

高等学校試用教科書

化工过程及設備

上册

华东化工学院等編



中国工业出版社

上册目录

緒論 7

第一編 流体动力过程

第一章 流体力学基础 13	1-29 管徑的選擇 67
第一节 管路、管件及閥門 11	1-30 管路的布置和按裝 69
1-1 管道的种类和規格 14	第七节 流量測定 72
1-2 管路的联接及管件 18	1-31 流体速度及流量的測定 72
1-3 閥門 22	第二章 流体輸送机械 83
第二节 流体的基本性质 24	甲、液体輸送机械 83
1-4 連續性 24	第一节 往复泵 83
1-5 密度与重度 24	2-1 往复泵的构造及作用原理 83
1-6 壓縮性 25	2-2 往复泵的流量与压头 85
1-7 粘性 26	2-3 往复泵的功率計算 87
第三节 流体靜力学 27	2-4 往复泵的汲入高度和压出高度 88
1-8 流体靜压强及其特性 28	2-5 往复泵的主要部件結構 89
1-9 靜力学基本方程式 28	2-6 往复泵的开动与調节 90
1-10 流体靜力学基本方程式的应用 29	第二节 旋轉泵 90
第四节 流体运动学 33	2-7 旋轉泵 90
1-11 分析流体运动的欧拉法 33	2-8 旋轉泵性能及調节 92
1-12 稳定流动与不稳定流动 34	第三节 离心泵 92
1-13 流綫、流管与流速、流量 34	2-9 离心泵的作用原理与构造 92
1-14 流体运动的連續性方程式 36	2-10 离心泵的基本方程式 95
1-15 两种流动类型及其判断 37	2-11 离心泵的特性曲綫 97
1-16 流体在管中的速度分布 38	2-12 离心泵的比轉数 98
第五节 流体动力学 39	2-13 离心泵的汲入高度、压头和功率 99
1-17 流体动力学的基本式 39	2-14 离心泵的操作 100
1-18 湍流运动 47	2-15 离心泵的并串联工作 100
1-19 边界层理論 49	2-16 特殊型式的离心泵 101
1-20 旋渦运动 52	2-17 离心泵的开动、調节与安裝 104
1-21 因次論的基本概念 54	2-18 离心泵与往复泵的比较 105
1-22 阻力計算的一般方程式 55	第四节 其他类型泵 106
1-23 流体在直管中滞流时的沿程損失 56	2-19 利用流体作用的泵 106
1-24 流体在光滑直管中的沿程損失 56	2-20 其他类型泵 111
1-25 粗糙管中的損失 58	2-21 各种泵的比较与选择 111
1-26 非圓管、非直管的阻力損失 59	乙、气体輸送设备 112
1-27 局部阻力 60	第五节 往复壓縮机 113
第六节 管路計算与布置 63	2-22 操作原理 113
1-28 管路的計算 63	

2-23 理論壓縮過程 功率	114	4-5 沉降器的構造和操作	161
2-24 實際壓縮過程	115	4-6 沉降器生產能力的計算	162
2-25 生產能力	117	4-7 旋液分離器	163
2-26 實際功率與效率	118	4-8 旋液分離器的基本原理	163
2-27 多級往復壓縮機	120	4-9 固體微粒在旋液分離器中的分離	165
2-28 往復壓縮機的構造	121	4-10 懸浮液在旋液分離器中的增稠	166
第六節 旋轉壓縮機	125	4-11 旋液分離器的設計	166
2-29 旋轉壓縮機的原理及分類	125	第三節 過濾	169
第七節 離心式送風機	127	4-12 過濾操作的基本概念	169
2-30 離心式送風機的原理及分類	127	4-13 過濾機的生產能力	171
2-31 離心式送風機的特性及其選擇	127	4-14 影響過濾機生產能力及結構的一些因素	171
2-32 軸流式送風機	131	4-15 過濾材料的選擇	172
第八節 真空減壓設備	132	第四節 過濾設備	173
2-33 真空泵	132	4-16 粒狀介質過濾器	174
第三章 氣溶膠(氣相懸浮系)的分離	135	4-17 濾布介質過濾機	174
第一節 分離目的、分離效率和分離方法	135	4-18 多孔陶質介質過濾機	178
3-1 分離的目的和意義	135	4-19 轉筒真空過濾機	179
3-2 顆粒大小及其測定與其分離效率	135	4-20 圓盤真空過濾機	181
3-3 分離方法的分類	136	4-21 加壓連續式鏈帶過濾機	181
第二節 過濾淨制	136	第五節 過濾理論和計算	182
3-4 過濾淨制	136	4-22 過濾基本方程式	182
第三節 沉降分離	138	4-23 過濾操作的計算	185
3-5 重力沉降	138	4-24 過濾常數	186
3-6 沉降器	142	4-25 濾餅的洗滌速率	187
3-7 離心沉降	143	4-26 迴轉過濾機的工藝計算	189
3-8 旋風分離器	144	4-27 過濾機的比較選擇和發展方向	190
第四節 濕法淨制	147	第六節 離心機	191
3-9 濕法淨制	147	4-28 一般概念	191
3-10 泡沫法	148	4-29 離心分離的特點	192
3-11 文丘里法	150	4-30 影響離心機結構的主要因素	192
第五節 凝聚法與電氣淨制	153	4-31 離心機的分類與結構	194
3-12 凝聚法	153	4-32 離心機的計算	200
3-13 聲波或超聲波除塵	154	4-33 離心機的比較、管理和發展	201
3-14 電氣淨制	156	第五章 物料的攪拌	203
第六節 分離設備的選擇與比較	156	第一節 機械攪拌	203
3-15 氣溶膠分離設備的選擇與比較	156	5-1 機械攪拌器的分類	203
第四章 懸浮液(液相懸浮系)的分離	159	5-2 各種機械攪拌器	205
第一節 懸浮液的分離目的、性質及分離方法	159	5-3 機械攪拌器的功率計算	207
4-1 分離的目的和意義	159	第二節 氣流攪拌	210
4-2 懸浮液的性質	159	5-4 氣流攪拌	210
4-3 懸浮液的分離方法	160	第三節 攪拌效率	211
第二節 沉降	160	5-5 攪拌操作的影響因素	211
4-4 自由沉降與干擾沉降	160	5-6 攪拌效率	212
		5-7 攪拌器的設計	213
		第四節 固體及糊狀物料的攪拌(混和)	214
		5-8 混和設備	214

第二篇 傳热过程

第六章 傳热理論及設備216

第一节 傳热过程的基本問題216

6-1 化学工业中的換热問題216

6-2 工业換热方式217

第二节 載热体及其加热或冷却方法218

甲 加热219

6-3 烟道气或炉灶加热法219

6-4 电热加热220

6-5 蒸汽加热220

6-6 过热水加热223

6-7 矿物油加热法224

6-8 有机載热体的加热方法225

6-9 熔盐加热法225

6-10 水銀及液态金属加热法225

乙 冷却与冷凝226

6-11 直接冷却法226

6-12 間接冷却法226

第三节 热傳导228

6-13 热傳导的基本概念和定律229

6-14 稳定热傳导233

第四节 对流傳热237

6-15 基本概念237

6-16 給热系数的定义238

6-17 換热的微分方程239

6-18 相似理論的基础242

6-19 流体自然对流时的給热251

6-20 流体强制对流时的給热253

6-21 流体滞流内层对傳热的影响259

6-22 液态金属傳热261

6-23 非牛頓型流体的傳热262

6-24 对流換热与流体阻力之关系262

第五节 蒸汽冷凝时的給热265

6-25 冷凝机理265

6-26 膜状冷凝的給热系数266

第六节 沸騰給热269

6-27 一般概念269

6-28 沸騰給热的机理269

6-29 核状沸騰与膜状沸騰271

6-30 影响沸騰給热的各项因素271

6-31 表面沸騰272

第七节 热輻射276

6-32 基本概念276

6-33 两固体間的相互輻射279

6-34 气体的热輻射281

6-35 損失于周圍介质中的热量284

第八节 热交換的計算285

6-36 热交換的計算285

6-37 流体流动方向的选择296

6-38 污垢阻力及壁溫的計算298

6-39 壁溫的計算299

第九节 換热设备的結構及設計300

6-40 換热设备的分类309

6-41 蛇管式換热器300

6-42 套管式換热器303

6-43 列管式換热器304

6-44 夹套式換热器311

6-45 螺旋式換热器312

6-46 翅片式換热器314

6-47 非金属材料制成的換热器314

6-48 混合式換热器315

6-49 換热设备的模拟法319

第十节 傳热強化途徑及其发展322

6-50 对傳热设备的要求322

6-51 傳热強化途徑及其发展方向323

第七章 蒸发327

第一节 概述327

7-1 基本概念327

7-2 蒸发器的生产能力327

第二节 蒸发设备及流程328

7-3 蒸发设备328

7-4 蒸发设备流程335

7-5 影响蒸发器生产能力 (或强度) 的因素340

第三节 蒸发器的計算342

7-6 蒸发器的計算342

7-7 多效蒸发的限度349

第八章 結晶352

第一节 結晶的操作原理352

8-1 基本概念352

8-2 相平衡及溶解度353

8-3 晶粒的形成与晶体的成长354

第二节 結晶的工业方法与设备355

8-4 結晶方法的分类355

8-5 移除一部份溶剂的結晶器355

8-6 不移除溶剂的結晶器357

第三节 結晶操作的物料衡算与热量衡算359

8-7 物料衡算359

8-8 热量衡算360

附录:364

1. 固体物料的重度和整体重度364
2. 某些液体的 15~20°C 时的比重364
3. 水在不同温度时的粘度365
4. 液体的粘度366
5. 气体及蒸气的粘度367
6. 一些常用材料的黑度值368
7. 水在不同温度时的体积膨胀系数369
8. 液体在 20°C 时的体积膨胀系数369
9. 某些固体在 0~100°C 时的平均比热369
10. 某些液体在 0~100°C 时的平均比热370
11. 某些气体在 $p=1$ [大气压] 时的分子比热370

12. 各种物料的重度、导热系数、比热和导温系数370
13. 各种不同液体的导热系数372
14. 水在不同温度时的物理参数372
15. 干空气在 $p=1$ [大气压] 时的物理参数373
16. 饱和水蒸汽的性质374
17. 水蒸汽压强与温度的关系375
18. 花板上正六角形和同心圆所排列的管子数目375
19. 某些溶液在大气压下的沸点376
20. 某些液体在沸点时的气化潜热377
21. 单位换算377
22. 英制单位与公制单位的换算378

緒 論

(一)“化工过程及设备”的性质,研究对象及任务 “化工过程及设备”是化学工程技术科学领域中的一門基础技术学科。

随着人类生产斗争的不断发展和进步,特别是十八世紀末叶工业革命以后,大型工业生产的出現,逐漸形成了与各部門工业生产相适应的工程技术科学,即掌握与运用各种不同物质运动的客观規律,对天然产物或农产物进行加工,以制造社会所需要的各种生产資料及生活資料的技术科学。

化学工程技术科学的特点,是在它所研究的工业制造过程中所有物料,不仅在物理性质上有变化,而且在化学性质上也有变化。这种以化学变化或化学处理为主的工业制造过程,称为化学工业制造过程。在研究这些过程时,化学工程学总的任务是不仅要保証能够制造出所需的生产資料及生活資料,而且还要經常注意到改进生产技术,制定并采用新的工艺过程和設備以及强化現有的过程及设备。并且努力改善劳动条件,使操作机械化,生产控制及調节自动化,降低成本,充分利用副产品及廢料,提高产品的质和数量等等,以满足人民对化工产品日益增长的需要。

由于生产永远处于发展和变革之中,故要完成上述錯綜复杂的任务,就不仅要学习已有的科学知識,更重要的需要不断从生产实践中总结新的經驗,并运用所学的科学理論加以分析,使之成为具有指导性的工程技术科学規律借以指导新的生产实践。在进行这样的总结工作时,还有必要从各种不同的角度出发,去研究并分析问题,这样就形成了不同的学科,諸如:各种門类的化学生产工艺学——如无机物制造工艺学,硅酸盐工艺学,有机合成工艺学,塑料工艺学等。这类工程学科主要圍繞某一定門类的化工产品的生产,研究其原料的合理利用、生产的工序和方法以及操作条件等的合理組織等問題。

化工机械类的諸学科,它們主要研究化工生产中的工具——化工机械及设备——的合理結構、强度、材料以至运轉、制造和檢修维护等方面的問題。

近来已有化工过程自动化学科的建立,它主要研究化工生产过程的控制、調节、自动化等。

“化工过程及设备”的研究对象則为各种門类化工生产中当前常見的基本过程及典型設備,主要研究它們的某些共同基本原理。这是因为化学工业的門类虽然繁多,制造方法,設備大小,結構型式等各有不同,但若将其制造过程加以分析整理,則見其中大体上有若干应用較广而为数不多的基本过程。例如在无机物化学工业之一的燒碱制造中,碱液的濃縮,目前一般采用“蒸发”的过程来完成。同样,在食盐精制、植物单宁提取以及制糖等工业中,各有关溶液亦須借蒸发而获得濃縮。可見蒸发是一个化工基本过程。再如在氮肥制造中,所得晶体肥料需要干燥,在純碱制造中,純碱亦須干燥,故干燥也是一个基本过程。如进一步观察各种体现蒸发及干燥过程的設備,則又可发现,在生产水平处于一定的阶段,它們往往可归納成为数不多的几种典型型式。为此,从“化工过程及设备”的角度出发,可以认为任何化学工业制造程序,不論簡繁,均系按照不同的生产要求,由若干基本过程及典型設備串

联組合而成。这正是构成本学科以研究諸基本过程及典型設備的共同原理为任务的客观条件。

以上关于学科的介绍,虽远不够全面,但已可看出,它們都是以完成化学工程学总的任务的一部分为其目的,而互有联系,同时又互有分工的。其中“化工过程及設備”則具有基础技术学科的性质,原因在于它所研究的基本原理,正是各門类化学生产工艺学,化工机械学以及化工过程自动化等学科中重要的基础及組成部分。

“我們的科学工作的目的,不仅在于認識世界,而且在于改造世界”^①。本学科的任务,在于研究并总结化工过程及設備方面的基本原理,以便和其它有关学科密切配合,共同在生产实践中解决下列两方面的問題:(1)在了解各种典型过程的机理及典型設備的特点的基础上,寻找最适宜的生产操作条件及控制方法。(2)研究并寻找强化过程及改革設備的新途徑,結合具体的生产要求,設計新的化工生产設備。

具体就“化工过程及設備”作为一門課程而論,其任务即在于学习典型的化工过程及設備,掌握其基本原理,熟悉其計算方法,了解設備的性能并进一步从强化生产的观点对过程及設備进行革新与改造。

本門学科成为一門独立学科,是在二十世紀初叶。它与其它工程科学一样,一般來說,对生产过程中許多客观規律的探索与認識,起了有益的作用。但由于在資本主义制度下,作为生产經驗的直接創造者的劳动人民,反而被排斥于学习和研究科学之外,致使科学研究工作与生产实践严重脫节。此外,又由于受到科学工作者的立場和世界觀的限制,在本門学科中无疑地也有落后于生产实际,甚至有唯心主义形而上学的观点。只有在工人阶级取得政权的社会主义制度下,科研工作有了为无产阶级政治服务的明确方向,以及馬列主义毛澤东思想的英明指导,才能保証科学研究工作与生产实践間的密切結合。因此在学习本課程时必须貫徹理論結合实际的精神,同时通过实践,使本学科不断得到檢驗、丰富和发展。

(二)化工过程及設備的內容及分类 如何合理地将本学科的內容分类,迄今尚无定論。为了便于研究,目前比較合理的是按典型过程所体现的基本規律,分为下列几类:

(1) 流体动力过程及設備 包括以体现流体动力学基本規律为主的过程及設備,如流体的流动及輸送、气溶胶(即气相悬浮系)的分离、液相悬浮系的分离、物料的搅拌等。

(2) 傳热过程及設備 包括以体现热交换基本規律为主的过程及設備,如傳热理論及設備、蒸发、結晶等。

(3) 傳质(扩散)过程及設備 包括以体现扩散基本規律为主的过程及設備,如气体的吸收、液体的蒸餾及精餾、溶剂萃取、吸附及离子交换、固体的干燥及气体的增湿与减湿、固体流态化技术等。

(4) 冷冻过程及設備 包括以体现热力学基本規律的过程及設備,如冷冻及深度冷冻等。

(5) 机械操作及設備 包括以体现固体力学基本規律为主的过程及設備,如固体的粉碎、篩析和加料等。

(6) 化学反应过程及設備 包括以体现化学变化基本規律为主的过程及設備,如氧化还原、磺化、硝化、水解等。但此类工艺过程,目前一般均归入专业性工艺过程及設備之内,

① 紅旗 1961 年第 5 期社論:在学术研究中坚持百花齐放百家爭鳴的方針

虽然近来对于各类化学反应过程及设备的共同基本规律方面的研究已有不少尝试，然而由于研究还不够成熟，资料尚不够完整，故本课程暂时不予列入。

应该指出，以上分类方法只是相对的。某些过程可以同时含有流体动力学现象，热交换现象以及传质现象；而某些设备也会随其在使用中目的或条件的不同，起着不同的作用。因此对同一典型过程及设备，往往有必要从各个角度进行反复而全面的分析。而典型过程及设备的种类，也随着化工生产技术的进展在不断地推陈出新，因此本学科内容也必须随之不断地补充更换。例如近年来，固体流态化技术在化学工业中的沸腾焙烧炉和某些有机化学反应器以及石油裂化反应器中得到广泛采用，即为本学科内容更新之一例。

我国化学工业虽然极为年轻，然而在党的英明领导下，通过我国劳动人民的努力，业已有了迅速的发展。无论在产品数量的增长、质量的提高、新品种的增加、化工机械的制造以及化工生产技术和科学水平的提高等方面，都取得了辉煌的成就。近年来，结合我国各地大中小企业的具体条件，在充分发挥化学工业综合利用各种物质资源，强化及改革已有的化工生产过程及设备，并采用新技术、新过程、新设备等方面，也已取得了不少成就和一定的经验。当然这些经验还有待于进一步总结和提高。更重要的是发展及运用本学科时，必须进一步贯彻党的建设社会主义总路线，正确理解党对发展化学工业的方针政策，以使本学科能更好地为实现这些方针政策而服务。

(三) 基本概念及方法 在研究化工过程及设备时，常须弄清某些基本概念。从操作的方式而论，各种化工过程的操作，可分为间歇的、连续的和联合的三种。

(1) 间歇操作 间歇操作的特点是所有的工作步骤在同一位置而分别在不同的时间进行。例如，在板框式过滤机中，滤浆的过滤、滤饼的洗涤以及滤饼的去除等项步骤，系依次在不同的时间进行。因之间歇操作的状态是不稳定的，随时间而变。受处理物料的各个物理量或参变数（如温度、压强、浓度、湿含量、热含量、速度等）亦将在操作中随时间而改变。间歇操作的设备也就间歇地排出产品，卸料完毕后再加入新料，周而复始地循环操作。

(2) 连续操作 连续操作的特点是所有的工作步骤分别在不同的位置而在同一时间进行，操作状态稳定且连续不断地进料和卸除最后产品。例如在回转式干燥器中，加料、干燥和卸料各个工作步骤皆分别在不同区域在同一时间内进行。受处理的物料在进程中任何一点或在连续运转的设备的任一断面上，其物理量或参变数在操作进行时间内，实际均保持不变。

(3) 联合操作 联合操作系以上二者的联合处理，其中有些工作步骤为连续操作，有些为间歇操作。例如在沉降器中沉降一种稀薄悬浮液时，悬浮液连续进入，澄清液连续排出，而沉降于器底的沉淀则系经过适当时间后间歇地排除。在一般情况下，联合操作通常可作为连续操作处理。

与间歇和联合操作相比较，连续操作具有下列的重要优点：

1. 可以使操作全部机械化和自动化，减低手工劳动，并提高生产能力；
2. 产品均匀，因而提高了产品的质量；
3. 进行操作所需的设备紧凑，因而减低生产设备的基本费用和修理费用。

因之，现代化的工厂均尽可能地不采用间歇操作，而采用连续操作。但大中小企业的具体条件不同，从技术经济观点来看，有时候连续操作不一定是优越或必需。因此，在选择

操作方式时,应作周詳的分析与考虑。

当研究过程及设备的基本原理时,固然必須注意闡明其机理,但作为工程技术学科,同时也应注意过程的計算方法和設備結構型式及其主要尺寸的決定方法。为此,常須引用下列几种基本概念,将各过程及设备中物料的变化規律,通过相应的計算表达方法,以計算公式的形式表述出来。

(i) 质量守恒定律及物料衡算式 物料衡算为质量守恒定律的一种表现形式。依此定律,凡引入某一設備以进行操作的物料重量,必須等于操作后所得产品的重量。但事实上,在实际制造过程中,物料不可避免有損失,亦即輸出的量較輸入的量为少,其差額即为物料損失量,如式(I)所示

$$G_1 = G_2 + G_{\text{損}} \quad (\text{I})$$

式中 G_1 为輸入的物料量, G_2 为輸出的物料量, $G_{\text{損}}$ 为物料的損失量。此种物料衡算式适用于整个过程,也适用于过程的任何一个步驟。在物料衡算中,可以作总的物料衡算,也可以对混合物中某一組分作部分物料衡算。

物料衡算对于制造过程的正确进行,具有极重要的指导意义。在实际操作中,物料衡算可以揭示物料的浪费和设备操作的正常情况,从而可以訂出改善方案,以提高产品率并减少付产品和杂质,同时,物料衡算也可反映生产过程的完善程度。如果物料衡算能列得愈完全愈細致,则表示对操作的了解愈全面,而对操作进行的控制也愈正确。在设计新的生产过程中,物料衡算可以帮助正确地选择制造过程的流程和設備的大小。

例題 某厂硝化車間的廢酸,經分析后,得知其中含有 23% HNO_3 , 57% H_2SO_4 , 和 20% H_2O , 均以重量表示。現拟掺入 93% 濃度的 H_2SO_4 和 90% 濃度的 HNO_3 , 以制备含有 27% HNO_3 和 60% H_2SO_4 的混合酸。試問制备每 1000 [公斤] 的混合酸,需要若干[公斤]的廢酸与濃硝酸和硫酸?假定物料无損失。

解 取 1000 [公斤] 混合酸为計算基准,分別以 x, y, z 代表需用廢酸,硫酸与濃硝酸的重量。因无物料損失,故式(I)为 $G_1 = G_2$ 。

$$\text{物料总衡算: } x + y + z = 1000 \quad (1)$$

$$\text{硫酸的衡算: } 0.57x + 0.93y = 1000(0.60) = 600 \quad (2)$$

$$\text{硝酸的衡算: } 0.23x + 0.90z = 1000(0.27) = 270 \quad (3)$$

解上述(1), (2), (3)三联立方程式得

$$x = 418 \text{ [公斤]}, y = 390 \text{ [公斤]}, z = 192 \text{ [公斤]}$$

成品率,生产能力和生产操作强度 成品率系操作完毕后,所得成品数量与輸入原料数量之比,以百分数表示;如以 η 代表之,則

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} 100\% \quad (11)$$

由于制造中的損耗,成品率恒小于 100%;显然 η 愈接近于 100%,則操作愈完善。若遇生产过程系由几个步驟所組成,而其中每个步驟都有其成品率,則全部过程的成品率为各个步驟成品率的乘积。

在化学过程中,若已知化学反应方程式,則成品率可表示为实际得到的产品数量与理論上从化学反应式算出数量的百分比。在无精确的化学反应式可遵循时,成品率可依原料的数量或其中的任一物料的数量来計算;在后者的情况下,成品率可能小于,也可能大于 100%。

生产能力为器械或設備的主要性能,以每单位時間进入物料的数量或所得成品的数量

表示。所用的時間單位可為[分]、[小時]、[日]，所用的數量單位可用(1)重量單位，如[公斤]、[噸]，(2)體積單位，如[升]、[米³]，或(3)件數等等。例如，水泥粉碎機的生产能力以每小時[噸]或[噸/小時]數，液體輸送設備的生产能力以每小時[升]或[升/小時]數，塑料成品压制機的生产能力以每小時[件]或[件/小時]數表示。

生产操作强度為足以表示器械或設備性能的基本單位的生产能力。例如，蒸發器的操作强度以每小時每平方米加熱面所蒸發的水分表示，硫酸塔的操作强度以每日每立方米體積所製成的硫酸量表示。

增加生产操作强度、為提高技術水平和提高勞動生产率的最重要任務之一。生产操作的加強，可使同一器械、同一裝置、同一單位時間、同一操作人員所獲得產品的數量提高。

(ii) 能量守恒定律及能量衡算式 能量衡算系基於能量守恒定律，其意義是：凡引入操作的能量，必須等於操作後輸出的能量。正確的能量衡算，應包括與操作有關的各種不同形式的能，如熱能、機械能、電能、輻射能、化學能、原子能等。但在許多情況下，操作所涉及的能僅為熱能，則能量衡算即為熱量衡算，如式(III)所示：

$$Q_1 = Q_2 + Q_n \quad (III)$$

式中 Q_1 與 Q_2 分別代表熱的輸入與輸出量，而 Q_n 為損失的熱量。熱量衡算為化工製造過程中用以測驗能量運用之是否完善或正常的重要方法之一。在過程設計時，熱量之是否需由外界引入或向外界發散，均可由此種衡算來確定。

(iii) 物系動平衡 除了可以通過物料和能量衡算以了解每個生產過程的進行情況外，對於許多化工過程，也同時可從物系的平衡關係和變化速率的角度，加以觀察分析。

物系自然發生變化時，其變化必趨於一定的方向，如果聽其自然，結果必將達於平衡。唯須着重指出，此平衡乃是動平衡。例如在一定溫度下不飽和的某鹽溶液與該鹽接觸時，鹽向溶液中溶解，直到溶液為鹽所飽和，鹽即表面上停止溶解，因其與溶液已達於動平衡。因此，平衡為物系變化的極限，除非影響物系的情況有變化，否則其變化的極限不致改變。對於許多化工過程，物系的平衡關係具有實際意義。因為過程之能否進行，以及能進行到何種程度，均可由平衡關係推知。

(iv) 物系變化速率 平衡關係表示物系變化的極限，但物系變化的快慢不決定於平衡關係，而為多種因素所影響。可惜對支配各種不同物系的變化速率的因素，所知還不夠完全明確，殊難將變化速率用一種能普遍應用的數學公式來代表。但在化工製造過程中，為了發揮設備的生产能力，時間因素往往較平衡關係所指出的變化極限，更為重要。因此，為了能幫助分析許多化工過程，可將物系變化速率表達為推動力和阻力之間的關係。例如，冷物體與熱物體接觸時，由於兩物體的溫度不同，熱由熱物體流向冷物體；此種熱流速率的快慢，則視溫度差和熱阻力的大小而定。直到此二物體的溫度相等時，此時溫度差為零，傳熱亦表面上停止，則稱此二物體已達到熱平衡。

以上二方面的問題通常稱為動力學問題。

在解決具體生產問題時，技術經濟比較，乃是社會主義建設事業中極為重要的一個因素。上述四概念的应用也正是制定技術經濟比較方案的重要手段。

此外，在總結歸納諸過程的數量變化規律的關係時，常用的方法有如下三類：經驗方法，數學分析法，因次分析及相似方法（或稱為半經驗法）。到目前為止，由於研究對象的複雜多

变,一般采用最后一种方法较多,其内容将在本课程中扼要介绍。这里着重指出的是,任何工程计算式,不论是从何种方法得来,在使用时必须注意其应用范围及条件,同时对其中物理量的因次及单位,亦必须熟习。

(4) 物理量的因次与单位制度 凡参加生产过程的物质,皆具有各种不同的物理性质,如粘度、密度、导热系数等,而且常须用各种不同的参变数,如温度、压强、速度等以表示其特征。这些物理量可通过三、四个彼此独立的基本量来表示,其大小则用各种单位来量度。常用的基本量或称因次为长度 L , 力 F 或质量 M , 时间 τ 和温度 T 。应用这些基本量以表示物理量的特性的式子称为量纲或因次式。例如速度的量纲为 $L\tau^{-1}$; 加速度的量纲为 $L\tau^{-2}$ 等。

用以表示各个物理量的大小的单位,有各种不同的度量衡制度,如公制或英制。公制中又有绝对单位制和工程单位制。在绝对单位制如厘米-克-秒单位制中,长度、质量和时间为基本量,厘米、克和秒为各个基本量的基本单位,其中克为质量的单位。在米-公斤-秒工程单位制中,长度、力和时间为基本量,而公斤为力的基本量单位。在英制中,以呎为长度的单位,磅为质量或力的单位,秒为时间的单位;由于力与质量不分,皆以磅表示,致引起混乱。

在运用计算时,无论系用何种单位,均应贯彻到底,不应将不同的单位混合使用。特别应该注意的是在工程单位制中,[公斤]为力的单位而非质量的单位。

解放前的中国,化学工厂中大都采用英制的呎-磅-秒单位制。现在各厂多改用较优越的度量衡制度——公制。因其为国际单位制,且为十进位制,也符合于我国已有的度量衡制习惯,故按国家规定采用。本书所采用的为米-公斤-秒工程单位制;但为分别起见,当公斤作为质量的单位时,则用公斤(质)表示。兹将厘米-克-秒绝对单位制和米-公斤-秒工程单位制两种不同制度中某些物理量的因次关系列表于后,以供参考。

两种不同制度中某些物理量的单位和因次式表

物 理 量	单 位		因 次 式	
	厘米-克-秒制	米-公斤-秒制	厘米-克-秒制	米-公斤-秒制
长 度	[厘米]	[米]	L	L
质 量	[克]	[公斤·秒 ² /9.81米]	M	$F\tau^2L^{-1}$
时 间	[秒]	[秒]	τ	τ
速 度	[厘米/秒]	[米/秒]	$L\tau^{-1}$	$L\tau^{-1}$
加 速 度	[厘米/秒 ²]	[米/秒 ²]	$L\tau^{-2}$	$L\tau^{-2}$
力(或重量)	[达因]或[克·厘米/秒 ²]	[公斤]	$ML\tau^{-2}$	F
功	[尔格]或[克·厘米 ² /秒 ²]	[公斤·米]	$ML^2\tau^{-2}$	FL
功 率	[尔格/秒]或[克·厘米 ² /秒 ³]	[公斤·米/秒]	$ML^2\tau^{-3}$	$FL\tau^{-1}$
压 强	[巴]或[克/厘米·秒 ²]	[公斤/米 ²]	$ML^{-1}\tau^{-2}$	FL^{-2}
密 度	[克/厘米 ³]	[公斤·秒 ² /米 ⁴]	ML^{-3}	$F\tau^2L^{-4}$
粘 度	[泊]或[克/厘米/秒]	[公斤·秒/米 ²]	$ML^{-1}\tau^{-1}$	$F\tau L^{-2}$

第一篇 流体动力过程

第一章 流体力学基础

化学工业是一个多行业、多品种、为国民经济各部门、人民生活各方面服务的工业。它以改变物料的物理性质和化学性质为其生产前提。其生产过程绝大多数是在液相或气相中进行,且多数是连续的大量生产。今以化学肥料之一硫酸铵的生产为例,其整个生产是以氨气与硫酸为原料,在一定的温度下,氨气与硫酸反应而生成硫酸铵,如图 1-1 所示。

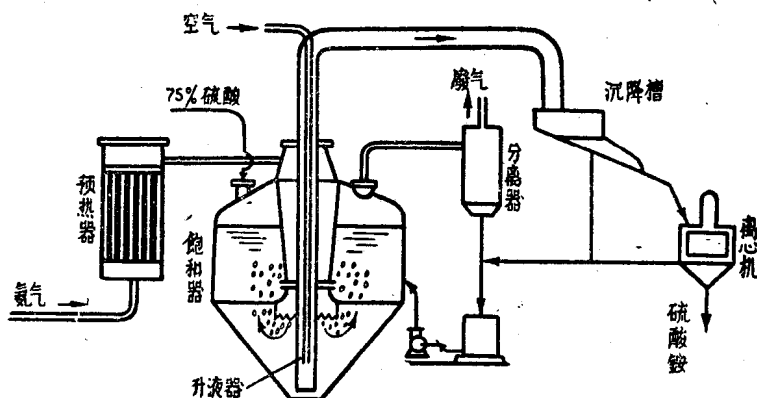


图 1-1 化学肥料——硫酸铵生产流程

由图 1-1 可知,在硫酸铵的生产过程中,从原料到半成品(其成品为固体结晶)都是流体,生产过程全在流体流动的状态下完成。其他如石油工业,固体燃料加工工业以及有机合成等工业中也都有类似的情况,即生产所处理的物料多半是流体或呈流体状态。由此可见,不管是大型工厂还是小型工厂,是洋法生产还是土法生产,处理流体的操作都是其生产过程中所必不可少的。

在化学工厂中为了完成将流体原料或成品沿管路或明渠由一工序送往下一工序,由此设备(如热交换器、塔器、反应器等)送往其他设备的输送任务,必须确定流体输送设备的大小及所需功率。具体说来,就是需要解决管路设计,流体沿程的能量损失以及输送机械的选择等问题。为了保证各生产设备中过程能良好的进行,还必须选择最适宜的流体流动条件,以利于小设备大生产低消耗。此外,为了生产控制还必须在输送系统中和各种设备上随时对压强、流量等参数进行一系列的测定。

所有上述问题均与研究流体(气体及液体)宏观运动和平衡规律及其应用的流体力学有关。所以,我们先从流体力学的学习入手,为的是能比较深刻的掌握了流体平衡与运动的基本规律以后,从而解决上述问题以及与此有关的一切化学工业生产中的其他实际问题。

第一节 管路、管件及閥門

由前述可知,流体具有无限的流动性,其形状且可任意分裂,这不仅有利于輸送和处理,并且还使过程中的化学反应趋于均匀一致,因而可使生产过程大多能实现連續操作和自动控制。故現代化工厂常乐于采用。近来,甚至有将本为固体的物体使其流态化,即使其具备流体的流动性质。化工厂中用以实现輸送流体的設備多为管路,因之,管路就构成了化学工厂中生产設備的不可分割的一部分。

正如引言中所指出,管内流动是化工过程中有关流体流动的一个重要方面,为便于能层层深入,由表及里,我們先介紹一下管路。

1-1 管道的种类和規格

(一)鑄鉄管 鑄鉄管常用作埋于地下的給水总管、煤气管及污水管等,其优点为价廉而耐蝕性較鋼为强,且由于其笨重而强度低,故不可用在有压力下輸送有害的或爆炸性的气体,亦不宜用于高温如輸送蒸汽管路。

目前,国产鑄鉄管(鞍鋼及重鋼規格)有三种形式:承插式、单端法兰式及双端法兰式。其中承插鑄鉄管規格如下表所示:

表 1-1 承插式鑄鉄管規格

內徑[毫米]	管厚[毫米]	有效長[毫米]	每根重量[公斤]
75	9	3,000	58
100	9	3,000	75.5
150	9.5	3,000(4,000)	—(149)
200	10	4,000(5,000)	207(254)
250	10.8	4,000(6,000)	277(340)
300	11.4	4,000(6,000)	348(509)
350	12	6,000	623
400	12.8	6,000	760
450	13.4	6,000	889
500	14	6,000	1033
600	15.4	6,000	1355
700	16.5	6,000	1691
800	18	6,000	2100
900	19.5	4,000	1760
1000	20.5	4,000	2060

(二)鋼管 鋼管种类甚多,以鋼种可分为普通鋼管与合金鋼管两种。以制造方法可分为焊接鋼管和无縫鋼管。

(i) 水煤气管:水煤气管多为用低碳鋼制的焊接鋼管。常用作水管、暖气、煤气、压缩空气和真空管路。当压力在6[大气压]表压以下时,可用作蒸汽支管及凝液管路。也可用

于输送无侵蚀性和非易燃、易爆的介质。水煤气管分为普通(工作压力为 10 [大气压]表压)与加强(工作压力为 16 [大气压]表压)两级,其供应长度为 4~7 [米]。由于此种管常采用螺纹连接,因此外径有一定标准。其规格见表 1-2。水煤气管中镀锌的称为白铁管,不镀锌的则称为黑铁管。水煤气管的规格均以其公称直径为准。

表 1-2 水煤气管的规格

公 称 直 径		外 径 [毫 米]	壁 厚 [毫 米]		每 吋 螺 絲 数
[吋]	[毫米]		普 通 级	加 强 级	
1/4"	8	13.50	2.25	2.75	—
3/8"	10	17.00	2.25	2.75	—
1/2"	15	21.25	2.75	3.25	14
3/4"	20	26.75	2.75	3.50	14
1"	25	33.50	3.25	4.00	11
1 1/4"	32	42.25	3.25	4.00	11
1 1/2"	40	48.00	3.50	4.25	11
2"	50	60.00	3.50	4.50	11
2 1/2"	70	75.50	3.75	4.50	11
3"	80	88.50	4.00	4.75	11
4"	100	114.00	4.00	5.00	11
5"	125	140.00	4.50	5.50	11
6"	150	165.00	4.50	5.50	11

(2) 无缝钢管: 无缝钢管的特点是质地均匀、强度高,因而壁厚可以较薄。普通无缝钢管又分为冷拔管与热轧管两类;此外,尚有特殊用途的厚壁无缝钢管、锅炉无缝钢管以及石油工业专用的各种无缝钢管等。

制造无缝钢管的材料有 G2, G3, G4 等普通碳钢, 10, 20, 35 等优质碳钢, 15Cr, 20Cr 等低合金钢以及 1Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti 等不锈钢, Cr17, Cr27 等耐热铬钢等。

碳钢普通无缝钢管规格见表 1-3。

表 1-3 无缝钢管规格

类 别	外 径 [毫米]	壁 厚 [毫 米]	类 别	外 径 [毫米]	壁 厚 [毫 米]
冷 拔 管	25	2.5, 3	热	114	4, 4.5, 6, 8
	38	3, 3.5		127	4, 4.5, 6, 8
	42	3, 3.5		146	6, 8, 10, 12
	50	3.5, 4, 4.5, 5		159	6, 8, 10, 12
	51	3.5, 4, 4.5, 5		168	6, 8, 10, 12
热 轧 管	57	3.5, 4, 4.5, 6, 8	轧 管	194	6, 8, 10, 12
	60	4, 4.5, 6, 8		219	6, 8, 10, 12
	63.5	4, 4.5, 6, 8		245	8, 10, 12
	73	3.5, 4, 4.5, 6, 8		273	8, 10, 12
	76	3.5, 4, 4.5, 6, 8		325	8, 10, 12
	89	3.5, 4, 4.5, 6, 8		377	10, 12
	102	4, 4.5, 6, 8		426	12
	108	4, 4.5, 6, 8			

无縫鋼管广泛用于各种压力下輸送物料,如蒸汽、高压水、气体的管路,能耐温达 435°C , 逾此极限則用合金鋼管。合金鋼管主要用在輸送腐蝕性介质及高温 (可达 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$) 的物料,如鎳鉻鋼能耐 HNO_3 与 H_3PO_4 等腐蝕性物料 (但具有还原性的介质不宜采用)。无縫鋼管亦常用于制造换热器、蒸发器等化工设备。

(三) 有色金属管

(1) 銅管与黃銅管: 銅管 (或称紫銅管) 的外徑一般为 $3\sim 80$ [毫米], 壁厚由 0.5 至 15 [毫米], 随管徑而异。黃銅管, 挤压黃銅管外徑为 $30\sim 60$ [毫米], 壁厚为 2.5 至 15 [毫米]; 拉伸黃銅管外徑为 $5\sim 50$ [毫米], 壁厚为 $1\sim 6$ [毫米]。常用的材料为 68 黃銅, 62 黃銅与 59-1 黃銅。按苏联 ГОСТ 494-41 規定, 黃銅管制的冷凝器外徑为 $10\sim 35$ [毫米], 壁厚为 $0.75\sim 2.0$ [毫米]。

銅管重量較輕, 导热性好, 适宜用于低温管路, 一般均用以制造换热器, 同时由于銅延伸性强, 易于密合, 故一般在閥座等接合处除了对銅有侵蝕性介质 (如氨) 外, 多用銅件加以密合。由于工业上其他方面用銅也很多, 故能以其他材料代替 (如以鋁管) 时, 則尽量予以代替。細的銅管常用于傳送有压力的液体 (如潤滑系統, 油压系統)。黃銅管亦广泛用于海水管路。

(2) 鉛管: 鉛管用在化学工业中主要因为抗蝕性良好, 能抗硫酸及 10% 以下的盐酸, 但不能作濃盐酸、硝酸和醋酸等的輸送管路。鉛管的最高容許温度为 140°C 。鉛管的优点为易于輻压鍛制或焊接, 但机械强度差, 太笨重, 导热率低, 且性軟。因此目前有用塑料及其他合金代替的趋势。然而由于我国产鉛多, 用鉛管的地方仍然不少。鉛管内徑由 8 至 150 [毫米], 厚度 $2\sim 10$ [毫米]。且习惯以 $\varnothing$ 内徑 $\times$ 壁厚表示, 而其他管子則多用 $\varnothing$ 外徑 $\times$ 壁厚。

(3) 鋁管: 鋁管由鋁的純度决定其耐蝕性, 广泛用輸送濃硝酸、蟻酸、醋酸等物料的管路, 但不耐碱。还可用以制造换热器。小直徑的鋁管可代替銅管傳送有压力的流体, 通常拉制的鋁管外徑为 $6\sim 120$ [毫米], 壁厚为 $1.0\sim 10$ [毫米], 且每一直徑有数級壁厚, 长度約为 $1\sim 6$ [米]。

总的說来, 有色金属因价格較高, 非不得已一般不用。

(四) 陶瓷管 我国生产陶瓷有悠久的历史, 且馳名世界。近年来我国生产的陶瓷化工设备质地优良, 品种繁多。由于陶瓷原料遍地皆是, 可以就地取材, 故陶瓷管件及设备是很有发展前途的。

常用的陶瓷管及管件如下:

陶管: 直徑 $\varnothing 12\sim 1000$ [毫米], 最大长度 $\varnothing 25$ [毫米] 者为 1.5 [米], $\varnothing 50$ [毫米] 以上者为 1 [米]。联接形式有承插式和法兰联接等。

接管件: 各种角度的弯头, 四通管接、三通管接、U 形管接、异形管接等, 尺寸同直管。

閥門: 有旋塞 (考克)、閘門、水封等。

陶瓷能耐酸碱, 适宜用于化学工厂, 但性脆, 强度低, 不耐压, 已往多用于排除有腐蝕性的污水之用。然而上述之缺点正在克服中, 目前一級品的耐酸陶瓷管水压試驗已达 4 [公斤/厘米²], 抗压强度 ≥ 400 [公斤/厘米²], 热稳定性 (350°C 急冷至 20°C) 可达 2 次。今后随着我国陶瓷工业技术水平的提高, 則会使陶瓷管件与设备的应用范围更为广泛。

(五) 水泥管 水泥管多用作下水道污水管。最近有在压力下輸送液体或气体的予应力

混凝土管用以代替鑄鉄管或鋼管,不过还未普及推广。

(六)塑料管 用以制造管子或容器的塑料目前重要的有酚醛塑料、聚氯乙烯塑料、聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)与增强塑料(玻璃鋼)等。塑料管其特点为质輕、抗蝕性良好、加工容易、可任意弯曲或延伸以制成各种形状,缺点为耐热性較差,不能适应較高的温度。

目前国产聚氯乙烯管内徑 3~150 [毫米],壁厚 1~10 [毫米],长度不超过 4 [米]。可受压达 6 大气压[表压]。

塑料是代替金属材料中大有希望的一种,随着人們对塑料性能不断改进,則可能使化工厂中金属材料用量逐渐减少。

(七)玻璃管 由于玻璃管具有耐蝕、透明、易于清洗、阻力小、价格低廉等优点,故目前化学工业上应用很多。但一般玻璃管其共同缺点是性脆,热稳定性較差,耐压力低。

玻璃管道材料常用高鋁低碱含硼的高强度玻璃,其热稳定性和耐蝕性均良好。如我国某玻璃制造厂出产的玄武岩玻璃管道,抗蝕性强、耐磨,在中压高温下可以正常工作,故可代替不銹鋼、合金鋼、鑄鋼等管道使用。

通常玻璃管可用于 -30°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 的場合,温度急变不得超过 80°C 。管子长度为 1~3 [米],管徑可达 6"①。工作压强一般可达 4~8 [公斤/厘米²],玄武岩玻璃管道可耐液压 25 [公斤/厘米²]。因玻管长度制成后不易更改,使用或設計时宜加注意。管子的公称直徑和厚度見表 1-4 及表 1-5。

表 1-4 玻璃管規格

公称直徑[毫米]		25(1")	40(1 1/2")	50(2")	65(2 1/2")	80(3")	100(4")	125(5")	150(6")
厚 度	8 号管	4.0	4.5	5.5	6.0	6.5	7.5	8.5	8.5
	4 号管	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.5	7.0	7.0

上表中 8 号管工作压力为 8 [公斤/厘米²]; 4 号管工作压力为 4 [公斤/厘米²]。

表 1-5 玄武岩玻璃管規格

名 称	长度[厘米]	外徑[厘米]	內徑[厘米]	垂直高度[厘米]	法兰直徑[厘米]	备 注
管 道	52	9.5	6.5	—	14.5	不 透 明
T 形 弯 头	52	9.5	6.5	30	14.5	不 透 明
直角 弯 头	40	9.5	6.5	40	14.5	不 透 明

(八)橡胶管 橡胶管能耐酸碱,抗蝕性好,且有彈性可任意弯曲。橡胶管一般可分成三种:(1)普通橡胶管,如实验室等所用;(2)帆布挠性管,不易踏扁,用于临时性管路,如接煤气、抽水等;(3)用橡胶衬里的金属管,能耐酸碱,但不能抗有机酸类。必須指出,橡胶管在很多方面可以用我国业已生产的塑料管(如聚氯乙烯軟管)代替。

(九)木质管 木质管优点是质輕,便于装拆,价廉,保温較金属管好,加工容易,經适当

① 6" 上的"代表英寸。