

The Best Condensing Temperature of Vapor Compression Refrigeration Cycle

Shan Ke*, Jianxin Yuan, Jia He

School of Architecture and Engineering, Xinjiang University, Urumchi Xinjiang
Email: *yuanjianxin65@126.com

Received: Dec. 7th, 2016; accepted: Dec. 23rd, 2016; published: Dec. 28th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

When the condensing temperature decreases, the refrigeration coefficient of refrigerator increases, which is the conclusion of the thermal-technical analysis on the refrigerator. The condensing temperature decreases with the decreasing of the natural environment temperature, while the natural environment temperature varies along with the seasonal variation and day-night variation. Therefore, many consider that the drop of environment temperature would inevitably increase the refrigeration coefficient of the refrigerator. However, hands-on experience proves that when the environment temperature causes the decrease of condensing temperature, in the early stages, the refrigeration coefficient of the refrigerator will increase continually. But after the condensing temperature drops to a certain degree, the refrigeration effect of the refrigerator will decrease instead. It is thus clear that there exists the best condensing temperature of refrigerator. This paper conducts theoretical analysis aimed at this phenomenon and calculates the best condensing temperature value of the vapor compression refrigeration cycle on the basis of R22 single stage compression basic theory.

Keywords

The Best Condensing Temperature, Vapor Compression Refrigeration Cycle

蒸气压缩式制冷循环的最佳冷凝温度

柯山*, 袁建新, 何佳

新疆大学建筑工程学院, 新疆 乌鲁木齐

*通讯作者。

摘 要

冷凝温度降低则制冷机制冷系数提高, 这是制冷机热工分析的结论。冷凝温度随自然环境温度降低而降低, 自然环境温度又随季节、昼夜变化而变化, 因此, 多数认为, 环境温度下降必然使制冷机制冷系数提高。然而, 实践中发现, 当环境温度引起冷凝温度下降时, 开始阶段, 制冷机的制冷系数不断提高, 但冷凝温度下降到一定程度后, 制冷机的制冷效果却开始下降, 可见, 制冷机存在着最佳冷凝温度。本文就这一现象进行了理论分析, 并计算出了R22单级蒸气压缩基本理论制冷循环的最佳冷凝温度值。

关键词

最佳冷凝温度, 蒸气压缩制冷循环

1. 引言

制冷机是一种能够实现温度低于自然环境温度的人工环境的机械装置, 主要是由压缩机、冷凝器、节流阀、蒸发器等设备组成, 制冷机中各设备容量大小都是在设计工况下确定的, 设计工况是保证制冷机在其需要运行时段内可能出现最不利自然条件和最大冷负荷时都能正常工作的工况, 制冷机只要运行在设计工况下, 就能够充分利用其各设备的最大容量。但是, 受自然环境温度变化(如冬夏温差、昼夜温差等)和用户用冷情况变化(如储存食品的种类、进出货的方式等)的影响, 制冷机实际运行工况往往与设计工况不符。制冷机偏离设计工况运行, 大都是因为自然环境温度降低导致冷凝温度下降引起的。

关于冷凝温度变化对制冷机性能影响的研究, 国内外已做了很多, 热工教材也早已定论, 主要结论是: 当蒸发温度不变时, 随着冷凝温度的升高, 压缩机吸气比容不变, 单位质量制冷能力减小, 故单位容积制冷能力也减少, 而单位质量消耗的功则增大, 因此, 制冷系统的制冷系数降低, 制冷机制冷能力变差; 反之, 随着冷凝温度的降低, 压缩机吸气比容不变, 单位质量制冷能力增大, 故单位容积制冷能力也增大, 而单位质量消耗的功则减小, 因此, 制冷系统的制冷系数升高, 制冷机制冷能力改善。

本人是新疆大学建筑工程学院大四本科生, 今年 9 月份在乌鲁木齐市一家宾馆的空调机房实习。实习期间, 我天天记录着室外气温和制冷机的蒸发温度、冷凝温度, 蒸发温度基本不变, 但由于室外气温的快速下降导致冷凝温度出现明显下降, 按照热工理论, 制冷机制冷能力应该提高很多, 但实际却不是这样。经过观察发现, 冷凝温度在 25℃以上时, 制冷机制冷效果随着冷凝温度下降而提高, 符合热工理论; 冷凝温度在 25℃以下时, 制冷机制冷效果却随着冷凝温度下降而恶化, 背离热工理论。对此, 笔者产生了好奇, 并借该文以“蒸气压缩式制冷循环的最佳冷凝温度”为题阐述了自己的观点, 想与同行们共同探讨。

2. 热力计算

为了分析方便, 本文以氟利昂 22(R22)单级蒸气压缩理论基本制冷循环(如图 1 所示)为例, 并设定蒸发温度为 5℃, 冷凝器、蒸发器的传热温差均为 5℃, 在其它条件不变时, 将冷凝温度从 46℃逐渐降低至 22℃, 分别计算各自的理论制冷系数、理想制冷系数、热力完善度, 最后, 用图线形式显示出这些参数随冷凝温度变化而变化的规律, 从而找出“最佳冷凝温度”。计算中所用参数值均从文献[1]中查得。

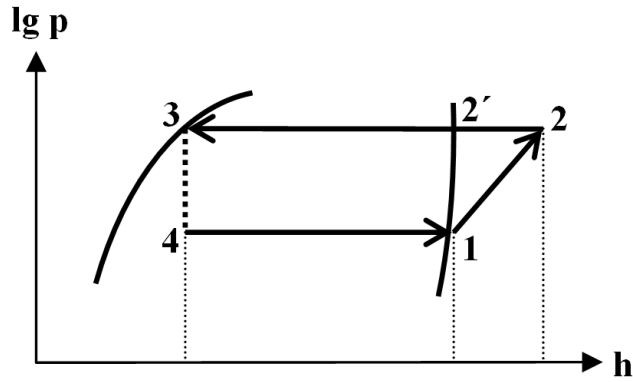


Figure 1. Pressure-enthalpy diagram of refrigeration basic theory cycle

图 1. 制冷基本理论循环压焓图

2.1. 计算内容

单位质量制冷量为

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad \text{kJ/kg} \quad (1)$$

式中, h_1 ——蒸发器出口处制冷剂的比焓, kJ/kg ;

h_4 ——蒸发器入口处制冷剂的比焓, kJ/kg 。

单位质量耗功量为

$$w_c = h_2 - h_1 \quad \text{kJ/kg} \quad (2)$$

式中, h_2 ——压缩机出口处制冷剂的比焓, kJ/kg ;

h_1 ——压缩机入口处制冷剂的比焓, kJ/kg 。

制冷系数为

$$\varepsilon_{th} = \frac{q_0}{w_c} \quad (3)$$

式中, q_0 ——单位质量制冷量, kJ/kg ; w_c ——单位质量耗功量, kJ/kg 。

理想制冷系数为

$$\varepsilon_c = \frac{t_0 + 5 + 273.15}{(t_k - 5) - (t_0 + 5)} \quad (4)$$

式中, t_0 ——蒸发温度, $^{\circ}\text{C}$; t_k ——冷凝温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

热力完善度为

$$\eta = \frac{\varepsilon_{th}}{\varepsilon_c} \quad (5)$$

式中, ε_{th} ——理论制冷系数; ε_c ——理想制冷系数。

2.2. 计算结果

计算结果见表 1。

2.3. 理论制冷系数随冷凝温度变化而变化的规律

根据表 1 计算结果, 可以绘出图 2 所示的理论制冷系数随冷凝温度变化而变化的规律曲线图。从图

Table 1. Calculation result of optimal condensing temperature of vapor compression refrigeration cycle
表 1. “蒸气压缩制冷循环最佳冷凝温度” 计算结果

序号	蒸发温度/℃	压缩机 入口比焓 kJ/kg	冷凝温度/℃	压缩机 出口比焓 kJ/kg	蒸发器 进口比焓 kJ/kg	单位 耗功量 kJ/kg	单位制 冷量 kJ/kg	制冷系数	相应理想 制冷系数	热力 完善度
1	5	406.85	46	437.00	257.73	30.15	149.12	4.95	9.13	0.54
2			44	434.00	255.01	27.15	151.84	5.59	9.76	0.57
3			42	432.00	252.32	25.15	154.53	6.14	10.49	0.59
4			40	430.00	249.65	23.15	157.2	6.79	11.33	0.60
5			38	428.00	247.00	21.15	159.85	7.56	12.31	0.61
6			36	426.00	244.38	19.15	162.47	8.48	13.48	0.63
7			34	424.00	241.77	17.15	165.08	9.63	14.90	0.65
8			32	422.00	239.19	15.15	167.66	11.07	16.66	0.66
9			30	420.00	236.62	13.15	170.23	12.95	18.88	0.69
10			28	418.00	234.08	11.15	172.77	15.50	21.78	0.71
11			26	416.00	231.55	9.15	175.3	19.16	25.74	0.74
12			24	415.00	229.04	8.15	177.81	21.82	31.46	0.69
13			22	414.00	226.54	7.15	180.31	25.22	40.45	0.62

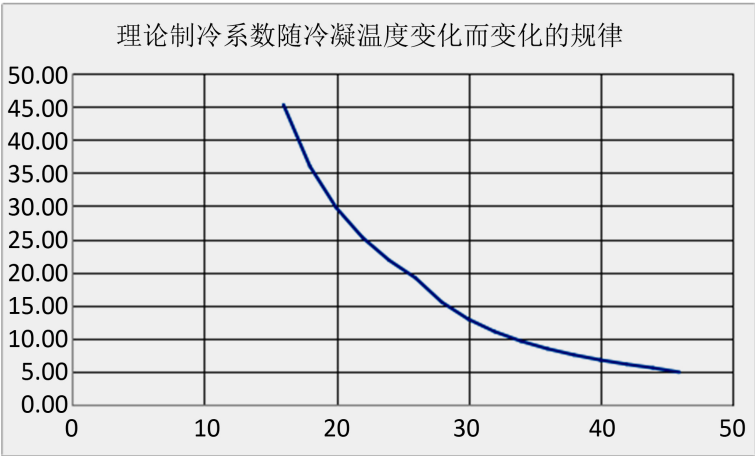


Figure 2. Curve diagram of the theoretical refrigeration coefficient changed with the varying condensing temperature
图 2. 理论制冷系数随冷凝温度变化而变化的曲线图

中看出，理论制冷系数随冷凝温度降低，逐渐升高，升高速率缓慢提高。

2.4. 理想制冷系数随冷凝温度变化而变化的规律

根据表 1 计算结果，可以绘出图 3 所示的理想制冷系数随冷凝温度变化而变化的规律曲线图。从图中看出，理想制冷系数随冷凝温度降低，先是缓慢升高，升到 50 左右，开始快速升高，相应的冷凝温度约为 20℃。

2.5. 热力完善度随冷凝温度变化而变化的规律

根据表 1 计算结果，可以绘出图 4 所示的理想制冷系数随冷凝温度变化而变化的规律曲线图。从图

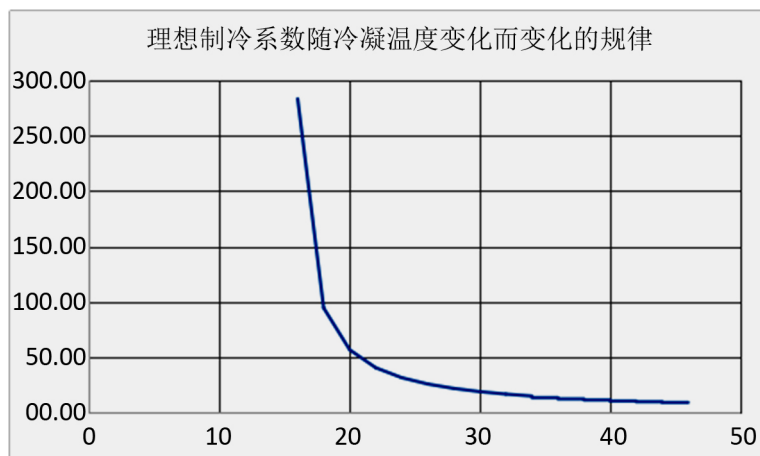


Figure 3. Curve diagram of the ideal refrigeration coefficient changed with the varying condensing temperature

图 3. 理想制冷系数随冷凝温度变化而变化的曲线图

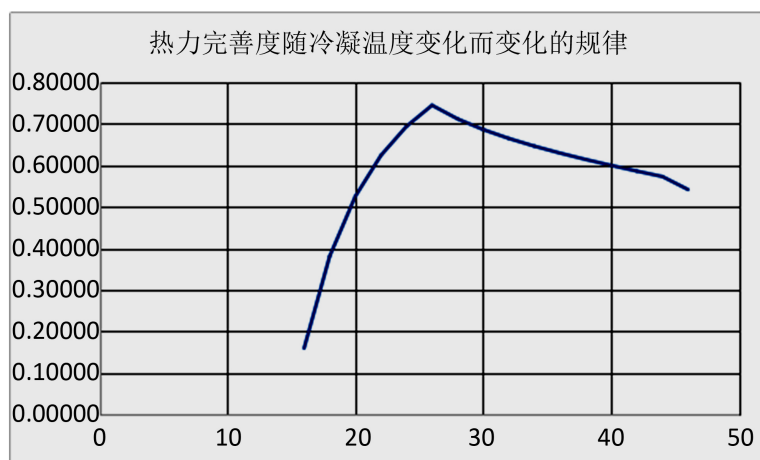


Figure 4. Curve diagram of thermodynamical perfectness changed with the varying condensing temperature

图 4. 热力完善度随冷凝温度变化而变化的曲线图

中看出，热力完善度随冷凝温度降低，先是缓慢升高，后是快速下降，存在最大值，约为 0.53；相应的冷凝温度约为 26°C，即前言所述的“最佳冷凝温度”。

3. 原因分析

热工理论告诉我们，判断热工机械运行效果优劣，最根本的是看热力完善度是否得到提高，热力完善度是制冷系统制冷系数除以相应理想制冷系数的比值，其大小同时取决于制冷系统制冷系数和相应理想制冷系数的大小。理想制冷系数是冷用户热力学温度除以自然环境温度与冷用户温度之差所得的商值，在冷用户温度不变时，随着自然环境温度下降而不断提高。因此，在其它条件不变时，随着自然环境温度降低导致冷凝温度降低，制冷系数虽然不断提高，但相应的理想制冷系数也在不断提高，这样，制冷系统热力完善度如何变化就不一定了，就是说，还无法断定制冷系统性能是否得到改善。那么，出现“最佳冷凝温度”的原因是什么呢？笔者认为原因是：在其它条件不变时，随冷凝温度下降，制冷系数不断提高，而节流阀制冷剂流量却在不断减少，使得制冷量不断减少，“最佳冷凝温度”的出现就是它们综合作用的结果。

制冷剂质量流量是由节流阀决定的，节流阀的制冷剂质量流量为

$$M_r = C_D \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2(p_{vi} - p_{vo})}{v_{vi}}} \text{ kg/s} \quad (6)$$

式中， A_v ——节流阀的通道截面积， m^2 ；

p_{vi} ——节流阀进口压力(约等于冷凝压力)， Pa ；

p_{vo} ——节流阀出口压力(约等于蒸发压力)， Pa ；

v_{vi} ——节流阀进口制冷剂比容， m^3/kg ；

C_D ——节流阀的流量系数， $C_D = 0.02005\sqrt{\rho_{vi}} + 6.34v_{vo}$ ，其数值大小由节流阀进、出口制冷剂状态决定。

对于已投入运行的制冷机来说，其节流阀的通道截面积 A_v 已固定，当其它条件不变时，随着冷凝温度的降低，节流阀进口制冷剂的密度 ρ_{vi} 增大，节流阀出口制冷剂的比容减小，节流阀的流量系数 C_D 基本不变；节流阀进口压力 p_{vi} 降低；节流阀出口压力 p_{vo} 不变，节流阀进口制冷剂的比容 v_{vi} 减小，制冷剂质量流量 M_r 必然减小。

实际制冷机运行的目的首先是保证冷用户用冷需求，然后才是追求高制冷系数。在设计工况的基础上，其它条件不变时，降低冷凝温度可以提高制冷机的性能系数，但过度降低冷凝温度时，制冷剂进、出节流阀的压力差必然减小，导致节流阀容量减小，且易出现阀前液体气化，供液能力不足，蒸发器缺液，制冷机制冷量大幅度下降，无法保证冷用户的要求；除此之外，对于电力驱动的蒸汽压缩式制冷机，冷凝温度不能过低的一个更重要原因是，过低压比下压缩机无法正常供油。因此，一味地降低冷凝温度并不是好事，实际运行时必须采取措施，有效地控制冷凝温度的变化。

中华人民共和国国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012 规定：冷却水进口最低温度应按制冷机组的要求确定，电动压缩式冷水机组不宜小于 15.5°C ，溴化锂吸收式冷水机组不宜小于 24°C ；全年运行的冷却水系统，宜对冷却水的供水温度采取调节措施。这一规定表明，冷却水进口温度过低，导致冷凝温度过低，对制冷机是不利的；但还未提到最佳冷凝温度的问题。本文提出“最佳冷凝温度”概念，应该是一种创新。

通过前面分析看出，在其它条件不变时，随着冷凝温度降低，制冷系数不断提高，但相应热力完善度先提高、后降低，存在最大值。笔者将最大热力完善度对应的冷凝温度称为“最佳冷凝温度”。R22 蒸汽压缩理论基本制冷循环热力完善度的最大值出现在冷凝温度 32°C 左右。注意，实际蒸汽压缩式制冷机最佳冷凝温度与本文所得值存在差异，还需广大同仁继续努力探寻；另外，不同制冷剂的制冷机也有着各自不同的最佳冷凝温度。

4. 结论

综上所述，冷凝温度降低有好的一面、也有差的一面，要想充分发挥其好的一面、同时又避免其负面影响，就必须找出“最佳冷凝温度”。所谓“最佳冷凝温度”就是在其它条件不变时，制冷机在保证用户用冷的基础上使热力完善度达到最大值时的冷凝温度。注意，不同冷用户(蒸发温度不同、或用冷量不同)有着各自的最佳冷凝温度。找出蒸汽压缩式制冷机各种实际运行工况的最佳冷凝温度是一项辛苦的工作，需要制冷同行们一起努力。

基金项目

新疆大学大学生创新实验项目(201610755112)。

参考文献 (References)

- [1] 彦启森, 石文星, 田长青. 空气调节用制冷技术(第四版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: iae@hanspub.org