

# 化工原理课程设计

付家新 © 主编

第二版

HUAGONG YUANLI  
KECHENG SHEJI



化学工业出版社



工程师教育培养计划系列教材

卓越

# 化工原理课程设计

付家新 主编

第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为高等院校化工原理课程设计教材, 全书共分七章, 内容包括: 化工原理课程设计基础、搅拌装置、换热装置、蒸发装置、塔设备、液-液萃取装置、干燥装置的工艺设计。为强调化学工程项目设计的实用性和可操作性, 本书选编了 12 个不同类型的化工装置设计示例, 借此引导学生快速掌握化工装置的设计技巧与方法。

本书可作为化工、石油、材料、制药、生物、食品、环境等相关专业的教材, 以及完成毕业设计的参考书, 亦可供化工领域设计、生产与管理部门工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理课程设计/付家新主编. —2 版. —北京:  
化学工业出版社, 2016.7  
卓越工程师教育培养计划系列教材  
ISBN 978-7-122-27039-9

I. ①化… II. ①付… III. ①化工原理-课程设计-  
高等学校-教材 IV. ①TQ02-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 100074 号

---

责任编辑: 徐雅妮 杜进祥

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 关 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 24 $\frac{3}{4}$  字数 664 千字 2016 年 8 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

化工原理课程设计是化工原理课程实践性教学环节之一，是培养学生综合运用化工原理及有关先修课程的基本知识解决某一设计任务的一次设计性训练。通过课程设计训练使学生掌握化工设计的基本程序和基本方法，并在查阅资料、选用公式、合理选定设计参数、用简洁文字和图表表达设计结果以及工程制图能力等方面得到一次基本的训练，帮助学生树立正确的设计思想和工程观点，并在这种设计思想的指导下分析和解决工程实际问题。

化工原理课程设计的对象是化工单元操作设备的工艺设计，是化工工艺设计的主体和重要组成部分。本书第二版延续第一版的风格，增加了换热器 3D 总装图设计和 BTX 精馏分离过程的 Aspen 模拟，充分体现软件在化工设计中的重要作用。对部分内容作了适当删减，尤其是第一版附录中一些过时的或在已有教材中很容易查到的内容全部删去。除此之外还对部分例题进行了更为详细的设计计算。为了引导学生自学与总结，在每章开头增加了【本章导读指引】、每章结尾增加了【本章具体要求】。

本书第二版中装置设计示例依然为 12 个，但略有调整，分别为：（1）釜式搅拌冷却器（夹套与蛇管同时冷却）；（2）非标管式换热器（设计）；（3）标准式管式换热器（选型）；（4）立式热虹吸再沸器；（5）循环型蒸发器；（6）筛板塔；（7）浮阀塔；（8）填料塔；（9）BTX 精馏分离模拟；（10）转盘萃取塔；（11）喷雾干燥塔；（12）流化床干燥器。通过这些典型实例，为学生顺利完成化工原理课程设计提供范本。

本书可作为高等院校化工、石油、材料、制药、生物、食品、环境等专业化工原理课程设计或化工单元过程与设备课程设计教材，亦可供化工领域设计、生产与管理部门工程技术人员参考。

由于编者经验不足，水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正，在此深表谢意。

编 者  
2016 年 4 月

# 第一版前言

本书根据全国化学工程与工艺专业规范化要求，充分考虑社会经济发展对化工人才培养质量的期盼，结合编者在化工企业多年的工作经验及在高校多年从事化工原理课程教学的体会，同时参考同类化工原理课程设计教材编写而成。在编写过程中，充分吸纳了已有教材的优点，突出工程实用性，力求理论与实践相结合。

化工单元操作种类繁多，对应的设备形式更是千变万化。本书不求包罗万象，但力求反映较宽领域内典型装置的工艺设计计算方法，并辅之以丰富而系统的化工装备工艺设计示例，以期读者能够全面了解设计过程中的具体细节，并充分享受设计过程中的乐趣和快感。本书选编了六类典型化工单元操作设备的工艺设计原理和工艺计算方法，充分阐述了与之配套的辅助设备的设计和选型，同时对主体设备的结构设计也进行了强化，将历年来两个原本相互依存而却彼此相互独立的化工原理课程设计与化工机械基础课程设计结合起来，使之形成一个有机的整体。这六类单元操作设备分别是：搅拌装置（夹套式和蛇管式釜式搅拌反应器）、换热装置（列管式换热器、板式换热器和热虹吸式再沸器）、蒸发装置（循环型和单程型蒸发器）、塔设备（板式塔和填料塔）、萃取装置（转盘萃取塔）、干燥装置（喷雾干燥器和流化床干燥器）。

本书精编较为完整的装置设计示例 12 个，过程详细，图表丰富，公式繁多，便于自学，且每章附有设计任务若干，可作为化学化工类本科化工原理课程设计或化工单元过程与设备课程设计教材，亦可供化学工程设计人员以及化工生产管理技术人员参考。

本书由长江大学付家新负责组织实施，长江大学、武汉工程大学、上海工程技术大学共同编写完成。参加本书编写的有长江大学付家新、吴洪特、秦少雄、王任芳、李赓、石东坡、侯明波，武汉工程大学王为国，上海工程技术大学肖稳发等，全书承蒙武汉工程大学王存文教授主审，提出了许多修改意见。在本书的编写过程中，得到了长江大学化学工程与工艺省级品牌专业建设团队和化学与环境工程学院相关部门的领导和同事以及梅平教授、尹先清教授的大力支持与帮助，研究生李萍萍对设计示例计算结果做了大量的复核工作，在此一并表示感谢。同时还要对本书所列参考文献的作者表示诚挚的谢意。

由于编者经验不足，水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者和同行批评指正。

编 者  
2010 年 6 月

# 目 录

<b>第 1 章 化工原理课程设计基础</b> .....	1
1.1 化工设计与化工原理课程设计概述 .....	1
1.1.1 化工设计的分类与化工设计的内容 .....	1
1.1.2 化工工艺设计的主要内容 .....	2
1.1.3 化工原理课程设计的基本要求及基本内容 .....	2
1.2 化工生产工艺流程设计 .....	3
1.2.1 工艺流程图中常见的图形符号 .....	4
1.2.2 工艺流程设计 .....	16
1.3 主体设备设计工艺条件图 .....	22
1.4 混合物物性数据的估算 .....	22
1.4.1 混合物的平均摩尔质量 .....	22
1.4.2 混合物的密度 .....	23
1.4.3 混合物的黏度 .....	23
1.4.4 混合物的热导率 .....	24
1.4.5 混合物的比热容 .....	24
1.4.6 混合物的汽化潜热 .....	25
1.4.7 混合液的表面张力 .....	25
1.5 化工设计中的常用软件 .....	27
<b>第 2 章 搅拌装置的工艺设计</b> .....	29
2.1 概述 .....	29
2.1.1 机械搅拌设备的基本结构 .....	29
2.1.2 搅拌器的类型与选择 .....	30
2.1.3 搅拌器安装形式与流型 .....	33
2.2 搅拌装置工艺设计 .....	34
2.2.1 搅拌功率工艺设计计算 .....	34
2.2.2 搅拌器工程放大 .....	39
2.2.3 搅拌器中的传热 .....	40
2.2.4 搅拌器主要附件 .....	43
2.3 搅拌装置工艺设计示例 .....	46
<b>第 3 章 换热装置的工艺设计</b> .....	53
3.1 概述 .....	53
3.2 管壳式换热器的工艺设计 .....	55
3.2.1 确定设计方案 .....	56
3.2.2 管壳式换热器的结构 .....	60
3.2.3 管壳式换热器的工艺设计计算 .....	68
3.2.4 管壳式换热器工艺设计示例 .....	75
3.3 再沸器的工艺设计 .....	89
3.3.1 再沸器的类型 .....	89
3.3.2 再沸器型式的选择 .....	90
3.3.3 立式热虹吸再沸器的工艺设计 .....	91
3.3.4 立式热虹吸再沸器工艺设计示例 .....	98
3.4 换热器设计任务四则 .....	104
<b>第 4 章 蒸发装置的工艺设计</b> .....	109
4.1 概述 .....	109
4.1.1 蒸发装置的结构特点 .....	110
4.1.2 蒸发装置的选型原则 .....	113
4.1.3 蒸发操作压力的选择 .....	114
4.1.4 多效蒸发的效数与流程 .....	114
4.2 多效蒸发过程的工艺计算 .....	116

4.2.1	各效蒸发量和完成液组成的 估算	117	估计	121	
4.2.2	各效溶液沸点及有效总温度差的 估算	117	4.3.2	循环管的选择	122
4.2.3	加热蒸汽消耗量及各效蒸发水量的 初步估算	119	4.3.3	加热室直径及加热管数目的 确定	122
4.2.4	传热系数 $K$ 的确定	119	4.3.4	分离室直径和高度的确定	122
4.2.5	蒸发器传热面积和有效温差在各效 中的分配	120	4.3.5	接管尺寸的确定	123
4.3	蒸发器主要工艺结构尺寸的设计 计算	121	4.4	蒸发装置的辅助设备	124
4.3.1	加热管的选择和管数的初步		4.4.1	气液分离器	124
			4.4.2	蒸汽冷凝器	125
			4.5	蒸发装置工艺设计示例	128
			4.6	蒸发装置设计任务两则	136

## 第 5 章 塔设备的工艺设计 ..... 138

5.1	概述	138	5.3	填料塔的工艺设计	202
5.2	板式塔的工艺设计	141	5.3.1	设计方案的确定	202
5.2.1	设计方案的确定	141	5.3.2	填料型式的选择	202
5.2.2	塔板型式的选择	143	5.3.3	填料塔的塔内件	207
5.2.3	塔内件工艺结构尺寸的设计 计算	146	5.3.4	填料塔的塔附件	217
5.2.4	塔板上的流体力学计算和校核	160	5.3.5	填料塔塔体工艺结构计算	218
5.2.5	气液负荷性能图	166	5.3.6	填料塔流体力学性能的校核	223
5.2.6	塔体工艺结构尺寸的设计 计算	167	5.3.7	填料吸收塔工艺设计示例	227
5.2.7	塔附件的工艺设计	172	5.4	BTX 精馏分离过程的 Aspen 模拟 示例	246
5.2.8	辅助设备的工艺设计	178	5.5	塔设备工艺设计任务十则	262
5.2.9	筛板塔精馏工艺设计示例	179	5.5.1	板式塔设计任务六则	262
5.2.10	浮阀塔精馏工艺设计示例	191	5.5.2	填料塔设计任务四则	266

## 第 6 章 液-液萃取装置的工艺设计 ..... 270

6.1	概述	270	计算	277	
6.1.1	萃取剂的选择	271	6.2.5	传质和塔高的计算	280
6.1.2	萃取操作参数的选择	272	6.2.6	转盘塔的工艺设计步骤	289
6.1.3	萃取流程的选择	272	6.3	转盘塔的结构设计	290
6.1.4	萃取设备的选择	273	6.3.1	塔体	290
6.2	转盘萃取塔的工艺设计	275	6.3.2	内件	290
6.2.1	转盘萃取塔的基本结构	275	6.3.3	附件	294
6.2.2	转盘塔内的流体流动	276	6.3.4	传动装置	294
6.2.3	转盘塔的主要结构参数	276	6.4	转盘塔工艺设计示例	295
6.2.4	转盘塔的流体力学特征与塔径的		6.5	转盘萃取塔设计任务一则	300

<b>第 7 章 干燥装置的工艺设计</b> .....	302		
7.1 概述 .....	302	7.3 流化床干燥器的设计 .....	340
7.2 喷雾干燥器的工艺设计 .....	305	7.3.1 流态化干燥的特征 .....	340
7.2.1 喷雾干燥的原理和特点 .....	305	7.3.2 流化床干燥器的类型 .....	340
7.2.2 喷雾干燥方案的确定 .....	306	7.3.3 多层流化床干燥过程的数学 描述 .....	344
7.2.3 喷雾干燥过程的工艺计算 .....	313	7.3.4 流化床干燥器的设计计算 .....	350
7.2.4 喷雾干燥塔工艺结构尺寸的设计 计算 .....	315	7.3.5 多层流化床干燥器的设计示例 .....	355
7.2.5 附属设备的设计和选型 .....	325	7.4 干燥装置设计任务两则 .....	364
7.2.6 喷雾干燥塔的设计计算示例 .....	331		
<b>附录</b> .....	366		
附录 1 输送流体用无缝钢管规格 .....	366	附录 4 管法兰 .....	374
附录 2 泵与风机的性能参数 .....	367	附录 5 椭圆形封头 .....	380
附录 3 换热器系列标准 .....	371		
<b>参考文献</b> .....	386		



# 第 1 章

## 化工原理课程设计基础

### 【本章导读指引】

本章将主要介绍：

- ◇ 化工设计、化工工艺设计与化工原理课程设计的内涵及他们之间的相互关系。
- ◇ 化工生产工艺流程图中的常见图形，几种不同形式工艺流程图的作用与图例。
- ◇ 主体设备工艺条件图的构成要件与图例。
- ◇ 混合物物性参数的估算方法。
- ◇ 软件在化工设计中的应用。

## 1.1 化工设计与化工原理课程设计概述

### 1.1.1 化工设计的分类与化工设计的内容

工程设计是科学技术转化为生产力的桥梁和纽带，是整个工程项目建设的灵魂，决定着工业现代化的水平，在工程建设中处于主导地位，它对工程质量、建设周期、投资效益以及投产后的经济效益和社会效益起着决定性的作用。

化工设计是工程设计领域中一个很重要的分支。从一个化工新产品（或一个化工新技术）的试验研究开始到进行工厂（或装置）的建设，整个阶段一般需要进行两大类设计：第一类是新技术开发过程中的几个重要环节，即概念设计、中试设计和基础设计等，这类设计一般由项目研究单位的工程开发部门负责；第二类是工程建设过程中的几个重要环节，它包括可行性研究、初步设计、扩初设计和施工图设计等，这类设计一般由研究单位委托设计单位组织实施。

一个较为完整的化工设计通常涉及化工工艺、土建（房屋和设备基础等）、给排水、采暖、通风、保温、冷冻、电气、自控、仪表、预（概）算等各类专业，其中工艺专业的设计决定了整个设计的概貌，是设计的核心，其他非工艺专业的设计则是以工艺设计为基础的。

因此，化工设计工作是由工艺项目与非工艺项目所组成的统一体，它需要由工艺设计人

员与非工艺设计人员通力合作共同完成。

化工设计应包括以下主要内容：

- |                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| ① 化工工艺设计；                          | ⑤ 自动控制设计；       |
| ② 总图运输设计；                          | ⑥ 机修、电修等辅助车间设计； |
| ③ 土建设计；                            | ⑦ 外管设计；         |
| ④ 公用工程（供电、供热、给排水、<br>采暖、照明和通风等）设计； | ⑧ 工程概算与预算。      |

其中，化工工艺设计是化工工程设计的主体。一是任何一个化工工程项目的设计都是从工艺设计开始，并以工艺设计结束；二是在整个工程设计过程中非工艺设计要服从工艺设计，同时工艺设计又要考虑和尊重其他各专业的特点与合理要求，在整个设计过程中进行协调。因此，工艺设计关系到整个工程设计的成败与优劣。

### 1.1.2 化工工艺设计的主要内容

进行化工工艺设计首先要编制设计方案。为此，要对建设项目进行认真调研，全面了解建设项目的各个方面。最好对几个设计方案进行对比分析，权衡利弊，最后选用技术上先进、经济上合理、生产上安全、并对环境友好的最佳方案。

化工工艺设计一般应包括下面几项内容：

- |                 |  |
|-----------------|--|
| ① 原料路线和技术路线的选择； | ⑦ 化工管路设计；                                |
| ② 工艺流程设计；       | ⑧ 非工艺设计项目的考虑，即由工艺设计<br>人员提出非工艺设计项目的设计条件； |
| ③ 物料衡算；         | ⑨ 编制设计文件，包括编制设计说明书、<br>附图和附表等。           |
| ④ 能量衡算；         |  |
| ⑤ 设备的工艺设计和选型；   |  |
| ⑥ 车间布置设计；       |  |

通常，化学加工过程是将一种或几种化工原料，经过一系列物理的和化学的单元操作，最终获得产品。这一系列的单元操作必须在相应的单元设备内进行。用管道将这些单元设备连接起来，以便于物料从一个单元设备传送到另一个单元设备。为了便于对物料的控制，往往在设备和管道的相应位置安装一些测量、显示和控制元件。这些设备、连接设备的管路和相应的控制元件一起就组成了化工生产的工艺流程。

因此，在化工设计中，化工单元设备的设计是整个化工过程和装置设计的核心和基础，并贯穿于设计过程的始终。从这个意义上说，作为化工类及其相关专业的本科生乃至研究生，熟练地掌握常用化工单元设备的设计方法无疑是十分重要的。

### 1.1.3 化工原理课程设计的基本要求及基本内容

化工原理课程设计的对象是化工单元操作设备的工艺设计，它是化工工艺设计的主体和重要组成部分，本书作为化工原理课程设计教材，旨在加强对化工类及其相关专业学生综合应用本门课程和有关先修课程所学知识进行实践能力的培养，注重提高学生分析与解决工程实际问题的能力。同时，培养学生树立正确的设计思想和实事求是、严谨负责的工作作风。

(1) 化工原理课程设计的基本要求

通过化工原理课程设计，要求学生应在下面几个方面得到较好的培养和训练。

① 培养和锻炼学生查阅资料、收集数据和选用公式的能力。通常，设计任务书给出后，有许多物料的理化参数需要设计者去查阅、收集和整理，有些物性参数特别是混合物的物性参数直接查取比较困难，常常需要估算，计算公式也要由设计者自行选用。这就要求设计者

运用各方面的知识，详细而全面地考虑后再确定。

② 培养和锻炼学生正确选择设计参数的能力。树立从技术上可行、经济上合理和生产上安全等方面考虑工程问题的观点，同时还须考虑到操作维修方便和环境保护的要求，亦即对于课程设计不仅要求计算正确，还应从工程的角度综合考虑各种因素，从总体上得到最佳结果。

③ 不仅正确而且迅速地进行工程计算。设计计算常常是一个需要反复试算的过程，计算的工作量很大，因此应反复强调“正确”与“迅速”。

④ 掌握化工原理课程设计的基本程序和方法。学会用简洁的文字和适当的图表表达自己的设计思想。

## (2) 化工原理课程设计的基本内容

化工原理课程设计应包括如下基本内容。

① 设计方案简介 对给定、选定或自行组织的工艺流程、主要设备的型式进行简要的论述。

② 工艺设计计算 选定工艺参数，进行物料衡算、能量衡算和单元设备的工艺结构计算，绘制相应的工艺流程图，标出物流量、能流量及主要测控点。

③ 辅助设备设计与选型 典型辅助设备主要工艺尺寸的计算、设备型号规格的选定等。

④ 带控制点的工艺流程图 以单线图的形式绘制，标出主体设备和辅助设备的物流向、物流量、能流量及主要测控点。

⑤ 主体设备设计工艺条件图 主体设备设计工艺条件图上应包括设备的主要工艺结构尺寸、技术特性表和接管表。

⑥ 设计说明书的编写 设计说明书的内容应包括：设计任务书，目录，设计方案简介，工艺计算及主要设备设计，工艺流程图和主要设备的工艺条件图，辅助设备的计算和选型，设计结果汇总，设计评述，参考资料等。

整个课程设计主要由文字论述、工艺计算和设计图表三部分组成。论述应该条理清晰、观点明确；计算力求方法正确，误差控制在工程设计允许的范围之内，计算公式和所用数据必须注明出处；图表应能既简明又准确地表达设计和计算的结果。

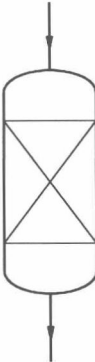
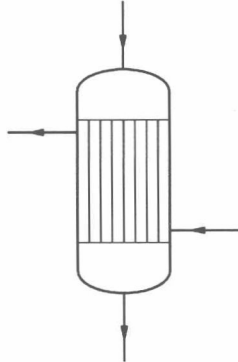
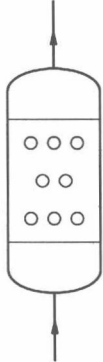
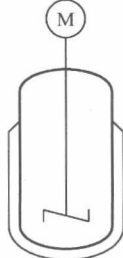
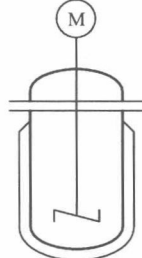
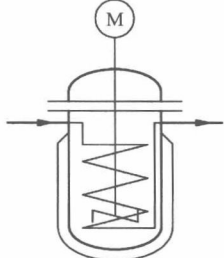
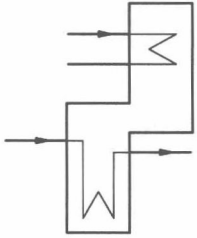
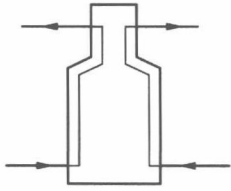
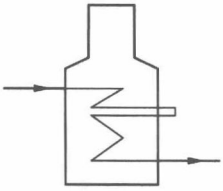


## 1.2 化工生产工艺流程设计

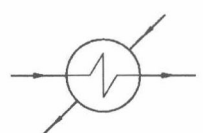
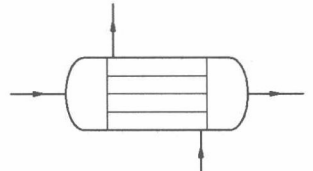
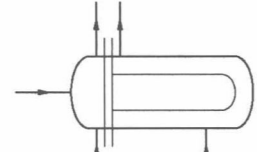
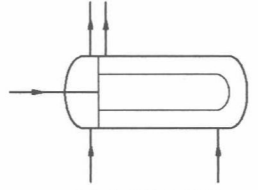
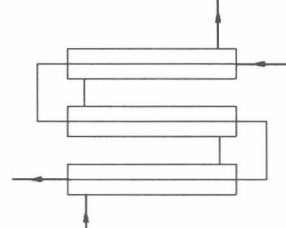
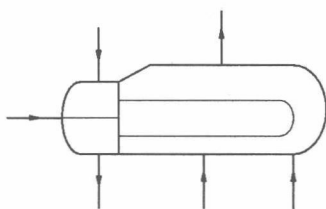
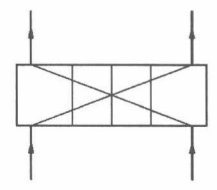
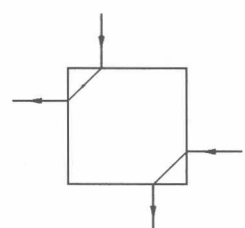
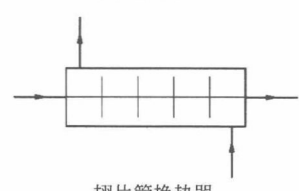
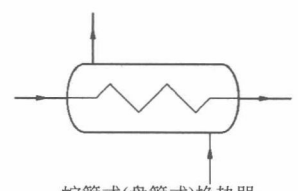
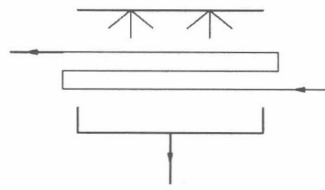
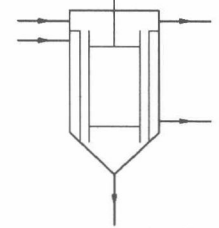
化工生产工艺流程设计各个阶段的设计成果都是用各种工艺流程图纸和表格表达出来的，按照设计阶段的不同，先后有方框流程图（block flowsheet）、工艺流程草（简）图（simplified flowsheet）、工艺物料流程图（process flow diagram, PFD）、带控制点的工艺流程图（process and control diagram, PCD）和管道仪表流程图（piping & instrument diagram, P & ID），也有用PCD来代替PID的情况。对于医药行业来说，根据其特有的生产洁净区级别要求，还有人员-物料分流图（material and personnel flow drawing, MPFD）、工艺流程及环境区域划分示意图（plant schematic and process flow diagram, PS & PFD）等。方框流程图是在工艺路线选定后对工艺流程进行概念性设计时完成的一种流程图，不编入设计文件；工艺流程草（简）图是一种半图解式的工艺流程图，它实际上只是方框流程图的一种变体或深入，只带有示意的性质，供设计计算时使用，也不列入设计文件中；工艺物料流程图（PFD）和带控制点的工艺流程图（PCD）应列入初步设计阶段的设计文件中；管道仪表流程图（PID）则列入施工图设计阶段的设计文件中。

本节先介绍流程图的图形符号、标注方法等规定，然后介绍作为设计文件的工艺物料流程图（PFD）、带控制点的工艺流程图（PCD）和管道仪表流程图（PID）。

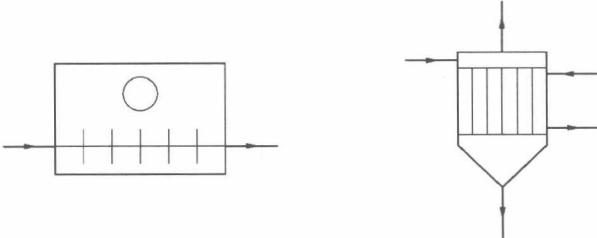
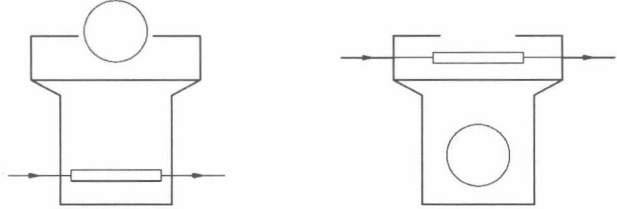
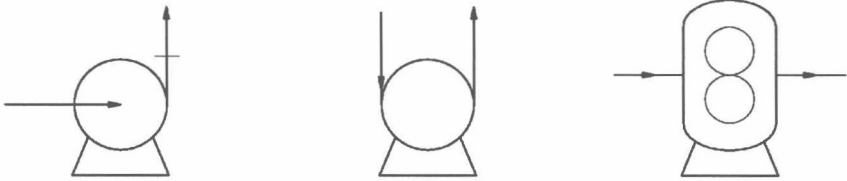
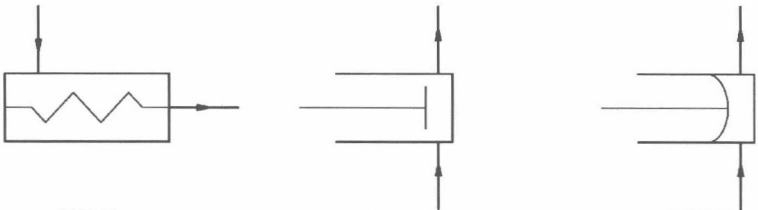
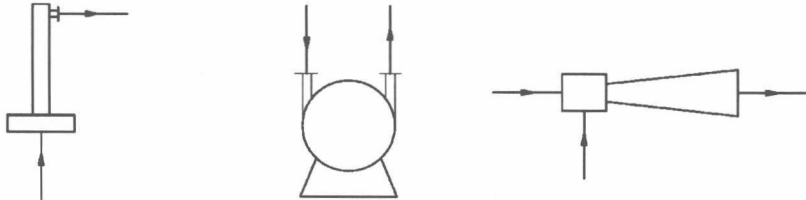


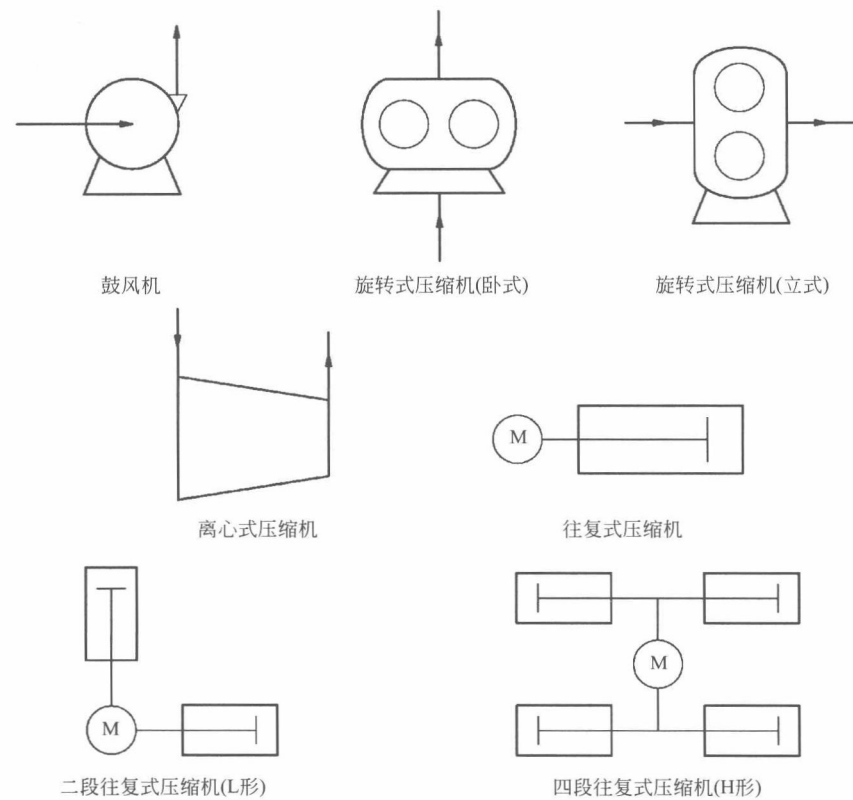
续表

类别	代号	图 例					
反应器	R	 <p>固定床反应器</p>	 <p>列管式反应器</p>	 <p>流化床反应器</p>			
		 <p>反应釜 (闭式、带搅拌、夹套)</p>	 <p>反应釜 (开式、带搅拌、夹套)</p>	 <p>反应釜 (开式、带搅拌、夹套、内盘管)</p>			
		工业炉	F	 <p>箱式炉</p>	 <p>圆筒炉</p>	 <p>圆筒炉</p>	
				火炬烟囱	S	 <p>烟囱</p>	 <p>火炬</p>

类别	代号	图 例	
换热器	E		
		换热器(简图)	固定管板式列管换热器
			
		U形管式换热器	浮头式列管换热器
			
		套管换热器	釜式换热器
			
		板式换热器	螺旋板式换热器
			
		翅片管换热器	蛇管式(盘管式)换热器
			
		喷淋式冷却器	刮板式薄膜蒸发器

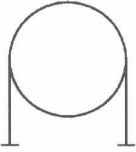

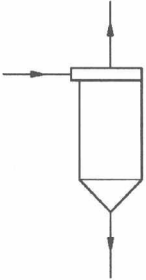
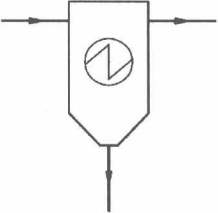
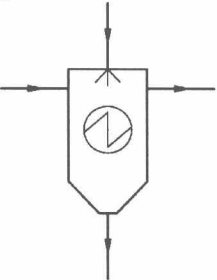

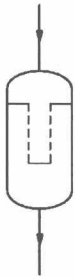
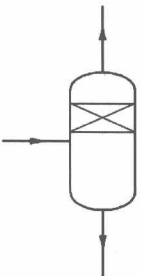
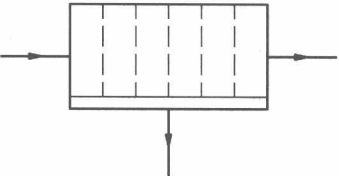
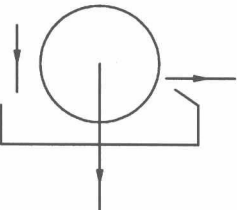
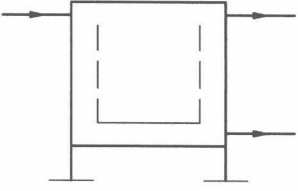
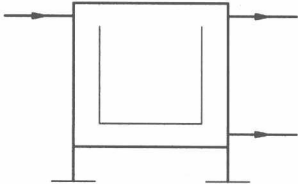
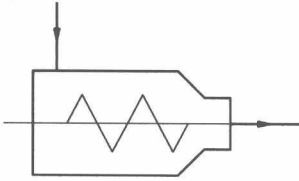
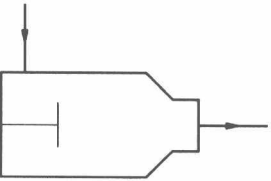
续表

类别	代号	图 例
换热器	E	 <p>The first diagram shows a rectangular heat exchanger with a central circle and vertical lines representing blades. The second diagram shows a vertical column with multiple tubes inside and a conical bottom section.</p>
		<p>带风扇的翅片管式换热器</p> <p>列管式薄膜蒸发器</p>
		 <p>The third diagram shows a trapezoidal air cooler with a fan on top and a horizontal tube inside. The fourth diagram shows a similar trapezoidal air cooler with a fan on the side and a horizontal tube inside.</p>
		<p>抽风式空冷器</p> <p>送风式空冷器</p>
泵	P	 <p>The first diagram is a centrifugal pump with a circular body and a vertical outlet. The second is a water ring vacuum pump with a circular body and two vertical ports. The third is a rotary gear pump with two internal gears and two horizontal ports.</p>
		<p>离心泵</p> <p>水环式真空泵</p> <p>旋转泵、齿轮泵</p>
		 <p>The fourth diagram shows a screw pump with two intermeshing screws. The fifth shows a reciprocating pump with a horizontal cylinder and a vertical piston rod. The sixth shows a diaphragm pump with a horizontal cylinder and a vertical diaphragm.</p>
		<p>螺杆泵</p> <p>往复泵</p> <p>隔膜泵</p>
		 <p>The seventh diagram is a submersible pump with a vertical shaft and a horizontal outlet. The eighth is a vortex pump with a circular body and two vertical ports. The ninth is a jet pump with a horizontal body and a vertical inlet.</p>
		<p>液下泵</p> <p>漩涡泵</p> <p>喷射泵</p>

类别	代号	图 例
压缩机	C	 <p>鼓风机</p> <p>旋转式压缩机(卧式)</p> <p>旋转式压缩机(立式)</p> <p>离心式压缩机</p> <p>往复式压缩机</p> <p>二段往复式压缩机(L形)</p> <p>四段往复式压缩机(H形)</p>
		容器



续表

类别	代号	图 例		
容器	V	 <p>球罐</p>  <p>(地下/半地下) 池、槽、坑</p>  <p>旋风分离器</p>  <p>干式电除尘器</p>  <p>湿式电除尘器</p>  <p>固定床过滤器</p>  <p>带滤筒的过滤器</p>  <p>填料除沫分离器</p>		
		其他机械	M	 <p>压滤机</p>  <p>转鼓式(转盘式)过滤器</p>  <p>有孔壳体离心机</p>  <p>无孔壳体离心机</p>  <p>螺杆压滤机</p>  <p>挤压机</p>