第2卷 第3期　　复 合 材 料 学 报　　Vol. 2 No. 3

1985年9月　　ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA　　September 1985

GRP管连续缠绕工艺几个问题的研讨

武汉建筑材料工业学院　吴耀楚

摘　　要

連續纏繞*GRP*管工艺和設备設計所涉及的技术問題是多方面的。本文着重对"步进式"芯軸实現自动脫模的可行性，芯軸加热以及温度参数調整等方面的問題加以討論。通过受力分析，导出了自动脫模的条件式的影响脫模的主要因素，此外，給出了芯軸內加热时其表面温度的合理分布曲綫以及成型*GRP/PVC*复合管时采用芯軸內冷却的工艺方案。分析和实驗所得出的結論，对于連續纏繞*GRP*管工艺和設备設計具有一定的参考意义。

引　言

所谓连续繞管工艺是相对定长繞绕工艺而言的，其各工艺环节（包括浸胶、繞绕、固化和脫模等）是连续进行的。而且管材长度不限，可以按需要的长度截取。一般是选用玻璃紆维粗纱进行現場浸渍树脂胶液，在悬臂安装、作旋转运动的组合式芯轴上进行繞绕，并依靠芯轴本身自动连续推出成型好的*GRP*管材。由于此种工艺具有机械化程度高、生产效率高、产品质量稳定以及管材长度不限等特点，因此成为国外普遍采用的工艺方法。就设备而言，合理的芯轴结构是关鍵。芯轴不仅是繞绕成型管材的模具，而且它必须具备自动脫模的功能。就工艺而言，合理的芯轴內加热溫度分布和调整又是保证制品质量的重要环节。通过对不同的芯轴结构原理的分析对比，我们认为凸轮推动钢带式（下称"钢带式"）和凸轮推动弧片式（下称"步进式"）这两种芯轴结构均是可行的设计方案。然而我们选定了后一方案，其基本想法是："钢带式"芯轴，其钢带是首尾相接闭合循环繞绕，需要导向装置和配备一台专用焊机进行現場钢带焊接和维修，而对钢带本身和焊接强度以及疲劳性能要求较高。此外，为了减少钢带的轴向阻力，需要在內管芯上装配较多辊子或球形链，这样芯轴结构亦比较复杂，对于小口径芯轴加工和安装都比较困难；而"步进式"芯轴的结构比较简单，大小口径均可采用，加工也比较容易，投资也比较低。据此我们设计试制了一台*BGJ*-1型"步进式"繞管机，并作了大量的工艺试验和试生产。1983年6月通过了技术鉴定。图1和图2分别为机组和试制产品的照片。下面仅就两方面的问题加以分析和讨论。

本文1985年4月收到，本文所述內容系作者在哈尔滨建工学院工作时所做的部分工作。

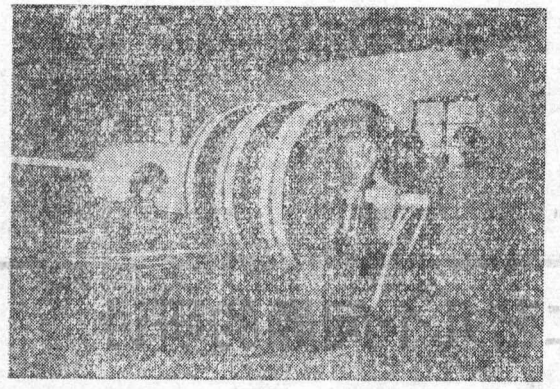


图 1　“步进式”缠管机組

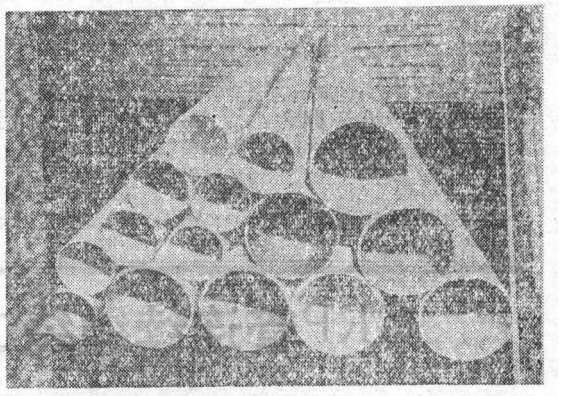
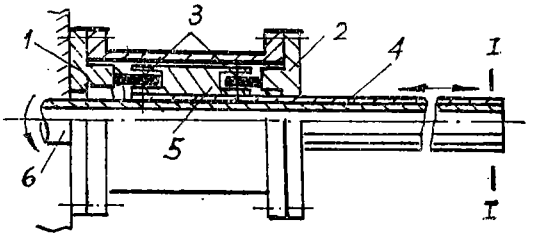


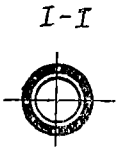
图 2　*GRP*管

一、“步进式”芯軸及其可行性分析

1. 芯轴结构及工作原理

该芯轴采用凸轮推动弧片作往复运动的结构方案（见图 3 示）。八根弧片 4 装于管状内芯轴 6 上，构成拼合圆柱面，即为 *GRP* 管的成型模面。当内芯轴作旋转运动时，由于圆柱凸轮 1 和 2 的作用，每根弧片均可作往复运动。又由于凸轮曲线（见图 4 ）的形状所决定，芯轴每旋转一周时，每根弧片只作一次往复运动，而且在同一时间仅有一根弧片向左运动（称复位）；其余七根则以相同速度向右运动（称推进）。正是由于推片和复位的弧片数之比为7:1，那未繞绕在芯轴外表面的绕层，通过摩擦力的作用被连续推进而脫出芯轴。





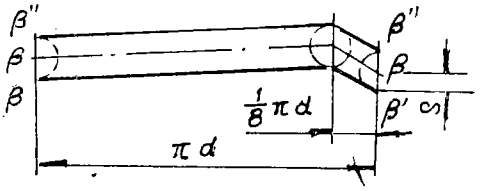


图 3

1. 推进凸輪　2. 复位凸輪　3. 滚輪
4. 弧片　5. 滚輪架　6. 內芯軸

图 4

2. 自动脱模可行性分析

从芯轴工作原理可知，繞绕成型管的受力可见图5所示。图中 F_1 为七根推进弧片通过弧片外表面与管內壁之间的摩擦而傳递的推力。以下称脫模推力；F_2为纵向纱张力所引起的脫模阻力；F_3 为一根复位弧片通过摩擦而傳递给管材的脫模阻力。显然，要实现自动脫模必须滿足：

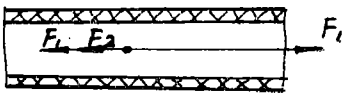


图 5

$$F_1 > F_2 + F_3 \tag{1}$$

(1) 脱模推力F_1

该力是由于摩擦而产生的，所以有：

$$F_1 = \frac{7}{8} fP \tag{2}$$

式中f是弧片与管内壁（脱模片）之间的摩擦系数，实测值为0.22；P为缠绕层对芯轴表面的总压力，可依下式计算：

$$P = \pi bep \tag{3}$$

式中d为缠绕层平均直径；l是芯轴缠绕的有效长度（$BGJ-1$型机组此值为250厘米）；p力为绕层捆扎力所引起的对芯轴表面的压强。其值可依下式计算，受力见图6所示。

$$p = \frac{2T}{d} = \frac{2nt_{cp}}{db_f t_0} \cdot T_{(r)cp}$$

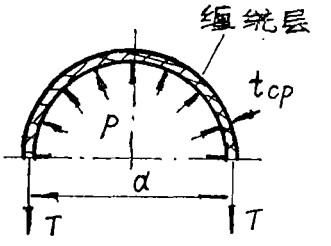


图 6

式中T为整个绕层纤维单位宽度上平均缠绕张力（公斤/厘米）；$T_{(r)cp}$为纱片平均缠绕股张力（工艺设计定为1.2公斤/股）；t_{CP}为环向绕层厚度（0.4厘米）；t_0为纱片厚度（0.3厘米）；n是一束纱片所含股纱数（4股）；b_f为纱片宽度（1.5厘米）。以上参数值均由工艺和结构设计所提供。将（3）、（4）式代入（2）式得：

$$F_1 = \frac{7}{4} \pi l f \frac{nt_{cp}}{b_f t_0} \cdot T_{(r)cp} \tag{5}$$

(2) 纵向纱张力所引起的脱模阻力F_2

纵向纱沿芯轴的轴向敷设，每股纱张力的合力可依下式计算；

$$F_2 = KNMT_l \tag{6}$$

式中N为纵向大纱盘数（其值为3）；M为每只大纱盘上所装纱团数（其值最大为120）；T_l为纵向股纱张力（0.5公斤）；K为考虑张力系数影响系数（实测为1.25）。

(3) 复位弧片所引起的脱模阻力F_3

因为同一时间是七根弧片推进，一根弧片复位，故F_3仅为F_1的$\frac{1}{7}$，考虑(5)式有：

$$F_3 = \frac{1}{7} F_1 = \frac{1}{4} \pi l f \frac{nt_{cp}}{b_f t_0} \cdot T_{(r)cp} \tag{7}$$

根据（5）、（6）、（7）式，并考虑到（1）式，则脱模条件可改写成：

$$\frac{T_{(r)cp}}{T_l} \cdot f > \frac{\alpha}{\beta} \tag{8}$$

这里α和β为设备系统常数，分别为：

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= KNM \\ \beta &= \frac{3}{2}\pi l\frac{nt_{cp}}{b_f t_0}\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

代入前述给定参数值，让 $\frac{\alpha}{\beta}=0.116$，则（8）式为

$$\frac{T_{r\,cp}}{T_l}\cdot f>0.116 \tag{10}$$

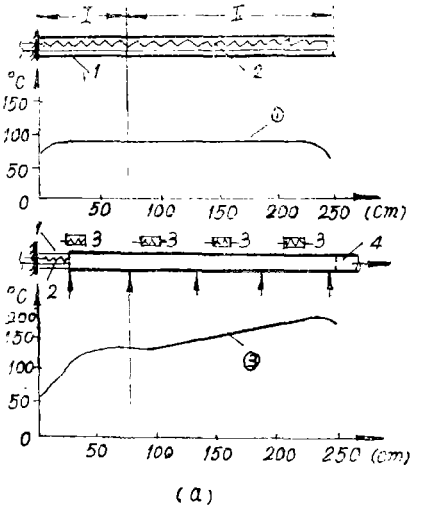
对于BGJ-1机组，给定$T_{r\,cp}=1.2$公斤/股、$T_l=0.5$公斤/股、$f=0.22$，则$fT_{r\,cp}/T_l=0.53$与$\alpha/\beta=0.116$相比，显然满足（10）式，故完全满足自动脱模要求。而且，从条件式（8）或（10）可见，可采取增加弧片与脱模片之间的摩擦系数f、适当提高环向纱股张力$T_{r\,cp}$或适当减小纵向纱股张力T_l等措施以保证正常的脱模。

二、芯轴加热以及温度参数的調整

为了有效地傳递脱模力，在管材脱出芯轴以前，必须使管壁內侧有足够厚度的绕层固化，否则由于刚度不够而使绕层出现皱褶，脱出的管材也将会变形。解决该问题的根本途径就是采用合理的芯轴加热方案和恰当的溫度调整。而且选用不同的树脂配方和成型不同结构的管材，其加热方案和溫度参数也必须作相应的调整。

1. 成型富树脂层內衬管时的情况

此时管壁结构是內层为树脂含量较高的內衬层（亦称富树脂层），中间为树脂含量较低的结构层（亦称增强层），外表面为树脂含量较高的外表层。为了保证管材连续固化成型和正常脱模，应同时采用芯轴內加热和芯轴外加热（亦称分层加热）。沿芯轴长度上又分为两个加热区段（见图7示）：Ⅰ为內衬成型加热区；Ⅱ为结构层成型加热区。



(a)　　(b)

图7 (a)　　图7 (b)

1. 芯軸　2. 芯軸內加热元件　3. 分层加热炉　4. GRP管

(1) 芯軸加热方案的比较

先后对两种方案进行了实验。二者的区别在于芯轴内加热元件沿芯轴长度上的热功率分配的不同：一种是平均分配（见图7—a示）；一种是分段分配（见图7—b示）其光轴表面温度分布见曲线①和②所示。当处于绕缠工作状态时，四个分层加热器3接通，环向上胶点见箭头4示。考虑到内外加热的共同作用和树脂开始吸热及固化放热等因素，工作时绕层的平均温度分布分别见图中曲线③、④所示。

当采用（a）方案进行缠管试验时，芯轴中部和右部出现树脂固化迅速、温度急剧升高、树脂出现气泡和胶瘤、纵向纱浸渍不良等现象。曾试图采取两种办法调整：降低芯轴内加热温度、虽然上述不利情况得以一定的缓解，但是内衬成型区温度过低，影响了内衬成型：当只降低中右部分层加热温度时，由于绕层隔热作用和热惰性较大等原因，使得温度调整过程的时间很长，而且导致温度波动很大，不能满足温度稳定的要求。当采用（b）方案时，基本克服了上述的不足。

(2) 芯軸加热温度参数的調整

试验证明，采用加热方案（b）给温度调整也带来了很大方便。首先由于芯轴内加热功率分段分配，芯轴中部的表面温度开始就比较低，这样，就克服了缠绕时中后部绕层温度过高的问题。而且，我们可根据成型过程中绕层的固化情况，只调整中部两只分层加热器的温度即可满足工艺要求，而不必改变内加热的功率了。这样，调节过程短，温度易于稳定。当树脂配方、室内温度、绕层厚度和含胶量等有较大变化时，只要适当调整内加热功率和分层加热温度的调节范围，就可以满足新条件下的工艺要求。芯轴加热温度调整的几点基本考虑是：

（a）曲线②的最高温度值不得超过所用聚脂固化放热峰值，一般低于该值30～50℃为宜。也可依据电热板固化试验，取树脂固化不出气泡和不龟裂时最高温度以下10℃左右为宜；由于内衬成型对此温度比较敏感，也可以结合内衬成型单项缠绕试验来确定。

（b）依曲线②确定内加热的功率，工艺过程中内加热不宜作过大的调整，可调分层强热温度来满足工艺要求。分层加热调整时，炉中气氛温度范围一般在80～100℃为宜。并且视绕层固化情况进行分段调整。

（c）内衬成型区对外加热温度比较敏感，一般采用调节该处外加热器与芯轴之间的间距更为有效。

（d）当树脂配方改变或室温变化较大时，必须重新确定内加热功率和分层加热器温度的调节范围。

2. 成型PVC内衬管时的情况

由于PVC内衬与前述内衬在成型原理上的不同，其芯轴加热方案可采取：芯轴内加热元件取消，而应通入空气进行冷却，外加热仍然采用。具体方案见图8所示。图中曲线为内衬适宜的受热温度曲线。曲线左边温度一般稍高于PVC软化温度为宜，以保证塑化成型；而右边温度应低于这一温度，以保证内衬冷却定型。

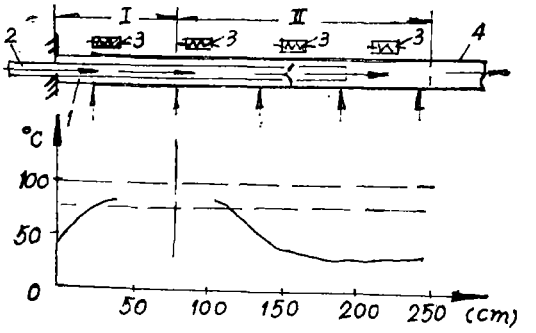


图8 1. 芯軸 2. 冷却風管 3. 分层加热炉 4. GRP管

为此，冷却风管5的出风口置于芯轴中部偏右为宜。内衬成型溫度通过调节风量来进行，而外层树脂固化溫度可通过分层加热器的气氛溫度进行调节。

三、結 束 語

通过前面的分析，芯轴自动连续脫模的可靠性和芯轴加热及溫度参数的合理性无疑是非常重要的。然而连续纏管工艺是一个综合性的技术问題，影响因素也较多。除上述问題以外，性能较好的快速固化树脂系统、合理的纏绕线型排布、灵活可靠的工艺参数电控系统等都是必须解决的问題。否则生产合格的GRP管也将是不可能的。

日本的汽车制造为何至今仍使用钢材？

为了节約能源（主要是节約石油），減輕汽車自重，采用增強塑料制造汽車已成为目前和今后的发展趋势。美国汽車制造业的增強塑料消耗量的占有率（占全国增強塑料总耗量的比率）約24%，82、83年的消耗量分别为16,600吨和20,600吨。但是，日本汽車制造业的增強塑料消耗量的占有率僅占2%，82、83年的消耗量都是4，900吨，差别如此悬殊，原因何在？

一、日本的冶金工业发达，鋼材的质量好、价廉，采用廉价原料制造汽車，当然可提高汽車的競爭力；

二、日本至今沒有限制汽車的耗油率的規定（美国規定85年汽車的耗油率为11.7公里/升）。既然沒有限制，汽車制造者和用戶对汽車耗油率的要求自然可以不很严格；

三、为提高效率和自动化程度，日本有的汽車生产綫利用机器人操作。机器人适用于沿用鋼材制造汽車的传統生产工艺，而若采用增強塑料生产汽車，对机器人来說全然是新工艺。由传統的生产工艺改为全新的生产工艺，在技术、設备、投資等方面都不是容易的，需要經历一段艰巨过程。

日本汽車制造业也已开始积极研制增強塑料汽車部件，例如；83年秋东京展出的*Ballade CR—X*牌汽車已安装了噴射成型的挡泥板、車門、仪表盘以及一些小零件。由此可见，日本也在朝着采用增強塑料制造汽車的方向发展。

（白島等介紹，董永祺整理）

THE TECHNOLOGY FOR WINDING CONTINUOUS GRP PIPE

Wu Yaoshu

Wuhan Institute of Building Materials, Wuhan, China

(Received April 1985)

Abstract

The problem about the technology and the equipments for winding continous GRP pipe includes many aspects. In this paper the feasibility of automatical demoulding for "step to step" mould-axle and the raeional distribution of temperature for heating up the mould-axle are emphatically discussed. The prerequisite to automatical demoulding is proposed based on the mechenical analysis. From the analyses and experiments we conclude that the heater must bearranged inside the mould-axle for making the GRP pipe with thermosetting resin liner, the curve of temperature distributing on the mould-axle surface should axially be a saddle-back one under the condition of delamination, it is unnecessary to set the heater inside the mould-axle when GRP pipe with thermoplastic resin liner is produced, and the mould-axle should be cooled by dlowing air into its center.

A FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE INITIAL YIELDING SURFACE OF UNIDIRECTIONAL COMPOSITES

Li Yaoming and Yu Haohong

Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China

(Received Feb. 1985)

Abstract

This paper improves on the early work's model[1]. A generalized plane strain computer programm is formulated with 8 nodes isoparameter element. The initial yield surfaces of unidirectionnally reinforced composites are obtained with the change in fiber volume fractions