

制冷用蒸发式冷凝器的选型与节能*

张建一¹, 秘文涛^{1,2}

(1. 集美大学机械工程学院, 厦门 361021;

2. 上海水产大学食品学院, 上海 200090)

摘要: 本文阐述了蒸发式冷凝器选型的常用方法及一般步骤。并依据国内、国外推荐的经验数据计算得出, 蒸发式冷凝器的单位排热量耗功分别约为 21.86 W/kW、11.12 W/kW, 前者能耗约为后者能耗的 2 倍。同时本文提出了蒸发式冷凝器选型的能耗核算公式, 并通过实例分析了该公式的应用。研究发现, 选用不同品牌的蒸发式冷凝器, 运行能耗差异很大。本文提出的能耗核算公式, 可以方便地比较不同品牌蒸发式冷凝器的运行能耗, 单位排热量耗功 Φ 值最小者即为运行能耗最小者。

关键字: 蒸发式冷凝器; 选型; 能耗; 公式

Selection of Evaporative Condensers in Refrigerating Plants

Zhang Jianyi¹, Mi Wentao^{1,2}

(1.College of Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2.College of Food Science, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Traditional methods and steps used in the selection of evaporative condensers are introduced. Calculation results based on experimental data from Chinese and US Standards show a great difference in energy consumption. The theoretical energy consumption of evaporative condensers is approximately 21.86 W/kW for the former, but 11.12 W/kW for the latter. A formula to audit the energy consumption of evaporative condensers is proposed, and the application of the formula is tested to practical products. The results indicate that the energy consumptions of different brands of evaporative condensers are quite different. The proposed formula allows operating energy consumptions of evaporative condensers to be compared, with the minimum energy indicated when the value of Φ in the formula is a minimum.

Key words: Evaporative condenser; selection; energy consumption; formula

1 前言

蒸发式冷凝器是一种高效节能的换热设备。由于传热效率高、结构紧凑和安装方便等优点, 目前已经在美国等国家得到广泛的应用。根据作者对美国和加拿大 62 个公用冷库制冷装置的调查^[1]发现, 蒸发式冷凝器的应用约占 81%, 见图 1。

一般情况下, 立式水冷式冷凝器的进出口水温差为 2~3℃, 卧式水冷式为 4~6℃。理论上, 在水冷式冷凝器中, 1kg 的冷却水能带走 8.37~25.12kJ 的热量, 而 1 kg 水在 35℃ 的常压下汽化潜热为 2418kJ/kg。因此, 蒸发式冷凝器所需的理论耗水量仅为水冷式冷凝器的 0.3%~1%。同时它省去了冷却水在冷凝器中显热传递阶段, 使冷凝温度有可能更接近空气的湿球温度, 其冷凝温度可比冷却塔水冷式冷凝器系统低 3~5℃, 比风冷式冷凝器低 8~11℃, 这大大地降低了压缩机功耗。

同时, 由于循环水量的减少, 水泵的动力消耗也明显降低。文献[2]指出蒸发式冷凝器的风机动力消耗, 与水冷式的冷却塔相近。由于降低了水泵的扬程与流量, 泵的动

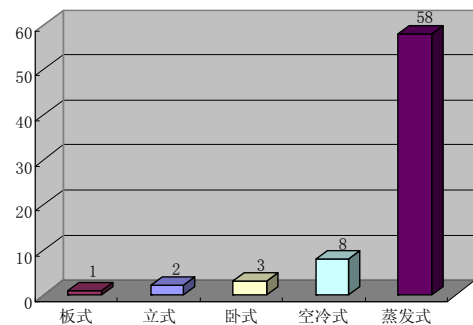


图 1 美国、加拿大 62 个系统冷凝器型式统计

*福建省科学技术厅重点科技项目资助 (2006I0022); 集美大学科研基金资助

力消耗约为冷却塔和管壳式冷凝器相结合的系统的四分之一。文献[3]指出，蒸发式冷凝器相对于立式水冷式冷凝器可节电 80% 以上，相对于卧式水冷式冷凝器可节电 10% 左右。因此，蒸发式冷凝器受到国内外工业制冷用户的普遍青睐。

作者发现，国内外不同品牌蒸发式冷凝器设计依据的标准不同，冷凝器系统的能耗差距较大。本文首先阐述了蒸发式冷凝器选型的方法，然后根据国内外不同的经验数据计算了蒸发式冷凝器的理论能耗。最后，通过典型蒸发式冷凝器产品的电机配置，总结出了蒸发式冷凝器的能耗核算公式。

2 蒸发式冷凝器选型的方法

目前蒸发式冷凝器选型方法主要有两个：一是依据冷凝器的热负荷进行选择；二是依据制冷系统的制冷量进行选择。目前常用的方法主要是依据冷凝器热负荷选型，其步骤为：

- a) 确定系统所需的总排热量，总排热量为压缩机制冷量与电机耗功之和；
- b) 确定设计条件、冷凝温度和湿球温度；
- c) 根据排热系数图表（由冷凝温度和湿球温度确定）查出负荷修正系数；
- d) 系统的总排热量乘以排热系数，确定修正后的排热负荷，选择合适的型号；

本选型方法只适用于活塞式或螺杆式制冷压缩机组成的制冷系统。如果螺杆式制冷压缩机的油冷却器的冷却水是独立的，则上面的总排热量应减去油冷却器的热量，然后再选型。

例如，已知制冷剂为 R717、冷凝温度 35℃、湿球温度 25℃、排热量 586kW，依据表 1、图 2 选择冷凝器型号。

由图 2 查得，在冷凝温度 35℃、湿球温度为 20℃ 的排热系数为 1.3。因此，修正后的排热负荷为 $586 \times 1.3 = 761.8 \text{ kW}$ 。根据表 1，型号 C 的排热量太小。故此选择型号为 D 的蒸发式冷凝器。

表 1 某品牌蒸发式冷凝器型号与排热量

型号	A	B	C	D	E	F	G
排热量(kW)	603	646	711	797	883	991	1077

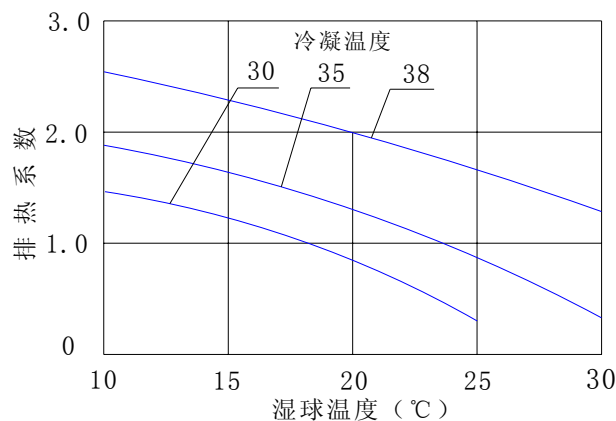


图 2 某品牌蒸发式冷凝器排热系数 (R717)

3 蒸发式冷凝器的理论能耗计算

蒸发式冷凝器系统的能耗主要由风机和循环水泵组成，风机功率可由下式计算：

$$N_f = P_f L_D \quad (1)$$

式中： N_f 单位冷凝负荷的风机功率 (W/kW)

P_f 风机风压 (Pa)

L_D 相应于单位冷凝负荷的风量 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{kW})$

水泵功率可由下式计算：

$$N_s = 9.8 G_w \cdot H_z \quad (2)$$

式中： N_s 单位冷凝负荷的水泵功率 (W/kW)

G_w 相应于单位冷凝负荷的水流量 (kg/s·kW)

H_z 水泵扬程 (m)

文献[4]推荐了美国的蒸发式冷凝器经验数据,国内机械行业标准 JB/T7658.5-95 氨制冷装置用蒸发式冷凝器^[5]也推荐了经验数据。两者的比较见表 2。

表 2 国内外蒸发式冷凝器的经验数据

来源	热负荷 q (kW/m ²)	循环水量 G_w [L/(s·kW)]	风量 L_D [m ³ /(h·kW)]
美国工业制冷手册 ^[4]	4	0.018	108
JB/T7658.5-95 ^[5]	≥1.74	0.032	220

计算中, P_f 均选取中间值312 Pa。考虑到实际安装情况,水泵的扬程设为10m。由公式(1)、(2)可得,国内的蒸发式冷凝器 $N_f=18.72$ W/kW, $N_s=3.14$ W/kW; 美国的蒸发式冷凝器 $N_f=9.36$ W/kW, $N_s=1.76$ W/kW。因此,根据国内、国外推荐的经验数据计算得出,蒸发式冷凝器的能耗分别约为21.86 W/kW、11.12 W/kW, 后者能耗约为前者能耗的51%。

由上分析可知:

(1). 用户在选用蒸发式冷凝器时, 要注意比较其设计依据的标准。依据标准中的单位面积热负荷越大, 冷凝器的传热性能越好; 循环水量和风量越小, 能耗越低。

(2). 国内制定的蒸发式冷凝器标准门槛较低, 产品性能较差, 能耗较高。但是需要指出, 近年来许多国内生产蒸发式冷凝器的厂家为了提高产品的竞争力, 分别制定了较高的企业标准。如上海上枫制冷设备有限公司的企业标准规定冷凝器热负荷为 4 kW/m², 实际的产品高达 5.41 kW/m²。

4 蒸发式冷凝器的能耗核算公式与应用

4.1 能耗核算公式的提出

笔者在对典型产品的技术参数比较分析发现, 不同的蒸发式冷凝器, 其单位排热量能耗有明显的差异。显然, 蒸发式冷凝器的能耗由水泵和风机组成。产品的技术手册上均有水泵、风机的额定功率以及冷凝器的排热量, 据此可以归纳出一个单位排热量的耗功 Φ 的计算公式。

$$\Phi = \frac{\sum P_{\text{水泵}} + \sum P_{\text{风机}}}{\sum Q} \quad (3)$$

式中: $\sum P_{\text{水泵}}$ 冷凝器水泵的总额定功率 (kW)

$\sum P_{\text{风机}}$ 冷凝器风机的总额定功率 (kW)

$\sum Q$ 冷凝器的排热量 (kW)

根据公式 (3), 用户可以根据需要的冷凝负荷, 用 Φ 值的大小来比较不同品牌的单位排热量耗功, 即 Φ 值最小的品牌运行能耗最小。以下按排热量分别为 345 kW、1200 kW 和 2010kW 选用蒸发式冷凝器产品进行实例核算。

4.2 能耗核算公式的应用

目前国内典型的蒸发式冷凝器产品主要有中美合资的上海益美高 ATC 系列、中美合资的大连冰山巴尔的摩 CXV 系列、国内烟台冰轮的 ZNX 系列和上海宝丰的 SPL 型等。用户在选用不同品牌的蒸发式冷凝器时, 不仅要明确产品设计依据的标准, 而且还要进行详细的能耗核算。以下选用上述厂家中三种典型品牌的蒸发式冷凝器 A、B、C, 利用公式 (3) 进行能耗核算。依据各自的技术手册, 可知三种不同排热量的不同品牌蒸发式冷凝器的设备配置, 如表 3 所示。

表 3 三种不同排热量的不同品牌的蒸发式冷凝器设备配置

排热量大小	品牌	风 机		循 环 水 泵		排热量 (kW)
		额定功率 (kW)	风量 (m ³ /s)	额定功率 (kW)	流量 (L/s)	
小型	蒸发式 A	4.0	5.7	0.55	8.5	345
	蒸发式 B	5.5	14.3	1.1	12	345
	蒸发式 C	1.3	5.5	1.2	12.5	350
中型	蒸发式 A	7.5	20.3	2.2	31.6	1198
	蒸发式 B	18.5	36.5	4.0	38.0	1202
	蒸发式 C	3.4×2	18.3	5.8	40.0	1200
大型	蒸发式 A	5.5×2	33.3	4.0	50.5	2012
	蒸发式 B	22-11	66.7	4.0	38.0	2016
	蒸发式 C	6.0×2	30.6	7.9	65.0	2000

由公式 (3) 可得, 不同排热量的三种品牌蒸发式冷凝器单位排热量风机、水泵以及冷凝器系统总耗功统计如表 4。

表 4 三种不同排热量的不同品牌蒸发式冷凝器单位排热量耗功

排热量大小	小型			中型			大型		
	品牌	A	B	C	A	B	C	A	B
风机耗功 Φ_1 (W/kW)	11.60	15.94	3.71	6.26	15.39	5.67	5.47	16.37	6.00
水泵耗功 Φ_2 (W/kW)	1.59	3.19	3.43	1.84	3.33	4.83	1.99	1.98	3.95
总耗功 Φ (W/kW)	13.19	19.13	7.14	8.10	18.72	10.50	7.46	18.35	9.95
$\Phi_{A,B,C}/(\Phi_{A,B,C})_{\min}$	1.85	2.68	1	1	2.31	1.30	1	2.46	1.33

假设在同一排热量下, 不同品牌蒸发式冷凝器的产品价位基本相同。由表 4 可得, 如果要选用排热量约为 345 kW 的小型蒸发式冷凝器, 应选用蒸发式 C; 蒸发式 A、B 的单位排热量耗功约为蒸发式 C 的 1.85 倍、2.68 倍。如果要选用排热量约为 1200 kW 的中型蒸发式冷凝器, 应选用蒸发式 A; 蒸发式 B、C 的单位排热量耗功约为蒸发式 A 的 2.31 倍、1.30 倍。如果要选用排热量约为 2010 kW 的大型蒸发式冷凝器, 应选用蒸发式 A; 蒸发式 B、C 的单位排热量耗功约为蒸发式 A 的 2.46 倍、1.33 倍。

上述计算分析表明, 不同品牌蒸发式冷凝器的运行能耗差异很大, 最大可达 2.68 倍。根据公式 (3) 可以方便地对不同品牌的蒸发式冷凝器能耗进行核算, 保证选用的蒸发式冷凝器是最节能的。实际产品中, 国内外不同品牌蒸发式冷凝器价格存在一定的差距, 用户往往对一次投资比较重视。因此, 选型时必须特别注意, 不能只考虑一次投资, 应该高度重视运行能耗的差异, 结合运行能耗费用进行全面分析比较。

4.3 不同品牌蒸发式冷凝器的风机和水泵的能耗讨论

由表 4 可以得出, 不同排热量的不同品牌蒸发式冷凝器的风机和水泵的平均耗功分别约为 9.60 W/kW、2.68 W/kW, 水泵的平均耗功约为风机的 28%。由文献[4]可知, 冷凝器的传热系数 K 与喷淋水量及空气的流量关系如下:

$$K=cG^{0.48}L^{0.22} \quad (4)$$

式中, K 为冷凝器的传热系数; c 为常数; L 为喷淋水量; G 为空气流量。由公式 (4) 可知, 由于空气流量 G 的指数约为喷淋水量 L 指数的 2 倍, 故为了提高蒸发式冷凝器的传热系数, 一般采用增大风机的风量, 而不是去增大水泵的流量。因此, 蒸发式冷凝器中风机的能耗占主导。

需要指出的是, 不同品牌的蒸发式冷凝器的水泵及风机能耗不同的一个主要原因, 是由于蒸发式冷凝器的能耗与喷淋水形式、蛇形盘管的排列形式及其截面形式有密切的关系。不同的产品设计形式

会造成不同的水泵及风机能耗。

5 结论

(1). 用户在选用蒸发式冷凝器时, 要注意比较其设计依据的标准。依据标准中的单位面积热负荷越大, 冷凝器的传热性能越好; 循环水量和风量越小, 能耗越低。

(2). 产品选型中, 选用不同品牌的蒸发式冷凝器, 运行能耗差异很大。例如, 对于排热量约为 345 kW 的小型蒸发式冷凝器, 品牌 B 的单位排热量能耗约为品牌 C 的 2.68 倍; 对于排热量约为 2010 kW 的大型蒸发式冷凝器, 品牌 B 的单位排热量能耗约为品牌 A 的 2.46 倍。因此, 选型时应该对不同品牌的蒸发式冷凝器进行能耗核算, 以便找出最节能的产品。

(3). 本文提出的能耗核算公式 (3), 可以方便地比较不同品牌蒸发式冷凝器的运行能耗。单位排热量耗功 Φ 值最小者即为运行能耗最小的品牌。

参考文献

- [1] J. Zhang, E.A. Groll. Survey of the Design of Refrigeration Plants for Public Refrigerated Warehouses[J]. ASHRAE Transactions, 2005, 111:327-332.
- [2] 张建一, 李莉. 制冷空调装置节能原理与技术[M]. 机械工业出版社, 2007.
- [3] 庄友明. 蒸发式冷凝器和水冷式冷凝器的能耗比较及经济性分析[J]. 制冷, 2001, 20(1): 65-69.
- [4] Wilbert F. Stoecker. Industrial Refrigeration Handbook[M]. New York: McGraw-Hill, 1998.
- [5] 机械工业部冷冻设备标准化技术委员会. 制冷空调技术标准应用手册[M]. 机械工业出版社, 1997.

作者简介:

张建一, 男, 1953 出生, 集美大学教授/院长

通信地址:

福建省厦门集美区石鼓路 9 号, 集美大学机械工程学院

邮政编码: 361021

联系电话/传真: 0592-6183503, 13600932479

电子邮箱: jyzhang@jmu.edu.cn