

# 用 R290 与 R152a 混和制冷剂替代 R22<sup>\*</sup>

王松岭 论立勇 谢英柏 范忠瑶

(华北电力大学动力工程系)

王松岭等. 用 R290 与 R152a 混和制冷剂替代 R22. 天然气工业, 2005; 25(7): 115~118

**摘要** R22(俗称氟利昂)因在空调温区内具有优越的物理特性和热力循环性能,在制冷空调领域得到了广泛应用,但由于其会引起臭氧层破坏和温室效应,因此按照《蒙特利尔议定书》和《京都议定书》的规定将被停止生产和禁用。目前替代 R22 应用比较广泛的是 R407C 和 R410A。文章提出了一种由丙烷 R290 和 二氟乙烷 R152a 组成的混和制冷剂来替代 R22,通过分析该混和制冷剂的环境影响指数、温度滑移特性、热力学特性、安全特性和润滑油等问题,经理论循环计算并与 R407C 和 R410A 进行了对比,结果认为:由质量分数为 65% 的 R290 和质量分数为 35% 的 R152a 组成的混和制冷剂是一种对环境危害很小,温度滑移很小,具有合适的压比和性能系数(COP),润滑特性很好的优良近共沸制冷剂,用于替代 R22 各项指标均优于 R407C 和 R410A。

**关键词** 丙烷 二氟乙烷 制冷剂 替代 氟利昂 环境影响评价 比较

替代 R22 的制冷剂目前较成熟的有 R407C 和 R410A,但它们仍然存在着一些问题,例如 R407C 蒸发时温度滑移比较明显,很难保证泄漏和补灌后系统中成分维持不变<sup>[1]</sup>;R407C 不能与矿物油互溶,要改用聚合酯类油;R410A 的压力高于 R22 约 50%,为适应高压以及优化换热器必须对原有系统重新设计<sup>[1]</sup>。

鉴于此,笔者提出了由丙烷 R290 与 二氟乙烷 R152a 组成的混和制冷剂替代 R22,并从物性和热

力循环特性等方面与 R407C 和 R410A 进行了对比分析。

## 一、制冷剂物性

### 1. 各制冷剂环境影响程度指数

R407C 组分包括 R32、R125 和 R134a, R410A 组分包括 R32 和 R125。笔者提出的混和制冷剂由 R290 和 R152a 组成, R22 和 R407C、R410A 各组分与 R290 和 R152a 对环境的影响指数对比见表 1<sup>[2]</sup>。

表 1 各制冷工质环境影响指数表

制冷剂	R22	R32	R125	R134a	R290	R152a
ODP	0.04~0.06	0	0	0	0	0
GWP	0.32~0.37	0.11~0.13	0.51~0.65	0.24~0.29	0	0.026~0.033
大气寿命(a)	13.3	6.2	40.5	14	<1	1.5

由表 1 可以看出由 R290 臭氧衰减指数 ODP 和温室效应指数 GWP 都为零, R152a 的 ODP 也为零, GWP 非常小。因此由两者组成的混和制冷剂不会对臭氧层造成破坏,且在温室效应和大气中存活寿命方面比 R22、R407C 和 R410A 更具优势。

### 2. R290/R152a 混和制冷剂温度滑移特性

在标准大气压下, R290/R152a 混和制冷剂温度

滑移特性随 R290 质量含量变化如图 1 和表 2 所示。

由图 1、表 2 可看出, R290 和 R152a 组成的混和制冷剂在标准大气压下,当 R290 质量含量在 60% 以上时温度滑移都低于 0.7℃,是一种近共沸制冷剂。

在标准空调工况下(蒸发温度为 7.2℃,冷凝温度为 54.4℃),不同质量分数的 R290 和 R152a 混合制冷剂的温度滑移如表 3 所示。

\* 本成果为华北电力大学博士学位教师基金资助项目(09310011)。

**作者简介:**王松岭,1954年生,华北电力大学教授、博士生导师;主要从事大型旋转流体机械的状态监测和故障诊断节能技术等研究。地址:(071003)河北省保定市华北电力大学 26 信箱。电话:13032996741。E-mail: lunliyong@126.com

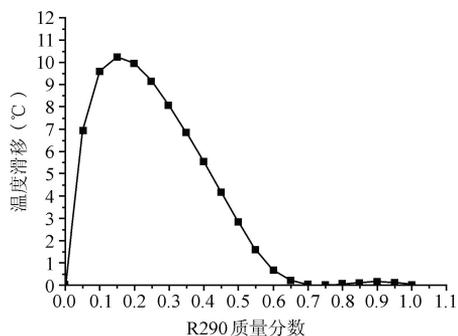


图1 标准大气压下温度滑移随 R290 质量含量变化图

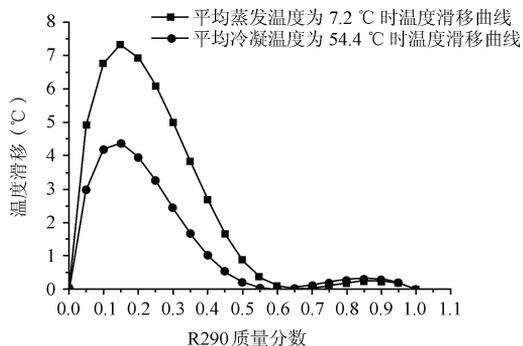


图2 标准空调工况蒸发冷凝温度下温度滑移随 R290 质量含量变化图

表2 R290/R152a 混和制冷剂在标准大气压下温度滑移表

制冷剂组分 (质量分数)	露点温 度(°C)	泡点温 度(°C)	温度滑 移(°C)
50% R290 /50% R152a	-39.45	-42.28	2.83
55% R290 /45% R152a	-40.86	-42.45	1.59
60% R290 /40% R152a	-41.92	-42.60	0.68
65% R290 /35% R152a	-42.50	-42.70	0.20
70% R290 /30% R152a	-42.73	-42.76	0.03
75% R290 /25% R152a	-42.76	-42.76	0.00
80% R290 /20% R152a	-42.65	-42.71	0.06
85% R290 /15% R152a	-42.46	-42.58	0.12
90% R290 /10% R152a	-42.22	-42.38	0.16
95% R290 /5% R152a	-41.95	-42.07	0.12

表3 标准空调工况下 R290/R152a 混和制冷剂温度滑移表

制冷剂组分 (质量分数)	平均蒸发温度 7.2°C		平均冷凝温度 54.4°C	
	压力 (MPa)	温度滑 移(°C)	压力 (MPa)	温度滑 移(°C)
30% R290 /70% R152a	0.5419	4.999	1.875	2.44
35% R290 /65% R152a	0.5628	3.819	1.927	1.67
40% R290 /60% R152a	0.5816	2.666	1.969	1.02
45% R290 /55% R152a	0.5977	1.653	2.000	0.53
50% R290 /50% R152a	0.6103	0.873	2.021	0.21
55% R290 /45% R152a	0.6190	0.361	2.033	0.05
60% R290 /40% R152a	0.6241	0.091	2.036	0.00
65% R290 /35% R152a	0.6259	0.003	2.033	0.04
70% R290 /30% R152a	0.6253	0.026	2.024	0.12
75% R290 /25% R152a	0.6226	0.106	2.009	0.21
80% R290 /20% R152a	0.6182	0.193	1.990	0.29
85% R290 /15% R152a	0.6123	0.254	1.968	0.32
90% R290 /10% R152a	0.6052	0.258	1.942	0.30
95% R290 /5% R152a	0.5969	0.181	1.914	0.20

由表3和图2可以看出,在标准空调工况下当R290在混和制冷剂中的质量含量在55%以上的时候温度滑移都很小,一般在0.4°C以下,远远小于R407C约5°C的温度滑移,基本上可以当作纯工质使用,是很好的近共沸混和工质,大大降低了制冷系统维修保养的难度。

### 3. R290/R152a 混和制冷剂的热力学特性

作为替代制冷剂首先要与被替代的制冷剂具有相似的饱和蒸气压曲线,从而达到一致的热力性能,减少对原系统的改动,笔者以65% R290/35% R152a的饱和蒸气压曲线与R22、R410A和R407C进行对比,分析了几种制冷剂在热力特性上的差异,见图3。

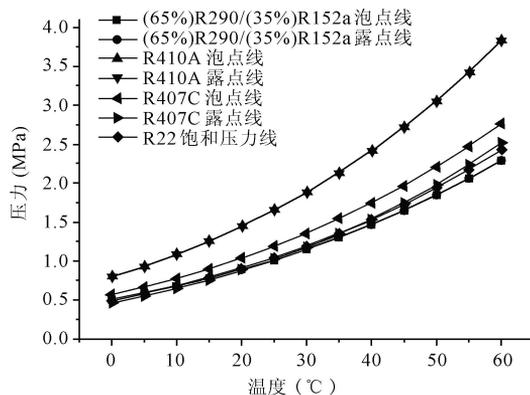


图3 65% R290/35% R152a与R22、R410A和R407C的饱和蒸气压曲线图

由图3可以看出,65% R290/35% R152a组成的混和制冷剂在热力特性上与R407C和R410A相比优势明显,首先65% R290/35% R152a组成的混和制冷剂露点线和泡点线几乎是重合的,具有非常小的温度滑移;其次它更加接近R22的饱和压力线。相比之下R407C露点线虽然比较接近R22的饱和

在空调标准蒸发冷凝温度下 R290/R152a 混和制冷剂温度滑移曲线如图2所示。

压力线,但是其温度滑移却很大(约 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),泡点线离R22的饱和压力线比较远,使用时分馏对维修保养带来困难。虽然R410A的露点线和泡点线也几乎重合,温度滑移可以忽略,但是它的压力明显高于R22(高出约50%),为了使用压力变化要求对原系统做适当改动。

## 二、循环特性分析

制冷剂最终要用于制冷循环中,因此循环性能的好坏是评价一种制冷剂优劣的重要因素,循环性能参数主要包括性能系数COP、压比、容积制冷量和

排气温度等等。对于替代制冷剂有以下要求:①COP大于或与被替代制冷剂差不多;②压比应比被替代制冷剂小,从而减小压缩机功耗,降低排气温度;③容积制冷量的变化应满足在考虑相应蒸发压力的情况下尽量减少对压缩机改动的原则;④排气温度尽量低。

标准空调工况(蒸发温度 $t_0=7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,吸气温度 $t_1=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷凝温度 $t_k=54.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,过冷温度 $t_s=46.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ )<sup>[3]</sup>,几种制冷剂采用7点循环模型得到的循环性能参数见表4。

从表4可以得出以下认识。

表4 标准空调工况下各制冷剂理论循环性能表

制冷剂	R22	R407C	R410A	65% R290/35% R152a
冷凝压力 $p_k$ (MPa)	2.146	2.326	3.380	2.033
蒸发压力 $p_0$ (MPa)	0.6254	0.6505	0.9969	0.6259
压比 $\pi$	3.431	3.575	3.391	3.248
单位制冷量 $q$ (kJ/kg)	149.9	142.3	146.7	224.4
吸气比容 $V_1$ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	0.04331	0.04119	0.03097	0.07401
容积制冷量 $q_v$ (kJ/kg)	3461.191	3455.044	4736.943	3031.644
等熵压缩功 (kJ/kg)	35.7	35.3	39.7	55.8
COP	4.199	4.031	3.695	4.022
排气温度( $^{\circ}\text{C}$ )	101.9	92.24	101.3	86.37

(1)在压力方面,65% R290/35% R152a 冷凝压力稍低于R22,比R407C和R410A低的比较多,65% R290/35% R152a的蒸发压力与R22相当,比R407C和R410A低,65% R290/35% R152a的压比比R22、R407C和R410A都低,从压力分析可以看出,65% R290/35% R152a不但与R22在蒸发压力和冷凝压力方面相差很小,而且具有很好的压力性能。

(2)容积制冷量方面,虽然65% R290/35% R152a的单位制冷量比R22、R407C和R410A都大,但因为它的吸气比容比较大,造成其容积质量比较小,为R22的87.71%,R410A的64.1%,与R407C相当。

(3)性能系数方面,65% R290/35% R152a性能系数是R22的95.8%,与R407C相当,高于R410A。

(4)排气温度方面,65% R290/35% R152a的排气温度比R22和R410A低 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,比R407C低 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,可以防止润滑条件恶化,润滑油结焦等问题,保证在高温地区的正常运行。

从以上循环特性各参数分析,65% R290/35% R152a混和制冷剂在冷凝压力、蒸发压力、压比、COP、排气温度等各个参数上都优于目前的R22替

代制冷剂R407C和R410A。

## 三、安全性能分析

空调器等制冷设备与人们的生产生活密切相关,因此必须考虑系统使用制冷剂的安全性能。

按照ASHRAE对各制冷剂毒性分类,R22、R290和R152a都属于A级,无毒性,但含氯的氟利昂物质如R22遇到明火时会分解出剧毒的光气。

在燃烧性和爆炸性方面,由于R290和R152a都具有可燃性,因此它们组成的混和制冷剂相对于R22不燃不爆的优良安全性能显得不是很令人放心。但根据文献[4]采用HC类自然制冷剂,当充装量小于600g时,完全泄漏后,只在泄漏点附近的局部区域内,可燃制冷剂的浓度达到或超过爆炸下限并遇到点火源时会引起局部爆燃或火灾。HFC类可燃制冷剂的爆炸下限远远高于HC类物质,当发生泄漏后一般不会产生爆炸事故,仅有可能在泄漏点附近遇到明火时引起火灾。对于HC类制冷剂,泄漏量为300g时,不同等级的伤害半径基本相同,从0.65m到0.9m;对于HFC类可燃制冷剂,泄漏量为600g时,不同等级的伤害半径也基本相同,从

0.4 m 到 0.6 m。这说明使用 HC 或 HFC 类可燃物作制冷剂,当充装量很小时,发生泄漏时一般不会引起爆炸事故,即使万一发生爆炸,由于爆炸伤害范围不超过 1 m,造成伤害也很小。

文献[5]认为 R290 的可爆性必须有 2 个条件叠加在一起,即 810 °C 的起爆温度和与空气的混合浓度在 2.5%~8.9%,2 种小概率事件同时发生的概率几乎是零。

由 R290 和 R152a 组成混合制冷剂具体的燃烧和爆炸特性还有待进一步试验研究。

但总的来说,相对于作为家用燃料的天然气,以及在汽车运行、化工生产中一直在大量使用汽油、烷烃类、醇类等易燃易爆物质,制冷系统中制冷剂的用量是很小的,只要做好安全保障措施,如提高焊接工艺,设置报警和加强通风等,发生事故的可能性将远远小于前者。因此并不能构成放弃使用该类制冷剂的理由。

## 四、润滑油

R290 具有碳氢化合物的共性,与油完全相容<sup>[1]</sup>。R152a 的溶油性由文献[6]可知纯质 R152a 与矿物油及聚烯烃类油完全不互溶,与聚脂类油和烷基苯油互溶性较好。因此由 R290 与 R152a 组成的混合制冷剂与聚脂类油或烷基苯油互溶性都比较好,如原系统使用烷基苯类油则替代过程中不需更换。

根据文献[7],即使在 HFC 或者其混合物中加入少量的碳氢化合物,HFC 与矿物油系统的回油性也可以得到改善。文献[8]表明,对于 R134a 和丁烷混合物,当丁烷的含量达到 5% 以上时,混合物与矿物油是互溶的。从以上文献可以看出在为 HFC 的 R152a 中加入丙烷有可能改善其与矿物油互溶性,但还需要进一步的试验研究。而 R407C、R410A 由于都由 HFC 组分组成,而 HFC 制冷剂与烷基苯油不相溶,因此代替 R22 时必须更换原系统采用的润滑油,而采用与之互溶性较好的润滑油。

## 五、结论

从上述分析可得出,由 R290 和 R152a 按一定比例组成的混和制冷剂性能非常优良,具有以下特点。

(1)环保性能好,相对于 R22、R407C 和 R410A,由 R290 和 R152a 组成的混和制冷剂对臭氧没有破坏性、温室效应指数非常小,大气寿命也很短。

(2)温度滑移小,标准空调工况下当混合物中 R290 的质量含量在 50 以上时温度滑移在 1 °C 以

下,是一种近共沸混和工质,温度滑移特性优于 R407C。

(3)压力特性好,65% R290/35% R152a 组成的混和制冷剂冷凝压力稍低于 R22 冷凝压力,比 R407C 和 R410A 低的比较多;蒸发压力与 R22 相当,比 R407C 稍低,远低于 R410A 的蒸发压力;压比 R22、R407C 和 R410A 都低。

(4)在性能系数上稍低于 R22,与 R407C 相当,高于 R410A。

(5)排气温度低,65% R290/35% R152a 的排气温度比 R22 和 R410A 低 15 °C 左右,比 R407C 低 5 °C 左右。

(6)该混和制冷剂可燃性是一个不利因素,但是如空调等小型制冷设备充灌量比较小,可以通过采用先进密封技术和安全措施,增强其安全性。

(7)润滑特性良好,替代 R22 过程中,如果原系统使用烷基苯油则不需替换原系统的润滑油,但 R407C 和 R410A 替代 R22 时必须更换润滑油,因此相对于 R407C 和 R410A 来说使用本文提到的混和制冷剂可以节省大量成本。

(8)经济性好,R290 广泛存在于石油、天然气中,提炼方便,价格便宜。丙烷的价格仅为 R22 的 10%,为 R134a 的 4.7%,降低了该新型混合制冷剂的成本,使其竞争性增强。

## 参 考 文 献

- 1 吴业正等.制冷与低温原理.北京:高等教育出版社,2004
- 2 吴业正,韩宝琦.制冷原理及设备.陕西西安:西安交通大学出版社,1997
- 3 吴业正等.小型制冷装置设计指导.北京:机械工业出版社,1998
- 4 田贯三,杨昭,刘万福等.可燃制冷剂泄漏及爆炸危害评价的研究.安全与环境学报,2001;1(6)
- 5 童明伟,吴治娟,董茂林.R290 的可燃爆炸性试验及在制冷机组中的试用.重庆大学学报(自然科学版),2002;25(1)
- 6 葛芊,阴建民,何茂刚等.替代工质 R152a 与 R22/R152a 的溶油性研究.西安交通大学学报,1996;30(5)
- 7 Mark W,Robert G. Performance and oil return characteristics of HFC/HC blends. Proceeding of Ninth International Refrigeration and Air Conditioning Conference Purdue,2002
- 8 徐敬东,周怡博,杨家骅.一种与矿物油相溶的共沸混合物制冷剂(发明专利),1998

(收稿日期 2005-04-22 编辑 居维清)