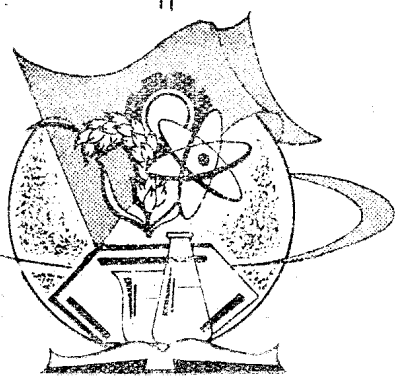


中等专业学校试用教材



化工原理

金德仁 编

化学工业出版社

前 言

本书是根据一九八二年十一月在厦门召开的化工原理编审会所通过的教学大纲编写的。

本书力求深入浅出，简明实用，避免了一些繁杂艰深的数学推导。对于必要的设计计算，则侧重原则与方法，而具体步骤从简。有少数节、段属于选讲内容，用星号“*”标记。

根据教学大纲的要求，本书以流体流动、传热、蒸馏和吸收为重点。全部内容的讲课学时数约为160学时。

本书由北京化工学校程祖球主审。参加审稿的还有南京化工学校唐丽娟，泸州化工学校罗瑜先和浙江轻工业学校顾辉。

在本书编写过程中，编者所在学校在工作上给予了大力协助，程祖球同志为本书逐字逐句进行了审查，对此，编者表示深切感谢。

由于编者学识疏浅，书中一定存在不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编者 1985年5月

目 录

绪论.....	1
第一章 流体流动	
第一节 流体的平衡.....	6
1-1 流体的主要物理量	6
1-2 流体静力学基本方程式	11
1-3 流体静力学基本方程式的应用	12
第二节 流体在管内的流动.....	17
1-4 流量和流速	17
1-5 管路的选用	18
1-6 稳定流动和不稳定流动	20
1-7 连续性方程式	21
1-8 柏努利方程式	22
1-9 柏努利方程式的应用	25
第三节 流体阻力.....	29
1-10 流体的粘度.....	29
1-11 流体流动的类型与雷诺准数.....	33
1-12 管内流体的速度分布.....	35
1-13 流体阻力计算.....	36
第四节 管路的计算和布置.....	42
1-14 管路计算.....	42
*1-15 管路布置和安装的一般原则.....	47
第五节 流量的测量.....	48
*1-16 测速管.....	48
1-17 孔板流量计.....	50
1-18 文氏管流量计.....	52
1-19 转子流量计.....	52
练习题.....	53
复习题.....	56
第二章 液体输送机械	
第一节 离心泵.....	58
2-1 离心泵的构造和工作原理	58
2-2 离心泵的性能	63
2-3 离心泵的操作与调节	70
2-4 离心泵的型号和选用	75

第二节 其他类型泵	80
2-5 往复泵	80
2-6 计量泵	82
2-7 旋转泵	82
2-8 旋涡泵	83
2-9 流体作用泵	84
第三节 各类型泵的比较	85
2-10 各类型泵的比较	85
练习题	86
复习题	87
第三章 气体压缩和输送机械	
第一节 往复压缩机	88
3-1 往复压缩机的主要构造和工作原理	88
3-2 往复压缩机的生产能力	93
3-3 多级压缩	95
3-4 往复压缩机的分类及型号	97
3-5 往复压缩机的安装与运转	99
第二节 离心通风机、鼓风机与压缩机	99
3-6 离心通风机	100
3-7 离心鼓风机和压缩机	102
第三节 旋转式气体压送机械	104
3-8 轴流通风机	104
3-9 罗茨鼓风机	104
3-10 液环压缩机	105
第四节 真空泵	105
3-11 往复式真空泵	105
3-12 水环真空泵	106
3-13 喷射泵	106
练习题	107
复习题	107
第四章 非均相物系的分离	
4-1 引言	109
第一节 过滤	109
4-2 基本概念	109
4-3 过滤基本方程式	111
4-4 过滤设备和操作	114
*4-5 过滤机的生产能力	118
第二节 沉降	122
4-6 重力沉降速度	122

4-7	沉降器的构造和计算	125
4-8	离心沉降速度	126
4-9	离心沉降设备	127
第三节	离心机	130
4-10	一般概念	130
4-11	离心机的结构与操作	130
第四节	其它气体净制设备	133
4-12	袋滤器	133
4-13	文丘里除尘器	133
4-14	泡沫除尘器	134
4-15	湍球塔	134
	练习题	135
	复习题	135

第五章 传热

第一节	概述	137
5-1	传热在化工生产中的应用	137
5-2	传热的基本方式	137
5-3	典型换热器简介	138
5-4	稳定传热和不稳定传热	139
第二节	传热计算	139
5-5	传热方程式	139
5-6	热负荷和载热体用量	140
5-7	载热体的选用	142
5-8	平均温度差	144
5-9	传热系数的测定和经验值	149
第三节	热传导	151
5-10	导热基本方程和导热系数	151
5-11	平壁的热传导	152
5-12	圆筒壁的热传导	155
第四节	对流传热	158
5-13	对流传热的基本概念	158
5-14	对流传热方程式	158
5-15	对流传热膜系数的影响因素	159
5-16	流体无相变时的膜系数	161
5-17	流体有相变时对流传热的特点	165
5-18	设备热损失计算	169
第五节	传热系数的计算和讨论	170
5-19	传热系数与膜系数的关系式	170
5-20	污垢热阻	171

5-21	传热系数的讨论	172
第六节	换热器	174
5-22	换热器的类型	174
5-23	列管式换热器	177
5-24	新型换热器	189
5-25	间壁式换热器的比较和传热的强化途径	195
	练习题	197
	复习题	200
第六章 蒸发		
第一节	概述	201
6-1	基本概念	201
6-2	蒸发操作的分类	201
6-3	蒸发操作的特点	201
第二节	单效蒸发	202
6-4	单效蒸发流程	202
6-5	单效蒸发的计算	202
6-6	温度差损失	206
第三节	多效蒸发	208
6-7	多效蒸发流程	209
6-8	多效蒸发的效数	211
*6-9	多效蒸发的计算 (选学内容)	211
第四节	蒸发设备	219
6-10	蒸发器的结构和特点	219
6-11	蒸发器的辅助装置	225
第五节	蒸发器的生产强度	226
6-12	影响蒸发器生产强度的因素	226
	练习题	227
	复习题	227
第七章 蒸馏		
第一节	概述	229
7-1	蒸馏及其在工业上的应用	229
7-2	气液传质设备的分类	229
第二节	气—液相平衡	230
7-3	相组成表示法	230
7-4	拉乌尔定律	233
7-5	双组分理想溶液的气液平衡相图	234
7-6	双组分非理想溶液的气液平衡相图	237
7-7	相对挥发度	239
第三节	简单蒸馏和精馏	240

7-8	简单蒸馏	240
7-9	精馏原理和流程	241
第四节	精馏过程的物料衡算	244
7-10	理论板的概念及恒摩尔流的假定	244
7-11	物料衡算和操作线方程式	245
7-12	进料状况的影响	248
7-13	操作线方程式在 $y-x$ 相图上的表示	251
第五节	塔板数和回流比的确定	253
7-14	理论塔板数的求法	253
7-15	几种特殊情况时理论塔板数的确定	257
7-16	回流比的影响及其选择	259
7-17	简捷法求理论塔板数	262
7-18	实际塔板数和板效率	265
7-19	填料精馏塔填料层高度的计算	267
第六节	板式塔	268
7-20	塔板类型	268
7-21	板式塔性能比较	273
7-22	浮阀塔的工艺设计原则	274
第七节	特殊蒸馏	280
7-23	水蒸汽蒸馏	281
7-24	恒沸蒸馏与萃取蒸馏	283
练习题	285
复习题	287
第八章 吸收		
第一节	概述	289
8-1	吸收操作及其在化工生产中的应用	289
8-2	吸收剂的选择	290
第二节	吸收过程的相平衡关系	290
8-3	吸收中常用的相组成表示法	290
8-4	气体在液体中的溶解度	292
8-5	亨利定律	294
第三节	传质机理与吸收速率	299
8-6	双膜理论	300
8-7	分子扩散与菲克定律	300
8-8	对流扩散	302
8-9	吸收速率方程式	303
第四节	吸收过程的计算	307
8-10	吸收塔的物料衡算和操作线方程	307
8-11	吸收剂消耗量	308

8-12	填料层高度的计算	311
8-13	板式塔理论塔板数的计算	318
第五节	填料塔	319
8-14	填料	319
8-15	液体分布装置	323
8-16	填料塔的流体力学性能	324
8-17	填料塔直径的计算	327
8-18	填料塔与板式塔的比较	328
第六节	解吸和吸收流程	328
8-19	解吸	328
8-20	吸收流程	329
练习题		331
复习题		332
第九章 液-液萃取		
9-1	引言	333
第一节	萃取操作的基本原理	333
9-2	液-液相平衡	333
9-3	萃取过程在三角形相图上的表示	336
9-4	影响萃取操作的主要因素	338
第二节	液-液萃取设备	340
9-5	混合-澄清萃取设备	340
9-6	塔式萃取设备	342
9-7	萃取塔内的传质及流体流动特性	345
9-8	离心式萃取器	346
第三节	萃取操作流程与萃取过程的计算	347
9-9	单级接触萃取流程与计算	347
9-10	多级错流萃取流程与计算	349
9-11	多级逆流萃取流程与计算	352
练习题		355
复习题		357
第十章 干燥		
第一节	概述	352
10-1	干燥及其在化学工业中的应用	358
10-2	空气干燥器的操作流程	359
第二节	湿空气的性质和湿度图	359
10-3	湿空气的性质	359
10-4	湿空气的 <i>I-H</i> 图	364
第三节	干燥过程的物料衡算和热量衡算	367
10-5	湿物料中含水量的表示方法	367

10-6	物料衡算	368
10-7	热量衡算	370
10-8	空气通过干燥器时的状态变化	371
10-9	干燥器的热效率	373
10-10	物料衡算和热量衡算的应用举例	373
第四节	干燥速率	376
10-11	物料中所含水分的性质	376
10-12	干燥速率和干燥速率曲线	378
10-13	影响干燥速率的因素	379
第五节	干燥器	379
10-14	干燥器的主要型式	380
10-15	干燥器的比较和选择	386
	练习题	386
	复习题	387
第十一章 冷冻		
第一节	概述	389
11-1	冷冻及其在化工生产中的应用	389
11-2	冷冻的基本方法	389
第二节	理想冷冻循环和冷冻系数	389
11-3	理想冷冻循环	389
11-4	温熵图($T-S$ 图)	390
11-5	冷冻系数	392
第三节	实际冷冻循环	393
11-6	实际压缩蒸气冷冻机	393
11-7	冷冻能力及所需功率	395
11-8	多级压缩制冷和复迭制冷	398
第四节	冷冻剂和冷冻盐水	400
11-9	冷冻剂	400
11-10	冷冻盐水	402
第五节	压缩蒸气冷冻机的主要设备	402
11-11	压缩机、冷凝器、蒸发器和节流阀	402
	练习题	404
	复习题	405
附录		
一、	《化工原理》中常用的、有专门名称的、国际单位制的导出单位	406
二、	换算因数	406
三、	空气的物理性质 (101.3kPa)	406
四、	水的物理性质	407
五、	饱和水蒸汽表 (按温度排列)	407

六、饱和水蒸汽表 (按压力排列)	409
七、某些固体材料的导热系数、密度和比热	410
八、某些液体的导热系数	411
九、某些气体和蒸气的导热系数	412
十、壁面污垢的热阻 (污垢系数) $m^2 \cdot ^\circ C / W$	413
十一、无机盐溶液在大气压下的沸点	414
十二、双组分混合物在101.3kPa下的气液平衡数据	415
十三、一些物质在空气中的扩散系数 (0 $^\circ C$, 101.3kPa)	416
十四、一些物质在水中的扩散系数 (20 $^\circ C$, 稀溶液)	416
十五、氨的热力性质	416
十六、氯化钙溶液的物理性质	417
十七、氯化钠溶液的物理性质	418
十八、管子规格	419
十九、泵规格 (摘录)	420
二十、8-18、9-27型离心通风机综合特性曲线图	423
二十一、列管式热交换器系列标准 (摘录)	424
二十二、液体粘度和在20 $^\circ C$ 时的密度	426
二十三、气体在常压下的粘度	428
二十四、液体比热列线图	429
二十五、气体比热列线图 (常压下用)	431
二十六、液体汽化潜热列线图	432
二十七、氨的温熵图	433

绪 论

一、本课程的性质、任务与内容

化工生产是以化学变化或化学处理为主要特征的工业生产过程，其原料来源广泛，产品种类繁多，加工过程复杂多样。很久以前，各种化工产品的生产技术，被看成彼此孤立而很少相同之处。那时，只从一种产品到另一种产品，逐个地去认识化工生产过程的规律；反映化工生产技术的科学，也仅是每一种化工产品的工艺学，如硫酸工艺学、纯碱工艺学等等。

经过长期的生产实践和科学实验，至本世纪二十年代初期，提出了化工单元操作的概念。人们发现，在各种化工产品的生产过程中，除去化学反应外，其余步骤皆可归纳为若干种基本的物理过程，如流体的输送与压缩、沉降、过滤、传热、蒸发、蒸馏、吸收、萃取、干燥、冷冻等。这些基本的物理过程称为单元操作。若干单元操作与化学反应过程串联组合则可构成一个工艺制造过程。

单元操作不仅在化工中占据重要地位，也广泛应用于石油、冶金、轻工、制药、原子能等工业中。

不同工艺过程中的同一种单元操作，具有共同的基本原理和通用的典型设备。譬如，制糖工业中糖水的浓缩与制碱工业中苛性钠溶液的浓缩，都是通过蒸发这一单元操作而实现的，它们共同遵循热交换原理并且都采用蒸发器。又如酿造工业中酒精的提纯与石油工业中烃类的分离都是通过蒸馏这一单元操作而实现的，它们共同遵循物质传递原理并都采用精馏塔。但是，不同工艺过程各有其独特的要求与条件，制糖工业中蒸发操作的条件以及对蒸发器的要求就有别于制碱工业的，酿造工业中与石油工业中的蒸馏操作也是这样。

“化工原理”是化工类各专业的一门技术基础课，主要任务是研究各单元操作的基本原理、典型设备的构造及工艺尺寸的计算（或选型）、以及化工过程的开发等。通过学习本课程，可培养学生分析和解决有关单元操作各种问题的能力。因此，“化工原理”亦可称为“化工单元操作”或“化工过程及设备”，它是化学工程学科里一个基础组成部分。

在中等专业学校，化工原理课程的内容只包括一些应用较广的化工单元操作，本书主要讨论以下几方面的问题：

1. 流体动力过程 研究流体流动的基本规律，还研究流体和与它相接触的固体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若干单元操作，如流体的输送与压缩、沉降、过滤等。

2. 传热过程 研究传热的基本规律，以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作，如热交换、蒸发等。

3. 传质过程 研究物质透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，如蒸馏、吸收、萃取和干燥等。

4. 热力过程 研究遵循热力学定律的操作，如冷冻。

随着对各种单元操作共同规律及其内在联系的深入研究，人们的认识不断深化，从而

将上述前三个过程所包含的单元操作，又归纳为动量传递、热量传递及质量传递三种传递过程，并发展成“三传理论”。有关“三传理论”的介绍不属于本课程的范围。

二、化学工程的发展简史和展望

化学工程是随着化学工业的发展而逐渐形成和发展的。

我国是世界文明古国之一，古代劳动人民在长期的生产实践中，在科学技术和化学工艺方面有不少发明创造，对于我国社会的发展和世界文明，曾作出卓越的贡献。如陶瓷、冶金、火药、燃料、酿酒、染色、造纸和无机盐等的生产技术，一直到西方出现资本主义以前，都走在世界前列。在工程科学的研究和总结方面，我国著有《天工开物》、《图书集成》等，已闻名于世。

“化学工程”（或“化工原理”）发展成为一门独立学科，还是本世纪的事。它是随着生产发展的需要而逐渐形成和发展起来的。

早在古代和中世纪，一些化学技术过程就得到了一定应用，像过滤、蒸发、蒸馏和干燥等。当时这些过程是在简陋的设备中进行的。十八世纪产业革命开始后，古代化工生产方式，已不能适应蓬勃发展的纺织业和印染业的需要。十八世纪末出现了以食盐为原料制造纯碱的新工艺，由此也带动了硫酸、漂白粉等工业的生产，纯碱、硫酸等无机工业便成为近代化学工业的开端。钢铁工业的兴起，促进了炼焦工业的发展，炼焦工业中有恶臭的副产品——煤焦油，成为当时难以处理的“废物”。经过人们的长期实践，根据古代蒸馏酒类似的原理，把煤焦油经过一系列的蒸馏操作，从而在这个“废物”里分离出苯、甲苯、酚、萘、蒽等多种有用的有机化工原料。这样，为合成染料、药品提供了丰富的原料，推动了染料、医药工业的发展，形成了以煤为原料的有机化学工业。值得提出的是，化学工业的发展，在这些生产过程中应用了吸收、蒸馏、过滤、结晶、干燥等操作，为后来化学工程的形成与发展奠定了基础。十九世纪末，由于电动机和蒸汽透平的发展，出现了离心泵、离心机等运转设备，至此，化工单元操作日臻完善。

二十世纪初，美国麻省理工学院开设一门“化工原理”独立课程，于一九二三年将讲义编写为书。使“化工原理”逐渐发展成为一门独立学科。

近几十年来，由于多种原因，我国化学工业一直处于落后状态。解放前，由于帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压榨和掠夺，化学工业和其他国民经济部门一样，没有得到发展。化学工程学科的教学和研究工作极为薄弱，直至解放前夕，还没有我国自编的化学工程教材。

新中国成立后，社会主义制度为化学工业的发展开辟了广阔的前景。在中国共产党领导下，很快建设了一批化学工业基地，奠定了我国化学工业的基础。同时编辑出版了一些化学工程教材和专著。接着，由于石油工业飞速发展，我国的化学工业在自立更生的基础上，努力采用世界先进技术和设备，以石油和天然气为原料的石油化学工业也迅速发展起来，建成了一批大型的现代化石油化工厂和天然气化工厂。合成材料和化肥的生产能力大幅度增长，技术水平日益提高。随着化学工业的发展，我国的化学工程科学也有相应的发展。

但是，我国现在的化学工业和化学工程科学的水平还是低的。以当代化学工业水平来衡量，还有较大的差距。目前，全国化工战线在中国共产党的领导下，为在本世纪内使我国建成现代化的化学工业，并使化学工程科学进入世界最前列，正在努力奋斗。

三、单位制度

任何物理量的大小都是用数字与单位两者的乘积表示的。运算时，物理量的单位与数字应一并纳入运算。

一般说来，物理量的单位是可以任意选择的。但是，各种物理量间存在着客观的联系，因此不必对每种物理量的单位都独立进行任意的选择，而可通过一些物理量的单位来量度另一些物理量。通常先任意选定几个独立的物理量（如长度、时间等），称为基本量，并根据使用方便的原则制定出这些量的单位，称为基本单位。其他诸量（如速度、加速度等）的单位便可根据它们与基本量之间的关系来确定。这些物理量称为导出量，其单位称为导出单位。

基本单位与导出单位的总和称为单位制。

由于历史和地区的原因，也由于学科领域的不同，出现了对基本量及其单位的不同选择，因而产生了不同的单位制。常见的几种单位制所用的基本量与基本单位如表1所示。

表 1 常见单位制度的基本单位

	长 度	时 间	质 量	力
绝对单位制				
CGS制	cm (厘米)	s (秒)	g (克)	—
MKS制	m (米)	s	kg (千克或公斤)	—
工程单位制 (重力单位制)	m	s	—	kgf (公斤力)
国际单位制 (SI)	m	s	kg	—

绝对单位制和国际制均以长度、时间和质量为基本量。工程单位制以长度、时间、力为基本量，其中力的单位为kgf。1kgf等于质量为1kg的物体在重力加速度为 9.81m/s^2 的海平面上所受到的重力。

长期以来，整个科学技术领域里存在着多制并用的局面。同一个物理量在不同的单位制中具有不同的单位与数值，这就给计算和交流带来了麻烦，并且容易引起错误。为改变这种局面以统一计量单位制，一九六零年十月第十一届国际计量大会通过了“国际单位制”，其国际简称是SI。

SI共规定了七个基本单位，除m、kg、s之外，又加上热力学温度单位K（开尔文，简称开）、电流单位A（安培，简称安）、光强度单位cd（坎德拉，简称坎）和物质量单位mol（摩尔，简称摩）。在化工原理中，一般只用m、kg、s、K和mol这五个。

国际单位制有两大优点：一是它的通用性，在自然科学、工程技术乃至国民经济各部门中，所有物理量的单位都可由上述七个基本单位导出。也就是说，SI是所有科学、技术、经济部门都可采用的一套相当完整的单位制。二是它的一贯性，任何一个导出单位在由上述七个基本单位相乘或相除而导出时，都不需引入比例系数。SI中每种物理量只有一个单位。譬如，热和功是本质相同的物理量（能量），但在工程单位制中，热的单位是kcal（千卡），功的单位是kgf·m，在运算中必须通过所谓“热功当量”（ $1\text{kcal} = 427\text{kgf}\cdot\text{m}$ ）这样一个比例系数来换算。而在SI中，热、功、能三者的单位都采用J（焦耳），无需再用换算因数。

鉴于国际单位制的优越性，近年来它在世界上推广很快，目前已有六十多个国家宣布采用。国务院一九七七年五月规定我国要“逐步采用国际单位制”，经过几年的试用和征求意见，于一九八四年二月二十七日发布了“关于在我国统一实行法定计量单位的命令”。在法定计量单位中，包括了全部属于国际单位制的单位，计有：SI基本单位、辅助单位、具有专门名称的导出单位（见表2）和词头。此外，还确定了十五个非国际制单位与国际制单位并用，组成我国的法定计量单位。

要使SI为人们所熟悉并取代其他单位制，毕竟尚需一定时间。目前从各种来源得到的数据，其单位不一定符合计算要求，必须进行单位换算，因此应掌握单位换算的方法。

表2 具有专门名称的某些导出单位

物 理 量	单位名称	单位符号	物 理 量	单位名称	单位符号
频 率	赫〔兹〕	Hz	能、功、热量	焦〔耳〕	J
力	牛〔顿〕	N	功 率	瓦〔特〕	W
压力（压强）	帕〔斯卡〕	Pa	摄氏温度	摄氏度	℃

注：表中单位名称，去掉方括号时为单位名称的全称，去掉方括号及其中的字即成为单位名称的简称，下同。

物理量由一种单位换算成另一种单位时，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。譬如，1kgf（工程制）的力和9.81N（国际制）的力是两个相等的物理量，但其所用的单位不同，即：

$$1\text{kgf} = 9.81\text{N}$$

那么，kgf和N两种单位间的换算因数便是：

$$\frac{9.81\text{N}}{1\text{kgf}} = 9.81\text{N/kgf}$$

化工常用单位间的换算因数可由本书附录查得。

例 1 一标准大气压(1atm)的压力等于1.033kgf/cm²，试求此压力在SI中为多少 Pa。

解 先列出有关各量不同单位间的关系：

$$1\text{kgf} = 9.81\text{N}$$

$$1\text{cm}^2 = 10^{-4}\text{m}^2$$

因此

$$1\text{atm} = 1.033\text{kgf/cm}^2$$

$$= 1.033 \frac{\text{kgf} \times 9.81\text{N/kgf}}{\text{cm}^2 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{cm}^2}$$

$$= 1.033 \times 9.81 \times 10^4 \text{N/m}^2$$

$$= 101300\text{N/m}^2$$

$$= 101300\text{Pa}$$

例 2 求把密度单位由g/cm³换算成kg/m³时的换算因数。

解

$$1\text{g} = 10^{-3}\text{kg}$$

$$1\text{cm}^3 = 10^{-6}\text{m}^3$$

所以 $1\text{g/cm}^3 = \frac{10^{-3}\text{kg}}{10^{-6}\text{m}^3} = 10^3\text{kg/m}^3$

换算因数为 10^3

四、物理量的因次

用一个符号去表示一种基本量，而不管采用什么单位，则这个符号连同它的指数称为这个基本量的因次。如在SI中，以 L 、 M 、 τ 、 T 依次代表长度、质量、时间和温度的因次。导出量的因次是根据物理定义和定律导出的，是基本量因次的组合。例如，面积不管采用 cm^2 还是 m^2 ，它的因次是 L^2 ；加速度的因次是 $L\tau^{-2}$ 。采用不同单位制度时，物理量的因次是不同的，一些常见的物理量的因次见表3。

表3 一些常见物理量的单位和因次

物 理 量	单 位		因 次	
	SI	工程单位制	SI	工程单位制
长 度	m	m	L	L
质 量	kg	$\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$	M	$L^{-1}F\tau$
时 间	s	s	τ	τ
温 度	K或 $^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	T	T
力	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = \text{N}$	kgf	$LM\tau^{-2}$	F
加 速 度	m/s^2	m/s^2	$L\tau^{-2}$	$L\tau^{-2}$
能 量	$\text{N}\cdot\text{m} = \text{J}$	$\text{kgf}\cdot\text{m}$	$L^2M\tau^{-2}$	LF
功 率	$\text{J}/\text{S} = \text{W}$	$\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}$	$L^2M\tau^{-3}$	$LF\tau^{-1}$
压 力	$\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa}$	kgf/cm^2	$L^{-1}M\tau^{-2}$	$L^{-2}F$
密 度	kg/m^3	$\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$	$L^{-3}M$	$L^{-1}F\tau$
粘 度	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$	$\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2$	$L^{-1}M\tau^{-1}$	$L^{-2}F\tau$
热 量	J	kcal	$L^2M\tau^{-2}$	LF

一个物理量方程式等号两端的单位必须一致，各项因次也必须相同。这称为因次一致性原则。看一个物理量方程式是否正确，首先用这条原则去检查。检查因次比检查单位方便，所以引用因次这个概念。例如力学中的路程方程式 $S = v_0t + \frac{1}{2}gt^2$ ，左端 S 的因次是 L ；方程式右端中， v_0t 项的因次是 $L\tau^{-1}\cdot\tau = L$ ， gt^2 项的因次为 $L\tau^{-2}\cdot\tau^2 = L$ 。各项因次都是 L ，说明这个方程式符合因次一致性原则。然后再通过实践和理论检查这个方程式在其他方面的正确性。

如果无法从理论上导出一个物理量方程式，可根据因次一致性原则，整理实验数据，来寻找关系式。这个方法称为因次分析。根据中专学校“化工原理教学大纲（试用草案）”的要求，有关因次分析的内容，本书从略。

练 习 题

1. 通用气体常数 $R = 82.06 \frac{\text{atm}\cdot\text{cm}^3}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ ，试将它换算成以SI单位表示。

2. 求把能量单位 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ 换算成 $\text{J} = \text{N}\cdot\text{m}$ 时的换算因数。

第一章 流体流动

流体指具有流动性的物体，包括气体和液体。化工生产中所处理的原料和产品，大多数是流体。按生产工艺要求，制造产品时往往把它们依次输送到各设备内，进行化学反应或物理变化；制成的产品又常需要输送到贮罐内贮存。过程进行的好坏、动力消耗及设备的投资都与流体的流动状态密切相关。

在化工生产中，有以下几个主要方面经常要应用流体流动的基本原理及其流动规律。

一、流体的输送

欲将流体沿管道进行输送，就需选择适宜的流动速度，以确定输送管路的直径。在流体的输送过程中，常常要采用输送设备，因此就需要确定流体在流动过程中应加入的外功，为选用输送设备提供依据。这些都要应用流体流动的规律进行分析和计算。

二、压力、流速和流量的测量

为了了解和控制生产过程，需要测定管路或设备内的压力、流速及流量等参数，以便合理地选用和安装测量仪表，而这些测量仪表的操作原理又多以流体的静止或流动规律为依据。

三、为强化设备提供适宜的流动条件

化工生产中传热、传质等过程，都在流体流动的情况下进行，设备的操作效率与流体流动状况有密切关系。因此，研究流体流动对寻找设备的强化途径具有重要意义。

本章主要讲述：流体静止时的平衡规律；流体在管内的流动规律；流体阻力的理论和计算以及运用这些基本原理解决有关管路计算和流量测量问题。

第一节 流体的平衡

流体的平衡，是指流体在外力作用下所维持的相对静止状态。本节只讨论流体在重力和压力作用下的平衡规律。为了讨论方便，先介绍流体的几个物理量。

1-1 流体的主要物理量

一、密度

单位体积流体所具有的质量，称为流体的密度。其表达式为：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——流体的密度， kg/m^3 ；

m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

流体的密度一般可在物理化学手册或有关资料中查得，本书附录中给出某些常见流体的密度数值，供解题时参考。

在不同单位制中，密度的单位和数值都不同，它们之间的换算因数见本书附录。工程

单位制中重度(γ)的数值与国际单位制中密度的数值相同。

任何流体的密度,都随它的温度和压力而变化。压力对液体的密度影响很小,可忽略不计。因此,常称液体为不可压缩的流体。温度对液体的密度有一定影响,如纯水的密度在4°C时为1000kg/m³,在20°C时为998.2kg/m³,在100°C时则为958.4kg/m³。因此,在选用密度数据时,要注意测定该数值时的温度。

液体的密度一般用实验方法测定。工业上测定液体密度最简单的方法是用比重计。将比重计放在液体中,即可在比重计上读出液体的相对密度。

相对密度为流体密度与4°C时的水密度之比,用符号 d_4^t 表示,习惯称为比重。即:

$$d_4^t = \rho / \rho_{\text{水}} \quad (1-2)$$

式中 ρ ——液体在 t °C时的密度;

$\rho_{\text{水}}$ ——水在4°C时的密度。

由式(1-2)可知,相对密度是没有单位的。因为水在4°C时的密度为1000kg/m³,所以 $\rho = 1000d_4^t$,即将相对密度值乘以1000则得液体的密度值。

气体具有可压缩性及热膨胀性,其密度随温度和压力有较大的变化。在工程计算中,对一般温度和压力下的气体,可按理想气体来处理。

由理想气体状态方程式:

$$pV = nRT = (m/M)RT$$

得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \text{ kg/m}^3 \quad (1-3)$$

式中 p ——气体的压力, kPa;

T ——气体的温度, K;

M ——气体的分子量, kg/kmol;

R ——通用气体常数, 8.314kJ/kmol·K。

任何气体的 R 值均相同。 R 的数值,随所用 p 、 V 、 T 等的单位不同而异。选用 R 值时,应注意其单位。

例 1-1 求甲烷在47°C和0.5MPa时的密度。

解 已知 $p = 0.5\text{MPa} = 500\text{kPa}$

$$T = 47 + 273 = 320\text{K}$$

$$M = 16\text{kg/kmol}$$

$$R = 8.314\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$$

则

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{500 \times 16}{8.314 \times 320} = 3.01\text{kg/m}^3$$

单位质量流体的体积,称为流体的比容,用符号 v 表示,即:

$$v = V/m = 1/\rho \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (1-4)$$

式(1-4)表明,比容与密度互为倒数。若已知流体的密度,可用式(1-1)或式(1-4)计算流体的质量或体积。

例 1-2 某输酸管路每小时输送20°C98%的硫酸10t,试求每小时通过的硫酸体积为若干m³?

解 查附录得,20°C98%硫酸的密度为1836kg/m³。