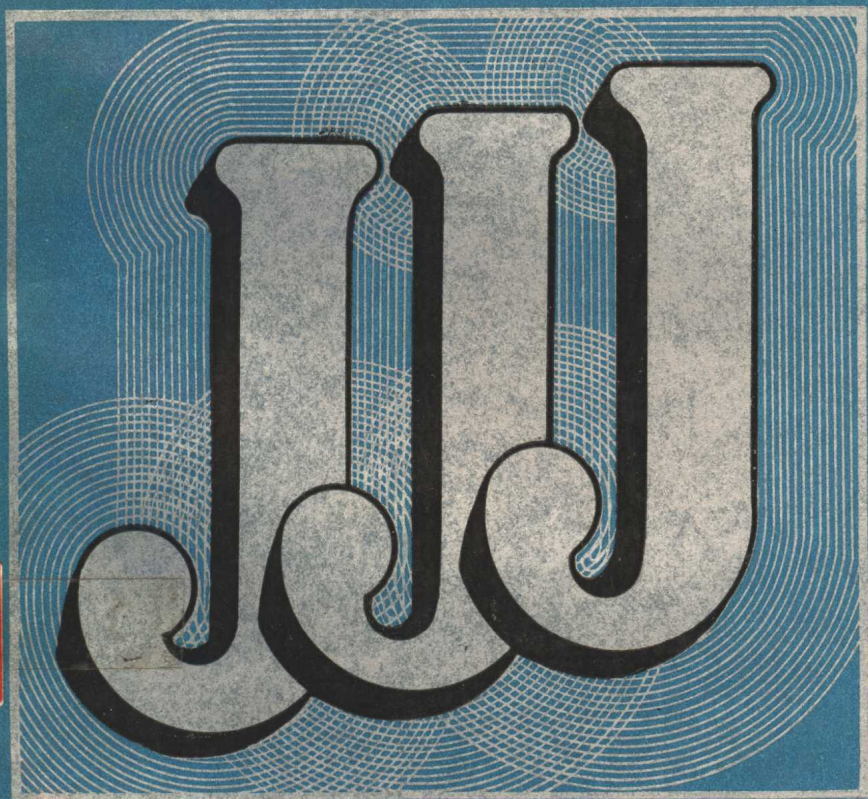


国家机械工业委员会统编

中级制氧工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书主要包括：一般理论基础知识，空气净化方法和技术要求，制氧用机械设备的结构、操作、故障处理及有关计算方法，空气分离设备结构原理、操作要点、拆装与检修、清洗、气密性试验等工艺方法，焊接基本知识，常用测量及分析仪表、阀门、小型低温贮存容器结构原理及使用方法，基本管理知识等。

本书是制氧工人技术理论培训教材，也可供从事制氧工作的有关人员参考。

本书由沈阳标准件厂王琦编写，由沈阳市压力协会理事纪辅仁、沈阳标准件厂王立功审稿。

中级制氧工工艺学

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：俞逢英 版式设计：罗文莉
封面设计：林胜利 方 芬 责任校对：陈 松
责任印制：郭 炜

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $9 \frac{7}{8}$ · 字数 217 千字
1988 年 12 月北京第一版 · 1988 年 12 月北京第一次印刷
印数 00,001—13,000 · 定价：3.70 元

*

ISBN 7-111-01177-5/TQ · 11

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级)，于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分解解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

IV

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

本工种需学习下列课程

初级：钳工常识、电工常识、初级制氧工工艺学

中级：机械识图、机械传动、中级制氧工工艺学

为便于企业开展培训，国家机械工业委员会教育局和机械工业出版社还组织编写出版了与钳工常识、电工常识、机械识图、机械传动四种教材配套的习题集，并摄制出版了电工常识、机械识图、机械传动三门课的电视教学录像片。

目 录

前言

第一章 一般理论知识	1
第一节 热力学基本概念	1
第二节 蒸发与冷凝	8
第三节 气体热力性质图一般应用及计算	10
第四节 空气降温方法	14
复习题	17
第二章 空气净化的基本理论知识	18
第一节 空气的组成及有害杂质的清除	18
第二节 空气中灰尘及机械杂质的清除方法	20
第三节 空气干燥基本理论知识及一般计算	23
第四节 分子筛纯化器	30
第五节 化学法对空气中二氧化碳的清除	32
第六节 蓄冷器自清除原理及其不冻结性	34
复习题	36
第三章 空气分离设备	38
第一节 精馏塔	38
第二节 空分设备典型工艺流程特点及技术规范	41
第三节 热交换器的形式及技术规格	43
第四节 热交换器的结构及传热原理	54
第五节 热交换器的故障判断与检修	56
第六节 蓄冷器的结构与维修	65
第七节 上下分馏筒的形式及技术规格	68
第八节 上下分馏筒的结构及精馏原理	75

V

第九节 分馏塔液悬产生的原因及处理方法	83
第十节 上下分馏筒的故障判断与检修	87
第十一节 冷凝蒸发器的形式及技术规格	90
第十二节 冷凝蒸发器的结构与工作原理	93
第十三节 冷凝蒸发器的故障判断与检修	95
复习题	98
第四章 制氧用机械设备	101
第一节 与空分设备配套的空压机、氧压机的结构和类型	101
第二节 气缸余隙容积对活塞式压缩机工作的影响	113
第三节 气阀的基本要求	115
第四节 冷却水、润滑油及润滑水的技术要求	118
第五节 空压机积炭的原因及处理方法	124
第六节 活塞式压缩机排气量的计算	127
第七节 压缩空气中饱和水蒸气含量的计算	132
第八节 活塞式压缩机产生故障的原因及消除方法	136
第九节 膨胀机的工作原理与操作维护	139
第十节 液氧泵操作与维护	153
复习题	155
第五章 空分设备的使用规则和拆装检修	158
第一节 高、中压空分设备的型式和技术性能	158
第二节 操作和维护保养要点	162
第三节 分馏塔常见故障及消除方法	169
第四节 分馏塔冷量损失原因及预防	173
第五节 分馏塔拆卸与组装方法	176
第六节 分馏塔焊接基本知识	181
第七节 脱脂清洗方法	189
第八节 气密性试验方法	197
复习题	198
第六章 常用仪表	200

第一节 常用测量仪表结构原理及使用方法	200
第二节 常用分析仪表结构原理及使用方法	221
复习题	244
第七章 常用材料	245
第一节 常用金属材料及低温性能	245
第二节 常用非金属材料	267
第三节 化验分析用化工材料	273
第四节 焊料及助钎剂	277
复习题	281
第八章 阀门和低温贮存容器	282
第一节 空分设备专用阀门及安全阀	282
第二节 小型低温液体贮存容器的结构及使用	288
复习题	291
第九章 基本管理知识	292
第一节 设备安全管理知识	292
第二节 经济运行管理知识	302
第三节 生产技术管理知识	306
复习题	307

第一章 一般理论知识

把空气分离成氧和氮的设备称为空气分离设备（简称空分设备），通称制氧机。它是采用深度冷冻法将空气液化分离。如增加一些附属装置，便可生产氩、氖、氮、氦、氙等稀有气体。空分设备的生产工艺流程分为：高压流程、中压流程、高低压流程及全低压流程。本书主要介绍 $300\text{m}^3/\text{h}$ 以下的高压、中压空分设备的流程、结构、原理及典型操作与维修。

空气的气液相变化和精馏分离，直至生产出产品，都是在分馏塔内进行。制氧操作工人只有通过仪器仪表装置，才能间接地进行监测和操作。因此必须具备一定的空气液化分离理论基础，才能在操作过程中，正确地分析和解决生产实际问题。这就要学习一些一般的理论知识。

第一节 热力学基本概念

一、基本状态参数

任何物质都是以气态、液态和固态的形式存在的，并在一定条件下可以相互转化。比如：在 101.325 kPa 压力和常温下，水是液态；当温度低于 0°C 以下时结冰，转变为固态；当温度加热到高于 100°C 时，又转变为蒸汽，成为气态。

在制氧生产过程中，空气分离首先也必须将空气由气态转变成液态。物质状态的转变，是决定于它所处的温度和压力，每种状态都具有其固定的参数值。表示物质的基本状态

参数是压力 p 、温度 T 和比容 v 。而物质从一种集聚状态转变为另一种集聚状态称为“相变”。

二、气体基本定律

气体基本定律主要是阐述气体基本状态参数（压力 p 、温度 T 和比容 v ）之间变化关系的规律。

（1）当压力 p 不变时，气体温度 T 升高，则比容 v 增大；而温度 T 降低，则比容 v 减小。即当压力不变时，气体的比容与温度成正比：

$$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2} = \text{常数} \quad (1-1)$$

对一定量气体，当压力不变时，温度由 T_1 变到 T_2 ，则体积由 V_1 变到 V_2 ：

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

（2）当温度 T 不变时，气体压力 p 愈大，则比容 v 愈小；而压力 p 减小，则比容 v 增大。即当温度不变时，气体压力与比容成反比：

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{常数} \quad (1-3)$$

对一定量气体，当温度不变时，压力由 p_1 变到 p_2 ，体积由 V_1 变到 V_2 ，则

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{常数} \quad (1-4)$$

（3）当比容 v 不变时，气体温度 T 升高，则压力 p 增大；而温度 T 降低，则压力 p 减小。即当比容不变时，气体压力与温度成正比：

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{常数} \quad (1-5)$$

下面结合气体基本定律进行计算。

例 1 若湿式贮气柜内压力保持不变, 当温度为 20°C 时, 内部气体所占的容积为 180m^3 ; 当温度升高为 30°C 时, 则气体所占的容积是多少?

解: 由题意得知, 当压力 p 不变时, $T_1 = 20^{\circ}\text{C} = 293\text{K}$, $T_2 = 30^{\circ}\text{C} = 303\text{K}$, $V_1 = 180\text{m}^3$ 。

由公式(1-2)得:

$$V_2 = T_2 \frac{V_1}{T_1} = 303 \times \frac{180}{293} = 186.14 \text{ m}^3$$

即所求气体所占的容积为 186.14m^3 。

例 2 若球形氧气贮罐的容积为 400m^3 , 其压力为 2.94MPa , 当使其压力减低为 0.49MPa 时, 假设气体温度保持不变, 问气体所占的容积是多少?

解: 由题意得知: 当温度 T 不变时, $p_1 = 2.94\text{MPa}$, $p_2 = 0.49\text{MPa}$, $V_1 = 400\text{m}^3$ 。

由公式(1-4)得:

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{2.94 \times 400}{0.49} = 2400 \text{ m}^3$$

即所求的气体所占的容积为 2400m^3 。

例 3 氧气瓶容积为 40L , 在 20°C 时, 充填压力为 14.7MPa ; 当温度升至 35°C 时, 问氧气瓶内压力是多少?

解: 由题意得知, 氧气瓶的容积 V 是不变的, $T_1 = 20^{\circ}\text{C} = 293\text{K}$, $T_2 = 35^{\circ}\text{C} = 308\text{K}$, $p_1 = 14.7\text{MPa}$ 。

由式(1-5)得:

$$p_2 = T_2 \frac{p_1}{T_1} = 308 \times \frac{14.7}{293} = 15.45 \text{ MPa}$$

即所求的氧气瓶内的压力为 15.45MPa 。

三、理想状态方程式

根据气体三个基本定律, 阐明了压力 p 、温度 T 和比容

v 的三个状态参数, 当其中一个状态参数不变时, 其它两个状态参数变化的关系。但实际上三个状态参数有时是同时发生变化的, 如果将三个基本定律综合起来, 可以推导出三个状态参数间的关系公式, 即

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = R (\text{常数}) \quad (1-6)$$

由式(1-6)可知, 它包括了三个基本定律, 表示某种气体的状态发生任意变化时, 压力和比容的乘积除以热力学温度的值是不变的, 即

$$\frac{pv}{T} = R$$

或 $pv = RT \quad (1-7)$

式(1-7)称为理想状态方程式。并可看出, 气体状态参数 p 、 v 、 T 中, 当任意两个状态参数确定后, 第三个状态参数就可由状态方程式求出。

R 是气体常数, 其数值是不变的, 然而不同的气体具有不同的 R 值, 见表1-1。

对质量为 $G \text{ kg}$ 气体, 因为 $v = \frac{V}{G}$, 可以写成,

$$\frac{pV}{GT} = R$$

或 $pV = GRT \quad (1-8)$

例4 分馏塔安装后进行泄漏检查, 要求停压时间为12 h, 残留率 $\Delta \geq 98\%$ 为合格。如对低压系统试验压力为 0.1568 MPa (绝对压力)、起点温度为 30°C , 在停压12 h后, 终点压力为 0.147 MPa (绝对压力), 温度为 27°C , 问泄漏量是否合格?

表1-1 各种气体的气体常数R

气体名称	$R [J / (kg \cdot K)]$	气体名称	$R [J / (kg \cdot K)]$
空 气	287.16	氮 气	99.24
氧 气	259.89	氦 气	63.34
氩 气	296.86	氢 气	4125.02
氟 气	208.17	水 蒸 气	461.49
氟 气	412.11	二氧化碳	188.96
氪 气	2077.45	乙 炔	319.38

解：由题意得知： $p_1 = 0.1568 \text{ MPa}$ ， $p_2 = 0.147 \text{ MPa}$ ， $T_1 = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$ ， $T_2 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$ 。

因为分馏塔低压系统V是不变的。根据式(1-8)， $p_1 V = G_1 R T_1$ ， $p_2 V = G_2 R T_2$ ，则气体残留率 Δ 为：

$$\Delta = \frac{G_2}{G_1} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \times 100\% \quad (1-9)$$

由式(1-9)得：

$$\Delta = \frac{0.147 \times 303}{0.1568 \times 300} \times 100\% \approx 94.7\% \quad (1-10)$$

因为残留率为 $94.7\% < 98\%$ ，故不合格。

四、热力学第一定律

热力学第一定律就是能量守恒与转换定律。即自然界一切物质都具有能量，能量有各种不同的形式，能量既不能消失，也不能创生，它只能从一种形式转化成另一种形式，或

由一个物体传给另一个物体，在转换过程中总的能量数值保持不变。

在制氧过程中，最常遇到的能量形式是热能、机械能与电能。这些能量可以相互转换。

五、内能

气体的分子是在不停地作无规则的运动，因而分子是具有一定的动能。同时分子之间也存在着相互吸引力，分子又具有位能。分子的动能与位能之和即为气体的内能。内能的符号为 U ，单位是 J ，即

$$U = U_{\text{动}} + U_{\text{位}} \quad (1-11)$$

1 kg 气体的内能用符号 u 表示，单位是 J/kg 。

气体的动能大小与其温度有关，可通过热量传递来改变。而气体的位能大小，是决定于分子之间的距离，与其压力和比容有关，可通过外界作功来改变。因此，内能的改变可通过传热和作功两种方式来实现。

六、焓

焓是表征系统中的总能量。它是内能与压力位能之和。

焓也是气体的状态参数。

在制氧生产过程中，空气经空压机、膨胀机、热交换器及节流阀等在不断流动，而能量也在不断变化。因此，对制氧过程的冷量进行分析时，经常要用焓这一气体状态参数。

气体压力位能的产生，是由于气体在流动时，后面的气体不断推动前面气体进行流动。如图1-1所示。在 I-I 断面处，压力 p_1 作用在断面积 F 上，将质量 ΔG 气体向前推动距

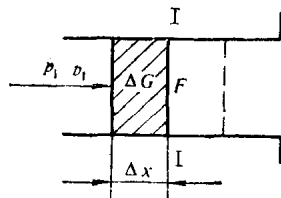


图1-1 气体压力位能示意图

离为 Δx ，则后面气体所作的推动功等于 $p_1 F \Delta x$ ，而 $F \Delta x$ 为质量 ΔG 气体所占的体积 ΔV ，它等于质量与比容的乘积即 $\Delta G v_1$ 。所以，对质量 ΔG 气体所作的推动功为：

$$p_1 F \Delta x = \Delta G p_1 v_1$$

对质量为 1 kg 气体所作的推动功是 $p_1 v_1$ ，所以压力位能的数值等于压力与比容的乘积。对于 1 kg 的气体，焓用符号 i 表示，单位是 J/kg ，即

$$i = u + p v \quad (1-12)$$

Gkg 气体的焓以 I 表示，单位是 J ， $I = G i$ 。

七、热力学第二定律

热力学第二定律指出：凡是涉及热现象的一切过程，都有一定方向性和不可逆性，如热量总是从高温物体自发地传向低温物体。而热量不可能自发地从低温物体传向高温物体。这是热力学第二定律的一种说法。另一种说法是：热机不可能将单一热源传给工质的热，全部转变为功。即传给热机的热源，其中一部分转变为功外，必须有另一部分传给低温热源(冷源)，可用下列公式来表示：

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (1-13)$$

式中 W ——热机所作的功(J)；

Q_1 ——供给热量(J)；

Q_2 ——传给另外低温热源的热量(J)。

在空气分离过程中，必须使空气降低到一定温度才能进行液化，同时需要放出一定热量。根据热力学第二定律，这一过程是不可能自发地进行，只有消耗外功时才能实现。

热力学第二定律是人类长期实践经验的总结，它说明了有关热现象过程进行的方向、条件和深度等问题的规律，其中最根本的问题是方向问题。

八、熵

熵是表征工质状态变化时，其热量传递的程度。对 1 kg 气体，熵符号用 s 表示，单位是 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。它是通过它可以直接测量的数值间接计算出来的。熵和热量及温度的关系如下：

$$ds = \frac{dq}{T} \quad (1-14)$$

Gkg 气体的熵用 S 表示，单位 J/K ， $S = Gs$ 。

熵也是物质的一个状态参数。对制氧过程进行理论分析时，特别是对膨胀机工作过程进行分析，要用熵这一概念。

气体在传热过程中，吸热时则熵增加；放热时则熵减小；绝热时则熵等于零。从熵的变化可以判定气体进行热量传递情况。用熵这一概念，对膨胀机的工作过程就容易说明，因为膨胀机的理想绝热膨胀过程，熵不发生变化。实际的膨胀过程，由于有摩擦等因素存在，气体吸收摩擦热，使熵发生变化。根据熵的变化，可以分析膨胀机实际膨胀过程的等熵效率。

第二节 蒸发与冷凝

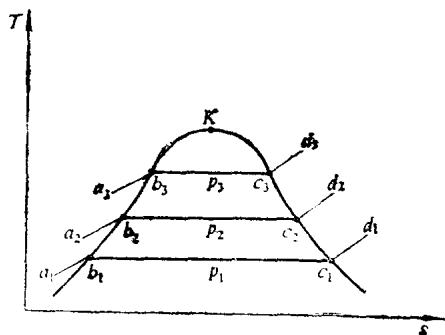
液体蒸发（或称汽化）和蒸气冷凝（或称液化）的过程，必须在一定温度下进行。当对液体进行加热时，从达到蒸发温度开始至全部液体蒸发完了，整个阶段蒸发温度保持不变，如继续加热，则蒸气温度才开始上升。当对蒸气进行冷却时，从达到冷凝温度开始至全部冷凝完了，整个阶段温度保持不变，如继续冷却，则液体温度才开始下降。如图 1-2 所示。

在图 1-2 中，物质由液态 a_1 变至 d_1 的过程是表示吸热过

表1-2 常用气体的临界温度和临界压力

名称	分子式	临界点		名称	分子式	临界点	
		温度(K)	压力(kPa)			温度(K)	压力(kPa)
空气		132.42~ 132.52	3774.36~ 3766.25	氦	He ⁴	5.199	228.99
氧	O ₂	154.78	5080.44	氪	Kr	209.4	5501.35
氮	N ₂	126.1	3394.39	氙	Xe	289.75	5876.85
氩	Ar	150.7	4863.60	二氧化碳	CO ₂	304.19	7381.53
氟	Ne	44.4	2653.70	乙炔	C ₂ H ₂	309.15	6239.59

程,熵值增加。 b_1 点是开始产生蒸气点, c_1 点是液体全部蒸发完了, b_1 点至 c_1 点的温度,是在 p_1 的压力下的沸腾温度。达到沸腾温度的液体称为饱和液体,即 b_1 点状态;相应温度低于饱和温度 b_1 点的液体称为未饱和液体(过冷液体);温度等于沸腾温度时的蒸气称为干饱和蒸气,即 c_1 点状态;相应温度高于 c_1 点的蒸气称为过热蒸气; b_1 点至 c_1 点之间是液体和蒸气共存的状态,称为湿蒸气。

图1-2 蒸发与冷凝过程的
T-S图

蒸发过程和冷凝过程正好相反。实践证明,不同的物质,冷凝的温度也是不同的,即使同一物质,在不同压力下,对应的饱和温度也是不同的。随着压力的增高,冷凝温度也增高,但冷凝过程缩短。即压力 p_2 大于压力 p_1 ,则 b_2 至