

Safety and Performance Review of R290 Automotive Air Conditioner

Jie Liu^{1,2} Lanping Zhao¹

1. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai, 200092, China

2. Shanghai yinlun thermal exchange system Ltd., Shanghai, 200020, China

Abstract

Based on double carbon goal and Montreal Protocol ,R290 is the new refrigerant as low GWP and good heating performance on low temperature. In order to further study the application characteristic of R290 in automobile air conditioning, summary existing technical achievements of safety and performance in this paper. The results show that: for safety, the characteristic is inflammable and poisonous; for safety protection, reduce leakage, enhance flame retardant measures and localize R290 device on energy bin with secondary loop ; for performance, improve vehicle thermal management and ex-changers capacity to make up the loss by secondary loop are the main methods.

Keywords

R290; Automotive air conditioner; Safety; Performance; Secondary loop

R290 汽车空调安全与性能综述

刘杰^{1,2} 赵兰萍¹

1. 同济大学机械与能源工程学院, 中国·上海 100084

2. 上海银轮热交换系统有限公司, 中国·上海 200020

摘要

基于我国“双碳”目标和《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》，R290因其低GWP特性和良好的低温制热能力，作为新能源汽车空调环保型制冷剂替代方案，为进一步研究R290在汽车空调中的应用特性，本文从安全性、安全防护、性能表现三大方面进行总结。结果表明：安全性主要体现在易燃、有毒；安全防护主要体现在，减少泄漏量，加强阻燃措施，使用二次回路将R290机组放在舱外提升系统安全性；在性能方面，提升热管理综合控制和提升零部件换热能力，弥补二次换热带来的损失为主要提升手段。

关键词

R290; 汽车空调; 安全; 性能; 二次回路

1 引言

随着我国“碳达峰、碳中和”目标的提出，新能源汽车得到快速发展，为解决低温环境空调能耗高，续航里程短等问题，热泵系统以及整车热管理余热回收和智能化、精细化控制方式^[1]得到重点推广。同时，基于《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》，目前广泛应用的R134a需要迫切向低GWP工质转换，CO₂、R290、R1234yf等环保制冷剂受到行业青睐，其中，R290即丙烷，ODP=0，GWP=3，成本低廉，低温制热能力突出，目前主要用于中央空调、热泵空调、家用空调和其他小型制冷设备。

【作者简介】刘杰（1989—），男，中国山西吕梁人，在读硕士，工程师，从事能源动力研究。

2 R290 汽车空调安全性

R290 安全隐患是点燃和爆炸，与空气混合形成爆炸性混合物，遇热源和明火有燃烧爆炸危险。

2.1 制冷剂燃烧特性研究

R290 燃烧下限越高，燃烧上下限差值越小，最低点燃能越大，燃烧速度越低，可燃性越小^[2]。

赵洋等^[3]总结了国内外学者对R290房间空调器在安全性和性能方面的研究成果，为汽车空调提升安全性提供了借鉴意义。

葛昕等^[4]研究R290热泵系统不同泄漏温度、体积流量下的燃烧特性，表低温下更难点燃，在高泄漏体积流量和温度下会发生喷射火焰的吹灭现象。

Feng等^[5]研究R290的燃烧和爆炸特性，表明靠近火焰底部的特定气流扰动会增强燃烧强度。

2.2 毒性

R290 无色无味，微毒，10% 以下的浓度，只引起轻度头晕；接触高浓度时可出现麻醉状态、意识丧失，极高浓度时可致窒息^[3]。

3 R290 汽车空调安全防护

针对 R290 汽车空调的安全防护，可参考家用空调目前采用的方法，降低可燃制冷剂泄漏量、阻燃以及防爆物质使用^[3]。

3.1 泄漏

减少泄漏量目前主要手段分为两部分：

3.1.1 提升系统结构强度，减少可燃制冷剂泄漏量。

汽车空调使用 R290 系统的危险性表现在实际运行过程中和售后维修过程中。

1) 实际运行过程中，Zhang 等^[6]研究了 R290 可燃制冷剂在车辆制冷系统内的泄漏情况，进行了优化，减少了乘员舱内发生燃烧爆炸危险。

2) 维修过程中的注意事项与使用液化天然气作燃料相同，防护措施成熟，危险相对更可控。

3.1.2 减少制冷剂充注量，从而减少制冷剂泄漏量

市场上汽车空调生产商构建基于载冷剂液体循环二次回路系统，降低系统充注量，并且回路在发动机舱中，有效规避制冷剂安全风险，并实现系统集成化、小型化的优势^[1]。

3.2 阻燃措施

目前从防止制冷剂泄漏浓度超标和规定元器件选用两方面提升阻燃效果。

1) 针对泄漏浓度，利用浓度检测仪监测汽车空调系统中燃烧危险源处 R290 浓度。

2) 针对元器件包括电动压缩机、电子膨胀阀、电磁阀、开关、风机等^[7]，采用防爆无火花型，且在产生火花的部位设置防护罩。

另外，由于 R290 气体密度比空气大，浓度检测仪应紧贴部件下方布置，电器元件在上方布置。

4 R290 性能表现

4.1 R290 与其他潜在制冷剂参数对比

R290 制冷剂各个方面的表现如图 1 和表 1。

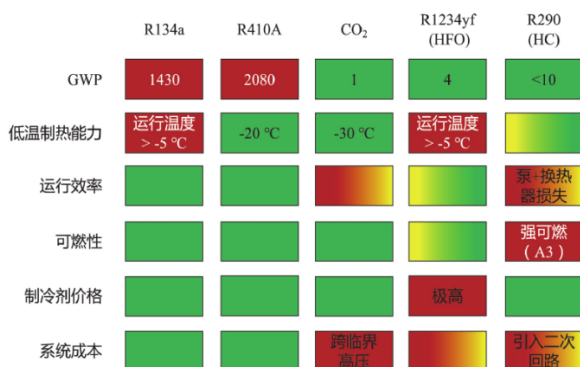


图 1 R290 与其他替代制冷剂综合对比

表 1 R290 与其他替代制冷剂物性表^[8]

参数	R1234yf	CO ₂	R290
分子式	CF ₃ CF=CH ₂	CO ₂	C ₃ H ₈
沸点 (1atm)/°C	-29.45	-78.4	-42.2
临界温度 /°C	94.7	31.1	96.7
临界压力 /Mpa	3.382	7.38	4.25
GWP	4	1	3
安全等级	A2L	A1	A3
大气寿命 / 年	0.03	> 50	0.041

4.2 R290 二次回路性能研究总结

对于 R290 系统，采用二次回路系统必然会带来性能衰减，业界从两相流分析、换热器优化、系统架构设计等角度提出优化方案，如表 2。

表 2 R290 汽车空调性能研究总结

文献	结论
黄广燕 ^[9]	搭载带水环路的 R290 热泵系统实验台，发现在环境温度 45°C、车内温度 27°C 时，系统制冷量衰减 300~500 W，在环境温度 -20 °C、车内温度 20°C 时，制热量衰减 200~400 W。
Liu,CC 等 ^[10]	室外环境温度对 R290 热泵系统制热量有很大的影响，但对系统 COP 的影响不大；室内环境温度对系统制热能力和 COP 的影响则相反
季志远等 ^[11]	试验验证 R290 热泵系统耦合二次回路系统和补气增焓技术，在 -20 °C 工况下，系统的制热量和 COP 分别上升 25.0% 和 15.3%，若同时使用余热回收，可以满足车体热负荷需求。比典型的 R290 系统制热量高 33.3~37.4%
Longo,GA 等 ^[12]	对比 R404A、R290、R1270 在板式换热器中的沸腾传热系数和压降，R290、R1270 沸腾传热系数与 R404A 相近，但是压降偏高。
梅娜 ^[13]	提出改进的灰狼算 (MGWO_SVR)，搭建 R290 热管理系统智能控制策略模型。
陈怡吉 ^[14]	基于 AMESim 建立电动汽车空调仿真模型，表明 R290 制热性能更优且大于 R134a，系统 COP 随压缩机转速升高先上升后下降。
Li,WY 等 ^[15]	通过试验验证废热回收对于二次回路防结霜的效果，结果表明在 -20°C 到 0°C 时，除霜效果稳定可靠。
Li,G 等 ^[16]	实验验证二次回路 R290 充注量比 R134a 减少 60%，在典型 35°C 工况时，高速条件下 COP 提升 8%，怠速工况下 COP 降低 15%

另外，徐琳娇^[17]和徐言生等^[18]，实验证明润滑油对系统性能的影响，低含油量对系统制冷量和制冷系数有积极作用，而且有利于减少充注量。

5 结语

本文针对 R290 汽车空调系统进行综述研究，得出结论：R290 以其低 GWP 值、良好低温制热特性、价格低廉等优势成为最有潜力的替换制冷剂。

基于 R290 的安全特性，目前采用基于载冷剂的二次回路设计，将系统布置在乘客舱外，同时在有泄漏风险区域布

置传感器，并选用无火花型电器设备。

提升零部件换热性能和整车热管理能力，弥补二次环路能量损失，减少 R290 使用量成为物理隔断和防护的主要手段，达到更优的安全等级。

参考文献

- [1] 邹慧明, 唐坐航, 杨天阳等. 电动汽车热管理技术研究进展[J]. 制冷学报. 2022,43(03): 15-27.
- [2] 金昕祥, 徐冉, 李改莲等. HFO-1234yf在空调系统中应用研究进展[J]. 低温与超导. 2014, 42(05): 63-69.
- [3] 赵洋, 杨双, 蔡宁. R290房间空调器安全与性能研究综述[J]. 制冷技术. 2023, 43(01): 81-86.
- [4] 葛昕, 韩南奎, 胡莎莎等. 电动汽车热泵系统中易燃制冷剂R290的燃烧特性[J]. 广州化学, 2020,45(02): 16-21.
- [5] Feng B, Yang Z, Lv Z, et al. Effect of gas disturbance on combustion characteristics of flammable refrigerants near LFLs[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019, 368(119): 21-32.
- [6] Zhang, Y; Liu, C; Wang, TY, et al. Leakage analysis and concentration distribution of flammable refrigerant R290 in the automobile air conditioner system[J]. International Journal of Refrigeration. 2020,110: 286–294.
- [7] 王真真, 李康, 方奕栋等. R290汽车空调系统安全要求分析[J]. 实验室科学, 2020,23(01):25-29.
- [8] 张凯, 欧阳洪生, 张董鑫等. 电动汽车热泵空调冷媒研究进展[J]. 浙江化工. 2021,52(07):6-12.
- [9] 黄广燕, 邹慧明, 唐明生等. R290电动汽车热泵空调性能实验研究[J]. 制冷学报. 2020,41(06):40-46.
- [10] Liu, CC; Zhang, Y; Pan, LY. Performance evaluation of propane heat pump system for electric vehicle in cold climate[J]. International Journal of Refrigeration, 2018(95):51-60.
- [11] 季志远, 王海民, 王传伟等. 用补气的二次回路热泵系统在低温下的实验研究[C]. 2022中国汽车工程学会汽车空气动力学分会学术年会会议文集-热管理分会场. 中国上海, 2022-10-20: 54-66.
- [12] Longo, GA; Mancin, S; Righetti, G; et al. HFC404A vaporisation inside a Brazed Plate Heat Exchanger (BPHE): Comparison with the possible long-term low GWP substitutes HC290 (Propane) and HC1270 (Propylene)[J]. Applied Thermal Engineering, 2016(108): 1401-1408.
- [13] 梅娜. 新能源汽车热管理系统智能控制技术研发[D]. 山东省, 山东大学, 2022.
- [14] 陈怡吉. 电动汽车不同工质类型热泵空调系统的制热性能[J]. 北京汽车. 2023(04):10-14.
- [15] Li, WY; Liu, YS; Liu, R; et al. Performance evaluation of secondary loop low-temperature heat pump system for frost prevention in electric vehicles[J]. Applied Thermal Engineering, 2021(182): 115615.
- [16] Li, G; Eisele, M; Lee, H; et al. Experimental investigation of energy and exergy performance of secondary loop automotive air-conditioning systems using low-GWP (global warming potential) refrigerants[J]. Energy, 2014(68): 819-831.
- [17] 徐琳娇. R290替代R22的空调用旋转压缩机几个关键技术分析[C]. 上海市制冷学会2017年学术年会论文集. 上海: 上海市制冷学会, 2017.
- [18] 徐言生, 郭宏, 吴治将, 等. 润滑油对R290空调系统性能影响的实验研究[J]. 制冷, 2017, 36(4): 1-6.