

中等專業學校教學用書

化工过程及设备

上 冊

A. H. 普蘭諾夫斯基 B. M. 拉姆

C. 3. 卡 崗 著



化学工业出版社

中等專業學校教學用書

化 工 过 程 及 設 备

上 冊

A. H. 普蘭諾夫斯基 B. M. 拉姆

C. 3. 卡 崗 著

化工部中等專業學校教師合譯

化 学 工 業 出 版 社

本書闡述化工過程的理論基礎，典型設備的構造和計算方法，以及設備的操作問題。原書經蘇聯化學工業部教育司審定作為化工中等專業學校用教科書（供工藝和機械專業學生用）。譯本分上下兩冊出版。上冊包括前 10 章，下冊為後 12 章。

本書由化工部所屬中等專業學校教師龍期偉、張好德、康步恒、徐宗謙、徐崇嗣、程祖球和楊國藩（按所譯章節次序排列）翻譯，由程祖球和楊國藩整理，並承大連工學院袁憲老師和浙江大學譚天恩老師校對。

А. Н. ПЛАНОВСКИЙ • В. М. РАММ С. З. КАГАН

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ГОСХИМИЗДАТ(МОСКВА•1955)

化工過程及設備 上冊

化工部中等專業學校教師合譯

化學工業出版社（北京安定門外和平北路）出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 092 號

北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

開本：850×1168 毫米

1957 年 11 月第 1 版

印張：8 1/2

1957 年 11 月第 1 次印刷

字數 207 千字

印數：1—2034

定價：(10)1.40 元

書號：15063•0154

原 序

本書是化工中等專業學校化工過程及設備課程教科書，供工藝專業學生(無機和有机生产工艺技術員)和機械專業學生(機械技術員)之用。

本教科書是根據蘇聯化學工業部教育司所批准的大綱編寫成的。為了更循序漸進地敘述內容起見，冷凍過程放在熱過程篇內討論。在“擴散過程”篇內按“理論塔板”計算塔設備高度的方法，現在代之以較準確的按“傳遞單元”計算的方法。此外，增添了“萃取”一章和關於顆粒狀物料層假液化的簡單介紹，因為這些過程在化工技術中的意義愈來愈大了。

根據大綱，書中列有“固體物料的輸送”和“液體和氣體的輸送”兩章，雖然作者認為這兩章最好不在過程和設備這門課程內敘述。“化工設備的材料”一篇末列入書中，因為這些問題已有專門參考書敘述。

由於不同專業的教學計劃所分配的課程時數不同，故部份內容用小號字排印。這部份內容專供大綱中課程時數多的專業以及課程設計時用。想來在講授該門課程時教師將會告訴學生哪些章節對於哪些專業是必須的。

畢業設計時，除本書外還應當利用下列書籍：А.Г. 卡薩特金著“化工過程及設備”，化學出版社1955年第六版；К.Ф. 巴甫洛夫，П.Г. 羅曼科夫和А.А. 諾斯科夫著“化工過程及設備例題和習題”，化學出版社1955年第三版。

作者謹向榮膺勞動紅旗勳章的列寧格勒蘇維埃命名的列寧格勒的工學院“化工過程及設備”教研室П.Г. 羅曼科夫教授和全體人員，以及莫斯科列寧化工中等專業學校М.Н. 庫夫辛斯基教師和列寧格勒化工中等專業學校Е.А. 布拉慈恒教師在校閱原稿時所提供的許多寶貴意見表示謝意。

最後，作者懇請讀者，特別是化工中等專業學校的教師，請將你們所發現有關本書的任何缺點奉告給我們，我們將感激不盡。

作 者

上册目录

原序.....	(7)
---------	-----

緒論	1
----------	---

第1节 “过程及设备”课程的研究对象及目的, 过程的分类.....	1
-----------------------------------	---

第2节 历史簡述.....	3
---------------	---

第一章 概論

第3节 主要物理定律在研究过程中的应用.....	7
--------------------------	---

第4节 化工设备的一般計算方法.....	9
----------------------	---

第5节 因次制度.....	11
---------------	----

机械过程

第二章 固体物料的輸送

第6节 概論.....	14
-------------	----

第7节 水平輸送的連續运输設備.....	14
----------------------	----

第8节 垂直和多向輸送的連續运输設備.....	21
-------------------------	----

第9节 連續运输設備的計算.....	25
--------------------	----

第10节 間歇运输設備.....	27
------------------	----

第三章 固体物料的粉碎

第11节 概論.....	32
--------------	----

第12节 粉碎的物理基础.....	34
-------------------	----

第13节 顎式破碎机.....	36
-----------------	----

第14节 錐形(廻轉)破碎机.....	40
---------------------	----

第15节 滾式破碎机.....	44
-----------------	----

第16节 冲击式破碎机.....	48
------------------	----

第17节 轉筒磨碎机.....	50
-----------------	----

第18节 其他类型的磨碎机.....	55
--------------------	----

第19节 破碎——磨碎机械的比較和選擇.....	57
--------------------------	----

第20节 粉碎流程.....	58
----------------	----

第四章 物料的分級篩選

第21节 概論	61
第22节 篩和篩析	61
第23节 篩的类型和篩析方法	62
第24节 篩的構造	64
第25节 水力分級和空气閘析	68

第五章 固体物料的計量和混合

第26节 料斗及其閘門	71
第27节 加料器	73
第28节 固体和膏狀物料混合器	77

流、体、力、学、过、程**第六章 流体力学基础**

第29节 概論	80
第30节 流体的主要物理性質	80
第31节 液体压强	85
第32节 流体的物料平衡(流体連續性方程式)	87
第33节 流体的能量平衡(柏努利方程式)	89
第34节 粘性流体的流动型态	95
第35节 相似論的要素	97
第36节 流体沿管路的流动	103
第37节 液体經過孔口和溢流堰的流出	112
第38节 液体的膜狀流动	116
第39节 流体流量的測定	117

第七章 液体和气体的輸送

第40节 管路	120
第41节 泵和压縮机器(概論)	124
第42节 泵的主要参数。吸入高度	124
第43节 往复泵	127
第44节 离心泵	133
第45节 其他类型泵	143
第46节 各种类型泵的比較	146

第47节	压缩机器的类型和主要参数	147
第48节	往复压缩机	151
第49节	旋转压缩机	157
第50节	离心压缩机	158
第51节	轴流压缩机	163
第52节	真空泵	163
第53节	压缩机器的比较和选择	165

第八章 液相非均一系的分离

第54节	非均一系的分类及其分离方法	167
第55节	液相非均一系的分离	169
①沉降		170
第56节	固体粒子在流体中的运动	170
第57节	沉降机理	176
第58节	沉降器(增浓器)的构造	177
第59节	沉降器的计算	179
第60节	水力旋风分离器	181
②过滤		182
第61节	过滤的分类和过滤机的类型	182
第62节	过滤理论	183
第63节	过滤机的构造	187
第64节	过滤隔层	207
第65节	过滤机类型的选择和比较	208
第66节	滤渣的洗涤	209
第67节	过滤机的计算	210
③离心分离		212
第68节	离心分离的分类和离心机的类型	212
第69节	离心机的构造	216
第70节	离心机的比较、选择和看管	227
第71节	离心机的计算	229

第九章 气体的精制

第72节	气体精制的方法和气体精制器的类型	234
第73节	气体精制设备的构造	234
第74节	除塵设备的比较和选择	249

(6)

第十章 搅拌

第75节 概論	251
第76节 搅拌所需的能量	251
第77节 搅拌器的構造	257
第78节 压缩空气搅拌	264

緒 論

第 1 节 “过程及设备”课程的研究对象及 目的, 过程的分类

近代的化学工艺学研究酸、碱、鹽、無机肥料、煤和石油的加工产品以及多种有机化合物等的生产过程。尽管化学产品的种类是多样的, 但制备它們却要进行一些同一类型的物理过程(加热、冷却、攪拌、過濾、干燥等), 而这些过程乃是大多数化工生产所共有的过程。在不同的化工技术部門中, 用作同一目的的各种不同結構的设备, 也是如此。

找出各种过程及设备的內在共同性, 及得出其普遍性的計算方法, 就是化工过程及设备这門科学的基础。在“过程及设备”課程中所研究的是化学工艺一切部門所特有的过程的物理化学实質和理論, 以及用来进行这些过程的地设备的構造和計算方法。

通曉了过程及设备这門科学就可以:

- 1) 在管理运轉中的生产企業时, 制定最好的(最适宜的)工艺规范, 提高化工设备的生产能力和产品的质量;
- 2) 在設計新的生产企業时, 选择最合理的工艺流程和设备类型;
- 3) 在进行科学研究工作时, 研究那些决定过程进行情况的基本因素, 并迅速地將实验研究結果运用到生产中去。

因此, 有关过程及设备的学說給予現有生产的强化及正确地組織新生产以理論基础。

在化工生产中物質通常受到粉碎、輸送、加热、冷却等处理, 以及互相反应。在物質互相作用的过程中經常伴有汽化、溶解和物質从一相轉入另一相(扩散)或生成新質产品(化学反应)的其他过程。这些过程为流体力学、傳热、扩散和化学动力学等方

面的定律所表明。在最簡單的情況下，过程只需要一个定律就能表明，例如流体运动定律。但流动往往伴有热交换、扩散和其它一些现象，过程的进行就复杂了，而决定于一系列共同影响的和經常彼此矛盾的因素。

化学反应的过程在普通的和專業的化学工艺学課程中已有詳細的討論，在过程及設備課程中不准备研究它，因为这些过程的复杂的規律性尚未完全綜合出来。

因此，“过程及設備”課程是一門关于化工原理的科学，这些原理的基础是流体力学、傳热和扩散，以及固体力学（粉碎和混合）諸定律。

根据过程进行的規律，这些过程可分成以下几类：

1. 机械过程，与处理固体物料有关，并为固体力学諸定律所描述，屬於这类过程的是：物料的輸送，粉碎，物料按粒度分級（篩选），配料和混合。

2. 流体力学过程，与处理液体和气体，以及处理由流体和悬浮在其中的細碎固体微粒所組成的非均一系（悬浮体）有关。液体、气体和悬浮体的运动为流体力学諸定律所描述。屬於流体力学过程的是：液体和气体的輸送，液体介質中的攪拌，液相非均一系的分离（沉降、過濾、离心分离），气体的淨制。

3. 热过程，与热交换，即与热量从某一物質傳遞到另一物質有关。屬於这类过程的是：加热和冷却，以及物态發生变化的过程——汽化、冷凝、熔融和凝固。屬於这类过程的还有蒸發、結晶和人工制冷。

4. 扩散过程（傳質过程），与物質借扩散的方式从一相轉入另一相有关。屬於扩散过程的是：

a) 物質从固相轉入液相（固体的溶解）或者相反——从液相轉入固相；

6) 物質从某一液相轉入另一液相（萃取）；

b) 物質从液相轉入气相（液体汽化成气体、溶解了的气体自液体中解吸）或者相反——从气相轉入液相（蒸汽从气体混合物中

冷凝、气体被液体吸收)；

r)物質从固相轉入气相(昇华、气体从固体中解吸)或者相反——从气相轉入固相(气体被固体吸附)。

最重要的扩散过程是：固体物料的干燥、蒸馏和吸取(气体被液体或固体物質吸收)。

上述机械、流体力学、热和扩散諸过程是大多数化工生产的基础，所以叫做化工基本过程。

化工过程分为間歇的和連續的。

在間歇过程中先將原料裝入設備，在其中进行反应或处理，此后所得产品即被卸出，而設備又重新裝料。因此，所有操作步驟是在整个設備範圍内进行的，而設備里面物質相互作用的条件——温度、压力、濃度等，則随時間而变化。

在連續过程中設備的裝料和卸料是連續进行的。因此，所有操作步驟是同时地、但却在設備的不同地区进行的，并且在每一地区中温度、压力和物質相互作用的其它一些条件不随時間而变化。

采用連續过程就可以显著地提高設備的生产能力，便于生产的自动化和机械化，并保證获得均一的優質产品。連續作用的設備較間歇設備紧凑，需要較少的基建費和管理費用。由于这些重大的优点，連續过程正在排斥着間歇过程，后者主要用在各种多品种产品的小規模生产中。

第 2 节 历史簡述

早在古代和中世紀时，各种不同的化学技术过程(過濾、蒸發、蒸馏、干燥等)就已为人們所熟知了，当时这些过程是在簡陋的設備中进行的。

十八世紀末至十九世紀初，大型化学工業的發展要求創造更完善的設備以便进行这些早已知道的过程。新的过程也开始出現了，为了实现这些过程創造了一些相应的設備。

十九世紀初，制糖和釀酒工業部門有了很大的發展，为了發

展这些工業部門曾經制作了一些設備，后来获得了广泛应用。在这时期曾創造了真空蒸發裝置(1812年)、精餾塔(1813年)、压濾机(1820年)和一系列其它設備。后来这些設備都获得了很大的改进。

十九世紀下半期，由于硫酸和煤气工業的發展，吸收和气体淨制过程获得广泛的应用，而这些过程的設備則相繼被創造出来，并不断获得改进。由于必需貯存和輸送易腐坏的产品而出現了冷冻过程，首先获得应用的是空气冷冻机(1845年)，以后是压缩冷冻机(1874年)。

十九世紀末至廿世紀初的特点是高速發动机——电动机和蒸汽透平获得了發展。因此，高速机械如离心分离机、离心泵、渦輪压缩机等的出現就有了可能。由于生产規模的急剧增長，連續过程的發展就被重視起来。低温和高压技术开始發展。深度冷冻(1895年)、气体的电除塵(1905年)、連續过滤(1904年)等过程和設備也就被研究出来。

第一次世界大战以后，化学工業开始蓬勃地發展，并且成为主要部門之一。它包括許多不同的無机和有机产品的生产，这些产品对于国民經济和軍工需要都具有極其重大的意义。吸附、萃取、分子蒸餾等过程已經出現并获得了工業上的应用。

由于工艺过程的强化、生产的連續化、自动化和机械化的实施，化学工業的生产能力显著地增長了。同时其技术水平的增長也是非常快的。在近代的化学生产中广泛地利用高温和低温(从深度冷冻法分离气体混合物时的 -185°C 到制造碳化鈣时电爐中的温度 $+3000^{\circ}\text{C}$)，高压和低压(从分离和淨制高分子化合物的混合物时的0.0001毫米汞柱到氨合成过程中的1000大气压，在制造聚乙烯时甚至达2000大气压)以及接触剂——一种能大大加速很多化学过程的物質。

化工技术的發展和物質相互作用的物理过程的强化有着極密切的关系。由于許多过程的速度是随着反应物的运动速度和接触表面的增大而增大的，近年来便在工業中运用了高生产能力的新

型設備。在這些設備中由於液體被噴成細霧，反應物受到強烈攪拌，在懸浮的顆粒狀固體物料層（假液化層）中進行過程等等，傳熱和傳質過程的速度增大了許多倍。

機器製造業的進步和冶金工業由於掌握了耐磨損、抗高溫和耐腐蝕並具有很高機械強度的合金製造而獲得的成就，以及採用塑料作為結構材料；這就使得有可能大大地改進一系列化工設備和機械，特別是製造耐酸泵、高壓壓縮機等。銲接領域內的成就促使人們改用整體銲接設備，這種設備幾乎完全代替了較笨重而又昂貴的鉚接設備。

化工機械製造方面的成就可以現代的精餾塔為例。這種塔是一種複雜的、完全自動化的設備，直徑達 10 米、高達 50 米或更高。

缺乏過程的理論和設備的計算方法的情況曾長期地阻礙了新類型設備的應用，因而導致了資金和時間的過度耗費。直到廿世紀初，由於綜合了生產的經驗，過程和設備的理論才開始得到發展，而在最近的三十至三十五年間獲得了很大的成就。現在，依據這種理論就可以在用模型作實驗和進行計算的基礎上正確地製造出很多工業設備。但是目前還存在着大量未曾研究過和研究得不夠的問題，這些問題只有在過程及設備這門科學進一步發展後才能得到解決。

在蘇維埃政權的年代里，蘇聯化學工業得到了飛躍的進步，擺脫了沙俄時代發展薄弱、許多重要產品（無機肥料、染料等）不能滿足需要的情况，而變為新建立的強大的化學工業。由於化工機械製造業的成就，如像掌握和大批生產效能高的壓縮機和泵、連續過濾機和離心機、高壓設備等，便有了可能改造舊有企業和建立新企業。由於勝利地完成了幾個五年計劃的結果，現在蘇聯的一些重要化學產品的生產已達到世界第一位。

蘇聯釋放原子能領域內的巨大成就，為和平利用原子能开辟了廣闊的前途，例如用以獲取電能，強化某些化學過程，借助同位素（“示蹤原子”）研究化學過程的機理，以及自動檢驗及控制過

程。

只有在工業中實施了科學和技術的最新成就，和廣泛地綜合先進經驗的基礎上，生產的高速發展才有可能。在解決這些問題上，化工基本過程及設備這門科學起着很大的作用。

第一章 概 論

第 3 节 主要物理定律在研究过程中的应用

各个过程都基于各种不同的物理现象。虽然如此，大多数过程的特征仍然可以用少数的基本物理定律来表明。这些定律在研究过程中的应用乃是“过程及设备”课程的理论基础。例如，物料平衡和能量平衡是以质量和能量守恒定律为基础。其次，如表明过程的平衡条件的定律；最后，如表明未处于平衡的物系变化定律。

物料平衡 根据质量守恒定律，参加处理的物料量($\Sigma G_{初}$)等于处理后所获得的物料量($\Sigma G_{终}$)，即物料的收入等于支出。这可以写成物料平衡方程式的形式：

$$\Sigma G_{初} = \Sigma G_{终}$$

对于间歇过程，物料平衡按每一次作业列出，而对连续过程则按单位时间，例如以小时列出。

物料平衡可以对一个设备、对设备的一部份(对设备的一部份列出平衡的例子见 122 页)或者对一组设备列出。

同时，物料平衡也可以对所有进行处理物料，或者只对其中某一组份列出。

例如，以下讨论悬浮液的过滤。由于过滤结果获得了滤渣和滤液。在这种情况下，要处理的物料由两个组份组成：固体和水。物料平衡方程式可以对总物料、或者对固体、或者对水列出(174 页)。这三个方程式中独立的方程式只有二个。例如，若将固体和水的两物料平衡方程式按项相加，就能求得总物料量的物料平衡方程式。

能量平衡 根据能量守恒定律，进入过程的能量等于过程进行结果所获得的能量，即能量的收入等于能量的支出。

能量可以同参加过程的物料一起引入过程和从其中引出，或者是分別地引入或引出。

同物料一起引入或引出的能量，由这些物料的内能、位能和动能所組成(89 頁)。

同参加过程的物料分別引入和引出的能量是：通过器壁加热或电流加热而引入設備的热量；泵或压缩机所消耗的机械功，以及从設備損失到周圍介質中的热量。

化学工艺过程中所采用的最为普遍的能量平衡式是概括的柏努利方程式(93 頁)。

平衡条件 任何一个过程都会进行到建立起一个确定的状态，即平衡状态为止。例如液体从水位較高的容器流到水位較低的容器，一直进行到两个容器中的水位相等为止。热量从較热的物体傳到較冷的物体，一直进行到两个物体的温度相等为止。鹽在水中的溶解一直进行到溶液成为饱和溶液为止。类似的例子还可以举出很多。平衡条件表明所謂过程的靜力学，指明該过程可能达到的程度。

平衡条件为各种定律所描述；如热力学第二定律，以及表明物系不同相中各組份濃度間关系的定律。

过程的速度 如果任何一个物系不是处于平衡状态，那末必然会發生使該物系趋向平衡的过程。这时，通常物系偏离平衡状态愈远，則过程的速度就愈大。因此，物系偏离平衡状态表示了过程的推动力。因而推动力愈大，則过程的速度就愈大，随着向平衡的接近，推动力和过程的速度也就減小，于平衡状态时則为零。因为接近平衡状态时过程的速度是極微小的，且在趋近平衡时繼續減小，所以为了达到平衡則需無限長的时间。但通常可以比較快地达到相当趋近于平衡的状态，因而实际上也就可以將它看作是平衡状态。

对于实际的計算，更为重要的是要知道过程的各个阶段的速度，或者所謂过程的动力学。在大多数情况下过程的速度与推动力成正比。这种簡單的关系在过濾(184 頁)、热傳导和对流傳热

(81 节), 傳質过程中(123 节)我們将会遇到。在这些情况下过程的速度具有下列形式:

$$\frac{N}{F\tau} = K\Delta \quad (1-1)$$

式中 N ——在時間 τ 內經過面积 F 所傳遞的物質量或热量;

Δ ——过程的推动力;

K ——比例系数(过程的速度系数)。

在热过程中, 以 F 表示热交换面积, 即热量傳遞所經過的面积(79 节), 而在傳質过程中則为不同相的接触面积。

方程式(1-1)的左边部份是过程的速度。

至于过程的速度系数 K , 則通常由实验求得, 在大多数情况下用計算来确定是極為困难的。

第 4 节 化工設備的一般計算方法

計算任何一个化工設備时, 主要問題是:

- 1) 确定能量、蒸汽、水和其它一些热工介質的消耗量;
- 2) 确定保証一定生产能力的設備尺寸, 或者相反, 根据一定的設備尺寸确定設備的生产能力。

热工介質消耗量的确定系根据設備的能量平衡进行。最普通的是要确定蒸汽和水的消耗量。这个問題在 310 頁和 317 頁中將詳細討論到。

設備尺寸的确定系根据过程的动力学数据进行。根据这些数据确定所处理的物質在設備內的停留時間(过程的延續時間), 而从方程式(1-1)求得所需的面积 F 。

以下討論确定設備尺寸的一些基本情况(被处理物質的量 V 米³/秒認為是已知的)

1. 給定物質在設備內的停留時間 τ 秒。在这种情况下确定設備所需的有效容量

$$V_{\text{設備}} = V\tau \text{ 米}^3 \quad (1-2)$$

2. 給定物料的停留時間 τ 秒和物質通过設備的速度 ω 米/秒。