

新型间冷式冰箱的无霜系统

上菱电冰箱总厂 周智莉 成正荣

以上菱 BCD-216W 冰箱为例,介绍了无霜系统的机械结构及化霜电路的设计、工艺要点。

80年代的新型间冷式冰箱在设计、工艺和配套等方面较前有了很大的改进,例如,以旋转式压缩机代替往复式压缩机,以内藏式冷凝器的部分管道用作门防露防冻装置,以石英管加热器取代分布式电热管化霜方式以及采用了合理的风道系统等。作为间冷式冰箱核心部分的无霜系统,通常包括冷风循环和调节系统、自动化霜系统、自动排水处理系统三部分。

1. 无霜系统的机械结构及参数

无霜系统的机械部分包括冷风循环与调节系统和排水系统。主要包括蒸发器、风扇、中隔风道、风门以及属于排水系统的集水槽、排水管和蒸发器等。图1为双门冰箱的无霜系统图。其冷冻室52升,四星;冷藏室164升,0~10℃。冷风循环路线如图2。控制压缩机开停的温控器置于冷冻室上方,其温包感受该室顶部的温度变化。风扇吹出的冷风一路入冷冻室,另一路沿内胆后侧风道向下经由档板式

风门(自动感温而调节开口大小)送往冷藏室(包括冰温室)。上下两室的回风分别经风道栅板或中隔风道流回蒸发器入口端。该方式就是双温控调节系统。这种间冷式系统,由于蒸发器温度比冷冻室温度低几度,故冷冻室中几乎不结霜,霜层全部集结于蒸发器上。

如图2所示的多门冰箱的无霜系统与图1较相似,只是调控复杂些。④⑤风门分别控制R室和C(冰温)室的温度。蔬菜室外侧的冷风由送往C室的风量分流而得,并由百叶窗⑥调节。(3-1)、(4-1)、(5-1)为温包位置,⑦为石英管加热器。

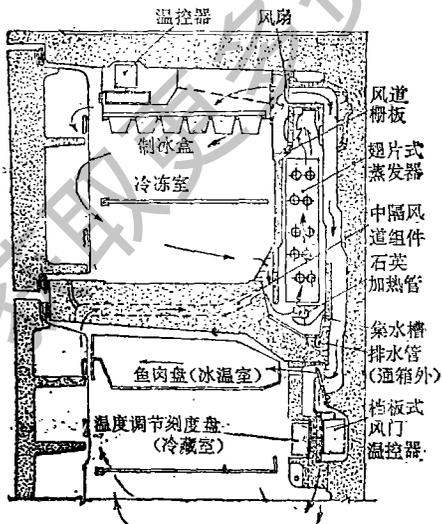


图1 上菱 BCD-216W 冰箱的无霜系统

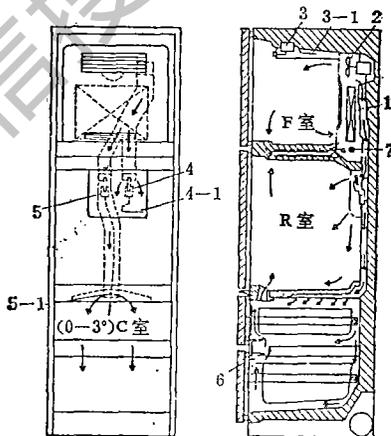


图2 三菱 MRE-3055C 型冰箱(四门)冷风循环的机械系统

间冷式冰箱在计算热负荷(漏热量)时,要考虑风速和绝热材料对箱体传热系数的影响。BCD-216W 的计算条件:冰箱顶、背和底面空气温度取32℃,机房内为40℃,箱两侧空气温度取45℃(此为冷凝器散热面),箱外风速取0~0.1m/s,箱内风速:冷冻室为1.5m/s,冷藏室内为0.5m/s,风速不同,放热系数随之变化。绝热材料的导热系数λ也不是定值,它随材质、温度而变。常用公式是:

对硬质聚氨酯泡沫: $\lambda = 0.013 + 0.00012\theta$;

对 PS 泡沫(如中间风道): $\lambda = 0.0277 + 0.000112 \theta$;

θ : 材料的平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

λ : 导热系数, $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

图 1 中的蒸发器下方有集水槽(铝材), 槽底连有排水管通箱外蒸发皿(位于压缩机旁, 未画出)。靠副冷凝器散热将流入的化霜水蒸发掉。排水管采用 $\phi 16 \times 1.5$ 的 PE 材料, 发泡前安装在内胆后背。这种排水系统结构及安装较简单, 缺点是它与箱外大气相通, 冷冻室在停电后的温度回升较快, 各处回升速度差异也大, 需加以改进。例如可在排水管出口安装有单向打开作用的阀或密封件, 同时适当加厚箱背隔热层厚度, 就可以改善温度回升速度指标。

以下对无霜系统中主要结构件进行介绍。

(1) 蒸发器 由铝翅片与单根铜管回路组成的蒸发器是冰箱中重要的热交换器, 如图 3 (正面视图)。1 为制冷剂进出口, 在出口管道上装有小型贮液器 3 (内容积约 73cm^3)。

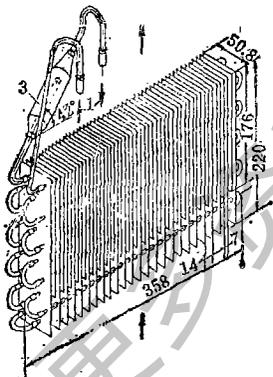


图 3 翅片盘管型蒸发器

蒸发器本身不带电热管。换热方式: 空气流动由下而上, 制冷剂上进上出, 两者为叉流方式。风扇强迫空气以一定速度流过翅片管簇, 故蒸发器的传热系数 K 比空气静止时(如直立式蒸发器)显著增大, 通常可达 $20\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ 左右。空气流动虽然可使传热热阻减少, 但霜层的形成对热阻影响却要增加, 因此对蒸发器的及时化霜是维持其良好制冷性能的必要条件。BCD-216W 蒸发器的设计参数为:

铜管外径 $\phi 6.35$ (毫米, 以下同), 管子为叉排, 翅片厚 0.2, 间距 7, 入口处翅片间距 14, 进口风量 $1.4\text{m}^3/\text{min}$, 迎风面风速 $1.3\text{m}/\text{s}$

(风速主要影响到噪声和蒸发器成本, 从成本考虑, 风速大好, 但为减少噪声, 设计风速以 $1\sim 1.5\text{m}/\text{s}$ 之间为佳)。

(2) 风扇 它是冷风循环的动力源, 是间冷式冰箱的特有部件。这种小型风扇采用吸风式布置, 电机固定在内胆中。因电机的散热使系统冷量有损耗, 故目前国外一些厂家已将电机安装在内胆之外而用长轴带动风叶。风叶为 ABS 塑料成型件, 其直径与风量大小有关。如 BCD-216W 的风叶直径是 $\phi 100$ 。为减少噪声, 必须严格控制风叶前端部位的不平衡量小于 0.03g 。风扇电机的技术要求: 电机输入功率小于 6.5W , 主轴转速大于 2200r. p. m , 噪声小于 36dB(A) , 电机线圈为 A 级绝缘, 其温升应小于 50 度; 风扇在额定电压下连续运转 3 万小时后应无漏油和振动大等故障。

在最近的冰箱设计中, 日本已采用西洛克风扇(シロコファン), 这种多叶片式风扇降噪明显。如三菱 MR-50J 冰箱中, 西洛克风扇直径 $\phi 100$, 叶片数 50 个, 转速等于 2000r. p. m , 其噪声同比下降约 10dB(A) 。

(3) 中隔风道 新型间冷式冰箱已不采用将蒸发器。风扇装于水平夹层的那种结构。图 1 中, 中隔风道部件既分隔冷冻冷藏室, 又作为回风主通道。它工艺性好且因其绝热性能较佳而减少了冷冻室热负荷。图 4 为中隔风道

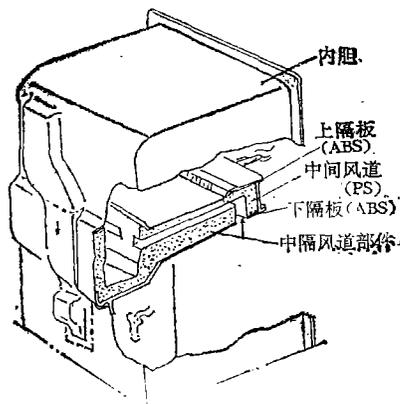


图 4 BCD-216W 冰箱的内胆及中隔风道部件

结构及安装立体图。冰箱的中间风道由 PS 材料发泡成型，其两侧均为厚1.5的 ABS 隔板，三者预先组装好，形成中隔风道部件。其绝热层计算厚度为65，平均温度 -7.5℃，故其导热系数 $\lambda = 0.0277 - 0.000112 \times 7.5 = 0.02686 \text{ kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ 。图4的装配工艺是，箱内胆先真空成形，之后在大型压力机上利用成型模将中隔风道部件先定位于内胆上，接着压嵌入内胆的相应部位。

2. 自动化霜系统

新型冰箱多采用“积算式”自动电热化霜方式。早期间冷式是在蒸发器盘管中间均匀装入电热管，同时在集水槽、排水管、风叶等处装有塑料管绝缘电热丝，用来除霜和防冻。系统电路较复杂，维修麻烦，冰箱耗电量大。80年代开始采用热效率高的石英管电加热器。它按照冰箱累积工作时间达到设定值后自动进行融霜，及时恢复蒸发器的良好制冷性能。

石英管位于蒸发器下方和集水槽上部，通电后表面温度高于 180~200℃ 并产生红外辐射，不但除去霜，还能化掉水槽和排水管等处的霜冻，使化霜和排水系统始终工作良好。系统中，制冷机（即压缩机、冷凝器等的总称）、温控器、定时器、加热器等部件必须按一定的工作程序组合，才能完成预定的自动除霜。系统工作程序见下表。系统实际有三种状态：

自动化霜系统工作程序表

	断开交替	接通	断开交替
1 温控控制器			
2 制冷机	工作(累积) 8.8小时	停止	工作
3 定时器	计时(累积) 8.8小时	停止	计时 2'24"
4 化霜加热器	停止	工作 约20'	停止
5 双金属开关	接通	断开	复位接通
6 温度熔断器	接通(70℃断开)		

a. 制冷机工作状态：间断工作的累积计时时间设定为8.8小时，此期间，化霜加热器必须断开。
b. 化霜状态：加热器在工作，时间约20分钟。同时制冷机需停止工作而温控器应该一直接通才行。
c. 化霜结束状态：这是一个仅延续2'24"的定时器空转计时阶段。随着化

霜进行，当蒸发器出口贮液器表面温度上升到 8℃ 时，双金属开关断开，化霜过程首先结束，定时器随之转动计时，而制冷机仍处于停止状态，经2'24"后制冷机才转入工作状态。冰箱正常运行后，不断重复上述三种状态，从而完成自动化霜的任务。与程序表相应的电路图见图5（图中系统处于化霜状态）。

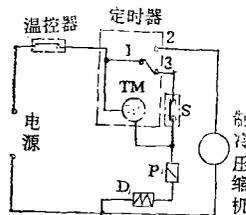


图5 BCD-216W 冰箱的自动化霜电路
D—化霜加热器，220V，150W；
P—温度熔断器，70±2℃；
S—双金属开关；8±3℃，复位≤-5℃

温度熔断器 P 是在双金属开关一旦失灵后，可防止温度急剧升高，其断开温度为 70±2℃。定时器是完成自动化霜过程的主要控制件。它由微型电机、齿轮传动箱和触点凸轮机构组成。定时器触点变换后有 1—2 和 1—3 两个状态。1—2 接通即制冷机工作情况，而 1—3 接通后又有两种状况。如 S 接通则为“化霜工作状态”，在 S 断开时，则为“化霜结束状态”。

化霜加热器装在石英玻璃管中。加热管引线绝缘及端套均用硅橡胶（耐高温），有的冰箱还在硅橡胶外面套上玻璃纤维丝以加强电器安全性能。石英管上方带有铝挡水板，防止化霜水冲到管子表面；不过即使有零度的水滴在石英玻璃管上，管子也不会炸裂。

设计时选择化霜加热器功率目前尚无定量计算依据，它涉及很多因素，如设计条件、工作时间、蒸发器大小、翅片间距、化霜时间、箱体漏热量、耗电量及电器通用性等。往往采用类比设计法，如按照蒸发器总表面积来定，即每平方米取 150W 左右较适宜。BCD-216W 的加热器功率为 150W (220V, 323Ω)。经试验表明，在设计工况下，20分钟内基本化完霜且蒸发器本身温升小于 3~5℃。如功率过大，化霜时间变短，化霜时室温上升较高，耗电较多；如功率过小，化霜时间延长，室温波动大，影响到贮藏食品质量。