

水冷 R407C 制冷机组冷凝温度确定方法

李平, 寿旭日

(上海船舶设备研究所, 上海 200031)

摘要: 对采用 R407C 制冷机组的冷凝温度确定进行了分析, 并对采用 R22 和 R407C 为工质的制冷机组性能进行了对比。

关键词: 通风与空调; 制冷机组; R407C; 水冷冷凝器; COP

中图分类号: TB651 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2005) 02-0033-03

Determination Method of Condensing Temperature for a R407C Refrigeration Unit with Water Cooling Condenser

LI Ping, SHOU Xu-ri

(Shanghai Marine Equipment Research Institute, Shanghai 200031, China)

Abstract: An analysis of condensing temperature for a R407C refrigeration unit with water cooling condenser is done in this paper, and performance of refrigeration units with different refrigerants of R22 and R407C is compared.

Key words: venting and air conditioning; refrigeration unit; R407C; water cooling condenser; COP

1 引言

目前, 各国都提出了用不含氯原子的 HFCs 工质代替 R22, 但是, 在 HFCs 工质中, 至今还没有找到一种各方面性能都比较接近 R22 的单一工质。由 R134a、R125、R32 组成的混合工质 R407C 具有与 R22 相似的蒸汽压力和相近的热力性能, 被许多业内人士认为是最具有希望的 R22 替代物。然而, R407C 是一种非共沸混合制冷剂, 存在着较大的温度滑移。其在压力-焓 (P-h) 上的制冷循环过程见图 1。

从图 1 可以看出, 无论在冷凝或蒸发过程中, R407C 对应的冷凝温度和蒸发温度是不断变化的。当然, 随着工况不同, 其温度滑移也是不同的。有些文献^[1]认为, 其最大滑移温差可以达到 7℃, 滑移温差之大, 足以影响制冷循环和压缩机性能。因此, 在分析 R407C 制冷机组性能时, 就存在着在一定的

冷凝压力下如何确定冷凝温度的问题。

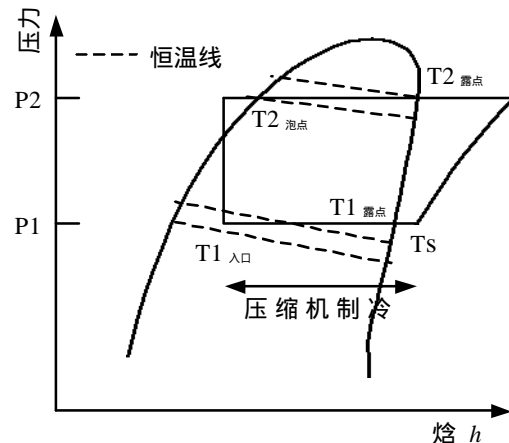


图 1 R407C 理论循环 P-h 图

2 制冷剂 R407C 及其冷凝温度的确定

如图 1 所示, R407C 在冷凝和蒸发过程中, 冷凝压力和蒸发压力变化很小, 可看作是不变的, 但

收稿日期: 2005-01-20; 修回日期: 2005-03-11

作者简介: 李平 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 制冷和暖通空调。

恒温线是倾斜的。冷凝开始的温度为露点温度 T_2 露点，冷凝至饱和状态时滑移至 T_2 泡点。在蒸发过程中，因 R125 和 R32 两种较轻的成分较 R134a 更易于蒸发，所以余下的溶液中 R134a 的含量升高，沸点逐渐升高，直至 R407C 全部蒸发。因此蒸发过程中温度将从 T_1 蒸发器入口滑移到 T_1 露点。蒸发过程结束后，出现了进一步的过热，温度上升至 T_s （压缩机吸气温度）后，进入压缩机的下一轮循环。

设计水冷冷凝器时，一般取冷却水出口温度 t_2 和进口温度 t_1 之差 ($t_2 - t_1$) 为一定值，冷凝温度 t_k 与冷却水出水温度之差 ($t_k - t_2$)^[2] 也为一定值。设计中一般由 t_k 确定 t_2 和 t_1 ，但在实际循环中，是由冷却水进出水温 t_1 、 t_2 ，也就是环境温度决定冷凝温度 t_k ，从而确定冷凝压力 P_k 。由于 R22 之类的纯质或共沸制冷剂两相区内等压线与等温线平行，因此冷凝温度 t_k 对应了唯一的 P_k 。在等压条件下，由于 R407C 之类的非共沸制冷剂有温度滑移，起泡点温度比露点温度低。所以，不能简单认为 R407C 冷凝温度对应的冷凝压力是饱和气体或饱和液体的压力，在计算中就存在着确定给定工况下冷凝温度的问题。在某一冷凝压力下可以将以下四个温度当作给定的冷凝温度 t_k ：(1)露点温度 t_d ；(2)泡点温度 t_b ；(3)等效平均温度 t_a ，等效平均温度为定压下饱和气体与饱和液体的焓差与熵差之比，单位为 K，即 $T_a = (h_d - h_b) / (s_d - s_b)$ (K)， $t_a = T_a - 273.15$ (°C)；(4)中点温度 t_m ，中点温度定义为露点温度 t_d 和泡点温度 t_b 的算术平均值， $t_m = (t_d + t_b) / 2$ (°C)。

1) 若以露点温度为冷凝温度，则冷凝压力较低，压缩机性能好，但冷凝温度较低会导致换热温差减小，这必然造成冷凝器面积较大，且需是完全逆流式的。

2) 若以泡点温度为冷凝温度，则传热温差较大，冷凝器面积较小，但冷凝压力较高，压缩机功耗增加，制冷系数下降。

3) 若以等效平均温度或中点温度为冷凝温度，则各种参数介于以上两种情况之间。

下面以我国冷水机组名义工况为例，比较不同冷凝温度下的机组性能。冷水机组名义工况为：冷却水进出口水温分别为 30、35，冷媒水进出口

水温分别为 12、7。一般按蒸发温度 $t_0 = 2$ ，冷凝温度 $t_k = 40$ 计算制冷量和轴功率，设计蒸发器和冷凝器。以上述四种温度为冷凝温度计算的 R407C 机组性能参数见表 1（假设压缩过程是等熵过程，无过冷度、过热度，吸气压力为 2 饱和气体压力，无压降）。

表 1 不同冷凝温度下 R407C 机组性能比较

	$t_k = t_d$	$t_k = t_a$	$t_k = t_b$	$t_k = t_m$
冷凝压力/MPa	1.540	1.641	1.747	1.651
单位制冷量/kJ·kg ⁻¹	164.55	158.25	152.73	157.72
单位轴功率/kJ·kg ⁻¹	30.21	31.81	35.55	32.66
COP	5.45	5.098	4.30	4.83

一般认为，原用 R22 的制冷机改用 R407C 后，除更换润滑油、调整系统充注量及节流元件外，压缩机及其余设备均可不作改动。实际上，由于非共沸混合物较早蒸发的组分会在传热表面形成一层气膜，使传质阻力增加等原因，会造成冷凝过程的热交换效率降低（在管壳式换热器中尤其明显）。这使实际冷凝压力升高，冷凝等效平均温度比 R22 机组高，机组性能降低^[3]。

3 R407C 和 R22 机组性能比较

以 R407C 为工质，分别将 t_d 、 t_b 、 t_a 当作与给定工况相对应的冷凝温度，压缩机吸气压力为对应的饱和气体压力（即过热度为 0），R407C 机组的制冷剂单位体积制冷量、轴功率、制冷系数等性能参数在无过冷度、无过热度， $t_0 = 2$ 、 $t_k = 40$ 时相对于 R22 为工质的参数见表 2。

在压缩机、冷凝器、蒸发器等主要部件不变时，在相同的外部条件下，因为 R407C 的换热效果较 R22 差，同一台机组实际冷凝压力会比 $t_k = t_d$ 时高，但是比 $t_k = t_b$ 时低。从表中可以看出，由于温度滑移的影响，冷凝压力比 R22 高；单位制冷量约小 10% 左右；COP 值约小 4% ~ 20%。以露点温度 t_d 为冷凝温度时，R407C 机组的各性能参数略低于 R22 机组；以起泡点温度 t_b 为冷凝温度时，R407C 机组的各性能参数最低；以等效平均温度 t_a 为冷凝温度时，各性能参数介于上述两种情况之间。

表2 R407C 与 R22 机组性能参数对比
(以 R22 为工质的机组为 100%)

t_k	等熵效率为 1			等熵效率为 0.65		
	t_d	t_a	t_b	t_d	t_a	t_b
冷凝压力/MPa	1.54	1.64	1.74	1.540	1.64	1.747
单位制冷量/%	92.8	88.9	86.3	92.86	88.9	86.39
单位轴功率/%	95.1	101	106	95.19	101	106.86
COP/%	96.6	87.3	80.8	96.67	87.3	80.83

4 结论

本文用露点、泡点等不同温度作为冷凝温度计算了 R407C 制冷机组的性能。

从以上计算和分析可以看出,由于 R407C 的温度滑移较大,水冷冷凝器受结构和换热效率以及经济性的影响,在计算时一般不宜将露点温度或泡点温度作为冷凝温度。但使用露点或泡点温度,就可以用一个单一的温度确定蒸发压力,方便地把压缩机吸气温度和蒸发温度之差作为过热度。因此计算较为简便,是较好的评估机组性能方法。若使用中点温度,在蒸发压力不变的情况下,蒸发器入口温度和由此确定的蒸发温度是随冷凝压力的变化而变化的。同时,蒸发温度也取决于过冷度,仅仅测量

蒸发压力并不足以确定蒸发温度。显然,蒸发温度和蒸发压力之间缺乏关联会给这种方法增加不少的难度。如果使用等效平均温度,就可以同时克服上述两种方法的缺点,只要蒸发压力和冷凝压力确定了,就可以确定蒸发温度和冷凝温度,不存在计算上的困难,并且由于由它确定的各性能参数都适中,能较好地反映实际工况。因此,在设计冷水机组时,可以以等效平均温度为冷凝温度和蒸发温度设计换热器,并尽量设计成逆流式,这样就可以充分利用 R407C 在温度滑移上的优势,达到提高机组性能的目的。

参考文献:

- [1] 成宏岗.混合工质 R407C 温度滑移的验证[J].制冷, 2001, 20(1)。
- [2] 周海峰,迟经纬.采用管壳式冷凝器的 R407C 制冷剂组性能的分析[J].低温与特气, 2001, 19(2):20~22。
- [3] D.-Y.Lee, Y.Ahn, Y.Kim, Y.-S.Chang. Experimental investigation on the drop-in performance of R407C as a substitute for R22 in a screw chiller with shell-and-tube heat exchangers [J].International Journal of refrigeration, 2002, 25: 575~585。

简 讯

第十届“中国国际船艇及其技术设备展览会”于 2005 年 4 月 8 日至 11 日在上海展览中心举办。此次展会有来自美、法、意、德、英、澳大利亚、新西兰、中国(含中国台湾、香港)等 15 个国家和地区的 240 多家的中外展商参展,其中 40 余家厂商是首次在中国亮相。展会面积 15,000 平方米,比历史上最大规模展会面积的一倍还多,近 70 艘游艇实物在上海展览中心的室内、外展出。参展的法国舰船联盟组织的 32 家企业、澳大利亚游艇协会组织的 15 家企业、意大利船舶行业协会的 7 家企业及新西兰等都以国家展团形式亮相于展会。展会期间同时举办了 2005 年中国国际高性能船学术报告会、第十届中国国际船艇展新产品、新技术介绍会及游艇经贸洽谈会。由英国皇家造船师协会和上海船舶工业协会等联合主办的 2005 年中国国际高性能船学术报告会就高速、高性能船的研究设计及其性能、结构、试验、材料等展开热烈讨论,收到国内外相关专家提交的论文共 32 篇。

