真正意义上的节能,因为它仅从能量的“数量”角度去考虑。根据热力学第一定律,一种形式的能量是由有效能和无效能组成,所谓“节能”应指“有效能”的节省,应从能量的“品位”去考虑。因此,节能空调应有2个评价指标:能效比(制冷系数)和有效能效率。

根据热力学第一定律和第二定律,空调机组的能效比(制冷系数)和有效能效率可按式确定

$$COP = \frac{q_0}{w} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{e_{q_0}}{w} = \frac{\left(\frac{T_a}{T_e} - 1\right) q_0}{w} = \left(\frac{T_a}{T_e} - 1\right) \cdot COP \quad (2)$$

式中 T_a 为环境温度,℃; T_e 为蒸发温度,℃; q_0 为单位制冷量, kJ/kg; w 为单位功耗, kJ/kg; e_{q_0} 为单位冷量的有效能, kJ/kg, 表示为从低于环境温度的热源中取出热量 q_0 (即制冷量) 所需要消耗的最小功; COP 为空调机组的能效比(制冷系数); η 空调机组的有效能效率。

根据空调机组的能效比和有效能效率,分析了该小型蓄冷空调循环特性。该蓄冷空调系统的制冷剂为 R134a, 冷凝温度 $T_k=50$ ℃, 蒸发温度 $T_e=5$ ℃, 环境温度 $T_a=35$ ℃。由图 3、图 4 可以看出,随着过冷度的增加,该蓄冷空调系统的单位制冷量和能效比都随之增加。一般只需要 10~15 ℃ 的过冷度,就可将制冷机性能提高 15%~25%。

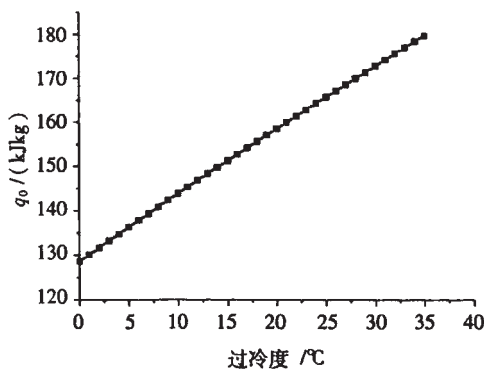


图 3 制冷量与过冷度之间的关系

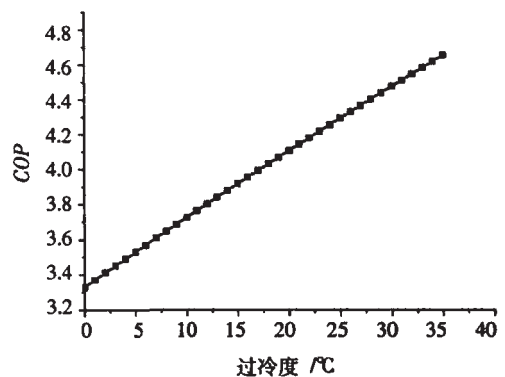


图 4 能效比与过冷度之间的关系

空调系统在实际运行时,由于受不同地区气候条件的影响,故冷凝温度也有变化。当蒸发温度为 5 ℃,冷凝温度分别为 50 ℃、55 ℃,过冷度在 0~35 ℃ 之间变化时,其能效比和有效能效率如图 5、图 6 所示。由图 5 和图 6 可以看出,随着冷凝温度的增加,该循环系统的能效比和有效能效率都降低。这主要是由于随着冷凝温度的升高,系统的功耗将增加,从而使系统能效比和有效能效率降低。从图 5 和图 6 还可看出,随着过冷度的增加,该蓄冷空调系统的能效比和有效能效率都随之增加。这就意味着,在较高的冷凝温度下,可以通过增加系统的过冷度来提高其能效比和有效能效率。而普通空调系统若冷凝温度越高,其能效比和有效能效率就越低。因此,在较高冷凝温度下,采用蓄冷槽将制冷剂过冷是提高空调系统性能的一种行之有效的方法。

进一步分析空调系统蒸发温度的变化对系统性能的影响。当冷凝温度为 50 ℃,蒸发温度分别为 0 ℃、

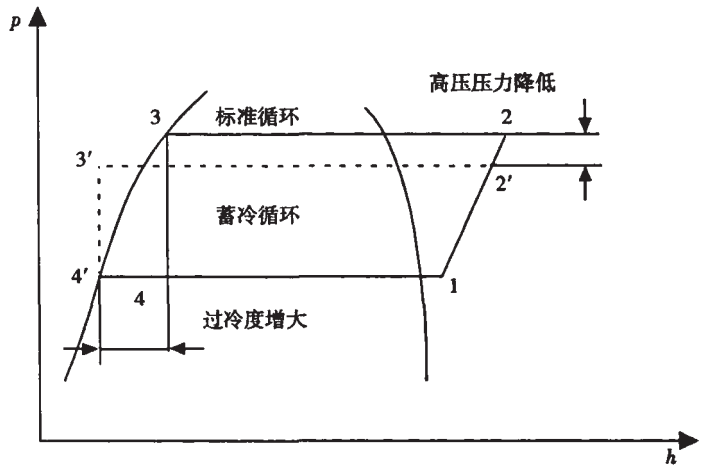


图 2 小型蓄冷系统制冷循环压-焓图

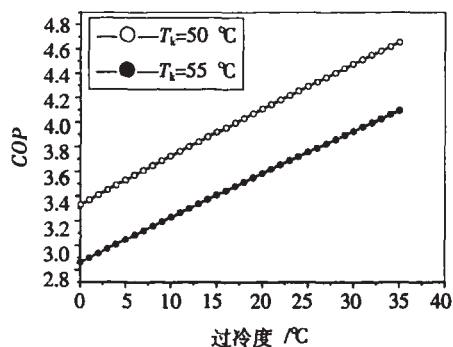


图5 能效比与过冷度之间的关系

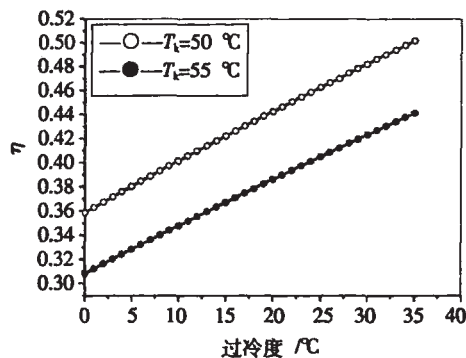


图6 有效能效率与过冷度之间的关系

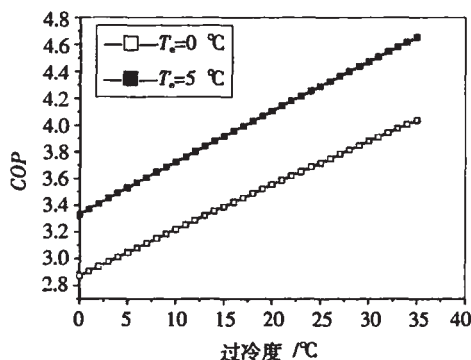


图7 能效比与过冷度之间的关系

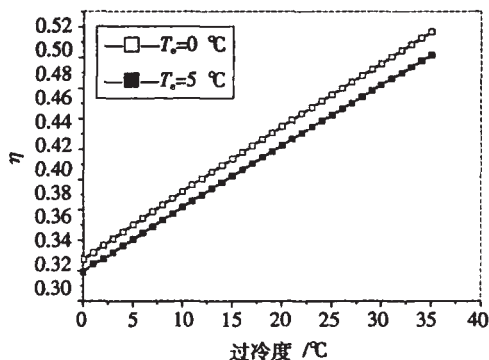


图8 有效能效率与过冷度之间的关系

5 °C, 过冷度在 0~35 °C 之间变化时, 其能效比和有效能效率如图 7、图 8 所示。

由图 7 可知, 随着蒸发温度的升高, 该循环系统的能效比增加, 这主要是由于系统的单位制冷量增加、系统的功耗降低所致。由图 8 可知, 随着蒸发温度的升高, 其有效能效率降低。根据有效能效率公式 (2) 可知, 有效能效率与蒸发温度成反比、与能效比成正比, 尽管蒸发温度的升高可以增加系统的能效比, 但有效能效率取决于蒸发温度和能效比 2 个参数。这说明蒸发温度升高, 并不表明系统就具有节能效果。盲目提高蒸发温度来增加系统的能效比, 不是可取之处; 另外它还影响室内空气的除湿能力, 最终还是影响系统的性能。

从图 7 和图 8 还可看出, 随着过冷度的增加, 该蓄冷空调系统的能效比和有效能效率都随之增加。这就意味着, 在蒸发温度不升高的情况下, 可以通过增加系统的过冷度来提高其能效比和有效能效率, 使该蓄冷空调系统具有节能效果。因此, 采用蓄冷过冷方法来提高空调机组的性能是可行的。

4 结 论

通过分析可知, 评价空调机组的节能效果应考虑 2 个指标: 能效比和有效能效率。在较高的冷凝温度下, 可以通过增加系统的过冷度来提高其能效比和有效能效率。在蒸发温度不升高的情况下, 可以通过增加系统的过冷度来提高其能效比和有效能效率, 使该蓄冷空调系统具有节能效果。若开发出相变温度适宜、相变潜热较高的蓄冷材料, 这种小型蓄冷空调系统就能迅速走向实用。

参考文献:

- [1] 方贵银. 蓄冷空调工程实用新技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000: 5.
- [2] SIH-LI CHEN, CHIN-LUNG CHEN, CHUN-CHUH TIN, *et al.* An experimental investigation of cold storage in an encapsulated thermal storage tank[J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2000, 23: 133~144.
- [3] AMES D A. The past, present and future of eutectic salt storage systems[J]. *ASHRAE Journal*, 1989, (5): 26~28.
- [4] 方贵银, 徐锡斌. 小型蓄冷空调系统研究[J]. *制冷*, 2003, 21(1): 5~8.