

ZHIYAO

GONGCHENG

高等医药院校教材

# 制 药 工 程

单熙滨 主 编

北京医科大学  
中国协和医科大学

联合出版社

高等医药院校试用教材

# 制 药 工 程

主 编 单熙滨  
副主编 姜继祖 姚松林  
郑聚东 孙 铭

北京医科大学  
中国协和医科大学联合出版社

(京)新登字 147 号

图书在版编目 (CIP) 数据

制药工程/单熙滨主编·—北京:北京医科大学、  
中国协和医科大学联合出版社,1994.8

ISBN 7-81034-317-3

I. 制… II. 单… III. 药物-制造-概论.TQ46

北京医科大学  
中国协和医科大学联合出版社出版发行

(100083 北京学院路 38 号 北京医科大学院内)

北京东晓印刷厂印刷 新华书店经销

※ ※ ※

开本:787×1092 1/6 印张:34 字数:806 千字

1994 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月北京第 2 次印刷 印数 5 001—8 000 册

定价:38.80 元

## 《制药工程》编委会

主 编	单熙滨
副主编	姜继祖 姚松林 郑聚东 孙铭
编 委	(以姓氏笔划为序)
孙 铭	(北京联合大学中医药学院)
刘晓秋	(黑龙江商学院)
单熙滨	(北京医科大学)
郑聚东	(佳木斯医学院)
姜继祖	(华西医科大学)
张天生	(河南中医学院)
谈正卿	(北京中医药大学)
唐志伦	(贵阳中医学院)
姚松林	(江西中医学院)
程方荣	(河南中医学院)
臧海山	(黑龙江中医学院)

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了制药工业化工单元操作的原理及其典型设备与计算方法, 中西药制剂设备和药厂车间设计等内容。全书共十三章, 内容包括流体流动, 流体输送机械, 非均相分离, 传热, 蒸发与结晶, 制冷, 气体吸收, 液体蒸馏及精馏, 萃取, 干燥, 粉碎, 筛选与混合, 制剂设备, 药厂及车间设计简介等章。每章都编有适量的例题、思考题及习题。

本书重视基本概念和基本理论的阐述、注意理论联系实际, 用工程观点分析问题, 力求反映国内中西药厂设备的先进水平。力求深入浅出, 突出重点, 便于自学。除供西药院校药学专业、化学制药专业及中医院校药学专业、中药制药专业作教材使用外, 还可作为科研、生产企业单位工程技术人员、管理人员参考用书和培训教材。

本书是以中西药生产相结合的原则来编写的, 故供中西药生产技术人员使用。

# 前 言

在当前以经济建设为中心、改革、开放的形势下，中西药生产不断发展，新产品、新工艺、新技术不断出现，在此情况下，根据专业需要，扩展学生知识面，全国各中西药院校，都在开设名称虽不同，但内容完全一样的“制药工程”课，并且目前都缺少适合专业需要，与中西药生产相结合，符合国内生产实际的教材，工程技术与管理人员也急需这方面的专业参考书。

我们根据多年的教学、参加生产实践和科研等经验，在各院校自编教材的基础上，协编《制药工程》教材。

本书系统地介绍了制药工业化工单元操作的原理、典型设备及计算方法，中西药制剂设备和药厂车间设计等内容。尽管在中西药生产中，随产品和所用原料不同，工艺过程千变万化，但都涉及到如下一些操作过程及设备：流体的流动及输送；传热及其设备；制冷过程；气体的吸收及设备；非均相系的分离；蒸发与结晶；蒸馏与精馏及各种塔设备；固-液与液-液萃取；干燥及流化床技术；粉碎、筛选与混合；制剂设备；还有药厂车间的设计等，依以上内容共分十三章予以叙述。所以本书的特点是把化工原理、制剂设备，药厂车间设计三者内容有机地统一起来，把中西药生产与应用结合起来，并把1975年世界卫生组织制定的《药品生产质量管理规范》（简称GMP标准）和我国制定的《药品生产管理规范》联系起来，加以贯彻。

由于我国药厂规模、生产量与品种不同，全国各中西医药院校教学时数不同，可根据实际需要，选用本书有关内容。

制药工程课是与专业密切相关的一门课，为将来从事化学药品生产，中药药材与中西药品等生产工作和学习专业课打下基础，所以本书力求理论联系实际，对基本理论、基本概念予以充分叙述，并反映国内生产与设备的先进水平，培养学生实际操作能力，科研能力，学会选取定型与非定型设备，阅读设计手册提出改进措施，估算设备的生产能力。所以对设备的原理、选用、使用方法及国内开发成功的新型设备都作了介绍。

根据实际需要，除对基本理论充分叙述外，对于较高深的理论只作结论性的介绍而不推导公式，把因次论，相似论等以及中西药厂较少使用的设备略去。

本书力求深入浅出，叙述清晰，文字简练，为便于使用者掌握，编写了例题、习题和思考题等，培养学生分析问题、解决问题的能力，培养工程技术观点。书后还附有常用一些量的数据与设备规格。

本书除供大学生使用外，还可供研究生、工厂技术人员、工程师以及管理人员作为参考书。

参加本书除编委会人员外，还有杨晖、韩修林、谈维文等同志参加。

由于编者水平所限，时间仓促，错误之处在所难免，希使用者批评指正。

编 者

1993年10月

# 目 录

绪 论	(1)
第一章 流体流动	(6)
第一节 流体的有关物理性质	(6)
一、 密度	(6)
二、 比容	(7)
三、 粘度	(8)
第二节 流体静力学	(11)
一、 压强	(11)
二、 流体静力学方程式	(12)
三、 压强的测量	(13)
四、 确定液封的高度	(15)
第三节 流体动力学	(15)
一、 流量与流速	(15)
二、 稳定流动与不稳定流动	(16)
三、 流体稳定流动时的物料衡算——连续性方程	(16)
四、 流体稳定流动时的能量衡算——柏努利方程	(17)
五、 柏努利方程的应用	(20)
六、 流体流动类型与雷诺准数	(23)
七、 圆形管内层流与湍流的速度分布	(24)
第四节 流体流动的摩擦阻力	(26)
一、 圆形直管阻力损失计算通式	(27)
二、 圆形直管层流阻力损失计算式及摩擦系数	(27)
三、 圆形直管湍流阻力损失计算及摩擦系数	(27)
四、 非圆形直管摩擦阻力损失的计算	(30)
五、 局部摩擦阻力损失计算	(31)
第五节 管路计算	(34)
一、 简单管路计算	(34)
二、 串、并联管路计算	(38)
第六节 流量测量	(40)
一、 孔板流量计	(40)
二、 转子流量计	(43)
三、 电磁流量计	(45)
第二章 流体输送机械	(50)
第一节 液体输送设备	(50)
一、 离心泵	(50)
二、 其它类型泵	(61)
第二节 气体压缩和输送设备	(65)
一、 离心式通风机、鼓风机及压缩机	(65)
二、 往复压缩机	(68)

三、	旋转压缩机	(72)
四、	真空泵	(73)
<b>第三章</b>	<b>非均相系的分离</b>	<b>(77)</b>
<b>第一节</b>	<b>气相非均相系的分离</b>	<b>(77)</b>
一、	重力沉降	(77)
二、	离心沉降	(80)
三、	旋风分离器	(81)
四、	空气净化制的方法	(87)
<b>第二节</b>	<b>液相非均匀相分离</b>	<b>(90)</b>
一、	过滤	(90)
二、	过滤速率方程式	(91)
三、	恒压过滤	(92)
四、	过滤机	(93)
五、	离心机	(97)
六、	其它种类的液相分离器	(99)
<b>第四章</b>	<b>传热</b>	<b>(103)</b>
<b>第一节</b>	<b>基本概念</b>	<b>(103)</b>
一、	传热的基本方式	(103)
二、	典型换热器的传热过程	(103)
<b>第二节</b>	<b>热传导</b>	<b>(104)</b>
一、	基本概念及傅立叶定律	(104)
二、	导热系数	(105)
三、	单层及多层平壁的稳定热传导	(106)
四、	单层及多层圆筒壁的稳定热传导	(107)
<b>第三节</b>	<b>对流传热</b>	<b>(109)</b>
一、	基本概念及牛顿冷却定律	(109)
二、	对流传热系数准数关联式	(110)
<b>第四节</b>	<b>热辐射</b>	<b>(117)</b>
一、	基本概念	(117)
二、	基本定律	(118)
三、	两固体间的辐射传热	(119)
<b>第五节</b>	<b>间壁式换热器传热计算</b>	<b>(120)</b>
一、	总传热速率方程	(120)
二、	热量衡算	(121)
三、	传热平均温度差	(121)
四、	流体流向选择	(124)
五、	总传热系数	(126)
六、	壁温计算	(130)
<b>第六节</b>	<b>换热器及载热体</b>	<b>(131)</b>
一、	管式换热器	(131)
二、	板式换热器	(135)
三、	新型换热器展望——热管	(137)



四、载热体 .....	(138)
五、强化传热过程的途径 .....	(140)
<b>第五章 蒸发与结晶</b> .....	<b>(144)</b>
<b>第一节 蒸发</b> .....	<b>(144)</b>
一、蒸发的种类 .....	(144)
二、蒸发器的型式 .....	(147)
三、各类蒸发器的选择与比较 .....	(153)
四、蒸发器的附属设备 .....	(153)
五、单效蒸发的计算 .....	(156)
六、蒸发器的生产强度及其影响因素 .....	(157)
七、蒸发器设计简介 .....	(158)
<b>第二节 结晶</b> .....	<b>(161)</b>
一、基本概念 .....	(161)
二、结晶的纯度和产量 .....	(163)
三、结晶方法与设备 .....	(164)
<b>第六章 冷 冻</b> .....	<b>(168)</b>
<b>第一节 基本概念</b> .....	<b>(168)</b>
一、热力学第一定律 .....	(168)
二、热力学第二定律 .....	(169)
<b>第二节 单级蒸汽压缩式制冷循环</b> .....	<b>(169)</b>
一、逆向卡诺循环 .....	(170)
二、制冷系数 .....	(170)
三、单级蒸汽压缩制冷理论循环 .....	(171)
四、单级蒸汽压缩制冷实际循环 .....	(172)
五、蒸汽压缩制冷实际循环的性能指标 .....	(173)
六、单级制冷机的工况 .....	(175)
<b>第三节 制冷剂和载冷剂</b> .....	<b>(176)</b>
一、对制冷剂的要求 .....	(176)
二、常用制冷剂 .....	(176)
三、载冷剂 .....	(176)
<b>第四节 制冷系统及设备的选用</b> .....	<b>(179)</b>
一、单级蒸汽压缩式制冷系统 .....	(179)
二、制冷设备的构造原理 .....	(181)
<b>第七章 气体吸收</b> .....	<b>(185)</b>
<b>第一节 基本原理</b> .....	<b>(186)</b>
一、吸收操作中的相平衡 .....	(186)
二、扩散原理 .....	(190)
三、吸收速率方程 .....	(194)
<b>第二节 填料吸收塔结构简介</b> .....	<b>(201)</b>
一、填料类型及特性 .....	(202)
二、填料塔附属结构 .....	(204)
<b>第三节 填料吸收塔工艺设计</b> .....	<b>(206)</b>

一、	吸收操作工艺流程 .....	(206)
二、	物料衡算及吸收操作线方程 .....	(207)
三、	吸收剂的选择及用量 .....	(208)
四、	填料塔直径 .....	(211)
五、	填料层的阻力 .....	(215)
六、	填料层高度 .....	(216)
<b>第八章</b>	<b>液体蒸馏</b> .....	<b>(225)</b>
第一节	双组分溶液的汽液平衡 .....	(226)
一、	理想溶液的汽液平衡 .....	(226)
二、	非理想溶液的汽液平衡 .....	(229)
第二节	蒸馏与精馏原理 .....	(231)
一、	简单蒸馏与平衡蒸馏 .....	(231)
二、	精馏原理 .....	(232)
第三节	双组分溶液连续精馏塔计算 .....	(235)
一、	全塔物料衡算 .....	(235)
二、	精馏段操作线方程 .....	(236)
三、	提馏段操作线方程 .....	(238)
四、	进料状态对操作线的影响 .....	(239)
五、	精馏塔塔板数的计算 .....	(243)
六、	回流比的选择 .....	(248)
七、	理论板数的简捷算法 .....	(254)
八、	精馏塔的热量衡算 .....	(255)
九、	精馏塔的操作分析 .....	(258)
第四节	间歇蒸馏及精馏 .....	(259)
一、	间歇蒸馏及计算 .....	(259)
二、	间歇精馏及计算 .....	(260)
第五节	多组分精馏简介 .....	(264)
一、	多组分精馏流程方案的选择 .....	(264)
二、	关键组分及各组分在塔顶和塔底产品中的分布 .....	(265)
三、	理论板数的确定步骤 .....	(266)
第六节	添加组分的蒸馏 .....	(267)
一、	水蒸汽蒸馏 .....	(267)
二、	特殊蒸馏 .....	(269)
第七节	板式塔 .....	(273)
一、	塔板结构 .....	(273)
二、	塔板的流体力学状况 .....	(274)
三、	塔板效率 .....	(277)
四、	塔高的确定 .....	(288)
五、	塔径的计算 .....	(280)
六、	塔板负荷性能图 .....	(280)
七、	塔板型式 .....	(280)
第八节	填料塔高度计算及新型高效填料简介 .....	(282)

一、	精馏塔填料层高度的计算 .....	(282)
二、	新型高效填料简介 .....	(283)
<b>第九章</b>	<b>萃    取</b> .....	<b>(290)</b>
<b>第一节</b>	<b>固—液萃取</b> .....	<b>(291)</b>
一、	费克定律与扩散系数 .....	(291)
二、	药材有效成分的浸出过程 .....	(294)
三、	浸出过程计算 .....	(297)
四、	提取过程其它因素的作用 .....	(306)
五、	浸出方法与设备 .....	(306)
<b>第二节</b>	<b>液—液萃取</b> .....	<b>(311)</b>
一、	液—液萃取流程 .....	(311)
二、	一部分互溶三元系的液—液萃取 .....	(313)
三、	完全不互溶物系萃取过程的计算 .....	(326)
四、	液—液萃取设备 .....	(329)
<b>第十章</b>	<b>干    燥</b> .....	<b>(336)</b>
<b>第一节</b>	<b>湿空气的性质及湿度图</b> .....	<b>(336)</b>
一、	湿空气的性质 .....	(336)
二、	湿空气的湿度图 .....	(340)
三、	湿度图的应用 .....	(342)
<b>第二节</b>	<b>干燥器的物料和热量衡算</b> .....	<b>(344)</b>
一、	物料衡算 .....	(344)
二、	热量衡算 .....	(345)
<b>第三节</b>	<b>干燥速率与干燥时间</b> .....	<b>(348)</b>
一、	物料中所含水分的性质 .....	(348)
二、	干燥速率 .....	(349)
三、	干燥时间的计算 .....	(351)
<b>第四节</b>	<b>对流式干燥器</b> .....	<b>(353)</b>
一、	厢式干燥器 .....	(353)
二、	带式干燥器 .....	(354)
三、	气流干燥器 .....	(354)
四、	喷雾干燥器 .....	(357)
<b>第五节</b>	<b>流态化干燥</b> .....	<b>(361)</b>
一、	流态化 .....	(361)
二、	流化床干燥器 .....	(367)
三、	喷雾流化干燥 .....	(370)
<b>第六节</b>	<b>传导式干燥器</b> .....	<b>(370)</b>
一、	耙式真空干燥器 .....	(370)
二、	滚筒干燥器 .....	(371)
三、	冷冻干燥 .....	(371)
<b>第七节</b>	<b>其它干燥器</b> .....	<b>(374)</b>
一、	红外线干燥 .....	(374)
二、	微波干燥 .....	(376)

三、	干燥器的选型 .....	(378)
<b>第十一章</b>	<b>药厂车间设计简介</b> .....	(382)
第一节	厂区总体布置 .....	(382)
一、	厂区划分 .....	(382)
二、	总平面布置的原则 .....	(382)
三、	建筑物及构筑物的布置 .....	(383)
四、	人流与货流 .....	(384)
五、	工程管线综合布置 .....	(384)
六、	厂区绿化 .....	(385)
第二节	生产车间的布置 .....	(385)
一、	生产环境区的划分 .....	(385)
二、	制剂车间布置的特殊要求 .....	(386)
三、	片剂生产车间的布置 .....	(387)
第三节	药厂洁净室 .....	(388)
一、	洁净室内空气的净化标准 .....	(388)
二、	空气净化系统和净化设备 .....	(389)
三、	洁净室的平面布置 .....	(392)
四、	洁净室的装修 .....	(394)
第四节	制剂车间的工艺设计 .....	(394)
一、	方案设计 .....	(395)
二、	物料衡算和能量衡算 .....	(396)
三、	车间布置设计 .....	(397)
四、	车间管路设计 .....	(399)
<b>第十二章</b>	<b>粉碎 筛选 混合</b> .....	(402)
第一节	粉碎 .....	(402)
一、	粉碎的含义和目的 .....	(402)
二、	粉碎的基本原理 .....	(402)
三、	粉碎的能量定律和影响粉碎的因素 .....	(403)
四、	粉碎方法 .....	(405)
五、	粉碎器械 .....	(406)
第二节	筛选 .....	(416)
一、	筛选的含义和目的 .....	(416)
二、	分离效率 .....	(416)
三、	药筛的类型与粉末的分离 .....	(419)
四、	筛选设备 .....	(421)
第三节	混合 .....	(424)
一、	固体间的混合 .....	(424)
二、	捏和 .....	(430)
三、	均化 .....	(432)
<b>第十三章</b>	<b>制剂设备</b> .....	(437)
第一节	针剂设备 .....	(437)
一、	安瓿割圆机 .....	(439)

二、	安瓿灌水瓶	(441)
三、	安瓿用水机	(442)
四、	配制灌	(442)
五、	灌封设备	(443)
六、	印字包装机	(447)
第二节	造粒设备	(448)
一、	摇摆式颗粒机	(449)
二、	沸腾制粒器	(450)
三、	糖衣机	(452)
四、	胶囊剂专用设备	(455)
第三节	压片机	(463)
一、	单冲压片机	(463)
二、	旋转式压片机	(464)
第四节	中药材炮制设备	(475)
一、	净选设备	(475)
二、	切制设备	(481)
三、	炮炙设备	(483)
第五节	丸剂设备	(484)
一、	捏和机	(484)
二、	自动蜜丸机	(485)
第六节	灭菌	(487)
一、	热力灭菌法	(487)
二、	辐射灭菌法	(491)
三、	过滤灭菌法	(492)
四、	气体灭菌法	(493)
第七节	蒸馏水制备	(495)
一、	电热蒸馏水器	(496)
二、	塔式蒸馏水器	(496)
三、	多效蒸馏水器	(497)
四、	气压式蒸馏水器	(500)
附录		(503)
附录一	单位换算表	(503)
1.	长度	(503)
2.	面积	(503)
3.	容积、体积	(504)
4.	质量	(504)
5.	力	(504)
6.	压力	(505)
7.	能量、热、功	(505)
8.	功率	(506)
9.	动力粘度	(506)
10.	运动粘度、扩散系数	(507)

11. 导热系数 .....	(507)
12. 传热系数, 传热膜系数 .....	(507)
附录二 各种重要数据 .....	(508)
1. 某些液体的重要物理性质 .....	(508)
2. 干空气的重要物理性质 .....	(509)
3. 水的重要物理性质 .....	(510)
4. 常用固体材料的重要性质 .....	(512)
5. 液体粘度共线图 .....	(513)
6. 某些液体的汽化潜热 .....	(515)
7. 某些液体的导热系数 .....	(516)
8. 常用固体在 0℃~100℃时的导热系数 .....	(517)
9. 几种保温和耐火材料的导热系数与温度的关系 .....	(517)
10. 某些水溶液的表面张力 .....	(518)
11. 有机高温载热体的物理性质 .....	(518)
12. $T_0=273\text{K}$ , $P_0=101.3\text{kPa}$ 下气体与蒸汽在空气中的扩散系数 .....	(519)
13. 298K, 101.3kPa 下气体与蒸汽在空气中的扩散系数 .....	(519)
14. 293K 时, 扩散入液体中的扩散系数 .....	(520)
15. 列管式固定管板换热器系列标准摘录 (JB1145-73) .....	(521)
16. 管子规格 .....	(522)
17. 离心泵规格 .....	(523)
18. 标准筛目 .....	(525)
19. 国产新型有机热载体的主要性能 .....	(526)
20. 饱和水蒸汽表 .....	(527)

# 绪 论

## 一、制药工程研究的对象

制药工业根据中医、西医和中西医相结合的临床实践，来生产医疗上所需要的药品，即药物合成、中药提取以及制剂等都是经过化学与物理方法处理，制成可供使用的药品。但中西药品，种类繁多，原料复杂，从原料到成药都需要很多加工过程，其中有化学反应过程及大量的物理过程，依其生产与操作原理，必须有如下一些基本过程：流体流动、沉降与过滤、热交换、蒸发与结晶、制冷、蒸馏与精馏、萃取、干燥、搅拌、粉碎、筛选与混合等。还要使用制剂设备来制成各种剂型，还应研究工厂、车间的布置与设计。每一基本过程称为一个单元操作，每一单元操作都在一定设备中进行的，例如，干燥是在干燥器中进行的，蒸发是在蒸发器中进行的，而中西成药则由许多单元操作和制剂机械作用下生产出来的。为了提高药品质量与增加产量，提高经济效益就需要研究这些单元操作与制成剂型过程的规律性，组织实验室工作，过程的工程放大，选用与设计设备，拟定操作过程和条件强化途径等。还要遵循 1975 年世界卫生组织制定的《药品生产质量管理规范》简称 GMP 标准，和 1982 年我国制定的《药品生产管理规范》的规定，在中西药生产中予以执行。所有这些都是“制药工程”的研究与讨论的对象。

生产是一个整体，希望尽可能提高经济效益，故必须从整体上考虑每个生产单元操作，综合研究，所以制药工程还应包括工厂与车间的布置与设计。

由以上可知制药工程是提供中西药品生产理论、生产过程，选择适当设备，提供生产操作单元的参数与方法的一门学科，研究制药过程的规律性，使其不断发展，提高生产水平，减轻劳动强度，降低能耗，改善生产环境，提高药品质量，为人类的健康作出应有贡献的一门学科。又是系统地讨论制药工业化工单元操作原理及其典型设备与计算方法，中西药制剂设备和药厂车间设计等内容的一门学科。

制药工程这门学科对制药工作人员，科研工作者及药学专业学生是十分必要的，应当充分理解，掌握其基本知识、基本理论、理论联系实际，在生产实践中加以利用，发挥其作用。

## 二、制药工程的内容及任务

制药工程可分为化工单元操作、成型过程的操作和工厂车间的布置与设计几部分。化工单元操作又由三种传递现象——动量传递、热量传递、质量传递等现象组成。故制药工程内容为：

1. 流体的流动过程也称为动量传递过程 它包括流体的流动、流体输送机械和非均相系分离等，它也是传热与传质过程的基础，因为这些过程都有流体流动。

2. 传热过程及设备 它研究传热的基本规律。包括传热、蒸发与结晶，还可把热力

学过程的制冷也归纳于此。

3. 传质过程及设备 它研究通过相界面的迁移过程及其规律,包括气体的吸收,蒸馏与精馏、萃取和干燥。

4. 机械过程及其设备 包括粉碎、筛选以及混合,药剂成型及其设备即制剂设备。

5. 药厂与车间的布置与设计的基本要求。

以上分法是为了讨论制药工程方便而分的,实际上药品每一生产的过程是由多个基本单元操作组成的,例如回收乙醇就有蒸馏、热交换和流体流动等过程。

在研究单元操作时还要作物料衡算与能量衡算,还需考虑设备的尺寸、规格,依据平衡关系来分析过程的方向与依速率关系来分析过程进行得快慢,这些都是制药工程的任务。

在制药过程操作中还有间歇与连续之分。间歇过程是分批进行的过程,每次操作之初,投下一批物料,经过各种操作处理后,最后取出全部产品,然后再重新投料。小规模制药生产多采用间歇操作。间歇操作的设备在不同时间同一位置进行不同的操作步骤,因而设备的同一位置上的物料其压强、温度、流速等随时间而变。

连续操作是流水作业,原料不断从一端投入,产品从另一端取出。连续操作的设备,在稳定连续过程中,其各位置上的物料组成、温度、压强等不随时间变化。

### 三、单元操作中常用基本概念

#### (一) 物料衡算

物料衡算由质量守恒定律可知,在间歇操作的过程中,输入于设备的物料质量等于输出物料质量与积累于设备内的物料质量。即

$$\Sigma F = \Sigma D + A$$

式中  $\Sigma F$ ——输入设备的物料总合

$\Sigma D$ ——输出设备的物料总合

$A$ ——积累的物料量

上式是物料衡算的通式,适用于任何指定空间范围内参加生产过程的物料。

对于连续操作时,设备内不应留有任何物料积累,  $A=0$ , 上式简化为

$$\Sigma F = \Sigma D$$

#### (二) 能量衡算

物质世界有各种形式的能,如机械能、化学能、热能、电能等,它们之间能量形式可以互相转换,本书中用到的能量主要是机械能与热能,能量衡算的依据是能量守恒定律。能量衡算方法与物料衡算方法相同,机械能衡算在第一章流体流动中说明,在制药过程中最常见的热能形式的交换,其能量衡算就是热量衡算,温度取 273 K 为基准值,除热量随物料进、出系统外,还要考虑系统与环境的关 系,热量会向环境散失与输入,故在热量衡算时应把此部分热量计算在内。

#### (三) 物系的平衡关系

制药过程中存在饱和现象,也即平衡关系,例如某种不饱和溶液与其固体结晶接触时,固体溶解,直到达到饱和为止。反之溶液浓度达到过饱和浓度,则会有结晶析出,直至达到饱和为止,这就是物系成平衡状态。所以平衡状态可以判断过程能否进行及进行



方向和能达到的限度。

#### (四) 过程速率

在制药过程中，过程速率是有意义的，一般地为了提高生产能力，希望过程速率快些，时间短些。而制药过程是复杂的，各种形式的运动互相影响，所以过程速率可表示为：

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

即要求过程推动力要大，而阻力要小才能使过程速率增大。例如增加搅拌、使溶液对流、减小过程阻力，增大过程速率。过程的推动力不只是机械运动，例如流体的压力、温度差、浓度差等凡是自发过程中有利于趋向平衡因素的，都可以称为推动力，这个关系类似于电学中欧姆定律。过程中的速率是制药设备的重要因素，过程速率增大可以使设备尺寸减小。

### 四、单位与单位换算

#### (一) 单位

制药生产中常遇到各种单位制的物理量，例如密度、粘度、导热系数等，因此需熟悉单位与单位换算。

物理量除列出数值外，还要有单位，为了把单位表示清楚，划分为基本量与导出量。基本量的单位称为基本单位，其它物理量可从基本量导出称为导出量，导出量的单位称为导出单位。

由于科学技术迅速发展和国际学术交流日益频繁，国际计量会议制定了一种国际上统一的国际单位制，其国际代号为SI，国际单位是由基本单位，辅助单位和具有专门名称的导出单位构成，分别列表于表0-1、表0-2、表0-3中。国际单位制中用于构成十进倍数和分数单位的词头，列于表0-4中。

表 0-1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安培	A
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

表 0-2 国际单位制的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr