

新型混合工质 RE170/R134a 替代汽车空调中 R134a 的可行性研究

杜海存 叶茂杰 戴源德*

(南昌大学机电工程学院,南昌 330031)

摘 要 在汽车空调中大规模使用的致冷剂四氟乙烷(R134a)有较大的温室效应指数(GWP),GWP 为 1300,是一种过渡型替代致冷剂。将二甲醚(RE170)和 R134a 按 90:10 的质量配合比混合组成一种新型混合致冷剂(代号 NCUR02),从环境性能、热力学性质、循环性能、润滑特性、安全性和经济性等方面综合分析 NCUR02 替代汽车空调中 R134a 的可行性。研究表明:NCUR02 的消耗臭氧潜能值(ODP)为 0,GWP 为 130,环境性能优秀;温度滑移很小,标准大气压下小于 0.1℃,饱和压力线与 R134a 相近;与常用的 POE 油互溶性良好;单位质量致冷量是 R134a 的 233%,单位容积致冷量与 R134a 相当,制冷系统能效比(COP)比 R134a 高 8%,工作压力略低于 R134a,是一种性能优秀的近共沸混合致冷剂,替代车用空调中的 R134a 在技术上具有可行性,经济性上有显著优势。

关键词 RE170,R134a,近共沸混合致冷剂,汽车空调

Research on feasibility of RE170/R134a mixture as alternative for R134a in automobile air conditioner

Du Haicun Ye Maojie Dai Yuande

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031)

Abstract Tetrafluoroethane (R134a) is widely used in automotive air conditioning, but GWP of R134a is 1300, has negative impact on the global warming. R134a is a transitional alternative refrigerant, DME (RE170) and R134a were mixed with the mass ratio of 90:10 to form a new mixed refrigerant, named NCUR02. The feasibility of NCUR02 as an alternative to R134a was analyzed from the aspects of environment performance, thermodynamic property, cycle performance, lubrication characteristics, safety performance and economy performance. The results showed that NCUR02 had excellent environmental performance, ODP = 0, GWP = 130. The temperature slip was small, less than 0.1℃ at standard atmospheric pressure, and the saturated pressure line was closed to R134a. Its mutual solubility with POE oil was well. Its refrigeration capacity per unit mass was 233% of R134a, the refrigeration capacity per unit volume was equivalent to R134a, the cycle performance coefficient COP was 8% higher than R134a, the working pressure was slightly lower than R134a. It was a near-azeotropic refrigerant mixture with excellent performance. Thus, as a substitute for R134a, NCUR02 can be technically used in automotive air conditioner, and it had obvious advantage on economics.

Key words RE170, R134a, near-azeotropic mixture refrigerant, automotive air conditioning

当前在汽车空调中普遍采用 R134a 作为致冷剂,温室效应指数(GWP)高达 1300,根据欧盟的致冷剂替代法规(F-GAS),所有车用制冷设备中 GWP 大于 150 的致冷剂将被逐渐禁止使用。因此, R134a 被认为只是一种过渡型的替代物^[1]。国内外的制冷行业一直在积极寻求比 R134a 性能更加优秀的汽车空调致冷剂,然而尚未发现十分理想的替

代致冷剂。

研究车用空调致冷剂 R134a 的替代工质,要综合考虑环境性能、热力学性质、循环性能、安全性和经济性等多方面因素。二甲醚(DME,在致冷剂中编号 RE170),标准沸点-24.9℃,化学性质稳定、无腐蚀性、无致癌性和无毒^[2],臭氧衰减指数(ODP)为 0,温室效应指数(GWP)为 0,价格低廉。

基金项目:江西省自然科学基金项目(20161BAB2016124)

作者简介:杜海存(1963-),男,副教授,硕士生导师。研究方向为新型制冷空调技术。

联系人:戴源德(1970-),男,博士,副教授。研究方向为制冷空调节能环保技术。

研究发现,RE170 致冷性能与 R134a 接近,制冷系统能效比(COP)优于 R134a,回油性能好,是一种潜在的环保致冷剂^[3],具备替代 R134a 的潜力,然而由于 RE170 较强的可燃性,阻碍了它的发展。R134a 热力学性能优秀,ODP 为 0,不可燃,大规模应用于汽车空调中,但 GWP 值较高。因此,考虑将 RE170 和 R134a 混合,优势互补,RE170 降低致冷剂的 GWP,改善致冷剂与润滑油的相溶性,R134a 作为阻燃剂,降低致冷剂的可燃性,研究环保性能优秀的致冷剂,在当前车用空调冷媒 R134a 面临淘汰的形势下具有很好的研究价值和实用意义。

1 RE170/R134a 混合物的温度滑移特性

1.1 标准大气压下温度滑移特性

在标准大气压条件下,RE170/R134a 混合物的泡点温度和露点温度十分接近,二者随 R134a 用量(wt,质量分数,下同)变化的趋势大致相同,当 R134a 用量为 55%~65%时,露点温度和泡点温度几乎一样。

在标准大气压条件下,以任意配合比混合的 RE170/R134a 二元混合物,其温度滑移均不超过 0.25℃;在 R134a 的用量为 0%~75%时,温度滑移小于 0.1℃,当 R134a 用量为 55%~65%时,温度滑移几乎为 0,并存在共沸点。

1.2 典型制冷工况下的温度滑移特性

在冷凝温度为 60℃,蒸发温度为 0℃的汽车空调典型制冷工况下,无论是在冷凝器还是蒸发器中,任何用量的 RE170/R134a 混合物温度滑移均不超过 0.4℃,远小于 3℃;混合工质中 R134a 的用量不超过 60%时,温度滑移小于 0.05℃,可以像纯致冷剂一样使用。

欧盟的致冷剂替代法规(F-GAS)规定,新型车用制冷设备致冷剂的 GWP 不得超过 150,根据质量配合比加权准则,混合工质中 R134a 的用量不宜超过 11.5%。综合考虑致冷剂的物性参数,选择 RE170 用量为 90%与 R134a 用量为 10%组成混合致冷剂(代号 NCUR02)较合适。

2 NCUR02 替代 R134a 的可行性

2.1 环境性能

从 20 世纪 80 年代起,环境可接受性一直是考察致冷剂的一项硬指标,其中最重要的两个参数分别是 ODP 和 GWP,对于替代 R134a 的新型致冷剂,至少应满足 ODP=0,GWP 小于 150。R134a 和

RE170 的 ODP 均为 0,因此,由它们组成的混合致冷剂的 ODP 也为 0;根据质量配合比加权准则,NCUR02 的 GWP 为 130,仅为 R134a 的 10%,环境性能完全符合要求。

2.2 热力学性质

从热力学的角度看,替代致冷剂最好与原致冷剂具有相似的饱和压力^[4],有利于实现“灌注式”替代。NCUR02 的饱和压力线与 R134a 十分相近,略低于 R134a,说明 NCUR02 的热工性能与 R134a 相近,在替代 R134a 时不用对系统进行大的调整,有利于实现“灌注式”替代,有效降低替代成本。

2.3 循环性能

选择 R134a 的替代致冷剂必须要考虑致冷剂的循环性能。调用致冷剂物性软件 REFPROP 9.0 的数据库对 R134a 和 NCUR02 在汽车空调典型制冷工况(蒸发温度 0℃,过热度 5℃,冷凝温度 60℃,过冷度 5℃)下的循环性能进行理论计算,结果见表 1。从表 1 可知,NCUR02 的压力比相比 R134a 约低 5%,有助于降低压缩机功耗;排气温度为 78.56℃,比 R134a 大约高 8℃,仍远低于 R134a 车用空调压缩机排气温度上限;NCUR02 的蒸发压力和冷凝压力分别比 R134a 低 9.8%和 14.3%左右,对制冷系统的耐压性要求不高;从制冷能力考虑,NCUR02 的单位质量制冷量是 R134a 的 233%,可以有效减少系统的致冷剂充灌量,尽管 NCUR02 的吸气比容比 R134a 大,但单位容积致冷量与 R134a 相当,所需压缩机容量大小相同;NCUR02 的 COP 相比 R134a 明显增大,提高了 8.4%,在循环的运行经济性上有明显优势。

表 1 典型汽车空调制冷工况下 R134a 和 NCUR02 的理论循环特性参数表

致冷剂	R134a	NCUR02
蒸发压力/MPa	0.293	0.264
冷凝压力/MPa	1.682	1.442
压力比	5.74	5.46
单位质量制冷量/(kJ·kg ⁻¹)	123.58	287.67
吸气比容/(m ³ ·kg ⁻¹)	0.0710	0.1667
单位容积制冷量/(kJ·m ⁻³)	1739	1725
比功/(kJ·kg ⁻¹)	37.38	80.11
COP	3.31	3.59
排气温度/℃	70.62	78.56

在 45℃的环境温度条件下,致冷剂 R134a 和 NCUR02 用于汽车空调,研究结果表明:NCUR02

和 R134a 的制冷量相近,分别为 5015W 和 5034W, NCUR02 的 COP 值比 R134a 提高 8%,虽然 NCUR02 的排气温度比 R134a 提高了约 8℃,但还是远低于压缩机排气温度上限。

综上所述,用 NCUR02 替代 R134a,汽车空调系统部件不需要进行特殊的耐高压处理,压缩机不需要做任何改动,在维持同等制冷量的前提下减小了致冷剂的充灌量,降低了压缩机的功耗,提高了循环的经济性,有助于实现“灌注式”替代。

2.4 润滑特性

为了保证汽车空调系统正常运行,致冷剂与润滑油要有良好的互溶性。在 NCUR02 得到大规模应用前不可能针对它开发专用的润滑油,NCUR02 要在汽车空调上替代 R134a,与现在常用的润滑油要有良好的互溶性。

R134a 与矿物油不相溶,R134a 作为致冷剂的汽车空调系统采用人工合成的润滑油聚醚(PAG)或聚酯油(POE);而 RE170 与常用的矿物油、POE 油均有良好的互溶性^[5],在高于-15℃的温度范围内,RE170 与矿物油和 POE 都是完全互溶的。因此,混合工质 NCUR02 与 POE 油具有良好的互溶性,不需要开发专用的润滑油。

2.5 安全性

致冷剂的安全性主要包括两个方面,毒性和可燃性。NCUR02 中的组分 R134a 无毒性,在美国采暖、制冷与空调工程师学会(ASHARE)对致冷剂的毒性分类中属于 A 级,大规模应用于汽车空调;而 RE170 无腐蚀性、无致癌性、无毒。

NCUR02 中的组分 RE170 有较强的可燃性,安全类别属于第三类,接近第二类,可燃性比 HC 类低;但 R134a 不可燃,具有优秀的阻燃性,被作为哈龙的替代物作为灭火剂使用。由于 R134a 优秀的阻燃性和相对其他阻燃剂较低的 GWP,常被作为阻燃剂添加到可燃的 HFC 类中或 HC 类工质中,有效降低它们的可燃性^[6],RE170 和 R134a 混合后,可燃性会被有效抑制。

Maclaine-cross^[7]研究认为汽车空调在充注碳氢致冷剂时充注量不到汽车燃油携带量的 1%,只有蒸发器与乘坐空间相连,造成危险的可能性非常小。在达到与 R134a 相同的致冷效果时 NCUR02 的充灌量约为 0.3kg,充灌量很小,而且 NCUR02 的运行压力较低,不易发生泄漏,即使发生泄漏,由于汽车空调的工作环境是开放的,聚集的浓度也极

小。因此,只要适当做好安全保障,用 NCUR02 替代车用空调中的 R134a,安全性是有保证的。

2.6 替代成本

NCUR02 的成分为 R134a 和 RE170,每辆车使用 R134a 的致冷剂成本约 20 元人民币左右^[8],而每辆车使用 NCUR02 仅需 2 元左右成本,致冷剂成本更低,且 NCUR02 可以实现“灌注式”替代。

二氧化碳(R744)也被视为有望替代 R134a 的工质之一,但是其运行压力很高,作为汽车空调的致冷剂使用时需要重新设计制冷系统,对零部件耐压性要求严格,压缩机、蒸发器、冷凝器以及系统的连接管路等都需要重新设计,替代成本高昂。

3 结语

NCUR02 的 ODP 值为零,对臭氧层没有破坏,GWP 值仅为 130,是 R134a 的 10%,完全符合新型致冷剂选用原则中的环保要求。在热力学性质方面,标准大气压条件下,NCUR02 的温度滑移小于 0.1℃,是近共沸致冷剂,与 POE 油有良好的互溶性,润滑特性良好,有利于实现“灌注式”替代,替代成本低廉,不需要重新设计系统和零部件,有效减少替代成本,在技术上具有可行性,而且替代成本很低,系统运行经济性良好。

参考文献

- [1] 刘岩,梁荣光,巫江虹,等.新型汽车空调制冷剂 CMR-02 与 R12、R134a 性能比较[J].环境科学与技术,2007,30(10):23-24.
- [2] 刘敬辉,陈江平,鲁雪生,等.二甲醚(DME)制冷性能的实验研究[J].制冷学报,2006,27(1):23-27.
- [3] Yang Z, Wu X. Retrofits and options for the alternatives to HCFC-22[J]. Energy, 2013, 59: 1-21.
- [4] 徐明仿,杜维明,晏刚.近共沸制冷剂 R134a/R290 的研究[J].制冷与空调,2004,4(5):71-74.
- [5] 毕胜山,韦俊,刘志刚,等.DME、DME/R125 与润滑油互溶性实验研究[J].工程热物理学报,2012,33(11):1836-1838.
- [6] 刘靖,程艳华.R152a 与 R134a 混合制冷剂替代 R22 的可行性研究[J].流体机械,2010,38(11):63,77-80.
- [7] Maclaine-cross I L. Usage and risk of hydrocarbon refrigerants in motor cars for Australia and the United States[J]. International Journal of Refrigeration, 2004, 27(4): 339-345.
- [8] 孙西峰,韩杨.汽车空调替代制冷剂的比较[J].制冷与空调,2015,15(5):60-67.

收稿日期:2017-01-21

修稿日期:2018-02-22