

制冷空调设备 维修技术与操作

张朝晖◎主编 李红旗 钟志锋◎副主编

上册

Maintenance Technology
and
Operation Guide
for
Refrigeration
and
Conditioning Equipment



国家一级出版社



中国信息出版社

全国百佳图书出版单位

主要内容


制冷空调设备维修技术与操作

(上册)

张朝晖 / 主编

李红旗 钟志锋 / 副主编

常州大学图书馆
藏书章

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书是针对 HCFCs 替代、服务于相关制冷空调设备维修的教材。

本书首先介绍了臭氧层保护的基本知识、臭氧层保护的
国际行动、在此基础上的相关制冷剂知识以及故障分析与诊
断的基础知识,介绍了制冷原理和设备。然后按照工商空
调、工商制冷、房间空调器和制冷压缩机分类分别介绍了相
关产品及其运行操作、故障分析和维护维修。最后介绍了维
护维修过程的安全知识、制冷剂的回收再利用以及维修设备
的操作。

本书可用作从事制冷空调设备运行、维修工程师以及职
业技能培训教师的参考书籍和教材,也可用作制冷空调行业
其他具有一定基础的管理人员、工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷空调设备维修技术与操作. 上册 / 张朝晖主编. --
北京: 中国纺织出版社, 2018.4
ISBN 978-7-5180-4721-5

I. ①制… II. ①张… III. ①制冷装置—空气调节器—
维修 IV. ①TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 025926 号

责任编辑: 朱利锋 责任校对: 楼旭红
责任设计: 何 建 责任印制: 何 建

中国纺织出版社出版发行
地址: 北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码: 100124
销售电话: 010—67004422 传真: 010—87155801
<http://www.c-textilep.com>
E-mail: faxing@c-textilep.com
中国纺织出版社天猫旗舰店
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
三河市延风印装有限公司印刷 各地新华书店经销
2018 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
开本: 787×1092 1/16 印张: 26
字数: 550 千字 定价: 68.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社图书营销中心调换

前 言

由于目前广泛使用在制冷空调设备中的 HCFCs 对大气臭氧层有破坏作用，而且这类物质往往具有较高的温室效应，根据《关于消耗臭氧层物质蒙特利尔议定书》的规定，包括中国在内的发展中国家应在 2013 年将 HCFCs 的消费量冻结在 2009 年和 2010 年消费量的平均水平上，在 2015 年以此平均水平为基线将消费量再削减 10%。然后继续分阶段逐步削减，直至 2040 年彻底停止使用。

目前我国已是世界上的制冷空调大国，HCFCs 的消耗量居世界首位。要实现各阶段的削减目标是一个艰巨的任务，意味着需要大量减少 HCFCs 制冷剂的使用。

2011 年 7 月，第 64 次蒙特利尔多边基金执委会批准了中国工商制冷行业、房间空调器行业和制冷维修行业三个第一阶段 HCFCs 淘汰管理计划。在多边基金的支持下，我国已经进入了 HCFCs 淘汰的实质性实施阶段。

我国制冷维修行业每年用于设备维修而消耗的 HCFCs 制冷剂高达数万吨，这些制冷剂主要消耗于设备运行过程中的泄漏、维修过程中的排放和不规范操作造成的排放几个方面。为了实现各阶段的削减目标，制冷维修行业主要开展能力建设，通过改善产品的安装和维修质量、规范操作减小设备维修过程中的泄漏量和排放量以及加强在维修过程和报废过程中实施制冷剂回收和再利用来实现目标。这就要求制冷维修行业建立负责任使用制冷剂的理念，提高维修人员的素质和能力，改进以往不合理的操作，严格规范设备安装、调试、运行、维护、维修等各个环节的活动。

此外，由于 ODP 和 GWP 的双重要求，在制造行业采用了一些可燃制冷剂作为 HCFCs 类制冷剂的替代物，这就带来了可燃制冷剂操作的安全性问题。由于较低的人员素质和管理水平，除氨冷库系统外以往经验的欠缺以及设备安装、调试、运行、维护、维修过程中的诸多不可控随机因素，这一问题在维修行业就表现得尤为严重。需要有针对性地提高相关人员的能力与技

术水平。

为此,中国制冷空调工业协会和环境保护部环境保护对外合作中心共同组织编写了本书。本书由张朝晖担任主编,负责本书的总体策划与编写组织工作;李红旗、钟志锋担任副主编,负责筹划章节目录、确定编写分工;全书由张朝晖、李红旗、钟志锋负责统稿。本书各部分的作者及其工作单位如下:

第1章 环境保护部环境保护对外合作中心:钟志锋 滑雪

第2章 北京工业大学:李红旗

中国制冷空调工业协会:张朝晖 陈敬良

第3章 珠海格力电器股份有限公司:淦国庆

大金空调技术(上海)有限公司:赵璧

特灵空调系统(中国)有限公司:秦兴玉

南京天加环境科技有限公司:谢为群

艾默生网络能源有限公司:韩会先

广东美的暖通设备有限公司:李行乾

开利空调销售服务(上海)有限公司:徐峰

重庆通用工业(集团)有限责任公司:黄睿

南京冠福建设工程技术有限公司:张道明 曾建国

苏州苏暖节能系统工程服务有限公司:李国群

青岛海尔空调电子有限公司:康敖 马军义 孔岩

北京申菱环境科技有限公司:胡秀成

第4章 大连冷冻机股份有限公司:刘兆峰

松下冷链(大连)有限公司:杨一帆 刘洋 张磊

冰轮环境技术股份有限公司:刘昌丰

江苏白雪电器股份有限公司:唐学平

苏州大学:龚伟申

福建雪人股份有限公司:范明升

第5章 珠海格力电器股份有限公司:张伟彬

苏州大学:龚伟申

第6章 冰轮环境技术股份有限公司:刘昌丰

比泽尔制冷技术(中国)有限公司:朱京文 李震

艾默生环境优化技术(沈阳)冷冻机有限公司:王丽梅

大连冷冻机股份有限公司:刘兆峰

约克(中国)商贸有限公司:孙慰

- 特灵空调系统（中国）有限公司：张志邦
- 重庆通用工业（集团）有限责任公司：姜宝石
- 第7章 比泽尔制冷技术（中国）有限公司：赵李曼
- 大金空调技术（上海）有限公司：赵璧
- 大连冷冻机股份有限公司：冯雯桦
- 冰轮环境技术股份有限公司：韩献军
- 山东东岳化工有限公司：王鑫
- 江苏白雪电器股份有限公司：许峰
- 珠海格力电器股份有限公司：曹勇
- 环境保护部环境保护对外合作中心：李小燕 金钊 郭昌赞
- 柳朝霞
- 中国制冷空调工业协会：张朝晖 陈敬良 王若楠 高钰
- 刘慧成
- 第8章 约克（中国）商贸有限公司：孙慰
- 开利空调销售服务（上海）有限公司：徐峰
- 大金空调技术（上海）有限公司：赵璧
- 南京冠福建设工程技术有限公司：曾建国
- 烟台凝新制冷科技有限公司：姜欣晖
- 浙江飞越机电有限公司：郭定云
- 青岛绿环工业设备有限公司：张文明 巩涛
- 苏州苏暖节能系统工程服务有限公司：李国群
- 冰轮环境技术股份有限公司：韩献军
- 重庆通用工业（集团）有限责任公司：喻梯
- 比泽尔制冷技术（中国）有限公司：王玉成
- 本书还邀请了相关专家对本书进行审阅，审稿专家及其工作单位如下：
- 解国珍 北京建筑大学
- 崔 兵 约克（中国）商贸有限公司
- 张爱民 珠海格力电器股份有限公司
- 申 江 天津商业大学
- 周晓芳 环境保护部环境保护对外合作中心
- 刘元璋 烟台冰轮集团有限公司
- 彭伯彦 中国制冷空调工业协会

除了绪论和制冷原理部分以外，本书其他章节的内容主要来自各种设备制造的产品运行、维修技术资料，而且同一个产品有多个制造商参与编

写。这样的好处是制造商更了解他们自己的产品，但也带来各部分内容风格不同、深度各异的不足。尽管编委会做了最大努力，但难免存在疏漏，还请读者谅解。

需要说明的是，本书仅针对涉及 HCFCs 制冷剂的产品。但由于这类产品数量多且不同厂家的同类产品差异较大，本书仅针对重要的典型产品做示例性介绍，而且限于篇幅也不能很详细。因此，本书所介绍的内容均是指导性的，涉及具体产品的维修尚需参考相应的产品使用手册。另外，本书涉及可燃制冷剂安全问题的内容也属于参考性的，具体产品的安装、调试、运行和维修需参考相应的产品使用手册。

在此对参编人员和审稿专家在教材编写过程中的无私奉献深表谢意。

本教材涉及内容较广、工作量大，由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者予以批评指正。

编者

目 录

120	第1章 制冷空调设备的维护及维修	第1章 绪论	
120	1.1 单元式空调机	1.1 ODS 与环境保护	001 / 002
120	1.1.1 普通空调用单元式空调器	1.1.1 基本术语与概念	002 / 002
130	1.1.2 窗式空调机	1.1.2 臭氧层	003 / 003
140	1.1.3 自调式机	1.1.3 温室效应	004 / 004
140	1.2 多联式空调机	1.1.4 臭氧层破坏机理	005 / 005
140	1.2.1 多联式空调机	1.2 关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书	008 / 008
140	1.2.2 多联式空调机	1.2.1 臭氧层保护国际行动	008 / 008
140	1.2.3 多联式空调机	1.2.2 HCFCs 淘汰时间表	009 / 009
140	1.2.4 多联式空调机	1.3 中国 ODS 淘汰行动	009 / 009
140	1.2.5 多联式空调机	1.3.1 《中国逐步淘汰消费臭氧层物质国家方案》	010 / 010
140	1.2.6 多联式空调机	1.3.2 《消耗臭氧层物质管理条例》	012 / 012
140	1.2.7 多联式空调机	1.3.3 HCFCs 淘汰国家方案	014 / 014
140	1.2.8 多联式空调机	1.4 制冷剂及其环境特性	017 / 017
140	1.2.9 多联式空调机	1.4.1 制冷剂的分类与命名	017 / 017
140	1.2.10 多联式空调机	1.4.2 制冷剂的热力学性质与热力学性质图表	021 / 021
140	1.2.11 多联式空调机	1.4.3 安全性	025 / 025
140	1.2.12 多联式空调机	1.4.4 对制冷剂的要求	029 / 029
140	1.2.13 多联式空调机	1.4.5 常用 HCFCs 替代制冷剂	032 / 032
140	1.2.14 多联式空调机	1.5 故障分析与诊断基础	036 / 036
140	1.2.15 多联式空调机	1.5.1 基本概念	037 / 037
140	1.2.16 多联式空调机	1.5.2 故障的分类	039 / 039
140	1.2.17 多联式空调机	1.5.3 故障诊断基本方法	040 / 040
140	1.2.18 多联式空调机	1.5.4 维修活动	044 / 044
140	习题		045 / 045
140	参考答案		047 / 047
140	参考文献		049 / 049

第2章 制冷原理与设备	/	051
2.1 基础理论知识	/	052
2.1.1 热力学基础	/	052
2.1.2 传热学基础	/	058
2.1.3 流体力学基础	/	060
2.2 制冷原理	/	061
2.2.1 单级蒸汽压缩理论循环	/	061
2.2.2 单级蒸汽压缩实际循环	/	067
2.2.3 多级蒸汽压缩制冷循环	/	068
2.2.4 复叠式蒸汽压缩制冷循环	/	071
2.2.5 其他制冷方式简介	/	073
2.3 制冷压缩机	/	077
2.3.1 制冷压缩机的工作原理	/	078
2.3.2 制冷压缩机的典型结构	/	086
2.3.3 压缩机的性能参数	/	100
2.3.4 影响压缩机性能的因素	/	103
2.3.5 压缩机的保护	/	106
2.3.6 润滑和润滑油	/	107
2.3.7 制冷量调节	/	110
2.4 换热器	/	115
2.4.1 制冷设备中换热器的基本传热方式	/	115
2.4.2 壳管式换热器	/	117
2.4.3 板式换热器	/	120
2.4.4 风冷换热器	/	121
2.4.5 套管式换热器	/	122
2.5 节流元件	/	122
2.5.1 热力膨胀阀	/	122
2.5.2 电子脉冲膨胀阀	/	124
2.6 标准基础	/	124
2.6.1 标准基础知识	/	125
2.6.2 国家标准	/	126
习题	/	133
参考答案	/	136
参考文献	/	138

第3章 工商空调设备的维护及维修			
3.1 单元式空调机			139
3.1.1 普通空调用单元式空调机			140
3.1.2 恒温恒湿机			150
3.1.3 直膨式机组			166
3.2 多联式空调机			169
3.2.1 多联式空调机的原理与典型结构			169
3.2.2 多联式空调机的维护与保养			175
3.2.3 多联式空调机的常见故障分析			176
3.2.4 多联式空调机的故障显示			185
3.2.5 多联式空调机的常见故障分析与排除			187
3.3 冷水/热泵机组			195
3.3.1 涡旋式冷水/热泵机组			195
3.3.2 螺杆式冷水/热泵机组			198
3.3.3 离心式冷水/热泵机组			212
3.4 其他用途冷热设备			220
3.4.1 空气源热泵热水机			220
3.4.2 蓄冷装置			228
3.5 换热器			230
3.5.1 结垢的原因分析			230
3.5.2 壳管式换热器			231
3.5.3 板式换热器			233
3.6 辅助设备			235
3.6.1 空气处理设备			235
3.6.2 水系统			262
3.6.3 风机			269
3.6.4 载冷剂系统			274
习题			275
参考答案			279
参考文献			280
第4章 工商业用制冷设备的维护与维修			281
4.1 冷链设备			282
4.1.1 冷库			282
4.1.2 冷冻/冷藏柜			319
4.1.3 陈列柜			327

4.1.4	速冻机	/	337
4.1.5	冻干机	/	355
4.1.6	预冷设备	/	363
4.1.7	运输制冷	/	366
4.2	制冰设备	/	380
4.2.1	制冰设备原理与分类	/	380
4.2.2	几种典型制冰机	/	380
4.2.3	制冰机的使用与维护	/	385
4.2.4	制冰机的故障树	/	385
4.2.5	制冰机的常见故障分析与排除	/	386
4.3	工业冷冻设备	/	391
4.3.1	模块化冰水装置	/	392
4.3.2	螺杆冰水机组	/	397
	习题	/	400
	参考答案	/	403
	参考文献	/	404
2.3.4	压缩机性能测试	/	103
2.3.5	压缩机的保护	/	106
2.3.6	制冷剂充注量	/	107
2.3.7	制冷剂回收	/	110
2.3.8	制冷剂干燥	/	113
2.3.9	制冷剂泄漏检测	/	115
2.3.10	制冷剂回收装置	/	117
2.3.11	制冷剂回收	/	120
2.3.12	制冷剂回收	/	123
2.3.13	制冷剂回收	/	124
2.3.14	制冷剂回收	/	124
2.3.15	制冷剂回收	/	125
2.3.16	制冷剂回收	/	126
2.3.17	制冷剂回收	/	126
2.3.18	制冷剂回收	/	126
2.3.19	制冷剂回收	/	126
2.3.20	制冷剂回收	/	126
2.3.21	制冷剂回收	/	126
2.3.22	制冷剂回收	/	126
2.3.23	制冷剂回收	/	126
2.3.24	制冷剂回收	/	126
2.3.25	制冷剂回收	/	126
2.3.26	制冷剂回收	/	126
2.3.27	制冷剂回收	/	126
2.3.28	制冷剂回收	/	126
2.3.29	制冷剂回收	/	126
2.3.30	制冷剂回收	/	126
2.3.31	制冷剂回收	/	126
2.3.32	制冷剂回收	/	126
2.3.33	制冷剂回收	/	126
2.3.34	制冷剂回收	/	126
2.3.35	制冷剂回收	/	126
2.3.36	制冷剂回收	/	126
2.3.37	制冷剂回收	/	126
2.3.38	制冷剂回收	/	126
2.3.39	制冷剂回收	/	126
2.3.40	制冷剂回收	/	126
2.3.41	制冷剂回收	/	126
2.3.42	制冷剂回收	/	126
2.3.43	制冷剂回收	/	126
2.3.44	制冷剂回收	/	126
2.3.45	制冷剂回收	/	126
2.3.46	制冷剂回收	/	126
2.3.47	制冷剂回收	/	126
2.3.48	制冷剂回收	/	126
2.3.49	制冷剂回收	/	126
2.3.50	制冷剂回收	/	126
2.3.51	制冷剂回收	/	126
2.3.52	制冷剂回收	/	126
2.3.53	制冷剂回收	/	126
2.3.54	制冷剂回收	/	126
2.3.55	制冷剂回收	/	126
2.3.56	制冷剂回收	/	126
2.3.57	制冷剂回收	/	126
2.3.58	制冷剂回收	/	126
2.3.59	制冷剂回收	/	126
2.3.60	制冷剂回收	/	126
2.3.61	制冷剂回收	/	126
2.3.62	制冷剂回收	/	126
2.3.63	制冷剂回收	/	126
2.3.64	制冷剂回收	/	126
2.3.65	制冷剂回收	/	126
2.3.66	制冷剂回收	/	126
2.3.67	制冷剂回收	/	126
2.3.68	制冷剂回收	/	126
2.3.69	制冷剂回收	/	126
2.3.70	制冷剂回收	/	126
2.3.71	制冷剂回收	/	126
2.3.72	制冷剂回收	/	126
2.3.73	制冷剂回收	/	126
2.3.74	制冷剂回收	/	126
2.3.75	制冷剂回收	/	126
2.3.76	制冷剂回收	/	126
2.3.77	制冷剂回收	/	126
2.3.78	制冷剂回收	/	126
2.3.79	制冷剂回收	/	126
2.3.80	制冷剂回收	/	126
2.3.81	制冷剂回收	/	126
2.3.82	制冷剂回收	/	126
2.3.83	制冷剂回收	/	126
2.3.84	制冷剂回收	/	126
2.3.85	制冷剂回收	/	126
2.3.86	制冷剂回收	/	126
2.3.87	制冷剂回收	/	126
2.3.88	制冷剂回收	/	126
2.3.89	制冷剂回收	/	126
2.3.90	制冷剂回收	/	126
2.3.91	制冷剂回收	/	126
2.3.92	制冷剂回收	/	126
2.3.93	制冷剂回收	/	126
2.3.94	制冷剂回收	/	126
2.3.95	制冷剂回收	/	126
2.3.96	制冷剂回收	/	126
2.3.97	制冷剂回收	/	126
2.3.98	制冷剂回收	/	126
2.3.99	制冷剂回收	/	126
2.3.100	制冷剂回收	/	126

一种气体 GWP 值的大小取决于三方面因素：该物质分解时的能力、在大气中的寿命以及与 CO₂ 相比被加热的比例。

1.1 ODS 与环境保护

(1) GWP。全球变暖安全指数 (Global Warming Potential)。某物质在特定时间段内，相对于二氧化碳，改变地球表面平均温度变化的能力。

1.1.1 基本术语

(1) CFC。氟氯烃，明世纪初在大气中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(2) HCFC。氢氟氯烃，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(3) HFC。氢氟烃，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(4) PFC。全氟碳化合物，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(5) SF₆。六氟化硫，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(6) NF₃。三氟化氮，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(7) C₂F₆。六氟乙烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(8) C₃F₈。八氟丙烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(9) C₄F₁₀。十氟丁烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(10) C₅F₁₂。十二氟戊烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(11) C₆F₁₄。十四氟己烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(12) C₇F₁₆。十六氟庚烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(13) C₈F₁₈。十八氟辛烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(14) C₉F₂₀。二十氟壬烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(15) C₁₀F₂₂。二十二氟癸烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(16) C₁₁F₂₄。二十四氟十一烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(17) C₁₂F₂₆。二十六氟十二烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(18) C₁₃F₂₈。二十八氟十三烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(19) C₁₄F₃₀。三十氟十四烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(20) C₁₅F₃₂。三十二氟十五烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(21) C₁₆F₃₄。三十四氟十六烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(22) C₁₇F₃₆。三十六氟十七烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(23) C₁₈F₃₈。三十八氟十八烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(24) C₁₉F₄₀。四十氟十九烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(25) C₂₀F₄₂。四十二氟二十烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(26) C₂₁F₄₄。四十四氟二十一烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(27) C₂₂F₄₆。四十六氟二十二烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

(28) C₂₃F₄₈。四十八氟二十三烷，明初和近中的氟元素完全来自天然，明初和近中的氟元素完全来自天然。

第1章 绪论

1.1 ODS 与环境保护

1.1.1 基本术语与概念

首先介绍一些涉及臭氧层破坏和环境问题的基本概念与术语。

(1) CFC。氯氟烃,即饱和烃中的氢元素完全被氯元素和氟元素置换,各字母按顺序表示:C(氯)F(氟)C(碳)。它是卤代烃家族中的一支,包含许多具体的物质,所以统称时一般写为CFCs,表示是一族物质。

CFC后跟制冷剂编号可以表示具体的制冷剂,如CFC-12表示R12制冷剂,R12是制冷剂的另外一种表示方式。前者CFC表示非技术性、成分标识前缀,可以清楚地表明制冷剂的臭氧破坏能力,后者R表示技术性、学术标识前缀。

CFCs类物质对臭氧层具有很强的破坏能力,因此是首先被淘汰的物质,目前已在世界各国全面停用。

(2) HCFC。含氢氯氟烃,即饱和烃中的氢元素部分被氯元素和氟元素置换,仍含有氢元素。各字母按顺序表示:H(氢)C(氯)F(氟)C(碳)。它是卤代烃家族中的一支,包含许多具体的物质,所以统称时一般写为HCFCs,表示是一族物质。

类似地,HCFC后跟制冷剂编号也可以表示具体的制冷剂,如HCFC-22表示R22制冷剂,表明制冷剂的臭氧破坏能力。

HCFCs类物质对臭氧层的破坏能力要低于CFCs,目前正处于被替代和淘汰的过程中。

(3) HFC。氢氟烃,不包含氯元素的氢氟碳化合物,各字母按顺序表示:H(氢)F(氟)C(碳)。它也是卤代烃家族中的一支,包含许多具体的物质,所以统称时一般写为HFCs,表示是一族物质。

类似地,HFC也可以表示具体的制冷剂,如HFC-134a表示R134a制冷剂。

由于不包含氯元素,HFCs类物质不破坏臭氧层,但它们大部分具有较高的温室效应。

有关CFC、HCFC、HFC等的编号来源可参考本章有关制冷剂编号部分的内容(1.4.1)。

(4) ODS。消耗臭氧层物质(Ozone Depletion Substances)。它是所有破坏臭氧层物质的统称,其中包括上述的CFCs、HCFCs物质。它们之间的关系为:

$$\text{ODS} \begin{cases} \text{CFCs} \\ \text{HCFCs} \\ \text{其他破坏臭氧层的物质} \end{cases}$$

(5) ODP。臭氧耗损潜值(Ozone Depletion Potential)。ODP表示某种物质分子分解臭氧的能力。

ODP的数值以CFC-11为基准(设定CFC-11的ODP值为1)。不同的物质ODP值不同,ODP值越大,表明该物质破坏臭氧层的能力就越强。

(6) GWP。全球变暖潜值(Global Warming Potential)。

GWP值也是在一个相对的基础上计算出来的。二氧化碳(CO₂)的GWP值被定为1,其他所有气体都有一个相对于CO₂的GWP值。GWP值越大,该气体的温室效应就越强。

一种气体 GWP 值的大小取决于三方面的因素：吸收红外辐射的能力、在大气中的寿命以及与 CO₂ 相比较的时间区间框架。

(7) GTP。全球温度变化潜能 (Global Temperature Potential)。某物质在特定时间段，相对于二氧化碳，造成地球表面平均温度变化的能力。

(8) TEWI。总体环境温升效应 (Total Equivalent Warming Impact)。它用来综合考虑制冷剂排放的直接效应和能源利用的间接效应^[1]。

直接效应取决于制冷剂的 GWP、制冷剂的排放量和考虑的时间框架长度。间接效应取决于运行过程中的能源效率以及能量的来源。

$$TEWI=DE+IE \quad (1-1)$$

式中，DE——直接效应；

IE——间接效应。

$$DE=GWP \times L \times N + GWP \times m \times (1-\alpha) \quad (1-2)$$

式中，L——制冷剂年损失率，kg/年；

N——设备运转时间，年；

m——设备制冷剂充注量，kg；

α ——设备报废时制冷剂回收率，%。

$$IE=N \times E_{\text{ann}} \times \beta \quad (1-3)$$

式中， β ——生产单位能源所引起的 CO₂ 排放量，kg/kWh；

E_{ann} ——设备的年能耗，kWh/年。

由式 (1-2) 和式 (1-3) 可以看出，TEWI 考虑到了制冷剂本身的温室效应、制冷剂消耗量导致的温室效应、设备能耗引起的生产能源的温室气体排放等各种因素。因此，它是一个比较全面的评价指标。

(9) LCCP。寿命周期气候性能 (Life Cycle Climate Performance)^[1]。LCCP 与 TEWI 指标基本相同，但修正了 TEWI 分析时的个别疏忽，认为在评价对全球气候变化影响时还应进一步考虑生产任何氟烃化合物时所伴随的影响，即应该考虑下列两个因素：

① 生产氟烃化合物及其原料时的消耗 (如电能和各种燃料) 所伴随的影响。这种影响称为“蕴含能量 (Embodied Energy)”。

② 生产过程排放的作为温室气体的任何副产品。这种影响称为“不易收集的排放 (Fugitive Emissions)”。

$$LCCP=N \times E_{\text{ann}} \times \beta + (GWP+E+F) [L \times N + m (1-\alpha)] \quad (1-4)$$

式中，E——蕴含能量，生产制冷剂能耗导致的 CO₂ 排放，kg/kg 制冷剂；

F——不易收集的排放，生产制冷剂排放的副产品导致的 CO₂ 排放，kg/kg 制冷剂。

1.1.2 臭氧层

地球表面覆盖着一层由氧气和其他气体组成的大气层。大气层由对流层、平流层和电离层组成。其中平流层是距离地球 15~60km 的高层空间。

与氧气 (O₂) 不同，臭氧 (O₃) 由 3 个氧原子组成。当强烈的太阳紫外线造成氧分子

(O₂) 破裂时，就生成了氧原子。氧原子再与氧分子反应即可生成臭氧。臭氧作为一种微量气体分布在大气平流层。因此，平流层也称为臭氧层。

臭氧是一种蓝色有刺鼻味的气体。靠近地表的臭氧是一种令人讨厌的污染物，是构成酸雨与化学烟雾的成分。但它在平流层中化学性质十分稳定。平流层中汇集了大气中 90% 的臭氧，能够阻挡过量的太阳紫外线到达地球表面，形成地球的一个屏障和保护伞。

阳光中的紫外线包括短波紫外线（波长 200~280nm）、中波紫外线（波长 280~320nm）和长波紫外线（波长 320~400nm）。其中长波紫外线对人和生物的伤害要轻微得多，而中波紫外线和短波紫外线对人类和生物是有害的。但短波紫外线可以被氧气吸收，不会威胁地球上的人类和其他生物。臭氧层犹如一个过滤器，它可以有效地过滤掉几乎全部的中波紫外线，而允许危害较小的长波紫外线和可以为氧气所吸收的短波紫外线通过（图 1-1）。

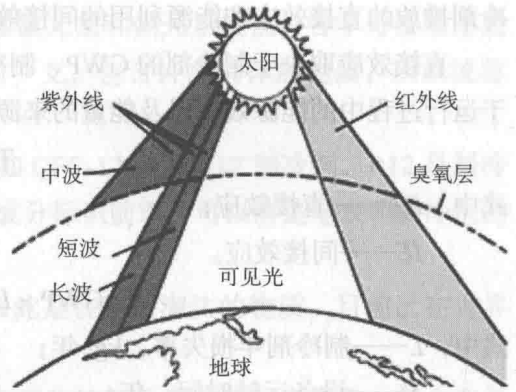


图 1-1 臭氧层对地球的保护作用^[2]

1.1.3 温室效应

自工业革命以来，人类向大气中排入的二氧化碳等吸热性强的温室气体逐年增加，大气的温室效应也随之增强，导致了全球气候变暖等一系列极其严重的问题，引起了全世界各国的广泛关注。

如图 1-2 所示，温室效应是指透射阳光的密闭空间由于与外界缺乏热交换而形成的保温效应，或者说是太阳短波辐射透过大气射入地面，而地面增暖后放出的长波辐射却被大气中的二氧化碳等物质所吸收，从而产生大气变暖的效应。当大气中的二氧化碳浓度增加，阻止了地球热量的散失，使地球气温升高，这就是温室效应。

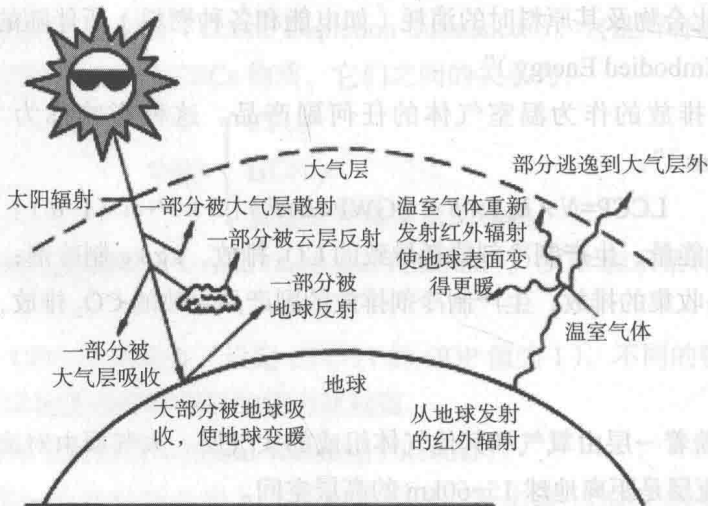


图 1-2 温室效应示意图^[1]

而能够引起温室效应的气体就称为温室气体^[3]。温室气体包括二氧化碳、氯氟代烷、甲烷、一氧化氮等 30 多种。

氯氟烃 (CFCs)、含氢氯氟烃 (HCFCs) 和氢氟烃 (HFCs) 类制冷剂都被认为是温室气体, 它们一般均具有很高的温室效应, 如目前广泛使用的制冷剂 HCFC-22 的温室效应 (GWP) 是二氧化碳的 1700 倍, 已被淘汰的 CFC-12 的温室效应 (GWP) 为二氧化碳的 10600 倍。

温室效应引起的一系列严重问题主要有以下几方面。

(1) 全球变暖。温室气体浓度的增加会减少红外线辐射放射到太空外, 因此, 地球的气候需要转变来使吸收和释放的辐射量达到新的平衡, 这就引起地球表面及大气低层变暖。

(2) 病虫害增加。全球气温上升会令北极冰层溶化, 被冰封的史前致命病毒可能会重见天日, 人类对这些原始病毒尚无抵抗能力, 会导致人类生命受到严重威胁。

(3) 海平面上升。全球气温上升会使冰川和南北极的冰层溶解, 且海水受热膨胀, 两方面的因素均会使海平面上升, 淹没土地、侵蚀海岸、使一些低地国家面临淹没的危险。

(4) 气候反常。海平面上升将导致海啸、台风、极端气候增多以及厄尔尼诺现象等。

(5) 土地沙漠化。

1.1.4 臭氧层破坏机理

1.1.4.1 问题的提出

1974 年美国加利福尼亚大学 F. S. Lorad 教授和 Molita 博士发表论文《环境中的氯氟烷烃》, 首次提出: 人类广泛使用于冰箱和空调制冷、泡沫塑料发泡、电子器件清洗的氯氟烷烃 (CFCs) 以及用于特殊场合灭火的溴氟烷烃 (哈龙, Halons) 排入大气进入平流层, 会使平流层中的臭氧浓度减少, 导致透过平流层的紫外线辐射量增加, 危及人类与生态环境。这个问题开始受到人们重视。

自氯氟烷烃问世以来, 由于其具有优良的化学稳定性和热稳定性, 且具有无毒、不易燃、沸点低、气液相易于转变及易于输送等特点被日益广泛地应用于国民经济不同领域, 已成为最为理想、应用最为广泛的制冷剂、清洗剂和灭火剂, 随着技术的发展, 其生产量和消耗量不断增长。

消耗臭氧层的物质 (ODS) 主要包括全氯氟烃 (CFCs)、含溴氟烷烃 (哈龙)、四氯化碳、甲基氯仿、溴甲烷及含氢氯氟烃 (HCFCs) 等。

研究表明, 含氯原子的物质 (如 CFCs、HCFCs 类物质) 化学性能比较稳定, 在大气对流层中不易分解, 寿命可达几十年甚至上百年 (如 CFC-12 为 102 年), 在大气中可长期存在。因此, 有机会扩散到平流层, 当它们进入平流层后, 在强烈的太阳紫外线作用下, 释放出氯离子, 氯离子与臭氧发生化学反应, 生成一氧化氯和普通氧分子。生成的一氧化氯极不稳定, 可与一个氧原子结合, 使氯离子再次游离出来从而产生链锁反应^[1]。这样大量消耗臭氧, 对臭氧层产生严重的破坏, 形成所谓的臭氧层空洞。最终导致照射到地球表层的紫外线增加。

溴原子也具有类似的效应, 含溴的 Halons 也属于消耗臭氧层的物质 (ODS)。

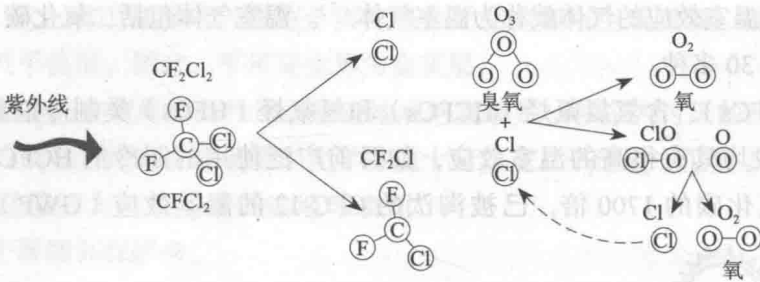


图 1-3 CFC-12 破坏臭氧层的过程^[1]

需要说明的是, 尽管破坏臭氧层的 ODS 属于卤代烃类物质, 但并非所有的卤代烃类物质都破坏臭氧层, 如不含氯的 HFCs 类卤代烃对臭氧层就没有破坏作用。

在此理论的基础上就提出了限制和禁用 ODS 的问题。

1.1.4.2 臭氧层破坏的现状

在臭氧层内, 臭氧的生成与消耗保持着动态的平衡, 使臭氧的浓度保持相对稳定。然而世界各地观测站的观测表明, 20 世纪 70 年代以来大气臭氧总量呈逐年减少的趋势, 并推定减少主要发生在臭氧层。

20 世纪 70 年代中期, 美国科学家发现南极洲上空的臭氧层有变薄的现象。20 世纪 80 年代发现, 自每年 9 月下旬开始, 南极洲上空的臭氧总量迅速减少一半左右, 极地上空臭氧层中心地带, 近 90% 臭氧被破坏, 若从地面向上观测, 高空臭氧层已极其稀薄, 与周围相比像是形成了一个直径上千公里的洞, 称为“臭氧空洞”(图 1-4)。

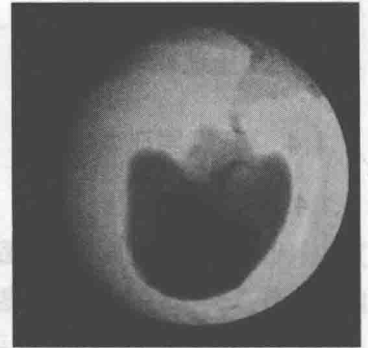


图 1-4 臭氧空洞 (图中蓝色区域)^[4]

美国宇航局 1986 年组织了十多个国家共 100 名科学家进行了臭氧趋势调查。他们根据全球各地面观测站保存的历史记录和 1979 年以来卫星的观测纪录, 用计算机进行仔细分析后, 于 1988 年 3 月发表了调查结果, 进一步证实了大气臭氧正趋减少, 并指出减少主要发生在臭氧层。

图 1-5 所示为南极上空臭氧层的历年变化情况。

历年对臭氧层监测的发现可汇总如下:

- 1985 年, 南极上空出现臭氧空洞;
- 1987 年, 在北极上空发现臭氧空洞;
- 1992 年, 在北半球上空发现臭氧层明显见薄;
- 1997 年, 在北半球上空发现臭氧层更加见薄;
- 1999 年, 南半球上空发现臭氧层空洞;
- 2000 年, 南半球上空臭氧层空洞扩大到智利南部。