

工业气体手册

黄建彬 主编



化学工业出版社

工业气体手册

黄建彬 主编

化学工业出版社
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业气体手册/黄建彬主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.3

ISBN 7-5025-3450-4

I. 工… II. 黄… III. 工业气体-技术手册
IV. TQ116-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 087713 号

工业气体手册

黄建彬 主编

责任编辑: 孙绥中

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(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

北京市燕山印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 32¼ 字数 790 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3450-4/TB·7

定 价: 80.00 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

京工商广临字 2002—05

编写人员名单

主 编 黄建彬

编写人员	第一章	赵志祥	黄建彬
	第二章	刘家和	黄建彬
	第三章	黄建彬	
	第四章	苏为民	陈锐波
	第五章	余扬尧	陈锐波
	第六章	胡 迎	黄建彬
	第七章	陶鹏万	朱大方
	第八章	郭 辉	黄建彬
	第九章	苏为民	袁安容
	第十章	李志行	

向玲同志绘制了部分图稿

前 言

工业上，把常温常压下呈气态的产品统称为气体产品。气体产品种类繁多，大致可以分为一般工业气体和特种气体两大类。一般工业气体产销量大，但对纯度要求不高。特种气体产销量虽小，但根据不同的用途，对不同特种气体的纯度或组成、有害杂质允许的最高含量、产品的包装贮运等都有极其严格的要求，属于高技术、高附加值产品。通常，可以将特种气体分为三类，即高纯或超高纯气体、标准校正气体和具有特定组成的混合气体。气体产品作为现代工业重要的基础原料，应用范围十分广泛，在冶金、钢铁、石油、化工、机械电子、玻璃、陶瓷、建材、建筑、食品加工、医药医疗等部门，均使用大量的常用气体或特种气体。

因为气体产品的应用覆盖面大，一般将气体的生产和供应与供电、供水一样，作为工业投资环境的基础设施，被视为国民经济“命脉”而列为公用事业行业。

近年来，随着我国国民经济的快速发展，气体产品应用范围不断扩大，用量不断增加，新产品不断推出，纯度不断提高，市场需求不断扩大，产值增长速度远远超过同期国民经济总值的增长速度，达到 12% 的年增长率。目前全国气体产品市场年销售额约为 250 亿元，预计到 2005 年将达到 350~380 亿元。虽然气体工业总产值在国民经济生产总值中所占的比例不算大，但它对近年来飞速发展的微电子、航空航天、生物工程、新型材料、精密冶金、环境科学等高新技术部门有重要影响，是这些部门不可缺少的原材料气或工艺气。正是由于各种新兴工业部门和现代科学技术的需要和推动，气体工业产品才在品种、质量和数量等方面取得令人瞩目的飞跃发展。

为适应气体工业高速发展的需要，西南化工研究设计院气体工程技术研究所根据多年来从事气体科研和生产的实践经验，参考有关书籍和资料，借助于互联网相关网站提供的信息，组织工程技术人员编写了本书，以供全国从事气体科研、生产、应用、设计和教学等方面的有关人员参考。

全书按主要气体产品分类，共十章，系统地介绍了各种常用气体和特种气体的物理和化学性质，生产、制备和分离纯化方法，产品标准和分析检测技术，应用领域及主要用途，包装和贮运，以及安全、卫生、环保等方面的知识。其中，不同条件下各类气体的物理性质均以数据表格为主，当缺乏有关资料时，则辅之以图，或以互联网 knovel.com 网站提供的物性数据回归方程，通过相应回归系数求取。

本书编辑过程中，西南化工研究设计院和四川天一股份有限公司领导、有关专家、学者给予了大力支持和帮助，在此一一表示谢意。

由于编者水平有限，缺点甚至错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2001 年 9 月
成 都

物理量符号表

生成自由能	ΔG_f	温度 (°C)	t
生成焓	ΔH_f	渗透系数	ρ
摩尔熵	S°	扩散系数	D
气体常数	R	相对分子质量	M_r
饱和蒸气压	P	相对原子质量	A_r
液化气体热膨胀系数	B_{liq}	摩尔体积	V_m
临界温度	T_c	压力	p
密度	d	熔化热	ΔH_{fus}
汽化热	ΔH_{vap}	声速	c
比定压热容	c_p	折射率	n
比定容热容	c_v	吸收系数	a
导热系数	λ	质量分数	w_B
气体动力粘度	μ	体积分数	φ_B
液体动力粘度	η	内摩擦力	τ
表面张力	σ	面积	F
温度 (K)	T	摩尔分数	x_B

内 容 提 要

本手册是国内第1部全面介绍工业气体产品的权威著作。包括一般工业气体和特种气体,即高纯和超高纯气体,标准校正气体和具有特定组成的气体。全书分10章,分别介绍近50种气体产品。系统介绍了各种常用气体和特种气体的物理和化学性质、生产、制备方法和分离提纯方法、产品标准和分析检测技术。应用领域及主要用途,包装和贮运,以及安全、卫生、环保等方面的技术知识。手册中有大量数据,图表和公式。是一本应用范围广,数据图表全的较大型工具书。

本手册技术先进,内容丰富,实用性强,查用方便,手册中资料来源于科研和生产的实践,参考近期出版的书籍和资料;并借助互联网相关信息。

本书可供从事气体产品生产、科研和设计部门的工程技术人员使用,更是石油、化工、冶金、钢铁、机械、电子、玻璃、陶瓷、建材、建筑、食品加工、医药医疗、微电子、航空航天、生物工程、新型材料、精密冶金、环境科学等应用气体产品的领域必备的手册。

四川天一科技股份有限公司(天科股份)是1999年初经中国证监会及国家经贸委批准,由西南化工研究设计院(西南院)控股的上市股份有限公司。在成都国家级高新技术产业开发区登记注册。经营范围:碳一化工技术及催化剂,变压吸附气体分离技术及装置,合成芳樟醇、维生素E系列精细化工品,工业气体等的研制、生产、销售、技术服务及相关的工程设计与工程承包。

本公司下属的变压吸附分离工程研究所于20世纪70年代初率先在国内研究开发变压吸附(简称PSA)气体分离技术并实现工业化。已在国内外推广了PSA技术及装置500余套。在镇海炼油化工股份有限公司(H_2 生产能力 $5 \times 10^4 m^3(\text{标})/h$)、齐鲁石化第二化肥厂(CO_2 生产能力 $30t/d$)、辽阳化纤公司(H_2 生产能力 $3.4 \times 10^4 m^3(\text{标})/h$)、山东肥城阿斯德化工有限公司(CO 生产能力 $1.5 \times 10^3 m^3(\text{标})/h$)等厂建成多套大型 H_2 、 CO_2 、 CO 提纯装置,实现了大型PSA装置的国产化。装置规模和技术水平均达国际先进水平。

本公司的PSA技术1985年、1998年两次荣获国家科技进步一等奖,1989年被列入国家重点推广计划,并先后获得多项国家专利。本公司变压吸附分离工程研究所为原国家科委批准的“国家变压吸附技术研究推广中心”的技术依托单位。本公司可根据各种气源和要求提供 $20 \sim 1 \times 10^5 m^3(\text{标})/h$ 规模的PSA成套技术及装置。

本公司下属的气体工程技术研究所是专业从事与气体有关的研究、设计、工程承包和生产工作的研究与开发实体。在特种气体研究方面取得一系列成果,获国家认证的高纯气体有数十种,并指定为原“化工部化学气体标准化归口单位”,“四川省气体质量检测中心”、“国家气体实物标准评定实验室”。负责评定:单一气体实物标准、化学气体标准化用气体实物标准、气体产品检验用气体实物标准、天然气分析用气体实物标准。

本公司可向用户提供下列2N至5N级各种纯度等级的有机、无机气体:氮、氧、氢、氩、氦、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氧化亚氮、氨、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、异丁烷、戊烷、异戊烷、乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、乙炔、丙炔、干燥空气、零点空气、电子氧、四氟化碳。

本公司还可按用户要求配制各种组分的混合气、色谱分析用标准气。同时还向用户提供高纯气体分析检测仪器,这些仪器在全国各地气体制备工厂使用,获得广泛好评。

四川天一科技股份有限公司已通过了ISO9002质量体系达标认证。



各种特种气体



出口印度尼西亚PSA-H₂装置

 **四川天一科技股份有限公司**

地址:成都外南机场路445信箱

电话:(028)59646160-3091 (028)5884506

传真:(028)5884506

邮编:610225

E-mail:ctyc@sc.homeway.com.cn

Http://www.tianke.com

目 录

第一章 空气分离产品	1
第一节 氮气	1
一、概述	1
二、物理性质	2
(一) 在不同溶剂中的溶解度	2
(二) 氮的饱和蒸气压	2
(三) 压缩系数	4
(四) 密度	5
(五) 汽化热	5
(六) 比定压热容	5
(七) 导热系数	7
(八) 粘度	9
(九) 表面张力	9
三、化学性质	10
四、生产方法	11
(一) 空气分离	11
1. 低温精馏法	11
2. 变压吸附 (PSA) 法	13
3. 膜分离制氮法	15
(二) 化学法制氮	16
1. 燃烧法	16
2. 氨热分解法	16
3. 叠氮化钠 (NaN_3) 热分解	17
(三) 高纯氮的制取	17
五、标准和分析方法	17
(一) 产品标准	17
(二) 分析方法	19
六、用途	20
(一) 化学工业中的应用	20
(二) 石油天然气及采煤工业中的 应用	20
(三) 电子工业中的应用	20
(四) 冶金工业中的应用	20
(五) 机械加工工业中的应用	20
(六) 食品工业中的应用	21
(七) 科学技术方面的应用	21
(八) 生物和医疗方面的应用	21
(九) 其他	21

七、贮存和运输	21
第二节 氧气	22
一、概述	22
二、物理性质	23
(一) 在水和各种有机溶剂中的 溶解度	23
(二) 饱和蒸气压	25
(三) 压缩系数	25
(四) 密度	26
(五) 汽化热	28
(六) 比定压热容	28
(七) 导热系数	29
(八) 粘度	29
(九) 表面张力	30
三、化学性质	30
(一) 主要化学反应	30
(二) 同素异形体	31
(三) 同位素	32
四、生产方法	32
(一) 空气分离	32
1. 低温精馏法	32
2. 常温变压吸附 (PSA) 法	33
3. 膜分离法	34
4. 吸收法	34
(二) 水电解法制氧	34
(三) 化学法制氧	35
1. 氯酸盐和过氯酸盐分解	35
2. 过氧化物和超氧化物分解	35
3. 其他	35
五、产品标准和分析方法	35
(一) 产品标准	35
(二) 分析方法	37
六、用途	38
(一) 冶金工业	38
(二) 化学工业	39
(三) 污水处理	40
(四) 医疗应用	40
(五) 生命支持应用	41

(六) 军事与宇航	41
(七) 其他	42
七、贮存、运输及安全	42
参考文献	42
第二章 氢气	45
一、概述	45
二、物理性质	45
(一) 同位素和异构体	45
(二) 在不同溶剂中的溶解度	48
(三) 氢的膨胀特性	49
(四) 饱和蒸气压	50
(五) 压缩系数	53
(六) 密度	54
(七) 汽化热	56
(八) 比定压热容	56
(九) 导热系数	57
(十) 粘度	58
(十一) 表面张力	60
三、化学性质	60
(一) 与非金属单质的反应	61
(二) 与金属的反应	61
1. 离子型氢化物	62
2. 共价型氢化物	62
3. 过渡金属氢化物	62
4. 边界氢化物	62
5. 配位氢化物	62
(三) 合成气反应	63
(四) 其他反应	63
1. 原子氢的反应	63
2. 脱硫和脱除有害杂质	63
3. 还原反应	64
4. 氢脆	64
四、生产方法	64
(一) 实验室制法	64
(二) 工业生产方法	64
1. 烃类蒸汽转化法	65
2. 烃类部分氧化法	67
3. 煤气化法	68
4. 甲醇裂解、氨裂解和硫化氢分解	68
5. 水分解法制氢	70
6. 含氢工业尾气回收氢	72
(三) 氢气分离纯化技术	73
1. 膜分离法	73

2. 低温分离法	74
3. 变压吸附 (PSA) 法	75
4. 金属氢化物法	76
5. 催化脱氧法	77
6. 联合工艺法	77
五、标准和分析方法	78
(一) 产品标准	78
(二) 分析方法	79
1. 氢的分析方法	79
2. 氢中杂质组分的分析方法	80
六、应用	81
(一) 石油化工	81
(二) 电子工业	82
(三) 浮法玻璃生产	83
(四) 冶金工业	83
(五) 食品加工工业	83
(六) 空间技术与燃气应用	84
(七) 其他应用	85
七、贮存和运输	85
(一) 气态氢	85
(二) 液氢	86
(三) 金属氢化物	86
(四) 微球贮氢	86
八、安全环保	87
参考文献	88
第三章 碳氧化合物	91
一、概述	91
二、物理性质	91
(一) 在不同溶剂中的溶解度	92
(二) 饱和蒸气压	94
(三) 压缩系数	97
(四) 密度	97
(五) 汽化热	98
(六) 比定压热容	101
(七) 导热系数	101
(八) 粘度	101
(九) 表面张力	103
三、化学性质	103
(一) 一氧化碳	103
1. 与过渡金属的配位反应	103
2. 与氢的反应	103
3. 与有机化合物反应	104
4. 变换反应	106
5. 与氯气反应	106

6. 氧化反应	106
7. 歧化反应	106
(二) 二氧化碳	106
1. 还原反应	107
2. 有机合成反应	107
3. 生化反应	107
四、生产方法	107
(一) 一氧化碳	107
1. 实验室规模生产	108
2. 工业规模生产	108
(二) 二氧化碳	111
1. 二氧化碳来源	111
2. 二氧化碳提取方法	112
3. 高纯二氧化碳的制取	114
4. 液体二氧化碳和干冰	114
五、标准和分析方法	115
(一) 产品标准	115
1. 一氧化碳	115
2. 二氧化碳	115
(二) 分析方法	117
1. 一氧化碳	117
2. 二氧化碳	117
六、用途	118
(一) 一氧化碳	118
(二) 二氧化碳	118
1. 作化工原料	118
2. 作致冷剂	119
3. 作惰性介质	119
4. 作溶剂	119
5. 作压力源	119
6. $^{14}\text{CO}_2$ 的用途	119
7. 其他用途	120
七、贮存运输及安全环保	120
(一) 一氧化碳	120
1. 贮存运输	120
2. 安全环保	121
(二) 二氧化碳	122
1. 贮存和运输	122
2. 环境影响与工业卫生	123
参考文献	124
第四章 氮氧化合物	128
一、概述	128
二、物理性质	129
(一) 溶解性能和吸附性能	131

1. 一氧化氮在不同溶剂中的溶解度	131
2. 氧化亚氮在不同溶剂中的溶解度	132
3. 氧化亚铜吸附二氧化氮的吸附量	132
(二) 饱和蒸气压	133
1. 二氧化氮	133
2. 一氧化氮	133
3. 氧化亚氮	133
(三) 体积膨胀系数	134
(四) 气体的可压缩性	134
(五) 比容及密度	136
(六) 熔化热和汽化热	140
(七) 比定压热容	141
(八) 导热系数	142
(九) 动力粘度	143
(十) 表面张力	144
三、化学性质	145
(一) 二氧化氮	145
1. 热分解反应	145
2. 与水反应	145
3. 氧化反应	145
4. 还原反应	146
5. 硝化反应	146
6. 与碱溶液的反应	147
7. 与一氧化氮的反应	147
(二) 一氧化氮	147
1. 歧化反应	147
2. 热分解反应	147
3. 氧化反应	147
4. 还原反应	148
5. 与卤素反应	148
6. 与金属的反应	148
7. 配位反应	148
(三) 氧化亚氮	148
1. 热分解反应	148
2. 氧化反应	149
(四) 三氧化二氮	149
(五) 五氧化二氮	149
四、生产方法	150
(一) 二氧化氮	150
1. 实验室生产方法	150
2. 工业生产方法	150

(二) 一氧化氮	150	(七) 导热系数	166
1. 实验室生产方法	150	(八) 动力粘度	167
2. 工业生产方法	150	(九) 表面张力	167
(三) 氧化亚氮	151	三、化学性质	168
1. 实验室制备	151	(一) 分解反应	168
2. 工业生产方法	151	(二) 氧化反应	168
(四) 三氧化二氮	152	1. 硫化氢与氧的反应	168
(五) 五氧化二氮	152	2. 与其他氧化剂的反应	169
五、标准和分析方法	153	(三) 与酸的反应	169
(一) 产品标准	153	(四) 与碱的反应	169
(二) 分析方法	154	(五) 与金属离子的反应	169
1. 二氧化氮	154	(六) 与盐的反应	170
2. 一氧化氮	155	(七) 与硫的反应	170
3. 氧化亚氮	155	(八) 与有机化合物反应	170
六、用途	156	四、生产方法	171
(一) 二氧化氮	156	(一) 实验室制法	171
(二) 一氧化氮	157	(二) 工业生产方法	171
(三) 氧化亚氮	157	1. 副产回收法	171
七、贮存运输及安全环保	158	2. 直接合成法	171
(一) 二氧化氮	158	五、标准及分析方法	172
1. 贮存运输	158	(一) 产品标准	172
2. 安全环保	158	(二) 分析方法	173
(二) 一氧化氮	158	1. 微量硫化氢的分析方法	173
1. 贮存运输	158	2. 硫化氢纯度的分析方法	173
2. 安全环保	158	六、用途	174
(三) 氧化亚氮	159	七、贮存和运输	174
1. 贮存运输	159	(一) 适用于硫化氢贮器和贮存的	
2. 安全环保	159	材料	174
(四) 材料相容性	159	(二) 硫化氢在正常使用中的贮存	
参考文献	159	和管理	174
第五章 硫化物	161	八、毒性和安全	175
第一节 硫化氢	161	第二节 二氧化硫	175
一、概述	161	一、概述	175
二、物理性质	161	二、物理性质	175
(一) 硫化氢的溶解性	162	(一) 溶解性能	176
1. 硫化氢在各种溶剂中的溶		1. 作溶质	176
解性	162	2. 作溶剂	177
2. 硫化氢作为溶剂的溶解能力		(二) 饱和蒸气压	178
.....	162	(三) 气体的可压缩性	179
(二) 饱和蒸气压	164	(四) 密度	179
(三) 气体的可压缩性	165	(五) 汽化热	180
(四) 密度	165	(六) 比定压热容	180
(五) 汽化热	166	(七) 导热系数	180
(六) 比定压热容	166	(八) 动力粘度	181

(九) 表面张力	181
三、化学性质	182
(一) 二氧化硫的还原性	182
(二) 二氧化硫的氧化性	182
(三) 二氧化硫与碱溶液的反应	182
(四) 二氧化硫与有机物的反应	182
四、生产方法	183
(一) 实验室制法	183
(二) 工业生产方法	183
1. 硫铁矿与有色金属硫化矿焙 烧法	183
2. 硫磺燃烧法	184
3. 石膏煅烧还原法	184
4. 硫化氢燃烧法	184
5. 液态 SO ₂ 生产法	184
五、标准及分析方法	185
(一) 产品标准	185
(二) 分析方法	186
1. 低含量二氧化硫的分析方法	186
2. 二氧化硫纯度的分析方法	187
六、用途	187
七、包装与贮运	188
八、毒性和安全	189
九、环境保护	191
(一) 燃料脱硫	191
(二) 烟气脱硫	191
(三) 其他	192
参考文献	192
第六章 卤素气体及卤素化合物气体	194
第一节 单质卤素气体	194
一、概述	194
二、物理性质	195
(一) 溶解度	195
(二) 饱和蒸气压	196
(三) 液氯的压缩系数	197
(四) 密度	197
(五) 汽化热	198
(六) 比定压热容	198
(七) 导热系数	199
(八) 粘度	200
(九) 表面张力	201
(十) 氯气的电离能	202
三、化学性质	202

(一) 与单质的反应	202
1. 氮族气体	202
2. 其他卤素	202
3. 氧和硫	203
4. 氢	203
5. 其他非金属元素	203
6. 金属元素	203
(二) 与无机化合物反应	203
1. 与水反应	203
2. 与氨和铵反应	204
3. 氯与二硫化碳、二氧化钛和苛 性碱的反应	204
4. 与其他化合物反应	204
(三) 与有机物的反应	204
四、生产或分离方法	205
(一) 氟气	205
1. 原理	205
2. 电解槽的结构	205
3. 原材料及操作条件	206
4. 氟气的纯化	206
(二) 氯气	206
1. 水银法电解制氯	206
2. 隔膜法电解制氯	209
3. 离子膜法电解制氯	210
4. 氯气的处理	211
5. 其他制氯方法	213
6. 氯的液化	213
7. 液氯的气化	213
五、标准及分析方法	214
(一) 产品标准	214
(二) 分析方法	215
六、应用	217
(一) 氟气的主要用途	217
1. 化学工业	217
2. 原子能工业	217
3. 电子工业	217
4. 医疗和医药	217
(二) 氯气的主要用途	217
七、贮存、运输及安全	219
(一) 氟气	219
(二) 氯气	219
1. 贮存与运输	219
2. 安全与环保	219
3. 水银法电解生产过程中汞污染	

的防治	220	2. 六氟化钨	238
第二节 卤素无机气体化合物	221	3. 二氟氢硅	238
一、概述	221	4. 三氯化硼	238
二、物理性质	223	5. 溴化氢	238
(一) 不同溶剂中的溶解性	223	五、标准及分析方法	238
1. 作溶质	223	(一) 产品标准	238
2. 作溶剂	223	(二) 分析方法	241
(二) 饱和蒸气压	224	1. 氟化氢	241
(三) 密度	225	2. 氯化氢	242
(四) 汽化热	226	3. 六氟化硫	243
(五) 比定压热容	227	4. 溴化氢、三氯化硼、二氟氢硅	
(六) 导热系数	228	和六氟化钨	243
(七) 粘度	228	六、主要用途	244
(八) 表面张力	230	(一) 氟化氢的主要用途	244
(九) 六氟化硫的电性能	230	1. 化学工业	244
三、化学性质	231	2. 电子工业	244
(一) 氟化氢	231	3. 其他工业	244
1. 与单质反应	231	(二) 氯化氢的主要用途	244
2. 与无机物反应	231	1. 化学工业	244
3. 与有机物作用	231	2. 电子工业	244
4. 和水的作用	231	3. 其他工业	245
(二) 六氟化硫	231	(三) 六氟化硫主要用途	245
(三) 五氟化砷	231	1. 电力工业	245
(四) 六氟化钨	231	2. 环保行业	245
(五) 氯化氢	232	3. 核工业	245
1. 与单质反应	232	4. 其他行业	245
2. 与无机物反应	232	(四) 其他卤素气体化合物	245
3. 与有机物反应	232	七、贮存、运输及安全	245
(六) 二氟氢硅	232	(一) 贮存和运输	245
(七) 三氯化硼	232	(二) 毒性和安全防护	246
(八) 溴化氢	233	第三节 卤素有机气体化合物	247
四、生产或分离方法	233	一、概述	247
(一) 氟化氢	233	二、物理性质	250
(二) 六氟化硫	234	(一) 溶解性	250
1. 直接反应法	234	(二) 饱和蒸气压	250
2. 氟化钴法	234	(三) 密度	251
3. 净化和精制	235	(四) 汽化热	252
(三) 氯化氢	235	(五) 比定压热容	253
1. 直接合成法	235	(六) 导热系数	254
2. 副产品回收法	237	(七) 粘度	255
3. 其他方法	237	(八) 表面张力	257
4. 高纯氯化氢气体的制备	237	三、化学性质	257
(四) 其他卤化物	237	(一) 三氟甲烷	257
1. 五氟化砷	238	(二) 氯乙炔	257

1. 聚合和共聚反应	257	(七) 导热系数	283
2. 加成反应	258	(八) 粘度	288
3. 氧化反应	258	(九) 表面张力	292
4. 热解反应	258	(十) 氮的特殊物理性质	292
5. 水解反应	258	三、化学性质	293
(三) 氟氯烷	258	(一) 氩、氦和氙的包合物	293
1. 氟氯烷具有极强的化学稳定性和热稳定性	258	(二) 氙的化学反应性	294
2. 扩散过程	258	(三) 氮的化学反应性	294
四、生产或分离方法	258	四、生产方法	294
(一) 三氟甲烷	258	(一) 从空气中提取	294
(二) 氯乙烯	258	1. 氩气的提取	294
1. 电石乙炔法	259	2. 氦、氖的提取	295
2. 乙烯氧氯化法	259	3. 氮、氙的提取	296
3. 联合平衡法	260	(二) 从天然气中提取	297
(三) 氟氯烷	260	(三) 从合成氨弛放气中提取	299
1. 液相氟化生产	260	1. 氩的提取	299
2. 气相氟化生产	260	2. 氮的提取	299
五、标准及分析方法	260	(四) 从核动力装置裂变气中提取	300
(一) 产品标准	260	(五) 高纯氮族气体的制备	301
(二) 分析方法	261	1. 脱除氮	301
1. 氯乙烯	261	2. 脱除氧	301
2. 氟氯烷	261	3. 脱除氢	301
3. 三氟甲烷	262	4. 碳化合物的脱除	301
六、主要用途	262	5. 氮、氖的制备	301
(一) 氯乙烯	262	五、标准及分析方法	301
(二) 氟氯烷	262	(一) 产品标准	301
(三) 三氟甲烷	262	(二) 分析方法	305
七、贮存、运输及安全	263	1. 气相色谱法	305
(一) 卤素有机气体化合物的贮存、运输	263	2. 电解法	305
(二) 卤素有机气体化合物的毒性和防护	263	3. 露点法	306
参考文献	263	4. 氮族气体中杂质组分的分析	306
第七章 氮族气体	266	六、应用	307
一、概述	266	(一) 氮族气体在焊接和冶金工业中的应用	307
二、物理性质	266	1. 焊接保护气	307
(一) 氮族气体在水和有机溶剂中的溶解度	267	2. 冶金和金属加工工艺	307
(二) 饱和蒸气压	269	(二) 检测用气	308
(三) 压缩系数	275	(三) 光源用气	308
(四) 密度	276	(四) 电子工业中的应用	309
(五) 汽化热	280	(五) 氮族气体的低温工程应用	310
(六) 比定压热容	282	(六) 核反应堆中的应用	311
		(七) 空间技术	311

(八) 氮族气体的生理和医疗应用	311	6. 氧化产品	338
1. 生理应用	311	7. 脱氢产品	338
2. 医疗应用	311	8. 二硫化碳	338
七、贮存和运输	312	9. 其他	338
参考文献	312	(三) 溶剂	338
第八章 烃类气体	315	(四) 制冷剂	339
第一节 烷烃	315	(五) 化学气相淀积	339
一、物理性质	316	六、贮存和运输	339
(一) 在不同溶剂中的溶解度	317	七、安全、卫生及环保	339
(二) 饱和蒸气压	318	第二节 烯烃和二烯烃	340
(三) 压缩系数	320	一、物理性质	341
(四) 密度	322	(一) 在不同溶剂中的溶解度	342
(五) 汽化热	323	(二) 饱和蒸气压	343
(六) 比定压热容	324	(三) 压缩系数	346
(七) 导热系数	325	(四) 密度	347
(八) 粘度	327	(五) 汽化热	348
(九) 表面张力	328	(六) 比定压热容	349
二、化学性质	328	(七) 导热系数	352
(一) 氧化	329	(八) 粘度	353
(二) 氨氧化	329	(九) 表面张力	353
(三) 卤化	329	二、化学性质	354
(四) 硝化	329	(一) 加成反应	355
(五) 脱氢反应	329	1. 加氢	355
(六) 裂化和裂解	329	2. 与卤素或卤化氢的加成反应	355
(七) 烷基化反应	330	3. 水合反应	355
(八) 异构化	330	4. 烷基化反应	356
(九) 硫氧化	330	5. 二聚反应	356
三、生产方法	330	6. 其他加成反应	356
(一) 实验室制法	330	(二) 氧化反应	357
(二) 工业生产方法	330	1. 氧化	357
1. 原料来源	330	2. 氨氧化	358
2. 分离和提纯方法	331	(三) 取代反应	358
四、标准及分析检测方法	332	(四) 羰基合成反应	358
(一) 产品标准	332	(五) 聚合反应	359
(二) 分析方法	334	(六) 其他反应	359
五、用途	335	三、生产方法	360
(一) 燃料和燃料添加剂	335	(一) 实验室制法	360
(二) 化工原料	335	(二) 工业生产方法	360
1. 制取乙烯	335	1. 烃类裂解法	360
2. 合成气及有关化工产品	336	2. 从炼厂气回收	361
3. 氯代产品	337	3. 烃类脱氢	362
4. 硝化产品	337	4. 合成气制乙烯和丙烯	364
5. 氨氧化产品	337	5. 生产丁烯的其他方法	364

(三) 分离与提纯	365	4. 氧化裂解法	389
1. 乙烯的分离与精制	365	5. 由煤直接制取乙炔	390
2. 丙烯的分离和精制	366	6. 烃蒸气裂解制乙烯联产乙炔	390
3. C ₄ 馏分的分离	367	(三) 分离提浓与净化	390
四、产品规格及分析检测方法	369	四、产品标准和分析方法	391
(一) 产品标准	369	(一) 产品标准	391
(二) 分析方法	372	(二) 分析方法	392
五、应用	374	五、应用	393
(一) 化工原料	374	六、贮运、安全、卫生和环保	394
(二) 燃料	374	参考文献	394
(三) 其他	374	第九章 电子气体	398
六、贮存和运输	376	第一节 氢化物气体	398
(一) 乙烯	376	一、概述	398
(二) 丙烯	376	二、物理性质	400
1. 常温下带压贮存	376	(一) 不同溶剂中的溶解性	400
2. 冷冻贮存	377	(二) 饱和蒸气压	400
3. 地下贮存	377	(三) 压缩性	402
4. 运输	377	(四) 密度	402
(三) 丁烯和丁二烯	377	(五) 汽化热	404
七、安全、卫生及环保	377	(六) 比定压热容	404
第三节 乙炔	379	(七) 导热系数	404
一、物理性质	379	(八) 动力粘度	405
(一) 在水及有机溶剂中的溶解度	379	(九) 氢化物的表面张力	406
(二) 饱和蒸气压	380	三、化学性质	406
(三) 压缩系数	381	(一) 硅烷	406
(四) 密度	381	(二) 锗烷	407
(五) 汽化热	381	(三) 磷烷	407
(六) 比热容	381	(四) 砷烷	408
(七) 导热系数	381	(五) 氢化锑	409
(八) 粘度	383	(六) 乙硼烷	410
(九) 表面张力	383	四、氢化物气体的制备方法	411
二、化学性质	384	(一) 硅烷	411
(一) 加成反应	384	1. 实验室制法	411
(二) 聚合及环化反应	384	2. 工业生产方法	411
(三) 羰基化	385	(二) 磷烷	412
(四) 取代和置换反应	385	1. 实验室制法	412
(五) 氧化与分解	385	2. 工业生产方法	413
三、生产方法	386	(三) 锗烷	413
(一) 碳化钙法	386	(四) 砷烷	413
(二) 烃类裂解法	387	(五) 氢化锑	414
1. 烃类制取乙炔的一般原理	387	(六) 乙硼烷	414
2. 电弧裂解法	388	五、标准及分析方法	414
3. 热裂解法	388	(一) 产品标准	414