

# 飛機工藝學 (丁)

姜 长 英 編

西 北 工 业 大 学

1966. 4.



飞 机 工 艺 学 (丁)

---

編 者: 姜 长 英  
出版者: 西北工业大学教务处  
印刷者: 西北工业大学印刷厂

---

字数: 86,700      印数: 86 册

定价: 0.58 元

## 飞 机 工 艺 学 (J)

## 目 录

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 第一章 绪论.....                                    | 1  |
| 学习的目的, 课程内容、学习的方法                              |    |
| 第二章 一般问题.....                                  | 2  |
| 飞机工艺、飞机工艺的特点、飞机零件分类、零件制造、制<br>造板金零件的准备工作       |    |
| 第三章 平板零件和毛料的制造.....                            | 5  |
| 典型零件, 几种制造方法, 剪裁, 冲裁, 铣裁, 模线和样板                |    |
| 第四章 弯曲零件的制造.....                               | 10 |
| 典型零件, 板材弯曲的特点, 几种制造方法, 压弯, 滚弯,<br>样板和弯曲模       |    |
| 第五章 弯边零件的制造.....                               | 15 |
| 典型零件, 弯边的特点, 几种制造方法, 橡皮成形, 模压,<br>样板和橡皮成形模     |    |
| 第六章 盒形零件和旋转体零件的制造.....                         | 21 |
| 典型零件, 制造的特点, 几种制造方法, 压延, 旋压, 样<br>板和模具         |    |
| 第七章 双曲度零件和复杂零件的制造.....                         | 30 |
| 典型零件, 几种制造方法, 拉形, 落压, 其它成形方法, 样<br>板和模具        |    |
| 第八章 型材零件的制造.....                               | 36 |
| 典型零件, 几种制造方法, 弯曲, 样板和拉弯模                       |    |
| 第九章 管材零件的制造.....                               | 41 |
| 典型零件, 几种制造方法, 管头成形, 弯曲, 清洗, 试验、<br>检验, 保护和标准零件 |    |
| 第十章 整体板件的制造.....                               | 45 |
| 典型零件, 毛料, 几种制造方法, 弯曲, 腐蚀, 制造板件<br>用的样板         |    |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 第十一章 连接形式.....                                                    | 5 1 |
| 连接的方法和形式, 对接和搭接, 对接和搭接的变化                                         |     |
| 第十二章 螺接和钎接.....                                                   | 5 5 |
| 螺接, 钎接                                                            |     |
| 第十三章 焊接和胶接.....                                                   | 6 3 |
| 气焊, 电弧焊, 电阻焊, 钎焊, 胶接, 蜂窝夹层结构                                      |     |
| 第十四章 飞机的装配和试飞.....                                                | 7 7 |
| 飞机装配的概念, 飞机的装配和分解, 典型的装配工艺过程, 构件, 板件的装配, 段件, 部件的装配, 装配变形, 总装配, 试飞 |     |
| 第十五章 装配型架和协调系统.....                                               | 9 1 |
| 装配型架和其它, 协调系统                                                     |     |



## 第一章 緒 論

### 一、學習的目的

學飛機工藝的人學習飛機工藝學，這是當然的。學飛機設計的人學習飛機工藝學，這也是當然的。學飛機結構強度的也要學習飛機工藝學，這是為了什麼呢？

學飛機結構強度的應該學結構，因為這是他的專業，也應該學航空材料、飛機構造和設計等課程，因為這可以結合實際、結合飛機，還應該學一些飛機工藝學，學會了從零件到飛機是怎樣造成的，這就會更有利于飛機結構的分析和強度的計算。

### 二、課程的內容

本課程也可以叫作飛機工藝概論，只是介紹飛機工藝的一般知識。內容包括飛機零件製造和飛機裝配兩大部分。零件製造部分主要是板金零件的製造，但也介紹了一些整體壁板的製造。以上這些內容，已經可以代表飛機製造的特點了。

### 三、學習的方法

1. 課堂上注意听讲，課外要讀讲义，重視參觀實物和模型。
2. 多組織小組討論，多提問題，學工藝要聯系結構和強度。
3. 重視理解，不要死記，不強調課堂上記筆記。

一、飞机工艺

把飞机設計变为现实，把图紙上的飞机变为真实的飞机，就要用一定的原料、材料，按照要求造成零件，装成飞机的机体，再装上从外厂买来的成品，最后制成一架能飞的飞机。这有关飞机制造的技术、方法、理論和实践，总起来就是飞机工艺或飞机工艺学。

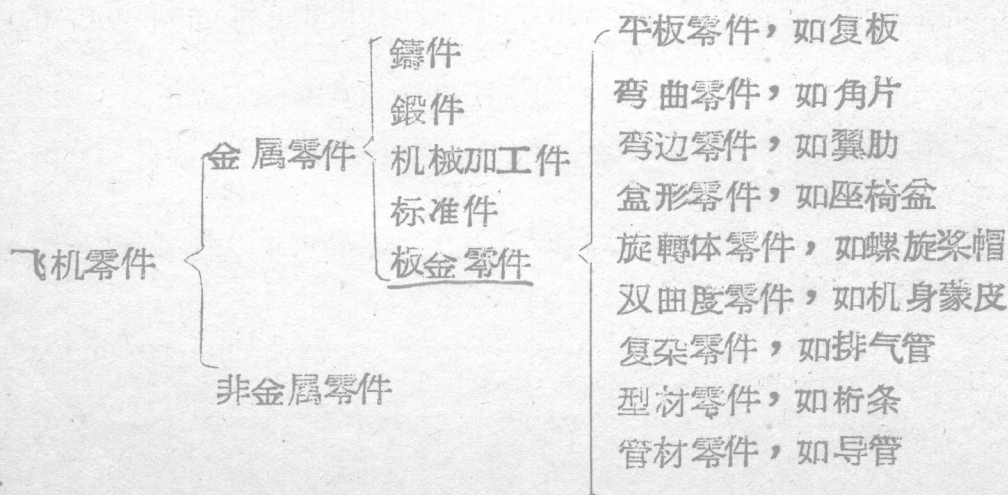
飞机工艺的最基本的原則是要能符合社会主义建設总路綫的要求，多快好省地造出飞机来。

二、飞机工艺的特点

一架現代飞机是由成千上万个大小零件和很多設備、附件、系統等組成的。零件数量虽多，除标准件外，同樣的很少。零件的材料是多种多樣的。有些零件的形状非常复杂。整个飞机的尺寸很大，外形复杂而要求又很高。总之飞机是既精密又复杂的产品，所以它的制造过程很复杂，需要大量的人力，原材料和特殊設備。飞机是国防武器，特別要求造得快，它的构造是在不断改进变化的。飞机的产量不大，在战时会<sup>突然</sup>增加。飞机的生产年限很短，最多生产三五年就要改变一个新机种。

三、飞机零件分类

飞机的成千上万的零件可以分为金属零件和非金属零件两大类。金属零件可以分为板金零件等几中类。而板金零件又可以分为平板零件，弯曲零件等很多小类。把这种分类法列成下表，就可以看得很清楚。





板金零件就是用金屬薄板，金屬型材或管材制成的零件。上面分類表里把板金零件分成許多類，是按照零件的製造方法來分的。如果按照飛機上的作用來分，板金零件又可以分為四種：

1. 組成飛機的空氣動力外形的零件；如蒙皮。
2. 直接影響飛機的空氣動力外形的零件；如隔框或隔框條。
3. 組成飛機主要受力骨架的零件；如
4. 不屬於以上三種或不受力的零件。如

不同作用的零件，它的製造要求也是不同的。

#### 四 零件製造

1. 考慮的根據：製造任何零件都是要直接或間接根據設計圖紙的。圖紙上有零件的材料、形狀、尺寸和各種技術條件和要求。最好也要知道這零件在飛機的地位和作用。零件的數量和製造速度也是要緊的，如一架飛機上要同樣的幾個零件，每年的產量有多少，或在多少時間內要把東西造出來。

具體的問題要具體地分析。所以考慮製造問題時，也要根據具體的條件。這就是工廠的廠房、設備、技術力量和以往的生<sup>經驗</sup>產傳統等條件。

2. 考慮的方法：飛機工藝的總原則是多快好省地把飛機造出來。首先根據零件的要求，看有那些可能的加工方法，再結合工廠的具體條件來考慮，最後才選定一種加工方法。

製造任何東西，常常有幾種可能的方法。不管什麼方法，第一要能滿足設計要求，這是因為“軍工產品，質量第一，”也就是多快好省四個字里的“好字當頭”。在保證了“好”以後，再結合工廠的具體情況，盡量<sup>達到</sup>追求“多、快、省”。工廠的傳統是要考慮的，但也要大膽革新，採用新工藝。

以上兩小節不但是製造零件時的考慮根據和考慮方法，也是飛機裝配時的根據和方法。

#### 五 製造板金零件的准备工作

1. 確定製造方法。

2. 設計並制造必要的設備或模具，再选用合适的机床並安裝所制造的模具。

3. 領取材料或毛料，檢驗材料、大小和厚度，看是否符合圖紙的要求，再檢查表面有无划傷或其它缺點，最后擦干淨表面的油泥。

### 一、典型零件

平板零件有一定的形状尺寸，是从金属板材上剪裁或铣切下来的。如这个平板件以后还要加工或成形，它就是另一类零件的毛料。这制造毛料的工作，叫作下料。

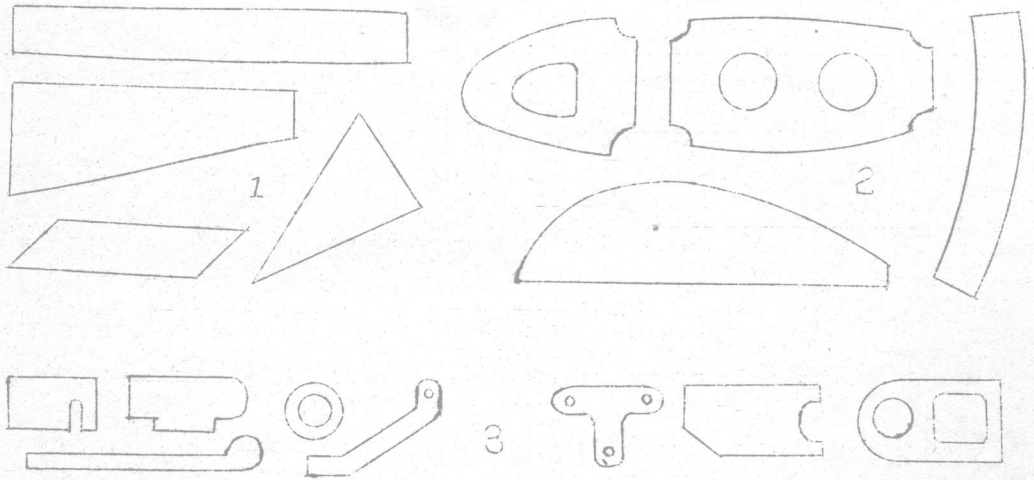


图 3 · 1

平板零件的形状尺寸是多种多样的，为了便于研究它的制造方法，可以把它分为三类，如图 3 · 1 。

1. 直边平板零件：零件的边都是直线，角都是凸出的。
2. 曲边平板零件：零件的边主要是曲线，也可能有些直边。
3. 复杂平板零件：零件形状较复杂，直边、曲边都有，尺寸较小，产量较大。

### 二、几种制造方法

1. 手工制造：用钳工剪刀。
2. 剪裁：用龙门剪床、振动剪床或斜滚剪床。
3. 冲裁：用冲床或蚕食机。用液压机，见 18-19 页
4. 铣裁：用回臂铣床或其它铣床。

手工制造是最原始的方法。用手剪很费力，也很慢，材料稍硬或稍厚就剪不动。剪出的零件，尺寸不准而多毛刺，还要钳工修锉。但是我們看問題要一分为二，不应该过分看不起手工剪制零件，因为这还是钳工的基本工，在缺少合适的机动设备时，还是很有用的。当然，



除了用剪刀，也可以用其它手工工具造出平板零件来。下面按次序叙述使用各种工具的制造方法。

### 三剪裁

剪床是从剪刀发展来的。剪床能剪较强较厚的材料，用力很大，

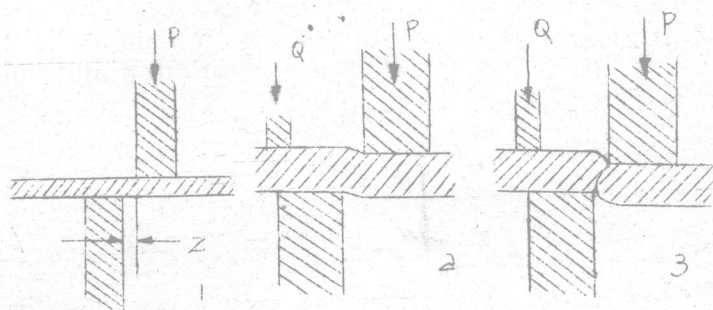


图 3.2

所以刀片很厚，刃口差不多是方的，如图 3.2 上下刀片之间还有一个小间隙  $Z$ ，如图 1。上刀片压下来时，板材将不平衡而倾斜，需要一个小东西把板材压住，不使翘起来，如图 2。剪裁开始时，接触刃口的材料，先是弹性变形，随后有塑性变形。刀片压下到一定程度时，板材在上下刃口处开始发生倾斜的裂纹。两条裂纹发展延长到连在一起，板材也就被剪断了，如图 3。如裂纹错开了，板材也会被撕裂断开，但不整齐而有毛刺。所以不同的材料，不同的板材厚度，就要求有不同的刀片间隙  $Z$ 。间隙等于零时，虽然也能把板剪开，但在有适当的间隙时，剪裁力  $P$  可以最小。

#### 1. 龙门剪床：图 3.3 只

画出了龙门剪床的工作部分。

它有两个长刀片。最大的剪床刀片长七八米，可以剪七八米宽的板材。下刀片装在固定的台面上，上刀片装在可以上下移动的横梁上。一个挡板固定在调整好的位置，限制了从台面伸过下刀片的板材长度。电

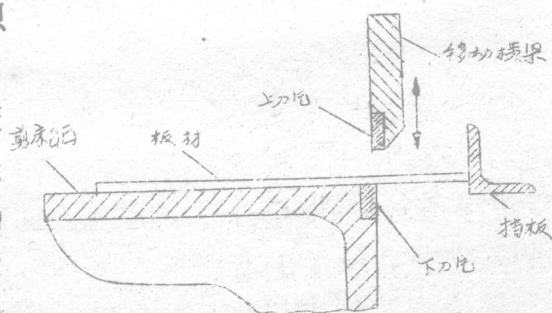


图 3.3

凹 ao  
凸 tu

动机带动横梁和上刀片从上压下时，一块一定长度的板材就剪下来了。

用龙门剪床只能制造直边零件。它工作起来很快，剪出来的零件尺寸也相当准确。但不制造四角零件。

### 2. 振动剪床：振动剪床

有两个很短小的斜口刀片，如图3·4。下刀片是固定的。上刀片装在剪床的振动部分，每分钟上下振动一二千次。它能剪裁往上下刀片之间送进的板材。如剪铝合金板，板厚不能

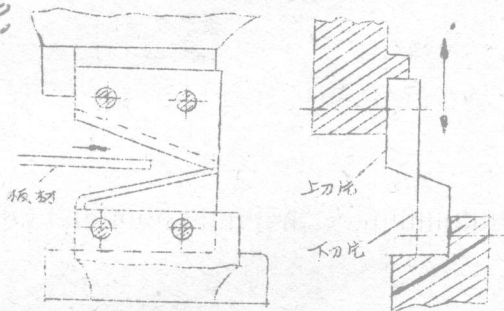


图3·4

超过2毫米。由于上刀片振动很快，每向下一次只把板材剪开一点，所以工人可以推送并且同时转动板材，因而剪成弯曲的边。用振动剪床可以制造直边零件和曲边零件，但因工作时工人要拿着板材，所以零件的尺寸不能太大。此外，剪裁的准确度也不很高。

3. 斜滚剪床：这种剪床有两个斜装的园盘或滚刀。根据材料和板厚，先调整好刃口之间的垂直间隙 $Z_1$ 和水平间隙 $Z_2$ ，如图3·5，再启动剪床，电动机带动滚刀转动，如把板材送进，摩擦力就会带着板材继续向前（垂直于图的方向），同时也把板剪开了。工人用手控制着板材前进的方向，可以按照直线或曲线剪裁。用这种剪床可以制造直边零件和曲边零件，但不准确，剪的边也不光。

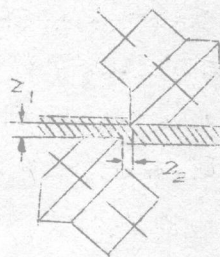


图3·5

### 四 冲裁

冲裁和剪裁的原理是相同的，只是用为了某种零件而设计制造的专用凸模和凹模来代替上下刀片。

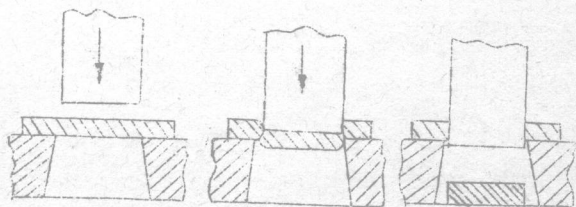


图3·6

### 1. 冲床：把模具装

在冲床上。凹模在下，是固定的。凸模在上，是活动的，冲床工作时，凸模就从上冲下，把平放在凹模上的板材冲裁下一块，从凹模当中

掉下来，如图3·6。凸模必须小于凹模，凸模冲进凹模时，周围应有合适的间隙。冲下来的零件形状和尺寸等于凹模上的孔。在原来板材上冲出的孔的形状和尺寸，等于凸模的剖面。如果冲下来的不是零件，而留在凹模上当中冲了孔的是零件，那么这个冲压过程不叫冲裁而叫冲孔。

冲裁和冲孔工作，既快而又准确，适合于大量或大批生产尺寸不太大的复杂平板零件。如产量不大或零件尺寸很大，用冲的方法需要一套模子，所以不一定经济。在时间上也不一定很快。

2. 蚕食机：蚕食机基本上是一个小冲床，装着冲圆孔的小冲孔模。它的小凸模象振动剪床的上刀片那样，能够上下连续冲压。蚕食机的工作台面中间有个孔，就作为凹模。板材放在台面上，由工人用手慢慢移动。凸模冲在板材上，不是每次冲下一个整圆，而是随着板材移动的快慢，每次冲下或大或小的月牙形小块。在板材上画出零件的图样，使小冲模顺着图样的外围冲了一圈，就把零件冲裁出来了。这种方法比在普通冲床上专用模具慢得多，板材也不能太厚，冲出的零件也不准确，有些凹进的地方也冲不到，还要补充加工。

### 五 铣 裁

铣裁的原理和用蚕食机冲裁零件的很相似。它不用小冲模而用小铣刀，来把零件外围的一圈板材铣掉。

1. 回臂铣床：回臂铣床的铣刀装在铣头下面。铣头装在可以自由伸缩回旋的臂上。铣头上有工人手抓的手柄。把铣头推到任何位置

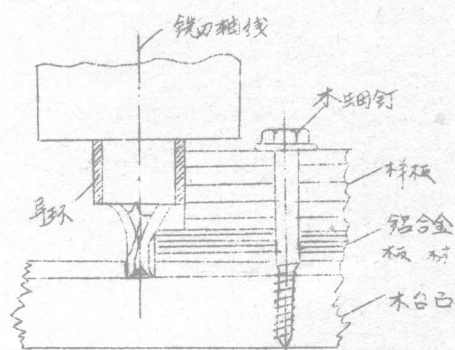


图 3 · 7

，铣刀的轴经常保持垂直于下面的木台面。用木螺钉把样板和制零件的板材固定在木台面上。使铣刀轴上的导环靠紧样板，这时高速旋转的铣刀已在铣切板材，如图3·7。使导环贴着样板，推着铣头慢慢地环绕样板一圈，就从板材上把所要的零件铣裁下来了。

这种铣裁方法是飞机工厂里常用的，适于制造曲边零件。工作时



比較費力，也不能銑裁鋼板。好处是銑出的零件很准确，还可以把板材叠起来，同时銑出几个零件。

2. 其它銑床：要銑裁零件，除了用回臂銑床，还可以用其它板金銑床如上軸式銑床、下軸式銑床等。在回臂銑床上，樣板和板材都是固定的，而推动銑刀来銑切，但是在其它銑床上，銑刀固定在一个位置轉动，而是在台面上推动夹紧在一起的樣板和板材来銑切的。

### 六模綫和樣板

在第二章第四节曾經讲过，制造零件要直接或間接根据图紙。那么，制造平板零件或毛料，要根据什么呢？

設計图紙上是画着零件或毛料的外形也註着尺寸<sup>的</sup>。如外形都是直綫，这种直边零件可以直接根据图紙，用普通量具和龙門剪床制造出来。造成的零件也不难用普通量具来檢驗。

如零件的外形有直綫有曲綫，如曲綫只是圆弧，还可以根据图紙把外形画在板材上再用振动剪床、斜滾剪床或蚕食机等按照画的綫把零件剪或冲出来。檢驗也不困难。但是画綫和檢驗都比較慢，在产量大时就很不利。因此，产量大时，可以先按照图紙制造樣板，再用樣板画綫和檢驗。

如果零件外形是不規則曲綫，图紙上不可能註出全部尺寸，所以图紙不能用作制造和檢驗的直接根据。这时就應該先根据图紙給的条件画出模綫，再根据模綫作出画綫和檢驗用的樣板。用鋼板画綫时，图紙直接画在樣板上。

1. 模綫：模綫是按照实际尺寸画在铝板或木板上不要另註尺寸的飞机构造图。模綫可以代替飞机图紙，作为飞机制造的原始依据。

2. 樣板：樣板常是根据模綫修銑出来的有一定准确外形的薄鋼板或铝板。樣板的外形是制造或檢驗零件的标准。樣板的外形如代表零件的外形，剪裁零件时可以据以画綫这就叫外形樣板。代表毛料外形的樣板名毛料樣板。如果毛料还要經過弯曲成形，它的樣板又叫作展开樣板。

銑裁零件时所用的樣板是精制层板的銑切樣板，参看图3.7。因为銑刀的直径比导环小，所以銑切樣板的外形必须比外形樣板小一圈。

## 一、典型零件

图 4·1 表示一块板材作的毛料，弯曲成形成为一个简单的弯曲零件。在毛料上可以认为有两条直经，名弯曲线，如图 1。两条弯曲线

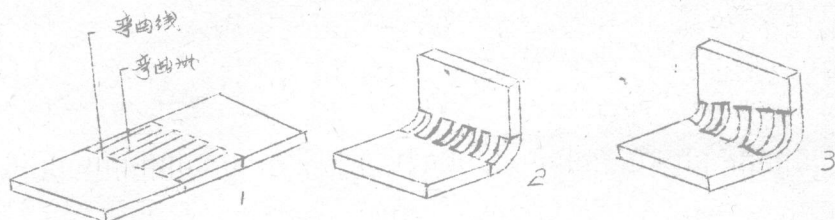


图 4·1

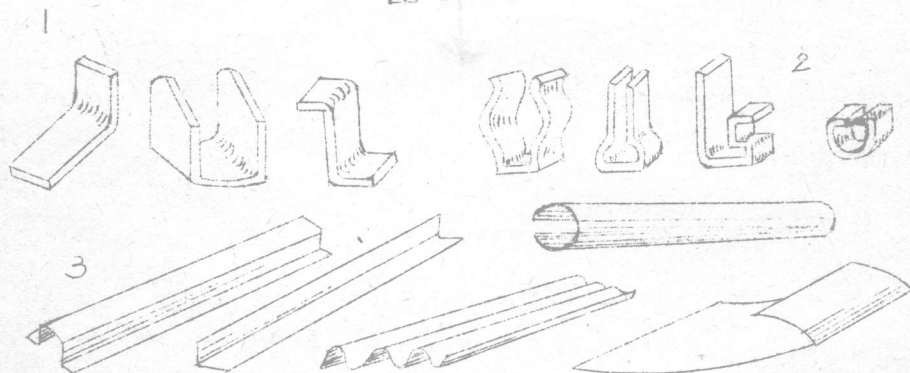


图 4·2

之間名弯曲带，是弯曲部分。两条弯曲线如相互平行，零件的弯曲带是柱面，如图 2。两条弯曲线如互不平行，零件的弯曲带是锥面，如图 3。所以弯曲零件的弯曲部分是单曲面，弯曲带以外部分保持平直，并不变形。

一个弯曲零件最少有一个弯曲带，也可能有几个。飞机上的弯曲零件可以分为三类，如图 4·2。

1. 简单弯曲零件：尺寸较小，形状也较简单。

2. 复杂弯曲零件：尺寸较小，但形状比较复杂。

3. 长大弯曲零件：尺寸宽大或细长，如波纹板或用薄板弯成的型材。

## 二、板材弯曲的特点

1. 回跳：用力量弯曲一块平板，从弯曲中心到板里面的距离是弯曲半径  $R$ ，弯曲带在中心夹角或平板平直部分的外夹角是弯曲角  $\alpha$ ，如图 4.3。平板弯曲之前， $\alpha$  是零， $R$  是无穷大。用力弯板，就使  $\alpha$  增大， $R$  缩小，使弯曲带里的材料承受弯曲应力。在开始弯曲时，这应力还只是弹性的，所以板的弯曲只是弹性弯曲，当弯板的力取消时，这板又能恢复平直了。如弯曲力增加，弯曲应力也要增加，如外层应力超过了屈服应力，板的弯曲部分除了有弹性弯曲，还开始有了塑性弯曲或塑性变形。这时如去掉弯曲力，因为有了塑性变形，这板就不能再恢复平直了。如弯曲力继续增加，塑性弯曲部分也要增加而弹性部分逐渐减少，但弹性弯曲永远不会消失。所以，因为弹性关系，弯曲角会自动减小一些。弯曲的零件会自动弹开一些，这个现象叫作回跳或弹性回跳。回跳或回跳量的大小和材料性质、板的厚度、弯曲半径、弯曲角等有关，但很难精确地计算。

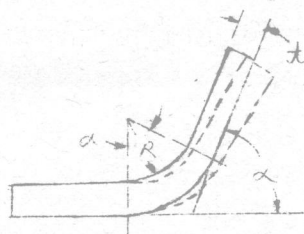


图 4.3

2. 最小弯曲半径：板材弯曲时，弯曲带的里层材料受压而外层受拉。可能因为材料较硬或较脆，可能因为板材较厚或弯曲半径太小，也可能因为板材边上有毛刺，因而在那里应力集中，如弯曲力不断增大，在外层拉应力超过强度极限时，板材就会破裂。如果板材的材料和厚度是一定的，那么最重要的一个因素就是弯曲半径了。为了避免出废品，一定材料和厚度的弯曲零件的弯曲半径，不能小于一个最小数值，最好是大些，同时，毛料边上的毛刺也都要修锉干净。

3. 顺纹弯曲和横纹弯曲：金属板材多是辗压材料，各向异性的。如毛料的纹理平行于弯曲线，这种弯曲是顺纹弯曲；如互相垂直，就是横纹弯曲。顺纹弯曲比横纹弯曲容易断裂。所以在下料时，除了要注意节约材料，还要注意避免顺纹弯曲。如零件上有两个相互垂直的弯曲带，就可以按照  $45^\circ$  斜纹下料。

### 三几种制造方法

1. 手工制造：用手动弯板机，手动滚弯机或用人工敲打。



2. 压弯：用冲床、闸压床或液压机。用液压机的制造法将在第五章里介绍。

3. 滚弯：用滚弯机。

4. 拉弯：用拉弯机。这种方法将在后面第八章介绍。

用手工敲打毛料来制造弯曲零件是板金工的基本工。材料硬或板厚时，完全用人力有困难。这时可以利用手动弯板机和手动滚弯机。

#### 四、压弯

1. 冲床：用冲床除了能冲裁下料，如换上弯曲模就能制造弯曲零件。图4·4表示一个简单弯曲模，凸模压下就把毛料压弯成一个V形件。冲床冲一次，只

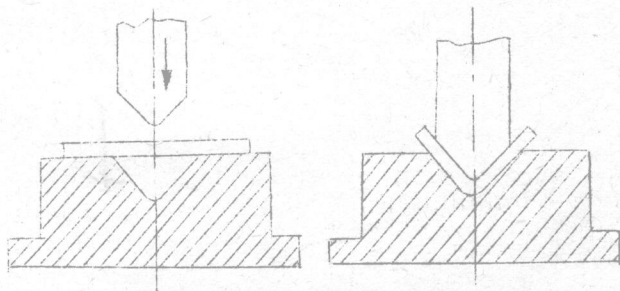


图 4 · 4

能压弯一次。如零件上有几处弯曲的弯曲角和弯曲半径都不相同，这就要换模子分几次压。这种简单弯曲模是通用的，可以制造简单弯曲零件，有时候也能制造复杂弯曲零件，但是要压几次，要换模子，很不方便。

用专用的简单弯曲模就可以冲一次完成一个简单弯曲零件，如U形件，Z形件等。

制造复杂弯曲零件时，或者因为不能用简单弯曲模，或者因为产量较大，值得用专用模子，这就可以採用复杂弯曲模。这种模子构造复杂，冲压一次能完成几个弯曲工作，弯成的零件要不致于卡在模子上，而要很容易取下来。

2. 闸压床：闸压床又名压弯机，就是一种专作压弯工作的冲床。它有狭长的台面，能装狭长的弯曲模，适于制造长大弯曲零件。图4·5表示，在闸压床上选用了两种通用凸模和两种通用凹模，共冲压八次，就能把毛料弯成一个相当复杂的长大弯曲零件。用闸压床制造零件虽然很慢，但是很经济，适用于试造和小量生产。

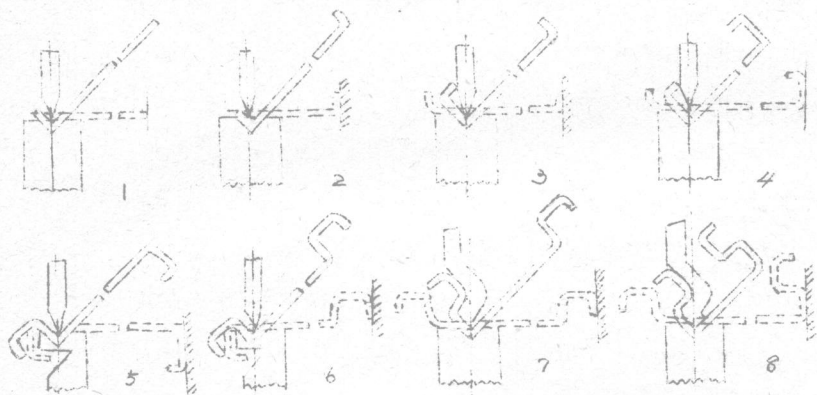


图 4 · 5

### 五 滚弯

滚弯是制造弯曲半径比较大的弯曲零件的一种方法，所用的设备是滚弯机。最常见的滚弯机有三个滚轴，名三轴滚弯机。三个滚轴的布置如图 4·6，两个下滚轴之间的距离可以调整，上滚轴的上下位置也可改变。滚弯工作开始前，先升高上滚轴，调整下滚轴的距离，

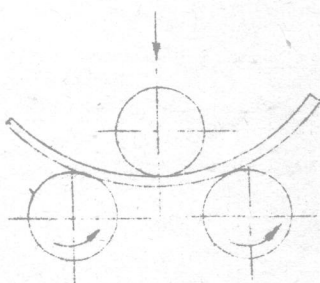


图 4 · 6

把毛料放在下滚轴上。使上滚轴下降到一定位置，把毛料压弯到一定程度。开动滚弯机，下滚轴被电动机转动如图中箭头的方向，摩擦力带动毛料向左移动。使上滚轴反方向转动，又可使毛料向右移动。象这样来回几次，毛料已成为有一定弯曲半径的弯曲零件。几个滚轴的距离和位置，很难计算，要根据经验和试滚来确定。滚弯机的上滚轴固定在一定位置，就能滚出一个圆筒形零件。如上滚轴的位置在工作时逐渐变化，就能滚出一个变曲度的蒙皮零件。如上滚轴不平行于下滚轴，就能滚出一个锥形零件。象图 4·2 中的那个机翼前蒙皮是一个变曲度零件，可以先滚弯后用闸压床压弯的方法制造出来。

滚弯机用通用的滚轴，不用专用的模具，适用于试造和小量生产。

滚轴和弯曲零件之间不应有摩擦滑动。所以，滚出锥形件有困难？

### 六 样板和弯曲模

制造一般的弯曲零件，即使要用模子，但是可以不用样板。只有