



高等职业教育
化工类课程规划教材

化工原理

GAODENG ZHIYE JIAOYU
HUAGONGLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 李殿宝

大连理工大学出版社



高等职业教育化工类课程规划教材

大连理工大学出版社 2005

化工原理

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 编 李殿宝 副主编 肇立春 张丽霞 张 华 韩文爱

HUAGONG YUANLI

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2005

图书在版编目(CIP)数据

化工原理 / 李殿宝主编. — 大连: 大连理工大学出版社,
2005.3
高等职业教育化工类课程规划教材
ISBN 7-5611-2765-0

I. 化… II. 李… III. 化工原理—高等学校:技术学校—教材
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 118316 号

大连理工大学

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84707961

E-mail: duto@dlutp.cn URL: <http://www.dlutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:22.25 字数:494千字

印数:1~6000

2005年3月第1版

2005年3月第1次印刷

责任编辑:李波 李大鹏 责任校对:范小娜

封面设计:波胡

定价:32.00元

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员：

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(以姓氏笔画为序)：

马必学 武汉职业技术学院院长 教授
王大任 辽阳职业技术学院院长 教授
冯伟国 上海商业职业技术学院副院长 教授 博士
刘兰明 邯郸职业技术学院副院长 教授 博士
李竹林 河北建材职业技术学院院长 教授
李长禄 黑龙江工商职业技术学院副院长 副研究员
陈 礼 广东顺德职业技术学院副院长 教授
金长义 广西工业职业技术学院院长 副教授
赵居礼 陕西工业职业技术学院副院长 副教授
徐晓平 盘锦职业技术学院院长 教授

秘书长：

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序)：

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长
周 强 齐齐哈尔大学职业技术学院副院长

秘书组成员(以姓氏笔画为序)：

卜 军 上海商业职业技术学院
王澄宇 大庆职业学院
粟景妆 广西国际商务职业技术学院
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位(略)：

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高等教育全面转轨,以高等职业教育为主的各种形式的应用型人才培养的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,迫人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的应用型人才培养的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育的目的问题。

众所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到置疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚韧不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本职特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001年8月18日

前 言

《化工原理》是新世纪高职教材编委会组编的高等职业教育化工类课程规划教材之一。

本教材是适应高等职业教育人才培养和全面素质教育的需要,借鉴各参编院校《化工原理》课程改革经验,在分析和研究国内同类教材建设发展趋势的基础上编写而成的。

本书重点介绍各化工单元操作的基本原理、典型设备及其计算。全书除绪论和附录外,包括流体流动、流体输送机械、流体与颗粒间的相对运动、传热、蒸发、气体吸收、液体精馏、固—液萃取、固体干燥共九章内容。每章编入较多例题,章末附有习题,便于学习和使用。本书以“简化理论、强化实践、注重实用”为目标,按照理论知识以“必需和够用”为度,突出实践、实用的高职教学原则。充分考虑了高职教学的实际需要和学时安排,删减了大量繁复的数理推导和逻辑论证,注重理论联系实际,突出实用性。打破原有教材体系,把各化工单元操作的基本原理、典型设备及其计算三部分内容融为一体,做到结构严谨、科学合理、符合认知规律,便于学生的学习、理解和掌握。注意把本学科的新成果、新设备纳入教材,摒弃陈旧过时的理论和设备,使教材紧扣时代脉搏,与生产实践紧密结合,力求做到科学性、先进性和实用性相统一。

本教材可作为高职院校化工、环保、生物、制药、食品等专业的教材,也可供科研、设计及生产单位技术人员参考。

本教材由李殿宝任主编,肇立春、张丽霞、张华、韩文爱任副主编。具体编写分工如下:沈阳师范大学职业技术学院李殿宝(绪论、第6章、附录)、河北建材职业技术学院张丽霞(第1章)、沈阳师范大学职业技术学院肇立春(第2章的2.1、2.2、第3章)、辽宁工程技术大学职业技术学院张华(第4章)、石家庄职业技术学院韩文爱(第7章)、沈阳师范大学职业技术学院涂向辉(第2章的2.3、2.4、第9章)、

2 / 化工原理 □

沈阳师范大学职业技术学院李哲(第5章、第8章)。全书由李殿宝总纂定稿;李哲对全书的插图进行了整理和编排,大连理工大学王瑶老师审阅了全部书稿提出了许多建议,在此谨致谢忱!

在本书编写过程中,曾得到参编人员所在院校的大力支持,参阅了有关文献资料,在此向参编院校的领导及有关文献的作者表示诚挚感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,错误和疏漏在所难免,恳请广大读者不吝赐教,以便修订时进一步完善。

所有意见、建议请发往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707604 13352244668

编者

2005年3月

目 录

绪 论	1
0.1 本课程的性质、内容和任务	1
0.2 化工过程的基本计算	2
0.3 单位制和单位换算	3
0.4 学习本课程的基本要求	5
习题	6
第 1 章 流体流动	7
1.1 流体静力学	7
1.2 流体动力学	15
1.3 流体阻力	24
1.4 管路计算和流量的测量	38
习题	46
第 2 章 流体输送机械	51
2.1 概述	51
2.2 离心泵	52
2.3 其他类型泵	67
2.4 气体输送机械	72
习题	84
第 3 章 流体与颗粒间的相对运动	86
3.1 重力沉降	86
3.2 过滤	92
3.3 离心分离	104
3.4 固体流态化	110
习题	114
第 4 章 传热	117
4.1 概述	117
4.2 热传导	119
4.3 对流传热	125
4.4 传热过程计算	132
4.5 辐射传热	142
4.6 换热器	148
习题	163

第 5 章 蒸发	167
5.1 蒸发器及辅助设备	168
5.2 蒸发的方式及流程	172
习题	182
第 6 章 气体吸收	183
6.1 概述	183
6.2 吸收过程的相平衡关系	184
6.3 吸收机理与吸收速率	191
6.4 吸收过程的计算	197
6.5 填料塔	200
6.6 解吸	217
习题	218
第 7 章 液体精馏	221
7.1 概述	221
7.2 精馏原理	222
7.3 双组分连续精馏的计算	227
7.4 板式塔	241
习题	260
第 8 章 固 - 液萃取(浸出)	263
8.1 固 - 液萃取理论	263
8.2 固 - 液萃取的操作方法	267
8.3 固 - 液萃取的计算	269
8.4 超临界流体萃取技术	277
习题	278
第 9 章 固体干燥	279
9.1 湿空气的性质和湿度图	280
9.2 干燥器的物料衡算和热量衡算	290
9.3 干燥速率	299
9.4 干燥设备	303
习题	308
附录	310
一、单位换算表	310
二、干空气的物理性质	314
三、水的物理性质	315
四、某些气体的重要物理性质	316
五、某些固体的重要物理性质	316
六、某些液体的重要物理性质	317
七、管子规格(摘录)	318
八、常用泵规格	320

九、4-72-11 型离心通风机规格(摘录).....	324
十、固体材料的导热系数	324
十一、某些液体的导热系数	325
十二、某些固体材料的黑度	325
十三、热交换器系列标准(摘录)	325
十四、某些液体的表面张力及常压下的沸点	329
十五、某些水溶液的表面张力	330
十六、气体粘度共线图	330
十七、液体粘度共线图	331
十八、气体比热共线图	333
十九、液体比热共线图	335
二十、某些二元物系在 101.3kPa 下的气液平衡组成	337
二十一、汽化热共线图	338
二十二、饱和水蒸汽表(按温度排序)	340
二十三、饱和水蒸汽表(按压强排序)	341

结 论

0.1 本课程的性质、内容和任务

化工原理既不同于自然科学中的基础学科,又有别于专门研究具体化工类产品生产过程的专业工艺课。它是应用基础学科中的一些基本原理,来研究化工类产品生产过程中共同遵循的基本规律和典型设备的一门技术基础课。对于化工、环保、制药、食品及其相近专业的学生来说,则是一门重要的专业基础课,具有很强的实践性和广泛的实用性。

化学工业是一个多行业、多品种的生产部门。例如生产酸、碱、盐的无机工业,生产醇、酚、醚、塑料、合成橡胶、合成纤维等的有机工业和高分子工业,以及从石油中提取各种化工产品的石油化学工业、天然气加工工业、环保、食品、造纸、医药、海水综合利用和原子能工业等等,其原料广泛,产品种类繁多,生产工艺过程复杂多样且差别很大。然而,若将化学工业类产品的生产过程加以分析整理,可见其中有若干应用较广而又为数不多的化工基本过程。这些化工基本过程具有共同的基本原理并各有其通用的典型设备。例如在烧碱生产中,碱液借蒸发而浓缩;同样,在食盐精制、制糖工业中的溶液浓缩等亦是采用蒸发操作来完成的。可见蒸发是一个化工基本过程。又如在氮肥生产中,获得的晶体肥料需要干燥;在纯碱生产中,纯碱亦需要干燥;其他如造纸厂中的片状纸张、食品生产中的原料及成品等也都需要干燥。因此,干燥也是一个化工基本过程。化工基本过程也称化工单元操作,简称单元操作。所谓单元操作是指在各种化工类产品的生产过程中,普遍采用、遵循共同的规律、所用设备相似、具有相同工艺作用的基本操作。单元操作的概念在化工学科中占有重要的地位,这是因为任何一个具体的化工生产工艺过程,无论情况如何错综复杂,均可归结为若干个单元操作;反之,若干个单元操作结合生产的具体要求也可以串联组合,构成一个完整的化工生产工艺过程。有如种类有限的电子元件,可以根据人们的要求组装成五花八门、令人目不暇接的各类电子产品。

各个单元操作并不是彼此孤立、互相没有联系的,经过分析研究,按照各单元操作遵循的基本规律,可把它们归纳为如下几类:

1. 动量传递过程。包括遵循流体力学基本规律的单元操作,如流体输送、沉降、过滤、离心分离和固体流态化等。
2. 热量传递过程(简称传热过程)。包括遵循传热学基本规律的单元操作,如加热、冷却、蒸发和冷凝等。
3. 质量传递过程(简称传质过程)。包括遵循传质基本规律的单元操作,如吸收、精

馏、干燥和萃取等。

化工原理的内容主要介绍单元操作的基本原理,所用典型设备的结构、计算和选用。计算包括设计计算和设备核算两种,前者是指根据给定的生产任务计算出设备的工艺尺寸,然后进行结构设计或选型;后者是指对现有的设备进行核算,看其能否满足工艺要求。

学习本课程的任务是掌握各个单元操作的基本规律,能理论联系实际地分析和解决工程技术中所遇到的一些实际问题。了解有关典型设备的构造、工作原理及主要性能,熟悉其操作原理及基本计算方法。

0.2 化工过程的基本计算

在分析各单元操作原理及设备计算中,都是以物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率这四种基本计算为依据。下面分别介绍:

1. 物料衡算

根据质量守恒定律,在稳定的化工生产系统中,输入该系统的物料质量必等于从系统中输出的物料质量与其在系统中损失的物料质量之和。即:

$$\sum F = \sum D + A \quad (0-1)$$

式中: $\sum F$ ——输入系统的物料质量(kg);

$\sum D$ ——输出系统的物料质量(kg);

A ——在系统中损失的物料质量(kg)。

式(0-1)是物料衡算的通式,该式不仅适用于整个生产系统的计算,也适用于生产系统中某一工序或某一设备的计算;既可对系统作总的物料衡算,也可对混合物中某一组分进行物料衡算。

进行物料衡算时,首先要确定衡算的范围,明确是对整个生产系统作衡算,还是对某一工序或某一设备作衡算;是对总物料进行衡算,还是对物料中某一组分作衡算。其次是确定衡算基准,对于间歇生产,一般以每一生产周期为基准进行衡算;对于连续生产则以 kg/h 或 kg/s 为基准进行衡算。

物料衡算是化工计算中的重要内容之一,它对设备尺寸的设计和生产过程的分析,具有重要意义。

2. 能量衡算

根据能量守恒定律,在稳定的化工生产系统中,输入该系统的能量必等于从该系统输出的能量与其在系统中损失的能量之和。在化工系统中所涉及的能量多为热能,因此,通常涉及到的能量衡算是热量衡算。热量衡算的基本关系式可表示为:

$$\sum Q_F = \sum Q_D + q \quad (0-2)$$

式中: $\sum Q_F$ ——输入该系统中各物料带入的总热量(kJ);

$\sum Q_D$ ——输出该系统的各物料带出的总热量(kJ);

q ——系统损失的热量(kJ)。

在进行热量衡算时,也要先确定衡算范围,明确是对整个生产系统,还是对系统中的某一工序或某一设备作衡算;然后确定衡算基准,对于间歇生产一般以每一生产周期为基准进行衡算;对于连续生产则以 kJ/h 或 kW 为基准进行衡算。

通过热量衡算,可以检验在生产操作中热量的利用及损失情况;而在生产工艺与设备设计时,通过热量衡算可以确定是否需要从外界引入热量或向外界输出热量。

3. 平衡关系

若组成不同的两相互相接触,则各组分将在两相间进行传递,直到每一组分在两相间相互传递的速率相等,两相的组成才不再发生变化,此时称为平衡。这种平衡是一种动态平衡。例如,将一包食盐放入一杯水中,盐逐渐溶解,直至溶液达到饱和为止。此时,单位时间从盐粒表面进入溶液的盐质量数与从溶液中沉积到盐粒表面的盐质量数相等,即达到动态平衡。只要温度不变,而且有过量食盐存在,溶液中食盐浓度即为一定值。这种平衡状态是自然界中广泛存在的现象,只有当与物系有关的条件(如温度)改变时,原平衡关系被打破,物系再建立新的平衡。

物系平衡关系表示了各种自发过程可能进行到的极限程度。对于化工生产过程,可以从物系平衡关系来判断其能否自发进行以及进行到何种程度。平衡关系也为设备的尺寸设计提供理论依据。

4. 过程速率

平衡关系表示了物系自发变化的极限,但物系变化的快慢并不取决于平衡关系,而为多种因素所影响。各种不同物系变化速率的影响因素往往很复杂,其中有些影响机制还不清楚,因此很难将变化速率用一种能普遍适用的数学公式定量地表示出来。但对化工过程来说,为了发挥设备的生产能力,过程进行的速率往往比过程的极限显得更重要。因此,为了帮助分析化工过程,可将物系变化速率表述为推动力与阻力之间的关系。即:

$$\text{过程速率} = \frac{\text{过程推动力}}{\text{过程阻力}}$$

推动力的性质取决于过程的内容,过程的内容不同,推动力的性质也不同。如传热过程的推动力是温度差,物质扩散的推动力是浓度差。但在物系达到平衡时其推动力等于零。至于过程的阻力则较为复杂,具体过程要作具体分析。

0.3 单位制和单位换算

本课程涉及到的物理量很多,这些物理量的大小都是用数字和计量单位来表示的。

人们把科技和工程领域中众多的物理量人为地分成基本量和导出量两大类,选定少数几个基本量,其他导出量可以根据有关物理定律由基本量导出。基本物理量的单位称基本单位,导出物理量的单位称为导出单位,也就是说,物理量的单位也分成两大类,基本单位和导出单位。例如,规定长度为基本量,其单位(米)为基本单位;规定时间亦为基本量,其单位(秒)亦为基本单位;速度为路程与时间之比,由长度与时间导出,是一个导出

量,其单位(米/秒)为导出单位。

1. 单位制

由于对基本量选择的不同,或对基本单位规定的不同,便形成了不同的单位制。下面我们将化学工程计算中经常涉及的几种单位制简介如下:

(1) 绝对单位制

常用的绝对单位制有两种:

①厘米·克·秒制(简称 CGS 制),又称物理单位制。其基本量为长度、质量和时间,它们的单位为基本单位。其长度单位是厘米,质量单位是克,时间单位是秒。力是导出量,力的单位由牛顿第二定律 $F = ma$ 导出,其单位为克·厘米/秒²,称为达因。在过去的科学实验和物理化学数据手册中常用这种单位制。

②米·千克·秒制(简称 MKS 制),又称绝对实用单位制。其基本量与 CGS 制相同,但基本单位不同,长度单位是米,质量单位是千克,时间单位是秒。导出量力单位是千克·米/秒²,称为牛顿。

(2) 工程单位制

选用长度、力和时间为基本量,其基本单位分别为米、千克力和秒。质量成了导出量。工程单位制中力的单位千克力是这样规定的:它相当于真空中以 MKS 制量度的 1 千克质量的物体,在重力加速度为 9.807 米/秒² 下所受的重力。质量的单位相应为千克力·秒²/米,并无专门名称。

(3) 国际单位制

简称为“SI”制。国际单位制规定了七个基本量及对应的基本单位,即长度一米、质量一千克、时间一秒、电流强度一安培、热力学温度一开尔文、发光强度一坎德拉及物质的量一摩尔,还有两个辅助单位和大量的导出单位。这些构成了 SI 单位。SI 还规定了一套词冠(单位词头)来表示十进倍数或分数。

由于国际单位制(SI)有其独特的优点,即它的通用性及一贯性。自然科学与工程技术领域里的一切单位都可以由 SI 的七个基本单位导出,所以 SI 通用于所有科学部门,这就是其通用性;在 SI 中任何一个导出单位由基本单位相乘或相除而导出时,都不引入比例常数,或者说其比例常数都等于 1,从而使运算简便,不易发生错漏,这就是其一贯性。世界各国都有采用 SI 的趋势。我国为了适应现代化建设及对外开放、交流的需要,1977 年国务院颁布的计量管理条例规定:“我国的基本计量制度是米制(即公制),逐步采用国际单位制。”1984 年 2 月国务院又颁布了关于在我国统一实行法定计量单位的命令。我国的法定计量单位是以国际单位制为基础的,能完全体现出国际单位制(SI)的优越性。

2. 单位换算

本书采用国际单位制(SI)。鉴于本课程过去曾有采用工程单位制的历史,现存文献、手册中尚有许多采用非国际单位制的数据、图表,而在进行化工计算之前必须把采用不同单位制表示的有关数据(物理量)换算成统一的单位,因此,熟悉各种不同单位制度,并能熟练地相互换算是学好本课程及将来正确进行化学工程计算的关键技能之一。

实践证明,对单位换算不能掉以轻心,不仅初学者常常造成混乱,就是很有经验的人,如在运算中不遵守一定的规则也容易发生错误。但只要熟练地掌握换算法则,就可避免

差错。

我们知道,物理量由一种单位制的单位转换成另一种单位制的单位时,量本身并无变化,只是在数值上有所改变。在进行单位换算时要乘以两单位间的换算因数。所谓换算因数,就是彼此相等而各有不同单位的两个物理量的比值。譬如 1 小时的时间和 60 分的时间是两个相等的物理量,但其所用的单位不同,即:

$$1 \text{ 小时} = 60 \text{ 分}$$

那么,小时和分两种单位的换算因数便是

$$\frac{60 \text{ 分}}{1 \text{ 小时}} = 60 \text{ 分} / 1 \text{ 小时}$$

又如 1m^3 体积等于 10^6cm^3 的体积,则将 m^3 换算成 cm^3 的换算因数就是 10^6 。

化工中常用的单位间的换算因数可从本书附录中查得。

单位换算的规则为:

(1)一定大小的物理量,在进行单位换算时,其数值要跟着改变,即要将原单位的数值乘以换算因数,才可以得到新单位的数值。

(2)在一个组合形式的单位(简称组合单位)中,任何一个单独的单位要换算成其他单位时,要连同换算因数一起换算。

【例 0-1】 求把压强中的 kgf/cm^2 单位换算成 N/m^2 单位时的换算因数。

解:由附录查知

$$1\text{kgf} = 9.807\text{N}, 1\text{cm}^2 = 10^{-4}\text{m}^2 \text{ 因此所求换算因数} = 9.807 \times 10^4$$

$$\text{即 } \text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.807 \times 10^4 (\text{N}/\text{m}^2)$$

【例 0-2】 $1\text{kcal}/\text{h}$ 等于多少 W ?

解:由附录查知: $1\text{kcal} = 4.187 \times 10^3\text{J}$, $1\text{h} = 3600\text{s}$

$$\text{则 } 1\text{kcal}/\text{h} = \frac{4.187 \times 10^3\text{J}}{3600\text{s}} = 1.163\text{J}/\text{s} = 1.163\text{W}$$

【例 0-3】 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(1)工程单位制: $\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{kmol} \cdot \text{K}$; (2)国际单位: $\text{kJ}/\text{kmol} \cdot \text{K}$

$$\begin{aligned} \text{解: (1) } R &= 82.06 \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 82.06 \left(\frac{10330\text{kgf}}{\text{m}^2} \right) (0.01\text{m})^3 \left(\frac{1}{0.001\text{kmol}} \right) \left(\frac{1}{\text{K}} \right) \\ &= 848\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{kmol} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(2) } R &= 82.06 \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 82.06 \left(\frac{1.013 \times 10^5\text{N}}{\text{m}^2} \right) (0.01\text{m})^3 \left(\frac{1}{0.001\text{kmol}} \right) \left(\frac{1}{\text{K}} \right) \\ &= 8313\text{N} \cdot \text{m}/\text{kmol} \cdot \text{K} = 8.313\text{kJ}/\text{kmol} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

0.4 学习本课程的基本要求

各门学科都有其自身固有的特点,在学习时要注意针对学科的特点总结并改进学习方法,才能取得较好的效果。现对学习本课程提出以下几点要求,供学习时参考:

1. 化工原理中涉及的物理量很多,要高度重视各物理量的意义及单位,把每个物理量

的确切意义弄明白并注意相近或相似物理量之间的区分和联系。例如流体的体积流量和质量流量,流体混合物各组分的摩尔分率和比摩尔分率,传热速率与热负荷等等。这是因为工程上涉及到相当多的计算,而计算中又涉及到众多物理量,如果对物理量缺乏明确的理解,就容易引起混淆。

2. 化工过程中牵连的影响因素多,化工原理是一门综合性的课程,它以实际化工生产中的有关问题为研究对象,探讨其原理及规律,因此,涉及的面很广,牵连的因素很多。对这些因素不能等量齐观,而应当通过分析,分清主次,抓住主要矛盾,并搞清主、次间的相互关系,只有这样,才可能理解得比较深刻,所获得的知识就不是零碎和孤立的,而是比较系统和完整的。

3. 本课程中计算公式多,计算数字比较繁复,这正体现了工程类课程的特点。要求对基本计算方程式的物理意义及应用条件有清晰的了解。根据以往经验,工程计算中的大部分错误主要来自三个方面:套用公式而不了公式的物理意义,不掌握公式应用的前提或条件;物理量的运用不严格,单位不统一或单位没有经过必要的换算;计算时没有选用一定的基准,以致先后数据混淆。这三点是我们学习时必须避免的。

4. 与其他课程一样,学习时首先要理解各章中的基本概念、基本原理和基本运算方法,然后在此基础上联系实际,逐步深入。要注意防止及纠正重计算轻概念及原理的倾向。以第1章流体流动中的柏努利方程为例,只有对该公式的本质——机械能守恒在流体流动中的特殊表达形式,及公式中每一项表达的确切物理意义搞清楚了,才能正确而灵活地应用它进行计算。

5. 应从工程观点学习本课程,学会从经济角度考虑技术问题。在使用各种经验数据、经验公式时,一定要注意它们的使用条件,做到正确使用。

习 题

1. 一锅炉采用连续操作,每小时送入煤 A kg,空气 B kg,水 C kg,同时排出炉渣 D kg,烟道气 E kg,产生水蒸气 F kg。当操作达到稳定,即上述各量以及炉内存渣量和压力锅内水液面、水蒸气压强都不随时间而变化时,求各量之间的关系。若已知 $A = 2000$ kg, $D = 560$ kg, $E = 26000$ kg;那么 B 是多少 kg?

2. 求把压强单位 kgf/cm^2 换算成 kgf/m^2 的换算因数:

3. $5\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}$ 等于多少 J/s ? 多少 kW ?

4. $1\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ (粘度单位)等于多少 $\text{Pa}\cdot\text{s}$?