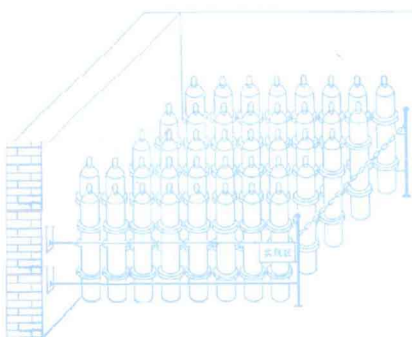


制氧工 安全技术

ZHIYANGGONG ANQUAN JISHU

■ 朱兆华 沈振国 编著
■ 徐丙根 主审



化学工业出版社

制氧工安全技术

ZHIYANGGONG ANQUAN JISHU

■ 朱兆华 沈振国 编著
■ 徐丙根 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共分八章。全面阐述了低温法空气分离制氧知识,介绍了气体特性及制氧热力学基本规律;叙述了空气液化原理及设备、空气净化原理及设备、传热原理及设备、精馏原理及设备,以及气体压缩机械、气体膨胀机械、低温液体泵仪表及控制系统等。分析了制氧过程中常见的危险有害因素及其防护方法,介绍了制氧机流程及操作安全技术,并对典型事故案例进行了技术分析。

本书可作为制氧行业技术人员和工人的培训教材,也可供高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

制氧工安全技术/朱兆华,沈振国编著. —北京:
化学工业出版社, 2011.8
ISBN 978-7-122-11799-1

I. 制… II. ①朱…②沈… III. 氧气-制造-
安全技术 IV. TQ116.14

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第136610号

责任编辑:杜进祥
责任校对:陈 静

文字编辑:孙凤英
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:北京云浩印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂
850mm×1168mm 1/32 印张8 $\frac{3}{4}$ 字数229千字
2012年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)
售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:20.00元

版权所有 违者必究



前言

随着钢铁冶金、化工，尤其是煤化工等行业对氧气、氮气等空分产品需求的增长，制氧生产不断扩大，制氧机已向大型化、超大型化方向发展，国内超大型制氧机已达到 $90000 \text{ m}^3/\text{h}$ 等级，制氧人员的队伍也迅速壮大，与此同时，制氧新技术、新工艺和新设备不断出现，低温法制氧流程已全面普及。

近年来制氧技术发展很快，制氧流程不断更新。鉴于制氧工艺、制氧机所包括的系统很多，所涉及的基础知识面很广，并且，冶金、化工，尤其是煤化工等行业技术人员、生产操作人员迫切要求学习、掌握制氧专业知识和安全技术，提高制氧技术水平，而现代制氧技术方面的书籍甚缺。为了满足这一社会需求，并推动制氧工业安全生产，我们编写了《制氧工安全技术》一书。

本书在编写过程中汲取了近年来的实践经验，力求用理论知识去解决制氧技术中的实际问题。阐述了低温法空气分离制氧知识，介绍了气体特性及制氧热力学基本规律；叙述了空气液化原理及设备、空气净化原理及设备、传热原理及设备、精馏原理及设备，以及气体压缩机械、气体膨胀机械、低温液体泵仪表及控制系统等。分析了制氧过程中常见的危险有害因素及其防护方法，介绍了制氧机流程及操作安全技术，并对典型事故案例进行了技术分析。

本书可作为制氧行业技术人员和工人的培训教材，也可供高等院校有关专业的师生参考。

本书的特点是理论结合实际，重点突出。全书内容丰富翔实，

图文并茂，具有实用性和可操作性。在编写过程中，得到了南京兆元安全环境科技服务有限公司等单位以及庄胜强、赵桂芳、朱旻、柏志敏、王中坚、高汛、丁晓军、许志忠、朱薇、张翔、胡楠等同志的关注和支持，他们提供了相关技术资料，并对书稿编写内容提出了宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于编著者的水平所限，不当之处恳请广大读者批评指正。

编著者

2011.9



目 录

第一章 制氧基本知识

第一节 气体的特性	1
一、氧气的特性	1
二、氮气的特性	3
三、氩气的特性	5
第二节 气体及氧气基本知识	6
一、气体的基本状态参数	6
二、氧气的用途	15
第三节 制氧过程危险有害因素	17
一、氧气的助燃性	17
二、氮气的窒息性	20
三、气体燃烧、爆炸威力及其危险性	20
四、冻伤和烧伤	23
五、噪声	23
六、其他不安全因素	24

第二章 制氧工艺

第一节 制氧的基本方法	27
一、低温法（深冷法）	27
二、分子筛空分法（吸附法）	28
三、膜分离法	28
第二节 低温法（深冷法）制氧	28

一、深冷空分制氧基本工艺	29
二、生产氧气的两种典型工艺流程	31
第三节 分子筛空分法（吸附法）	33
一、变压吸附	34
二、分子筛	35
三、分子筛空分制氧	41
四、医用分子筛空分制氧	46
第四节 膜分离法	47
一、气体分离膜	48
二、膜式空分法制氧	53
三、膜式空分法制氧设备的技术要求	56
第五节 制氧机分类	57
一、制氧机分类及其相应流程	57
二、国产空气分离设备的型号规定	59
三、制氧机的发展	59
第六节 制氧机的典型工艺流程	62
一、1150m ³ /h 制氧机	62
二、3200m ³ /h 制氧机	63
三、10000m ³ /h 制氧机	64
四、KDON-6000/13000 增压型分子筛净化全低压制氧机	67

第三章 主要制氧设备

第一节 空压机	69
一、离心式压缩机	69
二、活塞式压缩机	71
三、螺杆式压缩机	75
第二节 干燥器	81
一、冷干机	81
二、吸附再生干燥器	82
三、组合式低露点干燥机	88
四、膜式干燥机	90

第三节 气水分离器及贮气罐	91
一、气水分离器	91
二、贮气罐	92
第四节 过滤器	92
一、基本原理	92
二、过滤器种类	93
三、定期检修检验	94
第五节 分子筛纯化器	94
第六节 膨胀机	96
一、膨胀机工作原理	96
二、膨胀机的类型及选用	97
三、透平膨胀机的效率	98

第四章 制氧机操作安全技术

第一节 制氧机的调试	100
一、气密性检查	101
二、裸体冷冻	102
第二节 全低压切换式流程启动	103
一、两种启动方法	104
二、冷量生产及使用	105
第三节 全低压切换流程的操作安全技术	114
一、切换式换热器生产工况的调整	115
二、液面调节	120
三、精馏工况调节	122
第四节 制氧机的加温解冻	127
一、解冻操作	128
二、解吸操作	131
第五节 全低压分子筛纯化增压流程操作安全技术	135
一、启动操作	135
二、正常维护	138
第六节 中小型制氧机操作安全技术	140

一、启动	140
二、正常操作安全技术	143
第七节 常见故障及处理技术	144
一、中压小型制氧机故障及处理方法	145
二、全低压制氧机故障及处理技术	149

第五章 制氧机仪表及自动控制技术

第一节 制氧机仪表	153
一、制氧机仪表发展概况	153
二、常规仪表的自动控制系统组成	154
三、确定仪表品质的指标	156
四、单元组合仪表	157
五、自动与手动的切换	160
第二节 制氧机的主要自动控制技术	161
一、空气压缩的自控系统	161
二、膨胀制冷系统的自控	162
三、空分系统的自控	163
四、可逆式换热器中部温差自动调节系统	164
五、集散型计算机控制	164
六、制氧机集散控制系统简介	165

第六章 氧气瓶检验及充装安全技术

第一节 氧气瓶检验	169
一、气瓶的检验	169
二、气瓶外表面和内表面检查的主要内容	169
三、气瓶水压试验内容	171
四、气瓶水压试验的一般技术要求	172
五、水压试验结果计算	174
六、气瓶的壁厚测定及强度校核	175
七、气瓶打钢印和漆色要求	177
八、气瓶内部干燥	179

九、瓶阀的检查 and 安装要求	179
第二节 氧气充装	182
一、充装前的准备	182
二、充填的操作与维护	183
三、充填后的检查	183
第三节 氧气瓶贮存与搬运	184
一、气瓶的贮存	184
二、氧气瓶的运输	185

第七章 制氧工艺维护检修安全技术

一、一般要求	188
二、空分塔检修安全技术	189
三、空气压缩机检修安全技术	193
四、膨胀机检修安全技术	195
五、换热设备检修安全技术	196
六、氧压机、氮压机	199
七、氧气管道安全技术	200

第八章 制氧生产过程常见危险性及其预防措施

第一节 爆炸危险性及其防爆措施	202
一、爆炸的部位	202
二、爆炸的原因	203
三、防爆措施	204
第二节 火灾危险性及其防护措施	206
一、引起火灾事故的因素	206
二、火灾防范措施	207
第三节 中毒及其他安全防护措施	207
一、中毒及其防护措施	207
二、冻伤及其防护措施	209
三、窒息及其防护措施	209
四、触电及其防护措施	209

五、机械伤害及其防护措施	210
六、其他伤害及其防护措施	210
附录一 深度冷冻法生产氧气安全技术规程	212
附录二 制氧生产安全技术规程	233
附录三 典型制氧事故案例分析	242
参考文献	263



第一章 制氧基本知识



钢铁工业的发展对氧气的需要量越来越大。高炉富氧鼓风炼铁、电炉吹氧炼钢都需要大量氧气，特别是氧气顶吹转炉炼钢，已为世界各国广泛采用，并成为钢铁工业高速发展的一条重要途径。用氧气顶吹转炉煤炼 1t，就需要 $50\sim 60\text{m}^3$ 氧气。自 1902 年世界上第一台单级精馏制氧机问世以来，迄今已有一百多年的历史。冶金、化工、国防、电子、机械等工业的迅速发展，使制氧机发展速度加快。

20 世纪 30 年代以前，世界上仅有德国和法国生产中小型制氧机。当时主要是为满足焊接、切割用氧以及化工厂制氮副产，其容量在 $2\sim 600\text{m}^3/\text{h}$ ，品种 200 种左右，采用高压和中压带膨胀机的工艺流程。这些流程在当今小型制氧机中仍被应用。

随着生产的发展，制氧机的使用领域不断扩大，促进了大型制氧机的产生。由于大型制氧机每生产 1m^3 的氧气，其电耗、材料消耗等都比中小型低，因而可获得更为廉价的氧气，为制氧机应用于冶金、化工等工业创造了条件。目前，世界主要工业国家美国、德国、日本、法国、英国等设计、生产的空分设备产能已达到 $100000\text{m}^3/\text{h}$ ，而且还在增大。

第一节 气体的特性

一、氧气的特性

1. 自然界里的氧

氧 (O_2) 是 1744 年英国人普里斯特里在加热氧化汞的时候发

现的。

自然界里氧是地壳中存在的最多也是分布得最广的元素，约占地壳总质量的 49%。氧约占大气体积的 21%，占水质量的 8/9。在大部分矿石、岩石中氧都以化合物状态存在，在砂子中氧占 53%，在黏土中占 65%。有机体中氧也是一个极主要的组成元素，人体中含氧 65%。动植物的呼吸就是有机物质与氧的化合，在反应中有热能放出以维持生命，并生成二氧化碳和水。表 1-1 给出了干燥空气的主要组成，表 1-2 为几种气体的物理化学性质。

表 1-1 干燥空气的主要组成

气体名称	氮	氧	氩	二氧化碳
体积分数/%	78.09	20.95	0.93	0.03

表 1-2 几种气体的物理化学性质

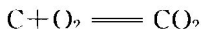
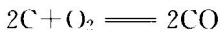
名 称	氮气	氧气	氩气	空气
化学式	N ₂	O ₂	Ar	
相对分子质量	28.02	32	39.94	28.96
气体常数/[kJ/(kg·K)]	0.297	0.260	0.208	0.287
分子直径/nm	0.30	0.28		
标准状态下的密度/(kg/m ³)	1.252	1.430	1.785	1.293
相对密度(空气 1)	0.9673	1.1053	1.38	1.00
标准沸点/℃	-196	-183	-185	约 191
熔点/℃	-210	-218	-189	
1L 液体汽化为 0℃ 及 101.3kPa 下的气体体积/L	643	800	780	675

2. 氧的性质

氧是元素周期表中第二周期第六族元素，原子序数为 8，核外共有 8 个电子。氧的相对原子质量等于 16。2 个氧原子各给出 2 个电子很容易以共价键的形式结合成氧分子，其分子式为 O₂，相对分子质量为 32。

常温下的氧气是无色无味无臭的气体。它比空气略重，在标准状态（0℃和760mmHg^①）下，其密度为1.429kg/m³。空气中，氧气与氮气均匀地混合在一起，两者的体积百分比基本不变。氧在水中的溶解度不大，0℃时100mL水中能溶解50mL氧，20℃只能溶解3mL。氧气在-183℃时在一定的压力下就变成浅蓝色的液体，密度为1.140kg/m³。当温度降到-218℃时液体氧就变成浅蓝色的晶体，密度为1.430kg/m³。

许多元素能与氧发生反应，例如，碳在氧气中燃烧：



氢与氧发生反应：



氢气和氧气的混合物具有爆炸性。氢和氧混合物的爆炸极限随压力、温度和水蒸气含量而变化，在大气压下其爆炸范围（体积分数）如下。

H₂：4%~95%；

O₂：5%~96%。

压力在3.0MPa的压缩氧气与各种不同的油脂接触时，可发生自燃或爆炸。氧与其他可燃气体如乙炔、甲烷、一氧化碳等按一定比例混合后形成爆炸性混合物。

二、氮气的特性

1. 氮气的化学性质

氮元素是相当强的非金属，次于氟、氧、氯，居第四位。N₂分子中N≡N键能很大，达949kJ/mol，不易解离为原子，而表现出稳定性和化学惰性。高温或放电条件下分子中化学键破坏而能与多种元素反应。如与H₂生成NH₃；与Mg、Ca、Sr、Ba生成氮化物Mg₃N₂、Ca₃N₂等；与O₂在电弧高温下少量反应生成NO，

① 1mmHg=133.322Pa，下同。

此反应吸热，是 O_2 与其他物质化合时所罕见的。对碱金属只易与锂化合成氮化锂 Li_3N ，却不与其他碱金属直接反应。

2. 氮气的物理性质

氮气是一种无色无味气体，在空气中所占的比例约为 78%（体积分数），并以蛋白质、氨气等氮化合物的形式在自然界中广泛存在。常温下无化学活性，不可与其他物质化合。工业上通过冷却空气，与氧气、氩气等一同分离精制而成。

化学式： N_2 ；

相对分子质量：28.01；

气体密度： 1.251kg/m^3 (0°C 、 $1\text{atm}^\text{①}$)；

液态密度： 0.809kg/m^3 （沸点）；

相对密度：0.97（空气 1）；

沸点：77.4K (1atm)；

熔点：63.3K (1atm)；

临界温度：126K；

临界压力：3.399MPa；

蒸发热： 199kJ/kg （沸点）。

3. 氮气的用途

氮可用于不同的行业，主要包括以下几个方面。

化工工艺：用于惰性保护容器和对氧敏感的化学品，通过制造一个缺氧的环境来减少安全隐患；通过管道驱动液体；以及制造氨。

食品：氮可以防止包装食品的氧化、霉菌生长、受潮以及害虫侵扰，从而延长上架有效期；可快速冷冻；在运输过程中对易腐食品进行冷藏。

石油回收和精炼：提高回收效率和维持油库及蓄气库的压力；保护储罐和装载/卸载产品；吹扫管道；从废水流中汽提挥发性有

① $1\text{atm}=101325\text{Pa}$ ，下同。

机化合物（VOC）或者冷却排放流。

金属生产和加工：可以保护钢、铜和铝等金属在高温炉中进行退火、渗碳和烧结操作；冷却挤压膜；金属部件的冷缩配合；用于不锈钢管焊接的吹扫；还用于等离子切割。

电子：用于防止半导体和印刷电路制造中的氧化。

玻璃制造：用于冷却炉子的电极，并防止制造中发生氧化；还用于降低空气温度达到最佳冷却效率。

研究和健康服务：冷冻和保藏血液、生理组织、精液和其他生物标本；在低温手术和皮肤医疗中冷冻并破坏带病组织；还用于预冷或隔离核磁共振成像，节省成本更高的氦。

建筑：用于抑制混凝土的倾倒温度，防止产生裂缝；用于加固地基。

三、氩气的特性

氩是目前工业上应用很广的稀有气体。它的性质十分不活泼，既不能燃烧，也不助燃。在飞机制造、造船、原子能工业和机械工业部门，对特殊金属，例如铝、镁、铜及其合金和不锈钢在焊接时，往往用氩作为焊接保护气，防止焊接件被空气氧化或氮化。

在金属冶炼方面，氧、氩吹炼是生产优质钢的重要措施，每炼1t钢，氩气消耗量为1~3m³。此外，对钛、锆、锕等特殊金属的冶炼，以及电子工业中也需要用氩作保护气。

氩在空气中的含量为0.932%，沸点在氧、氮之间，在空分装置上塔的中部含量最高，叫氩馏分。在分离氧、氮的同时，将氩馏分抽出，进一步分离提纯，也可得到氩副产品。对全低压空分装置，一般可将加工空气中30%~35%的氩作为产品获得（最新流程已可将氩的提取率提高到80%以上）；对中压空分装置，由于膨胀空气进下塔，不影响上塔的精馏过程，氩的提取率可达60%左右。但是，小型空分装置总的加工空气量少，所能生产的氩气量有限，是否需要配置提氩装置，要视具体情况确定。

氩是惰性气体，作为工业使用后产生的废气则对人体危害很

大，会造成矽肺（硅沉着病，下同）、眼部损坏等情况。

氩本身无毒。氩既是惰性气体，同时也是窒息性气体，大量吸入会产生窒息。当空气中氩浓度高于 33% 时就有窒息的危险；当氩浓度超过 50% 时，出现严重症状；浓度达到 75% 以上时，能在数分钟内死亡。液氩可以伤皮肤，眼部接触可引起炎症。

生产场所要通风，从事与氩气有关的人员，每年要定期进行职业病体检，发现问题要对症治疗。

第二节 气体及氧气基本知识

物质通常以气态、液态、固态存在。每种物质根据外界条件（温度与压力）的不同可处于其中的任一状态。空气、氧气、氯气、氩气在环境温度及大气压下都是气体，当所处条件发生变化时，物质将由一种状态转变为另一种状态，这种状态转变过程叫作“相变”。在相变过程中通常都伴随着热效应的发生。

一、气体的基本状态参数

物质状态参数是描写物质在每一聚集状态特性的物理量。换言之，物质的每一状态都有确定数值的状态参数与之对应，只要有一个状态参数发生变化，物质的状态就相应地发生改变。描述气体状态的基本参数有温度、压力和密度等。

1. 温度

温度可以表示物质的冷热程度。从分子运动论观点看，温度是物质分子热运动平均动能的度量，温度越高，分子热运动的平均动能就越大。

测量某物质的温度，当然要以数值加以表示，从而比较出物质