

节能冰箱及其冷凝器设计*

邵秀丽¹, 赵小月², 王世峰², 张德海³

(1. 河南新飞电器有限公司, 河南 新乡 453002; 2. 新乡工神锅炉有限公司, 河南 新乡 453002;
3. 郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 针对冰箱行业大力推广节能冰箱, 系统介绍了常用的节能方法。以冷凝器结构设计和箱体冷藏室、冷冻室防凝露设计为例, 分析存在的关键问题, 进行了理论上的计算。该研究为相关行业进行节能设计提供了参考依据。

关键词: 冰箱; 节能; 冷凝器

中图分类号: TK124; TK172

文献标志码: A

文章编号: 1007-4414(2013)04-0141-03

Study on Condenser Design of Energy-saving Refrigerator

SHAO Xiu-li¹, ZHAO Xiao-yue², WANG Shi-feng², ZHANG De-hai³

(1. Henan Xinfai Electrical Co., Ltd., Xinxiang Henan 453002, China;
2. Xinxiang Gongsheng Boiler Co., Ltd., Xinxiang Henan 453002, China; 3. Zhengzhou University of Light Industry, Mechanical and Electrical Engineering Institute, Zhengzhou Henan, 450002, China)

Abstract: Facing to promoting energy-saving refrigerator in the refrigerator industry, the commonly energy saving methods are systematic studied. The key problems exposed in the structure design of condenser, preventing ingcondensation design of freezer and refrigerator are analyzed, and the theoretical calculation are conducted. The related industries for designing of energy saving are provided with reference by means of this paper.

Key words: refrigerator; energy-saving; condenser

1 前言

近年来, 全球“油荒”、“电荒”问题日益严重, 美、欧等发达国家对家电能耗要求也越加严格, 不仅在全球范围内积极扩大能源产地, 而且利用能耗标准作为衡量手段来制约包括中国在内的国家出口产品; 在国内市场, 冰箱节能已成为制冷装备产业的一个新的卖点和竞争点, 冰箱是否节能及其节能等级的高低直接关系到产品销售的市场占有量。

1994年欧盟规定电冰箱(柜)上必须加贴能耗标签才能销售。2001年已有37个国家和地区实施了能源效率新标准, 如欧洲的节能计划、美国能源部、环保署发起的能源之星计划等。这些标准的实施有效地推动了冰箱节能的进程。我国冰箱生产在2003年全面实施强制性节能标准, 在市场上销售的电冰箱都必须贴上“能效标识”标签。通过政府的行政措施使我国冰箱行业继续高走节能主义道路。

节能是冰箱业永恒的主题。家电下乡产品要节能冰箱, 城镇居民购买冰箱不再仅仅看重价格, 满足消费者需求才是决定是否购买冰箱的单一因素, 从低价恶性竞争回归到良性竞争, 是未来家电市场洗牌和

进一步健康发展的良好途径。节能技术的研究日益成为国内冰箱行业的研究热点^[1]。

2 常用节能方法

目前国内冰箱生产厂家普遍采用的节能方法主要有以下几种。

2.1 减少冰箱保护壳体漏热

冰箱壳体一般指冰箱箱体和门体^[2], 能够储存食物的空间容积。

减少漏热的方法主要有: ①增加箱体和门体的发泡层厚度; ②使用高性能微孔发泡技术, 提高发泡性能; ③在箱体和门体内部增加真空VIP绝热材料板; ④在箱体和门体内壳上粘贴铝箔胶带、牛皮胶带等物质, 降低隔热层的传热系数。

箱体与门体发泡层厚度的设计是直接影响冰箱节能。发泡层厚度的增加和冰箱能耗等级的升高呈反比关系, 箱体发泡层厚度设计原理和门体一样。一般来讲, 发泡层厚度增加, 冰箱能耗等级降低, 发泡层厚度增加到一定数值后, 其节能效果已不明显; 随着发泡层厚度的进一步增加, 耗费的发泡层增加使材料成本增加、冰箱室内的有效容积反而下降。所以, 在

* 收稿日期: 2013-06-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21206152); 郑州市科技攻关项目(10PTGG339-8); 郑州轻工业学院博士科研基金资助项目; 郑州轻工业学院一般项目科研基金(2012XJJ012)

作者简介: 邵秀丽(1971-)女, 河南新乡人, 工程师, 主要从事冰箱制造工艺设计方面的工作。

通讯作者: 张德海(1973-)男, 河南新乡人, 博士, 副教授, 高级工程师, 主要从事机电工程方面的教学工作。

产品开发时,需要统筹考虑冰箱能耗等级、生产成本和实际容积等,以选择最优化的发泡层厚度。

2.2 改进冰箱结构设计

改进门封结构设计,比如增加门封气囊数、减低门封条闭合高度,采用一体门发泡技术和双门封、使用强力磁条等。

改进蒸发器、冷凝器的制冷性能,增大能效比,如增加蒸发器面积,换用热传感更好的材料等。

2.3 使用高效压缩机

最直接的节能手段是提高压缩机的能效比。目前市场上最高效的压缩机 COP 值可达到 2.1 左右。

选择压缩机主要根据压缩机的排气量、输入功率及运行时的制冷量来确定,即冰箱制冷系统对压缩抽的性能要求。将设计工况(冷凝温度、蒸发温度)代入压缩机性能曲线,在压缩机排气量、制冷量符合要求的前提下,选用轴功率最小且满足性能要求的压机型号。

影响冰箱能耗等级的主要因素是压缩机的能效比 COP,任何 1 台节能冰箱的使用,都配备了 1 台高效压缩机。根据高效压缩机 COP 数值的大小,一般可以分为两种:一种是 COP 值为 1.3~1.5,主要由国内生产,价格较低,大量使用在普通节能冰箱上;第二种 COP 值为 1.6~1.8,主要由国内合资公司生产或直接进口,价格较高,仅应用在超级节能冰箱上。

近年来变频节能技术开始使用在压缩机上。国内冰箱行业从 1999 年开始应用变频技术,冰箱四大家族海尔、容声、新飞、美菱等多家企业的变频冰箱均有生产,与传统转速为 3 000 r/min 的压缩机相比较,变频压缩机具有低噪音、高速制冷能力、软启动、高效率等优点,转速范围可调从 1 800~4 300 r/min。实验室测试数据显示采用变频技术的冰箱与相同的普通冰箱相比可以提高能耗等级^[3]。

2.4 优化制冷系统

笔者对制冷系统的优化设计对象仅限于冷凝器。通过系统的整体匹配,计算出最佳的毛细管内径和长度、冷凝器换热面积、蒸发器的换热面积以及制冷剂充注量等。

冰箱常用的丝管冷凝器图 1 所示。在丝管式冷凝器中,制冷剂均在管内自上而下逐渐冷凝,为便于制冷剂液体的顺畅流出,在制造冷凝器时,蛇管中每一水平方向的传热管均匀地将制冷剂的排出端向下稍倾斜一定角度。在相同传热温差条件下,丝管式冷凝器的空气侧表面传热系数较内藏式冷凝器的空气侧表面传热系数约高 30%。

此外,还有很多技术难度较大的节能方法逐渐被运用,比如利用冷藏-冷冻多循环制冷系统设计、单

冷藏制冷技术、三通节流阀非线性变频技术等。

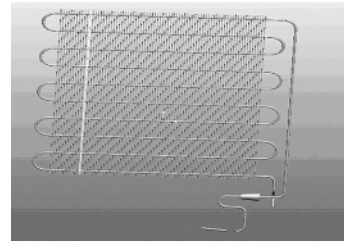


图 1 丝管冷凝器

3 节能冰箱冷凝器的设计

3.1 丝管式冷凝器设计中的几个关键问题

(1) 结构用管型式、参数、排列 丝管式冷凝器冷凝管采用复合钢管(钢管外镀铜或锌,俗称邦迪管),钢管外径 $d_b = 4.5 \sim 7 \text{ mm}$,钢丝直径 $d_w = 1.2 \sim 2.0 \text{ mm}$,钢丝间距 $s_w = 5 \sim 7 \text{ mm}$,蛇管管节距 $s_b = 35 \sim 50 \text{ mm}$,且 $s_w/d_w = 4.0 \sim 4.2$, $s_b/d_b = 9.1 \sim 9.4$ 。

(2) 必须考虑自然对流换热及辐射换热 在产品设计及实际使用环境下,自然对流换热系数数值不大,因此辐射换热必须考虑。同时,由于管内制冷剂的凝结换热系数数值要比大气侧换热系数大很多,因此,冷凝器的换热热阻主要是外侧壁面与空气之间的换热热阻,在计算中,仅计算大气侧的换热系数而不计算管内制冷剂侧的换热系数是合理的。

(3) 制冷剂过热蒸汽温度对空气侧换热强度的影响 系统设计中制冷剂蒸汽进入冷凝器时状态为过热蒸汽,而大气侧自然对流换热强度及辐射换热强度都和传热温差有密切关系;因此,冷凝器中制冷剂换热的初始阶段称为过热段,其传热温差比后一阶段称为饱和段。在计算冷凝器时,要根据过热段及饱和段的传热温差分别计算各自的换热系数。

(4) 大气与壁面之间的自然对流换热关系 冰箱丝管式冷凝器空气侧自然对流换热系数计算的关系式并不多见,下列关系式用于丝管式冷凝器自然对流换热系数计算具有普遍意义,

$$a_{of} = 0.94 \frac{\lambda_f}{d_e} \left[\frac{(s_b - d_b)(s_w - d_w)}{(s_b - d_b)^2 + (s_w - d_w)^2} \right]^{0.155} \times (P_{rf} G_r f)^{0.26} \quad (\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (1)$$

式中: λ_f 为空气导热系数, $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$; d_b 为管外径, m ; s_b 为蛇管上下相邻管中心距, m ; d_w 为钢丝外径, m ; s_w 为钢丝节距, m ; P_{rf} 为空气的普朗特准数; $G_r f$ 为空气的葛拉晓夫准数。

3.2 丝管冷凝器的计算

冷凝器过热段和饱和段的传热温度需要分别进行计算,步骤如下:

(1) 确定冷凝器过热段的传热温差。

(2) 确定冷凝器的饱和段传热温差。

考虑制冷系统效率时,管壁温度与空气温度之差可定义为传热温差,为方便工程应用,计算时忽略管壁热阻,则管内制冷剂的温度与空气温度之差就可定义为传热温差。而在冷凝器过热段,制冷剂蒸汽进口温度较高,在换热过程中由于交换热量导致温度逐渐下降至冷凝压力下的饱和蒸汽温度即冷凝温度。因此过热段的传热温差取为对数平均温差比较合理。饱和段传热温差:冷凝器出口处的制冷剂一般尚未达到过冷状态,即出口制冷剂温度仍为冷凝温度,饱和段管内制冷剂温度不变,得出饱和段的传热温差。

(3) 分别计算过热段和饱和段自然对流换热系数及辐射换热系数。

(4) 计算冷凝器各管段的传热面积。

(5) 确定冷凝器整体尺寸。

4 节能冰箱箱体防凝露设计

节能冰箱因为发泡层厚度增加很多,需要进行防凝露设计。校核计算首先计算出箱体表面温度。如果箱体外表面温度 t_w 低于露点温度,则会在箱表面上发生凝露现象,因此箱体表面温度 t_w 必须高于露点温度 t_d ,最低限度 $t_w > 0.2\text{ }^\circ\text{C} + t_d$ 。

达到稳定传热状态后的表面温度 t_w 可以由下式计算:

$$t_w = t_1 - \frac{k}{\alpha_1}(t_1 - t_2) \quad (2)$$

式中: t_w 为箱体外表面温度, $^\circ\text{C}$; t_1 为箱外空气温度, $^\circ\text{C}$; t_2 为箱内空气温度, $^\circ\text{C}$; α_1 为箱外空气对箱体外表面的表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; k 为传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

箱体外表面凝露校核分冷冻室和冷藏室进行。

4.1 冷冻室凝露校核

冷冻室绝热层厚度最薄处在压缩机室和门侧,由于压缩机散热导致压缩机室内温度高于环境温度一般不会出现凝露,因此,凝露校核计算时选取厚度最小的门侧。

凝露校核依据式(2),因此先要确定相关参数:环境温度 t_1 为 $32\text{ }^\circ\text{C}$,箱内空气温度 t_2 为 $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 。

当室内风速为 $0.1 \sim 0.15\text{ m/s}$ 时, α_1 可取 $3.5 \sim 11.6\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;箱内空气为自然对流(直冷式)时, α_2 可取 $0.6 \sim 1.2\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;双门双温间冷式电冰箱,由于箱内风速较大,其 α_2 可取 $17 \sim 23\text{ W}/$

$(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。这里选取室内 $\alpha_2 = 0.8\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,隔热层绝热系数 $0.02\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,室外对流换热系数 α_1 取 $11\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,则:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = 0.26\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (3)$$

则外表面温度: $t_w =$

$$t_1 - \frac{k}{\alpha_1}(t_1 - t_2) = 32 - \frac{0.26}{11} \times (32 + 18) = 30.8\text{ }^\circ\text{C} \quad (4)$$

运算结果高于国家标准 GB8059.1 规定的凝露温度。

4.2 冷藏室凝露校核

冷藏室最薄的地方仍然是门侧,因此,计算方法同冷冻室,可计算出外表面温度:

$$t_w = t_1 - \frac{k}{\alpha_1}(t_1 - t_2) = 32 - \frac{0.26}{11} \times (32 - 5) = 31.4\text{ }^\circ\text{C} \quad (5)$$

运算结果同样高于国家标准规定的凝露温度。

实际上,发泡层厚度的选择还与发泡剂性能有关,发泡剂的导热系数越低,保温效果越好,所需发泡层越薄。当前市场上有部分发泡层非常薄的节能冰箱销售,这类冰箱都采用了一种新型材料真空绝热板(VIP板)。该材料利用板内真空环境消除了空气对流和热传导,其导热系数极低,只有 $2 \sim 5\text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$,大约是普通发泡剂的 $1/10 \sim 1/4$ 。因此,采用VIP板的冰箱,在大大减薄发泡层厚度的条件下依然能够实现节能。

5 结论

对节能冰箱的常用节能方法进行了详细的总结,对在冰箱制冷中的重要零件冷凝器进行了分析、设计和传热计算,对箱体的冷藏室、冷冻室发泡层厚度进行了防凝露设计和计算,为相关行业进行节能设计提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 李艳芹,张德海.一种节能低噪卧式冷柜的设计[J].家电科技,2008(3):58-59.
- [2] 赵小月,张德海,刘慧静.某冰箱门体端部翘曲的有限元分析及改进设计[J].机械研究与应用,2011(5):78-79.
- [3] 李成武.变频压缩机对冰箱节能的影响[J].家电科技,2010(9):78-80.