



普通高等教育“十三五”规划教材

中国石油和石化工程教材出版基金资助项目

# 过程设备 综合设计指导

赵延灵 王建军 国亚东 主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材  
中国石油和石化工程教材出版基金资助项目

# 过程设备综合设计指导

赵延灵 王建军 国亚东 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

《过程设备综合设计指导》主要介绍典型过程设备工程设计的相关基础知识。全书内容主要由三部分组成。第一部分是化工设备工程设计技术文件、图样基础知识和技术要求编制；第二部分是典型化工设备常用材料和选材要求；第三部分为典型化工设备的标准零部件、结构设计和强度计算，配有典型设备的工程设计计算例。

本书内容简明扼要，方便使用，可以作为高等学校过程装备与控制工程、环保设备工程、化学工程与工艺等专业“综合设计”课程的实训教材，也可以作为相关专业毕业设计以及相关工程设计人员的参考资料。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

过程设备综合设计指导/赵延灵, 王建军, 国亚东  
主编. —北京: 中国石化出版社, 2019. 2  
普通高等教育“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5114-5148-4

I. ①过… II. ①赵… ②王… ③国… III. ①化工过  
程-化工设备-设计-高等学校-教材 IV. ①TQ051.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 029924 号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

#### 中国石化出版社出版发行

地址: 北京市朝阳区吉市口路 9 号  
邮编: 100020 电话: (010) 59964577  
发行部电话: (010) 59964526  
<http://www.sinopec-press.com>  
E-mail: [press@sinopec.com](mailto:press@sinopec.com)  
北京富泰印刷有限责任公司印刷  
全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 21 印张 463 千字  
2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷  
定价: 50.00 元

# 前 言

《过程设备综合设计指导》是配套过程装备与控制工程专业“综合设计”实践教学环节而编写的配套教材，其目的是使学生在掌握了压力容器设计和过程设备设计理论知识的基础上，初步具备典型过程设备（塔设备、换热设备和储存设备）的设计能力，培养和提高学生的工程意识与工程设计能力，为解决过程设备领域的复杂工程问题打下基础。

本教材内容立足于培养学生的工程设计能力，内容架构主要包括三部分。第一部分是化工设备工程设计技术文件编制要求，重点讲述了化工设备设计文件的分类及组成、化工设备的图样统一要求、图面表达方法以及典型化工设备的技术要求；第二部分是典型化工设备常用材料和选材要求；第三部分为典型化工设备的标准零部件选用以及机械结构设计和强度计算，并配有典型的工程设计算例。由于过程设备大多为特种设备，材料、型式、设计、制造、检验等环节涉及较多的国家、部委和行业等相关工程技术标准，本书编写过程中力求内容要求与时俱进，尽可能引用最新标准规定，并对技术标准的应用方法给予详细的介绍。

本书力求内容简明扼要，通俗易懂，方便使用，可以作为“过程装备与控制工程”“环保设备工程”“化学工程与工艺”等专业“综合设计”课程的实训教材，也可以作为学生进行毕业设计环节以及相关工程设计人员的设计参考资料。

本书由中国石油大学（华东）化工装备与控制工程系静设备组组织编写，第1~3章及附录部分由赵延灵编写，第4、5章由王建军编写，第6章由徐书根、国亚东编写，第7章由国亚东编写。全书由李国成老师统一审订成稿，编写过程中得到全体静设备组老师的帮助指导，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中有错误和不妥之处，恳请读者予以指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 综合设计的目的 .....	1
1.2 综合设计的要求 .....	1
1.3 综合设计的内容 .....	2
1.4 综合设计的步骤 .....	2
<b>第 2 章 化工设备设计文件</b> .....	4
2.1 设计文件的分类及组成 .....	4
2.2 化工设备图样基本要求 .....	5
2.3 化工设备图基本内容 .....	10
2.4 化工设备图的表达方法 .....	36
2.5 化工设备图的标注 .....	40
2.6 化工设备图的简化画法 .....	50
<b>第 3 章 化工设备选材</b> .....	69
3.1 化工设备用钢材 .....	69
3.2 化工设备材料规格 .....	80
3.3 化工设备选材 .....	94
<b>第 4 章 化工设备标准零部件</b> .....	107
4.1 封头 .....	107
4.2 法兰、密封垫片及紧固件 .....	110
4.3 支座 .....	131
4.4 人孔和手孔 .....	135
4.5 开孔补强及补强圈设计 .....	142
4.6 液面计 .....	148

<b>第 5 章 换热器设计</b>	155
5.1 结构设计	155
5.2 管壳式换热器的支座选型	166
5.3 管壳式换热器的机械设计	166
<b>第 6 章 塔设备设计</b>	176
6.1 概述	176
6.2 塔体强度及稳定性校核	177
6.3 塔器外部零部件的结构设计	200
6.4 塔设备内部零部件结构设计	213
6.5 塔设备设计计算示例	221
<b>第 7 章 存储设备设计</b>	251
7.1 概述	251
7.2 球形储罐设计	253
7.3 卧式储罐设计	272
7.4 存储设备设计计算示例	287
<b>附录 A 卧式储罐设计任务书示例</b>	305
<b>附录 B 塔设备设计任务书示例</b>	307
<b>附录 C 换热器设计任务书示例</b>	309
<b>附录 D 化工设备材料许用应力表</b>	311
<b>参考文献</b>	327

# 第1章 概述

过程设备综合设计是过程装备与控制工程专业的重要实践性教学环节之一，是在学习《过程设备设计》的基本理论和基本知识后对基本技能的一次综合实战训练。通过训练，熟悉和了解典型过程设备（塔设备、换热设备、储存设备等）设计的一般方法和步骤，培养工程设计能力和分析解决实际问题的能力。

## 1.1 综合设计的目的

综合设计过程中要求注意培养积极思考、深入钻研的学习精神，认真负责、踏实细致的工作作风和保质保量按时完成任务的习惯。通过过程设备综合设计应达到以下目的：

(1) 把所学《过程设备设计》及其相关课程的理论知识，在综合设计中联系实际加以运用，把过程工艺条件与过程设备设计有机地结合起来，巩固和强化过程设备设计的基本理论和基本知识。

(2) 培养工程设计的基本技能以及独立分析、解决复杂工程问题的能力。树立正确的设计思想，掌握典型过程设备设计的基本方法和步骤，为今后创造性地进行过程设备设计打下一定的基础。

(3) 培养工程意识以及熟悉、查阅并综合运用各种有关的设计手册、规范、标准等设计技术资料的能力；进一步培养识图、计算机绘图、运算、编写设计说明书等设计文件的基本技能；完成作为工程技术人员在过程设备设计方面所必备的基本设计能力的训练。

## 1.2 综合设计的要求

为了达到以上目的，对综合设计的要求如下：

① 树立正确的设计思想。在设计中要本着对工程设计负责的态度，从难从严要求，综合考虑安全可靠、经济性、实用性和先进性，严肃认真地进行设计，高质量地完成设计任务。

② 具有积极主动的学习态度和进取精神。在综合设计过程中遇到问题不敷衍，通过查

阅资料、技术标准和复习有关理论知识,积极思考,提出个人解决方案,主动发现问题、解决问题,注重能力的培养。在综合设计中学会收集整理、理解、熟悉和使用各种资料,正是培养设计能力的重要方面,也是设计能力强的重要表现。

③学会正确使用标准和规范,使设计有法可依、有章可循。当设计与标准规范相矛盾时必须严格计算和验证,直到符合设计要求,否则应优先按标准选用。

④学会正确的设计方法,统筹兼顾,抓主要矛盾。对于初学设计者,往往把设计片面地理解是理论上的强度、刚度等的计算,认为这些计算结果不可更改。实际上,对于设备的合理设计,其计算结果只是设计时某方面的依据,设计时还要考虑结构等方面的要求。

在设计中还要处理好强度计算与结构设计的关系。设计中要求计算、制图、选型、修改同步进行,但零件的尺寸以最后图样标注的为准。对尺寸作出修改后,可以根据修改幅度、原强度裕度及计算准确程度等来判断是否有必要再进行强度计算。

## 1.3 综合设计的内容

根据设计任务(设计条件单)的要求,完成一种典型过程设备(塔设备、换热设备、存储设备)的机械设计,工作量应包括:过程设备总装图1张,零部件图3张左右,过程设计计算说明书1份。

## 1.4 综合设计的步骤

### 1.4.1 准备阶段

①认真研究设计任务书(设计条件单),分析设计题目的原始数据和工艺条件,明确设计要求和设计内容。

②设计前应预先准备好设计资料、技术标准、手册、图册、计算和绘图软件工具、报告纸等。

③设计前应认真复习有关专业教材、熟悉有关资料和设计步骤。

④有条件的应结合现场参观,熟悉典型过程设备的结构,比较其优缺点,以便选出适当的结构为己所用。没有现场条件的,至少也要看懂几张石油化工设计院的典型过程设备规范工程图纸。

⑤了解过程设备工程设计图样的表达方法和习惯。

### 1.4.2 设计阶段

过程设备的机械设计是在设备的工艺设计后进行的。根据设备的工艺条件(包括工作压力、温度、介质特性、结构形式和工艺尺寸、管口方位、标高等),围绕着设备内、外



附件的选型进行机械结构设计、围绕着承压元件厚度的确定进行强度、刚度和稳定性的设计和校核计算。一般步骤如下：

①全面考虑按压力大小、温度高低、介质特性和腐蚀性大小等因素来选材。通常先按压力因素来选材；当温度高于 $200^{\circ}\text{C}$ 或低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 时，温度就是选材的主要因素；在腐蚀强烈或对反应物及物料污染有特定要求的，介质特性和腐蚀因素又成了选材的依据。在综合考虑以上几方面同时，还要考虑材料的加工性能、焊接性能及材料的来源和经济性。

②选用零部件。设备内部附件结构类型如塔板，常由工艺设计而定；外部附件结构形式，如法兰、支座、加强圈、开孔附件等，在满足工艺要求条件下，由受力条件、制造、安装等因素决定。

③计算外载荷，包括内压、外压、设备自重，零部件的偏心载荷、风载、地震载荷等，常用列表法、分项统计的方法来进行。

④强度、刚度、稳定性设计和校核计算。根据结构形式、受力条件和材料的力学性能、耐腐蚀性能等进行强度、刚度和稳定性计算，最后确定出合理的结构尺寸。

⑤绘制设备总装图。对初学者，常采用“边算、边选、边画、边改”的作法，初步计算后，确定大体结构尺寸，利用 AutoCAD 软件绘制设备总图。

⑥绘制零部件图。根据总装图绘制零部件图（常称之为拆图）。对于标准零部件，有专门厂家生产的，可以不必拆图，对于具有独立结构的零部件要进行拆图，以便加工制造。

⑦提出技术要求。对设备设计、制造、安装、检验等工序提出合理的要求，以文字形式标注在总图上。

### 1.4.3 设计计算说明书

设计计算说明书是图纸设计的理论依据，是设计计算的整理和总结，是审核设计的技术文件之一。其内容大致包括：

- ①目录；
- ②设计任务书；
- ③设计方案的分析 and 拟定；
- ④各部分结构尺寸的确定和设计计算；
- ⑤设计小结；
- ⑥参考资料。

设计计算说明书要求结构清晰，计算正确，论述清楚，文字精练，插图简明，书写工整，装订成册。

### 1.4.4 综合设计答辩

综合设计的图样及说明书全部完成后，须经指导老师审阅，得到认可后，方能参加答辩。综合设计的成绩要根据图样、设计计算说明书和答辩所反映的设计质量和能力，以及设计过程中的学习工作态度综合加以评定。

# 第 2 章 化工设备设计文件

## 2.1 设计文件的分类及组成

### 2.1.1 设计文件分类

一般来说工程设计的文件内容主要包括两大类，即设计图样和技术文件，如图 2-1 所示。

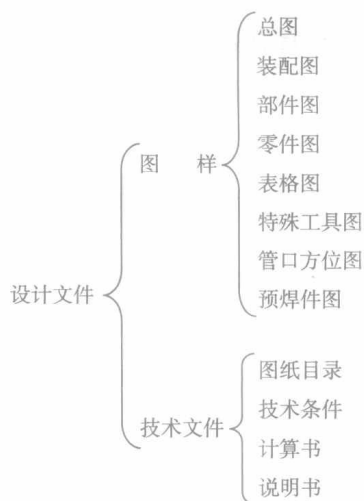


图 2-1 设计文件的组成

### 2.1.2 设计文件的说明

①总图：表示设备的全貌、组成和特性的图样。它应全面表达设备各主要部分的结构特征、装配和连接关系，注有主要特征尺寸、外形尺寸，并写明技术特性、技术要求等内容。

注：当装配图能体现总图所应表示的内容，而又不影响装配图的清晰时，可不绘制总图。

②装配图：表示设备的结构、尺寸、各零部件之间的装配和连接关系、技术特性和技术要求等内容的图样。对于不绘制总图的设备，其装配图必须包括总图应表示的内容。

③部件图：表示可拆或不可拆部件的结构、尺寸，所属零部件之间的关系、技术特性和技术要求等内容的图样。

④零件图：表示零件的形状、尺寸以及加工、热处理和检验等内容的图样。

⑤表格图：用综合图表表示多个形状相同，尺寸不一的零件、部件或设备的图样。

⑥特殊工具图：表示设备安装、试验和维修时使用的特殊工具的图样。

⑦预焊件图：表示供设备保温或设置平台等需要，在制造厂预先焊制的零、部件的图样。该图一般根据设备安装需要确定，其图号编入设备安装图中。

⑧管口方位图：为了提供设计文件再次选用的可能性，或由于绘制设备施工图时管口方位尚难确定，装配图上的管口方位可不定，此时，应在图纸的技术要求中注明“管口方位见管口方位图，图号见选用表”。根据工程配管需要，由工艺人员编制管口方位图，图号编入设备安装图中。但设备制造时，应根据提供的管口方位图进行制造，该图样只表示设备的管口方位及管口与支座、地脚螺栓等的相对位置（指在垂直于设备主轴线的视图上的位置），其管口的符号、大小、数量等均应与装配图上管口表中所示的一致，且必须注明设备名称、设备装配图图号，以及该设备在使用单位生产工艺流程图中的位号。管口方位图须经设备设计人员会签。

⑨图纸目录：表示每个设备（包括通用部件或标准部件）全套设计文件的清单。

⑩技术条件（要求）：包括设备（或零部件）在制造、试验和验收时应遵循的规范或规定，以及对于材料、表面处理及涂饰、润滑、包装、保管和运输等方面的特殊要求。

⑪计算书：设备或零部件的计算文件，采用计算机计算时，软件必须经全国锅炉压力容器标准化技术委员会评审鉴定，并在国家质量监督检验检疫总局特种设备局认证备案。打印结果中应有软件程序编号、输入数据和计算结果等内容，可以将输入数据和打印结果作为计算文件。其内容至少包括设计条件、所用规范和标准、材料、腐蚀裕量、名义厚度、计算结果等等。

⑫说明书：关于设备的结构原理、主要参数选用、材料选择、技术特性、制造、安装、运输、使用、维护、检修及其他必须说明的文件。

## 2.2 化工设备图样基本要求

### 2.2.1 图纸幅面及格式

化工设备图样的幅面尺寸和格式应符合国家标准 GB/T 14689—2008《技术制图 图纸幅面和格式》规定的要求。

#### 2.2.1.1 图纸幅面

##### (1) 基本幅面

绘制化工设备图样时，优先采用表 2-1 中规定的幅面尺寸。A1、A2、A3 为常用幅面，A3 幅面不允许单独竖放；A4 幅面不允许横放；A5 幅面不允许单独存在。

表 2-1 图纸基本幅面

图面代号	$B \times L$	$a$	$c$	$e$
A0	841 × 1189	25	10	20
A1	594 × 841			
A2	420 × 594			
A3	297 × 420		5	10
A4	210 × 297			
A5	148 × 210			

(2) 加长幅面

由于化工设备中的有些立式设备及卧式设备纵、横尺寸差距较大，根据图样表达的需要也可以采用加长幅面。图纸加长时规定可以沿图纸的长边加长，加长规则如下：

- ①对 A0、A2、A4 幅面的加长量应按 A0 幅面长边的八分之一的倍数增加；
- ②对 A1、A3 幅面的加长量应按 A0 幅面短边的四分之一的倍数增加；
- ③A0 及 A1 幅面也允许同时加长两边。

在选择图纸幅面时第一选择图 2-2 中粗实线图幅即基本幅面，第二选择细实线图幅，第三选择虚线图幅。

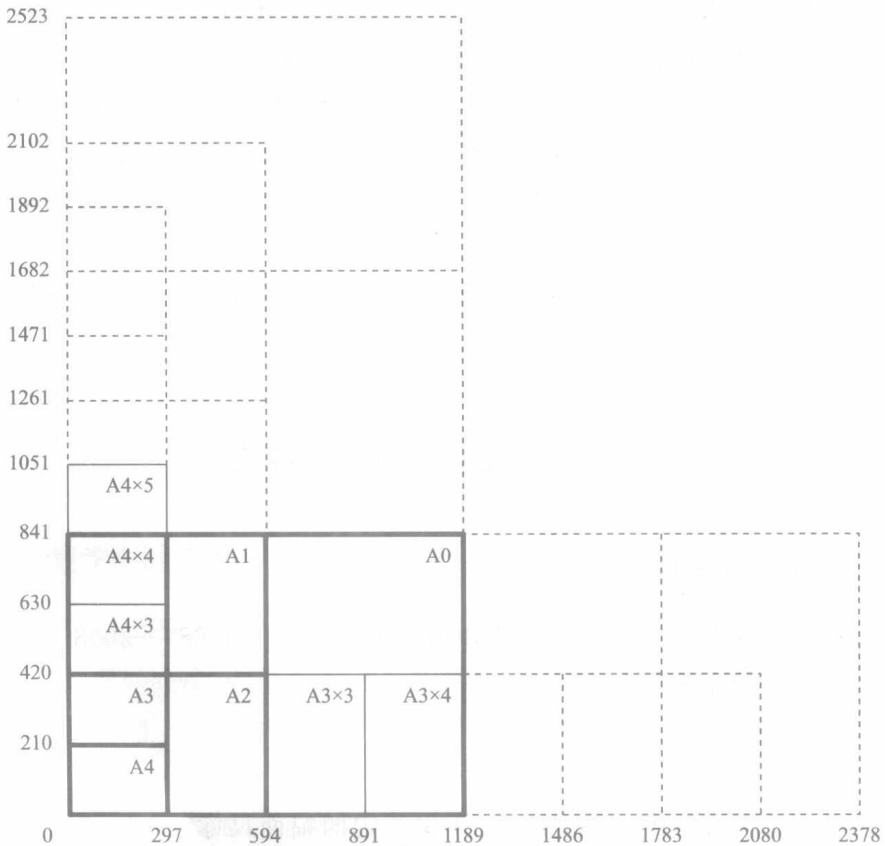


图 2-2 图纸的基本幅面与加长幅面

### (3) 拼图规则

当在一张图纸上绘制若干个图样（即拼图）时，可按标准规定分为若干个小幅面，如图 2-3 所示，其中每个幅面的尺寸应符合国家标准的规定（各图幅为细实线，边框线为粗实线）；亦可如图 2-4 所示，以内边框为准，用细线划分为接近标准幅面尺寸的图样幅面。

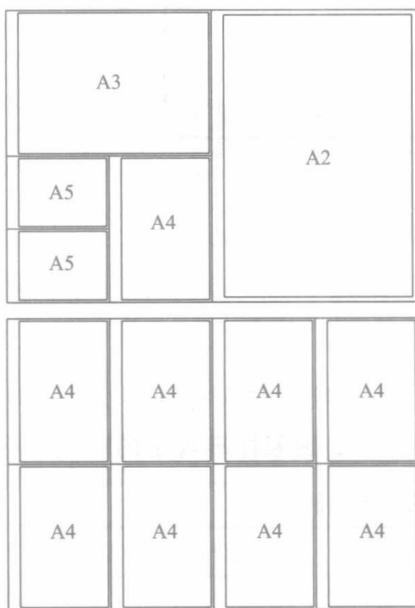


图 2-3 标准图幅拼图

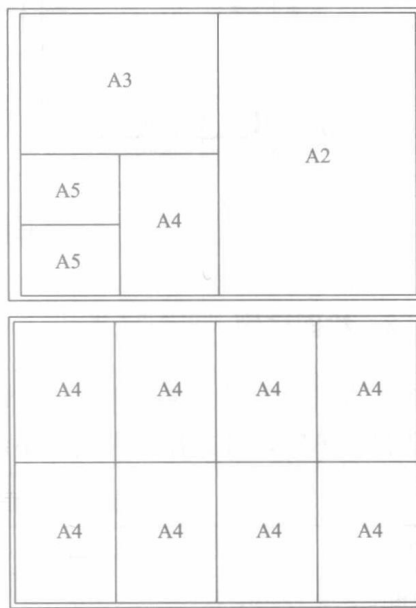


图 2-4 近似图幅拼图

#### 2.1.1.2 图框格式

在图纸上，必须用粗实线画出图框，其格式分为不留装订边和留装订边两种。留装订边的图纸，其图框格式如图 2-5 所示；不留装订边的图纸，其图框格式如图 2-6 所示。周边尺寸  $a$ 、 $c$  和  $e$  按表 2-1 选取。

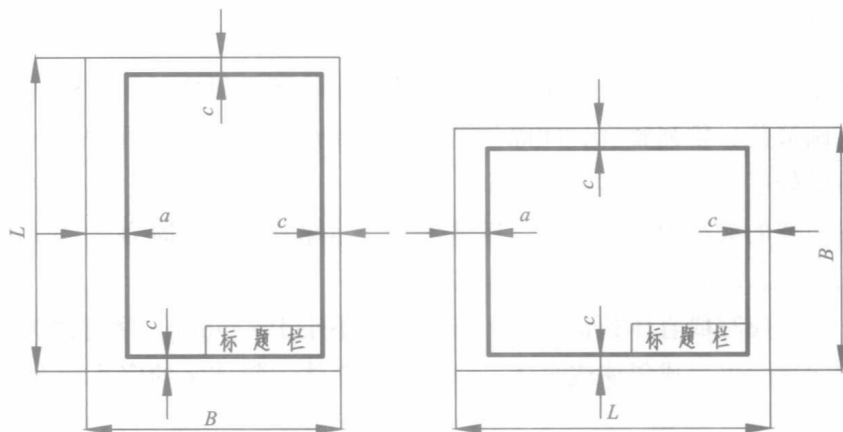


图 2-5 需要装订的图样（左：竖放；右：横放）

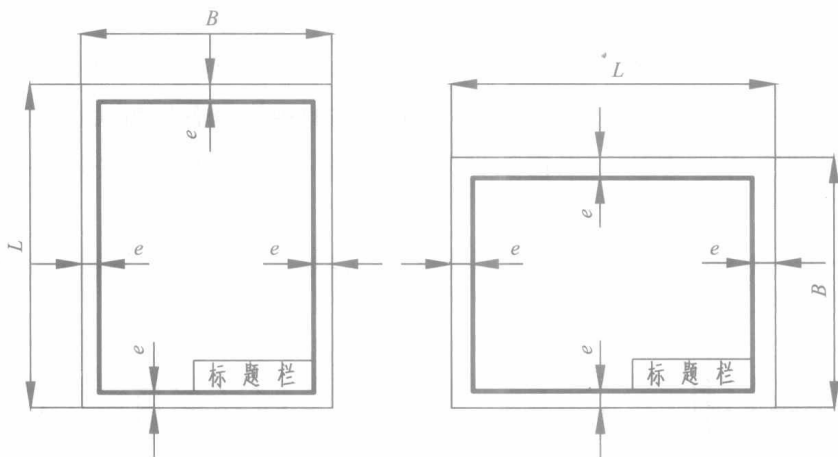


图 2-6 不需要装订的图样 (左: 竖放; 右: 横放)

### 2.1.2 绘图比例

比例是指图中图形与实物相应要素的线性尺寸之比。绘制图样时由于物体的大小及结构的复杂程度不同,可选择放大或缩小的比例,按表 2-2 国家标准规定的比例进行选取。

表 2-2 国家标准规定的绘图比例

种类	优先选用的比例	允许选用的比例
与实物相同	1 : 1	
放大比例	2 : 1, 5 : 1 $2 \times 10^n : 1, 5 \times 10^n : 1$	4 : 1, 2.5 : 1 $4 \times 10^n : 1, 2.5 \times 10^n : 1$
缩小比例	1 : 2, 1 : 5 $1 : 10^n, 1 : 2 \times 10^n, 1 : 5 \times 10^n$	1 : 1.5, 1 : 2.5, 1 : 3, 1 : 4, 1 : 6 $1 : 1.5 \times 10^n, 1 : 2.5 \times 10^n, 1 : 3 \times 10^n$ $1 : 4 \times 10^n, 1 : 6 \times 10^n$

### 2.1.3 字体要求

图样和技术文件中的汉字、数字和字母等在书写时都必须按照国家标准的规定,做到字体工整、笔画清楚、排列整齐、间隔均匀。在绘制施工图普遍采用 AutoCAD 软件的基础上,字体质量较手工书写有明显的进步。

① 字号 字体的大小用字号标示,字体的高度(单位 mm)即为字号。标准规定字号有八种: 1.8、2.5、3.5、5、7、10、14、20。

















② 汉字 汉字应写成直体长仿宋字,最小高度不小于 3.5mm,字宽约为字高的 2/3。

③ 数字和字母 可写成斜体或直体,一般采用斜体。斜体字的字头向右倾斜,与水平线成  $75^\circ$ 。

## 2.1.4 线条规定

国家标准 GB/T 17450《技术制图 图线》和 GB/T 4457.4—2002《机械制图 图样画法 图线》中规定了绘图时应用的 15 种基本线型,如表 2-3 所示。

表 2-3 常用线型、宽度及主要应用

名称	线型	图线宽度		用途
		相对关系	宽度/mm	
粗实线		$b$	1.0~2.0	图框线、标题栏外框线
中实线		$b/2$	0.5~1.0	勘探线、可见轮廓线、粗地形线、平面轨道中心线
细实线		$b/4$	0.25~0.7	改扩建设计中原有工程轮廓线,局部放大部分范围线,次要可见轮廓线,轴测投影及示意图的轮廓线
最细实线		$b/5$	0.18~0.25	尺寸线、尺寸界线、引出线、地形线、坐标线、细地形线
粗虚线		$b$	1.0~2.0	不可见轮廓线、预留的临时或永久的矿柱界限
中虚线		$b/2$	0.5~1.0	不可见轮廓线
细虚线		$b/3$	0.35~1.0	次要不可见轮廓线、拟建井巷轮廓线
粗点画线		$b$	1.0~2.0	初期开采境界线
中点画线		$b/2$	0.5~1.0	
细点画线		$b/3$	0.35~1.0	轴线、中心线
粗双点画线		$b$	1.0~2.0	末期开采境界线
中双点画线		$b/2$	0.5~1.0	
细双点画线		$b/3$	0.35~1.0	假想轮廓线、中断线
折断线		$b/3$	0.35~1.0	较长的断裂线
波浪线		$b/3$	0.35	短的断裂线,视图与剖视的分界线,局部剖视或局部放大图的边界线
断开线		$b$	1.0~1.4	剖切线

常用的图线宽度分粗线和细线两种,其宽度比为 2:1。粗线的宽度可根据图形的大小和复杂程度在 0.13mm, 0.18mm, 0.25mm, 0.35mm, 0.5mm, 0.7mm, 1mm, 1.4mm 和 2mm 范围内选取。化工设备图样中粗线比较常用的为 0.35mm 和 0.5mm,对应的细线宽度为 0.18mm 和 0.25mm。在实际绘图过程中对图线绘制有如下几点要求:

①在同一张图样中,同一类图线的宽度要保持基本一致。虚线、点画线及双点画线的线段长短间隔应各自大致相等,两条平行线间的距离不得小于粗实线的两倍宽且不小于 0.7mm。

②绘制对称图形的中心线时，所用细点画线应超出轮廓3~5mm，与轮廓相交处应是线段而不是点。绘制圆的对称中心线（细点画线）时，圆心应为线段的交点。

③虚线及点画线与其他图线相交时，都应以线段相交，不应在空隙或短画处相交；当虚线是粗实线的延长线时，粗实线应画到分界点，而虚线应留有空隙；当虚线圆弧和虚线直线相切时，虚线圆弧的线段应画到切点，而虚线直线需留有空隙。在较小图形上绘制点画线或双点画线有困难时，可以用细实线代替。

## 2.3 化工设备图基本内容

一般来说一台化工设备装配图应包括下列内容：

①视图 用一组视图表示该设备的主要结构形状和零部之间的装配连接关系。视图用正投影方法，按国家标准《技术制图》《机械制图》及化工行业有关标准或规定绘制。

②尺寸 图上注写必要的尺寸，以表示设备的总体大小、规格、装配和安装等尺寸数据，为制造、装配、安装、检验等提供依据。

③零部件编号及明细栏 对组成该设备的每一种零部件必须依次编号，并在明细栏中填写各零部件的名称、规格、材料、数量及有关图号或标准号等内容。

④管口符号和管口表 设备上所有的管口（物料进出管口、仪表管口等），均需注出符号（按拉丁字母或阿拉伯数字顺序编号）。在管口表中列出各管口的有关数据和用途等内容。

⑤技术特性表 用表格形式列出设备的主要工艺特性（工作压力、工作温度、物料名称等）及其他特性（容器类别等）等内容。

⑥技术要求 用文字说明设备在制造、检验时应遵循的规范和规定以及对材料表面处理、涂饰、润滑、包装、保管和运输等的特殊要求。

⑦标题栏 用以填写该设备的名称、主要规格、作图比例、设备单位、图样编号，以及设计、制图、校审人员签字等项内容。

⑧其他 其他需要说明的问题，如图样目录、附注、修改表等内容。

### 2.3.1 化工设备图的布图

化工设备图的装配图、零部件图允许安排在同一图幅内。如设备的装配图无法安排在一个图幅内，可以分画在两张或多张图纸上。

#### 2.3.1.1 装配图的布置

化工设备的装配图，通常包括视图及尺寸、标题栏、明细栏、管口表、技术特性表、图纸目录、技术要求以及“注”等，在图幅中的位置安排格式如图2-7、图2-8所示。

装配图一般不与零、部件画在同一张图纸上。但对只有少数零、部件的简单设备允许



将零、部件图和装配图安排在同一张图纸上，此时图纸应不超过 A1 幅面，装配图安排在图纸的右方。

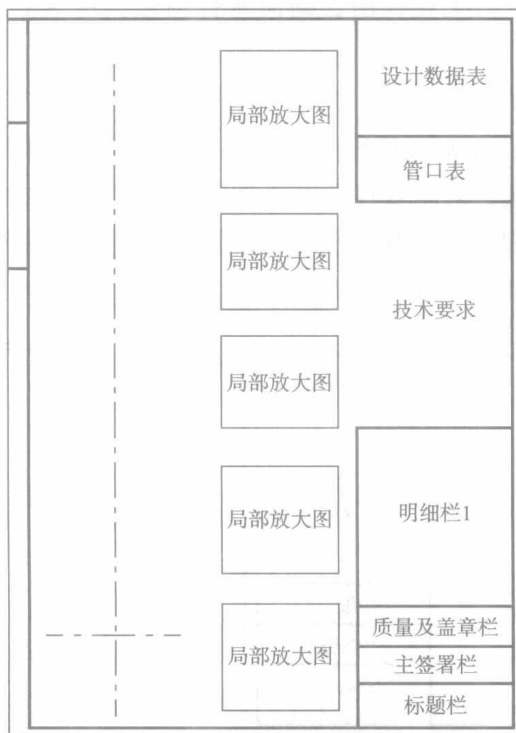


图 2-7 立式设备装配图布图格式

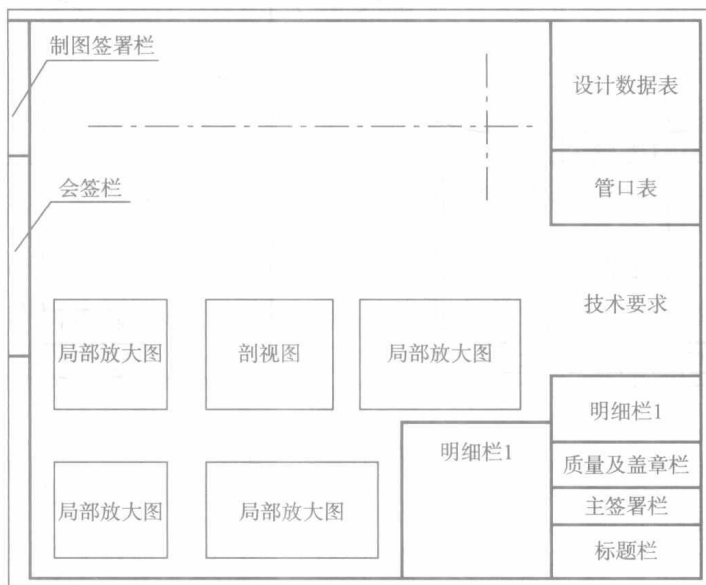


图 2-8 卧式设备装配图布图格式

当一个装配图的部分视图分画在数张图纸上时，主要视图及其所属设计数据表、技术要求、注、管口表、明细栏、质量及盖章栏、主签署栏等均应安排在第一张图纸上，在每