

# 第十二章

## 增强热塑性片材成型



# 第一节 概述

随着科学技术的发展以及人们环境意识的提高，对材料的开发研究提出了一些新的要求。热塑性复合材料以其快速成型特性和可回收利用的优势而得到人们的瞩目。几年来开发出的并受到普遍重视的一种制造方法是将增强材料和作为基体的热塑性树脂预先制成半成品板材，再将它剪裁成坯料，模压（或冲压）成各种制品。这种半成品板材被称为增强热塑性塑料片材（简称RTPS）。



# 1.1 热塑性片状模塑料特性

热塑性片状模塑料制品的特性（与热固性片状模塑料制品相比）：

- (1) 比强度高；
- (2) 能重复加工成型，边角余料可回收利用，不污染环境，减少材料消耗，降低成本；
- (3) 成型周期短 热固性SMC的成型周期一般为6min~15min，而热塑性片状模塑料的成型周期仅为20s~50s。最长时间也不超过1min；
- (4) 成型压力低；
- (5) 贮存期长；



# 1.1 热塑性片状模塑料特性

- (6) 比热固性玻璃钢具有较高的耐化学腐蚀性、耐水性和气密性等；
- (7) 原料来源充足，价格便宜；
- (8) 成本低；
- (9) 机械化程度高。



# 1.1 热塑性片状模塑料特性

与注射成型热塑性复合材料相比：

- (1) 具有较高的强度和刚度。
- (2) 抗冲击性能好。
- (3) 产品尺寸精度高。
- (4) 短纤维增强热塑性复合材料一般采用注射成型，产品尺寸较小，连续纤维增强热塑性玻璃钢则可采用冲压成型，能够生产大型玻璃钢制品。
- (5) 成型压力小，对模具和压机的要求较注射成型工艺低。



# 1.1 热塑性片状模塑料特性

与钢材相比：

- (1) 质量轻。
- (2) 耐腐蚀，不生锈，使用寿命长。
- (3) 形状设计自由度大。
- (4) 在破坏极限强度内不产生塑性变形、吸收撞击能高。
- (5) 工业化生产投资少。

基于以上特点，玻纤增强热塑性片材（GMT）的应用范围不断扩大，应用量不断增加，越来越多地代替钢材和增强热固性塑料。

## 1.2 原材料

### 一、树脂基体

能够用于生产热塑料片状模塑料的树脂很多，如：聚乙烯、尼龙、聚氯乙烯、聚丙烯等。目前主要用聚丙烯和改性聚丙烯。因为聚丙烯的优点较多：（1）密度小；（2）抗冲击性好；（3）可以在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 温度范围使用；（4）工艺性好；（5）来源广，成本低（比不饱和聚酯树脂便宜 $1/3$ ）。



## 1.2 原材料

### 二、增强材料

生产热塑料片状模塑料的增强材料种类有玻璃纤维(GF)、碳纤维(CF)、芳纶纤维(AF)等。增强材料的形式有短纤维(1-5mm)、中长纤维(5-50mm)、长纤维(>50mm)、连续纤维(连续毡和单向纤维)。



## 1.3 纤维增强热塑性片材的基本性能

纤维增强热塑性复合材料分为高性能复合材料和通用型复合材料两种。

### 一、高性能复合材料

高性能热塑性复合材料是以碳纤维、芳纶纤维及高强度玻璃纤维增强聚醚醚酮（PEEK）、聚醚酮（PEK）、聚苯硫醚（PPS）等高性能树脂等。

特点：使用温度高（ $260^{\circ}\text{C}$ ）（热固性玻璃钢的使用温度很少能到 $200^{\circ}\text{C}$ ）；密度小（特别是用碳纤维增强的热塑性复合材料）。



# 1.3 纤维增强热塑性片材的基本性能

纤维增强PPS、PC复合材料的性能

性能	纯PPS	GR-PPS (GF-60%)	CR-PPS (CF-30%)	GR-PC (GF-40%)
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.34	1.84	1.4	1.51
拉伸强度 (MPa)	75.9	170	178	160
弯曲强度 (MPa)	141	230	266	240
弯曲模量 (MPa)	2.4×10 <sup>4</sup>	2.2×10 <sup>5</sup>	2.45×10 <sup>5</sup>	9.5×10 <sup>4</sup>
连续使用温度 (°C)	260	260	260	260
热变形温度 (°C)	137	228	210	150
成型收缩率 (%)	1	1.08	0.2	0.3



# 1.3 纤维增强热塑性片材的基本性能

## 二、通用型复合材料

通用型热塑性复合材料是指以玻璃纤维增强聚丙烯、聚乙烯、尼龙等。

### 通用性热塑性复合材料性能

性能	尼龙6 (GF-30%)	HDPE (GF-30%)	PC (40%)	PC注射制 品 (GF-30 %)	不饱和聚 酯 (SMC) (GF-30%)	不饱和聚 酯 (玻纤 毡, GF-28 %)
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.46	1.11	1.19	1.2	2.0	1.6
拉伸强度 (MPa)	113	55	165	80	95	90
拉伸模量 (MPa)	$7.6 \times 10^4$	$4.2 \times 10^4$	$6.9 \times 10^4$		$1.1 \times 10^4$	$8 \times 10^4$
弯曲强度 (MPa)	170	67	195	135	170	180
弯曲模量 (MPa)	$7.5 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	$8.0 \times 10^4$	$4.5 \times 10^4$	$1.3 \times 10^4$	$8 \times 10^4$
热变形温度 (°C)	193	118	157	145	127	
冲击强度 (J/cm <sup>2</sup> )	20	18	14	0.9	6	12



## 1.4 发展和应用

20世纪60年代，美国PPG公司首先研制成功用连续玻璃纤维毡增强熔融聚丙烯树脂。采取挤压法复合成功热塑性片状模塑料(热塑性SMC)，并于1972年实现工业化生产，国际市场上称为AZDEL冲压片材。进入80年代，法国公司利用工艺原理，研究成功湿法生产聚丙烯玻璃纤维热塑性冲压片材，在欧洲称为GMT片材。



## 1.4 发展和应用

增强热塑性塑料片材的可回收性赋予了其巨大的生命力和广阔的应用前景。AZDEL和GMT在国外主要用于汽车制造工业的次结构件。另外在家电工业、建筑工业、化工腐蚀工程中、食品工业、宇航等工业已经得到广泛的应用。增强热塑性片材模板与传统模的性能的比较如下表。



## 1.4 发展和应用

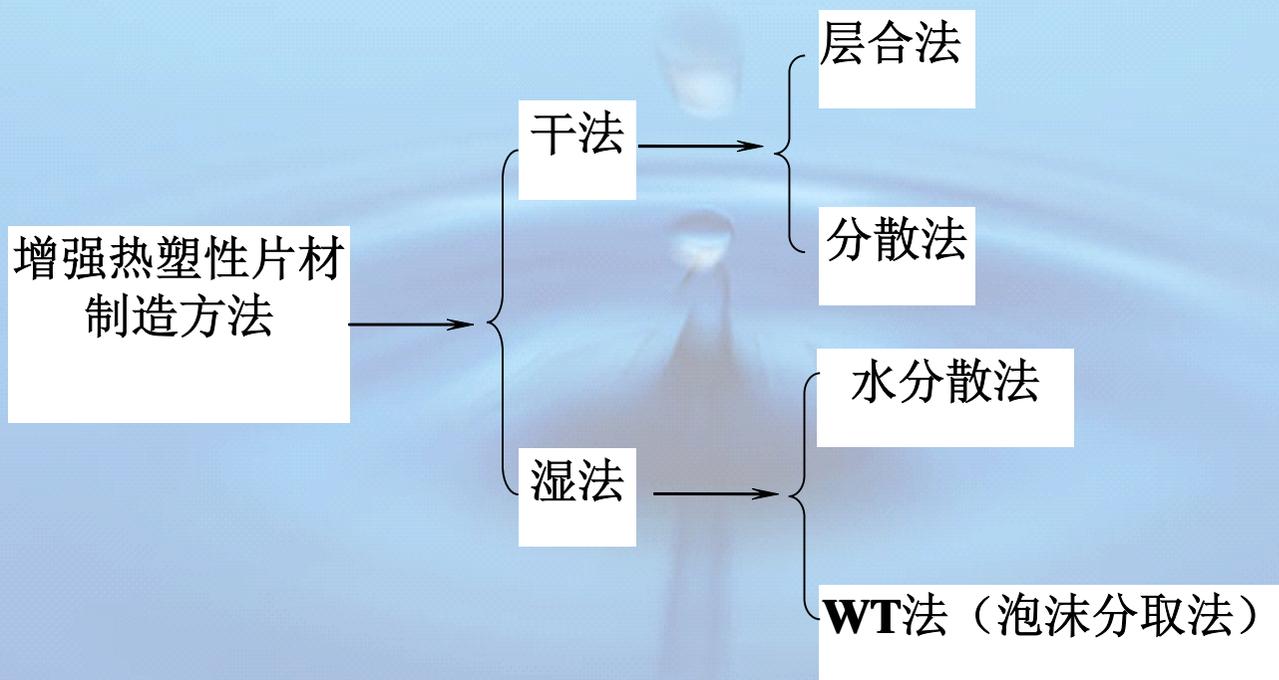
各类模板性能比较

种类 性能	增强热塑性片 材模板	木质模板	钢制模板
质量, $\text{Kg/m}^2$	<b>11-12</b>	<b>13-15</b>	<b>34</b>
透明性	有	无	无
剥离性	容易	难	难
清洗	不要	要	要
腐蚀	无	有	有



## 第二节 增强热塑性片材生产工艺及设备

增强热塑性片材的生产工艺可归纳为湿法和干法两类。



## 2.1 干法生产工艺及设备

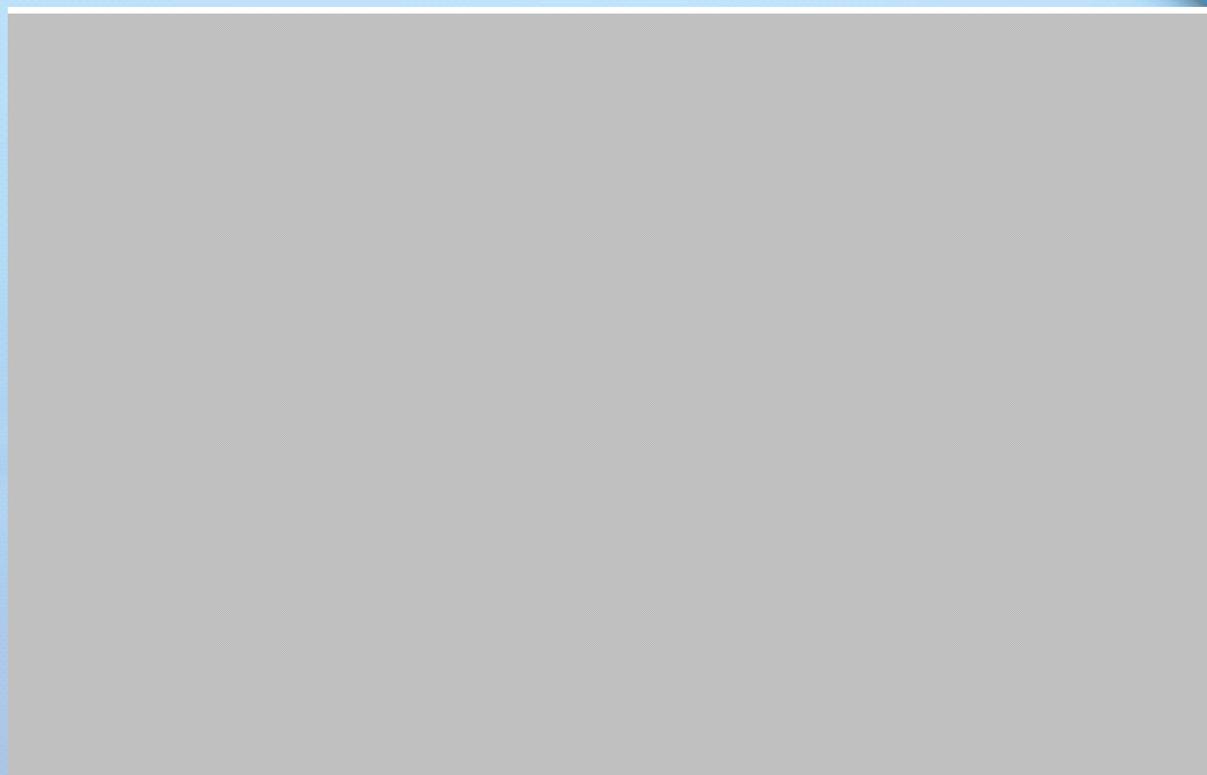
干法生产热塑性片状模塑料的工艺又分为层合法和分散法。

### 一、层合法生产热塑性片状模塑料

层合法生产热塑性片状模塑料工艺，是将连续玻璃纤维毡和聚丙烯薄片叠合后，经过加热、加压、浸渍、冷却定型和切断等工序制造片状模塑料的方法。干法生产热塑性片状模塑料工艺的示意图如下所示。



## 2.1 干法生产工艺及设备



干法生产热塑性片状模塑料工艺示意图



## 2.1 干法生产工艺及设备

层合法生产热塑性片状模塑料有三种工艺方案：

(1) 塑料挤板和铺毡同设在一条生产线上，塑料片从挤板机挤出后—不等冷却就和玻璃纤维毡叠合进入钢带加压设备—加热、加压—冷却、切断。

特点：节约能源，但不能发挥挤板机的生产能力。

(2) 塑料片材和纤维毡叠合成所需要的厚度—进入钢带复合机—加热、加压成型—冷却、切断。



## 2.1 干法生产工艺及设备

(3) 树脂粉末均匀铺敷在各层玻纤毡上—进入钢带复合机—加热、加压—融化、浸透—冷却、切断。

特点：不需要挤板机，粉末状树脂直接撒入毡内，容易浸透纤维。



## 2.1 干法生产工艺及设备

### 二、分散法生产热塑性片状模塑料

分散法生产热塑性片状模塑料是将短切玻璃纤维与聚丙烯或尼龙等树脂粉末在特殊的搅拌机内混合均匀，然后按设计厚度铺撒均匀，再经加热、加压制成片状模塑料。

干法生产热塑性片状模塑料的优点是：

- (1) 可用连续纤维、连续纤维针刺毡，也可以用短切纤维毡和短切纤维；
- (2) 纤维含量控制在20%~40%，产品厚度2mm~4mm，用多层压机生产时厚度可达50mm；
- (3) 纤维铺设方向可任意选择。



## 2.2 湿法生产工艺及设备

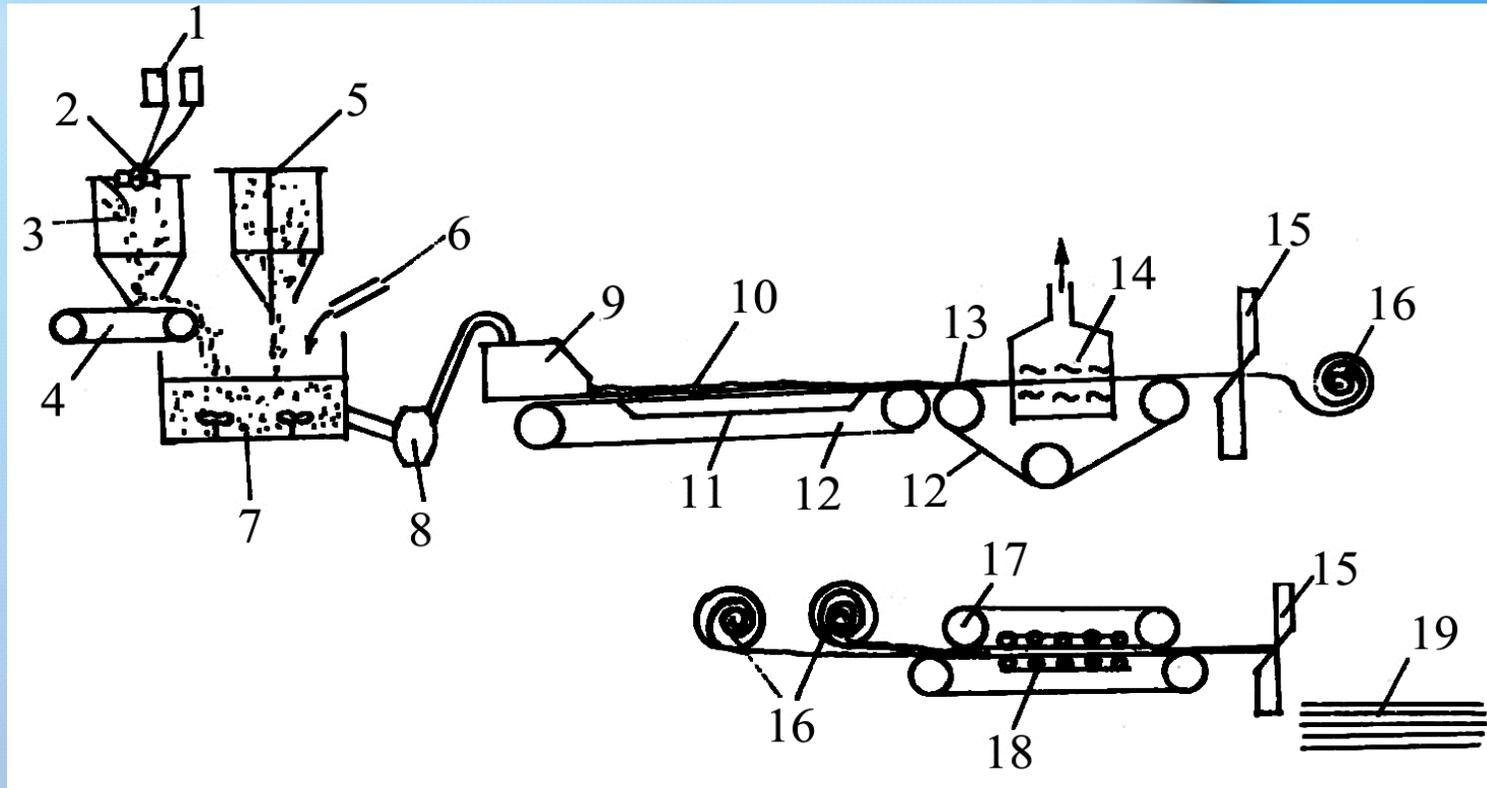


图12-2 湿法生产热塑性SMC示意图

1玻璃纱；2切断器；3沉降室；4输送带；5树脂、填料；6水；7拌浆槽；8泵；9浆槽；10浆料；11真空脱水；12运输带；13加胶粘剂；14烘干；15切断；16坯料；17钢带；18加热、加压区；19成品



## 2.2 湿法生产工艺及设备

热塑性片状模塑料是将玻璃纤维无捻粗纱切成长7mm~50mm的短纤维，在搅拌器内与粉末状树脂（PP、PVC、PA、HDPE）加水搅拌成均匀的悬浮料浆，用泵将其输送到传送网带上，经减压脱水，形成湿毡，再经干燥、切断、收卷成中间产品。这种树脂玻纤混合毡片的厚度为1.5mm~4mm，最厚可达8mm。生产冲压片材时，只须将毡片送入热压复合机内，加热、加压、冷却、切断制成片状模塑料。



## 第三节 冲压成型工艺及设备

增强热塑性片材制品的冲压成型工艺流程图如下图所示。

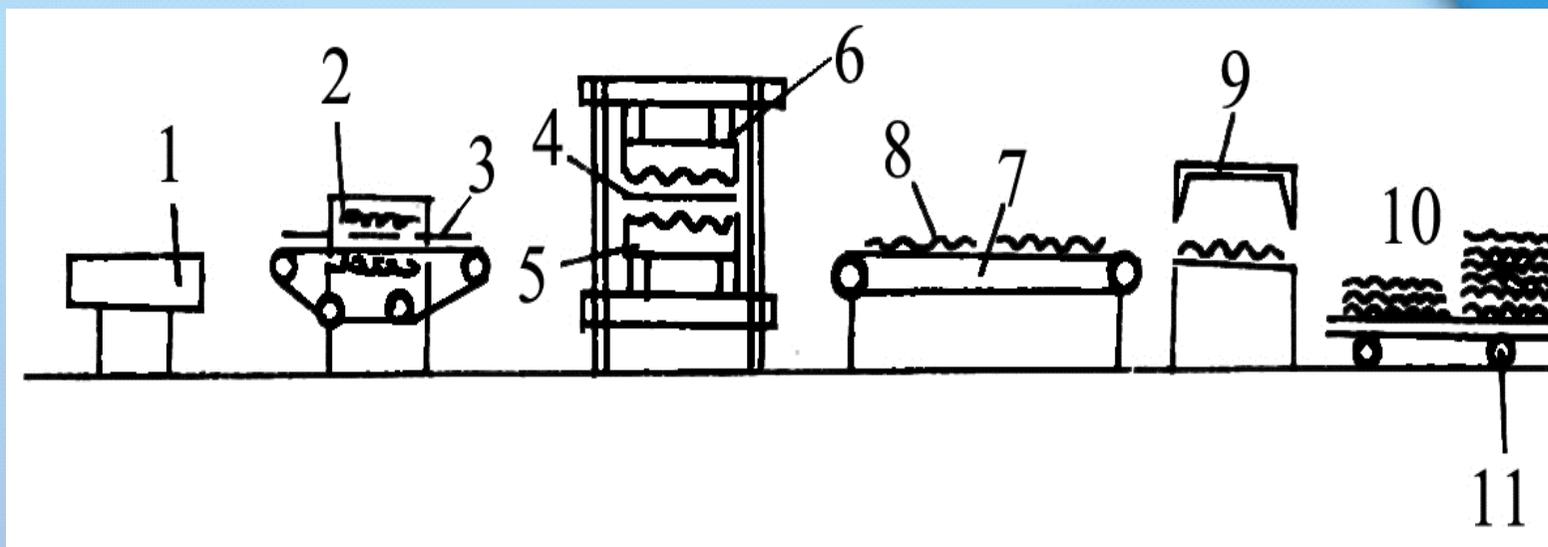


图12-3 热塑性片状模塑料冲压成型工艺  
1下料，2预热，3坯料，4预热后坯料，5模具，6压机，7运输带，8半成品，9裁边，10成品，11运输车



## 3.1 增强热塑性片材冲压成型工艺特点

增强热塑性片材具有以下成型工艺特点：

- (1) 成型周期短，生产效率高；
- (2) 无储存期限限制，废料可回收利用；
- (3) 收缩率低（一般为：0.3%，而塑料为：1.0%~1.5%）；
- (4) 模具费用低；
- (5) 一次能成型形状复杂或大型制品；
- (6) 设计自由度大。



## 3.2 冲压成型设备

冲压成型设备由剪切、加热、冲压等设备及模具组成。

### (1) 剪切设备

坯料剪切时一般选用钢板剪切机，下料时根据制品的厚度、体积和重量设计出片材的形状、层数和重量。剪切时应注意：

- ① 坯料的大小应比金属模具的展开面积略小。
- ② 坯料重量应与制品重量相等。
- ③ 片材坯料的形状对物流、制品性能和生产效率都有影响。



## 3.2 冲压成型设备

④ 下料时要注意减少角料。

### (2) 加热炉

加热方式采用料片上、下两面加热，一般加热温度为 $300^{\circ}\text{C}$ ，热源用红外线加热或热风加热。

### (3) 压机

冲压成型热塑性复合材料制品的压机应具有以下功能：

- ① 合模速度快， $50\text{cm}/\text{min}$ - $200\text{cm}/\text{min}$ 。
- ② 根据所生产的制品尺寸而定，可根据流动态冲压工艺选型。



## 3.2 冲压成型设备

③ 保压时间，一般为10s-50s。

### (4) 模具

冲压用的模具材料一般为铸钢。因为冲压成型的成型压力小，也可选用轻金属、复合材料、木材等。模具设计应注意：

- ① 设置导向销，防止模具上下运动产生横向移动。
- ② 设置安全块，防止原料过少时损伤模具。
- ③ 设置进气孔，便于压缩空气脱模。
- ④ 模具中设计循环水管，保证模具冷却温度在70℃左右。



## 3.2 冲压成型设备

⑤ 此外，还要考虑它的材料的收缩率。

模具设计应考虑到成型过程中材料收缩率，材料的收缩率由试验测得。模具的尺寸，在考虑材料的收缩率时，按照下式设计：

$$M = D + DS$$

式中： D——制品尺寸；

S——材料收缩率；

M——模具尺寸。



## 3.2 冲压成型设备

对冲压制品尺寸要求:

- ① 槽型制品，侧壁应保证有大于 $1^\circ$ 的倾角，便物料流动防止翘曲。
- ② 带肋制品，肋高 $h$ 肋宽 $w$ 应保持以下比例：

当 $w > 0.20\text{cm}$ ,	$h : w = 4 : 1$
当 $w = 0.13 > 0.2\text{cm}$ ,	$h : w = 3 : 1$
当 $w < 0.13\text{cm}$ ,	$h : w = 2 : 1$



本章结束

