

制冷剂特性数据解析与更新*

James M. Calm Glenn C. Hourahan
(Engineering Consultant) (Air Conditioning Contractors of America)

摘要 介绍制冷剂主要的物理特性、安全性、环境特性等方面的数据,这些制冷剂包括过去广泛使用的、当前普遍使用的以及将来使用的。

关键词 制冷剂 特性

Refrigerant data update

James M. Calm Glenn C. Hourahan

自19世纪30年代机械蒸汽压缩式制冷技术使用以来,根据选择制冷剂所遵循的主要原则,制冷剂的历史可划分为4个阶段。图1概括了这4个阶段及其主要制冷剂和选择原则。

第1代制冷剂的发展,大约经历了一百年的时间。多数早期的制冷剂是溶剂、燃料或其他挥发性液体,而人们往往熟悉的首先是它们的其他用途。从根本上来说,早期制冷剂的选择原则就是“能用即可”。家用冰箱的广泛商业化促使了制冷剂的转变和第2代制冷剂的产生。与第1代制冷剂选择原则的主要不同之处表现在对安全性和耐用性改善的方面,从而出现了氟里昂制冷剂。随着对保护臭氧层的关注,使得对有臭氧层破坏作用的制冷剂

将按计划分阶段逐步淘汰,其中包括CFC类物质,如R12,和将来要淘汰的HCFC类物质,如R22。同样的限制措施也表现在其他类似化学品的使用上,如许多广泛使用的气雾剂、发泡剂、灭火剂以及溶剂等。第3代制冷剂出于对臭氧层保护的原因,转变为HFC和其他制冷剂。随着对全球气候变化意识的增强,或者说环保要求的挑战,预示着第4代制冷剂将强调全球变暖问题。这个说法有一些误导作用,因为气候变化的影响包括在大部分区域变暖,但是也包括在一些区域,如部分欧洲国家变冷。其影响还包括海平面的上升,以及相应海岸土地的消失,生长季节的变化和水土保持(还有农作物的生长),疾病的传播,如赤道地区几乎区域化

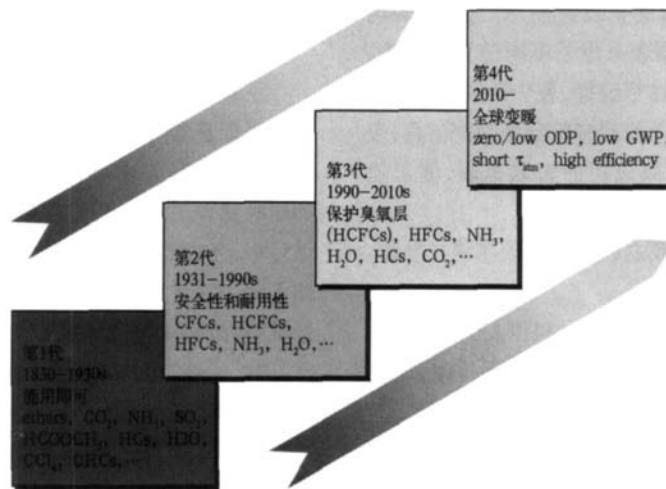


图1 制冷剂发展过程

* 收稿日期:2007-04-10

编者著:本文由白雪莲(重庆大学)翻译,Email:xuelianbai@163.com

James M. CALM and Glenn C. HOURAHAN, "Refrigerant Data Update," *Heating/Piping/Air Conditioning Engineering*, 79(1):50-64, January 2007; translated to Chinese by BAI Xuelian for *Refrigeration and Air Conditioning*, China, 2007(5):61-73, October 2007

的疟疾。总之,全球气候变暖从实质上影响到人类生活的方方面面,带来了重要的国际和代际公平话题。

有趣的是,出于环境的考虑,一些在第 1 代制冷剂中被认为是“天然制冷剂”的工质(主要是氨、二氧化碳、碳氢化合物和水)正在被重新检测,从而替代“合成人工制冷剂”(主要是氟化物)。关于对这些工质的赞同或反对的呼声出于情感和市场方面的考虑多于技术方面的考虑。

早期促使制冷剂发展的安全性、耐用性和热力学性能等问题今天仍然受到关注,只是由于强调较低的臭氧损耗潜能值(*ODP*)、较低的全球温室效应潜能值(*GWP*)、较短的大气寿命(t_{atm}),以及效率问题而变得复杂。这些原则之间可以权衡,但是任何一个因素都不能被忽略^[1]。

过去 10 年来,大约有 30 多种新制冷剂被商业化,同时还有更多的待选者被检测。大多数新制冷剂是混合制冷剂,因为可选的合适的纯物质制冷剂非常有限,而且基本上已经被开发。未来也将出现作为目前广泛使用的制冷剂 R22 的大量替代工质,类似情况在早期 R12(最广泛使用的制冷剂)和 R502 逐步淘汰时也同样出现过。通过测量方法的改善、研究的深入和特别是对环境影响方面的逐步了解,制冷剂数据的精度将不断提高。

1 制冷剂数据表

笔者在此提供 2 个更新的数据表^[2-4],对常用制冷剂(包括淘汰和目前使用的)和主要的可能替代物,详述了经过挑选的物理特性、安全性和环境特性的数据。2 个数据表采用了不同的分类方法,表 1 按照标准制冷剂编号编排,表 2 则按照制冷剂沸点分类。表 1 有助于找到特殊制冷剂的信息,表 2 的分类顺序按照类似应用的大致范围,便于比较。

表 1 和表 2 从左到右以同样的顺序编排参数。

1.1 标示符

所示数字是按照 ANSI/ASHRAE 标准 34-2004《制冷剂名称和安全性分类》^[5]及其附录(与 34-2007 也是一致的)编排或推荐的标准编号。这些编号基本上是全球通用的,通常以 R(代表单词 refrigerant,制冷剂),组合编号前缀(例如 CFC, HCFC, HFC, HC),或者是制造商的商标名称来开头。

化学分子式表示纯物质制冷剂的分子组成,即

单一化学物质的构成。为了获得理想的制冷剂特性,2 种或多种化学物质混合构成的制冷剂,由其混合组分表示。由 2 部分组成,第一部分表示其构成,按照正常沸点增大的顺序由斜线分隔;第二部分以括号内文字表示,以同样顺序表示这些组分的质量分数。这 2 个表也列出了一些制冷剂的常用名字。

1.2 物理特性

分子质量是一个根据经过 IUPAC 公认的原子质量计算而得到的值^[6]。它表示 1 摩尔制冷剂的质量(克),对于混合制冷剂,则是 1 摩尔混合物的平均质量。

正常沸点(NBP, normal boiling point)是指在标准大气压,即 101.325 kPa(14.6959psia),液体制冷剂沸腾时的温度。表中的 NBP 和其他单位均分别用公制单位表示。升华点温度表示制冷剂升华时的温度,如 R744(二氧化碳)。对于混合制冷剂,泡点温度——当沸腾开始出现气泡时的温度,以 NBP 来表示。不像纯物质制冷剂,在一定压力下,在某一固定温度下沸腾,混合制冷剂由于组分的不同而导致在从泡点到露点的一段温度范围内滑移的混合沸腾。露点是混合物冷却开始结露时的温度。

临界温度是指制冷剂临界点对应的温度,即制冷剂液态和气态的特性相同时的温度。除非实际测算,所示的混合制冷剂的临界温度值均为各组分按质量平均的临界温度,有时也称为“假拟临界温度”(pseudo-critical temperature)。

临界压力是指临界点处的压力。

正常沸点和临界特性表明制冷剂的应用范围。具有极低正常沸点的制冷剂可应用于超低温制冷;具有高正常沸点的制冷剂通常局限于高温应用,例如制冷机和工业热泵。在最常用的典型蒸气压缩循环中,当冷凝温度接近临界温度时,能力和效率均下降。临界压力大于工作压力,只有跨临界循环系统例外,而这种情况除了 R-744(二氧化碳)是不常见的。比较相对工作压力是有用的,因为实际循环通常设计在 70%~90%的临界温度和相应压力时冷凝^[1,7]。

1.3 安全性数据

表中的第一列安全性数据为职业接触限值(OEL, occupational exposure limit),是指对于受过训练的人员在工作过程中可能暴露于制冷剂的慢

表 1 制冷剂的物理特性、安全性和环境特性数据 (按照 ASHRAE 34 分类)

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据					安全性数据			环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> /MPa	<i>OEL</i> /PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年
11	CCl ₃ F	137.37	23.7	198.0	4.41	C1 000	none	0.9	A1	45	1.000	4 750
12B1	CBrClF ₂ -halon 1211	165.36	- 4.0	154.0	4.10		none			16	7.100	1 890
12	CCl ₂ F ₂	120.91	- 29.8	112.0	4.14	1 000	none	- 0.8	A1	100	1.000	10 890
13B1	CBrF ₃ -halon 1301	148.91	- 58.7	67.1	3.97	1 000	none		A1	65	16.000	7 140
13	CClF ₃	104.46	- 81.5	28.9	3.88	1 000	none	- 3.0	A1	640.0	1.000	14 420
13II	CF ₃ I trifluoroiodomethane	195.91	- 21.9	123.3	3.95		none			~ 0.01	0.018	~ 1
14	CF ₄ carbon tetrafluoride	88.00	- 128.0	- 45.6P	3.75		none		A1	50 000	0	7 390
21	CHCl ₂ F	102.92	8.9	178.3	5.18	10	none		B1	1.7	0.010	151
22	CHClF ₂	86.47	- 40.8	96.1	4.99	1 000	none	2.2	A1	12.0	0.050	1 810
23	CHF ₃ -fluoroform	70.01	- 82.0	26.1	4.83	1 000	none	- 12.5	A1	270	0	14 760
30	CH ₂ Cl ₂ -methylene chloride	84.93	40.2	237.0	6.08	50	13		B2	0.38		10
31	CH ₂ ClF	68.48	- 9.1	151.8	5.13	0.1				1.3	0.010	
32	CH ₂ F ₂ -methylene fluoride	52.02	- 51.7	78.1	5.78	1 000	14.4	9.4	A2	4.9	0	675
41	CH ₃ F methyl fluoride	34.03	- 78.3	44.1	5.90					2.4	0	92
50	CH ₄ -methane	16.04	- 161.5	- 82.6	4.60	1 000	4.8		A3	12.0	0	23
113	CCl ₂ FCClF ₂	187.38	47.6	214.1	3.39	1 000	none	0.1	A1	85	1.000	6 130
114	CClF ₂ CClF ₂	170.92	3.6	145.7	3.26	1 000	none	- 3.1	A1	300	1.000	10 040
115	CClF ₂ CF ₃	154.47	- 38.9	80.0	3.12	1 000	none	- 2.1	A1	1 700	0.440	7 370
116	CF ₃ CF ₃ -perfluoroethane	138.01	- 78.1	19.9	3.05	1 000	none		A1	10 000	0	12 200
123	CHCl ₂ CF ₃	152.93	27.8	183.7	3.66	50	none	2.1	B1	1.3	0.020	77
124	CHClFCF ₃	136.48	- 12.0	122.3	3.62	1 000	none	0.9	A1	5.8	0.020	609
125	CHF ₂ CF ₃	120.02	- 48.1	66.0	3.62	1 000	none	- 1.5	A1	29	0	3 500
134a	CH ₂ FCF ₃	102.03	- 26.1	101.1	4.06	1 000	none	4.2	A1	14.0	0	1 430
E134	CHF ₂ -O-CHF ₂	118.03	5.5	147.1	4.23		none			26	0	6 320
141b	CH ₃ CCl ₂ F	116.95	32.0	204.4	4.21	500	5.8	8.6		9.3	0.120	725
142b	CH ₃ CClF ₂	100.50	- 9.1	137.1	4.06	1 000	6.0	9.8	A2	17.9	0.070	2 310
143a	CH ₃ CF ₃	84.04	- 47.2	72.7	3.76	1 000	7.0	10.4	A2	52	0	4 470
152a	CH ₃ CHF ₂	66.05	- 24.0	113.3	4.52	1 000	4.8	17.4	A2	1.4	0	124
160	CH ₃ CH ₂ Cl ethyl chloride	64.51	13.1	187.3	5.27	100	3.6	20.6		0.11	0.020	
161	CH ₃ CH ₂ F ethyl fluoride	48.06	- 37.6	102.2	5.09		3.8			0.21	0	12
170	CH ₃ CH ₃ -ethane	30.07	- 88.6	32.2	4.87	1 000	3.1		A3	0.21	0	~ 20
E170	CH ₃ -O-CH ₃ -DME	46.07	- 24.8	127.2	5.34	1 000	3.3	31.8	A3	0.015	0	1
218	CF ₃ CF ₂ CF ₃ -perfluoropropane	188.02	- 36.8	71.9	2.64	1 000	none		A1	2 600	0	8 830
227ea	CF ₃ CHFCF ₃	170.03	- 16.4	102.8	3.00	1 000	none	3.3	A1	42	0	3 220
236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	152.04	- 1.4	124.9	3.20	1 000	none		A1	240	0	9 810
245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	134.05	25.1	174.4	3.93		7.1	8.4		6.2	0	693
245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	134.05	15.1	154.0	3.65	300	none	6.1	B1	7.6	0	1 030
E245cb1	CH ₃ -O-CF ₂ -CF ₃	150.05	5.9	133.7	2.89		flam]]]]		5.1	0	708	
C270	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ - cyclopropane	42.08	- 31.5	125.2	5.58		2.4	49.7		0.44	0.000	
290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ -propane	44.10	- 42.1	96.7	4.25	2 500	2.1	50.4	A3	0.041	0	~ 20
C318	-CF ₂ -CF ₂ -CF ₂ -CF ₂ -	200.03	- 6.0	115.2	2.78	1 000	none		A1	3 200	0	10 250
E347mmyl	CF ₃ -CF(OCH ₃)-CF ₃	200.05	29.4	160.8	2.55					3.4	0	343
400 >>	R-12/ 114 (50.0/ 50.0)- R-400(50/ 50)	141.63	- 20.8	129.1	3.94	1 000	none		A1		1.000	10 000
400 >>	R-12/ 114 (60.0/ 40.0) - R-400(60/ 40)	136.94	- 23.2	125.6	4.01	1 000	none		A1		1.000	11 000
401A	R-22/ 152a/ 124 (53.0/ 13.0/ 34.0) - MP39	94.44	- 32.9	107.3	4.61	1 000	none		A1		0.033	1 200
401B	R-22/ 152a/ 124 (61.0/ 11.0/ 28.0) - MP66	92.84	- 34.5	105.6	4.69	1 000	none	- 2.7	A1		0.036	1 300
401C	R-22/ 152a/ 124 (33.0/ 15.0/ 52.0) - MP52	101.03	- 28.3	111.7	4.37		none		A1		0.027	930

续表

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据					安全性数据			环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> /MPa	<i>OEL</i> /PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/ kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年
402A	R-125/290/22 (60.0/2.0/38.0) -HP80	101.55	-48.9	75.9	4.22	1 000	none	-1.4	A1	0.019	2 800	
402B	R-125/290/22 (38.0/2.0/60.0) -HP81	94.71	-47.0	82.9	4.52	1 000	none	-1.6	A1	0.030	2 400	
403A	R-290/22/218 (5.0/75.0/20.0) -69-S	91.99	-47.7	87.0	4.70	1 000	13.0		A1	0.038	3 100	
403B	R-290/22/218 (5.0/56.0/39.0) -69-L	103.26	-49.2	79.6	4.33	1 000	none		A1	0.028	4 500	
404A	R-125/143a/134a (44.0/52.0/4.0) -HP62 and FX-70	97.60	-46.2	72.0	3.72	1 000	none	-6.6	A1	0	3 900	
405A	R-22/152a/142b/C318 (45.0/7.0/5.5/42.5) - G2015	111.91	-32.6	106.1	4.28	1 000	none		d	0.026	5 300	
406A	R-22/600a/142b (55.0/4.0/41.0) -Autofrost X3	89.86	-32.5	116.9	4.86	1 000	8.2		A2	0.056	1 900	
407A	R-32/125/134a (20.0/40.0/40.0) -Klea 60	90.11	-45.0	81.8	4.47	1 000	none	-3.6	A1	0	2 100	
407B	R-32/125/134a (10.0/70.0/20.0) -Klea 61	102.94	-46.5	74.3	4.07	1 000	none	-1.8	A1	0	2 800	
407C	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0) -Klea 66; Suva 9000	86.20	-43.6	85.8	4.60	1 000	none	-4.9	A1	0	1 800	
407D	R-32/125/134a (15.0/15.0/70.0)	90.96	-39.2	91.2	4.45	1 000	none	-4.3	A1	0	1 600	
407E	R-32/125/134a (25.0/15.0/60.0)	83.78	-42.7	88.3	4.69	1 000	none	-4.8	A1	0	1 600	
408A	R-125/143a/22 (7.0/46.0/47.0) -FX-10	87.01	-44.6	83.1	4.29	1 000	none	5.7	A1	0.024	3 200	
409A	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0) -FX-56	97.43	-34.4	109.3	4.70	1 000	none	3.0	A1	0.046	1 600	
409B	R-22/124/142b (65.0/25.0/10.0) -FX-57	96.67	-35.6	106.9	4.73		none		A1	0.045	1 600	
410A	R-32/125 (50.0/50.0) -Suva 9100; AZ20	72.58	-51.4	70.5	4.81	1 000	none	-4.4	A1	0	2100	
410B	R-32/125 (45.0/55.0)	75.57	-51.3	69.7	4.71		none		A1	0	2 200	
411A	R-1270/22/152a (1.5/87.5/11.0) -G2018A	82.36	-39.5	99.1	4.95	1 000	5.5		A2	0.044	1 600	
411B	R-1270/22/152a (3.0/94.0/3.0) -G2018B	83.07	-41.6	96.0	4.95	1 000	7.0	6.5	A2	0.047	1 700	
- - -	R-1270/22/152a (3.0/95.5/1.5) -G2018C		83.44	-41.8	95.5	4.95		none		0.048	1 700	
412A	R-22/218/142b (70.0/5.0/25.0) -Arcton TP5R	92.17	-38.0	107.2	4.90	1 000	8.7		A2	0.053	2 300	
413A	R-218/134a/600a (9.0/88.0/3.0) -Iseon MO49	103.95	-33.4	96.6	4.02		8.8		A2	0	2 100	
414A	R-22/124/600a/142b (51.0/28.5/4.0/16.5)-GHG X4	96.93	-33.0	112.7	4.68	1 000	none	3.6	A1	0.043	1 500	
414B	R-22/124/600a/142b (50.0/39.0/1.5/9.5)-HOT SHOT	101.59	-32.9	111.0	4.59		none		A1	0.039	1 400	
415A	R-22/152a (82.0/18.0)	81.91	-37.2	102.0	4.96		5.6	2.7	A2	0.041	1 500	
415B	R-22/152a (25.0/75.0)-THR01b	70.19	-26.9	111.4	4.65	1 000	wff		A2	0.013	550	
416A	R-134a/124/600 (59.0/39.5/1.5) -FR-12	111.92	-24.0	107.0	3.98		none	7.8	A1	0.008	1 100	
417A	R-125/134a/600 (46.6/50.0/3.4) -Iseon MO59; NU-22	106.75	-39.1	87.3	4.05	1 000	none		A1	0	2 300	

续表

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据					安全性数据			环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> /MPa	<i>OEL</i> /PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年
418A	R-290/ 22/ 152a (1.5/ 96.0/ 2.5) - THR03b	84.60	- 41.7	96.2		4.98	8.9	1.7	A2		0.048	1 700
419A	R-125/ 134a/ E170 (77.0/ 19.0/ 4.0) - FX-90	109.34	- 42.6	79.3	3.71		none	10.0	A2		0	3 000
420A	R-134a/ 142b (88.0/ 12.0)	101.84	- 24.9	104.8	4.09	1 000	none		A1		0.008	1 500
- - - -	R-134a/ 142b (80.6/ 19.4) - RB-276	101.73	- 24.2	107.2	4.10		none				0.014	1 600
421A	R-125/ 134a (58.0/ 42.0)	111.75	- 40.7	82.9	3.93	1 000	none		A1		0	2 600
421B	R-125/ 134a (85.0/ 15.0)	116.93	- 45.6	72.5	3.75	1 000	none	- 0.5	A1		0	3 200
422A	R-125/ 134a/ 600a (85.1/ 11.5/ 3.4) - One Shot; Isceon MO79	113.60	- 46.5	71.8	3.75	1 000	none		A1		0	3 100
422B	R-125/ 134a/ 600a (55.0/ 42.0/ 3.0)	108.52	- 41.3	83.4	3.97	1 000	none		A1		0	2 500
422C	R-125/ 134a/ 600a (82.0/ 15.0/ 3.0)	113.40	- 45.9	73.2	3.78	1 000	none	2.6	A1		0	3 100
422D	R-125/ 134a/ 600a (65.1/ 31.5/ 3.4) - Isceon MO29	109.93	- 43.2	79.8	3.92	1 000	none		A1		0	2 700
423A	R-134a/ 227ea (52.5/ 47.5) - Isceon 39TC	125.96	- 24.1	99.5	3.59	1 000	none		A1		0	2 300
424A	R-125/ 134a/ 600a/ 600/ 601a (50.5/ 47.0/ 0.9/ 1.0/ 0.6)-RS-44	108.41	- 39.7	86.3	4.02	1 000	none		A1		0	2 400
425A	R-32/ 134a/ 227ea (18.5/ 69.5/ 12.0)- THR03a	90.31	- 38.1	93.9	4.50	1 000	none	5.1	A1		0	1 500
426A	R-125/ 134a/ 600/ 601a (5.1/ 93.0/ 1.3/ 0.6)	101.56	- 28.5	100.2	4.11	990	none	4.7	A1 r		0	1 500
427A	R-32/ 125/ 143a/ 134a (15.0/ 25.0/ 10.0/ 50.0)-FX-100	90.44	- 43.0	85.1	4.37	1 000	none		A1 r		0	2 100
- - - -	R-32/ 125/ 143a/ 134a (2.0/ 41.0/ 50.0/ 7.0)-FX-48B	95.82	- 46.4	72.7	3.80		none				0	3 800
- - - -	R-32/ 125/ 143a/ 134a (10.0/ 33.0/ 36.0/ 21.0)-HX4	90.80	- 46.5	76.6	4.09		none				0	3 100
428A	R-125/ 143a/ 290/ 600a (77.5/ 20.0/ 0.6/ 1.9)-RS-52	107.53	- 48.4	68.9	3.72	1 000	none		A1 r		0	3 600
500	R-12/ 152a (73.8/ 26.2)	99.30	- 33.6	102.1	4.17	1 000	none		A1		0.738	8 100
501	R-22/ 12 (75.0/ 25.0)	93.10	- 40.7	95.9	4.76		none		A1		0.288	4 100
502	R-22/ 115 (48.8/ 51.2)	111.63	- 45.2	80.2	3.92	1 000	none		A1		0.250	4 700
503	R-23/ 13 (40.1/ 59.9)	87.25	- 87.8	18.4	4.28	1 000	none				0.599	15 000
504	R-32/ 115 (48.2/ 51.8)	79.25	- 57.7	61.1	4.33		none				0.228	4 100
505	R-12/ 31 (78.0/ 22.0)	103.48	- 30.0	117.8	4.73		none				0.782	8 400
506	R-31/ 114 (55.1/ 44.9)	93.69	- 12.3	142.2	5.16		none				0.455	4 400
507A	R-125/ 143a (50.0/ 50.0)-AZ-50	98.86	- 46.7	70.5	3.70	1 000	none	- 5.5	A1		0	4 000
508A	R-23/ 116 (39.0/ 61.0)-Klea 5R3	100.10	- 87.6	10.2	3.65	1 000	none		A1		0	13 000
508B	R-23/ 116 (46.0/ 54.0)-Suva 95	95.39	- 87.6	11.2	3.77	1 000	none		A1		0	13 000
509A	R-22/ 218 (44.0/ 56.0) - Arcton TP5R2	123.96	- 49.7	68.4	3.60	1 000	none		A1		0.022	5 700
- - - -	R-23/ 32/ 134a (4.5/ 21.5/ 74.0) - FX-220	83.14	- 46.6	90.8	4.78		none				0	1 900
- - - -	R-32/ 125/ 134a/ 600 (10.0/ 42.0/ 45.0/ 3.0)	96.64	- 42.6	85.5	4.36						0	2 200
- - - -	R-32/ 125/ 143a (10.0/ 45.0/ 45.0) - FX-40	90.69	- 49.0	69.9	3.96		none				0	3 700
- - - -	R-32/ 125/ 161 (15.0/ 34.0/ 51.0) - ZU ZH1	61.24	- 46.2	91.1	5.21						0	1 300
- - - -	R-32/ 134a (30.0/ 70.0)	79.19	- 41.7	91.6	4.86	1 000	wff				0	1 200

续表

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据					安全性数据				环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> / MPa	<i>OEL</i> / PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100年	
- - - -	R-32/ 600 (95.0/ 5.0)	52.30	- 51.4	81.4	5.98		flam				0	640	
- - - -	R-32/ 600a (90.0/ 10.0)	52.58	- 53.1	74.1	5.26		flam				0	610	
- - - -	R-125/ 134a/ 152a (35.0/ 40.0/ 25.0)- GHG X8	94.15	- 34.9	96.0	4.19	1 000	wff				0	1 800	
- - - -	R-125/ 134a/ 600/ 601a (50.0/ 47.0/ 2.7/ 0.3)	107.78	- 39.6	86.4	4.03						0	2 400	
- - - -	R-125/ 152a/ 227ea (40.0/ 5.0/ 55.0)- GHG X7	136.53	- 38.7	87.0	3.56	1 000	none				0	3 200	
- - - -	R-125/ 290/ 134a/ E170/ 227ea (55.4/ 0.6/ 34.0/ 2.5/ 7.5)	109.32	- 41.4	84.5	3.86						0	2 700	
- - - -	R-125/ 290/ 218 (86.0/ 5.0/ 9.0) - Isceon 89	113.92	- 53.4	64.3	3.74		none				0	3 800	
- - - -	R-152a/ 600a (70.0/ 30.0)-C1	63.45	- 27.7	107.0	4.03		3.15				0	93	
- - - -	R-161/ 131I (80.0/ 20.0)	56.60	- 37.7	103.4	5.16						0.004	10	
- - - -	R-161/ 218/ 131I (65.4/ 18.2/ 16.4)	64.88	- 37.8	101.4	4.96						0.003	1 600	
- - - -	R-170/ 290 (6.0/ 94.0)-ER22/ 502	40.32	- 51.5	92.9	4.42		1.9				0	~ 20	
- - - -	R-218/ 134a/ 600 (32.7/ 62.8/ 4.5) -CM1	115.36	- 36.7	89.8	3.85						0	3 800	
- - - -	R-290/ 600a (50.0/ 50.0) -propane/ isobutane	50.15	- 32.8	118.2	4.24		2.0	49.8			0	~ 20	
- - - -	R-600a/ 600 (50.0/ 50.0) -isobutane/ butane	58.12	- 6.7	145.2	3.80		1.6				0	~ 20	
- - - -	R-601/ 602 (90.1/ 9.9) -pentane/ hexane	73.33	37.8	200.4	3.37		high				0	~ 20	
- - - -	R-601a/ 601 (37.0/ 63.0) -isopentane/ pentane	72.15	32.7	193.2	3.38		high				0	~ 20	
- - - -	R-717/ E170 (60.0/ 40.0)-“ R723 ”	22.77	- 39.3	131.2	11.01		6.0				0	< 1	
600	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -butane	58.12	- 0.5	152.0	3.80	800	1.5	49.5	A3	0.018	0	~ 20	
600a	CH(CH ₃) ₂ -CH ₂ -isobutane	58.12	- 11.7	134.7	3.63	800	1.7	49.4	A3	0.019	0	~ 20	
601	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -pentane	72.15	36.1	196.6	3.37	600	1.4			0.01	0	~ 20	
601a	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ -CH ₃ -isopentane	72.15	27.8	187.2	3.38	600	1.0	3 531	A3	0.01	0	~ 20	
610	CH ₃ -CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₃ -ethyl ether	74.12	34.6	214.0	6.00	400	1.9				0.000		
611	HCOOCH ₃ -methyl formate	60.05	31.7	214.0	5.99	100	4.5		B2	0.16	0.000		
630	CH ₃ (NH ₂)-methylamine	31.06	- 6.7	156.9	7.43	5	4.9				0.000		
631	CH ₃ -CH ₂ (NH ₂)-ethylamine	45.08	16.6	183.0	5.62	5	3.5				0.000		
702	H ₂ -normal hydrogen	2.02	- 252.9	- 240.0	1.32		4.0		A3		0.000		
704	He-helium	4.00	- 268.9	- 268.0	0.23		none		A1		0.000		
717	NH ₃ -ammonia	17.03	- 33.3	132.3	11.33	25	15.0	22.5	B2	0.01	0	< 1	
718	H ₂ O-water	18.02	100.0	373.9	22.06		none		A1		0	< 1	
729	air - 78 % N ₂ , 21 % O ₂ , 1 % Ar, +	28.97	- 194.2	- 140.4	3.84		none				0	0	
740	Ar-argon	39.95	- 185.8	- 122.5	4.86		none		A1		0.000		
744	CO ₂ -carbon dioxide	44.01	- 78.4	31.0	7.38	5 000	none		A1	> 50	0	1	
764	SO ₂ -sulfur dioxide	64.06	- 10.0	157.5	7.88	2	none		B1		0	300	
784	Kr-krypton	83.80	- 153.4	- 63.7	5.53		none				0.000		
1130	CHCl = CHCl - dielene	96.94	47.8	243.3	5.48	200	5.6						
1150	CH ₂ = CH ₂ - ethylene	28.05	- 103.8	9.2	5.04	1 000	2.7		A3	0.004	0.000		
1270	CH ₃ CH = CH ₂ - propylene	42.08	- 47.7	92.4	4.66	660	2.0		A3	0.001	0	~ 20	

NBP—正常沸点; *T_c*—临界温度; *P_c*—临界压力; *OEL*—以时间加权平均(TWA)体积分数(ppm)表示的职业接触限值,前缀 C,则表示最高限值(ceiling)。如美国职业安全与健康管理局(OSHA)的允许暴露限值(PEL, Permissible Exposure Limit),美国政府工业卫生学者联合会(ACGIH)的安全限值—时间加权平均值(TLV-TWA),美国工业卫生协会(AIHA)的工作地环境暴露标准(WEEL, Workplace Environmental Exposure Level),以及相关指标(见前述文字); *LFL*—最低可燃极限(以空气中的体积浓度表示),“flam”表示可燃但是 LFL 不确定,“wff”表示最不利分馏成分有可能可燃; *HOC*—燃烧热; *ODP*—臭氧损耗潜能值(半经验数值); *GWP*—全球温室效应潜能值(累计时间基准 100 年)。
安全性分类的下标代表建议的修改,但仍未最终确定(“d”表示删除,“r”表示修订或补充),或是临时分类(“p”)。单独的“d”则表示前述的分类已废除。
数据来源于制冷剂数据库,使用前请在来源处查证数据和相关限值。

表 2 制冷剂的物理特性、安全性和环境特性数据 (按照正常沸点分类)

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据					安全性数据			环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> /MPa	<i>OEL</i> /PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年
704	He-helium	4.00	- 268.9	- 268.0	0.23		none		A1		0.000	
702	H ₂ -normal hydrogen	2.02	- 252.9	- 240.0	1.32		4.0		A3		0.000	
729	air - 78 % N ₂ , 21 % O ₂ , 1 % Ar, +	28.97	- 194.2	- 140.4	3.84		none				0	0
740	Ar-argon	39.95	- 185.8	- 122.5	4.86		none		A1		0.000	
50	CH ₄ -methane	16.04	- 161.5	- 82.6	4.60	1 000	4.8		A3	12.0		23
784	Kr-krypton	83.80	- 153.4	- 63.7	5.53		none				0.000	
14	CF ₄ -carbon tetrafluoride	88.00	- 128.0	- 45.6	3.75		none		A1	50 000	0	7 390
1150	CH ₂ =CH ₂ - ethylene	28.05	- 103.8	9.2	5.04	1 000	2.7		A3	0.004	0.000	
170	CH ₃ CH ₃ -ethane	30.07	- 88.6	32.2	4.87	1 000	3.1		A3	0.21	0	~ 20
503	R-23/ 13 (40. 1/ 59. 9)	87.25	- 87.8	18.4	4.28	1 000	none				0.599	15 000
508A	R-23/ 116 (39. 0/ 61. 0)- Klea 5R3	100.10	- 87.6	10.2	3.65	1 000	none		A1		0	13 000
508B	R-23/ 116 (46. 0/ 54. 0)-Suva 95	95.39	- 87.6	11.2	3.77	1 000	none		A1		0	13 000
23	CHF ₃ -fluoroform	70.01	- 82.0	26.1	4.83	1 000	none	- 12.5	A1	270	0	14 760
13	CClF ₃	104.46	- 81.5	28.9	3.88	1 000	none	- 3.0	A1	640.0	1.000	14 420
744	CO ₂ -carbon dioxide	44.01	- 78.4	31.0	7.38	5 000	none		A1	> 50	0	1
41	CH ₃ F-methyl fluoride	34.03	- 78.3	44.1	5.90					2.4	0	92
116	CF ₃ CF ₃ -perfluoroethane	138.01	- 78.1	19.9	3.05	1 000	none		A1	10 000	0	12 200
13B1	CBrF ₃ -halon 1301	148.91	- 58.7	67.1	3.97	1 000	none		A1	65	16.000	7 140
504	R-32/ 115 (48. 2/ 51. 8)	79.25	- 57.7	61.1	4.33		none				0.228	4 100
- - - -	R-125/ 290/ 218 (86. 0/ 5. 0/ 9. 0) -Isceon 89	113.92	- 53.4	64.3	3.74		none				0	3 800
- - - -	R-32/ 600a (90. 0/ 10. 0)	52.58	- 53.1	74.1	5.26		flam				0	610
32	CH ₂ F ₂ -methylene fluoride	52.02	- 51.7	78.1	5.78	1 000	14.4	9.4	A2	4.9	0	675
- - - -	R-170/ 290 (6. 0/ 94. 0)-ER22/ 502	40.32	- 51.5	92.9	4.42		1.9				0	~ 20
- - - -	R-32/ 600 (95. 0/ 5. 0)	52.30	- 51.4	81.4	5.98		flam				0	640
410A	R-32/ 125 (50. 0/ 50. 0) -Suva 9100 和 AZ20	72.58	- 51.4	70.5	4.81	1 000	none	- 4.4	A1		0	2 100
410B	R-32/ 125 (45. 0/ 55. 0)	75.57	- 51.3	69.7	4.71		none		A1		0	2 200
509A	R-22/ 218 (44. 0/ 56. 0) -Arcton TP5R2	123.96	- 49.7	68.4	3.60	1 000	none		A1		0.022	5 700
403B	R-290/ 22/ 218 (5. 0/ 56. 0/ 39. 0) -69-L	103.26	- 49.2	79.6	4.33	1 000	none		A1		0.028	4 500
- - - -	R-32/ 125/ 143a (10. 0/ 45. 0/ 45. 0) -FX-40	90.69	- 49.0	69.9	3.96		none				0	3 700
402A	R-125/ 290/ 22 (60. 0/ 2. 0/ 38. 0) -HP80	101.55	- 48.9	75.9	4.22	1 000	none	- 1.4	A1		0.019	2 800
428A	R-125/ 143a/ 290/ 600a (77. 5/ 20. 0/ 0. 6/ 1. 9)-RS-52	107.53	- 48.4	68.9	3.72	1 000	none		A1 r		0	3 600
125	CHF ₂ CF ₃	120.02	- 48.1	66.0	3.62	1 000	none	- 1.5	A1	29	0	3 500
1270	CH ₃ CH=CH ₂ - propylene	42.08	- 47.7	92.4	4.66	660	2.0		A3	0.001	0	~ 20
403A	R-290/ 22/ 218 (5. 0/ 75. 0/ 20. 0) -69-S	91.99	- 47.7	87.0	4.70	1 000	13.0		A1		0.038	3 100
143a	CH ₃ CF ₃	84.04	- 47.2	72.7	3.76	1 000	7.0	10.4	A2	52	0	4 470
402B	R-125/ 290/ 22 (38. 0/ 2. 0/ 60. 0) -HP81	94.71	- 47.0	82.9	4.52	1 000	none	- 1.6	A1		0.030	2 400
507A	R-125/ 143a (50. 0/ 50. 0)-AZ-50	98.86	- 46.7	70.5	3.70	1 000	none	- 5.5	A1		0	4 000
- - - -	R-23/ 32/ 134a (4. 5/ 21. 5/ 74. 0) -FX-220	83.14	- 46.6	90.8	4.78		none				0	1 900
407B	R-32/ 125/ 134a (10. 0/ 70. 0/ 20. 0) - Klea 61	102.94	- 46.5	74.3	4.07	1 000	none	- 1.8	A1		0	2 800
422A	R-125/ 134a/ 600a (85. 1/ 11. 5/ 3. 4) -One Shot 和 Isceon MO79	113.60	- 46.5	71.8	3.75	1 000	none		A1		0	3 100

续表

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据				安全性数据				环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> /MPa	<i>OEL</i> /PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (M/ kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年
- - - -	R-32/ 125/ 143a/ 134a (10. 0/ 33. 0/ 36. 0/ 21. 0)-HX4	90. 80	- 46. 5	76. 6	4. 09		none				0	3 100
- - - -	R-32/ 125/ 143a/ 134a (2. 0/ 41. 0/ 50. 0/ 7. 0)-FX-48B	95. 82	- 46. 4	72. 7	3. 80		none				0	3 800
- - - -	R-32/ 125/ 161 (15. 0/ 34. 0/ 51. 0) -ZU ZHI	61. 24	- 46. 2	91. 1	5. 21						0	1 300
404A	R-125/ 143a/ 134a (44. 0/ 52. 0/ 4. 0) -HP62 and FX-70	97. 60	- 46. 2	72. 0	3. 72	1 000	none	- 6. 6	A1		0	3 900
422C	R-125/ 134a/ 600a (82. 0/ 15. 0/ 3. 0)	113. 40	- 45. 9	73. 2	3. 78	1 000	none	2. 6	A1		0	3 100
421B	R-125/ 134a (85. 0/ 15. 0)	116. 93	- 45. 6	72. 5	3. 75	1 000	none	- 0. 5	A1		0	3 200
502	R-22/ 115 (48. 8/ 51. 2)	111. 63	- 45. 2	80. 2	3. 92	1 000	none		A1		0. 250	4 700
407A	R-32/ 125/ 134a (20. 0/ 40. 0/ 40. 0) -Klea 60	90. 11	- 45. 0	81. 8	4. 47	1 000	none	- 3. 6	A1		0	2 100
408A	R-125/ 143a/ 22 (7. 0/ 46. 0/ 47. 0) -FX-10	87. 01	- 44. 6	83. 1	4. 29	1 000	none	5. 7	A1		0. 024	3 200
407C	R-32/ 125/ 134a (23. 0/ 25. 0/ 52. 0) -Klea 66 和 Suva 9000	86. 20	- 43. 6	85. 8	4. 60	1 000	none	- 4. 9	A1		0	1 800
422D	R-125/ 134a/ 600a (65. 1/ 31. 5/ 3. 4) -Isceon MO29	109. 93	- 43. 2	79. 8	3. 92	1 000	none		A1		0	2 700
427A	R-32/ 125/ 143a/ 134a (15. 0/ 25. 0/ 10. 0/ 50. 0)-FX-100	90. 44	- 43. 0	85. 1	4. 37	1 000	none		A1 r		0	2 100
407E	R-32/ 125/ 134a (25. 0/ 15. 0/ 60. 0)	83. 78	- 42. 7	88. 3	4. 69	1 000	none	- 4. 8	A1		0	1 600
- - - -	R-32/ 125/ 134a/ 600 (10. 0/ 42. 0/ 45. 0/ 3. 0)	96. 64	- 42. 6	85. 5	4. 36						0	2 200
419A	R-125/ 134a/ E170 (77. 0/ 19. 0/ 4. 0) -FX-90	109. 34	- 42. 6	79. 3	3. 71		none	10. 0	A2		0	3 000
290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ propane	44. 10	- 42. 1	96. 7	4. 25	2 500	2. 1	50. 4	A3	0. 041	0	~20
- - - -	R-1270/ 22/ 152a (3. 0/ 95. 5/ 1. 5) -G2018C	83. 44	- 41. 8	95. 5	4. 95		none				0. 048	1 700
- - - -	R-32/ 134a (30. 0/ 70. 0)	79. 19	- 41. 7	91. 6	4. 86	1 000	wff				0	1 200
418A	R-290/ 22/ 152a (1. 5/ 96. 0/ 2. 5) -THR03b	84. 60	- 41. 7	96. 2	4. 98		8. 9	1. 7	A2		0. 048	1 700
411B	R-1270/ 22/ 152a (3. 0/ 94. 0/ 3. 0) -G2018B	83. 07	- 41. 6	96. 0	4. 95	1 000	7. 0	6. 5	A2		0. 047	1 700
- - - -	R-125/ 290/ 134a/ E170/ 227ea (55. 4/ 0. 6/ 34. 0/ 2. 5/ 7. 5)	109. 32	- 41. 4	84. 5	3. 86						0	2 700
422B	R-125/ 134a/ 600a (55. 0/ 42. 0/ 3. 0)	108. 52	- 41. 3	83. 4	3. 97	1 000	none		A1		0	2 500
22	CHClF ₂	86. 47	- 40. 8	96. 1	4. 99	1 000	none	2. 2	A1	12. 0	0. 050	1 810
421A	R-125/ 134a (58. 0/ 42. 0)	111. 75	- 40. 7	82. 9	3. 93	1 000	none		A1		0	2 600
501	R-22/ 12 (75. 0/ 25. 0)	93. 10	- 40. 7	95. 9	4. 76		none		A1		0. 288	4 100
424A	R-125/ 134a/ 600a/ 600/ 601a (50. 5/ 47. 0/ 0. 9/ 1. 0/ 0. 6)-RS-44	108. 41	- 39. 7	86. 3	4. 02	1 000	none		A1		0	2 400
- - - -	R-125/ 134a/ 600/ 601a (50. 0/ 47. 0/ 2. 7/ 0. 3)	107. 78	- 39. 6	86. 4	4. 03						0	2 400
411A	R-1270/ 22/ 152a (1. 5/ 87. 5/ 11. 0)-G2018A	82. 36	- 39. 5	99. 1	4. 95	1 000	5. 5		A2		0. 044	1 600
- - - -	R-717/ E170 (60. 0/ 40. 0)-“ R723 ”	22. 77	- 39. 3	131. 2	11. 01		6. 0				0	<1
407D	R-32/ 125/ 134a (15. 0/ 15. 0/ 70. 0)	90. 96	- 39. 2	91. 2	4. 45	1 000	none	- 4. 3	A1		0	1 600
417A	R-125/ 134a/ 600 (46. 6/ 50. 0/ 3. 4) -Isceon MO59 和 NU-22	106. 75	- 39. 1	87. 3	4. 05	1 000	none		A1		0	2 300

续表

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据				安全性数据				环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> /MPa	<i>OEL</i> /PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年
115	CClF ₂ CF ₃	154.47	-38.9	80.0	3.12	1 000	none	-2.1	A1	1 700	0.440	7 370
- - - -	R-125/152a/227ea (40.0/5.0/55.0)-GHG X7	136.53	-38.7	87.0	3.56	1 000	none				0	3 200
425A	R-32/134a/227ea (18.5/69.5/12.0)-THR03a	90.31	-38.1	93.9	4.50	1 000	none	5.1	A1		0	1 500
412A	R-22/218/142b (70.0/5.0/25.0) -Arcton TP5R	92.17	-38.0	107.2	4.90	1 000	8.7		A2		0.053	2 300
- - - -	R-161/218/131I (65.4/18.2/16.4)	64.88	-37.8	101.4	4.96						0.003	1 600
- - - -	R-161/131I (80.0/20.0)	56.60	-37.7	103.4	5.16						0.004	10
161	CH ₃ CH ₂ F ⁺ ethyl fluoride	48.06	-37.6	102.2	5.09		3.8			0.21	0	12
415A	R-22/152a (82.0/18.0)	81.91	-37.2	102.0	4.96		5.6	2.7	A2		0.041	1 500
218	CF ₃ CF ₂ CF ₃ -perfluoropropane	188.02	-36.8	71.9	2.64	1 000	none		A1	2 600	0	8 830
- - - -	R-218/134a/600 (32.7/62.8/4.5)-CM1	115.36	-36.7	89.8	3.85						0	3 800
409B	R-22/124/142b (65.0/25.0/10.0)-FX-57	96.67	-35.6	106.9	4.73		none		A1		0.045	1 600
- - - -	R-125/134a/152a (35.0/40.0/25.0)-GHG X8	94.15	-34.9	96.0	4.19	1 000	wff				0	1 800
401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0)-MP66	92.84	-34.5	105.6	4.69	1 000	none	-2.7	A1		0.036	1 300
409A	R-22/124/142b(60.0/25.0/15.0) -FX-56	97.43	-34.4	109.3	4.70	1 000	none	3.0	A1		0.046	1 600
500	R-12/152a (73.8/26.2)	99.30	-33.6	102.1	4.17	1 000	none		A1		0.738	8 100
413A	R-218/134a/600a (9.0/88.0/3.0) -Isecon MO49	103.95	-33.4	96.6	4.02		8.8		A2		0	2 100
717	NH ₃ -ammonia	17.03	-33.3	132.3	11.33	25	15.0	22.5	B2	0.01	0	<1
414A	R-22/124/600a/142b (51.0/28.5/4.0/16.5)-GHG X4	96.93	-33.0	112.7	4.68	1 000	none	3.6	A1		0.043	1 500
401A	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0) -MP39	94.44	-32.9	107.3	4.61	1 000	none		A1		0.033	1 200
414B	R-22/124/600a/142b (50.0/39.0/1.5/9.5)-Hot Shot	101.59	-32.9	111.0	4.59		none		A1		0.039	1 400
- - - -	R-290/600a (50.0/50.0) -propane/isobutane	50.15	-32.8	118.2	4.24		2.0	49.8			0	~20
405A	R-22/152a/142b/ C318 (45.0/7.0/5.5/42.5)-G2015	111.91	-32.6	106.1	4.28	1 000	none		d		0.026	5 300
406A	R-22/600a/142b (55.0/4.0/41.0) -Autofrost X3	89.86	-32.5	116.9	4.86	1 000	8.2		A2		0.056	1 900
C270	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -cyclopropane	42.08	-31.5	125.2	5.58		2.4	49.7		0.44	0.000	
505	R-12/31 (78.0/22.0)	103.48	-30.0	117.8	4.73		none				0.782	8 400
12	CCl ₂ F ₂	120.91	-29.8	112.0	4.14	1 000	none	-0.8	A1	100	1.000	10 890
426A	R-125/134a/600/601a (5.1/93.0/1.3/0.6)	101.56	-28.5	100.2	4.11	990	none	4.7	A1 r		0	1 500
401C	R-22/152a/124 (33.0/15.0/52.0) -MP52	101.03	-28.3	111.7	4.37		none		A1		0.027	930
- - - -	R-152a/600a (70.0/30.0)-C1	63.45	-27.7	107.0	4.03		3.15				0	93
415B	R-22/152a (25.0/75.0)-THR01b	70.19	-26.9	111.4	4.65	1 000	wff		A2		0.013	550
134a	CH ₂ FCF ₃	102.03	-26.1	101.1	4.06	1 000	none	4.2	A1	14.0	0	1 430
420A	R-134a/142b (88.0/12.0)	101.84	-24.9	104.8	4.09	1 000	none		A1		0.008	1 500
E170	CH ₃ -O-CH ₃ -DME	46.07	-24.8	127.2	5.34	1 000	3.3	31.8	A3	0.015	0	1
- - - -	R-134a/142b (80.6/19.4) -RB-276	101.73	-24.2	107.2	4.10		none				0.014	1 600

续表

编号	制冷剂 化学分子式或混合组分 ——常用名称	物理特性数据					安全性数据				环境特性数据		
		相对 分子质量	<i>NBP</i> /	<i>T_c</i> /	<i>P_c</i> / MPa	<i>OEL</i> / PPMv	<i>LFL</i> / %	<i>HOC</i> / (MJ/kg)	Std 34 safety group	大气寿 命/a	<i>ODP</i>	<i>GWP</i> 100 年	
423A	R-134a/227ea (52.5/47.5) -Isceon 39 TC	125.96	-24.1	99.5	3.59	1 000	none		A1		0	2 300	
152a	CH ₃ CHF ₂	66.05	-24.0	113.3	4.52	1 000	4.8	17.4	A2	1.4	0	124	
416A	R-134a/124/600 (59.0/39.5/1.5)-FR-12	111.92	-24.0	107.0	3.98		none	7.8	A1		0.008	1 100	
400 >>	R-12/114 (60.0/40.0) -R-400(60/40)	136.94	-23.2	125.6	4.01	1 000	none		A1		1.000	11 000	
131I	CF ₃ trifluoroiodomethane	195.91	-21.9	123.3	3.95		none			~0.01	0.018	~1	
400 >>	R-12/114 (50.0/50.0) -R-400(50/50)	141.63	-20.8	129.1	3.94	1 000	none		A1		1.000	10 000	
227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	170.03	-16.4	102.8	3.00	1 000	none	3.3	A1	42	0	3 220	
506	R-31/114 (55.1/44.9)	93.69	-12.3	142.2	5.16		none				0.455	4 400	
124	CHClFCF ₃	136.48	-12.0	122.3	3.62	1 000	none	0.9	A1	5.8	0.020	609	
600a	CH(CH ₃) ₂ -CH ₂ -isobutane	58.12	-11.7	134.7	3.63	800	1.7	49.4	A3	0.019	0	~20	
764	SO ₂ -sulfur dioxide	64.06	-10.0	157.5	7.88	2	none		B1		0	300	
142b	CH ₂ CClF ₂	100.50	-9.1	137.1	4.06	1 000	6.0	9.8	A2	17.9	0.070	2 310	
31	CH ₂ ClF	68.48	-9.1	151.8	5.13	0.1				1.3	0.010		
- - - -	R-600a/600 (50.0/50.0) -isobutane/ butane	58.12	-6.7	145.2	3.80		1.6				0	~20	
630	CH ₃ (NH ₂)-methylamine	31.06	-6.7	156.9	7.43	5	4.9				0.000		
C318	-CF ₂ -CF ₂ -CF ₂ -CF ₂ -	200.03	-6.0	115.2	2.78	1 000	none		A1	3 200	0	10 250	
12B1	CBrClF ₂ -halon 1211	165.36	-4.0	154.0	4.10		none			16	7.100	1 890	
236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	152.04	-1.4	124.9	3.20	1 000	none		A1	240	0	9 810	
600	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -butane	58.12	-0.5	152.0	3.80	800	1.5	49.5	A3	0.018	0	~20	
114	CClF ₂ CClF ₂	170.92	3.6	145.7	3.26	1 000	none	-3.1	A1	300	1.000	10 040	
E134	CHF ₂ -O-CHF ₂	118.03	5.5	147.1	4.23		none			26	0	6 320	
E245cb1	CH ₃ -O-CF ₂ -CF ₃	150.05	5.9	133.7	2.89		flam			5.1	0	708	
21	CHCl ₂ F	102.92	8.9	178.3	5.18	10	none		B1	1.7	0.010	151	
160	CH ₃ CH ₂ Cl-ethyl chloride	64.51	13.1	187.3	5.27	100	3.6	20.6		0.11	0.020		
245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	134.05	15.1	154.0	3.65	300	none	6.1	B1	7.6	0	1 030	
631	CH ₃ -CH ₂ (NH ₂)-ethylamine	45.08	16.6	183.0	5.62	5	3.5				0.000		
11	CCl ₃ F	137.37	23.7	198.0	4.41	C1000	none	0.9	A1	45	1.000	4 750	
245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	134.05	25.1	174.4	3.93		7.1	8.4		6.2	0	693	
123	CHCl ₂ CF ₃	152.93	27.8	183.7	3.66	50	none	2.1	B1	1.3	0.020	77	
601a	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ -CH ₃ -isopentane	72.15	27.8	187.2	3.38	600	1.0	3531	A3	0.01	0	~20	
E347mmyl	CF ₃ -CF(OCH ₃)-CF ₃	200.05	29.4	160.8	2.55					3.4	0	343	
611	HCOOCH ₃ -methyl formate	60.05	31.7	214.0	5.99	100	4.5		B2	0.16	0.000		
141b	CH ₂ CCl ₂ F	116.95	32.0	204.4	4.21	500	5.8	8.6		9.3	0.120	725	
- - - -	R-601a/601 (37.0/63.0) -isopentane/ pentane	72.15	32.7	193.2	3.38		high				0	~20	
610	CH ₃ -CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₃ -ethyl ether	74.12	34.6	214.0	6.00	400	1.9				0.000		
601	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -pentane	72.15	36.1	196.6	3.37	600	1.4			0.01	0	~20	
- - - -	R-601/602 (90.1/9.9) -pentane/ hexane	73.33	37.8	200.4	3.37		high				0	~20	
30	CH ₂ Cl ₂ -methylene chloride	84.93	40.2	237.0	6.08	50	13		B2	0.38		10	
113	CCl ₂ FCClF ₂	187.38	47.6	214.1	3.39	1 000	none	0.1	A1	85	1.000	6 130	
1130	CHCl = CHCl - dielene	96.94	47.8	243.3	5.48	200	5.6						
718	H ₂ O-water	18.02	100.0	373.9	22.06		none		A1		0	<1	

NBP—正常沸点; *T_c*—临界温度; *P_c*—临界压力; *OEL*—以时间加权平均(TWA)体积分数(ppm)表示的职业接触限值,前缀C,则表示最高限值(ceiling)。如美国职业安全与健康管理局(OSHA)的允许暴露限值(PEL, Permissible Exposure Limit),美国政府工业卫生学者联合会(ACGIH)的安全阈值—时间加权平均值(TLV-TWA),美国工业卫生协会(AIHA)的工作地环境暴露标准(WEEL, Workplace Environmental Exposure Level),以及相关指标(见前述文字); *LFL*—最低可燃极限(以空气中的体积浓度表示),“flam”表示可燃但是 *LFL* 不确定,“wfi”表示最不利馏成分有可能可燃; *HOC*—燃烧热; *ODP*—臭氧损耗潜能值(半经验数值); *GWP*—全球温室效应潜能值(累计时间基准 100 年)。

安全性分类的下标代表建议的修改,但仍未最终确定(“d”表示删除,“r”表示修订或补充),或是临时分类(“p”)。单独的“d”则表示前述分类已废除。数据来源于制冷剂数据库,使用前请在来源处查证数据和相关限值。

性(长期、反复暴露)毒性。常用的 *OEL* 包括美国政府工业卫生学者联合会 (ACGIH) 的安全阈值—时间加权平均值 (TLV-TWA), 美国工业卫生协会 (AIHA) 的工作地环境暴露标准 (WEEL, workplace environmental exposure level) 指南, 德意志研究联合会 DFG 的最大工作地浓度 (MAK, maximum workplace concentration), 日本职业保健协会 (JSOH) 的 *OEL*, 美国职业安全与保健管理总署 (OSHA) 的允许暴露限值 (PEL, Permissible Exposure Limit)。一些国家和制造商参照这些数据作为可接受的暴露限值 (AEL, acceptable exposure limit)、工业暴露限值 (IEL, industrial exposure limit)、工作区暴露标准, 或者类似限值。这些值表明了对于受训练的人员在典型工作日和工作周下的建议或采用的工作地暴露限值。*OEL* 通常采用正常工作日和工作周的时间加权平均 (TWA) 体积分数 (ppm), 前缀 C 表示最高限值 (ceiling)。

最低可燃极限 (LFL, lower flammability limit) 是制冷剂处于规定测试条件下在空气中燃烧的最低浓度, 是制冷剂可燃性的一个指标。

燃烧热 (HOC, heat of combustion) 是描述制冷剂在空气中燃烧时, 假定完全反应产生稳态气相状态产物时, 释放的能量多少的指标。负值说明是吸热反应 (过程需要热), 正值则说明是放热反应 (过程产热)。

ASHRAE 标准 34 是基于安全阈值—时间加权平均值 (TLV-TWA)、最低可燃极限 (LFL)、燃烧热 (HOC) 等数据确定等级。其中字母 A 和 B 表示相对毒性, 数字 (1, 2 或 3) 表示相对可燃性。这些等级广泛用于机械和火灾工程的规范中以确定安全使用的要求。大部分代码的规定基于 ASHRAE Standard 15《制冷系统的安全性标准》。一些分类中的小写字母 r 表示编写 ASHRAE Standard 34 的委员会已经建议修订和补充所示的分类, 但是最终的通过和出版尚未确定, 同样的, 字母 d 表示删除。

对于混合制冷剂, 原规定采用双重安全等级分类, 分别从额定成分和最不利于分馏成分进行分类, 例如 A1/A2。改变后的安全分类, 仅反映特定泄漏和填充情况下的最不利分馏成分。

1.4 环境特性的数据

大气寿命 (τ_{atm}) 表示制冷剂从释放到大气直到被分解, 与其他化学物质反应, 或者被消除的平均时间的一个指标。把 τ_{atm} 计入到其他环境特性

参数中, 也是一个非常重要的因素。它表明释放了的制冷剂在大气中的积累潜力, 大气寿命越长意味着从其所引起的问题中恢复越慢, 这些环境问题包括已为人们所知的和未来将被确认的。

表中所示的制冷剂寿命值是综合大气寿命。由于大气层主导化学物质的不同, 寿命也可以分别针对对流层 (人类生活的大气低层)、平流层 (与臭氧损耗相关的大气层) 以及更高的大气层来表示。

臭氧损耗潜能值 (ODP) 是以 R-11 为比较基准的一个相对指标, 是指制冷剂 (或其他化学物质) 破坏平流层臭氧分子的能力。

表 1 和表 2 所示的 ODP 值是半经验值, 是根据大气观测值进行调整后得到的^[8]。混合制冷剂的 ODP 值为质量平均值。半经验方法尽管还有待进一步深入研究和改善, 但从概念上来讲比其他方法更准确。

之前笔者的综述文章^[2-4]用的是 ODP 模拟数值, 且认为这是基于国际评估认可的能够表征环境影响的指标。另外有几个其他 ODP 指标, 包括随时间变化的调整变量。

随时间变化的 ODP 采用化学物质而非 R-11 作为参考。其值更强调近期影响, 但忽略了长期影响。随时间变化的 ODP 不经常被采用, 因为臭氧损耗物质的释放已经达到顶峰, 平流层臭氧正在得到恢复。

全球温室效应潜能值 (GWP) 是衡量温室气体使全球变暖的能力的一个标准化指标, 所示 GWP 是以 CO₂ 为比较基准累计时间 100 年的相对值, 同样被国际科学评估所认可。混合制冷剂的 GWP 值为质量平均值^[8-10]。可以计算任何时间段的 GWP 值, 通常被称作积分时间区间 (ITH)。较短的 ITH 强调即刻效应, 但忽略后期影响, 而较长的 ITH 过程则包含了更多的长期影响。最常用的 GWP 值, 包括本文所列的, 是 100 年的 ITH。

这些 GWP 值仅仅描述了制冷剂 (或其他物质) 的排放对大气温室效应的直接影响。引入间接 GWP 的变量测评了释放到大气中的制冷剂产生或破坏的其他化学物质的影响, 如温室气体分解和催化作用的产物。另外, 臭氧由于制冷剂的排放而被破坏也意味着一种有效温室气体被消除。因此, 间接 GWP 在数值上可以是正值也可以是负值。正的 GWP 表示辐射力, 或者是全球变暖效应; 而

负的 *GWP* 表示负的辐射力,或者是全球变冷效应。综和直接和间接 *GWP* 产生净 *GWP*,它的值也可正可负(对于一些耗损臭氧物质)。间接 *GWP* 不应该与“间接效应”相混淆,间接效应表述的是与能量有关的释放反应,是“总当量变暖影响”和类似研究分析的一部分。

除了 R-50(甲烷),为了与国际评估一致,间接 *GWP* 尚不准确,表 1 和表 2 中的 *GWP* 数据都是直接 *GWP* 而非净 *GWP*。带有“~20”符号的碳氢化合物的 *GWP* 值,表示计算结果不确定,目前科学界仍然未达成一致,所示的近似值在估计范围之内。目前需要利用三维模型在释放范围内进行更

深入的研究,确定极短大气寿命化学物质,包括饱和与不饱和碳氢化合物的典型 *GWP* 值。

大气寿命 t_{atm} 影响 *ODP* 和 *GWP*,然而那些矩阵也分别反映出化学特性和其他大气数据。在选择制冷剂时, t_{atm} 值、*ODP* 值和 *GWP* 值越低越好,同时也必须考虑其制冷性能、安全性、化学稳定性和热稳定性^[1]。

图 2 表示的是常用制冷剂的 *ODP* 值和 *GWP* 值。没有进行单位的换算推导,它们是不相同的单位,没有直接的方式去等同他们。这张图有助于快速确定哪种制冷剂的 *ODP* 和 *GWP* 都高,或都低,或某一个值低。

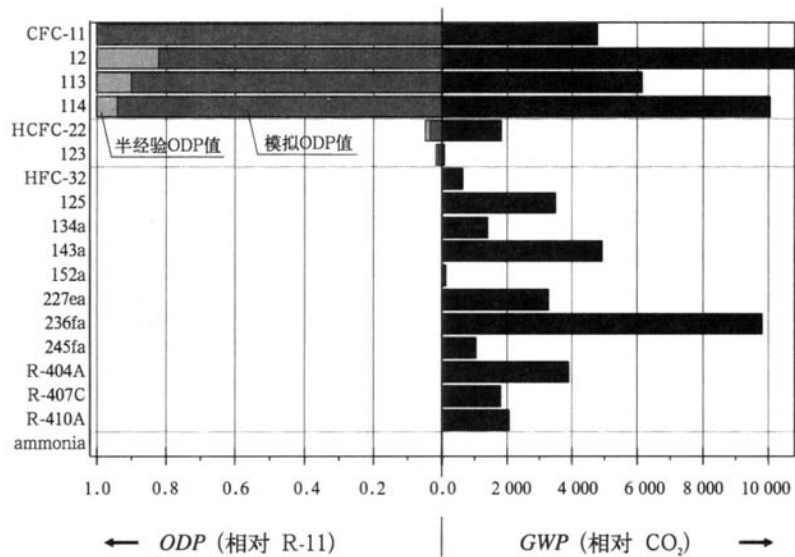


图 2 主要制冷剂的臭氧损耗潜能值 (*ODP*) 与全球温室效应潜能值 (*GWP*) 对比

通常, CFC 类物质具有较高的 *ODP* 值和 *GWP* 值, HCFC 类物质具有较低的 *ODP* 值和 *GWP* 值, HFC 类物质的 *ODP* 值接近零, 但个别 *GWP* 值却非常高。

对于这些指标, 文献[8-11]提供了更深入的信息。

2 规范的 *ODP* 和 *GWP* 数据

表 1 和表 2 所示的 *ODP* 和 *GWP* 数据是最新的潜在影响的一致认可的数据。然而,《蒙特利尔议定书》(许多国家的规范照此制定)的减排要求和任务分配,采用的是旧的 *ODP* 值。《蒙特利尔议定书》附录上所列的 *ODP* 值,例如对 CFCs 而言,自 1987 年后就未更新过;对 HCFCs 而言,自 1992 年后就未更新过^[9]。《蒙特利尔议定书》中有一条注释,说明这些数据“是根据现有的知识估计的,将进行阶段性的修订和更新,但是到目前还未作过。同样的,《京都议定书》参照的排放报告也是根据早

期评估^[12],而非最新科学发现制定的。

表 3 和表 4 对照了这些规范和报告中的 *ODP* 和 *GWP* 数据与最新的国际科学一致认可的评估

表 3 规范中的 *ODP* 值和一致认可的 *ODP* 值

制冷剂	<i>ODP</i>		
	规范数值 ^[11]	模拟数值 ^[12]	半经验数值 ^[8-10]
11	1.0	1.000	1.0
12	1.0	0.820	1.0
12B1	3.0	5.100	7.1
13	1.0	1.000	
13B1	10.0	12.000	16
21	0.04	0.010	
22	0.055	0.034	0.05

续表

113	0.8	0.900	1.0
114	1.0	0.850	1.0
115	0.6	0.400	0.44
123	0.02	0.012	0.02
124	0.022	0.026	0.02
142b	0.065	0.043	0.07

表 4 规范中的 GWP 值和一致认可的 GWP 值(累计时间 100 年)

制冷剂	GWP	
	规范数据 ^[13]	科研数据 ^[8-10]
14	6 500	7 390
23	11 700	14 760
32	650	675
116	9 200	12 200
125	2 800	3 500
134a	1 300	1 430
143a	3 800	4 470
152a	140	124
161		12 *
218	7 000	8 830
227ea	2 900	3 220
236ea		1 370
236fa	6 300	9 810
245fa		1 030
C318	8 700	10 250
744	1	1

* R-161 的 GWP 值取自文献[13]。

数据。从逻辑上讲,科研数据应领先于规范数据,但在表中的顺序是反的,因为科研数据更新的同时,规范数据却没有更新。

3 不同的环境特性数据

atm, ODP 和 GWP 的值随着大气科学的发展和相关的化学动力学的深入认识而变化,并更加科学合理。更新的测量手段也使其变化。这些因素推动着阶段性环境特性数据的修订和科学界的评估认可。

表 1 和表 2 所示的 atm, ODP 和 GWP 数据代表的是最新的国际评估认可数据^[8-10],另外还包含了一些从其他科学出版物中挑选的制冷剂数据,尚未达到评估认可。这部分数据是基于组成成分及其标准化学式计算得到的混合制冷剂指标。

参考文献

[1] J M Calm and D A Didion. Trade-offs in refrigerant selections: past, present, and future. Refrigerants for the 21st century (proceedings of the ASHRAE/ NIST

Conference, Gaithersburg, MD, October 1997). ASHRAE, Atlanta, GA, USA, 1997. International Journal of Refrigeration (IJR), June 1998, 21(4): 308-321.

[2] J M Calm. Property, safety, and environmental data for alternative refrigerants. Proceedings of the Earth Technologies Forum (Washington, DC, USA). Alliance for Responsible Atmospheric Policy, Arlington, VA, USA, October 1998: 192-205.

[3] J M Calm and G C Hourahan. Physical, safety, and environmental data for refrigerants. Heating/ Piping/ Air Conditioning Engineering, August 1999, 71(8): 27-33.

[4] J M Calm and G C Hourahan. Refrigerant data summary. Engineered Systems, November 2001, 18(11): 74-88.

[5] Designation and safety classification of refrigerants. ANSI/ ASHRAE Standard 34 - 2004, ASHRAE, Atlanta, GA, USA, 2004, and both published and pending addenda thereto, 2004-2006.

[6] R D Loss for the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances. Atomic weights of the elements 2001 (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, August 2003, 75(8): 1107-1122; and private communications on the 2005 updates in press.

[7] J M Calm and P A Domanski. R-22 replacement status. ASHRAE Journal, August 2004, 46(8): 29-39; Erratum, October 2004, 46(10): 8.

[8] World Meteorological Organization (WMO). Scientific assessment of ozone depletion: 2006. WMO, Geneva, Switzerland, in press with expected publication in March 2007.

[9] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP). Safe-guarding the ozone layer and the global climate system. Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons, WMO, Geneva, Switzerland, and the United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2005.

[10] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: The scientific basis: contribution of working group I to the IPCC third assessment report. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

(下转第 98 页)

(上接第 73 页)

- [11] UNEP, Handbook for the International Treaties for the Protection of the Ozone Layer (Seventh Edition), UNEP Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2006.
- [12] World Meteorological Organization (WMO). Scientific assessment of ozone depletion. 2002, report 47, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Geneva, Switzerland, March 2003.
- [13] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 1995- contribution of working group I

to the IPCC second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.

注: Copyright ©2007 J. M. Calm and G. C. Hourahan.

原文出处: J. M. Calm and G. C. Hourahan. Refrigerant Data Update. Heating/ Piping/ Air Conditioning Engineering, 2007, 79 (1): 50-64.