

# 玻璃钢简明技术手册

中国玻璃钢工业协会 编



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃钢简明技术手册/中国玻璃钢工业协会编.  
—北京: 化学工业出版社, 2004. 3  
ISBN 7-5025-5312-6

I. 玻… II. 中… III. 玻璃钢-技术手册  
IV. TQ327. 1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 020464 号

---

玻璃钢简明技术手册

中国玻璃钢工业协会 编

责任编辑: 龚浏澄 王苏平

责任校对: 顾淑云 战河红

封面设计: 潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850mm×1168mm1/32 印张 6 字数 104 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5312-6/TQ·1948

定 价: 16.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

---

## 前 言

---

我国从 1975 年起，开始有关于玻璃钢的产量统计。当时发表的是热固性玻璃钢（FRSP）的产量 3481t。2003 年我国（大陆）FRSP 产量逾 60 万吨，28 年间增长到 172 倍。加上热塑性玻璃钢（FRTP）、覆铜板（CCL），我国 2003 年玻璃钢/复合材料的产量达 94.4 万吨，相当于美国 1984 年的产量水平。

然而行业的情况并不那么乐观。尽管玻璃钢的年产量已仅次于美国而居世界第二位，但科技水平、新产品开发能力、产品质量及其附加值与先进国家相比仍有相当大的差距。有感于此，我协会在 1986 年、1998 年曾先后编译出版《玻璃钢手册》、《FRP 袖珍手册》，出版后颇受欢迎，一再加印。

当今复合材料科学与产业发展日新月异，而有关出版物介绍的 FRP 成型工艺一般仅 7~8 种，或语焉不详，或不得要领。我们不揣浅陋，尽可能搜集了国内外实用的新技术资料，仅成型工艺即达 19 种；对工厂常用的生产工艺，还

列出了产品质量缺陷原因与解决办法，并介绍了成本计算实例，供业者实践中参考。

倘若本书能对玻璃钢业界的朋友们，尤其是对广大生产企业能有所帮助，就达到出版此书的目的了。

囿于水平与时间，不足之处乃至谬误谅必难免，敬望同仁方家不吝指正为幸。

中国玻璃钢工业协会  
2004 年春于京西三里河

---

# 目 录

---

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 1     | 复合材料基本概念与分类 .....             | 1  |
| 2     | 玻璃纤维增强塑料的特性 .....             | 3  |
| 2.1   | 设计与制造上的四大特点 .....             | 3  |
| 2.2   | 性能特点 .....                    | 3  |
| 2.2.1 | 优点 .....                      | 3  |
| 2.2.2 | 缺点 .....                      | 14 |
| 3     | 国内外发展概况 .....                 | 16 |
| 3.1   | 玻璃钢溯源与国外发展沿革 .....            | 16 |
| 3.2   | 我国玻璃钢工业发展历程 .....             | 19 |
| 3.3   | 我国玻璃钢行业的特点 .....              | 21 |
| 3.4   | 我国玻璃钢行业现状及其与国际水<br>平的比较 ..... | 24 |
| 3.4.1 | 企业情况 .....                    | 24 |
| 3.4.2 | 历年玻璃钢及其主要原<br>材料产量 .....      | 25 |
| 3.4.3 | 原辅材料 .....                    | 26 |
| 3.4.4 | 生产工艺与技术装备 .....               | 28 |
| 4     | 玻璃纤维增强复合材料的主要成分与<br>功能 .....  | 30 |

|       |                                       |    |
|-------|---------------------------------------|----|
| 4.1   | 玻璃纤维的主要功能 .....                       | 30 |
| 4.2   | 基体材料的主要功能 .....                       | 30 |
| 5     | 玻璃纤维增强复合材料承受荷载简析 .....                | 33 |
| 5.1   | 拉伸 .....                              | 33 |
| 5.2   | 压缩 .....                              | 34 |
| 5.3   | 剪切 .....                              | 34 |
| 5.4   | 弯曲 .....                              | 35 |
| 6     | 树脂系统 .....                            | 36 |
| 6.1   | 树脂的特性要求 .....                         | 36 |
| 6.1.1 | 树脂系统的力学性能 .....                       | 36 |
| 6.1.2 | 树脂系统的粘结性能 .....                       | 38 |
| 6.1.3 | 树脂系统的韧性 .....                         | 38 |
| 6.1.4 | 树脂的耐候性 .....                          | 38 |
| 6.1.5 | 树脂的耐热性 .....                          | 39 |
| 6.1.6 | 树脂的耐燃性 .....                          | 39 |
| 6.1.7 | 树脂的耐化学腐蚀性 .....                       | 39 |
| 6.1.8 | 树脂满足复合材料制造工艺的要求 .....                 | 40 |
| 6.2   | 树脂类型 .....                            | 40 |
| 6.2.1 | 热塑性树脂 .....                           | 41 |
| 6.2.2 | 热固性树脂 .....                           | 48 |
| 6.2.3 | 作为复合材料基体材料的热固性树脂与热塑性<br>树脂的特性比较 ..... | 52 |
| 7     | 玻璃纤维增强塑料制品成型方法 .....                  | 54 |
| 7.1   | 玻璃钢制品成型三要素 .....                      | 54 |
| 7.2   | 树脂基复合材料成型工艺分类 .....                   | 56 |
| 7.2.1 | 对模成型 .....                            | 57 |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 7.2.2  | 接触成型 .....                | 60  |
| 7.2.3  | 其他重要的成型方法 .....           | 60  |
| 7.3    | 成型工艺选择 .....              | 60  |
| 7.4    | 常用玻璃钢成型工艺简介 .....         | 65  |
| 7.4.1  | 手糊成型 .....                | 65  |
| 7.4.2  | 喷射成型 .....                | 76  |
| 7.4.3  | 树脂传递成型 .....              | 85  |
| 7.4.4  | 纤维缠绕成型 .....              | 93  |
| 7.4.5  | SMC 成型 .....              | 100 |
| 7.4.6  | BMC 成型 .....              | 111 |
| 7.4.7  | 拉挤成型 .....                | 121 |
| 7.4.8  | 连续板材成型 .....              | 129 |
| 7.4.9  | RIM .....                 | 131 |
| 7.4.10 | 真空袋法成型 .....              | 133 |
| 7.4.11 | 离心成型 .....                | 135 |
| 7.4.12 | 树脂膜熔浸成型 .....             | 136 |
| 7.4.13 | 预浸料（高压釜）成型 .....          | 138 |
| 7.4.14 | 低温固化预浸料成型 .....           | 141 |
| 7.4.15 | SCRIMP, RIFT, VARTM ..... | 142 |
| 7.4.16 | GMT 冲压 .....              | 144 |
| 7.4.17 | TWINTEx 直接复合材料成型 .....    | 148 |
| 7.4.18 | 热塑性塑料复合注射成型 .....         | 150 |
| 7.4.19 | 长纤维增强热塑性塑料挤出-模压成型 .....   | 151 |
| 7.4.20 | 真空辅助树脂注射法（VARI 法） .....   | 153 |
| 7.4.21 | 冷模压成型法 .....              | 155 |
| 7.4.22 | FRTP 成型法 .....            | 158 |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| 7.4.23 | 人造大理石成型法 .....      | 162 |
| 7.4.24 | 其他成型方法 .....        | 171 |
| 附录 1   | 玻璃钢的用途 .....        | 173 |
| 附录 2   | 复合材料相关主要缩略语说明 ..... | 175 |
| 参考文献   | .....               | 181 |

# 1

## 复合材料基本概念与分类

复合材料至少由两种以上成分复合而成。这些成分共同起作用，使复合材料的特性与组分迥异。

大部分复合材料系由基体材料与增强材料组成。基体构成复合材料连续相，增强材料通常呈纤维态分散于基体当中，提高基体的强度和刚度。

当今最通常的人造复合材料可分为三大类。

- 聚合物基复合材料（PMC）：采用聚合物为基体，玻璃纤维、碳纤维、芳纶等为增强材料。本章讨论的GRP即属此类。

- 金属基复合材料（MMC）：以金属（如铝）为基体，以纤维（如碳化硅纤维）增强（汽车上已有应用）。

- 陶瓷基复合材料（CMC）：以陶瓷为基体，以短纤维或晶须（如碳化硅和碳化硼纤维或晶须）增强。

以上三种复合材料中，以 PMC 用量为最大，其中 GRP 用量占 90% 以上。

玻璃纤维增强复合材料 (glass fiber reinforced composites) 是当今用量最大的复合材料，其中以玻璃纤维增强塑料 (GRP-glass fiber reinforced plastics) 为主，在我国俗称玻璃钢。

# 2

## 玻璃纤维增强塑料的特性

### 2.1 设计与制造上的四大特点

- (1) 材料性能指标的自由设计性；
- (2) 产品型体设计的自由性；
- (3) 材料与结构的一致性；
- (4) 原辅材料选择与成型工艺选择的多样性。

### 2.2 性能特点

#### 2.2.1 优点

- (1) 比强度高

玻璃纤维增强塑料的比强度高，而比模量则不一定高于金属。

$$\text{比强度} = \frac{\text{强度}}{\text{密度}} \quad (\text{cm})$$

$$\text{比模量} = \frac{\text{弹性模量}}{\text{密度}} \quad (\text{cm})$$

欲提高比模量，可采用高模量玻璃纤维，乃至采用碳纤维或芳纶纤维增强。

表 2-1 为几种常用材料与复合材料的比强度和比模量，表 2-2 为玻璃纤维复合材料与其他材料性能比较。

表 2-1 几种常用材料与复合材料的比强度和比模量

| 材料名称       | 密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 拉伸强度<br>/×10 <sup>4</sup><br>MPa | 弹性模量<br>/×10 <sup>6</sup><br>MPa | 比强度<br>/×10 <sup>6</sup><br>cm | 比模量<br>/×10 <sup>9</sup><br>cm |
|------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 钢          | 7.8                         | 10.10                            | 20.59                            | 0.13                           | 0.27                           |
| 铝          | 2.8                         | 4.61                             | 7.35                             | 0.17                           | 0.26                           |
| 钛          | 4.5                         | 9.41                             | 11.18                            | 0.21                           | 0.25                           |
| 玻璃钢        | 2.0                         | 10.40                            | 3.92                             | 0.53                           | 0.21                           |
| Ⅱ 碳纤维/环氧树脂 | 1.45                        | 14.71                            | 13.73                            |                                | 0.21                           |
| Ⅰ 碳纤维/环氧树脂 | 1.6                         | 10.49                            | 23.54                            |                                | 1.5                            |
| 芳纶纤维/环氧树脂  | 1.4                         | 13.73                            | 7.85                             |                                | 0.57                           |
| 硼纤维/环氧树脂   | 2.1                         | 13.53                            | 20.59                            |                                | 1.0                            |
| 硼纤维/铝      | 2.65                        | 9.81                             | 19.61                            |                                | 0.75                           |

## (2) 耐疲劳性能好

疲劳破坏是指材料在交变载荷作用下，由于材料微观

裂纹的形成与扩展而造成的低应力破坏。金属材料的疲劳破坏是由里向外突然发展的，往往事先无征兆；而纤维复合材料中，纤维与基体的界面能阻止裂纹扩展，其疲劳总是从材料的薄弱环节开始，逐渐扩展，破坏前有明显的征兆。纤维增强复合材料的抗声振疲劳性能亦佳。

### (3) 减振性好

复合材料中的纤维与树脂基体界面有吸振能力，故其振动阻尼甚高，可避免因振而致的破坏。曾对形状、尺寸相同的轻金属合金及碳纤维复合材料所制的悬臂梁做过振动试验，前者需  $9s$  才能停止振动，后者仅需  $2.5s$ 。

### (4) 破损安全性好

纤维复合材料基体中有大量独立的纤维，每平方厘米上的纤维少则几千根，多至上万根。从力学观点上看，是典型的静不定体系。当构件超载并有少量纤维断裂时，载荷会迅速重新分配在未破坏的纤维上。这样，在短期内不致于使整个构件丧失承载能力。

### (5) 耐化学腐蚀

常见的热固性玻璃钢一般都耐稀酸、稀碱、盐、有机溶剂、海水，并耐湿。热塑性玻璃钢耐化学腐蚀性一般较热固性为佳。一般而言，耐化学腐蚀性主要决定于基体。玻璃纤维不耐氢氟酸等氟化物。生产适应氢氟酸等氟化物的复合材料产品时，接触氟化物表面的增强材料不能用玻璃纤维，可采用饱和聚酯或丙纶纤维（薄毡），基体亦需

表 2-2 玻璃纤维复合材

| 性 能                                                 |                  | 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>含<br>量 | 相<br>对<br>密<br>度 | 拉<br>伸<br>强<br>度 | 拉<br>伸<br>模<br>量 | 伸<br>长<br>率 | 弯<br>曲<br>强<br>度 | 弯<br>曲<br>模<br>量 |
|-----------------------------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|
| 单 位                                                 |                  | %<br>(质量)                  |                  | MPa              | GPa              | %           | MPa              | GPa              |
| ASTM 试验方法                                           |                  |                            | D792             | D638             | D638             | D638        | D790             | D790             |
| 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>增<br>强<br>热<br>固<br>性<br>树<br>脂 | 聚酯预成型<br>一般用途    | 25                         | 1.55             | 93.1             | 12.41            | 2.5         | 186.2            | 7.58             |
|                                                     | 型材               | 24                         | 1.74             | 79.3             | 11.72            | 2.5         | 196.5            | 9.10             |
|                                                     | 高玻 璃 纤<br>维含量    | 40                         | 1.70             | 148.2            | 15.51            | 2.5         | 265.5            | 10.34            |
|                                                     | 聚酯 SMC<br>低压(模压) | 30                         | 1.85             | 82.7             | 11.72            | ≤1.0        | 179.3            | 11.03            |
|                                                     | 一般用途             | 22                         | 1.78             | 51.7             | 11.72            | 0.4         | 124.1            | 9.65             |
|                                                     | 高玻 璃 纤<br>维含量    | 50                         | 2.00             | 158.6            | 15.65            | 1.7         | 310.3            | 13.79            |
|                                                     | 聚酯 BMC<br>模压     | 22                         | 1.82             | 41.4             | 12.07            | ≤0.5        | 88.3             | 10.89            |
|                                                     | 注射               | 22                         | 1.82             | 33.8             | 10.55            | ≤0.5        | 87.6             | 9.93             |
|                                                     | 聚酯(拉挤)           | 55                         | 1.69             | 206.9            | 17.24            |             | 206.9            | 11.03            |
|                                                     | 聚酯(喷射,<br>手糊)    | 30                         | 1.37             | 86.2             | 6.895            | 1.3         | 193.1            | 5.17             |
|                                                     | 聚酯方格布<br>(手糊)    | 50                         | 1.64             | 255.1            | 15.51            | 1.6         | 317.2            | 15.51            |

料与其他材料性能比较

| 压缩<br>强度 | 悬臂梁<br>冲击<br>强度 | 硬度       | 燃烧<br>性 | 比热<br>容          | 热胀<br>系数                            | 热变形<br>温度          | 热导<br>率     | 介电<br>强度             | 吸水<br>率    | 模塑<br>收缩<br>率 |
|----------|-----------------|----------|---------|------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------|----------------------|------------|---------------|
| MPa      | J/m             | 洛氏<br>硬度 |         | J/<br>(kg·<br>K) | $\times 10^{-6}$<br>K <sup>-1</sup> | ℃<br>(1.82<br>MPa) | W/<br>(m·K) | $\times 10^6$<br>V/m | %<br>(24h) | cm/<br>cm     |
| D695     | D256            | D785     | UL-94   |                  | D696                                | D648               | C177        | D149                 | D570       | D955          |
| 172.4    | 954             |          | ①       | 698              | 14.0                                | 177                | 1.4         | 15.7                 | 0.25       | 0.002         |
| 137.9    | 1102.4          |          | ①       | 698              | 14.0                                | 204                | 1.2         | 15.7                 | 0.8        | 0.000         |
| 220.6    | 1219            |          | ①       | 698              | 14.0                                | 204                | 1.4         | 15.7                 | 0.4        | 0.001         |
| 165.5    | 848             |          | ①       | 698              | 14.0                                | 204                | 1.2         | 15.7                 | 0.8        | 0.000         |
| 158.6    | 434.6           |          | ①       | 698              | 14.0                                | 204                | 1.4         | 15.7                 | 0.2        | 0.001         |
| 220.6    | 1028.2          |          | ①       | 698              | 14.0                                | 204                | 1.4         | 15.7                 | 0.2        | 0.001         |
| 137.9    | 227.9           |          | ①       | 698              | 12.0                                | 260                | 1.4         | 14.8                 | 0.5        | 0.001         |
|          | 153.7           |          | ①       | 698              | 12.0                                | 260                | 1.4         | 14.8                 | 0.5        | 0.001         |
| 206.9    | 1325            |          | ①       | 651              | 12.0                                |                    | 1.4         | 7.87                 | 0.5        |               |
| 151.7    | 742             |          | ①       | 721              | 15.0                                | 204                | 1.44        | 9.84                 | 0.5        | 0.003         |
| 186.2    | 1749            |          |         |                  | 8.0                                 | 204                |             | 13.8                 | 0.5        | 0.002         |

| 性 能                                                 |                       | 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>含<br>量 | 相<br>对<br>密<br>度 | 拉<br>伸<br>强<br>度 | 拉<br>伸<br>模<br>量 | 伸<br>长<br>率 | 弯<br>曲<br>强<br>度 | 弯<br>曲<br>模<br>量 |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|
| 单 位                                                 |                       | %<br>(质量)                  |                  | MPa              | GPa              | %           | MPa              | GPa              |
| ASTM 试验方法                                           |                       |                            | D792             | D638             | D638             | D638        | D790             | D790             |
| 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>增<br>强<br>热<br>固<br>性<br>树<br>脂 | 环氧(纤维缠绕)              | 80                         | 2.08             | 551.6            | 27.58            | 1.6         | 689.5            | 34.48            |
|                                                     | 聚氨酯,磨碎纤维(增强反应注射成型)    | 13                         | 1.07             | 19.3             |                  | 140.0       |                  | 0.34             |
|                                                     | 玻璃鳞片(增强反应注射成型)        | 23                         | 1.17             | 30.3             |                  | 38.9        |                  | 1.034            |
| 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>增<br>强<br>塑<br>料                | 丙烯腈-丁二烯-苯 乙 烯 共<br>聚物 | 20                         | 1.22             | 75.8             | 6.21             | 2.0         | 106.9            | 6.0              |
|                                                     | 聚甲醛                   | 25                         | 1.61             | 127.6            | 8.62             | 3.0         | 193.1            | 7.58             |
|                                                     | 尼龙 6                  | 30                         | 1.37             | 158.6            | 7.24             | 3.0         | 199.9            | 8.27             |
|                                                     | 尼龙 66                 | 30                         | 1.48             | 179.3            | 8.27             | 1.9         | 241.3            | 8.96             |
|                                                     | 聚碳酸酯                  | 10                         | 1.26             | 82.7             | 5.17             | 9.0         | 110.3            | 4.14             |
|                                                     | 聚对苯二甲酸丁二醇酯            | 30                         | 1.52             | 131.0            | 8.27             | 4.0         | 193.1            | 9.65             |
|                                                     | 聚对苯二甲酸乙二醇酯            | 30                         | 1.56             | 144.8            | 8.96             | 6.6         | 220.6            | 9.79             |

续表

| 压缩<br>强度 | 悬臂梁<br>冲击<br>强度 | 硬度       | 燃烧<br>性                   | 比热<br>容          | 热胀<br>系数                            | 热变形<br>温度          | 热导<br>率      | 介电<br>强度             | 吸水<br>率    | 模塑<br>收缩<br>率 |
|----------|-----------------|----------|---------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|------------|---------------|
| MPa      | J/m             | 洛氏<br>硬度 |                           | J/<br>(kg·<br>K) | $\times 10^{-6}$<br>K <sup>-1</sup> | ℃<br>(1.82<br>MPa) | W/<br>(m·K)  | $\times 10^6$<br>V/m | %<br>(24h) | cm/<br>cm     |
| D695     | D256            | D785     | UL-94                     |                  | D696                                | D648               | C177         | D149                 | D570       | D955          |
| 310.3    | 2385            |          | V-0<br><br>V-0<br><br>V-0 | 535              | 4.0                                 | 204                | 1.85         | 11.8                 | 0.50       | 0.008         |
| 96.5     | 74.2            |          | HB                        |                  | 21.0                                | 104                | 1.3          | 18.3                 | 0.14       | 0.002         |
| 117.2    | 95.4            |          | HB                        |                  | 47.0                                | 162                |              | 22.8                 | 0.29       | 0.004         |
| 165.5    | 121.9           |          | HB                        |                  | 17.0                                | 215                | 5.6~<br>11.0 | 19.7                 | 1.10       | 0.004         |
| 182.7    | 106             |          | HB                        | 698              | 13.0                                | 249                | 1.4          | 15.7                 | 0.90       | 0.002         |
| 96.5     | 196.1           |          | V-1                       | 675              | 18.0                                | 149                | 4.4          | 19.7                 | 0.14       | 0.001         |
| 124.1    | 95.4            |          | HB                        | 256              | 12.0                                | 221                | 6.7          | 14.8                 | 0.06       | 0.003         |
| 172.4    | 95.4            |          | HB                        |                  | 17.0                                | 216                | 6.2          | 20.5                 | 0.05       | 0.003         |

| 性 能                                       |                             | 玻璃<br>纤维<br>含量 | 相对<br>密度 | 拉伸<br>强度 | 拉伸<br>模量 | 伸长<br>率 | 弯曲<br>强度 | 弯曲<br>模量 |
|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 单 位                                       |                             | %<br>(质量)      |          | MPa      | GPa      | %       | MPa      | GPa      |
| ASTM 试验方法                                 |                             |                | D792     | D638     | D638     | D638    | D790     | D790     |
| 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>增<br>强<br>塑<br>料      | 聚苯醚                         | 20             | 1. 21    | 100. 0   | 6. 34    | 5. 0    | 127. 6   | 5. 17    |
|                                           | 聚苯硫醚                        | 40             | 1. 64    | 151. 7   | 14. 13   | 3. 0    | 255. 1   | 13. 10   |
|                                           | 聚丙烯                         | 20             | 1. 04    | 44. 8    | 3. 72    | 3. 0    | 57. 2    | 3. 59    |
|                                           | 苯 乙 烯-丙<br>烯腈共聚物            | 20             | 1. 22    | 100. 0   | 8. 62    | 1. 8    | 131. 0   | 7. 58    |
|                                           |                             |                |          |          |          |         |          |          |
| 未<br>增<br>强<br>的<br>热<br>塑<br>性<br>塑<br>料 | 丙 烯 腈-丁<br>二 烯-苯 乙 烯<br>共聚物 |                | 1. 05    | 41. 4    | 2. 07    | 5. 0    | 75. 8    | 2. 21    |
|                                           | 聚甲醛                         |                | 1. 42    | 60. 7    | 2. 83    | 40. 0   | 89. 6    | 2. 76    |
|                                           | 尼龙 6                        |                | 1. 14    | 81. 4    | 2. 62    | 38. 0   | 108. 3   | 2. 76    |
|                                           | 尼龙 66                       |                | 1. 13    | 81. 4    | 2. 76    | 60. 0   | 117. 2   | 2. 83    |
|                                           | 聚碳酸酯                        |                | 1. 14    | 62. 0    | 2. 34    | 110. 0  | 93. 1    | 2. 28    |
|                                           | 聚对苯二甲<br>酸丁二醇酯              |                | 1. 31    | 58. 7    | 1. 93    | 50. 0   | 82. 7    | 2. 34    |
|                                           | 聚对苯二甲<br>酸乙二醇酯              |                | 1. 34    | 58. 7    | 2. 76    | 50. 0   | 96. 5    | 2. 76    |
|                                           | 聚苯醚                         |                | 1. 06    | 65. 5    | 2. 62    | 50. 0   | 88. 3    | 2. 48    |
|                                           |                             |                |          |          |          |         |          |          |

续表

| 压缩<br>强度 | 悬臂梁<br>冲击<br>强度 | 硬度           | 燃烧<br>性    | 比热<br>容          | 热胀<br>系数                            | 热变形<br>温度          | 热导<br>率       | 介电<br>强度             | 吸水<br>率    | 模塑<br>收缩<br>率 |
|----------|-----------------|--------------|------------|------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------|----------------------|------------|---------------|
| MPa      | J/m             | 洛氏<br>硬度     |            | J/<br>(kg·<br>K) | $\times 10^{-6}$<br>K <sup>-1</sup> | ℃<br>(1.82<br>MPa) | W/<br>(m·K)   | $\times 10^6$<br>V/m | %<br>(24h) | cm/<br>cm     |
| D695     | D256            | D785         | UL-94      |                  | D696                                | D648               | C177          | D149                 | D570       | D955          |
| 121.4    | 90.1            |              | HB         | 698              | 20.0                                | 154                | 3.7           | 19.7                 | 0.06       | 0.003         |
| 144.8    | 79.5            |              | V-0/<br>5V | 582              | 11.0                                | 266                | 1.9           | 15.0                 | 0.01       | 0.002         |
| 172.4    | 159             |              | HB         |                  | 24.0                                | 146                | 8.1           | 17.3                 | 0.03       | 0.003         |
| 120.7    | 53              |              | HB         |                  | 21.0                                | 102                | 2.7           | 19.3                 | 0.10       | 0.002         |
| 69.0     | 235             | R107~<br>115 | HB         |                  | 53.0                                | 90.6               | 0.92          | 13.7~<br>19.7        | 0.30       | 0.006         |
| 110.3    | 69              | M78~<br>80   | HB         | 814              | 45.0                                | 110                | 1.50          | 19.7                 | 0.22       | 0.020         |
| 89.6     | 53              | R119         | HB         | 930              | 46.0                                | 75.0               | 1.15          | 12.0                 | 1.80       | 0.016         |
| 103.4    | 48              | R120         | V-2        | 698              | 45.0                                | 76.7               | 1.63          | 12.0                 | 1.50       | 0.016         |
| 86.2     | 640             | M70          | V-2        | 698              | 37.0                                | 129                | 1.30          | 15.0                 | 0.15       | 0.006         |
| 59.3     | 64              | M68~<br>78   | HB         |                  | 53.0                                | 54.4               | 0.98~<br>1.60 | 16.5~<br>21.7        | 0.08       | 0.020         |
| 75.8     | 37              | M94~<br>101  | HB         | 791              |                                     | 37.8               | 0.83          |                      | 0.15       | 0.020         |
| 82.7     | 27              | R115         | V-1        | 465~<br>930      | 33.0                                | 129                | 0.88          | 15.7                 | 0.07       | 0.005         |

| 性 能       |                     | 玻<br>璃<br>纤<br>维<br>含<br>量 | 相<br>对<br>密<br>度 | 拉<br>伸<br>强<br>度 | 拉<br>伸<br>模<br>量 | 伸<br>长<br>率 | 弯<br>曲<br>强<br>度 | 弯<br>曲<br>模<br>量 |
|-----------|---------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|
| 单 位       |                     | %<br>(质量)                  |                  | MPa              | GPa              | %           | MPa              | GPa              |
| ASTM 试验方法 |                     |                            | D792             | D638             | D638             | D638        | D790             | D790             |
| 未增强的热塑性塑料 | 聚苯硫醚                |                            | 1.30             | 65.5             | 3.31             | 1.0         | 96.5             | 3.79             |
|           | 聚丙烯                 |                            | 0.89             | 34.5             | 0.69             | 200.0       | 34.5             | 1.24             |
|           | 苯乙烯-丙烯腈共聚物          |                            | 1.08             | 67.6             | 2.76             | 0.5         | 96.5             | 3.45             |
|           |                     |                            |                  |                  |                  |             |                  |                  |
| 金 属       | AISI 1008 冷轧钢       |                            | 7.86             | 331.0            | 206.7            | 37.0        |                  |                  |
|           | ASTM A-606 HSLA 冷轧钢 |                            | 7.75             | 448.2            | 206.7            | 22.0        |                  |                  |
|           | AISI 304 不锈钢        |                            | 8.03             | 551.6            | 193.1            | 40.0        |                  |                  |
|           | 2036-T4 锻铝          |                            | 2.74             | 337.9            | 70.3             | 23.0        |                  |                  |
|           | ASTM B85 铸铝         |                            | 2.82             | 331.0            | 71.0             | 2.5         |                  |                  |
|           | ASTM AZ918 铸镁       |                            | 1.83             | 227.5            | 448.2            | 3.0         |                  |                  |
|           | ASTM AG40A 铸锌       |                            | 6.59             | 282.7            | 75.2             | 10.0        |                  |                  |
|           |                     |                            |                  |                  |                  |             |                  |                  |

① 热固性聚酯可调节配方，以广泛地满足对火烟与毒性的要求。

续表

| 压缩<br>强度 | 悬臂梁<br>冲击<br>强度 | 硬度               | 燃烧<br>性 | 比热<br>容          | 热胀<br>系数                            | 热变形<br>温度           | 热导<br>率     | 介电<br>强度             | 吸水<br>率    | 模塑<br>收缩<br>率 |
|----------|-----------------|------------------|---------|------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------|----------------------|------------|---------------|
| MPa      | J/m             | 洛氏<br>硬度         |         | J/<br>(kg·<br>K) | $\times 10^{-6}$<br>K <sup>-1</sup> | °C<br>(1.82<br>MPa) | W/<br>(m·K) | $\times 10^6$<br>V/m | %<br>(24h) | cm/<br>cm     |
| D695     | D256            | D785             | UL-94   |                  | D696                                | D648                | C177        | D149                 | D570       | D955          |
| 110.3    | 27              | R123             | V-0     |                  |                                     | 135                 | 1.61        | 15.0                 | <0.02      | 0.007         |
| 24.1     | 27~             | R50~             | HB      | 1046             | 40.0                                | 57.2                | 1.16        | 23.6                 | 0.01       | 0.018         |
| 96.5     | 117<br>21       | 96<br>M80~<br>85 | HB      | 768              | 34.0                                | 93.3                | 067         | 20.3                 | 0.25       | 0.005         |
| 331.0    |                 | B34~             |         | 233              | 6.7                                 |                     | 33.7        |                      |            |               |
| 448.2    |                 | 52<br>B80        |         | 256              | 6.8                                 |                     | 24.0        |                      |            |               |
| 551.6    |                 | B88              |         | 279              | 9.6                                 |                     | 9.0         |                      |            |               |
| 337.9    |                 | R80              |         | 488              | 13.9                                |                     | 88.5        |                      |            |               |
| 331.0    |                 | Bhn 85           |         |                  | 11.6                                |                     | 51.0        |                      |            |               |
| 227.5    |                 | Bhn 85           |         | 582              | 14.0                                |                     | 40.2        |                      |            |               |
| 282.7    |                 | Bhn 82           |         | 233              | 15.2                                |                     | 62.8        |                      |            |               |

采用耐氢氟酸的树脂，如乙烯基酯树脂。

#### (6) 电性能好

绝缘性可达到甚高水平，但亦可做成防静电的或导电的。在高频下能保持良好的介电性能，不反射电磁波，能透过微波。这些性能远非金属材料所能比拟。

#### (7) 热导率低、线膨胀系数小

在有温差时所产生的热应力比金属低得多。有的玻璃钢（酚醛基体）耐瞬时高温（ $3800^{\circ}\text{C}$ ），是很好的耐烧蚀材料。

#### (8) 可制得透明及各种色彩的产品

借助加强筋、夹芯结构、波纹等可使制品获得所需的强度与模量；各种组件、构件可在主体成型中一并嵌入成型，脱模后工时大为缩减；易于维修与保养；隔磁、隔声。

#### (9) 成型工艺性优越

可根据产品的结构与使用要求及生产数量，合理灵活地选择原辅材料及成型工艺。

### 2.2.2 缺点

(1) 玻璃钢的弹性模量较低（但碳纤维复合材料的弹性模量可超过钢），比钢低 1 个数量级。

(2) 耐热性远低于金属，目前高性能树脂基复合材料长期使用温度在  $250^{\circ}\text{C}$  以下，一般玻璃钢在  $60\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 可燃，虽可做到阻燃或自熄，但燃烧时冒黑烟、有臭味。

(4) 表面硬度低，易划痕，耐磨性差。

(5) 存在老化问题。在日晒、雨淋、机械应力以及介质侵蚀下，尤其在湿热条件下，会导致外观及性能恶化。但对此的评价不应过分，如二次大战中敷设的玻璃钢管道现在还在用。一些国外公司声称：保证其生产的玻璃钢管的使用寿命为 50 年。

(6) 生产需要注意安全防护。玻璃纤维刺激皮肤；化工原料有气味有毒；固化剂与促进剂直接接触可导致火灾、灼烧皮肤，溅到眼内会失明。生产企业大多存在不同程度的三废（废气、废水、废渣）处理问题。

(7) 产品质量离散系数大。如手糊成型产品（采用玻璃布）的强度离散系数达  $0.06 \sim 0.1$ 。

(8) 冲击、剪切强度低。无屈服点，受力过程中可产生分层。

(9) 作为多种原辅材料复合而成的复合材料因工艺过程控制因素多，影响性能的因素也多，故难以达到理想的性能，至今尚未建立完善的设计公式与数据库。

# 3

## 国内外发展概况

玻璃纤维增强塑料工业始于 60 多年前的美国，我国于 1958 年起步。玻璃钢是个小行业，目前全世界仅约 600 万吨，但它正日益改变我们的生活，推动人类社会进步。

### 3.1 玻璃钢溯源与国外发展沿革

在距今七千年前的西安半坡遗址中，有用草与泥拌合作的砖坯与墙壁。草相当于增强材料，泥相当于基体。早在春秋战国时期，勤劳智慧的华夏先民就以麻、线、漆、竹、木等材料，制作戈、矛等长兵器的杆、弓、漆器等制品，这就是早期的复合材料，广义上的“玻璃钢”。湖北随州曾侯乙墓中出土的编钟乐器为世人所知晓，而同时出土的戈、戟等兵器的杆，是木芯外铺设纵向竹纤维，再用大漆加蚕丝予以环向缠绕。当今玻璃钢的纤维缠绕工艺的

原理，岂不与两千多年前祖先所用工艺原理惊人的相似！

1940 年，美国一家实验室的技术人员不小心将加有催化剂的不饱和聚酯树脂倾倒在玻璃布上，第二天发现固化后的这种复合材料强度很高，玻璃钢遂应运而生。二次大战期间，美国以手工接触成型与抽真空固化工艺，制造了飞机雷达罩与副油箱；利用胶接技术制作了玻璃钢夹芯结构的飞机机翼；1942 年第一艘玻璃钢渔船问世；玻璃钢管试制成功并投入使用。

战后，1946 年发明了以纤维缠绕法生产压力容器的方法。1949 年预混料 DMC (BMC) 模压玻璃钢面市。1950 年真空袋与压力袋成型工艺研究成功；手糊环氧玻璃钢直升飞机旋翼面市。1951~1960 年发展了布带缠绕高硅氧/酚醛耐烧蚀玻璃钢，生产导弹头锥；拉挤产品问世。1965 年起开展碳纤维、芳纶纤维复合材料即所谓先进复合材料研究，采用环氧或双马树脂等为基体。

20 世纪 50 年代末，前苏联即成功开发了酚醛/玻璃纤维单向带及预混料工艺，用于炮弹引信体等军品及化工器材的生产。加加林是人类第一个进入太空的，表明前苏联耐烧蚀玻璃钢早已取得高水平的成就。

德国在 1961 年率先开发片状模塑料 (SMC) 及其模压技术。

1963 年玻璃钢波形瓦开始机械化生产，美、法、日先后有高生产率的连续生产线投产。

1972 年美国研究成功干法生产的热塑性片状模塑料。20 世纪 80 年代开发了湿法生产的热塑性片状模塑料。瑞士、奥地利离心法成型玻璃钢管得到发展；意大利工业化纤维缠绕玻璃钢管生产线技术成熟，产品大量使用于石化、轻工、灌溉、给排水、轮船等领域。

进入 20 世纪 90 年代，玻璃钢/复合材料方面的新材料、新工艺、新设备、新产品日益发展，如超高分子量聚乙烯纤维、高强高模量碳纤维、双马树脂、多轴经编织物、缝编毡及复合毡、新型添加剂；多轴高精度微机控制纤维缠绕机、机器人 SMC 模压生产线、高生产率纤维缠绕玻璃钢管道自动生产线；将聚丙烯酸酯板加热后真空吸塑成壳体、背覆以玻璃钢的“雅克力”浴缸、汽车用 CNG（压缩天然气）瓶等。

全世界迄今已形成了从原材料、成型工艺、技术设备、制品生产及相关性能检测等较系统完整的工业体系格局，标准化工作日臻完善，正向传统材料挑战，日益向深度和广度进军。

1956 年，时任重工业部副部长、后任建材工业部部长的赖际发同志赴前苏联考察玻璃钢。俄文称玻璃钢为“玻璃塑料”（СТЕКЛОПЛАСТИК），当时中文里没有相应的词。想到材料内有玻璃，强度又高，就叫“玻璃钢”。这就是“玻璃钢”一词的由来。台湾省和国外同行，现在也都知道，中国大陆的玻璃钢就是 FRP。

## 3.2 我国玻璃钢工业发展历程

我国的玻璃钢工业始于 1958 年。发展历程大致可分为两个阶段：以 1978 年 12 月份召开的中共 11 届三中全会为界。此前，致力于国防军工，为我国玻璃钢工业发展打基础；此后，生产社会化，国家经济建设与人民生活所需的玻璃钢工业日趋发展，就这个小行业本身而言，尽管与国际先进水平仍有差距，然一直处于由小变大、由弱变强的进程之中。

玻璃钢主要原材料厂之一的玻璃纤维工业起步稍早。1957 年，在北京管庄的建材研究院与上海耀华玻璃厂先后以坩埚拉制出了无碱玻璃纤维。1959 年在厦门、杭州、南京、天津、哈尔滨，次年在沈阳、常州、秦皇岛、洛阳、九江建立了玻璃纤维厂或车间，为发展玻璃钢工业创造了物质条件。

1958 年，在管庄建筑材料研究院成立了玻璃钢研究组（后改名为“室”），用国产原材料制得了我国第一块玻璃钢板，同年，在上海耀华玻璃厂试制成功中国第一条玻璃钢游艇与波形瓦、管道、坑道支柱、溜槽。

1960 年，原建筑工业部（1965 年 3 月经全国人大第三届第五次会议决定）分为建筑工业部与建筑材料工业部。玻璃钢由建筑材料工业部（后改为局）归口管理。

20 世纪 60 年代中期开发的中碱玻璃纤维对发展耐酸蚀玻璃钢与降低成本颇有意义，广为应用。酚醛、不饱和聚酯树脂生产技术、手糊、层压、模压、布带缠绕、纤维缠绕工艺及设备设计技术此时已初步掌握。

1966 年，建材部从英国引进不饱和聚酯树脂生产线，在常州二五三厂投产，对嗣后国内玻璃钢发展起了极大的启蒙和基础性的作用，直至 30 多年后的今天，许多当年的牌号还广被生产与使用。

1974 年，第一台国产冷却塔投入使用。

1984 年，经国家建材局报呈国家经委，批准中国玻璃钢工业协会成立。

1986 年，引进意大利纤维缠绕玻璃钢管道与贮罐生产线，首开规模化大生产玻璃钢制品之先河，以此为契机，建立了我国的玻璃钢管道与贮罐工业，并促进了玻璃纤维、树脂、助剂的技术进步，带动我国整个玻璃钢工业的高层次、规模化发展。

20 世纪后 15 年来，引进了 SMC、BMC、离心成型管、纤维缠绕连续管、纤维缠绕定长管、拉挤生产线、喷射机、RTM（树脂传递成型）机、连续板材成型机多台、套；引进了美、德、荷、英、意、日的不饱和聚酯生产技术；从日、德引进了环氧树脂生产技术；玻璃纤维池窑拉丝已国产化，直接无捻粗纱与多种毡材已能供货。近年碳纤维片补强建筑结构、拉挤型材玻璃钢门窗、SMC 或 BMC

模压电表箱、RTM（树脂传递成型）箱型制品等兴起。

中国台湾省玻璃钢行业始于 1966 年。早期生产浴缸、游艇、冷却塔、渔船。20 世纪 70 年代引入玻璃纤维、不饱和聚酯树脂、纤维缠绕、拉挤生产技术。20 世纪 80 年代发展 FRTP（热塑性玻璃钢）、碳纤及其运动器材。20 世纪 90 年代发展碳纤自行车与高尔夫球杆及 CFRTP（碳纤增强热塑性塑料），开发交通与航空上的应用。行业已自早期的劳力密集经劳力密集/技术密集，过渡到技术密集/资本密集，以国际市场为其生产导向。台商 FRTP、胶衣、冷却塔、运动器材已经到大陆设厂。玻璃纤维、树脂近两年内亦在江苏昆山与上海、广东建厂。

### 3.3 我国玻璃钢行业的特点

（1）改革开放前，从 1958 年开始，直到 20 世纪 80 年代初，基本上是在封闭环境中自力更生发展起来的。此后，这种自我隔绝的局面才得以改变。台胞与外国同行对我基础研究与早年开发的产品，均予以高度评价。然而早期的 20 年中，对外缺乏交流，世界行业动态不明，乏他山之石，难免事倍功半。

直至 20 世纪 80 年代，对玻璃纤维偶联剂研究的重要性缺乏必要的认识，更遑论池窑拉丝。中间还走了组合炉的弯路。

有人声称：不用毡，只用方格布是中国特色。对工艺装备的发展缺乏必要的认识。

文革前，多用酚醛树脂生产玻璃钢，故生产工艺局限于层压、模压、卷绕，需加温加压，不利于行业的普及、发展。

树脂生产厂家多，大多形不成经济规模，技术层次低，故而长期以来，我国的树脂价格一直高于玻璃纤维价格，与国际市场恰恰相反。

20 世纪 70 年代曾研究连续缠绕玻璃钢管技术。鉴于当时国内玻璃钢管道市场远未形成，故而开始即开发价昂且产品有局限性的连续管机不尽合适，且具体方案缺乏现实的考虑。步进式设备难以保证内衬层的质量；钢带式机器所定的管径仅 100mm，钢带易疲劳破坏。耗资甚大，做出来的机器迄今未投入市场性生产运行。

我们自力更生成功地开发的技术与制品不少，洞悉国际动向将会使我们从事倍功半到事半功倍。

(2) 较早地建立了市场导向的企业体制，进行产、学、研整合性发展。我国玻璃钢行业已建立以大中型企业（从规模上相对其他行业可能算小企业）为骨干，星罗棋布的乡镇企业为群体的多层次跨地区、跨部门工业体系。产、学、研有机结合，在技术进步及市场开发上均有实际成果，如 SMC 模压电表箱、水箱，管道、无机玻璃钢（玻璃纤维增强氯氧镁水泥）等产品就是较成功的例子。

(3) 国际上玻璃钢原材料厂商数量少、企业大，玻璃钢多为中小型企业。我国原材料厂却大多规模小，而数量却不少。玻璃纤维厂多达 200 余家；树脂厂更多达 400 余家；连用量仅为树脂量 2% 左右的过氧化甲乙酮 (MEKPO) 的生产企业也多达 60 家。不少企业品质差、能耗大、成本高。

(4) 从成型工艺看，手工成型仍占 60% 以上，从产品结构看，大多技术含量不高、附加值低。

(5) 玻璃钢是个小行业，但它却充满活力。它是较早迈入市场经济的。发展玻璃钢/复合材料是国家产业发展方针，是社会发展的必然。相比传统材料，玻璃钢行业一直以高于国民经济增长率的速度在发展。面临机遇与挑战，行业内先进与落后（甚至原始）并存；高技术、高附加值与低档、低价位产品并存；相当一部分产品生产技术低下、品质低下、价格低下、企业亦难以为继。低层次重复建设项目情况严重，市场低价恶性竞争不利于行业健康发展。

(6) 为了在市场竞争中取得优势，企业普遍重视提高自身素质，开发新技术、新产品，提高管理水平。20 世纪后 15 年引进与自行开发的技术与设备及开发的产品甚多，在国民经济建设中的作用增长。作为一个小行业，全国主要玻璃钢企业截止 2002 年底，已有 10% 通过 ISO9000 质量体系认证。

## 3.4 我国玻璃钢行业现状及其与国际水平的比较

### 3.4.1 企业情况

我国玻璃钢厂家 90% 以上为乡镇企业。星罗棋布在全国各地（除西藏外），大多为中小企业，与国外同行相似。比较集中的地区如下。

江苏省：常州市（武进区、金坛市）、无锡市及周边地区（含江阴市、锡山市、宜兴市）、苏州市及周边地区（含吴江市、张家港市、常熟市）、南通市及周边地区（含海门市、如皋市）。

山东省：德州市（市区及武城县、庆云县）、胶东地区（威海市、荣成市、烟台市）、潍坊市（含安丘市）、东营市（胜利油田）。

河南省：沁阳市、郑州市、新乡市、中原油田。

河北省：石家庄市、衡水市（含枣强县、冀州市、故城县）。

广东省：珠江三角洲（广州市、东莞市、中山市、顺德市、珠海市、深圳市）；重庆市。

四川省：成都周围。

安徽省：长江沿岸（安庆市、铜陵市、芜湖市、马鞍山市）、合肥市、泾县。

黑龙江省：大庆市、哈尔滨市。

京津地区。

### 3.4.2 历年玻璃钢及其主要原材料产量

表 3-1 为部分玻璃钢原材料及产品产量。表 3-2 为中国台湾省 FRP 等产品的产量。

表 3-1 1991~2002 年中国大陆 GF、UP、FRP 及相关产品产量统计/ $\times 10^4$ t

| 年份<br>材料        | 1991 | 1992  | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
|-----------------|------|-------|------|------|------|------|------|
| GF              | 9.69 | 12.08 | 13.4 | 15   | 16   | 17   | 17.5 |
| UP              | 6    | 8     | 11   | 13   | 15   | 16   | 20   |
| FRSP<br>(GF/UP) | 11   | 13.3  | 14.5 | 15   | 15   | 17   | 22   |
| FRTTP           |      |       | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 2.5  | 3    |
| CCL             |      |       | 2.0  | 3.5  | 4    | 4    | 4    |

| 年份<br>材料        | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| GF              | 18   | 20   | 21   | 27.3 | 36   | 47   |
| UP              | 25   | 32   | 45   | 50   | 58   | 80   |
| FRSP<br>(GF/UP) | 25   | 30   | 48   | 50   | 54   | 60   |
| FRTTP           | 3.5  | 8    | 10   | 15   | 17   | 22   |
| CCL             | 7    | 12   | 11   | 9    | 9    | 12.4 |

注：1993~1999 年 CCL 含纸基，其中约占 1/2，2000 年起均为玻璃布/环氧。

表 3-2 中国台湾省近年 FRP/复合材料产量/t

| 材 料 \ 年 份                 | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002                    |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| 传统性<br>FRSP(GF/UP)        | 39800  | 43900  | 44400  | 41600  | 40300                   |
| 强化热塑性<br>FRTP(GF/TP)      | 49600  | 53250  | 64350  | 73450  | 84150                   |
| 碳纤维运动器材<br>CFRP(CF/epoxy) | 2150   | 2200   | 2350   | 2720   | 2892 <sup>①</sup> (731) |
| 印刷电路板<br>CCL(cloth/epoxy) | 138400 | 165150 | 194180 | 189970 | 191725                  |
| 合 计                       | 229950 | 264500 | 305280 | 307740 | 319067                  |

① 含台商在大陆部分，( ) 为中国台湾省内用量。

我国大陆 1999 年聚酯玻璃钢年产量即相当于日本 1987 年的水平 (32.68t)。

现在大陆玻璃钢产量已逾日本与德国，居美国之后，居全球第二位。

但我国大陆人均产量仅 600g，相比发达的美国（人均产量 7.1kg）、日本（人均产量 6kg），差距太大。中国台湾省人均产量已达 11kg。

### 3.4.3 原辅材料

#### (1) 玻璃纤维

我国玻璃纤维工业居世界第三位，能生产无碱、中碱、耐碱纤维、高硅氧纤维、高强纤维等多种玻璃纤维。

用于玻璃钢制品者，除传统之无捻粗纱布、单向布外，直接无捻粗纱（适于拉挤成型、缠绕成型），SMC 与 BMC 用、喷射用无捻粗纱、FRTP 用纱（短切或连续），短切原丝毡、湿法表面毡、缝编无皱褶织物（含多轴经编织物）及其复合毡、缝编毡、连续原丝毡、针刺毡等产品均能提供市场，近日已开发出 PP（聚丙烯）纤维与玻璃纤维并股后的织物，PP 与玻璃纤维的复合纤维正在开发中，可用于制作 FRTP 产品。台湾省的台湾塑料公司、台湾玻璃公司已在江苏昆山建厂，生产电子布用纤维。

## （2）基体树脂

① 不饱和聚酯树脂 2002 年产量 58 万吨，已跃居世界第二位，以邻苯型树脂为主，间苯型甚少。已开发出耐腐蚀性佳、不用苯酐的双环戊二烯（DCPD）树脂，台商联成化工、长兴化学二公司已分别在广东中山、珠海建厂。

② 乙烯基酯树脂 我国大陆年用量仅约 4000t，FR-SP 用量正在上升中。中国台湾省的上纬公司近日已在上海建厂。内地原有 6 个企业生产，均未达到经济规模。

③ 酚醛树脂 年产量逾 20 万吨。现已开发出新型酚醛树脂，可用于手糊、缠绕、拉挤等成型工艺，可常温常压固化，尚存在固化剂有腐蚀性，固化期较 UPR 长（不加热时）的不足。日本住友 Bakelite 公司已在苏州设厂，产能 6000t/年。

④ 环氧树脂 2002 年大陆产量 10 万吨，进口量超过

国产量。德国环氧树脂已问津我国市场。美国 DOW 公司已在张家港设厂。

⑤ 胶衣树脂 用量逐年增加，2002 年用量逾 6000t，已开发出具有中国特色的“气干型胶衣”与高性能（耐腐、耐冲击、榔头敲无裂纹）模具胶衣。

### （3）辅料

① 基体材料用量最大的不饱和聚酯树脂，其引发剂（固化剂）过氧化甲乙酮（MEKPO）已大面积推广，因其工艺性好，故颇大程度上取代了多年习用的过氧化环己酮，尤适于纤维缠绕、喷射、RTM 工艺。

② 中空玻璃微球已用作玻璃钢（模具亦有用的）、人造玛瑙与大理石的填料，可降低产品重量、增加刚度、减少制品体积收缩率、降低成本，亦用于反光标志。

③ 镁硅钙矿物复合填料比传统填料加入比例大、黏度增加缓，且力学性能有利，已在手糊制品与高压管道上采用。

④ 用量少，而对改善工艺性、提高产品品质、降低成本（增加填料添加比例）有利的多种助剂，如消泡剂、低收缩添加剂、触变剂、润湿剂等已逐渐推广。

## 3.4.4 生产工艺与技术装备

“八五”、“九五”期间我国玻璃钢行业技术进步明显。首先以管道，继之以 SMC、BMC 模压制品及拉挤成型制

品推动了整个行业（包括原辅材料）向高层次发展。我国玻璃钢不同成型工艺的比例见表 3-3，2001 年日本、欧洲、美国不同成型工艺制品的产量比例见表 3-4。

表 3-3    2002 年我国玻璃钢不同成型工艺的比例

| 成 型 工 艺    | 所占比例 / % | 成 型 工 艺   | 所占比例 / % |
|------------|----------|-----------|----------|
| 手糊（含喷射）    | 65       | 拉挤        | 2        |
| 纤维缠绕       | 22       | 其他（连续成型波  | 1        |
| SMC、BMC 模压 | 10       | 纹板、RTM 等） |          |

表 3-4    2001 年日本、欧洲、美国不同  
成型工艺制品产量比例 / %

| 工 艺     | 日 本  | 欧 洲   | 美 国   |
|---------|------|-------|-------|
| 手糊      | 18   | 22    | 16    |
| 喷射      | 20   | 13    | 32    |
| SMC/BMC | 44   | 26    | 31    |
| 压制      | 2    | —     | —     |
| RTM     | 少量   | 9     | 少量    |
| 缠绕      | 6    | 13（a） | 7     |
| 连续成型    | 4（b） | 7（c）  | 14（d） |
| 其他      | 5    | 9     | —     |
| 合计      | 100  | 100   | 100   |

注：（a）含离心法；（b）波纹板与平板、拉挤产品；（c）拉挤制品；（d）波纹板与平板（7％），拉挤制品（7％）。

目前台湾省热塑性玻璃钢与碳纤维复合材料较大陆先进，台商纷纷来大陆设厂，已取得佳绩。

# 4

## 玻璃纤维增强复合材料的主要成分与功能

玻璃纤维增强复合材料的主要组成为增强材料——纤维和基体材料——树脂。

增强材料呈纤维状，因其尺寸效应，随机微观裂纹缺陷存在几率相对降低，有利于提高复合材料的强度。

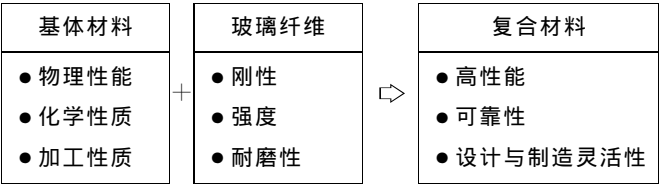
### 4.1 玻璃纤维的主要功能

- ① 承受主要负荷；
- ② 限制微观裂纹的扩展。

### 4.2 基体材料的主要功能

- ① 固定纤维的位置；

- ② 承受应力并将应力传递给纤维，由纤维承受负荷；
- ③ 决定复合材料的热、电、化学性能；
- ④ 调整材料的制造工艺性能。



总的说来，复合材料的性能主要取决于：

- ① 纤维性能；
- ② 基材（树脂）性能；
- ③ 复合材料中纤维与基材的体积百分比；
- ④ 复合材料中纤维的几何形状与取向。

玻璃纤维复合材料综合了基材与玻璃纤维增强材料自身的一些性能，见表 4-1 与图 4-1。

表 4-1 玻璃纤维增强复合材料的特性与其主要组分的关联

| 力学特性    |        | 热、电特性 |        | 化学特性 |         |
|---------|--------|-------|--------|------|---------|
| 项目      | 关联要素   | 项目    | 关联要素   | 项目   | 关联要素    |
| 强度、弹性模量 | 纤维特性   | 热膨胀率  | 纤维特性   | 耐药品性 | 基材特性    |
| 压缩、剪切   | 纤维体积含量 | 热导率   | 纤维体积含量 | 耐水性  | 界面状况    |
| 破坏韧性    | 纤维取向   | 热疲劳   | 纤维取向   | 耐氧化性 | 纤维特性    |
| 冲击      | 基材特性   | 导电率   | 基材特性   | 耐气候性 | 浸渍与覆盖工艺 |
| 疲劳、蠕变   | 界面状况   |       | 组织     |      |         |
| 振动衰减    | 组织和空隙  |       |        |      |         |

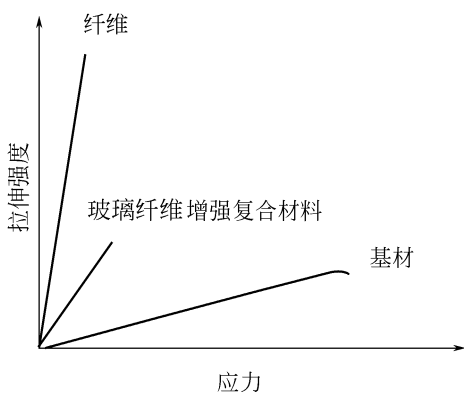


图 4-1 玻璃纤维、基材、复合材料之间力学性能的关系

# 5

## 玻璃纤维增强复合材料

### 承受荷载简析

如同任何结构材料，玻璃纤维增强复合材料承受的主要直接荷载有 4 种：拉伸、压缩、剪切、弯曲。

#### 5.1 拉伸

图 5-1 为复合材料承受拉伸荷载。纤维增强复合材料对于拉伸荷载的敏感度，在很大程度上取决于增强纤维的拉伸模量与拉伸强度，因为纤维的拉伸模量与拉伸强度远大于复合材料中基体材料（树脂系统）的拉伸模量与拉伸强度。

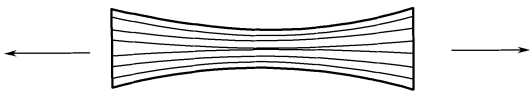


图 5-1 拉伸

## 5.2 压缩

图 5-2 示出了压缩荷载下的复合材料。这里树脂系统的粘结性能与刚度是决定性的，因为树脂的作用是保持纤维直线排列和防止纤维皱曲。

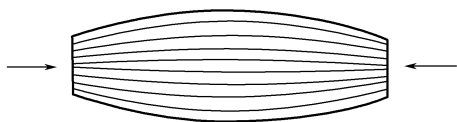


图 5-2 压缩

## 5.3 剪切

图 5-3 示出了承受剪切荷载的复合材料。这种荷载促使相邻纤维层间相对滑移。在剪切荷载下，树脂主要起传递复合材料上应力的作用。

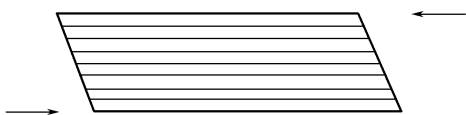


图 5-3 剪切

在剪切荷载下，对于好的复合材料，树脂（基体）不仅必须具有好的力学性能（模量与强度等），还必须对增强纤维有良好的黏附力。多层复合材料的层间剪切强度通

常表现出这种特性。

## 5.4 弯曲

弯曲荷载实际上是拉伸、压缩及剪切荷载的综合，见图 5-4。

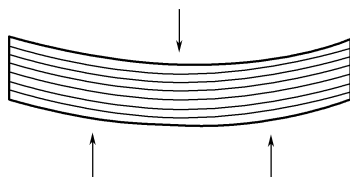


图 5-4 弯曲

受载时，上面受压缩，下面受拉伸，中间层受剪切。

# 6

## 树脂系统

用于玻璃纤维增强复合材料的树脂系统均需具备如下基本特性：

- (1) 良好的力学性能；
- (2) 良好的粘结性能；
- (3) 良好的韧性；
- (4) 良好的耐候性。

### 6.1 树脂的特性要求

#### 6.1.1 树脂系统的力学性能

图 6-1 示出了理想树脂系统的应力/应变曲线。此曲线展示了高的极限强度、高的刚度（以初始梯度表示）及高的失效应变。这意味着树脂最初是刚劲的，但同时不致脆性失效。

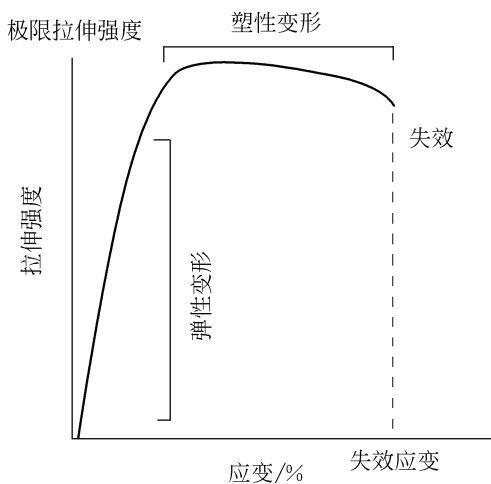


图 6-1 理想树脂系统的应力/应变曲线

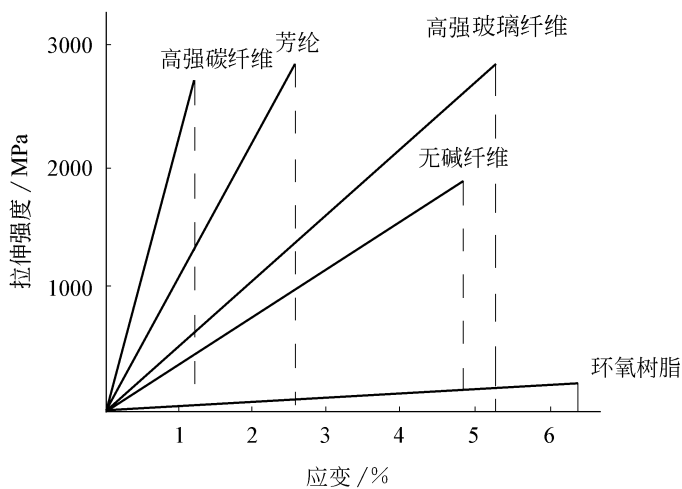


图 6-2 几种纤维的自身失效应变

必须注意：当复合材料承受拉伸荷载时，为了充分发

挥纤维组分的力学性能，树脂必须能变形，其变形程度至少与纤维相同。图 6-2 给出了 E-玻璃（无碱玻璃纤维）、S-玻璃（高强玻璃纤维）、高强碳纤维及芳纶等纤维的自身失效应变（不是在复合材料内），例如图中可见 S-玻璃纤维的断裂延伸率为 5.3%，则制造复合材料所用的树脂的断裂延伸率至少也要达到这个值，以获得材料的最大拉伸特性。

### 6.1.2 树脂系统的粘结性能

对于任何一种树脂系统，树脂与增强纤维之间的高粘结性都是必须的，这将保证当复合材料承受应力时，荷载得以有效地传递，避免裂纹和纤维/树脂间脱胶。

### 6.1.3 树脂系统的韧性

韧性表征材料抗裂纹扩展的能力。复合材料的韧性难以精确测量，然而树脂系统自身的应力/应变曲线可提供材料韧性的一些指示。一般树脂失效前所能承受的变形越大，则其韧性越好，材料将越不易产生裂纹。反之，失效力低的树脂制作的复合材料则性脆，易龟裂。将树脂系统的韧性与用作增强的纤维的伸长率匹配是相当重要的。

### 6.1.4 树脂的耐候性

良好的耐（气）候、耐水和耐其他腐蚀性的物质及承

受连续不断循环应力的能力，这些性能对任何树脂系统都是必不可少的。

树脂性能的耐候性对于在海上环境的应用尤为重要。

### 6.1.5 树脂的耐热性

树脂的耐热性是指树脂的热变形温度的高低。热变形温度高的树脂，在较高的温度下可以使用。不同的树脂有不同的热变形温度。对耐热型不饱和聚酯树脂而言，其热变形温度应不低于  $110^{\circ}\text{C}$ 。我国现已开发出热变形温度  $120\sim 200^{\circ}\text{C}$  的耐高温不饱和聚酯树脂；国外已有热变形温度  $280^{\circ}\text{C}$  的环氧树脂商品。

### 6.1.6 树脂的耐燃性

树脂均为有机高聚物，是可燃的。当树脂遇火时，不但放出大量的热，而且常常伴随有烟和有毒气体，因此，树脂一旦着火就会对环境造成污染并威胁到人们的生命安全，所以常使用阻燃剂进行阻燃处理，使树脂具有难燃的性能。

### 6.1.7 树脂的耐化学腐蚀性

树脂耐腐蚀性的好坏，对树脂基复合材料的耐腐蚀性能起着决定性的作用。与这些材料的使用寿命和生产成本有着直接的关系。

### 6.1.8 树脂满足复合材料制造工艺的要求

- (1) 贮藏期；
- (2) 溶（熔）时的流动性；
- (3) 挥发性；
- (4) 固（硬）化条件；
- (5) 对人的安全性。

为避免 FRP 发生空隙，故对树脂的流动性（黏度）和挥发性有所要求。

固（硬）化条件主要是指固（硬）化温度和时间。一般耐热性越高的树脂，固化的温度也越高，时间也越长。这样 FRP 品质能有所保证，而生产效率与成本就有负面影响。

安全性的问题是作业环境的重要问题，除树脂本身，还与溶剂、促进剂等合理选择、正确贮存、正确添加使用等因素息息相关。

## 6.2 树脂类型

纤维增强复合材料所用的树脂亦称为聚合物。所有的聚合物都有一个重要的共同点：它们系由许多简单的重复单元组成的长链状分子构成。

人造聚合物通常称为合成树脂，或简称为树脂。

树脂根据其热效应特性，可分为热塑性和热固性两种类型。

### 6.2.1 热塑性树脂

热塑性树脂亦称热塑性塑料，加工时一般仅发生物理变化，而无化学反应。它像金属加热软化，并最终熔化；冷却后重新变硬。这种以温度为尺度的软化或熔化的交变过程，就像通常所要求的那样反复进行，在任何阶段对材料性能无任何明显的影响。

典型的热塑性树脂（塑料）有尼龙（PA）、聚丙烯（PP）和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物（ABS）。它们可增强，通常仅采用 10%~30% 短切玻璃纤维增强。近年法国与德国分别推出了热塑性塑料与玻璃的复合纤维。

用玻璃纤维增强的普通热塑性树脂基体还有聚酯（PET，PBT）、聚甲醛（POM）等。

一般热塑性树脂工作温度都不高，如常用的 PVC 为 60℃ 以下，ABS 仅 70℃ 左右，PA 与 PP 仅达 100℃ 左右。

采用耐高温的热塑性树脂（有的可在 300℃ 长期使用，400℃ 短期使用），其耐热性远胜过一般热固性树脂，见表 6-1。常用热塑性树脂的热性能见表 6-1。

耐高温热塑性树脂一般以连续纤维增强之。

单纯以热塑性树脂为基体多用于功能性复合材料，制作结构用复合材料尚处于开发阶段。

表 6-1 比热容、热胀系数、连续耐热温度、热变形温度

| 塑 料 名 称                                                  | 比热容/ $\times 10^3$<br>J/(kg·K)<br>(室温) | 热胀系数<br>( $10^{-5}$ /K)<br>ASTM D696 法 | 连续耐热温度<br>/℃ | 热变形温度/℃(ASTM D648法) |             |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------|---------------------|-------------|
|                                                          |                                        |                                        |              | 1.89MPa             | 0.47MPa     |
| ABS 挤出用<br>模塑用<br>高冲击<br>高耐热<br>阻燃<br>20%~40%玻璃纤维<br>透明级 | 1.26~1.68                              | 6.0~13.0                               | 60.0~93.3    | 76.7~107.2          | 76.7~118.3  |
|                                                          | 1.26~1.68                              | 9.5~13.0                               | 60.0~98.9    | 93.3~103.3          | 98.9~107.2  |
|                                                          | 1.26~1.68                              | 6.0~9.3                                | 87.8~110.0   | 101.7~118.3         | 107.2~122.2 |
|                                                          | 1.26~1.68                              | 6.5~9.5                                | 54.4~82.2    | 85.6~107.2          | 92.8~118.3  |
|                                                          | —                                      | 2.9~3.6                                | 93.3~110.0   | 98.9~115.6          | 104.4~121.2 |
| AAS                                                      | —                                      | 8.3~9.0                                | —            | 76.7~85.0           | 82.2~93.3   |
|                                                          | 1.26~1.68                              | 6.0~10.0                               | 71.1~93.3    | 101.7~107.2         | 107.2~110.0 |
| AS 无填料<br>20%~33%玻璃纤维                                    | 1.34~1.42                              | 3.6~3.8                                | 60.0~96.1    | 87.8~104.4          | —           |
|                                                          | —                                      | 2.7~3.8                                | 93.3~104.4   | 87.8~110.0          | 101.7~115.6 |
| 聚丙烯 未改性<br>共聚<br>惰性填料<br>玻璃纤维<br>耐冲击(橡胶改性)               | 1.93                                   | 5.8~10.2                               | 107.2~126.7  | 51.7~60.0           | 93.3~121.2  |
|                                                          | 2.10                                   | 8.0~9.5                                | 87.8~115.6   | 46.1~60.0           | 85.0~112.8  |
|                                                          | —                                      | 2.9                                    | 121.2~137.8  | 60.0~93.3           | 98.9~143.3  |
|                                                          | —                                      | 2.9~5.2                                | 132.2~143.3  | 110.0~148.9         | 151.7~154.4 |
| 聚丁烯                                                      | 2.10                                   | 6.0~8.5                                | 93.3~121.2   | 48.9~57.2           | 71.1~98.9   |
|                                                          | 1.89                                   | 15.0                                   | 107.2        | 54.4~60.0           | 101.7~112.8 |

续表

| 塑 料 名 称 | 比热容/×10 <sup>3</sup><br>J/(kg·K)<br>(室温) | 热胀系数<br>(10 <sup>-5</sup> /K)<br>ASTM D696 法 | 连续耐热温度<br>/℃ | 热变形温度/℃ (ASTM D648法) |            |             |
|---------|------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|----------------------|------------|-------------|
|         |                                          |                                              |              | 1.89MPa              | 0.47MPa    |             |
|         |                                          |                                              |              |                      |            |             |
| 聚酰胺     | 66 非改性                                   | 1.68                                         | 8.0          | 82.2~121.2           | 75.0       | 190.0       |
|         | 33%玻璃纤维                                  | 1.26                                         | 1.5~3.0      | 82.2~148.9           | 251.7      | 257.2       |
|         | MoS <sub>2</sub> 改性                      | —                                            | 5.0          | 82.2~121.2           | 126.7      | —           |
|         | 6 非改性                                    | 1.68                                         | 8.3          | 82.2~121.2           | 68.3       | 185.0       |
|         | 30%~50%玻璃纤维                              | 1.67~2.10                                    | 2.0~3.0      | 93.3~148.9           | 210.0      | 221.1       |
|         | 浇铸                                       | —                                            | 9.0          | 82.2~121.2           | 93.3~218.3 | 204.4~218.3 |
|         | 66/6 共聚物                                 | 1.68                                         | —            | <121.2               | 76.7       | 221.1       |
|         | 6/12 非改性                                 | 1.26~1.68                                    | —            | 82.2~121.2           | 210.0      | —           |
|         | 30%~35%玻璃纤维                              | —                                            | 12.0         | 93.3~148.9           | 93.3~218.3 | 204.4~218.3 |
|         | 6/9 非改性                                  | —                                            | —            | 9.3                  | 57.2~60.0  | 165.6~171.1 |
|         | 6/10 非改性                                 | 1.68                                         | 9.0          | 82.2~121.2           | 82.2       | 165.6       |
|         | 30%~35%玻璃纤维                              | 1.67                                         | 7.3          | 93.3~148.9           | 225.0      | 215.6       |
| 11 非改性  | 1.26                                     | 10.0                                         | 82.2~148.9   | 54.4                 | 148.9      |             |
| 30%玻璃纤维 | 1.76                                     | 3.0                                          | 93.3~148.9   | 172.3                | 180.0      |             |
| 12 非改性  | 1.26                                     | 10.0                                         | 82.2~121.2   | 54.4                 | 145.0      |             |
| 30%玻璃纤维 | —                                        | 7.5                                          | 121.2~148.9  | 95.0~173.9           | 160.0      |             |

续表

| 塑 料 名 称         | 比热容/ $\times 10^3$<br>J/(kg·K)<br>(室温) | 热胀系数<br>( $10^{-5}/K$ )<br>ASTM D696 法 | 连续耐热温度<br>/℃ | 热变形温度/℃ (ASTM D648法) |             |
|-----------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------|-------------|
|                 |                                        |                                        |              | 1.89MPa              | 0.47MPa     |
|                 |                                        |                                        |              |                      |             |
| 透明聚酰胺           | 1.67                                   | 2.8                                    | 85.0~100.0   | 124.4                | 140.0       |
| 聚酰胺-酰亚胺         | —                                      | 3.4~4.0                                | 287.8        | 282.2                | 282.2       |
|                 | —                                      | —                                      | 287.8        | 285.0                | 285.0       |
|                 | —                                      | —                                      | 287.8        | 296.1                | 296.1       |
| 氟塑料             | 1.05                                   | 10.0                                   | 260.0        | —                    | 121.2       |
| F <sub>4</sub>  | 1.17                                   | 8.3~10.5                               | 204.4        | —                    | 70.0        |
| F <sub>46</sub> | 1.38                                   | 8.5                                    | 148.9        | 90.6                 | 132.2~148.9 |
| F <sub>2</sub>  | 0.92                                   | 4.5~7.0                                | 176.7~198.9  | —                    | 125.6       |
| F <sub>3</sub>  | 1.93~1.97                              | 5~9                                    | 148.9~182.2  | 71.1                 | 104.4       |
| 玻璃纤维            | —                                      | 1.0~3.2                                | 200.0        | 210.0                | 265.6       |
| F <sub>30</sub> | —                                      | 8                                      | 165.6~179.4  | 76.7                 | 115.6       |
| PFA             | —                                      | 12                                     | 260.0        | —                    | —           |
| 聚砒              | 1.30                                   | 5.2~5.6                                | 148.9~173.9  | 173.9                | 181.1       |
| 聚芳砒             | —                                      | 4.7                                    | 260.0        | 273.9                | —           |
| 聚醚砒             | —                                      | 5.5                                    | 148.9~198.9  | 202.8                | —           |

续表

| 塑 料 名 称                       | 比热容/ $\times 10^3$<br>J/(kg·K)<br>(室温) | 热胀系数<br>( $10^{-5}/K$ )<br>ASTM D696 法 | 连续耐热温度<br>/℃ | 热变形温度/℃ (ASTM D648法) |             |
|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------|-------------|
|                               |                                        |                                        |              | 1.89MPa              | 0.47MPa     |
|                               |                                        |                                        |              |                      |             |
| 聚芳醚                           | 1.67                                   | 3.6                                    | 121.2        | 148.9                | 160.0       |
| 热塑性聚酰亚胺                       | 0.27(D) <sup>①</sup>                   | 5.0                                    | 287.8        | 132.2~137.8          | —           |
| 聚氯乙烯<br>硬质<br>软质<br>无填料<br>填料 | 1.05~1.67                              | —                                      | 54.4~69.4    | 60.0~76.7            | 57.2~82.2   |
|                               | 1.26~2.10                              | —                                      | 65.6~69.4    | —                    | —           |
|                               | 1.26~2.10                              | —                                      | 65.6~69.4    | —                    | —           |
|                               | 1.38                                   | —                                      | 110.0        | 94.4~112.2           | 101.7~119.4 |
| 氯化聚氯乙烯(CPVC)                  | 1.67                                   | 8.1                                    | 90.6(8800h)  | 123.9                | 170.0       |
| 聚甲醛                           | 1.67                                   | 8.5                                    | 104.4        | 110.0                | 157.8       |
| 共聚物                           | —                                      | 3.6~8.1                                | 85.0~104.4   | 157.2                | 173.9       |
| 均聚 20%玻璃纤维                    | —                                      | —                                      | 104.4        | 162.8                | 166.1       |
| 共聚 25%玻璃纤维                    | —                                      | 7.5                                    | 90.6(8800h)  | 100.0                | 165.0       |
| 聚四氟乙烯纤维                       | —                                      | 8.0                                    | 143.3        | —                    | 140.6       |
| 氯化聚醚                          | 1.34                                   | 5.2                                    | 79.4~104.4   | 100.0~129.4          | 110.0~137.8 |
| 改性聚苯醚                         | —                                      | 2.2                                    | 115.6~129.4  | 132.2~148.9          | 137.8~154.4 |
| 20%~30%纤维                     | —                                      | 2.2                                    | 115.6~129.4  | 132.2~148.9          | 137.8~154.4 |

续表

| 塑 料 名 称     | 比热容/ $\times 10^3$<br>J/(kg·K)<br>(室温) | 热胀系数<br>( $10^{-5}$ /K)<br>ASTM D696 法 | 连续耐热温度<br>/℃ | 热变形温度/℃ (ASTM D648法) |             |
|-------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------|-------------|
|             |                                        |                                        |              | 1.89MPa              | 0.47MPa     |
|             |                                        |                                        |              |                      |             |
| 聚亚苯基硫醚(PPS) | 无填料                                    | —                                      | 204.4~260.0  | 136.7                | —           |
| 饱和聚酯        | 40%玻璃纤维                                | —                                      | 204.4~260.0  | 218.3                | —           |
|             | 非增强                                    | 1.17~2.30                              | 50.0~121.2   | 50.0~85.0            | 115.6~190.0 |
|             | 30%玻璃纤维                                | 1.26                                   | 115.6~176.7  | 220.0                | 225.0       |
|             |                                        |                                        |              |                      |             |
| 酚醛          | 无填料                                    | 1.59~1.76                              | 121.2        | 115.6~126.7          | —           |
|             | 木粉                                     | 1.34~1.68                              | 148.9~176.7  | 148.9~187.8          | —           |
|             | 石棉                                     | 1.17~1.34                              | 176.7~260.0  | 176.7~260.0          | —           |
|             | 玻璃纤维                                   | 1.01~1.33                              | 176.7~287.8  | 176.7~315.6          | —           |
| 呋喃          | 石棉                                     | —                                      | 129.4~165.6  | —                    | —           |
| 环氧          | 包封级                                    | —                                      | 148.9~232.2  | 107.2~232.2          | —           |
|             | 无机物                                    | —                                      | 148.9~232.2  | 107.2~232.2          | —           |
|             | 玻璃纤维                                   | —                                      | 148.9~232.2  | 107.2~232.2          | —           |
| 有机硅         | 浇铸                                     | —                                      | 260.0        | —                    | —           |
|             | 软质                                     | —                                      | 260.0        | —                    | —           |
|             | 玻璃纤维                                   | 0.80~0.92                              | >315.6       | 482.2                | —           |
| DAP         | 玻璃纤维                                   | —                                      | 148.9~204.4  | 165.6~232.2          | —           |
|             | 无机物                                    | —                                      | 148.9~204.4  | 160.0~282.2          | —           |

续表

| 塑 料 名 称        | 比热容/ $\times 10^3$<br>J/(kg·K)<br>(室温) | 热胀系数<br>( $10^{-5}/K$ )<br>ASTM D696 法 | 连续耐热温度<br>/℃ | 热变形温度/℃ (ASTM D648法) |         |
|----------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------|---------|
|                |                                        |                                        |              | 1.89MPa              | 0.47MPa |
|                |                                        |                                        |              |                      |         |
| 不饱和聚酯          | —                                      | 5.5~10.0                               | 121.2        | 60.0~204.4           | —       |
| 软              | —                                      | —                                      | 121.2        | —                    | —       |
| 玻璃纤维           | —                                      | 2.0~5.0                                | 148.9~176.7  | 204.4                | —       |
| 丝              | —                                      | 1.5~3.0                                | 148.9~176.7  | 204.4                | —       |
| 布              | —                                      | —                                      | —            | —                    | —       |
| 聚酰亚胺           | —                                      | 1.5                                    | 260.0(空气中)   | 348.9                | 348.9   |
| 玻璃纤维           | —                                      | —                                      | —            | —                    | —       |
| 石墨             | —                                      | 1.5                                    | 260.0(空气中)   | 287.8                | 287.8   |
| F <sub>4</sub> | —                                      | 6.6                                    | 260.0(空气中)   | 287.8                | 287.8   |
| 包封级            | —                                      | 4.5                                    | 260.0(空气中)   | 287.8                | 287.8   |
| 聚氨酯            | 1.76~1.84                              | 10.0~20.0                              | 87.8~107.2   | —                    | —       |
| 酚醛改性环氧         | —                                      | —                                      | —            | 148.9~260.0          | —       |
| 脂环族环氧          | —                                      | —                                      | —            | 93.3~232.2           | —       |

① (D)代表  $\frac{\text{英热单位}}{\text{磅}\cdot\text{F}}$ 。

热塑性树脂对无机酸（强氧化性酸外）、碱、盐及各种水介质是稳定的。

非极性的树脂对非极性的有机溶剂不稳定，会溶胀；极性的树脂对部分极性溶剂会溶胀。

含氟塑料几乎都耐无机化合物和有机溶剂。聚丙烯（PP）、聚氯乙烯（PVC）耐化学腐蚀性亦甚佳。

就耐腐蚀而言，超高分子量聚乙烯（UHMWPE）最佳，尼龙、聚氯乙烯次之，热固性树脂中，聚氨酯（PU）较好。然而超高分子量聚乙烯用于纤维增强复合材料尚未见报道。

热塑性树脂以纤维增强后，力学性能（拉伸强度和弹性模量）视纤维加入量可提高 1~2 倍以上，改善其蠕变性能，提高热变形温度，降低线膨胀系数，增加尺寸稳定性，抑制应力开裂，提高疲劳性能。

### 6.2.2 热固性树脂

亦称为热固性塑料，用时通常需在树脂中依次加入促进剂（有的树脂有时不加促进剂）、固化剂、混合搅匀，然后进行不可逆的化学反应，形成硬的、不熔不溶的固体物质。某些热固性树脂，如酚醛树脂（PHR）可在加热加压下成型时产生一些挥发性物质（缩合反应）。其他热固性树脂，如不饱和树脂（UPR）和环氧树脂（EPR），基于其固化机理，在产品成型时则不产生任何挥发物。这

样工艺过程（加成反应）就容易多了。热固性树脂一经固化，再加热也不会变成液体，在高于一定的温度下，它们的力学性能衰减甚大。这个温度称为玻璃化温度  $T_g$ 。 $T_g$  变化甚大，取决于所用的树脂系统和树脂的固化度。温度高于  $T_g$  时，树脂呈弹性，由硬的结晶聚合物变为较具柔性的非结晶聚合物；温度低于  $T_g$ ，树脂呈脆性。高于  $T_g$  时，树脂性能如模量（刚度）明显下降，用其为基体材料的复合材料的压缩强度、剪切强度从而也随之下降；其他性能如耐水性和颜色稳定性等也显著下降。

纯热固性树脂的用途十分有限，通常加入一些其他化学组分，以改善其工艺性与复合材料的品质，并可降低成本。树脂系统常含促进剂、阻聚剂、固化剂（引发剂）等，有时还加入一些助剂，如消泡剂、分散剂、流平剂、触变剂、特种石蜡等。为了降低收缩率和产品成本以及一些功能性（如阻燃、防紫外线、提高耐热性、降低密度、防静电等）的需要，有时还加入一些无机的或有机的填料。

热固性树脂通常在液态下使用，固化后变成固体。有些树脂可让固化过程到一个中间阶段并可保持这种状态，此状态称为 B 阶段，因为树脂要完全固化（达到 C 阶段）还需要一段时间。B 阶段对复合材料制作工艺有利。

虽然制造复合材料所用的热固性树脂有许多种，但大多数制造结构件时主要采用 3 种类型的树脂：不饱和聚酯、乙烯基酯树脂和环氧树脂。

## (1) 常用热固性树脂的特性比较

表 6-2 列出了常用热固性树脂的优缺点，根据工况选用。

表 6-2 常用热固性树脂的优点和缺点

| 树 脂 类 型    | 优 点                                                                  | 缺 点                                 |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 环氧树脂       | 复合性能优良<br>化学稳定性优异<br>耐热性好<br>电性能良好<br>固化收缩率低<br>可以处于 B 阶段（做 B 阶段预浸料） | 固化周期长<br>在较高温度下固化方可获得较好的性能<br>皮肤易过敏 |
| 酚醛树脂       | 热性能优异<br>阻燃性能好（自熄）<br>可处于 B 阶段<br>电性能好                               | 颜色单调<br>耐碱性差<br>不可用作食品包装材料          |
| 不饱和聚酯树脂    | 种类多，使用方便<br>室温或加热都可固化<br>复合性能好<br>化学稳定性好                             | 苯乙烯具有挥发性<br>固化时产生收缩<br>易燃<br>无 B 阶段 |
| 聚酰亚胺和聚酰胺树脂 | 热性能优异<br>复合性能好<br>电性能好<br>阻燃性能好                                      | 颜色少<br>不耐高压<br>不耐酸碱                 |
| 聚氨酯树脂      | 复合性能优良<br>化学稳定性优异<br>刚度高（抗冲击）<br>耐磨性非常好                              | 固化剂有毒<br>颜色少<br>固化需脱水<br>无 B 阶段     |

续表

| 树 脂 类 型 | 优 点                                                | 缺 点                           |
|---------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| 有机硅树脂   | 高温性能优异<br>耐化学性能优良<br>电性能优异<br>耐氧化和抗水解<br>阻燃性能好（自熄） | 粘接性能不强<br>固化周期长<br>固化需加热      |
| 乙烯基酯树脂  | 抗疲劳性能优异<br>复合性能优良<br>化学稳定性优异                       | 苯乙烯挥发<br>固化收缩<br>易燃<br>无 B 阶段 |

选择亦应考虑价格因素，如邻苯型不饱和聚酯树脂-间苯型不饱和树脂-环氧树脂-乙烯基酯树脂，越往后价格越高。

## （2）乙烯基酯树脂与不饱和聚酯树脂的比较

表 6-3 乙烯基酯树脂与不饱和聚酯树脂性能比较

| 性 能           | 单 位                | 乙烯基酯树脂 |      | 不饱和聚酯树脂 |      |      |
|---------------|--------------------|--------|------|---------|------|------|
|               |                    | 标准     | 改性   | 标准邻苯    | 改性邻苯 | 改性间苯 |
| 密度            | $\text{g/cm}^3$    | 1.12   | 1.13 | 1.19    | 1.19 | 1.19 |
| 拉伸强度          | MPa                | 80     | 72   | 55      | 65   | 76   |
| 拉伸率           | %                  | 5      | 8    | 1.8     | 3.5  | 3.5  |
| 拉伸模量          | MPa                | 3300   | 3000 | 4300    | 3600 | 3650 |
| 弯曲强度          | MPa                | 145    | 135  | 100     | 125  | 140  |
| 弯曲模量          | MPa                | 3100   | 2900 | 4000    | 3300 | 3550 |
| 热变形温度         | $^{\circ}\text{C}$ | 102    | 80   | 67      | 100  | 86   |
| 吸水率（28 天海水浸泡） | mg/试件              | 60     | 75   | 90      | 95   | 80   |

由表 6-3 可见，就强度、耐化学性、韧性（伸长率）而言，乙烯基酯树脂最高，间苯型不饱和聚酯树脂次之，邻苯型不饱和聚酯树脂最差；反之，就模量（刚度）而言，无论拉伸模量或弯曲模量，都是邻苯型不饱和聚酯树脂最高，间苯型不饱和聚酯树脂次之，而乙烯基酯树脂则最低。

此结论在实践中甚有意义，对要求一定强度与耐化学性又要求一定刚度的复合材料产品而言尤其如此。如玻璃钢夹砂管道壁的内衬层可采用间苯型聚酯树脂或乙烯基酯树脂，而无捻粗纱缠绕与夹砂构成的结构层则可采用邻苯型聚酯树脂，非但保证了产品的刚度要求且成本大为降低。

### 6.2.3 作为复合材料基体材料的热固性树脂与热塑性树脂的特性比较

热固性树脂与热塑性树脂各有所长。前者在复合材料中作为基体用得早，也用得多。今天欧美发达国家纤维增强热塑性塑料（FRTP-fiber reinforced thermoplastics）的用量已占到纤维增强塑料（FRP）的 1/3 左右，然而纤维增强热固性塑料（FRSP-fiber reinforced thermosetting plastics）具有的特性，热塑性增强塑料并不可能全取代，迄今作为结构材料，基本上仍是热固性增强塑料。

表 6-4 列出了作为基材时热固性树脂与热塑性树脂的

特性比较。需要说明的是材料与工艺无时不在发展之中，表中所列供讨论与参考。

表 6-4 热固性树脂与热塑性树脂作为基体材料的特性比较

| 项目 | 特性项目    | 热固性树脂 | 热塑性树脂  |
|----|---------|-------|--------|
| 成型 | 成型      | 复杂    | 单纯     |
|    | 熔体黏度    | 非常低   | 高      |
|    | 浸渍操作    | 容易    | 困难     |
|    | 预浸料的胶黏性 | 良好    | 无      |
|    | 预浸料的稳定性 | 缺乏    | 优秀     |
|    | 成型所需时间  | 长     | 短      |
|    | 成型温度、压力 | 低     | 高      |
|    | 成型成本    | 高     | 降低可能性大 |
| 特性 | 力学特性    | 相当好～好 | 相当好～好  |
|    | 耐候性     | 好     | 未研究    |
|    | 耐化学腐蚀   | 良     | 良～优    |
|    | 耐机械磨损   | 劣～好   | 相当好～好  |
|    | 数据库     | 大量    | 少量     |

# 7

## 玻璃纤维增强塑料制品成型方法

将增强材料（玻璃纤维及其制品）、基体材料（树脂）及其他原辅材料等这些性质不同的材料，通过成型工艺使这些材料有机地相互结合，制造出与原来性能迥异而具有优良特性的材料是复合材料的最大目的。

图 7-1 示出了树脂基复合材料的成型加工过程。

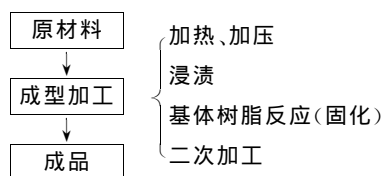


图 7-1 树脂基复合材料成型加工过程示意图

### 7.1 玻璃钢制品成型三要素

树脂基复合材料成型基本可分为以下三要素：①赋形；②浸渍；③固化。

对应于制品性能、产量、价格这 3 个基点，成型工艺三要素实现的手段在不断地进步和改善。以下就工艺三要素分析。

### (1) 赋形

赋形的基本问题在于增强材料如何达到均匀；或在设定的方向上，如何可信度很高地进行排列。将增强材料先行赋形过程称为“预成型”。其赋形的程度进行到与制品最终形状相近似，而最终形状的形成则靠成型模具进行。

### (2) 浸渍

所谓浸渍意味着将增强材料间的空气转换为基体树脂。浸渍的机理可分为脱泡和浸渍两部分。浸渍好坏与难易的主要影响因素是基体树脂的黏度、基体树脂与增强材料的配比，以及增强材料的品种、形态。

### (3) 固化

固化意味着基体树脂的化学反应，即分子结构上的变化，由线性结构变成网状结构。固化要采用引发剂、促进剂，有时还需加热，促使固化反应的进行。

判定固化程度最简易可行的方法是测定固化物的表面硬度。

赋形、浸渍和固化三要素相互影响，通过对其有机地调整与组合，可经济地成型复合材料制品。图 7-2 示出了成型三要素与原材料的相互关系。

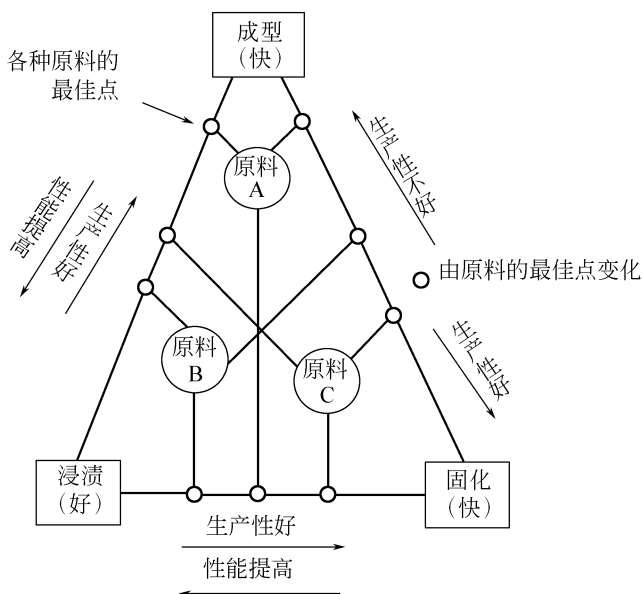


图 7-2 成型三要素与原材料的相互关系

若强调经济性，加快成型周期，那就要牺牲一部分性能；反之，若重视性能，那就要牺牲经济性。这就意味着：不同原材料，存在一种最佳组合，必须制作每一种成型方法的三要素相关图，并进行研究，选择其最合理方案。

## 7.2 树脂基复合材料成型工艺分类

树脂基复合材料生产工艺可分为三大类。

## 7.2.1 对模成型

### (1) 模压成型

可以片状模塑料 (SMC)、团状模塑料 (BMC) 预成型件等在一定温度与压力下成型。

### (2) 树脂传递成型 (RTM)

将配有固化系统的树脂在一定压力下 (或伴有真空辅助) 流入已铺覆增强材料的模内 (增强材料可用连续玻璃纤维原丝毡、织物与短切原丝复合毡、方格布等, 预覆于下模内), 经固化后脱模。此法制品两面光、尺寸与树脂含量较稳定。工艺装备投资少, 劳动环境好。

### (3) 注射成型

与热塑性塑料注塑相似, 可以长纤维或短纤维的 BMC 料注射。它包括热固性塑料, 如 BMC、ZMC、TMC 等, 热塑性塑料, 如增强 PA、PP、PC、PBT 等的注射。此法生产效率高, 劳动成本低, 产品力学性能好。

### (4) 冷压成型

不采用外加热, 仅依赖复合材料在室温下自身放热固化。

(5) 结构反应注射成型 (SRIM-structural reaction injection molding)

此法与 RTM 相似, 但基体多用聚氨酯。产品两面光, 但不易做成 A 级表面。此法适用于中到大量生产, 要求韧性或弹性较好的高强度制品。

表 7-1 常用玻璃钢工艺的特点比较

| <div> <div>工艺</div> <div>特点</div> </div> | 手糊                  | 喷射                    | 冷模压              | 各种袋压                     | SMC/BMC<br>模压          | 纤维缠绕               | 连续成型                   | RTM                     |
|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| 所用模具                                     | 木模、玻璃钢模、石膏模、经抛光的钢板等 | 木模、玻璃钢模、石膏模、经抛光的钢板等   | 木模、用混凝土作衬里的玻璃钢模  | 橡胶袋、聚乙烯醇袋、木模、玻璃钢模、铸造模    | 铸钢模、钢模                 | 铝、低熔点合金、蜡模、木模、石膏模  | 铸钢模、钢模                 | 铸铝模、玻璃钢模等               |
| 工艺方法                                     | 在模具上用树脂和玻璃纤维铺糊      | 一边切断玻璃纤维，同时和树脂一起喷到模具上 | 靠成型模自重或稍微加压的压制成型 | 在模具内铺层，用较厚的袋加压或减压的方法施加压力 | 用金属模具和压机加热加压成型         | 使粗纱通过树脂槽浸渍，然后缠在芯模上 | 使粗纱浸渍树脂，然后通过模具加热固化     | 在装入玻璃纤维的封闭模具中，压入树脂，常温固化 |
| 成型温度/℃                                   | 25~50               | 25~50                 | 35~70            | 25~40                    | 100~150                | 25~120             | 80~130                 | 20~100                  |
| 成型周期                                     | 0.5~24h             | 0.5~24h               | 10min~2h         | 0.5~24h                  | 1~10min                | 0.5~30kg/h         | 2~5m <sup>2</sup> /min | 20~90min                |
| 成型压力<br>/MPa                             | 0                   | 0                     | <0.5             | 0.1~0.5                  | SMC 3~20<br>BMC 1.8~14 | 取决于缠绕力             | 0.03~0.2               | 0.1~2                   |

续表

| 工艺<br>特点 | 手糊                                                     | 喷射                                          | 冷模压                                                  | 各种袋压                                                    | SMC/BMC<br>模压                                                           | 纤维缠绕                             | 连续成型                                        | RTM                                    |
|----------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| 优点       | (1) 无尺寸限制<br>(2) 模具材料便宜                                | (1) 比手糊生产效率高<br>(2) 可实现现场施工<br>(3) 成型机比压机便宜 | (1) 可获得两面光制品<br>(2) 适于中批量生产<br>(3) 模具费用便宜<br>(4) 效率高 | (1) 单面光洁, 但外观良好<br>(2) 因气泡少, 制品性能良好                     | (1) 适于大批量生产<br>(2) 质量均一性好<br>(3) 复杂形状可成型<br>(4) 制品两面光洁<br>(5) 不需要很高操作技术 | (1) 玻璃纤维强度得以充分实现<br>(2) 能实现机械化成型 | (1) 生产效率<br>(2) 产品质量均一<br>(3) 可获得无限长制品      | (1) 比手糊生产性好<br>(2) 模具寿命长<br>(3) 制品两面光洁 |
| 缺点       | (1) 需要熟练的操作技术, 成型技术对制品有很大影响<br>(2) 只有单面光洁<br>(3) 操作人员多 | 与“手糊工艺”类似                                   | (1) 模具消耗量大<br>(2) 模具重, 操作不便                          | (1) 必须经常换袋子, 降低生产效率<br>(2) 为获得良好制品, 需要熟练技术<br>(3) 操作人员多 | (1) 设备昂贵<br>(2) 立面深的大型制品需要大量的昂贵压机<br>(3) 需要注意材料保管<br>(4) BMC制件强度低       | (1) 设备十分昂贵<br>(2) 制品对象仅限于回旋体     | (1) 设备昂贵<br>(2) 需要使用特殊类型的树脂<br>(3) 复杂制件成型困难 | (1) 必须修理<br>(2) 比金属对模的生产性差             |

## 7.2.2 接触成型

- (1) 手糊成型
- (2) 喷射成型
- (3) 真空袋成型
- (4) 压力袋成型
- (5) 高压釜成型

## 7.2.3 其他重要的成型方法

其他成型方法有如下几种。

- (1) 纤维缠绕法。
- (2) 拉挤成型法。
- (3) 连续板材成型法。
- (4) 离心铸型法。

不同的生产工艺，适应不同的制品性能与生产规模。尽管机械化、自动化日益发展，手糊与喷射成型仍将作为基本的成型工艺而占有相当的比例。不难发现，迄今除手糊、喷射、缠绕 3 种工艺为开模成型外，其余均为闭模成型工艺。常用玻璃钢工艺的特点比较见表 7-1。

## 7.3 成型工艺选择

对应制品的性能、产量、原材料价格及三要素的组合

表 7-2 各种成型方法三要素

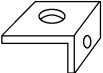
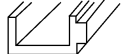
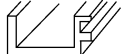
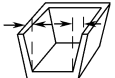
| 三要素           |     | 赋形    |       |     | 浸渍  |      |      | 固化  |     |     |     | 生产形态  |       |
|---------------|-----|-------|-------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 条件<br><br>成型法 |     | 人力    | 机械    |     | 预浸渍 | 层状浸渍 | 整体浸渍 | 常温  |     | 加热  |     | 间歇式   | 连续式   |
|               |     | 与浸渍同时 | 与浸渍同时 | 预成型 |     |      |      | 开放式 | 密闭式 | 开放式 | 密闭式 |       |       |
| 手糊            |     | ○     |       |     |     | ○    |      | ◎   |     | ○   |     | 单件～少量 |       |
| 喷射            |     | ○     |       |     |     | ○    |      | ◎   |     | ○   |     | 少量～中量 |       |
| 冷压            |     |       | ○     |     |     | ○    | ◎    |     | ◎   |     | ○   | 中量    |       |
| RTM           |     |       | ○     | ○   |     | ○    | ◎    |     | ◎   |     | ○   | 少量～中量 |       |
| MMD           | 预成型 |       | ○     | ○   |     | ○    | ◎    |     |     |     | ○   | 中量～大量 |       |
|               | SMC |       |       |     | ○   |      | ○    |     |     |     | ○   | 大量    |       |
|               | BMC |       |       |     | ○   |      | ○    |     |     |     | ○   | 大量    |       |
| 袋压法           |     |       | ○     |     | ◎   | ○    |      |     | ◎   |     | ○   | 单件～少量 |       |
| 拉挤法           |     |       | ○     |     |     |      | ○    |     |     |     | ◎   |       | 中量～大量 |
| FW 法          |     |       | ◎     |     | ○   | ○    |      |     |     |     |     | 单件～少量 | 大量    |
| 连续制板法         |     |       | ○     |     |     | ○    | ◎    |     |     |     | ○   |       | 大量    |
| 离心法           |     |       | ○     |     |     | ◎    | ○    | ○   |     |     |     | 中量    |       |
| 旋转法           |     |       | ○     |     |     | ○    |      | ○   |     |     |     | 中量    |       |

注：1. MMD (Matched Metal Die)：金属对模。

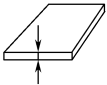
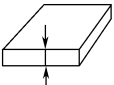
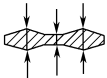
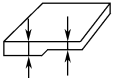
2. FW (Filament Winding)：纤维缠绕。

3. ◎为优，○为良好。

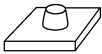
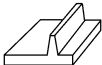
表 7-3 玻璃钢/复合材料几种成型工艺的设计要素

| 设计要素       |                                                                                   | 模 压 法                                 |                |                | 树脂传递<br>成型<br>(RTM) | 冷压       | 喷射与<br>手糊      |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|---------------------|----------|----------------|
|            |                                                                                   | 预成型                                   | SMC            | BMC            |                     |          |                |
| 最小内圆角半径/mm |  | 3.2                                   | 1.6            | 1.6            | 6.4                 | 6.4      | 6.4            |
| 成型孔        |  | 可 <sup>①</sup>                        | 可 <sup>①</sup> | 可 <sup>①</sup> | 不可                  | 不可       | 不可             |
| 借模具去毛边     |  | 可                                     | 可              | 可              | 不可                  | 不可       | 不可             |
| 退出型芯形成滑动面  |  | 不可                                    | 可              | 可              | 不可                  | 不可       | 不可             |
| 下凹口        |  | 不可                                    | 可              | 可 <sup>②</sup> | 可 <sup>②</sup>      | 不可       | 可 <sup>②</sup> |
| 最小推荐拔模斜度   |  | 6.4~152mm 深:1°~3°<br>152mm 及以上:3°或按需要 |                |                |                     | 2°<br>3° | 1°             |

续表

| 设计要素       |                                                                                   | 模压法        |        |        | 树脂传递成型<br>(RTM)    | 冷压         | 喷射与手糊  |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|--------|--------|--------------------|------------|--------|
|            |                                                                                   | 预成型        | SMC    | BMC    |                    |            |        |
| 最小实用厚度/mm  |  | 1.143      | 2.032  | 1.524  | 2.032 <sup>③</sup> | 2.032      | 1.524  |
| 最大实用厚度/mm  |  | 6.4        | 12.7   | 25.4   | 12.7               | 12.7       | 无限制    |
| 公称厚度变动/mm  |  | ±0.254     | ±0.254 | ±0.254 | ±0.508             | ±0.508     | ±0.504 |
| 最大厚度增加变化次数 |  | 最多<br>2~1次 | 按需要    | 按需要    | 按需要                | 最多<br>2~1次 | 按需要    |
| 波形         |  | 可          | 可      | 可      | 可                  | 可          | 可      |
| 金属预埋件      |  | 不推荐        | 可      | 可      | 可                  | 不可         | 可      |

续表

| 设计要素 |                                                                                   | 模压法 |     |     | 树脂传递成型<br>(RTM) | 冷压  | 喷射与手糊 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-------|
|      |                                                                                   | 预成型 | SMC | BMC |                 |     |       |
| 凸台   |  | 可   | 可   | 可   | 可               | 不推荐 | 可     |
| 肋条   |  | 不推荐 | 按需要 | 可   | 可               | 不推荐 | 可     |
| 标牌成型 |  | 可   | 可   | 可   | 可               | 可   | 可     |
| 数字浮雕 |  | 可   | 可   | 可   | 可               | 可   | 可     |
| 成品表面 |  | 两面光 | 两面光 | 两面光 | 两面光             | 两面光 | 一面光   |

- ① 仅限于与压机压头平行或垂直的孔。
- ② 利用工具或对开模具形成滑动面。
- ③ 如玻璃纤维含量低于 20%，最小实用厚度可为 1.524mm。

制作树脂基复合材料有各式各样的方法，表 7-2 示出了各种成型方法及其三要素。

一般说来，当产品量大且尺寸不太大时，采用压制成型等机械化的成型方法；量较少且尺寸较大时，则采用手糊或喷射成型法；两者之间则可采用树脂传递成型法。

但当有的制品即便较多，若要求制品表面带胶衣时，为使成型工艺合理化，也经常采用手糊成型法或喷射成型法，亦可考虑用 RTM 法。

有些产品注定就要采用一定的工艺方法生产，如玻璃钢管道一般用纤维缠绕法与离心浇铸法生产，但可视用途决定究竟采用哪一种。若用作化工管道（尤其是工作压力较高时）则宜用缠绕法。业者当根据自身设备能力与具体产品对象，全面考虑选择。

表 7-3 示出了主要成型工艺的结构要素供产品设计与工艺选择时参考。

## 7.4 常用玻璃钢成型工艺简介

### 7.4.1 手糊成型

手糊成型法是利用敞式模具在接触压力的情况下，使增强纤维浸胶、脱泡成型，在常温或中温固化。整个过程用手工操作生产 FRP 制品的成型方法，见图 7-3。

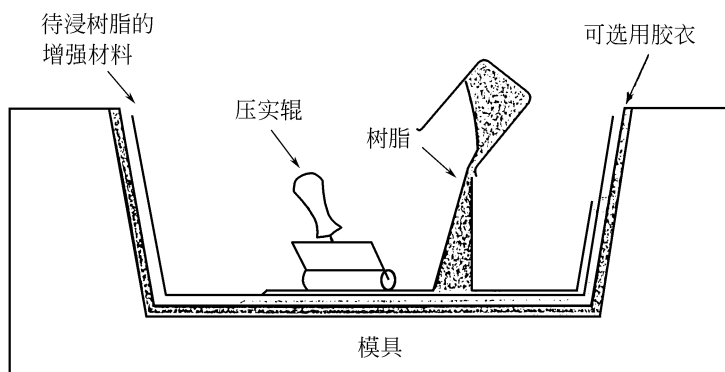


图 7-3 手糊成型示意图

### (1) 概要

- 在模具上均匀地刷涂或喷涂脱模剂。
- 当脱模剂干燥后涂一层胶衣树脂。
- 待胶衣层凝胶后，在阳模或阴模上铺放增强材料（表面毡、短切原丝毡、无捻粗纱布等），用滚子及毛刷等涂布混有固化剂的树脂，使树脂浸渍增强材料并驱除气泡、压实积层，铺层操作反复进行，直至达到制品的设计厚度。
- 树脂进行聚合反应，常温固化，也可加热加速固化。

### (2) 原材料

树脂 不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂等。

纤维 玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维等。虽然手工难于将树脂浸透厚的芳纶织物，亦可用。

芯材 任意。

### (3) 优点

- ① 适合少量生产。
- ② 可室温成型，设备投资少，模具折旧费低。
- ③ 可制造大型制品和形状复杂产品。
- ④ 树脂和增强材料可自由组合，易进行材料设计。
- ⑤ 可采用加强筋局部增强，可嵌入金属件。
- ⑥ 可用胶衣层获得具有自由色彩和光泽的表面（如开模成型则一面不平滑）。
- ⑦ 玻璃纤维含量较喷射成型高。

|       |         |
|-------|---------|
| 无捻粗纱布 | 50%左右   |
| 织物    | 35%~45% |
| 短切原丝毡 | 30%~40% |

### (4) 缺点

① 属劳动密集型生产，产品质量由工人熟练程度决定。

② 玻璃纤维含量不可能太高；树脂黏度较低才易手工操作，溶剂/苯乙烯含量高，力学与热性能受限制。

③ 手糊用树脂分子量低，通常可能较分子量高的树脂有害于人的健康和安全。

④ 产品只有贴模具一面光滑，另一面不光滑。

## (5) 典型产品

船艇、风力发电机叶片、游乐设备、冷却塔壳体、建筑模板。

## (6) 手糊成型产品设计注意事项

用手糊生产因树脂固化收缩，形状易产生变化，其原因是复杂的，难以给出定量的解释，其中有原材料选择，成型过程控制方面的原因（如固化剂的用量和固化温度），也有制品形状、铺层构成、积层厚度变化、胶衣层厚度、拐角半径  $R$ 、补强材料的材质和配置等方面的原因，这些都是设计上的重要原因。在设计时必须充分考虑这些问题。

① 对于可能产生变形的平面，应选取提高断面二次惯性力矩的形状。

② 拐角半径尽可能大些，壁厚均匀些。

③ 与箱形制品及棱角部位相连的平面，因棱角收缩产生应力易凹曲，稍微设计一点弧度是有效的。

④ 厚度急剧变化的部位易引起应力集中，应使壁厚平稳变化。

⑤ 脱模锥度最好在  $3^\circ$  以上。

⑥ 厚度的尺寸精度不能用机加工的概念给出，但技术很高的工人可以把一层毡的厚度相当精确地做出来。设计时要计算出不同牌号毡的标准厚度。还必须同积层构成图一起标出。

⑦ 制品的尺寸精度以模具面为基准来表示。

(7) 成型工艺流程

成型工艺流程见图 7-4。

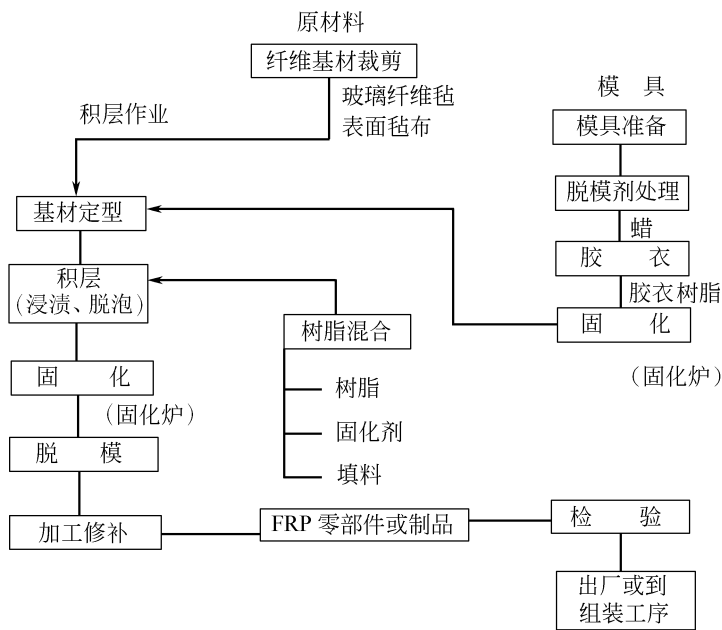


图 7-4 成型工艺流程

(8) 手糊成型的作业管理

手糊成型的制品质量因人而异，且分散性较大，因此尽可能使作业标准化，给出必要的作业标准或作业程序，见表 7-4。对于流程图中的每一项都应列出标准，当出现次品及缺陷时要制订对策。

(9) 产品产生缺陷的原因及对策

表 7-4 作业标准示例

| No  |              | 名称××××作业标准                                                      | 图号 |                                              | 制定 | H8. 4. 1 |
|-----|--------------|-----------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------|----|----------|
| 项 目 |              | 指 标                                                             |    | 事 项                                          |    |          |
| 1   | 材料准备         | 树脂:JP 聚 ×××× ××kg<br>GF;EM# 450-100 ××m<br>胶衣树脂:JRPg 涂层# 00 ×kg |    | 制造,记录 lot 编号<br>制造,记录 lot 编号<br>制造,记录 lot 编号 |    |          |
| 2   | 模具准备<br>涂脱模剂 | 检查、修复模具表面伤痕<br>脱模剂:使用××蜡                                        |    | 处理后全面检查                                      |    |          |
| 3   | 胶衣<br>胶衣固化   | 涂刷量:××kg/m <sup>2</sup> (全部××kg)<br>涂刷后:××min 凝胶                |    | 作业手册                                         |    |          |
| 4   | 基材剪切         |                                                                 |    | 剪切方法                                         |    |          |
| 5   | 积层           | 积层构成 SM-M450×3-RC570                                            |    | 作业手册                                         |    |          |
| 6   | 固化           | 固化炉:50℃,120min                                                  |    |                                              |    |          |
| 7   | 脱模           | 冷却至常温,空气压脱模                                                     |    | 脱模后固定在防止变形的支架上                               |    |          |
| 8   | 切毛边          | 按照模具边线切断                                                        |    | 打磨切断面                                        |    |          |
| 9   | 开孔           | 按照钻模使用钻头                                                        |    | 使用 N×××钻模                                    |    |          |
| 10  | 检查           | 外观检查:全检<br>尺寸检查:抽样检查 10%                                        |    | 根据外观标准<br>在公司检查表中记录                          |    |          |
| 11  | 修理           | 胶衣:修补,水磨,抛光,上蜡<br>再检查                                           |    | 作业手册<br>在公司检查表中记录                            |    |          |

① 胶衣的缺陷及对策见表 7-5。

表 7-5 胶衣的缺陷及对策

| 现 象   | 原 因                                            | 对 策                                                        |
|-------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 缩孔状凹斑 | 部分树脂太多<br>局部厚度变化                               | 拐角处树脂易厚,注意树脂下淌,加强筋、凸起等,积层部完全固化后再粘接                         |
| 颜色不均  | 颜料沉淀                                           | 使用前搅拌好                                                     |
| 异物混入  | 胶衣树脂内有异物,模具表面有尘埃                               | 树脂保管好,模具表面擦净                                               |
| 光泽不好  | 模具表面不光,脱模蜡擦涂不好                                 | 模具充分准备好                                                    |
| 裂纹    | 厚度不均<br><br>过固化<br>脱模时变形                       | 均匀喷涂,调整喷枪喷射距离,调整喷射直径、固化温度、时间<br>选择脱模剂<br>修正脱模器的位置,提高制品边缘刚性 |
| 针孔    | 树脂黏度过大<br>喷涂树脂雾太大<br>喷枪型号不适当<br>树脂收缩<br>喷涂量不适当 | 使用低黏度树脂<br>调整喷枪喷头<br>空气除湿,使用分油器<br>调整一次喷涂厚度                |
| 剥离    | 厚度不均<br>过固化                                    | 喷涂均匀<br>固化温度、时间要适当                                         |
| 龟裂    | 固化不良或在凝胶过程中再次喷涂                                | 防止喷涂不均,防止树脂雾沫中混入水分,防止苯乙烯单体蒸发滞留等,用未固化树脂再次喷涂                 |

② 积层部的缺陷及对策见表 7-6。

表 7-6 积层部的缺陷及对策

| 现 象    | 原 因                | 对 策                                  |
|--------|--------------------|--------------------------------------|
| 空洞     | 积层技术不熟练            | 非常仔细地浸渍、脱泡                           |
| 白化     | 一次积层量太大<br>固化速度过快  | 一次积层量要适当<br>固化剂、促进剂加入量要适当            |
| 树脂过量   | 积层技术不熟练            | 每层基材的树脂用量适当                          |
| 变色     | 因固化发热烧变色<br>固化速度过快 | 固化剂、促进剂加入量要适当<br>一次积层厚度要适当           |
| 固化不良   | 固化剂混合不好<br>混入水分、溶剂 | 固化剂、促进剂充分搅拌<br>玻璃纤维基材、毛刷、滚子<br>不要有水分 |
| 裂纹     | 局部树脂过多             | 应特别注意拐角部位的树脂量                        |
| 皱褶厚度不均 | 毡积集、错位<br>毡局部重叠    | 仔细地积层作业，恰当的树脂含量                      |
| 翘曲     | 树脂收缩，因修理引起内部应力释放   | 固化速度要适当，固化要完全，修边设计要少，在支架上固定之后再降温     |
| 变形     | 模具本身变形，脱模后放置不好     | 保持模具不变形，脱模后的产品要平放                    |

(10) 手糊成型的生产效率和经济性

① 手糊成型的生产效率 手糊成型顾名思义是作业者用手工制作的方法，其生产效率因制品大小、厚度、形状复杂情况、要求精度不同而不同，另外还因使用的原材料工艺性能好坏、小量制作还是大量生产也不同，特别是同作业环境，作业标准的准备情况，有没有熟练工人参与生产等都有较大差异。

评价生产效率的标准是积层作业的每工时（MH）的处理量和模具的占用时间。

例如：浴缸（ $3.6\text{m}^2$ ，重  $16\text{kg}$ ）的生产工时见表 7-7。

表 7-7 浴缸的生产工时

| 作业项目  | 直接作业时间/min          | 间接作业时间/min | 模具占用时间/min        |
|-------|---------------------|------------|-------------------|
| 涂脱模剂  | 2 人 $\times$ 5      | 干燥 5       | 10                |
| 刷胶衣   | 1 人 $\times$ 15     | 放置、干燥 30   | 45                |
| 第一次积层 | 2 人 $\times$ 20     | 凝胶时间 15    | 35                |
| 补强积层  | 2 人 $\times$ 30     | 加热固化 45    | 75                |
| 脱模    | 1 人 $\times$ 5      |            | 5                 |
| 小计    | 2.2MH<br>(7.3kg/MH) |            | 170<br>(可一天 3 运转) |

又如大型水箱 [ $2\text{m}\times 3\text{m}\times 1.5\text{m}(H)$ ，总面积  $27\text{m}^2$ ，重  $140\text{kg}$ ] 的生产工时见表 7-8。

显然，大型制品每工时的生产率，每天的积层重量都大，但模具周转率低，模具的折旧费相对提高。另外，即使工时少，但与模具运转时间相加仍有作业时间的损

表 7-8 大型水箱的生产工时

| 作业项目   | 直接作业时间/min           | 间接作业时间/min | 模具占用时间/min        |
|--------|----------------------|------------|-------------------|
| 涂脱模剂   | 2 人×15               | 干燥 20      | 40                |
| 刷胶衣    | 2 人×20               | 放置、干燥 30   | 50                |
| 第一次积层  | 3 人×30               | 凝胶时间 20    | 50                |
| 补强积层   | 3 人×60               | 常温固化 60    | 120               |
| 装置补强材料 | 3 人×30               | 常温固化 180   | 210               |
| 脱模     | 3 人×10               |            | 10                |
| 小计     | 7.7MH<br>(18.2kg/MH) |            | 8 小时<br>(一天 1 运转) |

失。如何把这些时间有效地分配在辅助作业中，对生产率和成本是有影响的。

除此之外，还必须有模具准备、树脂混合、纤维基材剪切、修整等后加工以及检验、修补、包装、出厂等的辅助作业的必要时间。

② 手糊成型的经济性 下边以日本某厂家成本价计算例为参考，再一次研究制品的成本计算。

用手糊法生产水箱的成本计算见表 7-9。表中的原料和工时单价是举例。

制品：大型方水箱

制品大小：2m×3m×1.5m (H)，总面积 27m<sup>2</sup>

制品重：140kg

生产量：4 个/日 (50 个/月)

生产天数：25 日/月

作业人数：12 人

加工费单价：3000MH

成型设备：热风循环式固化炉（3m×9m，最高温度80℃）1 套，400 万日圆，还有胶衣喷涂排气机、压缩机、喷枪等。

表 7-9 手糊法生产水箱的经济核算

| 项 目         |           | 标 准 值                |       | 贵公司情况 |    |
|-------------|-----------|----------------------|-------|-------|----|
|             |           | 用量                   | 金额/日圆 | 用量    | 金额 |
| 原<br>材<br>料 | 胶衣树脂      | 700×10.5kg           | 7350  |       |    |
|             | 表面毡 # 30F | 120×18m <sup>2</sup> | 2160  |       |    |
|             | 短切毡 # 450 | 400×32kg             | 12800 |       |    |
|             | 不饱和聚酯树脂   | 400×80kg             | 32000 |       |    |
|             | 碳酸钙       | 45×15kg              | 675   |       |    |
|             | 固化剂       | 1400×2.7kg           | 3780  |       |    |
| 小计          |           |                      | 58765 |       |    |
| 消<br>耗<br>品 | 毛刷、胶辊、棉丝  |                      |       |       |    |
|             | 砂纸、切刀     | 原材料的 12%             | 7050  |       |    |
|             | 溶剂等       |                      |       |       |    |
| 小计          |           |                      | 7050  |       |    |
| 加<br>工<br>费 | 模具准备、树脂混合 | 3000×3.0MH           | 9000  |       |    |
|             | 刷胶衣、积层    | 3000×7.5MH           | 22500 |       |    |
|             | 深加工、检验    | 3000×6.0MH           | 18000 |       |    |
|             | 修补、包装、出厂  | 3000×6.0MH           | 18000 |       |    |
| 小计          |           | 22.5MH               | 67500 |       |    |

续表

| 项 目   |            | 标 准 值                                    |        | 贵公司情况 |    |
|-------|------------|------------------------------------------|--------|-------|----|
|       |            | 用量                                       | 金额/日圆  | 用量    | 金额 |
| 折     | 能源费        | $25 \times 10 \text{ kW} \cdot \text{h}$ | 250    |       |    |
| 旧     | 模具折旧费      | 400000/200                               | 2000   |       |    |
| 费     | 建筑之外的设备折旧费 |                                          | 200    |       |    |
| 小计    |            |                                          | 2450   |       |    |
| 制造成本价 |            |                                          | 135765 |       |    |
| 一般管理费 |            | 10%                                      | 13576  |       |    |
| 总成本价  |            |                                          | 149341 |       |    |

## 7.4.2 喷射成型

### (1) 概要

喷射成型法是使用喷射机将玻璃纤维切断（通常切成25~30mm长）并与树脂一起喷到模具表面，再用辊子将沉积物压平实，同时去除气泡，见图7-5。一般在室温条件下固化。玻璃纤维含量在30%左右。

### (2) 原材料

树脂 多采用不饱和聚酯树脂。

纤维 仅采用玻璃纤维无捻粗纱。

芯材 一般不用。若需要，需分别结合。

### (3) 优点

① 使用最便宜的玻璃纤维增强材料无捻粗纱。

② 缩短积层作业周期，生产效率可达15kg/min，亦

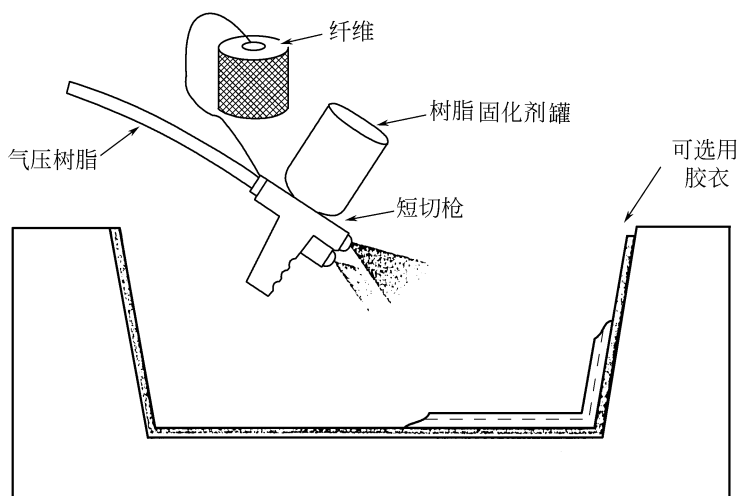


图 7-5 喷射成型示意图

可实现自动化生产。

- ③ 设备较便宜，易移动。
- ④ 适于中批量生产。
- ⑤ 可进行表面积大于  $10\text{m}^2$  的大型制品整体成型。
- ⑥ 可在树脂中加入填料一齐喷出，降低成本，并满足某些功能要求（如防射线、防静电）。
- ⑦ 可成型带胶衣层的制品。

#### (4) 缺点

- ① 积层可能树脂过量，以致制件超重。
- ② 仅采用短切纤维，限制了产品力学性能。
- ③ 喷射用树脂黏度低，通常限制了产品的力学性能

与热性能。

④ 喷射用树脂苯乙烯含量高，有害健康，要满足环保要求需采取措施。

⑤ 手糊成型的三缺点它都具备。

#### (5) 典型产品

简单壳体，轻载结构壁板，如大篷车体，卡车整流罩、浴缸、淋浴防水盘、小艇。

#### (6) 喷射作业注意事项

① 喷射机有真空型和空气型两种，分别为把混有促进剂的树脂和固化剂在喷枪的混合室内部混合的喷射机，以及用单头喷枪把加入促进剂的树脂和固化剂分别喷出，并在外部以雾状混合的喷射机。还有以双喷头喷枪同样进行喷涂的喷射机。

玻璃纤维以切割器与喷射器相互协调被切断，同时喷在雾状树脂上并在模具上积层。

② 作业同机械的种类无关，都需注意以下事项。

- a. 调整切割，使玻璃纤维切割长度在 25mm 以上。
- b. 通过泵或压缩机的压力和喷头调整，使之能生成适当的雾状。
- c. 树脂喷射量和玻璃纤维切割量要适当。
- d. 使树脂和玻璃纤维喷射方向相一致。
- e. 一次的喷射量由制品厚度和脱泡作业性决定。
- f. 对成型面的喷射角度只能是直角，如果角度大，

喷出的树脂和玻璃纤维飞散，损耗多。

g. 作为防公害对策应装置带水槽的喷射室。在作业现场必须使用防爆照明器材，要有充分的照度。

### (7) 成型工艺流程图

成型工艺流程见图 7-6。

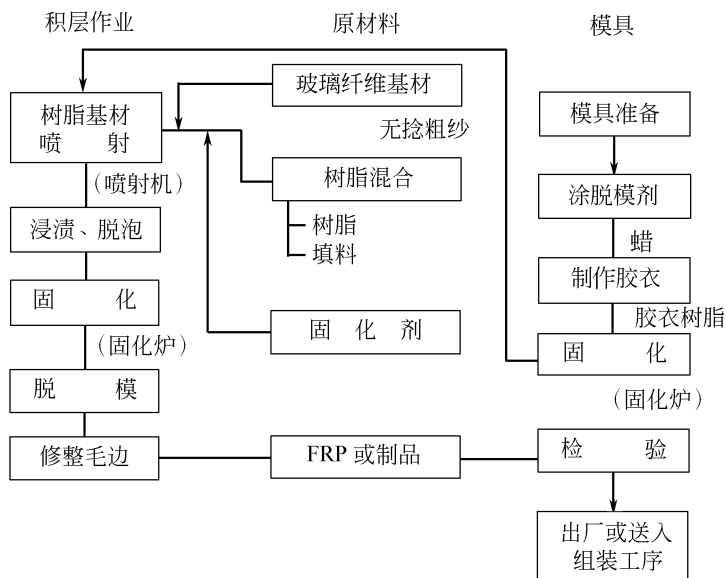


图 7-6 成型工艺流程

### (8) 喷射作业的管理

喷射成型工人的熟练作业是必要的，作业尽可能标准化，必须明确作业标准和作业程序，见表 7-10。在上述工艺流程图的每一项中表示了必要事项和注意事项。要保留每个制品的记录，出现次品及缺陷制订对策时，这些都

是有用的。

表 7-10 作业标准示例

|     |              |                                                                                    |    |                       |    |          |
|-----|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------|----|----------|
| No  |              | 名称××××作业标准                                                                         | 图号 |                       | 制定 | H8. 4. 1 |
| 项 目 |              | 指 标                                                                                |    | 事 项                   |    |          |
| 1   | 材料准备         | 树脂:GP 聚×××× ××kg<br>GF:RS <sup>#</sup> 2300 ××kg<br>胶衣树脂:GRPG 涂层 <sup>#</sup> ××kg |    | 制造,记录 lot 编号          |    |          |
| 2   | 模具准备<br>涂脱模剂 | 检查、修理模具表面的划伤<br>脱模剂:使用××蜡                                                          |    | 处理后充分检查               |    |          |
| 3   | 胶衣<br>胶衣固化   | 喷涂量:××kg/m <sup>2</sup> (共××kg)<br>喷涂后:20min 胶凝<br>固化炉:50℃,60~90min                |    | 作业手册                  |    |          |
| 4   | 设备检查         | 喷射机、泵、喷房                                                                           |    | 作业手册                  |    |          |
| 5   | 喷射           | 喷射量、树脂××kg,玻璃纤<br>维×kg                                                             |    | 作业手册                  |    |          |
| 6   | 固化           | 固化炉:50℃,120min                                                                     |    |                       |    |          |
| 7   | 脱模           | 冷却至室温,用压缩空气脱模                                                                      |    | 脱模后用防止变形的<br>夹具夹持     |    |          |
| 8   | 修边           | 按模具边线切割                                                                            |    | 把切割面用砂纸打光             |    |          |
| 9   | 打孔           | 按钻模使用钻头                                                                            |    | 使用 N×××钻模             |    |          |
| 10  | 检验           | 外观:全检<br>尺寸:抽样,10%检验                                                               |    | 外观根据样本检查在<br>公司内检表中记录 |    |          |
| 11  | 修理           | 胶衣修补,用水研磨、抛光、上<br>蜡、再检查                                                            |    | 作业手册,在公司内<br>检表中记录    |    |          |

### (9) 喷射成型缺陷的原因对策

喷射成型有操作产生的缺陷和固化后产生的缺陷。前者以作业环境、原材料选择、工序设置不当为主要原因，特别是树脂、玻璃纤维的品种应适合喷射机的性能，希望能通过试验选择最适合的品牌。另外，前、后两种缺陷的产生多由于操作者的技术不熟练。制作时应考虑制品的特性，应该把涉及的细节制定出作业标准，必须训练作业人员，使其遵守这些标准。

缺陷产生的原因和解决对策见表 7-11。

表 7-11 缺陷产生的原因和对策

| 现 象  | 原 因                                                      | 对 策                                                 |
|------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 滑落   | 树脂/玻璃纤维比例不当<br>粗纱粘结剂不适当<br>喷枪和模具的距离不适当                   | 使树脂/玻璃纤维比例适当<br>选择粗纱品牌<br>以适当的距离和方向作业               |
| 厚度不均 | 喷射作业不熟练<br>树脂黏度不适当<br>玻璃纤维的分散性差                          | 提高作业熟练程度<br>调整树脂黏度<br>选择粗纱品牌                        |
| 浸渍不良 | 树脂/玻璃纤维比例不当,树脂量少<br>树脂、玻璃纤维喷射路径不一致<br>凝胶速度太快<br>粗纱粘结剂不适当 | 调整树脂/玻璃纤维比例<br><br>调整喷射路径<br><br>减少固化剂比例<br>选择粘结剂品牌 |

| 现 象          | 原 因                                                  | 对 策                                                        |
|--------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 针孔           | 脱泡不好<br>凝胶速度过快<br>树脂/玻璃纤维比例不当,树脂量少<br>树脂黏度过大<br>旋转不当 | 提高作业熟练程度<br>降低固化剂比例<br>调整树脂/玻璃纤维比例<br>使用低黏度树脂<br>在室温下旋转至凝胶 |
| 固化不良<br>固化不均 | 树脂/固化剂比例不当,固化剂少<br>固化剂用量不稳定                          | 调整树脂/固化剂比例<br>调整一次的喷射厚度                                    |
| 白化           | 一次铺层太厚<br>固化速度太快                                     | 一次铺层厚度要适当<br>固化剂、促进剂用量要适当                                  |
| 龟裂           | 胶衣固化不良,或在凝胶过程中喷涂铺层<br>凝胶速度太快,发热量太多                   | 待胶衣固化后再喷射积层<br>降低固化剂比例                                     |

### (10) 用喷射法成型的生产效率和经济性

① 用喷射法成型的生产效率 喷射成型是用最便宜的粗纱作为玻璃纤维基材,采用敞口模具的成型方法。同手糊法相比虽省去了毡及布的剪裁手续,但因材料飞散损失大,材料费节省不太多。以大量生产为前提,因模具循环使用,仍为多数工厂的设计者所采用,且由于单位重量的积层工时比手糊法大幅度降低而提高了生产效率。

如能引入自动装置,采用自动化生产,节省人工费,更能降低成本。

喷射成型法生产效率的标准同手糊法一样，是用积层作业的每工时处理量和模具的占用时间评价。

例如，净化槽（10 人槽，重 60kg）的生产工时见表 7-12。

表 7-12 净化槽的生产工时

| 作业项目 | 直接作业时间/min          | 间接作业时间/min | 模具占用时间/min        |
|------|---------------------|------------|-------------------|
| 刷脱模剂 | 2 人×10              | 干燥 10      | 20                |
| 制胶衣  | 1 人×10              | 旋转、干燥 15   | 25                |
| 喷射   | 1 人×15              |            | 15                |
| 脱泡   | 3 人×10              | 加热固化 30    | 40                |
| 脱模   | 1 人×5               |            | 5                 |
| 小计   | 1.33MH<br>(48kg/MH) |            | 105<br>(一天运转 5 次) |

除此之外，还有模具准备、树脂混合、纤维基材切割、修边、安装零部件、加工装饰等后加工，以及检验、修补、包装、出厂的辅助工时。可参照下面的成本计算例子对自己的制品成本价进行研究。

② 喷射成型的经济性 成本计算以日本某公司用喷射成型法成型的前述净化槽为例，见表 7-13。

制品：净化槽（本体）

制品大小：1m×2m×1m（H）

制品重量：60kg

生产量：30 个/日（750 个/月）

作业天数：25 天/月

作业人数：7 人

加工费单价：3000MH

|        |           |     |          |
|--------|-----------|-----|----------|
| 成型设备：  | 喷射机组      | 1 套 | 300 万日元  |
| （只与喷射  | 喷射排气机     | 1 套 | 200 万日元  |
| 成型有关的） | 胶衣涂敷机     | 1 套 | 150 万日元  |
|        | 凝胶间       | 1 套 | 100 万日元  |
|        | 转台        | 2 组 | 100 万日元  |
|        | 压缩机管道配管   | 1 套 | 100 万日元  |
|        | 树脂槽，输送泵配管 | 1 套 | 150 万日元  |
|        | 搅拌机       | 1 套 | 50 万日元   |
|        | 固化炉       | 2 个 | 300 万日元  |
|        | 其他        | 1 套 | 50 万日元   |
| 合计     |           |     | 1500 万日元 |

表 7-13 喷射成型生产净化槽的成本核算

| 项 目         |                         | 标 准 值      |       | 贵公司情况 |    |
|-------------|-------------------------|------------|-------|-------|----|
|             |                         | 用量         | 金额/日元 | 用量    | 金额 |
| 原<br>材<br>料 | 粗纱                      | 300×25kg   | 7500  |       |    |
|             | 不饱和聚酯树脂                 | 400×50kg   | 20000 |       |    |
|             | 碳酸钙                     | 45×10kg    | 450   |       |    |
|             | 固化剂                     | 1400×1.5kg | 2100  |       |    |
| 小计          |                         |            | 30050 |       |    |
| 消<br>耗<br>品 | 毛刷、胶辊、棉丝、砂<br>纸、切刀、清洁剂等 | 原材料的 12%   | 3610  |       |    |
| 小计          |                         |            | 3610  |       |    |

续表

| 项 目              |                              | 标 准 值                      |       | 贵公司情况 |    |
|------------------|------------------------------|----------------------------|-------|-------|----|
|                  |                              | 用量                         | 金额/日圆 | 用量    | 金额 |
| 加<br>工<br>费      | 模具准备、树脂混合、喷射胶衣后加工,检验修补、包装、出厂 | $3000 \times 0.2\text{MH}$ | 600   |       |    |
|                  |                              | $3000 \times 0.6\text{MH}$ | 1800  |       |    |
|                  |                              | $3000 \times 0.5\text{MH}$ | 1500  |       |    |
|                  |                              | $3000 \times 0.8\text{MH}$ | 2400  |       |    |
| 小计               |                              | 2.1MH                      | 6300  |       |    |
| 折<br>旧<br>费<br>等 | 模具折旧费                        | $150000/200$               | 750   |       |    |
|                  | 能源费                          |                            | 125   |       |    |
|                  | 厂房及其他设备折旧费                   |                            | 200   |       |    |
| 小计               |                              |                            | 1075  |       |    |
| 制造成本价            |                              |                            | 40735 |       |    |
| 一般管理费            |                              | 10%                        | 4073  |       |    |
| 总成本价             |                              |                            | 44808 |       |    |

### 7.4.3 树脂传递成型

#### (1) 概要

树脂传递成型 (RTM) 是一种闭模低压成型的方法。将纤维增强材料置于上下模之间; 合模并将模具夹紧; 在压力下注射树脂; 树脂固化后打开模具, 取下产品。见图 7-7、图 7-8。

树脂胶凝前, 必须让树脂充满模腔, 压力促使树脂快速传递到模具内, 浸渍纤维材料。

RTM 是一低压系统, 树脂注射压力范围  $0.4 \sim$

0.5MPa。当制造高纤维含量（体积比超过 50%）的制品，如航空航天用零部件时，压力可达 0.7MPa。

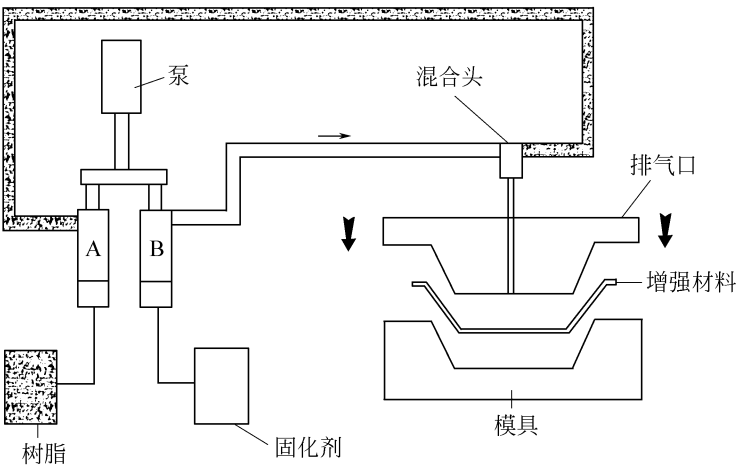


图 7-7 树脂传递成型示意图之一

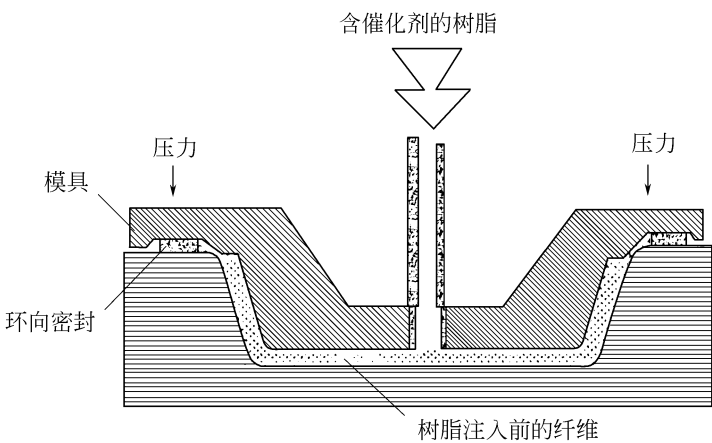


图 7-8 树脂传递成型示意图之二

纤维增强材料有时可预先在一个模具内预成型大致形状（带粘结剂），再在第二个模具内注射成型。RTM 成型用模具示意见图 7-9。

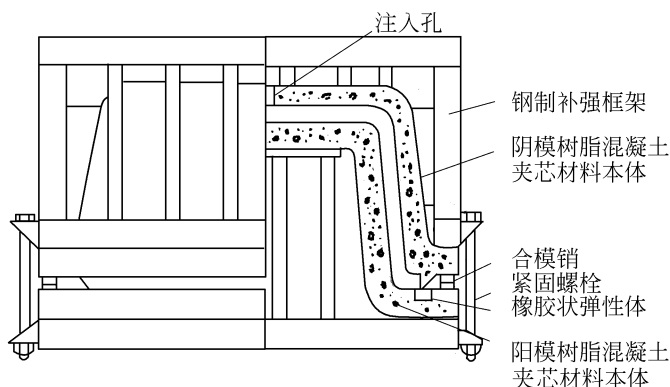


图 7-9 RTM 成型用模具构造

为了提高树脂浸透纤维的能力，可选择真空辅助注射（VARI-vacuum assisted resin injection）。

注意树脂一经将纤维材料浸透，树脂注口要封闭，以便树脂固化。注射与固化可在室温或加热条件下进行。模具可以复合材料与钢材制作。若采用加热工艺，宜用钢模。

## （2）原材料

树脂 一般多用环氧、不饱和聚酯、乙烯基酯及酚醛；当加温时，高温树脂如双马来酰亚胺树脂亦可用。

法国 Vetrotex 公司开发了热塑性树脂 RTM。

纤维 任意。常用玻璃纤维连续毡、缝编材料（其纤

维间的缝隙利于树脂传递)、无捻粗纱布;玻璃纤维与热塑性塑料的复合纱及其织物与片材(法国 Vetrotex 商品名 TWINTEX)。

芯材 不用蜂窝,因蜂窝空格全被树脂填满,压力会导致其破坏。可用耐溶剂发泡材料 PU、PP、CLVC 等。

### (3) 优点

- ① 制品纤维含量可较高,未被树脂浸渍部分非常少。
- ② 闭模成型,生产环境好。
- ③ 劳动强度较低,对工人技术熟练程度的要求也比手糊与喷射成型低。

④ 制品两面光,可作有表面胶衣的制品,精度也比较高。

⑤ 成型周期较短。

⑥ 产品可大型化。

⑦ 强度可按设计要求具有方向性。

⑧ 可与芯材、嵌件一体成型。

⑨ 相对注射设备与模具成本较低。

### (4) 缺点

① 不宜制作较小产品。

② 因要承压,故模具较手糊与喷射工艺用的模具要重和复杂,价位也高一些。

③ 可能有未被浸渍的材料,边角料有浪费。

## (5) 典型产品

小型飞机与汽车零部件、客车座椅、仪表壳。

## (6) RTM 成型法的作业管理

① 制定各工序的作业标准和要领。

② 管理情况记入工程记录表中。

③ 各工序的管理要点如下。

### a. 预成型工序

直接法 粗纱重量、粘结剂含量、分散性、单重、干燥温度、硬度。

压机法 毡单重、毡伸长率、毡加热温度、时间、冷却模温度。

### b. 模具准备工序

i. 裂纹、划伤、油污、光泽不均。

ii. 按脱模难易进行脱模剂处理、夹紧橡胶变形情况。

### c. 制胶衣工序

i. 温度（模具表面、树脂、固化炉）固化时间。

ii. 涂布机（喷射图型、喷射量）。

iii. 胶衣膜厚度。

### d. 装料工序

i. 预成型坯形状。

ii. 补强材料、补强件形状、数量。

### e. 合模工序

i. 合模压力。

- ii. 合模销间隙。
- f. 树脂注入工序
  - i. 温度（模面、树脂、固化炉）凝胶时间。
  - ii. 注入压力、时间、注入量。
  - iii. 树脂有无泄漏。
- g. 脱模
  - i. 注入口及夹紧部的树脂固化度。
  - ii. 上模脱模时的表面硬度。
  - iii. 脱模难易。
- h. 修理、检验 外观、气泡、变形。

#### (7) RTM 成型法缺陷的原因及对策

RTM 成型法产生的缺陷及对策见表 7-14。

表 7-14 RTM 成型法的缺陷及对策

| 现 象  | 原 因                  | 对 策                                     |
|------|----------------------|-----------------------------------------|
| 裂纹   | 树脂过多                 | 增加毡、布<br>拐角加腻子(加大 $R$ )<br>预成型玻璃纤维分布要均匀 |
| 厚度不均 | 脱模时变形过大<br>喷射作业不熟练   | 提高刚度,提高固化度<br>脱模处理要适当                   |
|      | 发热量过多                | 使用低放热树脂,薄壁化                             |
| 气泡   | 拐角缺少玻璃纤维<br>树脂注入速度太快 | 拐角刮腻子<br>降低注入速度,提高树脂黏度                  |

续表

| 现 象  | 原 因                 | 对 策                         |
|------|---------------------|-----------------------------|
| 浸渍不良 | 局部玻璃纤维过多<br>树脂流动性不好 | 玻璃纤维分布均匀化<br>设置气孔,变更注口位置    |
| 白斑   | 固化不良                | 增加胶衣和树脂的固化剂量<br>延长充模时间      |
|      | 胶衣厚度不足              | 厚度要在 0.3mm 以上               |
|      | 玻璃纤维过多              | 玻璃纤维用量要适当                   |
|      | 树脂固化收缩              | 加填料,使用低收缩树脂                 |
|      | 粗纱、硬度大              | 再选牌号                        |
| 皱褶   | 玻璃纤维流动错位            | 用对预成型坯有效的粘结剂,减慢<br>注入速度     |
|      | 玻璃纤维类型质量不好          | 预成型坯形状要适当                   |
| 挠曲变形 | 脱模时固化不完全            | 促进树脂固化,用补强材料提高刚<br>度,使用矫正夹具 |
|      | 树脂固化收缩              | 使用低收缩剂,使用填料                 |

### (8) RTM 法的生产效率及经济性

① RTM 法的生产效率 RTM 法的成型周期从涂胶衣经脱模到涂脱模剂止。整个过程装置、设备的形式及原材料不同而有较大差异,因模具设计、成型温度和生产线的不同也不相同。

② RTM 成型法的经济性 现以日本生产浴室冲洗场为例进行经济性计算,见表 7-15。

表 7-15 浴室冲洗场的成本核算

| 项 目              |            | 标 准 值      |       | 贵公司情况 |    |
|------------------|------------|------------|-------|-------|----|
|                  |            | 用量         | 金额/日圆 | 用量    | 金额 |
| 原<br>材<br>料      | 粗 纱        | 300×4.5kg  | 1350  |       |    |
|                  | 玻璃毡        | 400×0.6kg  | 240   |       |    |
|                  | 粘结剂        | 1000×0.2kg | 200   |       |    |
|                  | 不饱和聚酯树脂    | 400×16kg   | 6400  |       |    |
|                  | 固化剂        | 1400×0.1kg | 140   |       |    |
|                  | 补强材料       | 一套         | 6000  |       |    |
| 小计               |            |            | 14330 |       |    |
| 加<br>工<br>费      | 预成型        | 3000×0.4MH | 1200  |       |    |
|                  | 制胶衣        | 3000×0.3MH | 900   |       |    |
|                  | 预型装料       | 3000×0.5MH | 1500  |       |    |
|                  | 压紧模具、注入、脱模 | 3000×0.7MH | 2100  |       |    |
|                  | 后加工、检验     | 3000×0.6MH | 1800  |       |    |
| 小计               |            | 2.1MH      | 7500  |       |    |
| 折<br>旧<br>费<br>等 | 能源费 LPC    | 80×60kg    | 4800  |       |    |
|                  | 设备折旧费      | 按 8 年折旧    | 1200  |       |    |
|                  | 模具折旧费(3 组) | 按 900 个折旧  | 2670  |       |    |
| 小计               |            | 2.1MH      | 4350  |       |    |
| 制造成本价            |            |            | 26180 |       |    |
| 一般管理费            |            | 10%        | 2618  |       |    |
| 总成本价             |            |            | 28798 |       |    |
| 材料耗损、废品等         |            | 3%         | 864   |       |    |
| 总计               |            |            | 29662 |       |    |

制品：浴室冲洗场

制品大小：12m×1.6m

制品重量：25kg

成型周期：60min

生产量：48 个/日（1008 个/月）

作业天数：21 日/月

作业人员：预成型 2 人，制胶衣 2 人，装料 3 人，打压、注入、脱模 4 人，修理、加工、检验 4 人

加工费单价：3000MH

#### 7.4.4 纤维缠绕成型

##### （1）概要

通常采用直接无捻粗纱作为增强材料。粗纱排列在纱架上并自纱架上退绕，通过张力系统、树脂槽、绕丝嘴，由小车带动其往复移动并绕在回转的芯轴（模）上。纤维

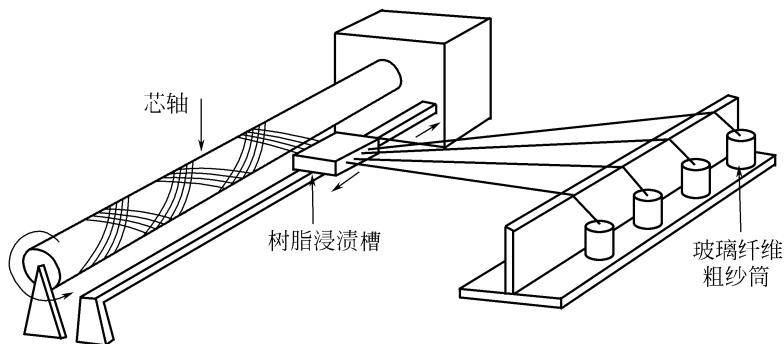


图 7-10 纤维缠绕示意

缠绕角度与纤维排列密度根据强度设计，并由主轴（模）转速与小车往复速度之比精确地控制。固化后，将缠绕的复合材料制品脱模。见图 7-10。

对某些两端密闭的产品不用脱模，芯模即包在复合材料产品内，作为内衬。

## （2）原材料

树脂 任意。可以是环氧、不饱和聚酯、乙烯基酯、酚醛等树脂。

纤维 任意。可以是无捻粗纱、缝编或无纺织物。生产管罐时，常用表面毡、短切原丝作内衬材料。

芯材 可用。虽然复合材料制品通常是单一壳体，一般不用。

## （3）优点

① 因为纤维径直以合理的线型铺设，承担负荷，故复合材料制品的结构特性可非常高。

② 由于同内衬层组合，可制得耐腐蚀、耐压、耐热的制品。

③ 可制造两端封闭的制品。

④ 铺放材料快、经济，用无捻粗纱，材料费低。

⑤ 可采用树脂计量，让浸胶后的纤维通过挤胶或口模，控制树脂含量。

⑥ 可大量生产和自动化。

⑦ 机械成型，复合材料材质及方向性均匀，质量

稳定。

(4) 缺点

- ① 制品形状限于圆柱形或其他回转体。
- ② 纤维不易沿制品长度方向精确排列。
- ③ 对于大型制品，芯模成本高。
- ④ 成品外表面不是“模制”的，不尽如人意。
- ⑤ 对于受压的制品如不选择合适树脂或无内衬，就易发生渗漏。

(5) 典型产品

管道、贮罐、气瓶（消防呼吸气瓶、压缩天然气瓶等）、固体火箭发动机壳体。

(6) 缠绕成型法的生产效率

① 前提条件

- a. 制品对象 100A 管 (ERPS · P001—1985)
- b. 种类 耐蚀层厚度 1.25mm  
内压标准 0.98MPa  
管的环向内压强度 275MPa
- c. 尺寸 内径 100mm  
壁厚 3.0mm  
长度 6000mm
- d. 基材构成 耐蚀层: SM+GM, 1.25mm  
增强层: 螺旋缠绕, 55°, 1.75mm
- e. 树脂 乙烯基酯树脂

- f. 固化条件  $80^{\circ}\text{C}$  , 2h 以上
- g. 玻璃含量 60%
- h. 制品重量 约 11kg/6m (根)
- i. 生产率 15kg/h (1.36 根/h)
- j. 运转时间 7h/日, 20 日/月
- k. 制品成品率 85%

## ② 生产效率

- a. 日生产量:  $7\text{h} \times 15\text{kg/h} = 105\text{kg}$  (9.6 根/日)
- b. 月生产量:  $20\text{日} \times 105\text{kg/日} = 2100\text{kg/月}$  (191根/月)

## (7) FW 成型法的经济性

### ① 前提条件

- a. 前提条件 同 (6) 中所述。
- b. 产量 191 根/月 (1.36 根/h)
- c. 生产人数 3 人/日

玻璃纤维、树脂、芯模准备 1 人

缠绕作业 1 人

脱模、修理、检验 1 人

d. 加工单价 3000 日圆/人·h

e. 生产设备 78000 千日圆

缠绕机械 30000 千日圆

附属设备 25000 千日圆

树脂混合装置一套 3000 千日圆

加工设备 7000 千日圆

环境设备    8000 千日圆

其      他    5000 千日圆

合计            78000 千日圆

f. 芯模（ $\phi 100 \times 10$  根）    3.000 千日圆

② 成本计算示例    见表 7-16。

表 7-16    成本核算示例

| 项    目      |                  | 标    准    值                                           |       | 贵公司情况 |    |
|-------------|------------------|-------------------------------------------------------|-------|-------|----|
|             |                  | 用量                                                    | 金额/日圆 | 用量    | 金额 |
| 原<br>材<br>料 | 玻璃纤维毡            | 400 日 圆/kg $\times$<br>1.1kg/根                        | 约 400 |       |    |
|             | 表面毡              | 120 日 圆/m <sup>2</sup> $\times$<br>4m <sup>2</sup> /根 | 480   |       |    |
|             | 粗纱               | 300 日 圆/kg $\times$<br>5.5kg/根                        | 1650  |       |    |
|             | 乙烯基酯树脂<br>(计入助剂) | 960 日 圆/kg $\times$<br>4.4kg/根                        | 4224  |       |    |
| 小计          |                  |                                                       | 6794  |       |    |
| 成型加工费       |                  | 3000 日 圆/h $\div$<br>1.36 根/h $\times$ 3 人            | 6618  |       |    |
| 能源费         |                  | 50 日 圆/kg $\times$<br>11kg/根                          | 550   |       |    |

续表

| 项 目         |                                                  | 标 准 值              |            | 贵公司情况 |    |
|-------------|--------------------------------------------------|--------------------|------------|-------|----|
|             |                                                  | 用量                 | 金额/日圆      | 用量    | 金额 |
| 折<br>旧<br>费 | (21h/日工作)<br>设备一套<br>芯模( $\phi 100 \times 10$ 根) | 按 8 年折旧<br>按 2 年折旧 | 2845<br>22 |       |    |
| 小计          |                                                  |                    | 2867       |       |    |
| 制造成本价       |                                                  | 成品率 85%            | 19799      |       |    |
| 一般管理费       |                                                  | 10%                | 1980       |       |    |
| 总成本价        |                                                  | 日圆/根               | 21779      |       |    |
| 废品率         |                                                  | 3%                 | 653        |       |    |
| 总计          |                                                  | 日圆/根               | 22432      |       |    |

### (8) FW 成型法的工艺管理

① 标准制定及指导贯彻 对各工序的工作程序要制定技术标准以指导作业人员，并记入工序记录表。

② 各工序的管理点见表 7-17。

表 7-17 各工序管理点

| 工 序      | 管 理 点                              |
|----------|------------------------------------|
| 芯模       | 划伤、油污、脱模剂情况、尺寸                     |
| 原材料、辅助材料 | 入厂检验<br>(树脂:外观、黏度、固化性能等 JISK 6919) |
| 配料、准备    | 原材料的种类和牌号,树脂的温度和配比,粗纱的使用根数和支数      |

续表

| 工 序   | 管 理 点               |
|-------|---------------------|
| 缠绕作业  | 缠绕角度、线速度、旋转速度、厚度、张力 |
| 固化    | 温度、时间               |
| 脱模    | 硬度、脱模力              |
| 切割    | 规定长度、直角度            |
| 耐水压试验 | 规定压力、保压时间           |
| 加工    | 尺寸、形状               |
| 产品检验  | 尺寸、外观、性能            |

### (9) FW 成型法的缺陷及对策

FW 成型法的缺陷及对策见表 7-18。

表 7-18 FW 成型法的缺陷及对策

| 缺 陷      | 原 因                      | 对 策                                |
|----------|--------------------------|------------------------------------|
| 气孔       | 固化不良<br>在未固化状态下脱模        | 提高固化温度<br>增加固化剂、促进剂添加量<br>延长固化时间   |
| 裂纹(剥离)烧焦 | 树脂剧烈放热<br>固化收缩<br>一次积层太厚 | 降低固化剂、促进剂加入量<br>降低固化温度<br>减少一次积层厚度 |
| 玻璃纤维白化   | 玻璃纤维中混入水分<br>树脂剧烈放热      | 除去水分<br>减少固化剂、促进剂加入量<br>降低固化温度     |

续表

| 缺 陷  | 原 因                     | 对 策                          |
|------|-------------------------|------------------------------|
| 表面凹坑 | 树脂量不足<br>树脂固化时间太长引起树脂缩孔 | 增加树脂供给量(浸渍量)<br>增加固化剂、促进剂添加量 |
| 气泡   | 树脂量不足<br>脱泡不良           | 增加树脂供给量(浸渍量)<br>充分脱泡         |
| 排线乱  | 成型机不良                   | 修改成型机的输入数据及修理机器的缺陷           |
| 翘曲变形 | 管壁厚度不均<br>在半固化状态脱模      | 壁厚均一化<br>延长固化时间              |
| 皱纹   | 内面(耐蚀层)未固化状态下缠绕         | 延长耐蚀层的固化时间<br>增加耐蚀层的固化剂、促进剂量 |
| 表层龟裂 | 脱模时的应力过大                | 脱模剂处理好<br>管壁增厚               |
| 脱模不良 | 脱模剂处理不好<br>固化不良         | 重新评价脱模剂或脱模薄膜<br>延长固化时间       |
| 厚度不足 | 玻璃纤维量不足<br>树脂含量不足       | 增加玻璃纤维根数<br>增加树脂供给量(浸渍量)     |

7.4.5 SMC 成型

(1) 概要

片状模塑料成型 (Sheet Molding Compound) 简称 SMC。

在树脂中加入引发剂、填料、颜料、内脱模剂、低收

缩添加剂、增稠剂等，经搅匀成为树脂糊。树脂糊落到 SMC 机组的下薄膜上（常用聚乙烯薄膜或尼龙薄膜），与此同时在下薄膜上沉降短切成 25~55mm 的玻璃纤维原丝，再往上面覆盖一层薄膜，成为片状夹心卷。将卷材存放数日使料稠化，以达到可模塑的黏度。SMC 以捆卷状态供应备用。将卷材展开、剪裁、称量，放入加热的钢模内，加压使之固化成型、脱模，即为成品。见图 7-11。

SMC 有一些特殊的品种，如：

HMC ——高模高强 SMC，玻璃纤维重量比 50%~60%；

XMC ——定向超高模高强 SMC，纤维呈交叉排列、无填料，玻璃纤维重量比达 80%；

TMC ——厚型 SMC，一般 SMC 厚 6mm，TMC 厚达 50mm，可加入较多的玻璃纤维与填料，不增稠，模塑料制备好即可成型产品。

## （2）原材料

树脂 不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂、酚醛树脂、三聚氰胺树脂等。

纤维 SMC 专用玻璃纤维无捻粗纱。

填料 碳酸钙、氢氧化铝、中空玻璃微珠等。

## （3）优点

① 加入不同填料大幅度降低成本，并可满足轻量化、低收缩等要求。

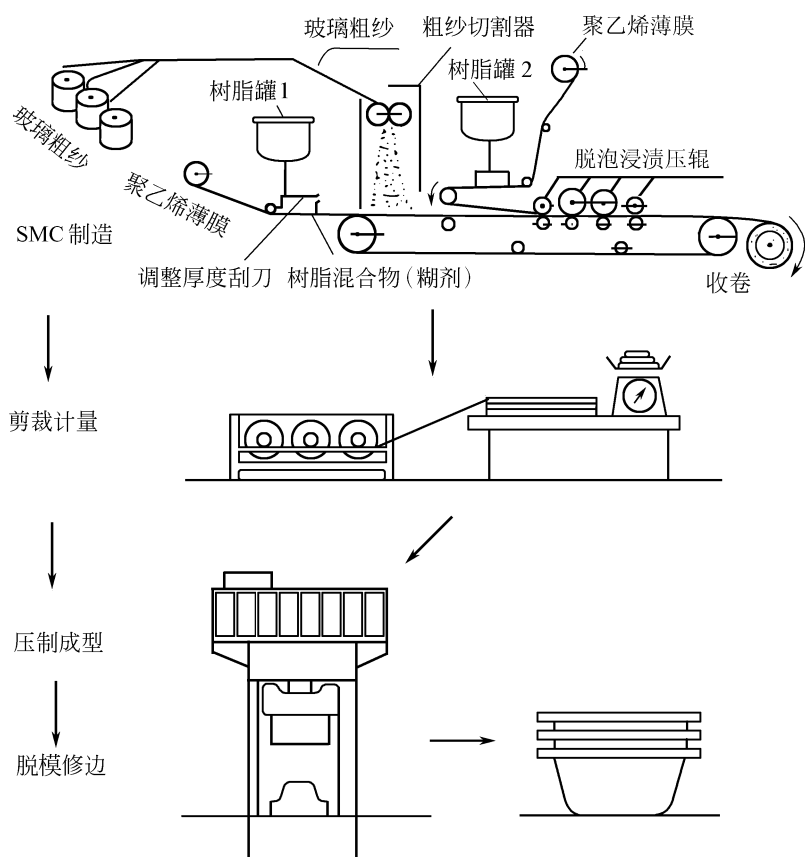


图 7-11 SMC 生产示意图

- ② 生产效率高，适于大批量生产。
- ③ 由于准确称量装料，材料利用率高。
- ④ 闭模成型作业环境好。
- ⑤ 成型工艺简单，易机械化与自动化，节省人力，对工人熟练程度要求不高。

# ⑥ 可成型大型制品。

## (4) 缺点

① 仅适于制作尺寸较大的制品。

② 初期压机、模具、加压装置的投资大。

## (5) 典型产品

组合式水箱、电表箱、防静电灯罩、椅子、汽车零部件（保险杠、引擎盖、导流罩、驾驶室、车顶、前端框架、备胎仓、前大框等）、高速公路防眩板、浴缸、净化槽壳、卫星天线抛物面。

## (6) SMC 的几组配方

SMC 的典型配方见表 7-19。

表 7-19 SMC 的典型配方

| 原 材 料      | 澡盆用 SMC |       | 难烧性 SMC |       | A 类 SMC |       | 高强度 SMC<br>(iMC) |       |
|------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|------------------|-------|
|            | 份       | %     | 份       | %     | 份       | %     | 份                | %     |
|            | (重量)    | (重量)  | (重量)    | (重量)  | (重量)    | (重量)  | (重量)             | (重量)  |
| 间苯型 UP 树脂  | 60.0    | 16.9  | 70.0    | 16.6  | —       | —     | —                | —     |
| 高反应性 UP 树脂 | —       | —     | —       | —     | 50.0    | 11.4  | —                | —     |
| 乙烯基酯树脂     | —       | —     | —       | —     | —       | —     | 80.0             | 22.2  |
| 聚苯乙烯       | 40.0    | 11.3  | 30.0    | 7.1   | —       | —     | —                | —     |
| PVAC       | —       | —     | —       | —     | 50.0    | 11.4  | 20.0             | 5.6   |
| PBQ        | 0.03    | 0.008 | 0.03    | 0.007 | 0.02    | 0.005 | 0.03             | 0.008 |
| TBPB       | 1.0     | 0.3   | 1.0     | 0.2   | 1.5     | 0.3   | 1.0              | 0.3   |
| 碳酸钙        | 150.0   | 42.3  | —       | —     | 200.0   | 45.7  | —                | —     |

续表

| 原 材 料 | 澡盆用 SMC   |           | 难烧性 SMC   |           | A 类 SMC   |           | 高强度 SMC<br>(iMC) |           |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|
|       | 份<br>(重量) | %<br>(重量) | 份<br>(重量) | %<br>(重量) | 份<br>(重量) | %<br>(重量) | 份<br>(重量)        | %<br>(重量) |
| 氢氧化铝  | —         | —         | 180.0     | 42.6      | —         | —         | —                | —         |
| 有机颜料  | 10.0      | 2.8       | 10.0      | 2.4       | —         | —         | —                | —         |
| 硬脂酸锌  | 4.0       | 1.1       | 4.0       | 0.9       | 4.0       | 0.9       | 6.0              | 1.7       |
| 氧化镁   | 1.0       | 0.3       | 1.0       | 0.2       | 1.0       | 0.2       | 1.0              | 0.3       |
| 玻璃纤维  | 88.7      | 25.0      | 126.9     | 30.0      | 131.4     | 30.0      | 252.0            | 70.0      |

### (7) SMC 的成型工艺及设备

SMC 的成型工艺见图 7-12。

**成型机** 一般成型温度在 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，成型压力在 $5\sim 12\text{MPa}$ 。近年来像预制结构板、防水板等住宅制品超过 $2\text{m}^2$ 的大型制品必须采用 2000t 以上的大吨位压机。所以近期大力开发了能在  $3\text{MPa}$  以下、低温、低压成型的成型材料。目前在  $90^{\circ}\text{C}$ 、 $1\text{MPa}$  以下能成型的低温、低压成型材料也已上市。另外，为了使制品质量稳定、要求成型高性能化而开发出了能使 SMC 材料在模内稳定流动及加压速度、压力大小多处控制装置的对讲式全计算机控制的压机。

**模具** 成型用模具采用 55C 等钢材制造，由于多为硬质镀铬模具，所以价格较高，且交货期要  $3\sim 6$  个月。模具结构大致分为溢出式、不溢式、丰溢式三种，采用最

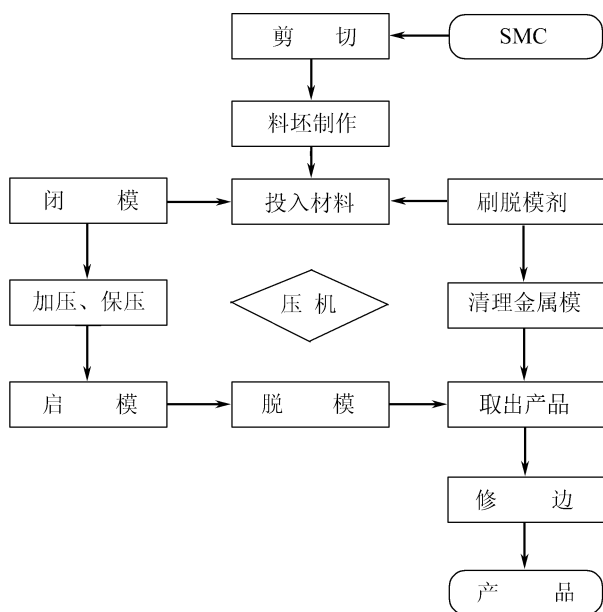


图 7-12 SMC 的成型工艺

多为分型带边不溢式模具。

成型条件 SMC 典型的成型条件见表 7-20。

表 7-20 SMC 典型的成型条件

|          |                    |             |    |
|----------|--------------------|-------------|----|
| 加料率/%    | 50                 | 合模速度/(mm/s) |    |
| 模具温度/℃   |                    | 预压速度        | 45 |
| 模腔/模芯    | 150/140            | 加压速度        | 15 |
| 成型压力/MPa |                    | 第一阶段速度      | 5  |
| 一次加压     | 10                 | 第二阶段速度      | 3  |
| 二次加压     | 4                  | 第三阶段速度      | 1  |
| 真空度/Pa   | $9.33 \times 10^4$ |             |    |

## (8) SMC 成型法的生产效率

影响 SMC 生产效率的因素有：①SMC 的固化性能（温度×时间）；②压机的升、降、合模速度；③材料切割/制作坯料/材料投入/制品取出；④模具清理时间；⑤去飞边、打孔等后加工工作作用时间，其他如换模具、加热模具、维修等与生产无关的时间也在一周以上，影响着生产效率。

SMC 成型与喷射成型、树脂注射成型优缺点比较见表 7-21。

表 7-21 SMC 成型与喷射成型、树脂注射成型的优缺点

| 成型方法     | SMC     | 喷射成型               | 树脂注射成型             |
|----------|---------|--------------------|--------------------|
| 成型       |         |                    |                    |
| 设备费      | 高       | 便宜                 | 中                  |
| 模具费      | 高       | 便宜                 | 中                  |
| 成型周期/min | 1~8     | 60min~1 日          | 30~200             |
| 成型温度/℃   | 100~160 | 15~40              | 20~60              |
| 成型压力/MPa | 5~12    | 常压                 | <2                 |
| 成型作业     | 容易      | 要熟练                | 要熟练                |
| 成型材料     |         |                    |                    |
| 材料       | SMC     | 树脂、GF<br>过氧化物、其他胶衣 | 树脂、GF<br>过氧化物、其他胶衣 |
| 操作       | 非黏着半固体  | 液态树脂、玻璃纤维          | 液态树脂、玻璃纤维          |
| 填料       | 高填充     | 无                  | 低填充                |
| 玻璃纤维/%   | 20~40   | 25~35              | 25~30              |
| 臭味       | 弱       | 强                  | 强                  |

续表

| 成型方法   | SMC    | 喷射成型    | 树脂注射成型 |
|--------|--------|---------|--------|
| 制品     |        |         |        |
| 大小/kg  | <50    | 不限      | <50    |
| 壁厚/mm  | 1.2~20 | 1.5~1.0 | 2~12   |
| 壁厚控制   | 容易     | 困难      | 容易     |
| 尺寸精度   | 高      | 中       | 中      |
| 复杂形状   | 容易     | 困难      | 困难     |
| 加热尺寸变化 | 无      | 有       | 有      |
| 耐候性    | 中      | 高       | 高      |

上述①中关于 SMC 的固化性能,通过对 SMC 树脂、固化剂/稳定剂体系的研究,3mm 厚的小型产品保压时间不到 1min 可达到固化。这种情况下当②~⑤自动化程度相当高时,每月可生产 1000 个以上。实际上在德国的成型生产厂就有每月生产 20000 个荧光灯盖的例子。

但是目前在日本以 SMC 为主的大型住宅制品最大生产能力是每个模具每月 3000~4000 件,不言而喻如果再进行频繁地换模,生产效率就大大下降,因此在尽可能理解必要数量的同时,成型的生产管理也是重要的。

#### (9) SMC 成型方法的经济性

SMC 成型方法的经济性因其制品用途、性能要求、大小和形状、竞争材料的不同而有较大影响,所以简单地说它的经济性好坏太困难了。其理由是 SMC 成型中,由于压机和模具等初期投资大,即使能用 SMC 方法生产,

如果成型数量少，模具折旧费也是大得很。

就拿汽车外壳与钢板成本作比较，不包括粘接工程，以一片构件为例，月生产 1500~2000 个，虽说可看出 SMC 化的优点，但对于非常重视成本的现在来说，如果没有 500~1000 件的特殊制品也就没有 SMC 化的优点。对于单元浴室、防水板等大型住宅制品来说，同样的 FRP 制品，如果用手糊成型及喷射成型相竞争，因每个住宅生产厂情况不同而不同，即使每月生产 300 件以下，也有 SMC 化的实例。一般如果每月生产 500~1000 件，比 RTM 法成本低（这是对已有压机的生产厂而言）。图 7-13 是对 FRP 生产成本的比较。最近用 HLU 法及 SPU 法以 100 个/日以上连续生产同一制品，为解决熟练工人

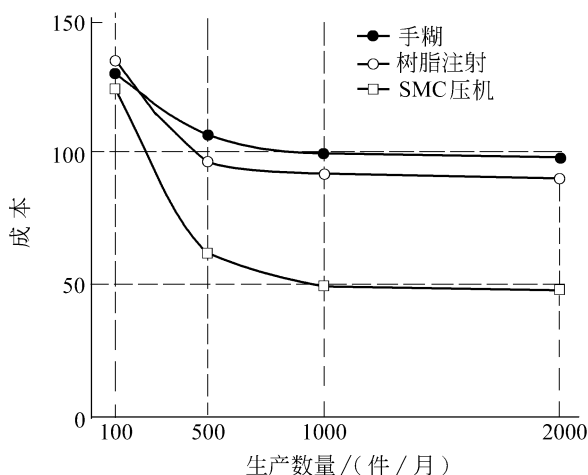


图 7-13 FRP 成本比较

注：成本是以手糊 1000 件/月作为 100。

不足，FRP 模具制作跟不上等问题，并且改善作业环境，正在快速的 SMC 化。日本的 FRP 协会对成型方法分别统计显示 SMC 成型超过 HLU 和 SPU 总和的 40%。另外在这种大型少量产品的压机化当中，可低温、低压成型的 SMC 正在做着贡献。

(10) SMC 成型法的工序管理

SMC 成型法同其他 FRP 成型法相比，由于生产效率相当高，所以如果工序管理不好，废品非堆积如山不可，但是对每个产品一旦规定了适宜的成型条件并遵守它，废品率就会大大降低，实际上在有良好管理的生产厂废品率几乎等于零。

下面叙述必须管理的项目。

① SMC 材料的入厂检验按制造工厂的试验报告做复检。SMC 的入厂检验项目示于表 7-22。

表 7-22 SMC 入厂检验项目

| 项 目    | 内 容              | 依据标准                      |
|--------|------------------|---------------------------|
| 固化特性   | 凝胶时间,固化时间,最高放热温度 | JASOM 406—87              |
| 玻璃纤维含量 | 也可同时测定树脂、填料的含量   | JISK 7062<br>JASOM 406—87 |
| 硬挺度    | 黏度               |                           |
| 毡重量    | 每单位面积 SMC 质量     | JASOM 406—87              |
| 收缩率    |                  | JISK 6911                 |

续表

| 项 目  | 内 容                               | 依据标准      |
|------|-----------------------------------|-----------|
| 相对密度 | 在一定条件下试验板成型后测定                    | JISK 7112 |
| 表面硬度 | 测定试验板的巴柯尔硬度                       |           |
| 机械强度 | 在一定条件下成型试验板测定拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量、冲击强度等 | JISK 7054 |
|      |                                   | JISK 7055 |
|      |                                   | JISK 7110 |

② 模具温度要稳定（蒸汽加热时，要经常观察蒸汽量/蒸汽压，尽可能减少从模具及配管放热）。

③ SMC 的材料条件（硬挺度、固化特性等）稳定，必须使其保管温度及环境温度稳定。

④ 定期进行模具的维护保养。调整其材料部分使周围平均飞边达到最低限度。

⑤ 刚刚换模具之后及早晨开始生产时，由于一夜休息后容易产生废品，有变化之处作成校验图表进行细微地校验。

⑥ 成型时要注意材料切割尺寸、装料类型、重量、切断位置、压机下降/合模速度、压力、脱模用气适时和吹出时间/量及脱模顶出销的顶出速度/均衡等。

⑦ 另外，在必须完成作业的同时，必须戴安全帽、防护眼镜、手套等防护用具，作业场所必须换气。还有必须安装防止压机及加热装置下落等安全装置。

（11）SMC 成型法的缺陷及对策

表 7-23 表示 SMC 成型法的成型缺陷及其对策。除此之外，在 FRP 协会发行的《增强塑料成型材料》一书中，对成型缺陷的改进对策也有详细说明。

表 7-23 成型缺陷及其对策

| 缺 陷    | 原 因                  | 对 策                                     |
|--------|----------------------|-----------------------------------------|
| 颜色不均   | 低收缩剂分离               | 提高 SMC 硬度<br>减少低收缩剂添加量<br>更换低收缩剂        |
|        | 固化速度过快<br>颜料不好       | 延长固化时间<br>选择颜料                          |
| 表面无光泽  | 低收缩剂分离               | 提高 SMC 硬度<br>更换低收缩剂<br>使用有酸值的低收缩剂       |
| 玻璃纤维不均 | 玻璃纤维分散不好             | 采用分散性好的玻璃纤维<br>减少玻璃纤维的用量<br>玻璃纤维的切割长度短些 |
| 气泡     | 浸渍不良<br>卷入空气<br>固化不良 | 把 SMC 浸渍搞好<br>提高 SMC 硬挺度<br>缩短凝胶化时间     |
| 针孔     | 吸入空气<br>SMC 流动性不好    | 调节 SMC 硬度<br>提高合模流动性<br>提高 SMC 柔性       |

7.4.6 BMC 成型

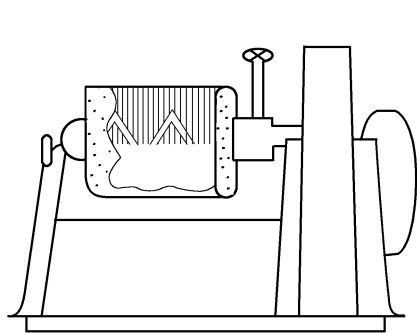
团 状 模 塑 料 （Bulk Molding Compound） 简 称

为 BMC。

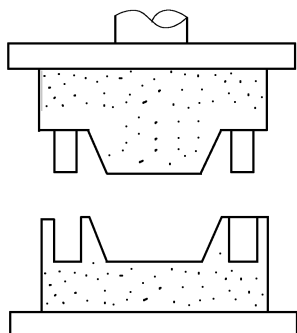
BMC 在欧洲亦称为 DMC (Dough Molding Compound)，按美国定义，BMC 即化学增稠的 DMC。

### (1) 概要

将基体树脂、低收缩剂、固化剂、填料、内脱模剂、玻璃纤维混炼成团状物作为模塑料。可采用模压，注射制造复合材料制品。生产示意见图 7-14。因无熟化阶段，故填料含量可较 SMC 高。玻璃纤维长度一般为 6~12mm，有时为满足高力学性能用到 25mm；为满足成型流动性的要求，用到 3mm。玻璃纤维含量通常为 15%~20%；对高性能产品，用到 25%。BMC 玻璃纤维含量低于 SMC，可加入较多的填料，故成本较低。



预混料混合机



预混料或BMC已置于模腔中以待模压

图 7-14 BMC 生产示意图

ZMC 是法国 Vetrotex 公司开发的一种注射用 BMC。

## (2) 原料

树脂 不饱和聚酯树脂、乙烯基酯、酚醛、三聚氰胺等树脂。

纤维 BMC 用玻璃纤维无捻粗纱。

填料 碳酸钙、氢氧化铝等。

## (3) 优点

① 成型周期短，可模压，亦可注射，适合大批量生产。

② 可加入大量填料，可满足阻燃、尺寸稳定性要求，成本低。

③ 复杂制品可整体成型，嵌件、孔、台、筋、凹槽等均可同时成型。

④ 与通常的热塑性塑料相比，制品耐热性、绝缘性、弹性模量等性能要高一些。

⑤ 对工人技能要求不高，易实现自动化，节省劳动力。

⑥ 制品尺寸精确。

⑦ 作业环境好。

## (4) 缺点

① 仅适于制作尺寸较小、强度要求不高（一般 BMC 强度约比 SMC 低 30%）的产品。

② 注射机价格较高。

### (5) 典型产品

电气零部件（绝缘子、切换器、电表箱、断路器外壳、接线端子、各类家用或商务机电产品壳体）、汽车零部件（前灯反射面、后门、扬声器壳等）、咪表壳体、音响设备壳体。

### (6) BMC 成型方法

BMC 成型方法有压缩成型、传递成型、注射成型三种，近来主要以注射成型为主。

① 压缩成型法，参看 SMC 成型法。

② 传递成型法。设备有 Pot 式和辅助活塞式，以辅助活塞式为主。密封用时有低压规格的密封专用机。见图 7-15。

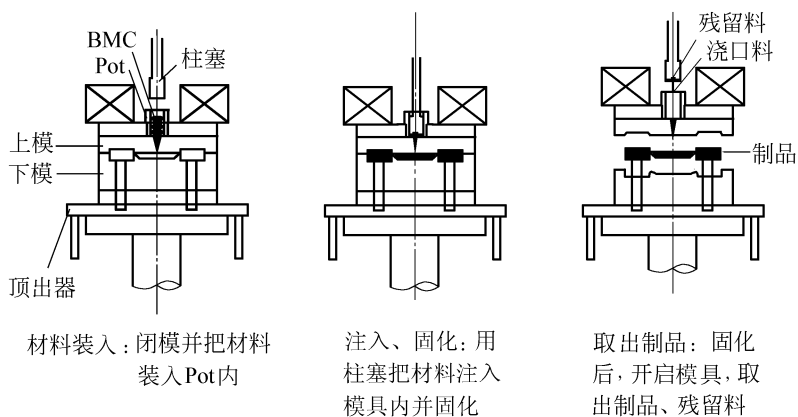


图 7-15 传递成型原理图

③ 注射成型法。BMC 注射成型必须有 BMC 专用注射成型机，它有丝杠式和活塞式两种，各有特点，根据用途分别采用。见图 7-16。

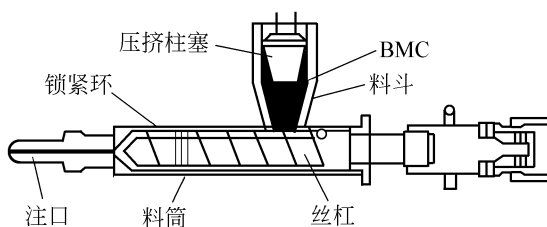


图 7-16 丝杠式传递成型法

- a. 材料投入 把 BMC 料投入料斗中，并用柱塞压缩。
  - b. 材料计量 让丝杠后退，向料筒内供给 BMC。
  - c. 注射 闭模，把 BMC 由喷嘴注射到模具内。
  - d. 固化 保压终了，进行材料计量，这时多数是注射装置稍微后退，喷嘴端头离开模具。
  - e. 取出制品 开启模具，取出固化了的制品。
- 其中，c~e 一系列工序连续反复进行。

#### (7) BMC 产品设计注意事项

- ① 基本壁厚 2.5~3mm（最小在 1mm 以上）。
- ② 拐角半径  $R$  要在 1 以上。
- ③ 脱模锥度要大于  $1^\circ$ （局部可无锥度）。
- ④ 可设计加强筋结构。

⑤ 在凸起、销等单独存在的产品中其根部可带  $R$ 。

⑥ 尖头部及熔接处可用气体脱模。

⑦ 飞边难脱模，要设计成易于脱模的结构。

⑧ 自攻螺孔的下穴不能贯通。

(8) 影响产品质量的要素

影响产品质量的要素见表 7-24。

表 7-24 影响产品质量的要素

|      |                                          |
|------|------------------------------------------|
| BMC  | 固化收缩率、线膨胀系数、各向异性，因温湿度的尺寸变化，固化性、流动性、批分散性等 |
| 制品设计 | 制品大小、形状、壁厚，有无开口、加强筋结构、壁厚变化、注口位置及大小等      |
| 模具   | 材质、硬度、结构、磨光、间隙、注料口、流道、注射器、气孔、真空涂层等       |
| 成型条件 | 成型温度、温度分布、注入压力、注入速度、固化时间、保压时间、计量的分散性等    |
| 冷却   | 制品存放地点、冷却均匀等                             |

(9) 通过制品实例评价 BMC 的生产效率和经济性

① 前提条件

制品对象：打印机机壳（注射成型）

制品重量：2kg

产量：9000 个/月（430 个/日，18 个/时）

生产天数：21 日/月，3 班，21h/日

作业人员：成型、修边，1 名/班

组装、修理、检验、包装 1 名/班

计 2 名

模具：单模

成型周期：3min/个

加工费单价：5000MH

必要设备：

|            |           |
|------------|-----------|
| 300t 注射成型机 | 45000 千日圆 |
|------------|-----------|

|      |          |
|------|----------|
| 电力工程 | 3000 千日圆 |
|------|----------|

|    |           |
|----|-----------|
| 模具 | 13000 千日圆 |
|----|-----------|

|       |          |
|-------|----------|
| 自动取出机 | 6000 千日圆 |
|-------|----------|

|     |           |
|-----|-----------|
| 修边机 | 12000 千日圆 |
|-----|-----------|

|        |          |
|--------|----------|
| 输送机或台车 | 1500 千日圆 |
|--------|----------|

|     |          |
|-----|----------|
| 嵌入机 | 1500 千日圆 |
|-----|----------|

|      |          |
|------|----------|
| 检验工具 | 1000 千日圆 |
|------|----------|

|    |         |
|----|---------|
| 其他 | 500 千日圆 |
|----|---------|

---

|    |           |
|----|-----------|
| 总计 | 83500 千日圆 |
|----|-----------|

② 成本计算 以日本用 BMC 注射成型法成型印刷机台架为例，见表 7-25。

表 7-25 打印机机壳成本核算

| 项 目   |                | 标 准 值                                                         |       | 贵公司情况 |    |
|-------|----------------|---------------------------------------------------------------|-------|-------|----|
|       |                | 用量                                                            | 金额/日圆 | 用量    | 金额 |
| 原材料   | 材料费            | 500 日圆/kg×2kg/0.99                                            | 1010  |       |    |
| 小计    |                |                                                               | 1010  |       |    |
| 加工费   | 压挤机作业<br>修边、检验 | $\frac{5000 \text{ 日圆} \times 2 \text{ 名}}{18 \text{ 个}}$     | 约 560 |       |    |
| 小计    |                |                                                               | 约 560 |       |    |
| 辅助材料  | 零件费            | 10×10 个                                                       | 100   |       |    |
|       | 包装费            | 400/(2 次×5 个)                                                 | 40    |       |    |
| 小计    |                |                                                               | 140   |       |    |
| 能源费   | 压挤机加热电力        | $\frac{21 \times 27 \text{ kW} \cdot \text{h}}{18 \text{ 个}}$ | 32    |       |    |
| 小计    |                |                                                               | 32    |       |    |
| 折旧费   | 设备             | 额定 8 年                                                        | 82    |       |    |
|       | 模具             | 额定 2 年                                                        | 56    |       |    |
| 小计    |                |                                                               | 138   |       |    |
| 制造成本价 |                |                                                               | 1880  |       |    |
| 一般管理费 |                | 10%                                                           | 188   |       |    |
| 总成本价  |                |                                                               | 2068  |       |    |
| 废品率   |                | 1%                                                            | 21    |       |    |
| 总计    |                |                                                               | 2089  |       |    |

## (10) BMC 成型法的作业管理

- ① 制订各工序的作业标准并公诸于众。
- ② 对各工序要作出每个制品的检查日报并记录保管。
- ③ 各工序的主要检测点如表 7-26。

表 7-26 主要检测点

| 工 序 名 称 |                  | 检 测 点                           |
|---------|------------------|---------------------------------|
| 材料入厂    | 入厂检验             | 等级、外观、工艺性、脱模性                   |
|         | 根据出厂检验报告<br>确认质量 | 凝胶时间、圆盘流动性、螺旋流动性<br>成型收缩率、机械强度等 |
| 成型作业    | 成型条件的确认          | 注射压力、注射速度、保压、保压时间               |
|         | 成型作业中            | 计量精度、固化时间、模具温度等                 |
|         | 外观检验(全检)         | 外观、裂纹、填充性、光泽、气泡等                |
|         | 抽样检查             | 重量、壁厚、尺寸、变形、硬度等                 |
|         | 成型温度的确认          | 如每 2h 测定一次                      |

## (11) BMC 成型法的缺陷及对策

BMC 成型法的缺陷及对策见表 7-27。

表 7-27 BMC 成型法的缺陷及对策

| 现 象  | 推 断 原 因      | 对 策                               |
|------|--------------|-----------------------------------|
| 填充不良 | 没有放气,可能是空气积聚 | 真空成型<br>设计气孔<br>模具上设顶出销等并兼作<br>气孔 |

续表

| 现 象  | 推 断 原 因                                                        | 对 策                                                                                        |
|------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 填充不良 | 模具温度太高,材料尚未充满模腔情况下就凝胶了<br>由于注射速度慢,材料未流动即固化<br>材料供应不足<br>模具间隙太大 | 注射速度减慢<br>降低模具温度<br>提高注射速度<br>检查计量情况<br>改造模具                                               |
| 气泡   | 温度过高,苯乙烯气体挥发<br>固化时间短,内部固化慢<br>模具温度低,固化不良                      | 降低模具温度<br>延长固化时间<br>提高模具温度                                                                 |
| 脱模不良 | 模具表面不好<br>倒锥<br>模具温度低,固化不良<br>制品受热膨胀<br>新模具上有油等                | 研磨修理模具<br>改造模具<br>提高模具温度<br>延长固化时间<br>注意温度差<br>再考虑顶出器装置<br>改用热膨胀系数小的材料<br>把油等完全擦去,充分涂刷外脱模剂 |
| 翘曲   | 因后收缩<br>因纤维配置方向不当                                              | 重新调整冷却过程<br>重新调整产品设计<br>采用冷却夹具<br>重新调整注口位置<br>用注射压缩成型                                      |
| 合流纹  | 因销、孔等使两个以上材料流不融混<br>尖端部的合流纹                                    | 真空成型,设通气口<br>把孔用薄飞边连接<br>注入口位置做大的变动                                                        |

| 现 象  | 推 断 原 因                                        | 对 策                                                                                                             |
|------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 光泽不好 | 固化不充分<br>压力不足<br>模具表面不光<br>温度不均匀               | 提高模具温度<br>延长固化时间<br>提高压力<br>研磨模具<br>改善温度分布情况                                                                    |
| 变色   | 闭模之后集积在模内的空气受压缩,温度升高造成热分解                      | 真空成型,开通气孔<br>降低模具温度<br>注射速度减慢                                                                                   |
| 裂纹   | 顶出部分破损<br><br>纤维流线在合流纹处产生弯曲<br>注射压力太高<br>因收缩开裂 | 增加顶出销数目<br>使顶出销位置合适<br>调整顶出板的动作<br>研磨模具<br>固化时间延长,固化充分、变更注口位置<br>真空成型,开通气孔<br><br>降低注射压力<br>改用低收缩材料<br>参看脱模不良一项 |

#### 7.4.7 拉挤成型

##### (1) 概要

主要采用玻璃纤维无捻粗纱（使用前预先放置在纱架上），它提供纵向（沿生产线行进方向）增强。

其他类型的增强材料有连续原丝毡、织物等，它们补充横向增强，表面毡则用于提高成品表面质量。树脂中可

加入填料，改进型材性能（如阻燃），并降低成本。

拉挤成型的程序如下。

① 使玻璃纤维增强材料浸渍树脂。

② 玻璃纤维预成型后进入加热模具内，进一步浸渍（挤胶）、基体树脂固化、复合材料定型。

③ 将型材按要求长度切断。

现在已有变截面的、长度方向呈弧形的拉挤制品成型技术。

拉挤成型将增强材料浸渍树脂有两种方式。

a. 胶槽浸渍法 通常采用此法，即将增强材料通过树脂槽浸胶，然后进入模具。此法设备便宜，作业性好，适于不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂，见图 7-17。

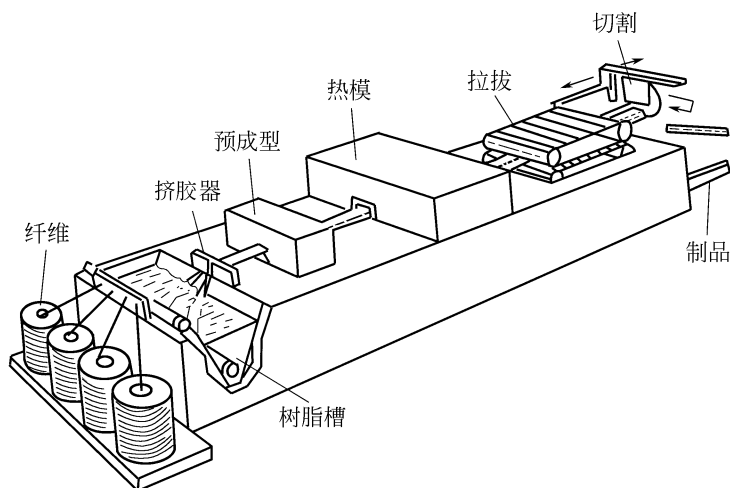


图 7-17 拉挤成型示意图（树脂槽浸渍法）

b. 注入浸渍法（图 7-18） 玻璃纤维增强材料进入模具后，被注入模具内的树脂所浸渍。此法适于凝胶时间短、黏度高、产生附产物的树脂基体，如酚醛、环氧、双马来酰亚胺树脂。

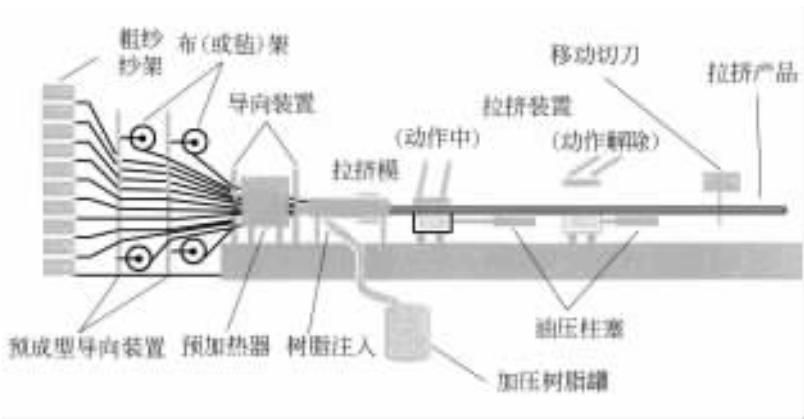


图 7-18 注入浸渍法示意图

（2）原材料

树脂 常用不饱和聚酯树脂、环氧树脂、乙烯基酯树脂、酚醛树脂。

纤维 拉挤用玻璃纤维无捻粗纱、连续毡、缝编毡、缝编复合毡、织物、玻璃纤维表面毡、聚酯纤维表面毡等。拉挤成型制品增强材料构成见图 7-19。

芯材 一般不用，现有以 PU 发泡材料为芯材连续拉挤框型型材，作为保温墙板。

（3）优点

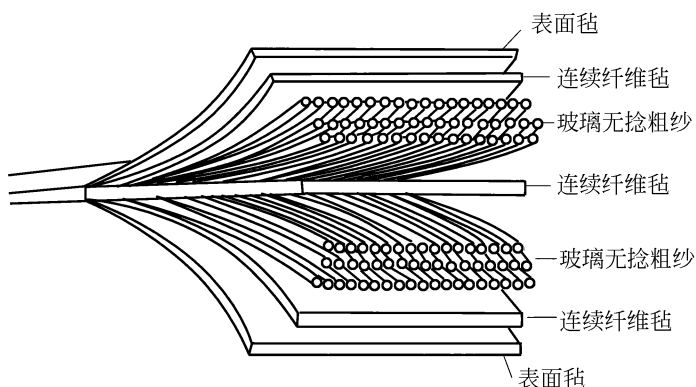


图 7-19 拉挤成型制品增强材料构成图

① 典型拉挤速度  $0.5 \sim 2\text{m/min}$ ，效率较高，适于大批量生产，制造长尺寸制品。

② 树脂含量可精确控制。

③ 由于纤维呈纵向，且体积比可较高（ $40\% \sim 80\%$ ），因而型材轴向结构特性可非常好。

④ 主要用无捻粗纱增强，原材料成本低，多种增强材料组合使用，可调节制品力学性能。

⑤ 制品质量稳定，外观平滑。

⑥ 可制得含有凹槽复杂断面形状的制品。

(4) 缺点

① 模具费用高。

② 一般限于生产恒定横截面的制品。

(5) 典型产品

建筑屋顶横梁檩、椽子、门窗框架型材、墙板、石油

开采抽油杆、帐篷竿、梯子、桥、工具把、手机微波站罩壳、汽车板簧、传动轴、电缆管、光纤光缆芯、钓鱼竿、隔栅、护轨罩。

#### (6) 产品设计标准

① 制品形状 一定断面形状产品，也可以是中空断面制品及多孔断面制品。

② 制品壁厚 0.9~25mm。

③ 壁厚变化 可以在宽度方向。

④ 肋 可以在长度方向。

⑤ 凸起 不可以。

⑥ 强度的方向性 各向异性（轴向高，横向低）。

⑦ 嵌入物成型 可以在长度方向嵌入。

⑧ 拐角  $R$  从零都可以。

⑨ 制品长度 能够运输的范围内可任意长，小断面制品也可卷绕起来。

#### (7) 拉挤成型的生产效率

前提条件

产品对象 工型构件

尺寸、厚度 宽：50mm（厚度 6mm）

高：100mm（厚度 6mm）

玻璃纤维含量 60%（质量）

制品重量 2150g/m

拉挤速度 1m/min（60m/h）

工作时间 20 日/月 (7h/日)

产品合格率 90%

产量

日产量 380m/日 (810kg/日)

月产量 7560m/月 (16250kg/月)

(8) 拉挤成型的经济性

前提条件

① 产品对象 拉挤速度、工作时间 (日工作 7h) 产品合格率如前项。

② 产量 7560m/月 (16250kg/月)。

③ 主要生产人数 玻璃纤维、树脂投放 1 名  
修理、包装 1 名 (合计 2 名)

④ 加工费单价 3000 日圆/人·时

⑤ 生产设备

|       |           |
|-------|-----------|
| 拉挤成型机 | 40000 千日圆 |
|-------|-----------|

|     |          |
|-----|----------|
| 粗纱架 | 1000 千日圆 |
|-----|----------|

|        |          |
|--------|----------|
| 树脂混合装置 | 2000 千日圆 |
|--------|----------|

|      |          |
|------|----------|
| 环境设备 | 4000 千日圆 |
|------|----------|

|       |          |
|-------|----------|
| 后加工装置 | 4000 千日圆 |
|-------|----------|

---

|    |           |
|----|-----------|
| 合计 | 51000 千日圆 |
|----|-----------|

|          |          |
|----------|----------|
| 模具 (I 型) | 3000 千日圆 |
|----------|----------|

成本计算 (I 型材料: 日圆/m) 见表 7-28。

表 7-28 成本计算

| 项 目       | 标 准 值                                       |       | 贵公司情况 |    |
|-----------|---------------------------------------------|-------|-------|----|
|           | 使用量                                         | 金额/日圆 | 使用量   | 金额 |
| (原材料)     |                                             |       |       |    |
| 粗纱        | 300 日圆/kg $\times$ 0.8136kg                 | 244   |       |    |
| 连续毡       | 500 日圆/kg $\times$ 0.5424kg                 | 271   |       |    |
| 低收缩聚酯树脂   | 400 日圆/kg $\times$ 0.7350kg                 | 294   |       |    |
| 固化剂       | 2000 日圆/kg $\times$ 0.0147kg                | 30    |       |    |
| 内脱模剂      | 2000 日圆/kg $\times$ 0.0074kg                | 15    |       |    |
| 碳酸钙       | 70 日圆/kg $\times$ 0.1470kg                  | 约 11  |       |    |
| 小计        |                                             | 约 865 |       |    |
| 成型加工费     | 3000 日圆/人 $\cdot$ h<br>0.0423 人 $\cdot$ h/m | 127   |       |    |
| 能源费       | 20 日圆/kW $\cdot$ h<br>0.556kW $\cdot$ h/m   | 11    |       |    |
| 折旧费       | 按 8 年折旧                                     | 100   |       |    |
| 成型加工设备、模具 | 按 30000m 折旧                                 | 135   |       |    |
| 小计        |                                             | 373   |       |    |
| 制造成本      |                                             | 1238  |       |    |
| 一般管理费     | 10%                                         | 124   |       |    |
| 总成本       | 日圆/m                                        | 1362  |       |    |

### (9) 拉挤成型法的作业管理

各工序主要检测点如下。

#### ① 材料管理

a. 浸渍用树脂的组成、黏度。

- b. 粗纱根数的确认。
- c. 连续毡的牌号和使用件数的确认。

### ② 成型工序

- a. 模具温度。
- b. 拉挤速度。
- c. 切断长度。
- d. 制品外观：气孔、裂纹、表面光泽和白斑。

### ③ 制品检验

- a. 尺寸、重量的测定。
- b. 各部位厚度的测定。
- c. 外观目测检验：表面有无缺陷、变形程度。
- d. 性能测试：机械强度、玻璃纤维含量、硬度等的测定。
- e. 拉挤成型法的缺陷及对策见表 7-29。

表 7-29 主要缺陷及对策

| 缺 陷 | 原 因                          | 对 策                                                   |
|-----|------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 气泡  | 因固化不良, 苯乙烯气体等被封闭起来           | 降低拉挤速度<br>升高模具温度<br>增加固化剂添加量                          |
| 裂纹  | 树脂反应活性高<br>固化收缩大及玻<br>璃纤维不均等 | 减少固化剂用量<br>降低模具温度<br>改用低收缩树脂<br>提高玻璃纤维用量<br>使玻璃纤维分布均匀 |

续表

| 缺 陷      | 原 因                                       | 对 策                                       |
|----------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 露丝       | 树脂收缩率大<br>表面层所使用的<br>玻璃纤维基材质量不<br>好,纤维直径大 | 更换低收缩树脂<br>混入填料<br>表面层采用表面毡或无纺布<br>提高模具温度 |
| 表面<br>凹坑 | 树脂用量不足<br>玻璃纤维用量不足                        | 增加纤维粘附树脂量<br>提高树脂黏度<br>提高玻璃纤维用量           |
| 弯曲       | 玻璃纤维构成的<br>配置不均                           | 根据变形情况调整,使玻璃纤维对称<br>布置<br>调整模具温度          |

## 7.4.8 连续板材成型

### (1) 概要

载体薄膜沿生产线方向移动,树脂自上而下落到薄膜上,并用刮刀控制树脂厚度。

用对滚式切割器将玻璃纤维短切成 25~50mm 长,并使之随机均匀散布于树脂上。

在树脂、玻璃纤维上覆盖载体薄膜形成“夹心带”,移动中用压辊进行浸渍、驱除气泡,进入成型区(固化室内)。

在固化室内用成型模板(或辊)成型所需波形或平板。同时调节厚度,使板材固化。

出固化室后，剥离薄膜（亦可保留），切除两侧毛边，横切所需长度。见图 7-20。

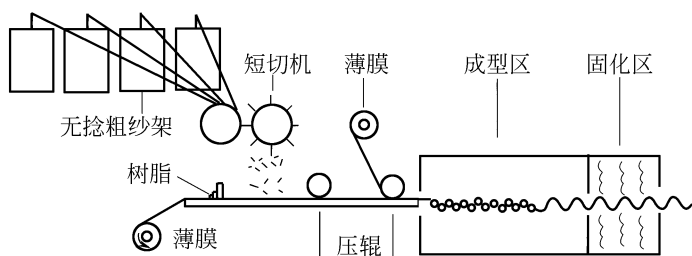


图 7-20 连续板材生产示意图

生产线速度  $5\sim 15\text{m/min}$ ，目前板材宽度可达  $3\text{m}$ 。

## （2）原材料

**树脂** 不饱和聚酯树脂、丙烯酸树脂、酚醛树脂等热固性树脂。

**纤维** 玻璃纤维无捻粗纱或短切原丝毡、连续原丝毡、织物。

**芯材** 不用。

## （3）优点

① 生产效率高。

② 更换成型模板（或辊）可生产不同形状规格的板材。

③ 表面可呈不同颜色，可作太阳能、彩条、高透光等多种功能的板材。

④ 改变树脂配方或采用表面覆以聚四氟乙烯薄膜等

方法，可生产高耐候性的板材。

(4) 缺点

① 玻璃纤维含量有限，故板材力学性能亦受限制。

② 不适合少量生产。

(5) 典型产品

阻燃板材、透明板材、太阳能板材、采光板材、耐候板材、彩条板材。

### 7.4.9 RIM

(1) 概要

反应注射成型 (Reaction Injection Molding) 简称为 RIM。

将两种或两种以上的组分在混合区低压 ( $0.5\text{MPa}$ ) 混合后，即在低压 ( $0.5\sim 1.5\text{MPa}$ ) 下注射到闭模中反应成型，见图 7-21。若组分一为多元醇，一为异氰酸酯，则反应生成聚氨酯。为增加强度，可直接在一种组分内先加入磨碎玻璃纤维原丝和 (或) 填料。亦可采用长纤维 (如连续纤维毡、织物、复合毡、短切原丝等的预成型物等) 增强，在注射前，将长纤维增强材料预先置入模具内。用此法可得到高力学性能的制品。这种工艺称为 SRIM (Structural Reaction Injection Molding —— 结构反应注射成型)。

(2) 原材料

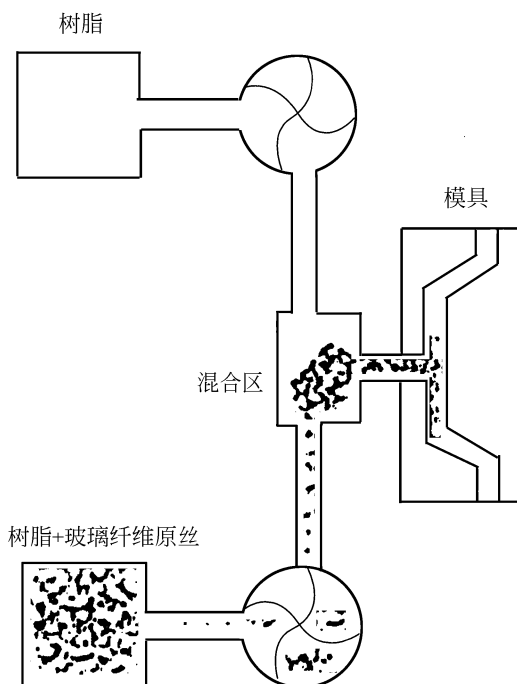


图 7-21 RIM 示意图

**树脂** 常用聚氨酯体系或聚氨酯/脲混合体系，亦可采用环氧、尼龙、聚酯等基体。

**纤维** 常用长 0.2~0.4mm 的磨碎玻璃纤维。

**芯材** 不用。

### (3) 优点

- ① 制造成本比热塑性塑料注射工艺低。
- ② 可制造大尺寸、形状复杂的产品。
- ③ 固化快，适于快速生产。

#### (4) 缺点

采用磨碎玻璃纤维增强原料费高，建议用矿物复合填料取代之。

#### (5) 主要产品

汽车仪表盘、保险杠、建筑门、窗、桌、沙发、电绝缘件。

### 7.4.10 真空袋法成型

#### (1) 概要

此法是手糊法与喷射法的延伸。将手糊或喷射好的积层品在树脂还处于 A 阶段时放入模具，在积层上覆以橡胶袋，周边密封，然后用真空泵抽真空，积层从而受到不大于  $101325\text{Pa}$  的压力而被压实、成型。见图 7-22。

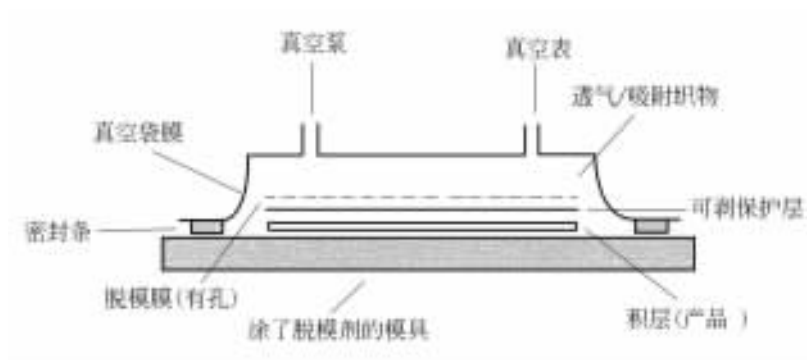


图 7-22 真空袋法示意图

#### (2) 原材料

树脂 主要采用环氧树脂、酚醛树脂。不饱和聚酯树

脂与乙烯基酯树脂则因真空泵将树脂中的苯乙烯（交联剂）过度抽出，可能会造成问题，故一般不用。

纤维 同手糊法。

芯材 任意。

### （3）优点

① 采用普通的湿法铺层技术，通常可获得高纤维含量的制品。

② 可制造大尺寸产品。

③ 产品两面光。

④ 较湿法铺层浸胶孔隙率低。

⑤ 由于压力，树脂流经结构纤维，树脂能较好地浸渍纤维。

⑥ 有利于操作人员健康和安全：真空袋减少了固化时逸出的挥发性物质。

### （4）缺点

① 额外的工艺过程增加了劳动力和袋材成本。

② 要求操作人员有较高的技术熟练水平。

③ 树脂混合和含量控制基本上仍然取决于操作人员的技术。

④ 生产效率不高。

### （5）典型产品

艇、赛车、夹芯制品、飞机鼻锥雷达罩、机翼、方向舵。

## 7.4.11 离心成型

### (1) 概要

增强材料一般是玻璃纤维无捻粗纱。在工艺过程中，将玻璃纤维无捻粗纱短切落在高速旋转的模具内腔。送料装置进入模具内，同时沿模具轴向移动，使原料（纤维、树脂）沿制品轴向分布。对于直径较小的产品，增强材料则为玻璃纤维织物、毡或复合毡。在离心力的作用下，树脂浸渍增强材料，聚合反应，固化后形成圆筒形结构的产品。材料置入模内后，模具转速增加直到达到要求，见图7-23。转速取决于几个因素：增强材料量及其性质；制品壁厚、直径；树脂黏度。

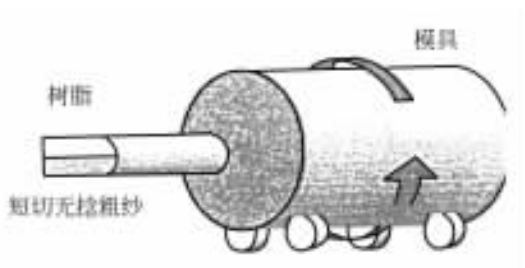


图 7-23 离心成型示意图

### (2) 原材料

树脂 多用不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂。

纤维 聚酯纤维表面毡、缝编毡、织物等。

芯材 不用。

### (3) 优点

① 回转成型设备较简单、投资少。

② 制品致密，外表面光洁。

③ 生产效率高于缠绕。

④ 脱模容易。

⑤ 作业环境好。

(4) 缺点

① 模具费用高，长模具加工难度大。

② 产品长度受限制，大口径玻璃钢管长仅 6m，而缠绕玻璃钢管为 12m。

③ 离心法生产的玻璃钢管道工作压力较低，不可能制造高、中压管。

(5) 典型产品

管道、锥形灯杆、贮罐圆柱段壳体。

#### 7.4.12 树脂膜熔浸成型

(1) 概要

将干织物与半固体树脂片（树脂片系放在一层脱模纸上）交替铺放在模具内铺层并被真空袋包覆，借真空泵抽真空，将干织物内空气抽出。然后加热，令树脂熔化并流浸已抽出空气的织物，然后经过一定时间即固化。见图 7-24。

(2) 原材料

树脂 一般仅用环氧树脂。

纤维 任意。

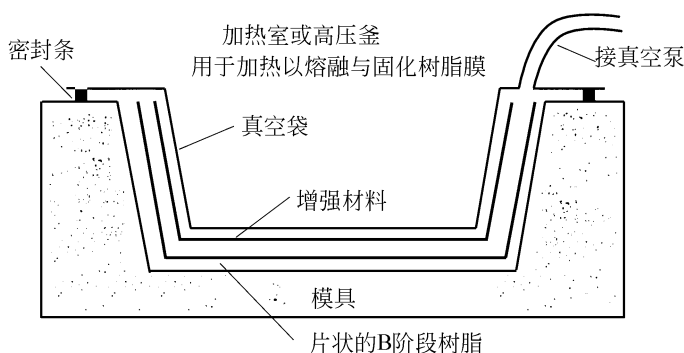


图 7-24 树脂膜熔浸成型示意图

**芯材** 许多种类芯材都可用，由于工艺过程中温度高，对 PVC 泡沫需要专门处置，以免泡沫损坏。

### (3) 优点

- ① 孔隙率低，可精确获得高的纤维含量。
- ② 铺层清洁，有利健康和安全（似预浸）。
- ③ 可较预浸法成本低，此为其主要优点。

④ 由于树脂仅通过织物厚度方向传递，故树脂未浸到的白斑区可较 SCRIMP 法（西曼复合材料公司树脂渗入成型法——Seeman Composite Resin Infusion Molding Process）少。

### (4) 缺点

- ① 目前仅用于宇航工业，还未推广。
- ② 虽然宇航工业用高压釜系统，并非总是需要，但加热室和真空袋系统对于复合材料固化总是不可少的。

③ 模具要求能经受树脂膜片的工艺温度（低温固化也需  $60\sim 100^{\circ}\text{C}$ ）。

④ 要求所用芯材能经受工艺温度和压力。

(5) 典型产品

飞机雷达罩、潜艇声呐整流罩。

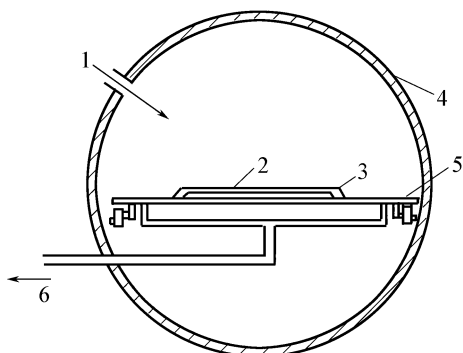
#### 7.4.13 预浸料（高压釜）成型

##### (1) 概要

预先在加热、加压或使用溶剂的条件下，将织物和（或）纤维先用预催化树脂预浸渍。固化剂大多能在环境温度下让预浸材料贮存几周或几个月，仍能保质使用。但要延长保持期，材料需在冷冻条件下贮存。树脂通常在环境温度下呈临界固态。故触摸预浸材料时有轻微的黏附感，像胶带似的。制作单向预浸渍材料的纤维直接由纱架下来，与树脂结合。预浸渍材料用手或机械铺于模具表面，通过真空袋抽真空，并通常加热到  $120\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。使树脂重新流动，并最终固化。成型附加压力通常借助高压釜（实际上是一座压力加热罐）提供，它能对铺层施加达  $5\times 10^5\text{Pa}$  的压力。见图 7-25。

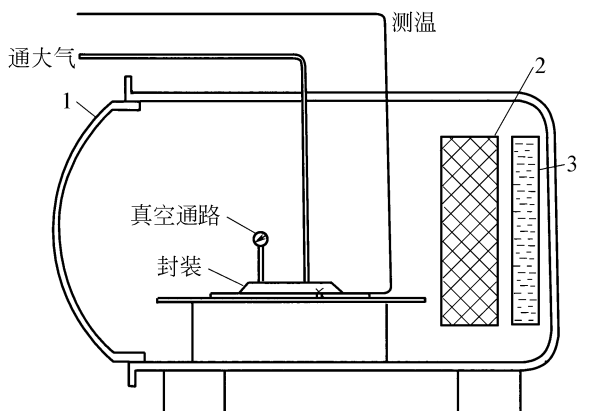
##### (2) 原材料

树脂 通常用环氧树脂、不饱和聚酯树脂、酚醛树脂及耐高温树脂，如聚酰亚胺、氰酸酯、双马来酰亚胺树脂等。



(a) 热压罐系统

1—压缩气体；2—零件；3—真空袋；  
4—热压罐；5—模板；6—抽真空



(b) 热压罐外形轮廓

1—门；2—风扇；3—热源

图 7-25 预浸料高压釜法示意图

纤维 任意。直接从纱架退绕下的纤维，或任何类型的织物。

芯材 任意。由于在工艺过程中，高温会对芯材有些影响，需要采用某些专门的泡沫芯材。

### (3) 优点

① 预浸材料制造人员可精确地调整树脂/固化剂水平和树脂在纤维中的含量；能可靠地得到高纤维含量。

② 材料对于操作人员十分安全，无碍健康，操作清洁。

③ 单向带纤维成本最低，因为毋须将纤维预先转换为织物的二次加工过程。

④ 由于制造过程采用可渗透的高黏度树脂，树脂化学性能、力学和热性能可以是最适宜的。

⑤ 材料储存期长（室温下可保质数月），这意味着可优化结构、复合材料易铺层。

⑥ 可能实现自动化和节省劳动力。

### (4) 缺点

① 对于预浸织物，材料成本高。

② 通常要用高压釜固化复合材料制品，耗费大，作业慢，制品尺寸受限制。

③ 模具需能承受作业温度。

④ 芯材需要能承受作业温度与压力。

### (5) 典型产品

飞机复合材料结构件（如机翼和尾翼）、卫星与运载火箭结构件（太阳能电池基板、夹层结构板、卫星接口支架、火箭整流罩等）、赛车、运动器材（如网球拍、滑雪板）。

#### 7.4.14 低温固化预浸料成型

##### （1）概要

低温固化预浸料安全按通常的预浸料的方法制备，但树脂要能在  $60 \sim 100^{\circ}\text{C}$  温度下固化。其成型示意图 7-26。在  $60^{\circ}\text{C}$  时，材料可操作，保质期可小到限于 1 个星期，但亦可延长到几个月。树脂系统的流动适于采用真空袋压力，避免采用高压釜。

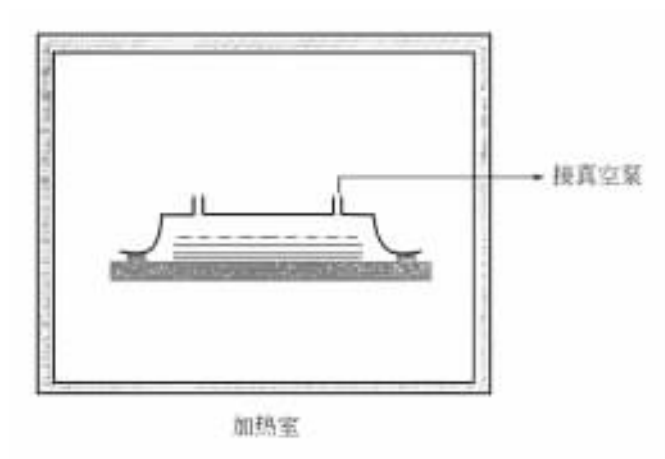


图 7-26 低温固化预浸料成型示意图

##### （2）材料

树脂 一般仅采用环氧树脂。

纤维 任意，同通常的预浸料。

芯材 任意，一般的 PVC 泡沫需要特别注意。

### (3) 优点

① 具有传统预浸料法所具备的①～⑥条优点。

② 模具材料较便宜，因其固化温度较低，木材亦可用。

③ 可容易地制造大型结构。因为仅需真空袋压力，固化温度低，可采用简单的热空气循环加热室（经常就地建造大于制品的加热室）。

④ 可采用普通的 PVC 泡沫芯材，略做处理即可。

⑤ 能耗低。

### (4) 缺点

① 材料成本仍高于非预浸织物。

② 需加热室和真空袋系统固化制品。

③ 模具需能经受高于环境温度的温度(常用60～100℃)。

④ 仍有能耗，因需高于环境温度固化。

### (5) 典型产品

高性能风力发电机叶片、赛艇、救生艇、火车用零部件。

## 7.4.15 SCRIMP, RIFT, VARTM

### (1) 概要

SCRIMP (Seeman Composite Resin Infusion Molding Process ——西曼复合材料公司树脂渗透成型法)，RIFT

(Resin Infusion under Flexible Tooling —— 柔性模具树脂渗透法), VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding —— 真空辅助树脂传递成型) 这三种工艺原理相似。见图 7-27。

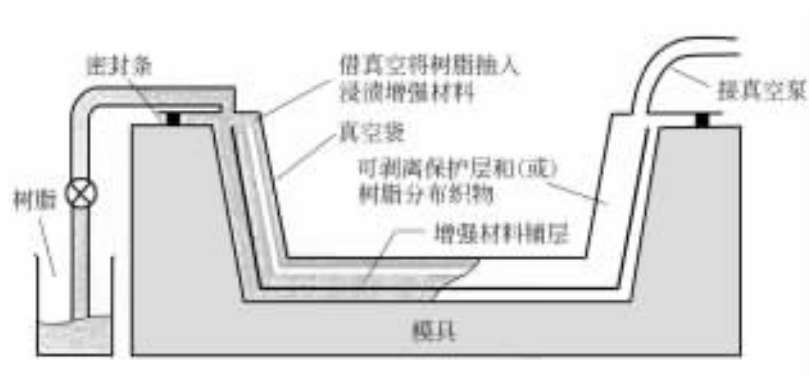


图 7-27 SCRIMP, RIFT, VARTM 示意图

将织物作为干铺层材料铺入模内，如同 RTM。然后覆以剥离保护层和缝编非结构织物。整个铺层用真空袋覆盖好。袋无渗漏后让树脂流到积层。树脂很容易流经非结构织物而在整个铺层分布。

SCRIMP 法在真空袋与铺层之间可置加压模块，利于提高制件外观与结构密实度。

## (2) 材料

**树脂** 常用环氧树脂、不饱和聚酯树脂和乙烯基酯树脂。

**纤维** 任意种类普通织物。这些工艺方法缝编材料很好用，因其间隙使树脂快速流动。

芯材 除蜂窝外，各种芯材均可用。

### (3) 优点

① 同 RTM，但制品仅一面光，不似 RTM 两面光。

② 由于模具一半是真空袋，主模具仅需较低强度，故模具成本甚低。

③ 可制造大尺寸产品。

④ 通常的湿法铺层工具可经改进用于该成型方法。

⑤ 一次作业即可生产芯材结构。

### (4) 缺点

① 要完成好相对复杂的操作过程。

② 树脂黏度必须非常低，限制了制品的力学性能。

③ 铺层未浸到树脂而造成的废品，浪费甚大。

④ SCRIMP 的一些工艺要素已被专利所限。

### (5) 典型产品

小艇半成品、列车和卡车车身面板。

## 7.4.16 GMT 冲压

### (1) 概要

玻璃纤维毡增强热塑性塑料 (Glass Mat Reinforced Thermoplastics) 简称为 GMT。

与热固性 SMC 相似，是片状的热塑性玻璃纤维复合材料的半成品，制造方法有热层合法与分散纤维复合法两种。

① 热层合法（熔融浸渍法） 将三层热塑性塑料（常用 PP、PE、PA、PC、PBT、PET、PVC 等）交替叠入两层玻璃纤维原丝针刺毡，毡材间以挤出机挤出的热塑性塑料熔融体浸渍粘结。在热层合区加压，熔融浸渍温度达  $410^{\circ}\text{C}$ ，压力达  $5.0 \times 10^6 \text{ Pa}$ ，使五片材复合成 GMT。见图 7-28。

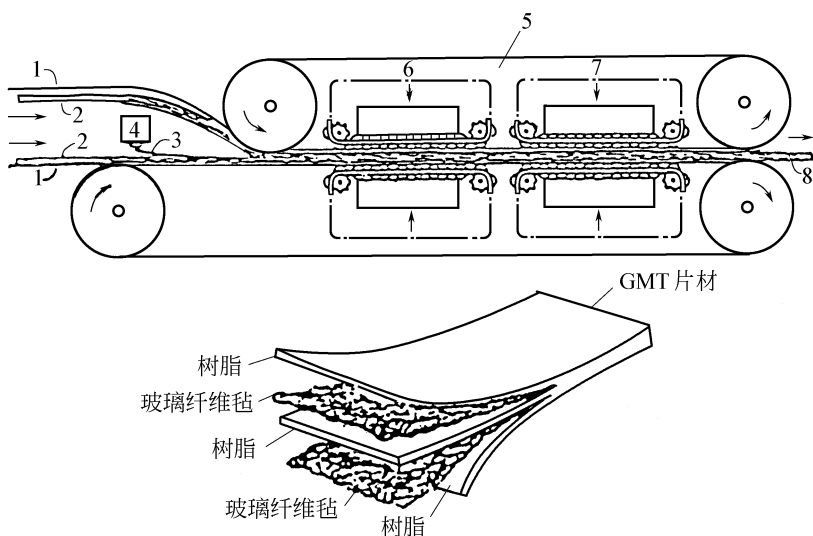


图 7-28 热层合法 GMT

- 1—热塑性树脂薄片；2—纤维毡；3—热塑性树脂挤出物；  
4—挤出机；5—双重带积层机；6—热积层区域；  
7—冷却区；8—片材成品

此法以美国 PPG 公司 Azbel 为代表，其玻璃纤维一般含量为 20%~45%（重量比）。

② 分散纤维复合法（亦称造纸法、悬浮浸渍法） 上法系以毡材增强，故冲压成型时流动性差，纤维难填入形状复杂的制品的端部。此法似造纸工艺。将 6~25mm 长的短切玻璃纤维原丝与热塑性塑料粉、乳胶、絮凝剂等在水中搅匀，原材料呈悬浮状，落在输送网带上，滤去水分；加热加压后即成 GMT。见图 7-29。玻璃纤维重量比 20%~70%。此法以英国 Wiggins Toape 公司的产品为代表，但力学性能不如上法。

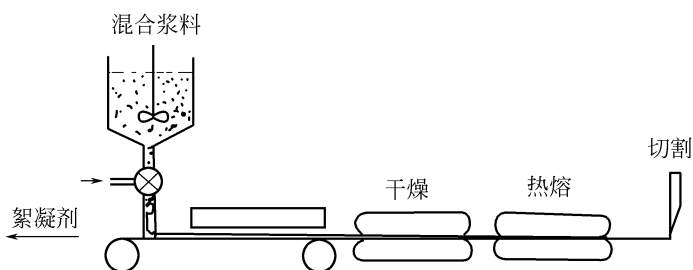


图 7-29 分散纤维复合法 GMT

GMT 冲压成型系先将 GMT 片材根据制品尺寸切裁，将其在比热塑性基体熔点高 20℃ 的温度下预热。冲压成型压力一般为 10~20MPa，加压速度 30~100mm/s，模具温度一般为室温或 60~80℃，冷却已成型了的 GMT 制品。GMT 冲压成型设备见图 7-30。成型周期一般为 30~60s。

## (2) 原材料

树脂 热塑性树脂 PP、PA、PE、PET、PBT、PVC 等。

纤维 连续玻璃纤维原丝针刺毡（玻璃纤维长度

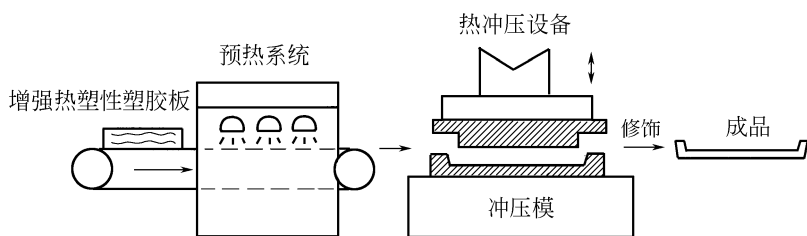


图 7-30 GMT 冲压成型装备

50mm，单丝直径  $23\mu\text{m}$ )；单丝直径  $10\mu\text{m}$ 、长度 5 ~ 10mm 的短切玻璃纤维原丝。

芯材 不用。

### (3) 优点

- ① 产品吸收冲击能量的性能佳。
- ② 宜制大型产品。
- ③ 生产效率高，适于大批量生产。
- ④ 制程不损伤纤维，材料强度高。
- ⑤ 根据制品性能要求，可选择基体树脂、纤维品种、纤维排列方向、填料等。

⑥ 产品品质稳定、易控制。

⑦ 易实现自动化，再现性高。

⑧ 耐化学性、耐水性、气密性优于热固性玻璃钢。

⑨ 较易回收循环利用。

### (4) 缺点

① 模具、预热设备、卸料装置设备费用较高。

② 不宜生产形状复杂的制品。

## (5) 典型产品

汽车前端部件（可含前灯、风机与散热器座、发动机罩搭和保险杠固定件）、保险杠、发动机隔噪罩、仪表板托架、发动机油底壳、踏板、门、座椅、挡泥板等。集装箱覆面、货盘、化工容器、衬里等。

### 7.4.17 TWINTEX 直接复合材料成型

#### (1) 概要

TWINTEX 是法国 Vetrotex 公司开发的玻璃纤维与热塑性塑料纤维直接复合的纤维，见图 7-31，商品有无捻粗纱、方格布、片材、粒料四种形态。依热塑性塑料品种与玻璃纤维比例的不同而开发出系列产品。采用 TWINTEX 生产玻璃纤维复合材料制品方法如下。

#### ① 热-冷模依次低压成型。

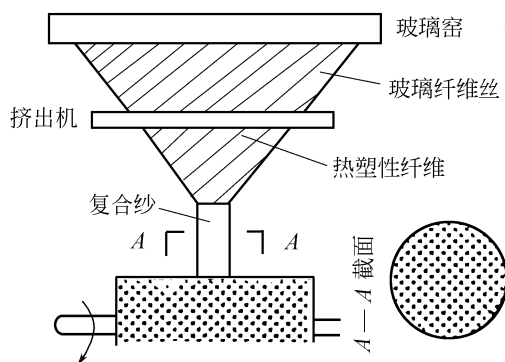


图 7-31 TWINTEX 纤维制造示意图

② 热冲压成型。

③ RTM。

④ 注射（或挤出）模压成型。

⑤ 拉挤。

⑥ 纤维缠绕。成型时加热温度需高于热塑性塑料熔点，以消除结晶点，利于成型。

TWINTeX 被称为“革命性的热塑性复合材料”。

## （2）原材料

纤维 玻璃纤维、热塑性塑料如 PP、PET、PA 等的纤维。

## （3）优点

① 因拉丝过程中玻璃纤维即与热塑性塑料复合，成型过程是“浸渍自身”，用其为原料制造产品的质量均匀性、力学性能、经济性会优于 GMT。

② 成型时纯系物理过程，无化学反应，清洁环保。

③ 成型生产效率高。

④ 制品冲击韧性、耐化学性、耐水性、工作温度优于一般热固性树脂基玻璃纤维复合材料制品。

⑤ 可回收，循环利用。

## （4）缺点

控制复合纤维技术有一定难度。制品阻燃性差。

## （5）典型产品

GMT 可作的产品、拉挤型材、缠绕制品。

## 7.4.18 热塑性塑料复合注射成型

### (1) 概要

制造玻璃纤维增强热塑性塑料粒料的配料过程本质上与非增强的或加有填料的热塑性塑料相同。通常采用双螺杆挤出机，它生产能力较高，且混合充分。短切原丝通过距双螺杆挤出机较远的给料器柔化（melt），以便复合材料中保留玻璃纤维长度最长。与非增强的或加有填料的热塑性塑料的主要区别是，螺杆的处理限制了对玻璃纤维的磨损。螺杆形状适于玻璃纤维热塑性塑料的配料，短切原丝加入后的混合力方面尤具特色。机筒温度超过非增强热塑性塑料配料时的机筒温度  $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，此乃较高的熔体黏度之故。玻璃纤维增强粒料注射成型工艺与非增强的或加填料的热塑性塑料相仿。见图 7-32。

### (2) 原材料

纤维 玻璃纤维短切原丝、玻璃纤维无捻粗纱。

树脂 PP、PA、PS、PC、PPO、PBT、PET、PE、PPS 等。

### (3) 优点

- ① 生产效率高，适于大批量生产。
- ② 产品重复性好。
- ③ 可生产形状复杂、精细的小产品。
- ④ 劳务成本低。

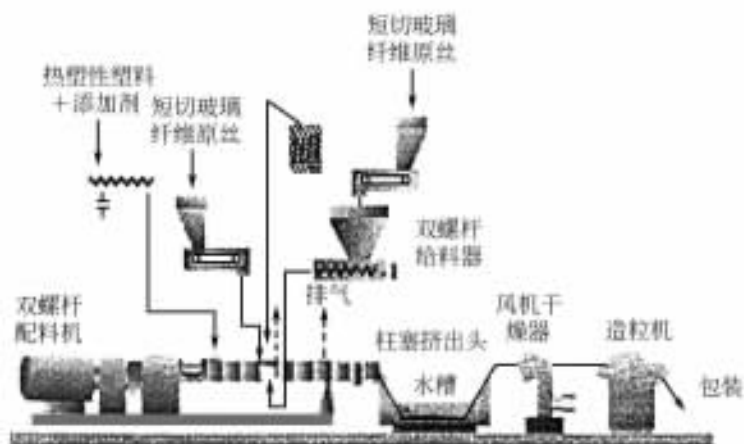


图 7-32 热塑性塑料复合注射成型示意图

#### (4) 缺点

① 不宜作大产品。

② 模具费高。

#### (5) 典型产品

齿轮、轴承、电器、电动工具壳体与把手、洗衣机与洗碗机桶、风扇叶片。

### 7.4.19 长纤维增强热塑性塑料挤出-模压成型

#### (1) 概要

挤出/模压成型采用挤出机将玻璃纤维原丝和热塑性塑料料粒转换为热的团状塑料。料迅速送到压机处模压成型，冷却后脱模。见图 7-33。

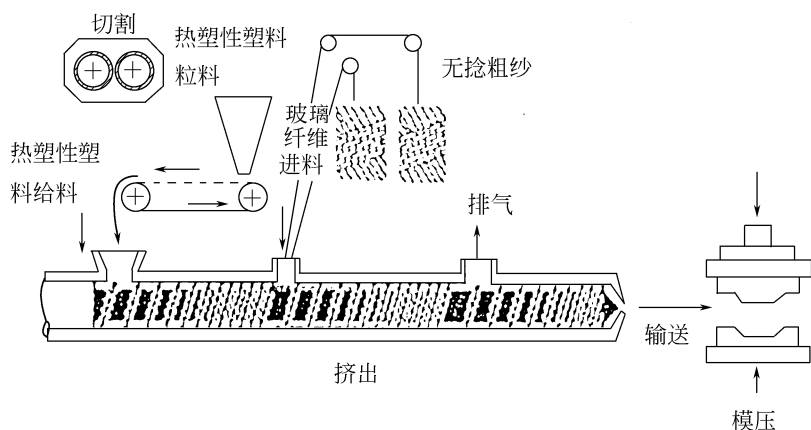


图 7-33 长纤维增强热塑性塑料挤出-模压成型示意图

此法可采用无捻粗纱或短切原丝，也可以采用长纤维与热塑性塑料复合的粒料。

## (2) 原料

纤维 玻璃纤维无捻粗纱、短切原丝。

树脂 PP、PA、PBT、PET 等。

## (3) 优点

- ① 生产效率高，适于大批量生产。
- ② 产品重复性好。
- ③ 可制作较复杂的大产品。
- ④ 制品强度较短纤维增强与热塑性塑料高。
- ⑤ 劳务成本低。

## (4) 缺点

模具与相应设备费高。

### (5) 典型产品

汽车、电子、电器、家电、机械工业等领域尺寸较大的玻璃纤维增强热塑性塑料制品。

## 7.4.20 真空辅助树脂注射法 (VARI 法)

### (1) 成型法概要

VARI 法是 Vacuum Assisted Resin Injection 的缩写, 又叫 RIV 法。正如名字一样, 是在树脂浸渍及脱泡时利用真空辅助吸引的成型方法。基本成型工艺与树脂注入法 (RI 法) 相同。见图 7-34。

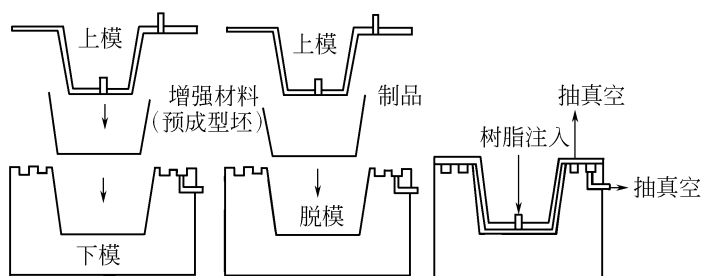


图 7-34 VARI 法成型示意图

它是在阴阳一对模具之间置放增强材料，合模后，边抽真空边注入树脂的成型方法。要采用流动性好、低黏度类型的树脂。作为增强材料要从采用片状材料且同模具相一致、利用率高这点出发，使用与制品形状相同、预制的预塑坯料。另外，还能将三合板、发泡材料等夹芯材料一体成型。

## (2) 真空辅助树脂注射成型法的特点

VARI 法同树脂注射成型法 (RI/RTM 法) 比较, 有如下特点。

① 模具结构 RI 法模具要求高刚度, 而 VARI 法, 下模可以是同手糊法相同的模具结构, 但在合模及吸引时必须有不变形的刚度, 上模为 FRP 薄板结构 (厚 5mm 左右) 的弹性模, 注入口设在模中央, 从法兰部位进行吸引。模具费虽便宜, 但模具寿命通常为可制造 200~300 个产品。

② 树脂 适宜采用流动性好、低黏度 ( $0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$  左右) 的树脂。

③ 增强材料 采用同 RI 法相同的材料。玻璃纤维方面, 采用短切纤维毡及连续原丝毡那样的片材及预成型片材。

④ 制品厚度 RI 法由阴阳模的间隙决定, 而 VARI 法则由模具刚性同增强材料的反作用力和大气层之间的平衡来决定。

## (3) 成型程序

① 对上、下模进行脱模剂处理。其成型模具见图 7-35。

② 刷胶衣并使其固化。

③ 把增强材料 (玻璃纤维等)、嵌入材料 (三合板、发泡材料等) 定位。

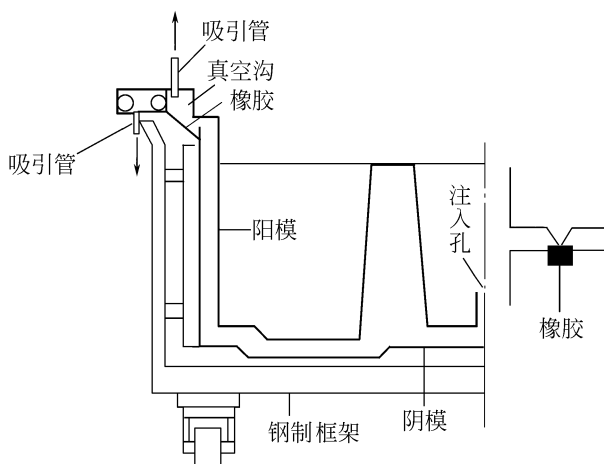


图 7-35 VARI 法模具结构和截坯口

- ④ 装好上模。
- ⑤ 闭模。
- ⑥ 在低压下注入树脂，同时以真空抽吸（浸渍、脱泡）。
- ⑦ 树脂凝胶后停止抽真空。
- ⑧ 树脂固化后，卸掉上模取出产品。

#### 7.4.21 冷模压成型法

##### （1）成型法概要

冷模压法是把保温性很好的一对阴阳模安装在压机上，在低压且近似常温状态下利用树脂固化放热的温度成型的压缩成型法。见图 7-36、图 7-37。在采用压机这一点同预成型坯 MMD 法相类似，但由于常温低压成型，所

以需要成型时间长，而且由于低压成型，如果是同一吨位的压机冷模压法可以成型更大的产品。

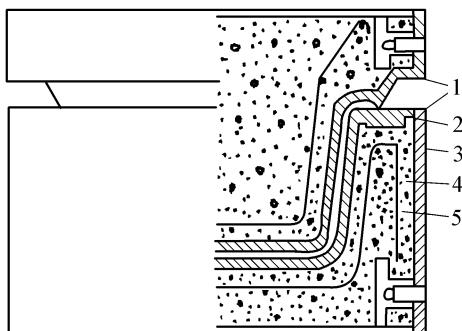


图 7-36 冷模压法用模具结构

1—表面层；2—低弹性体（截坯口）；3—补强层（FRP 固定层）；4—刚性体（混凝土）；5—钢筋

## （2）冷模压法成型的特点

① 面向中等产量的制品，其大小为手糊法的中到大型制品，也就是说它可以生产对模模压不能生产的大型制品。冷却塔、净化槽等就是成型的例子。

② 同手糊法相比，作业环境好，还可以得到两面光滑的制品且不需要熟练的技能。

③ 由于成型压力低（ $0.1 \sim 0.3 \text{MPa}$ ），压机等设备与其他成型机械相比价格低。

④ 同其他机械成型相比，可得到近似手糊法产品的机械性能。

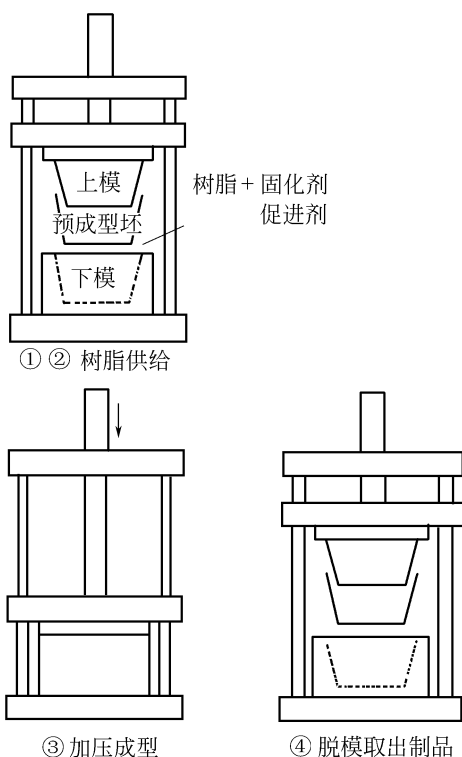


图 7-37 冷模压法成型示意图

### (3) 成型工序

- ① 把保温性好的阴、阳一对模具固定在压机上。
- ② 在开着的模内放入增强材料（玻璃纤维等）和预先加有固化剂的树脂。
- ③ 慢慢合模的同时，在常温至中温（ $20\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）下加压成型。加压时间因产品壁厚、模具种类不同而不同，一般在  $5\sim 20$  分钟。

④ 放置到能够脱模的固化程度之后，启模并取出制品。

#### 7.4.22 FRTP 成型法

FRTP 是把热塑性树脂和玻璃纤维、碳纤维、聚酰胺纤维等复合而成的复合材料。通常是把这些材料混合后的混合物熔融、混炼做成粒料，采用注射模塑成型。还有的用长纤维做成片状成型材料，用压机成型的模压料片。

前者是用纤维增强材料赋予各种树脂耐热性、尺寸稳定性、冲击强度或导电性等提高性能为目的，后者与 FRP 一样是以制造大型制品为目的，重视纤维排列方向及含量等的影响问题。

所使用的热塑性树脂是多种多样的，如 AS、ABS、PA、PBT、PC、PET、POM、PPS 等及高性能工程树脂，根据其不同特性而被利用。

##### (1) 模压料片

近来最具实用性的模压料片是以聚苯乙烯为基体，玻璃纤维为增强材料的片材，采用 PA、SAN、PBT、PPS、PPO 等的 FRTP 也有出售。

模压料片的成型要点见表 7-30。

① 模压料片成型注意事项 通常采用聚丙烯的模压料片，成型材料的特征是补强材料采用卷曲的涡旋状蓬松的基材。用预加热使坯料膨润，装入金属模内，用压机赋

表 7-30 模压料片成型法概要

|              |                                                                                                                                                                           |    |                                                                                                          |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 概<br>要       | <p>在比树脂熔融点高出 <math>20^{\circ}\text{C}</math> 条件下预加热。受热的片材高速合模,高压成型</p> <p>成型压力一般为 <math>981 \sim 1961\text{Pa}</math>,模具保温 <math>60 \sim 80^{\circ}\text{C}</math>,冷却</p> | 优点 | <p>用这一工艺可得到复杂形状的制品,生产效率高</p> <p>可成型大型制品</p> <p>由于不损伤玻璃纤维,材料强度高</p> <p>根据性能要求,可选择树脂,增强纤维种类、纤维排列方向、填料等</p> |
| 成型<br>装<br>备 | <p>成型用模具</p> <p>坯料剪裁装置</p> <p>预热装置</p> <p>成型用压机</p>                                                                                                                       | 缺点 | <p>材料成品率低</p> <p>成型条件设定困难</p> <p>制品形状稍有限制</p> <p>模具、预热装置、卸料装置等设备费贵</p>                                   |

予形状并把熔融的树脂充分浸渍在纤维上,在模具内冷却固化。因此在成型的各工序中,温度控制和压机的成型周期的设定最为重要。

采用特殊增强材料(单向合股粗纱、碳纤维布等)的模压料片。使用耐高温的工程树脂,用高纤维含量(代替金属材料为目的的材料),被认为是一种预浸渍的压缩成型材料。

## ② 成型工序

a. 模具采用具有部分凸缘的金属对模,其边缘要求高精度。坯料尺寸设计成能装进模具的尺寸,积层层数由制品重量决定。

b. 无论哪种坯料都要温度均匀而且使表面和内部温差要小。

c. 为使玻璃纤维同树脂一起充分流动，加压速度要快，成型后在原压力下冷却一定时间。

d. 因所使用树脂的种类不同，成型条件也不同，所以需通过试制设计出最佳作业标准。见表 7-31。

表 7-31 模压料片成型条件

| 基体树脂        | PP         | PPS         |
|-------------|------------|-------------|
| 预热温度/℃      | 190~230    | 250~280     |
| 金属模具温度/℃    | 室温~60      | 室温~60       |
| 压机成型压力/kPa  | 9806~19613 | 13729~41188 |
| 加压速度/(mm/s) | 30~100     | 20~120      |
| 成型周期/s      | 30~60      | 60~180      |

③ 模压料片的作业管理 必须明确模压料片的标准作业程序。在各项加工工序中，表示出必要事项和注意事项，对每件制品要保留记录，在不合格品及缺陷出现时要制订出有效的对策。作业标准见表 7-32。

## (2) 混炼料的成型

作为 FRTP 成型材料主要是以颗粒状态供给。用注射模塑法、挤出成型法、压缩模塑法成型。见图 7-38。

在 FRTP 成型加工方法中，有以下相同之处。

① 模具装在成型机上、控制温度。

表 7-32 作业标准示例

|     |      |                          |    |                 |    |          |
|-----|------|--------------------------|----|-----------------|----|----------|
| No  |      | 名称××××作业标准               | 图号 |                 | 制定 | H8. 4. 1 |
| 项 目 |      | 指 标                      |    | 事 项             |    |          |
| 1   | 材料准备 | 模压料片 ××kg                |    | 制造,记录 lot 编号    |    |          |
| 2   | 模具准备 | 检查、修理模具表面的伤痕             |    |                 |    |          |
| 3   | 坯料   | 剪裁成规定尺寸                  |    | 剪裁说明书           |    |          |
| 4   | 坯料预热 | 200℃,10min               |    | 作业手册            |    |          |
| 5   | 坯料装模 | 正确配置                     |    | 作业手册            |    |          |
| 6   | 合模   | 合模速度 40mm/s              |    | 作业手册            |    |          |
| 7   | 最终压力 | 表压 11767kPa              |    | 作业手册            |    |          |
| 8   | 开模取出 | 开模开始后在 60s 内装在防止变形的夹具上冷却 |    | 附件 3,作业手册       |    |          |
| 9   | 后加工  | 安装在加工夹具上去飞边、打孔、其他        |    | 作业手册            |    |          |
| 10  | 检查   | 外观检查,全检<br>尺寸检查,抽检 10%   |    | 根据外观样本记入公司内部检查表 |    |          |

树脂,增强材料、填料、稳定剂、改性剂

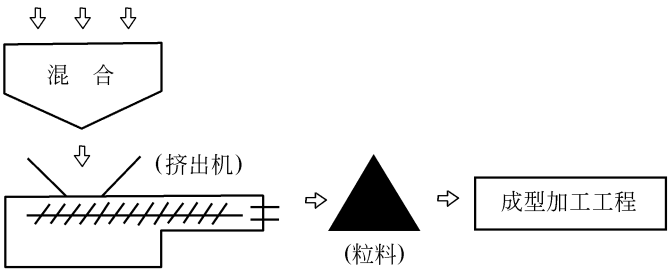


图 7-38 FRTP 成型法概要

- ② 填入粒料。
- ③ 压缩、保压、冷却。
- ④ 脱模。

各工序的条件因成型体系不同而不同，各自规定标准作业程序，进行全面管理。

与产品物理性能有关的项目如下。

- ① 除去水分、挥发分。
- ② 防止玻璃纤维折断、损伤。
- ③ 熔融状态的流动性（黏度特性）。
- ④ 随着流动，纤维基材的配向和合流纹的控制。
- ⑤ 脱模后的热变形（翘曲）。

与生产效率有关的项目如下：

- ① 成型压力；
- ② 生产周期的运转速度；
- ③ 模具温度；
- ④ 冷却时间；
- ⑤ 有无热处理等、机械的选择、生产过程控制都是

重要的。

#### 7.4.23 人造大理石成型法

(1) 人造大理石成型法的优点

人造大理石同一般 FRP 相比有以下优点。

- ① 做浴盆可整体成型，不漏水，能保持最初的美态。

- ② 耐腐蚀性好，经久耐用。
- ③ 与大理石相比，价格低廉。
- ④ 装饰性好，可以做成多彩的图案。

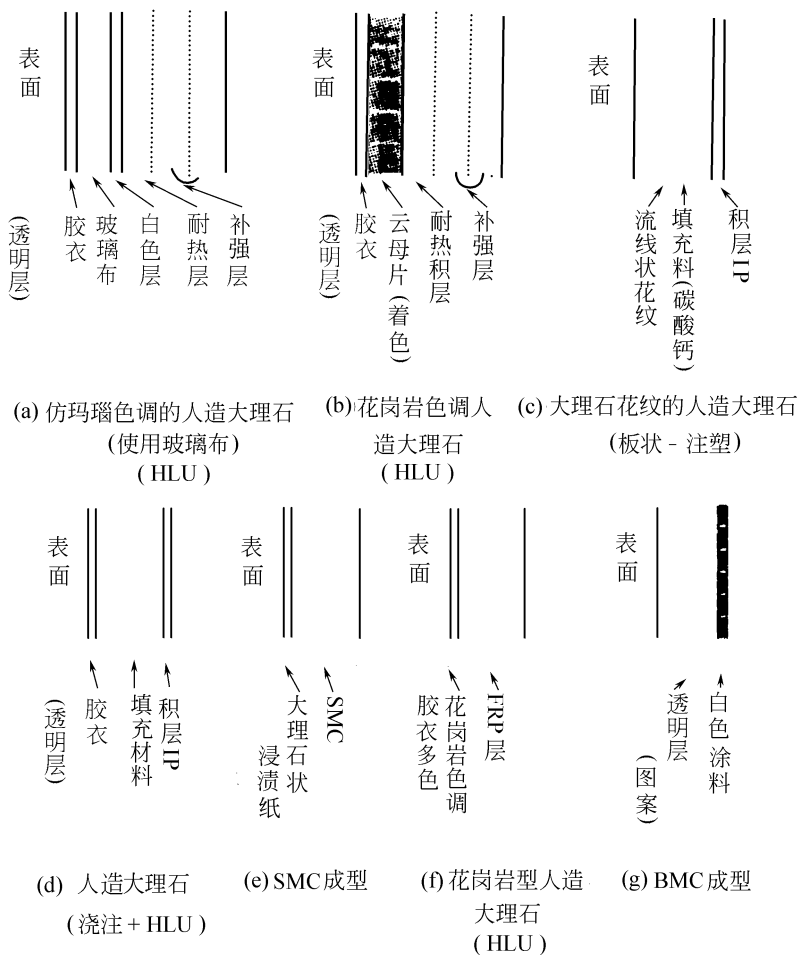


图 7-39 各种人造大理石的构造及成型方法

- ⑤ 不易划伤，易于清洗，卫生。
- ⑥ 耐煮沸，浴盆、壁面、柜台等都能应用。
- ⑦ 有透明性和稳重感，能增加附加值。

### (2) 各种人造大理石的构造及成型方法

各种人造大理石的构造及成型方法及用途见图 7-39、

图 7-40。

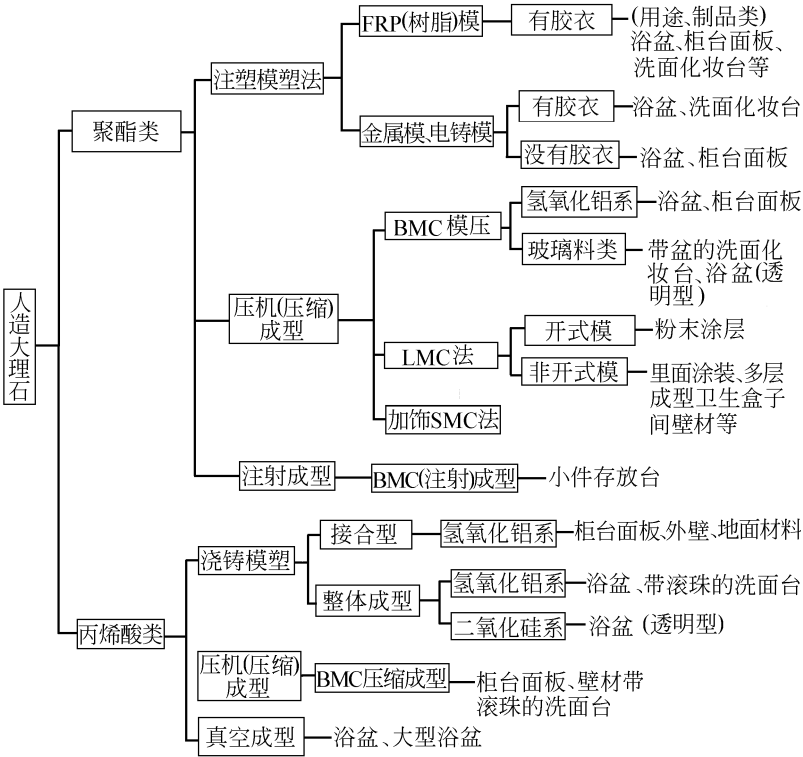


图 7-40 人造大理石材料成型方法及用途分类

### (3) 人造大理石(手工花纹)成型法的生产效率和经济性

## ① 前提条件

成型方法 手工做花-注模并用成型法的工艺流程见

图 7-41。

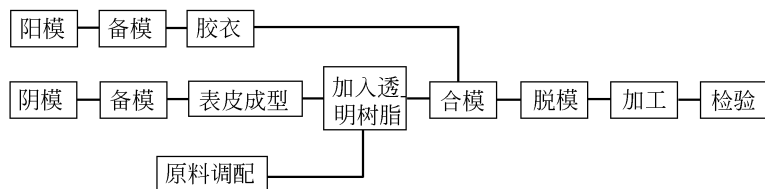


图 7-41 手工成型大理石工艺流程示意

产品对象：浴盆（尺寸规格：1200），见图 7-42。

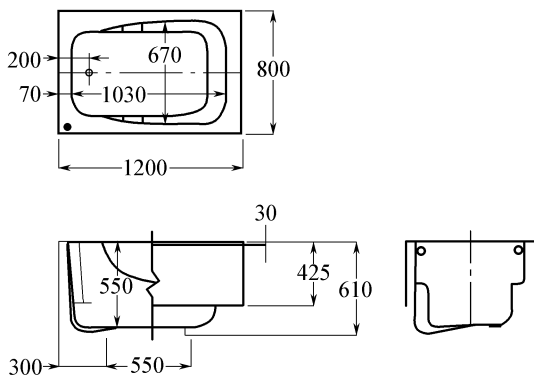


图 7-42 浴盆

制品重量：45kg

产 量：1000 件/月（50 件/日）

作业人数：15 人

成型周期：9.6min/件

加工费单价：4000MH

### ② 成型设备

成型设备 1 套 20000 千日圆

(成型系统、胶衣喷涂机、脱模机等)

|          |           |
|----------|-----------|
| 加热炉（绝热式） | 18000 千日圆 |
|----------|-----------|

2m×5m (H=1.5m) 2 件

2m×25m (H=1.5m) 1 件

FRP 模 (阳、阴模合计 250kg)

$$2000000 \times 50 \text{ 件} = 100000 \text{ 千日圆}$$

|    |            |
|----|------------|
| 总计 | 138000 千日圆 |
|----|------------|

其成本核算见表 7-33。

表 7-33 手工做花纹-注模成型的成本计算

| 项 目            | 实际计算例                     |           | 备 注                                                  |
|----------------|---------------------------|-----------|------------------------------------------------------|
|                | 使用量                       | 金额<br>/日圆 |                                                      |
| 原材料            |                           |           | $\frac{\text{原材料总计}}{\text{总计}} \times 100 = 43.7\%$ |
| 粗纱             | 220 日圆/kg $\times$ 0.6kg  | 132       |                                                      |
| 粘结剂            |                           |           |                                                      |
| 低收缩不饱<br>和聚酯树脂 | 360 日圆/kg $\times$ 15.8kg | 5688      |                                                      |
| 填料             | 200 日圆/kg $\times$ 26.0kg | 5200      |                                                      |
| 固化剂            | 3000 日圆/kg $\times$ 0.2kg | 600       |                                                      |
| 调色剂            | 1000 日圆/kg $\times$ 0.7kg | 700       |                                                      |
| 小计             |                           | 12320     |                                                      |

续表

| 项 目    | 实际计算例                                       |            | 备 注                                              |
|--------|---------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------|
|        | 使用量                                         | 金 额<br>/日圆 |                                                  |
| 加工费    |                                             |            |                                                  |
| 预塑型坯成型 | 人员,15人 50件/日                                |            | $\frac{\text{加工费}}{\text{总计}} \times 100 = 34\%$ |
| 树脂混合   |                                             |            |                                                  |
| 压模     | 4000MH                                      |            |                                                  |
| 修整、检验  | 8h/日                                        |            |                                                  |
| 小计     |                                             | 9600       |                                                  |
| 能源费    |                                             |            |                                                  |
| 设备一套   | $20 \times 0.1 \text{ kW} \cdot \text{h/件}$ | 2          |                                                  |
| 柴油     | $30 \text{ 件} \times 30 \text{ 日圆/件}$       | 900        |                                                  |
| 小计     |                                             | 902        |                                                  |
| 折旧费    |                                             |            |                                                  |
| 设备一套   | 按 8 年折旧                                     | 396        |                                                  |
| FRP 模具 | 按 5 年折旧                                     | 1667       |                                                  |
| 小计     |                                             | 2063       |                                                  |
| 制造成本   |                                             | 24885      |                                                  |
| 一般管理费  | 10%                                         | 2489       |                                                  |
| 总成本    |                                             | 27374      |                                                  |
| 废品率    | 3%                                          | 821        |                                                  |
| 总计     | 日圆/件                                        | 28195      |                                                  |

#### (4) 人造大理石成型方法的生产管理（作业管理）

##### ① 综合事项

- a. 方针、组织及其运行体系化。
- b. 明确生产、管理体系和结构内容。
- c. 明确生产和管理职能。

## ② 个别事项

- a. 生产计划——重点掌握生产状态和管理。
- b. 工程管理——程序计划，工时计划，日程计划，

多品种、少产量生产。

——开发管理、多余劳动力管理、产品管理、工作资料管理。

- c. 产品质量管理——SQC、TQC、降低不合格品率、预防对策及各种手段。

——检验的划分、种类、目标。

- ③ 作业管理——作业的监测、标准化、标准时间的设定。

——作业标准和作业的控制、作业方法的改进。生产指标（运转效率、劳动生产率）。

## ④ 成型中主要监测位置

- a. 原材料控制——纤维含量（GT）、黏度、温度、混入物。

- b. 作业现场情况——温度、湿度、通风、安全。

- c. 作业管理、设备、工作效率、改进状况、进展状况。

- d. 质量状况——不合格内容、不合格率、修补率、

重量、外观。

e. 掌握产品物理性能——尺寸、耐煮沸性、耐污染性等、公司内标准。

### (5) 人造大理石成型方法的缺陷及对策

以手工-浇注并用为例。见表 7-34。

上胶衣的对策与手糊成型的缺陷与对策相同。特别要重点解决异物等污染对策。

表 7-34 人造大理石成型缺陷及解决方法

| 现 象  | 原 因                                          | 对 策                                          |
|------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 填充不良 | 填充物重量不足<br>密封材料偏移<br>模具变形<br>树脂过多(树脂混合物比重不均) | 严格重量管理<br>矫正密封材料位置<br>检查修理模具尺寸<br>校对各种材料的计量值 |
| 脱模不良 | 脱模剂涂刷不足<br>填充材料层未固化                          | 再次检查涂刷脱模剂次数<br>再次校对固化温度、时间<br>检查固化剂用量        |
| 裂纹   | 填料层固化发热<br>厚度不均匀<br>填充材料层搅拌不好                | 检查固化剂量、固化时间、温度<br>重新评价设计<br>提高搅拌能力           |

续表

| 现 象  | 原 因                                                      | 对 策                                                     |
|------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 气泡   | 注入时方式<br>模具温度太高固化就开始了<br>因急速注入滞留了空气<br>注入口不合适<br>排气口位置不当 | 注入时模具温度降低<br>注入速度不要太快，慢慢注入<br>检查注入口位置<br>最好把排气口设计在较高位置  |
| 脏物进入 | 胶衣层进入脏物<br>胶衣层固化时进入异物<br>填充材料层进入异物                       | 改善作业环境<br>固化炉内去掉鼓风机或进行炉内清扫<br>清扫填充材料混合作业场<br>除去模具内、外的污物 |
| 固化不良 | 固化剂用量不足<br>搅拌不充分<br>固化温度、时间不足<br>材料温度降低                  | 检查计量<br>提高搅拌能力<br>检查固化温度、时间、并重新评价<br>注意初始混合物温度的管理       |
| 颜色不均 | 厚度改变<br>（因模具变形厚度的变化）<br>（设计图上的厚度变化）<br>填充材料搅拌不好          | 检查、修正模具的形状、尺寸<br>更改设计图<br>提高搅拌能力                        |

| 现 象   | 原 因                    | 对 策                                                   |
|-------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| 产品翘曲  | 固化不良<br><br>填充材料层的固化收缩 | 模内的固化程度要适当<br>参看填充层固化不良缺点<br>加强后固化<br>在收缩方向上进行调整、改变材料 |
| 胶衣的缺陷 | 参看手糊成型法胶衣方面的缺陷及对策      |                                                       |

#### 7.4.24 其他成型方法

前边所记述的成型方法之外的特殊成型方法，用以制造需要有特定形状或特定性能的制品。

##### (1) 回转成型法

回转成型法是用热塑性树脂粉料成型的原理，以正交的两轴使模具回转，在加热的预成型坯上撒布树脂并使其均匀浸渍、加热固化的方法。

用于制造展示服饰的人体模型这类注重外观的中空成型品。

##### (2) 离心成型法

离心成型是应用离心铸造原理的成型方法。有复合成型和内面卷绕成型。这是用一根轴回转，速度为每分钟数十转到千百转。用于成型从小口径管到大口径罐、锥形灯杆等制品。

### (3) 搓卷成型法

搓卷成型法是用预浸树脂布及单向基材制造钓鱼竿及滑雪杆等小口径锥形杆的专用成型方法。

### (4) 骨架结构成型法

骨架结构成型法是机械化配置长丝的方法，又叫针缠绕法。用于混凝土补强网格材料的成型。

### (5) 多层压机成型法

多层压机成型法是用环氧或聚酯树脂预浸了的布大量生产电绝缘材料、印刷电路板的方法。

### (6) 真空浸渍法

真空浸渍法是把预成型了的纤维基材装入模中，用真空泵把模内抽真空，从铸口吸入树脂的成型方法。用于超高压电气绝缘材料成型等。

## 附录 1 玻璃钢的用途

| 分 类   | 项 目    | 用 途 举 例                                                                       |
|-------|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 建筑材料  | 波纹板、平板 | 工厂屋顶采光材料、温室屋顶采光材料、围墙材料、夹层结构面板                                                 |
|       | 建筑材料   | 篱笆、百页窗板、门窗、(拉挤型材)掩体、密封舱、收费箱、外墙板、牛圈、活动房                                        |
|       |        | 游泳池、浮桥、防波堤、浮标、道路灯杆、灯台、道路标志、铁道线路部件、混凝土模板、钢管桩套、桥梁桁架、扶手、混凝土加强筋、直升机屏蔽、种紫菜的杆(拉挤型材) |
| 住宅材料  | 浴盆     | 浴盆、卫生间、淋浴室                                                                    |
|       | 便槽、净化槽 | 便槽、净化槽、临时厕所                                                                   |
|       | 水循环部件  | 防水盘、柜台面板、地下水箱                                                                 |
| 舟艇、船舶 | 船体     | 舰艇、作业船、交通艇、渔船、巡洋舰、快艇、赛艇、摩托艇、深海潜水勘察艇                                           |
|       | 船装部件   | 桅杆、通风管、油槽、水槽、浮筒、螺旋桨轴、舷窗框架                                                     |
| 汽车车辆  | 汽车     | 四轮车外装部件、内部部件、低罩部件、两轮车车体部件、手推小车、拖车、雪地车、高尔夫两轮车、特殊车等的车体、冷藏车、仪表板、扰流板、弹簧、螺旋桨轴      |
|       | 车辆     | 车前罩、窗轨、管道、座椅、卫生间、污水缸                                                          |

续表

| 分 类  | 项 目     | 用 途 举 例                                                        |
|------|---------|----------------------------------------------------------------|
| 罐、容器 | 一般容器    | 给水箱、地下埋设贮水罐、粮仓、饲料槽、养殖槽、集装箱、高压气瓶                                |
|      | 耐蚀器具    | 药液贮罐、地下埋设汽油罐、载重汽车罐、电镀槽、洗涤器、洗净装置、烟筒、管子、通风道、格栅、电缆槽               |
| 工业材料 | 生产用管    | 农用水管、结构用管、耐压管、电绝缘用管                                            |
|      | 住房建筑罩   | 冷却塔壳、机械装置罩、安全罩、办公机器罩、零件、绝缘耐蚀螺栓                                 |
|      | 电器零件    | 接线盒、转换开关盒、配电盘、绝缘板、臂杆、电缆槽、导线管、专用电器柜、抛物面天线、雷达天线罩、电池外壳、飞轮、风机叶片、梯子 |
| 杂货   | 娱乐、体育用品 | 安全帽、滑雪板、冲浪板、独木舟、弓面、球拍                                          |
|      | 各种用具    | 椅子、工作台、玩具、显示器、人造石、种植机、假肢、修理用具、健身器材、乐器、人体模型、盆、托盘                |
| 其他   |         | 玻璃钢模具,其他难以分类的制器                                                |

## 附录 2 复合材料相关主要缩略语说明

|                                                     | 英文缩写  | 英 文 全 称                          | 中 文       |
|-----------------------------------------------------|-------|----------------------------------|-----------|
| 复<br>合<br>材<br>料                                    | ACM   | Advanced composites materials    | 先进复合材料    |
|                                                     | AFRP  | Aramid fiber reinforced plastics | 芳纶纤维增强塑料  |
|                                                     | CCC   | Carbon-carbon composite          | 碳/碳复合材料   |
|                                                     | CFRP  | Carbon fiber reinforced plastics | 碳纤维增强塑料   |
|                                                     | CMC   | Ceramics matrix composites       | 陶瓷基复合材料   |
|                                                     | FRP   | Fiber reinforced plastics        | 纤维增强塑料    |
|                                                     | F RTP | Fiber reinforced thermo-plastics | 纤维增强热塑性塑料 |
|                                                     | GRP   | Glass fiber reinforced plastics  | 玻璃纤维增强塑料  |
|                                                     | MMC   | Metal matrix composites          | 金属基复合材料   |
|                                                     | PMC   | Polymer matrix composites        | 聚合物基复合材料  |
| 热<br>固<br>性<br>树<br>脂<br>及<br>其<br>成<br>型<br>材<br>料 | AL    | Alkyd resin                      | 醇酸树脂      |
|                                                     | BMC   | Bulk molding composites          | 团状模塑料(美国) |
|                                                     | BMI   | Bismaleimid                      | 双马亚酰亚胺    |
|                                                     | CIC   | Continuous impregnated compound  | 连续浸渍成型材   |
|                                                     | DCPD  | Dicyclopentadien                 | 双环戊二烯     |
|                                                     | DMC   | Dough molding compound           | 团状模塑料(欧洲) |
|                                                     | EP    | Epoxy resin                      | 环氧树脂      |
|                                                     | FR    | Furan resin                      | 呋喃树脂      |

续表

|             | 英文缩写  | 英 文 全 称                                   | 中 文                                |
|-------------|-------|-------------------------------------------|------------------------------------|
| 热固性树脂及其成型材料 | GC    | Gel coat                                  | 胶衣                                 |
|             | HMC   | High modulus compound                     | PPG 公司开发的高强度 SMC, 纤维含量 65% 以上, 无填料 |
|             | MF    | Melamine formal dehyde resin              | 三聚氰胺-甲醛树脂                          |
|             | PF、PH | Phenolic resin, phenol-formaldehyde resin | 酚醛树脂, 苯酚-甲醛树脂                      |
|             | PI    | Polyimid                                  | 聚酰亚胺                               |
|             | PP    | Prepreg sheet                             | 预制片材                               |
|             | PU    | Polyurethane resin                        | 聚氨酯甲酸酯树脂                           |
|             | SMC   | Sheet molding sheet                       | 片状模塑料                              |
|             | SPMC  | Solid polyester molding compound          | 固态聚酯模塑料                            |
|             | SR    | Silicone resin                            | 有机硅树脂                              |
|             | TMC   | Thick molding compound                    | 增厚模塑料                              |
|             | TS    | Thermosetting resin                       | 热固性树脂                              |
|             | UF    | Urea-formaldehyde resin                   | 脲醛树脂                               |
|             | UP    | Unsaturated polyester resin               | 不饱和聚酯树脂                            |
|             | UV    | Ultraviolet resin                         | 紫外线固化树脂(光固化)                       |
|             | VE    | Vinyl ester resin                         | 乙烯基酯树脂                             |
|             | ZMC   |                                           | 法国圣哥本公司开发的注射模塑料、注塑机及模具             |

续表

|                       | 英文缩写 | 英 文 全 称                           | 中 文                  |
|-----------------------|------|-----------------------------------|----------------------|
| 热<br>塑<br>性<br>树<br>脂 | ABS  | Acrylonitrile Butadinene styrene  | 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯<br>三元共聚物 |
|                       | AF   | Aramid fiber                      | 芳纶(聚酰胺)纤维            |
|                       | AS   | Acryionitrile styrene             | 丙烯腈-苯乙烯共聚物           |
|                       | FC   | Fluorocarbon resin                | 碳氟树脂                 |
|                       | CPR  | Caprolactam                       | 己内酰胺                 |
|                       | GMT  | Glass mat thermo-plastics         | 玻璃纤维毡增强热塑性<br>塑料     |
|                       | MMA  | Methyl methacrylate               | 甲基丙烯酸甲酯              |
|                       | PA   | Polyamide                         | 聚酰胺(尼龙)              |
|                       | PAC  | Polyacetal                        | 聚缩醛                  |
|                       | PBTP | Polybutylene terephthalate        | 聚对苯二甲酸丁二醇酯           |
|                       | PC   | Polycarbonate                     | 聚碳酸酯                 |
|                       | PEEK | Polyetheretherketone              | 聚醚醚酮                 |
|                       | PET  | Polyethylene glycol terephthalate | 聚对苯二甲酸乙二醇酯           |
|                       | PMMA | Poly methyl methacrylate          | 聚甲基丙烯酸甲酯             |
|                       | POM  | Polyoxymethylene                  | 聚甲醛                  |
|                       | PP   | Polypropylene                     | 聚丙烯                  |
|                       | PPS  | Polyphenylene sulfide             | 聚苯硫醚                 |
|                       | PSF  | Polysulfone                       | 聚砜                   |
|                       | PVA  | Polyvinyl alcohol                 | 聚乙烯醇                 |
|                       | PVC  | Polyvinyl chloride                | 聚氯乙烯                 |
|                       | TP   | Thermo-plastics                   | 热塑性塑料                |

续表

|                  | 英文缩写   | 英 文 全 称                  | 中 文                |
|------------------|--------|--------------------------|--------------------|
| 增<br>强<br>材<br>料 | AF     | Aramid fiber             | 芳纶纤维               |
|                  | BF     | Boron fiber              | 硼纤维                |
|                  | CF     | Carbon fiber             | 碳纤维                |
|                  | CM,CSM | Chopped strand mat       | 短切纤维毡              |
|                  | CS     | Chopped strand           | 短切纤维               |
|                  | GC     | Glass-fiber contents     | 玻璃纤维含量             |
|                  | GF     | Glass fiber              | 玻璃纤维               |
|                  | MF     | Milled fiber             | 磨碎纤维               |
|                  | PAN    | Polyacrylonitrile        | 聚丙烯腈纤维             |
|                  | PF     | Preforme                 | 预成型、预成型坯           |
|                  | RS     | Roving strand            | 无捻粗纱               |
|                  | UD     | Unidirectional fiber     | 单向纤维               |
|                  | WF     | Woven fiber              | 织物纤维               |
|                  | WR     | Woven roving             | 无捻粗纱布(方格布)         |
|                  | RH     | Roving cloth             | 无捻粗纱布(方格布)<br>(日本) |
| 成<br>型<br>法      | AC     | Autoclave process        | 高压釜成型法             |
|                  | CF     | Centrifugal casting      | 离心浇铸               |
|                  | CM     | Continuous sheet molding | 连续板材成型             |
|                  | CP     | Cold press process       | 冷压法                |
|                  | CW     | Cloth winding            | 布带缠绕               |
|                  | FW     | Filament winding         | 纤维缠绕               |
|                  | HL,HLU | Hand lay up              | 手糊                 |
|                  | IJ     | Injection molding        | 注射成型               |

续表

|      | 英文缩写    | 英 文 全 称                                  | 中 文            |
|------|---------|------------------------------------------|----------------|
| 成型法  | MMD     | Matched metal die press process          | 金属对模压力成型       |
|      | PT,PULT | Pultrusion                               | 拉挤             |
|      | RI      | Resin injection process                  | 树脂注射成型         |
|      | RIM     | Reaction injection molding               | 反应注射成型         |
|      | RIMP    | Reinforced infusion molding              | 树脂浸渍成型         |
|      | R-RIM   | Reinforced reaction injection molding    | 增强反应注射成型       |
|      | RTM     | Resin Transfer molding                   | 树脂传递成型         |
|      | SCRIMP  | Seeman composites resin infusion molding | 西曼复合材料公司树脂浸渍成型 |
|      | SPU,SU  | Spray up                                 | 喷射             |
|      | TW      | Tape winding                             | 带子缠绕           |
| 辅助材料 | VARI    | Vacuum assisted resin injection          | 真空辅助树脂注射       |
|      | VARTM   | Vacuum assisted resin transfer molding   | 真空辅助树脂传递成型     |
|      | VB      | Vacuum bag process                       | 真空袋法           |
|      | BPO     | Benzoyl peroxide                         | 过氧化苯甲酰         |
| 其他   | CHP     | Cumene hydroperoxide                     | 异丙苯过氧化氢        |
|      | CN      | Cobalt naphthenate                       | 环烷酸钴           |
|      | MEKPO   | Methyl-ethyl-ketone peroxide             | 过氧化甲乙酮         |
|      | CCL     | Copper clad laminate                     | 覆铜板            |
| 其他   | CNG     | Compressed natural gas                   | 压缩天然气          |
|      | LCA     | Life cycle assessment                    | 使用寿命预测         |
|      | LCI     | Life cycle inventory                     | 使用寿命调查         |

续表

|        | 英文缩写 | 英 文 全 称                         | 中 文     |
|--------|------|---------------------------------|---------|
| 其<br>他 | MSDS | Material safety data sheet      | 材料安全系数表 |
|        | NGV  | Natural gas vehicle             | 天然气汽车   |
|        | PCB  | Printed circuit board           | 印刷电路板   |
|        | PL   | Product liability act           | 生产责任制   |
|        | RC   | Reinforced concrete             | 钢筋混凝土   |
|        | RPMP | Reinforced plastics mortar pipe | 增强纤维夹砂管 |

## 参 考 文 献

- 1 陈博. 第一章 绪论. 见: 黄家康, 岳红军, 董永祺. 复合材料成型技术. 北京: 化学工业出版社, 1999. 1
- 2 John Murphy. The Reinforced Plastics Handbook, second edition. Elsevier Advanced Technology. 1999
- 3 SP Systems UK Ltd. Guide to composites. 2002 (公司样本)
- 4 VETROTEX. Memento 2003. 2003 (公司样本)
- 5 FRPポケットブック. 強化プラスチック協会. 1997 (内部资料)
- 6 中国玻璃钢协会. 通讯, 2004, (1)
- 7 中国玻璃钢工业协会. FRP 用途示例图册. 2003 (内部出版)
- 8 MFG Molded Fiber Glass Company. Design with FRP. 1991 (公司样本)

## 内 容 提 要

本书简要介绍了玻璃钢的性能特点、组成等，主要介绍了玻璃钢的多种成型工艺的特点、工艺条件、优缺点、适用的材料、容易出现的问题和解决方法。包括手糊成型、喷射成型、树脂传递成型、纤维缠绕成型、SMC、BMC、拉挤成型、连续板材成型、RIM、真空袋成型、离心成型、树脂膜熔浸成型、预浸料（高压釜）成型、低温固化预浸料等。

本书查阅快捷，便于携带，是玻璃钢行业技术人员和技术工人的必备工具书。