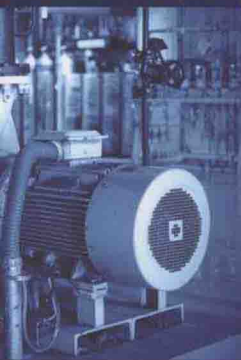




高等职业教育“十二五”规划教材



生物工程基础 单元操作技术

王玉亭 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

高等职业教育“十二五”规划教材

生物工程基础 单元操作技术

王玉亭 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物工程基础单元操作技术/王玉亭主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2013. 9

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5019-9383-3

I. ①生… II. ①王… III. ①生物工程—化工单元操
作—高等职业教育—教材 IV. ①Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 167847 号

责任编辑:江 娟 王 朗

策划编辑:江 娟 责任终审:唐是雯 封面设计:锋尚设计

版式设计:宋振全 责任校对:燕 杰 责任监印:张 可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街 6 号,邮编:100740)

印 刷:北京君升印刷有限公司

经 销:各地新华书店

版 次:2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本:720 × 1000 1/16 印张:15.75

字 数:315 千字

书 号:ISBN 978-7-5019-9383-3 定价:32.00 元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

120800J2X101ZBW

前 言

高职教学应体现“工学结合”,以“必需”、“够用”为原则,积极适应行业技术发展。目前高职生物制药、生物技术及应用类专业多为理科专业,学生的工科基础薄弱,而随着行业的发展,已将越来越多的生物技术及产品制备推向规模化、工业化,这就要求行业从业人员应有一定的工程概念和操作技能。因此,在理科药学类专业中开展工程技术及操作技能的教学活动日益重要。

以往,这类教学活动多是通过轻工类专业的“化工原理”或“化工基础”类课程来讲授。但这类课程属于工科类课程,一方面含有大量公式推导和设计计算,对药学类的理科专业并不适用;另一方面,药学类等理科专业所开设的“生物制药设备”、“生物工程设备”类课程,多偏重于设备的结构特征,与工艺、工程的结合并不紧密,而对高职教学来说,“设备”课程的实质性内容是设备的操作与维护。显然,原有的课程并不完全适合行业的发展需求。

本教材注重通用工艺过程中的单元操作共性,体现相关行业、企业的岗位技能要求,围绕当前生物制药、生物技术及应用领域的产业化特征,按照工程化内容进行设计、编写,同时设计了部分实用、可行的技能训练,侧重于培养学生的动手能力和实际操作技能,强化了工程操作概念。各校可根据实际情况和教学计划灵活选用。

本教材由广东食品药品职业学院的王玉亭主编,阜阳职业技术学院陈西伟、黑龙江农业职业技术学院孙佳、杨凌职业技术学院刘彦超、内蒙古农业大学职业技术学院王燕荣等老师共同参与编写。本书在编写过程中得到了编者所在院校领导的大力支持和帮助,同时参考了一些已发表的文献资料,在此向相关作者和提供帮助的同志表示由衷的感谢!

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者与同仁批评指正。

王玉亭

2013年7月

目 录

绪论	(1)
项目一 课程介绍	(1)
项目二 生物工程技术的本质与应用	(1)
一、生物工程是生物技术的工程应用	(1)
二、生物工程技术的本质	(2)
三、生物工程的单元操作技术	(3)
四、单元操作的技术特点	(4)
项目三 单位与单位换算	(5)
一、单位制	(5)
二、单位换算	(6)
三、单位的正确运用	(6)
项目四 设备基本知识	(7)
一、金属材料	(7)
二、非金属材料	(8)
三、GMP 对制药设备的要求	(9)
技能要点	(10)
思考与练习	(11)
模块一 流体流动	(12)
项目一 静止流体的规律与应用	(12)
一、流体特性	(12)
二、流体静力学基本方程	(16)
项目二 流体流动的规律与应用	(20)
一、流体的流量方程	(20)
二、流体物料与能量衡算	(22)
项目三 流体阻力及应用	(26)
一、流体黏度与流动速度的分布	(26)
二、流量测量	(30)
项目四 管道与阀门	(32)
一、管线与管件	(33)
二、常用阀门	(36)
三、管道的连接	(41)

技能要点	(45)
思考与练习	(45)
模块二 液体输送	(48)
项目一 叶轮泵	(48)
一、离心泵	(48)
二、离心泵的性能与特性曲线	(51)
三、离心泵的汽蚀现象与安装高度	(56)
四、离心泵的类型、选用与操作	(58)
项目二 正位移泵	(60)
一、往复泵	(60)
二、旋转泵	(64)
三、旋涡泵	(65)
四、蠕动泵	(66)
项目三 其他液体输送方式	(68)
一、压缩空气输送方式	(68)
二、真空输送方式	(69)
三、高位槽输送	(70)
四、机械输送	(70)
技能要点	(70)
思考与练习	(71)
模块三 气体输送	(73)
项目一 离心式通风机	(73)
一、离心式通风机的结构和原理	(74)
二、离心式通风机的性能	(74)
项目二 鼓风机与压缩机	(76)
一、离心式鼓风机与压缩机	(76)
二、往复压缩机	(77)
三、罗茨鼓风机	(80)
四、液环压缩机	(81)
项目三 真空泵	(82)
一、往复式真空泵	(83)
二、水环式真空泵	(83)
三、旋片式真空泵	(83)
四、喷射式真空泵	(84)
技能要点	(85)
思考与练习	(85)

技能训练 1	(86)
一、管路拆装	(87)
二、离心泵输送物料	(92)
三、往复泵抽送物料	(96)
技能要点	(98)
思考与练习	(98)
模块四 传热	(99)
项目一 传热的基本知识	(99)
一、传热的基本概念	(99)
二、工业换热的方式	(100)
项目二 传热机理	(101)
一、热传导	(101)
二、热对流	(104)
三、热辐射	(108)
项目三 常见换热器	(109)
一、管式换热器	(109)
二、板式换热器	(112)
三、特殊形式的换热器	(114)
四、换热器的操作与维护	(116)
五、换热过程的强化	(119)
技能要点	(120)
思考与练习	(121)
模块五 蒸发	(122)
项目一 蒸发概述	(122)
一、蒸发的目的与特点	(122)
二、蒸发操作的分类	(124)
项目二 蒸发设备	(125)
一、循环蒸发器	(125)
二、单程蒸发器	(128)
三、蒸发器的辅助装置	(132)
四、蒸发器的选型	(133)
项目三 蒸发操作与蒸发流程	(134)
一、单效蒸发	(134)
二、多效蒸发	(136)
三、蒸发器的生产能力与生产强度	(138)
项目四 蒸发操作与控制	(140)

一、蒸发运行操作	(140)
二、蒸发过程的强化	(142)
技能要点	(143)
思考与练习	(143)
模块六 制冷	(145)
项目一 冷冻原理	(145)
一、制冷的应用	(145)
二、制冷的基本原理	(145)
项目二 制冷载体	(148)
一、制冷剂	(148)
二、冷冻盐水	(150)
项目三 制冷设备	(150)
一、制冷设备的工作原理	(151)
二、单级压缩制冷机	(153)
三、压缩蒸气制冷机组	(154)
四、压缩蒸气制冷机的组成设备	(157)
技能要点	(158)
思考与练习	(159)
模块七 空气净化与调节	(160)
项目一 概述	(160)
一、空气的组成	(160)
二、生物工业生产对空气的卫生质量要求	(162)
项目二 空气净化设备	(164)
一、空气过滤除菌法	(165)
二、空气过滤器	(168)
三、静电除尘器	(171)
四、气液分离器	(172)
五、空气压缩设备	(173)
六、空气贮罐	(173)
七、空气冷却器	(174)
项目三 空气介质过滤除菌流程	(174)
一、空气压缩冷却过滤流程	(174)
二、两级冷却、分离、加热的空气除菌流程	(175)
三、前置高效过滤除菌流程	(175)
项目四 空气调节设备	(176)
一、空气增减湿的原理	(176)

二、空气增减湿的方法	(176)
三、空气调节设备	(177)
项目五 净化空调系统	(178)
一、净化空调的工艺流程	(179)
二、典型净化空调系统	(179)
项目六 净化空调系统的操作与维护	(181)
一、净化空调系统操作规程	(181)
二、净化空调系统清洁规程	(181)
三、净化空调系统的维护保养规程	(182)
技能要点	(182)
思考与练习	(182)
模块八 固体物料的输送及预处理	(184)
项目一 固体物料的输送	(184)
一、带式输送机	(184)
二、斗式提升机	(185)
三、螺旋输送机	(187)
四、气流输送系统	(188)
项目二 固体物料的粉碎	(191)
一、粉碎的基本原理	(191)
二、粉碎机械	(192)
三、粉碎技术的实施	(198)
项目三 物料的筛选除杂	(201)
一、物料的筛分与除杂	(201)
二、物料的精选及分级	(205)
项目四 物料的混合	(206)
一、物料混合机理	(206)
二、固体物料的混合设备	(208)
三、液体物料混合	(210)
技能要点	(214)
思考与练习	(214)
技能训练 2	(215)
一、固体物料的粉碎与筛分	(215)
二、物料的溶解与混合	(219)
技能要点	(224)
思考与练习	(225)

附录	(226)
1 常用单位换算	(226)
2 干空气的物理性质	(227)
3 水的物理性质	(228)
4 某些气体的重要物理性质	(229)
5 某些液体的重要物理性质	(230)
6 饱和水蒸气表 (以温度为基准) (摘录)	(231)
7 饱和水蒸气表 (以用 kPa 为单位的压力为准) (摘录)	(232)
8 常用固体材料的密度和质量热容	(233)
9 某些固体材料的热导率	(234)
10 管子规格 (摘录)	(234)
11 IS 型单级单吸离心泵规格 (摘录)	(235)
12 管壳式换热器系列标准 (摘录)	(237)

绪 论

项目一 课程介绍

本课程是以培养生物工程基础单元操作技能为目标的专业技能课程，是生物制药技术、生物化工技术、生物技术与应用、功能食品加工等专业的核心技能课程之一。

所谓生物工程，指的是以生物学（特别是微生物学、遗传学、生物化学和细胞学）的理论和技术为基础，结合化工、机械、计算机等工程与信息技术，通过工程设备等手段来实现生物体的大规模培养，以实现大量有用物质的生产或者发挥其独特生理作用的一门工程技术，涉及食品、药物、轻工业、能源、环保等多个领域。通常所说的基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程、生化过程和生物反应器工程都属于生物工程的范畴。包括生物药物、功能食品在内的众多生物技术产品的规模化生产与加工，都需要通过生物工程技术手段来完成。一般来说，这些工程技术手段主要由各个工段（或生产车间）组成，如菌种选育、种子培养、细胞培养、微生物发酵、培养/发酵液分离与纯化、成型加工、制剂加工等，此外还需要空调、制水、动力等辅助车间。相应的设备主要有原材料的粉碎、原料液配制与输送、空气净化与调节、换热、生物反应、细胞破碎、分离纯化、蒸发浓缩、干燥结晶、制剂加工、工艺用水等。

本课程的内容就是围绕生物药物等生物技术产品生产的一般工艺流程，面向生产操作、设备维护、辅助研发及市场开拓等职业岗位群，讲述生物技术产品生产制备过程的基本工程概念、反应流程及典型设备的构造、性能、操作与维护等应用技术。

项目二 生物工程技术的本质与应用

一、生物工程是生物技术的工程应用

从工程学的角度看，生物工程就是在生物技术应用与产品加工过程中涉及的化学工程技术。在很早的时候，人们就开始用微生物发酵来制酒、酿醋，从动植物材料中获取食品与药品等，但直到近代化学工程技术得到较大发展之后，才开始有大规模的工业化生产。二战时期，抗生素深层发酵和大规模生产获得成功，生物工程技术得到迅速发展。此后，生物工程一度被看作是生物分离工程的代名

词。近些年以来，随着基因技术、生物催化与转化技术、动植物细胞培养技术、新型生物反应器和新型生物分离技术等的应用，生物工程涵盖了生物反应和反应器工程、生物分离工程、生物加工工艺、动植物细胞培养工程、生物反应过程检测与控制、生物制药工程等众多领域；其和传统的化工学科相互交融又独具特色，成为一门具有很强的理论性和实践性、相对独立的工程学科。

很多时候，人们常把生物技术称为生物工程。这两者在广义上是等同的，都属于直接或间接地利用生物体的机能来生产物质的技术。可以这样理解，生物技术侧重于理论与技术开发，生物工程侧重于生物技术的实施和产品的工业化生产。随着以基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程为代表的现代生物技术的迅猛发展，生物工程技术越来越影响和改变着人们的生产和生活方式，为人们带来巨大的经济和社会效益。

目前，60% 以上的生物技术成果集中应用于医药产业，用以开发特色新药或对传统医药进行改良。生物制药是将生物工程技术应用在药物制造领域，是生物工程技术的一个主要应用方向。同样，生物工程技术也广泛应用于酒、醋等传统酿制食品的生产加工，功能食品制造的天然活性成分的提取、分离，轻纺、环保和能源领域的工业生物酶的生产制造等。

二、生物工程技术的本质

从本质上说，包括制药等生物技术产品的生产过程，仍然属于化学工业的范畴，其工业生产与化工基本过程、化工典型设备及操作等密切相关，其核心特征是化学变化。但是，为了使反应过程得以经济有效地进行，就必须创造并维持适宜的反应条件，如一定的温度、压力和物料组成等。因此，原料需要经过适当的预处理（前处理），以除去其中对反应有害的成分，达到必要的纯度、适宜的温度和压力条件；反应混合物必须经过后处理来分离提纯，获得合乎质量标准的产品；在必要的情况下，未反应完的原料还必须循环利用。这些前、后处理主要是通过物理过程的操作来完成，期间发生的是物理变化。可以说，化工过程是若干个物理过程和化学反应过程的组合，二者缺一不可。化工产品的基本工艺过程可以用图 0-1 来表示。

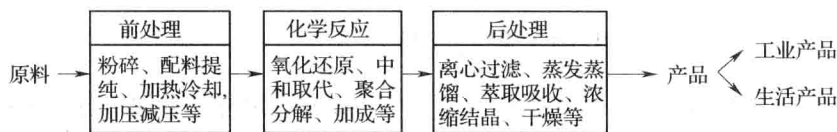


图 0-1 化工生产过程的基本模式

近几十年来，生物技术得到了飞速发展，生物发酵、生物细胞培养与反应、生物提取和分离等生物技术及产品越来越多地出现在医药、食品、饲料、化工、

能源、环保等众多领域，传统的化工过程中越来越多地引入了生物技术的独特因素。以制药业为例，传统的制药过程是以化工制药和中药加工为代表，化工过程是其工程环节。现代化工技术的发展，不仅在工程上进一步实现了集成化和自动化，更是应用于生物技术产品的深加工，从而使生物制药、功能食品加工、工业生物酶与有机酸等产品的加工实现了规模化和工程化；中药现代化加工技术也越来越多地引入了化工分离过程。

三、生物工程的单元操作技术

在化工生产过程中，各种原料通过许多工序和设备，在一定的工艺下加工处理，制得产品。尽管不同的产品千差万别，生产工艺多种多样，但其生产过程所包含的物理环节却具有很多的共同点。例如，无论是什么样的原料与反应过程，都需要有原料粉碎、输送、反应过程混合、加热与产品过滤分离等操作过程。人们把这些包含在不同化工产品生产过程中，发生同样物理变化，遵循共同的物理学规律，使用相似设备，具有相同功能的基本物理操作，称为“化工单元操作”，简称“单元操作”。相应的，将具有共同化学变化规律的化学反应操作称为“化工单元过程”。

与传统化工产品的生产相同，生物工程也是应用工程技术手段来生产生物技术产品。例如，玉米、甘薯、大麦等原料的加工需要粉碎、分离、输送等操作过程，生物培养与发酵过程需要流体输送、加热、混合搅拌，葡萄糖、抗生素等产品的获得需要过滤分离、纯化、结晶干燥等操作过程，无菌生产所需要的净化空气、无菌水等需要经除尘、过滤、加热、蒸发等操作过程来制备等。在这些操作过程中，无论操作的对象是什么、发生着何种反应，其过程的目的相同、过程的物理机制相同。显然，生物工程仍然属于化工生产过程的范畴，也是由若干个单元操作组成的，其反应过程与化学反应过程相对应（图0-2）。

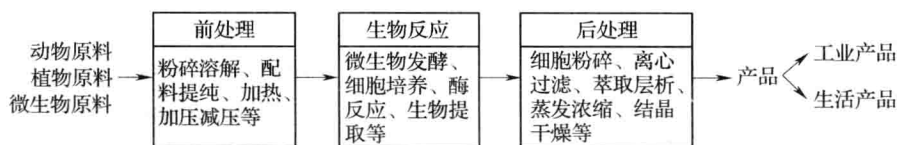


图0-2 生物工程生产过程的基本模式

但由于生物反应不同于传统的化学反应，因此，生物化工的操作过程与传统的化工操作过程有着较大的不同。例如，吸收，精馏等操作在生物制药、食品加工中的应用就比较少，换热操作中的一些技术手段在基因药物制备等小规模生物反应过程中较少应用；另一方面，生物材料加工中的破碎操作在传统化工中却较少提及，而天然动植物材料的破碎和微生物菌体、动植物细胞的破碎又有着明显区别；在生物产品的分离纯化过程中，近年来发展起来的膜分离、超临界萃取等

应用日渐广泛，发挥着越来越重要的作用。

[课堂互动]

想一想 单元操作有哪些特点？生物工程技术单元操作与常规化工单元操作有什么不同？

四、单元操作的技术特点

单元操作按其理论基础可分为三类。

(1) 流体流动 涉及流体流动、流体和与之接触的固体之间发生相对运动时的基本规律，以及主要受这些基本规律支配的单元操作，如流体的输送、搅拌、沉降、过滤、膜分离等。

(2) 传热 涉及传热基本规律，以及主要受这些基本规律支配的单元操作，如传热、蒸发等。

(3) 传质 涉及物质通过相界面的迁移过程的基本规律，以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作，如吸收、蒸馏、吸附、干燥、结晶等。

常见的单元操作种类见表 0-1。

表 0-1 常见的单元操作种类

操作名称	操作目的	处理物态	原理
流体输送	输送	液体或气体	向液体输入机械能
沉降	非均相混合物分离	气/液体-固体	利用两相密度差异引起沉降运动
过滤	非均相混合物分离	气/液体-固体	利用过滤介质使固体颗粒与流体分离
加热、冷却	升温、降温，改变相态	液体或气体	利用温度差引入或导出热量
蒸发与结晶	溶质与非挥发性溶质的分离	液体	供热以气化溶剂
固-液萃取	固体混合物中的组分分离	固体	利用各组分在溶剂中的溶解度不同分离
吸收	均相混合物分离	气体	利用各组分在溶剂中的溶解度不同分离
蒸馏	均相混合物分离	液体	利用各组分的相对挥发度不同分离
干燥	去湿	固体	供热气化湿物料中的湿分

单元操作具有如下特点。

(1) 这些操作只改变物料的状态或其物理性质，并不改变物料的化学性质，都属于物理性操作；

(2) 这些操作都是化工生产过程中共有的操作，各种化工产品的生产过程，可由若干单元操作与化学反应过程做适当的串联组合而构成。

由上述讨论，单元操作可理解为：在各种化工产品的生产过程中，除化学反应过程外，用物理过程完成产品的生产过程。

项目三 单位与单位换算

一、单 位 制

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，而且还常需要各种不同的变量，如湿度、压强、流速等来表示过程的特征。这些物理性质和变量在操作过程中均需要计量和控制，通常把它们统称为物理量。

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。在计量各个物理量时，因采用不同的基本单位，会产生不同的单位制度。

常用的单位制主要有三种。

(1) 厘米克秒制 也叫 CGS 制，长度单位是 (cm)、质量单位是 (g)、时间单位是 (s)，常见于科学实验和物化数据手册中。

(2) 工程单位制 长度单位是 (m)、力的单位是 (kgf)、时间单位是 (s)。

(3) 国际单位制 简称 SI 制，于 1960 年第 11 届国际计量大会 (CGPM) 上通过，由米 (m)、千克 (kg)、秒 (s)、安培 (A)、开尔文 (K)、坎德拉 (cd) 共 6 个基本单位组成。1971 年第 14 届 CGPM 又增加了第 7 个基本单位摩尔 (mol)。国际单位制的七个物理量名称、代号见表 0-2。

表 0-2 国际单位制的七个基本物理量

基本量	单位名称	单位代号	
		中文	国标
长度	米	米	m
质量	千克 (公斤)	千克 (公斤)	kg
时间	秒	秒	s
电流	安培	安	A
热力学温度	开尔文 ^①	开	K
物质的量	摩尔	摩	mol
光强度	坎德拉	坎	cd

注：① 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，代号为℃。

我国在 1985 年通过了《中华人民共和国计量法》，规定实行以 SI 单位为基础的法定计量单位 (表 0-3)，其内容包括：SI 基本单位，包括 SI 辅助单位在

内的具有专门名称的导出单位，国家选定的非法定单位制的单位，由上述单位构成的组合形式的单位，以及由 SI 词头和上述单位构成的十进倍数和分数单位。

表 0-3 国家选定的非国际单位制单位（部分，GB 3100—1993）

量	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
时间	分	min	1 min = 60s
	[小时]	h	1 h = 60 min = 3600s
	天 [日]	d	1 d = 24 h = 86400s
平面角	[角] 秒	($''$)	1 $''$ = ($\pi/648000$) rad (π 为圆周率)
	[角] 分	($'$)	1' = 60 $''$ = ($\pi/10800$) rad
	度	($^{\circ}$)	1 $^{\circ}$ = 60' = ($\pi/180$) rad
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min = (1/60) s $^{-1}$
质量	吨	t	1 t = 10 3 kg
体积	升	L (l)	1 L = 1 dm 3 = 10 $^{-3}$ m 3
能	电子伏	eV	1 eV $\approx$ 1.6021892 $\times$ 10 $^{-19}$ J
极差	分贝	dB	

二、单位换算

在各种反应工程的过程中，经常涉及不同单位制之间的单位换算。

物理量由一种单位换算成另一种单位时，量本身没有变化，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，就是彼此相等而有不同单位的两个物理量之比。工程上常用单位的换算因数可从本书附录中查到。

下面通过例题来理解理想冷冻循环在实际生产中的应用。

【例 0-1】 一个标准大气压 (1 atm) 的压力在 SI 中为多少帕斯卡 (Pa)？

解：从附录一中查得 1 atm = 1.013 $\times$ 10 5 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 g/cm 3 = 1000 kg/m 3

换算因数为 1000。

三、单位的正确运用

在反应工程的计算中，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，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

和单位一起代入进去，而解出的结果便属于同一单位制，所以理论公式在单位上总是一致的。使用这一类公式时，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不出合理的单位，则表明计算中混进了不一致的单位，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，算出的结果附上规定的单位。严格来说，这种公式中的符号并不代表完整的物理量，只是代表物理量中的数字部分，所以又称为数字公式，其使用是有局限性的。

项目四 设备基本知识

生物工程设备所使用材料有金属和非金属两大类。各种金属和非金属有较大的性能差异，通常是根据使用目的合理选用。用作制药或者食品设备的材料同时还必须符合 GMP 等相关的行业规范要求。

一、金属材料

1. 生铁

习惯上常说的钢铁是对钢和铁的总称。钢和铁主要由铁和碳元素组成，含碳量的多少对钢铁的性质影响极大，是区别钢和铁的主要标准。含碳量增加到一定程度后就会引起质的变化。生铁含碳量大于 2.0%；钢含碳量小于 2.0% 且含有其他合金元素；含碳量低于 0.05% 且无其他合金元素的为纯铁，又称为熟铁。

生铁坚硬、耐磨、铸造性好，不能锻压。根据碳存在形态的不同，常将生铁分为炼钢生铁、铸造生铁和球墨铸铁等几种。炼钢生铁里的碳主要以碳化铁的形态存在，俗称白口铁，坚硬而脆，一般都用作炼钢原料；铸造生铁中的碳以片状的石墨形态存在，又称灰口铁，具有良好的切削、耐磨和铸造性能，用于制造各种铸件，如机床床座、铁管等；球墨铸铁里的碳以球形石墨的形态存在，其机械性能远胜于灰口铁而接近于钢，具有优良的铸造、切削加工和耐磨性能，广泛用于制造曲轴、齿轮、活塞等高级铸件以及多种机械零件。此外还有含硅、锰、镍或其他元素量特别高的生铁，称合金生铁，常用作炼钢的原料。在炼钢时加入某些合金生铁，可以改善钢的性能。

2. 碳素钢

碳素钢是指含碳量小于 1.35%，除铁、碳和限量以内的硅、锰、磷、硫等杂质外，不含其他合金元素的钢。碳素钢的性能主要取决于含碳量。含碳量增加，钢的强度、硬度升高，塑性、韧性和可焊性降低。与其他钢类相比，碳素钢