

# R500 制冷剂的冰箱热工性能试验研究\*

热能工程系 朱明善 韩礼钟 李立 傅屹东 林兆庄

**文 摘:** 介绍了以 R500 代替 R12 作制冷剂的冰箱的热工性能试验情况, 分别给出了有关制冰能力、冷却速度与耗电量等方面的对比结果, 用红外热像仪拍摄了冷凝器的对比温度分布, 最后还对 R500 的合适灌注量及启动性能进行了探讨。试验结果表明, 作为一种过渡性措施, 采用 R500 代替 R12 是可能的, 冰箱的系统、部件以及滑油等均无需作大幅改动, 而且制冰能力和冷却速度还可加大加快, 耗电量还略降低, COP 有所提高。

**关键词:** 氯氟烃, 制冷剂, 冷凝器, 制冷, 冰箱, 热工性能

**分类号:** TB612

## 0 前 言

氯氟烃物质 (CFCs) 从 1930 年问世以来, 已广泛地用作冰箱与空调器的制冷剂 (R12)、塑料制品的发泡剂 (R11) 以及清洗剂 (R113) 等。但从 1974 年美国科学家 Molina 与 Rowland 提出 CFC<sub>s</sub> 中的 Cl<sup>-</sup> 对 O<sub>3</sub> 层有严重破坏作用后, 经 10 余年论证, 特别是 1985 年, 发现南极上空形成臭氧洞后, 国际上日益关注。1987 年 9 月蒙特利尔会议制定了《议定书》, 提出对 5 种 CFC<sub>s</sub> 物质 (R11、R12、R113、R114、R115) 和 3 种哈隆物质 (1211、1301、2402) 的限制进程<sup>[1]</sup>。1990 年 6 月《议定书》缔约国开会进一步规定了更为紧迫的新时间表。

我国冰箱工业始于 1954 年, 80 年代末一跃成为国际上冰箱生产的大国, R12 消耗总量占全球冰箱耗用量的 23%。开发新的制冷剂工作势在必行。

在一些可能替代 R12 作制冷剂的物质中, R134a 的合成较为困难, 尚未商品化, 而且用于冰箱时能耗可能提高; R142a 与 R152a 易燃; R22/R142b 与 R22/R152a 等非共沸混合工质泄漏问题尚未解决。R500 是一种 73.8%R12/26.2%R152a (重量比) 的共沸混合物, 它的 ODP 值为 0.738, 对 O<sub>3</sub> 层的破坏作用比 R12 小 27% 左右, 它的组元 R152a 与 R12 的液、气相比容很接近, 不存在因泄漏而使冰箱内制冷剂组元成分变化问题, 对冰箱的滑油、材料又具相容性, 不可燃, 毒性等级为 5a, 与 R12 相近, 在我国已有批量生产能力。因此, 以 R500 作为一种过渡性替代物是可能的。本文

\* 本课题得到国家科委资助

本文于 1991 年 3 月 1 日收到

的主要目的就在于探索使用 R500 作制冷剂的可行性并介绍冰箱热工性能的试验研究成果<sup>[2]</sup>。

## 1 试验系统

试验选用沙市电冰箱总厂生产的 BY-136 型单门冰箱,松下 NA29L50KA 型压缩机。按照国际 GB8059.1-87《家用致冷器具、电冰箱》的要求,组建了冰箱热工性能测试系统,参见图 1。图中,压力表 1 与 2 分别测量压缩机进口和出口压力; $T_{a1}$ 、 $T_{a2}$ 、 $T_{a3}$  是用热电偶测得的三个环境温度,按要求热电偶均插入镀锡铜质圆柱中; $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  是用热电偶测量的三个冷藏温度,热电偶也按要求插入镀锡铜质圆柱中; $T_{r,i}$ 、

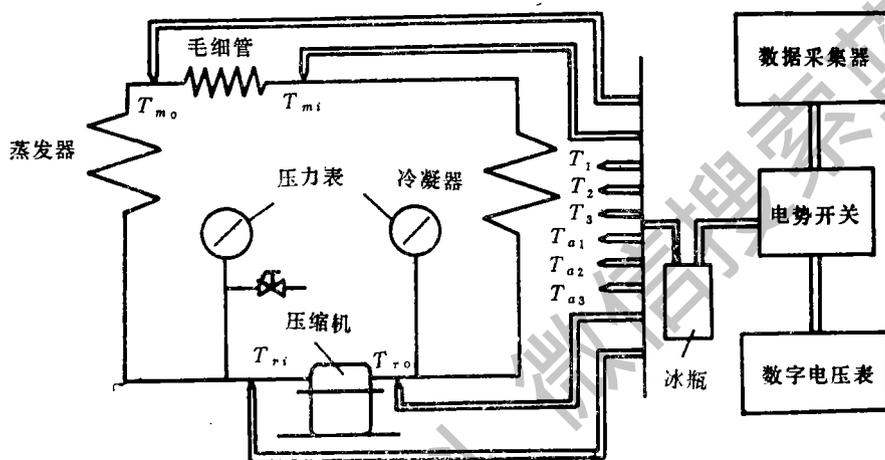


图 1 冰箱热工性能测试系统

$T_{r,i}$ 、 $T_{r,o}$  分别代表压缩机进口与出口温度; $T_{m,i}$ 、 $T_{m,o}$  分别代表毛细管进、出口的温度。通过 B3-65 型无热电势开关的切换,使 PF15 型多路直流数字电压表显示各热电偶的电压值,再通过 HP3456A 多功能数据采集器,显示打印温度数值。冰箱功率用 PS4-1 型交流数字功率表显示。

为了控制环境温度在国标规定的温度整定值的  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  范围内,设计了环境温度控制系统。为控制制冷剂的灌注量,设计了一套充气配气系统。

## 2 R500灌注量的试验

灌注制冷剂过多或过少,都不利于冰箱的性能。过少,虽然因吸、排气压力降低,导致蒸发温度降低有利制冷,但工质过少,制冷总量可能达不到要求。反之,虽得以提高制冷总量,但吸、排气压力上升又使蒸发温度过高。因此必须探索合适灌注量。

分别对灌注量为 90、100、120 和 150 g 几种情况进行了对比。图 2 示出了冷却速

度对比曲线，图 3, 4 分别示出了制冰能力与耗电量的比较结果。

可见，灌注量为 90 g 时，无论制冰能力、冷却速度或是耗电量等指标均较差；灌注量为 150 g 时，冷却速度最快，但制冰能力不如 120 g 的，耗电量也高于后者。综合起来看，针对试验使用的冰箱，120 g 左右为合适的灌注量。

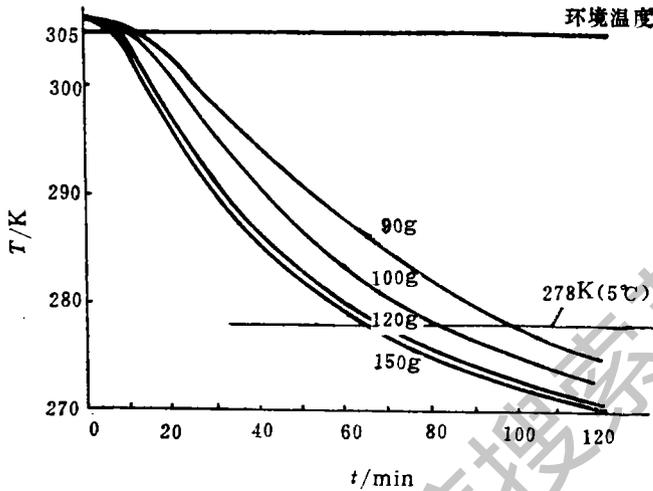


图 2 R500 不同灌注量时的冷却速度

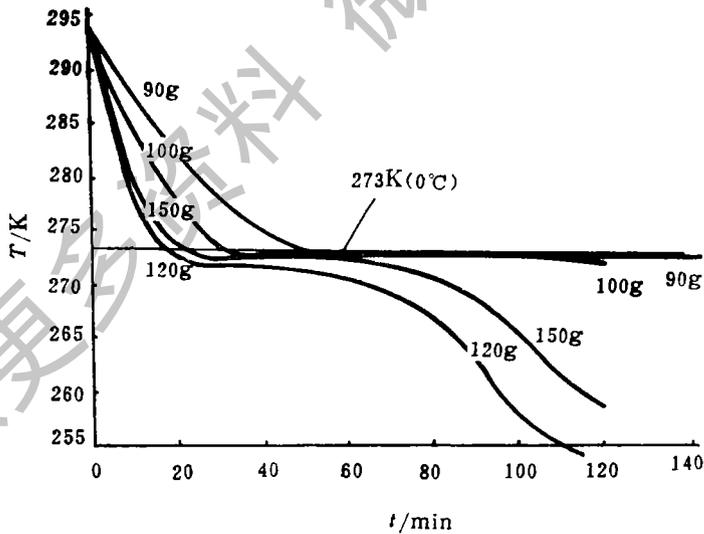


图 3 R500 不同灌注量时的制冰能力曲线

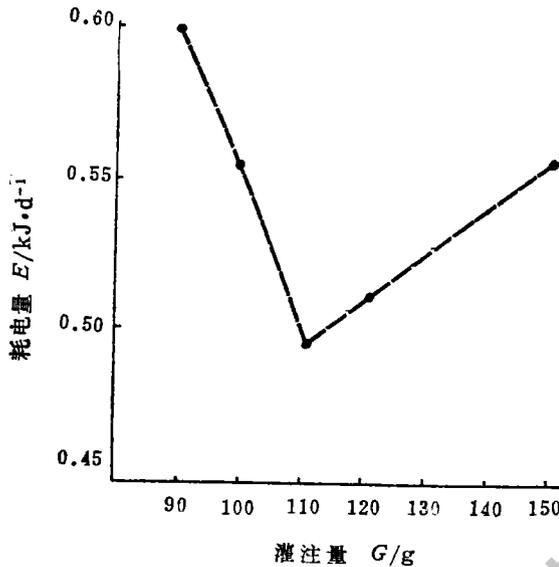


图4 R500 不同灌注量时的耗电量

### 3 R500 与 R12 的对比试验

对同一台冰箱分别充入 102 g R12 和 120 g R500, 进行了冷却速度、制冰能力、储藏温度、耗电量等几个项目的对比试验。有关结果参看表 1。

表 1 R500 与 R12 的冰箱性能对比试验

项 目	测试内容	实测结果	
		R12	R500
冷却速度, min	冷藏温度由 305 K 降至 278 K 的时间	90	70
制冰能力, min	将 293 K 水完全制冰的时间	70	45
储藏温度, K	是否符合: $273 \text{ K} \leq T_1, T_2, T_3 \leq 283 \text{ K}, T_m = 278 \text{ K}$	符合	符合
耗电量, kJ	298 K 环境温度, 278 K 冷藏温度下 24 h 的耗电量	1 800	1 760
起停比	压缩机启动时间与停止时间的比值	4:15	3:16

由表 1 可见, 在相同的环境温度、冷藏温度等条件下, R500 的冷却速度与制冰能力均比 R12 的大, 起停周期缩短, 24h 的耗电量略有减少。

根据试验中测得的参数, 对 R500 与 R12 时的制冷系数 COP 比值作了估算, 得出: R500 与 R12 的单位时间制冷量比值为 1.12, 制冷系数比值为 1.19。可见 R500 的制冰能力和冷却速度等都较 R12 的大, R500 的 COP 比 R12 的提高约 19% (若考虑机械效率与电动机效率后, COP 的提高值将低于 19%)。

此外, 在冰箱起动与停运阶段对冷凝器做了红外热像摄影, 像片显示了不同时刻冷凝器表面的温度分布。表 2 列出了 R500 与 R12 的对比结果。

表 2 冷凝器表面温度的对比结果

R500			R12		
开机时间 $t/s$	$T_{max}/K$	$T_{min}/K$	开机时间 $t/s$	$T_{max}/K$	$T_{min}/K$
25.65	299.81~300.86		25.65	299.24~299.81	297.51~298.10
53.76	302.50~303.02	298.10~298.68	51.20	300.91~301.44	299.24~299.81
104.96	305.02~305.51	300.36~300.91	102.40	303.02~303.53	301.95~302.50
130.56	305.02~305.51	300.36~300.91	128.00	304.53~305.02	302.50~303.02
156.16	>305.51	302.50~303.02	153.65	305.02~305.51	303.02~303.53
181.76	>305.51	302.50~303.02	179.2	305.02~305.51	303.53~304.53
184.32	>305.51	302.50~303.02	317.44	304.53~305.02	303.53~304.53
(停)			(停)		

由表可以看出,以 R500 为工质时,冷凝器表面的温度分布较不均匀。尽管进口处用 R500 时的温度高于用 R12 的,而出口处的温度反而比用 R12 时的低,说明用 R500 时的散热量要比用 R12 时的大。

通过对比试验,可认为沙松 BY-136 型电冰箱无论使用 R12 或 R500,性能均能达到轻工业部规定的 A 级质量水平,可见以 R500 作为 R12 的过渡性替代物是可能的。

#### 4 启动性能

由于 R500 的饱和压力较 R12 高,压缩机的进出口压力也较 R12 时高,因此启动功率加大。为了探讨使用 R500 作制冷剂时冰箱的启动性能,专门进行了不同条件下

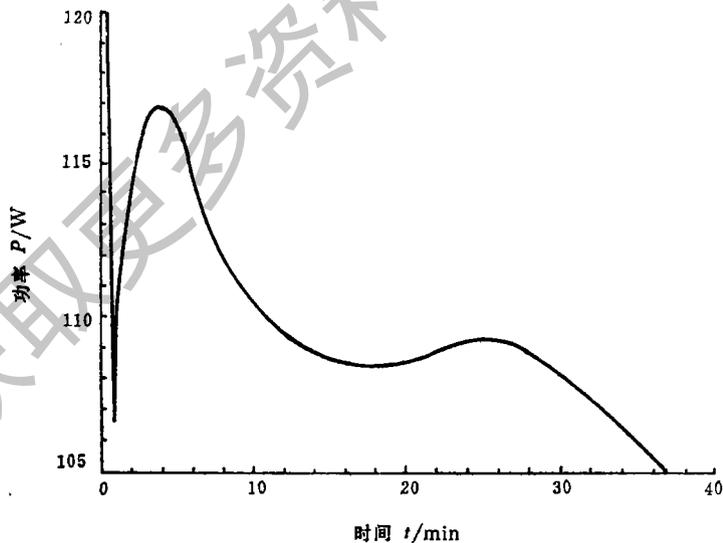


图 5 瞬时功率曲线 (190 V, 305 K 冰箱开门 6 h 后启动)

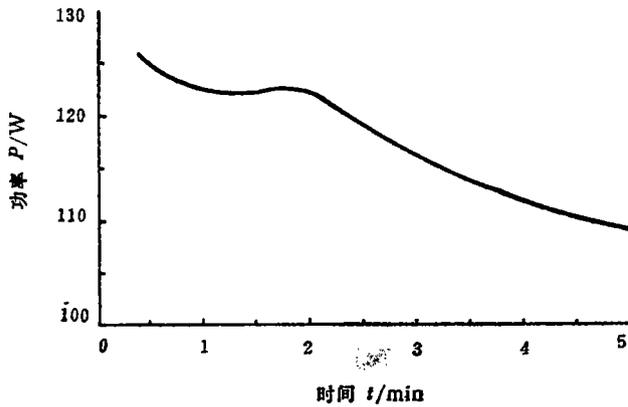


图 6 正常启动瞬时功率曲线 (190 V, 305 K)

的启动特性试验。图 5~8 示出了相应结果。图 5 表示在电压 190V，而且冰箱在 305K 环境温度下敞门 6 h 后的恶劣条件下启动的功率曲线。虽然这时启动功率较大，但反复多次，仍能正常启动。图 6 表示在 190 V 电压、环境温度 305 K 下冰箱正常启动的情况。与此对比，图 7、8 示出了 220V 电压、环境温度 298K 时的启动曲线。可见，即使冰箱处于比较恶劣的条件下，仍能使用 R500 正常工作。

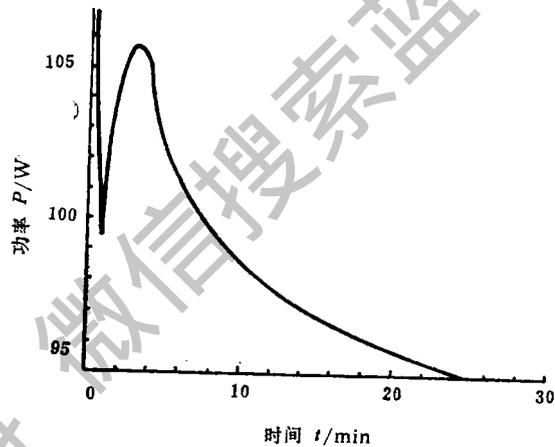


图 7 瞬时功率曲线 (220 V, 298 K 下冰箱敞门 6 h 后启动)

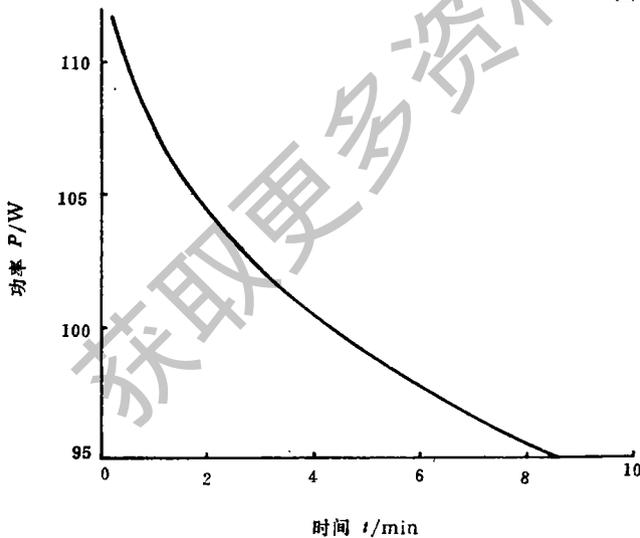


图 8 正常启动瞬时功率曲线 (220 V, 298 K)

## 5 结 论

综上所述，经过对比试验可得出下列结果：

1) 在相同的环境与贮藏温度条件下，使用 R500 为制冷剂时，制冰能力较 R12 的大，冷却速度比 R12 的快，24 h 耗电量略有下降。

2) 对于给定的冰箱，存在一个 R500 的合适灌注范围，试验用冰箱的合适灌注量为 120g 左右。

3) 用 R500 代替 R12 作制冷剂, 无需改变压缩机的滑油, 也无需对冰箱的系统或部件作较大的改动;

4) 即使在比较恶劣条件下, 仍能正常启动。

目前, 使用 R500 作为制冷剂的冰箱已经连续运行 6 个月以上, 效果很好。因此, R500 作为一种过渡性的 R12 替代物具有很好的应用前景。现在正在北京“雪花”家用电器公司进一步试验并拟投入小批量生产。

沙松电冰箱总厂王才顺副厂长与程浩同志以及北方友谊家用电器集团公司周一萍同志积极支持并参加了有关工作, 特此致谢。

### 参 考 文 献

- 1 朱明善. 无污染的氯氟烃替代物的开发研究. 化工进展, 1989 (3): 1~5
- 2 李立. R500 制冷剂的冰箱热工性能试验研究:[学位论文]. 北京: 清华大学热能工程系, 1990.6

## Experimental Research for Refrigerator's Thermal Performance with Transient Substitute R500 for R12

Zhu Mingshan, Han Lizhong, Li Li

Fu Yidong, Lin Zhaozhuang

Department of Thermal Engineering

**Abstract:** This article introduces the experimental research on the performance of refrigerator using R500 as an interim alternative refrigerant to R12. Some results of comparing experiments of refrigerators using R500 or R12 as refrigerant in freezing capacity, refrigerating speed, electricity consumption are given. In addition, the change processes of surface temperature of condenser used separately refrigerant R500 and R12 are measured by infrared thermovision. The optimum charging quantity and start performance of refrigerators with R500 have been studied also. The results show that R500 is an acceptable interim alternative refrigerant to R12. Not modifying the existing refrigerator system and lubrication oil, we can gain greater freezing capacity, faster refrigerating speed, higher COP and almost the same electricity consumption.

**Key words:** CFC, refrigerant, condenser, refrigerator, thermal performance