

俞炳丰 主编 蒋立军 沈传文 王泮浩 副主编

中央空调新技术 及其应用



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

中央空调新技术及其应用

俞炳丰 主编

蒋立军 沈传文 王泮浩 副主编



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

中央空调新技术及其应用/俞炳丰主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 8
ISBN 7-5025-6061-0

I. 中… II. 俞… III. 集中空气调节系统-基本知识 IV. TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 100503 号

中央空调新技术及其应用

俞炳丰 主编

蒋立军 沈传文 王洋浩 副主编

责任编辑: 戴燕红

责任校对: 郑捷

封面设计: 于兵

*

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

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 30½ 字数 757 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6061-0/TB·73

定 价: 65.00 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

随着城市现代化的快速发展和人民生活水平的普遍提高,中央空调正越来越广泛地得到应用。同时,为了达到节能高效,促进环境保护与人类身心健康,中央空调自身发展了一些新技术,而且通过与其他领域技术的交叉融合,中央空调技术呈现更加新颖、精致的特点。在此背景下,许多从事中央空调设计、制造、安装、运行的专业人员和管理人员迫切希望了解和掌握中央空调新技术及其应用方面的知识,本书便是为适应这一要求而编写的。

本书系统地叙述了中央空调若干新技术及其应用。全书包括基础理论和技术应用两大部分,共分14章。分别介绍了制冷原理、空调原理、传热学基本理论、智能控制其本理论、变制冷剂流量多联分体式空调技术、气流组织技术、变风量空调技术、低温送风技术、环境热源热泵技术、电机及驱动技术、冰蓄冷技术、楼宇自动化技术、微生物污染防治技术、空气品质处理技术。在这些新技术的介绍中,不仅阐述了这些新技术的诞生背景及基本理论,而且介绍了这些新技术在中央空调中的应用情况,还指出了这些新技术进一步发展的研究方向。

本书各章的编写人员是:第1、13章西安交通大学俞炳丰教授;第2、11、12章西安交通大学王泮浩博士;第3章西安交通大学何茂刚教授;第4、10章西安交通大学沈传文博士;第5章无锡小天鹅中央空调有限公司蒋立军博士、张文强工程师;第6章西安交通大学孔琼香讲师;第7章西安交通大学鱼剑琳博士;第8章中国建筑西北设计研究院赵民工程师;第9章山东建筑工程学院刁乃仁教授;第14章西安交通大学刘艳华博士。由俞炳丰教授对全书进行了统稿。在本书统稿中,得到了研究生罗昔联、陈志在文字、插图处理方面的协助。本书的顾问是中国制冷学会吴元炜副理事长与潘秋生副理事长、中国制冷空调工业协会杨炎如秘书长以及无锡小天鹅中央空调有限公司陆桂良总经理,本书的立项及编写过程得到了他们的大力支持。在此一并表示由衷的感谢。

本书是一本实用性很强的专业技术用书,可供从事中央空调技术各层次专业人员阅读与使用。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教材。中央空调业的研发人员、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可用于中央空调业技术人员、维修人员、管理人员的培训。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

俞炳丰

2004年8月

目 录

1 制冷原理	1
1.1 制冷剂及其替代	2
1.1.1 制冷剂的种类和符号表示	2
1.1.2 选择制冷剂的原则	3
1.1.3 ODP 和 GWP	4
1.1.4 制冷剂替代	6
1.2 单级压缩蒸气制冷循环	12
1.2.1 单级压缩蒸气制冷的理论循环	12
1.2.2 单级压缩蒸气制冷的实际循环	22
1.3 溴化锂吸收式制冷循环	25
1.3.1 溴化锂水溶液的性质	25
1.3.2 溴化锂吸收式制冷循环原理	28
1.3.3 溴化锂吸收式制冷机的一般特点	34
1.3.4 提高溴化锂吸收式制冷机性能的方法	35
参考文献	37
2 空调原理	39
2.1 湿空气的性质与焓湿图	39
2.1.1 湿空气的组成及基本状态参数	39
2.1.2 湿空气的焓湿图及其应用	43
2.2 空调房间热、湿负荷与送风量的确定	51
2.2.1 室内外空气计算参数的确定	51
2.2.2 空调房间热、湿负荷的计算	53
2.2.3 空调房间送风状态和送风量的确定	57
2.2.4 空调系统新风量的确定	59
2.3 空气调节系统	60
2.3.1 空气调节系统的分类	60
2.3.2 集中式空调系统	61
2.3.3 风机盘管空调系统	73
2.4 空调系统的全年运行调节	76
2.4.1 室外空气状态变化时的运行调节	76
2.4.2 室内冷(热)、湿负荷变化时的运行调节	79
2.5 空气热湿处理及净化处理设备	82
2.5.1 喷水室	82

2.5.2	表面式热交换器	85
2.5.3	空气加湿处理设备	86
2.5.4	空气减湿处理设备	88
2.5.5	空气过滤器	90
2.5.6	空气的除臭和离子化	92
	参考文献	93
3	传热学基本理论	95
3.1	概述	95
3.1.1	传热学研究对象及其在中央空调中的应用	95
3.1.2	热量传递的三种基本方式	95
3.1.3	传热问题的能量守恒	97
3.2	导热	98
3.2.1	导热基本定律和导热微分方程	98
3.2.2	通过平壁、圆筒壁的一维稳态导热	101
3.2.3	通过肋片的导热	102
3.2.4	非稳定导热的基本概念	105
3.3	对流换热	106
3.3.1	对流换热概述	106
3.3.2	相似原理和准则关系式	109
3.3.3	强制对流换热及其实验关联式	111
3.3.4	自然对流换热及其实验关联式	115
3.3.5	凝结换热及其表面传热系数计算	116
3.3.6	沸腾换热及其实验关联式	118
3.4	辐射换热	120
3.4.1	热辐射的基本概念	120
3.4.2	热辐射的基本定律	121
3.4.3	角系数和黑体间辐射换热	124
3.4.4	灰体间的辐射换热	125
3.4.5	气体辐射	126
3.5	复合换热、传热过程与换热器计算	127
3.5.1	复合换热	127
3.5.2	传热过程及其计算	128
3.5.3	热换器的型式及其平均温差	130
3.5.4	换热器的热计算	133
3.5.5	传热的强化和隔热保温技术	134
3.6	传质过程	135
3.6.1	分子扩散传质	135
3.6.2	对流传质	136
3.6.3	传热与传质同时进行的过程	138
	参考文献	139

4 智能控制基本理论	140
4.1 智能控制理论概述	140
4.1.1 智能控制理论发展概述	140
4.1.2 智能控制理论的定义	141
4.1.3 常用智能控制理论的发展及在空调控制中的应用概述	141
4.2 模糊控制理论	146
4.2.1 模糊控制的基本定义	146
4.2.2 模糊算法及控制	148
4.2.3 模糊控制系统设计方法及实现	150
4.2.4 模糊控制在制冷与空调系统中的应用	150
4.3 神经网络控制	153
4.3.1 神经网络原理及概述	153
4.3.2 前向神经网络	154
4.3.3 神经网络的发展及应用	157
4.4 专家系统	159
4.4.1 专家系统原理	159
4.4.2 专家系统的组成	160
4.4.3 专家系统的设计	161
4.5 遗传进化算化	162
4.5.1 遗传进化算法的原理	162
4.5.2 标准遗传进化算法的实现	163
4.5.3 进化模糊控制器的实现	164
4.6 混沌系统及分形	165
4.6.1 混沌系统的定义及行为	165
4.6.2 分形的定义	166
4.6.3 混沌系统的控制及算法	168
参考文献	169
5 变制冷剂流量多联分体式空调技术	171
5.1 变制冷剂流量多联分体式空调技术及其发展	171
5.1.1 制冷方法与原理	172
5.1.2 制冷剂	173
5.1.3 制冷空调的节能	173
5.1.4 变制冷剂流量多联分体式空调技术	174
5.1.5 变制冷剂流量多联分体式空调系统类型	181
5.2 变制冷剂流量多联分体式空调系统几个关键技术	186
5.2.1 容量控制原理	187
5.2.2 容量控制	194
5.2.3 回油控制技术	195
5.2.4 噪声控制技术	206
5.2.5 网络控制技术	210

5.3 变制冷剂流量多联分体式空调系统实例	222
5.3.1 SMV 多联体中央空调系统布置方式及设备选型	222
5.3.2 SMV 多联体中央空调系统室外机房布置	222
5.3.3 新风供应方式	224
5.3.4 SMV 多联体中央空调系统控制方式	224
5.3.5 SMV 多联体中央空调系统与常规系统经济技术指标比较	224
5.3.6 SMV 多联体中央空调系统特点及应用	225
参考文献	225
6 气流组织技术	226
6.1 对气流组织的要求与评价	226
6.1.1 概述	226
6.1.2 对温度梯度的要求	226
6.1.3 对工作区风速的要求	226
6.1.4 气流分布性能指标 ADPI	227
6.1.5 通风效率 E_v	227
6.1.6 空气年龄	228
6.1.7 换气效率	228
6.2 送风口的空气射流	229
6.2.1 等温自由射流	229
6.2.2 非等温自由射流	230
6.2.3 受限射流	231
6.2.4 平行射流	232
6.2.5 旋转射流	232
6.2.6 送风口型式	233
6.3 回风口的空气汇流	235
6.3.1 空气汇流	235
6.3.2 回风口型式	236
6.4 气流组织形式	236
6.4.1 混合式气流组织	236
6.4.2 置换式气流组织	238
6.4.3 单向流式气流组织	239
6.4.4 局部式气流组织	240
6.5 气流组织的设计	240
6.5.1 概述	240
6.5.2 侧送风的设计计算	240
6.5.3 散流器送风的设计计算	243
6.5.4 喷口送风的设计计算	243
6.5.5 置换通风的气流组织设计	245
6.5.6 单向流式气流组织的设计	249
6.6 CFD 技术在气流组织设计的应用	252

6.6.1	CFD 技术在气流组织设计的作用	252
6.6.2	室内气流的数值模拟方法	253
6.6.3	两种气流组织的数值模拟实例	256
	参考文献	259
7	变风量空调技术	261
7.1	概述	261
7.2	变风量空调系统组成	262
7.2.1	变风量系统的主要形式	262
7.2.2	变风量末端装置	263
7.3	变风量空调系统控制方法	266
7.3.1	室内温度控制	266
7.3.2	新风量控制	270
7.3.3	室内正压控制	273
7.3.4	送风温度控制	273
7.4	变风量系统的应用	274
7.4.1	变风量系统的应用配置	275
7.4.2	变风量系统应用中注意的问题	276
	参考文献	277
8	低温送风技术	279
8.1	低温送风系统概述	279
8.1.1	低温送风技术发展历史及现状	279
8.1.2	低温送风系统的分类	280
8.2	低温送风的特点及适用条件	280
8.2.1	低温送风的优点	280
8.2.2	局限性	283
8.2.3	适用场所	284
8.3	低温送风系统的构成	284
8.3.1	冷却盘管	284
8.3.2	风机	286
8.3.3	风管	288
8.3.4	末端扩散设备	292
8.4	低温送风系统设计	296
8.4.1	低温送风系统设计步骤	296
8.4.2	设计实例分析	298
	参考文献	305
9	环境热源热泵技术	307
9.1	概述	307
9.1.1	热泵与建筑空调节能及环境	307
9.1.2	热泵技术在我国发展应用的背景与条件	308
9.1.3	热泵的热力学循环与能量利用系数	309

9.2 热泵的热源	311
9.2.1 热泵的热源及其分类	311
9.2.2 环境热源	312
9.2.3 排热热源	314
9.3 热泵系统的分类及经济性指标	316
9.3.1 热泵的工作原理及分类	316
9.3.2 空气源热泵	316
9.3.3 水源热泵	318
9.3.4 地源热泵	319
9.3.5 热泵的热力经济性指标	319
9.4 热泵在空调工程中的应用	320
9.4.1 空气源热泵冷热水机组	320
9.4.2 水环热泵空调系统	322
9.4.3 水源热泵空调系统	324
9.4.4 地源热泵空调系统	326
9.5 热泵系统的节能技术	328
9.5.1 热泵空调器的变频技术	328
9.5.2 热泵的建筑余热和空调系统余热的热回收技术	329
9.5.3 热泵式太阳能热水设备	330
9.6 热泵技术发展的展望	330
9.6.1 热泵技术的发展与现状	330
9.6.2 热泵技术发展的展望	331
参考文献	333
10 电机及驱动技术	335
10.1 电力电子器件概述	335
10.1.1 基本变频调速系统	335
10.1.2 制冷系统中常用电力电子器件	336
10.1.3 常用电力电子控制器件 DSP	346
10.2 电机控制中脉宽调制技术概述	349
10.2.1 逆变器脉宽调制 (PWM) 控制方法基本概念及性能指标	349
10.2.2 正弦 PWM 技术	350
10.2.3 优化 PWM 技术	353
10.2.4 随机 PWM 技术	354
10.2.5 PWM 控制中的死区补偿方法	354
10.3 异步电动机及驱动	355
10.3.1 异步电动机基本控制原理	355
10.3.2 异步电动机的矢量控制及实现	357
10.4 永磁电动机及驱动	360
10.4.1 永磁电动机控制基础	361
10.4.2 现代控制技术及应用	366

10.5 开关磁阻电机及驱动	369
10.5.1 开关磁阻电机	369
10.5.2 开关磁阻电机系统及控制	374
参考文献	378
11 冰蓄冷技术	379
11.1 蓄冷技术的应用背景与经济分析	379
11.1.1 蓄冷技术的发展概况	379
11.1.2 蓄冷空调的发展阶段	380
11.1.3 蓄冷空调的基本原理	381
11.1.4 蓄冷空调经剂性分析	382
11.2 空调蓄冷方式选择	384
11.3 冰蓄冷空调技术	385
11.3.1 基本定义	385
11.3.2 冰蓄冷设备	386
11.3.3 冰蓄冷空调系统	392
11.3.4 冰蓄冷空调系统的运行策略与自动控制	394
11.4 冰蓄冷空调系统设计	395
11.5 冰蓄冷空调工程实例	398
11.5.1 工程简介	398
11.5.2 蓄冰方案	399
11.5.3 设备选型	400
11.5.4 系统测试	400
参考文献	401
12 楼宇自动化技术	402
12.1 智能建筑概论	402
12.1.1 智能建筑的定义	402
12.1.2 智能建筑的组成	403
12.1.3 智能建筑的现状和发展趋势	408
12.2 楼宇自动化系统	409
12.2.1 楼宇自控系统的结构组成	410
12.2.2 楼宇自控系统的功能简介	411
12.2.3 楼宇自动化系统中的控制网络技术	416
12.3 某BAS系统控制方案	421
12.3.1 工程概况	421
12.3.2 控制方案	422
参考文献	423
13 微生物污染防治技术	425
13.1 微生物污染分类与常用微生物污染消除方法	425
13.1.1 微生物污染分类	425
13.1.2 微生物污染的常用消除方法	426

13.1.3	空调系统控制微生物污染的必要性	430
13.2	防治 SARS 时期空调系统的应急措施	431
13.2.1	不同空调方式的应对办法	431
13.2.2	其他相关措施	433
13.3	对今后空调系统方式的思考	434
13.3.1	室内环境控制需考虑的因素	434
13.3.2	目前空调方式的评价	435
13.3.3	对未来空调系统方式的思考	436
13.4	空调制造业对微生物污染的防治策略	441
13.4.1	影响室内空气品质的因素	441
13.4.2	生物污染的防治措施	442
13.4.3	空调产品防治生物污染研发工作的几点建议	448
	参考文献	448
14	空气品质处理技术	450
14.1	影响室内空气品质的主要污染物	450
14.1.1	悬浮颗粒物	450
14.1.2	气体态污染物	451
14.2	纤维过滤技术	452
14.2.1	纤维过滤过程与过滤机理	452
14.2.2	纤维过滤器的性能	453
14.2.3	影响过滤效率的主要因素	454
14.2.4	纤维过滤器在空气品质处理中的应用	455
14.3	静电过滤技术	455
14.3.1	静电过滤原理	455
14.3.2	影响过滤效率的因素	456
14.3.3	静电过滤在空气品质处理中的应用	457
14.4	吸附技术	457
14.4.1	吸附过程与吸附剂	457
14.4.2	影响气体吸附效果的因素	460
14.4.3	吸附原理	460
14.4.4	吸附在空气品质处理中的应用	461
14.5	光催化技术	461
14.5.1	光催化剂及光催化原理	462
14.5.2	气-固相光催化反应过程	462
14.5.3	影响光催化净化的主要因素	462
14.5.4	光催化技术在空气品质处理中的应用	464
14.6	负离子技术	465
14.6.1	负离子与人体健康	465
14.6.2	负离子的空气净化原理	466
14.6.3	负离子发生技术	467

14.6.4	负离子技术在空气品质处理中的应用	467
14.7	臭氧技术	468
14.7.1	臭氧净化与人体健康	468
14.7.2	影响净化效果的因素	468
14.7.3	臭氧发生技术	468
14.7.4	臭氧技术在空气品质处理中的应用	469
14.8	低温等离子体技术	470
14.8.1	低温等离子体的空气净化原理	470
14.8.2	低温等离子体的发生技术	470
14.8.3	低温等离子体技术在空气品质处理中的应用	471
14.9	组合技术	472
14.9.1	光催化与吸附技术的组合	472
14.9.2	光催化与臭氧技术的组合	472
14.9.3	光催化与化学催化技术的组合	472
	参考文献	473

1 制冷原理

从低于环境温度的空间或物体中吸取热量，并将其转移给环境介质的过程称为制冷。制冷技术是为适应人们对低于环境温度条件的需求而产生和发展起来的。

实现制冷所需的机器和设备，称为制冷机。例如机械压缩式制冷机包括压缩机、蒸发器、冷凝器和节流机构；吸收式制冷机包括发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器和节流机构等。在制冷机中，除压缩机、泵和风机等机器外，其余是换热器及各种辅助设备，统称制冷设备。而将制冷机同消耗冷量的设备结合一起的装置称为制冷装置，例如冰箱、冷库、空调机等。

在常用的液体蒸发式制冷中，制冷机都依靠内部循环流动的工作介质来实现制冷过程。它不断地与外界产生能量交换，即不断地从被冷却对象中吸取热量，向环境介质排放热量。所谓环境介质是指大自然中的空气和水。制冷机使用的工作介质称为制冷剂。制冷剂在制冷系统中所经历的一系列热力过程总称为制冷循环。为了实现制冷循环，必须消耗能量，该能量可以是电能、热能、机械能、太阳能及其他形式的能量。

制冷、制热与空调技术是相互独立而又密切相关的学科。为使某一物体或空间达到或维持一定的低温，就要有一温度更低的冷源来吸收该物体或空间的热量，并把这一热量转移到外界环境中去。冷源的制取有两种方法：一种是利用天然冷源，如天然冰或地下水（冬灌夏用的深井水）；另一种是人工制冷，利用热力学中的制冷循环方法制取冷源。制热的意义是使某一物体或空间的温度高于环境介质的温度。这就要有一温度更高的热源向该物体或空间放出热量，以使该物体或空间达到或维持一定的高温。热源的产生也有两种方法：常见的是将燃料燃烧产生的高温火焰或烟气等直接用作热源，或通过锅炉产生蒸汽、热水等作为间接的热源；另一种方法是利用热泵将废热热源或自然界的低温热源转变为高温热源。空调是空气调节的简称。就是把经过处理的空气，以一定的方式送至某一空间，使该空间内空气的温度、湿度、气流速度、洁净度和噪声等控制在需要的范围内。为此，空气必须经过加热、加湿、冷却、减湿等处理过程。换言之，空调技术以制冷、制热技术作为基础，产生冷、热源的设备是空调系统的重要组成部分^[1]。

几乎每一提供冷却作用的空调系统都依赖于一套制冷系统来提供冷的液体如水或盐水，或者直接地从空气流中移去显热和潜热。向空调系统也提供热量的制冷系统常被称为热泵。制冷是有别于暖通空调系统设计的专业，很少有工程师同时是这两个领域的专家。由于制冷系统的性能对空调系统的控制和性能有重要影响，因此那些涉足于空调系统的人们需要有一些基本的制冷知识。对于制冷知识的领会有助于空调工程师理智地选择制冷设备并将设备适当地匹配到整个系统^[2]。

当前制冷空调工程中用得最广泛的是蒸汽压缩式制冷循环和吸收式制冷循环。前者利用制冷剂产生的潜热，通过压缩、冷凝、节流、蒸发 4 个过程组成的封闭循环实现制冷，是现在应用最广泛的一种制冷循环；后者由吸收剂和制冷剂组成工质对溶液，利用热能驱动，实

现发生、冷凝、节流、蒸发、吸收几个过程组成的封闭循环。目前最普遍的是水-溴化锂吸收式制冷机，大量应用于空调工程中。本章将主要介绍采用替代制冷剂的动向、蒸气压缩式制冷和水-溴化锂吸收式制冷的原理与系统。

1.1 制冷剂及其替代

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工质。

制冷剂是随着制冷技术的发展而发展的，1834年，美国人珀金斯发明了世界上第一台制冷机，采用的制冷剂为乙醚（ CH_3OCH_3 ）。1866年，二氧化碳（ CO_2 ）被用作制冷剂。1872年，波义耳发明以氨（ NH_3 ）为制冷剂的压缩机。1876年，使用二氧化硫（ SO_2 ）为制冷剂。氯甲烷（ CH_3Cl ）在1878年开始使用。到20世纪30年代，一系列的卤代烃，美国杜邦公司称其为氟里昂（Freon）的制冷剂相继问世。这些热力性能优良、无毒、不燃、能适用不同温度区域的工作流体，显著地改善了制冷机的性能，大大促进了制冷与空调行业的发展。随后于20世纪50年代，开始使用共沸制冷剂。60年代开始使用非共沸制冷剂。此时卤代烃制冷剂几乎达到了相当完善的地步。

20世纪80年代，科学家们指出一些氟里昂制冷剂（CFCs、HCFCs）对臭氧层有损耗作用进而对人类健康和人类所依赖的生态环境造成巨大有害影响。随之而来的制冷剂替代技术的发展，使制冷剂的选择进入一个主要以节省能源和保护环境为宗旨的新时代。

1.1.1 制冷剂的种类和符号表示

常用制冷剂按化学成分区分，主要有无机物、氟里昂和碳氢化合物三类，按组成区分，有单一制冷剂和混合物制冷剂。

根据ISO817制冷剂编号规定，制冷剂符号由字母“R”和跟随其后的一组数字与字母组成。“R”表示制冷剂，后面的数字与字母是根据制冷剂的化学组成按一定规则编写的。

下面简述各类制冷剂符号的编写规则。

(1) 单一制冷剂

① 氟里昂和烷烃类。烷烃化合物的分子通式为 $\text{C}_m\text{H}_{2m+2}$ ；氟里昂的分子通式 $\text{C}_m\text{H}_n\text{F}_x\text{Cl}_y\text{Br}_z$ （ $n+x+y+z=2m+2$ ）。它们的符号为 $\text{R}(m-1)(n+1)(x)\text{B}(z)$ 。如二氟二氯甲烷（ CCl_2F_2 ）为 R12，五氟乙烷（ CF_3CHF_2 ）为 R125，丙烷（ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ）为 R290；600系列被指定用于一些有机制冷剂，如丁烷为 R600，异丁烷为 R600a。

对于环状衍生物，在制冷剂符号的数字前加字母“C”，如八氟环丁烷（ C_4F_8 ）的符号为 RC318。链烯烃及链烯烃的卤代物，在“R”后面先写1，其后的数字编写方式与氟里昂及烷烃类符号表示中的数字编写方式相同，例如，丙烯（ C_3H_6 ）符号为 R1270。当乙烷系列有异构体时，每一种异构体都有相同的编号，最对称的只用编号表示。当异构体变得越来越不对称时，附加连续的小写字母（例如 a, b, c）。当丙烷系列有异构体时，每一种异构体都有相同的编号，异构体由两个附加的小写字母来区分。

如上所述，在单一氟里昂和烷烃类制冷剂所规定的编号前一般加字母“R”。但近年来由于涉及臭氧层的损耗情况，为了能从符号上显示制冷剂元素的组成，从而了解是否含有氯或溴等消耗臭氧的元素，也可以在规定的符号中，不用“R”而用组成元素符号：用字母

“C”表示碳，如存在溴、氯、氟，则分别用字母“B”、“C”、“F”表示。含有氢的制冷剂，字母“H”放在更前面。这样分子中含氯、氟、碳的完全卤代烃写作“CFC”，如 CFC-12；分子中含有氢、氟、氯、碳的不完全卤代烃写作“HCFC”，如 HCFC-22；分子中含有氢、氟、碳的无氯卤代烃写作“HFC”，如 HFC-134a。碳氢化合物则写作“HC”，如 HC-170。

② 无机物。无机物的符号中编号首位为 7，7 后面的数字是该无机物的分子量（取整数部分）例如：R717 表示 NH_3 ，R718 表示 H_2O ，R744 表示 CO_2 ，R764 表示 SO_2 。注意，因为 N_2O 对和 CO_2 。分子量的整数部分相同，为区别起见，用 R744a 表示 N_2O 。

(2) 混合物制冷剂

混合物制冷剂是由两种或多种化合物组成的，按其特性分为共沸混合物制冷剂和非共沸混合物制冷剂。

共沸混合物制冷剂呈现单一制冷剂的特性，起单一制冷剂的作用。共沸混合物制冷剂用“5”开始的 3 位数字编号，如 R500，R502。

混合物制冷剂还保持组分物质某些特性的称为非共沸混合物制冷剂。例如，不像单一制冷剂和共沸混合物制冷剂那样在某一个温度下沸腾，各组分物质的沸点决定了非共沸混合物制冷剂在一个温度区间内沸腾。非共沸混合物制冷剂的编号由数字“4”开始的三位数表示，并以一个字母结尾，以区分相同组分物质的不同质量分数，如 R410A、R407C。

混合物制冷剂由它们各自的制冷剂编号和质量分数做标识。制冷剂根据其组分的标准沸点由低到高排列。例如，R501 用 R22/12 (75/25) 表示，R407C 则标识为 R32/125/134a (23/25/52)。

1.1.2 选择制冷剂的原则

通常在选用制冷剂时应考虑下面一些重要性质：①热力学性质（高汽化潜热、低凝结温度、相对高的临界温度、正的蒸发压力、相对低的冷凝压力）；②物理性质和化学性质（高蒸气介电强度、良好的传热性能、令人满意的溶油性、低溶水性、惰性和稳定性）；③安全性（不易燃、无毒性、无刺激性）；④对环境的作用（臭氧损耗潜能低、全球变暖潜能小）。另外，制冷剂应有较低的成本，发生泄漏时易被探测。

原则上，制冷剂的选择必须考虑制冷剂对当地环境可能产生的作用，更应考虑对全球环境的潜在影响，还要考虑制冷剂对特定制冷系统的适用性。这些考虑可具体说明如下^[2]。

(1) 具有环境可接受性。所选制冷剂的 ODP 值与 GWP 值必须是零或尽可能小。如果有必要采用 ODP 值或 GWP 值大于零的制冷剂，那么必须尽量减少其充灌量，并使系统的设计和安装能防止泄漏。所选制冷剂不危害水，不形成雾，能重新使用或易于处置。

(2) 热力学性质满足指定的要求，能量效率高。制冷剂在给定的工况下进行制冷循环时有令人满意的循环特性，包括单位容积制冷量和单位质量制冷量较大；压力和压力比适中；排气温度不过高；等熵压缩的比功小；制冷系数较大；制冷机的传热性能和流动性能好。需强调的是，如果制冷剂对环境的影响仅仅是全球变暖效应，在能量效率与低充灌量不能同时满足的情况下，必须优先考虑能量效率。

(3) 制冷系统的运行安全可靠。制冷剂的化学稳定性（高温高压时）和热稳定性好；对钢或其他金属不腐蚀；与润滑油相容。无毒、无刺激性气味，不燃、不爆或燃爆性很小，使用安全。

(4) 价格恰当，可在市场上购买。事实上，很难找到完全符合上述要求的制冷剂。所选的制冷剂是否合适，应根据使用要求、使用条件、系统容量和装置种类来进行综合评价。然

而,为了保护和改善人类生存环境,对于任何所选制冷剂,其 ODP 值和 GWP 值等于零或接近零的条件是无论如何必须满足的。

1.1.3 ODP 和 GWP^[3]

(1) 臭氧损耗潜能 (ODP)。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;②白内障罹患率增加;③海洋食物网会受到严重干扰;④干扰陆地生态系统;⑤加剧空气污染;⑥加速户外塑胶材料的老化。

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。

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 值及其大气寿命。

(2) 全球变暖潜能 (GWP)^[3]。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°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 (N_2O)、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作出精确预测,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。

氯氟烃 (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