

塑料制品配方设计与加工实例丛书

# 塑料低压成型制品

## 配方设计与加工实例

主编 张玉龙 张子钦



国防工业出版社

National Defense Industry Press

塑料制品配方设计与加工实例丛书

# 塑料低压成型制品 配方设计与加工实例

主 编 张玉龙 张子钦  
副主编 王化银 蔡志勇 王喜梅 齐贵亮

国际工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书主要介绍了纤维缠绕成型、手糊成型、浇注成型、喷涂成型和滚塑成型的基本特点、工艺设备、工艺条件等,并对每一制品的选材、配方设计、制备工艺、制品性能和效果评价做了较为详尽的论述。语言简练,直观易学,是塑料从业人员如材料研究、产品设计、成型加工技术人员、技术工人、销售人员和教学人员等必备之书,亦可作为自学教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

塑料低压成型制品配方设计与加工实例 / 张玉龙, 张子钦主编. —北京: 国防工业出版社, 2006. 1

(塑料制品配方设计与加工实例丛书)

ISBN 7-118-04170-X

I. 塑... II. ①张...②张... III. ①低压-塑料成型-配方-设计②低压-塑料成型-生产工艺  
IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 110605 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17 422 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 30.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

## 序

随着高新技术在塑料工业中应用步伐的加快,塑料材料研究、制品设计、成型技术、工装设备制造技术均得到快速发展,塑料制品的质量和档次也有了明显提高,市场上种类繁多、形态各异、色彩斑斓的塑料制品不断满足人们的日常生活需要,在工程和高尖端工业领域,塑料制品的用量也不断增大,应用领域逐步拓展。这些都充分展示了作为新材料技术的塑料制品技术强劲的发展势头。在这一系统工程中除了塑料成型工艺设备外,很大程度上都取决于对塑料制品配方设计和工艺技术的研究与实践的长足进步。

为了推广和宣传近年来塑料制品技术的研究成果和实际的经验技术,我们在广泛收集国内外文献的基础上,结合多年来的研究与实践经验教训和体会,组织编写了《塑料制品配方设计与加工实例丛书》。该丛书包括《塑料注射制品配方设计与加工实例》、《塑料挤出制品配方设计与加工实例》、《塑料吹塑制品配方设计与加工实例》、《橡塑压制成型制品配方设计与加工实例》、《功能塑料制品配方设计与加工实例》、《塑料低压成型制品配方设计与加工实例》、《泡沫塑料制品配方设计与加工实例》和《塑料专用料配方设计与加工实例》。

本套丛书注重先进性、实用性和可操作性,由浅入深,以实例叙述为主,理论表述从简,易学好懂,可操作性强,语言简练,表文并茂,是塑料工业从业人员良好的指导教材,更是塑料材料研究与应用人员、制品设计人员、成型加工人员、制品检验人员和教学人员必读之书。相信本丛书的出版发行对我国的塑料加工业的发展,具有积极的指导作用。然而,随着科学技术的进步,本丛书还应不断增加新内容,扩充新技术,补充新知识,使之更贴近读者,更贴近实践。

丛书编委会  
2006年1月

# 前 言

低压成型工艺主要包括纤维缠绕成型、手糊成型、喷射成型、浇注成型和滚塑成型等工艺。这类工艺技术多用于制备大型、特大型或特型塑料制品,由于投资低,工艺简便,便于操作,技术成熟,制品质量好,重复性强。尽管应用时间已久,新型成型工艺技术不断涌现,但这类工艺仍在应用,特别在技术发达的美国,应用量更大。可以说,上述几种低压成型工艺在我国目前,乃至将来仍然是实用性极强的技术,值得广泛推广。

为推广上述技术,我们在广泛收集相关资料的基础上,根据我们长期研究与工作积累,组织编写了本书,书中对纤维缠绕成型、手糊成型、浇注成型、喷涂成型、滚塑成型等制品的选材、配方设计、成型工艺、制品性能和效果与评价,逐一做了较详尽的介绍。

本书理论叙述从简,实际操作尽详,由浅入深,语言精练,图文并茂,附有大量实例,直观易学。其中数据可靠,可操作性强,是塑料行业从业人员必读之书,可供材料研究、产品设计、成型加工技术人员、技术工人、销售人员、教学人员等参考。

由于水平有限,文中错误在所难免,敬请批评指正。

作者  
2006年1月

# 目 录

第 1 章 树脂纤维缠绕成型制品	1
1.1 简介	1
1.1.1 基本知识	1
1.1.2 缠绕设备	1
1.1.3 缠绕成型工艺	6
1.2 管材	8
1.2.1 热固性增强塑料管材	8
1.2.2 橡胶内衬玻璃钢管	10
1.2.3 聚酯热收缩管材	12
1.2.4 纤维缠绕地埋输水管道	14
1.2.5 纤维缠绕玻璃钢壳体开口用补强环	16
1.2.6 复合喷管收敛段	17
1.2.7 高模量复合材料管件	20
1.2.8 PTFE 缠绕成型与橡胶复合波纹管	22
1.2.9 橡塑水带管	24
1.2.10 PVC 空气胶管	28
1.2.11 PVC 消防软管	32
1.2.12 PP/FRP 大口径复合管	34
1.2.13 聚丙烯/玻璃纤维缠绕复合管	36
1.2.14 聚乙烯/玻璃纤维复合管	38
1.2.15 MC 尼龙/GRP 复合管	39
1.3 缠绕成型容器	41
1.3.1 F12/T800 混杂纤维压力容器	41
1.3.2 碳纤维复合材料高压球形容器	45
1.3.3 碳纤维湿法缠绕 $\phi 150\text{mm}$ 容器	48
1.3.4 玻璃纤维缠绕壳体	49
1.3.5 薄壁铝内衬芳纶缠绕高压气瓶	51
1.3.6 玻璃钢酸解桶	54
1.3.7 大型耐浓强碱玻璃钢贮罐	55
1.3.8 不饱和聚酯缠绕水处理容器	57
1.3.9 PP/GFRP 外压贮罐	59
1.3.10 立式现场缠绕大型 FRP 贮罐	61
1.4 缠绕成型其他制品	63
1.4.1 固体火箭发动机复合裙	63
1.4.2 聚四氟乙烯三通缠绕件	64

<b>第 2 章 手糊成型制品</b> .....	70
2.1 简介 .....	70
2.1.1 基本知识 .....	70
2.1.2 模具 .....	71
2.1.3 脱模剂与工具 .....	73
2.1.4 成型工艺过程 .....	75
2.2 手糊成型塔体及容器 .....	84
2.2.1 玻璃钢湍球塔体 .....	84
2.2.2 手糊酚醛玻璃钢矩形贮槽 .....	86
2.2.3 复合材料弹头及部段包装箱 .....	87
2.2.4 玻璃钢水处理罐 .....	90
2.2.5 环氧呋喃玻璃钢贮罐 .....	92
2.2.6 耐氢氟酸/硝酸玻璃钢贮罐 .....	94
2.3 手糊成型罩、壳体 .....	96
2.3.1 手糊大型舰炮玻璃钢防护罩 .....	96
2.3.2 卫星天线罩 .....	99
2.3.3 车载大型雷达罩 .....	101
2.3.4 多宽频率常温固化环氧玻璃钢雷达罩 .....	103
2.3.5 无内衬玻璃钢反渗透器光体 .....	106
2.3.6 搅拌器壳体 .....	108
2.4 运输工具制品 .....	109
2.4.1 景区游览用聚合物复合材料车体 .....	109
2.4.2 解体成型法制备玻璃钢车体 .....	113
2.4.3 6400 轻型旅行车玻璃钢车身 .....	115
2.4.4 玻璃钢面包车体 .....	117
2.4.5 玻璃纤维增强塑料(GFRP)客车制品 .....	119
2.4.6 铁路客车酚醛风道 .....	121
2.4.7 12cm 高速交通艇玻璃钢壳体 .....	122
2.4.8 复合材料皮艇桨 .....	123
2.4.9 游艇制备用镜面玻璃纤维增强塑料(GFRP)模具 .....	128
2.5 其他制品 .....	130
2.5.1 透明玻璃钢板(瓦) .....	130
2.5.2 1800 玻璃钢航标浮鼓 .....	134
2.5.3 玻璃钢模型桥 .....	136
2.5.4 200kW 风力机叶片 .....	139
<b>第 3 章 浇注制品</b> .....	142
3.1 尼龙浇注制品 .....	142
3.1.1 简介 .....	142
3.1.2 MC 尼龙板材 .....	146
3.1.3 改性 MC 尼龙护顶顶梁 .....	148

3.1.4	刮板运输机改性 MC 尼龙中部槽	149
3.1.5	改性尼龙管道	151
3.1.6	石膏型铸造用 MC 尼龙	153
3.2	聚氨酯浇注制品	155
3.2.1	聚氨酯辊制品	155
3.2.2	聚氨酯轮制品	167
3.2.3	聚氨酯筛(板)网	180
3.2.4	其他聚氨酯浇注制品	187
3.3	环氧浇(灌)注制品	196
3.3.1	电机用环氧浇注制品配制	196
3.3.2	12H 型刨齿机床的保险闸塑料齿轮的浇注成型	198
3.3.3	高速电机转子环氧树脂滴胶灌封技术	198
3.3.4	通信机制造中用环氧灌注技术	200
3.3.5	电源变换器整流组合灌封工艺	202
3.4	其他浇注制品	205
3.4.1	浴缸	205
3.4.2	夹门板模具	206
3.4.3	SCRIMP(真空辅助成型)制备玻璃天线罩	208
<b>第 4 章</b>	<b>喷涂成型制品</b>	<b>210</b>
4.1	简介	210
4.1.1	成型原理及特点	210
4.1.2	对制品和模具设计的几点要求	210
4.1.3	喷涂工艺技术要点	210
4.1.4	喷射成型工艺	211
4.2	大型工业制品	213
4.2.1	随角异色玻璃钢车身	213
4.2.2	机车前端的玻璃钢制品	215
4.2.3	全氟(乙烯/丙烯)共聚(PFEP)物/碳钢耐腐蚀复合塔	217
4.3	日常用品	219
<b>第 5 章</b>	<b>其他成型技术</b>	<b>222</b>
5.1	滚塑成型	222
5.1.1	概述	222
5.1.2	旋转模塑成型与其他工艺的比较及局限性	224
5.1.3	旋转模塑成型制备实例	225
5.2	其他制品低压成型技术	239
5.2.1	嵌铸	239
5.2.2	搪塑与浸涂	239
5.2.3	蘸浸成型	240
5.2.4	制品成型制备实例	240
<b>参考文献</b>		<b>262</b>



# 第 1 章 树脂纤维缠绕成型制品

## 1.1 简介

### 1.1.1 基本知识

#### 1.1.1.1 缠绕成型的基本原理

缠绕成型是把连续的纤维经树脂胶液浸渍后,在张力作用下,按照一定的规律缠绕到芯模上,然后通过加热或常温固化成型,制成具有一定形状制品的工艺技术(见图 1-1)。根据缠绕时树脂所具备的物理化学状态不同,缠绕成型又可分为干法、湿法和半干法三种形式。

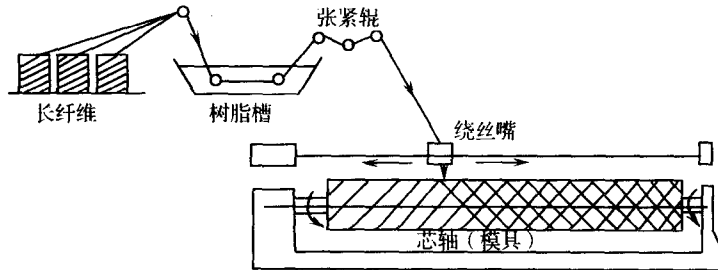


图 1-1 纤维缠绕成型工艺

#### 1.1.1.2 纤维缠绕成型的特点

(1) 由于纤维是加张力后卷缠的,制品中纤维含量高,最高可达 80%,致使制品强度较高。其比强度高于钛合金。

(2) 通过改变纤维方向,可制得各向强度相同或相异的制品,便于确保制品质量的稳定性。

(3) 可制得内表面光滑,质量好的制品。

(4) 此法生产效率较高,适于大批量生产。

其缺点是制品强度方向性比较明显,层间剪切强度低,对加工设备性能要求较高。

#### 1.1.1.3 工艺的适用性

纤维缠绕成型通常适用于制造圆柱体、圆筒体、球体和某些正曲率回转体制品,如国防工业中的火箭发动机壳体、枪炮管等。这些制品以高性能纤维为增强材料,树脂基体以环氧树脂居多。而民用工业中则采用价格便宜的无碱玻璃粗纱,基体树脂以不饱和聚酯代替环氧树脂,并简化缠绕设备以利于高速生产,特别是成型生产管道、容器、贮槽等制品,可用于油田、炼油厂和化工厂。

### 1.1.2 缠绕设备

#### 1.1.2.1 机械缠绕机的类型

根据芯模和纤维供给机构(绕丝嘴)的运动形式,机械式缠绕机可分为:

(1) 小车环链式缠绕机。缠绕机工作原理:芯模水平放置,以环链、丝杆机构带动小车运动,能进行螺旋和环向缠绕。缠绕时芯模绕自身轴匀速转动,小车在平行于芯模轴线方向往复运动。

(2) 绕臂式缠绕机(见图 1-2)。绕臂式缠绕机又称立式缠绕机,其芯模垂直放置,这样布置便可消除芯模挠度,同时也使绕臂容易配置。适合于中型或大型的缠绕机。

(3) 滚转式缠绕机(见图 1-3)。滚转式缠绕机又称翻斗式缠绕机,适用于干法和湿法平面缠绕。其工作原理:芯模一面围绕迹线轴转动,并进行斤斗式翻转,另外又绕自身轴线转动。翻转一周,芯模自转与一纱带宽相应的角度。芯模可以一端或两端固定,在垂直或水平平面内滚转,由固定的伸臂供给纤维,然后由附加装置来实现环向缠绕。由于滚转的动作限制制品的尺寸,所以该缠绕机使用受限。

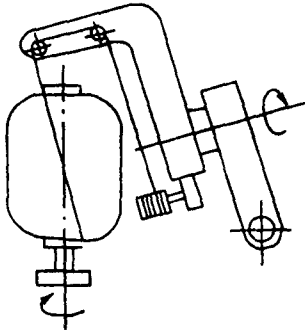


图 1-2 绕臂式缠绕机

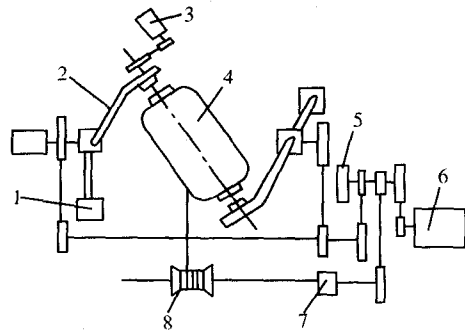


图 1-3 滚转式缠绕机

1—平衡铁; 2—摇臂; 3—电机; 4—芯模;  
5—制动器; 6—电机; 7—离合器; 8—纱团。

(4) 跑道式缠绕机。此缠绕机适用于平面缠绕成型的大型产品。其工作原理:围绕芯模有一环形轨道,装着纱架和绕丝嘴的小车沿轨道运动。小车绕芯模运转一周,芯模自转一微小角度,从而呈现出平面缠绕线型。环形轨道平面必须与芯模轨道成一缠绕角,以便使吐出的纱带能避开芯模两端机孔的接嘴。芯模轴倾斜或水平放置。

(5) 电缆机式纵向缠绕机(见图 1-4)。这种缠绕机适用于干法缠绕。其工作原理:利用安装在芯模环上的加热元件或热空气喷管,通过热空气加热、辐射加热或接触加热软化预浸纱实施缠绕。其缠绕过程:由装有纵向纱团的转环与芯模进行同步回转,并沿芯模轴线作往复运动,进行纵向缠绕。而环向层缠绕,则由纱片从转向的纱团拉出敷到芯模上构成纵向层后,再将环向纱团的纱片缠绕在纵向层上,构成环向层。缠绕纵向层与环向层的比例应确保 1:2。该机适用于缠绕无封头的圆筒形容器或管道等制品。

(6) 球形容器缠绕机(见图 1-5)。此机可使用无捻粗纱和玻璃布带,芯模轴可直立或横卧放置。这类机器广泛适用于缠绕环形发动机壳体和压缩空气用容器。

其工作原理:球形芯模悬臂连接在摆臂上,摆臂能摆动,球芯模又能在摆臂上绕自轴转动。绕丝嘴与浸胶装置都固定在转台上,转台内装置纱架。胶量由计量泵控制。

在缠绕过程中,球形容器缠绕机可作 4 种运动(见图 1-6)。

(7) 内侧缠绕机。内侧缠绕法:内侧缠绕成型(见图 1-7)是在高速转动的筒状成型模内侧,借助离心力的作用将玻璃纤维粗纱缠绕到模内侧的方法。此法可制成具有特殊性能的玻璃钢制品。其工作原理:向加热到特定温度的金属圆筒模中心,推进预先绕有玻璃纤维的滚

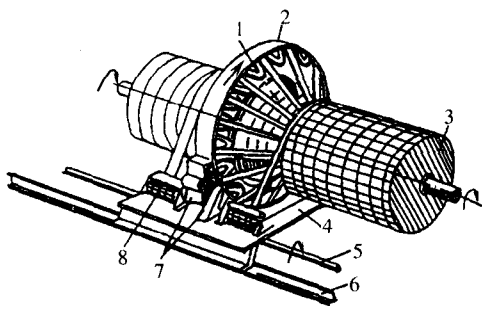


图 1-4 电缆机式纵向缠绕机  
1—纵向层纱盘；2—转环；3—芯模；  
4—小车；5—小车丝杆；6—小车导轨；  
7—转环旋转传动机构；8—环向缠绕纱架。

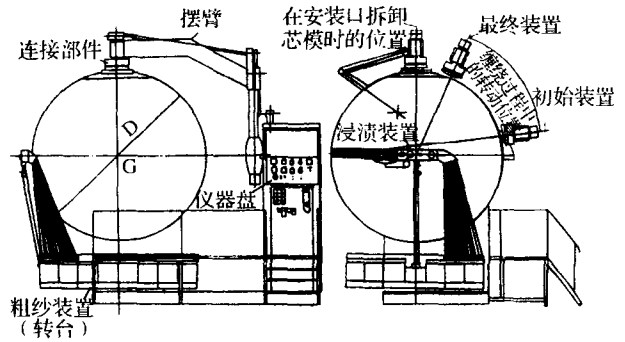


图 1-5 球形容器缠绕机

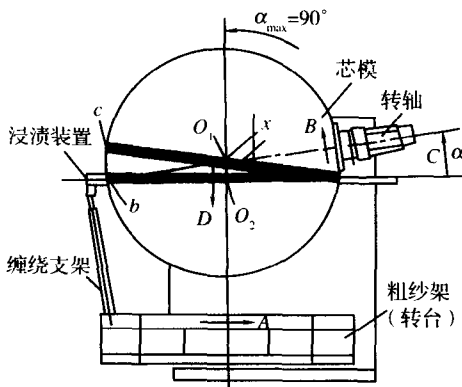


图 1-6 球形缠绕机缠绕起

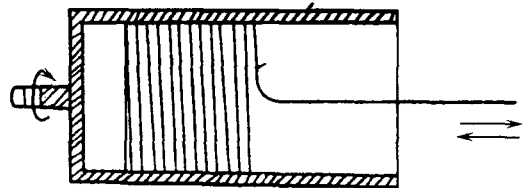


图 1-7 内侧缠绕

筒。金属圆筒按逆玻璃纤维卷绕方向高速旋转,这时由于离心力的作用,玻璃纤维每分钟以数千米的高速,均匀地、高密度地移绕到圆筒模的内表面(见图 1-8)。然后,粗纱滚筒转 180°,使树脂流出,树脂借离心力浸渍到圆筒模内的玻璃纤维(见图 1-9)上,与此同时,加热使树脂快速固化。

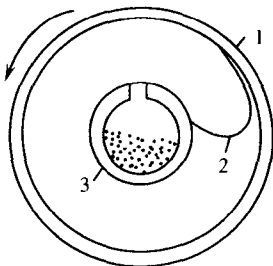


图 1-8 缠绕纤维

1—成型模；2—玻璃纤维粗纱；3—粗纱。

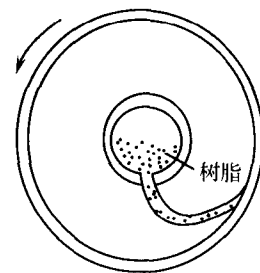


图 1-9 浸渍树脂

(8) 斜缠缠绕机。工作原理:预浸渍斜切布带搭接后卷成胶布带卷盘 5,胶布带经过导向辊 4 进入夹紧辊 3,夹紧辊的压力使布带产生一定张力。而后进入热锥辊 2,胶布带在热锥辊

表面被加热变软,并在缠绕张力作用下使其在热锥辊上发生扇形预变形,随着芯模转动及热锥辊的压力作用,使已变形变软的胶布带紧密地过渡到环锥形斜块的表面上。如此循环下去,即可使胶布带均匀地斜缠满芯模表面,见图 1-10。斜缠缠绕机的结构见图 1-11。

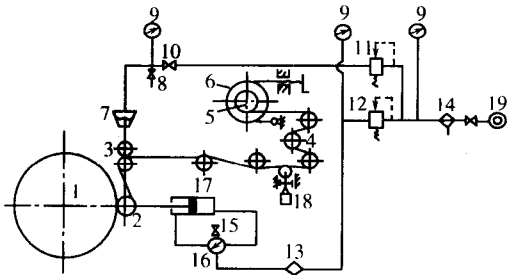


图 1-10 斜缠缠绕机工作原理

- 1—芯模; 2—热锥辊; 3—夹紧辊; 4—导向辊; 5—胶布带卷盘;  
6—刹车带张力装置; 7—膜片式气动缸; 8—截止阀; 9—压力表;  
10—截止阀; 11—减压阀; 12—减压阀; 13—油雾器;  
14—水分离器; 15—截止网; 16—换向阀; 17—活塞式气动缸;  
18—张力传感器; 19—气源。

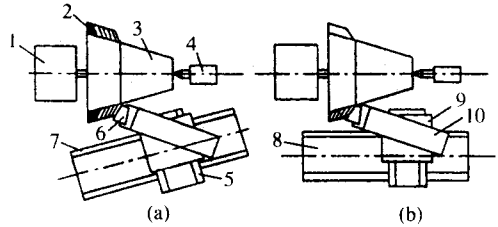


图 1-11 斜缠缠绕机

- (a) 活动式床身; (b) 固定式床身。  
1—床头箱; 2—环锥形斜块; 3—锥体芯模; 4—尾座;  
5—横向导轨; 6—热锥辊; 7—纵向导轨;  
8—床身; 9—横向溜板; 10—缠绕托架。

### 1.1.2.2 程序控制缠绕机

#### 1. 缠绕机

(1) 程序控制装置。一般具备两种功能。①控制程序的转换使做出规定的动作。②根据加工工艺要求,控制各个加工参数。

如果是以断续数字量来控制的,或信息处理上具有对数字进行运算要求的,则这类控制称为数字控制。如果是以连续模拟量来控制的,在信息处理上不进行数字运算的,则称为模拟控制。整个操作过程可达到很高的自动化程度。

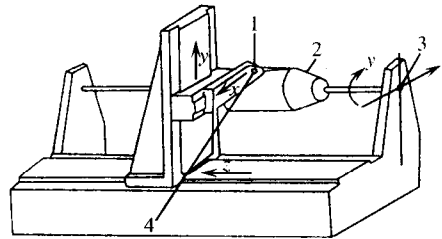


图 1-12 缠绕机的多坐标运动

- 1—绕丝头; 2—芯模; 3—轴心; 4—粗纱。

(2) 工作原理。在纤维缠绕成型机中,要求纤维缠绕设备具有较高的精度、较大的灵活性和通用性,以适应缠绕制品的要求。为满足一些特殊异形制品(如三通、弯头等)的精确缠绕,绕丝头的运动坐标已由一个发展到多个,再加上芯模主轴的旋转(或摆动)(见图 1-12),这样就能使纤维不产生滑移地按制品的缠绕成型进行精密缠绕。

程序控制缠绕机系统的方框见图 1-13。

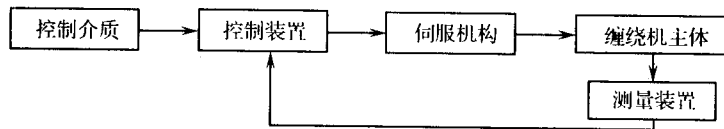


图 1-13 程序控制缠绕机系统

### 1.1.2.3 弯管缠绕设备

(1) 干法缠绕玻璃钢弯管设备。这类设备要将玻璃钢纤维预先织成带并浸渍树脂,使之成为预浸胶带。缠绕时胶带一般只作环向缠绕,而芯模作移动及回转运动,以实现 90°弯管中直管段和弧管段的缠绕。

(2) 湿法生产玻璃钢弯管的设备。干法缠绕需预浸胶带,工序多、成本较高、只有环向缠绕,缠绕可设计性差,纤维强度未充分发挥,为此不少国家研制了湿法纤维缠绕玻璃钢弯管设备。

(3) 一次成型多件弯管的缠绕机。图 1-14 是 Ciba 公司研制的一次成型多件弯管的缠绕机,缠绕时,芯模静止不动,绕丝头一边围绕芯模回转,一边沿靠模板的槽作水平移动。在缠绕头的边缘装有纤维纱筒、涂树脂装置和一系列导纱辊,当绕丝头作上述运动时,浸渍树脂实现弧管段的缠绕。

(4) 连续成型弯管缠绕机。日本研制了一种连续成型弯管的缠绕机组,见图 1-15。

当直的空芯塑料管 6 连续输入后,由折弯机上通过的悬浮挤压热辊将其弯成波浪形,然后由缠绕机 2 进行纤维缠绕。纤维经导向辊进入缠绕区,缠绕时,由树脂喷射装置喷树脂对纤维进行浸渍,缠绕后芯模由传送带继续向前输送,由缠绕机 2' 再次进行纤维缠绕。缠绕机 2' 与 2 在垂直芯模行进方向上对称,这样可在芯模上获交叉网状条纹,缠完后的芯模由传送带 5 送入固化炉 3 中加热固化,固化成型后的制品进入切割装置 4 进行切割,即获得单一弯管制品。该机可自动控制,生产效率高。

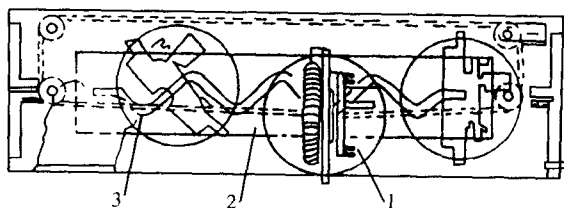


图 1-14 Ciba 公司一次成型多件弯管的缠绕机  
1—缠绕头; 2—靠模; 3—制品。

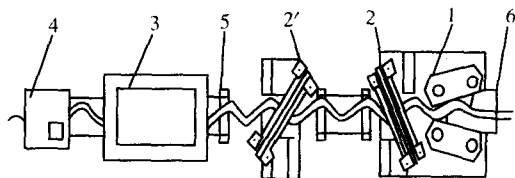


图 1-15 连续成型弯管的缠绕机  
1—折弯机; 2'、2—缠绕机; 3—固化炉;  
4—切割装置; 5—传送带; 6—塑料管。

(5) 计算机控制的弯管纤维缠绕机。随着微处理计算机和数控设备不断发展,用微机控制的纤维缠绕机也用于缠绕弯管。由于用微机进行数据采集及控制,运动精度高,误差在长度方向上为  $\pm 0.02\text{mm}$ , 旋转方向  $\pm 0.96^\circ$ , 编程灵活。德国亚琛大学研制的计算机控制弯管缠绕机见图 1-16。

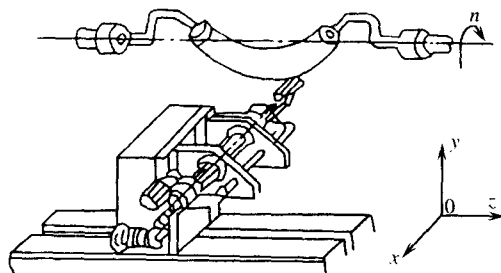


图 1-16 德国研制的计算机控制弯管缠

缠绕机的丝嘴可在三维空间中运动,而芯模绕其轴线回转。设备上有与缠绕机相同自由度数的坐标测量装置,它经过多路调制器与计算机相连,把各坐标方向信息传递给计算机以便处理。它还设有专门的纤维或布带控制装置,以保证纤维或布带等宽地缠到芯模表面上。微机控制的缠绕机出纱速度快,纱团数多,且纤维支数、股数不限,因而生产效率高。加上纤维浸渍、胶槽加热、预张紧力、纱带随动等特色,可制造高质量、高精度的产品。

### 1.1.3 缠绕成型工艺

#### 1.1.3.1 缠绕方法

在缠绕过程中,纤维必须有规律地缠绕,只有这样才能确保纤维缠绕时良好的工艺性能,不至于发生纤维“打滑”现象,这对于制备满足设计强度要求的、高质量的制品十分重要。

(1) 纵向平面缠绕(见图 1-17)。它的特点是绕丝头固定在一个平面内作圆周运动,而芯模则绕自己的中心轴作间歇转动。绕丝头转一周,芯模转过与一条纱带宽度相对应的角度。这种规律主要用于球形、扁椭圆形以及短粗筒形容器的缠绕。这种缠绕在头部易出现架空现象,影响强度。

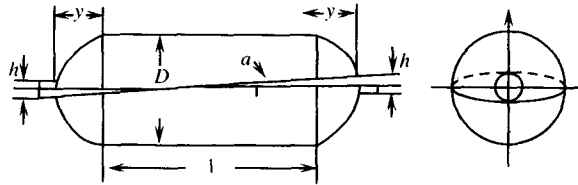


图 1-17 纵向平面缠绕

(2) 环向平面缠绕(见图 1-18)。它的特点是绕头沿着芯模轴线方向作缓慢的往复运动,而芯模则绕自己的轴线作均匀的转动。芯模转一周,绕丝头移动一条纱带宽的距离。环向平面缠绕设备简单,质量容易保证,并能充分发挥纤维的环向强度。所以一般内压容器的成型都采用环向平面缠绕和径向平面缠绕相结合的方式。

(3) 螺旋缠绕(见图 1-19)。缠绕时,芯模绕自己轴线匀速转动,丝嘴按特定速度沿芯模轴线方向往复运动,于是,在芯模的筒身和封头上就实现了螺旋缠绕。其缠绕角为  $12^\circ \sim 70^\circ$ 。在螺旋缠绕中,纤维缠绕不仅在圆筒段进行,也在封头上进行,纤维从容器一端的极孔圆周上某点出发,沿着封头曲面上与极孔圆相切的曲线绕过封头,随后按螺旋线轨迹绕过圆筒段,进入另一端的封头。如此循环下去,直到芯模表面均匀布满纤维为止。由此可见,纤维缠绕的轨迹是由圆筒段的螺旋线和封头上与极孔相切的空间曲线所组成。在缠绕过程中,纱片若以右旋螺旋缠到芯模上;返回时,则以左旋螺旋缠到芯模上。螺旋缠绕的特点是:每条纤维都对极孔圆周上的一个切点;与相同方向的邻近纱片之间相切不相交;与不同方向的纤维则相交。这样当纤维均匀缠满芯模表面时,就构成了双层纤维层。

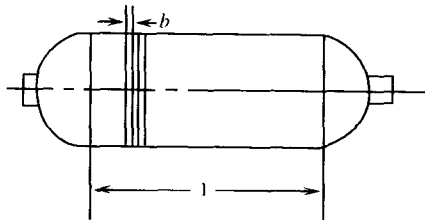


图 1-18 环向平面缠绕

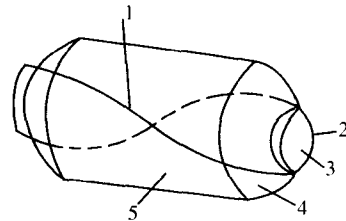


图 1-19 螺旋缠绕

1—螺旋缠绕纤维; 2—切点; 3—极孔圆;  
4—封头曲线; 5—筒身段。

#### 1.1.3.2 缠绕张力的控制方法

纤维或无捻粗纱的缠绕张力对制品强度有重要影响(见表 1-1),在缠绕过程中,缠绕张力应力力求均匀。对某些类型的缠绕机,如果采用纺织上的驼背或剪刀式传递器可使无捻粗纱的弯曲减少,而对低股数的无捻粗纱单独施加张力,使某些形状的纤维缠绕制品,实现均匀的缠绕绕力。

表 1-1 玻璃无捻粗纱的缠绕张力与树脂含量、环向拉伸强度的关系<sup>①</sup>

玻纤的缠绕张力/N	树脂含量/%		拉伸强度/MPa
	预浸纱	固化后	
267	18	18	1744
534	18	16	1793
800	18	15	1731
800	16	16	1793
800	22	19	1731
800	25	19	1489
1068	18	15	1627

① 试验环直径 76.2mm, 壁厚 1.52mm

在确定张力时还必须考虑到,在缠绕过程中应使张力随着壁厚的增加而逐渐地减小,否则,外层纤维势必压缩内层纤维,从而使内层松弛,也就是说,当缠绕层足够厚时,内层纤维实际上无法承受荷载。

在纱轴上安装一种机械式制动器可张紧纤维。玻璃纤维从纱团引出后,还要通过一些固定式或制动式抛光钢辊。其中一个或几个钢辊必须是可调的,以便控制张力的变化。

在纤维通过张力辊的时候,需用梳子将各股纤维分开,以免打捻、发皱、曲折和磨损。张力辊太小(最小直径大约 50.8mm)会引起纤维磨损或降低力学性能。当张力辊过多时,纤维要多次弯曲,也会大大降低强度。最后的张力是通过一个起绕丝嘴作用的曲面导纱杆加上去的。在最后一个辊和导纱杆之间装上张力表,以便观察并自动控制张力。

张力可在纱轴上或纱轴与芯模之间的某一部位施加。前法比较简单,但两种方法都不太理想。在纱团上施加全部缠绕张力,会带来如下的困难:对湿法缠绕来说,纤维的树脂浸渍情况不好;对干法缠绕来说,如果预浸纱卷装得不够精确,加上张力后,易使纱片勒进去,引起断头。一般认为,湿法宜在无捻粗纱离开树脂槽之后施加缠绕张力;而干法宜在预浸纱团上施加缠绕张力。

缠绕期间必须对缠绕张力加以控制。如果缠绕张力太小或忽大忽小,会使纤维缠绕结构的强度损失 30% 左右。

### 1.1.3.3 制品的固化

#### 1. 固化温度

纤维缠绕结构通常是在缠绕过程中或缠绕结束后再进行加热固化。树脂的固化温度通常掌握在 90℃ ~ 170℃,固化温度的确定,要根据所用树脂基体的固化温度,以及加入固化剂和促进剂的性质而定。

湿法缠绕成型中树脂体系或干法缠绕成型中所用的预浸纤维纱的固化,一般采用在绕芯模上的纤维或无捻粗纱周围设置的红外加热装置或蒸汽加热套加热固化。湿法缠绕成型中有时还把加热器设置在树脂浸渍槽一侧。

在缠绕过程中,也可从外部加热已经绕好的纤维缠绕体系,即边缠绕,边加热固化。对大型或厚壁压力容器制品也可采用芯模内部加热法进行固化。

制品缠绕成型完毕,通常还要进行热处理,以使制品进一步达完全固化程度。制品完成热处理后,待冷却后即可脱模。在热处理时,最好将制品垂直放置于固化罐内,在缓慢旋转中加

热固化,这样可确保制品受热均匀。

## 2. 固化压力及固化方法

纤维缠绕制品目前所采用的固化方法,除加热外,通常还要施加 0.3MPa ~ 7.0MPa 的固化压力,特别是环氧基缠绕制品。如果纤维缠绕制品体积小,也可在热压器和水压器内进行固化,其效果良好。大型制品,如贮罐、大型火箭发动机壳体,以及直径约为 4.0m ~ 14.0m 的特大型制品,必须采用新型的加压系统,方可实现对缠绕制品施加足够的固化压力。深水浸没法、环压法、索罩加压法等新型加压技术便孕育而生。

(1) 深水浸没法。此法是把缠绕好的制品装在橡胶袋内沉入海底,利用水的静态压力加压。其工艺过程为:在把缠绕好的制品,装入橡胶袋内,再用适当材料将其包裹,用船运到海上,先沉到相当于 1.4MPa 压力的海水深度,并用电热法加热芯模,升温到 82℃。经过一段时间的预固化后,再继续下沉到所需要的深度。下沉期间继续加热芯模,使之达到所要求的温度。固化完成后切断电源。待缠绕制品在深水压力下冷却之后,即可取回。

(2) 环压法。环压法适用于锥形喷管等非圆筒形缠绕制品。其工艺过程为:根据芯模外形把一系列直径不等的钢环组合起来。将许多环都锁在一起,其端部用端板包覆起来,并依次用螺钉连接到内部的钢芯模结构上实施加压。

(3) 索罩加压法。使用此加压法时,用连续的钢索代替钢环。这种加压装置是由二层橡皮罩和连续的钢索组成的。其工艺过程为:在缠绕制品层上包好第 1 层橡皮罩和第 2 层橡皮罩。在第 2 层橡皮罩外边缠上很薄的软钢带。软钢带要缠成花格形的,以保护橡皮罩不被钢索勒坏,并防止橡皮罩在加压过程中从钢索之间挤出来。最后用水泵在两层橡皮罩之间加压。

索罩加压法可把整个有压的索罩系统放进炉内加热,也可采用蒸汽或电热在芯模里加热。用此法固化大型缠绕制品,不仅材料密度可以控制,而且制品固化程度甚至达到理论最佳值。

## 1.2 管 材

### 1.2.1 热固性增强塑料管材

(1) 原材料。缠绕法制管通常用不饱和聚酯树脂、酚醛环氧树脂、环氧树脂为基体,玻璃纤维丝(或带)为增强材料,所制管最大长度可达 300cm ~ 400cm,管径 1cm ~ 40cm,壁厚 0.2cm ~ 2cm。管的强度通过铺层设计达到所要求。该法制备的管材多用于化工防腐、输油及一些受力的管形制品。

缠绕法制管的增强材料主要是玻璃纤维带或玻璃纤维合股纱、碳纤维带或其合股纱等。由于此法所制的管道一般为受力构件,要求力学强度较高,所以它所用的胶黏剂主要为酚醛环氧树脂、环氧树脂,根据使用条件的不同,有时也用不饱和聚酯树脂。几种树脂胶液的典型配方见表 1-2。

表 1-2 几种树脂胶液的典型配方(质量份)

配 方	A	B	C	D
E-44 环氧树脂	100	100		
6101 环氧树脂			100	
616 酚醛树脂		60	10	



(续)

配 方	A	B	C	D
19J 不饱和聚酯				100
Q-甲基咪唑	4			
缩二乙二醇	4			
邻苯二甲酸二丁酯	4		10~15	
丙酮	适量	40	适量	
间苯二胺			14~16	
萘酸钴(含钴 6%)				224
过氧化环己酮糊				2~4

A 配方低毒、高强度,但低温固化;B 配方工艺性能好、耐热使用期长,但有过敏性;C 配方工艺性好、耐温,但有毒;D 配方工艺性好、价廉,但使用温度较低。

缠绕制管所用的玻璃纤维一般为 20 股~40 股的无捻粗纱或 3cm 宽、0.2cm 厚的玻璃布带。有捻纤维工艺性好,在使用过程中不易起毛和断头,但由于加工工序较多,强度损失较大;无捻纤维工艺性稍差,但成本低、强度损失小。同一支数的玻璃纤维,股数多少对强度影响不大,为了提高生产效率,减少使用中的麻烦,一般用 10 股~40 股的合股纱。用玻璃纤维合股纱制造的管道,经过铺层设计可加强纵向强度,所制玻璃钢管道,一般比用玻璃布带制得的管道强度高。

(2) 生产工艺流程(见图 1-20)。增强填料浸胶后未经烘干即进行缠绕,这一点与卷绕法不同,所以又称湿法,而经过烘干的方法称为干法。湿法所需设备简单,较经济;干法可较严格地控制浸胶量,制品质量较稳定。用玻璃纤维为原料时,干、湿法原则上均可用,而用碳纤维为原料时,因其性脆容易断头,所以一般采用湿法。

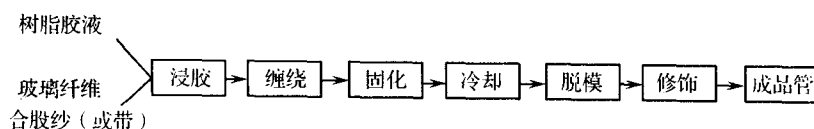


图 1-20 热固性增强塑料管缠绕生产工艺流程

缠管的生产工艺见图 1-21。

将玻璃纤维按要求的合股数放在纱架上,将配好的胶液倒入装在小车上的浸胶槽内,按照合股纱的宽度及缠绕规律调节小车的移动速度,将管芯固定在缠绕机的支架上,开动电机使管芯转动,用手将纱带拉出一段,将纱带的一头固定在管芯端头的孔中。开动电机使管芯转动和小车移动,纤维带就按一定的螺旋规律缠到管芯上,随即调节张力,使之符合规定要求。当纱带缠到另一端时,扭转反向开关,使小车向反向移动,这样反复缠绕,一直达到规定的厚度后剪断胶带。若制备不饱和聚酯树脂玻璃钢管,则继续使带有管芯的管子转动,当树脂基本固化时才从支架上取下,放置 24h 以后再用脱管机脱管。当缠绕酚醛环氧玻璃钢管时也应使之在转动下基本凝胶后才从支架上取下,再送入固化炉中固化,固化后取出,在室温下冷却 40min~