

# 化工容器设计

[美] L. E. 勃朗奈尔 E. H. 楊 著

璩定一 謝端綬 譯

上海科学技术出版社

# 化工容器設計

〔美〕L. E. 勃朗奈尔 E. H. 楊 著

璩定一 謝端綬 譯

上海科学技术出版社

### 內 容 提 要

本书系根据 Lloyd E. Brownell, Edwin H. Young "Process Equipment Design-Vessel Design"一书翻譯而成。原书由美国 John Wiley & Sons, Inc. 于 1959 年出版。

本书討論化工容器及其附件的設計,主要內容有:大型貯槽的設計方法,各式頂蓋的应力分析及其選用,外压容器的設計,立式容器及其支座的設計,臥式容器支座的設計,法兰的設計以及高压容器等。

本书可供高等院校各有关专业的教师、研究生、学生以及工厂企业与設計部門的工程技术人员参考之用。

PROCESS EQUIPMENT DESIGN  
-VESSEL DESIGN

Lloyd E. Brownell, Edwin H. Young  
John Wiley & Sons, Inc.

化 工 容 器 設 計  
璩 定 一 謝 端 毅 譯

---

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)  
上海市书刊出版业营业许可证出 093 号

---

商务印书馆上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

---

开本 850×1156 1/16 印张 22 插页 4 排版字数 794,000  
1964 年 2 月第 1 版 1965 年 2 月第 2 次印刷  
印数 5,001—12,000

統一书号 15119·1770 定价(科六) 4.40 元

本书之编写主要为工程学院四年級\* 学生及研究生之用。在选择本书的内容及叙述的方法时,考虑了设计工程师与顾问工程师以及学生的需要。本书是根据我们在工业设计部门累积的经验以及在密歇根大学\*\*讲授化工机械设计课程十六年的教学实践编写而成。我们二人都曾经领导化工机械方面的研究与发  
展工作,并在此领域中担任顾问。

本书的前身是课堂讲义,十年来曾在密歇根大学化工与冶金工程系为四年級学生及研究生在讲授化工机械设计课程时应用。许多典型问题包括了设计精馏塔、塔板、真空结晶器、冷凝器、热交换器、高压反应器及其他形式的化工机械。

设计化工机械需要工艺过程、所使用的材料及制造方法等各方面的全面知识。必须考虑的设计因素种类繁多,变化多端,且在大多数情况下彼此相互牵连,因而往往不可能定出正确的着手方法。因此需要折衷办法,设计工程师往往凭籍相似的或有关领域中仅有的经验以指导自己选择着手方法。所以工程师必须认识到在应用一切推荐的设计特定方法时,需要作相当的工程判断。

本书目的之一是综合化工机械设计中所用的基本概念、工业实践及理论关系。这方面的许多论著以及许多重要的资料广泛地分散在技术文献、工业通报、各种规范与手册之中。本书并不企图包括设计问题的一切方面,但可作为指导学生及从事实际工作的工程师对化学工业\*\*\*的设备作有效而经济的设计。

本书选材所根据的前提是:容器为大多数式样化工设备的基本部分。

例如,热交换器或蒸发器是具有管束的容器,而精馏塔是具有塔板的容器。前十二章部分涉及基本关系的发展,这些基本关系是许多规范规定的依据。第十三章完全讨论规范的实践并包括以前各章未曾包括的某些规范规定。第十四及十五章涉及 ASME 规范以外的容器设计。

各章顺序的安排使在本书开始教章中引入力学和材料强度方面基本理论的简短概论。所需要更高深的理论在以后各章中讨论。理论与设计实践的結合,避免了需要对工程力学另立专节。本书的叙述顺序是按照理论关系循序渐进的,因而可作为讲授设计的教材。本书取材范围包括从低压操作的简单容器直至应用于高压的厚壁容器。有经验的工程师将认为本书是设计室中有用的参考书。

除少数情况外,书中列出了一切公式的推导及分析方法,因此工程师可了解所作的各种假定及局限性。书中也包括了计算和设计例题以说明所使用的关系式和推荐的方法\*\*\*\*。

L. E. 勃朗奈尔, E. H. 楊

密歇根, 1959 年 4 月

\* 指美国四年制的高等学校——譯注

\*\* University of Michigan

\*\*\* 原文为 processing industries, 指牵涉到化工问题的各项工业——譯注

\*\*\*\* 此处以下原文为致謝部分,从略——譯注

在化学工业中使用各种类型的设备。除了通用机器及设备,如各种泵、鼓风机、压缩机等以外,一般的化工设备是根据工艺过程的要求而个别设计并进行制造的。近年来随着化学工业的迅速发展,对化工设备设计方面的需求亦感日益迫切。在各种化工设备中,容器是基本设备之一。因此,化工容器及其附件的设计就成为化工设备设计工作中一项主要内容。

不论高等学校、中等专业学校在化工设备设计的教学工作中,或工厂企业、设计部门在化工设备的设计工作中,都需要一些化工设备设计方面的参考书籍。有关化工设备设计方面的专著为数不多。这方面比较常见的著作有苏联 З. В. Канторович 所著“Основы расчета химических машин и аппаратов”<sup>\*</sup>。在这一本书中对容器及其附件的设计的理论方面作了详尽的讨论,并且也讨论了机械振动等方面的问题。此外尚有苏联 Ю. Л. Вихман, И. Ф. Бабицкий, С. И. Вольфсон 合著“Расчет и конструирование нефтезаводской аппаратуры”<sup>\*\*</sup>。此书虽然是讨论石油炼制厂设备的设计,但是对于设计化工设备仍然是一本可取的参考书。此书中附有大量数据及各种设备与零件图,便于在设计过程中查阅与参考。在英文著作中有 H. O. Hesse, J. H. Rushton 所著“Process Equipment Design”<sup>\*\*\*</sup>,此书于1945年出版,是有关化工设备设计的英文著作中较早的一本。书中除讨论容器的计算以外也涉及齿轮、链、索等的计算;所包括的范围虽较广泛但似欠深入。

L. E. 勃朗奈尔及 E. H. 楊二人合著的“Process Equipment Design-Vessel Design”一书于1959年出版,是有关化工设备设计的英文著作中较新的一本。本书完全讨论有关容器及其附件的设计,这是本书的特点。例如,介绍了大型贮槽的设计并附有参考图;对于成型顶盖的强度进行颇为详细的分析;介绍了受外压力容器的新的设计方法;讨论了立式容器及其支座的設計,并介绍了单层及多层高压容器。书末有许多附录,可供设计时查阅。

由于容器是化工设备的基本类型,而本书又具有如上所述的特点,因此翻译本书似有一定的价值。此外,本书在一定程度上颇能反映资本主义国家,特别是美国近十余年来在化工设备设计方面的情况,可供我们参考。

译本中大部分术语遵从已公布的学术名词,包括:(1)英汉化学化工词汇

<sup>\*</sup> 此书第三版由苏联 Машгиз 于1960年出版。第二版于1952年出版,已译成中文,书名为“化工机械及器械计算原理”,由我国机械工业出版社于1954年出版。

<sup>\*\*</sup> 此书由苏联 Гостоптехиздат 于1953年出版,已译成中文,书名“石油炼厂设备的计算与设计”,由我国石油工业出版社于1955年出版。

<sup>\*\*\*</sup> 参看本书末参考文献[144]——译法

iv (中国科学院編譯出版委员会名詞室編訂、科学出版社 1961 年); (2) 英汉机械工程詞汇 (中国科学院編譯出版委员会名詞室編訂、科学出版社 1960 年 2 月); (3) 英汉建筑工程名詞 (中国科学院編譯出版委员会名詞室編訂、科学出版社 1958 年); (4) 冶金学名詞 (中国科学院編譯局編訂、中国科学院出版 1955 年 4 月); (5) 数学名詞 (中国科学院編譯出版委员会名詞室編訂、科学出版社 1956 年 3 月)。凡有标准譯名的均从之, 否則, 或沿用习惯用譯名, 或由譯者自拟。

对于书中涉及的人名及地名均音譯为中文, 在第一次出現时加注原文。原书某些部分涉及美国具体情况, 例如, 美国材料价格、价格的計算、美国某些地理区域的情况 (例如风载荷、地震等) 等, 似乎参考价值不大, 均从略。书內插图对公司或私人致謝部分, 或书中涉及公司名称等处亦均从略。

譯本沿用原书的英制单位。但为了便于換算为公制, 在本书末附入基本单位換算表。譯本中一切单位均采用方括号以資醒目。

原书內容間或有不妥及誤植处, 凡經发现的均已予以更正, 并加譯注。但限于時間及譯者水平, 可能尚有未經更正的, 且一定也有很多翻譯上錯誤的地方, 均請讀者批評指教, 以便重印时予以更正。

本书部分譯稿承蒙杭州浙江大学王仁东教授及上海化工研究院高家駒工程师审閱并修正, 譯者謹向他們表示衷心的感谢。在翻譯过程中又蒙輕工业部食品工业研究所所长沈济川教授給予鼓励和提供了許多宝贵的意見, 譯者謹表示深切的謝意。

譯者

1962年8月于上海

**原序**

**譯者序言**

<b>第一章</b> 影响容器设计的因素 .....	<b>1</b>
<b>第二章</b> 容器设计中的准则 .....	<b>11</b>
<b>第三章</b> 平底圆筒形容器壳体的设计 .....	<b>25</b>
<b>第四章</b> 平底圆筒形容器的器底和器顶的设计 .....	<b>43</b>
<b>第五章</b> 具有成型顶盖的圆筒形容器的顶盖尺寸与选择 .....	<b>59</b>
<b>第六章</b> 对于圆筒形容器选用平板形和圆锥形顶盖时的应力研究 .....	<b>76</b>
<b>第七章</b> 对于圆筒形容器选用椭圆形、准球形和半球形碟形顶盖时的应力研究 .....	<b>95</b>
<b>第八章</b> 具有成型顶盖的圆筒形容器在外压力操作下的设计 .....	<b>113</b>
<b>第九章</b> 立式高容器设计 .....	<b>125</b>
<b>第十章</b> 立式容器的支座设计 .....	<b>148</b>
<b>第十一章</b> 具有鞍形支座的卧式容器设计 .....	<b>165</b>
<b>第十二章</b> 法兰设计 .....	<b>179</b>
<b>第十三章</b> 按规范规定的受压容器设计 .....	<b>206</b>
<b>第十四章</b> 单层壳体的高压容器 .....	<b>223</b>
<b>第十五章</b> 多层容器 .....	<b>248</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>266</b>
<b>附录</b> .....	<b>271</b>
<b>索引</b> .....	<b>333</b>

# 影响容器设计的因素

化学工程所讨论的是科学在化学工业中的应用，而化学工业主要涉及如何利用化学的或物理的方法以使一种物料转变为另一种物料。在这些过程中，需要用容器来处理及贮存大量的物料，由于物料的状态、物料的物理及化学性质以及所需采用的操作方法等的不同，采用的容器有各种结构。例如为处理液体及气体时则用“容器”。容器是大多数类型的化工设备的基本组成部分。多数成套的化工设备可视为各种结构的容器以实现一定的生产任务。例如热压釜可视为一个有搅拌及加热设备的高压容器；又如蒸馏塔或吸收塔则可视为备有一系列汽-液接触装置的容器；热交换器则可视为具有适当的装置以使热量通过管壁的容器；蒸发器则可视为由热交换器和分离蒸气的空间组合而成的容器。

虽然容器的应用在性质上有所不同，但在设计容器时往往必须考虑不少共同因素。最重要的常是选择容器的式样以使所完成的任务能最令人满意。在设计过程中，必须考虑另外一系列的准则，例如所用材料的性能、所引起的应力、弹性稳定性以及设备的美观等。考虑到设备的使用及寿命时，容器的制造费用亦极重要。

## 1.1 容器式样的选择

设计任何容器的第一步常为容器式样的选择，使其最适合于指定的生产任务。影响选择的主要因素有：容器的作用与其位置、流体的性质、操作的温度与压力以及贮存所必备的容积或处理的容量。容器可按其作用、操作温度及压力、构造材料以及几何形状等进行分类。

最常用的容器可按其几何形状分成下列四类：

1. 敞式贮槽；
2. 平底、立式圆筒形贮槽；
3. 具有成型顶盖的立式圆筒形或卧式容器；
4. 球形或类球形容器。

上列分类中的各式容器广泛用于流体的贮存及处理。但因各式容器的应用范围相互重复，故在具体应用中十分严格的分类是比较困难的。

由目前所普遍应用的容器类型中可找出一些一般性的

规律。例如大量的无危险性的液体如盐水或其他水溶液，若价值不大，可贮存于池中；价值较大时则贮存于敞式的钢制、木制、或混凝土制的贮槽中。若流体有毒、易燃，或在贮存情况下是气体，或其压力大于大气压力，则需用闭式容器。对于在大气压力下的流体的贮存常用具有平底、锥形器顶的圆筒形贮槽。球形的或扁球形的容器用于贮存大量的受压力的流体。对贮量不大的受压力流体，则以采用具有成型顶盖的圆筒形贮槽较为经济。

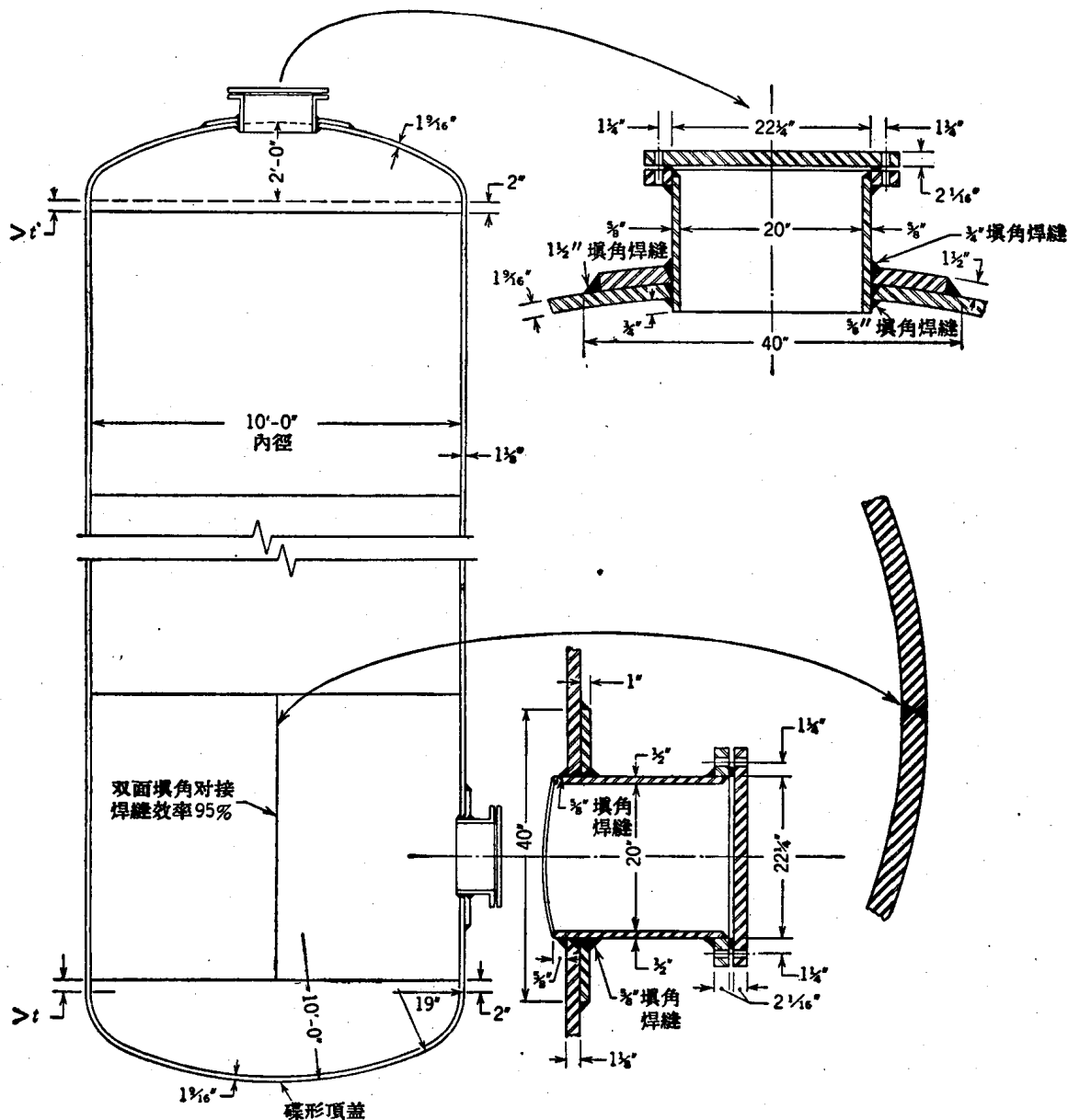
**1.1a 敞式容器** 敞式容器常用作在几个操作步骤之间的中间贮器，亦可用作间歇操作中的桶以供物料的混和或拼配，又可用于沉降槽、倾析器、化学反应器、贮器等。显然，敞式容器较同样式样同样容量的有顶盖的或闭式容器为价廉。至于能否采用敞式容器，则决定于所处理的流体的性质及操作条件。

价值不大的极大量的水溶液可贮存于储藏池中。储藏池是否应称为容器尚可斟酌。然而，储藏池毕竟是一种最简单的、由最便宜的材料（压紧泥土）构造而成的贮器。不是所有类型的泥土均可用以构成储藏池，重要的是用一种粘土，使所制成的池底不渗漏液体。例如压紧泥土制的池用于日光蒸发海水以得盐的结晶<sup>[1]</sup>。若处理的流体价值较大，则宜采用比较可靠但价格较贵的贮器。大而圆的钢制<sup>[2]</sup>、或钢筋混凝土制的（或预应力的）<sup>[3,4]</sup>贮槽常被用作沉降池，其中装有旋转很慢的齿耙以自倾斜度不大的锥形底中除去沉积物。此式容器的例子有选粒器\*，其直径范围自100至200 [呎]，深度可达数呎。

小型的敞式容器常为圆形，由软碳钢、混凝土，或有时由木材<sup>[5]</sup>构造而成。倘物料有严重的腐蚀性或有时必须要考虑到不能引入杂质，则其他材料的应用就要受到限制。然而，一般而论，化学工业中现用的容器大部是由钢材制成的，因其投资费用较省制造亦较容易。在许多情况下，此种钢制容器的内层可衬以铅、橡胶、玻璃或塑料以增加抗蚀性能。在食品工业中，椴木的桶常用于制造咸菜及酸菜，白橡木板则为制酒之用。美洲红木或洋松木制成的桶常作贮水

\* Dorr classifier





10'-0" 非直接火受压容器, 压力 150 [磅/时<sup>2</sup>], 温度 850°F

图 1-1 按照原 API-ASME 规范设计的具有成型顶盖的圆筒形容器

之用。处理稀盐酸、乳酸及醋酸以及盐类的溶液，亦可用木桶以代替钢桶，在鞣革、酿造以及腌制等工业中<sup>[6]</sup>，木材更为制桶所不可缺少的价廉材料。

在食品及制药工业中，配制物料时须将物料加入敞式容器。为此目的常采用小型敞式的槽或锅。在此项应用中，广泛采用玻璃衬里的钢槽或铜的、蒙乃尔合金\*的、以及不锈钢的槽等，以抵抗物料的腐蚀及防止物料的夹杂。

**1.1b 闭式容器** 易燃流体、易产生有毒及可厌烟气的流体以及气体，必须贮存于闭式容器之中<sup>[7]</sup>。酸、碱等危险性化学品，若贮存于闭式容器之中即可减少危险性。石油及其产品均易燃烧，故在整个的石油及石油化学工业中必须采用闭式的槽及容器。由于闭式容器在石油领域中

的广泛应用，美国石油协会\*\*为了安全和经济，在这方面做了相当多的工作以使设计标准化。原油及石油产品贮槽的设计及制造，可按 API 标准 12C (焊接油类贮槽 API 规格)<sup>\*\*\*</sup>。石油工业中贮槽的设计均以此为准，但对其他场合，亦为有用的参考性指示。

平底锥形或穹窿形器顶的圆筒形容器 在大气压力下操作的闭式容器以平底锥顶的立式圆筒形容器最为

\* Monel

\*\* American Petroleum Institute, 简称 API——译注

\*\*\* API Standard 12C, API Specification for Welded Oil-Storage Tanks

经济,可以直接放置在以黄砂、细石子、或碎石块为基础的底座上。如有必要利用重力卸料时,则须使容器的位置高离地面,而平底可以安放在柱及木栅或钢梁上。圆筒形平底锥顶容器备有“透气眼”或放气孔以抵消流体因温度及容积波动而产生的膨胀和收缩。若槽的直径在24[呎]以下,器顶一般为自支承式,但直径较大而在48[呎]以下,常需至少一个中央支撑柱。槽的直径大于48[呎],则器顶常具

有几个支撑柱或设计成浮沉顶盖,随器内液面的高低而升降。一般情况下,锥形器顶的槽的主要应用仅限于大气压力下。若采用穹窿形器顶,则可允许用于2.5至15[磅/吋<sup>2</sup>](表压)的压力。这种容器比同样容量的锥顶容器较高且直径较小<sup>[8,9]</sup>。

具有成型顶盖的圆筒形容器 两端装有成型顶盖的闭式圆筒形容器用于贮存蒸气压力较高的液体而需要

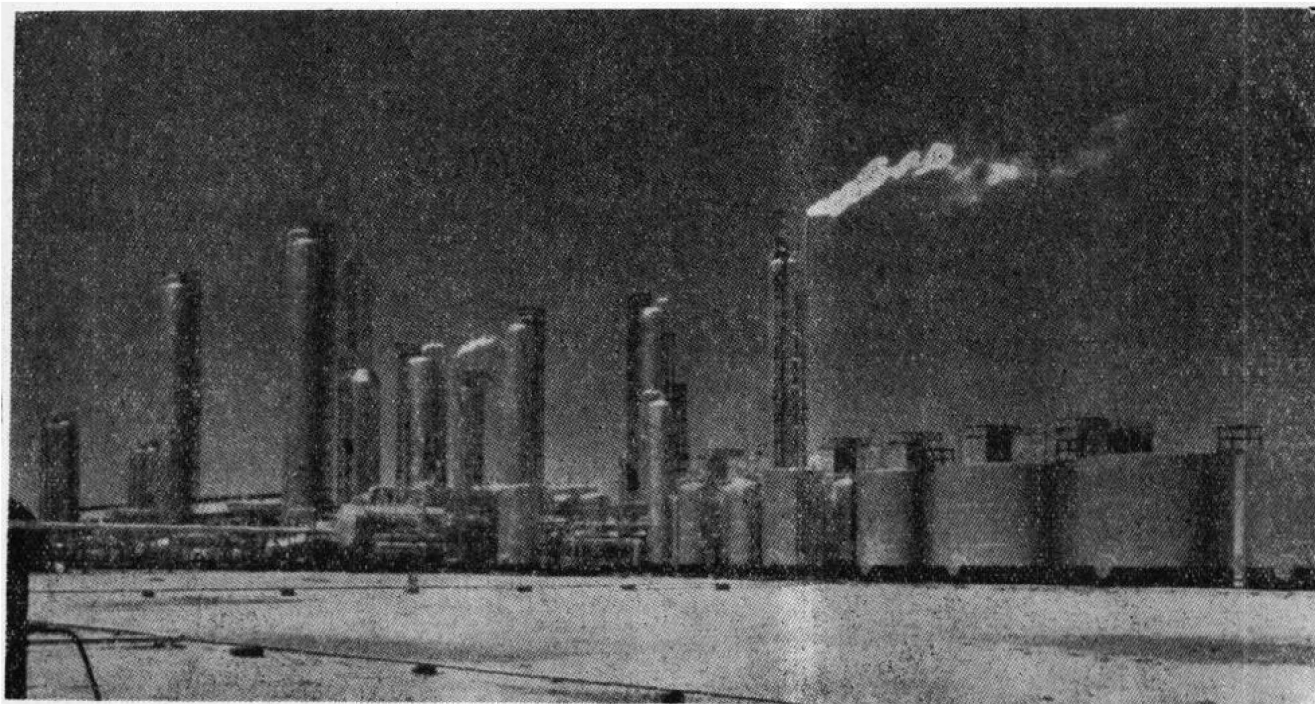


图 1.2 石油炼制厂

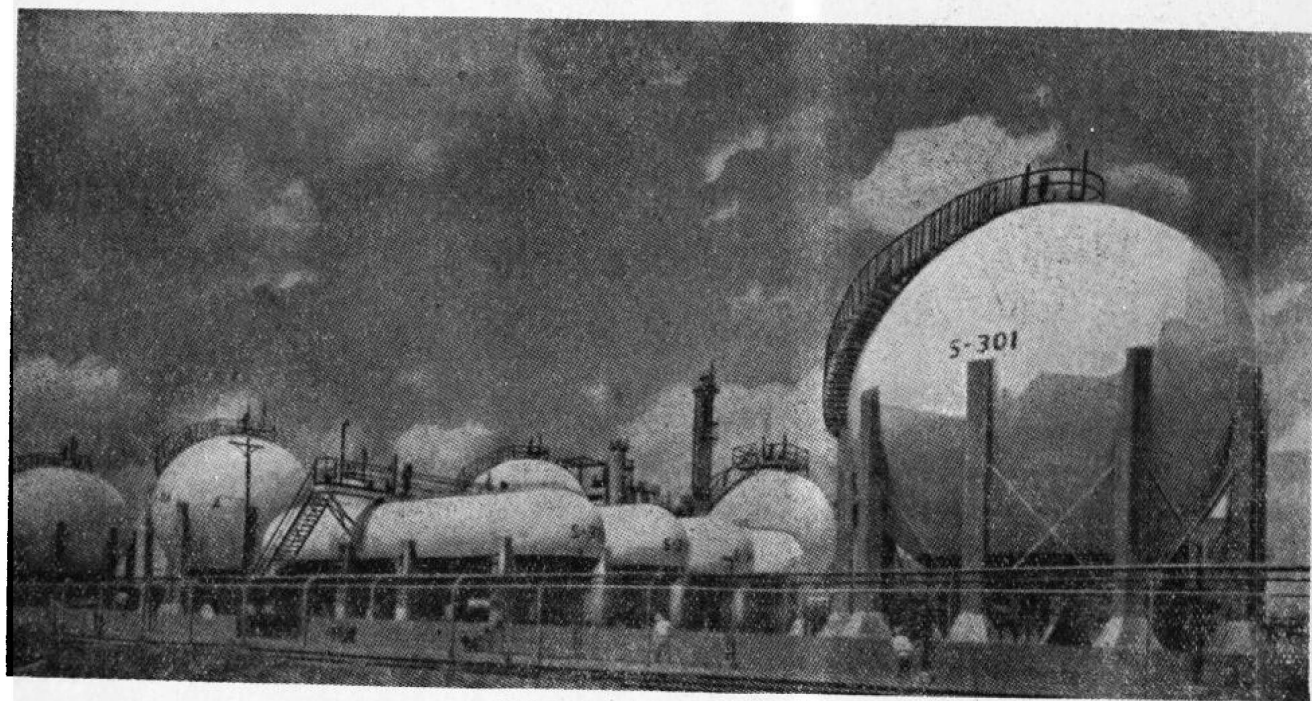


图 1.3 圆球形贮槽及卧式贮槽

4 较强设计的场合下。通过美国石油协会<sup>[10]</sup>及美国机械工程师学会<sup>[11]</sup>的努力,已订有规范以指导此项容器的设计。若由铁路运输,则容器的直径常小于12[呎]。然而,在现场装配的容器直径可超过35[呎],长度可超过200[呎]。若贮存大量的液体,则可采用一组容器。

圆筒形容器的两端顶盖式样甚多。成型顶盖包括半球形、椭圆碟形、准球形、标准碟形、锥形、以及准锥形。特殊情况下,可用平板作为容器开孔的封盖。然而平板顶盖很少用于大容器。如压力不在ASME规范的范围內,容器常装有标准碟形顶盖,而按规范制造的容器,则常装有ASME碟形顶盖或椭圆碟形顶盖。“受压容器”所用的顶盖以椭圆碟形为最普通。图1.1示一立式圆筒形容器,其成型顶盖是按照原API-ASME规范设计的。

大部分化工及石油化工设备如蒸馏塔、解吸器、吸收器、洗涤器、热交换器、压力中间贮槽、分离器等主要为圆筒形闭式容器,其顶盖有各种式样。图1.2示一石油炼制厂中的前述的各式容器。图中所示的设备,几乎都是装有成型顶盖的圆筒形容器。

**球形及类球形容器** 中间压力的大容积贮槽常制成球形或扁球形的。此式容器的容量及压力悬殊很大。容量范围自1000[桶]至25,000[桶],压力范围自大容器的10[磅/吋<sup>2</sup>](表压)以至小容器的200[磅/吋<sup>2</sup>](表压)。图1.3示一组卧式圆筒形容器及球形容器,用于贮存压力在100[磅/吋<sup>2</sup>](表压)以下的石油产品。

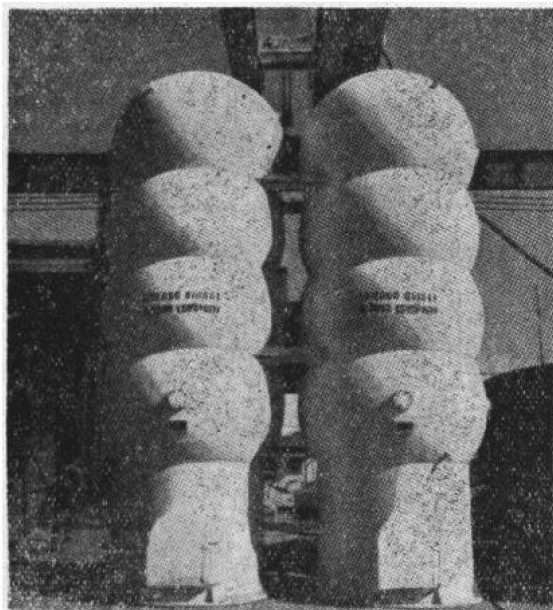


图1.4 在400[磅/吋<sup>2</sup>](表压)下贮藏氮的二个多级球形贮槽

贮存一定量的受有压力的气体,所需的贮存容积显然是和贮存压力成反比关系的。一般情况下,对于一定重量的气体而言,在大容积低压力的贮存条件下,采用球形容器

较为经济。在较高的贮存压力下,气体的容积减小,则圆筒形贮槽比较经济。但若考虑压缩及冷却气体所需的费用,则上述经济上的优点即部分抵消。处理小量气体时,采用圆筒形贮槽较为有利,因为容器的制造费用变成控制因素,而小型圆筒形容器是比小型球形容器为经济。

类球形容器,例如图1.4所示的二座多级球形容器,有时更为经济。图中的贮槽是为处理操作压力为400[磅/吋<sup>2</sup>](表压)的氮气用的。类球形容器亦可用作贮存中等压力的大量的流体。大型的扁球体容器的容量可高达55,000[桶],压力为75[磅/吋<sup>2</sup>](表压)。最大的受压贮器是半扁球体贮槽,其容量高达120,000[桶],压力为2.5[磅/吋<sup>2</sup>](表压)。每一容器的容量增加,其所能承受的安全压力减小,这是指结构不太笨重而言。图1.5示一贮存天然汽油用的半扁球形容器,容量为20,000[桶],压力为2.5[磅/吋<sup>2</sup>](表压)。

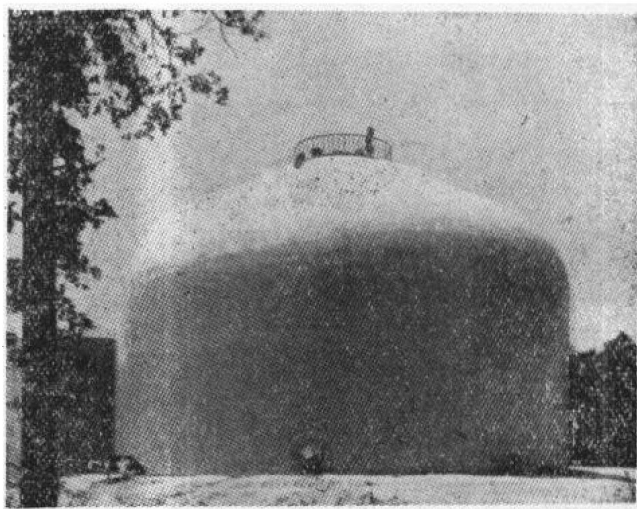


图1.5 半扁球体汽油贮槽,容量20,000[桶],直径64[呎],高35[呎]。按操作压力2½[磅/吋<sup>2</sup>](表压)而设计

## 1.2 制造方法

化工设备是按一些成熟的方法制造而成,例如熔融焊接、铸造、锻造、机械加工、铜焊、锡焊、及金属薄片作业等都是。各种方法对于个别类型的设备均有某些优点。然而,其中以熔融焊接最为重要。设备的尺寸、式样、用途和材料的性能,都会影响制造方法的选择。

由于铸铁的耐腐蚀性能较优于钢材,故灰铸铁广泛应用于大量生产小管件,且也应用于制造较大的部件,例如铸铁管、换热器壳体、蒸发器的器身等。大直径容器不易铸造,而且灰铸铁用作受压容器时其强度亦不可靠。铸钢可用于制造小直径厚壁容器。此外,与铸铁相比较,铸钢的强

\* American Society of Mechanical Engineers 简称 ASME——译注

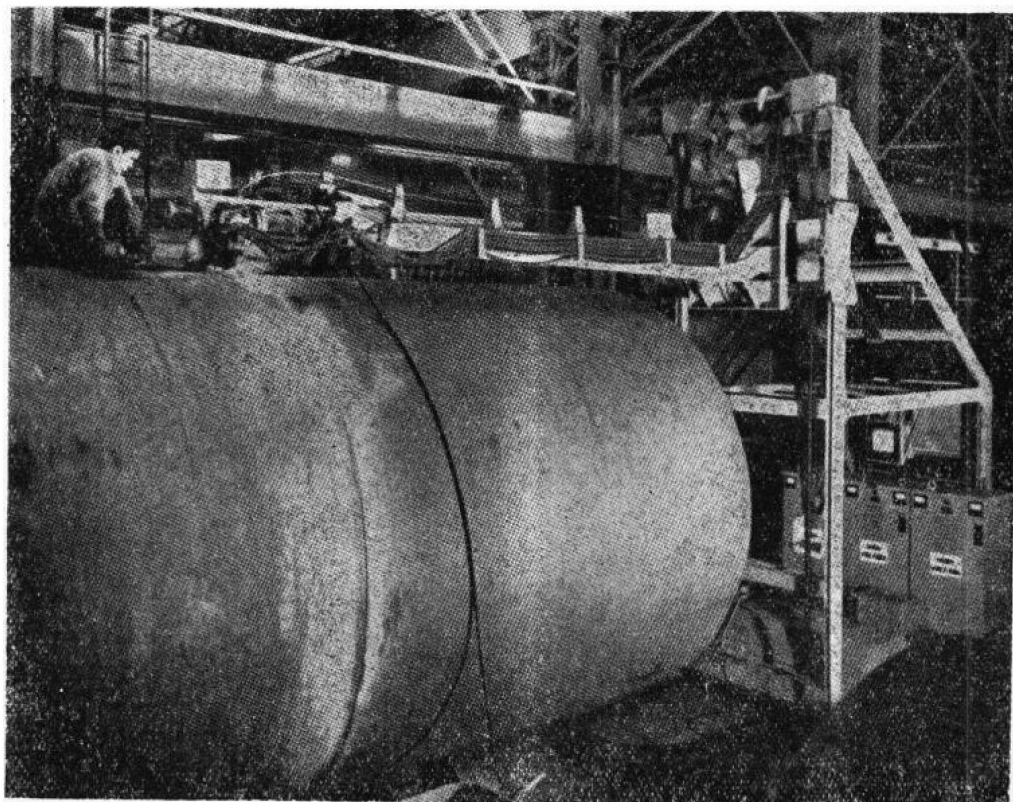


图 1.6 用自动焊机焊接  
巨型容器壳体的周向焊  
缝外侧

度较高且更为可靠，因此当金属铸件的孔隙无关紧要的时候，铸钢更适用于高压操作。由于铸造技术方面的问题，铸钢容器直径还是受到限制。合金钢铸造的容器可用作高温高压下操作的装置。

锻造是金属成型方法的一种，常用于制造容器的某些部件，例如：顶盖、法兰及管件等。壁厚超过 4 [吋] 的容器常常是锻造的。制造容器壳体的顶盖所用的其他金属成型特殊方法，例如板材的机压、旋转滚压及轧制等，将在本书以后的章节中讨论。金属薄片作业类似机压，金属借助于压机与模具而成型，但此法仅限于较薄材料。金属薄片作业作为一种容器制造方法，广泛应用于不锈钢及有色金属，例如铜、蒙乃尔合金等，此类金属由于价昂未能采用较厚的材料。

在近代焊接技术未改善以前，铆接广泛应用于许多不同种类的容器，例如贮槽、锅炉及各种受压容器<sup>[12]</sup>。有色金属例如铜、铝等容器的制造，目前仍有采用铆接的。然而，现在焊接技术已经变得十分先进，因此对这些材料也常采用焊接。由于现在的趋向是屏弃铆接结构，本书不讨论以铆接作为制造方法的设计。

除了冷成形以外，机械加工是用于保证精确公差唯一方法。设备的配合部分要求逼近的公差。法兰面、衬套、支承面等通常需进行机械加工，以保证满意的装配。试验室或试验性工厂的超高压设备有时由整块材料、穿孔板材及锻件等经机械加工而成。高压多层容器是将一系列同心

圆壳体加工并经冷缩配合以产生预期的预应力状况而制成。此种容器的制造方法将在本书以后的章节中讨论。一般而言，机械加工是耗资的操作，所以仅限于小容器及许可昂贵加工的部件。

**1.2a 融熔焊接** 融熔焊接是钢容器的最广泛应用的制造方法<sup>[13]</sup>。此种制造方法事实上不受尺寸的限制，并广泛应用于在现场上制造及安装大型化工设备。此种设备往往按局部装配方法制造。在此过程中，整套设备的各部分在车间中焊接，然后再进行现场装配。容器尺寸很小可以由卡车、火车或驳船运输的，通常是完全在车间焊接，因为在车间焊接费用较少，并易于控制焊接过程。

有二种融熔焊接方法广泛应用于容器制造，即：(1) 气焊法，用乙炔与氧的可燃混合物供给融熔所需的热量，及(2) 电弧焊法，融熔热量由电流供给<sup>[13,14,15,16]</sup>。电弧焊是比较满意的方法，因为能减少被焊材料受热、减少氧化、较易控制堆积的焊接金属。有许多种规格的电弧焊机器可供应用，其中有由小型携带式的电焊机器以至大型的自动电焊机。小型弧焊机广泛应用于制造小容器的焊接车间，而自动电焊机较适合于焊接有大量焊接金属堆积的重型部件。图 1.6 示利用自动焊机以制造大直径容器的情况。

气焊适宜于焊接轻型金属材料(规格 20 号或以下)，因为用电弧焊接是有困难的。在现场或车间中几乎全部使用气焊设备以切割金属。

在电弧法焊接容器的领域中，最现代化而又成功的进

展之一是遮蔽弧焊法<sup>[17]\*</sup>。此法事实上在第二次世界大战开始时尚未被人所知。在战争的年代里,由于需要加速生产焊接机器,因而认识到此种技术的优点。此法系将电弧置于粒状矿质熔剂护屏之内。在护屏内的电弧产生能量以熔化电极并堆积焊接金属。部分粒状熔剂熔化,在焊接金属上形成保护层,并随之而凝固。此法除了能完全保护焊接金属,使之不与大气接触外,实质上还使焊接金属不含氢。电弧被遮盖时将看不见弧光,与以前焊接过程相比较,所产生的烟雾和不愉快气味也较少。由于操作者不能观察焊接情形,要用机械装置以控制焊接尺寸。一次焊接可堆积数吋焊接金属,因而大大降低所需的焊接时间。然而,遮蔽弧焊法最大优点还在于操作稳定。

**1.2b 焊接标准** 焊接法制造设备的是否成功,有赖于控制焊接因素,例如,焊接工人的训练及其经验、使用恰当的材料以及焊接工序。缺乏经验的焊接工人或使用不良材料及采用不正确的焊接工序虽亦可能制成外表美观的容器,但不牢靠的焊缝会在使用中失效。因此,控制焊接因素使设备具有牢靠的焊缝是绝对重要的。为此目的,建立了许多规范和标准。现举若干标准如下:

“美国机械工程师学会 (ASME) 焊接质量鉴定规范” (ASME 锅炉规范第九节)。

“美国标准协会 (ASA)\*\* 受压管路规范” (B131.1 第六节和附录 I 及 II)。

美国焊接学会\*\*\*标准质量鉴定程序。

美国石油协会 (API) 标准 12C, API 焊接油类贮槽规格 (第七、八节)。

美国焊接学会 (AWS) 制定了基本标准以鉴定操作工的资格并衡量焊接工序的质量。此项资格鉴定标准成为各种规范中大多数标准的基本内容。为了实用目的,在各种规范与标准中鉴定焊工与焊接工序的规则是大致相同的。不论是否使焊制容器符合任一种规范或标准,焊件都应该符合一种最低标准。

每个制造车间必须制定焊接工序使其最适应本身的需要及本车间的设备。为了符合前述焊接标准,一切车间所订的焊接工序不一定相同。但是不论根据那种工序,焊缝必须通过焊接工序的鉴定考验,按相同工序鉴定焊接工人。为了符合标准,按车间制定的工序而进行的焊接件必须进行试验,以测定抗拉强度、延性及焊缝牢度。焊接工序所需进行的试验,按 API 标准 12C 所列举的包括如下:

一、槽焊缝:

1. 变截面拉伸试验 (抗拉强度);
2. 任意弯曲试验 (延性);
3. 底面弯曲试验 (牢度);
4. 顶面弯曲试验 (牢度);
5. 侧弯曲试验 (牢度)。

二、填角焊缝:

1. 横向剪切试验 (抗剪强度);

2. 任意弯曲试验 (延性);
3. 填角焊缝牢度试验。

上述试验所要求的合格限度在各规范中均有详细讨论。少数代表性的要求如下:

1. 在变截面拉伸试验中抗拉强度不得低于被焊金属最低抗拉强度的 95%;
2. 在任意弯曲试验中最小允许伸长是 20%;
3. 在横向剪切试验中焊缝的抗剪强度不得低于被焊材料最低抗拉强度的 87%;
4. 在各种牢度试验中,要检查试样的凸起面以视是否有裂痕或其他缺陷。若沿任何方向有超过  $1/8$  [吋] 的裂痕,则认为焊缝已失效。

非但车间所制定的工序,连每个焊工都必须符合某一标准所规定的质量鉴定。每个焊工工人必须具有能按前述试验所规定的工序焊接的能力。这是重要的,因为一个焊工工人可能有资格按某一工序操作,但若按另一工序操作将不能通过鉴定。例如,自动焊接机的操作者使用该机器能焊得满意的焊缝,但可能没有能力使用手工设备。

**1.2c 焊缝的式样** 在制造容器中采用各种式样的焊缝。选用焊缝式样决定于设备的使用情况、金属的厚度、制造过程及规范的要求。图 1.7 摘自美国石油协会——美国机械工程师学会 (API-ASME) 非直接火受压

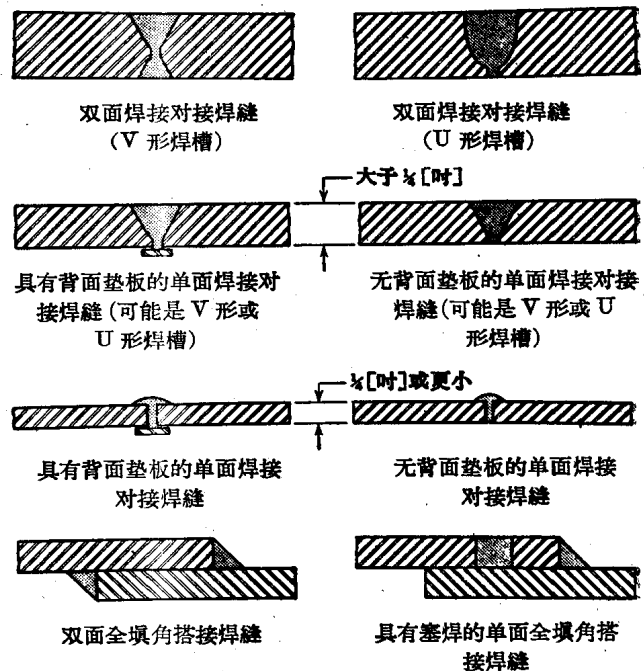


图 1.7 焊缝示例。(附注: 所示二种搭接焊缝仅用于周向焊缝及厚度不超过  $5/8$  [吋] 的壳体板, 用于管接头与补强板联接时无厚度限制) (按 API-ASME 规范<sup>[10]</sup>)

\* Submerged-arc welding process

\*\* American Standards Association 简称 ASA——译注

\*\*\* American Welding Society 简称 AWS——译注

焊縫式樣							現場焊接	圓焊	平整的
圓緣	填角	焊槽				塞焊及槽焊			
		方形	V形	切邊	U形	J形			
焊縫位置									
焊縫的箭頭側(或近側)			焊縫的另一側(或遠側)			焊縫的兩側			

1. 焊縫上箭頭所指的一側為箭頭側,此焊縫的對面為另一側。
2. 除非另行說明,箭頭側與另一側焊縫的尺寸是相同的。
3. 符號施用于焊縫方向突變範圍以內,或在陰影綫或尺寸綫範圍以內,但採用圓焊符號的除外。
4. 除非另行說明,一切焊縫都是連續的,各部尺寸的比例符合使用者的標準。
5. 箭頭尾部用以標明規定的步驟或其他參考規則(若不用參考規則則可省去尾部)。
6. 當採用切邊的或J形槽的符號時,箭頭須具有顯明的轉折部分並指向需切焊槽的焊件上(若需切焊槽的焊件是顯明的,則箭頭轉折部分可省略)。
7. 焊縫尺寸、斷續焊縫每一段長度及間距的單位均為[吋]。
8. 應用上述符號的詳細說明參照美國焊接學會\*出版的標準焊接符號\*\*。

\* American Welding Society \*\* Standard Welding Symbols

圖 1.8 API 標準 12C 建議的焊接符號

容器規範\*, 圖示某些焊縫式樣用于以鋼板製造的受壓容器。其他形式的焊縫及焊縫預加工的詳圖載于附錄II。大多數工程部門目前不繪制焊接詳圖以表示所需的焊接,而用標準符號以表明焊接慣例<sup>[10]</sup>。典型焊接符號示于圖 1.8。

槽,則所用合金及有色金屬的相對價格亦必增加。大容器有時採用預應力混凝土或鋼筋混凝土制成甚為有利。

### 1.3 容器設計中准則的類別

容器類型的選擇,主要根據容器所需要完成的任務。這些任務規定了某些操作條件,例如溫度、壓力、尺寸限制以及各種載荷。若設計時未能很好地考慮這些要求,則容器在應用時可能失效。

容器失效的情況有多種,例如由于過度的應力所引起的塑性變形,或不經塑性變形而破裂,以及彈性的不穩定性等。腐蝕、磨損或疲勞亦會引起容器的失效。要避免這些失效,設計容器時需考慮這些因素以及材料的物理性能。容器可能失效的各種類型以及設計中的准則將在下章中討論。

### 1.4 經濟方面的考慮

雖然構造材料的選擇一般受化學工藝過程要求的限制,但最終還是常由經濟的考慮所決定。為比較起見,由不同材料制成的 10,000 [加侖] 貯槽的相對價格(基準:以鋼為 1)列于表 1.1 中<sup>[10]</sup>。細察該表可知,若工藝過程允許採用,最廉價的結構材料為木材、混凝土及鋼材。此等材料常可襯以薄的保護層;如此則在制成容器時可避免全部採用昂貴的金屬或合金。若需處理較大容積而採用大尺寸的貯

表 1.1 貯槽構造材料的相對價格

材 料	相對價格(以鋼為基準)	
	10,000 [加侖]	100,000 [加侖]
木材	0.4	—
混凝土(鋼筋)	0.6	0.5
鋼	1.0	1.0
鋼(某種塑料* 衬里)	1.2	1.2
鋼(橡膠衬里)	1.8	2.0
鋼(鉛衬里)	1.8	2.0
銅	2.0	2.6
鋁	2.4	3.0
鋼(玻璃衬里)	2.7	3.0
鎳-鋼包層金屬	2.7	3.0
不銹鋼-鋼包層金屬**	2.7	3.0
不銹鋼, 304 型	3.4	3.5
蒙乃爾†-鋼包層金屬	3.4	3.5
因康乃††-鋼包層金屬	3.4	3.5
不銹鋼, 316 型	4.4	4.8
蒙乃爾金屬	4.4	4.8
鋼(銀衬里)	12.8	—

\* Lithcote

\*\* Stain-clad steel

† Monel

†† Inconel

\* 參看本書第十三章——譯注

**1.4a 鋼的价格** 絕大部分的化工及石油化工过程的設備由普通碳鋼制成。为了使鋼制設備的设计經濟合理,有关鋼材定价方法方面的知識是重要的。

鋼材可由二个来源购得——鋼厂或鋼商的仓库。这二种来源的鋼价是不同的,仓库价格要高得多。此价格上差异的原因是:鋼厂为了减低单价,千方百计地希望在生产上达到最大容量。鋼厂目前的实际情况是,为了經濟的考虑,常常等候有足够重量的訂貨之后才軋制一次。所以鋼厂常仅为需要相当大量鋼材的、且必須預先知道需要数量的主顧服务。显然,这种供应办法无利于交貨迅速;一般的定貨与交貨期間需要三、四个月或更多的時間,視鋼厂軋制计划而定。

对于某些主顧需要鋼材急迫而数量太少不足以列入鋼厂生产计划,則必須謀求另一供应鋼材的来源。鋼商仓库能滿足这一方面分配的要求,从仓库的大量存貨中可以立即供应鋼材。鋼商仓库由各处軋制工厂获得鋼材作为进貨,将不同质量、光洁度、形状和大小尺寸的鋼材貯存在仓库中。因此容器制造厂所需的任何特殊鋼材可立即由仓库存貨中购得,或多种鋼材品种的购置可同时由一个合适的仓库中一次供应。

显然,仓库定价必較工厂定价为高,用以补偿鋼材存貨的轉运、貯存、及交貨等的費用。所以仓库价格和工厂价格間的差异主要是服务性的費用。

美国自 1945~1952 年的七年間,在鋼厂生产的总量中轉运給仓库而由仓库再行发售的量平均約为 18%<sup>\*</sup>。1951 年鋼厂的总产量为 78,928,950 [吨] 而运給仓库的为 14,399,432 [吨] (占 18.5%)。

对于大型化工厂化工設備的设计,常在需要运输日期的 6~12 个月之前向容器制造厂訂制容器,使容器制造厂有足够的时间向鋼厂訂购鋼板而不由仓库中购置。

**工厂价格** 一般情形,不論由工厂或仓库购得的鋼材均分成“热轧”及“冷轧”两种情况。鋼材又再分成薄鋼片、帶鋼、鋼板、或鋼棒。合金鋼及結構鋼另有分类方法。“热轧鋼板”或“冷轧帶鋼”或“合金鋼棒”等等名称是現有鋼

表 1.2 冷轧碳鋼平板的尺寸分級

寬 度 [吋]	厚 度 [吋]	
	0.250 或更厚	0.2499 至 0.0142
12 以下	鋼棒	帶鋼(1)
大于 12 至 24	帶鋼(2)	帶鋼(2)
大于 12 至 24	薄鋼片(3)	薄鋼片(3)
大于 24 至 32	薄鋼片	薄鋼片
大于 32	薄鋼片	薄鋼片

附注: (1) 寬 1/2 [吋] 以下、厚度小于 0.225 [吋] 而橫截面积不超过 0.05 [吋<sup>2</sup>], 具有軋滾的或修整的边緣是“扁鋼絲”。  
(2) 若有特殊边緣、光制或明确回火,如 ASTM 規則 A-109 所定。  
(3) 若未規定或无需特殊的边緣、光制或回火。

材类型的綜合分类。表 1.2 示某一典型鋼厂的冷轧碳鋼平板按尺寸分級。表 1.3 示热轧碳鋼平板按尺寸作相应的分級。

表 1.3 热轧碳鋼平板的分級

厚 度 [吋]	寬 度 [吋]				
	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 及小于 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	大于 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 至 6	大于 6 至 12	大于 12 至 48	大于 48
0.2300 及更厚	鋼棒	鋼棒	鋼板	鋼板	鋼板
0.2299 至 0.2031	鋼棒	鋼棒	帶鋼	薄鋼片	鋼板
0.2030 至 0.1800	帶鋼	帶鋼	帶鋼	薄鋼片	鋼板
0.1799 至 0.0568	帶鋼	帶鋼	帶鋼	薄鋼片	薄鋼片

鋼厂及鋼商仓库对每級的产品提出“基本价格”。一般鋼厂的“基本价格表”系指每一批每一品种尺寸的定貨不小于 10,000 [磅] (一种厚度及一种寬度均視作为一种尺寸), 其等級或成分分析相同, 起运后的交貨地点亦相同。如重量小于 10,000 [磅], 則要另加“項目-质量附加”費用。在基本价格之外鋼厂将另加各种附加費用, 其具体情况应參閱各工厂的产品目录。附加費用中有: 等級附加、质量附加、超长度附加、超寬度及厚度附加、鎮靜鋼附加、气割附加 (指裁边板<sup>\*\*</sup>)。

**仓库价格** 鋼商仓库各地皆有, 提供了鋼产品供应的方便的来源。鋼厂生产标准长度及寬度的鋼产品, 仓库則供应主顧所需要的特殊尺寸的鋼材。仓库中的典型操作包括剪裁、鋸开、纵割、气割等。某些仓库可供应已經軋成圓筒形状的鋼板、已經軋成环状或弯成其他形状的鋼棒、以及已經钻孔或冲孔的鋼板。图 1.11 示某一仓库中存放鋼材的典型。

各鋼商仓库的价格略有不同, 随仓库的地位、离鋼厂的远近及代客服务的情形而定<sup>\*\*\*</sup>。

**1.4b 制造費用** 生产每一件化工設備的直接費用包括材料的費用和人工的費用。材料費用由制造中所用的車間材料再加由厂外来源所购置的部件二部分所組成。鋼板費用常占据容器材料費用中的一大部分。实际制造設備时所需的人工費用一般很难事前正确估計。侯<sup>\*\*\*\*</sup>曾作焊接化工容器的簡捷估价方法<sup>[21]</sup>。

**制造步驟** 容器制造中的第一步常为壳体板的軋滾准备工作。壳体的每一块鋼板的边緣需要謹慎加工, 且若在需要按规范焊接时, 将板边緣作好焊接的准备。图 1.12 示一 40 [呎] 刨床对厚度为 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> [吋]、长度为 29 [呎] 的容器壳体鋼板加工双 U 形边緣。下一步常为將鋼板的边卷

\* 图 1.9 为美国自 1944~1954 十年間鋼总产量中运給仓库量百分数的統計图表, 从略——譯注

\*\* Sketch-plate

\*\*\* 本节已作了适当删节, 对具体价格均从略——譯注

\*\*\*\* How

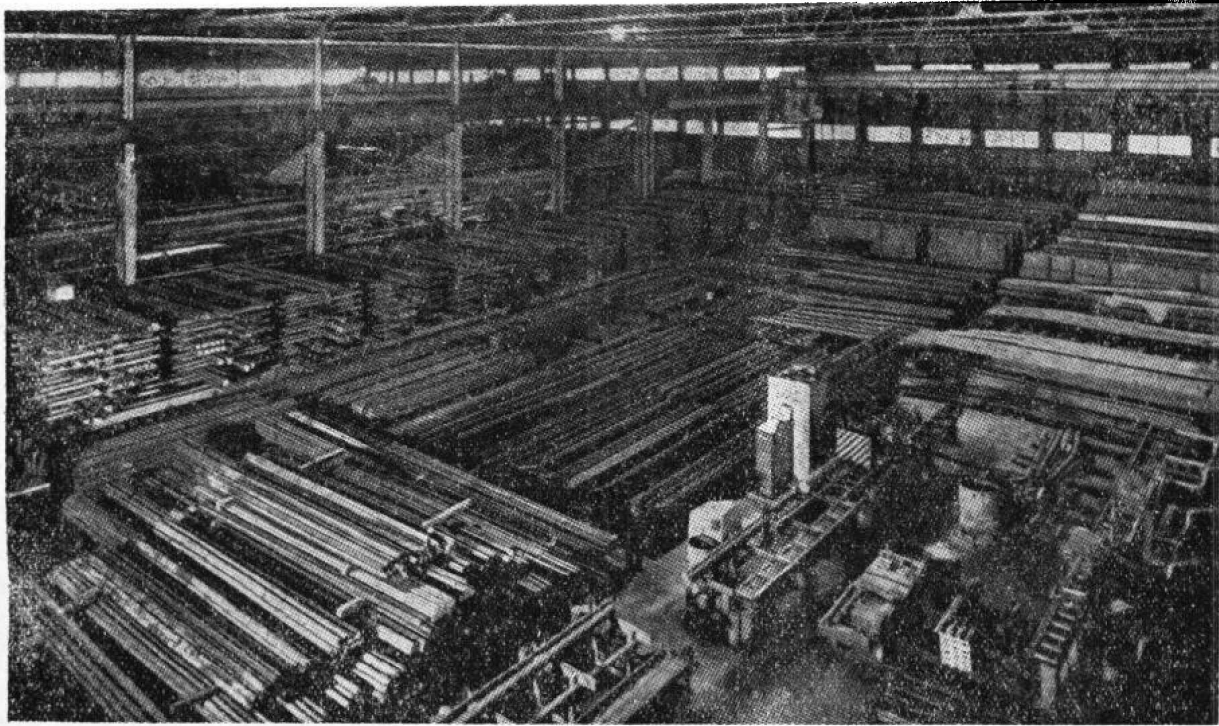


图 1.11 存放鋼材的倉庫內景

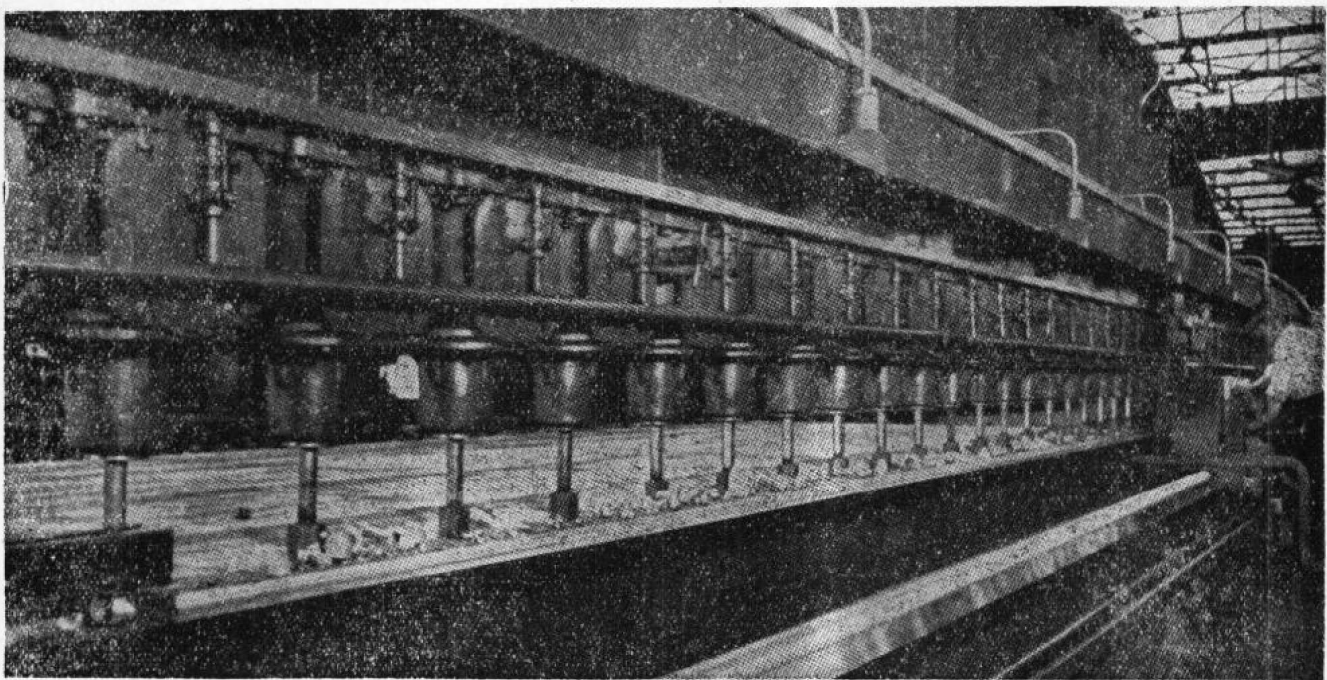


图 1.12 作为容器壳体用的长 29 [呎]、厚 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> [吋] 鋼板，用 40 [呎] 刨床加工双 U 形边緣

折，以便用纵向焊缝焊接。此卷折步骤是需要的，因为軋滾机无法使鋼板两端弯成所需要的曲率半径。图 1.13 示一座 350 [吨] 水压机（在前面部分）将鋼板在軋滾以前卷折。

在图的后面部分可見正在把鋼板在軋滾机上軋滾成圓筒形状\*。

\* 此处以下文字为工时及材料估計，从略——譯注



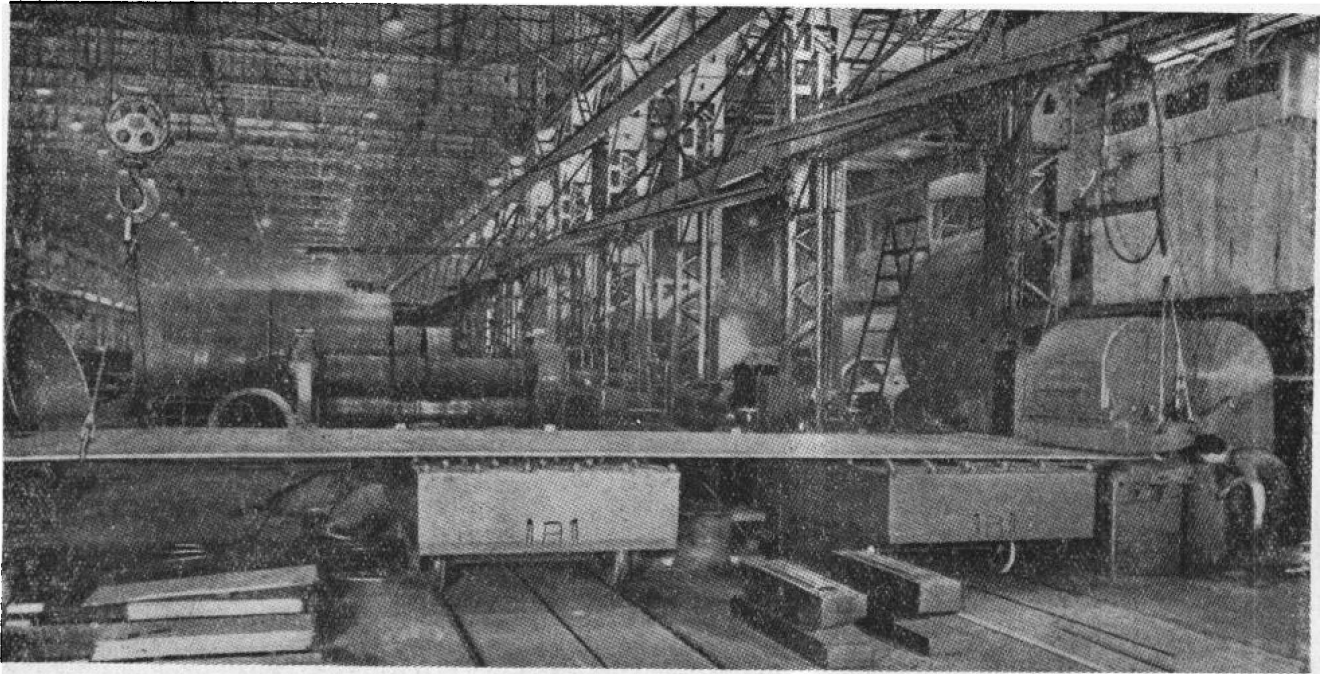


图 1-13 在轧滚前用 350 [吨] 水压机使钢板卷折

## 1.6 容器的典型采购过程

现对采购用于工艺过程的容器的典型手续作一简短的讨论以阐明所包括各步骤的概况。

通常由工艺设计小组制定有关的工艺流程图。流程图包括下列有关项目：操作温度及压力、容量、热负荷及任何腐蚀方面的特殊问题。设备设计小组提出设备各部分的详细草图，规定所用的构造材料、壳体与顶盖的厚度、顶盖的式样及规范的戳记。设备设计小组也规定管接头及人孔的式样及其压力定额；腐蚀裕度；消除应力、X 射线检查，以及水压或气压试验的需要。此外，装运限制、空容器重量与连内部附件在内的重量、装满水的重量、以及操作时的重量通常也由此小组估算。根据以上资料制定设备各部分的规格清单。

采购小组将详细草图复本及规格清单送至各容器制造厂并征询价格及交货日期。与此同时，也将图纸及规格清单的复本送交工厂总体设计小组。此小组制定工厂设计的规划。此规划包括：道路、公用事业、污水道、防火、结构物

的基础、泵、管道等的规定以及上述各部分的详细设计。

按照制造厂所提供的原始估价，选定一家或数家制造厂，并送去最后图纸以征询各个容器以及所需购置的设备各部分的最终价格。然后允许制造厂购买材料并制定车间图纸。此种车间图纸通常要送交订购者征求同意。在同意此项车间图纸以后，制造厂着手进行即将供应的容器及设备其他部分的制造工作。通常订购者在制造容器大部分项目的工厂中成立一检验及督促小组。订购者的检验员通常检查制造过程中的每一步骤，从板材与顶盖的最初检验直至试验及装运。

本书包括订购者及制造厂的工程部门的设计问题。上述问题常相互牵连，因而不准备分别讨论。

本章第 1.4 节为经济的考虑，译文已作了适当的删节。1.5 节为价格估计，从略。图 1.9~1.10、1.14~1.16 以及表 1.4~1.8 系讨论美国市价或人工均从略。本章习题为价格的估算，一并从略——译注