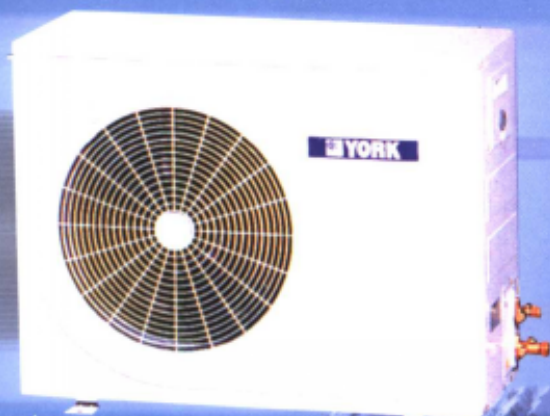
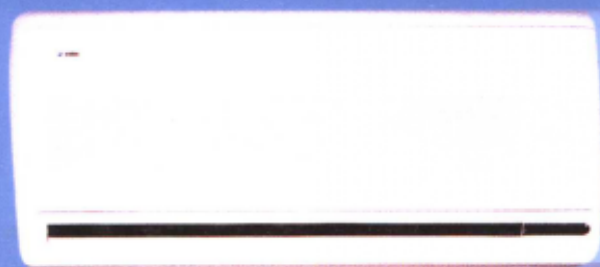


制冷空调新工质

热物理性质的计算方法与实用图表

编著 丁国良 张春路 赵 力



上海交通大学出版社



责任编辑 / 冯 颖 徐德胜
封面设计 / 沙 飞

www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



ISBN 7-313-03352-4



9 787313 033529 >

ISBN7-313-03352-4/TB·063

定价:56.00 元



制冷空调新工质

——热物理性质的计算方法与实用图表

丁国良
张春路 编著
赵 力

上海交通大学出版社

内 容 提 要

由于旧的制冷工质对于环境的影响,国际上注重开发对于环境没有破坏,或者破坏较少的新工质。本书汇集了当今世界对制冷新工质研究的成果,把正在使用的这些新工质选出来,列出了热物理性质的计算方法和应用图表,可为制冷空调界的研究与开发工作提供最新信息和帮助。

本书所选工质包含了原CFC工质的主要替代物,包括R134a, R152a等HFC类纯工质, R600a, R290, CO₂等自然工质,以及R407C, R410A等混合工质。本书内容分两大部分:(1)工质热物理性质的计算方法,论述了制冷剂与环保、制冷空调新工质的特点、热物理性质的算法和工质物理性质的估算方法;(2)新工质热物理性质数据表和图,内容包括新工质特性、热力性质表、比热容和绝热指数图表、粘度图表、导热系数图表、表面张力图表和新工质的压焓($\lg p-h$)图。这些资料首次在国内公开出版,可给读者带来许多方便,有益于制冷空调新设备的研制、生产、操作和维护。

本书是一本理论与实用兼备的著作,可供制冷、空调、工程热物理与热能工程等领域的研究、设计、生产和管理部门的工程技术人员和高校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

制冷空调新工质: 热物理性质的计算方法与实用图表 /
丁国良等编著. —上海: 上海交通大学出版社, 2003
ISBN 7-313-03352-4

I. 制... II. 丁... III. ①制冷—空气调节器—热
物理性质—计算方法②制冷—空气调节器—热物理性质
—图表 IV. TB657.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第020038号

制冷空调新工质

——热物理性质的计算方法与实用图表

丁国良 张春路 赵力 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 26.5 字数: 802 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—3 050

ISBN 7-313-03352-4/TB · 063 定价: 56.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

1985年,由南极科学考察和卫星照片,人们发现了南极上空的臭氧空洞,这使人们开始广泛注意并接受Molina和Rowland在1974年提出的氟氯烃类物质(CFC)破坏臭氧层的理论^[1]。1987年9月16日,26个国家在加拿大蒙特利尔市签署了“破坏臭氧层物质管制的蒙特利尔议定书”(Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer),限制CFC和哈龙类物质的使用。其后,又不断对议定书进行修订,加速限制进程,并有更多的国家加入到限制臭氧层消耗物质的行列。CFC和哈龙等具有较高臭氧破坏潜能(ODP)的物质已被基本禁用,对于具有一定ODP值的HCFC类物质,禁用和替代研究也已提上日程。

全球变暖是人类所面临的另一个严峻的环境问题。温室效应已经给生态环境带来并将继续带来严重后果。过快的、低能效下的能源消耗所导致的二氧化碳的大量排放,固然是造成温室效应的根源,而温室效应潜能(GWP)千倍于CO₂的合成制冷剂氟利昂的大量排放,也对加剧温室效应起到了推波助澜的作用。1988年在多伦多召开的第一次世界气候大会提出,到2050年将全球二氧化碳的排放量减少50%。1997年,京都议定书提出六类温室气体的一揽子减排计划,卤代烃包括在其中。

由于对于臭氧层没有破坏力,人们曾将HFC类工质,如R134a, R152a,作为替代CFC类工质的主要选择。但由于这些人工合成工质难以解决温室效应问题,因此采用非人工合成的自然工质再次引起人们的兴趣,异丁烷、丙烷、二氧化碳、水和氨都再次被作为制冷剂使用。混合工质也成为替代工质的重要选择。

本书中所列出的工质,均是作为CFC替代工质在国际上得到广泛使用的主要制冷工质。本书中除了以图表列出这些主要工质的热物理性质外,还介绍了工质物性计算方法。对于单个数据的获得,查后面的数据图表固然是比较方便的,但如果用于大量的计算,则采用本文中介绍的计算方法,编制计算程序更为方便。本书中物性计算方法包括三种,第一种方法是一般的制冷工质的物性计算方法;第二种是制冷工质的简化物性算法;第三种为工质物性的估算方法。如果仅仅是计算工质的物性,第一种方法比较可靠。但若用于系统仿真等需要反复调用物性计算的场合,则采用第二种方法更合适。如果对于一种新工质,由于缺少足够资料而难以采用第一、二种方法进行计算,则用第三种方法进行估算不失为一种捷径。

作者在制冷空调工质及其系统特性研究过程中,得到了教育部骨干教师计划、上海市科技启明星计划、国家教委留学回国人员基金等多项基金,以及企业项目的支持,最近又得到国家973重点基础规划研究项目、国家技术创新项目的支持,本书的部分内容为这些项目的研究成果。作者的研究工作还得到Honeywell公司氟产品部和上海埃克盛制冷工业有限公司的技术支持。

德国卡尔斯鲁厄大学Oellrich教授提供的物性计算程序和资料,德国波鸿大学Span博士和Wanger教授提供的二氧化碳物性的程序和资料均为本书的编写提供了帮助。本书在有关工质物性的简化计算方法和资料的整理工作中得到了我的研究生的帮助,在此一并感谢。

丁国良

2003年1月 于上海交通大学

E-mail: glding@sjtu.edu.cn

通信地址:上海交通大学制冷与低温工程研究所

邮政编码:200030

目 录

第一部分 工质热物理性质的计算方法

第1章 制冷剂与环境保护	(3)
1.1 大气与紫外辐射.....	(3)
1.2 平流层遭破坏的原理.....	(3)
1.3 臭氧层破坏对人和环境的影响.....	(4)
1.4 某些化学物质禁用之前的消耗量.....	(4)
1.5 控制破坏臭氧层的物质.....	(5)
1.6 臭氧层破坏和温室效应.....	(9)
第2章 制冷空调工质的特点	(13)
2.1 理想工质.....	(13)
热力学和热物理学性质(13) 环境 and 安全性(14) 经济方面的考虑(15)	
2.2 工质特性.....	(15)
CFC(15) HCFC(15) 哈龙(16) HFC(17) FIC(17) 碳氢化合物(17) 其他替代工质(17) 混合工质(17)	
2.3 不同工质间的比较.....	(19)
R22 作为R12 和 R502 的替代物(24) R134a 作为R12 的替代物(25) R152a 作为R12 的替代物(25) R125 作为R502 的替代物(25) R11 的替代物(25) R114 的替代物(26) R22 的替代物(26) 氨、水、空气和二氧化碳(26)	
第3章 制冷剂热物理性质的计算方法	(28)
3.1 制冷剂热力性质的计算.....	(28)
状态方程(28) 饱和蒸气压方程(31) 基于状态方程的热力性质计算方法(31) 制冷剂热力性质的工程简化计算方法(32)	
3.2 纯工质与混合工质粘度和导热系数的预测.....	(44)
计算原理(44) 计算步骤(47) 讨论(48)	
第4章 工质物理性质的估算方法	(49)
4.1 关联式的分类.....	(49)
4.2 特征常量.....	(50)
临界温度(50) 临界压力(50) 临界比容(60) 临界压缩因子(61) 偏心因子(61) 沸点和熔点(63)	

4.3	密度和热膨胀系数	(63)
	过热气体和过冷液体的密度(63) 沸腾液体和饱和蒸气的密度(65) 混合物的密度(67) 热膨胀系数(68)	
4.4	蒸气压力曲线	(69)
4.5	汽化潜热	(71)
	纯物质在标准条件下的汽化潜热(71) 纯物质的汽化潜热对温度的依赖关系(71) 液体混合物的汽化潜热(72)	
4.6	比热容	(72)
	理想气体的比热容(72) 实际气体的比热容(74) 液体的比热容(77) 沸腾液体和饱和气体的比热容(77)	
4.7	粘度	(78)
	低压下气体的粘度(78) 高压下气体的粘度(80) 饱和液体的粘度(81) 高压下液体的粘度(83)	
4.8	导热系数	(84)
	低压下气体的导热系数(84) 高压下气体的导热系数(87) 液体的导热系数(88)	
4.9	扩散系数	(89)
	低压下气体混合物的扩散系数(90) 高压下气体混合物的扩散系数(91) 液体混合物的扩散系数(91) 多成分混合物的扩散系数(93)	
4.10	表面张力	(93)

第二部分 新工质的热物理性质数据表和图

第5章	新工质特性概述	(97)
5.1	常用制冷剂的物理性质	(97)
5.2	非共沸混合工质的物理性质	(98)
5.3	共沸混合工质的物理性质	(98)
5.4	以CO ₂ 为基准的温室效应潜能	(99)
5.5	各种工质的ODP潜能	(100)
第6章	新工质热力性质表	(102)
6.1	R134a	(102)
	饱和热力性质表(102) 过热气体热力性质表(107) 过冷液体热力性质表(115)	
6.2	R290(丙烷)	(119)
	饱和热力性质表(119) 过热气体热力性质表(123)	
6.3	R600(正丁烷)	(143)
	饱和热力性质表(143) 过热气体热力性质表(147)	
6.4	R600a(异丁烷)	(166)
	饱和热力性质表(166) 过热气体热力性质表(170)	
6.5	R123	(189)

饱和热力性质表(189) 过热气体热力性质表(194)	
6.6 R227	(200)
饱和热力性质表(200) 过热气体热力性质表(203)	
6.7 R32	(214)
饱和热力性质表(214) 过热气体热力性质表(219) 过冷液体热力性质表(227)	
6.8 R404A	(232)
饱和热力性质表(232) 过热气体热力性质表(235)	
6.9 R407C	(246)
饱和热力性质表(246) 过热气体热力性质表(250)	
6.10 R410A	(262)
饱和热力性质表(262) 过热气体热力性质表(266)	
6.11 R507	(274)
饱和热力性质表(274) 过热气体热力性质表(278)	
6.12 R744(二氧化碳)	(284)
饱和热力性质表(284) 过热气体热力性质表(287)	
6.13 R717(氨)	(294)
饱和热力性质表(294) 过热气体热力性质表(299) 过冷液体热力性质表(308)	
6.14 R152a	(313)
饱和热力性质表(313) 过热气体热力性质表(318) 过冷液体热力性质表(326)	
第7章 新工质比热容和绝热指数图表	(330)
7.1 R22 过热区比热容图	(330)
7.2 R22 过热区绝热指数图	(330)
7.3 R23 过热区比热容图	(331)
7.4 R227 过热区的绝热指数图	(331)
7.5 R123 液相区的比热容图	(332)
7.6 R227 过热区的比热容图	(332)
7.7 R507 饱和液体的比热容图	(333)
7.8 R404A 饱和液体的比热容图	(334)
7.9 R407C 饱和液体的比热容图	(335)
7.10 R410A 饱和液体的比热容图	(336)
7.11 R134a 饱和液体的比热容图	(337)
7.12 R134a 过热气体的比热容图	(338)
7.13 R134a 过热气体的定容比热容图	(338)
7.14 R143a 饱和液体的比热容图	(339)
7.15 R152a 饱和液体的比热容图	(340)
7.16 R407A 饱和液体的比热容图	(341)
7.17 R32 饱和液体的比热容图	(342)
7.18 R125 饱和液体的比热容图	(343)
7.19 R227 饱和液体的比热容图	(344)

7.20 R134a 过热气体的绝热指数图	(345)
第8章 新工质粘度图和表	(346)
8.1 R23 等液相粘度图	(346)
8.2 R123 等液相粘度图	(347)
8.3 R134a 的气液粘度图表	(348)
8.4 R152a 的气液粘度图表	(351)
8.5 R507 的气液粘度图表	(354)
8.6 R404A 液态粘度图	(355)
8.7 R407C 液态粘度图	(356)
8.8 R410A 液态粘度图	(357)
8.9 R32 液态粘度图	(358)
8.10 R125 液态粘度图	(359)
8.11 R143a 液态粘度图	(360)
8.12 R407A 液态粘度图	(361)
8.13 R407B 液态粘度图	(362)
第9章 新工质导热系数图表	(363)
9.1 不同液态制冷剂导热系数图	(363)
9.2 不同气态制冷剂导热系数图	(364)
9.3 几种气态制冷剂导热系数图	(365)
9.4 R134a 气液导热系数图表	(366)
9.5 R152a 气液导热系数图表	(369)
9.6 R507 气液导热系数图表	(372)
9.7 R404A 气液导热系数图表	(374)
9.8 R407 气液导热系数图表	(376)
9.9 R410A 气液导热系数图表	(378)
9.10 R32 气液导热系数图表	(380)
9.11 R125 气液导热系数图表	(382)
9.12 R143A 气液导热系数图表	(384)
第10章 新工质表面张力及其他图	(386)
10.1 R123 等液态制冷剂表面张力图	(386)
10.2 R32 等液态制冷剂表面张力图	(387)
10.3 R404A 等液态制冷剂表面张力图	(388)
10.4 R407A 等液态制冷剂表面张力图	(389)
10.5 R22 过热气体的音速变化图	(390)
10.6 R227 过热气体的音速变化图	(391)
10.7 R134A 过热气体的音速变化图	(392)

第 11 章 新工质的压焓 ($\lg p-h$) 图	(393)
11.1 R123 $\lg p-h$ 图	(394)
11.2 R134a $\lg p-h$ 图	(395)
11.3 R152a $\lg p-h$ 图	(396)
11.4 R290 $\lg p-h$ 图	(397)
11.5 R404A $\lg p-h$ 图	(398)
11.6 R407C $\lg p-h$ 图	(399)
11.7 R410A $\lg p-h$ 图	(400)
11.8 R507 $\lg p-h$ 图	(401)
11.9 R600 $\lg p-h$ 图	(402)
11.10 R600a $\lg p-h$ 图	(403)
11.11 R717 $\lg p-h$ 图	(404)
11.12 R718[水] $\lg p-h$ 图	(405)
11.13 R744 $\lg p-h$ 图	(406)
11.14 R22 $\lg p-h$ 图	(407)
11.15 R23 $\lg p-h$ 图	(408)
参考文献	(409)

第一部分

工质热物理性质的计算方法

第1章 制冷剂与环境保护

自20世纪30年代问世起,以HCFC22,CFC12和CFC11为代表的氟利昂便以其优良的理化性质和热力循环性能,被人们视为完美的制冷工质,迅速在制冷空调系统中获得广泛应用。在半个世纪的应用中,氟里昂一方面对推动20世纪制冷空调产业及相关经济的大发展、提高人类生活质量起到了重要作用;另一方面,由于包含氯或溴原子(含溴的卤代烃又称哈龙)、分子高度稳定,在人类浑然不觉中对生态环境构成了严重破坏。

近年来人类滥用化学物质而导致环境恶化一直是人们关心和讨论的热点问题。在这些问题上,臭氧层被破坏和全球变暖是最主要的。为解决这一问题,20世纪末在全世界范围内开展了声势浩大的活动。为了阻止或者逆转臭氧层破坏和全球变暖的趋势,需要世界各国在政治、经济、工业和科学研究领域进行全面的合作。

1.1 大气与紫外辐射

大气层可以根据离地高度而划分成几个层次:

0~15km,对流层; 15~50km,平流层; 50~85km,散逸层; >85km,热电离层。

太阳能的一部分是作为紫外线(UV)辐射而放射的,UV辐射根据波长可以进一步分成三种:UVA,3200~4000Å; UVB,2900~3200Å; UVC,<2900Å(1Å=10⁻¹⁰m)。

人类已经证实了UV辐射中的某种波段的射线(波长较短)在很多方面对地球上的生命有害,同时也证实在这种有害的UV辐射到达地表之前已经被平流层中的臭氧层过滤了一大部分。在这种前提下,人们又认识到正是由于他们使用的大量化学物质中的氯和溴原子可能导致了具有保护作用的臭氧层的破坏,这一事实极大地震撼了全世界,同时也引发了声势浩大的科研活动来解决这一问题。

1.2 平流层遭破坏的原理

为了对臭氧层的形成和被破坏机理有一个印象,这里给出了一个简单的原理。氧分子吸收了一部分的太阳UV辐射,而分裂成两个氧原子,然后这些分裂的原子与其他的氧分子结合形成臭氧分子,它总共有三个氧原子,这样臭氧分子就形成了。

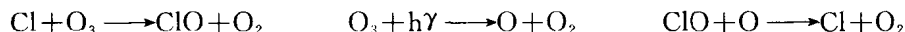


臭氧是有刺激性气味、稍微带有浅蓝色的气体,化学性质和氧气相近。大约90%的臭氧在远离地球表面的平流层中起到了阻挡UV辐射的作用,平流层中的臭氧主要是紫外线与二氧化氮分子作用的结果。

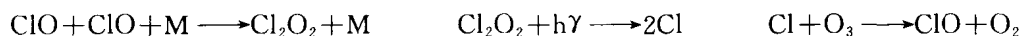


随着Rowland和Molina研究结果的公布,人们开始对CFCs可能造成臭氧层破坏关心

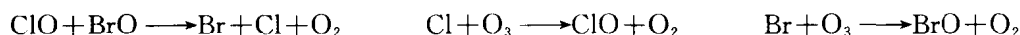
起来。他们在研究中推理了从CFCs中释放的氯可以跑到平流层中去破坏臭氧分子这一化学过程。一些CFCs分子有非常长的大气生存期,其生存期甚至超过了120年(即它们在低层大气中不分解),它们只能慢慢地迁移到平流层中,在那里受到高能量的辐射而被分解,释放出氯。氯一旦被释放出来,将作为催化剂不断地与臭氧分子结合并分解它们。所谓大气生存期,通常为人们所接受的定义是当一种气体被排放后,它在大气中的浓度减小为 $1/e=0.37$ 所需要的时间。为了方便起见,将2个臭氧分子转化为3个氧分子的最重要的一系列化学反应如下:



和



和



假如臭氧层被破坏了,波长更短的UV射线就能够穿透大气到达地表,而且因为CFCs有着非常长的大气生存期,所以即使现在开始停止生产和使用这些化学物质,那么想要使臭氧层恢复到原貌也需要等待许多年。

理论表明:随着氯和溴在平流层中的浓度增加,将会对臭氧造成巨大的破坏,而这也将损害人体健康和自然环境。大量的科学研究也证明了这一点。

1.3 臭氧层破坏对人和环境的影响

在低层大气中平流层是阻挡有害的太阳UV辐射的天然屏障,UV辐射能够破坏生命细胞的基因密码DNA,而UVC是最具破坏力的。上层大气中臭氧的急剧减少可能导致皮肤癌和白内障的发病率的大量增加,也很可能破坏人体的免疫系统。有证据表明由于平流层中臭氧总量的减少而导致了农作物的减产,而且改变了陆栖和水栖的生态系统。

环境破坏导致的经济损失在我们生活中的许多重要方面随处可见,如:主要农作物的减产;由于水栖生物链可能受到牵连而导致浮游植物群落减少;许多鱼种大量减少。

因为地球上的生命是在臭氧层形成后才开始进化的,所以一旦臭氧层被破坏,许多巨大的潜在威胁因素就会出现。

1.4 某些化学物质禁用之前的消耗量

CFC和哈龙被广泛用于制冷、发泡剂、液化气体、溶剂、杀菌消毒和灭火。表1-1给出了1985年的消耗情况,表明了大约30%的CFC消耗在与HV&AC相关的应用上。

令人觉得有趣的是,在这些能对臭氧造成破坏的物质对环境的危害性被认识以前,人们大量地使用着这些物质。这个事实也强调了全球行动的紧迫性,因为每耽搁一天就意味着又用掉另外300万千克的CFC。除了CFC之外,大约每年有80万吨的三氯甲烷和10万吨的四氯甲烷被排放到大气中。这两种物质对臭氧的破坏也是巨大的。三氯甲烷在生产CFC中主要用作溶剂,而四氯甲烷用作中间化学物质和溶剂。然而,正如表1-2中所见到的那样,主要

的消耗者是工业国家,现在他们在禁用CFC的过程中起着主要作用。

表 1-1 1985 年 CFC 的消费量

总共消耗 1036 百万千克			
应用的领域	消耗百分比	应用的领域	消耗百分比
烟雾剂	26.3%	Misc.	4.2%
溶剂	17.1%	家用制冷	3.3%
发泡剂	36.1%	灭火剂	1.4%
空调	14.4%	其他	4.0%
商业制冷	7.4		

表 1-2 1985 年 CFC 的世界消费量

国家	CFC 的消费量的比
前苏联和欧洲	14%
美国	28.9%
其他工业国家	40%
中国和印度	1.8%
其他国家	14.3%

1.5 控制破坏臭氧层的物质

国际制冷学会在1983年召开了第16届国际制冷会议,在巴黎的圆桌会议上讨论了CFC的排放及它们对环境的影响等主题。与会者当时的感觉是假如CFC对平流层中的臭氧产生了影响,那么这种影响的进程也是非常缓慢的,不需要制定强硬的规则来限制CFC的排放。他们认为有足够的时间来对这一问题进行深入的研究。在圆桌会议上,臭氧层遭到破坏的问题受到了广泛的关注,但是温室效应仅仅被一笔带过。自此以后关于臭氧层的讨论就没有停止过。1985年在联合国环保署(UNEP)的赞助下签署了保护臭氧层的维也纳协议。由于认识到这个问题的全球性,24个工业国(包括欧洲经济共同体)于1987年9月16日签署了蒙特利尔协议,限制使用对臭氧层有破坏作用的物质,所有CFC和哈龙的主要生产和消费国都在这个协议上签了字。蒙特利尔协议中所包括的物质见表1-3。

蒙特利尔协议要求对CFC11,12,13,114,115的使用维持在1986年的水平上,在1993年7月前要求从1986年的水平减少20%,到1998年7月1日前再减少30%。对于哈龙1121,1302和2402,在1992年前维持1986年的消费水平,少于4个碳原子的CFC被定义为过渡物质,对于某些发展中国家(他们的消费不足1.3kg/年/人),给予了特殊的考虑。

紧接着蒙特利尔会议,又在海牙(1988)、赫尔辛基(1989)、伦敦(1990)、内罗毕(1991)和哥本哈根(1992)等地举行了会议。因为这个问题的严重性和紧迫性变得越来越清楚了(是全世界努力研究的结果),更多的国家联合起来了,制定了逐步禁用更多物质的时刻表。在这种情况下,伦敦和哥本哈根会议就显得尤为重要。伦敦会议对蒙特利尔协议的修改见表1-4。

在1992年11月有100个国家参加的哥本哈根会议上,对蒙特利尔协议的进行了重大的调整和修改,见表1-5。甲基溴化物,HCFC,HBFC也列入将被逐步禁用的物质中。对于HCFC来说,对每年消耗量的ODP最大值制定了有关规定,该值是以下两项之和:

(1) 全卤化物(CFC-11,12,113,114 和 115)在 1989 年消耗量的 3.1%;

(2) 1989 年中有 1~3 个碳原子的 HCFC 的消耗量。

HCFCs 的 ODP 的值见表 1-6。

表 1-3 蒙特利尔协议中所覆盖的物质

附件 A

组 I			ODP
	CFC-11	三氯氟甲烷	1.00
	CFC-12	二氟二氯甲烷	1.00
	CFC-113	1,1,2-三氯-1,2,2-三氯乙烷	0.80
	CFC-114	1,2-二氯四氟乙烷	1.00
	CFC-115	一氯五氯乙烷	0.60
组 II			
	哈龙 1211	溴氯二氟甲烷	3.00
	哈龙 1301	一溴三氟甲烷	10.00
	哈龙 2402	二溴四氯乙烷	6.00

附件 B

组 I			ODP
	CFC-13	一氯三氟甲烷	1.00
	CFC-111	五氯一氟乙烷	1.00
	CFC-112	四氯二氟乙烷	1.00
	CFC-211	七氯一氟丙烷	1.00
	CFC-212	六氯二氟丙烷	1.00
	CFC-213	五氯三氟丙烷	1.00
	CFC-214	四氯四氟丙烷	1.00
	CFC-215	三氯五氟丙烷	1.00
	CFC-216	二氯六氟丙烷	1.00
	CFC-217	一氯七氟丙烷	1.00
组 II			1.00
	CCl ₄	四氯化碳	1.00
组 III			1.00
	CH ₃ CCl ₃	三氯乙烷	1.00

附件 C

少于 4 个碳原子的 HCFC-被部分卤化的碳氟化物(包括 HCFC-22,-123 和-141b),作为过渡物质。

表 1-4 蒙特利尔协议的伦敦会议修订

氟氯烃(附件 A 的组 I), 基准年为 1986		
* 冻结在 1986 年的水平		1989 年 7 月 1 日
* 减少 50%		1995 年 1 月 1 日
* 减少 85%		1997 年 1 月 1 日
* 减少 100%		2000 年 1 月 1 日
哈龙(附件 A 的组 I), 基准年为 1986 年		
* 冻结在 1986 年的水平		1992 年 7 月 1 日
* 减少 50%		1995 年 1 月 1 日
* 减少 100%		2000 年 1 月 1 日
其他全卤化的 CFC(附件 B 的组 I), 基准年为 1989 年		
* 减少 20%		1993 年 1 月 1 日
* 减少 85%		1997 年 1 月 1 日
* 减少 100%		2000 年 1 月 1 日
四氯化物(附件 B 的组 I), 基准年为 1989 年		
* 减少 85%		1995 年 1 月 1 日
* 减少 100%		2000 年 1 月 1 日
1,1,1-三氯乙烷(附件 B 的组 I), 基准年为 1989 年		
* 冻结在 1989 年的水平上		1993 年 1 月 1 日
* 减少 30%		1995 年 1 月 1 日
* 减少 70%		2000 年 1 月 1 日
* 减少 100%		2005 年 1 月 1 日
被部分卤化的碳氟化物(附件 C—过渡性物质)		
当不能得到可行的替代物时, 可以继续使用; 到 2040 年完全取消使用, 可能的话在 2020 年。		

表 1-5 蒙特利尔协议的哥本哈根修订和调整

调整		
CFC	1994 年 1 月 1 日	减少 75%(参考年为 1986)
	1996 年 1 月 1 日	减少 100%
哈龙	1994 年 1 月 1 日	减少 100%
其他的 CFC	1993 年 1 月 1 日	减少 20%
	1994 年 1 月 1 日	减少 75%(参考年为 1989)
	1996 年 1 月 1 日	减少 100%
CCl ₄	1995 年 1 月 1 日	减少 85%(参考年为 1989)
	1996 年 1 月 1 日	减少 100%
甲基氯化物	1993 年 1 月 1 日	减少 0%(参考年为 1989)
	1994 年 1 月 1 日	减少 50%
	1996 年 1 月 1 日	减少 100%
修订		
HCFC 成为受控制的物质, 参考 ODP 总量是 1989 年的 CFC 消耗量的 ODP 的 3.1%, 再加上 1989 年全部 HCFC 的消耗量。		
HCFC	1996 年 1 月 1 日	减少 0%
	2004 年 1 月 1 日	减少 35%
	2010 年 1 月 1 日	减少 65%
	2015 年 1 月 1 日	减少 90%
	2020 年 1 月 1 日	减少 99.5%
	2030 年 1 月 1 日	减少 100%
甲基溴成为控制物质(ODP=0.7), 参考年为 1991 年:		
CH ₃ Br	1995 年 1 月 1 日	减少 0%
HBFC	1996 年 1 月 1 日	减少 100%