

绪 论

一、化工单元过程课程设计的目的和要求

化工单元操作设计是让学生综合运用《流体流动与传热》和《传质与分离技术》等有关先修课程的基本知识去完成某一设计任务的实践性训练，也是为了更好地培养应用型技术人才而进行实践操练的教学环节。该训练的目的在于使学生学会如何运用化工单元操作的基本原理、基本规律以及常用设备的结构和性能等知识去解决工程上的实际问题；是培养学生正确树立工程观念和严谨的科学作风。

虽然课程设计未能达到完整的工程设计要求，但也不同于平时的习题练习。在设计过程中不仅需要学生自己查阅文献资料、确定设计方案、选择工艺流程、进行工艺计算等，而且要对自己的选择做出充分论证和校核，最终选定符合实际生产要求的最佳设计方案。因此，化工单元操作设计是一门化工基础课程教学中综合性和实践性较强的教学环节，也是培养提高学生独立工作能力的有益实践，更是理论联系实际的有效手段。

通过课程设计，学生们应该在以下几方面的能力得到提高。

- 熟悉查阅文献资料、搜集有关数据、运用计算公式等方法；
- 独立思考如何兼顾技术上的先进性、可行性、经济上的合理性；
- 综合分析设计的任务和要求，正确选定工艺流程、工艺设备型号等；
- 正确掌握过程计算以及工艺设备的设计计算方法；
- 学会用精练的语言、简洁的文字、清晰的图表来表达自己的设计思想和设计结果。

二、化工单元过程课程设计的主要内容

- (1) 准备工作 查阅资料、手册等有关物性数据。
- (2) 选择设计方案 包括工艺流程以及主要设备型式的选择。
- (3) 主要设备的工艺设计计算 包括工艺参数的选定、物料衡算、热量衡算、设备工艺尺寸计算。
- (4) 辅助设备的选型和计算 包括辅助设备的主要工艺尺寸计算和设备型号规格的选定。
- (5) 设计论证 包括计算结果的反复校核、技术上的可行性、生产上的安全性以及经济上的合理性等。
- (6) 工艺流程简图的绘制 包括物料流向以及化工参数测量点的标注。
- (7) 主要设备结构简图的绘制 包括工艺尺寸、技术特性表和接管表。
- (8) 编写设计说明书 包括以下几项：前言；目录；设计题目（任务书）；设计计算与说明；设计方案的说明和论证；设计数据汇总；工艺流程示意图；对设计的评述及有关问题的讨论；参考文献。

三、怎样进行课程设计

首先要明确设计任务，了解生产工艺流程。课程设计主要是强调工艺流程中主体设备的

设计。主体设备是指在每个单元操作中处于核心地位的关键设备，如传热过程中的换热器，蒸馏和吸收中的塔设备（板式塔和填料塔），干燥过程中的干燥器。课程设计就是对主体设备的工艺尺寸以及结构设计的计算进行正确分析、筛选及论证，最终确定合理的工艺条件，并用一张总图表示出来。

其次要进行技术经济评价。技术经济评价是化工规划、设计、施工和生产管理中的重要手段，经过反复修改和多次更新评价，最终可以确定最佳方案，达到化工过程最优化目的。

第一章 概论

第一节 化工设备材料性能和选用

一、材料的一般性能

1. 力学性能

力学性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性，如强度、硬度、弹性、塑性、韧性等，这些性能是化工设备设计中材料选择及计算中决定许用应力的依据。

(1) 强度 材料的强度是指材料抵抗外力作用不发生破坏的能力。关于材料在常温下的强度、弹性、塑性的知识在化工设备机械基础课程中已学过，这里仅介绍高温强度的知识。在高温下，金属材料的屈服限 σ_s 、抗拉强度限 σ_b 都会发生显著变化。通常随着温度增加，金属的强度降低，塑性增加。

(2) 硬度 材料的硬度是指抵抗压入物体（钢球或锥体）压陷能力的大小。它同时体现了材料对局部塑性变化的抵抗能力。一般情况下，硬度高的材料强度高，耐磨性能较好，而切削加工性能较差。

(3) 塑性 材料的塑性是指材料受力时，当应力超过屈服点后能产生显著的变化而不即行断裂的性质，残余的变形称塑性变形。工程上常以延伸率 δ 和断面收缩率 φ 作为材料塑性的指标。 δ 和 φ 值愈大，材料塑性愈好。

(4) 冲击韧性 对于承受有波动或冲击载荷的零件及在低温条件下使用的设备，其材料性能仅考虑几种指标是不够的，必须考虑抗冲击性能。表示材料抵抗冲击载荷能力大小的指标称冲击韧性。

2. 理化性能

金属材料的物理性能有密度、熔点、比热容、导热系数、热膨胀系数、导电性、磁性、弹性模量与泊松比等。常用金属材料的物理性能列于表 1-1。

表 1-1 几种常用金属的物理性能

金 属	密度 ρ /(g/cm ³)	熔点 t_m /℃	比热容 /[J/(kg·K)]	导热系数 λ /[W/(m·K)]	线膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6}$ /(1/℃)	电阻率 ρ /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	弹性模量 E /MPa	泊松比 μ
灰铸铁	7.0~7.4	1250~1280	0.54	25~27	11.0	0.6	(1.5~1.6) $\times 10^5$	0.23~0.27
高硅铁 Si-15	6.9	1220	—	5.2	4.7	0.63	—	—
碳钢及 低合金钢	7.85	1400~1500	0.46	46~58	11.2	0.11~0.13	(2.0~2.1) $\times 10^5$	-0.24~0.28
1Cr18Ni9Ti	7.9	1400	0.50	14~19	17.3	0.73	2.1×10^5	0.25~0.30
铜	8.94	1083	0.39	384	16.4	0.017	1.0×10^5	0.31~0.34
68 黄铜	8.5	940	0.38	104~116	20.0	0.072	1.0×10^5	0.36

续表

金 属	密度 ρ /(g/cm ³)	熔点 t_m /℃	比热容 /[J/(kg·K)]	导热系数 λ /[W/(m·K)]	线膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6}$ /(1/℃)	电阻率 ρ /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	弹性模量 E /MPa	泊松比 μ
铝	2.71	657	0.91	219	24.0	0.026	0.69×10^5	0.32~0.36
铅	11.35	327	0.13	35	29.2	0.22	0.17×10^5	0.42
镍	8.8	1452	0.46	58	34	0.092	1.7×10^5	0.27~0.29

金属的化学性能是指材料在所处介质中的化学稳定性，即材料是否会与周围介质发生化学和电化学作用而引起腐蚀。金属的化学性能指标主要有耐腐蚀性和抗氧化性。

(1) 耐腐蚀性

金属和合金对周围介质，如大气、水汽、各种电解液侵蚀的抵抗能力叫耐腐蚀性。化工生产中所处理的物料常有腐蚀性。材料的耐腐蚀性不强，必将影响设备的使用寿命，有时还会影响产品的质量。

工程上常粗略地将耐腐蚀性评为三级，列于表 1-2。

表 1-2 耐腐蚀性能三级标准

耐腐蚀性能分类	耐蚀等级	腐蚀速度 (mm/年)
耐蚀	1	<0.1
尚耐蚀、可用	2	0.1~1
不耐蚀、不宜用	3	>1

常用金属材料在酸、碱、盐类介质中的耐腐蚀性能见表 1-3。

表 1-3 常用材料在不同温度和含量的酸碱盐类介质中的耐蚀性

材料	硝 酸		硫 酸		盐 酸		氢氧化钠		硫酸铵		硫化氢		尿 素		氨		
	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	
灰铸 铁	×	×	70%~ 100% (80%~ 100%)	20 70	×	×	(任) (480)		×	×			×	×			
高硅 铁 Si- 15	≥40% <40%	≤沸 <70	50%~ 100%	<120 (<35%)	(30)	(34%)	(100)		耐	耐	潮湿	100	耐	耐	(25%)	(沸)	
碳钢	×	×	70%~ 100% (80%~ 100%)	20 (70)	×	×	≤35% ≥70% 100%	120 260 480	×	×	80%	200	×	×		(70)	
18-8 型不 锈钢	<50% (60% ~80%) 95%	沸 (沸) 40	80%~ 100% (<10%)	<40 (<40)	×	×	≤70% (熔 体)	100 (320)	(饱)	250		100				溶 液 与 气 体	100

续表

材料	硝 酸		硫 酸		盐 酸		氢 氧 化 钠		硫 酸 铵		硫 化 氢		尿 素		氨	
	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃	质量 分数	温度 /℃
铝	(80%~ 95%) >95%	(30) 60	×	×	×	×	×	×	10%	20		100			气	300
铜	×	×	<50% (80%~ 100%)	60 (20)	(<27%)	(55%)	50%	35	(10%)	(40)	×	×			×	×
铅	×	×	<60% (<90%)	<80 (90)	×	×	×	×	(浓)	(110)	干燥 气	20			气	300
钛	任	沸	5%	35	<10%	<40%	10%	沸						耐	耐	

注：表中数据及文字为材料耐腐蚀的一般条件，其中，带括弧（）者为尚耐蚀；“×”为不耐蚀；“任”为任意浓度；“沸”为沸点温度；“饱”为饱和温度，熔体为熔融体。

(2) 抗氧化性

在化工生产中，有很多设备和机械是在高温下操作的，如氨合成塔、硝酸氧化炉、石油气制氢转化炉等。在高温下，钢铁与自由氧、水蒸气、二氧化碳、二氧化硫等气体产生高温氧化与脱碳作用，使钢铁表面形成 FeO 氧化皮，结构疏松容易剥落。脱碳使钢的力学性能下降，特别是降低了材料的表面硬度和抗疲劳强度。因此，高温设备必须选用耐热材料。

(3) 加工工艺性能

金属和合金的工艺性能是指可铸造性能、可锻造性能、可焊接性能和可切削加工性能等。这些性能直接影响化工设备和零部件的制造工艺方法和质量。故加工工艺性能是化工设备选材时必须考虑的因素之一。

二、化工设备材料选择

在设计和制造化工设备时，合理选择和正确使用材料十分重要。这不仅要从设备结构、制造工艺、使用条件和寿命等考虑，而且要从材料的物理性能、力学性能、耐腐蚀性能、材料价格与供应等方面综合考虑。

设备设计中，屈服极限、抗拉强度极限是决定钢板使用应力的依据。选用材料的强度越高，容器的强度尺寸（如容器壁厚度）可以越小，从而节省金属材料的用量。但强度高的材料，塑性、韧性较低，制造困难。因此，要根据设备具体工作条件和技术经济指标恰当选择。关于材料耐蚀性，可参考表 1-3。关于材料的经济性，在满足设备使用性能前提下，选用材料应注意其经济效果。现将一些常用材料的相对比价列于表 1-4。碳钢与铸铁的价格比较低廉，在满足设备耐蚀性能与力学性能条件下应优先选用。同时，还应考虑国家生产与供应情况，因地制宜选取，品种应尽量少而集中，以便于采购与管理。

表 1-4 钢材相对比价

钢 材	材 料 种 类	相 对 比 价	备 注
钢 板	普通钢板	1	热轧中厚钢板 6~30mm
	优质钢板	1.5	厚 6~40mm
	普通低合金钢板	1.2	厚 4~40mm

续表

钢 材	材 料 种 类	相 对 比 价	备 注
钢 板	铬镍不锈钢板	17.5	1Cr18Ni9Ti 等厚 1~20mm
	超低碳不锈钢	34.2	厚 1~20mm
	紫铜板	12.08	厚 0.5~15mm
	钛板	173.33	钛合金冷轧
管 材	普通无缝管 (热轧)	1	$\phi 38\text{mm} \sim \phi 159\text{mm}$
	普通无缝管 (冷拔)	1.69	$\phi 76\text{mm}$
	铬不锈钢管	1.29	$< \phi 76\text{mm}$ (热轧)
	铬镍不锈钢管	4.35	$< \phi 76\text{mm}$ (冷拔)
	紫铜管	7.6	$\phi 5\text{mm} \sim \phi 75\text{mm}$
	钛管	63.11	

注：本表以 1989 年国家牌价为依据进行比较。

第二节 化工设备图的表达

一、化工设备图常用表达方法

化工设备的基本形体多为回转体，故常采用两个基本视图，再配以局部视图来表达。装配图上除了标题栏明细表和技术要求外，还有管口表和技术特性表。

1. 基本视图表达方法

对立式设备，常用主视图表达轴向形体，且常作全剖，用俯视图表达径向形体。对于高大的设备也可横卧来画，和卧式设备表达方法相同，以主视图表达轴向形体，用左（右）视图表达径向形体。对特别高大或狭长的设备，如果视图难以按投影位置放置时，允许将俯视（左视）图绘制在图样的其他空处，但必须注明“俯（左）视图”或“X 向”等字样。当设备需较多视图才能表达完整时，允许将部分视图画在数张图纸上，但主视图及该设备的明细表、技术要求、技术特性表、管口表等均应安排在第一张图纸上，同时在每张图纸上应说明视图间的关系。

2. 多次旋转表达

为了在同一主视图上反映出结构方位不同的管口和零部件的真实形状和位置，在化工设备图中常采用多次旋转画法，并允许不作旋转方向标注，但其周向方位应以管口方位图或以俯（左）视图为准，如图 1-1 所示。当旋转后出现图形重叠现象时应改用局部视图等方法另行画出（如管口 d 就不能旋转重叠画出）。

3. 局部放大表达

按总体尺寸选定的绘图比例，往往无法将其局部结构表达清楚，因此常用局部放大图（又称节点放大图）来表示局部详细结构，局部放大图常用剖视、剖面来表达，也可用一组视图来表达。

4. 夸大表达

某些部位因绘图比例较小，可采用不按比例的夸大画法，如设备的壁厚常用双线夸大地画出，剖面线符号用涂色方法来代替。

此外，设备中如有若干个结构相同仅尺寸不同的零部件时，可集中综合列表表达它们的尺寸，如图 1-2 所示。

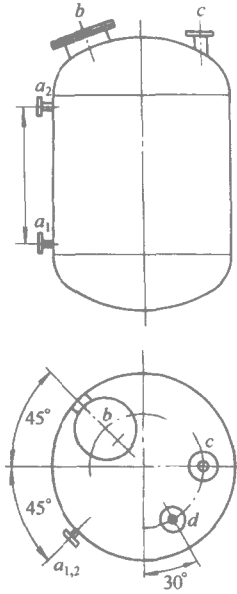
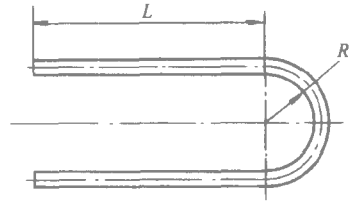


图 1-1 主视、俯视图表示方法



(mm)				
序号	1	2	3	...
R	40	45	50	...
L	550	600	650	...
全长	1580	2000	3000	...

图 1-2 尺寸、列表表示

二、化工设备图的绘制方法

1. 化工设备图的简化画法

绘制化工设备图时可采用一些简化画法，现举例如下。

设备上的某些结构，如果已画了零部件图或以用其他方式表达清楚时，装配图上允许用单线表示。

对标准件、外购件、或有复用图的零部件，在装配图中只需按比例画它们的外壳轮廓，如电动机、标准人孔、手孔等都可按此简化表达。如图 1-3 所示。

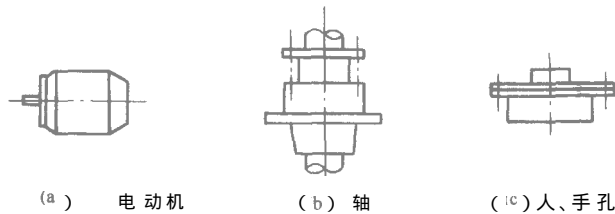


图 1-3 零部件图的简化画法

重复结构的简化画法 对螺栓孔和螺栓连接可如图 1-4 所示简化表示。

对设备中装放的填充物，在装配图的剖视中可用交叉的细直线及有关尺寸和文字简化表达，如图 1-5 所示。

多孔板孔眼的几种简化表达如图 1-6 所示。当设备有密集管子，如列管式换热器中的换热管，在装配图上可只画一根管，其余的均用中心线表示。

管法兰的简化画法 装配图中管法兰的画法均可简化成如图 1-7 所示而不必分清连接面是什么型式，对其类型、密封面型式、焊接型式等均在明细表和管口表中标出。对于特殊结构的法兰，要用局部视图表示，如图 1-8 所示，其中衬层断面可不加剖面符号。

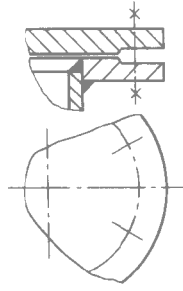


图 1-4 重复结构的简化画法

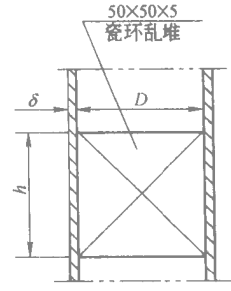


图 1-5 填充物简化画法

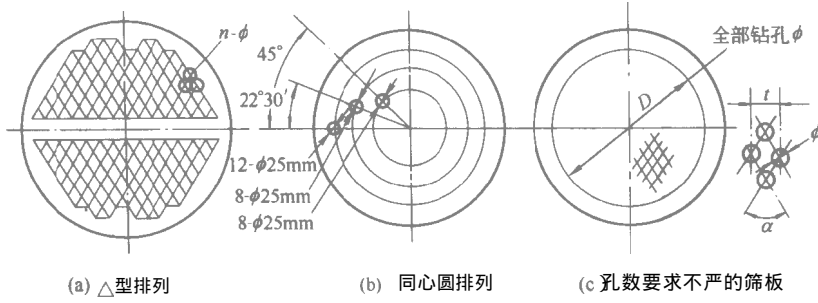


图 1-6 多孔板画法的简化表达

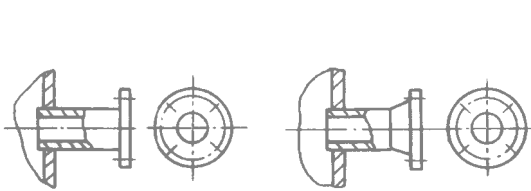


图 1-7 法兰的简化画法

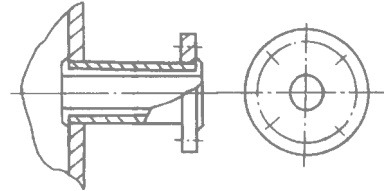


图 1-8 特殊结构法兰局部视图表示

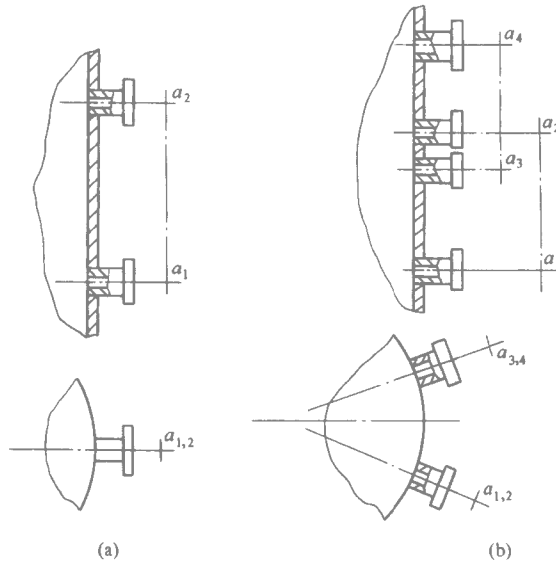


图 1-9 液面计的简化画法

液面计的简化画法图 1-9 为液面计的简化表达。

2. 焊缝画法和标注

化工设备图的焊缝画法应符合国家标准《机械制图》的规定，其标注内容应包括接头型式、焊接方法、焊缝结构尺寸和数量等内容。对于常低压设备，在装配图的剖视中采用涂黑表示焊缝的剖面，如图 1-10 所示。对它的标注，一般只需在技术要求中统一说明采用的焊接方法以及接头型式等要求。例如在装配图的技术要求中常注以“本设备采用手工电弧焊，焊接接头型式按 GB 985—80 规定”等字样。

当设备中某些焊缝结构的要求和尺寸，未能包括在统一说明中或有特殊需要必须单独注明时，可在相应的焊缝结构处注出焊缝代号或接头文字代号。焊缝代号的详细规定可参阅国标《焊缝代号》GB 324—88。此外，在技术要求中还要对采用的焊条型号、焊缝的检验等作说明。

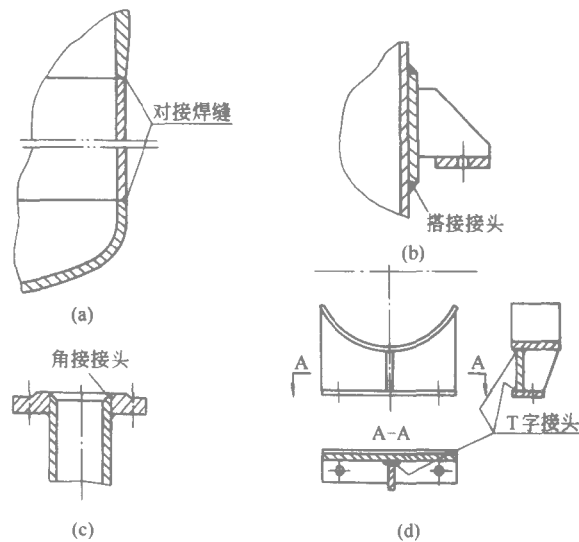


图 1-10 焊缝剖面的表示

三、化工设备设计步骤

1. 准备阶段

首先结合设计任务书，查阅相关文献资料，充分了解化工单元设备的结构特点。另外需要准备绘图工具，有关设计手册等必备资料。

2. 设计阶段

(1) 选定设计方案 主要包括设计的工艺流程，气体设备的结构型式以及重要的操作方式、操作参数的确定。

(2) 主体设备的工艺设计计算 包括工艺参数的选定，物料衡算、热量衡算、设备的工艺尺寸计算以及设计校核的计算。

(3) 典型辅助设备的选型和计算 包括典型辅助设备的主要工艺尺寸计算和设备型号规格的选定。

3. 编写设计说明书

设计说明书是课程设计的主要成果之一。其内容包括以下六部分：

- 说明书的目录和设计任务书；
 前言——对本设计进行概括的介绍和有关说明；
 工艺计算部分；
 工艺流程图和主体设备结构图，并作出适当说明；
 设计结果与讨论，汇总设计结果一览表和提出适当建议；
 ⑥ 设计中所引用的参考书目，写出书名、作者、出版单位和出版时间。

第三节 化工工艺数据的收集和整理

一、物性参数的查询和计算

1. 手册查询

常用物质的物性数据，前人已系统地进行测定、归纳总结，并以图表形式表达出来。这些数据可以从有关化学化工类手册或专业性的化工手册中查到。如《化学工程手册》、《化工工艺算图》、《化工工艺设计手册》、Headbook of Chemistry and Physics, 55th Edition, R. C. Weast. ed; Chemical Rubber Publishing Company, 1974—1975, 等。

2. 混合物物性参数的计算

通过查询有关手册、文献资料一般可以获得纯物质的物性数据，而化工生产过程中所处理的物料大多为混合物。对于各种不同混合物，物性数据只能通过计算的方法来获得。常见混合物物性数据的计算方法如下。

(1) 混合物的临界常数

计算混合物假临界性质的简单而广泛应用的方法是 Kay 规则，即混合物的假临界常数为纯物质（组分）临界常数的摩尔平均值。

$$p_{c,m} = \sum_{i=1}^n y_i p_{c,i} \quad (1-1)$$

$$T_{c,m} = \sum_{i=1}^n y_i T_{c,i} \quad (1-2)$$

式中 $p_{c,m}$ ——混合物的假临界压力；
 $T_{c,m}$ ——混合物的假临界温度；
 y_i ——混合物中纯组分 i 的摩尔分数；
 $p_{c,i}$ ——组分 i 的临界压力；
 $T_{c,i}$ ——组分 i 的临界温度；
 n ——混合物中纯组分总数。

(2) 理想气体混合物的密度

理想气体混合物的密度也可用纯理想气体密度的计算式进行计算，只是摩尔质量需用混合气体的平均摩尔质量。

$$\rho_m = \frac{M_m}{22.4} \times \frac{T^\ominus p}{T p^\ominus} \quad (1-3)$$

$$M_m = \sum_{i=1}^n y_i M_i \quad (1-4)$$

式中 ρ_m ——理想混合气体的密度；
 M_m ——混合气体的平均摩尔质量，kg/kmol；
 T^\ominus 、 p^\ominus ——标准状态下的温度、压力；
 T ——混合气体的实际温度。

(3) 液体混合物的密度

$$\frac{1}{\rho_m} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\rho_i} \quad (1-5)$$

式中 x_i ——混合液中纯组分 i 的摩尔分数。

(4) 混合物的粘度

常压下气体混合物的粘度，可采用下式计算。

$$\mu_m = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu_i M_i^{1/2}}{\sum_{i=1}^n y_i M_i^{1/2}} \quad (1-6)$$

式中 μ_m ——常压下混合气体的粘度；
 μ_i ——与混合气体同温、同压下纯组分 i 的粘度；
 M_i ——纯组分 i 的摩尔质量，kg/kmol；
 y_i ——混合气中纯组分 i 的摩尔分数。
 分子不缔合的液体混合物的粘度，可用下式计算。

$$\lg \mu_m = \sum_{i=1}^n x_i \lg \mu_i \quad (1-7)$$

式中 μ_m ——混合液的粘度；
 μ_i ——混合液温度下纯组分 i 粘度；
 x_i ——混合液中纯组分 i 的摩尔分数。

(5) 混合物的导热系数

常压下气体混合物的导热系数，可用下式计算。

$$\lambda_m = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i M_i^{1/3}}{\sum_{i=1}^n y_i M_i^{1/3}} \quad (1-8)$$

式中 λ_m ——混合气体的导热系数；
 λ_i ——与混合气同温、同压下纯组分 i 的导热系数；
 其他符号同上。

有机化合物水溶液导热系数的估算式为

$$\lambda_m = 0.9 \sum_{i=1}^n x_i \lambda_i \quad (1-9)$$

式中 x_i ——水溶液中组分 i 的摩尔分数；
 其他符号同上。

有机化合物的互溶混合液导热系数的估算式为

$$\lambda_m = \sum_{i=1}^n x_i \lambda_i \quad (1-10)$$

(6) 溶液的表面张力

可以通过下式估算

$$\sigma_m = \sum_{i=1}^n x_i \sigma_i \quad (1-11)$$

式中 σ_m ——混合溶液的表面张力；

σ_i ——溶液温度下纯组分 i 的表面张力。

以上有关混合物物性计算式均为经验式。使用经验式都有一定的范围条件，在此不作详述，只推荐作为课程设计时使用。

(7) 混合物的汽化热

混合物的汽化热可根据组成混合物各纯组分的，按摩尔分数假以平均计算。

$$r_m = \sum_{i=1}^n x_i r_i \quad (1-12)$$

式中 r_m ——混合物的平均汽化热；

r_i ——与混合物同温、同压下纯组分 i 的汽化潜热。

(8) 溶液的比热容

水溶液的定压比热容可按下面的经验公式估算

$$c_{p,m} = c_{p,w}(1-x) + c_{p,B}x \quad (1-13)$$

式中 $c_{p,m}$ ——水溶液的比热容， $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ；

$c_{p,w}$ ——纯水的比热容；

$c_{p,B}$ ——溶质的比热容；

x ——溶液中溶质的摩尔分数。

当 $x < 0.2$ 时，上式可以简化为： $c_{p,m} = c_{p,w}(1-x)$

二、化工工艺的基本计算

1. 物料恒算

为了弄清生产过程中原料、成品以及损失的物料数量，必须要进行物料恒算。物料恒算为质量守恒定律的一种表现形式，即：

$$\sum G_{in} = \sum G_{out} \quad (1-14)$$

式中 $\sum G_{in}$ ——输入物料的总和；

$\sum G_{out}$ ——输出物料的总和。

经过物料恒算，可以求出加入设备和离开设备的物料（包括原料、中间体、成品）各组分、质量和体积，依此可以进一步计算产品的原料消耗定额、日耗量、年耗量等设计所必需的基础数据，为以后确定设备的容量、套数和主要工艺尺寸等设计工作做好准备。

例 如图 1-11 所示。每小时 100kmol 含苯 30%（摩尔分数，下同）和甲苯 70% 的混合溶液，在连续精馏塔中进行分离，要求塔顶含苯大于 98%，塔釜馏出液含苯小于 1.5%，试求塔顶、塔釜的产量。

解

$$F = D + W$$

$$F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W$$

$$\begin{cases} 100 = D + W \\ 100 \times 0.30 = D \times 0.98 + W \times 0.015 \end{cases}$$

$$D = 28.4(\text{kmol/h})$$

$$W = 71.6(\text{kmol/h})$$

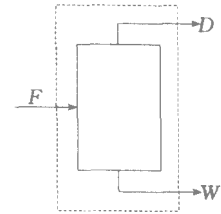


图 1-11

2. 能量恒算

机械能、热量、电能、磁能、化学能、原子能等统称为能量，各种能量间可以相互转换，化工计算中遇到的往往不是能量间转换问题，而是总能量恒算。

能量恒算的依据是能量守恒定律，对热量恒算可以写成

$$\sum Q_I = \sum Q_0 + Q_L \quad (1-15)$$

式中 $\sum Q_I$ —— 随物料进入系统的总热量；

$\sum Q_0$ —— 随物料离开系统的总热量；

Q_L —— 向系统周围散失的热量。

作热量恒算时也和物料恒算一样，要规定出恒算基准和范围。

三、设计参数的调整

所谓设计参数是设计过程涉及的物理量和生产控制指标，包括物性参数、过程参数、结构参数。

设计中常用的物性参数有定压热容、密度、粘度、导热系数等，一般由设计者查询有关手册或通过有关经验公式计算，在设计过程中是不允许随意调整或更改的。同样对于过程参数一般都是由生产工艺而定（即由设计任务书给定，如温度、压力、体积等），在设计过程中是不能随意改变的，而结构参数在设计中根据生产工艺的要求可以反复调整，直到满意为止。所谓结构参数就是指设备形状和尺寸的几何尺寸，如塔高、塔径、板间距等，设计者可以通过自己的设计计算结果进行适当筛选、优化，最终获得最佳工艺尺寸。

第二章 化工管路

第一节 概述

一、管路的作用

管路是由管子、管件和阀门等连接而成的。在化工厂中，管路纵横交错，犹如人体中的血管一样，占有重要地位。管路的作用主要是用来连接生产中的设备和输送各种性质不同的流体。在生产中，只有管路畅通，阀门调节适当，才能保证整个生产正常运行，所以管路在生产中起着极其重要的作用。

二、管路标准化

化工管路标准化的目的是：便于大量生产；便于安装维修；减少仓库中备品备件储量以及有利于设计工作。

化工管路标准化的内容是：规定管子、管件、阀门、法兰和垫片的直径、连接尺寸和结构尺寸的标准，以及压力的标准等。其中直径标准和压力标准是选择管子和管路附件的基本依据。

1. 公称直径

管子和管件的公称直径是为了设计、制造、安装和维修的方便而规定的一种标准直径。一般情况下，公称直径的数值既不是管子或管件的内径也不是外径，而是与管子或管件的内径相接近的整数。在有些情况下，公称直径的数值等于管子的实际内径，如铸铁管。

公称直径用 DN 表示，其后附加公称直径的尺寸。例如：公称直径为 100mm ，可表示为 $DN100$ 。有缝钢管的规格常用公称直径表示，而无缝钢管的规格常用 ϕ 外径 \times 壁厚表示，如 $\phi 108\text{mm} \times 4\text{mm}$ 。管子和管路附件的公称直径见表 2-1。

表 2-1 管子和管路附件的公称直径

公称直径/mm(in)	公称直径/mm(in)	公称直径/mm(in)	公称直径/mm(in)
1	$10\left(\frac{3}{8}\right)$	$65\left(2\frac{1}{2}\right)$	225
2	$15\left(\frac{1}{2}\right)$	80(3)	250
3	$20\left(\frac{3}{4}\right)$	100(4)	300
4	25(1)	125(5)	350
5	$32\left(1\frac{1}{4}\right)$	150(6)	400
$6\left(\frac{1}{8}\right)$	$40\left(1\frac{1}{2}\right)$	175	450
$8\left(\frac{1}{4}\right)$	50(2)	200	500

2. 公称压力

公称压力是为了设计、制造和使用上的方便而规定的一种标准压力，在数值上它正好等

于第一级工作温度下的最大工作压力。由于管材的机械强度随温度的升高而下降，所以最大工作压力随介质的温度升高而减小。管路的最大工作压力应等于或小于公称压力，参见表 2-2。公称压力用符号 p_N 表示，例如：公称压力为 10MPa，用 p_N10 表示。

表 2-2 钢材及制件的公称压力和最大工作压力（摘录）

材 料	介质工作温度/℃						
	Q235-A	200	250	275	300	325	350
10、20、35、20g	200	250	275	300	325	350	375
16Mn	200	300	325	350	375	400	410
15MnV	250	300	350	375	400	410	420
公称压力/MPa	最大工作压力/MPa						
0.1	0.1	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	
0.25	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17
0.6	0.6	0.55	0.51	0.48	0.45	0.43	0.40
1.0	1.0	0.92	0.86	0.81	0.75	0.71	0.67
1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.05
2.5	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7
4.0	4.0	3.7	3.4	3.2	3.0	2.8	2.7
6.4	6.4	5.9	5.5	5.2	4.9	4.6	4.4
10.0	10.0	9.2	8.6	8.1	7.6	7.2	6.8

注：表中所列压力均为表压。

第二节 管子及其选用

一、管子

化工生产中常用的管子种类很多，按材料可分为金属管、非金属管和衬里管三大类。

(一) 金属管

1. 有缝钢管（水、煤气管）

水、煤气管分镀锌的白铁管和不镀锌的黑铁管两种。常用于输送水、蒸汽、煤气、压缩空气和腐蚀性较小的流体。介质最高温度不超过 200℃，正常工作压力（表压）普通管不大于 0.6MPa，加厚管不大于 1MPa。

2. 无缝钢管

无缝钢管按制造方法分热轧和冷拔两种，按材料又分碳钢、优质碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热铬钢管等。无缝钢管强度高，可用在高温、高压、易燃、易爆和有毒介质的管路上。普通碳钢的最大工作温度为 250℃，优质碳钢为 450℃，耐热合金钢可达 900~950℃。

3. 铸铁管

铸铁管比钢管耐腐蚀而价廉，常用于地下给水总管、煤气总管和污水管，也可用于输送碱液和浓硫酸等。铸铁管性脆，强度低和紧密性差，不宜用于输送高压、有毒或易爆炸气体。

4. 铜管

铜管分紫铜管和黄铜管。紫铜管和黄铜管具有良好的导热性和低温的力学性能，常用于制造换热设备、制氧设备中的低温管路，以及机械设备中的油管和控制系统的管路。当工作

温度高于 250 时，不宜在压力下使用。

5. 铝管

铝管有较高的耐腐蚀性，常用于输送浓硝酸、醋酸、甲酸、硫化氢及二氧化碳等介质，还可以输送硫酸盐、尿素、磷酸等腐蚀性介质。不能用于盐酸、碱液、特别是含氯离子的化合物。最高使用温度为 200℃，温度高于 160 时，不宜在压力下使用。由于铝管导热性好，也常用来制造换热设备。

6. 铅管

铅管常用于输送酸性介质，能输送 15%~65% 的硫酸、干或湿的二氧化硫、60% 的氢氟酸、含量小于 80% 的醋酸、含量小于 10% 的盐酸。但不宜输送硝酸、次氯酸盐及高锰酸盐类等介质。最高使用温度为 200℃，工作温度高于 140 时，不宜在压力下使用。由于铅管有强度低、密度大、抗热性差等缺点，因此，近年来已逐渐被各种耐酸合金管和塑料管所代替。

(二) 非金属管

1. 塑料管

塑料管的主要优点是抗腐蚀性好、质轻、加工容易。其缺点是耐热性差、强度低，但由于性能上的不断改进，在许多方面可以取代金属管。常用的塑料管有如下几种。

(1) 硬聚氯乙烯塑料管 它除氧化剂（如含量大于 50% 的硝酸、发烟硫酸等）及苯、甲苯、酮类等碳氢化合物外，几乎能耐任何浓度的各类酸、碱、盐类及有机溶剂的腐蚀。适用温度为 -15~60℃，常温下适用压力为轻型管小于 0.6MPa 重型管（壁厚较厚）小于 1.0MPa。

(2) 耐酸酚醛塑料管 它能耐大部分酸类、有机溶剂等介质的腐蚀，特别能耐盐酸、氯化氢、硫化氢、二氧化硫、三氧化硫、低浓度及中等浓度硫酸的腐蚀，但不耐强氧化性酸（如硝酸、铬酸等）及碱、碘、溴、苯胺、吡啶等介质的腐蚀。适用温度一般为 -30~130℃，挤压成型管子耐温性较好。其适用压力与管子的直径有关，见表 2-3。

表 2-3 不同管径耐酸酚醛塑料管的公称压力

公称直径 DN/mm	33	54	78	100	150~300	350~500	550~1000	1100~1200
公称压力 pN/MPa	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	0.06

2. 陶瓷管

陶瓷管耐腐蚀性好，除氢氟酸、氟硅酸和强碱外，能耐各种浓度的无机酸、有机酸和有机溶剂等介质的腐蚀。其缺点是性脆、不耐压、不耐温度剧变。其使用温度与陶瓷管的规格尺寸有关。推荐使用温度：耐酸管不大于 90℃，耐温管不大于 150℃，一般瓷管不大于 120℃。输送流体压力不超过 0.2MPa。

3. 玻璃管

玻璃管的优点是耐腐蚀、透明、光滑、耐磨、价廉。其缺点是耐压和耐热性差，容易损坏。玻璃管除氢氟酸、氟硅酸、热磷酸及强碱外，能耐大多数无机酸、有机酸及有机溶剂等介质的腐蚀。玻璃管可以用于温度为 30~150℃，温度急变不超过 80 的场合，高强度玻璃管的工作压力可达 0.8MPa。

4. 橡胶管

橡胶管是用天然或人造生橡胶与填料（硫磺、炭黑和白土等）组成的混合物，经加热硫

化后制成的挠性管子。能抵抗多种酸碱液，但不能抵抗硝酸、有机酸和石油产品，允许的工作温度在 170 以下。橡胶管只作临时管路及某些管路的挠性连接件，不得作永久性的管路。

(三) 衬里管

凡是具有耐腐蚀材料衬里的管子均称为衬里管。一般常在碳钢管内衬里。作为衬里的材料很多，属于金属材料的有铅、铝和不锈钢等，属于非金属材料的有搪瓷、玻璃、塑料和橡胶等。衬里管可以适用于输送各种不同的腐蚀性介质，大量节省不锈钢，所以，今后衬里管必逐渐得到广泛的应用。

二、管子的选用

1. 管材选择

管子的材料主要依据被输送介质的温度、压力、腐蚀情况、管材供应来源和价格等因素综合考虑决定。本着既要保证安全，又要经济合理的原则进行选择。凡是能用低一级的，就不用高一级的；能用一般材料的，就不选用特殊材料。各种管材都有其特点，要选出合适的管材，就必须对各种管材有所了解，同时对输送介质的性质和操作条件进行全面分析，才能做到合理选择管材。

2. 管径的确定

当系统的流量一定时，管径的大小直接影响经济效果。管径小，流体的流速大，管路阻力大，动力消耗增加，使日常操作费用增加。反之，管径增大，虽然动力消耗减少，但设备费用却增加。合理的管径应使设备费用和操作费用之和为最小。管道设计中往往根据常用流速的经验值来计算管径。其计算式为

$$d = \sqrt{\frac{4q_V}{\pi u}}$$

式中 d —— 管子直径，m；

q_V —— 流体的体积流量， m^3/s ；

u —— 流体的流速（选经验值）， m/s 。

由上式算出的管径还应按照管子标准进行圆整，以确定实际管径和实际流速。工业上常用流速范围参见表 2-4。

表 2-4 管内流体的常用流速范围

流体类别及情况	常见流速范围/(m/s)	流体类型及情况	常见流速范围/(m/s)
自来水(表压 0.3MPa 左右)	1~1.5	压缩空气(表压 0.1~0.2MPa)	10~25
工业供水(表压 0.8MPa 以下)	1.5~3	压缩空气(高压)	10
锅炉给水(表压 0.8MPa 以上)	>3	空压机吸入管	<10~15
油及粘度较高液体	0.5~2	空压机排出管	20~25
过热水	2	送风机吸入管	10~15
烟道气(烟道内)	3~6	送风机排出管	15~20
烟道气(管道内)	3~4	车间通风换气(主管)	4~15
饱和水蒸气(表压 0.3MPa 以下)	20~40	车间通风换气(支管)	2~8
饱和水蒸气(表压 0.8MPa 以下)	40~60	往复泵吸入管(水类液体)	0.7~1
饱和水蒸气(表压 3MPa 以上)	80	往复泵排出管(水类液体)	1~2
蛇管入口饱和水蒸气	30~40	离心泵吸入管(水类液体)	1.5~2
化工设备上的排气管	20~25	离心泵排出管(水类液体)	2.5~3
一般气体(常压)	10~20	真空管道	<10