

职业技能鉴定培训读本(技师)

化工基础

吉化集团公司 组织编写
张振坤 刘建中 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本（技师）

化 工 基 础

吉化集团公司组织编写

张振坤 刘建中 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

化工基础/张振坤, 刘建中主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.12

(职业技能鉴定培训读本. 技师)

ISBN 7-5025-5115-8

I. 化… II. ①张…②刘… III. 化学工业-职业技能鉴定-教材 IV. TQ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 124718 号

职业技能鉴定培训读本 (技师)

化 工 基 础

吉化集团公司组织编写

张振坤 刘建中 主编

责任编辑: 周国庆 刘 哲 李玉晖

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 郑小红

*

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 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 15½ 字数 414 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5115-8/G·1362

定 价: 32.00 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

前 言

当今世界已步入到知识经济和市场经济时代，企业生存与发展要依靠先进的生产力和高素质复合型人才。在技术密集型企业中，将新技术、新工艺、新设备广泛应用并迅速转化为优质产品，需要大批高智能技术工人的有效劳动。因此，企业中高素质的技术人员、技师、高级技师是不可缺少的人才。目前，企业中身怀绝技的技师、高级技师奇缺，所以培训技师、高级技师是企业的当务之急。

吉化集团公司组织几十名工程技术人员和高级技师编写了一套《职业技能鉴定培训读本（技师）》（以下简称《读本》），共20本，其中包括7本基础读本，分别为《化学基础》、《化工基础》、《电工电子基础》、《机械基础》、《机械制图》、《工程材料》、《检测与计量》，13本专业技术读本，分别为《检修钳工》、《检修焊工》、《检修铆工》、《检修管工》、《热处理工》、《防腐蚀工》、《分析化验工》、《电机修理工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《在线分析仪表维修工》、《制冷工》、《污水处理工》。参加编写的同志都长期在生产一线从事工艺设计、开发、生产技术管理、设备维护检修等专业技术工作，具有较强的理论基础知识和丰富的实践经验。

这套《读本》以技师为主要读者对象，适当兼顾高级工和高级技师的需要。在编写过程中，参考了国家及有关行业高级工、技师和高级技师的职业标准和职业技能鉴定规范，比较全面地介绍了企业中现行使用的新标准、新技术、新设备、新工艺等方面的内容及应用。这套《读本》的特点如下：①知识面较宽，起点较高，尤其注意理论联系实际；②比较全面地介绍了企业，特别是化工企业中主要专业工种的检修技术；③系统阐述了各专业工种的工艺要求和操作技能；④列举了工作或生产案例，突出了实际生产操作中高、

难技艺的论述。

本书是《职业技能鉴定培训读本》(技师)之一,主要介绍化工过程中各单元操作的过程原理、技术特点、工艺要求,对各单元操作所需设备及其常规的设计计算也有所涉及,面向企业生产实践,旨在提高读者分析和解决实际生产问题的能力。

本书编写中,编者多次认真学习讨论了《职业技能鉴定规范》,并对化工、石化企业各岗位技师所需掌握的知识和岗位技能进行了全面的调查和了解,确定了本书的编写内容。

本书第1章、第2章、第6章、第7章、第10章由吉林化工学院张振坤编写;第3章、第5章由吉林化工学院李健秀编写;第4章、第8章由吉林化工学院曾庆荣编写,第9章、第11章由吉林化工学院刘放编写;绪论由吉林化工学院刘建中编写。

全书由张振坤、刘建中主编。

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书难免有不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2003年10月

目 录

绪论	1
思考题	5
习题	5
第 1 章 流体流动	6
1 概述	6
2 流体静力学	7
2.1 流体的基本性质	7
2.2 流体静力学基本方程式	16
3 流体动力学	23
3.1 流体的流量和流速	23
3.2 稳定流动与非稳定流动	27
3.3 流体稳定流动过程的物料衡算——连续性方程	27
3.4 流体稳定流动过程的机械能衡算——柏努利方程	29
4 管路中流体流动阻力	39
4.1 实际流体的基本流动现象	39
4.2 流体流动阻力	45
5 流体输送管路的布置与计算	58
5.1 管路的布置	58
5.2 管路计算	60
6 流速和流量测定	63
6.1 测速管	64
6.2 孔板流量计	66
6.3 文丘里流量计	70
6.4 转子流量计	70
思考题	74
习题	75
第 2 章 流体通过颗粒床层的流动	83
1 颗粒床层特性	83
1.1 颗粒床层特性	83

1.2 流体在固定床层中的流动	86
2 流体通过固定床层的压降	87
第3章 搅拌	90
1 概述	90
1.1 机械搅拌装置	91
1.2 搅拌器的类型	91
2 混合机理	94
3 搅拌器的性能	95
3.1 搅拌效果	95
3.2 搅拌器操作与搅拌的附件	98
3.3 标准搅拌装置构型	101
3.4 搅拌槽内的液体循环量和压头	101
4 搅拌功率	104
4.1 功率关联式	104
4.2 功率曲线	105
5 其他混合方法及设备	108
5.1 射流混合	108
5.2 管道混合	109
5.3 气流搅拌	112
思考题	113
习题	113
第4章 过滤	114
1 过滤操作的基本原理	114
2 过滤设备	116
2.1 板框压滤机	116
2.2 叶滤机	119
2.3 转筒真空过滤机	120
2.4 离心过滤机	122
2.5 其他形式过滤设备	124
3 过滤速率方程和过滤计算	129
3.1 过滤速率方程	129
3.2 恒压过滤	133
3.3 恒速过滤与先升压后恒压过滤	136
3.4 过滤机的生产能力	136
3.5 提高生产能力的途径	143

思考题	144
习题	144
第 5 章 颗粒的沉降与流态化	146
1 概述	146
2 颗粒的沉降运动及设备	147
2.1 重力沉降	147
2.2 离心沉降	156
3 其他气体的净制	169
3.1 惯性分离器	169
3.2 袋滤器	170
3.3 静电除尘器	171
3.4 文丘里除尘器	171
4 固体的流态化技术	172
4.1 基本概念	173
4.2 流化床的操作范围	178
4.3 影响流化质量的因素	180
5 气力输送	182
思考题	187
习题	188
第 6 章 传热	190
1 概述	190
1.1 传热的基本方式	190
1.2 间壁式换热器中的传热过程	191
1.3 稳定传热和不稳定传热	193
2 热传导	193
2.1 热传导的基本概念	193
2.2 热导率	195
2.3 平壁热传导	199
2.4 圆筒壁热传导	202
3 对流传热	207
3.1 对流传热基本概念	207
3.2 对流传热系数的影响因素	208
3.3 对流传热系数的经验关联式	211
4 蒸汽冷凝和液体沸腾	221
4.1 蒸汽冷凝时的对流传热	221

4.2 液体沸腾时的对流传热	228
5 热辐射	231
5.1 基本概念和基本定律	231
5.2 两物体间的相互辐射	234
5.3 气体辐射	238
5.4 设备热损失计算	240
6 传热过程计算	241
6.1 热量衡算	241
6.2 总传热系数和壁温的计算	242
6.3 传热过程的平均温度差计算	247
6.4 加热介质与冷却介质	255
思考题	256
习题	257
第7章 蒸发	262
1 概述	262
2 蒸发器	264
2.1 蒸发器的结构形式	264
2.2 除沫器和冷凝器	271
2.3 蒸发器的选用与设计原则	272
3 蒸发过程计算基础	274
3.1 蒸发过程中的温度差损失	274
3.2 蒸发过程的传热系数	279
3.3 溶液的稀释热和热焓浓图	280
3.4 蒸发器传热面积的计算	280
4 单效蒸发的计算	281
4.1 蒸发水分量	281
4.2 加热蒸汽消耗量	282
5 多效蒸发	284
5.1 多效蒸发流程	285
5.2 蒸发过程的经济性	286
5.3 多效蒸发计算	293
思考题	298
习题	298
第8章 固体干燥	300
1 概述	300

1.1 干燥的几种方式	300
1.2 对流干燥过程	302
2 湿空气的性质和湿焓图	304
2.1 湿空气的性质	304
2.2 湿空气的湿焓图及其应用	314
3 干燥过程的物料衡算和热量衡算	319
3.1 干燥过程的物料衡算	320
3.2 干燥系统的热量衡算	323
4 干燥过程的基本规律	327
4.1 物料中所含水分的性质	328
4.2 恒定干燥条件下的干燥速率	330
4.3 恒定干燥条件下干燥时间	334
思考题	336
习题	337
第9章 液-液萃取	341
1 概述	341
1.1 萃取过程	342
1.2 液-液萃取中常见的物系和萃取流程	343
2 三角相图的应用基础	346
2.1 液-液萃取的相平衡	346
2.2 分配系数	348
3 萃取分离效果及其主要影响因素	349
3.1 分离效果的定量表示	349
3.2 影响萃取分离效果的因素	350
4 萃取剂的选择	351
5 萃取过程计算	352
5.1 利用三角形相图的图解计算（单级萃取）	352
5.2 S 和 B 完全不互溶时的图解计算	355
思考题	355
习题	356
第10章 气体的吸收	358
1 概述	358
2 相平衡关系	361
2.1 气相和液相组成的表示方法	362
2.2 气体在液体中的溶解度及影响因素	367

2.3	亨利定律	371
2.4	气液相平衡与吸收过程的关系	373
3	吸收速率方程	377
3.1	传质的基本方式	377
3.2	吸收机理——双膜理论	378
3.3	吸收速率方程	379
3.4	气体溶解度对吸收系数的影响	383
3.5	吸收剂的选择	386
4	吸收过程的计算	387
4.1	物料衡算和操作线方程	387
4.2	吸收剂用量的选择和最小液气比	391
4.3	低浓度气体吸收过程填料层高度的计算	394
5	传质系数	402
5.1	实测	403
5.2	经验公式	403
5.3	准数方程式	404
6	解吸	408
	思考题	410
	习题	411
第 11 章	蒸馏	414
1	概述	414
2	双组分溶液的气液平衡	416
2.1	拉乌尔定律及 t - x - y 图	416
2.2	气-液相平衡图 (y - x 图)	419
2.3	挥发度和相对挥发度	421
3	蒸馏过程	424
3.1	平衡蒸馏	424
3.2	简单蒸馏	426
4	精馏	428
4.1	精馏原理	428
4.2	精馏塔和精馏操作流程	432
5	双组分溶液连续精馏	434
5.1	全塔物料衡算	434
5.2	操作线方程	436
5.3	进料状况的影响	439

5.4	理论塔板数的求法	443
5.5	回流比的影响及其选择	451
5.6	简捷法求理论塔板数	457
5.7	精馏装置的热量衡算	460
6	间歇精馏	463
6.1	馏出液组成维持恒定的操作	463
6.2	回流比维持恒定的操作	465
7	恒沸精馏和萃取精馏	467
	思考题	471
	习题	472
	参考文献	476

绪 论

化学工业是将自然界的物质，经过化学和物理方法的处理，制造成生产资料和生活资料的工业。一种产品的生产过程中，从原料到成品，往往需要几个或几十个加工过程。其中除了化学反应过程外，还有大量的物理加工过程。这些过程就是化学工业的生产过程，常称作化工过程。

化学工业产品的种类繁多，各生产过程差异很大。每一种化工过程包含着许多操作工序，可分为两类。一类是化学反应过程，根据生产目的不同，进行不同的化学反应。在这一过程中物质发生了化学变化，改变了其化学性质。用于化学反应过程的设备称反应器。另一类工序并不发生化学反应，在此过程中物质不改变化学性质，只是改变其物理性质。

根据操作原理，化工产品生产过程中的物理加工过程可归纳为应用较广的数个基本操作过程。例如，乙醇、乙烯及石油化工等生产过程中，都采用蒸馏操作分离液体均相混合物，所以蒸馏为一基本操作过程。又如合成氨、硝酸和硫酸等生产中，都采用吸收操作分离气体均相混合物或生成产品，所以吸收也是一个基本操作过程。又如尿素、聚氯乙烯及染料等生产过程中，都采用干燥操作以除去固体中的水分，所以干燥也是一个基本操作过程。这些基本过程称为单元操作。任何一种化工产品的生产过程，都是由若干个单元操作及化学反应过程组合而成的。每个单元操作都是在一定的设备中进行的。例如吸收操作是在吸收塔内进行；干燥操作是在干燥器内进行。所以，单元操作是指在各种化工产品的生产过程中普遍采用的，遵循共同的物理学定律，所有设备相似，具有相同作用的那些基本操作。

《化工基础》的主要任务是研究和了解各单元操作所依据的原

理、遵循的规律、使用的设备和采取的强化措施，培养工程技术人员运用基础理论分析和解决化工单元操作中各种工程实际问题的能力。

本书内容为化工生产过程中的单元操作。这些单元操作遵循几个基本规律，从而可进一步将它们归纳成以下几个基本过程。

(1) 动量传递过程 研究流体流动的基本规律以及主要受这些规律支配的一些单元操作，如流体的输送、沉降、过滤、搅拌及固体流态化等。

(2) 热量传递过程 简称传热过程，研究传热的基本规律及主要受这些规律支配的一些单元操作，如传热、蒸发、结晶等。

(3) 质量传递过程 简称传质过程，研究物体通过相界面的迁移过程的基本规律及受这些规律支配的一些单元操作，如吸收、蒸馏、萃取、干燥、吸附等。

(4) 热力学过程 研究热力学的基本规律及遵循这些规律的单元操作，如冷冻及深度冷冻。

在化工过程中，有较多的化工计算，涉及到多种物理量。如表示操作状态的有压强、温度等；表示物料性质的有密度、黏度、比热容等；表示设备几何尺寸的有长度、面积、管径等。

物理量的表示要用到一定的单位。国际计量会议制定了一种国际上统一的单位制，其代号为 SI。SI 单位由基本单位、辅助单位和具有专门名称的导出单位构成。

我国实行的法定计量单位以国际单位制的单位为基础，根据我国的情况适当增加了一些其他单位。

化工常用法定计量单位及单位换算见本书附录。

【例 0-1】 通用气体常数 $R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$ ，试用法定单位 $\text{J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$ 表示。

解：由附录已知 $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$ ， $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{m}^2 = 1 \text{ J} / \text{m}^3$

故 $R = 0.08206 \times 10^{-3} \times 1.013 \times 10^5 = 8.313 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$
 $R = 8.313 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$

【例 0-2】 一个发动机做功为 $36000\text{kgf}\cdot\text{m}$ ，问它相当于多少焦耳 (J)?

解： $1\text{kgf}\cdot\text{m}=9.81\text{J}$

则 $36000\text{kgf}\cdot\text{m}=36000\times 9.81=353.16\times 10^3\text{J}$

研究化工生产各单元操作时，经常用五个基本概念来表达各单元操作的规律，即物料衡算、热量衡算、物系的平衡关系、传递速率及经济核算。

(1) 物料衡算 物料衡算依据质量守恒定律进行的，进入和离开某一化工过程的物料质量之差，等于该过程积累的物料质量，即

$$\text{输入量} - \text{输出量} = \text{积累量}$$

对于连续操作过程，若各物料量不随时间改变，即处于稳定操作状态时，过程中没有物料积累，则物料衡算关系为

$$\text{输入量} = \text{输出量}$$

用物料衡算式可由过程的已知量求出未知量。

物料衡算可按下列步骤进行：①首先根据题意画出物料的流程，流向用箭头表示，并标出已知量和待求量。②在写衡算式之前，要选定计算基准，一般选用单位进料量或排料量、时间及设备的单位体积作为计算基准，在较复杂的流程图上应圈出衡算范围，列出衡算式，求解未知量。

【例 0-3】 将 5%（质量分数）乙醇水溶液以 10t/h 进入精馏塔，从塔顶蒸出的产品含 95% 乙醇，从塔底放出的废水中含 0.1% 乙醇，求塔顶乙醇的产量。若全废水放掉，每年（按 7200h 计）损失乙醇多少吨？

解：①以乙醇塔为衡算范围；②对乙醇水溶液中的乙醇组分为衡算对象；③因是连续操作，以每小时为计算基准；④列出衡算式求解。

设产品产量为 x 。废水量为 y 。

按题意，精馏塔为连续稳定操作

$$\text{输入} = \text{输出}$$

$$\text{全塔总物料衡算} \quad 10000 = x + y$$

乙醇组分衡算 $0.05 \times 10000 = 0.95x + 0.001y$

联立以上两式得

产品量 $x = 516 \text{ kg/h}$

废水量 $y = 9484 \text{ kg/h}$

废水中乙醇含量 $9484 \times 0.001 = 9.484 \text{ kg/h}$

每年损失的乙醇 $9.484 \times 7200 = 6.82848 \times 10^4 = 68 \text{ t}$

(2) 能量衡算 能量衡算，在本书中主要指机械能和热能。以能量守恒定律为基础的计算，用以确定进、出单元设备（过程）的各项能量间的相互数量关系，包括各种机械能形式的相互转化关系，为完成指定任务需要加入或移走的功量和热量、设备的热量损失、各项物流的焓值等。

(3) 传递过程速率的计算 传递过程速率的大小决定过程进行的快慢，其通用表示式如下。

$$\text{传递过程速率} = \frac{\text{传递过程的推动力}}{\text{传递过程的阻力}}$$

传递过程速率对于设备的工艺尺寸以及设备操作性能有决定性的影响。对于不同的传递过程，其速率、推动力和阻力的内涵及其具体表达式是不同的。例如在传热过程中，传热速率是用单位时间传递的热量来表示，而推动力则用温度差来表示。

(4) 平衡关系 任何过程都是在变化的，在一定条件下由不平衡到平衡，平衡状态是过程变化的极限。以食盐溶解为例，在一定的温度和一定量的溶剂中，所投入的食盐在溶液中溶解，直至达到饱和为止。这时，从溶解到结晶这两个单一的过程来看，过程并没有终止，两者处于动平衡状态；当冷热流体最终的温度相等时，两种流体之间的传热过程也就不再进行。这说明一个过程在一定的条件下能否进行，以及进行到什么程度，只有通过平衡关系来判断，平衡关系是讨论许多过程的基本规律之一。

(5) 经济核算 为了生产定量的某种产品所需要的设备，根据设备的型式和材料的不同，可以有若干设计方案。对同一台设备，所选用的操作参数不同，会影响设备费用和操作费。因此，要用经

济核算确定最经济的设计方案。

思 考 题

1. 什么是化工单元操作？它具有哪些特点？按理论基础，又分哪几个基本过程？

2. 国际单位制（SI）的基本单位有几个？为什么要推广国际单位制？

3. 化工单元操作中常用哪几个基本规律？

习 题

1. SI 中质量为 1kg 的物体在重力场的作用下受到多人作用力？

答：9.81N

2. 1 标准大气压（1atm）的压力等于 1.033kgf/cm²，换算成 N/m²。

答：1atm = 1.013×10^5 N/m²

3. 通用气体常数 $R = 82.06 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3 / (\text{mol} \cdot \text{K})$ ，将其换算成国际单位 kJ/(kmol·K)。

答： $R = 8.314 \text{ kJ} / (\text{kmol} \cdot \text{K})$

4. 燃烧某种含碳 79%、灰分 6% 的煤，所得煤渣中含灰分 90%、碳 10%（以上百分数均为质量分数），试计算燃烧 100kg 煤所得煤渣重及碳的利用率（损失可忽略不计）。

答： $x = 6.67 \text{ kg}$ ，碳利用率 = 99.2%

5. 设在一列管换热器中，用压强为 0.715kgf/cm² 的饱和水蒸气加热空气，蒸汽的流量为 0.01kg/s，空气的流量为 1kg/s，冷凝液在饱和温度下排出。若在该温度范围内，空气的平均比热容为 1.01kJ/(kg·℃)，空气的进口温度为 20℃，试计算空气的出口温度（忽略热损失）。

答： $t = 42.56^\circ\text{C}$