



教育部高职高专规划教材

制药过程原理及设备

► 张宏丽 周长丽 主编
冷士良 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

制药过程原理及设备

张宏丽 周长丽 主编
冷士良 主审



化学工业出版社
教材出版中心

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

制药过程原理及设备/张宏丽, 周长丽主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-6575-2

I. 制… II. ①张… ②周… III. ①药物-制造-高等学校-教材②化工制药机械-高等学校-教材 IV. TQ46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 029217 号

教育部高职高专规划教材

制药过程原理及设备

张宏丽 周长丽 主编

冷士良 主审

责任编辑: 蔡洪伟 陈有华

责任校对: 陈 静 吴 静

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社
出版发行

教材出版中心

(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

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 400 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6575-2/G · 1701

定 价: 28.00 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

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本教材是在全国化工高职教学指导委员会制药专业委员会的指导下，根据教育部有关高职高专教材建设的文件精神，以高职高专制药技术类专业学生的培养目标为依据编写的。教材在编写过程中广泛征求了制药企业专家的意见，具有较强的实用性。

教材在编写过程中，注意贯彻“基础理论教学要以应用为目的，以必须、够用为度，以掌握概念、强化应用、培养技能为教学重点”的原则，突出应用能力和综合素质的培养，反映高职高专特色。

本书在编写上力求深入浅出，浅显易懂，避免了一些繁杂的数学推导。侧重单元操作基础知识的学习及应用，突出工程观点，注意启迪思维，便于自学。由于本书是制药工程学的基础，是以流体流动、传热及传质单元操作为对象，进行浅显讲解的制药工程入门书。每章均有复习题，部分章节附有练习题和答案。书末有附录，供解题时查数据使用。书中的*阅读材料可结合实训过程学习，加强动手能力的训练，促进专业教育实际化。

本书由河北化工医药职业技术学院张宏丽主编，并编写绪论、第一章、第五章、第十章、第十一章及附录；河北工业职业技术学院周长丽为第二主编，编写第二章~第四章；河北化工医药职业技术学院阎志谦编写第七章、第九章；第六章、第八章由沧州职业技术学院张连瑞编写。全书由张宏丽统稿。徐州工业职业技术学院的冷士良审阅书稿。

在本书编写过程中，得到上述三所学院领导和同行的支持。本书部分章节中的图、表由段颖绘制。在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，时间仓促，书中难免有欠妥和错误之处，欢迎读者批评指正。

编者

2005年2月

目 录

绪论	1
一、本课程的学习内容和任务	1
二、单元操作的名称与分类	1
三、制药工业的特点	2
四、单位制和单位换算	2
复习题	4
习题	5
第一章 流体流动	6
第一节 概述	6
一、流体的输送	6
二、压力、流速和流量的测量	6
三、为强化设备提供适宜的流动条件	6
第二节 流体静力学	7
一、流体的压缩性	7
二、流体的主要物理量	7
三、流体静力学基本方程式	11
第三节 流体动力学	15
一、流量方程式	15
二、稳定流动与不稳定流动	17
三、流体稳定流动时的物料衡算——连续性方程	18
四、流体稳定流动时的能量衡算——伯努利方程	18
五、伯努利方程的应用	20
第四节 流体阻力	22
一、流体的黏度	22
二、流体流动的类型	24
三、圆管内流体的速度分布	25
四、流体阻力的计算	26
第五节 流量的测量与调节	30
一、孔板流量计	30
二、文氏管流量计	31
三、转子流量计	32
第六节 管道	32
一、管子	32
二、管件	34
三、阀件	35

四、管道的连接	36
五、管路的热补偿	37
六、管路的保温和涂色	38
复习题	39
习题	40
第二章 液体输送机械	44
第一节 概述	44
一、液体输送机械的作用	44
二、液体输送机械的分类	44
第二节 离心泵	44
一、离心泵的工作原理和构造	44
二、离心泵的性能	46
三、离心泵的操作、运转和调节	52
四、离心泵的类型和选择	53
第三节 其他类型泵	54
一、往复泵	54
二、旋转泵	56
三、旋涡泵	57
四、流体作用泵	57
复习题	58
习题	59
第三章 气体的压缩与输送	60
第一节 概述	60
第二节 往复式压缩机	60
一、往复式压缩机的主要构造和工作原理	60
二、往复式压缩机的生产能力	61
三、压缩比与多级压缩	62
四、往复式压缩机的运转和维护	62
第三节 离心式	63
一、离心式通风机	63
二、离心式鼓风机和压缩机	64
第四节 旋转式	65
一、罗茨鼓风机	65
二、液环压缩机	66
第五节 真空泵	66
一、往复式真空泵	67
二、旋转式真空泵	67
三、喷射泵	68
复习题	68
第四章 非均相物系的分离	69

第一节 概述	69
一、非均相物系的分离在制药生产中的应用	69
二、非均相物系的分离方法	69
第二节 沉降	70
一、重力沉降	70
二、离心沉降	73
三、其他气体净制设备	75
第三节 过滤	76
一、过滤	76
二、离心机	80
复习题	82
第五章 传热	83
第一节 概述	83
一、传热在制药生产中的应用	83
二、传热的基本方式	83
三、工业生产上的换热方法	84
四、间壁式换热器简介	85
五、稳定传热与不稳定传热	85
第二节 传热计算	85
一、传热速率方程	85
二、热负荷和载热体用量的计算	86
三、平均温度差	89
四、传热系数的测定和经验值	93
第三节 热传导	94
一、导热基本方程和热导率	94
二、通过平壁的稳定热传导	96
三、通过圆筒壁的稳定热传导	97
第四节 对流传热	98
一、对流传热方程	98
二、对流传热系数	99
第五节 传热系数	102
一、传热系数的计算	102
二、污垢热阻	104
第六节 换热器	106
一、间壁式换热器的类型	106
二、传热过程的强化途径	111
复习题	112
习题	113
第六章 蒸发	116
第一节 蒸发的基本概念	116

一、蒸发操作必须具备的条件	116
二、蒸发操作的分类	116
第二节 单效蒸发	117
一、单效蒸发流程	117
二、单效蒸发的计算	118
第三节 多效蒸发	119
一、多效蒸发的原理	119
二、多效蒸发的流程	120
三、多效蒸发效数的限定	121
第四节 蒸发器	122
一、蒸发器的结构	122
二、蒸发器的类型	122
三、蒸发器的辅助设备	125
复习题	125
习题	125
第七章 蒸馏	127
第一节 概述	127
一、蒸馏及其在制药生产中的应用	127
二、气液传质设备的分类	128
第二节 双组分溶液的气液相平衡关系	128
一、理想溶液的气液相平衡关系——拉乌尔定律	129
二、双组分理想溶液的气液平衡相图	129
三、相对挥发度	131
第三节 精馏	132
一、精馏原理	132
二、精馏装置及精馏操作流程	133
第四节 精馏过程的物料衡算	134
一、理论板的概念及恒摩尔流假定	134
二、物料衡算和操作线方程	135
三、进料热状况的影响	137
第五节 塔板数和回流比的确定	139
一、理论塔板数的求法	139
二、塔板效率和实际塔板数	142
三、回流比的影响及其选择	143
四、精馏塔操作分析	146
五、精馏塔的产品质量控制和调节	147
第六节 板式塔	147
一、精馏操作对塔设备的要求	147
二、常用板式塔类型	148
三、浮阀塔设计	149

复习题	161
习题	161
第八章 吸收	164
第一节 概述	164
一、吸收及其在制药生产中的应用	164
二、吸收剂的选择	164
第二节 吸收过程的相平衡关系	165
一、吸收中常用的相组成表示法	165
二、气液相平衡关系	166
三、吸收机理	169
四、吸收速率方程	170
第三节 吸收过程的计算	171
一、吸收塔的物料衡算和操作线方程	171
二、吸收剂消耗量	172
三、填料塔直径的计算	174
四、填料层高度的计算	174
第四节 填料塔	176
一、填料塔的构造	176
二、填料及其特性	176
三、填料塔的附属设备	178
四、填料塔内的流体力学特征	179
复习题	180
习题	180
第九章 干燥	183
第一节 概述	183
一、去湿方法和干燥方式	183
二、空气干燥器的操作原理	184
三、固体干燥在制药生产中的应用	184
第二节 湿空气的性质和湿度图	184
一、湿空气的性质	184
二、湿空气的焓湿图 ($I-H$ 图) 及其应用	188
第三节 干燥过程的物料衡算和热量衡算	191
一、湿物料中含水量的表示方法	191
二、空气干燥器的物料衡算	192
三、空气干燥器的热量衡算原则	193
第四节 干燥速率	194
一、物料中所含水分的性质	194
二、干燥速率和干燥速率曲线	195
三、影响干燥速率的因素	197
第五节 干燥器	198

一、干燥设备的分类	198
二、厢式干燥器	198
三、洞道式干燥器	199
四、滚筒式干燥器	199
五、气流式干燥器	199
六、喷雾式干燥器	200
七、沸腾床干燥器	201
八、冷冻真空干燥器	201
九、红外线干燥器	202
十、微波干燥器	202
十一、干燥器的选型	202
复习题	203
习题	203
第十章 冷冻	205
第一节 概述	205
一、冷冻及其在制药生产中的应用	205
二、冷冻过程的基本原理	205
第二节 压缩蒸气冷冻机	208
一、实际压缩蒸气冷冻机	208
二、冷冻能力	209
三、多级压缩蒸气冷冻机	209
第三节 冷冻剂与载冷体	211
一、冷冻剂	211
二、冷冻盐水	212
第四节 压缩蒸气冷冻机的设备	213
一、压缩机	213
二、冷凝器	213
三、蒸发器与膨胀阀	214
复习题	214
第十一章 制药工业的净化空调	215
第一节 概述	215
一、空调在制药工业中的任务和作用	215
二、空调的基本方法	216
第二节 空气处理过程及设备	216
一、空气净化处理和空气过滤器	216
二、空气与水直接接触的热湿处理	218
三、空气加热器和空气冷却器	218
四、空气的增湿和减湿设备	218
第三节 制药工业净化空调设施	220
一、综合要求	220

二、洁净室正压控制	221
三、空气、人和物净化系统	221
四、空气净化设备	222
复习题	223
附录	225
一、常用单位的换算	225
二、某些气体的重要物理性质	226
三、某些液体的重要物理性质	226
四、干空气的物理性质 (101.33kPa)	227
五、水的物理性质	228
六、饱和水蒸气表 (以温度为准)	229
七、饱和水蒸气表 (以用 kPa 为单位的压力为准)	230
八、水在不同温度下的黏度	232
九、液体的黏度共线图	233
十、101.33kPa 压力下气体的黏度	235
十一、液体的比热容	237
十二、101.33kPa 压力下气体的比热容	239
十三、蒸发潜热 (汽化热)	241
十四、某些有机液体的相对密度 (液体密度与 4℃ 水的密度之比)	243
十五、管子规格 (摘录)	245
十六、离心泵规格 (摘录)	246
参考文献	248

绪 论

一、本课程的学习内容和任务

本课程的学习内容是制药生产过程中常见的单元操作过程及设备。其任务是学习各单元操作的基本原理、典型设备的构造和性能以及一般的计算方法。

由于制药工业从其本质上来讲,仍属于化学工业的范畴,因而制药工业生产也与化工基本过程、化工典型设备及操作等问题有关。在化学工业的生产中,常常采用空气、煤、海水等天然资源或玉米、甘薯等农作物为原料进行加工处理制成成品。这些从原料到成品的生产程序,称为化工生产过程。例如:无机肥料工业中的合成氨生产过程、制药工业中的葡萄糖生产过程等。这些化学工业产品的生产方法、原理、流程和设备等问题都在各类的工艺学中学习。例如:无机物工艺学、有机合成工艺学、制药过程工艺学等。

尽管化学工业的门类繁多,产品和生产方法是复杂多样的。但是,在生产过程中都要用到一些类型相同、具有共同特点的基本过程和设备。例如:流体的输送、过滤、加热、冷却、蒸发、精馏和干燥等。这些基本过程和设备都是大多数化工产品的生产过程中所共有的。例如:在烧碱的生产中,碱液的浓缩是采用蒸发来完成的;同样在食盐精制和葡萄糖等生产中也采用蒸发来浓缩溶液。可见蒸发是一个化工基本过程。又如,在制药工业中,所得的葡萄糖晶体成品需要干燥;而在纯碱生产中,纯碱也需要干燥。所以干燥也是一个化工基本过程。这些具有共同的物理变化特点的化工基本过程,也称为单元操作。

化工基本过程与化工生产过程是不同的,任何化工生产过程都是按照不同的生产要求,由若干个化工基本过程组合而成。对于从事制药工程技术的人员来说,这是一门很重要的课程。因为各种制药产品的生产过程中都离不开化工基本过程、典型设备的构造、操作等问题。学习本门课程,可培养学生分析和解决有关单元操作各种问题的能力。

二、单元操作的名称与分类

根据各单元操作所遵循的基本规律,从而可进一步将它们归纳成下列几个基本过程。

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基本规律支配的一些单元操作,如流体的流动与输送、沉降、过滤等。

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基本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。研究物质通过相界面的迁移过程的基本规律及受这些基本规律支配的一

些单元操作，如精馏、吸收、萃取、干燥等。

4. 热力过程

研究热力学的基本规律及遵循这些基本规律的单元操作，如冷冻、深度冷冻等。

应当指出，以上分类方法只是相对的。在最简单的情况下，过程用一个基本定律就能表明，例如：流体力学过程可以用流体运动规律来表明。但是某些过程也可以同时包括有流体动力学现象、热交换现象和传质现象，而某些设备也会随着它在生产中使用目的或条件的不同起着不同的作用。因此，对同一典型设备有必要从各个角度进行全面的分析，找出一系列共同影响和经常互相矛盾的因素密切地联系起来研究。

三、制药工业的特点

由于制药工业生产的产品直接为人民健康服务，因此又具有不同于一般化学工业的特点，具体特点如下。

1. 产品质量和规格要求严格

药品是直接供患者服用的，为保证服用者安全，对药品的质量和规格必须提出严格要求。生产药品的质量和规格必须符合药典的规定才能出厂。所以在药品的生产中，须考虑到原料的纯度对产品质量的影响；各个环节的生产操作对于产品纯度的影响；选择设备时，须注意设备的耐腐蚀能力，避免产品中混入杂质；对于原料或中间体都要有一个控制标准，并通过化验合格后才能投料。因此对参与生产的每一个人都必须树立质量第一的观念。

2. 生产量小

一般药品的产量比普通的化工产品的生产量小得多，因此在生产方法和设备上应注意适应这一特点。在化工产品的生产上，为了提高生产量、劳动生产率和设备利用率，多采用连续操作；而在制药工业中为适应生产量小的特点，仍以采用间歇操作为多。

3. 药物合成反应比较复杂

在制药工业中，一般的药品合成均包含有较多的化学单元反应，并且其中往往伴随着许多副反应，而使整个操作变得很复杂。所以在每个单元操作过程中必须严格控制反应条件，尽量降低副反应的发生。在原料或中间体的精制过程中，也应严格要求。

4. 药品种类多和生产工艺更新比较快

为了提高药品的疗效，降低毒性，减少副作用，人们需要不断地总结经验，试制出新的药品来代替疗效低、毒性和副作用大的药品，所以药品的品种较多。同时对药品提出了越来越高的要求，如高效、长效、速效、低度、价格便宜和使用方便。因此，制药工业生产必须不断地研制新产品，改革工艺和设备，降低消耗，以适应制药生产的发展趋势。

四、单位制和单位换算

1. 基本量和导出量

凡参与生产过程的物料都具有各种各样的物理性质，如黏度、密度、热导率等，而且还常常需用各种不同的参变数，如用温度、压强、流速等来表示过程的特征。这些物理性质和参变量在过程中均需要计量和控制，通常把它们统称为物理量。

尽管这些物理量的种类繁多、各不相同，但都可以通过几个彼此独立的基本量来表示其性质。其他物理量都可以通过既定的物理关系与基本量联系起来，这种由基本量导出的物理量称为导出量。

基本量所用的单位称为基本单位，由基本单位导出的单位称为导出单位。单位制是基本单位与导出单位的总和。

2. 单位制

由于计量各个物理量时，采用了不同的基本量，因而产生了不同的单位制度。目前最常用的单位制有以下三种。

(1) 物理单位制 在此制中，长度单位是 [厘米]、质量单位是 [克]、时间单位是 [秒]。其他物理量的单位可以通过物理和力学的定律由这些基本量导出。比如：力的单位由牛顿第二定律 $F=ma$ 导出，其单位为 [克·厘米/秒] 称为 [达因]。在科学实验和物化数据手册中常用此制。

(2) 工程单位制 在此制中，长度单位是 [米]、力的单位是 [千克力]、时间单位是 [秒]。此时，质量就变为导出量。

(3) 国际单位制 1960 年第 11 届国际计量大会上正式通过为国际单位制，代号为 SI。一共采用七个物理量的单位为基本单位，其名称、代号见表 0-1。

表 0-1 国际单位制的七个基本量

基 本 量	单位名称	单 位 代 号	
		中文	国际
长度	米	米	m
质量	千克(公斤) ^①	千克(公斤)	kg
时间	秒	秒	s
电流	安培	安	A
热力学温度	开尔文 ^②	开	K
物质的量	摩尔	摩	mol
发光强度	坎德拉	坎	cd

① 括弧中的名称与它前面的名称是同义词。

② 除以开尔文表示的热力学温度外，也使用按式 $t = T - 273.15\text{K}$ 所定义的摄氏温度，式中 t 为摄氏温度， T 为热力学温度。摄氏温度用摄氏度表示，摄氏度的代号为 $^{\circ}\text{C}$ 。

为了使用的方便，它还规定了一套词冠来表示单位的倍数和分数，见表 0-2。

表 0-2 国际单位制词冠

因数	词冠	代号		因数	词冠	代号		因数	词冠	代号	
		中文	国际			中文	国际			中文	国际
10^{18}	艾可萨	艾	E	10^2	百	百	h	10^{-6}	纳诺	纳	n
10^{15}	拍它	拍	P	10^1	十	十	da	10^{-12}	皮可	皮	p
10^{12}	太拉	太	T	10^{-1}	分	分	d	10^{-15}	飞母托	飞	f
10^9	吉咖	吉	G	10^{-2}	厘	厘	c	10^{-18}	阿托	阿	a
10^6	兆	兆	M	10^{-3}	毫	毫	m				
10^3	千	千	k	10^{-6}	微	微	μ				

在选用国际制单位的倍数单位或分数单位时，应使数值处在 0.1~1000 之间。

例如：
 $1.2 \times 10^4 \text{ N}$ 可以写成 12kN
 0.00394 m 可以写成 3.94mm
 1401 Pa 可以写成 1.401kPa

但是在同一个量的数值表中，或在一篇文章中讨论这些数值时，即使有些数值不在 0.1~1000 范围之内，也最好使用一致的倍数单位或分数单位。对于有些量，在特殊的使用场合，可以用同一个习惯的倍数单位或分数单位。例如，在大部分机械制图中可以使用毫米表示几何尺寸。

本教材主要采用国际单位制。

3. 单位换算

中国于1984年2月27日国务院发布命令,明确规定在中国实行以SI单位为基础的法定计量单位,要求在1990年底以前各行各业要全面完成向法定计量单位的过渡。鉴于几十年来,在工农业生产和工程技术中,一直广泛使用工程单位制,现在理化手册和科技资料中的数据仍然主要是采用物理单位制,因而有必要掌握这些单位制之间的换算。

物理量由一种单位换成另一种单位时,量本身并无变化,但数值要改变,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之比。化工常用单位的换算因数可从本书附录中查到。

【例 0-1】 一标准大气压(1atm)的压力在SI中为多少帕。

解 从附录一中查得

$$1\text{atm}=1.013\times 10^5\text{Pa}$$

【例 0-2】 求把密度的单位由 g/cm^3 换算成 kg/m^3 时的换算因数。

解 从附录一中查得

$$1\text{g}/\text{cm}^3=1000\text{kg}/\text{m}^3$$

换算因数为1000。

4. 单位的正确运用

化工计算中所使用的公式种类不同,使用物理量单位的方法也不同。

一类公式是根据物理规律建立的,称为理论公式。其中的符号除比例系数外,各代表一个物理量,因此又称为物理量方程,如牛顿第二定律 $F=ma$ 等。物理量实际上是数目与单位的乘积,把物理量的数据代入这一类公式时,应当把数值和单位一起代进去,而解出的结果总是属于同一单位制,所以理论公式在单位上总是一致的。

使用理论公式进行计算时,开始便应选定一种单位制,并贯彻到底中途,不能改变。求得的结果若不能保持单位的一致或得出不合理的单位,表明计算中混进不一致的单位,或者所用公式本身的单位不一致,有必要检查公式是否正确。

另一类公式是根据实验结果整理出来的,称为经验公式。这类公式的每一个符号都要用指定单位的数值代入,所得结果属于什么单位也是指定了的。对于这类公式,代入以前要逐一核实数据的单位是否合乎规定,只需将数字代入,算出的结果则附上规定的单位。严格地说,这种公式中的符号并不能代表完整的物理量,只是代表物理量中的数字部分,所以又称数字公式,其使用是有局限性的。

复 习 题

1. 试举例说明本课程和工艺学的研究对象有何不同。
2. 什么叫做单元操作。
3. 物理单位制、工程单位制和SI制中各以那几个单位为基本单位。
4. 单位制与基本单位、导出单位的关系是什么。
5. 在工程计算中如何保证单位的正确运用。

习 题

1. 将物理单位制的黏度单位 [泊] 换算成 SI 黏度单位 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

[答: 0.1]

2. 将 2 [马力] 换算成 kW。

[答: 1.49kW]

3. 将流量 600 [升/分] 换算成 m^3/s 。

[答: 0.01]