

玻璃钢技工系列教材

# 缠 绕 工 艺

冷兴武 王文达 张立国 编著

武汉工业大学出版社

(鄂)新登字 13 号

图书在版编目(CIP)数据

缠绕工艺/冷兴武等编著. —武汉: 武汉工业大学出版社 1995. 5

玻璃钢技工系列教材

ISBN 7-5629-0953-5/TQ · 99

I. 缠… II. 冷… III. 玻璃钢-卷绕-生产工艺-技工学校-教材 IV. TQ327. 16

武汉工业大学出版社出版

(武汉市武昌珞狮路 14 号 邮编 430070)

新华书店湖北发行所发行 各地新华书店经销

武汉工业大学出版社中南三〇九印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 6.625 字数: 140 千字

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—2000 定价: 9.50 元

ISBN 7-5629-0953-9/TQ · 99

## 出版序言

当前,我国国民经济正以高速度向前发展,建材工业作为基础工业之一,在国民经济发展中占有举足轻重的地位。邓小平同志指出:“科学技术是第一生产力”。建材工业要大发展,科技教育工作必须走在前面,培养具有较高科学文化知识和生产技能的社会主义劳动者,乃是百年大计。

我国玻璃钢(即指玻璃纤维增强塑料)工业起步于本世纪50年代,到目前已发展到有数千家企业、数千种产品的富有旺盛生命力的一个行业,玻璃钢产品已在我国石油、化工、交通、建筑、机械、电气、环保、农业、国防等许多领域得到应用。然而,为数众多的玻璃钢企业的职工文化素质和技术水平相对较低,这严重制约着整个行业的技术进步和发展。为此,我们组织编写了这套“全国玻璃钢技工系列教材”,其中包括:《玻璃钢概论》、《纤维增强材料》、《合成树脂》、《手糊成型工艺》、《压制成型工艺》、《缠绕成型工艺》、《玻璃钢检验》、《玻璃钢物化性能试验》、《玻璃钢力学性能试验》共9种。

本系列教材是按1987年5月国家建材局人才开发司颁布的“玻璃钢企业技术培训教学计划、教学大纲”进行编写的。并结合1990年2月国家建材局颁布的“纤维增强材料工人技术等级标准”有关玻璃钢各工种应知应会条款,进行了修改,补充了一些初学者入门知识,照顾到了乡镇企业适用的教学内容。

本系列教材以玻璃钢企业具有初中以上文化程度的中级技工为主要对象,兼顾到初级、高级技工层次,取材全面、内容丰富,文字通俗易懂,并配有习题。

本系列教材为国家建材局指定的玻璃钢教材,可作为技工学校玻璃钢专业和玻璃钢企业技术培训教材。请各使用单位根据教学和培训的实际需要,选择相应的内容进行教学。

本系列教材的问世,得到编者、审稿人、出版社有关同志的大力支持,在此表示衷心的感谢。

各单位在使用本教材的过程中,有何建议和要求,请及时反馈到国家建材局教材办公室和武汉工业大学出版社,以便再版时修改,使这套教材日臻完善。

国家建材工业局教材办公室

1994年8月

## 全国玻璃钢技工系列教材总编组 成员名单:

总 编 冷兴武 (国家建材工业局哈尔滨玻璃钢研究所)  
副总编 (按姓氏笔划为序)

|     |                   |
|-----|-------------------|
| 王月新 | (常州建材二五三厂)        |
| 朱 培 | (国家建材工业局玻璃钢研究设计院) |
| 陆全法 | (国家建材工业局上海玻璃钢研究所) |
| 贾玉英 | (中国无机非金属材料科技实业公司) |
| 蔡绍彭 | (兵器工业总公司五七二七厂)    |

# 前 言

本书是一本有关玻璃钢/复合材料缠绕工艺的专业技术教材。

全书共分六章,分别介绍了玻璃钢/复合材料缠绕工艺中有关缠绕的基本概念、缠绕规律、缠绕机械、芯模结构与制造、缠绕工艺与计算、纤维缠绕例题、布带缠绕。

本书收集大量资料,并结合作者多年的实际工作经验综合写成。内容深入浅出,强调实际操作技能,给出大量的通俗的缠绕工艺必需的各种理论计算例题。把本来人们认为很深的工艺理论都逐一浅化,这是本书所独具的特点。

本书适用于具有初中以上文化程度的初、中、高级玻璃钢缠绕工种技术工人学习,亦可供一般玻璃钢专业技术人员和管理人员参考。

全书由冷兴武主编,并编写绪论、第一章、第三章;王文达编写第二章、第四章、第五章;张立国编写第六章。全书由贾玉瑛主审,马福柱、王荣国参审。书中错漏之处,诚请读者批评指正。

编著者

1994年5月

# 目 录

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 绪论              | (1)   |
| 第一节 概述          | (1)   |
| 第二节 缠绕工艺过程      | (4)   |
| 第三节 缠绕工艺的应用     | (7)   |
| 第四节 参观实习        | (9)   |
| 复习题             | (10)  |
| 第一章 缠绕规律        | (11)  |
| 第一节 缠绕基本规律的概念   | (11)  |
| 第二节 缠绕中心角与缠绕角计算 | (14)  |
| 第三节 非测地线缠绕      | (28)  |
| 第四节 异型缠绕        | (37)  |
| 第五节 缠绕计算公式汇总    | (50)  |
| 第六节 计算例题        | (65)  |
| 复习题             | (68)  |
| 第二章 缠绕机械        | (69)  |
| 第一节 缠绕机的类型      | (69)  |
| 第二节 链条式缠绕机的结构   | (74)  |
| 第三节 链条式缠绕机传动原理  | (80)  |
| 第四节 挂轮变换与计算     | (94)  |
| 第五节 链条布局        | (100) |
| 第六节 缠绕机的操作与维护   | (106) |
| 复习题             | (107) |
| 第三章 芯模结构与制作     | (109) |

|      |                       |       |
|------|-----------------------|-------|
| 第一节  | 芯模种类 .....            | (109) |
| 第二节  | 芯模构造原理 .....          | (112) |
| 第三节  | 芯模材料 .....            | (114) |
| 第四节  | 芯模制作与装卸 .....         | (117) |
| 第五节  | 芯模保管 .....            | (119) |
| 复习题  | .....                 | (121) |
| 第四章  | 缠绕工艺与计算 .....         | (122) |
| 第一节  | 缠绕前的准备工作 .....        | (123) |
| 第二节  | 常用缠绕树脂配方与配料 .....     | (127) |
| 第三节  | 纤维缠绕工艺设计 .....        | (140) |
| 第四节  | 工艺质量控制与固化制度 .....     | (153) |
| 复习题  | .....                 | (162) |
| 第五章  | 纤维缠绕例题 .....          | (163) |
| 第一节  | 圆筒形容器技术要求 .....       | (163) |
| 第二节  | 原材料选择与容器强度、厚度计算 ..... | (164) |
| 第三节  | 缠绕设备计算 .....          | (172) |
| 第四节  | 工艺控制参数选择 .....        | (174) |
| 复习题  | .....                 | (179) |
| 第六章  | 布带缠绕 .....            | (180) |
| 第一节  | 概述 .....              | (180) |
| 第二节  | 原材料 .....             | (180) |
| 第三节  | 主要设备 .....            | (181) |
| 第四节  | 布带浸胶工艺 .....          | (187) |
| 第五节  | 布带缠绕成型工艺 .....        | (193) |
| 第六节  | 固化制度 .....            | (200) |
| 参考文献 | .....                 | (203) |

# 绪 论

## 第一节 概 述

缠绕工艺是玻璃钢/复合材料成型工艺中的一种。

这种成型工艺方法与车床切削工件相反。车床在车削工件时,工件旋转,刀具按照一定的轨迹运动,将工件车削成要求的形状,是一个车削材料的过程。而缠绕成型工艺正相反,它不是切去材料的过程,虽然芯模也像工件一样旋转,吐丝嘴按一定的轨迹运动,但通过吐丝嘴的浸过树脂的连续纤维是有规律地缠绕在芯模上的,直到厚度符合设计时为止。这是一个增添材料的过程。然后,经过固化、脱模,完成缠绕制品。

缠绕的主要形式有三种:环向缠绕、平面缠绕和螺旋缠绕,如图 1 所示。

环向缠绕是浸过树脂胶液的纤维纱或带与芯模轴线以接近  $90^\circ$  角的方向连续缠绕到芯模上。

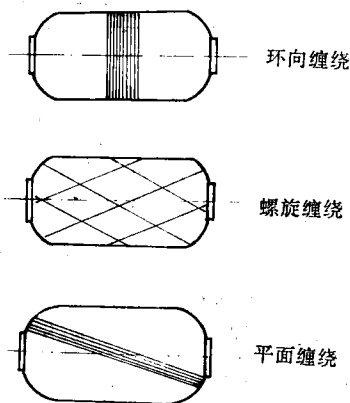


图 1 缠绕线型

平面缠绕是浸过树脂胶液的纤维纱或带，以与芯模两端极孔相切并位于平面内的方向连续缠绕到芯模上。

螺旋缠绕是浸过树脂胶液的纤维纱或带，以与芯模两端极孔相切并呈现螺旋线状态连续缠绕到芯模上。

因此，纤维缠绕成型是在控制张力和预定线型条件下，以浸有树脂胶液的连续丝束缠绕到芯模或模具上成型，增强塑料制品的一种方法，如图 2 所示。

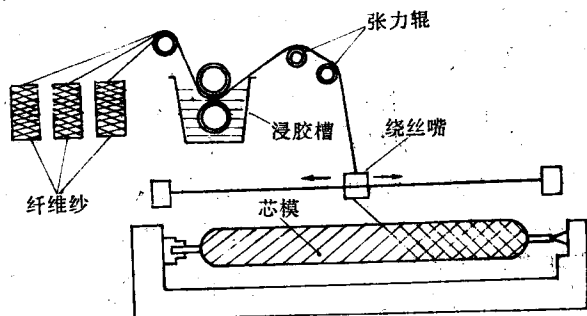


图 2 纤维缠绕

纤维缠绕工艺是使纤维增强塑料的轻质高强这一特性得以最大限度发挥的加工方法之一，我国始于 60 年代初期，到目前已由研究走向工业化生产。

纤维缠绕可分为干法缠绕、湿法缠绕和半干法缠绕三类。

干法缠绕是用预浸纱带(或布带)缠绕到芯模上，然后加热固化成型制品。其制品质量比较稳定，可以严格控制纱带之含胶量和纱带宽度与厚度。还可提高缠绕出纱速度，达到 100~200m/min。而且缠绕设备清洁，劳动卫生条件好。但这种方法要增加预浸纱带设备，需要有能使缠绕的预浸纱带在缠绕贴近芯模表面时加热熔化的设备，如加热芯模、加热绕丝嘴等

等。

湿法缠绕是将纤维纱(或布带)浸渍树脂胶液后,直接缠绕到芯模上,然后加热固化成型制品。该法比前法所需设备简单,但其质量控制不如前者,缠绕劳动卫生条件差,浸胶辊、槽需经常清洗,经常维护。

半干法缠绕是将纤维纱(或布带)浸渍树脂胶液,经预烘后随即缠绕到芯模上,然后固化成型制品。该法与湿法相比增加了烘干工序,与干法相比缩短了烘干时间,降低了胶纱的烘干程度,使缠绕过程可在室温下进行。这样,可以提高某些胶液中含溶剂量过高,固化时容易产生气泡的制品质量。同时,其预烘设备远比干法预浸设备简单。

纤维缠绕工艺有以下特点:

(1)缠绕玻璃钢的比强度高于普通钢三倍,钛四倍。比强度高这一特点在航天航空方面的应用价值是显而易见的。

(2)缠绕制品质量高而稳定,生产效率高,便于大批机械化生产,容易实现机械化和自动化。

(3)缠绕制品所用纤维增强材料无须纺织,可减少纺织工序,降低成本。

(4)适于耐腐蚀管道、贮罐及高压管道及容器的制造,这是其它工艺方法所不及的。

虽然缠绕工艺具有上述特点,但也有下列受限制之处。

例如在形状上,负曲率制品缠绕容易架空,必须要缠绕设备才能实现,这和手糊工艺大不相同;纤维缠绕制品开孔应力集中程度较高,使结构强度损失较大,需要采用局部补强措施等等。

近年来纤维缠绕技术有较大发展,明显地分为空间技术

与民用技术两方面。

应用于空间技术的纤维缠绕结构,要求的性能和精度高,如火箭发动机壳体和卫星结构件,除常用的高强玻璃纤维增强环氧复合材料外,碳纤维和芳纶纤维增强复合材料及新型耐热聚合物也有所发展,并且带动缠绕设备的发展,如微机控制的纤维缠绕机及多轴新技术的出现等等。

应用于民用方面的技术发展也很快。其趋势是尽量降低原材料造价,多使用便宜的原材料,提高缠绕设备生产率,扩大应用范围。其主要产品有管道、贮罐和压力容器以及体育器材等等。近年来,也出现了一些新的缠绕方法,如内侧缠绕、喷射缠绕、现场缠绕等等。

## 第二节 缠绕工艺过程

缠绕工艺可分为纤维集束、张力控制、浸胶、缠绕、固化、脱模等过程,见图3缠绕工艺流程图。

**纤维集束:**缠绕纤维由多团纱经过“梳子”集束,形成一束纤维。

**张力控制:**缠绕纤维需要一定张力。通常可分为先加张力后集束和先集束后加张力两种情况,以后者为多。

纤维缠绕时张力控制十分重要,因为张力控制将关系全部纤维能否通力合作发挥作用。例如一束纤维固化在树脂中形成玻璃钢,假设这束纤维有100根纤维,其中有50根张紧,另50根松弛,当它承受拉力时只有50根“使劲”,另50根使不上劲,其结果只发挥50%作用。

**浸胶:**纤维束进入胶槽浸胶。胶液是专门配方,配方之选

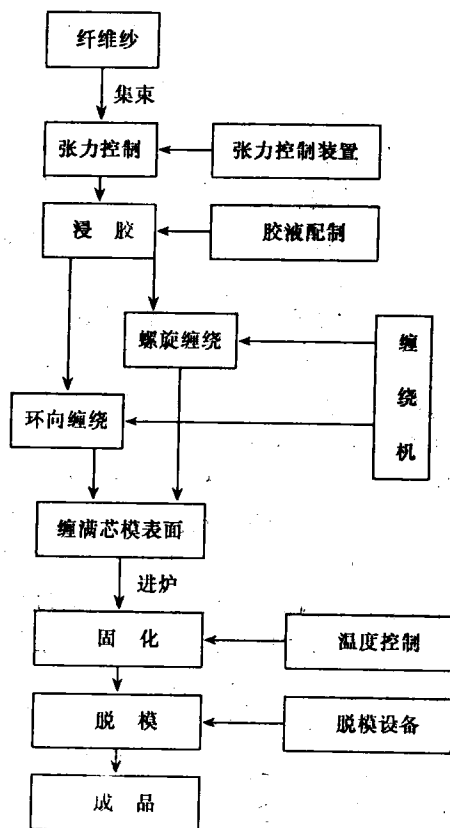


图3 缠绕工艺流程图

择是由产品性能决定的。胶液的粘度需要恒定,因为它直接影响缠绕制品的含胶量大小。胶液粘稠,含胶量大;胶液稀薄,含胶量小。由于胶液粘度受温度影响,因此胶液需要控制恒定温

度为好。

纤维通过胶槽后,必须浸透胶液,发现有浸不透现象应停止缠绕。

缠绕:纤维浸胶后在一定控制的张紧力作用下有规律地缠绕在芯模上,并布满全芯模表面。其中螺旋缠绕和环向缠绕按工艺铺层设计交替进行直到层满为止。

缠绕是本工艺之关键工序,缠绕时要求操作者精心操作,控制着各项工艺参数,诸如纤维集束是否有断丝,集束后纱片展平是否均匀,浸胶液粘度是否适宜,浸渍是否良好,张力控制幅度是否合适等等,都要体现到缠绕布线这道工序上。

通常缠绕布线完成后,要求带胶工件在机器上旋转一段时间,有时还要烘烤,以免流胶。

固化:缠绕完毕后,连同芯模一起的工件推进加热炉内进行固化。炉内温度通过仪表进行控制,通过规定的升温、恒温、降温的固化制度,进行合理固化。因为人们不能直接观察到工件在炉内固化进程。因此,值班人员必须通过仪表监视,观测升温 and 恒温是否正常,芯模工件旋转是否灵活等等,尤其夜间值班更要格外注意,不可粗心大意。

脱模:经过固化的工件其形状完全固定,其外表面或其它部位要进行机械加工,加工完毕后才能脱模。

脱模通常要采用一定的脱模设备。脱模过程中必须注意保护工件不受损伤。同时也要保护模具及其表面不受损伤,即使较小的划痕都要注意避免。脱模完毕要注意收拾清理模具,然后入库以便下次使用。

成品:脱下模的玻璃钢工件,经过除去飞边、毛刺等修整工序之后便成为合格成品。

通常成品入库保存之前,要经过严格的质量检查,记下各项指标,待全部指标合格后方可入库。

### 第三节 缠绕工艺的应用

我国纤维缠绕工艺始于 60 年代初期,从军工产品开始。在过去 20 多年间,民用缠绕制品发展很快,得到广泛地应用。下面介绍几个主要方面的开发应用情况。

#### 一、罐

贮运化工腐蚀液体,如碱类、盐类、酸类等,采用钢罐很容易腐烂渗漏,使用期限很短,改用不锈钢成本较高,效果也不及玻璃钢。

目前,我国已有能力缠绕大型立式、卧式玻璃钢贮罐及运输槽车,并已进入工业化生产。

#### 二、管道

纤维缠绕管道制品强度高、整体性好、容易定型和工业化生产,生产率高。

因此,纤维缠绕管已广泛地应用于炼油厂管道,石油化工防腐管道、输水管道、输天然气管道和输送固体颗粒(如粉煤灰和矿物)管道等等。

美国各地用的纤维缠绕管道总长占整个运输工具的三分之一,所负担供应的能量(包括石油、天然气、煤、电)占全国需用量的一半以上。

目前,在我国工业生产中大量地应用纤维缠绕管道虽然刚刚开始,但我国工业市场需求量大,玻璃钢成本逐年下降,采用纤维缠绕玻璃钢管道会得到各方面欢迎,一个工业化生

产的高潮就会到来。

### 三、压力制品

采用纤维缠绕制造承受压力的制品有压力容器(包括球)和压力管道。

缠绕压力容器多用于军工方面,如固体火箭发动机壳体、液体火箭发动机压力容器,深水外压壳体等。

缠绕压力管道可充装液体和气体,在一定压力作用下不渗漏、不破坏,如海水淡化反渗透管和火箭发射管等。

### 四、机械电气用品

在机械工程上有时需要轻质高强度的缠绕部件,如新型无梭纺织机上的剑杆,是代替“梭子”穿线的,来回往复速度快,要求轻质高强刚度大,必须用碳纤维缠绕制造的环氧复合材料管,这是其它材料无法和它媲美的。

电气设备中的开关装置、高压熔断器管、回路断路器及高压绝缘体等都是纤维缠绕玻璃钢制造的。这种管的爆破强度高,电绝缘性能好。还有大型电机上的绑环和护环,也是纤维缠绕玻璃钢制造的,它的比强度高、线膨胀系数小、蠕变率低,绝缘性能良好、非磁性远比无磁钢性能优越造价便宜。

纤维缠绕玻璃钢在电气工程上应用很广,其中也包括缠绕电线杆及工程车上载人的臂杆等等。

### 五、体育医疗器材

纤维缠绕制品在体育器材方面的应用,会使竞技提高到一个新的水平,所以先进国家都在这方面进行大量的新的开发工作,如纤维缠绕高尔夫球拍杆、滑雪杖、羽毛球拍杆都是采用碳纤维环氧复合材料制造的。猎枪管国外也有用纤维缠绕制造的。

老年人常用的医疗保健氧气瓶也是玻璃纤维缠绕玻璃钢制造的,耐内压高,轻便携带方便。

## 六、其它

除上述五方面外,还有一些高强器件如炮管身之加强层、坦克炮防热套、火箭发射管、鱼雷发射筒、离心高速转筒、储能飞轮、风力发电和直升机桨叶、超轻自行车架和特种轮壳等都是采用纤维缠绕成型工艺制造的。

## 第四节 参观实习

参观目的:了解缠绕设备和工艺过程,为缠绕工艺讲课做准备。

参观内容:有以下六部分。

### 1. 缠绕制品

讲解缠绕制品类型,按纤维种类分,按产品形状分,按用途分等。

### 2. 缠绕机械

讲解机架,传动系统,浸胶槽,纱架,张力装置,吐丝嘴等;缠绕机传动原理及缠绕工艺过程简介。

### 3. 芯模

介绍芯模种类、各种不同材料制造的芯模、可拆卸式与不可拆卸式、可粉碎式与可熔化式芯模等等。

### 4. 固化炉

讲解固化炉种类;固化炉结构,炉体,支架,加热系统,传动系统,控制系统等等。

### 5. 脱模设备

介绍脱模方法及其相应脱模器具与设备。

## 6. 缠绕工艺参观

参观工艺过程应为：

原材料准备→装芯模→纤维经胶槽浸胶缠绕在芯模上→进炉固化→脱模→成品修整→入库。

详见图3 缠绕工艺流程图。

参观整个过程，重点放在纤维在机器上缠绕这一环节上，讲清缠绕原理的一些基本概念，如缠绕速比、切点、环向缠绕、纵向缠绕、缠绕角、缠绕中心转角、吐丝嘴、传动链条、挂轮机构等等。

## 复 习 题

1. 有几种缠绕线型形式？并说明。
2. 试述干法、湿法和半干法缠绕的区别。
3. 缠绕工艺和制品有哪些优点？
4. 试说明缠绕工艺过程。
5. 试介绍几种主要缠绕制品。
6. 编写参观实习报告。