

可燃及微可燃制冷剂的发展概述及 关键测试介绍

黄欣

(Intertek 天祥集团)

摘要 本文简述了可燃(包括微可燃)制冷剂的发展历史,并结合相关法令,介绍了近年来欧盟和北美对此类制冷剂的准入和研究动态。并运用这些地区和国家的制冷类器具相关安全标准对该类制冷剂的测试方法做出了总结和比较。

关键词 可燃制冷剂;微可燃制冷剂

Development of flammable and mildly flammable refrigerant application and introduction of its critical testing

Huang Xin

(Intertek Testing Services Shanghai Ltd.)

ABSTRACT The article briefly introduces the history of flammable and mildly flammable refrigerant. Also presents EU and NA's admittance on such kind of material and their research result. Summarization and comparison with respect to critical testing described in safety standard of these region or nation for refrigeration appliances.

KEY WORDS flammable refrigerant; mildly flammable refrigerant

制冷剂替代技术作为保护地球臭氧层和减少温室气体排放的解决方案,一直都是行业的研究重点。其中,可燃制冷剂因其良好的可替代性、天然性以及优秀的能效表现,成为业界关注的热点,但其可燃、易爆的性质也成为阻碍其大规模应用的一道难题。随着对可燃制冷剂认知的深入和大量实验性研究,安全标准中的针对可燃制冷剂的关键测试日臻完善,在某种程度上保证了其使用的安全性。

1 可燃(包括微可燃)制冷剂发展概述

虽然极易燃烧,乙二醚却是最早被用作制冷剂的物质,十九世纪初,工程师就利用其蒸汽压缩实现了制冷循环。另外一种可燃制冷剂是具有微可燃性目前仍然被广泛使用的氨(R717)。上个世纪二十年代,R290和R600a这两种热力性质良好的可燃制冷剂亦曾短暂出现过,但很快就因为安全问题而被CFCs(氯氟烃)类物质所取代。

随着人类对全球气候问题的认识和关注,CFCs,HCFCs,乃至高GWP的HFCs类物质相继面临退出。做为性质相近的可替代物,可燃(包括微可燃)制冷剂有着极低的GWP和ODP,重新回到业界视线内。表1列出了目前主要使用的制冷剂的相关数值,表2列出了对应制冷剂的可燃等级、毒性和使用场合。

表1 主要使用的制冷剂对比^[1]

制冷剂	全球变暖潜能值 GWP	消耗臭氧潜能值 ODP
R134a	1430	0
R290	3.3	0
R600a	3	0
R441a	< 5	0
R717	0	0
R32	675	0
R152a	124	0
R1234yf	4	0
R1234ze(E)	7	0
R407C	1770	0
R410A	2090	0

表 2 制冷剂的安全等级^[2]

		A: 低毒性		B: 高毒性	
1: 不可燃	A1	大多数 HCFC 和 HFC, 如 R134a, R407C, R410A 等, 面临淘汰		B1	极少应用
2L: 微可燃	A2L	代表物 R32 以及主要使用在汽车空调中的 R1234yf 和 R1234ze(E)		B2L	代表物 R717
2: 低易燃	A2	代表物 R152a, 很少单独使用, 经常做为混合制冷剂中的一种成分		B2	极少应用
3: 易燃	A3	代表物 R600a, R290 和 R441A		B3	无此类制冷剂

虽然在安全标准中, A2L 仍然和 A2 归为一类, 目前尚未被独立列入, 但已确定会在制冷系统和热泵的安全标准 EN 378 的 2013 年草案中单独分类, 并可能出现在下一版的家用安全标准 EN 60335 系列中。

2 欧盟和北美对可燃(包括微可燃)制冷剂的准入

国际上注重削减消耗臭氧层物质的《蒙特利尔议定书》, 以及限制温室气体排放的《京都议定书》相继签署并实施。2006 年欧盟实施了更为强力的“F-Gas”法案。F-Gas, 即氟化温室气体, 主要包括三类: HFC 氢氟烃、PFC 全氟碳化物和 SF₆ 六氟化硫。该法案包括 2 项法规措施, 即针对汽车空调的 MAC 指令, 和针对其它应用场合的 F-Gas 法规。MAC 指令要求, 2017 年停止使用 GWP 大于 150 的制冷剂。而 F-Gas 措施在 2012 年 11 月的修订中, 要求到 2030 年, 这类物质在目前的排放水平上缩减 2/3。并且进一步要求 HFCs 这一占比最大的氟化制冷剂, 从 2015 年开始逐步退出, 到 2030 年达到目前总销售量的 1/5。

基于多项政策法规的原因, 欧盟一直走在寻找合适制冷剂替代物的前列, 对于可燃制冷剂, 允许其在小型制冷系统中使用已有多年。美国相对审慎很多, 虽然家用冰箱和冷柜的安全标准 UL 250 早在 2000 年的修订版中, 就有关于可燃制冷剂的测试附加内容 SA, 但是环保署 EPA 一直没有放开允许使用此类物质, 直到 2012 年 2 月 21 日, 才批准使用下列 3 种可燃制冷剂, 且严格限制了使用器具和充注量, 见表 3。

表 3 EPA 允许使用的可燃制冷剂^[2]

	翻新使用或全新机器	使用场合	充注量
R600a	全新	家用冰箱或冷柜	小于 57g
R441A		商用冷藏箱(大型制冷系统和售卖机除外)	小于 150g
R290			

加拿大的相关法规和美国类似, 在环境法案 Environment Act 的草案中, 除了允许在家用冰箱中使用 R600a 以外, 也允许使用 R290 和 R601(异戊烷)。

空调领域因其一般需要安装的特殊性以及较高的往复工作压力, 可燃制冷剂的使用范围仍很狭窄, 欧盟仅在移动空调中有成功应用 R290 和 R32 的案例, 以及在汽车空调中尝试使用 R1234yf 做为 R134a 的替代物。R32 有较低的 GWP 值, R1234yf 也并不是完全的非温室气体, 但它们均属微可燃制冷剂, 相对安全性同样受到诸多厂家的关注。

美国对微可燃制冷剂在空调中的使用尚处于实验性研究阶段, 一份 AHRI(美国空调供暖和制冷工业协会)的报告^[3]得出结论, R32 即使燃烧, 其在一定的风速条件下也会熄灭。对于家用分体式空调, 其室外机的泄漏造成的火灾风险, 远低于住宅的一般火灾概率。而室内机即使大量泄漏, 依然不会超过 R32 的爆炸下限 LEL。报告认为, A2L 类的微可燃制冷剂火灾隐患显著低于其它可接受的潜在风险。

3 安全标准对可燃(包括微可燃)制冷剂在冰箱类器具中的关键测试

(1) 相较于欧盟的家用制冷器具标准 EN 60335-2-24, UL 250 则要求除了可燃标志以外, 还需要在标注字体高度至少 3.2mm 的以下标识警句, 见表 4。

表 4 UL 250 的警句要求

警句内容	张贴位置
危险 - 使用了可燃制冷剂, 有燃烧和爆炸风险。禁止使用机械设备除霜, 禁止刺穿制冷剂管道	位于可被用户触及的蒸发器上或附近
危险 - 使用了可燃制冷剂, 有燃烧和爆炸风险。仅专业人员可维护, 禁止刺穿制冷剂管道	位于压缩机室附近
警告 - 使用了可燃制冷剂, 有燃烧机爆炸风险。维修之前请仔细阅读维修指南, 并遵循一切安全措施	
警告 - 使用了可燃制冷剂, 有燃烧和爆炸风险, 处理时请按照联邦或当地的法规	位于冰箱外部
警告 - 使用了可燃制冷剂, 刺穿制冷剂管道将有燃烧和爆炸风险; 请认真遵循说明书进行处理)	位于任何及所有的外露的制冷剂管路附近, 以及运输包装上

注: 警句内容为译文。

此外, UL 250 还要求压缩机工艺管上必须涂抹面积不小于 100mm², 并从机壳向外延伸长度至少 2.5cm, 色号 PMS No. 185 的红色标识, 并在维护时清晰可见。

(2) 对于使用可燃制冷剂的器具，标准引入了保护型和非保护型制冷系统的概念。但欧盟和美国对其定义有细小的区别，见表 5。

表 5 UL 250 和 EN 60335-2-24 对保护型制冷系统定义的不同

	UL 250	EN 60335-2-24
情况 1	含有制冷剂的管路或元器件不在制冷空间内	
情况 2	吹胀式制冷系统在制冷空间内的任何部分都在结构上保证制冷剂和制冷空间之间有至少 2 层金属材料隔离。除了蒸发器上可有宽度至少 6mm 的接缝以外，系统在制冷空间内不得有接口	更额外要求这 2 层金属材料每层厚度至少 0.1mm
情况 3	制冷系统在制冷空间内的任何部分都包含在 1 个单独的保护型外壳内。即使制冷剂发生泄漏，其仍然被限制于该保护型外壳内，而且器具无法正常工作。保护型外壳在制冷空间内不得有任何接口	额外强调保护型外壳要通过机械强度测试
情况 4	制冷系统的所有部分都在冰箱的空气处理空间内。该空间将所有含制冷剂的元器件与食品存储室相隔离	无此情况

对于非保护型制冷系统，两者标准定义相同，即含有制冷剂的管路或元器件都在制冷空间内，或者不符合表 5 所列第 2 到第 4 的情况。

(3) 泄漏测试是为模拟制冷系统的关键点在发生泄漏后，是否会在起火源附近积聚并超过其爆炸下限 LEL 的实验。如表 6，美国和欧盟标准，除了对所测的泄漏量略有不同外，方法和判定基本相同。

表 6 UL 250 和 EN 60335-2-24 泄漏测试的区别及共同点

区别	UL 250	所测泄漏量为额定充注量的 80%		
	EN 60335-2-24	所测泄漏量为额定充注量的 80% ± 1.5 g		所测泄漏量为额定充注量的 50% ± 1.5g
共同点	类别	保护型制冷系统	非保护型制冷系统	非食品存储室
	测试位置	在可能产生最恶劣结果的管路上	食品储藏室背板中间，距离顶部为整个高度的 1/3	制冷回路中与所考虑的电器元件最近的连接点
	测试时间	从泄漏开始至结束或至少 1 小时	10 分钟内	稳定的速率，1 小时
	判定依据	最高浓度小于 75%LEL，浓度超过 50%LEL 的时间小于 5 分钟		
	注射工具	内径 0.7mm ± 0.05mm，长度 2-3m 的毛细管	合适的阀以保证 10 分钟内放出 80% 的制冷剂	
注射压力	对应制冷剂饱和蒸汽温度（高压侧 70 ± 2℃，低压侧 32 ± 2℃）			

(4) 可能触及泄漏的制冷剂的部件表面，其在温升 - 压力测试、化霜测试以及非正常测试中

的温度都必须低于表 7 所示值减去 100℃。由于基础研究的差异，EN 60335-2-24 和 UL 250 对起燃温度和爆炸下限 LEL 稍有不同。随着水平协调方法的统一，这一数值应该会在以后的修订中以 UL 250 为基准。

表 7 可燃制冷剂的起燃温度和爆炸下限

	起燃温度 (°C)		爆炸下限 (%，V/V)	
	EN 60335-2-24	UL 250	EN 60335-2-24	UL 250
R290	470		1.7	2.1
R600a	494	460	1.8	

(5) 保护型制冷剂系统的管路如果可触及，还需要经过刮擦测试以保证有足够的强度，UL250 及 EN60325-2-24 所规定的工具和方法完全相同。

(6) 保护型制冷系统的外壳，需要按照表 8 所示的压力，通过机械强度的测试。

表 8 保护型制冷系统的外壳的强度测试

	高压侧	低压侧
EN 60335-2-24	3.5 倍 70℃饱和蒸汽压力	5 倍 20℃饱和蒸汽压力
UL 250 (取其最大)	5 倍温升 - 压力测试和化霜测试中的最高值	3 倍温升 - 压力测试、化霜测试和停机静态压力中的最高值
	3 倍冷凝风扇堵转时的最大压力	3 倍冷凝风扇堵转时和停机静态平衡压力中的最高值
	1.5 倍 60℃时饱和蒸汽压力	
对于安装有易熔塞的器具，2.5 倍易熔温度所对应的饱和压力，和 2.5 倍该制冷剂的关键压力，取其小者		

(7) 对于必须处于可能的制冷剂泄漏中的开关型元器件，因起燃测试非常复杂，一般选择通过 IEC 60079-15 防爆测试的元器件作为可行的方案。

(8) 除此之外，UL 250 引入了死区 (dead space) 的概念，即在底部和侧面因为缺少气流流动而形成了密闭空间。因此，在压缩机室附近，主动设置通气孔也是防火的有效措施之一。另外，尽量将电气部件等潜在起火源布置在制冷管路的上方，利用可燃制冷剂往往都比空气重的物理性质，从结构上将它们隔开，也可达到防火目的。

4 安全标准对此类制冷剂在空调类器具中的关键测试

欧盟家用热泵、空调和除湿机的安全标准 EN 60335-2-40，在 2006 年的增补 A 1 中增加了可燃制冷剂的测试要求。表 9 列出了类似冰箱类器具的泄漏测试。

表 9 EN 60335-2-40 的泄漏测试

泄漏量和速率	额定的充注量，以每分钟，全部充注量的 25% ± 5% 的速率泄漏
测试位置	系统管路中的接头部位，角度超过 90° 的弯管，或者因为金属厚度减小、可能遭受撞击、或因生产工艺等造成的薄弱位置
器具状态	不工作，或正常工作于额定电压下
房间要求	无通风气流，且房间容积满足 $V = (4 \cdot m) / LFL$ 式中，V 为房间高度至少 2.2m 的容积，m 为空调额定充注量
判断依据	最高浓度小于 75%LEL，浓度超过 50%LEL 的时间小于 5 分钟

此外，A1 还对器具的运输、标记和储运，以及服务操作都有单独的附录。对空调的充注上限，或者在某个充注量下的最小房间使用面积，也有了详细要求和计算公式。并借鉴美国的相关方法，对非固定式工厂封装的单元机（主要是移动空调）加入了振动测试，验证在运输过程中的振动对其的影响，以及器具正常工作时，不会对压缩机连接管路产生共振。

美国的房间空调器标准 UL 484 和除湿机标准 UL 474，都不约而同地在 2012 年的修订版中增加了使用可燃制冷剂补充要求 SA，其中延续了 EN

60335-2-40 的框架思路，虽然计算方法等稍许不同，但为产品的规范测试提供了明确的方法。

5 结语

Intertek 集团在使用此类制冷剂的器具的认证和认可方面积累了大量经验，并积极参与了此前沿学科的实验研究，但我们依然认为如何在可燃（包括微可燃）制冷剂的环保性和安全性之间找到平衡点，是摆在各国政府和科研院所面前的难题。随着研究的深入和国际技术间合作，两大系列标准之间的测试方法有相互借鉴和融合的趋势。除此之外，当地对可燃制冷剂的运输、回收和最终处置政策要求，应同样成为着重考虑的因素。

参考文献

- [1] EPA-430-F-10-043 Transitioning to Low GWP Alternatives in Commercial Refrigeration[S].
- [2] Draft ISO 817 and ASHRAE 34 Refrigerants[S].
- [3] EPA-HQ-OAR-2009-0286 ; FRL-9507-7 Protection of Stratospheric Ozone: Listing of Substitutes for Ozone-Depleting Substances Hydrocarbon Refrigerants, 40 CFR Part 82[S].
- [4] Risk Assessment of Residential Heat Pump Systems Using 2L Flammable Refrigerants: report of AHRI Project 8004 [R].



《公共建筑节能设计标准》审查会议召开

近日，国家标准《公共建筑节能设计标准》(GB50189)审查会议在北京召开。来自标准编制组、标准编制专家组以及美国能源基金会、美国劳伦斯伯克利国家实验室、美国 ASHREA90.1 标准编制组的专家等共 63 人出席了会议。

会议成立了由建筑节能、暖通空调、建筑设计、给排水和电气等专业的 11 位专家组成的审查委员会。住建部建筑节能专家委员会副主任委员郎四维担任审查委员会主任委员，北京市建筑设计研究院顾问总工高工孙敏生和北京住总集团总公司高工金鸿祥担任审查委员会副主任委员。审查委员会对该标准(送审稿)进行了逐条审查。审查专家认为，该标准(送审稿)内容全面、技术指标合理，符合国情，具有科学性、先进性、协

调性和可操作性，总体上达到了国际领先水平，标准的节能率在 65% 左右。

该标准编制组在修订过程中进行深入调研，总结 2005 版标准实施中的经验和不足，借鉴发达国家相关建筑节能设计标准的最新成果，开展了多项基础性研究工作：首次建立了涵盖主要公共建筑类型及系统形式的典型公共建筑模型及数据库，为标准的编制及标准节能水平的评价奠定了基础；首次采用 SIR 优选法研究确定了本次修订的节能目标，并将节能目标分解为围护结构、暖通空调系统及照明系统相应指标的定量要求，提高了标准的科学性；首次分气候区规定了冷源设备及系统的能效限值，增强了标准的地区适应性，提高了节能设计的可操作性。