

# 化机制造工艺

(第一篇设备制造工艺)

南京化工学院三年级教学小组

一九七六年十一月

## 编写说明

这本讲义主要是供工农兵学员在设备制造劳动学习时使用。设备制造工艺，是一门实践性很强的课，学员应主要向生产实践学习，向工人老师傅学习。讲义只是起帮助学习之用，因此学习应以自学为主，课堂讲授、教师辅导是次要的。

在学习这门课程之前，学员已具有一定的金属工艺、金属材料及热处理、工程力学方面的基础知识，我们希望通过本课程的学习，能使学员在运用基础理论解决生产实际问题的能力方面提高一步。

化工制造工艺共分三篇，第一篇化工设备制造基本知识和它的主要零部件成型工艺；第二篇焊接基础；第三篇无损探伤。由于焊接在设备制造中占有相当重要的地位，因此，讲义化比较大的篇幅来讨论。

由于我们对毛主席的教育思想学习不够，深入实践不够，加之编写仓促，定有不少错误与不当之处，热忱的希望同志们批评指出，以便改正。

南京化工学院化机教研组

一九七六年十一月



第一章 化工设备制造的基本知识	1
第一节 概 述	1
第二节 固定管板热交换器制造工艺过程	3
第三节 钢材的基本知识	6
一、 原材料的规格与检验	6
二、 钢材的机械性能与内部组织的关系	18
三、 化工容器常用钢种	21
第二章 化工设备主要零部件的成型工艺	26
第一节 准备工序	26
一、 钢材检验	26
二、 钢材的矫形与净化	27
三、 放样与划线	31
四、 切 割	34
五、 边缘加工	42
第二节 主要零部件的成型	45
一、 筒体的弯卷	46
二、 冷加工硬化	58
三、 封头成型	62

# 第一章 化工设备制造的基本知识

## 第一节 概 述

石油，化学工业中广泛的使用各种机器和设备。习惯上把诸如压缩机、泵、风机、离心机、过滤机等“动”的机械称之为机器，而把“静止”的器械称之为设备。例如：塔器、换热器、容器、反应器以及附属于上述各设备之构件（包括弯头、管道法兰等）。

就设备而言，看起来上述各设备之间是互不相关的，但从制造的角度来看，上述四种设备总是可以把它看成是由外壳（容器）和内部构件所组成，如图（1—1）所示。换热器可以看成由外壳容器和管子管板构件所组成；板式塔可以看成是由外壳容器和塔板构件所组成；合成塔（反应器的一种）可以看成外壳容器（只不过由于容器所受的压力较高，所以壁较厚）和内件所组成。因此在设备制造中，容器的制造占相当重要的地位，我们在下面的篇幅内将着重对容器的制造进行讨论。

由于化工生产之产品种类繁多。生产过程中的工艺条件（诸如压力、温度、介质的腐蚀性如毒性等）各不相同。容器的操作条件也随之而不同，因而对容器的制造就有不同的要求。一般的来说，操作条件中的压力、温度是最主要的。根据容器所受压力的大小，容器就有常压、中低压、高压容器之分。根据容器所受温度的高低，容器就有低温、一般低温、高温容器之分。根据我国原化工部制订的“钢制化工容器设计规定”及一机部、燃化部颁布的“钢制焊接容器技术条件”（JB741—71）报批稿规定，具体的区分如下：



压力	{	操作压力 $< 0.7 \text{ Kg/cm}^2$ —————	常压容器。
		操作压力, $0.7 \text{ Kg/cm}^2 < P_{\text{操}} \leq 100 \text{ Kg/cm}^2$ ————	中低压容器。
		操作压力 $> 100 \text{ Kg/cm}^2$ —————	高压容器。
温度	{	操作温度 $t < -40^\circ\text{C}$ —————	低温容器。
		操作温度 $t$ ; $-40^\circ\text{C} < t < +400^\circ\text{C}$ ————	一般温度容器。
		操作温度 $t > 400^\circ\text{C}$ —————	受高温容器。

应该指出的是：上述的分类方法并不是绝对不变的，而是总结了国内容器的使用和制造等各方面情况后提出来的。例如根据一机部、燃化部颁布的“钢制焊接容器技术条件”旧标准（JB 741-65），其压力适用范围为小于  $50 \text{ Kg/cm}^2$  的情况。所以我们以往把设计压力  $< 50 \text{ Kg/cm}^2$  的容器称为中低压容器。由于生产的发展，低合金钢及其他钢种在石油和化工压力容器制造中的广泛使用，用同样厚度的低合金钢制造的容器比碳素钢制容器能承受更大的压力，因此为适应生产的需要，新标准（JB 741-71）就把适用范围提高到  $\leq 100 \text{ Kg/cm}^2$ ，相应的对制造上如焊接质量、热处理方面提出了新的要求，所以我们要用发展的眼光来看待这些规定，而不能把它看成一成不变。这一点我们应该加以注意的。

除上述的分类方法以外，根据容器的壁厚还可以有薄壁和厚壁之分，薄壁容器的制造，绝大多数采用钢板卷焊而成。而厚壁容器型式不一，制造方法也不相同。对于厚壁容器的制造，详见高压容器制造工艺。

除了温度、压力以外，根据操作介质对设备腐蚀性的大小，选用不同的耐腐蚀材料。根据介质毒性的不同，对设备密封性要求有不同，那么相应的制造措施也要跟上。

当然，还会有其他情况，我们就要“对于具体事物作具体的分析”。首先是分析有哪些矛盾，然后再去看哪些是主要矛

。一般情况下，压力、温度是主要矛盾，而碰到有腐蚀性介质的容器时，虽然压力温度并不高，那么设备的耐腐蚀性能就上升为主要矛盾。我们在制造中就要求保证设备的耐腐蚀性（当然耐腐蚀性也是相对的），才能保证化工生产的正常进行。只要我们抓住了主要矛盾，找出解决主要矛盾的方法，我们就有了主动权，问题的解决也就容易了。

下面我们首先以热交换器为例，来讨论中低压容器制造工艺过程中所碰到的几个主要问题，找出中低压容器制造中共性的东西。

## 第二节 固定管板热交换器制造工艺过程

图(1—2)所示为一个汽—液热交换的固定管板式热交换器。它由椭圆形封头、法兰、筒体、管板、定距管、拉杆、折流板、接管、支管等零件组成。载热体 I（压力  $20 \text{ Kg/cm}^2$ ，温度由  $76^\circ\text{C}$  被加热至  $100^\circ\text{C}$ ）由管内通过。载热体 II（压力  $0.4 \text{ Kg/cm}^2$ ，温度由  $122^\circ\text{C}$  被冷却至  $100^\circ\text{C}$ ）由管外径折流板折向通过管间。换热面积共  $218 \text{ M}^2$ 。

椭圆形封头用法兰连接于管板，并通过毛垫片密封之，换热管（505根）用焊接法连于管板。折流板由拉杆上螺纹固定于管板上，并通过定距管使各折流板间保持一定的间距。

椭圆形封头材料为 A3，和有颈法兰（25#钢）对焊。管子及管板材料均为  $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ ，筒体材料为  $16\text{Mn}$ 。

下面简述主要零件的制造工艺过程：（参阅图1—3）

### 一、椭圆形封头：

放样展开落料 → 剝割 → 热加工压制成型 → 切割直边余量 → 开接管孔及坡口加工 → 供装焊。

## 二、管板：

按图放样（放外圆机加工余量）→切割（等离子切割）→机加工车外圆、焊接坡口及密封面→划线并钻穿管孔、螺栓孔、开孔口隔热槽→供装焊。

管板为两块，为保证在穿管时能顺利进行，两管板相对应的孔应保持同心，通常采用两块管板迭钻的加工方法（除此以外也可以用钻模来保证同心的加工方法）。并做上记号，以备将来装配时校正。

## 三、折流板：

按图外径放机加工余量整块落料→气割→机加工车外圆及钻孔→剪切圆缺形折流板→供装焊。

折流板和管板一样，钻孔时也采用迭钻的方法。折流板圆缺方向按实际装配时方向剪切并做上记号。

## 四、筒体：

按图放样落料（考虑整个长度由三节组成）→气割或剪切→用割枪割纵环焊缝坡口→筒体弯卷（孔圆）→筒节纵焊缝组对→纵缝焊接。

## 五、定距管：

按长度放余量锯管落料→机加工车削两端面，保证端面与管子中心垂直→供装配。

为保证各折流板相互平行，定距管两端面径车削加工，使管子端面与管子中心线垂直，用以保证折流板间的平行。

## 六、换热管：

管子（1Cr18Ni9Ti）按长度锯管落料→校直→供串管。

在这里换热器管子采用焊接的方法固定于管板上。一般不锈钢管（1Cr18Ni9Ti）与管板的连接都采用焊接的方法。

除焊接法以外，还有用粘接的方法。

除了上面这几种零件的加工以外，还有一些零件的加工也可以参照上述方法，写出类似的加工路线，在此就不一一叙述了。

待所有零件加工完毕后，就可以进入总装阶段，总装也可以仿照上述相类似的方法予以表示，即：

熟悉图纸 → 在装配工作台上以一块管板为基准 → 装拉杆于管板 → 装定距管 → 装折流板（反复数次，按图将六块折流板装齐） → 从管板孔串入若干根管子定好位置。检查串管是否顺利 → 筒体套入校正后点焊固定 → 串入所有管子 → 装另一块管板校正后与筒体点焊固定 → 管子移位装入两端管板 → 筒体与管板环缝焊接 → 将已装好的组件竖起来，使管板处于水平位置并将换热管与管板焊妥 → 翻身焊另一管板上的管子 → 划管口方位线及风割管口 → 装焊接管、支座及标牌座 → 管间试压 → 两端装封头组件 → 管内试压 → 清理、油漆、包装出厂。

从换热器的零件制造及总装过程来看，虽然很复杂，也很琐碎。但我们仔细的分析一下，换热器的整个制造过程（其他各种化工设备制造也不例外）大体上可以分为四个主要的步骤，即：备料、零部件成形、焊接组装、检验。而其中成形和焊接组装是二个最主要的问题。成形就是将钢板或者管材等经过压力加工使之变成我们所需要的形状。焊接组装就是将已经成形的零部件组合成一台完整的设备，这种组合可以用焊接或其他的加工手段，而焊接是个关键。我们在下面的内容中，首先着重讨论成形和焊接二个大问题。然后介绍焊缝质量检验方法——无损探伤。



## 第三节 钢材的基本知识

### 一、原材料的规格与检验

#### 1. 原材料的规格

从上一节的换热装置制造中我们可以看出，其原材料大部分都是钢材，这在化工设备中用得最多的一种材料。除此以外，化工设备中还用到其他一些材料，诸如黑色金属（钢材仅是其中一种）、有色金属材料、非金属材料及各种焊接材料（焊条、焊丝、焊剂等）。它们的规格都有国家标准（GB，GB为“国标”的汉语拼音第一个字母）或冶金部标准（YB）、化工部标准（HG）作出具体的规定。我们在这里对最常用到的钢材作一简单介绍。

钢材按其轧制型式可以分为板材、管材、型材。

#### (1) 板材：

钢材按其品种来分有很多，有普通、优质碳素钢板（碳板加厚板）；锅炉钢板；压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板；普通低合金钢板；高压容器用层板；不锈钢钢板；不锈钢复合钢板等等。其规格都有标准技术条件规定；如YB 536-69为“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板”。

钢板的型号、化学成分、机械性能也都有国标、冶标规定之。一般称钢板厚度 $\leq 4$ （毫米）者为薄钢板，钢板厚度 $> 4$ （毫米）者为厚钢板。钢板厚度 $\delta > 4 \sim 6$ （毫米）的，其厚度间隔为0.5（毫米）； $\delta > 6 \sim 30$ （毫米）的，其厚度间隔为1（毫米）； $\delta > 30 \sim 60$ （毫米）的，其厚度间隔为2（毫米）。钢板的宽度间隔为50（毫米），最小宽度为600（毫米）。长度间隔为100（毫米），但不得小于1200（毫米）。

在各钢板技术条件中还列有板材长、宽、厚的允许偏差范

固以受放材交货时的波浪度和瓢曲度规定。所谓波浪度是指钢板的单向弯曲程度。所谓瓢曲度是指钢板的双向弯曲程度。由于双向弯曲（波浪）形状如瓢，故称之为瓢曲度。

表(1-1)、(1-2)、(1-3)为钢板的几何规格(摘自GB 109-65)。

①钢板的厚度在距离角顶不小于100(毫米)和距离钢板边缘不小于20(毫米)处测量。在任何点上测量的钢板厚度不得超过表(1-1)所列允许偏差范围。

表(1-1) 钢板厚度允许偏差

厚度 (毫米)	宽 度 (毫 米)										
	600~1000	1001~1200	1200~1500	1501~1700	1701~1800	1801~2000	2001~2300	2301~2500	2501~2600	2601~2800	2801~3000
	偏 差 (毫 米)										
6~7	+0.3 -0.6	+0.4 -0.6	+0.4 -0.6	+0.5 -0.6	+0.7 -0.6	+0.9 -0.6					
11~25	+0.2 -0.8	+0.3 -0.8	+0.3 -0.8	+0.4 -0.8	+0.6 -0.8	+0.8 -0.8	+0.9 -0.8	+1 -0.8	+1.2 -0.8	+1.3 -0.8	+1.4 -0.8
36~40	+0.4 -1.1	+0.4 -1.1	+0.5 -1.1	+0.6 -1.1	+0.7 -1.1	+0.9 -1.1	+1.0 -1.1	+1.2 -1.1	+1.3 -1.1	+1.4 -1.1	+1.5 -1.1
52~60	+0.7 -1.3	+0.8 -1.3	+0.9 -1.3	+1.0 -1.3	+1.1 -1.3	+1.3 -1.3	+1.4 -1.3	+1.5 -1.3	+1.6 -1.3	+1.7 -1.3	+1.8 -1.3

②钢板宽度的允许偏差，不得小于表(1-2)规定。

表(1-2) 钢板宽度允许偏差

钢板长度	钢板厚度	
	$\leq 16$ (毫米)	$> 16$ (毫米)
$\leq 8$ (米)	宽度 $\leq 2$ (米) 的为 $+10$ (毫米) 宽度 $> 2$ (米) 的为 $+15$ (毫米)	$+15$ (毫米)
$> 8$ (米)	$+20$ (毫米)	$+40$ (毫米)

③钢板的长度允许偏差，不得大于表(1-3)规定。

表(1-3) 钢板长度允许偏差

钢板厚度	
$\leq 16$ (毫米)	$> 16$ (毫米)
长度至2 (米) 的为 $+10$ (毫米)	长度至3 (米) 为 $+15$ (毫米)
长度2—7 (米) 的为 $+25$ (毫米)	长度3—8 (米) 的为 $+30$ (毫米)
长度大于7 (米) 的为 $35$ (毫米)	长度大于8 (米) 的为 $+40$ (毫米)

④钢板的每米波浪度和瓢曲度不得大于：优质钢板每米波浪度和瓢曲度不大于10 (毫米)；普通质量钢板(包括低合金钢)每米波浪度和瓢曲度不大于15 (毫米)。

对于象不锈钢复合钢板等特殊用板材，则另有一些特殊规定。例如，我国目前生产的不锈钢复合钢板的厚度为4~32 (毫米)，其中复层厚度为2~4 (毫米)。复层厚度的公差为 $^{+25}_{-10}$  % (如复层厚度超过正公差仍可交货)。

## (2) 管材

无缝钢管：分为冷拔和热轧两种。其直径、壁厚、化学成分、机械性能、长度等均有系列标准规定。石油、化工设备中

还有特殊需要，选用一些特殊要求的钢管，如化工用高压无缝钢管，无缝不锈钢耐酸钢管等等。

无缝钢管的规格注法为：外径 $\times$ 壁厚。例如 $\Phi 25 \times 2.5$ ， $\Phi 50 \times 2$ 。（参见 YB 231-70, YB 232-70）。无缝钢管通常用法兰联接。

有缝钢管：有两种，一种为电焊钢管，其规格的标注方法也是外径 $\times$ 壁厚。另一种是水、煤气钢管（YB 234-63），其中又分为白铁管（镀锌）和黑铁管（不镀锌）。规格标注为“名义直径”或“公称直径”，用英制“吋”来表示。这个“名义尺寸”既非外径，也不是内径或中径，而只是一种习惯上的称呼。见表（1-4）所示。水、煤气管通常都用螺纹联接，和一般公称螺纹不同，为管螺纹（英制），在使用中应加以注意。

表 1-4 水、煤气管规格举例

公称直径或名义直径		外 径 (mm)	普通管壁厚 (mm)	加厚管壁厚 (mm)
mm	(吋)			
25	1	33.50	3.25	4.00
32	$1\frac{1}{4}$	42.25	3.25	4.00

### (3) 型材：

包括圆钢、方钢、六角钢、角钢、槽钢、工字钢等等。其几何尺寸、材质、性能均有冶金部颁技术条件统一规定。化工设备上最常用到的是角钢，常卷制成圆围，作法兰用，或作设备加固用，或作内部构件的搁圈所用。其规格见 YB。

### 2. 原材料的检验：

化工容器通常都在压力下操作（或者还伴之有温度、介质有腐蚀性、毒性等）。为确保化工生产的安全进行，质量问题

是化工受压容器的中心问题。遵照毛主席教导“一切产品，不但求数量多，而且求质量好，耐穿耐用。”我国工人阶级在制造过程中步步检查，自觉地把好质量关。而原材料检验是质量检验为第一关，必须十分重视。

钢板的质量分为外观质量和内部质量。一般钢厂在供货时都附有“质量合格证明书”或“质量保证书”，上面记录试样试验数据，按一批钢板试样一套，在制造厂有时为了抽查或工艺上需要也做一定的试验。

### (1) 钢板的外观检验：

钢板的外观质量是指钢板有无裂纹、斑点、皱折、结疤、波浪、瓢曲。通常碰到的是瓢曲和波浪，瓢曲和波浪可以通过校形来解决，不妨碍使用。

### (2) 钢板的内部质量：

钢板的内部质量系指化学成分和机械性能。在化工容器上用钢板，除一些不重要的场合如支座等外，一般都采用优质碳素结构钢、低合金钢或不锈钢等钢，因为它们都有化学成分的要求，即使是象 A3R 这样的甲类钢，由于在容器上使用，根据“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板” YB 536--69 规定，也要控制有害元素 S、P 含量在规定值以下。同时化学成分的分析也是作为以后制订焊接、热处理等工艺的根据。

钢板的机械性能试验包括抗拉强度 ( $\sigma_b$ )、屈服强度 ( $\sigma_s$ )、延伸率 ( $\delta_5$ )、冲击韧性 ( $\alpha_k$ )、时效冲击韧性、断口、180°冷弯试验等项目。这些试验大多在“金属材料热处理”中已经学过，我们这里着重分析这些指标和设备制造的关系。

在分析机械性能各项指标与设备制造关系，我们先来看一个钢制受压容器在爆破试验时的情况。如图 (1-4) 所示为一个受压容器爆破试验示意图。试压泵之高压水不断送入，容



器内压力就不断升高，当压力升高到一定数值时，容器往往先在中部鼓起，形成“凸肚”，此时容器并不立即爆炸。随着压力的继续升高，“凸肚”愈来愈大。到压力升至一定数值时，容器就在凸肚处爆破。根据薄壁容器的应力分析，我们知道环向应力 $\sigma_2$ 要比纵向应力 $\sigma_1$ 大一倍（即 $\sigma_2 = 2\sigma_1$ ），因此对钢制容器来说爆破处的凸肚裂缝几乎都是纵向的。

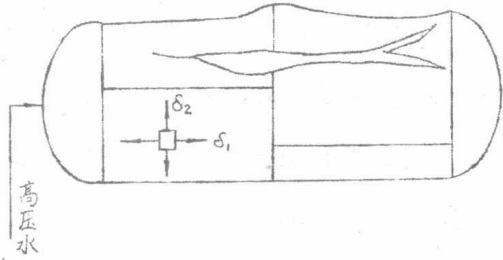


图 4-1 容器爆破示意图

现在我们来再看看钢材机械性能的试验情况。如图(1-5)

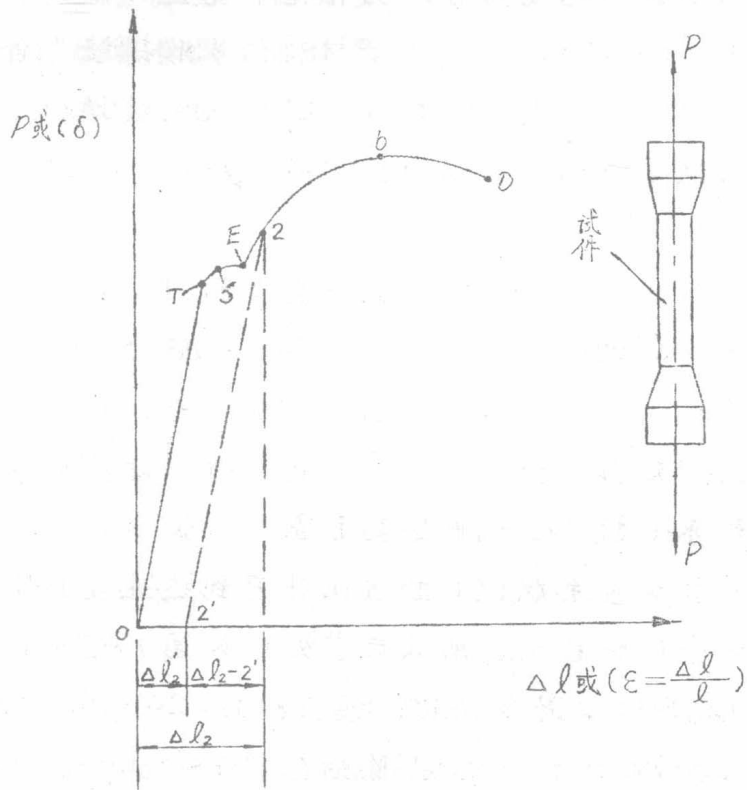


图 1-5 钢材机械性能试验

所示；为试件的拉伸曲线图（或应力—应变图）。从图中可以看到材料从受外力开始直至被拉断，可以分为这样几个阶段：

(A) 从开始受到外力至T点，材料变形的特点是变形( $\Delta l$ )与外力(P)成正比，当外力去除后材料能恢复原状。此时的变形量是很小的。T点就称为材料的比例极限( $\sigma_T$ )。O—T阶段为材料的弹性范围。对压力容器的操作就应在材料弹性范围内，才能保证容器的安全运行。

(B) 当材料变形到达T点以后，外力继续增加，材料的变形仍再随外力增加而正比例的增加。但此时的变形量仍不大，其变形增长的速度亦不太快，直至S点，S点称之为屈服极限( $\sigma_s$ )。

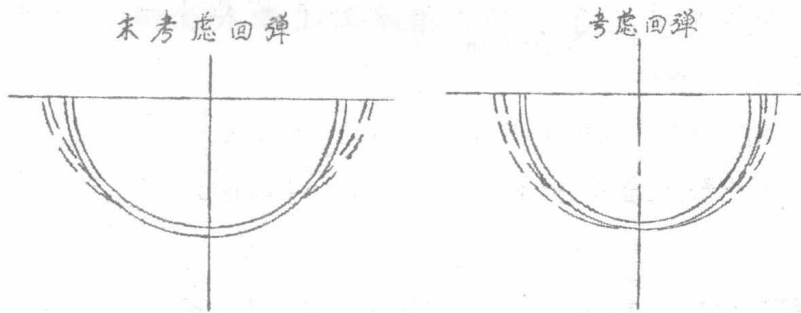
(C) 当材料的变形在外力作用下到达S点以后，外力即使不再增加（或者增加很小），材料的变形却能“自动的”增加，直至E点时结束。再增加外力，变形又继续增加，直至材料断裂。材料能承受的最大应力称为强度极限（在拉伸试验时称为抗拉极限）。

材料到达屈服以后（S点）直至材料断裂，此阶段为材料的塑性阶段，这种情形相当于容器在爆破时当高压水压力到达一定数值后，容器开始出现凸肚（相当于试件达到屈服）。即使不再增加压力，凸肚也会明显的增加。此种情况至一定程度以后就结束（相当于试件达到E点）。然后再增加容器内压力，凸肚明显扩大直至爆破（相当试件已到达强度极限）。

如果将试件拉至屈服以后某处（如图1—5中的2点），再去除外力，那么试件也能部分复原（沿2—2'线）。试件弹性恢复部分为 $\Delta l_{2-2'}$ 。外力去除后保留下来的变形为 $\Delta l'_{2}$ ，称之为残余变形。二者之和即为试件拉伸时表现出来的总变形，习惯上就称之为塑性变形。塑性变形对于容器的操作当然是不

允许的，但是在我們容器製造中就要利用材料的塑性變形，對鋼材進行壓力加工，製成我們所需要的形狀。如上一節中的熱交換器筒體，就是利用外力使鋼板發生塑性變形（嚴格的说應該是殘余變形），卷成我們所需要的圓筒形，但材料並未發生破壞。

綜上所述，材料在受外力後發生變形，至屈服以後，其屈服極限的大小及塑性變形 $\Delta l_2$ 中彈性恢復 $\Delta l_2 - 2'$ 的大小，對鋼材的壓力加工具有很大的現實意義。屈服極限愈低，說明鋼材抵抗塑性變形的抗力小，即鋼材愈容易變形，進行壓力加工時消耗的功率也小。 $\Delta l_2 - 2'$ 的大小說明鋼材經壓力加工後“彈性恢復”的能力。在我們化工設備的成型作業中稱之為回彈。彈性恢復的量稱為“回彈量”。由於回彈的原因，我們在設備成型時往往要考慮變形過量一點，以補償回彈量，保證得到正確的幾何形狀。如圖（1—6）所示。



藍線為回彈後工件實際形狀

圖1—6 回彈對成形的影響

普通低合金鋼由於其強度的提高（特別是屈服強度的提高），材料抵抗塑性變形的抗力也隨之而增加。因此普低鋼的冷加工變形要比一般碳鋼的冷加工變形消耗更多的功率。同時由於屈服強度的提高，普低合金鋼的回彈量也較一般碳鋼為大。這些

在进行钢材的冷加工变形时都必须予以注意。(图1-7)

既然冷加工变形是利用钢材的塑性变形，那么钢材塑性变形能力的大小是衡量钢材机械性能的又一个重要指标。塑性变形能力的大小用延伸率来表示。延伸率是指拉伸试件拉至断裂其伸长量对试件原长之比，即：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

$$= \frac{\Delta l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中： $l_1$ ——拉伸试件拉至断裂时之长度〔毫米〕；  
 $\Delta l_0$ ——拉伸试件拉至断裂后试件之伸长量〔毫米〕；  
 $l_0$ ——试件原长〔毫米〕。

一般对容器用钢板要求的延伸率  $\delta_5$  在 14~18% 以上 ( $\delta_5$  是指试件的长度 5 倍于直径的延伸率)。如材料延伸率过低，往往在制造过程中由于钢材的变形而发生裂纹，甚至断裂。

上面讨论了抗拉强度、屈服强度、延伸率与容器操作及制造之间的关系。应该指出上述讨论是指拉伸试件的外力是很缓慢的增加的。对容器的爆破来说，容器内的压力是逐渐增加的。也就是说试件或者容器是处于静载的条件下。但是，实际的情况是容器的操作压力可能波动，亦即在动载的条件下。衡量钢

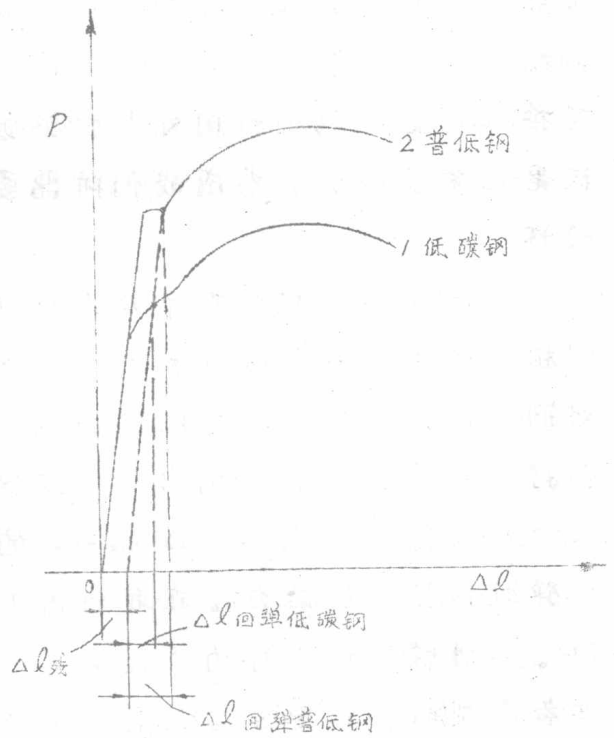


图 1-7