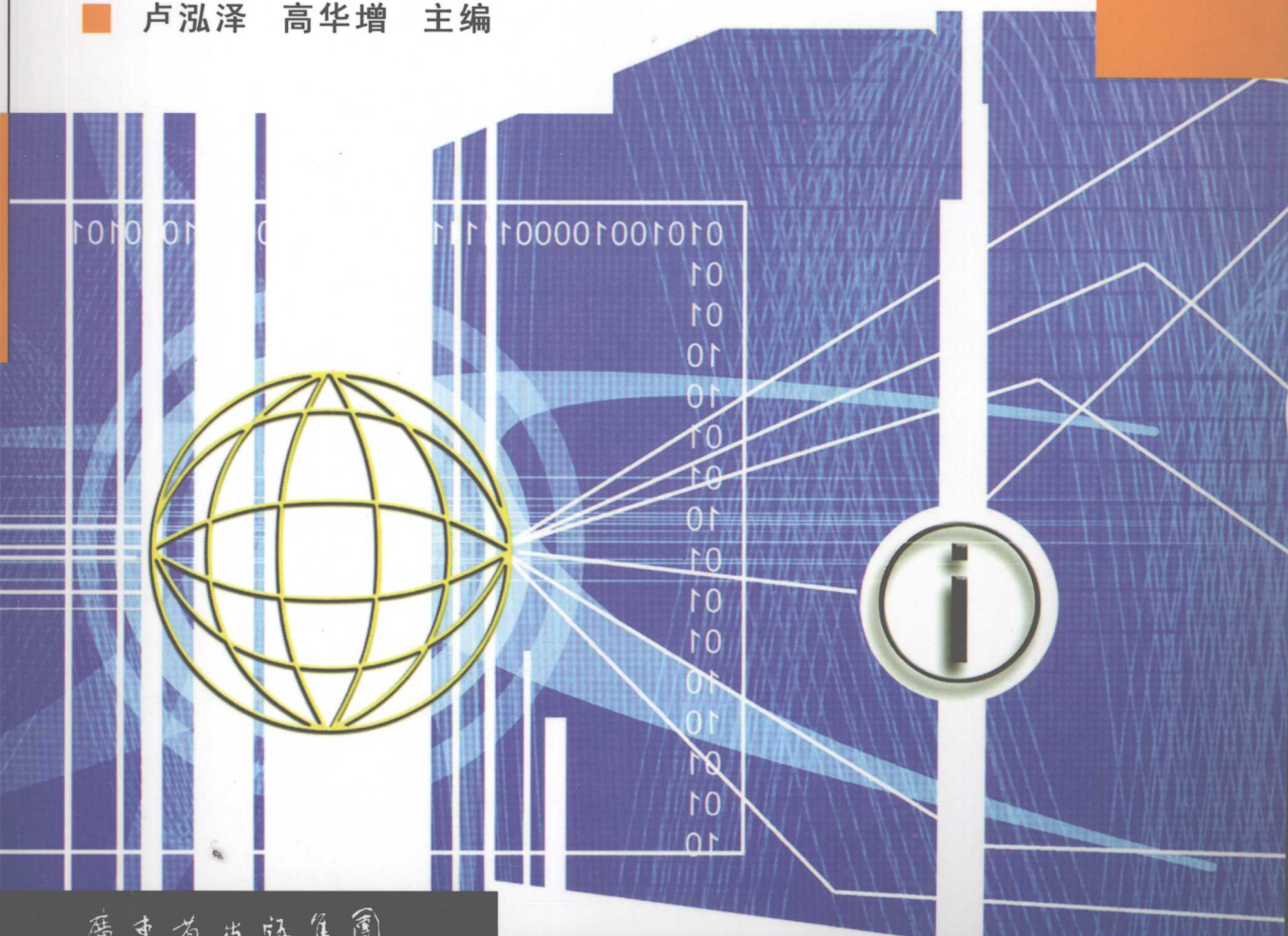


制冷设备维修培训教程 (技师·高级技师)

卢泓泽 高华增 主编



职业技能鉴定培训教材

制冷设备维修 培训教程

(技师·高级技师)

广东省职业技能鉴定指导中心 组编

主 编：卢泓泽 高华增

编写人员：王金坤 徐言生 程立球

郑当维 章敬文 周 玲

主 审：周子成

广东省出版集团
广东人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

制冷设备维修培训教程(技师·高级技师)/卢泓泽,高华增主编. —广州: 广东经济出版社, 2007.8

ISBN 978-7-80728-510-6

I. 制… II. ①卢…②高… III. 制冷-设备-维修-技术培训-教材 IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 148188 号

出版行	广东经济出版社(广州市环市东路水荫路 11 号 11~12 楼)
经销	广东新华发行集团股份有限公司
印刷	广东科普印刷厂(广州市广花四路棠新西街 69 号)
开本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印张	21.75
字数	523 000 字
版次	2007 年 8 月第 1 版
印次	2007 年 8 月第 1 次
书号	ISBN 978-7-80728-510-6
定价	46.00 元

如发现印装质量问题,影响阅读,请与承印厂联系调换。

版权所有 翻印必究

发行联系电话: 13822123289

编 委 会

主 任：周国添

副主任：杨耀基

编委会成员（按姓氏笔画排序）：

杨耀基 周国添 高华增 黄贵平

黄俞雅 傅 鹄 傅穗文

前 言

近年来,随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,制冷空调业亦处于空前发展的阶段。目前,制冷空调领域中应用的新技术、新工艺、新材料、新设备有很多,例如CFCs和HCFCs制冷剂的替代、新型的制冷压缩机技术、蓄冷技术、热泵技术、楼宇自动化技术、空气品质处理技术等。因此,需要大批高素质的制冷空调业复合型人才(技师、高级技师)将新技术、新工艺、新材料、新设备推广应用并迅速转化为优质产品。本书正是在此背景下编写的。

本书根据国家劳动和社会保障部颁布的《制冷设备维修工国家职业标准》,并参照广东省《制冷设备维修工(技师、高级技师)职业技能鉴定大纲》,全面地介绍了当前制冷空调业中的新技术、新工艺、新材料、新设备及其应用。本书的内容集理论知识与技能为一体,体现了以职业活动为导向,以职业能力为核心的指导思想,可满足读者参加职业技能培训、鉴定和就业的需要。本书不仅可作为制冷设备维修技师、高级技师职业技能培训和鉴定教材,也可作为各级职业技术学院相关专业的参考教材,还可供制冷空调业技术人员、维修人员参考。

本书各章的编写人员如下:第1、6、7章,顺德职业技术学院徐言生高级工程师;第2章,广州冷冻机厂郑当维高级工程师;第3、10章,广州市冶金技师学院高华增高级讲师;第4、5章,中山大学卢泓泽教授;第8章,广东省电子商务高级技工学校程立球高级讲师;第9章,佛山英斯派克空调技术有限公司章敬文工程师;第11章,万宝集团王金坤高级工程师;第12章,成都工学院周玲高级工程师。

本书由卢泓泽教授、高华增高级讲师主编,高华增高级讲师统稿,西安交通大学周子成教授、王金坤高级工程师审稿,周子成教授主审。

书中不足之处,恳请读者指正。

编 者
2006年10月

目 录

1 制冷空调中臭氧层消耗物质的替代	1
1.1 臭氧层的消耗及其对环境的危害	1
1.2 制冷空调行业臭氧层消耗物质的替代	4
1.3 制冷剂的回收、循环和再生简介	29
2 制冷压缩机	37
2.1 概述	37
2.2 螺杆式制冷压缩机	37
2.3 离心式制冷压缩机	49
2.4 涡旋式制冷压缩机	56
3 冷库及冷藏新技术	60
3.1 冷库	60
3.2 冷库制冷系统的安装与调试	86
3.3 冷库制冷系统的操作管理	98
3.4 冷藏新技术	103
3.5 制冷装置的安全技术	108
4 空气调节原理	117
4.1 湿空气的物理性质	117
4.2 湿空气的焓湿图及其应用	120
4.3 空调房间热、湿负荷与送风量的确定	125
5 中央空调新技术应用	131
5.1 中央空调概述	131
5.2 溴化锂吸收式制冷机	137
5.3 空调系统的运行调节	150
5.4 中央空调新技术介绍	162
5.5 家用中央空调	194
5.6 中央空调系统的自动控制	203
6 蓄冷空调的应用	217
6.1 蓄冷空调基本概念	217
6.2 蓄冷技术	220
6.3 与冰蓄冷结合的低温送风空调系统	229
6.4 高温水蓄冷空调系统	231
7 绿色电冰箱及维修技术	234
7.1 绿色电冰箱的特点	234

7.2 绿色电冰箱的维修技术	235
7.3 冰箱新技术	241
8 新型房间空调器及维修技术	250
8.1 微电脑控制的房间空调器及维修技术	250
8.2 变频式房间空调器及维修技术	259
8.3 绿色环保房间空调器维修技术	271
8.4 房间空调器的发展趋势	274
9 制冷与空调的计算机控制技术	277
9.1 概述	277
9.2 计算机控制系统在制冷空调中的应用	284
9.3 BAS 中的空调自控系统	296
9.4 中央空调计算机计费系统	302
9.5 制冷空调模拟仿真系统概述	304
10 工作指导与相关法规、规范、标准	309
10.1 工作指导	309
10.2 与制冷空调有关的法规、规范和标准	310
11 制冷设备维修工技师、高级技师专业论文撰写	314
11.1 概述	314
11.2 怎样撰写专业论文	314
11.3 技师专业论文的标准格式	317
11.4 技师专业论文的分类	321
11.5 论文范文	322
12 制冷空调专业英语	329
12.1 机械制冷原理 (Mechanical Refrigeration principles)	329
12.2 技术资料实例	335
参考文献	339

1 制冷空调中臭氧层消耗物质的替代

1.1 臭氧层的消耗及其对环境的危害

1.1.1 太阳光和臭氧层

太阳光是由紫外线、可见光和红外线组成的，见表 1-1。

表 1-1

	紫 外 线			可见光	红外线
	短波紫外线	中波紫外线	长波紫外线		
代号	UV - C	UV - B	UV - A	VL	IR
波长	<290 μm	290 ~ 320 μm	320 ~ 380 μm	380 ~ 700 μm	700 ~ 900 μm

在离地球表面 20 ~ 40km 的大气平流层中，集中了大气中约 70% 的臭氧，以 30 ~ 40km 处浓度最高，这一层大气圈被称为臭氧层。如图 1-1 所示。

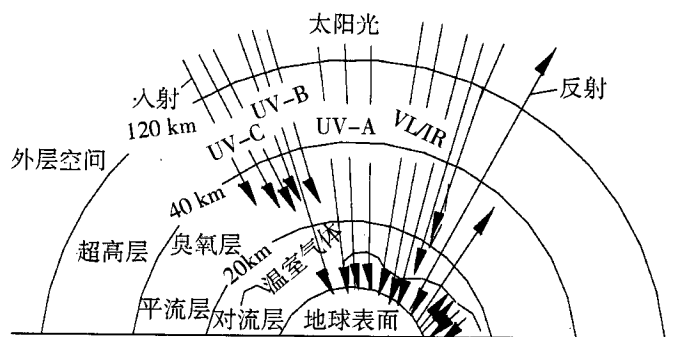


图 1-1 太阳辐射透过大气层示意图

1.1.2 臭氧层的作用

太阳光辐射透过大气层射向地面时，臭氧层几乎全部吸收了太阳辐射中波长在 300 μm 以下的紫外线，因此，臭氧层可吸收部分的 UV - B（波长段 290 ~ 320 μm ）中波紫外线和全部 UV - C（波长小于 290 μm ）短波紫外线，保护地球的生命免遭短波紫外线的伤害。到达地球的只有 UV - A 长波紫外线和部分中波紫外线，而长波紫外线对生物细胞的伤害要比中、短波紫外线轻微得多。所以，臭氧层犹如一把保护伞，使生物得以在地球

上生存繁衍。

1.1.3 臭氧层消耗及其成因

如果臭氧层不受破坏的话，则在臭氧层内，臭氧的产生和消失处于动态平衡。亿万年来，万物生灵已经适应在这种保护条件下的环境里生存。

20 世纪 70 年代以来，世界各地的地面站对大气臭氧总量的观测记录显示，1958 年以后全球臭氧总量有逐渐减少的趋势，特别是在 70 年代初期较为明显，环境科学家推断，大气臭氧总量的减少主要发生在臭氧层。

1973 年在日本召开的一次国际学术会议上，一些环境科学家认为，在人类进行某些活动的过程中散发出一些物质，它们进入臭氧层后，参与了使臭氧层消耗的反应，破坏了臭氧层内的自然动态平衡，因此，臭氧的浓度减少。

1974 年，美国加利福尼亚大学教授罗兰和莫利纳提出，正在世界上大量生产和使用的烷烃卤代物氯氟烃（CFCs），因其化学稳定性好，不易在对流层分解，从而扩散入臭氧层；当受到 UV - C 短波紫外线的照射后，CFCs 分解出 Cl · 自由基，参与了臭氧的消耗。

Cl · 自由基消耗臭氧的连锁循环反应过程如图 1 - 2 所示。

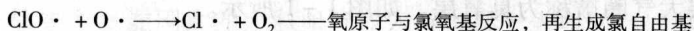
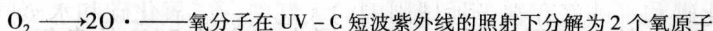
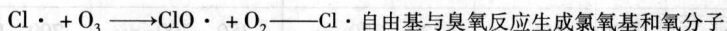
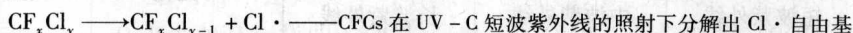


图 1 - 2 Cl · 自由基消耗臭氧的连锁反应过程

Cl · 自由基再与臭氧反应生成氯氧基，循环往复。一个 Cl · 自由基能够消耗十万个臭氧分子。需要指出的是，臭氧本身在自然界中可以被太阳紫外线破坏而产生氧。但是，这个过程和与之相反的反应过程（从氧到臭氧）在地球的整个历史一直同时存在，并处于动态平衡状态。因此，在使用人工合成的化学品之前，大气中的臭氧量保持相对不变。

一些科学家指出：通常情况下，臭氧层中的氯大多存在于稳定的化合物中，不会和臭氧分子反应，不会破坏臭氧层。但在冬天寒冷的条件下，大量活性氯原子从化合物中释放出来，积聚在平流层中。这时的氯原子不会马上与臭氧层分子发生反应，也不会消耗臭氧层。春天来临，温暖的阳光诱发活性氯与臭氧分子的反应，这时才造成臭氧层的破坏。到了夏季，温热的阳光蒸发掉平流层中的许多粒子，因而不能产生较多的活性氯，所以春天之后臭氧层的破坏会减弱。可见，在春季臭氧层被破坏得最严重。

1.1.4 南北极臭氧空洞的生成机理

携带着北半球散发的 CFCs 的大气环流，随着地球赤道附近的热空气上升，分流向两极，然后冷却下沉，从低空回流至赤道附近的回归线。

在南极黑暗酷冷的冬季（6 ~ 9 月），下沉的空气在南极洲的山地受阻，停止环流而就

地旋转,吸入周围的冷空气,形成“极地风暴旋涡”,这股旋涡至 20km 高空的臭氧层,成为滞留的“冰云”。“冰云”中的冰晶微粒把气流中带来的 CFCs 吸附在其表面,并不断积聚。当南极的春季来临(9月下旬),阳光照向“冰云”时,释放出所吸附的 CFCs。CFCs 受到短波紫外线的照射分解生成 $\text{Cl} \cdot$ 自由基,消耗臭氧层,形成季节性的“臭氧空洞”。

在北极同样会形成季节性的“臭氧空洞”,只是北极没有极地大陆和高山,仅有一片海洋“冰帽”,不会形成大范围的强烈“极地风暴旋涡”,所以,北极“臭氧空洞”没有南极“臭氧空洞”那样大。

1.1.5 各种 ODS 臭氧层消耗潜能

臭氧层消耗物质,英文 Ozone Depletion Substances,简称 ODS。不同的 ODS 对臭氧层的破坏能力是不同的。当它们逸入大气,由低空(对流层)逐渐向高空(平流层-臭氧层)扩散时,ODS 中的全卤代氯氟烃(CFCs,例如 CFC-11, CFC-12)在对流层不分解,但到达臭氧层后,受到短波紫外线的照射分解生成 $\text{Cl} \cdot$ 自由基,引发破坏臭氧层的反应。而含有氢的氯氟烃(HCFCs,例如 HCFC-22, HCFC-141b),由于含氢而不稳定,在对流层就已分解,即它们在对流层的寿命不长,因此,能扩散到达臭氧层的数量很少。为了比较不同 ODS 破坏臭氧层的能力,引用了“臭氧层消耗潜能”(Ozone Depletion Potential,简称 ODP)的概念。并以 CFC-11 为基准,即设定其值为 1.0。

1.1.6 各种 ODS 的全球变暖潜能

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长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长波热辐射,使地表气温达到入射到地球上的太阳能(主要是长波光、红外线)与被地球辐射到空间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°C ,而实际地表平均气温为 15°C ,即地球大气的温室效应可使地球表面的气温增加 33°C 。温室气体还包括甲烷、近地面的臭氧、氧化二氮、制冷剂。氯氟烃、氢氯氟烃和氢氟烃都被京都协议书规定为温室气体。

二氧化碳是用煤、石油和天然气等燃料生产电力时产生的。因此,制冷空调设备运行时消耗能量也对全球变暖起作用。称为全球变暖的间接效应。所以,制冷空调设备的运行效率越高越好。

各种 ODS 在大气中都产生温室效应,使地球表面和近地大气温度升高,造成地球气候变暖的环境问题。为了表示和比较 ODS 气体影响全球变暖能力的大小,引用了“全球变暖潜能”(Global Warming Potential,简称 GWP)的概念。并以 CO_2 为基准,即设定其值为 1.0。也有以 CFC-11 为基准,即设定其值为 1.0,来加以比较的。

1.1.7 臭氧层消耗产生的危害

臭氧层消耗对全球环境产生的危害,就目前来说,还不能认为已经产生了明显而严重的后果。确切地说,臭氧层的消耗是将最近十多年与十多年前或更早年代的环境状况相比较时所发现的特异变化。因此,找出引起这种变化的因素,并预测随着这种变化因素的增

强而导致环境变化进一步扩大时产生的影响和后果，才能采取有效的措施，防止臭氧层的消耗所产生的危害。

从上分析可知，臭氧层耗减的直接结果是到达地球表面的 UV - B 中波和短波紫外线增加。一般臭氧层浓度降低 1%，到达地球表面的 UV - B 中波紫外线数量增加 1.5% ~ 2.0%。美国环保局的调查结果显示，臭氧层的臭氧浓度每减少 1%，到达地面的短波紫外线增加 1.3% ~ 1.8%，人们患上皮肤癌的几率就上升 2%。

到达地球表面的中短波紫外线能破坏蛋白质的化学键，彻底杀死微生物，破坏动植物的个体细胞，损害其中的脱氧核糖核酸（DNA），引起遗传特性的因子变化，发生生物的变态反应（引起皮肤癌、白内障等），还会加速户外使用的塑料等材料的老化。

1.2 制冷空调行业臭氧层消耗物质的替代

蒸气压缩式制冷空调系统所采用的制冷剂 R12（即 CFC - 12）、发泡剂和制冷剂 R11（CFC - 11）是《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》（以下称议定书）规定的第一批禁用的臭氧消耗物质（即 ODS）之一。R22（HCFC - 22）则是伦敦修正案规定的过渡性物质，发达国家将于 2030 年禁用，发展中国家允许延缓 10 年禁用。

1.2.1 保护臭氧层国际行动简介

1.2.1.1 国际会议内容摘要

1974 年科学家提出臭氧层遭到 CFCs 破坏。

1977 年 3 月华盛顿会议通过了“臭氧层行动的世界计划”。

1985 年 3 月维也纳“保护臭氧层外交大会”通过《保护臭氧层维也纳公约》。1987 年 9 月 16 日在加拿大蒙特利尔召开了“保护臭氧层公约关于氯氟烃议定书全权代表大会”，通过了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》，于 1989 年 1 月生效，CFCs 列为第一类受控物质。

1989 年 5 月 2 ~ 5 日在芬兰赫尔辛基召开了《议定书》缔约国第一次会议，通过了《保护臭氧层赫尔辛基宣言》，加快了《议定书》中的控制进程时间，即在适当考虑发展中国家的特殊情况下，尽可能不迟于 2000 年前完全取消 CFCs 的生产和消费。

1990 年 6 月 27 ~ 29 日在伦敦召开了《议定书》缔约国第二次会议，通过了《议定书》修正案（于 1992 年 1 月 1 日生效）：①扩大了受控制物质的范围，提前了控制时间（规定 CFCs 应于 2000 年 1 月 1 日停止消费，发展中国家仍可暂缓 10 年执行控制措施）；②建立了基金机制，确保技术转让在最有利的条件下进行，即联合国蒙特利尔多边基金；③将 HCFCs 定为过渡性物质。

1991 年 6 月 10 ~ 21 日在肯尼亚内罗毕召开了《议定书》缔约国第三次会议，6 月 19 日中国代表团宣布正式加入修正后《议定书》的决定，并于 1992 年 8 月 10 日正式生效。

1992 年在丹麦哥本哈根召开了《议定书》缔约国第四次会议，通过了调整和修正《议定书》（伦敦修正案），即《议定书》的哥本哈根修正案。规定 CFCs 于 1996 年 1 月 1 日起完全停止生产和使用，HCFCs 于 2030 年 1 月 1 日起完全停止消费。

1995 年 12 月 17 日在维也纳举行缔约国会议通过的《维也纳修正案》规定 1996 年 1 月 1 日起完全禁止生产和使用 CFCs, 而发展中国家要求于 2004 年 1 月 1 日起削减 25%, 并从 2006 年 1 月 1 日起完全禁用。

1993 年 1 月 12 日, 国务院批准了《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》, 于 2010 年 1 月 1 日完全淘汰 CFCs。

1.2.1.2 关于 HCFCs 物质禁用时间

发展中国家 HCFCs 的禁用时间: 2016 年 1 月 1 日起将 HCFCs 的消耗冻结在 2015 年的水平上, 2040 年 1 月 1 日起禁止生产和使用。

发达国家 HCFCs 的禁用时间见表 1-2。

表 1-2 发达国家 HCFCs 禁用时间表

国家、地区	规 定	
《蒙特利尔议定书》 缔约国	1996.01.01. 以 1989 年 HCFCs 消费量加 2.8% CFCs 消费量的总和 (折合到 ODS 吨) 作为基准加以冻结 2004.01.01. 削减 35% 2010.01.01. 削减 65% 2015.01.01. 削减 90% 2020.01.01. 削减 99.5% (0.5% 仅用于现有设备的维修) 2030.01.01. 削减 100%	
美国	2003.01.01. 禁止 HCFC-141b 用于发泡剂 2010.01.01. 冻结 HCFC-22 和 HCFC-142b 的生产, 不再制造 HCFC-22 的新设备 2015.01.01. 冻结 HCFC-123 和 HCFC-124 的生产 2020.01.01. 禁用 HCFC-22 和 HCFC-141b 不再制造使用 HCFC-123 和 HCFC-124 的新设备 2030.01.01. 禁用 HCFC-123 和 HCFC-124	
欧洲共同体国家	2000.01.01. 削减 50% 2004.01.01. 削减 75% 2007.01.01. 削减 90% 2015.01.01. 削减 100%	2003.01.15 广州国际冷媒应用和发展研讨会信息: 2002 比 CAP* 降低 15% 2003 比 CAP* 降低 55% 2004 比 CAP* 降低 70% 2008 比 CAP* 降低 75% 2010 比 CAP* 降低 100%
瑞士、意大利	2000.01.01. 禁用 HCFCs	
德国	2000.01.01. 禁用 HCFC-22	
瑞典、加拿大	2010.01.01. 禁用 HCFCs	

* CAP 代表控制基准量 = HCFCs1989 年生产使用量 + 2.0% × CFCs1989 年生产使用量

1.2.2 HCFCs 及 CFCs 的候选替代物

1.2.2.1 卤代烃类物质的命名、品种和基本理化性质

1. 命名

卤代烃类物质中的完全卤化物氯氟烃最初由杜邦公司生产，以 Freon（俗称氟里昂）为商品名销售，20 世纪 70 年代国际上统一了氯氟烃的命名和符号，根据卤代烃所含各元素的英文名称的字头组成缩写代号，氯氟烃的英文名称 Chloro Fluoro Carbon，取其字头组成缩写代号 CFC 作为氯氟烃的代号，在 CFC（或 R）后标以化合物代号。化合物代号由三位数组成：个位数表示分子中氟原子的个数，十位数表示分子中氢原子的个数加 1，百位数表示分子中碳原子的个数减 1，代号后面标以 a, b, c... 表示乙烷类氯氟烃同分异构体分子结构中的不对称程度。例如：三氯一氟甲烷（ CCl_3F ）代号为 CFC-11（或 R11），二氯二氟甲烷（ CCl_2F_2 ）代号 CFC-12（R-12）。

卤代烃类物质中的不完全卤代物氢氯氟烃 HCFCs，取其字头组成缩写代号 HCFC 作为氯氟烃的代号，在 HCFC（或 R）后标以化合物代号，化合物代号由三位数组成：个位数表示分子中氟原子的个数，十位数表示分子中氢原子的个数加 1，百位数表示分子中碳原子的个数减 1，代号后面标以 a, b, c... 表示乙烷类氯氟烃同分异构体分子结构中的不对称程度。例如：一氯二氟甲烷（ CClF_2 ）代号为 HCFC-22，二氯一氟乙烷（ CClFHC-ClH_2 ）代号 HCFC-141b。其他的依此类推。

另外还可以制冷剂英文名称 REFRIGERANT 的字头 R 作为制冷剂代号。例如：R11、R12、R22、R141b 等。

2. 卤代烃类物质的品种与基本理化性质

1) 品种 常用的主要是甲烷类和乙烷类的，分为氯氟烃（CFCs）、氢氯氟烃（HCFCs）、氢氟烃（HFCs）、氯烃（CCs）、氟烃（FCs）。

2) 性质 化合物的性质随碳、氯、氟和氢原子数目的不同而改变。

(1) 沸点。这些化合物在一个大气压下的沸点随氯原子数的减少氟原子数的增加而降低，即氟原子取代氯原子使大气压下的沸点降低，例如甲烷的卤代物，每取代一个氯原子大约降低 51°C ，见表 1-3。

表 1-3 一个大气压下不同制冷剂的沸点

制冷剂	R11 (CCl_3F)	R12 (CCl_2F_2)	R13 (CClF_3)	R14 (CF_4)
正常沸点	23.6°C	-29.8°C	-81.5°C	-128°C

(2) 可燃性。含氢量越高可燃性越大，大部分的氯氟烃是不可燃的。

(3) 稳定性。一般氯氟烃都具有良好的热稳定性和化学稳定性，含氢的氟烃的稳定性差。例如 CFC-12 在石英管中， 500°C 仍不分解，而含氢的 HCFC-22 在 290°C 就开始分解。大部分氯氟烃的水解稳定性良好，氯原子数越少，稳定性越高。

(4) 毒性。毒性与分子中氯的数量有关，一般氯原子越少，毒性越小，完全氟代的烷烃基本上是无毒的。

1.2.2.2 替代物的基本要求

从环境影响角度考虑，替代物必须是对臭氧层无影响或影响较小以及具有较低的大气

温室效应。目前一般规定, 候选替代物的 ODP 值为 0 和 GWP 值均必须小于 0.1。

从安全的角度考虑, 替代物必须是无毒的, 最好是不燃的。毒性与含氯量有关, 可燃性与含氢量有关。可见只有氟烃 (FC) 才是无毒、不燃的。美国 ASHRAE 标准 34/ASH92 b 对慢性毒性和可燃性进行了安全等级划分: 毒性等级分为 “A” (低毒性) 和 “B” (高毒性); 可燃性分为 “1” (火焰不会传播)、“2” (低度可燃) 和 “3” (高度可燃)。用一个字母和一个数字来表示安全等级, 如 CFC-12 和 HFC-134a 为 A1, HFC-152a 为 A2, R600a 为 A3。

欧洲标准 (EN378-1999)《制冷系统和热泵-安全和环境要求》对制冷剂的可燃性和毒性进行了分类, 进而按照对健康和安全的影响, 将制冷剂分为若干组。

1. 可燃性分类

根据在大气压力和室外条件的可燃性下限, 将制冷剂分为以下三组。

- (1) 在空气中任何浓度的制冷剂蒸气不燃。
- (2) 当制冷剂与空气混合时, 其可燃性下限等于或大于 3.5% (体积百分比)。
- (3) 当制冷剂与空气混合时, 其可燃性下限小于 3.5% (体积百分比)。

2. 毒性分类

将制冷剂的毒性分为下列两组。

(1) 等级 A: 制冷剂的时间加权平均浓度等于或大于 $400\text{mL}/\text{m}^3$ 。该浓度对所有的工作人员几乎不产生有害影响 (毒性较低)。这些工作人员可在制冷剂中暴露的时间为每工作日 8h 或每工作周 40h。

(2) 等级 B: 制冷剂的时间加权平均浓度小于 $400\text{mL}/\text{m}^3$ 。该浓度对所有的工作人员几乎不产生有害影响 (毒性较高)。这些工作人员可在制冷剂中暴露的时间为每工作日 8h 或每工作周 40h。

3. 安全属性

制冷剂的安全属性见表 1-4。

表 1-4 由可燃性和毒性确定的安全属性

可燃性 ↑ 毒性 ↑	项 目	安全 分 组	
	可燃性较高	A3	B3
	可燃性较低	A2	B2
	无火焰扩展	A1	B1
	毒性	毒性较低	毒性较高
	毒性渐增 →		

再将上述安全分组简化为下列三组。

L1 = A1; L2 = A2, B1, B2; L3 = A3, B3。

从使用的角度考虑替代物应满足各项应用的具体要求, 一般共性要求。

气液相转变容易；化学稳定性和热稳定性高；表面张力低；对油类和脂肪类要有一定的亲和合力等。

1.2.3 制冷剂 CFC-12 的可能替代物

满足上述基本要求的 CFC-12 最佳替代物是含少量氢的氟烃 HFCs。目前应用比较多的纯质替代物是 HFC-134a 和 R600a（属 HC）。

1.2.3.1 可能的替代物的性能参数和对比

见表 1-5、表 1-6 及表 1-7。

表 1-5 CFC-12 与三种替代物的物性和环境参数

制冷剂	CFC-12	HFC-134a	HFC-152a	R600a
分子量	120.93	102.03	66.05	58.13
沸点（℃）	-29.8	-26.1	-25	-11.7
熔点（℃）	-155	-101	-117	
25℃ 液体密度（g/cm ³ ）	1.328	1.206	0.966	0.551
临界温度（℃）	112.0	101.1	113.3	135.0
临界压力（MPa）	4.11	4.06	4.5	3.65
灌注量	1.0	0.908	0.727	0.415
ODP（CFC-11 为 1.0）	0.9~1.0	0	0	0
GWP（CFC-11 为 1.0）	2.8~3.4	0.26	0.03	0.01
GWP（CO ₂ 为 1.0）	8500	1300	150	3

表 1-6 CFC-12 与三种替代物的制冷循环性能

制冷剂	CFC-12	HFC-152a	HFC-134a	R600a
分子式	CF ₂ Cl ₂	CH ₃ CHF ₂	CH ₂ F-CF ₃	C ₄ H ₁₀
容积制冷量 -25℃（kJ/m ³ ）	1237	1074	1185	626
压缩比（工况： $t_0 = -25^\circ\text{C}$ ， $t_c = 55^\circ\text{C}$ ， $t_{\text{subc}} = 32^\circ\text{C}$ ）	11.03	13.73	14.07	13.39
理论 COP 值（工况同上）	= HFC-134a	≥ HFC-134a		≥ HFC-134a
排气温度（℃）	120~125℃	134~140℃	115~120℃	100~105℃

表 1-7 三种长期替代工质与 CFC-12 的主要性能对比

制冷剂	CFC-12	HFC-152a	R600a	HFC-134a	说 明
臭氧 (ODP)	1.0	0.0	0.0	0.0	
温室效应系数 (GWP)	3.1	0.03	0.01	0.27	HFC-134a 对全球变暖的影响较大
可燃性	不可燃	低	高	不可燃	
可燃性分类	A1	A2	A3	A1	
可燃极限 (在空气中的体积浓度%)	无	4.0~17	1.8~7.8	无	R600a 的可燃性最高
冷凝压力 (+40℃, 10 ⁵ Pa)	10.008	9.129	5.319	10.164	R600a 的排气温度和压力最低
蒸发压力 (-30℃, 10 ⁵ Pa)	1.0041	0.81479	0.468	0.8436	R600a 的蒸发压力太低, 低压侧泄漏时会吸入空气
压缩比	9.967	11.204	11.365	12.048	
液相密度 (-25℃, kg/m ³)	1472.0	1010.1	608.3	1371.0	R600a 的灌注量减少得最多
压缩机		不需改变设计	需改变设计, 输气容积需增大 70%	需改变设计和漆包线绝缘漆	以 HFC-152a 最优
润滑油	矿物油	矿物油或烷基苯	矿物油	酯类油	* HFC-134a 所用酯类油吸水性极强, 制冷系统泄漏必须更换干燥器, 甚至更换润滑油 * 对高黏度杂质的敏感性高易引起毛细管堵塞, 制冷系统元器件和冰箱的制造难度较高, 系统故障维修较困难
对杂质的敏感性	敏感	敏感	敏感	高度敏感	
溶性	极微	极微	极微	极易溶	
对系统真空度的要求	一般	一般	一般	高	
材料兼容性	好	好	好	差	

* 近年来国际上有些环境科学家新发现 HFC-134a 除具有较高的 GWP 值 (约为 CO₂ 的 1300 倍) 外, 还能在大气中分解出一种称为三氟乙酸 (TFA) 的物质, 它是一种高吸水性、带腐蚀性的液体, 对人体健康有害, 且能在不同地点聚集。这引起了对 HFC-134a 作为长期性替代物的重新评价。

1.2.3.2 HFC-134a 应用简介

1. 概述

HFC-R134a (R134a) 是由四个氟原子替代乙烷中的四个氢原子而生成的，它含氢不含氯，而 R12 则是含氯不含氢，所以它们存在性质上的差异。不含氯的化合物润滑性差，含氢则与矿物油不互溶，必须采用合成油（酯类油 - ESTER）作为润滑油，一般冰箱和中央空调采用 POE 油；同时，R134a 还会影响封闭式压缩机电机绕组的电气绝缘性能等。因此，必须控制制冷系统内的含水量和其他杂质，确保制冷系统内不含氯和矿物油。有的压缩机生产厂家规定制冷系统工艺过程中绝对不允许使用矿物油，例如，扩孔时只能用一致的润滑油（酯类油）。还要注意其他系统材料（橡胶塑料等）的相容性。

由于 R134a 与矿物油不互溶，与封闭式及半封闭式制冷压缩机原电机绕线绝缘层，与分子筛和部分材料不相容，制冷量比 R12 低 12% ~ 14%，因此需要重新开发高效压缩机、人工合成油、分子筛等；还有温室效应问题（GWP 为 0.26）；酯类油（ESTER 油）的吸湿性高，给维修带来许多麻烦，需要加强生产过程的控制等。由于 R134a 的批量生产、高效压缩机和酯类油、新分子筛的开发成功，目前，在北美地区和日本，R134a 已成为 CFC-12 的主要替代物。鉴于 R134a 的高 GWP 值和会分解生成三氟乙酸等问题，欧洲国家（德国）于 1993 年推出碳氢化合物 R600a 替代 R12 为制冷剂。

用在电冰箱类制冷器具、汽车空调、中小型离心式压缩机冷水机组中已广泛使用 R134a 来替代 R12。

2. R134a 制冷系统内水含量的控制

1) 控制水含量的原因

(1) 水的存在会造成 R134a 制冷系统“冰堵”，水在制冷系统的低温部位会析出，而在毛细管的低温段结冰造成堵塞。

(2) 水的存在会降低合成油（酯类油 - ESTER）的化学稳定性。酯类油与水会进行水解反应生成醇和酸，使油的总酸值（TAN）升高，对系统材料产生腐蚀作用。表 1-8 是松下公司所做的水对 ESTER 水解作用的试验结果。

表 1-8 松下公司所做的水对 ESTER 水解作用的试验结果

含水量		100×10^{-6}	500×10^{-6}
总酸值 (TAN) mgKOH/g	14 天	0.01	0.03
	30 天	0.10	0.20

一般总酸值应在 0.1 以下。例如：ICI 公司 RL 类 ESTER 油的总酸值为 0.02。

2) 措施

(1) 控制 R134a 制冷系统内的含水量。

DIN8964 规定：系统的全部零部件的最大含水量应 $\leq 50 \text{mg/m}^2$ ；

ICI 公司规定：系统装配后含水量小于 100×10^{-6} 。

(2) 控制 R134a 系统内零部件和材料的含水量。

①压缩机：国外生产厂家（伊来克斯、美利冷、UH、VOE、ZEM、松下等）规定注油前 R134a 压缩机内的含水量的最大值为 100mg，灌注前应确认 POE 油的含水量合格，