

机械工业部 统编

制氧工 操作技能与考核

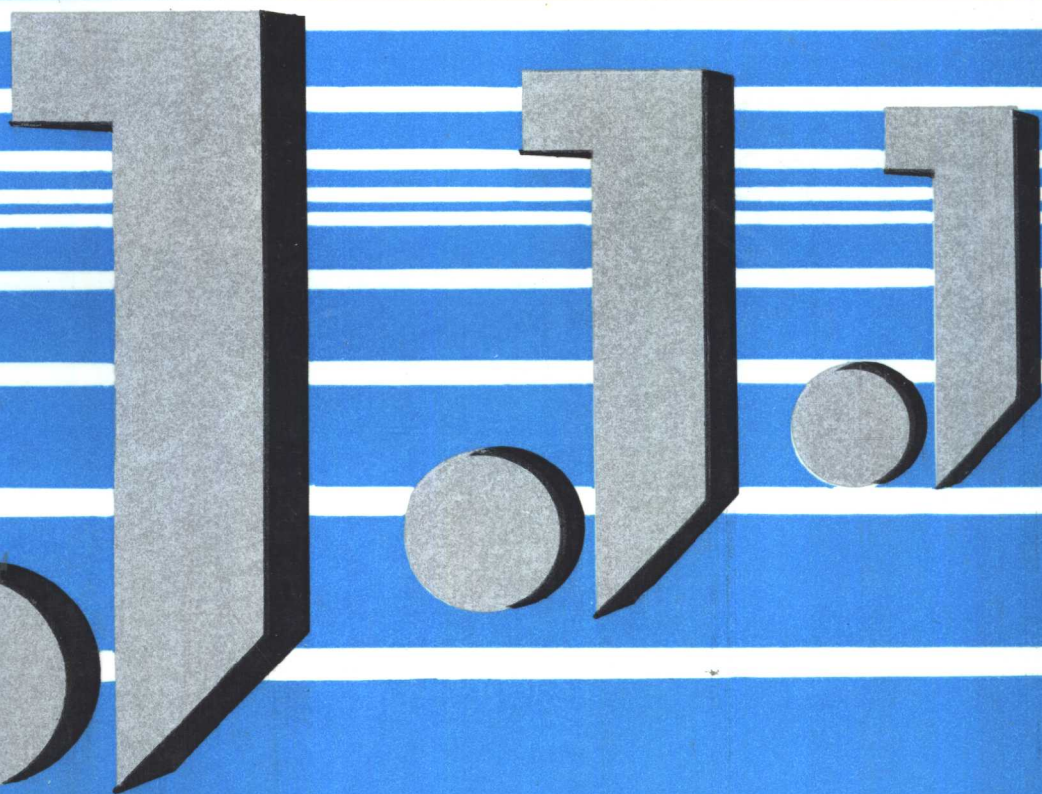
(中级工适用)

机械工人操作技能培训教材

JIXIEGONGRENCIAOZUO

JINENGPEIXUN

JIAOCAI



机械工业出版社

81.254
4741

机械工人操作技能培训教材

制氧工操作技能与考核

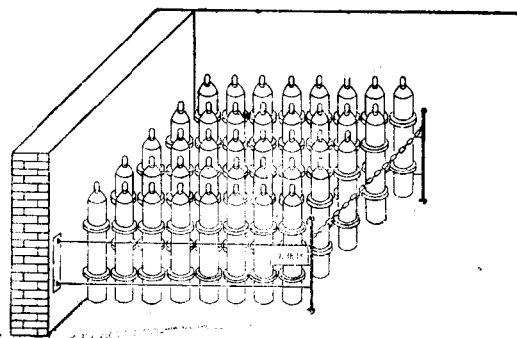
(中级工适用)

机械工业部 统编

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社



063352

本套教材是依据机械工业部审定的《机械工人中级操作技能培训大纲》编写的，教材的基本内容及所包涵的技能知识、技能水平同《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种的中级工技能要求一致。本工种教材包括以下主要内容：基本知识的应用；空气净化设备的操作和故障处理；空气压缩机的故障处理和检修；分馏塔的操作和检修；膨胀机的操作和故障处理；液氧泵的操作和故障处理；氧气压缩机的操作和故障处理；气瓶的充填操作、故障处理和使用管理；贮存设备的使用管理和故障处理；工艺管路系统的操作和故障处理共10个课题，书末还附有21个供考工培训参考的考核实例。

本教材供中级工培训和考核使用，也可作为机械类技工学校、职业学校生产实习课参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

制氧工操作技能与考核/机械工业部统编. --北京：
机械工业出版社，1996
机械工人操作技能培训教材 中级工适用
ISBN 7-111-04914-4

1. 制… I. 机… II. 制氧-考核-技术教育-教材 V. TQ116.11

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第15582号

出版人：马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑：何月秋 版式设计：霍永明 责任校对：姚培新
封面设计：姚毅 责任印制：王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1996年5月第1版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·9.5印张·223千字
0 001—2 000册
定价：16.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

机械工业部
机械工人操作技能培训教材
编审委员会名单

(均按姓氏笔画排列)

主任委员： 陆燕荪

副主任委员： 王文光 谷政协 吴关昌 郝广发 (常务) 郭洪泽
委 员： 丁占浩 (常务) 于新民 (常务) 王治中 王贵邦
王 斌 (常务) 刘亚琴 (常务) 刘起义 汤国宾
关连英 关荫山 孙 旭 沈 宇 (常务) 沈富强
李国英 李炯辉 (常务) 李震勇 (常务) 杨国林
杨晓毅 (常务) 杨溥泉 吴天培 吴铁钢 房志凯
林丽娟 范广才 苗 明 (常务) 张世银
胡有林 (常务) 胡传恒 施 斌 唐汝均
董无岸 (常务)

本工种教材课题2、3、4、5(活塞部分)由王丽香**编著**；课题1、5(透平部分)、7由张群**编著**；课题6、8、9、10及考核实例由张献平**编著**；全书由王琦、顾仁道**审稿**。

360015

前 言

继1991年我们组织编写出版初级技术工人基本操作技能培训教材之后,经过几年努力,一套中级技术工人操作技能与考核培训教材又将问世了。这套教材共35种,包括了4个技术工种,是建国以来首次为我国机械工业中级技术工人组织编写的正规的操作技能培训教材。

当前,我国正在建立社会主义市场经济体制。在市场经济体制下,企业的竞争,产品的竞争,归根结底是人才的竞争。谁拥有人才,谁就能够在激烈的市场竞争中立于不败之地。

在机械工业企业中,技术工人是职工队伍的主体,是生产第一线的主力军和骨干力量,是高技能人才的后备军,是企业人才群体中重要的组成部分。但是,据调查,目前机械工业企业中,有相当一部分中级技术工人(包括一部分技工学校毕业生),其实际业务水平同国家颁布的《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》的要求相比,尚存在差距,而在操作技能方面,差距更大。这种状况,是造成企业产品质量不稳定,影响产品质量进一步提高,使产品缺乏市场竞争力,制约机械工业产品结构调整、科技进步和生产发展的重要因素之一。

因此,继续加强中级技术工人的业务培训,特别是操作技能培训,不仅是提高企业职工队伍素质、改善企业整体素质的需要,同时也是实施机械工业高技能人才工程、加强企业“能工巧匠”队伍建设的一项基础性工作,对于振兴我国机械、汽车工业也具有重要的战略意义。本套教材的编写和出版,为机械工业企业开展工人中级操作技能培训,并使培训工作制度化、正规化、规范化提供了条件。

本套教材是依据机械工业部审定的《机械工人中级操作技能培训大纲》编写的,教材的基本内容及所包涵的基本技能知识、技能水平同《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种的中级工技能要求一致。因此,这套教材也可以作为机械类技工学校、职业学校生产实习课参考教材。

本套教材的编写贯彻了“从实际出发,面向企业,面向生产,学以致用”的岗位培训原则,以培养能够熟练地综合运用基本操作技能,全面掌握中级操作技能,并具有一定的工艺分析能力和解决生产中实际问题能力的中级技术工人为目的。教材内容分为操作技能训练课题和考核实例两大部分。

操作技能训练课题的设计和安排,遵循由浅入深、由易到难、由简单到复杂循序渐进的教学规律,注意了与工艺学教材的区别,内容包括:加工工艺和具体的、规范的操作方法,加工步骤,工艺分析和加工过程中的质量检验,重在解决“会做和做好”的问题。若干个技能训练课题之后,插入一个工艺分析能力训练课题,以集中培养、提高工人这方面的能力。

考核实例的设计和选定,紧密结合课题,结合生产实际,力求照顾到不同产品的生产企业和不同地区的实际,体现行业的针对性,具有典型性、通用性和可行性,不仅可供培训、考核使用,还可供技能竞赛、技能鉴定命题参考或选用。

本套教材图文并茂、形象直观,叙述文字简明扼要,通俗易懂,较好地体现了工人培训

教材的特点，严格贯彻了最新国家标准和法定计量单位。

本套教材的编写，借鉴了我部技术工人教育研究中心和天津市机械局教育教学研究室编写的《工人中级操作技能训练辅导丛书》的经验，参考了《丛书》中的部分内容，特此说明。

参加本套教材编写工作的有天津、上海、四川、江苏、沈阳等地区机械厅（局）和中国第一汽车集团公司、湘潭电机厂、上海材料研究所等单位。在此，谨向这些地区和单位的领导、组织者和编、审人员以及其他热心支持这项工作的单位和同志表示衷心的感谢！希望行业广大技工培训工作者和读者对本套教材多提宝贵意见，以便今后修改完善。

机械工业部技工培训教材编审组

1995年3月10日

本教材应与下列技术理论教材配合学习使用

机械识图

机械传动

中级制氧工工艺学

机械工业部统编机械工人操作技能培训教材目录

一、初级工适用

车工基本操作技能
镗工基本操作技能
铣工基本操作技能
刨工基本操作技能
磨工基本操作技能
齿轮工基本操作技能
钳工基本操作技能
工具钳工基本操作技能
内外线电工基本操作技能
维修电工基本操作技能
有线电维修工基本操作技能
有色金属熔炼工基本操作技能

化铁工基本操作技能
铸造工基本操作技能
锻压工基本操作技能
筑炉工基本操作技能
热处理工基本操作技能
电镀工基本操作技能
油漆工基本操作技能
铆工基本操作技能
电焊工基本操作技能
气焊工基本操作技能
木工基本操作技能
木模工基本操作技能

工业化学分析工基本操作技能
物理金相实验工基本操作技能
力学性能实验工基本操作技能
热工仪表检修工基本操作技能
管道工基本操作技能
起重工基本操作技能
煤气工基本操作技能
制氧工基本操作技能
计量检定修理工基本操作技能
电工仪表修理工基本操作技能
机动车修理工基本操作技能

二、中级工适用

车工操作技能与考核
镗工操作技能与考核
铣工操作技能与考核
刨工操作技能与考核
磨工操作技能与考核
制齿工操作技能与考核
钳工操作技能与考核
工具钳工操作技能与考核
内外线电工操作技能与考核
维修电工操作技能与考核
涂装工操作技能与考核
冷作工操作技能与考核

电焊工操作技能与考核
气焊工操作技能与考核
木工操作技能与考核
模样工操作技能与考核
工业化学分析工操作技能与考核
物理金相实验工操作技能与考核
力学性能实验工操作技能与考核
热工仪表修理工操作技能与考核
有线电维修工操作技能与考核
有色金属熔炼工操作技能与考核
化铁工操作技能与考核
铸造工操作技能与考核

锻造工操作技能与考核
筑炉工操作技能与考核
热处理工操作技能与考核
电镀工操作技能与考核
管道工操作技能与考核
起重工操作技能与考核
煤气工操作技能与考核
制氧工操作技能与考核
计量检定修理工操作技能与考核
电工仪表修理工操作技能与考核
机动车修理工操作技能与考核

三、高级工适用(工人高级操作技能训练辅导丛书)

车 工
镗 铣 工(镗工部分)
镗 铣 工(铣工部分)
刨 工
磨 工
齿 轮 工

钳 工
工具钳工
维修电工
铸 造 工
锻 工

模 锻 工
热 处 理 工
模 样 工
铆 工
电 焊 工

注:以上教材均由机械工业出版社出版,全国新华书店经销。也可向机械工业出版社发行部直接订购。机械工业出版社发行部地址:北京市百万庄路22号 邮政编码:100037 电话:(010)8326677—521,8326094

目 录

前言

课题1 基本知识的应用 1

- 作业一 应用气态方程式进行一般的理论计算 1
- 作业二 使用气体热力性质图进行简单的计算 2
- 作业三 活塞式压缩机基本循环的应用设备 5
- 作业四 KFZ-1800型空分工艺流程图的绘制 7
- 作业五 活塞式压缩机排气量的计算 10

课题2 空气净化设备的操作和故障处理 13

- 作业一 空气中杂质的清除和空气净化设备的操作 13
- 作业二 空气净化设备的故障处理和检修 22
- 作业三 干燥器和吸附器工作时间的计算 23
- 作业四 空气净化设备各种原材料的选用 27

课题3 空气压缩机的故障处理和检修 28

- 作业一 空气压缩机的调整 28
- 作业二 空气压缩机的故障分析和处理 29
- 作业三 空气压缩机易损零部件草图的绘制 33
- 作业四 空气压缩机的一般检修 38
- 作业五 空气压缩机检修后的试车 44

课题4 分馏塔的故障处理和检修 46

- 作业一 分馏塔的操作和维护 46
- 作业二 分馏塔常见故障的分析和处理 53
- 作业三 分馏塔的一般检修 57
- 作业四 分馏塔检修后的气密性试验及绝热材料的填装 72
- 作业五 分馏塔检修后的加热和吹除操作 74
- 作业六 分馏塔检修后的试车和调整 76

课题5 膨胀机的操作和故障处理 78

- 作业一 活塞式膨胀机的操作及其调整 78
- 作业二 透平膨胀机的操作及其调整 80

课题6 液氧泵的操作和故障处理 85

- 作业一 液氧泵的操作和维护 85
- 作业二 液氧泵的故障分析和处理 86
- 作业三 液氧泵的修理和试车 87

课题7 氧气压缩机的操作和故障处理	89
作业一 氧气压缩机的操作和维护	89
作业二 氧气压缩机的故障分析和处理	90
作业三 氧气压缩机各零部件的脱脂操作	92
作业四 易损零件及部件草图的绘制	93
作业五 氧气压缩机的一般检修	100
作业六 氧气压缩机检修后的试车	105
课题8 气瓶的充填操作、故障处理和使用管理	108
作业一 气瓶的充填操作和维护	108
作业二 充填的故障分析和处理	109
作业三 气瓶的检查、使用和管理	109
课题9 贮存设备的使用管理和故障处理	116
作业一 贮存设备的使用管理	116
作业二 贮存设备的维修	117
作业三 贮存设备的故障分析和处理	118
作业四 贮存设备检修后的试验	119
课题10 工艺管路系统的操作和故障处理	121
作业一 管路图的识读	121
作业二 管材、管件的选用	125
作业三 管路的安装	126
作业四 氧气输送的操作和维护	129
作业五 工艺管路系统故障的分析和处理	131
考核实例	132
1. 等压状态下气体全部液化为饱和液体放热量的计算	132
2. 自用活塞式空气压缩机排气量的计算	132
3. 空气过滤器阻力过大故障的分析和处理	132
4. 活塞式空气压缩机进、排气压力均低故障的分析和处理	133
5. 产品氧纯度下降的分析和调整	134
6. 产品氧产量下降的分析和处理	134
7. 主冷凝蒸发器泄漏的分析和处理	135
8. 气体纯度连续多次化验分析结果不同的原因分析和处理	135
9. 分馏塔常见泄漏现象的分析和处理	136
10. 液悬现象的分析和处理	136
11. 液氧液面计失灵的处理	137
12. 下分馏塔超压故障的分析和处理	137
13. 活塞式膨胀机出现飞车故障的分析和处理	138
14. 活塞式膨胀机排气压力和温度升高故障的分析和处理	139
15. 自用透平膨胀机出现堵塞故障的分析和处理	139
16. 自用液氧泵出现汽蚀和卡死故障的分析和处理	140
17. 氧气压缩机气阀的装配	140
18. 氧气压缩机密封泄漏故障的处理	141
19. 氧气压缩机烧缸事故的预防和处理	141
20. 氧气瓶爆炸的预防和处理	142
21. 制氧站成套设备工艺流程图的绘制	142

课题 1

—— 基本知识的应用 ——

作业一 应用气态方程式进行一般的理论计算

●要点 运用气态方程式对制氧问题进行简单的计算

●训练1 气体基本定律的应用

1. 波义耳-马略特定律 一定量的气体, 在等温状态下, 其体积和压力成反比。

$$pV = C \quad (1-1)$$

式中 p —— 压力 (MPa);

V —— 体积 (L);

C —— 常数。

例1: 体积为40L的氧气钢瓶, 在20℃时充填压力为14.7MPa。若将此氧气钢瓶在相同的温度下释放到压力为1个标准大气压(0.101325MPa)下, 其体积为多少?

解: 由题意得

$p_1 = 14.7 \text{ MPa}$, $p_2 = 0.101325 \text{ MPa}$, $V_1 = 40 \text{ L}$

$$\therefore pV = C$$

$$\therefore p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{14.7 \times 40}{0.101325} \approx 5803 \text{ L}$$

答: 瓶内氧气释放到大气中体积为5803L。

2. 查理定律 一定量的气体, 在体积相同的状态下, 其压力与热力学温度成正比。

$$\frac{p}{T} = C \quad (1-2)$$

式中 p —— 压力 (MPa);

T —— 热力学温度 (K);

C —— 常数。

例2: 体积为40L的氧气钢瓶, 在20℃时充填压力为14.7MPa。当环境温度升至32℃

时, 氧气钢瓶内压力为多少?

解: 由题意得

$$T_1 = 273 + 20 = 293 \text{ K}, p_1 = 14.7 \text{ MPa},$$

$$T_2 = 273 + 32 = 305 \text{ K}$$

$$\therefore \frac{p}{T} = C$$

$$\therefore \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{14.7 \times 305}{293} = 15.3 \text{ MPa}$$

答: 此时氧气钢瓶内的氧气压力为15.3MPa。

3. 盖-吕萨克定律 一定量的气体, 在压力相同的状态下, 其体积与热力学温度成正比。

$$\frac{V}{T} = C \quad (1-3)$$

式中 V —— 体积 (L);

T —— 热力学温度 (K);

C —— 常数。

在上述运用气体基本定律, 解决热力学计算问题的过程中, 首先要分析出其中的不变量, 即压力、温度或体积, 然后确定所选用的状态方程式; 其次将各状态参数的单位转换成法定计量单位, 代入相应公式, 求出所需要的状态参数。

●训练2 理想状态方程式的应用

在气体的热力状态变化过程中, 物质的3个状态参数往往是同时发生变化的。因此, 将训练1所述的3个基本定律联立起来, 就可推导出3个状态参数间的关系式, 即理想

气体的状态方程式, 又称克菜底隆方程式。

$$pV = nRT \quad (1-4)$$

$$n = \frac{m}{M}$$

式中 p ——压力 (MPa);

V ——体积 (L);

T ——热力学温度 (K);

R ——气体常数 [MPa·L/(mol·K)]

(见表1-1);

n ——物质的量 (mol);

m ——物质的质量 (g);

M ——摩尔质量 (g/mol)。

例1 体积为40L的氧气钢瓶, 在温度为20℃时, 充填压力为14.7MPa。试求瓶内充入氧气的质量为多少?

解: 由题意得

$$T = 273 + 20 = 293\text{K}, \quad V = 40\text{L}, \quad p = 14.7\text{MPa}, \quad M = 32\text{g/mol}$$

查表1-1得

$$R = 8.314\text{MPa} \cdot \text{L}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$$

$$\therefore pV = \frac{m}{M}RT$$

$$\therefore m = \frac{pVM}{RT} = \frac{14.7 \times 40 \times 32}{8.314 \times 293} = 7.72\text{kg}$$

答: 瓶内充入的氧气质量为7.72kg。

例2: 若湿式贮气罐贮存氧气体积为300m³时, 压力为0.04MPa。若温度此时为30℃时, 求此罐内贮存的氧气质量为多少?

解: 由题意得

$$T = 273 + 30 = 303\text{K}, \quad p = 0.04\text{MPa}, \\ V = 300 \times 10^3\text{L}, \quad M = 32\text{g/mol}$$

查表1-1得

$$R = 8.314\text{MPa} \cdot \text{L}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$$

$$\therefore pV = \frac{m}{M}RT$$

$$\therefore m = \frac{pVM}{RT} = \frac{0.04 \times 300 \times 10^3 \times 32}{8.314 \times 303} = 152.42\text{kg}$$

答: 湿式贮气罐内氧气质量为152.42kg。

表 1-1

P	V/T	R 值及单位
标准大气压atm①	L/K	82.1atm·L/(kmol·K)
工程气压kgf/cm²①	L/K	84.8(kg/cm²)·L/(kmol·K)
巴dyne/cm²①	L/K	83.2bar·L/(kmol·K)
毫米汞柱mmHg①	L/K	62360(mmHg)·L/(kmol·K)
兆帕斯卡MPa	L/K	8.314MPa·L/(kmol·K)
兆帕斯卡MPa	L/K	0.008314MPa·L/(mol·K)

①此几项为非法定计量单位, 仅供参考。

作业二 使用气体热力性质图进行简单的计算

●要点 看懂简单的热力性质图, 并进行简单的热力计算

●训练1 温-熵 ($T-S$) 图的应用及简单计算

在制氧工业中, 气体的状态参数随着工艺流程的变化而不断变化。但当从中确定下某个不变的参数后, 就可以把其它的状态参数绘制在坐标图上, 并通过坐标图对气体的热力学变化过程进行简单明了的计算。

在制氧工业中, 可以利用温-熵图, 根据其状态变化后熵值相同的原理进行计算。例如, 压缩空气经膨胀机膨胀后进入分馏塔的

过程, 即为等熵变化过程。

在温-熵 ($T-S$) 中, 温度 T 为纵坐标, 熵 S 为横坐标, 如图1-1所示。图1-1中凸形部分为饱和曲线, K 为临界点。左侧为饱和液体线, 右侧为饱和蒸汽线, 饱和曲线下为气液混合物, 称为湿蒸汽区。从左向右下方的斜线为等焓线, 愈向上其焓值愈大。向右上方的斜线为等压线, 愈向左其压力愈高。饱和曲线内的等压线接近于等温。

下面利用 $T-S$ 图对气体经膨胀机膨胀

后温度的变化来进行简单的热力学图解计算。

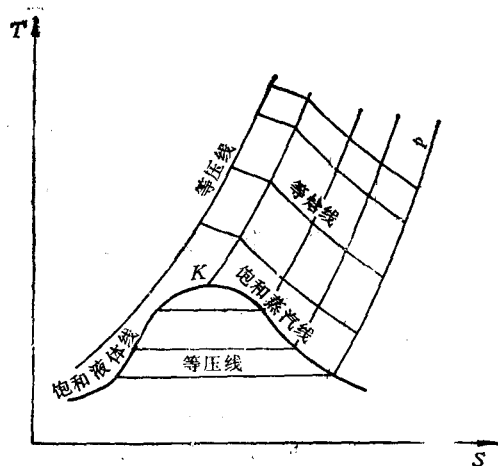


图 1-1

例1: 膨胀机进口空气压力为绝对压力 $p_1 = 2\text{MPa}$, 膨胀后空气的绝对压力为 $p_2 = 0.6\text{MPa}$, 进口空气温度为 -100°C , 求膨胀后温度 T_2 为多少度? 其温降 ΔT 为多少度? 若进气绝对压力 $p'_1 = 1.5\text{MPa}$, 其温降又为多少?

解: 查图1-2空气的 $T-S$ 图^①。先从纵坐标查出温度 $T_1 = 273 - 100 = 173\text{K}$ 的 a 点, 从 a 点引水平线与绝对压力 $p_1 = 2\text{MPa}$ 的等压线交于 b 点, 再从 b 点引垂直线与绝对压力 $p_2 = 0.6\text{MPa}$ 的等压线交于 c 点, c 点即为空气膨胀后的状态点, 从 c 点引水平线与纵坐标交于 d 点, d 点温度 $T_2 = 120\text{K}$, 其温降 $\Delta T = 173 - 120 = 53\text{K}$ 。

同理可得, 若进气压力为 $p'_1 = 1.5\text{MPa}$ 时, 膨胀后温度为 d' 点温度, $T'_2 = 133\text{K}$, 其温降 $\Delta T' = 173 - 133 = 40\text{K}$ 。

从上例中可以得出以下结论: 膨胀机的膨胀效率与气体在膨胀机前后的压力差有关。压力差愈大, 等熵膨胀的焓降也愈大, 对外做功愈多, 温降也愈大。

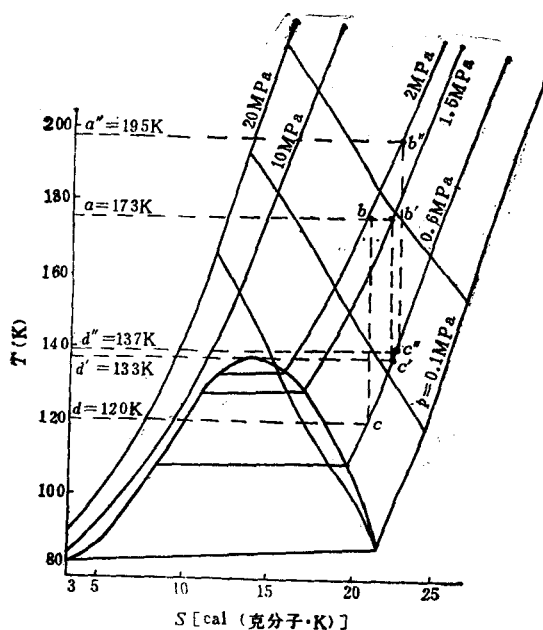


图 1-2

例2: 在例1中, 若进口温度降至 -80°C 时, 其它条件不变, 问膨胀后的温度 T'_2 为多少? 其温降 $\Delta T''$ 又为多少?

解: 根据例1, 同理可得:

膨胀后的温度点为 d'' 点, 其温度 $T'_2 = 137\text{K}$, 其温降 $\Delta T'' = 193 - 137 = 56\text{K}$ 。

由此可以得出以下结论: 当膨胀机进气压力不变, 均为 2MPa 时, 进气温度愈高, 降温效果愈大, 但膨胀后温度也高; 相反, 空气进膨胀机温度愈低, 降温效果愈小, 但膨胀后空气温度也愈低。

●训练2 焓-熵图的应用及简单计算

在制氧中, 焓-熵图具有广泛的应用。例如, 高压空气节流后其温降的计算, 即可利用焓-熵图, 根据其节流后焓值相同的特点, 使用图解法进行计算。

焓-熵图是以焓 i 为纵坐标, 温度 T 为

^① 目前还没有采用法定单位绘制的气体热力性质图, 空气的 $i-T$ 和 $T-S$ 图是参照米制单位绘制的。1 cal/克分子 = 4.1868 J/mol。

横坐标而建立的坐标图,如图1-3所示。图1-3中的半圆曲线为饱和曲线, K 为临界点。其上方为饱和蒸汽线,下方为饱和液体线,在饱和曲线内为气液混合湿蒸汽区。由左向右上方的斜线为等压线,各等压线愈向下压力愈大。饱和曲线内的等压线接近于等温线。

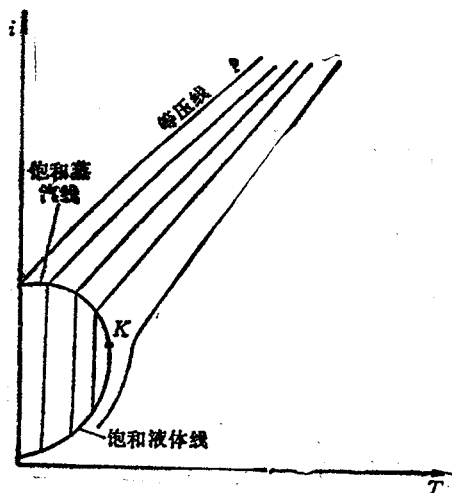


图 1-3

下面利用 $i-T$ 图对高压空气经过节流后温度的变化来进行简单的图解计算。

例1: 空气在节流前的绝对压力 p_1 为 5MPa, 温度为 -100°C , 节流后的绝对压力 p_2 为 0.5MPa, 求节流后温度为多少? 其温降为多少? 若节流前空气的温度为 -120°C , 那么节流后温度为多少? 其温降又为多少?

解: 查图1-4的 $i-T$ 图。先从横坐标查出温度 $T_1 = 273 - 100 = 173\text{K}$ 的 a 点, 引垂直线与绝对压力 $p_1 = 5\text{MPa}$ 的等压线交于 b 点, 由 b 点引水平线与绝对压力 $p_2 = 0.5\text{MPa}$ 的等压线交于 c 点, 从 c 点引垂直线与横坐标交于 d 点, d 点即为节流后温度 $T_2 = 137\text{K}$, 其温降 $\Delta T = 173 - 137 = 36\text{K}$ 。

若节流前空气的温度为 $T'_1 = 273 - 120 = 153\text{K}$, 则同理可得, 节流后的温度 $T'_2 = 107\text{K}$, 其温降 $\Delta T' = 153 - 107 = 46\text{K}$ 。

空气节流的特点是焓值没有变化, 因此不能产生冷量。但是, 由于节流后气体分子间的距离增大, 动能减小, 而使空气温度降低。

对于空气压力 $p < 15 \times 10^5 \text{kPa}$ 时, 节流后温度的变化可按下列经验公式计算。

$$\alpha_k = (2.73 \times 10^3 - 0.0895 \cdot p) \left(\frac{273}{T} \right)^2 \quad (1-5)$$

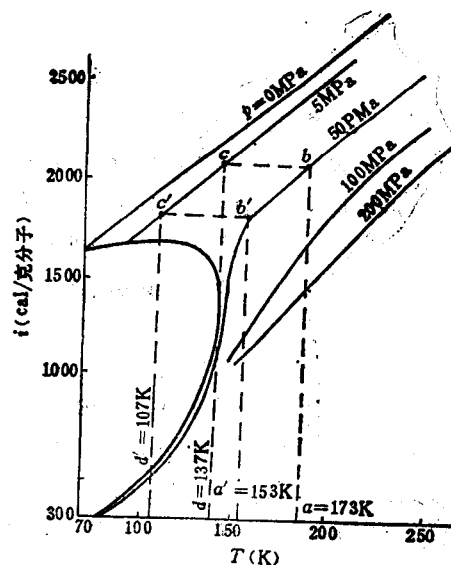


图 1-4

式中 α_k ——微分节流效应 (K/kPa);
 p ——节流前压力 (kPa);
 T ——节流前温度 (K).

由此经验公式可得出以下结论: 当节流前空气温度不变时, 一般来说压力愈高, 微分节流效应愈小; 当节流前压力不变时, 空气节流前温度愈低, 则节流效应愈大。节流后, 压力每降低 98kPa, 空气温度约降低 $1/4^\circ\text{C}$ 。

作业三 活塞式压缩机基本循环的应用

●要点 活塞式压缩机的基本循环及简单计算

循环是指压缩机曲轴回转一周时，在气缸体积中所进行的吸气、压缩、排气及余隙膨胀的全过程。

单级压缩是指气体自吸入条件（压力、温度、湿度和压缩性）后，一次连续压缩即达到所要求的工作压力的过程。

多级压缩是指气体自吸入条件（压力、温度、湿度和压缩性）后，经过多次连续压缩才达到所要求的工作压力的过程。

活塞式压缩机是一个曲柄连杆机构，即通过曲柄的回转运动变成活塞的往复运动，通过改变气缸体积来完成气体的吸入、压缩和排气 3 个基本过程。下面以图1-5为例对单作用压缩机单级压缩的循环进行分析。

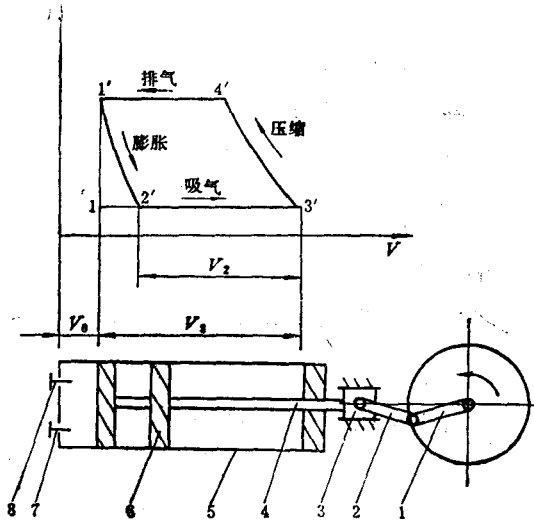


图 1-5

1—曲柄 2—连杆 3—十字头 4—活塞杆
5—气缸 6—活塞 7—进气阀 8—排气阀

(1) 吸气过程：吸气曲线为 $2' \sim 3'$ 。当活塞从左端极限位置向右运动时，气缸体积逐渐增大，压力逐渐降低，当气缸内的压力低于进气压力时，气缸开始吸气，直到活塞

右端极限位置，完成吸气过程。

(2) 压缩过程：压缩曲线为 $3' \sim 4'$ 。当活塞从右止点向左止点运动时，气缸内的体积缩小，压力升高，直到达到排气压力时，完成压缩过程。

(3) 排气过程：排气曲线为 $4' \sim 1'$ 。随着活塞的左移，气缸内的气体达到排气压力时，气体迅速排出，活塞运动到左止点，完成排气过程。

(4) 余隙气体膨胀过程：膨胀曲线为 $1' \sim 2'$ 。当活塞由左止点向右移动时，气缸内有压力的气体不能全部排出，而当活塞向右移动时，剩余有压力的气体膨胀，这个过程称为余隙膨胀过程。

在压缩机的理论循环中，典型的压缩过程有等温、绝热和多变压缩循环。

●训练1 等温压缩循环的应用

气体在压缩机中进行压缩时，其温度保持不变，就叫等温压缩循环。如图1-6中的曲线 $3 \sim 4$ 。

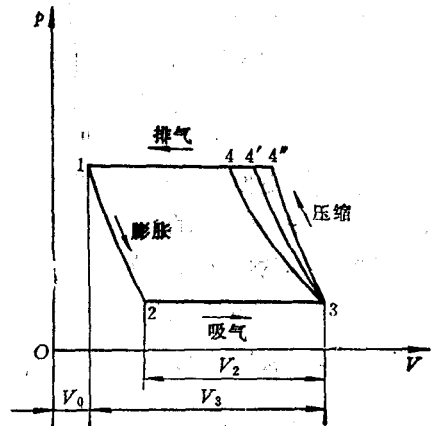


图 1-6

等温压缩 $T = \text{常数}$ ，所以其理想气体等温压缩方程式为

$pV = \text{常数}$

1mol气体等温压缩消耗的循环功 W ,对于理想气体为

$$W = RT \ln \frac{p_2}{p_1} = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (1-6)$$

式中 p_1 ——原始压力 (Pa);
 p_2 ——终了压力 (Pa);
 R ——气体常数 [8.314 J/(mol·K)];
 V ——气体体积 (m³);
 T ——压缩过程温度 (K);
 W ——1mol理想气体等温压缩消耗的循环功 (J)。

例: 某空气压缩机, 进气压力为 $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$, 排气压力为 $49 \times 10^4 \text{ Pa}$, 若压缩气体体积为 0.5 m^3 , 试求等温压缩循环功为多少?

解: 由题意得

$$p_1 = 9.8 \times 10^4 \text{ Pa}, \quad p_2 = 49 \times 10^4 \text{ Pa}, \quad V_1 = 0.5 \text{ m}^3$$

由式 (1-6) 得

$$\begin{aligned} W &= p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \\ &= 9.8 \times 10^4 \times 0.5 \ln \frac{49 \times 10^4}{9.8 \times 10^4} \\ &= 7.88 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

答: 等温压缩的循环功为 $7.88 \times 10^4 \text{ J}$ 。

●训练2 绝热压缩循环的应用

气体在压缩机内受到压缩时, 与周围的环境没有热量交换, 这样的压缩过程称为绝热压缩。如图1-6中的曲线3~4'。

理想气体的绝热方程为

$$pV^K = \text{常数}$$

式中 K ——理想气体绝热指数。

单原子气体 $K = 1.66 \sim 1.67$;

双原子气体 $K = 1.4 \sim 1.41$;

三原子气体 $K = 1.1 \sim 1.33$ 。

1mol气体绝热压缩消耗的循环功 W , 对于理想气体为

$$\begin{aligned} W &= p_1 V_1 \frac{K}{K-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \\ &= RT_1 \frac{K}{K-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \end{aligned} \quad (1-7)$$

式中 W ——1mol理想气体绝热压缩消耗的循环功 (J);

p_1 ——原始压力 (Pa);

p_2 ——终了压力 (Pa);

V_1 ——1mol气体的体积 (m³);

T_1 ——原始温度 (K)。

例: 在训练1的例子中, 若压缩循环为绝热循环, 求其循环功为多少?

解: 根据训练1例子中的条件, 由式 (1-7) 得出 W , 其中 $K = 1.4$ 。

$$\begin{aligned} W &= p_1 V_1 \frac{K}{K-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \\ &= 9.8 \times 10^4 \times 0.5 \times \frac{1.4}{1.4-1} \\ &\quad \times \left[\left(\frac{49 \times 10^4}{9.8 \times 10^4} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right] \\ &= 1.0 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

答: 循环功为 $1.0 \times 10^5 \text{ J}$ 。

●训练3 多变压缩循环的应用

凡是气体在压缩过程中与周围环境具有部分热交换的称为多变压缩循环。如图1-6中的曲线3~4'。

理想气体多变压缩过程方程为

$$pV^n = \text{常数}$$

式中 n ——多变压缩指数。

1mol气体多变压缩消耗的循环功 W , 对于理想气体为

$$\begin{aligned} W &= p_1 V_1 \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \\ &= RT_1 \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \end{aligned} \quad (1-8)$$

例: 在训练1的例子中, 若压缩循环为多变压缩循环, 求其循环功为多少?

解: 根据训练1例子中的条件, 取 $n = 1.2$, 由式 (1-8) 得

$$\begin{aligned}
 W &= p_1 V_1 \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \\
 &= 9.8 \times 10^4 \times 0.5 \times \frac{1.2}{1.2-1} \\
 &\quad \times \left[\left(\frac{49 \times 10^4}{9.8 \times 10^4} \right)^{\frac{1.2-1}{1.2}} - 1 \right] \\
 &= 9.045 \times 10^4 \text{ J}
 \end{aligned}$$

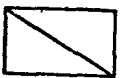
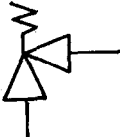
通过以上对压缩机基本循环的理论分析和简单计算可知：等温压缩循环所消耗的功最小，而绝热压缩循环所消耗的功最大。因此，为了减小压缩机的功耗量，应使压缩机得到充分冷却，使其接近于等温压缩。

作业四 KFZ—1800型空气设备工艺流程图的绘制

●要点 一般工艺流程图的绘制方法

KFZ-1800型空分设备各部件的符号、见表1-2。

表 1-2

序号	名 称	符 号
1	截 止 阀	
2	节 流 阀	
3	弯 阻 阀	
4	调 节 阀	
5	安 全 阀	
6	孔 板	
7	温 度 计	

(续)

序号	名 称	符 号
8	压 力 计	
9	流 量 计	
10	液 面 计	

1. KFZ-1800型空分设备空气压缩工艺流程图的绘制 首先了解空气压缩的工艺过程：空气经过滤清器清除空气中的灰尘及机械杂质，进入空气压缩机，经过一、二、三级压缩和各级冷却器的冷却，再经油水分离器完成空气的压缩过程进入纯化器。然后根据这一工艺过程，先绘出空气压缩机的一、二、三、级，再绘出各级冷却器，用规定的线段连接、标注管路走向箭头，标注设备编号和各个阀件等，绘制出图1-7所示的KFZ-1800型空分设备空气压缩的工艺流程图。

2. KFZ-1800型空分设备空气净化工艺流程图的绘制 首先了解空气净化的工艺流程和表示方法。来自空气压缩机的空气，经过阀门转换后进入水分离器，分离出水后，经过一组阀门转换后进入两只纯化器中的一

只，除去空气中的水分、二氧化碳和微量乙炔，净化后的空气经过冷却器冷却和过滤器过滤后进入分馏塔；另一只纯化器利用从分馏塔来的污氮气，经过加热炉加热再经过一组阀门转换后，进入纯化器进行分子筛的加热再生，加热后的气体经过阀门转换后放空。两只纯化器交替使用。然后根据这一流程绘制出图1-8所示的KFZ-1800型空分设备空气净化工艺流程图。

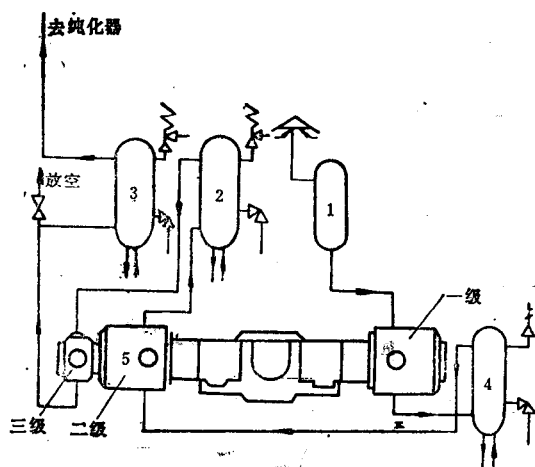


图 1-7

1—空气滤清器 2,3,4—冷却器 5—空气压缩机

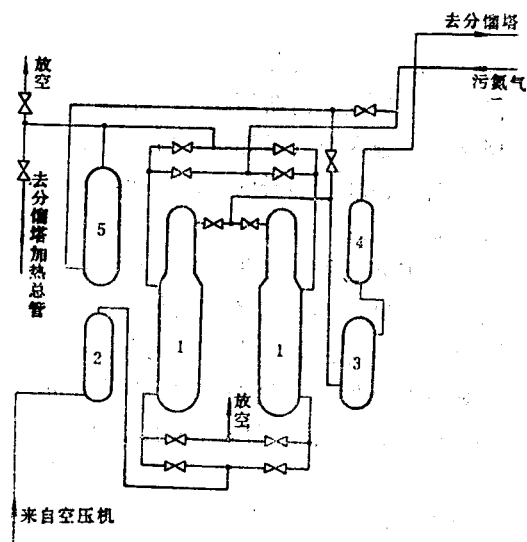


图 1-8

1—纯化器 2—水分离器 3—冷却器
4—过滤器 5—加热器

3. KFZ-1800型空分设备分馏塔工艺流程图的绘制 KFZ-1800型空分设备分馏塔工艺流程图中各阀门的表示意义见表1-3。

表 1-3

阀 门	表 示 意 义
通-1	高压空气进口总阀
通-2	高压空气进氧气层通过阀
通-3	高压空气进氮气层通过阀
通-4	高压空气进污氮层通过阀
通-6	氮气阀
通-7	氮气放空阀
通-8	氧气阀
通-9	氧气放空阀
通-10	甲膨胀机出口阀
通-11	乙膨胀机出口阀
通-12	甲膨胀机进口阀
通-13	乙膨胀机进口阀
通-14	跑空循环阀
通-15	膨胀机出口总阀
通-28	污氮调节阀
节-1	空气节流阀
节-2	液空节流阀
节-3	富氧空气节流阀
节-4	液氮节流阀

从纯化器出来的空气分三路进入分馏塔。其中一路（约占总气量的30%左右）空气经过通-2阀、通-3阀进入氮氮换热器换热后与另一路空气（约占总气量的70%左右）经过通-4阀进入污氮换热器换热后，合成一路。这一路空气再次分成二路。一路经液化器后，经节-1阀进入分馏塔下塔；另一路经过滤器后，经通-12阀或通-13阀进入膨胀机，膨胀后空气经通-10阀或通-11阀，再经液化器后进入下塔（跑空时有一路空气经通-14阀后，进入液化器、污氮换热器后放空）。两台膨胀机交替使用。