

# 制冷与空调

# 应用新技术

俞炳丰 主编



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

# 制冷与空调应用新技术

俞炳丰 主编

化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心  
·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

制冷与空调应用新技术/俞炳丰主编. —北京:化学工业出版社, 2002. 10  
ISBN 7-5025-3968-9

I. 制… II. 俞… III. 制冷技术 IV. TB66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 051069 号

---

**制冷与空调应用新技术**

俞炳丰 主编

责任编辑:戴燕红

责任校对:凌亚男

封面设计:蒋艳君

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心  
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京管庄永胜印刷厂印刷  
三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19 字数 467 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3968-9/TB·8

定 价: 38.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 前 言

近年来,制冷空调业随着国民经济的发展和人民生活水平的提高得到了空前的发展。同时,制冷空调技术的进步伴随着相关技术与制冷空调技术的结合与渗透,呈现出节能化、环保化、智能化的显著特点。相关技术的发展有力地促进了空调制冷技术的进步,反过来,空调制冷技术的进步也大大推进了相关学科应用研究的发展。

将近年来制冷空调领域应用的新技术介绍给广大工程技术人员和高等院校的学生一直是我们的心愿。本书的编写与出版使我们的愿望得以实现。我们衷心希望本书能使读者对于制冷空调学科和相关学科的相互结合与渗透有所了解,拓宽知识面,并能对他们的学习和工作起到启迪和促进的作用。

目前制冷空调领域中应用的新技术很多,本书只介绍其中的若干新技术。这些新技术包括 CFCs 和 HCFCs 制冷剂的替代、智能控制、蓄冷技术、CO<sub>2</sub> 汽车空调和流体流速测量技术。在这些新技术的介绍中,不仅阐述了这些新技术的应用背景及基本理论,而且介绍了这些新技术在制冷空调中的应用情况,还指出了这些新技术在制冷空调应用中的研究方向。

本书第 1 章 CFCs 和 HCFCs 制冷剂替代由西安交通大学俞炳丰教授编写,第 2 章智能控制由西安交通大学沈传文博士编写,第 3 章蓄冷技术由中国科技大学陈则韶教授编写,第 4 章 CO<sub>2</sub> 汽车空调由上海交通大学丁国良教授编写,第 5 章流体流速测量技术由西安交通大学宫武旗博士编写,由俞炳丰教授对全书进行了统稿。在本书统稿中,得到了张群力研究生在文字、插图处理方面的大力协助,在此表示由衷的感谢。

本书可作为制冷空调专业及相关专业研究生、本科生的教学参考用书和专题讲座的教材。制冷空调业的研发人员、设计人员可通过学习本书掌握这些新技术并能在此基础上结合本职工作加以创造性地应用。本书的全部内容或部分内容也可用于制冷空调业技术人员、维修人员、管理人员的培训。

由于本书的编写是一个初步尝试,加上作者水平所限,不当与错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

俞炳丰

2002 年 7 月 2 日于西安

# 目 录

1 CFCs 和 HCFCs 制冷剂替代 .....	1
1.1 臭氧消耗和全球变暖 .....	1
1.1.1 臭氧层及臭氧消耗 .....	1
1.1.2 蒙特利尔议定书 .....	4
1.1.3 温室效应和全球变暖 .....	7
1.2 制冷剂 .....	9
1.2.1 制冷剂的种类和符号表示 .....	10
1.2.2 选择制冷剂的原则 .....	11
1.2.3 健康和安全考虑 .....	11
1.2.4 制冷剂安全充灌量 .....	17
1.2.5 替代制冷剂 .....	20
1.3 冰箱及冷柜 .....	21
1.3.1 替代制冷剂简介 .....	21
1.3.2 R600a 在家用冰箱中的替代 .....	22
1.3.3 混合物制冷剂在家用冰箱中的替代 .....	25
1.3.4 HFC-134a 在家用冰箱中的替代 .....	29
1.4 冷水机组 .....	31
1.4.1 CFC-11 冷水机组改用 HCFC-123 .....	32
1.4.2 CFC-12 冷水机组改用 HFC-134a .....	34
1.4.3 R500 冷水机组改用 HFC-134a .....	36
1.4.4 CFC-114 系统的改装 .....	36
1.4.5 各种改装方案的相对总费用和改装后机组预计性能 .....	36
1.4.6 改装工艺过程 .....	37
1.4.7 更新方案 .....	38
1.5 空调机组 .....	38
1.5.1 AREP 项目 .....	39
1.5.2 R407C 与 R410A 替代 HCFC-22 .....	40
1.5.3 HCFC-22 替代的研究动态 .....	42
1.6 商业制冷、冷藏与食品加工、工业制冷、运输制冷 .....	45
1.6.1 商业制冷 .....	45
1.6.2 冷藏与食品加工 .....	47
1.6.3 工业制冷 .....	49
1.6.4 运输制冷 .....	50
1.7 汽车空调 .....	50
1.7.1 SNAP 计划认可的汽车空调用制冷剂替代物 .....	50

1.7.2	SNAP 认可的汽车空调替代制冷剂的评估	50
1.7.3	HFC-134a 及 HCFC-22/HFC-152a	53
1.7.4	CO <sub>2</sub> 汽车空调系统	55
1.8	隔热材料发泡剂的 CFCs 替代	55
1.8.1	替代发泡剂的主要性质	56
1.8.2	替代发泡剂在泡沫材料中的应用	58
1.8.3	真空隔热技术	60
1.9	可替换的制冷技术	62
1.9.1	蒸气压缩及所用的制冷剂	62
1.9.2	吸收(附)、气体循环和其他冷却技术	63
	参考文献	65
<b>2</b>	<b>制冷与空调系统的智能控制</b>	<b>68</b>
2.1	智能控制	68
2.1.1	智能控制系统的发展概况	68
2.1.2	模糊控制	74
2.1.3	神经网络控制	77
2.2	电力电子技术在制冷技术上的应用和发展	83
2.2.1	数字处理芯片 DSP 的发展及应用	83
2.2.2	智能功率模块 IPM 的应用	86
2.2.3	变频调速技术理论的发展及应用	90
2.2.4	逆变器脉宽调制(PWM)控制方法	91
2.3	电子膨胀阀在制冷技术上的应用	97
2.4	变频空调智能控制系统	100
2.4.1	变频空调对自动控制系统的要求	100
2.4.2	智能变频空调器电控系统的硬件方案	102
2.4.3	智能控制在变频空调中的应用	111
2.4.4	变频中央空调系统的智能控制	112
2.5	制冷与空调系统电气控制技术未来的发展	114
2.5.1	智能信息家电及家庭网络技术简介	114
2.5.2	信息家电平台内部联网接口方案	116
2.5.3	家庭网络布线系统	119
2.5.4	基于网络环境的制冷家电的设计与功能	119
	参考文献	121
<b>3</b>	<b>蓄冷技术</b>	<b>123</b>
3.1	蓄冷技术的基础知识	123
3.1.1	应用背景	123
3.1.2	蓄冷空调的基本原理	124
3.1.3	蓄冷空调设计的基本步骤	125
3.1.4	蓄冷空调的蓄冷剂选择原则	131
3.1.5	蓄冷空调的经济分析	132

3.2	冰蓄冷空调系统 .....	134
3.2.1	冰蓄冷空调系统的若干方案 .....	134
3.2.2	蓄冰特性 .....	138
3.2.3	封装冰的熔冰特性 .....	149
3.2.4	动态蓄冰空调 .....	154
3.2.5	冰蓄冷空调系统 .....	157
3.2.6	冰蓄冷空调系统的具体设计和安装工程中几个应注意的问题 .....	160
3.3	高温相变潜热蓄冷空调系统 .....	166
3.3.1	概述 .....	166
3.3.2	高温相变蓄冷材料物性的测试方法 .....	167
3.3.3	PCM 相变潜热蓄冷空调系统 .....	170
3.4	高温水蓄冷空调系统 .....	171
3.4.1	高温水蓄冷空调的原理 .....	171
3.4.2	高温水蓄冷空调系统 .....	172
3.4.3	过冷蓄冷系统的循环特性 .....	173
3.4.4	高温水蓄冷空调实验研究 .....	179
3.5	结论 .....	180
	参考文献 .....	180
4	CO <sub>2</sub> 汽车空调 .....	182
4.1	概述 .....	182
4.1.1	CO <sub>2</sub> 作为制冷剂的历史 .....	182
4.1.2	CO <sub>2</sub> 制冷剂的再受重视 .....	183
4.1.3	CO <sub>2</sub> 的性质 .....	184
4.1.4	CO <sub>2</sub> 跨(超)临界循环及其特点 .....	186
4.2	跨临界 CO <sub>2</sub> 汽车空调结构与特性 .....	187
4.2.1	CO <sub>2</sub> 汽车空调结构 .....	187
4.2.2	CO <sub>2</sub> 汽车空调性能 .....	189
4.2.3	CO <sub>2</sub> 汽车空调环保特性 .....	193
4.3	CO <sub>2</sub> 压缩机 .....	195
4.3.1	CO <sub>2</sub> 压缩机的发展 .....	195
4.3.2	往复式 CO <sub>2</sub> 压缩机 .....	195
4.3.3	涡旋式 CO <sub>2</sub> 压缩机 .....	200
4.3.4	滑片式 CO <sub>2</sub> 压缩机 .....	202
4.3.5	回转式 CO <sub>2</sub> 压缩机 .....	205
4.3.6	CO <sub>2</sub> 压缩机润滑油及密封材料 .....	207
4.4	CO <sub>2</sub> 换热器 .....	208
4.4.1	CO <sub>2</sub> 换热器的设计要求 .....	208
4.4.2	管翅式换热器 .....	210
4.4.3	微通道换热器 .....	211
4.5	辅助设备及其对系统控制特性的影响 .....	219

4.5.1	系统参数控制及其特性 .....	219
4.5.2	冷热媒参数控制及其特性 .....	223
4.5.3	安全性 .....	223
4.6	CO <sub>2</sub> 强迫对流流动和换热 .....	224
4.6.1	CO <sub>2</sub> 强迫对流沸腾流动和换热 .....	224
4.6.2	超临界 CO <sub>2</sub> 强迫对流冷却流动和换热 .....	229
4.7	跨临界 CO <sub>2</sub> 汽车空调系统性能仿真与优化 .....	234
4.7.1	影响跨临界 CO <sub>2</sub> 汽车空调系统性能的参数分析 .....	234
4.7.2	跨临界 CO <sub>2</sub> 汽车空调稳态仿真 .....	235
4.7.3	各种跨临界 CO <sub>2</sub> 制冷循环仿真 .....	238
	参考文献 .....	241
<b>5</b>	<b>流体流动测量技术的发展 .....</b>	<b>244</b>
5.1	热线热膜风速仪技术 .....	244
5.1.1	概述 .....	244
5.1.2	热线的热交换理论 .....	244
5.1.3	热线的静态特性 .....	245
5.1.4	热线的动态特性 .....	246
5.1.5	预移相型热线风速仪简介 .....	249
5.1.6	探头的选择和校准 .....	250
5.1.7	热线测量系统的误差分析 .....	253
5.1.8	热线测量结果的修正 .....	254
5.1.9	热线技术在流动测量中的应用 .....	257
5.1.10	热线技术在其他参量测量中的应用 .....	260
5.1.11	热线风速仪在空调用贯流风扇中的应用 .....	264
5.2	激光多普勒测速技术 .....	267
5.2.1	多普勒效应 .....	267
5.2.2	激光多普勒测速原理 .....	268
5.2.3	速度测量方法 .....	270
5.2.4	激光多普勒系统 .....	271
5.2.5	流动方向模糊性判定 .....	275
5.2.6	示踪粒子 .....	275
5.2.7	在空调研究中的应用 .....	276
5.3	粒子图像测速技术 .....	280
5.3.1	概述 .....	280
5.3.2	PIV 基本原理 .....	280
5.3.3	图像分析方法 .....	281
5.3.4	PIV 系统组成 .....	284
5.3.5	图像漂移法——方向模糊问题的解决方案 .....	287
5.3.6	PIV 的重要参数 .....	288
	参考文献 .....	291



# 1 CFCs 和 HCFCs 制冷剂替代

臭氧层破坏是当今全球性环境问题之一，它对人类健康和人类所依赖的生态环境造成了巨大的有害影响。保护臭氧层已经成了世界各国义不容辞的迫切任务。削减和淘汰 CFCs 和 HCFCs 在内的消耗臭氧层物质 (ODS) 不仅对于保护臭氧层进而保护环境有着十分重要的意义，也是许多相关领域中开展科学研究和技术革新的强大推动力。由于制冷与空调领域中广泛采用的 CFCs 和 HCFCs 对臭氧层有破坏作用以及产生温室效应，因此 CFCs 和 HCFCs 制冷剂的替代显得尤为重要<sup>[1]</sup>。

## 1.1 臭氧消耗和全球变暖

### 1.1.1 臭氧层及臭氧消耗

臭氧层存在于地球表面上空 10~50km 的区域内，见图 1-1 所示。

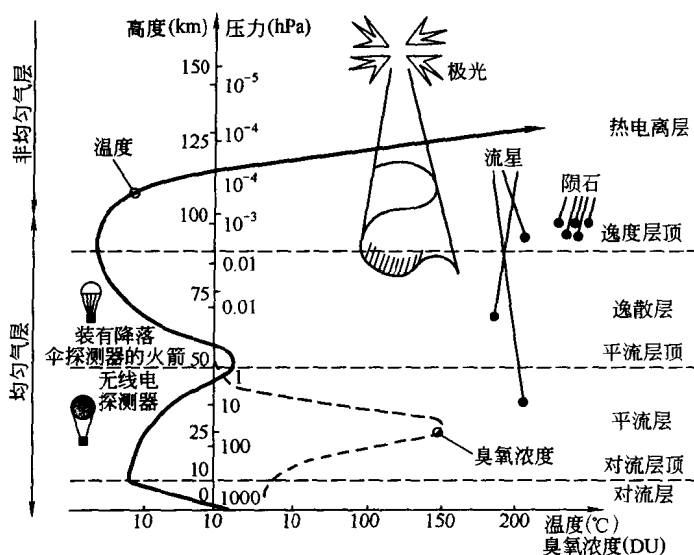


图 1-1 地球大气的组成<sup>[2]</sup>

大气的总臭氧层量包括平流层臭氧及对流层臭氧两大部分，它们对人类的影响并不相同。离地 10km 以上的臭氧即平流层臭氧约占垂直空气中总臭氧量的 80%，能吸收大部分太阳辐射紫外线，避免其危害地表生物。此层臭氧常被称为臭氧层，其浓度最大值出现在 20~30km 高空。平流层臭氧的减少是造成南极臭氧空洞与全球总臭氧减少的主要原因。近地面 10km 以内的对流层臭氧约占总臭氧量的 15%。对流层臭氧持续增加，将会增强大气温室效应，加速全球变暖。

大气的总臭氧量可以用臭氧分光仪、臭氧探空或人造卫星来观测。臭氧浓度用多布森单位 (Dobson Unit, 简称为 DU) 表示。假定垂直空气柱的臭氧全部集中起来成为一个纯臭氧层，此臭氧层在 0℃、一个大气压的标准状态下的厚度代表臭氧总含量，厚度为千分之一

厘米时被定义为一个多布森单位 (1DU)。总臭氧量随时空不同而改变, 一般而言全球大气的平均臭氧量在 300DU 左右。所谓“南极臭氧空洞”并不表示该地区总臭氧量为零或真正有个空洞, 而是指南极春天总臭氧量低于 200DU 的区域。

臭氧层是地球的保护伞, 它对波长为 280~315nm 的太阳辐射 B 种紫外线 (UV-B) 有很强的吸收能力, 起到过滤的作用。若臭氧层浓度的减少使到达地表的 UV-B 增加, 则会对我们产生下列不利影响:

① 免疫系统受到破坏及皮肤癌罹患率增加 UV-B 会抑制皮肤中抗体生成细胞的活力, 长时间曝晒下人体免疫系统受到破坏, 使人体易感染疾病。会导致皮肤癌, 皮肤免疫反应受到破坏的结果也会使免疫系统无法抑制肿瘤的生长。美国环保局的调研结果显示, 臭氧层的臭氧浓度每减少 1%, 到达地面的 UV-B 增加 1.3%~1.8%, 皮肤癌患者就上升 2%, 且死于皮肤癌的人数会增加 0.2%~0.3%。

② 白内障罹患率增加 UV-B 会伤害眼角膜、水晶体及视网膜, 进而造成白内障, 甚至导致失明。

③ 海洋食物网会受到严重干扰 海洋中的浮游生物及微小生物是其他生物的基本食物来源, 然而它们缺乏外层保护, 对 UV-B 非常敏感。鱼类和其他海洋生物也会受到 UV-B 的伤害, 进而影响捕鱼量。

④ 干扰陆地生态系统 例如, UV-B 会降低微生物的固氮能力, 影响稻米生长。

⑤ 加剧空气污染 UV-B 的增加促进氮氧化物浓度较高地区的化学反应而产生地表臭氧及其他空气污染物, 使该地区空气品质恶化, 并且造成酸雨问题。

⑥ 加速户外塑胶材料的老化 紫外线增加会导致户外塑胶材质的建材及物品加速分解而缩短使用寿命。

舍伍德·罗兰 (S.Rowland) 和马里奥·莫利纳 (M.Molina) 于 1974 年提出: 包括常用的 CFCs 制冷剂在内的许多人工合成的含氯物质可以与臭氧反应, 使之变成氧分子 ( $O_2$ ), 导致臭氧层浓度降低, 即臭氧层损耗。臭氧层损耗使过多的 UV-B 穿过大气层到达地球表面。

一些制冷剂非常稳定, 在对流层中不易分解, 它们通过大气环流最终扩散到平流层。在平流层里, 强烈的太阳紫外线促使这些制冷剂化学分子破裂, 释放出氯原子。这些氯原子与臭氧发生化学反应, 生成氧分子。在化学反应中氯原子只起催化剂的作用, 本身并没有消耗。因此, 一个氯原子可以通过成千上万次的上述化学反应把臭氧转变成氧分子。需要指出的是, 臭氧本身在自然界可以被太阳紫外线破坏并产生氧, 但是这个过程和与之相反的反应 (从氧到臭氧) 在地球的整个历史中一直同时存在, 并处于平衡状态。所以在人工合成的化学品出现前, 大气中的臭氧量一直保持相对不变。

世界气象组织 (WMO) 自 20 世纪 70 年代起对南极上空的总臭氧量进行了测量。测量结果表明, 一年中的某些月份里平流层内的臭氧量减少。例如, 1992 年 10 月南极上空臭氧空洞的面积达到北美大陆面积的大小, 是 1991 年同期的 1.15 倍, 其臭氧层损耗接近 80%。1995 年 7 月底至 9 月初, 南极上空臭氧空洞的面积达 1000 万平方公里, 与欧洲面积一样大, 在此期间, 其臭氧量小于 200DU。1999 年 9 月, 南极上空臭氧空洞达 2500 万平方公里, 其臭氧量小于 180DU。1960 年以来大气中氯已上升 500%, 现已达到 2000 万吨。1986~1989 年期间, 仅 CFCs 就散发出 100 万吨氯。显然, 一些长寿命的含氯化合物对臭氧层损耗负有责任。这些化合物被用作制冷剂、发泡剂、清洗剂和气溶胶推进剂等。长寿命的

含溴化合物，如哈龙，也有损耗臭氧层的作用。图 1-2 显示了臭氧量的减少。

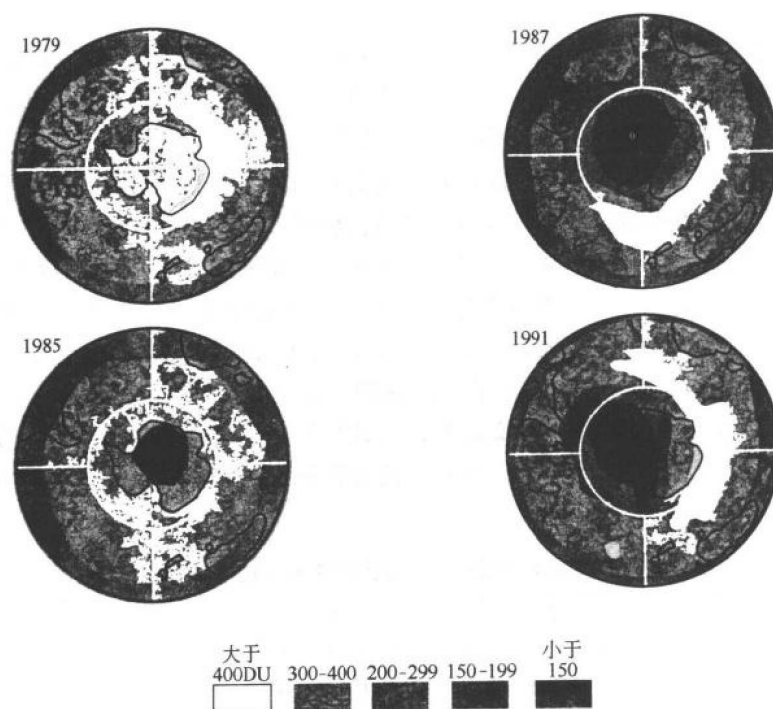


图 1-2 臭氧量随年份的变化图<sup>[2]</sup>

臭氧损耗潜能 (ODP) 是用来评价化合物破坏臭氧层能力的指标。对于某一给定的化合物，其 ODP 值是 1kg 该化合物释放到大气中损耗臭氧的程度。但该值是在相对的基础上计算得到的，即将 CFC-11 的 ODP 值定为 1，所有其他化合物就定出相对于 CFC-11 的 ODP 值。表 1-1 给出了一些典型制冷剂的 ODP、GWP 值及其大气寿命。

表 1-1 一些典型制冷剂的 ODP、GWP 及大气寿命<sup>[3]</sup>

制冷剂	大气寿命/年	ODP	GWP (按 100 年计)	制冷剂	大气寿命/年	ODP	GWP (按 100 年计)
CFC-11	50 ± 5	1.0	4000	HCFC-225ca	2.5	0.025	170
CFC-12	102	1.0	8500	HFC-23	264	0	11700
CFC-113	85	0.8	5000	HFC-32	5.6	0	650
CFC-114	300	1.0	9300	HFC-125	32.6	0	2800
CFC-115	1700	0.6	9300	HFC-134a	14.6	0	1300
HCFC-22	13.3	0.055	1700	HFC-143a	48.3	0	3800
HCFC-123	1.4	0.02	93	HFC-152a	1.5	0	140
HCFC-124	5.9	0.022	480	HC-170	—	0	11
HCFC-141b	9.4	0.11	630	HC-290	—	0	11
HCFC-142b	19.5	0.065	2000	HC-3110	—	0	11

溴元素对臭氧破坏的能力比氯更强，因此含有溴的氢溴氟烃 (HBFCs) 和哈龙是强有

力的消耗臭氧层的化合物。然而，氢氟烃（HFCs）不含溴或氯，其 ODP 值为 0。

### 1.1.2 蒙特利尔议定书<sup>[2~10]</sup>

保护臭氧层的全球合作始于 1985 年保护臭氧层维也纳公约的协商与缔结。在联合国环境规划署（UNEP）的倡议下，1987 年 9 月签署了关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书，该议定书于 1989 年 1 月 1 日起生效。蒙特利尔议定书规定：从 1990 年起，至少每四年，各缔约国应根据已获得的科学、环境、技术和经济资料，对规定的控制措施进行评估。

1990 年 6 月，蒙特利尔议定书的缔约国在伦敦举行会议，针对臭氧层损耗要比预期的更快的事实，同意进一步限制消耗臭氧层物质的生产和消费。蒙特利尔议定书伦敦修正案规定，到 2000 年停止所有 CFCs 和哈龙的生产，并对其他化学品进行了新的限制。1992 年 11 月蒙特利尔缔约国再次在哥本哈根召开会议，会议决定加快受控物质（CFCs，哈龙，四氯化碳，甲基氯仿，HCFCs，HBFCs 和甲基溴化物）的淘汰进程，并规定了 HCFCs 的淘汰期限。表 1-2 分别给出了原蒙特利尔议定书、伦敦修正案、哥本哈根修正案、美国洁净空气法修正案和欧盟淘汰 CFCs 的时间表。该时间表是针对发达国家的，对于发展中国家，则给予 10 年宽限期。

表 1-2 发达国家淘汰计划——允许生产和消费量(基准值百分比)<sup>[3]</sup> %

年 份	1987 蒙特利尔议定书	1990 蒙特利尔议定书 伦敦修正案	1992 蒙特利尔议定书哥本 哈根修正案	1990 美国洁净空气法 修正案	1994 欧盟计划
1990	100				
1991	100	100	85		
1992	100	100	80		
1993	80	80	75	50	
1994	80	80	25	25	15
1995	80	50	25	25	0
1996	80	50	0	0	
1997	80	15			
1998	80	15			
1999	50	15			
2000	50	0			

随着保护臭氧层日益紧迫的要求，蒙特利尔议定书缔约方大会又通过了蒙特利尔修正案（1997）和北京修正案（1999），对所控物质的种类、消费量基准和禁用时间又作了进一步的规定。发达国家已从 1996 年 1 月 1 日起百分之百禁止生产和使用 CFCs。按照“发展中国家缔约国受控物质控制进程”要求，发展中国家应从 1999 年 7 月 1 日起，将 CFC-11、CFC-12、CFC-113、CFC-114 和 CFC-115 的消费量冻结在 1995~1997 年的年平均数或按年人均 0.3kg 的水平（取其数值较低者作为控制基准），并于 2005 年 1 月 1 日起年生产量和消费量不超过控制基准的 50%，2007 年 1 月 1 日起年生产量和消费量不超过控制基准的 15%，2010 年停止生产和消费。

世界各国的共同努力和紧密合作，已使全球 CFCs 和其他消耗臭氧层物质的削减与淘汰取得可喜的成绩。UNEP 指出，到 1996 年全世界 CFCs 总生产量已由 1986 年的一百多万

ODP 吨降低到 16 万 ODP 吨；发达国家的 CFCs 消费量由 1986 年的 946500 ODP 吨减少到 1996 年的 24000 ODP 吨；其中 16000 ODP 吨主要是经济转型国家 (CEIT) 的消费量, 8000 ODP 吨则用于一些发展中国家的基本需求。同期中发展中国家的 CFCs 消费量却从 135000 ODP 吨上升到 144000 ODP 吨。到 1996 年, 85.8% 的 CFCs 总消费量属于发展中国家。图 1-3 示出了 1986~1996 年间全球 CFCs 的生产量和消费量。

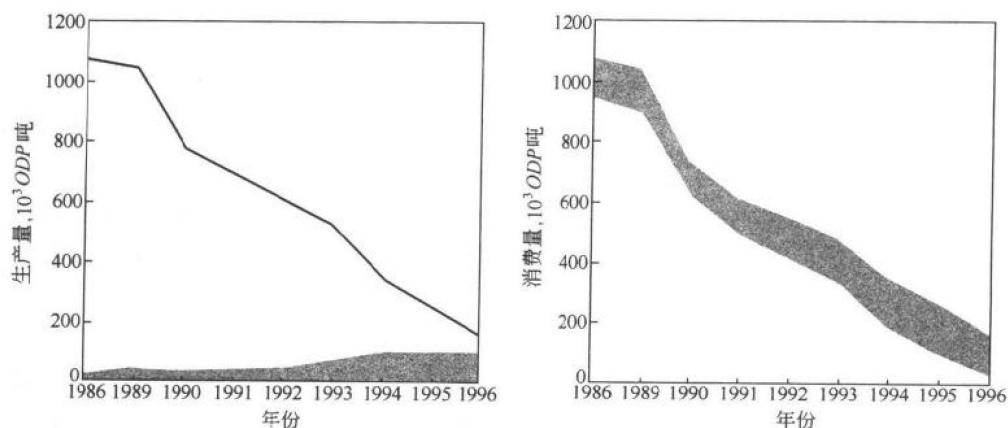


图 1-3 全球 CFCs 生产量与消费量

□—发达国家; ■—发展中国家

表 1-3 是发达国家的 HCFCs 禁用时间表。对于发展中国家, 要求在 2016 年起将 HCFCs 生产量和消费量冻结在 2015 年的消费水平上, 到 2040 年全部淘汰 HCFCs<sup>[9]</sup>。

表 1-3 HCFCs 禁用时间表(发达国家)<sup>[11]</sup>

1. 蒙特利尔议定书缔约国	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1996.1.1:以 1989 年的 HCFCs 消费量加 2.8% CFCs 消费量的总和(折合到 ODP 吨)作为基准加以冻结</li> <li>•2004.1.1:削减 35%</li> <li>•2010.1.1:削减 65%</li> <li>•2015.1.1:削减 95%</li> <li>•2020.1.1:削减 99.5% (0.5% 仅用于现有设备的维修)</li> <li>•2030.1.1:削减 100%</li> </ul>
2. 美国	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2003.1.1:禁止 HCFC-141b 用于发泡剂</li> <li>•2010.1.1:冻结 HCFC-22 和 HCFC-142b 的生产; 不再制造使用 HCFC-22 的新设备</li> <li>•2015.1.1:冻结 HCFC-123 和 HCFC-124 的生产</li> <li>•2020.1.1:禁用 HCFC-22 和 HCFC-141b; 不再制造使用 HCFC-123 和 HCFC-124 的新设备</li> <li>•2030.1.1:禁用 HCFC-123 和 HCFC-124</li> </ul>
3. 欧共体国家	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2000.1.1:削减 50%</li> <li>•2004.1.1:削减 75%</li> <li>•2007.1.1:削减 90%</li> <li>•2015.1.1:削减 100%</li> </ul>
4. 瑞士、意大利	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2000.1.1:禁用 HCFCs</li> </ul>
5. 德国	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2000.1.1:禁用 HCFC-22</li> </ul>
6. 瑞典、加拿大	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2010.1.1:禁用 HCFCs</li> </ul>

1999年北京修正案决定：发达国家于2004年将其HCFCs生产冻结在其1989年生产和消费水平上，并在其后可以生产不超过其冻结水平的15%来满足其国内基本需求。决定发展中国家于2016年将其HCFCs生产冻结在其2015年生产和消费水平上，并将其后可以生产不超过其冻结水平的15%来满足国内基本需求<sup>[10]</sup>。

值得注意的是，欧盟国家在保护全球环境方面一直扮演着先锋的角色。为了加快淘汰ODS，保护臭氧层，欧盟国家从2001年1月1日开始实施新的、更加严格的限制生产、使用和进出口氯氟烃类制冷剂（包括CFCs和HCFCs）及其产品的政策。该政策严格禁止欧盟国家使用已经禁用的CFCs，而对作为替代CFCs的过渡性替代品HCFCs提出了新的淘汰时间表，该淘汰时间表比蒙特利尔议定书规定的淘汰时间表还要早。新政策的内容包括对CFCs供应和CFCs制冷设备的限制，对新生产的HCFCs制冷设备的限制，对在用HCFCs制冷设备的限制，ODS的回收和销毁，防止ODS制冷剂的泄漏，对进出口贸易的限制。

例如，对新生产的HCFCs制冷设备的限制方面，欧盟在过去的有关政策中已对HCFCs的使用作出了限制，如严禁在新生产的家用冰箱和冷柜、汽车空调系统、公路公交车和铁路运输空调系统、冷库设备等产品中使用HCFCs，新政策则进一步要求从2001年1月1日开始，严禁在所有新生产的制冷和空调产品中使用HCFCs，仅有以下两种情况例外：①对于制冷量小于100kW的固定式空调设备，可以宽限到2002年7月1日；②对于可转换的空调-热泵设备，可以宽限到2004年1月1日。对在用HCFCs制冷设备的限制方面，从2010年1月1日开始严禁在维修过程中使用新生产的HCFCs，但允许使用回收的HCFCs。从2015年开始，严禁使用所有的HCFCs包括回收的HCFCs。对进出口贸易的限制方面，新政策的实施对含ODS制冷设备和空调产品的进出口带来许多限制，包括：①严禁进口和向市场投放含CFCs制冷剂的制冷设备和产品，除非这些设备和产品是在新政策生效以前生产的；②在有关HCFCs政策生效之前，允许进口含HCFCs的设备和产品。但生效之后，严禁进口含HCFCs的设备和产品，除非这些设备和产品是在有关政策生效日之前生产的；③严进出口含CFCs的制冷设备和产品，除非这些设备和产品是出口给发展中国家，以满足该发展中国家的国内需求；④对使用HCFCs的限制，不适用于将含HCFCs的设备和产品出口到允许使用HCFCs到2009年12月31日的国家的情况。但在2009年12月31日以后，将严禁含HCFCs的设备和产品出口。虽然我国政府至今未批准蒙特利尔议定书的哥本哈根修正案，没有承诺逐步削减和淘汰HCFCs的国际义务，但是我国的空调器生产企业（特别是出口量大的生产企业）及其他有关部门和企业的决策者，对欧盟国家实行新的限制使用HCFCs制冷剂的政策，必须加以高度重视，作好技术准备<sup>[12]</sup>。

削减和淘汰ODS、保护臭氧层是世界各国和地区的共同责任。到2001年7月31日，维也纳公约有178个成员，177个国家与地区签署了蒙特利尔议定书，而蒙特利尔议定书伦敦修正案和哥本哈根修正案的成员分别是147个和123个<sup>[9]</sup>。

中国还是发展中国家，面临着发展经济和保护环境的双重任务，但中国政府遵循联合国宪章中关于保护环境的有关规定，积极参与了国际保护臭氧层的合作，签署了蒙特利尔协定的伦敦修正案。截止到1998年底，中国申请并获得国际基金资助项目266个，赠款总额达2.75亿美元，可淘汰6.3万吨消耗臭氧层物资，已实现淘汰3万吨ODS的目标。

总之，禁止CFCs和HCFCs的生产和使用是大势所趋。应当看到，由于发达国家已经完成淘汰CFCs的任务，我国目前已成为世界上ODS生产量和消费量最大的国家。我们要开辟更多的国际合作领域，增强公众参与保护臭氧层的意识，开发相应的替代品和替代技

术, 加快我国 CFCs、HCFCs 的替代进程, 以期在禁用期限到来之前能完成淘汰它们的任务。

### 1.1.3 温室效应和全球变暖

天然温室气体二氧化碳和水蒸气存在于地球周围的大气中。二氧化碳和水蒸气能让太阳短波光不受阻碍地通过, 使地球加热。而长波热辐射被地球反射, 地球得以冷却。二氧化碳和水蒸气拦截反射的长波热辐射, 使地表气温达到入射到地球上的太阳能和被地球向空间辐射回去的能量处于平衡的温度。大气的这种保温作用被称为温室效应。适当的温室效应对于地球来说是必需的。如果没有温室效应, 地球表面平均气温仅为  $-18^{\circ}\text{C}$ , 而实际地表平均气温为  $15^{\circ}\text{C}$ 。即地球大气的温室效应可使地球表面的气温增加  $33^{\circ}\text{C}$ 。温室气体还包括甲烷、近地面的臭氧、氧化二氮 ( $\text{N}_2\text{O}$ )、制冷剂等。

近百年来, 由于大量燃烧矿物燃料和砍伐树木等人类活动, 地球大气中的二氧化碳等温室气体过度增长, 例如大气中的二氧化碳浓度已增加 25%。尽管大气成分的变化对全球气候的影响目前还难做出精确预测, 然而可以认定人为的温室效应会给人类的生存空间带来负面影响: 全球气温升高, 两极的冰溶化, 海平面上升, 中纬度地区气候干旱化等一系列问题。科学家估计, 如果大气中二氧化碳浓度增加的趋势保持下去, 那么接下来的 100 年内, 地球气温会提高  $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ 。因此, 1992 年 6 月在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会上, 有 160 多个国家的元首、政府首脑签署了《气候变化框架公约》, 最终目的是将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上。

氟氯烃 (CFC)、氢氯氟烃 (HCFC) 和氢氟烃 (HFC) 制冷剂都被京都协议书规定为温室气体, 它们如被排放到大气中, 将增强地球温室效应, 并对全球变暖产生作用。值得指出的是, 如果一定量的温室气体释放到大气中, 存留在大气中的量会随着时间持续减少。因此, 一种温室气体对全球变暖的累积影响将持续增加, 直至该气体从大气中消失。

对于一种给定的化合物, 可用“全球变暖潜能”(GWP) 来反应该化合物对全球变暖作用的能力。和 ODP 值一样, GWP 值也是在一个相对的基础上计算出来的。二氧化碳的 GWP 值为 1, 且不必考虑累积时间水平 (ITH)。所有其他温室气体都有一个相对二氧化碳的值。对于同一种化合物, 所用的 ITH 不同, GWP 值会发生变化。一些典型制冷剂的 GWP 值列于表 1-1 中。

制冷和空调系统运行时需要能量。在大部分情况下, 能量来自于电力和矿物燃烧的直接消耗。煤、石油和天然气燃料生产电力时都产生二氧化碳并将它排放到大气中。制冷和空调系统运行时这种消耗能量的形式也对全球变暖起作用。

总当量变暖效应 (TEWI) 概念被用来对制冷空调应用造成温室效应的总量值进行评估。它考虑了对全球变暖起作用的两种方式, 即制冷剂排放的直接效应和能源利用的间接效应。直接效应由泄漏损失效应和回收损失效应组成, 它取决于制冷剂的 GWP 值、气体泄漏量和考虑的时间长度, 间接效应取决于制冷和空调系统运行的效率。TEWI 的计算公式为:

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + [GWP \times m \times (1 - \alpha)] + (n \times E \times \beta)$$

式中 GWP ——全球变暖潜能值, 按 100 年水平计;

L ——制冷剂泄漏量, kg/年;

n ——有效使用期, 年;

m ——制冷剂充灌量, kg;

$\alpha$  ——制冷剂回收系数，其值为 0~1；

$E$  ——能量消耗，kW·h/年；

$\beta$  ——二氧化碳排放量，kg/(kW·h)

制冷剂泄漏量不仅包括系统运行过程和维护过程的泄漏量，而且还包括停机期间的泄漏量。在对冰箱、冷柜等装置进行评价时，还要另外考虑泡沫隔热层中发泡剂的泄漏量。

TEWI 的计算针对一特定的制冷和空调系统，系统不同其值也不同。对于一给定的系统或应用，TEWI 的最有效的用途是确定直接变暖效应和间接变暖效应何者更为重要，而不同应用或不同场合 TEWI 计算值的比较未必有效。

图 1-4、图 1-5 和图 1-6 分别示出了冰箱/冷冻箱（不同制冷剂与发泡剂时）、冷水机组（不同制冷剂时）和汽车空调装置（不同制冷剂时）的 TEWI 值。从这些图上可以了解直接变暖效应和间接变暖效应在 TEWI 值中所占份额的大小。

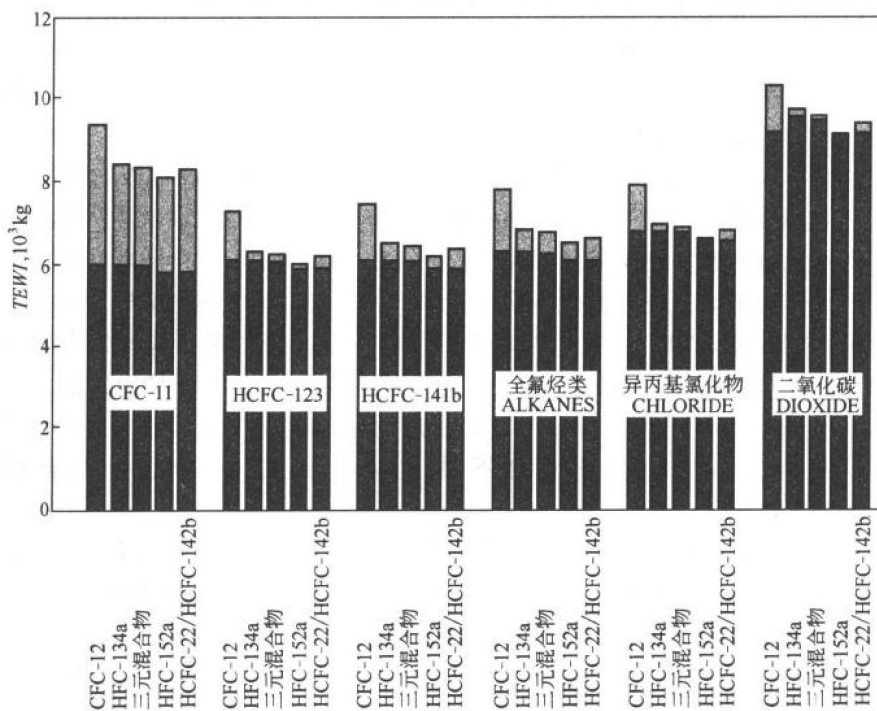


图 1-4 冰箱/冷冻箱制冷剂与发泡剂的 TEWI 值（按 100 年计）

■——直接效应（化学物质排放）；■——间接效应（能量利用）



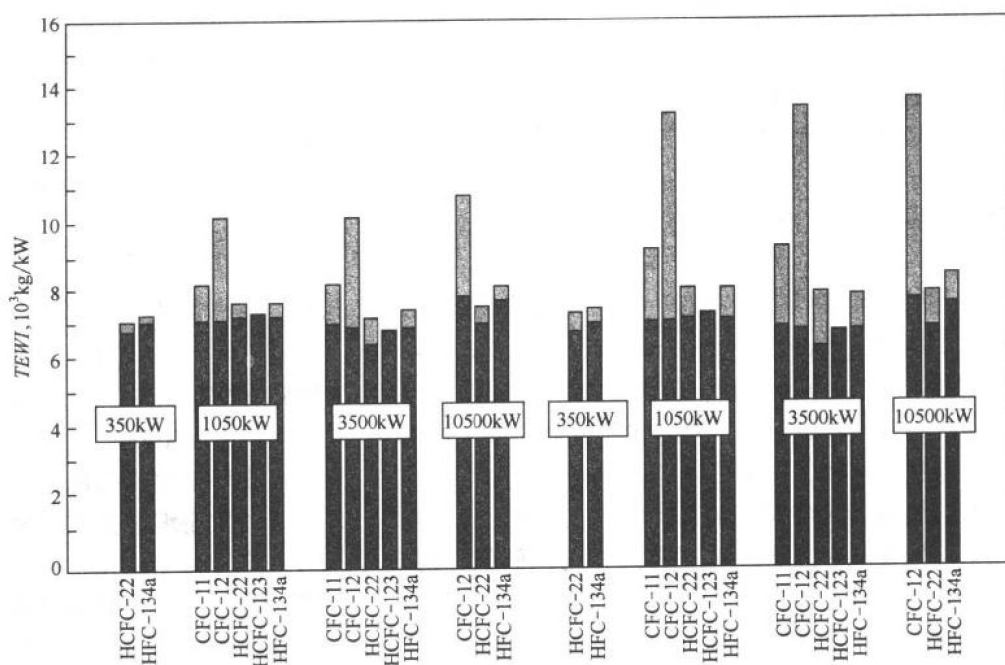


图 1-5 冷水机组制冷剂的 TEWI 值 (按 500 年计)

■ 直接效应 (化学物质排放); ■ 间接效应 (能量利用)

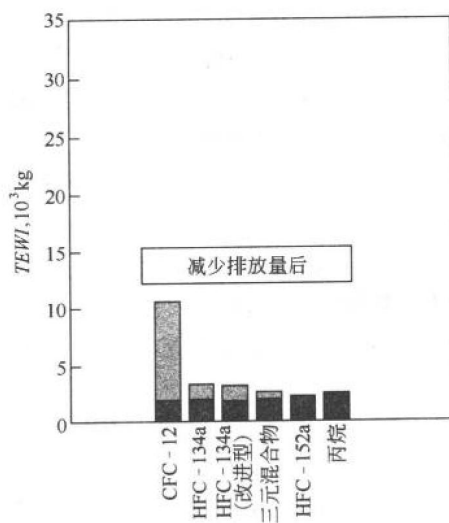


图 1-6 汽车空调装置制冷剂的 TEWI 值 (按 100 年计)

■ 直接效应 (化学物质排放); ■ 间接效应 (能量利用)

## 1.2 制冷剂

制冷剂是制冷装置中的工作流体,它在制冷系统中循环流动,通过自身热力状态的循环变化不断与外界发生能量交换,达到制冷的目的。习惯上又称制冷剂为制冷工质或简称为工质。