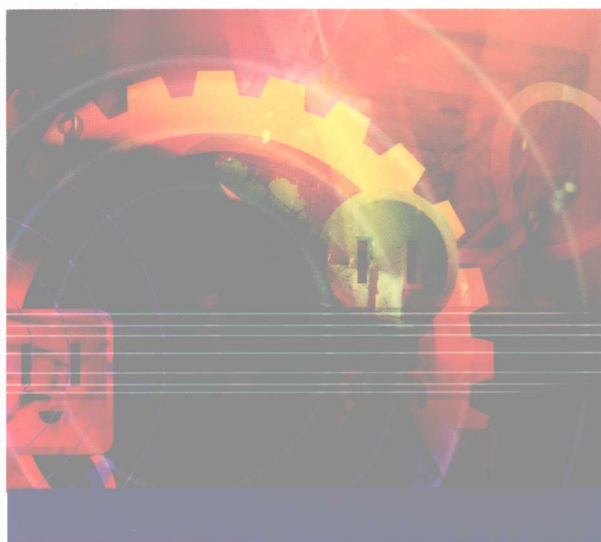


职业技能鉴定培训读本

高级工

气体深冷分离工

陈兆元 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

760030
5

职业技能鉴定培训读本（高级工）

气体深冷分离工

陈兆元 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

气体深冷分离工 陈尧元主编. — 北京: 化学工业出版社, 2004.11

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

ISBN 7-5025-6264-8

Ⅰ. 气… Ⅱ. 陈… Ⅲ. 气体分离—职业技能鉴定—教材 Ⅳ. TQ 628.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 191600 号

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

气体深冷分离工

陈尧元 主编

责任编辑: 刘 晋 倪国庆 魏晓敏

责任校对: 李 林 靳 荣

封面设计: 于 琪

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

· 北京市朝阳区惠新里 5 号 邮政编码: 100029

发行电话: (010) 64382500

<http://www.cip.com.cn>

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 31.5 插页 1 字数 170 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6264-8/TQ·628

定 价: 17.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《职业技能鉴定培训读本（高级工）》编委会

主 任 申尧民

委 员 （按姓氏笔画排序）

申尧民 刘勃安 关昱华 杨金展

李 固 张 宪 张利平 张增泰

陈志杰 郑惠萍 徐允长 魏汝梅

前 言

在科技突飞猛进、知识日新月异的今天，国际经济和科技的竞争越来越围绕人才和知识的竞争展开。工程技术是科学技术和实际应用之间的桥梁。随着社会和科学技术的发展，工程技术的范围不断扩大，手段日益丰富更新，但其强烈的实践性始终未变。在工程技术人才中，具有丰富实际经验的技术工人是不可或缺的重要组成部分。近年来技术工人队伍的严重缺乏，已引起广泛重视。为此，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”。从2002年下半年起，国家劳动和社会保障部实施“国家高技能人才培养工程”，并建立了“国家高技能人才（机电项目）培养基地”。这是落实党中央、国务院提出“科教兴国”战略方针的重要举措，也是我国人力资源开发的一项战略措施。这对于全面提高劳动者素质，培育和发展劳动力市场，促进培育与就业结合，推行现代企业制度，深化国有企业改革，促进经济发展都具有重要意义。

《劳动法》第八章第六十九条规定：“国家规定职业分类，对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定”。《职业教育法》第一章第八条明确指出：“实施职业教育应当根据实际需要，同国家制定的职业分类和职业登记标准相适应，实行学历文凭、培训证书和职业资格证书制度”。职业资格证书是表明劳动者具有从事某一职业（或复合性职业）所必备的学识和技

能的证明，它是劳动者求职、任职、开业的资格凭证，是用人单位招聘、录用劳动者的主要依据，也是境外从业与就业、对外劳务合作人员办理技能水平公证的有效证件。

根据这一形势，化学工业出版社组织吉化集团公司、河北科技大学、天津大学、天津军事交通学院等单位有关人员，根据2000年3月2日国家劳动和社会保障部部长令（第6号）发布的就业准入的相关职业（工种），组织编写了《职业技能鉴定培训读本（高级工）》（以下简称《读本》），包括《工具钳工》、《检修钳工》、《装配钳工》、《管工》、《铆工》、《电焊工》、《气焊工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《电机修理工》、《汽车维修工》、《汽车维修电工》、《汽车维修材料工》、《摩托车维修工》、《车工》、《铣工》、《刨插工》、《磨工》、《镗工》、《铸造工》、《锻造工》、《钣金工》、《加工中心操作工》、《热处理工》、《制冷工》、《气体深冷分离工》、《防腐蚀工》、《起重工》、《锅炉工》29种，以满足高级工培训市场的需要。本套《读本》的编写人员为生产一线的工程技术人员、高级技工，以及长期指导生产实习的专家等，具有丰富的实践和培训经验。

这套《读本》是针对高级技术工人和操作工而编写的，以《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，在内容上以中级作为起点，但重点为高级，注重实践性、启发性、科学性，做到基本概念清晰，重点突出，简明扼要，对基本理论部分以必须和够用为原则，突出技能、技巧，注重能力的培养，并从当前高级技工队伍素质的实际出发，努力做到理论与实际相结合，深入浅出，通俗易懂；面向生产实际，强调实践，书中大量实例来自生产实际和教学实践；在强调应用、注重实际操作技能的同时，反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。

本书是《气体深冷分离工》。依据《国家职业标准》的要求，

以广大气体深冷分离工在实际工作中经常使用的知识和技能为主，围绕空气的深冷分离操作展开。书中既介绍了热力学基础知识和空气深冷分离所需的相关知识，又举例介绍了常用的机械设备、空气分离工艺流程。全书理论内容浅显易懂，技术内容面向生产实际，实践性强。

本书可作为石油化工行业的气体深冷分离工的培训教材，也可供企业技术人员学习专业知识和提高工作技能时参考。

本书由陈兆元任主编，朱宁、岳帮贤任副主编。本书第1章、第2章和第3章由汤林编写，第4章和第5章由岳帮贤编写，第6章和第7章由任小强和余振红编写，第8章由包林俊编写，第9章由余振红编写，第10章由顾艳凤编写，题库由岳帮贤、任小强整理。全书由郭懋、陈兆元、朱宁审校。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有缺点、错误，敬请读者指正。

编者

2004年7月

内 容 提 要

本书为《职业技能鉴定培训读本（高级工）》之一。

本书以《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，以广大气体深冷分离工在实际工作中经常使用的知识和技能为主，围绕空气的深冷分离操作展开。书中既介绍了热力学基础知识和空气深冷分离所需的相关知识，又举例介绍了常用的机械设备、空气分离工艺流程。全书理论内容浅显易懂，技术内容面向生产实际，实践性强。

本书在选材上力求有代表性，以达到融会贯通、举一反三的目的。

本书可作为石油化工行业的气体深冷分离工的培训教材，也可供企业技术工人提高专业知识和工作技能参考使用。

目 录

第 1 章 热力学基础知识	1
1.1 基本概念	1
1.2 气体基本定律	4
1.3 热力学第一定律	5
1.4 理想气体的恒容过程和恒压过程	6
1.5 热力学第二定律	6
1.6 卡诺循环与卡诺定理	7
第 2 章 流体流动基础知识	10
2.1 流体静力学基础知识	10
2.2 流体静力学的应用	14
2.3 流体在管内的流动	17
2.4 流体在管内流动的阻力	23
第 3 章 流体传热基础知识	31
3.1 概述	31
3.2 热传导	32
3.2.1 傅里叶定律	32
3.2.2 热导率	33
3.2.3 平壁的热传导	35
3.2.4 圆筒壁的热传导	38
3.3 对流传热	39
3.4 辐射传热	41
3.5 传热计算	42

3.5.1	热量衡算	43
3.5.2	总传热速率方程	44
3.5.3	平均传热温差	44
3.5.4	总传热系数	46
第4章	空气的组成及净化	48
4.1	空气的组成	48
4.2	氧、氮和惰性气体的性质	49
4.3	空气的除尘设备	51
4.4	空气的预冷	57
4.5	水分和二氧化碳的脱除	58
4.5.1	空气中有害气体杂质的含量及危害	58
4.5.2	气体杂质的吸附	59
4.5.3	水和二氧化碳的脱除	63
第5章	制冷方法及深冷液化循环	66
5.1	气体制冷的的方法	66
5.1.1	概述	66
5.1.2	气体绝热节流制冷	66
5.1.3	气体等熵膨胀制冷	69
5.1.4	节流与等熵膨胀的比较	71
5.2	空气的深冷液化循环	72
5.2.1	一次节流液化循环	72
5.2.2	带膨胀机的深冷循环	74
第6章	空气精馏原理	76
6.1	汽液平衡	76
6.2	空气的精馏	79
6.2.1	部分蒸发与部分冷凝	80
6.2.2	精馏过程和稀有气体在塔内的分布规律	81
6.2.3	双级精馏塔的物料及热量衡算	85
6.2.4	精馏塔的效率	88

第 7 章 空气分离装置	90
7.1 工艺流程的组织	90
7.1.1 小型空气分离流程	90
7.1.2 KDON-6000/13000 型空分流程	92
7.2 制冷系统组织	94
7.2.1 高压制冷系统	94
7.2.2 中压制冷系统	95
7.2.3 低压制冷系统	95
7.3 精馏及换热系统的组织	96
7.3.1 精馏系统的组织	96
7.3.2 换热系统的组织	98
7.4 分子筛净化的大型空分装置	101
7.5 空气分离装置工艺计算简介	107
7.5.1 主要参数计算	109
7.5.2 总物料平衡计算	112
7.5.3 热量平衡计算	113
第 8 章 常用机械设备	115
8.1 气体压缩机分类	115
8.2 离心式压缩机	117
8.2.1 概述	117
8.2.2 基本参数及基本方程式	118
8.2.3 性能曲线及调节	124
8.3 膨胀机	130
8.3.1 作用及分类	130
8.3.2 透平膨胀机工作原理	131
8.3.3 性能曲线及调节方法	137
8.4 换热设备	140
8.4.1 低温换热器的特点	141
8.4.2 板式换热器	142

8.4.3 冷凝蒸发器	144
第9章 稀有气体的提取	145
9.1 稀有气体的性质及用途	145
9.1.1 稀有气体的性质	145
9.1.2 稀有气体的主要用途	146
9.2 稀有气体在空分塔内分布及对精馏过程的影响	148
9.3 提氩	149
9.3.1 氩在主塔的富集	149
9.3.2 粗氩的制取	151
9.3.3 精氩的制取	152
第10章 低温液体的储存及输送	155
10.1 低温液体的储存容器	155
10.2 低温液体管道输送	166
10.3 低温系统中保冷	172
10.3.1 保冷结构及保冷材料	172
10.3.2 低温保冷设备涂色	177
附录	
试题库	179
试题库答案	190
高级工技能鉴定模拟试卷	209
模拟试卷参考答案	215

第 1 章 热力学基础知识

热力学主要是研究热现象和能量转换的规律。热力学以宏观体系作为研究对象，就其内容而言，它涉及到热机的效率、能源的利用、各种物理、化学及至生命过程的能量转换以及这些过程在指定条件下发生的可能性。热力学是研究自然现象最有力的手段之一，它不需要了解组成体系的分子的有关性质，甚至可以忽略这些分子的存在，但其结论是普遍适用的，通过热力学几个基本定律的推导，人们可以得到一系列诸如温度、平衡常数、体积和溶解度等可在实验室测定的宏观性质之间的关联。

本章主要讨论热力学第一定律和第二定律及其在工程上的应用。

1.1 基本概念

(1) 系统与环境

作为研究对象的物质及其所在空间，称为系统，也叫体系；与系统密切相关的其他物质及其所在的空间称作环境。

(2) 封闭系统与平衡态

若热力学系统不受环境影响，即系统与环境不交换任何能量（做功和传递能量）和物质，这种系统是完全封闭的，称为封闭系统。对于一个封闭系统，在经过相当长的时间后，此系统整体的宏观性质将不随时间而变化，且具有确定的状态。热力学系统

所处的这种状态称为平衡状态，简称平衡态。系统处于平衡态时的另一特征，表现为系统内部没有宏观的粒子流动和能量流动。

应当指出，热力学系统总是不可避免地会与环境发生不同程度的能量和物质传递，理想化的平衡态难以存在。如果系统的宏观性质变化很微小，可以忽略不计时，则系统的状态可以近似看成平衡态。

(3) 状态函数

指描述（即确定）系统状态的各种参数，又叫状态参变量，热力学性质或状态性质。它们和状态之间互为函数关系，其值与过程无关，变化值只决定于系统的始态和终态。

(4) 温度

温度是表征物体冷热程度的物理量，较热的物体具有较高的温度。在本质上，温度的高低反映了物体内部大量分子热运动的剧烈程度。

温度的数值表示方法叫温标。常用的温标有：

① 摄氏温度：用 t 表示，把纯水在标准大气压下的冰点定为 0°C ，沸点定为 100°C ，中间分作 100 等份，每一等份称为 1°C 。

② 热力学温度：用 T 表示，在 SI 制中，单位称为开尔文，符号为 K，将分子热运动完全停止时的温度定为 0K ，其分度方法和摄氏温度相同，将纯水在标准大气压下的冰点和沸点之间作 100 等份，每一等份称为 1K 。热力学温度的起点 0K 与物质的性质无关，所以，热力学温度在热力学计算中被广泛采用。

两者之间的关系：
$$T = 273.15 + t \quad (1-1)$$

(5) 压强

压强是指物体在单位面积上所受到的垂直作用力。

$$p = F/A \quad (1-2)$$

式中 p ——压强, Pa;

F ——垂直作用于物体表面上的力, N;

A ——作用面的面积, m^2 。

(6) 体积

在忽略气体分子大小的条件下, 气体体积的意义是指气体分子自由活动的空间大小即容器的容积, 体积的单位是 m^3 。

(7) 热量

系统与环境间或不同系统之间因存在温度差而传递的能量, 其量值与过程或途径有关, 热量的符号为 Q , 一般规定系统吸热为正值, 放热为负值。

(8) 功

除热量以外的其他各种能量传递形式, 它不是能量, 而是能量传递形式, 它不是状态函数, 其量值与过程或途径有关。功的符号为 W , 一般规定系统从环境得功为正值, 对外做功为负值, 通常分为体积功 W_e 和非体积功 W_f 。

热量和功的区别 热和功的单位都是 J, 除了 (7) 和 (8) 所述之宏观差异外, 从微观方面看: 以分子无序运动形式表现出来的称为热量, 而以有序运动 (一定的方向) 的形式表现出来的称为功。所以功可以完全转化为热, 而热不能全部转化成功, 除非分子停止运动。

(9) 内能

内能是物质的一个状态参数, 指物质内部能量的总和, 内能的符号为 U , 单位是 J, 它包括物质内分子运动的动能、分子间相互作用的势能以及分子内各种粒子 (原子、电子、原子核等) 相互作用的能量, 但不包括物质整体的动能与势能。

物质在某一状态时, 其内能的绝对值尚无法测量, 但在某一过程中其内能的变化值是可以测算的, 只要确定了物质的起始状

态和最终状态，其内能变化值 ΔU 就确定，并与过程无关。内能增加， ΔU 为正值，内能减少， ΔU 为负值。

(10) 焓

内能加上系统的体积与压力之积的和，其符号为 H ， $H = U + pV$ 。

(11) 熵

熵是系统内混乱程度的量度，符号 S ， $dS \geq \delta Q/T$ ，在一定条件下的熵变 ΔS 可作为过程方向和限度的判据，也可由它导出新的判据。

1.2 气体基本定律

物质的聚集状态以气态最简单，前人对其研究也较充分，研究发现在低压下气体遵守一些基本规律，分述如下。

(1) 波义耳定律

在温度一定时，一定量的气体的体积与其压强成反比，数学表达式如下：

$$pV = \text{常数} \quad (1-3)$$

实践已知在低压、高温下气体能较好地遵守波义耳定律；难液化的气体可在较宽的压力范围内应用此定律，对于易液化的气体则应用范围要窄些。

(2) 盖·吕萨克定律

在压力一定时，一定量的气体的体积与其热力学温度成正比，数学表达式如下：

$$V/T = \text{常数} \quad (1-4)$$

和波义耳定律一样，盖·吕萨克定律也只适用于低压气体。

(3) 理想气体状态方程

理想气体是一个假设的概念，其分子没有体积，没有相互作用。理想气体的压力、体积和热力学温度可用下式关联：

$$pV=nRT \quad (1-5)$$

式中 R ——气体常数，在 SI 制中， $R=8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

(4) 理想气体混合物的分压定律

$$p_i = py_i \quad (1-6)$$

式中 y_i ——某组分的摩尔分数。

1.3 热力学第一定律

热力学第一定律的实质就是能量守恒和转化定律，即能量可由一种形式转变为另一种形式，但不能创生和消失，能量的总值是不变的。由此定律可知：某一物体从外界环境中吸收热量 Q 和外界环境对物体所做的功 W ，则该物体的内能变化为：

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W \quad (1-7)$$

对于微小过程表示为 $dU = \partial Q + \partial W \quad (1-7a)$

上述两式就是热力学第一定律的数学表达式，含义为物体内能的增加值等于它所吸收的热量和外界环境对其所做功之和。

热力学第一定律有以下两种表达方法：

① 第一类永动机（不从外界吸收能量，却不断对外做功的机械）不可能制成。这种永动机不需要外界供给热量（ $Q=0$ ），也不消耗系统内能（ $U_2 - U_1 = 0$ ），但却能不停地对外做功（ $W < 0$ ）。显然，它违反能量守恒定律。历史上不少人曾企图制造这种机器，皆以失败而告终。

② 一个物体在某一确定状态下有一定的能量，当状态发生变化时，其能量的变化只取决于始、终态而与途径无关。