



浙江省“十一五”重点教材建设项目



高等教育“十一五”规划教材

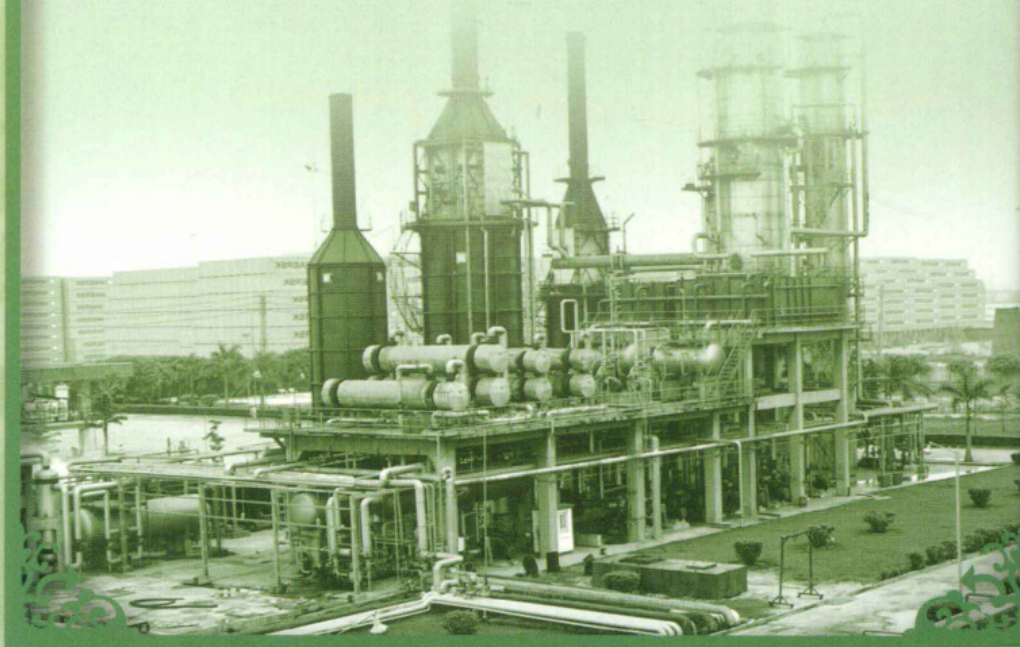
应用化工类专业教材系列

氟化工生产技术

FUHUAGONG SHENGCHANJISHU

(中)

胡 伟 主编



科学出版社

www.sciencep.com

高等教育“十一五”规划教材 应用化工类专业教材系列

- 无机化学
- 分析化学
- 有机化学
- 仪器分析
- 无机与分析化学
- 化工原理
- 微生物基础
- 化工基础
- 高分子基础
- 精细化学品分析
- 化工设计概论
- 化工仪表自动化
- 化工制图与CAD
- 精细化工概论
- 精细化工新技术
- 氟化工生产技术
- 精细化学品生产技术
- 精细有机合成技术
- 精细化学品检验技术
- 精细化工实验与实训
- 精细化工设备与维护
- 精细化工设备
- 日用化学品生产技术
- 化妆品微生物及检验技术
- 表面活性剂化学及应用
- 表面活性剂性能及应用
- 精细化学品营销实务
- 化学化工信息检索
- 化工环保与安全生产技术
- 氟化工生产技术(上、中、下)
- 涂料生产技术
- 纤维用精细化学品
- 化工产品营销实务

化学化工类专业编辑部

联系电话: 010-62135235

E-mail: shenly@abook.cn

销售分类建议: 化学/化工/分析/环境/轻化工/应用化工(VH04)

科学出版社 职教技术出版中心

<http://www.abook.cn>

ISBN 978-7-03-025882-3



9 787030 258823

定价: 68.00 (上、中、

浙江省“十一五”重点教材建设项目
高等教育“十一五”规划教材

应用化工类专业教材系列

氟化工生产技术 (中)

胡 伟 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本套书是国内第一套系统地介绍氟化工生产技术的教材。全书按无机氟化工生产工艺、有机氟化工生产技术和含氟聚合物生产工艺分为上、中、下三册。上册主要介绍概述、萤石资源、氢氟酸、无机氟化盐、精细无机氟化工等内容；中册主要介绍 ODS 及其替代品、含氟医药和含氟农药、含氟染料、有机氟中间体、含氟表面活性剂与整理剂等内容；下册主要介绍氟聚合物生产工艺，包括聚四氟乙烯、可熔性氟树脂、氟橡胶与氟涂料等内容。

本书既可作为高等学校应用化工类专业培训教材，也可作为从事氟化工行业工程技术人员的参考、培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

氟化工生产技术(中)/胡伟 主编. —北京: 科学出版社, 2009

(浙江省“十一五”重点教材建设项目·高等教育“十一五”规划教材·应用化工类专业教材系列)

ISBN 978-7-03-025882-3

I. 氟… II. 胡… III. 氟-生产工艺-高等学校-教材 IV. TQ124.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 196543 号

责任编辑: 沈力匀 周 恢/责任校对: 柏连海
责任印制: 吕春珉/封面设计: 东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010 年 2 月第一次印刷 印张: 15 1/4

印数: 1—3 000 字数: 356 000

定价: 68.00 元(上、中、下)

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

销售部电话: 010-62134988 编辑部电话: 010-62135235 (VP04)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

高等教育“十一五”规划教材
高职高专应用化工类专业系列教材
编写委员会

主任 李奠础

副主任 张歧 林峰 郑光洪 龚盛昭 葛虹

委员 (按姓氏笔画排序)

丁文捷	丁颖	于海军	王玉环	王爱军
黄华章	胡伟	尹美娟	白嘉玲	冯西宁
刘红波	刘宏	安红宝	杨东洁	杨丽芳
李文典	李春	李景	李勤	吾国强
吴卫	吴丽旋	吴雨龙	张钧	张桃先
陈咏梅	陈瑞珍	郑孝英	赵宁	胡智华
胡伟	洪亮	徐玲	高虹	高洪潮
高瑞英	郭会灿	郭建民	黄健光	彭建兵
董利	韩文爱	税永红	薄新党	

本书编写人员

主 编 胡 伟

副 主 编 吾国强 王树华 余考明 苗 育

参编人员 (按照姓氏笔画排序)

王绍勤	冯晓亮	吕延文	朱有良	许建帼
陈科峰	吴周安	周 强	周黎旻	郑土才
徐庐峰	龚海涛	谢建伟	谢 艳	雷 宏
潘绍忠				

前 言

氟是一种非常有趣的元素，氟化合物的独特性能及其广泛应用越来越受到人们的重视，越来越多的企业和科研院所加入到氟化工科研生产和消费领域。行业人士一直希望有一套贴近生产技术的教材，经过两年多的努力终于成稿了。本书重点阐述氟化工的基本生产工艺和技术发展趋势，并系统地介绍氟化物的物性、用途，目的是让大家更科学地认识氟化工产业，促进产、学、研的协作和可持续发展。

本书分上、中、下三册，上册侧重于无机氟化工生产技术，由王树华负责审稿；中册侧重于有机氟化工生产技术，由胡伟、吾国强负责审稿；下册侧重于氟聚合物生产技术，由余考明负责审稿。本书既可以作为氟化工专业技术培训和职业技能培训教材，也可以供氟化工科研、生产和应用领域相关人员参考。

本书由胡伟担任主编。具体编写分工如下：

上册：第一章和第五章的第一、二、四节由王树华编写；第二章和第三章由龚海涛编写；第四章和第五章的第三节由王绍勤编写；中册：第六章由龚海涛编写；第七章第一节由谢艳、吾国强编写；第七章第二节由雷宏、吾国强编写；第七章第三、四节由郑土才、吾国强编写；第八章第一节由朱友良编写；第八章第二节由周强编写；下册：第九章第一节由冯晓亮、朱友良编写；第九章第二节由余考明、许建帼编写；第十章第一节由余考明编写；第十章第二节由许建帼编写；第十一章由王绍勤编写。

在本书的编写过程中，得到中国氟硅有机材料工业协会、浙江省氟化学工业协会、巨化集团公司、衢州学院和国家氟材料工程技术研究中心等单位的大力支持和帮助。原巨化集团公司人力资源部的张则瑜先生曾为本书的筹备和出版多方奔走；多氟多化工股份有限公司侯红军总经理、黎明化工研究院的牛学坤副总工程师分别对无机氟化盐和含氟特种气体章节进行了审查，提出了宝贵意见；巨化集团公司技术中心樊利民先生对本书进行了校审，衢州学院周文军、裴建云两位老师承担了本书部分插图的制作。在此，谨表示衷心地感谢！特别感谢公益性项目“工业制品中多种全氟化合物检测方法研究、风险评估及PFOS、PFOA替代品研究”（2007GYJ031）和国家科技支撑计划项目“专用高性能高分子材料聚合关键技术研究及应用”（2007BA000791）对本书出版的资助。

由于氟化工生产工艺技术历来是比较保密的，能参考的资料不多。并且编写组成员的知识和水平有限，加上时间比较紧迫，书中难免存在差错，敬请广大读者批评指正。

序

氟化学工业是 20 世纪 60 年代以来兴起的化学工业的重要分支。随着科学技术和经济社会的日新月异与飞速发展，氟化工产业对航空航天、信息通信、生命科学、新能源等新兴产业和可持续发展的传统产业的支撑作用越来越显著。近十多年来，随着中国国民经济的快速增长，借助于高品位萤石资源的优势，我国氟化学工业得到了长足发展，已成为氟化工生产大国，尤其是基础氟化工具备了较强的国际竞争力。

同时，我们要清醒地看到，尽管亚洲是全球氟化工领域发展最活跃的地区，但我国氟化学品的人均消费量还远低于发达国家；国内氟化工产业的整体技术水平尤其是科研创新能力离发达国家还有较大的差距，低水平、同质化的重复建设和恶性竞争，已导致我国氟化学工业面临困境。经济全球化带动的产业全球转移、金融危机引发的世界经济衰退，让我们更加清晰地认识到氟化工产业结构调整和转型升级的必要性、紧迫性。我国氟化工的结构调整、产业升级和可持续发展，迫切需要培养大量的专业人才，需要传播已有的知识和经验，需要开展产业融合和技术创新。然而，与其他行业相比，氟化工行业内部技术交流不深，上下游应用脱节，有关生产工艺技术的公开资料很少，至今没有一套完整的氟化工产业参考用书，这些已经成为制约氟化工产业健康发展的重要因素之一。

巨化集团公司从 20 世纪 90 年代进入氟化工行业，通过技术引进、消化吸收、自主创新，形成了比较完整的氟化工产业链，牵头组建了国家氟材料工程技术研究中心，正在努力创建中国氟化工先进制造业基地。巨化氟化工的发展，得到了国家有关部委和浙江省政府的关心和支持，得到了中国氟硅有机材料工业协会、氟化工同行的帮助和指导。作为氟化工骨干企业之一，巨化集团公司很荣幸能够牵头组织编写本书。希望该书的出版，能起到抛砖引玉的作用，为我国氟化工产业的可持续发展尽一点绵帛之力。

值此出版之际，衷心祝愿我国氟化工事业的明天更加灿烂、美好！

巨化集团公司副董事长、总经理



目 录

(上)

第一章 概述	1
第一节 氟化工产业链	1
第二节 中国氟化工产业现状	8
第二章 萤石资源	13
第一节 萤石性质和用途	13
第二节 萤石分布现状	19
第三章 氢氟酸	24
第一节 概述	24
第二节 萤石法生产路线	28
第三节 主要生产设备	34
第四节 安全生产与劳动保护	37
第四章 无机氟化盐	41
第一节 铝用氟化盐	42
第二节 碱金属与碱土金属氟化盐	56
第三节 其他无机氟化盐	91
第五章 精细无机氟化工	117
第一节 元素氟	117
第二节 特种无机氟化物气体	135
第三节 其他无机含氟电子化学品	192
第四节 精细无机氟化工的安全与环保	210
主要参考文献 (上)	220

(中)

第六章 含氟烃及其替代品	225
第一节 概述	225
第二节 HCFC、HFC 的生产工艺	232
第三节 替代进展	241
第七章 精细有机氟化工	254
第一节 含氟药物	254
第二节 含氟农药	319
第三节 含氟染料	342

第四节 有机氟中间体.....	346
第八章 含氟表面活性剂与整理剂.....	410
第一节 含氟表面活性剂.....	410
第二节 含氟整理剂.....	420
主要参考文献(中)	451

(下)

第九章 氟树脂.....	457
第一节 聚四氟乙烯.....	458
第二节 可溶性氟树脂.....	536
第十章 氟橡胶与氟涂料.....	608
第一节 氟橡胶.....	608
第二节 氟涂料.....	632
第十一章 氟化工发展展望.....	686
第一节 国家产业政策.....	686
第二节 氟化工产业发展态势.....	687
主要参考文献(下)	699

第六章 含氟烃及其替代品

第一节 概 述

一、分类及命名

含氟烃是指含有氟原子的烃和卤代烃，主要包括全氟氯烃类（CFCs）、含氢氟氯烃类（HCFCs）、含氢溴氟烃类（HBFCs）、含氢氟烃类（HFCs）、全氟烃类（PFCs）。其中“C”代表碳或氯，F代表氟，H代表氢，B代表溴，代号下面小写字母“s”代表一类化合物。

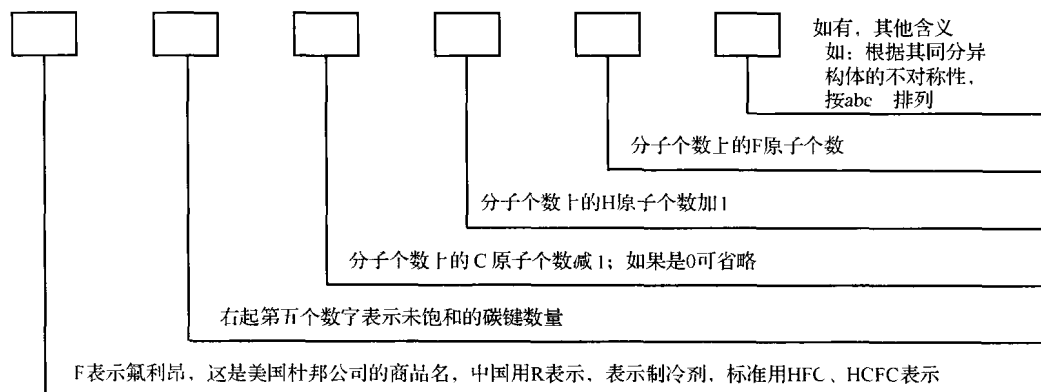
氟制冷剂是一类含氟有机化合物，它们广泛用做制冷剂，具有许多优点，如无臭、无毒、无腐蚀性且不燃烧等，与一般常用的制冷剂如氨和二氧化碳等相比较，具有很大的优越性。从有机化学的角度来看，这是一类含有氟和氯的烷烃，统称为氟氯烃，具有多卤代烃的性质。

氟制冷剂是我国的命名，常用R表示。氟利昂是美国杜邦公司的商品名，用F表示。因此氟制冷剂又通常称为氟利昂。氟利昂是一系列氟氯烷的总称，不同的氟利昂常用数字加以区别。例如，二氟二氯甲烷 CF_2Cl_2 称为氟利昂 12，简称 F12；1,1,2,2-四氟-1,2-二氯乙烷 ($\text{ClF}_2\text{C}-\text{CF}_2\text{Cl}$) 称为氟利昂 114，简称 F114，其中 F 代表氟利昂，后面的数字的含义是：个位数代表氟原子数，十位数代表氢原子数加 1，百位数代表碳原子数减 1。简而言之，即为“从左到右，碳减 1，氢加 1，氟不变”。化合物的氯原子数，是从能够与碳原子结合的原子总数中减去已结合的氟、溴和氢原子数的和后求得的。如果化合物中含有 Br 原子，则在后面加字母 B，字母 B 后面的数字表示 Br 原子的原子数。

数字编码仅仅表达了含氟烃分子的元素组成，而分子结构的信息则要通过数码的“后缀”（小写英文字母）来表达。当含氟烃分子中有两个或两个以上碳原子时，由于与碳原子相连的其他原子的排列不同，会形成不同的异构体。对于不同的异构体，一般采用加后缀的办法予以区别。这些后缀字母按分子结构对称性的大小顺序，分别取 a、b、c，通常最对称的同分异构体，在数字码后不加后缀字母。例如，四氟乙烷有两种异构体，分别命名为 R134 和 R134a，前者代表对称异构体，故不加后缀；后者是唯一的不对称异构体，故加后缀“a”。

对于存在两个以上异构体的化合物一般可以根据两个碳原子各自相连接的取代基总原子量的差值大小来判断，两者之差越小，表明异构体的对称性越好，差值为 0 则是完全对称的。

(一) 命名规则



(二) 命名举例

- R11-CCl₃F
- R22-CHClF₂
- R113-CCl₂FCClF₂
- R134a-CF₃CH₂F
- HFC236fa-CF₃CH₂CF₃
- HFC245fa-CF₃CH₂CHF₂
- HFC245ca-CHF₂CF₂CH₂F
- HFC245eb-CF₃CHFCH₂F;
- 1211 灭火剂 (F₁₂B₁) -CBrClF₂;
- R1270-C₃H₆

二、CFCs、HCFCs、HFCs 的性质及用途

(一) 全氟氯烃 (简称 CFCs)

全氟氯烃是指烷烃中的氢完全被氟和氯 (或溴) 取代了的化合物。主要包括 R11、R12、R13、R114、R115、R500、R502 等, 由于对臭氧层的破坏作用以及最大, 被《蒙特利尔议定书》列为一类受控物质。此类物质目前已禁止使用 (表 6.1 和表 6.2)。

表 6.1 ODS 及其替代品的 ODP、GWP 值

序号	名称	ODP(消耗臭氧潜能值)	GWP(全球变暖潜能值)
1	R11	1	4000
2	R12	1	8500
3	R13	1	11700
4	R22	0.055	1700
5	R123	0.014	90

续表

序号	名称	ODP(消耗臭氧潜能值)	GWP(全球变暖潜能值)
6	R124	0.03	470
7	R141b	0.10	600
8	R142b	0.05	1800
9	R32	0	650
10	R134a	0	1200
11	R125	0	2800
12	R143a	0	3800
13	R152a	0	140

表 6.2 混配 ODS 替代品组成及比例

序号	名称	组成和比例	备注
1	R502	R22 : R115=48.5 : 51.5	质量分数
2	R503	R13 : R23=60 : 40	质量分数
3	R402A	R22 : R290 : R125=38 : 2 : 60	质量分数
4	R402B	R22 : R290 : R125=60 : 2 : 38	质量分数
5	R408A	R22 : R125 : R143a=47 : 7 : 46	质量分数
6	R409A	R22 : R124 : R142b=60 : 25 : 15	质量分数
7	R410A	R125 : R32=50 : 50	质量分数
8	R407C	R125 : R134a : R32=25 : 52 : 23	质量分数
9	R417A	R125 : R134a : R600a=47 : 50 : 3	质量分数
10	R404A	R125 : R134a : R143a=44 : 4 : 52	质量分数
11	R507	R125 : R143a=50 : 50	质量分数
12	R508A	R116 : R23=61 : 39	质量分数
13	R508B	R116 : R23=54 : 46	质量分数

1) R11 (一氟三氯甲烷) 制冷剂/发泡剂

物化性质：俗称氟利昂-11 (FREON 11)，分子式： CCl_3F ，相对分子质量：137.37。无色液体或气体；熔点为 -111°C ，沸点为 23.7°C ，密度 $1.487 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，有醚味，微溶于水，易溶于乙醇、醚，化学稳定性好。

主要用途：用于大型中央空调制冷剂（离心式冷水机组）、聚氨酯（PU）泡沫塑料发泡剂。

2) R12 (二氟二氯甲烷) 制冷剂

物化性能：R12 在常温下为无色，无味，无腐蚀性的气体，加压可液化为无色透明的液体。R12 无毒、不燃，具有良好的热稳定性和化学稳定性。

主要用途：R12 可用做制冷剂灭火剂、杀虫剂和喷雾剂等，R12 作为制冷剂广泛用于冰箱、冷柜、中央空调冷水机组等制冷空调领域。

3) R13 (三氟一氯甲烷) 制冷剂

物化性质：R13，分子式： CClF_3 ，相对分子质量是 104.5，常压下沸点为 -81.4°C ，凝固点为 -181°C ，密度（ -30°C ）为 1.298 kg/L 。

主要用途：主要用于低温/超低温制冷剂。

4) R502 制冷剂

物化性质: R502 为混配工质, 由 R22 / R115 组成, 其中 R22 为 48.5 % (质量分数, 下同), R115 为 51.5 %, 相对分子质量为 111.63, 沸点为 -45.6°C , 为不可燃物质。

主要用途: 主要用于低温制冷工质, 可作为食品陈列、食品贮藏、制冷、冰淇淋机、低温冰箱以及低温冷冻压缩机用制冷剂。

5) R503 制冷剂

物化性质: R503 为混配工质, 由 R13/R23 组成, 其中 R13 为 60%, R23 为 40%, 沸点为 -87.9°C , 为不可燃物质。

主要用途: 主要用于超低温制冷设备, 如低温试验箱及冻干设备等。

(二) 含氢氟氯烃 (简称 HCFCs)

含氢氟氯烃简称 HCFCs 是指烷烃中的部分氢完全被氟和氯取代了的化合物。主要包括 R22、R123、R141b、R142b 等, 臭氧层破坏系数仅仅是 R11 的百分之几, 因此, 目前 HCFC 类物质被视为 CFC 类物质的最重要的过渡性替代物质。HCFC 因为含有 H, 使得它在底层大气易于分解, 对 O₃ 层的破坏能力低于 CFCs, 但长期和大量使用对 O₃ 层危害也很大。在《蒙特利尔议定书》中 R22 被限定 2020 年淘汰, R123 被限定 2030 年, 发展中国家可以推迟 10 年。

1) R22 (二氟一氯甲烷) 制冷剂

物化性质: R22 (Freon22, 二氟一氯甲烷, Chlorodifluoromethane), 分子式为 CHClF_2 , 相对分子质量为 86.47。R22 在常温下为无色, 近似无味的气体, 不燃烧、无腐蚀、毒性极微, 加压可液化为无色透明的液体, 为 HCFC 型制冷剂。

主要用途: R22 广泛用于家用空调、中央空调和其他商业制冷设备; 也可用做聚四氯乙烯树脂的原料和灭火剂 1121 的中间体。

2) R123 (二氯三氟乙烷) 制冷剂

物化性质: 三氟二氯乙烷 (2,2-二氯-1,1,1-三氟乙烷), 分子式 CF_3CHCl_2 , 相对分子质量为 152.93, 沸点为 27.85°C , CAS 注册号: 306-83-2, 是一种替代 R11 (F11) 的 HCFC 型制冷剂。

主要用途: R123 可替代 F11 和 F113 作清洁剂、发泡剂和制冷剂 (中央空调/离心式冷水机组)。

3) R124 (一氯四氟乙烷) 制冷剂

物化性质: 一氯四氟乙烷 CHClF_3 , HCFC124 (R124), 相对分子质量为 136.5, 沸点为 -10.95°C , 临界温度为 122.25°C , 临界压力为 3.613MPa。

主要用途: HCFC-124 (R124) 主要用做制冷剂、灭火剂, 是混合工质的重要组成部分, 可替代 CFC114。

4) R141b (二氯一氟乙烷) 制冷剂

物化性质: 二氯一氟乙烷 $\text{CH}_2\text{Cl}_2\text{F}$, HCFC141b, 相对分子质量为 116.95, 沸点为 32.05°C , 临界温度 204.5°C , 临界压力 4.25MPa。

主要用途：该产品可替代 CFC11 作硬质聚氨酯泡沫塑料的发泡剂，替代 CFC113 作清洗剂，也用做制冷剂。

5) R142b (一氟二氟乙烷) 制冷剂

物化性质：一氟二氟乙烷 CClF_2CH_3 ，HCFC142b，沸点为 -9.2°C ，临界温度为 136.45°C ，临界压力为 4.15 MPa ，在常温下为无色气体，略有芳香味，易溶于油，难溶于水。

主要用途：HCFC142b (R142b) 主要用做高温环境下的制冷系统，恒温控制开关及航空推进剂的中间体，还用做化工原料。

6) R402A 制冷剂

物化性质：R402A 制冷剂是由 R22、R290 及 R125 组成的混配工质，是 HCFC 服务型混配制冷剂，其中 R22 为 38%，R290 为 2%，R125 为 60%。符合国际暖通空调组织 (ASHRAE) 的 A1 安全等级类别 (这是最高的级别，对人身体无害)；符合美国环保组织 EPA、SNAP 和 UL 的标准。冷冻机油建议使用烷基苯 AB 合成油。

主要用途：替代 R502 用于商用制冷设备及一些交通制冷设施，适用于所有 R502 可正常运作的环境。

7) R402B 制冷剂

物化性质：R402B 制冷剂是由 R22、R290 及 R125 组成的混配工质，是 HCFC 服务型混配制冷剂，其中 R22 为 60%，R290 为 2%，R125 为 38%。符合国际暖通空调组织 (ASHRAE) 的 A1 安全等级类别 (这是最高的级别，对人身体无害)；符合美国环保组织 EPA、SNAP 和 UL 的标准。冷冻机油建议使用烷基苯 AB 合成油。

主要用途：替代 R502 用于大型商用制冷设备，如制冰机等。适用于所有 R502 可正常运作的环境。

8) R408A 制冷剂

物化性能：R408A 制冷剂是由 R22、R125 及 R143a 组成的混配工质，其中 R22 为 47%、R125 为 7%、R143a 为 46%，在常温下为无色气体，相对分子质量为 87.01，沸点为 -44.4°C ，临界温度为 83.8°C ，临界压力为 4.42 MPa 。

主要用途：R408A 制冷剂主要用于替代 R502。

9) R409A 制冷剂

物化性能：R409A 由 R22、R124 和 R142b 组成的混配工质，R22 为 60%、R124 为 25%、R142b 为 15%，在常温下为无色气体。相对分子质量为 97.4，沸点为 -34.5°C ，临界温度为 106.8°C ，临界压力为 4.69 MPa 。

主要用途：R409A 是 R12 的替代品，主要用于制冷系统。

(三) 含氢氟烃

含氢氟烃简称 HFCs，主要包括 R134a、R125、R32、R407C、R410A、R152 等，臭氧层破坏系数为 0，但是气候变暖潜能值很高。在《蒙特利尔议定书》没有规定其使用期限，在《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》中定性为温室气体。

1) R23(三氟甲烷)制冷剂

物化性质: R23(三氟甲烷), 常压下沸点为 $-82.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 凝固点为 $-155.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 液体密度($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)为 0.67 kg/L , 临界密度为 0.525 kg/L , 临界压力为 4.83 MPa , 消耗臭氧潜能值(ODP)为0, 为环保型制冷剂。

主要用途: 是一种高压液化气, 可用做制冷剂, 替代 CFC13。同时又是哈龙 1301 理想替代品, 具有清洁、低毒、灭火剂效果好等特点。

2) R134a(四氟乙烷)制冷剂

R134a 是目前国际公认的替代 R12 的主要制冷剂之一, 常用于车用空调, 商业和工业用制冷系统, 以及作为发泡剂用于硬塑料保温材料生产, 也可以用来配置其他混合制冷剂, 如 R404A 和 R407C 等。

主要用途: 主要替代 R12 用做制冷剂, 大量用于汽车空调、冰箱制冷。

3) R152a(二氟乙烷)制冷剂

物化性质: HFC-152a(1,1-二氟乙烷 CH_3CHF_2), 相对分子质量为 66.1, 沸点为 $-24.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 临界温度为 $113.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 临界压力为 4.58 MPa , 在空气中的燃烧极限为 $5.1\%\sim 17.1\%$ (体积分数), 破坏臭氧潜能值(ODP)为0。

主要用途: 主要用做制冷剂、发泡剂、气雾剂和清洗剂, 同时也是混合工质的重要组成部分。

4) R404A 制冷剂

物化特性: R404A 由 R125、R134a 和 R143a 组成的混配工质, 其中 R125 为 44% , R134a 为 4% , R143a 为 52% , R404A 是一种不含氯的非共沸混合制冷剂, 常温常压下为无色气体, 贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0, 因此 R404A 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途: R404A 主要用于替代 R22 和 R502, 具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点, 大量用于中低温冷冻系统。

5) R407C 制冷剂

物化特性: R407C 由 R125、R134a 和 R32 组成的混配工质, 其中 R125 为 25% , R134a 为 52% , R32 为 23% , 常温常压下, R407C 是一种不含氯的氟代烷非共沸混合制冷剂, 无色气体, 贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0, 因此 R407C 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途: R407C 主要用于替代 R22, 具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点, 大量用于家用空调、中小型中央空调。

6) R410A 制冷剂

物化特性: R410A 由 R125 和 R32 组成的混配工质, 其中 R125 为 50% , R32 为 50% , 常温常压下, R410A 是一种不含氯的氟代烷非共沸混合制冷剂, 无色气体, 贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0, 因此 R410A 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途: R410A 主要用于替代 R22 和 R502, 具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点, 大量用于家用空调、小型商用空调、户式中央空调等。

7) R417A 制冷剂

物化特性：R417A 由 R125、R134a 和 R600a（异丁烷）组成的混配工质，其中 R125 为 47%，R134a 为 50%，R600a 为 3%，常温常压下，R417A 是一种不含氯的氟代烷非共沸混合制冷剂，无色气体，贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0，因此 R417A 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途：R417A 主要用于替代 R22，具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点，用于热泵（OEM 初装替换 R22）和空调（售后替换 R22）等。

8) R507 制冷剂

物化特性：R507 由 R125 和 R143a 组成的混配工质，其中 R125 为 50%，R143a 为 50%，R507 是一种不含氯的共沸混合制冷剂，常温常压下为无色气体，贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0，因此 R507 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途：R507 主要用于替代 R22 和 R502，具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点，大量用于中低温冷冻系统。

9) R508A 制冷剂

物化特性：R508A 由 R116（六氟乙烷）和 R23 组成的混配工质，其中 R116 为 61%、R23 为 39%，R508A 是一种不含氯的共沸混合制冷剂，常温常压下为无色气体，贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0，因此 R508A 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途：R508A 主要用于替代 R13、R23、R503，具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点，大量用于超低温冷冻系统，如医用制冷、科研制冷。

10) R508B 制冷剂

物化特性：R508B 由 R116（六氟乙烷）和 R23 组成的混配工质，其中 R116 为 54%，R23 为 46%。R508B 是一种不含氯的共沸混合制冷剂，常温常压下为无色气体，贮存在钢瓶内是被压缩的液化气体。其 ODP 为 0，因此 R508B 是不破坏大气臭氧层的环保制冷剂。

主要用途：R508B 主要用于替代 R13、R23、R503，具有清洁、低毒、不燃、制冷效果好等特点，大量用于超低温冷冻系统，如医用制冷、科研制冷。

三、CFC 或 HCFC 替代品选择原则

自 1987 年《蒙特利尔议定书》签订以来，各国纷纷展开了对 CFCs 和 HCFCs 物质的替代物的研究，在 1997 年签订《京都议定书》以前，CFCs 和 HCFCs 类的制冷剂替代研究主要以保护臭氧为目的，主要研制 HCFs 类制冷剂。但《京都议定书》签订以后，人们转而同时注重臭氧保护和减小温室效应，要求制冷剂不但要 OPD 值较小，GWP 值也要较小。

根据《蒙特利尔议定书》CFCs 在发达国家已经被禁用，HCFCs 因为对臭氧仍具有破坏作用也即将被淘汰。由于 GWP 较高，《京都议定书》将替代 CFCs 和 HCFCs 的 HFCs 物质列入限控物质清单中，要求发达国家控制 HFCs 的排放。所有这些都对制冷剂的替代研究提出了更高的要求。因此理想的替代制冷剂除应有较低的 ODP 值和 GWP