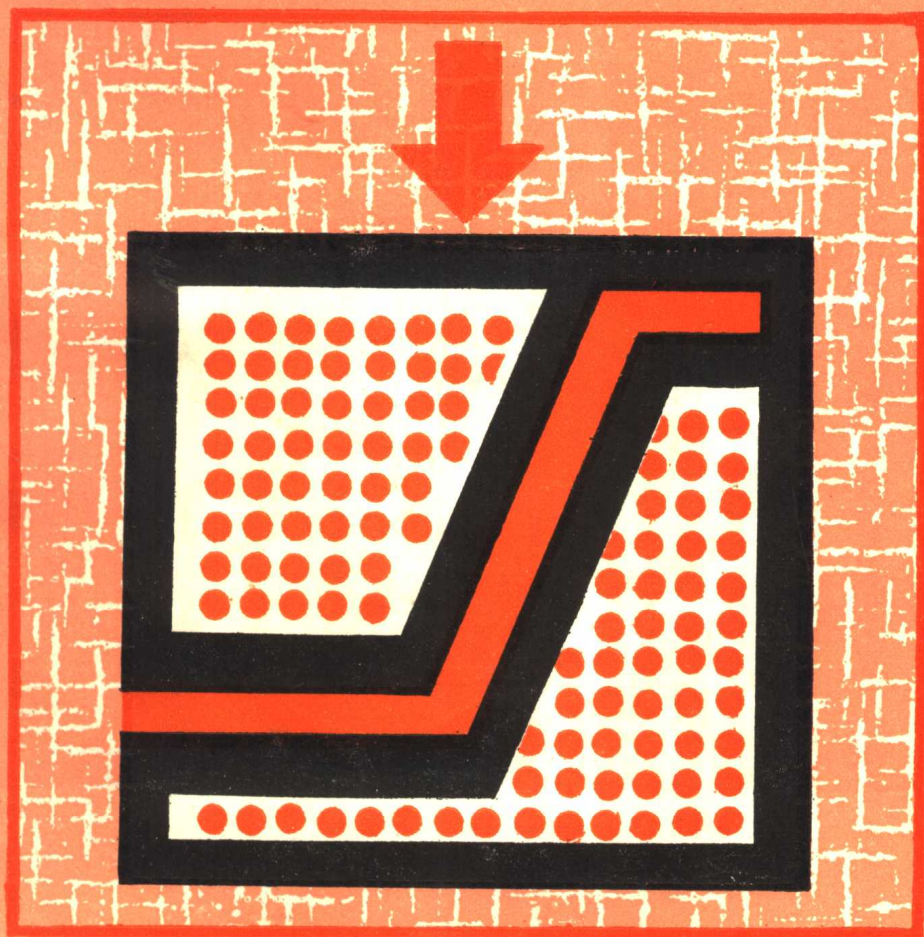


《复合材料科学与工程》之二

# 复合材料工艺与设备

欧国荣 倪礼忠 编著



华东化工学院出版社

《复合材料科学与工程》之二

# 复合材料工艺与设备

欧国荣 倪礼忠 编著



华东化工学院出版社

责任编辑 朱祖堇

责任校对 潘乃琦

复合材料工艺与设备

Fuhe Cailiao Gongyi yu Shebei

欧国荣 倪礼忠 编著

华东化工学院出版社出版

(上海市梅陇路 130 号)

新华书店上海发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 423 千字

1991 年 5 月第 1 版 1991 年 5 月第 1 次印刷

印数 1-3000 册

---

ISBN 7-5628-0135-5/TQ·17

定价 4.60 元

### 内 容 提 要

本书是根据复合材料专业教学计划和大纲编写的, 与本教材配套出版的还有《复合材料基体与界面》和《复合材料结构设计》。

本书的特点是工艺与设备合并, 以工艺为主, 设备为辅; 以常用工艺为主, 其他工艺为辅, 并介绍近年来发展较快的国内外先进工艺与设备。

本书为高等院校复合材料专业的教材, 也可供高分子材料等有关专业的师生和从事复合材料科研、设计、生产及应用的人员参考。

## 前 言

《复合材料工艺与设备》是根据复合材料专业教学计划和教学大纲编写的。与本教材配套出版的还有《复合材料基体与界面》和《复合材料结构设计》。

本书是在全国统编教材经过10年教学实践的基础上,参考国内外有关文献资料和自编教材、讲义等编写的。其特点是(1)工艺与设备合并,以工艺为主、设备为辅,设备为工艺服务、与工艺结合,并包括模具内容;(2)以常用工艺为主,即手糊、层模压、缠绕工艺为主,其他工艺为辅,并适当介绍近期国外发展较快的挤拉、喷射、RIM、RRIM工艺与设备;(3)从“玻璃钢”拓宽为“复合材料”,补充纸质、布质、覆铜箔层压板工艺与设备;(4)为避免重复,有关复合材料的原材料、表面处理、界面、基本性能等内容在《复合材料基体与界面》教材中阐述,在本书中不再赘述。

本书为高等院校复合材料专业的教材,也可供高分子材料等有关专业的师生和从事复合材料科研、设计、生产及应用的人员参考。

参加本书编写工作的有华东化工学院欧国荣(第3—9章)、倪礼忠(第1、2章),全书由欧国荣统稿。

限于编者水平,不当之处和错误,恳请批评指正。

编 者

DA6/3/08

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>1 手糊成型工艺</b>          |    |
| 1.1 概述                   | 1  |
| 1.2 原材料                  | 1  |
| 1.2.1 玻璃纤维及其织物           | 2  |
| 1.2.2 树脂                 | 2  |
| 1.2.3 辅助材料               | 3  |
| 1.3 模具                   | 6  |
| 1.3.1 模具设计的基本原则          | 7  |
| 1.3.2 模具的结构形式            | 7  |
| 1.3.3 模具材料选择             | 8  |
| 1.3.4 玻璃钢模具的制造           | 9  |
| 1.4 手糊成型工艺               | 11 |
| 1.4.1 原材料的准备             | 11 |
| 1.4.2 模具准备及脱模剂涂刷         | 13 |
| 1.4.3 胶衣层制备              | 14 |
| 1.4.4 糊制及固化              | 15 |
| 1.4.5 脱模、修整及装配           | 18 |
| 1.4.6 制品中产生缺陷的原因及解决办法    | 18 |
| 1.5 喷射成型工艺               | 21 |
| 1.5.1 概述                 | 21 |
| 1.5.2 喷射成型机              | 21 |
| 1.5.3 喷射成型工艺             | 23 |
| 1.5.4 喷射成型常见的缺陷分析        | 24 |
| 1.6 袋压成型工艺               | 25 |
| 1.6.1 袋压成型工艺种类及特点        | 25 |
| 1.6.2 袋压成型工艺             | 26 |
| 1.6.3 固化设备的一般介绍          | 27 |
| 1.7 玻璃钢的修补               | 28 |
| 1.7.1 胶衣层的修补             | 28 |
| 1.7.2 强度要求不高的气泡、裂纹及小孔的修补 | 28 |
| 1.7.3 强度要求高的穿孔的修补        | 29 |
| 1.7.4 大裂缝及断裂修补           | 30 |
| <b>2 玻璃钢夹层结构</b>         |    |
| 2.1 概述                   | 31 |
| 2.2 夹芯材料                 | 32 |
| 2.2.1 蜂窝夹芯材料             | 32 |
| 2.2.2 泡沫夹芯材料             | 38 |
| 2.2.3 强芯毡(Coremat)夹芯材料   | 49 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 2.2.4 软木夹芯材料           | 51  |
| 2.3 玻璃钢夹层结构的成型工艺       | 51  |
| 2.3.1 蜂窝夹层结构的成型工艺      | 51  |
| 2.3.2 泡沫夹层结构的成型工艺      | 54  |
| 2.3.3 强芯毡夹层结构的成型工艺     | 55  |
| 3 层压成型工艺与设备            |     |
| 3.1 纸、棉布、玻璃布的浸胶工艺      | 56  |
| 3.1.1 浸胶的基层材料          | 56  |
| 3.1.2 浸胶工艺             | 58  |
| 3.1.3 胶布(纸)的质量指标及其相互关系 | 59  |
| 3.1.4 浸胶过程中的异常现象分析     | 61  |
| 3.2 浸胶机                | 62  |
| 3.2.1 浸胶装置             | 62  |
| 3.2.2 加热装置             | 63  |
| 3.2.3 收料装置             | 66  |
| 3.3 层压板成型工艺            | 67  |
| 3.3.1 胶布质量指标的选定        | 68  |
| 3.3.2 层压工艺过程           | 69  |
| 3.3.3 层压板常见缺陷分析        | 70  |
| 3.3.4 层压板的性能           | 72  |
| 3.4 覆铜箔层压板成型工艺         | 72  |
| 3.4.1 铜箔与胶纸、胶布         | 73  |
| 3.4.2 铜箔氧化及上胶工艺        | 74  |
| 3.4.3 覆箔板的压制           | 76  |
| 3.5 多层液压机              | 79  |
| 3.5.1 技术性能             | 81  |
| 3.5.2 机身结构             | 82  |
| 3.5.3 液压传动系统           | 83  |
| 3.6 玻璃钢卷管成型工艺与设备       | 84  |
| 3.6.1 卷管成型工艺           | 84  |
| 3.6.2 卷管成型设备           | 86  |
| 4 模压成型工艺               |     |
| 4.1 短纤维料模压成型工艺         | 96  |
| 4.1.1 短纤维模压料的制备        | 96  |
| 4.1.2 短纤维模压料的成型工艺      | 107 |
| 4.1.3 模压玻璃钢的基本性能       | 111 |
| 4.2 片状模塑料模压成型工艺        | 113 |
| 4.2.1 片状模塑料的组成         | 113 |
| 4.2.2 片状模塑料的制备工艺与设备    | 119 |
| 4.2.3 片状模塑料的模压成型工艺     | 122 |
| 4.2.4 片状模塑料制品的性能       | 123 |
| 5 模压成型设备               |     |
| 5.1 模压制品成型模具           | 124 |

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 5.1.1 | 概述 .....             | 124 |
| 5.1.2 | 压模设计要点 .....         | 125 |
| 5.2   | 玻璃钢模压用液压机 .....      | 134 |
| 5.2.1 | 概述 .....             | 134 |
| 5.2.2 | 成型工艺对液压机的要求 .....    | 137 |
| 5.2.3 | 玻璃钢模压液压机的性能和参数 ..... | 137 |
| 5.2.4 | 高成型压力液压机结构与原理 .....  | 141 |
| 5.2.5 | 低成型压力液压机的结构与原理 ..... | 154 |
| 6     | 缠绕成型工艺与设备            |     |
| 6.1   | 概论 .....             | 157 |
| 6.1.1 | 缠绕成型工艺的分类 .....      | 157 |
| 6.1.2 | 特点和应用 .....          | 157 |
| 6.2   | 缠绕规律的分析 .....        | 158 |
| 6.2.1 | 用标准线法分析缠绕规律 .....    | 158 |
| 6.2.2 | 用切点法分析缠绕规律 .....     | 163 |
| 6.2.3 | 缠绕规律计算实例 .....       | 166 |
| 6.3   | 内压力容器结构选型与强度计算 ..... | 169 |
| 6.3.1 | 内压力容器的结构选型 .....     | 169 |
| 6.3.2 | 强度计算 .....           | 170 |
| 6.4   | 缠绕成型工艺 .....         | 172 |
| 6.4.1 | 原材料 .....            | 172 |
| 6.4.2 | 内衬和芯模 .....          | 172 |
| 6.4.3 | 缠绕工艺 .....           | 173 |
| 6.5   | 异形制品螺旋缠绕的基本原理 .....  | 174 |
| 6.5.1 | 螺旋缠绕的几个公式 .....      | 174 |
| 6.5.2 | 几种异形截面筒身缠绕角 .....    | 175 |
| 6.5.3 | 有端头容器的缠绕 .....       | 177 |
| 6.5.4 | 无端头制品的缠绕 .....       | 177 |
| 6.6   | 机械式缠绕机 .....         | 179 |
| 6.6.1 | 分类 .....             | 179 |
| 6.6.2 | 结构 .....             | 183 |
| 6.6.3 | 设计计算 .....           | 184 |
| 6.6.4 | 传动设计举例 .....         | 188 |
| 6.6.5 | 缠绕机的发展 .....         | 192 |
| 7     | 挤出和注射成型工艺与设备         |     |
| 7.1   | 概述 .....             | 194 |
| 7.2   | 挤出成型工艺与设备 .....      | 195 |
| 7.2.1 | 单螺杆挤出机 .....         | 196 |
| 7.2.2 | 热塑性玻璃钢粒料的制造 .....    | 202 |
| 7.3   | 注射成型工艺与设备 .....      | 206 |
| 7.3.1 | 注射成型机 .....          | 206 |
| 7.3.2 | 热塑性玻璃钢注射机 .....      | 208 |
| 7.3.3 | 注射机的预塑装置 .....       | 213 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 7.3.4 注射成型工艺 .....         | 241 |
| <b>8 挤拉成型工艺与设备</b>         |     |
| 8.1 概况 .....               | 218 |
| 8.1.1 挤拉工艺的特点 .....        | 218 |
| 8.1.2 挤拉制品的性能及应用 .....     | 218 |
| 8.1.3 发展 .....             | 221 |
| 8.2 挤拉工艺与设备 .....          | 221 |
| 8.2.1 原材料 .....            | 221 |
| 8.2.2 工艺过程与设备 .....        | 228 |
| 8.2.3 挤拉成型工艺的诸影响因素 .....   | 233 |
| 8.3 挤拉工艺的新发展 .....         | 239 |
| 8.3.1 挤拉工艺基础理论和应用研究 .....  | 239 |
| 8.3.2 弯曲挤拉工艺 .....         | 239 |
| 8.3.3 挤拉与其他工艺结合 .....      | 239 |
| 8.3.4 光导纤维挤拉 FRP 蒙皮 .....  | 239 |
| 8.3.5 热塑性复合材料的挤拉成型工艺 ..... | 240 |
| <b>9 其他成型工艺与设备</b>         |     |
| 9.1 玻璃钢波纹板连续成型工艺与设备 .....  | 241 |
| 9.1.1 概述 .....             | 241 |
| 9.1.2 横向波纹板机组 .....        | 242 |
| 9.1.3 纵向波纹板机组 .....        | 243 |
| 9.1.4 工艺参数的确定及制品质量控制 ..... | 248 |
| 9.2 连续缠管工艺与设备 .....        | 251 |
| 9.2.1 成型原理 .....           | 251 |
| 9.2.2 原材料的选择 .....         | 251 |
| 9.2.3 连续缠管的工艺方法 .....      | 251 |
| 9.3 增强反应注射模塑 .....         | 257 |
| 9.3.1 特点 .....             | 257 |
| 9.3.2 设备 .....             | 258 |
| 9.3.3 工艺 .....             | 262 |
| 9.3.4 性能 .....             | 265 |
| 9.3.5 应用 .....             | 266 |
| 9.3.6 发展 .....             | 266 |
| 参考文献 .....                 | 268 |

# 1 手糊成型工艺

## 1.1 概述

手糊成型工艺是制造玻璃钢制品最常使用的一种成型方法。所谓手糊成型工艺,是指用不饱和聚酯树脂或环氧树脂将增强材料粘结在一起的一种成型方法,约有50%的玻璃钢制品是用这种方法成型的,特别是对于量少、品种多及大型制品,更宜采用此法。但这种成型方法操作人员多,操作者的技术水平对制品质量影响大,虽有“一见就会”的说法,但要制得优质制品也是相当困难的。手糊成型工艺制造制品一般要经过如下工序:(1)增强材料剪裁;(2)模具准备;(3)涂刷脱模剂;(4)喷涂胶衣;(5)成型操作;(6)脱模;(7)修边;(8)装配。

手糊成型工艺可分为接触成型和低压成型两大类:属于前者的有简单手糊法及喷射成型法;属于后者的有压力袋法、真空袋法等。

手糊玻璃钢制品的厚度一般在2—10mm,但对于有些制品,其厚度可以大于10mm(如大的船体),也可以小于2mm(如波形瓦)。典型的玻璃钢结构如图1-1所示。

与其他成型工艺相比,手糊成型工艺具有如下的优缺点:

其优点有:

- (1) 操作简便,操作者容易培训;
- (2) 设备投资少,生产费用低;
- (3) 能生产大型的和复杂结构的制品;
- (4) 制品的可设计性好,且容易改变设计;
- (5) 模具材料来源广;
- (6) 可以做成夹层结构。

其缺点有:

- (1) 是劳动密集型的成型方法,生产效率低;
- (2) 制品质量与操作者的技术水平有关;
- (3) 生产周期长;
- (4) 产品强度较其他方法低。

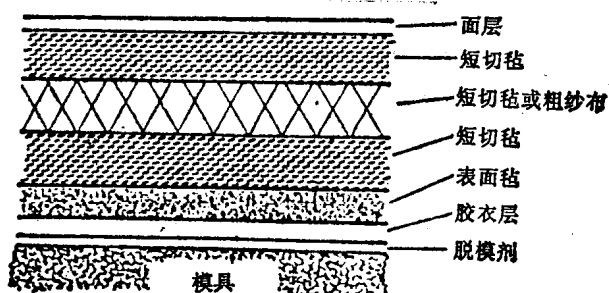


图 1-1 典型的玻璃钢结构

## 1.2 原材料

手糊成型工艺所需原材料有玻璃纤维及其织物、合成树脂、辅助材料等。分别介绍如下:

### 1.2.1 玻璃纤维及其织物

从手糊成型工艺的特点出发,选用玻璃纤维及其织物时应注意以下几点:容易被树脂浸润;有一定的形变性,以满足形状复杂的制品的操作需要;满足制品的性能要求;价格便宜。

常用的玻璃纤维及其织物有以下几种:

#### A 无捻粗纱

无捻粗纱一般与其他纤维制品配合使用,用在填充死角或局部增强等部位,主要用于喷射成型。喷射成型工艺对粗纱的性能要求是:(1)切割性好;(2)带静电少;(3)分散性好;(4)浸润性好;(5)易贴伏模具。

喷射成型用粗纱在高速下被牵引、切割、分散,切割处的橡胶辊和粗纱的导向辊之间因高速旋转摩擦而产生静电,严重影响了粗纱的切割性和分散性。因此,集束剂、表面处理剂的选择就更为重要了。

#### B 无捻粗纱布

这是手糊成型工艺中最常用的玻璃纤维织物,它的优点是形变性好;易被树脂浸润;增厚效率高;能提高玻璃钢制品的抗冲击性能;价格便宜;一般多用在强度要求不高和厚度较大的制品。对粗纱布的性能要求是:(1)浸润性好,质地均匀;(2)裁剪、铺放时不滑移,操作容易;(3)成型时贴模性好,不产生因回弹而引起的成型缺陷;(4)织造时要尽量减少纤维损伤和起毛。

#### C 短切原丝毡

短切原丝毡(简称短切毡)也是手糊成型中常用的增强材料。它的优点是树脂浸透性好;气泡容易排除;形变性好;施工方便。从成型高厚度制品和具有各向同性的增强效果来看,它比织物要便宜。对短切毡的要求是:(1)浸润性好;(2)毡的强度和硬挺性要有良好的平衡;(3)均匀性好,避免厚度不均匀、原丝间的粘结不良、分散不好等弊病;(4)对模具的贴伏性好。

#### D 加捻布

它是由多股加捻纱织成的,其中按织法不同又可分为:平纹布、斜纹布、缎纹布和单向布等等。手糊成型工艺常用斜纹布,其厚度在0.25mm以内,制成玻璃钢的强度比无捻粗纱布高(冲击强度除外),制品表面平整,气密性好,但价格比无捻粗纱布贵,增厚效果差。

#### E 短切纤维

短切纤维主要用作填充死角。

#### F 玻璃布带

玻璃布带可用来糊制加强型材和特殊部位,减少剪裁。

除以上一些织物外,还可以根据制品形状织成各种套形织物,使用方便,又可避免剪裁,使制品没有玻璃布接头。

### 1.2.2 树脂

从手糊成型的工艺特点出发,对树脂的要求有:

- (1) 能够配制成粘度适宜的胶液;

(2) 能在室温或较低温度下凝胶、固化,并要求固化时无低分子物产生;

(3) 无毒或低毒;

(4) 价格便宜,来源广泛。

在手糊成型工艺中,最常用的是不饱和聚酯树脂和环氧树脂。下面对环氧树脂和聚酯树脂两者的性能、贮存、价格等方面作一对比,供选用时参考。

#### A 工艺性能

环氧树脂:粘度较大,流动性差,使用时要加入稀释剂;固化剂用量变动范围小,因此,固化工艺和胶液使用期的调整有一定局限性;用胺类固化剂时,毒性较大。

聚酯树脂:粘度低,流动性好,容易浸透玻璃纤维,胶液的使用期和固化温度调节范围大,可适应不同条件。

#### B 制品性能

环氧树脂:用环氧树脂制造的玻璃钢强度高,耐水、耐碱性均好,固化收缩低,但脆性较大。

聚酯树脂:机械性能不如环氧,但韧性好,制品耐酸性好。由于固化收缩大,表面质量较差。

#### C 贮存期

环氧树脂能长期贮存;聚酯树脂的贮存期一般为半年左右。

#### D 价格

聚酯树脂价格便宜,环氧树脂价格较贵。

从上述比较可知,聚酯树脂的工艺性能较好,价格便宜,但机械强度不如环氧树脂。因此,除特殊的机械性能要求较高的制品外,一般以采用聚酯树脂为宜。

### 1.2.3 辅助材料

玻璃钢手糊成型用的辅助材料包括各种固化剂、引发剂、促进剂、填料、稀释剂、触变剂、脱模剂等。其中固化剂、引发剂、促进剂和稀释剂已在《复合材料基体与界面》一书中介绍过,就不再赘述,下面着重介绍脱模剂、填料、触变剂等。

#### 1.2.3.1 脱模剂

为了把已经固化的制品顺利地 from 模具上取下来,必须在模具的工作面上涂以脱模剂。从而可制得表面平整光洁,尺寸较精确的制品;并保证模具完好无损,能够重复使用。一般非极性或极性很弱的物质都可以做脱模剂,因为它们和树脂的粘结力都很小。脱模剂应具备下列条件:

- (1) 使用方便,成膜时间短;
- (2) 操作安全,对人体无害;
- (3) 不腐蚀模具,不影响树脂固化;
- (4) 成膜均匀、光滑,对树脂的粘附力小;
- (5) 价格便宜,来源广泛,配制简单。

选择脱模剂时,应考虑模具材料、树脂种类和固化温度、制品的制造周期与脱模剂的涂敷时间等因素。脱模剂的种类很多,一般分为三大类:薄膜型、溶液型和油蜡型。

#### A 薄膜型脱模剂

常用的薄膜型脱模剂有：聚酯薄膜、聚氯乙烯薄膜、聚丙烯薄膜、聚乙烯薄膜、聚乙烯醇薄膜、醋酸纤维素薄膜、聚四氟乙烯薄膜等。使用时用油膏把薄膜粘贴在模具的工作表面，粘贴时要防止薄膜起皱和漏贴。此类脱模剂使用较方便，脱模效果好，但因变形小，不适用于造形复杂的制品。聚氯乙烯薄膜和聚乙烯薄膜易被苯乙烯溶胀，故不宜用于聚酯玻璃钢生产。

#### B 溶液型脱模剂

溶液型脱模剂种类甚多，应用最广。常用的有如下几种：

##### a 过氯乙烯溶液脱模剂

配方： 过氯乙烯粉 5—10 份  
甲苯和丙酮(1:1) 90—95 份

配制方法：按配方称料混合，放置一天，然后搅拌均匀，当物料完全溶解时便可使用。也可用市售的过氯乙烯清漆，用香蕉水适当稀释。

这种脱模剂渗透性好，适用于木材、石膏等多孔性材料的封孔，但不宜与制品直接接触，常与其他脱模剂复合使用。使用温度在 120℃ 以下，贮存时要密封。

##### b 聚乙烯醇脱模剂

配方： 聚乙烯醇 5—8 份  
乙醇 35—60 份  
水 60—35 份

乙酰基含量 10%—38% 的低分子量聚乙烯醇溶解性好，容易脱模。水和乙醇的比例可调整，要求快干，可多加乙醇，要求成膜均匀，可多加水。但乙醇太多会给配制带来困难。

加入表面活性剂软皂 2 份，可使成膜均匀；加入气溶胶磺酸琥珀酸盐型表面活性剂 1 份，可使成膜平整光滑；加入 0.1% 硅消泡剂，能减少涂刷过程中的气泡。加入 4%—5% 甘油，可使成膜富有韧性；加入 0.75 份苯甲酸钠，可防止金属模生锈。为防止漏涂，常加入蓝墨水或柏林蓝等。

配制方法：在搅拌下将聚乙烯醇加入热水中溶解，然后过滤，再在搅拌下滴加乙醇。

聚乙烯醇脱模剂价格便宜，无毒，来源广，使用性好，可直接和制品接触。但干燥慢，湿度大时尤甚，影响生产效率。而且必须在干燥后才能使用，否则残存的水将对聚酯、环氧树脂的固化产生不良影响。这种脱模剂的使用温度在 150℃ 以下。

##### c 聚苯乙烯脱模剂

配方： 聚苯乙烯 5 份  
甲苯 95 份

配制方法：称量混合，放置数天后搅拌均匀即可使用。为加速溶解，可在 50℃ 下微热。

聚苯乙烯脱模剂最大优点是脱模效果好，尤其对环氧树脂，成膜平滑光亮，成膜时间短。但其溶剂甲苯的毒性大，所以在使用聚苯乙烯脱模剂时，应有良好的通风设备。其使用温度控制在 100℃ 以下。

聚苯乙烯脱模剂不适用于聚酯玻璃钢生产，因聚酯树脂中的苯乙烯能溶解聚苯乙烯。

##### d 醋酸纤维素脱模剂

配方： 二醋酸纤维素 5 份  
酒精 4 份

|      |      |
|------|------|
| 乙酸乙酯 | 20 份 |
| 双丙酮醇 | 5 份  |
| 甲乙酮  | 24 份 |
| 丙酮   | 48 份 |

配制方法: 将二醋酸纤维素加入到上述混合溶剂中, 搅拌均匀, 除去残渣。

这种脱模剂成膜光洁、平整, 使用方便, 毒性小, 但价格较贵。对于环氧玻璃钢制品有一定的粘附性, 脱模后不易清洗, 所以最好与聚乙烯醇复合使用。将前者涂在模具上, 然后将聚乙烯醇涂在它的表面与制品接触, 使用温度可控制在  $150^{\circ}\text{C}$  左右, 甚至可高达  $200^{\circ}\text{C}$ 。

#### ④ 硅橡胶脱模剂

|        |       |      |
|--------|-------|------|
| 配方(1): | 甲基硅橡胶 | 10 份 |
|        | 甲苯    | 90 份 |
| 配方(2): | 甲基硅油  | 5 份  |
|        | 甲苯    | 95 份 |

配制: 称量混均即可使用。

这种脱模剂, 成膜薄, 脱模效果好, 耐高温。所以常作为高温脱模剂, 可以在  $200^{\circ}\text{C}$  以上使用。但是要得到理想的脱模效果, 需经涂刷后再在  $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$  下烘 1—2 小时, 然后成型。

溶液型脱模剂是目前应用最广的脱模剂。但除聚乙烯醇外, 所用的溶剂都有不同程度的毒性, 在使用时要特别注意。

#### ⑤ 油膏、石蜡型脱模剂

此类脱模剂常用的有硅酯(100% 甲基三乙氧基硅烷)、黄干油、凡士林等油脂油膏及石蜡、汽车上光蜡等。

石蜡脱模剂能使制品表面光洁, 使用时只需在玻璃钢模或木模的成型面上涂上一层薄薄的蜡, 但关键是要反复擦拭。硅酯虽有良好的脱模作用, 但在胶衣涂刷或制品涂刷时, 要注意涂敷性。

油膏、石蜡型脱模剂价格便宜, 使用方便, 脱模效果好, 无毒, 对模具无腐蚀作用。然而这类脱模剂的使用, 会使制品的表面沾污, 并且给下道工序喷涂造成困难, 因此, 在使用上受到限制。其使用温度控制在  $80^{\circ}\text{C}$  以下。

脱模剂最好复合使用, 这样能显示各种脱模剂的综合性能, 得到良好的脱模效果和理想的制品。例如, 对于石膏模、木模, 采用漆片、过氯乙烯清漆或硝基喷漆封孔, 以醋酸纤维素作中间层, 以聚乙烯醇作外层, 脱模效果良好。用聚苯乙烯作中间层, 以聚乙烯醇作外层也能收到令人满意的效果。

如果制品的表面不再涂漆, 则可以在聚乙烯醇脱模剂的表面擦一层薄薄的汽车上光蜡; 如果制品的表面要涂漆, 则先在模具上擦一层汽车上光蜡, 然后涂刷聚乙烯醇脱模剂。石蜡和聚乙烯醇复合使用将使脱模更顺利, 有利于提高模具的使用寿命。

使用复合脱模剂的原因是: 尽管各种脱模剂本身粘附性都很低, 但手糊用的树脂都有较高粘附性, 因此, 在脱模剂与制品界面上仍有一定的粘附力。当采用复合脱模剂时, 分开部分是在粘附力最小的两层脱模剂之间。所以对于大型制品和形状复杂的制品, 以及对于强度不高的模具制品的成型和脱模, 采用复合脱模剂是很必要的。

### 1.2.3.2 填料

在不饱和聚酯树脂中,加入填料的目的是为了降低固化收缩率和热膨胀系数,减少固化时的发热量以防龟裂;改善制品的耐热性、电性能、耐磨耗性、表面平滑性及遮盖力;提高粘度或赋予触变性;降低成本。

对填料的性能要求是:在树脂中的分散性要好;吸油量少;不影响树脂的固化和贮存稳定性。常用的填料有以下几种:碳酸钙( $\text{CaCO}_3$ ),使用最普遍,经表面处理后可减少吸油量,并赋予体系触变性。石棉、铝粉可提高冲击强度。石英粉、三氧化二铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )可提高压缩强度。三氧化二铝粉、二氧化钛( $\text{TiO}_2$ )可提高粘附力。三氧化二锑加入到含卤素树脂中能提高阻燃性。金属粉末、石墨粉可提高导热性。滑石粉、石膏粉可降低成本,并可减少树脂固化收缩。

### 1.2.3.3 颜料糊

为了防止玻璃钢制品染色不均,常把色料配成糊状,以提高着色效果。用于不饱和聚酯树脂的颜料糊应满足下列要求:

- (1) 在树脂中易分散,无色斑和分色现象,着色力大;
- (2) 不影响树脂的粘度和固化;
- (3) 有机过氧化物的存在或成型时的加热不会产生变色或褪色;
- (4) 贮存时不会引起凝胶、色泽沉降或分离等现象。

颜料中有机颜料着色力强、分散性好、透明度高,但耐候性、耐氧化性、耐溶剂性则不如无机颜料。常用的颜料粉有:钛白、锌白、铁黑、碳黑、镉黄、铬黄、赫黄、镉红、立索尔红、氧化铁红、镉橙、钼橙、铬橙、氢氧化铬绿、铬绿、酞青绿、酞青蓝、钴蓝、群青蓝及精制钨酸盐(紫色)等。

|     |       |     |
|-----|-------|-----|
| 配方: | 载色体树脂 | 50% |
|     | 颜料粉   | 50% |

配制:按配比称量混合,然后用油墨研磨机混炼成色浆。

### 1.2.3.4 触变剂

在不饱和聚酯树脂中加入触变剂,可赋予树脂触变性。所谓触变性,就是指在混和搅拌、涂刷等动作状态下,树脂粘度变低,而静止时粘度又变高的性质。触变度大小是用测定粘度的方法,以每分钟6转与每分钟60转下测定的粘度值之比来表示,一般在1.2以上为宜。

具有触变性的树脂在立面上成型玻璃钢时,可以防止树脂的流挂、滴落、麻面;使成型操作容易进行。

活性二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )是常用的触变剂,一般粒径为10—20 $\mu\text{m}$ ,表面积为50—400( $\text{m}^2/\text{g}$ ),表面带有Si-OH基团。这种Si-OH基团能形成联结薄弱的网状结构,从而使树脂增稠,用量是树脂的1%—3%。另外,聚氯乙烯细粉、彭润土也是常用的触变剂。

## 1.3 模具

模具是玻璃钢手糊成型工序中的主要装备,合理选用模具的结构形式及其材料,对玻璃钢制品的质量和生产成本的关系很大。

### 1.3.1 模具设计的基本原则

在设计模具时,要综合考虑各方面的因素,主要有下列几个方面:

(1) 要符合制品设计的精度要求。变形小的模具,其精度高,可保证制品尺寸准确。另外,要特别注意玻璃钢的收缩。关于玻璃钢的收缩与制品的大小、形状、厚度及补强方式等有关,因此,对尺寸精度要求严格的制品,尤要慎重对待。一般可以根据经验给出收缩余量和变形余量。

(2) 要有足够的强度和刚度。防止生产过程中外力对模具的损坏,以延长模具的使用周期。

(3) 要容易脱模。脱模难易是评定模具设计的重要指标。一般大型密封容器,多采用拼装模;小型容器则采用不拆除的衬里或可溶性材料的内模;为了容易脱模和对制品无损伤,可在模具中设计气孔或水孔,允许注入压缩空气或高压水来帮助脱模;在模具的拐角处应尽量避免锐角。

(4) 造价要便宜,材料要容易得到。

模具的经济效益,不仅要考虑模具本身的造价,而且还要从其使用的周期来折算。

### 1.3.2 模具的结构形式

手糊成型用的模具分单模和对模两类。单模又分阴模和阳模两种。不论单模或对模都可以根据工艺要求设计成整体式或拼装式。

常用的模具结构形式有下列几种:

#### A 阴模

阴模的工作面是向内凹陷的(见图 1-2)。用阴模生产的制品外表面光滑,尺寸准确。但凹陷深的阴模操作不便,排风困难,也不容易控制质量。阴模常用于生产机头罩,船壳等外表面要求高的制品。

#### B 阳模

阳模的工作面是凸出的(见图 1-3)。用阳模生产的制品内表面光滑,尺寸准确,操作方便,质量容易控制,便于通风处理。在手糊成型工艺中除特殊要求外,一般均采用阳模成型。

#### C 对模

对模是由阳模和阴模两部分组成,并通过定位销装配(见图 1-4)。用对模生产的制品内外表面均很光滑,厚度精确。对模一般用来生产表面精度及厚度要求高的制品,但阳模在装出料时要经常搬动,故不适宜大型制品的生产。

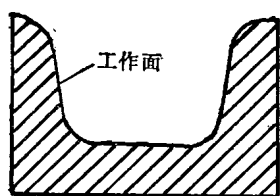


图 1-2 阴模示意图

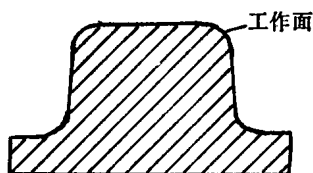


图 1-3 阳模示意图

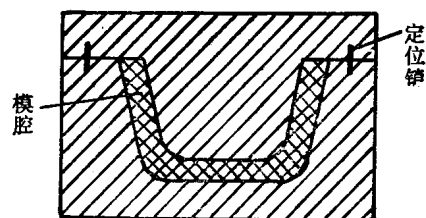


图 1-4 对模示意图

#### D 拼装模

拼装模的构造比较复杂,但是由于某些制品结构复杂或者是为了脱模方便,常将模具分成几块拼装。如大型缠绕容器的模具就是采用这种形式;在缠绕前将模块组合,固化后再从开孔处把模块拆除。

### 1.3.3 模具材料选择

模具的质量除取决于模具的结构设计外,最根本的问题是制模材料的基本性能要和模具的制造要求与使用的条件相适应。因此,根据模具的结构和使用情况,合理选用制模材料,是保证制品质量和降低成本的关键之一。

模具材料应不受树脂和辅助材料的侵蚀,不影响树脂的固化,能经受一定温度范围的变化,价格便宜,来源方便,制造容易。常用的模具材料有木材、石蜡、水泥、金属、石膏、玻璃钢、陶土、可溶性盐等。

#### A 木材

作模具用的木材要求质均、无节、不易收缩变形。常用的有红松、银杏、杉木、枣木、桃花芯木等,木材的选用应根据制品的形状和使用情况来决定。在制造模具前,木材都应制成板条进行干燥,使其含水量不大于10%,以减少模具的变形和裂纹。木模不耐久、不耐高温、表面需要经过封孔处理,但木模易加工制造,比较轻便,适用于制造结构形状复杂和大尺寸的室温固化制品。

#### B 石膏

通常是用半水石膏。制造石膏模具时,可用木材、砖等制成构架,再在构架上糊一层石膏层。为了提高模具的刚度,一般在石膏中加入水泥(石膏:水泥=7:3)进行铸造。这种模具的优点是铸造方便,费用少,但经不起冲击,易变形,不耐用。使用前要预先干燥,其表面也需进行加工和封孔处理。它适用于一些形状简单的大型制品及几何形状较复杂的小型制品的成型。

#### C 石蜡

石蜡模需在母模上翻制,主要用来成型形状复杂和脱模困难的小型异形制品。制品固化后加热使蜡从制品的预留口流淌出来。为了减小石蜡模具的收缩变形,提高模具的刚度,可在石蜡中加入5%左右的硬脂酸。石蜡模具制造方便,不需涂脱模剂,材料可以反复回收使用,成本较低,但由于石蜡熔点低,易变形,制品的精度不高。

#### D 混凝土

混凝土模具塑造较方便,成本低,刚性好,不易变形,可长期多次使用,但型面校正较困难,适用于线型光滑、规则、形状不复杂的大、中型制品。

#### E 玻璃钢

玻璃钢模是由木模或石膏模翻制成的,其优点是质轻、耐久和制造简单,适宜于表面质量要求较高,形状复杂的中、小型玻璃钢制品。

#### F 泡沫塑料

多用于不取出的模芯部分,常用的有聚苯乙烯及硬质聚胺酯泡沫塑料。

#### G 低熔点合金

一般是用58%铋和42%锡制成,熔点为135℃,其优点是制模周期短,工艺简单,可重