

# R134a 与 R600a 制冷剂冰箱设计及工艺技术研究

崔 伟

(广州擎天实业有限公司 广州 510800)

**摘要:** 介绍了 R134a 与 R600a 两种绿色制冷剂的特性, 并进行了比较。在此基础上, 对冰箱设计及工艺技术研究进行了分析。

**关键词:** 冰箱绿色制冷剂; 性能设计要点; 工艺规范

## 前言

自 1987 年生效的《蒙特利尔议定书》强制性逐步淘汰氟制冷剂以来, 截至 2010 年底, 发达国家在淘汰了含氟量为高级的制冷剂基础上, 又淘汰了含氟量为中级的制冷剂。对于含氟量为中级的制冷剂, 欧盟已于 2002 年全面禁止使用, 日本已于 2004 年开始禁止使用, 美国也于 2010 年起全面停止其生产和消费, 而我国是目前全球最大的含氟量为中级的制冷剂生产和使用国, 其产量占全球的 65%, 使用量占全球的 40%。根据《蒙特利尔议定书》的规定, 2013 年发展中国家含氟量为中级的制冷剂生产和使用分别冻结在 2009 和 2010 年两年平均水平, 2015 年在这一冻结水平上削减 10%, 2020 年削减 35%, 2025 年削减 67.5%, 2030 年实现除维修和特殊用途以外的完全淘汰。我国作为发展中国家, 要严格履约。未来, 无氟制冷剂将是发展趋势。据此, 冰箱的设计与工艺技术也将发生重大变化。本文将就目前冰箱市场主要的两种环保制冷剂, 进行冰箱设计及工艺技术研究。

## 1 冰箱市场主要环保制冷剂概述

### 1.1 R134a 制冷剂特性

R134a (学名: 四氯乙烷; 分子式:  $\text{CF}_3 - \text{CH}_2\text{F}$ ), 具有与 R12 相似的热物理性质, 但  $\text{ODP}$  (臭氧消耗潜能) =  $0\text{GWP}$  (温室效应潜能) =  $0.24 \sim 0.29$ 。常温常压下, R134a 无色, 轻微醚类气体, 不易燃, 没有可测量的闪点, 对皮肤, 眼睛无刺激, 不会引起皮肤过敏, 但暴露时会产生轻微毒性。工作场所吸入量不应超

过 1000PPm。

R134a 是非溶于矿物油的制冷剂, 采用酯类油 (ester), 合成油 (往复式压缩机) 或烷基苯 (HAB) 油 (旋转式压缩机) 来满足压缩机的润滑要求。

R134a 工质压缩机运动部件的表面需作处理, 使其具有较强的耐磨损性, 合成橡胶和塑料 (PVC, 尼龙, 聚乙烯, 氟化塑料, 聚氯乙烯) 大多数不受 HFC-134a 的影响, 个别会有不同程度的影响。因此压缩机的密封圈和连接管一般采用氯化丁腈橡胶等替代。马达电机绕组的绝缘漆膜采用改进材料, 具有抗氟性能。

R134a 是部分卤化物, 化学性质不如全卤化碳氢化合物稳定, 极易发生水解与卤化反应, 因此制冷系统应保持绝对干燥。

### 1.2 R600a 制冷剂特性

R600a, (学名: 异丁烷; 分子式:  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  ( $\text{CH}_3 - \text{CH}_3 - \text{CH}_3 - \text{CH}$ )); 分子量: 58; 沸点:  $-11.5^\circ\text{C}$ 。该制冷剂优点:  $\text{ODP}=0$ ,  $\text{GWP}=0$ , 无毒无污染, 环境性能好, 蒸发潜热高, 制冷效率较高, 与水不发生化学反应, 不腐蚀金属, 运行压力低, 噪音小, 能耗可降低 5% ~ 10%, 原 CFC-12 的润滑油完全兼容, 对制冷系统材料无特殊要求, 取材易, 有炼油工业就可生产, 价格低。

该制冷剂缺点: 易燃易爆。它的燃点是  $462^\circ\text{C}$ , 它的爆炸极限为空气中体积含量百分比为 1.8% ~ 8.4%, 使用异丁烷在生产与维修过程中, 管路的明火焊接存在燃烧爆炸的危险, 异丁烷电冰箱使用过程中, 由于蒸发器可能泄漏, 引起异丁烷在食品储存室中的积聚, 如此时室中产生电弧, 则存在燃烧爆炸的危险, 即异丁烷电冰箱的产品结构和生产工艺必须加以改进

或重新设计，以减少燃爆的可能性。

### 1.3 R134a 与 R600a 制冷剂物理性能的比较

见表 1。

## 2 制冷系统设计要点

### 2.1 压缩机

由于 R134a 的特性，R134a 压缩机油以及压缩机内部结构，材料等都与 R12 压缩机有很大不同，因此 R134a 冰箱只能使用 R134a 专用压缩机。

R134a 压缩机所采用的压缩机油为酯类油，此种油极易吸水，不但会使压缩机油分解加速，而且会使大量的水分进入压缩机，发生“冰堵”现象，压缩机不能制冷，因此要严格控制压缩机内部的含水量，具体要求见表 2。

在使用 R134a 压缩机时，压缩机管口开放在空气中的时间不允许超过 30 分钟。

R600a 冰箱必须采用 R600a 专用压缩机，配备密闭式或固态启动和保护装置。

### 2.2 冷凝器与蒸发器

R134a 冷凝器设计可适当加大冷凝面积以降低冷凝压力。在 BCD-182 冰箱的 R134a 匹配中，相对于 R600a 系统，冷凝器均未改变。

冷凝器和蒸发器加工过程中必须使用酯类油，如使用了矿物油，则必须清洗后干燥密封。

含水量  $\leq 50\text{g/m}^2$  内表面积；

杂质含量  $\leq 100\text{g/m}^2$ ；其中可溶性杂质  $\leq 40\text{g/m}^2$ ；不溶性杂质  $\leq 60\text{g/m}^2$ 。

R600a 冷凝器和蒸发器的要求无特别限制，由于 R600a 容积制冷量小，可适当加大蒸发器面积或增加蒸发器排管密度。在 BCD-182 冰箱 R600a 匹配中，就采用了增加蒸发器排管密度的办法以取得合适的匹配。

### 2.3 毛细管流量

R134a 毛细管在加工过程中必须使用酯类油或经过清洗干燥。

根据在 BCD-182 冰箱上的试验，毛细管长度相对于 R600a 冰箱可加长 8 ~ 20%。

表 1 R134a 与 R600a 制冷剂物理性能的比较

| 项目 \ 制冷剂                                      | R134a  | R600a                          |
|---|--|--------------------------------|
| 代号  | HC-134a                                      | HC-600a                        |
| 化学分子式   | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> |
| 名称  | 四氟乙烷   | 异丁烷                            |
| 分子大小 (A)                                      | 4.0  | 4.3                            |
| 分子量   | 102.03                                       | 50.12                          |
| 标准沸点 (°C) (1.013Bar)                          | -26.1  | -11.73                         |
| 凝固点 (°C)                                      | -101   | -160                           |
| 临界点 (°C)                                      | 101  | 135                            |
| 标准沸点下的汽化潜热 (KJ/Kg)                            | 219.8  | 234.3                          |
| 25°C 时水的溶解性 (g/100g)                          | 0.15   | 极微                             |
| 临界压力 (KPa)                                    | 4067   | 3645                           |
| 对润滑油的溶解性                                      | 易溶酯类油  | 易溶                             |
| 可燃可炸性   | 无  | 易                              |
| 毒性等级 (数字越大越安全)                                | 6  | 3                              |
| 臭氧消耗潜能 ODP                                    | 0  | 0                              |
| 温室效应潜能 GWP                                    | 0.24 ~ 0.29                                  | 0                              |
| 使用温度范围 (°C)                                   | 10 ~ -40                                     | 10 ~ -40                       |
| +50°C 时冷凝压力 (Bar)                             | 13.180                                       | 5.319                          |
| -30°C 时蒸发压力 (Bar)                             | 0.8436                                       | 0.468                          |
| -25°C 时单位容积制冷量 (KJ/m <sup>3</sup> )           | 1185.0                                       | 626.0                          |
| -25°C 时气相密度 (Kg/m <sup>3</sup> )              | 5.50   | 1.66                           |
| -25°C 时液相密度 (Kg/m <sup>3</sup> )              | 1371.0                                       | 608.3                          |
| 分子筛   | XH-9   | XH-5                           |
| 工作压比 (测试工况: -23.3°C / 55°C / 32.2°C / 32.2°C) | 12.048                                       | 11.365                         |
| 压缩机润滑油  | 酯类油  | 矿物油                            |
| 燃烧极限 (空气中)                                    | ~  | 1.4% ~ 8.4%                    |

表 2

| 项目        | 含水量           | 含杂量                    |
|-----------|---------------|------------------------|
| R600a 压缩机 | 100 ~ 150mg/台 | $\leq 50.0\text{mg/台}$ |
| R134a 压缩机 | 50 ~ 75mg/台   | $\leq 33.3\text{mg/台}$ |

R600a 毛细管流量为了获得最佳的性能匹配，可通过测试，对毛细管流量作适当调整。

### 2.4 干燥过滤器

常规的干燥过滤器在吸水的同时也可吸收制冷剂 R134a，所以对于 R134a 制冷剂冰箱，必须使用 R134a 专用干燥过滤器，XH-7 或 XH-9 型分子筛。

对于使用 R600a 制冷剂的冰箱可以使用 R134a 冰箱的干燥过滤器，因为 R600a 制冷剂分子直径均大于 R12 和 R134a 的分子直径。因此可使用 XH4-XH9 型分子筛。

### 2.5 制冷剂充灌量

为防止系统堵塞，一定要使用高纯度 R134a。R134a 纯度技

术要求: 纯度 $\geq 99.95\%$ ; 蒸发残留物 $\leq 10\text{PPm}$ ; 酸(以 HCL 计) $\leq 1\text{PPm}$ ; 水 $\leq 10\text{PPm}$ ; CFC 及 HCFC $\leq 100\text{PPm}$ 。

R134a 充灌量由试验确定。

根据在 BCD-182 冰箱上的试验, R600a 的充灌量由实验确定, 充灌量特别小, 约为 R134a 的 50%, 充灌精度应控制在  $\pm 1\text{g}$  以内。

## 2.6 性能实验情况

通过对 R134a 和 R600a 工质 BCD-182 冰箱进行对比性能测试。

R600a 冰箱更节能。能耗相对降低可达 5 ~ 10%。

R600a 系统运行压力低, 噪声小。

## 3 工艺技术总体实施方案

根据制冷剂的不同需要研究生产线设计, 确定设备方案。

### 3.1 检漏仪

被检漏的物质是 R134a, 检漏仪需更换为能检漏 R134a 类型的检漏仪。

被检漏的物质是 R600a, 检漏仪需更换为能检漏 R600a 类型的检漏仪。

### 3.2 专用充灌设备

生产线上的真空泵和充灌设备中真空泵使用的矿物润滑油会和 R134a 会发生化学反应, 水解后生成醇类物质和酸类物质。这些物质在制冷循环过程中易腐蚀制冷系统管路内壁, 造成氧化物堵塞毛细管, 以及最后循环到压缩机内部后, 会在活塞轴表面发生碳结, 影响压缩机的寿命。所以润滑油需用酯类合成油替换。因此用于 R134a 制冷剂的真空泵和充灌设备, 其润滑油要由矿物油换为酯类合成油。氟橡胶应当禁用, 因为它会在 R134a 及酯类油中变形膨胀, 抗拉强度降低, 因此含氟的密封圈都应更换成能用于 R134a 制冷剂的密封圈。

因为 R600a 易燃易爆, 用于 R600a 制冷剂的返修真空泵和充灌设备, 需要进行防爆处理, 增加安全报警系统。同时, 作为制冷剂充注量少易泄露, 泄漏后会发生燃烧爆炸。在冰箱充注 R600a 以前必须对管路系统进行检漏, 以防充注后制冷剂泄漏, 引起爆炸, 所以生产线还必须进行氮质谱检漏。

### 3.3 根据制冷剂的物理、化学性能, 研究提高现有冰箱生

产的工艺技术标准, 制定新的工艺规程

针对 HFC-134a 较强的吸水性来确定。因此, 我们应该在 R134a 制冷剂冰箱生产方面给予明确的工艺技术规定。研究使用新的抽真空新工艺。使用 R134a 制冷剂时, 冰箱制冷系统对真空度要求较高, 一般的抽真空方法可能达不到要求, 所以需采用——毛细管两端抽真空法。我们知道在电冰箱的整个制冷回路中, 由于毛细管的节流作用管路系统在毛细管处分为高低压两部分, 一般的抽真空方法抽真空时, 真空泵探口在制冷回路的高压段, 毛细管节流后, 真空计探测到的真空度不能真正代表整个管路系统的真空度。因此在制冷回路的高低压两端抽真空, 可以避免毛细管对空气的节流影响, 使抽真空较彻底。

制定外协检验的新标准, 建立外检实验室。具体要求检验制冷剂 R134a 及关键件蒸发器、冷凝器的水分、灰尘、矿物油、石蜡、其他杂质的含量。

针对 R600a 易燃易爆的特性。编制冰箱返修工艺规程, 制订 HC-600a 安全使用规程。

### 3.4 研究实验新的焊接技术及焊剂

在焊接技术及焊接材料方面, 由于 R134a 分子较小, 易泄露, 同时受抽真空、充灌设备复杂的影响, 售后维修较困难, 因此需要提高焊接技术, 保证焊接质量。我们要将理论和实践结合, 研究摸索出适合 R134a 制冷剂的高质量焊接工艺技术。同时由于 R134a 制冷剂对水分含量的要求较高, 我们平时使用的 102 焊剂易吸水, 潮解。所以我们要实验确定一种新型焊剂来适应于 R134a 制冷剂的焊接。同时, 由于  $\text{Cl}^-$  离子会和 HFC-134a 反应, 在焊接过程中应避免使用含氯元素的焊剂。

针对 HC-600a 易燃易爆的特点, 我们需要研究试用新的焊接设备, 实验总结焊接新工艺。超声波压力焊接是在高频率下的一种固态连接方式, 通过焊接工具头每秒钟 2 万次的摩擦, 使材料表层的分子重新排列而达到焊接的目的。不发生金属的熔化, 不产生烟尘、火花和有害气体。这种新焊接工艺非常适合 R600a 制冷剂冰箱的封口焊接, 而且较安全。