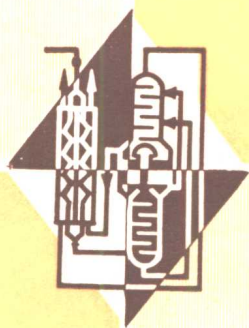


小型制氧机 操作与故障处理

国营五一〇七厂
湖北省鄂城钢铁厂 编
北京钢铁学院



化学工业出版社

小型制氧机 操作与故障处理

国营五一〇七厂

湖北省鄂城钢铁厂 编

北京钢铁学院

化学工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍中压50米³/小时、150米³/小时、300米³/小时和管式1500米³/小时、板式1000米³/小时五种制氧机。全书共分七章。第一章介绍了空气液化与精馏原理；第二章介绍五种制氧机工艺流程；第三、四、五、六各章分别介绍空气压缩、空气分离、氧气压缩岗位主要设备结构、操作及故障处理；第七章介绍制氧生产中安全技术要点。书中内容理论联系实际，较为实用。

本书由于凤册、杨家秀、李金秀、汤学忠、李化治等同志执笔。汤学忠、李化治负责全书的修改工作。北京钢铁学院制氧教研室刘荣、刘扬程、薛裕根等同志参加了全书的审查工作。

本书可供化肥、冶金、机械加工等部门小型制氧厂工人学习，也可供制氧技术人员及大专院校有关专业师生参考。

小型制氧机操作与故障处理

国营五一〇七厂

湖北省鄂城钢铁厂 编

北京钢铁学院

化学工业出版社出版

(北京和平门七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本850×1168¹/₃₂印张11³/₈插页4字数299千字印数1-11,150

1980年1月北京第1版 1980年1月北京第1次印刷

书号15063·3080定价1.30元

目 录

绪论	1
一、氧、氮的主要性质	2
二、氧、氮的主要用途	3
三、氧的主要制取方法	4
第一章 空气的液化与精馏原理	6
第一节 气体的性质与液化	6
一、气体定律	7
二、气体的液化	13
第二节 低温的获得与冷量的制取	18
一、获得低温的方法	18
二、空气液化循环	22
三、制冷量与冷量平衡	25
第三节 空气的精馏	32
一、气、液平衡的基本规律	32
二、精馏原理	36
三、精馏塔	38
四、影响精馏效果的主要因素	43
五、精馏塔的物料平衡	49
第二章 制氧工艺流程	52
第一节 中压制氧工艺流程	53
一、50米 ³ /小时制氧机	53
二、150米 ³ /小时制氧机	57
三、300米 ³ /小时制氧机	59
第二节 全低压制氧工艺流程	60
一、板式1000米 ³ /小时制氧机	61
二、1500米 ³ /小时制氧机	64
第三章 空压岗位	69

第一节 空气的过滤	69
一、拉西环式过滤器	70
二、链带式过滤器	70
三、千式过滤器	71
第二节 活塞式空压机的原理与构造	72
一、空压岗位的工艺流程	72
二、活塞式空压机的工作原理	73
三、活塞式空压机的构造	76
四、活塞式空压机的润滑	83
第三节 活塞式空压机的操作与故障处理	86
一、操作要点	86
二、故障及处理	89
第四节 离心式空压机的工作原理与构造	95
一、离心式空压机的工作原理	95
二、主要机件的构造	98
三、压缩机组	103
第五节 离心式空压机的性能与调节	106
一、离心式空压机的性能	106
二、空压机的调节	107
三、空压机的喘振及其控制	108
第六节 离心式空压机的操作	110
一、开车前的准备	110
二、开车	112
三、正常操作	112
四、正常停车	113
五、紧急停车	113
第七节 离心式空压机的故障及处理	114
一、排气量不足	114
二、中间冷却器泄漏	116
三、中间冷却器效果不好	117
四、机组振动大	118
五、空气过滤器阻力大	118
六、润滑系统故障	119

七、轴承温度过高	120
八、轴向位移过大	121
九、空压机内进入异物	121
第四章 中压制氧机的空分岗位	123
第一节 纯化器与干燥器	123
一、分子筛纯化器与硅胶干燥器的工作原理及其特点	123
二、纯化器的流程与构造	124
三、吸附器的操作	127
第二节 活塞式膨胀机	130
一、活塞式膨胀机的工作原理	130
二、影响制冷量的因素	136
三、防飞车装置	141
四、操作要点	143
五、故障处理	146
第三节 空分塔	150
一、下塔	150
二、上塔	154
三、冷凝蒸发器	156
四、盘管式热交换器	160
第四节 中压制氧机的操作	161
一、开车前的准备	161
二、启动过程	163
三、正常操作要点	172
四、停车与间断制氧	173
五、生产液氧的方法	175
六、加温和吹除	176
第五节 故障处理	178
一、产量低	178
二、液面计失灵	179
三、纯度下降	180
四、阀门故障	182
五、温度不正常	186
六、精馏塔堵塞与污染	186

七、塔体外结霜	188
八、操作时间很长未见液体	188
九、液泛	188
十、其它故障	189
第五章 全低压制氧机空分岗位	191
第一节 换热设备与精馏设备	191
一、换热设备	191
二、精馏设备	203
第二节 空气净化设备	207
一、水份、二氧化碳在切换式换热器中析出的规律	208
二、自清除条件	214
三、蓄冷器与板式可逆式换热器的比较	219
四、乙炔吸附器与二氧化碳吸附器	220
第三节 切换系统与阀门	223
一、自动切换系统	223
二、切换阀	228
三、电磁阀	230
四、气动薄膜调节阀	232
五、蝶阀	239
第四节 透平膨胀机与离心式液氧泵	241
一、透平膨胀机	241
二、离心式液氧泵	255
第五节 全低压制氧机的安装试车与加热	260
一、制氧机安装注意事项	260
二、气密性试验	263
三、切换系统及阀门的调整	266
四、裸体冷冻	266
五、保冷材料的充填	267
六、设备的加温	268
第六节 全低压制氧机的启动操作	275
一、两种不同的启动方法	275
二、1500 米 ³ /小时管式制氧机的集中冷却法启动	276
三、1000 米 ³ /小时板式制氧机的分段冷却法启动	282

第七节 全低压制氧机的正常操作	290
一、工况调整	291
二、停车	301
第八节 故障处理	303
一、切换系统	303
二、蓄冷器或板式可逆式换热器的堵塞	308
三、冷凝蒸发器和过冷器的故障	313
第六章 氧压岗位	315
第一节 氧压流程	315
一、管路送氧的流程	315
二、氧气装瓶的流程	316
第二节 活塞式氧压机的构造	317
一、下部结构	319
二、气缸与活塞	321
三、填料函与刮油器	325
四、气阀	328
五、润滑冷却系统	329
第三节 活塞式氧压机的操作与故障处理	330
一、操作	330
二、氧压机的常见故障及处理	332
第四节 氧气瓶	336
一、种类、用途与构造	336
二、爆炸的主要原因	336
三、安全工作要点	337
第七章 安全技术	340
第一节 防爆	340
一、爆炸的部位	340
二、爆炸的原因	341
三、防爆措施	344
第二节 防火	347
一、引起火灾的因素	347
二、防火规则	347
第三节 中毒及其它安全防护	348

一、防止中毒.....	348
二、防止冻伤.....	349
三、防止窒息.....	349
四、防止触电.....	350
五、防止机械创伤.....	350
六、防止其它伤害.....	351
第四节 安全生产要点.....	352
一、制氧车间安全生产要点.....	352
二、活塞式空压机安全生产要点.....	353
三、离心式空压机安全生产要点.....	354
四、膨胀机安全生产要点.....	354
五、氧压机安全生产要点.....	355
六、精馏塔安全运转要点.....	355

绪 论

制氧机又称空气分离设备，它是以空气为原料，将它分离成所需的氧和氮。空气是多种气体组成的混合气体，其组成如表所示。其中的主要成份是氧和氮，还有少量氩、氖、氦、氪、氙等稀有气体，此外还不同程度地含有一些二氧化碳、水蒸汽、乙炔及灰尘等杂质。

表 空气的组成及各组份的沸点

名 称	分子式	体 积, %	沸 点 ^① , K/°C
氧	O ₂	20.95	90.19/-182.97
氮	N ₂	78.09	77.35/-195.81
氩	Ar	0.93	87.46/-185.7
氖	Ne	1.8×10^{-3}	27.26/-245.9
氦	He	5.24×10^{-4}	4.21/-268.95
氪	Kr	1×10^{-4}	119.96/-151.8
氙	Xe	5×10^{-5}	20.41/-252.75
氙	Xe	0.8×10^{-5}	164.06/-109.1
二氧化碳	CO ₂	0.03~0.04	194.96/-72.8 ^②
乙 炔	C ₂ H ₂	0.01~0.1 ppm ^③	189.56/-83.6 ^④
水蒸汽	H ₂ O	由具体情况决定	373.16/100
空 气	—	100	78.81/-194.35

① 指压力为760毫米汞柱下的数值。

② ppm表示百万分之一。

③、④ 指固体直接变为气体（叫升华）的温度。

氧、氮在许多工业部门，特别是钢铁和化肥工业中有着重要的用途，所以随着国民经济的发展，对制氧机的需要量越来越大。为了保证钢铁和化肥的正常生产，要求制氧机能提供足够数量的、一定质量的氧气和氮气。作为制氧机的操作工人，必须懂

得制氧原理、熟悉制氧机的构造、掌握制氧机的操作方法、具有判断和处理故障的能力。本书是以中、小型制氧机（1500标米³/小时以下）为主，介绍空气分离的基本知识和制氧装置的操作技术。

一、氧、氮的主要性质

（一）氧的性质

氧在常温及1大气压力下，为无色透明、无臭、无味的气体。在1标准大气压（760毫米汞柱）下，温度降至 -182.97°C 时冷凝成天蓝色透明而易于流动的液体。每升液氧重1.14公斤，而在 0°C 、760毫米汞柱下1米³（1000升）气氧的重量为1.429公斤，即1升液氧汽化后可得0.8米³的气氧，体积扩大800倍。当液氧冷却至 -218°C 时，它就成为蓝色的固态结晶。

氧的化学性质很活泼，非常容易与其他物质化合生成化合物，这样的化学过程称为氧化反应。氧的浓度越高，反应越强烈，同时放出大量的热量。用氧气强化钢铁的冶炼过程和燃料的燃烧过程就是这个道理。

氧与可燃性气体（氢、乙炔、甲烷等）按一定比例混合后易于爆炸。各种油脂与压缩的氧气接触时，温度超过燃点，可发生自燃。被氧饱和的衣服及其他纺织品与火种接触时会立即着火，所以制氧车间要严禁烟火。

氧还具有一种非常奇特的性质，就是感磁性，即氧分子在磁铁的作用下可带磁性，并可被磁极所吸引。氧的磁性分析仪就是利用这一特性来自动分析氧的纯度。

（二）氮的性质

氮在常温、常压下为无色、无味的气体。在 0°C 、760毫米汞柱下1米³氮气重1.25公斤。冷至 -195.81°C 时变成无色透明、易于流动的液体。1升液氮重0.81公斤，汽化后可获得0.65米³的氮气，即体积扩大650倍。在 -210.1°C 时，液氮凝固成雪花状的固体物质。

氮的化学性质不活泼，在平常状态下表现为很大的惰性。因

此，在许多工业部门中广泛地用氮作保护气体。在高温、高压和有催化剂存在下，与氢可以化合成氨（ NH_3 ）。

二、氧、氮的主要用途

（一）氧的用途

氧是一切有生命的机体赖以生存的物质，它在工业中的应用主要是利用其氧化性能，以强化生产工艺过程。

根据不同的用途，对氧纯度的要求也不同。一般，氧纯度在99.2% O_2 以上叫高纯氧，也叫工业氧。主要用于金属的切割与焊接、纯氧顶吹转炉炼钢等。因为氧纯度降低将降低火焰温度和影响钢的质量。一般每炼一吨钢的耗氧量在55~70标米³左右。

对一般的强化生产工艺用氧，氧纯度只要求在90~98%左右，叫工艺氧或不纯氧。例如平炉用氧、有色金属冶炼用氧等。

在强化燃料燃烧时，所需的氧纯度可以更低，通常称为富氧或浓化空气。例如，高炉富氧鼓风一般要求的氧浓度为24~25% O_2 ；在合成氨工厂，用氧作为重油或劣质煤的气化剂时，富氧空气的浓度在45~52%。但是，从经济性分析，如果用制氧机先生产出浓度为50~70% O_2 的富氧，再与空气混合成所需浓度的富氧空气，则生产成本最低。目前由于受配套设备的限制，多数仍用生产纯氧的制氧机供富氧的需要。

合成氨耗氧的一般情况如下。

对固体燃料（褐煤、粉煤、碎煤），每吨合成氨耗氧500~900标米³；对液体燃料（重油、原油），每吨合成氨耗氧640~780标米³；对气体燃料（天然气、焦炉煤气、石油裂解气），每吨合成氨耗氧250~700标米³。对上述原料路线的年产一万吨合成氨的氮肥厂，需配一台1000米³/小时的制氧机。

此外，氧在国防工业（用液氧作为助燃剂）、医疗部门、化学工业、轻工业（纸浆漂白等）、磁流体发电、污水处理等很多部门得到越来越广泛的应用。制氧工业已成为国民经济中不可缺少的重要生产部门。

（二）氮的用途

氮在工业生产中主要是作为保护气体，要求氮的纯度在99.99%以上。在化肥生产中，主要是利用空气中的氮作为合成氨的原料气。但是，在用富氧造气时，需补充一部分纯氮，以保持生产合成氨所需氮、氢的比例。此外，在气体净化中，有的采用液氮洗涤法，脱除氮氢混合气中一氧化碳和少量的氧和甲烷。洗涤后，一氧化碳含量可以降低到15ppm，氧和甲烷含量极微。此法氮气消耗量约为750米³/吨氮左右。在生产石灰氮（一种化学氮肥）时，需要用纯氮气为原料。

液氮是一种较方便的低温冷源，用于食品、血液等的贮藏。在低温外科手术中也得到越来越广泛的应用。

三、氧的主要制取方法

工业上制取氧的主要方法是以取之不尽、用之不竭的空气为原料。空气中的氧、氮是均匀地混合在一起的，要将它们分离，目前主要有两种方法，

（一）吸附法

它是利用分子筛（5A型等）能对氮分子吸附而基本上不吸附氧分子的性能，通过抽空、充气、出氧三个过程，可获得富氧。这种方法只能制取氧纯度为75%左右的富氧，并随着切换过程，纯度有周期性的变化，其生产的稳定性与分子筛的性能有很大关系，目前尚未得到普遍应用。

（二）深度冷冻法

它是利用氧、氮的沸点不同，首先将空气液化，然后再把它蒸发。由于氧的沸点比氮高，所以低沸点组份氮较多地蒸发，而液体中的氧量相对地增加，蒸气在冷凝时，氧较多地冷凝下来，蒸气中的氮相对地增加。应用这个原理，在精馏设备中使温度较高的蒸气与温度较低的液体不断接触，氧不断从蒸气中冷凝而进入液体，氮不断从液体中蒸发变成蒸气，使下流液体中的含氧越来越高，上升蒸气中的含氮越来越高，达到把空气分离为氧、氮的目的，这种分离的方法叫精馏。要使空气液化，必需冷至-140℃以下的温度，为此需对空气进行压缩、冷却、再膨胀降

温，使气体变成液体。通常把获得低于 -140°C 温度的过程叫深度冷冻，所以称为深度冷冻法分离空气。

在用氧、氮量较大时，目前用深冷法分离空气制取氧、氮时最经济，用全低压流程制取氧气的电耗量仅为 $0.55\sim 0.60$ 千瓦·小时/米³氧气。因此，用深冷法制取氧、氮的方法在工业上得到了广泛应用，本书也只涉及用此方法制氧的有关问题。

除深冷法、分子筛吸附法以外，还可用水电解法、化学法及其它方法制氧，这里不再做介绍。

第一章 空气的液化与精馏原理

第一节 气体的性质与液化

任何物质都是由分子组成的，对不同的物质，它们之所以具有不同的性质就是因为它们的分子的结构、重量和大小均不相同的缘故。

组成物质的分子都是处在不停运动的状态。由于分子的运动情况不同，任何物质都可能以固态、液态或气态三种不同的聚集状态存在。最常见的是水加热可变为水蒸汽，冷却可变成冰。这种不同状态之间的变化叫相变。固态变成液态叫熔化，液态变成气态叫汽化，气态变成液态叫液化，液态变成固态叫凝固，固态直接变成气态叫升华。

内因是变化的根据，外因是变化的条件。产生相变的内因是组成该物质的分子的性质，外因是温度和压力的变化。因此，温度、压力是描述物质所处状态的量，称为物质的状态参数。

压力是指垂直作用在单位面积上的力，也称压强，常用符号 P 表示。单位面积是指每 1米^2 或 1厘米^2 等，力的单位为公斤，则压力的单位为公斤/米²、公斤/厘米² 等。最常用的压力的单位是大气压，分工程大气压与标准大气压两种，分别规定为：

$$1\text{工程大气压} \equiv 1\text{公斤/厘米}^2 = 10000\text{公斤/米}^2$$

$$1\text{标准大气压} \equiv 760\text{毫米汞柱}$$

通常，对周围空气的压力及一些较低的压力采用毫米水银柱、毫米水柱等液柱高度为单位。它的原理是被测量的压力等于液柱在底面上由于本身重量所产生的压力。若玻璃管液柱的高度为 h ，截面积为 A ，液体单位体积的重量，即重度为 $\gamma_{\text{液}}$ ，则液柱本身重量对底面产生的作用力为 $\gamma_{\text{液}}hA$ ，压力为

$$P = \gamma_{\text{水}} h A / A = \gamma_{\text{水}} h$$

我们知道，水的重度为 $\gamma_{\text{水}} = 1000$ 公斤/米³， 则

$$1 \text{ 毫米水柱} = \gamma_{\text{水}} h = 1000 \times 0.001 = 1 \text{ 公斤/米}^2$$

又水银的重度 $\gamma_{\text{水银}} = 13600$ 公斤/米³， 则

$$1 \text{ 毫米水银柱} = 13600 \times 0.001 = 13.6 \text{ 公斤/米}^2$$

因此 1 毫米水银（汞）柱 = 13.6 毫米水柱

$$1 \text{ 工程大气压} = \frac{10000}{13.6} = 735.6 \text{ 毫米汞柱}$$

$$1 \text{ 标准大气压} = \frac{760}{735.6} = 1.0332 \text{ 工程大气压}$$

通常所用的大气压均是指工程大气压。

温度是表示物体冷热的程度。通常所用的摄氏温度是用℃表示，它是取 1 标准大气压下冰的熔点为零度，水的沸点为一百度，将这个范围分为 100 等分，每一等分称为 1 度。低于冰点的温度用负数表示。例如氧在 1 标准大气压下的沸点为 -182.97℃。

一、气体定律

气体的特点是没有固定的形状，也没有固定的体积，完全取决于容器的形状和大小。在同一容器内可容纳不同数量的气体。例如，氧气瓶本身的体积为 40 升，但在不同的温度和压力条件下里面的氧气数量不同。因此，如果要用体积来表示气体的数量，必须指明是在什么温度与压力下。因为当温度升高时，气体分子的运动加剧，体积要膨胀；当压力升高时，气体受到压缩，分子之间的距离减小，体积缩小。通常取温度为 0℃、压力为 760 毫米汞柱的状态作标准，叫标准状态。在这种状态下所占的体积的单位用标准立方米，简称标米³。例如，通常所说的加工空气量、氧气产量都是指在标准状态下的体积流量。对 KDON-1500/1500 型制氧机，加工空气量为 10000 标米³/小时，氧产量为 1500 标米³/小时。

对一定数量的气体，在不同的温度和压力下所占的不同体积，可以按一定的关系相互进行换算。因为温度反映了分子运动

激烈的程度，压力反映分子对单位壁面的撞击力的大小及撞击次数，一定量的气体所占的体积反映了分子之间的距离，它们是从不同的方面反映气体内部状态的，因此有着内在的联系。反映一定数量的气体其温度、压力与体积之间的定量的关系叫气体定律。

(一) 气体基本定律

实验发现，对一定数量的气体，在一定的温度下，当压力升高时，所占的体积随之缩小，如图 1-1 a 所示。体积是与绝对压力成反比，即

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (1-1)$$

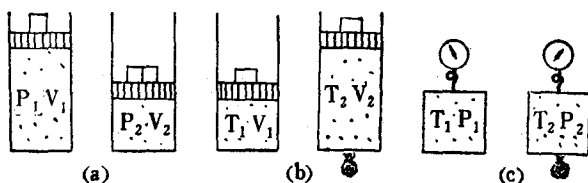


图 1-1 气体定律实验

如图 1-1 b 所示，在一定的压力下，体积是随温度升高而膨胀，体积是与绝对温度成正比。即

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (1-2)$$

如图 1-1 c 所示，在一定的体积下，压力是随温度升高而升高，绝对压力是与绝对温度成正比。即

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (1-3)$$

所谓绝对压力是指从绝对真空（不存在气体分子时）起算的压力。而通常的压力表测量的压力数值是从大气压力起算的。当被测压力为大气压力时，压力表的读数为 0；高于大气压力时，读数表示比大气压力高出的值，叫表压力；低于大气压力时，读数为负压，表压力与绝对压力的关系如图 1-2 所示。由于大气压力近似为 1 大气压，所以表压力加 1 大气压即为绝对压力。