

文章编号:0253-4339(2013)02-0009-06
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2013.02.009

分体式房间空调器 R290 和 R1270 替代 R22 实验研究

杨林德 吴建华 侯杰

(西安交通大学制冷与低温工程系 西安 710049)

摘 要 现今空调器中广泛使用的 R22 因环保问题而遭淘汰,HFCs(氢氟碳化物)会加剧温室效应,亟需寻求更为合适的制冷剂,HCs(碳氢)初见端倪。采用空气焓值法,在 R22 分体式房间空调器中充注 R290 和 R1270,进行性能实验研究。结果表明,标准工况下,用 R290 直接灌注式替代 R22 时,系统制冷量降低 5.0%,EER 升高 10.3%,而换用排量 20% 的压缩机能提高制冷量 8.9%,而 EER 降低 8.5%,但性能较原 R22 系统要好;R1270 系统性能要优于 R290 系统。结果还表明,随着室外温度降低,碳氢系统制冷量和 EER 的增加速率和增幅均大于原 R22 系统,且室外温度低时碳氢系统性能更优,有利于节能。研究结果表明,HCs 适合在空调器中替代 R22,具有广阔的应用前景。

关键词 房间空调器; R290;R1270;空气焓值法;碳氢;性能

中图分类号:TB657.2 **文献标识码**:A

Experimental Study of Split Room Air Conditioner Charged with R290 and R1270 as Substitutes to R22

Yang Linde Wu Jianhua Hou Jie

(Department of Refrigeration and Cryogenic Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China)

Abstract It is urgent to seek more suitable refrigerants as the traditional R22 used widely in air conditioners nowadays is under phase out for its environmental problems and hydrofluorocarbons (HFCs) would aggravate global warming effects, while hydrocarbons (HCs) have drawn public attention. In this paper, R290 and R1270 were adopted as refrigerants in a R22 original split room air conditioner to carry out performance experiments using air-enthalpy test method. The results indicate that under normal condition, adopting R290 as a drop-in substitute to R22 would offer 5.0% lower cooling capacity and 10.3% higher energy efficiency ratio (EER), and the use of the 20% larger displacement compressor could help increase cooling capacity by 8.9%, but reduce EER by 8.3%, however, the performance is better than that of the original R22 system. And the performance of the R1270 system is better than that of the R290 system under normal condition. The results also show that, with respect to the original R22 system, HC systems have higher increase rate and greater increment in both cooling capacity and (EER) with the decrease of outdoor temperature and they have better performance when outdoor temperature is relatively low. The results demonstrate that HCs are promising substitutes to R22 and deserve wide application prospects in air conditioners.

Keywords room air conditioner; R290; R1270; air-enthalpy test method; hydrocarbon; performance

鉴于如今广泛用于制冷空调领域的制冷剂 R22 存在着环保问题,《蒙特利尔议定书》缔约国会议将其列入逐步淘汰名单,且已通过加速淘汰 HCFC(氢氟氯烃)计划^[1],制冷剂的替代工作已经成为制冷空调领域的研究热点和重心所在。早前,美国和日本等主张采用 R410A 和 R407C 等 HFCs(氢氟烃)^[2]。这些工质虽对臭氧层无破坏作用,但其 GWP(全球变暖潜能值)比 R22 还高^[3]。已有研究表明,如不对 HFCs 的使用和排放采取有效限制措施,至 2050 年,HFCs 排放量最大将会占到 CO₂总排放当量的 45%,会使温室效应进一步恶化^[4]。国际社会现已普遍认同 HFCs 不宜作为 R22 的长期替代物,亟需寻求更为合适的,尤其是 GWP 较小,且物性与 R22 差异不大的制冷剂,欧洲和亚洲一些国家所主张采用的 HC_s(碳氢)越来越引人注目^[5]。

碳氢工质的 ODP(臭氧层破坏潜能值)为零, GWP 几乎为零^[3],具有优越的环境友好性。在制冷空调领域,碳氢工质主要是指 R290 和 R1270,二者的

临近温度、沸点等主要热力学性质同 R22 相近,适合作为替代工质,而汽化潜热更大、传热特性更优,且过热对其有利;作为自然工质,其来源广泛,易于获得,价格低廉,还能很好地同现行普遍使用的润滑油和材质等兼容;在循环特性方面,R1270 的饱和压力偏高,而 R290 的容积制冷量偏低^[6-13]。值得注意的是,碳氢工质自身的易燃性极易引发安全风险,在一定程度上限制了其应用。国际社会向来对可燃制冷剂的使用持特别谨慎态度,甚至曾一度命令禁止任何形式的使用^[14],近年来得益于人们日益高涨的环保意识和诉求,碳氢工质因此得以重回公众视野,有待通过技术创新来削弱乃至消除这一安全隐患。

在欧洲和亚洲一些国家,R290 和 R1270 等碳氢工质已在热泵等中得到良好应用,其易燃性导致的安全风险得到较好控制,并且性能也令人满意^[5-6],这就为碳氢工质在普遍使用于家庭、办公室等场所的房间空调器中的应用提供了很好的借鉴。Devotta S et al^[15]在一制冷量为 5.13kW、EER 低于 2.5 的 R22 窗式空调中充注 R290,发现在低温和高温条件下,R290 系统制冷量分别降低 6.6% 和 9.7%,而 EER 分别增加 7.9% 和 2.8%。Zhou Guobing 和 Zhang Yufeng^[16]在一制冷量为 3.2kW、EER 为 2.4 的分体式空调中用 R290 替代 R22,结果表明 R290 制冷量较 R22 降低 4.7%~6.7%,而 EER 增加达 8.5%。李廷勋等人^[17]在一制冷量为 2.5kW、EER 为 3.05 的 R22 分体式房间空调器中进行 R290 替代实验,结果表明 R290 系统制冷量略微降低,而 EER 增加 10%~15%。大量灌注式替代研究都表明,R290 在空调器中替代 R22 时,制冷量和 EER 能够得到保持,甚至更优,且充注量减半,排气温度更低,从性能的角度证实了 R290 替代 R22 具有相当的可行性^[18-22]。有关 R1270 替代 R22 的实验也得到类似结论,但研究较少^[22-23]。

对于 R290 灌注式替代 R22 实验中普遍表现出的制冷量降低、EER 增加现象,前者可归因于 R290 单位容积制冷量偏小,后者则是因为两器(冷凝器和蒸发器)传热温差减小,而这除因 R290 热物理性质较好外,还同因制冷量减小引起的两器传热负荷降低有关。毋庸置疑,制冷量必须要得到保证,较好的方法就是增加压缩机排量。Padalkar A S et al^[24]针对一额定制冷量为 5.13kW 的分体式房间空调器,进行了此方面的研究,结果表明,换用排气量大 10% 的压缩机后,R290 系统制冷量增加 2.8%,而 EER 降低 1.1%,效果并不理想。考虑到 R290 的单位容积制冷量较 R22 小 15% 左右,加之其大排量压缩机的功耗

随之增加,因此压缩机排气量增加 20% 较为合适。此外,在保持系统两器不变,同时增加压缩机排量亦即制冷剂质量流量以增加制冷量,即增加两器传热负荷的情况下,考察系统性能的变化,还可验证 R290 热物性的优越性。

在 R22 分体式房间空调器中分别充注 R290 和 R1270,在变充注量和变室外温度工况下,除进行直接灌注式替代实验外,还换用排量较原压缩机大 20% 的压缩机进行实验研究,旨在对比碳氢系统和原 R22 系统的性能,同时考查系统两器和制冷量相当时碳氢系统的性能。

1 实验

1.1 实验系统

选用广东美的制冷设备有限公司生产的分体式房间空调器 KFR-26GW/DY-P(E2) 为实验样机,该空调器原为 R22 设计,充注量为 1150g,制冷量为 2.4kW, EER 为 3.2。原空调器压缩机型号为 PH150X1C-8FTD3,排量为 15cm³。除采用 R290 和 R1270 在样机中进行直接灌注式替代实验外,还换用型号为 PH180X1C-8FTD3 的压缩机进行性能实验。此压缩机排量为 18cm³,较原压缩机增加 20%,除曲轴偏心距变大外,气缸高度、直径等其它结构参数与原压缩机相同。实验中使用的制冷剂纯度均大于 99%。考虑到 R290 和 R1270 在润滑油中溶解度较大,原 R22 用矿物油不足以保证可靠润滑效果,实验中选用一种粘度更高的同类矿物油作为润滑油。

根据 GB/T7725—2004^[25],分体式房间空调器的制冷量等的测量采用空气焓差法,实验在焓差室中进行。焓差室包括室内侧和室外侧两部分,两侧的空气干/湿球温度可控。整个实验中,采取多种措施以降低碳氢制冷剂易燃性可能引发的安全风险,包括管路连接采用焊接、电气部件均密封等。此外,采用 Honeywell Searchpoint optima plus 作为预警装置,旨在制冷剂突发泄漏时提供报警,以尽可能降低风险。

1.2 实验步骤

实验中,原 R22 空调器分别充注 R290 和 R1270,在标准工况和变室外温度工况下进行实验。标准工况的室内、外干/湿球温度分别为 27/19、35/24℃;变室外温度工况的室内温度保持 27/19℃ 不变,而室外温度分别为 29/24、32/24、38/24、40/24℃。系统稳定运行 1 h 后开始记录实验数据,共记录 7 次,每次间隔 5 min,取其平均值。

实验步骤如下:首先,原 R22 空调器充注 R22 (1150g),在变室外温度工况下进行性能实验,以作

为评价碳氢系统性能的参考;其次,按照标准方法移除原 R22 空调器内的 R22 及润滑油,并先后充注 R290 和 R1270 及润滑油,先在标准工况下进行变充注量实验,以确定最佳制冷剂充注量,再在变室外温度工况下进行性能实验;然后,原 R22 空调器换用大排量压缩机,按上一步的方法分别进行 R290 和 R1270 的实验;最后,分析实验数据并讨论。

2 结果与讨论

2.1 变充注量

标准工况下,原 R22 空调器分别充注 R290 和 R1270 时,系统制冷量、功耗和 EER 随充注量的变化分别如图 1~3 所示。

由图 1 可以看出,随着充注量的增加,碳氢系统的制冷量都呈先增后降的变化趋势;与此同时,图 2 表明,功耗一直在增加。由此可预知碳氢系统 EER 的变化情况也是先增后降,图 3 证实了这种猜测。碳氢系统制冷量和 EER 随充注量相同的变化趋势说明,各系统均存在最佳制冷剂充注量,此时系统的性能最佳。

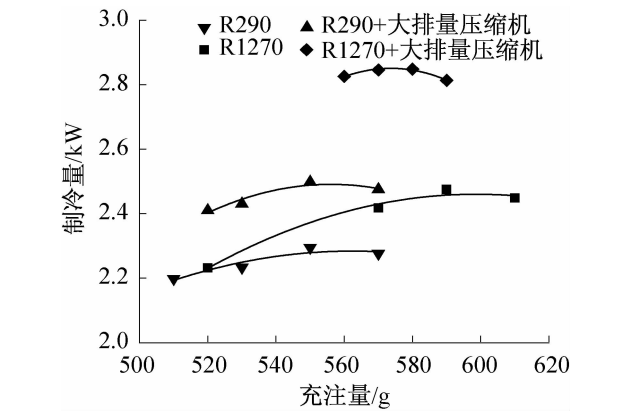


图 1 标准工况下系统制冷量随充注量的变化
Fig. 1 Cooling capacity with charge under normal condition

表 1 给出了各系统的最佳制冷剂充注量及性能,同时给出了它们同原 R22 系统的对比。由表可知,

表 1 系统佳最制冷剂充注量及性能

Tab. 1 Optimum charge and performance for systems under normal condition							
系统	制冷量/kW	增幅/%	功耗/kW	增幅/%	EER	增幅/%	充注量/g
R22	2. 4165	—	0. 7531	—	3. 209	—	1150
R290	2. 2948	-5	0. 6487	-13. 9	3. 54	10. 3	550
R1270	2. 4752	2. 4	0. 7654	1. 6	3. 234	0. 8	590
R290 + 大排量压缩机	2. 4981	3. 4	0. 7716	2. 5	3. 238	0. 9	550
R1270 + 大排量压缩机	2. 8455	17. 8	0. 8904	18. 2	3. 183	-0. 8	570

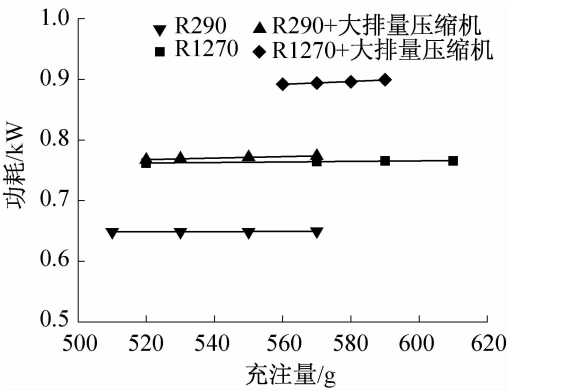


图 2 标准工况下系统功耗随充注量的变化
Fig. 2 Power consumption with charge under normal condition

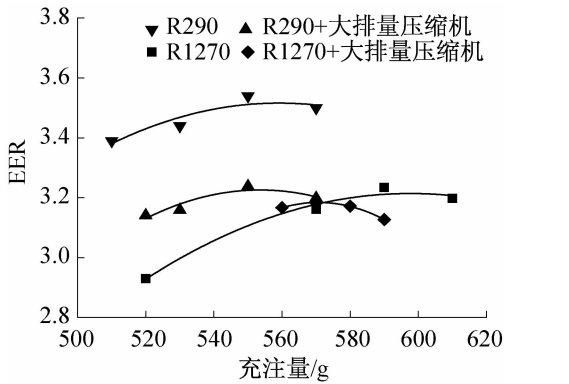


图 3 标准工况下系统 EER 随充注量的变化
Fig. 3 EER with charge under normal condition

根据制冷量优化得到的碳氢系统最佳制冷剂充注量均为原 R22 系统充注量的一半左右。换用大排量压缩机前、后,R290 系统最佳充注量均为 550g,R1270 系统最佳充注量分别为 590g 和 570g。这说明换用大排量压缩机对碳氢系统制冷剂充注量的影响不大。碳氢系统制冷剂充注量仍然过大,难以满足 EN 378 等标准的要求^[14],有待削减。事实上,碳氢工质易燃性引发的安全风险,主要归因于过多的充注量,而充注量是可以削减的,且在采取相应密封、焊接手段和预警装置后,碳氢系统的安全风险大大降低,甚至可以消除^[11-12]。

从表1可以看出,在标准工况下,原R22空调器仅换用高粘度同类润滑油后充注R1270,制冷量和EER分别较原R22系统都略有提升,而充注R290时,EER增加较多,制冷量却降低。制冷量出现如此的差异,主要可归因于不同制冷剂单位容积制冷量的不同。R290的单位容积制冷量较R22小15%,而R1270的单位容积制冷量较R22略高^[6],因此,直接灌注式替代时,R290系统的制冷量降低,而R1270系统的制冷量增加,而变化的具体幅度还与制冷剂的物性有关。为提高R290系统制冷量,有必要增加系统内R290循环流量。R290和R1270系统的EER都较原R22系统要高,这除了两种碳氢制冷剂的热物理性质要优于R22外,还可能与因制冷量降低引起的两器传热负荷变小有关。

由表1还可以看出,原R22空调器换用排量20%的压缩机后充注R290和R1270,制冷量均较换用压缩机前大大增加,这主要是压缩机排量的增加使得系统内制冷剂循环流量增加,尤其是弥补了R290容积制冷量小的缺陷。与此同时,压缩机排量增加时,压缩机耗功也增加,且其增加幅度超出了制冷量增加幅度,因而EER反而降低。但R290的制冷量和EER都较原R22系统要高,而R1270系统EER虽较原R22系统略有降低,但制冷量大幅度增加。总之,在两器不变的情况下,系统换用大排量压缩机后充注R290和R1270时的制冷量大幅度增加,而EER与原R22系统相当,甚至更高,排除了因制冷量降低引起的两器传热负荷变小的因素,说明R290和R1270的热物理性质要优于R22。

由表1可以得知,换用大排量压缩机后,R290和R1270系统制冷量较换用前分别增加8.9%和15%,说明大排量压缩机能显著提高碳氢系统的制冷量;但由于耗功分别增加18.9%和16.8%,EER分别降低8.5%和1.6%。与此同时,原R22系统换用大排量压缩机后充注R1270时制冷量较充注R290时高13.9%,而EER仅低1.7%。总之,原系统充注R1270时制冷量增加较多,EER损失较小。而R290和R1270系统的制冷剂充注量差不多,这说明R1270的单位质量制冷量更大。考虑到R290和R1270的可燃下限分别为 0.038kg/m^3 和 0.040kg/m^3 ,R1270更小,因此,从安全性的角度说明R1270较R290更具有优势。

此外,由于毛细管长度对系统性能有着重要影响,而前述实验均保持原R22系统毛细管长度不变,有必要测试该毛细管长度是否适合碳氢工质。标准工况下,原R22系统分别充注最佳充注量的R290和

R1270,适当增加和缩短原毛细管长度,考察系统性能的变化。结果发现系统性能均恶化,从而证明原毛细管长度是合适的,无须进行优化。

2.2 变室外温度

原R22空调器在变室外温度工况下,分别充注R290和R1270时,系统制冷量、功耗和EER随制冷剂充注量的变化分别如图4~图6所示,图中同时给出了原R22系统的性能,作为评价碳氢系统的参考。

由图4可以看出,随着室外温度的降低,R290系统和R1270系统的制冷量的增加速率和幅度都高于原R22系统。以原R22系统为参考,原R22系统直接灌注式充注R290时在所有变室外温度工况下的制冷量均降低,换用大排量压缩机后充注R1270时在所有变室外工况下的制冷量增加,最高增幅达 0.58kW ,而其它两种替代系统的制冷量变化情形较为一致,即室外温度高时,制冷量降低,室外温度低时,制冷量增加。

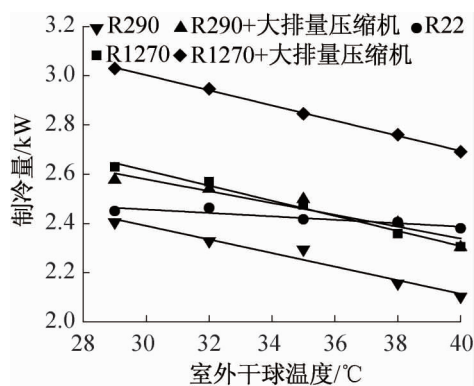


图4 系统制冷量随室外温度的变化

Fig. 4 Cooling capacity with outdoor DBT

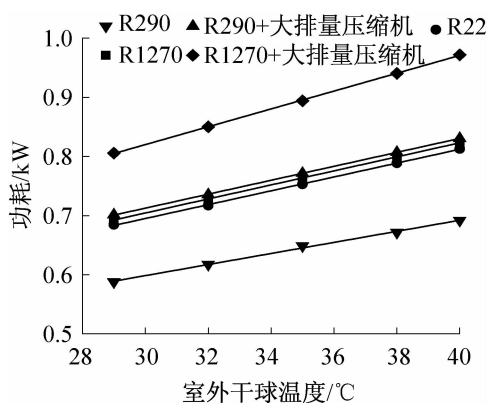


图5 系统功耗随室外温度的变化

Fig. 5 Power consumption with outdoor DBT

图5表明各系统的功耗随室外温度的变化具有相同的趋势,均随室外温度的增加而增加,且增加速率几乎相等。从图6则可以看出,随着室外温度的降低,R290系统和R1270系统的EER增加的速率和幅

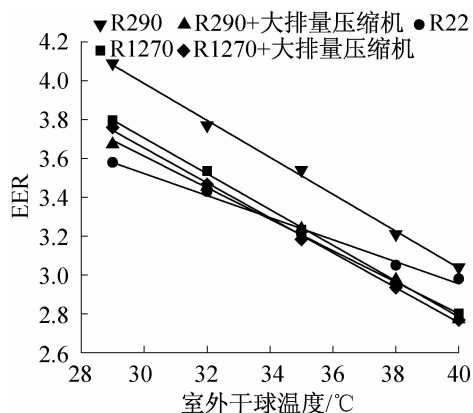


图6 系统 EER 随室外温度的变化

Fig. 6 EER with outdoor DBT

度都高于原 R22 系统。具体而言,原 R22 系统灌注式充注 R290 时在所有变室外温度工况下 EER 均高于原 R22 系统,最高增幅达 0.5,而其它三种替代系统的 EER 变化情形较为一致,即室外温度高时 EER 较原 R22 系统轻微降低,且降幅基本相同,室外温度高时 EER 均略有增加。总之,随着室外温度从 40/24℃ 降到 29/24℃,碳氢系统 EER 的增加速率和增幅均大于原 R22 系统,且室外温度低时 EER 均较原 R22 系统要高,这说明碳氢制冷剂有利于提高空调系统的季节能效(SEER),从而有利于节能。

从图 4~图 6 还可以看出,原 R22 系统换用大排量压缩机后充注碳氢制冷剂,相较于原 R22 系统,室外温度低时,R290 和 R1270 系统 EER 和制冷量均高于原 R22 系统;室外温度高时,R290 系统 EER 降低 2.4%~7.0%,制冷量降低 0.17%~3.25%,功耗增加 2.2%~2.3%;R1270 系统 EER 降低 2.4%~7.0%,制冷量增加 13.1%~14.7%,功耗增加 19.3%~19.5%。总体上讲,原 R22 系统换用大排量压缩机后充注 R290 和 R1270,在不同室外温度条件下,要么 EER 和制冷量均高于原 R22 系统,要么 EER 的轻微降低(40/24℃ 时 EER 降低较多,达 7.0%)受制冷量和功耗增加的补偿。总之,碳氢系统的 EER 较原 R22 系统相当或更高,同时排除了因制冷量降低引起的两器传热负荷变小的因素,说明 R290 和 R1270 的热物理性质要优于 R22。

由图 4~图 6 还可以看出,换用大排量压缩机前、后,R290 和 R1270 的性能变化情形并不相同。对 R290,换用压缩机后系统制冷量较换用前增加 0.2kW 左右(或 7.1%~11.4%),EER 降低 0.23~0.42(或 7.3%~10.2%);对 R1270,换用压缩机后系统制冷量较换用前增加 0.4kW 左右(14.7%~17%),EER 几乎不变。与此同时,原 R22 系统换用

大排量压缩机后,充注 R1270 时系统制冷量较充注 R290 时增加 0.29~0.45kW(或 13.9%~17.6%),而 EER 几乎相同。总之,原系统换用大排量压缩机后充注 R1270 时,EER 损失很小,而制冷量增加较多,优于 R290。

3 结论

在 R22 分体式房间空调器中分别充注 R290 和 R1270,除进行灌注式替代实验外,还换用排量较原压缩机大 20% 的压缩机进行性能实验研究,可得出如下结论:

1)标准工况下采用碳氢制冷剂直接灌注式替代 R22 时,R1270 系统制冷量和 EER 较原 R22 系统均有所增加,而 R290 系统虽 EER 较原 R22 增加较多,但制冷量降低。换用排量大 20% 的压缩机后,R290 系统和 R1270 系统制冷量都大幅度增加,EER 与原 R22 系统相当,甚至更佳。

2)变室外温度工况下,随着室外温度降低,R290 系统和 R1270 系统的制冷量和 EER 的增加速率和增幅均大于原 R22 系统,且室外温度低时 EER 均较原 R22 系统要高,这说明采用碳氢工质有利于提高空调系统的季节能效,从而有利于节能。

3)所有情况下,R1270 系统 EER 损失较小,而制冷量增加较多,优于 R290 系统。

4)R290 和 R1270 不仅环保,且热物理性质优良,在房间空调器中替代 R22 时性能总体更优,其易燃性引发的安全风险可通过削减充注量得到控制,适合作为 R22 的替代工质,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] UNEP. Report of the 19th Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, UNEP/Ozl. Pro. 19/7 [R]. Nairobi, Kenya. 2007.
- [2] 马一太,王伟. 制冷剂的替代与延续技[J]. 制冷学报, 2010,31(5):11-17. (Ma Yitai, Wang Wei. Substitution and Postponable Technology of Refrigerants[J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(5): 11-17.)
- [3] Calm J M, Domanski P A. R22 Replacement Status[J]. ASHRAE. J., 2004, 46(8): 29-39.
- [4] Velders G J M, Fahey D W, Daniel J S, et al. The Large Contribution of Projected HFC Emissions to Future Climate Forcing[J]. PNAS., 2009, 106(27): 10949-10954.
- [5] 李连生. 制冷剂的替代技术研究进展及发展趋势[J]. 制冷学报, 2011, 32(6): 53-58. (Li Liansheng. Research Progress on Alternative Refrigerants and Their Development Trend[J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(6): 53-58.)

- [6] Granryd E. Hydrocarbons as Refrigerants—An Overview [J]. Int. J. Refrig., 2001, 24(1):15-24.
- [7] Palm B. Hydrocarbons as Refrigerants in Small Heat Pump and Refrigeration Systems—A Review [J]. Int. J. Refrig., 2008, 31(4):552-563.
- [8] Mohanraj M, Jayaraj S, Muraleedharan C. Environment Friendly Alternatives to Halogenated Refrigerants—A Review [J]. Int. J. Greenh. Gas. Con., 2009, 3(1):108-119.
- [9] 张于峰, 马九贤, 孙延禄, 等. 丙烷及其混合物作为空调制冷剂可行性研究 [J]. 制冷学报, 1999, 20(2):18-24. (Zhang Yufeng, Ma Jiuxian, Sun Yanlu, et al. The theoretical and experimental Research for Natural Refrigerant Propane (R290) and its Mixtures as Substitute for R22 [J]. Journal of Refrigeration, 1999, 20(2):18-24.)
- [10] 任娜颖, 晏刚, 宋飞. 天然工质丙烯替代 R22 的性能分析 [J]. 家电科技, 2006(3):44-46. (Ren Nuoying, Yan Gang, Song Fei. Performance Analysis of Natural Refrigerant Propylene as Substitute for R22 [J]. China Appliance Technology, 2006(3):44-46.)
- [11] 何国庚, 刘璇斐. R290 在小型空调器中替代 R22 的优势与问题及其解决措施 [J]. 制冷与空调, 2008, 8(2):58-62. (He Guogeng, Liu Xuanfei. The Advantages and Problems and their Solutions of Small Air-Conditioner Using R290 to Substitute for R22 [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2008, 8(2):58-62.)
- [12] 金听祥, 张卫士, 郑祖义. R1270 在制冷系统中的应用研究 [J]. 制冷与空调, 2011, 11(6):53-56. (Jin Tingxiang, Zhang Weishi, Zheng Zuyi. Application and Research of R1270 for Refrigeration System [J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2011, 11(6):53-56.)
- [13] 杨昭, 吴曦, 尹海蛟, 等. 低温室效应 HCFCs 替代物性能分析 [J]. 制冷学报, 2011, 32(1):1-6. (Yang Zhao, Wu Xi, Yin Haijiao, et al. Analysis on Alternatives for HCFCs with Low Greenhouse Effect [J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(1):1-6.)
- [14] Corberan J M, Segurado J, Colbourne D, et al. Review of Standards for the Use of Hydrocarbon Refrigerants in A/C, Heat pump and Refrigeration Equipment [J]. Int. J. Refrig., 2008, 31(4):748-756.
- [15] Devotta S, Padalkar A S, Sane N K. Performance Assessment of HC-290 as a Drop-in Substitute to HCFC-22 in a Window Air Conditioner [J]. Int. J. Refrig., 2005, 28(4):594-604.
- [16] Zhou Guobing, Zhang Yufeng. Performance of a split-type air conditioner matched with coiled adiabatic capillary tubes using HCFC22 and HC290 [J]. Appl. Energ., 2010, 87(5):1522-1528.
- [17] 李廷勋, 杨久铭, 曾昭顺, 等. R290 灌注式替代 R22 空调整机性能研究 [J]. 制冷学报, 2010, 31(4):31-34. (Li Tingxun, Yang Jiuming, Zeng Zhaoshun, et al. Experiment on R290 Substituting for R22 in a Room Air-conditioner [J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(4):31-34.)
- [18] Teng T P, Mo H E, Lin H, et al. Retrofit Assessment of Window Air Conditioner [J]. Appl. Therm. Eng., 2012, 32(1):100-107.
- [19] 肖红海, 张桃, 胡艳. R290 小型家用空调器的性能匹配研究 [J]. 制冷学报, 2006, 27(4):26-30. (Xiao Honghai, Zhang Tao, Hu Yan. Experimental Research on Performance of Small Room Air Conditioner with R290 [J]. Journal of Refrigeration, 2006, 27(4):26-30.)
- [20] 涂忠强, 张蕾, 邱俊洁. R290 与 R22 的制冷性能比较分析及替代实验 [J]. 洁净与空调技术, 2010, (1):53-54. (Tu Zhongqiang, Zhang Lei, Qiu Junjie. The Refrigeration Performance Comparing Analysis and Displacement Experiment between R290 and R22 [J]. Contamination Control and Air-Conditioning Technology, 2010, (1):53-54.)
- [21] 常琳, 祝伟. 制冷剂 R290 的国内研究进展 [J]. 制冷与空调, 2011, 11(3):65-68. (Chang Lin, Zhu Wei. Research Progress of Refrigerant R290 in China [J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2011, 11(3):65-68.)
- [22] 王怀信, 李丽新, 王康迪, 等. 小型空调系统中碳氢化合物替代 HCFC22 的研究 [J]. 太阳能学报, 2002, 23(1):11-16. (Wang Huaixin, Li Lixin, Wang Kangdi, et al. Substituting HCFC22 in Air-conditioning Systems with Hydrocarbons [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2002, 23(1):11-16.)
- [23] 林琨, 金听祥, 张静, 等. 家用空调器中 R1270 替代 R22 的性能试验研究 [J]. 制冷学报, 2010, 31(3):33-36. (Lin Kun, Jin Tingxiang, Zhang Jing, et al. Experiment on Performance of Residential Air Conditioner with R1270 to Replace R22 [J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(3):33-36.)
- [24] Padalkar A S, Mali K V, Rajadhyaksha D D, et al. Performance Assessment of Air Conditioners with HC290 [C] // 9th IIR Gustav Lorentzen Conference. Sydney, Australia, 2010.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 7725—2004 房间空调器 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

作者简介

杨林德, 男 (1987 -), 硕士研究生, 西安交通大学能源与动力工程学院制冷与低温工程系, (029) 82663786, E-mail: yanglindle0504@126.com。研究方向: 制冷剂替代、房间空调器等。

About the author

Yang Linde (1987 -), male, Master, Department of Refrigeration and Cryogenic Engineering, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, (029) 82663786, E-mail: yanglindle0504@126.com. Research fields: refrigerant substitute, room air conditioner.