

文章编号: 1006-7329(1999)03-0050-06

二甲醚替代 CFC12 的电冰箱 模拟计算和实验研究

10
50-55

TB657.4
TB64

黄 忠 孙纯武 吴乐颂 刘宪英

(重庆建筑大学 城市建设学院 400045)

摘 要 以 PR 状态方程为依据, 分别对 CFC12 和二甲醚(DME)进行了电冰箱理论制冷循环模拟计算和对比试验。试验结果表明, 在不改变原冰箱结构条件下, 用 DME 替代 CFC12 是可行的; 在 DME 最佳充灌量(80g)下, 耗电量为 $1.435 \text{ kW} \cdot \text{h}/24\text{h}$, 较原机铭牌额定耗电量($1.45 \text{ kW} \cdot \text{h}/24\text{h}$)降低 1.03%; 为开发无氟绿色冰箱提供了一个新途径。

关键词 二甲醚(DME); 电冰箱; 替代工质

制冷循环模拟

中图分类号 TU831.6

文献标识码 A

目前国内外应用于电冰箱 CFC12 替代物主要有三类: (1) HFC134a, 以美、日为代表; (2) 饱和烃类如 R290(丙烷)、R600a(异丁烷)等, 以德国为代表; (3) 混合制冷剂。国内生产的绿色冰箱主要使用 HFC134a、R600a、HCFC22/HFC152a 等 CFC12 替代物, 其产量约占冰箱总产量的 20%~25%。目前这些已投入使用的 CFC12 替代物还存在着各种问题: HFC134a 及其专用酯类润滑油目前国内尚不能批量生产, 进口价格昂贵, 推广受制约, 另外 HFC134a 具有一定的温室效应, 其能耗较高; R600a 单位容积制冷量仅为 CFC12 的 1/3, 沸点较高($\sim 11.8^\circ\text{C}$), 压缩机气缸容积必须加大 60%~70%, 而蒸发器处于负压运行, 空气易渗入系统内, 引起不良后果; R290 单位容积制冷量偏大, 排气压力高、噪音大, 因此必须对原系统作较大调整; HCFC22/HFC152a 混合工质, 由于其中的 HCFC22 属过渡性替代物, 2030 年后亦禁用, 而且这种混合工质制冷系统的泄漏对冰箱性能影响大, 维修也比较麻烦。总之, 目前电冰箱应用的替代在不同程度上都还存在一些问题。有没有一种热物性更接近 CFC12、且国内能批量生产、价格低廉的 CFC12 替代物质呢? 经过分析比较, 我们认为二甲醚(DME)具有这样的性质。在四川华菱化工有限责任公司协助下, 我们进行了二甲醚(DME)替代 CFC12 的电冰箱理论制冷循环模拟计算和试验研究。

1 采用 DME 的电冰箱理论制冷循环模拟计算

1.1 二甲醚的热物性比较及计算

二甲醚分子式为 CH_3OCH_3 , 英文缩写为 DME, 该物质对大气臭氧层无破坏作用也无温室效应, 即 $\text{ODP} = 0, \text{GWP} = 0$, 且国内能批量生产, 价格低廉。其热力性质与 CFC12、R290、R600a、HFC134a 等比较如表 1 所示。由表 1 数据对比可以看出, DME 与 CFC12 热力性质很相近, 其特点如下:

(1) 密度 ρ 与动力粘度 μ 比 CFC12 小, 制冷系统流动阻力比 CFC12 小, 可使用较小管径, 节省材料。

(2) 正常沸点 T_b 为 248K, 非常接近 CFC12 ($T_b = 243 \text{ K}$), 表明其制冷系统受压状态与 CFC12 接近, CFC12 制冷系统改用 DME, 其结构基本不需改动。

收稿日期: 1998-09-11

作者简介: 黄 忠, (1949-), 男, 重庆江津人, 重庆建筑大学讲师, 从事暖通空调研究。

(3) 汽化热 r_0 为 464.752 kJ/kg, 比 CFC12($r_0 = 166.886$ kJ/kg) 大。表明采用 DME 时系统内制

表 1 二甲醚与其他工质热力性质比较表

		R290	R600a	CFC12	HFC134a	HCF22	DME
化学式		C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CF ₂ Cl ₂	C ₂ H ₂ F ₄	CHF ₂ Cl	CH ₃ OCH ₃
千摩尔质量(kg/kmol)		44.07	58.124	120.914	102	86.46	46.09
比重(空气=1)		1.5617	2.0665	4.17		2.975	1.617
监界点	T _c (K)	369.95	408.15	385.15	374.1	369.15	399.9
	P _c (bar)	42.567	36.477	41.518	41.138	49.781	54.412
	ρ (kg/m ³)	220	222	558	514.9	525	271
熔 点	T _m (K)	85.45	113.55	115.15	172	113.15	131.5
	熔化热 (kJ/kg)	79.968	78.159			47.730	107.140
沸 点 (760 mm Hg下)	T _b (K)	231.05	261.45	243.35	246.8	232.35	248.2
	汽化热 r ₀ (kJ/kg)	426.007	366.596	166.886	220.142	234.126	464.752
	液体密度 (kg/m ³)	582	596	1488	1147	1414	-700
	汽体密度 (kg/m ³)	2.325	2.786	6.25	5.0	4.65	
比 热 (20℃, 760 mmHg)	定压 C _p (kJ/kg·K)	1.624	1.620	0.618	0.888	0.616	2.244
	定容 C _v (kJ/kg·K)	1.436	1.457	0.543		0.515	
	绝热指数 (K)	1.13	1.11	1.138	1.11	1.194	
动力粘度 μ ₀ × 10 ³ (0℃, 760 mm, Pa·s)		7.5	7.47	11.8	9.9	12.0	8.25
低燃烧热值(kJ/kg)		93 018.14	122 141.52	—	—	—	132 930.9

注：表中空白为数据暂缺。

冷剂流量可大大减少, 因此 DME 制冷系统阻力小, 充灌量较 CFC12 少。

(4) DME 对水和油均有一定溶解性, 并可使用 CFC12 系统的冷冻油和干燥剂, 因此 DME 系统发生冰堵的可能性较 CFC12 小。

(5) 经热力计算, DME 的单位容积制冷量仅比同工况 CFC12 小 7.38% (见表 3), 故可直接使用 CFC12 系统压缩机。

(6) DME 有可燃性, 在空气中 VOL% 为 3.4~26.7 时, 有爆炸危险。因此使用 DME 的制冷系统对密闭性和安全性要求应比使用 CFC12 高, 在设备制造及使用中必须严加注意, 并采取一定的安全措施。

由于 DME、CFC12、HCFC22 均为非强极性气体, 故采用 PR 状态方程进行状态参数及热物性参数计算, 为电冰箱理论制冷循环模拟计算供必要基础。PR 方程的基本形式如下:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)} \quad (1)$$

式中: P、V、T 分别为压力、比容、温度; R 为气体常数, $R = 81.4881629 \times 10^{-3}$ kJ/(kg·K); a、b 系数。

采用文献 [1]、[2]、[3]、[4]、[5] 给出的计算式及计算方法, 编制了用于求解 DME、CFC12、HCFC22 等制冷剂各状态参数和热物性参数的计算程序 (计算框图从略)。与文献 [6]、[7] 所提供的数据比较, 计算结果满足理论制冷循环模拟计算精度要求。

表 2 电冰箱制冷循环计算工况

蒸发温度 t_E	-23.3℃
冷凝温度 t_K	54.4℃
过冷温度 $t_{s,c}$	32.2℃
过热温度 $t_{s,h}$	32.2℃
环境温度 t_a	32.2℃

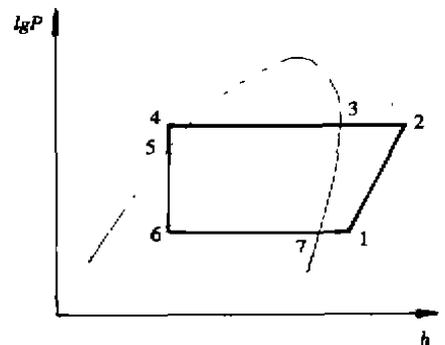


图 1 纯工质理论制冷循环 lg p - h 图

1.2 电冰箱理论制冷循环的模拟计算

电冰箱理论制冷循环的计算工况按文献 [8] 确定, 见表 2。该理论制冷循环的压焓图 ($\lg p-h$ 图) 见图 1。

作者根据上述的电冰箱理论制冷循环计算工况, 采用前述编制的计算程序, 进行了 CFC12、DME、HCFC22 等制冷剂的电冰箱理论制冷循环计算。计算结果列于表 3

表 3 几种工质理论制冷循环计算结果

		CFC12	DME	HCFC22
冷凝压力 P_k	(kPa)	1 343.965	1 315.156	2 158.306
蒸发压力 P_e	(kPa)	132.995	113.616	218.758
压缩比 $\pi (= P_k / P_e)$		10.105	11.575	9.866
压差 $\Delta P (= P_k - P_e)$	(kPa)	1 210.960	1 201.540	1 939.548
单位质量制冷量 Q_0	(kJ/kg)	128.662	373.048	162.617
单位容积制冷量 Q_v	(kJ/m ³)	930.223	861.531	1 469.019
单位质量功耗 W	(kJ/kg)	51.261	146.218	73.444
COP 值		2.510	2.552	2.214
压缩机排气温度 T_2	(K)	356.49	370.04	385.47

从表 3 看出:

(1) 在电冰箱规定工况下 DME 制冷循环的各项性能指标与 CFC12 非常接近, 而且 COP 值比 CFC12 略高。因此有可能用 DME 替代 CFC12。

(2) DME 单位容积制冷量较 CFC12 小 7.38%。对于同一制冷系统, 使用 DME 替代 CFC12, 其冷却速度略慢于 CFC12。

(3) DME 的压缩机排气温度较 CFC12 高 13.55 K。使用 DME 替代 CFC12, 其压缩机应适当选用耐热性高的润滑油。

(4) HCFC22 的单位容积制冷量分别比 CFC12、DME 高 58.91%、70.76%; 冷凝压力 P_k 和压缩机排气温度 T_2 分别比 CFC12、DME 高 60.59%、64.11% 和 34.71%、15.90%。因此 HCFC22 不宜直接替代 CFC12 用于电冰箱。但在 HCFC22 中加入一些排气温度和冷凝压力较低的物质, 则可改善其制冷性能, 同时 HCFC22 不燃烧, 还会改善加入物质的可燃性。因此可采用 HCFC22 与其他物质组成混合制冷剂替代 CFC12。作者对 HCFC22/DME 混合工质也进行了研究, 将在以后的文章中加以报导。

2 电冰箱制冷循环的对比试验

2.1 试验用样机及测点布置

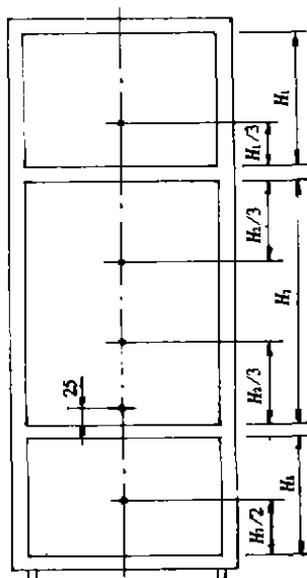


图 2 电冰箱和箱室测温点布置

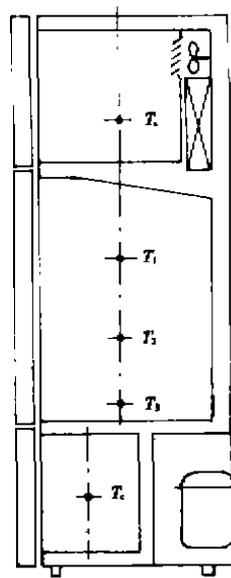


图 3 电冰箱制冷系统测温点布置

试验用样机为“富渝·将军”牌BCD-245W型三门三温风冷式电冰箱,其铭牌额定值见表4。

参照文献[9],在电冰箱样机的冷冻室、冷藏室及冷却室内相应位置放置外包铜质园柱的测点,见图2。为了观察和分析制冷系统的实际运行情况,分别在样机制冷系统有关位置(如压缩机、冷凝器、蒸发器等)设置了测温点和压力表,见图3。

2.2 测试室布置及测试仪器

测试室布置见图4所示。主要测试仪表有:

- (1) 单相标准电度表 DD28型 精度0.5级;
- (2) 功率表 D26-W型 精度0.5级;
- (3) 精密水银温度计 0~50℃ 最小分度0.1℃;
- (4) 精密直流电位差计 UJ33a型;
- (5) 压力真空表 -0.1~1.5 MPa 精度1.0级;
- (6) 电子称 ACS-15型 0~15kg,最小称量5g;
- (7) 天平 HCFP12A-20型 最小称重1g;
- (8) 石英钟 最小指示值1秒。

上述所有测试仪表均经过有关计量部门校验,其精度符合文献[9]要求。

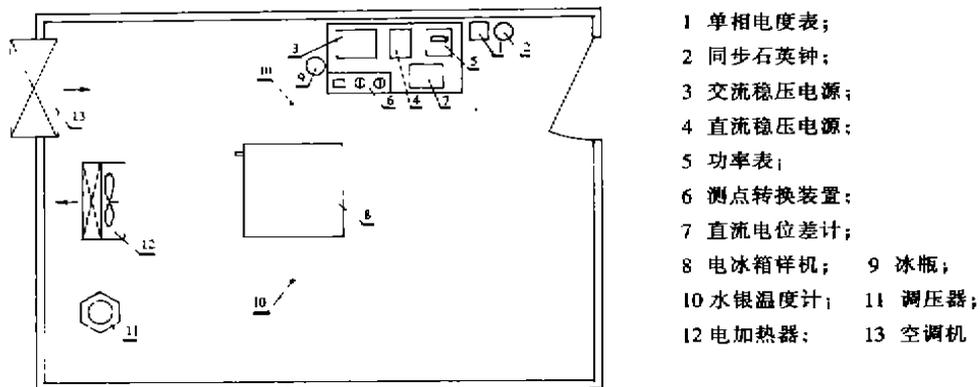


图4 测试室平面布置图

测试室温度由窗式空调机13和调压器11、加热器12协同调节与维持。电冰箱输入电源由TCGC-5/0.5型交流自动稳压电源3保持稳定。

3 试验方法、试验结果及分析

3.1 对比试验方法及结果

本试验是在“富渝·将军”牌BCD-245W型三门三温风冷冰箱上进行的。试验用制冷剂CFC12为四川富顺化工厂产品。DME由四川成都华菱化工有限责任公司提供,纯度为99.8%。我们对DME进行了纯净性常规检验,并根据文献[10]对其作了安全性复查。

对比试验是在不改动原冰箱结构条件下,参照文献[9]的有关规定,结合实际情况在环境温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、冰箱空载且箱内温控器均设于同一位置下进行的。首先按铭牌规定充灌CFC12 170g,进行冰箱冷却速度、耗电量、储藏温度及周期变化、压缩机吸、排气温度和压力、制冷系统温度分布

表4 电冰箱铭牌额定值

气候类型	N
制冷时输入总功率	122 W
化霜时输入功率	148 W
耗电量	1.45 kw·h/24h
冷冻能力	5 kg/24h
制冷剂名称及充入量	CFC12 170g

等项目测试;然后实验确定出 DME 最佳流灌量 (80g),在同一冰箱上充入 DME,在与 CFC12 相同环境温度条件下进行前述各项测试。

试验数据整理参照文献[9],对比试验结果见表 5 所示和图 5 所示。

3.2 对比试验结果分析

表 5 CFC12、DME 对比试验结果

序号	冷箱性能试验项目	CFC12	DME
1	冷却速度 (分)	63	76
2	工作时间百分率 (%)	46.50	56.47
3	耗电量(kw.h/24h)	1.350	1.435
4	冷冻室温度(℃)	-21.72 ~ -20.05	-21.4 ~ -19.81
	冷藏室温度(℃)	最大平均温度为1.53℃,且各测点温度均在0℃~10℃之间。	最大平均温度为1.07℃,且各测点温度均在0℃~10℃之间。
	冷却室温度(℃)	5.6	5.3
5	吸气表压力 (MPa)	0.048	0.046
6	排气表压力 (MPa)	0.693	0.701
7	吸、排气压差 (MPa)	0.645	0.655
8	最高吸气温度 (℃)	19.6	17.3
9	最高排气温度 (℃)	51	51.3

从试验结果可以看出,在不改变原冰箱结构条件下,使用 DME 替代 CFC12 有如下特点:

(1) 储藏温度非常接近,均能达到国标要求,与理论分析结果相一致,表明 CFC12 与 DME 性能指标非常接近。

(2) DME 的冷却速度和工作百分率分别比 CFC12 慢 20.63% 和增加 21.44%,这与理论制冷循环计算出的 DME 单位容积制冷量较同一工况下的 CFC12 偏小相符。DME 的单位容积制冷量较同工况下的 CFC12 低 7.38%,若使用同型号压缩机,则 DME 产冷量降低 7% 左右,因此采用 DME 替代 CFC12 应适当加大压缩机的排气量。

(3) DME 的耗电量比原机铭牌额定值降低 1.03%,但较对比试验中充入 170g CFC12 的耗电量增大 6.30%,与理论制冷循环计算出的 COP 值所表明的耗电量略有下降相矛盾。

从实测的吸、排气压力及温度可以看出,这个矛盾是由不同制冷剂的工况不同所致。所以采用 DME 替代 CFC12 应对制冷系统中的压缩机、冷凝器、蒸发器及毛细管等进行优化匹配,才能达到较高的 COP 值。

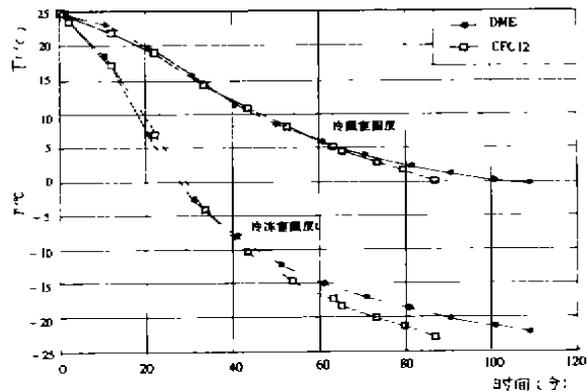


图 5 DME 在最佳充灌量下降温速度与 CFC12 的比较图

4 结 论

(1) 利用 PR 方程对 CFC12、HCFC22、DME 进行物性计算与理论制冷循环计算及分析,完全可以满足实际工程的精度要求。

(2) CFC12 与 DME 的对比试验表明,在不改变原冰箱结构情况下,只要相关的安全技术措施

得当,DME完全可以作为电冰箱用CFC12的替代物。该工质价格低廉,国内可大批量生产。另外,试验还表明,DME耗电量较原机铭牌额定耗量小1.03%,但较CFC12实测值大6.30%,若能根据DME热物性对电冰箱结构作适当改善和优化,其性能指标可望有较大改善。

(3) 采用DME替代CFC12的试验仅是开始,尚有大量有关DME的研究有待深入,其中较迫切需要解决的有:DME与HCFC22非共沸混合工质研究;DME及DME/HCFC22的换热特性;DME与润滑油的溶解性;长期运行的稳定性及保证生产和使用的安全措施等。

参考文献

- [1] 童景山,李敬编著. 流体热物理性质的计算[M]. 北京:清华大学出版社,1982
- [2] 苏长荪主编. 高等工程热力学[M]. 北京:高等教育出版社,1987
- [3] Jozef Slarawara and Andrzej Gawdzik, "Method of calculation of fugacity coefficient from cubic equation of state"[J]. Chem. Eng. Sci., Vol44, No. 7. pp1489 - 1494, 1989
- [4] Robert C. Reid, John M. Prausnitz, Bruce E. Poling, "The properties of Gases and Liquide"[J]. 4d ed - New York: Mc Graw - Hill c 1986
- [5] Reid, R. C., J. M. Prausnitz, Bruce E. Poling, "The properties of Gases and Liquide"[J]. 3d ed, Mc Graw - Hiu, New York, 1977
- [6] American Society of Heating Refrigerating and Air - conditioning Engineers[J]. 《ASHRAE Handbook Fundamentals》1993
- [7] 四川成都华菱化工有限责任公司. 二甲醚产品介绍[R]
- [8] 国家技术监督局发布 GB9098 - 88. 电冰箱用全封闭电动机 - 压缩机[S]
- [9] 国家技术监督局发布 GB/T8059 - 1995. 家用制冷器具冷藏冷冻箱[S]. 1996. 08. 01 实施
- [10] 汪 巩, 编. 有机化学[M]. 北京:高等教育出版社,1985

Simulating Calculation and Experimental Study on the Refrigerator with Substituting Dimethylether for CFC12

HUANG Zhong, SUN Chun-wu, WU Le-song, LIU Xian-ying
(Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China)

Abstract This paper presents a simulated calculation of the refrigerator's theoretical refrigeration cycle in with CFC12 and DME by PR state equation, and an experiment study of CFC12 in contrast to DME in the refrigerator. The results of experiment proved that it is feasible to substitute DME for CFC12 on the condition of no change of the structure of the refrigerator. On the condition of the fittest amount of refrigerant by the use of DME (80g). The energy consumption is 1.435 kW · h/24h, and decreases by 1.03% compared with the rated energy consumption (1.450 kW · h/24h) of the original refrigerator, and it offers a new way for developing refrigerator of environmental protection.

Key Words dimethyl ether(DME); refrigerator; alternative refrigerant