

KONGFEN JISHU DUBEN

空分技术读本

王丽丽 刘勃安 等编



化学工业出版社

KONGFEN JISHU DUBEN

空分技术读本

王丽丽 刘勃安 等编

空分技术



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了空分工艺与设备,详细介绍了空气分离基础知识,空分装置中的净化系统、制冷系统、精馏系统、仪控系统、开停车步骤及注意事项,空分装置的常用设备、过程操作、日常管理和安全知识等内容。资料丰富,内容实用,可操作性强。

本书可作为空分技术一线操作人员学习用书,也可作为空分相关专业设计人员和相关院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

空分技术读本/王丽丽,刘勃安等编. —北京:化学工业出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-122-06162-1

I. 空… II. ①王…②刘… III. 空气分离-基本知识
IV. TQ116.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 108672 号

责任编辑:辛 田
责任校对:王素芹

文字编辑:余纪军
装帧设计:张 辉

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 装:北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 202 千字

2009 年 9 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来，随着世界经济的高速发展和我国的 GDP 快速增长，国内工业气体市场需求迅速扩大使我国的大中型空分设备及配套装置得到了迅速的发展和广泛的应用。空分装置向大型化、低能耗、高自动化、模块化发展是未来发展的趋势，而且单体空分装置规模会越来越大。像新型偶合式流程、新型的内压缩流程等新流程及分离单质气体的新技术不断涌现，使空分操作及控制越来越先进、越来越现代化。为了提高空分操作人员和管理人员的操作水平及管理能力，使他们尽快地掌握空分行业的新工艺、新技术、新标准，保证装置长周期稳定运行，根据目前国内空分装置的生产能力和运行的现状，我们组织编写了《空分技术读本》一书以满足市场需要。

本书由长期从事空分装置生产一线的工程技术人员和吉林化工学院的教师编写。本书从生产需要的角度出发，结合生产和工作实际，比较系统地介绍了空分装置的生产流程、生产管理、设备的运行维护及故障处理的原则和方法等内容。

本书在编写过程中收集了大量生产和运行资料，总结归纳了多年工作经验，体现了先进性、实用性、通用性和可操作性的原则。在内容的阐述过程中力求做到文字简练、语言确切、图文并茂、图表清晰生动。

本书适用于从事空气分离装置的操作人员、生产管理、技术管理及设备管理人员培训和自学使用，也可以作为高职高专和本

科院校相关专业学生的专业技术读本或参考教材。

本书主要由王丽丽、刘勃安编写。参加编写的还有吉林化工学院的张振坤和刘建中。梁锋、曲永贵、周利福、王锡玉参加了部分内容的编写。全书由刘勃安、王丽丽、刘丽杰三人进行统稿，并由张振坤、王锡玉进行了审核、修改。

由于编者水平有限加之时间仓促，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 空气分离基础

第一节 空气分离与深度冷冻制氧	1
一、空气的分离	1
二、空气精馏	2
三、深冷循环	2
四、深度冷冻法制氧	4
五、制氧流程介绍	6
六、全低压大型分子筛流程的特点	7
第二节 空气的性质	9
一、空气的物理性质	9
二、空气及其组成气体的性质	11
第三节 空分产品性质、规格及用途	12
一、氧气的物理性质	12
二、氧气化学性质及用途	13
三、氮气的物理性质	13
四、氮气化学性质及用途	14
第四节 热力学基本定律	15
一、摩尔与热功当量	15
二、热力学第一定律 内能与焓	16
三、热力学第二定律 熵	17
第五节 空气的液化	19
一、空气液化	19

二、空气液化的实质	24
-----------------	----

第二章 空分装置中的净化系统

第一节 空气过滤、水洗系统	27
一、空气过滤系统	27
二、水洗涤系统	29
第二节 空气自清除系统	30
一、空气中水分、二氧化碳的清除方法	30
二、可逆式换热器自清除系统	31
第三节 纯化器（分子筛）净化系统	32
一、纯化器净化方法	32
二、净化过程	33

第三章 空分装置中的制冷系统

第一节 冰机制冷系统	36
一、制冷原理及流程	36
二、主要设备简介	36
三、制冷剂的选择	38
第二节 膨胀机制冷系统	38
一、透平膨胀机在空分装置中的应用	38
二、透平膨胀机制冷的基本原理	39
三、膨胀机在空分装置中冷量的分配	39
四、膨胀空气和精馏的关系	40
五、透平膨胀机的主要组件	42
六、透平膨胀机的主要参数	44
七、膨胀机制冷的相关因素	45
八、节流过程及其原理	45

第四章 空分装置中的精馏系统

第一节 氧气、氮气的分离	48
第二节 参数调整	49
一、精馏工况的调整	49
二、氧氮气纯度的调节	50
三、影响氧气纯度的因素	52
四、影响氮气纯度的因素	54

第五章 空分装置中的仪表控制系统

第一节 温度控制	55
一、温度测量原理及结构	55
二、温度计形式	57
三、温度计使用场合及性能	57
第二节 压力控制	58
一、压力控制定义及分类	58
二、压力表的形式	60
第三节 流量控制	61
一、流量测量仪表的类型	61
二、流量仪表的控制原理	61
第四节 液位控制	62
一、浮球式液位计	63
二、差压式液位计	63
三、液位测量仪表及应用	64
第五节 自动调节系统	65
一、自动调节系统的组成	65
二、调节规律	66
三、复杂调节系统	66
第六节 电器系统	67

一、空分装置中电器系统概述	67
二、电动机常见故障分析	69
三、故障原因及排除方法	70
四、电动机日常维护	72
五、装置防雷、防静电及接地知识	72
第七节 联锁保护系统	74
一、联锁保护装置在空分装置中的应用	74
二、联锁装置的作用	75

第六章 空分装置的开车、停车及注意事项

第一节 空分装置空投步骤介绍	76
一、空压机的空投步骤	76
二、氧活塞压缩机空投步骤	76
三、膨胀机空投步骤	77
四、备车的盘车	77
第二节 空分装置开车步骤	77
一、空分装置热态开车（基建开车前单机试车方法）	77
二、空分装置的冷态开车	99
三、空分装置的热态停车	99
四、空分装置的冷态停车	99
五、大型空分装置（产氧 $6000\text{m}^3/\text{h}$ 以上增压透平膨胀机） 热态开车步骤	100

第七章 空分装置常用的设备

第一节 塔设备	108
一、空气冷却塔	108
二、精馏设备	108
第二节 换热器	110

一、可逆式换热器	110
二、主换热器	110
三、冷凝蒸发器	111
四、过冷器	111
五、热交换器	112
第三节 制冷设备	113
一、节流阀	113
二、透平膨胀机结构、性能参数、工作原理	114
第四节 其他设备	117
一、冰机结构、性能参数、工作原理	117
二、纯化器结构、性能参数、工作原理	117
第五节 压缩机	118
一、定义	118
二、主要用途	119
三、压缩机的分类	119
四、离心式压缩机开车	120
五、活塞式压缩机	120
六、冷冻压缩机	123
第六节 膨胀机	125
一、透平式膨胀机的种类及其制冷方式	125
二、转动设备的盘车要求	127
三、转动设备使用润滑油型号及填加要求	127

第八章 空分过程操作

第一节 空分装置中常见的故障及处理	128
一、仪控故障处理	128
二、电器故障处理	130
三、产量调节	130

四、设备和阀门故障及处理	135
五、故障排除	140
第二节 空分精馏过程中的影响因素	167
一、各种杂质的影响	167
二、各切换阀和自动阀故障的影响	169
三、工艺参数调节方面的影响	174

第九章 空分装置操作中日常管理

第一节 日常操作管理	189
一、扒装珠光砂操作规定	189
二、排液操作规定	192
三、冷态充液操作规定	192
四、紧急停车的规定	193
五、冬季生产操作规定	194
六、空分塔正常操作管理	195
七、正常生产调节操作	197
第二节 设备防腐	198
一、腐蚀分类	198
二、腐蚀失效破坏形式	199
三、防腐措施	200
四、不锈钢概述	201

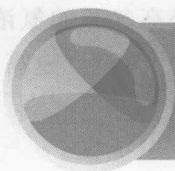
第十章 空分装置的作业及安全

第一节 空分装置中的安全及防爆系统	206
一、空分装置的爆炸及其原因	206
二、形成爆炸的因素	206
三、空分装置内的爆炸源	207
四、危险杂质在液空、液氧中爆炸所需要的条件	207

五、乙炔在液空、液氧中爆炸的原因	207
六、预防措施	208
第二节 装置的监测、管理及相关措施	208
一、装置的监测及管理	208
二、装置爆炸的预防措施	210
三、主冷凝器的防爆	216
四、油对空分装置的危害	219
第三节 空分装置安全运行规定	220
一、正常运行规定	220
二、运行操作的安全要求	222
三、事故隐患及预防	223
四、安全管理体系	233
第四节 空分装置节能降耗措施	235
一、在保证产品纯度的情况下提高氧气产量的操作	235
二、降低加工空气压力、减少能耗	237
三、延长设备运转周期、减少停车时间	239
第五节 空分装置试车前脱脂、清洗、试压、查漏、裸冷及 绝热材料填充方案	240
一、脱脂和清洗	240
二、试压查漏	241
三、裸体冷冻	243
四、绝热材料的充填	244
五、设备检修时的动火常识、注意事项及监护要求	245
第六节 过滤式防毒面具的使用方法	248
一、结构	248
二、使用范围	248
三、使用前的检查	249
四、注意事项	249

第七节 空气呼吸器的结构及工作原理	249
一、结构	249
二、工作原理	250
三、空气呼吸器的使用方法及注意事项	250
四、空气呼吸器使用前的检查	252
第八节 灭火器材的种类、适应范围及使用方法	252
一、种类	252
二、适应范围	252
三、使用方法	253

参考文献



第一章 空气分离基础

应用深度冷冻原理从空气中分离出氧气、氮气和氩气及氦气等稀有气体组分的过程称为空气分离。采用深度冷冻法，以液化精馏或部分冷凝法将空气分离成纯组分，一般包括空气压缩、换热、净化、制冷、精馏五个基本系统。目前国内大型装置有的采用全低压分子筛净化流程。近年来，非低温法即变压吸附和膜分离法的应用，将逐步扩大使氧气氮气的纯度接近 100%。

第一节 空气分离与深度冷冻制氧

一、空气的分离

气相和液相达到平衡状态时的温度称为饱和温度。这时的压力称为饱和压力。对氧、氮平衡状态做试验，看其气相和液相浓度变化的规律，试验是在各种给定压力下进行的。试验的结果表明以下几点。

(1) 压力 P 越低，饱和气体和饱和液体中的氧、氮浓度越大。

(2) 平衡状态时液相的氧浓度大于气相中的氧浓度，气相中的氮浓度大于液相中的氮浓度。

(3) 混合物中低沸点的浓度越大，它的沸点和冷凝温度也

越低。

由此可得出分离空气制取氧、氮的基本方法是在给定压力下使氧氮混合液在不同温度下达到平衡状态，以提高气相的氮浓度、液相中的氧浓度，当给定压力越低时，气相中氮浓度越高，液相中氧浓度越高。

二、空气精馏

空气的精馏是利用组成空气的各种组分具有不同的挥发性，即在同一温度下各种组分的蒸气压不同，将液空进行多次部分蒸发和部分冷凝，就能达到分离的目的。当处于冷凝温度的氧、氮混合气体接触并穿过比它温度低的氧氮组成的液体时，气相与液相之间同时进行了热质交换，于是气体要部分冷凝转变成液体并放出冷凝潜热，液体则吸收热量而部分蒸发。在精馏塔中，该过程是在筛板上完成的。由于氧、氮组分沸点的不同，氮比氧易蒸发，氧比氮易冷凝，当气体自下而上在逐块塔板内通过时，氮浓度不断增加，只要有足够多的塔板数，在塔顶部即可获得高纯度的氮气；反之，当液体自上而下在逐块塔板内通过时，氧浓度亦不断增加，这样在下塔底部可获得富氧液空，在上塔底部可获得高纯度的氧气。

三、深冷循环

1. 节流循环

空气经压缩，温度和焓值都会增加，但经水冷却后，空气温度保持不变，说明冷却水带走了一部分能量。由于在空气液化实质的讨论中和等温压缩时能量转移，经等温压缩后，虽然空气的压力提高了，但本身的能量反而减少了。因此，空气本身原有能

量的减少是循环制冷量的来源。制冷量的大小完全取决于空气在压缩过程中内部能量被冷却水带走的数量，即 $i_1 - i_2$ 。

节流阀的作用是将空气膨胀而降温，使空气（工质）具有吸收热量的能力，热交换器在循环中只起热量的转换作用，没有它，即便节流前压力很高，节流后温度降低还是不大的，不可能达到液化温度。然而，热交换器能使温度不太低的制冷量转变成温度更低的制冷量。

2. 对外做功的绝热膨胀循环

在深冷循环中，利用对外做功的绝热膨胀，无疑较利用节流膨胀要经济得多。但由于膨胀机在低温下操作，空气很易液化，如果有液体生成，则将引起液击，对膨胀机不利。因此，一般不单独采用膨胀机，它常与节流阀配合起来使用。

分析循环制冷量。设 1kg 空气为基准， $G\text{kg}$ 空气经过膨胀机， $(1-G)\text{kg}$ 空气经节流阀。假如在过程中将全部空气节流膨胀，那么这时循环制冷量就是节流膨胀循环制冷量，即 $q = i_1 - i_2$ ，式中 i_1 、 i_2 是相同温度下，低压空气和高压空气的焓。

若有 $G\text{kg}$ 空气经膨胀机对外做功，也即膨胀机的制冷量，其值为 $G(i_3 - i_4)$ ，式中 i_3 、 i_4 是膨胀机进、出口焓。

因此，带膨胀机循环的空气制冷量为：

$$q = (i_1 - i_2) + G(i_3 - i_4)$$

若带膨胀机循环的空气量为 V （标准状态）（ m^3/h ），那么，带膨胀机循环制冷量：

$$Q = -\Delta I + Q_{\text{膨}}$$

式中 ΔI ——等温节流效应，表示全部空气压缩后经节流循环制冷量；

$Q_{\text{膨}}$ ——膨胀机制冷量。

3. 增压-透平膨胀机循环

在增压-透平膨胀系统中，增压机和透平膨胀机的叶轮安装在同一轴的两端，透平膨胀机的输出功率通过轴直接传给增压机。

分析循环制冷量，节流膨胀循环制冷量 $q = i_1 - i_2$ [设 1kg 以空气为基准，Gkg 空气经过增压-透平膨胀机， $(1-G)$ kg 空气经节流阀]。若有 Gkg 空气经增压膨胀机对外做功，也即膨胀机的制冷量，其值为 $G(i_5 - i_6)$ 。

其中 i_5 、 i_6 是膨胀机进出口焓。

增压机增压制冷量 $G(i_3 - i_4) = W_{\text{轴}}$ ，因此，带膨胀机循环的空气制冷量为：

$$q = (i_1 - i_2) + W_{\text{轴}} + G(i_5 - i_6)$$

同单纯做外功膨胀循环相比， $G(i_5 - i_6)$ 大于对外做功膨胀循环 $G(i_3 - i_4)$ ，而 $(i_5 - i_6)$ 与增压-透平膨胀机效率有关。所以，透平膨胀机最大焓差的获得取决于增压机和透平膨胀机的效率。透平膨胀机效率越高，则增压机获得的功率就越大，而增压机的效率越高，则意味着其压力比越高，那么透平膨胀机的进口压力和焓差也就越大。最佳的增压-透平膨胀机系统是增压机和透平膨胀机的组合设计，具有最好的效果及最大的产冷量。

充分利用空气分离设备或液化设备中膨胀机的输出功是增压-透平膨胀系统的机理。

四、深度冷冻法制氧

深度冷冻法分离空气制氧，是先空气压缩，冷却后液化，利用氧氮沸点的不同，在蒸汽与液体经过塔板接触时，高沸点的氮组分不断从蒸汽中冷凝而进入液体，中沸点的氮组分不断从液体