

# 复合材料锥壳 $0^\circ$ 铺层的自动铺放成型方法研究

张振甫 肖军 吴海桥 李勇 文立伟

(南京航空航天大学材料科学与技术学院,南京 210016)

**文 摘** 研究了一种基于自动铺带技术的复合材料锥壳 $0^\circ$ 铺层成型方法:根据锥壳构件尺寸将等宽预浸带数控分切成预定尺寸的直角梯形预浸带片,按特定方式铺放到锥壳表面并使每两片拼成一个等腰梯形单元,多个等腰梯形单元形构成锥壳的 $0^\circ$ 铺层;并针对这种成型方法设计了一种实现锥壳 $0^\circ$ 铺层自动成型的装置。采用该方法及其设备可以实现锥壳 $0^\circ$ 铺层的自动化制造,提高成型效率、降低废料率、稳定工艺质量,降低装备制造成本。

**关键词** 锥壳 $0^\circ$ 铺层,自动铺带,铺带头,预浸带

## Study on Laminating Method for $0^\circ$ plies in Composite Conical Shell Manufactured by Automated Tape Laying

Zhang Zhenfu Xiao Jun Wu Haiqiao Li Yong Wen Liwei

(College of Material Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

**Abstract** The  $0^\circ$ plies in composite conical shell, in which the fiber direction is along the conical shell generatrix, is extremely important to improve the longitudinal performance of composite conical shell. A laminating method of manufacturing  $0^\circ$ plies in composite conical shell based on automated tape laying is introduced in this paper. Pieces of right angle trapezoid shaped prepreg tape are obtained by cutting full-width prepreg tape according to desired dimension. Then prepared prepreg tapes are laminated on to the conical shell with special method, every two pieces forms a piece of isosceles trapezoid shaped prepreg tape, and the  $0^\circ$ ply in conical shell is made up of a number of pieces of isosceles trapezoid shaped prepreg tape. Also, one design of device according to the method mentioned above is introduced in this paper. With this method and device the  $0^\circ$ ply in conical shell can be manufactured automatically, to make the manufacture process more productive, reliable, and reduce the production cost.

**Key words**  $0^\circ$  Ply in conical shell, Automated tape laying, Tape laying head, Prepreg tape

### 1 前言

复合材料锥壳广泛应用于航空航天领域,如运载器与有效载荷的连接过渡段、火箭发动机喷管扩张段<sup>[1]</sup>、人造卫星的碳纤维缠绕锥壳<sup>[2]</sup>、机载雷达罩等;复合材料锥壳在民用领域应用也日益广泛,如大型发电机的玻璃钢护环。目前,用于航空航天领域的高性能复合材料锥壳的制造方法主要有预浸布手工铺叠成型和纤维缠绕成型。手工铺叠可以实现 $0^\circ$ 铺层的铺叠成型,但由于裁剪、手工拼接,造成废料率高、生产效率低且质量不稳定。纤维缠绕成型虽然实现了自动化成型,但如采用极向缠绕则使端部材料浪费严重,而挂钩缠绕的工艺、设备又极为复杂,且二者

均难以成型等厚度 $0^\circ$ 铺层,造成锥壳小端厚大端薄,降低了结构件质量。

自动铺带技术是20世纪60年代发展起来的复合材料自动化制造技术,以带有隔离衬纸的单向预浸带为原料,在铺带头中完成预定形状的切割,加热后在压辊的作用下直接铺叠到模具表面,其剪裁、定位、铺叠、辊压均采用数控技术完成<sup>[3]</sup>。自动铺带技术已经用于航空复合材料结构件制造,如机翼蒙皮、壁板等小曲率大型构件<sup>[4-6]</sup>,具有高效率、高质量和低成本的优点。但是,现有自动铺带技术采用等带宽预浸带<sup>[7]</sup>,无法直接实现锥壳 $0^\circ$ 铺层的铺放。本文通过对现有成型方法的分析,提出了一种基于自动铺带

收稿日期:2006-06-19;修回日期:2006-07-20

作者简介:张振甫,1982年出生,硕士研究生,主要从事复合材料成型自动化的研究工作

技术的复合材料锥壳 $0^\circ$ 铺层的扇形展开与铺放成型的方法,设计了相应的成型装置。

## 2 锥壳 $0^\circ$ 铺层自动铺带成型方法

### 2.1 原理与方法

锥壳几何形式如图1所示,图1(a)为锥壳,其半锥角为 $\alpha$ ,大端直径为 $d_1$ ,小端直径为 $d_2$ 。图1(b)为锥壳扇形展开图,扇环的扇形角 $c$ 、外圆半径 $R$ 、内圆

半径 $r$ 分别如下:

$$c = 360^\circ \sin \alpha \quad (1)$$

$$R = \frac{180^\circ}{c} \times d_1 \quad (2)$$

$$r = \frac{180^\circ}{c} \times d_2 \quad (3)$$

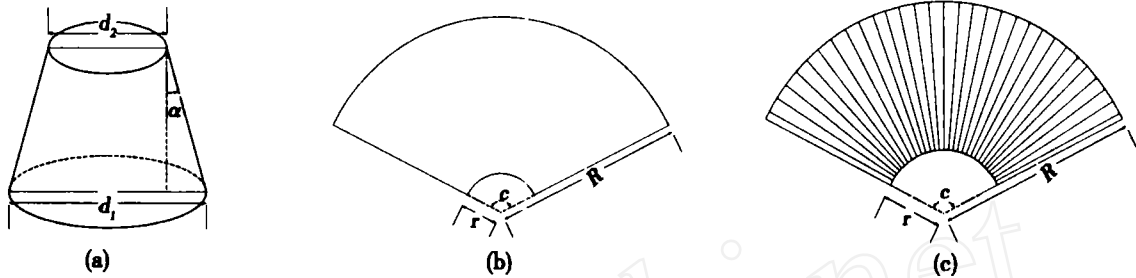


图1 锥壳示意图

Fig. 1 Schematic drawing of conical shell

对于复合材料锥壳成型,为保证铺层方向满足结构要求,需要使纤维方向按特定方向分布:对锥壳的 $0^\circ$ 铺层而言,其扇形展开及纤维方向如图1(c)所示。现有铺叠成型方法一般采用多个三角片逐个手工裁剪、拼接铺放来实现。

可以按照下述原理实施自动铺带:(1)根据需要的切割角度和长度将等宽预浸带切割成两个直角梯形预浸带片(图2);(2)通过预浸带片的反转将两个直角梯形预浸带片铺放在锥壳 $0^\circ$ 方向,拼成一个等腰梯形;(3)多个等腰梯形即可拼成锥壳的 $0^\circ$ 铺层的近似扇形展开(图3)。

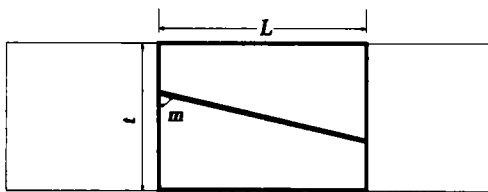


图2 一段等宽预浸带切割示意图

Fig. 2 Schematic drawing of cutting full-width tape

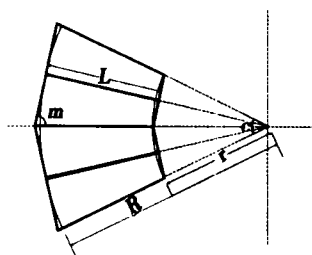


图3 锥壳 $0^\circ$ 铺层的近似扇形展开示意图

Fig. 3 Fanlike deployment of  $0^\circ$  ply in conical shell

锥壳 $0^\circ$ 铺层自动铺带成型的具体方法、参数计

算与铺放步骤如下。

(1)根据锥壳展开面尺寸和预浸带宽度,利用式(4)、式(5)计算出将等宽预浸带切割成直角梯形预浸带片所需的切割角度 $m$ 和切割长度 $L$ ,然后将等宽预浸带切割成如图2所示的直角梯形预浸带片。

$$R \tan m + r \cos m = t \quad (0^\circ < m < 90^\circ) \quad (4)$$

$$L = R - r \sin m \quad (5)$$

式中: $m$ 为预浸带切割角度, $t$ 为等宽预浸带带宽, $r$ 为锥壳展开面内圆半径, $R$ 为锥壳展开面外圆半径, $L$ 为预浸带切割长度。

(2)将其中一片直角梯形预浸带片与背衬纸剥离,转录到一张衬膜上,然后将其铺放到锥壳表面,[图4(a)]。芯模转动角度 $n$ ,铺放背衬纸上剩余的另一片直角梯形预浸带片到先铺放的直角梯形预浸带片直角边一侧,拼成一个等腰梯形预浸带片,[图4(b)];芯模转角 $n$ 的求法如下:

$$n = \frac{2(90^\circ - m)}{\sin \alpha} \quad (6)$$

式中: $n$ 为芯模转角, $m$ 为预浸带切割角度, $\alpha$ 为半锥角。

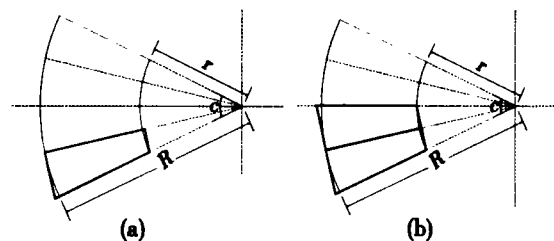


图4 直角梯形预浸带片在锥壳上的铺放过程示意图

Fig. 4 Process of laminating pieces of right angle trapezoid shaped prepreg tape on to conical shell

(3)使芯模转动角度 $n$ (便于开始下一梯形预浸

带片的自动铺放)。

(4)重复步骤(1)~(3),多个等腰梯形预浸带片在模具上即可拼成锥壳的 $0^\circ$ 铺层,见图3所示。

## 2.2 自动铺带实现与装置设计

典型铺带头由预浸带储带盘、背衬纸回收盘、切割装置、加热装置、压辊、铺带头框架等部件构成<sup>[8]</sup>,预浸带在铺带头中经切割、加热后由压辊铺放在芯模表面。但是现有通用铺带设备采用等宽预浸带,无法直接实现锥壳的铺放。本文发明了一套附件,将其加装在通用铺带头上,可以实现锥壳 $0^\circ$ 铺层的自动铺带成型。

改进后的铺带头如图5所示,附件包括附加压辊、转录辊和气动指,利用附件将需转录的直角梯形预浸带片从原有背衬纸转录到衬膜上,由附加压辊铺放到芯模表面。

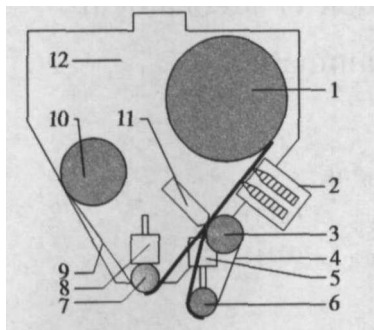


图5 锥壳 $0^\circ$ 铺层成型设备示意图

Fig.5 Schematic drawing of tape laying head

1-预浸带储带盘;2-切割装置;3-转录辊;4-衬膜;5-附加压辊气缸;6-附加压辊;7-主压辊;8-主压辊气缸;9-背衬纸;10-背衬纸回收盘;11-气动指;12-铺带头总框架。

进行锥壳 $0^\circ$ 铺层铺放时,各部件的运动过程如下:

(1)预浸带储带盘1与背衬纸回收盘10同步运动,将等宽预浸带随背衬纸从储带盘中抽出,由切割装置2按照需要的切割长度 $L$ 和切割角度 $m$ 切割成直角梯形预浸带片;

(2)完成切割的预浸带通过气动指11与转录辊3之间的空隙时,气动指11数控施压将其中一片直角梯形预浸带片转录到衬膜4上,两片直角梯形预浸带片分别随背衬纸与衬膜运动、各自到达主压辊7与附加压辊6处;

(3)附加压辊气缸杆伸出将附加压辊与锥壳芯模接触,经转录的一片直角梯形预浸带片在衬膜的带动下由附加压辊铺放在锥壳表面,其铺放方向为由锥壳小径端至大径端,其铺放过程如图6(a)所示。铺放完成后,铺带头上提停止工作;

(4)芯模转动角度 $n$ 使铺带头运动至下一个铺放进程的起点,如图6(b)所示;预浸带储带盘回卷,宇航材料工艺 2007年 第2期

第二片直角梯形预浸带片随背衬纸运动至主压辊处;主压辊气缸杆伸长将主压辊压至铺放位置,开始铺放第二片直角梯形预浸带片,过程如图6(c)表示。铺放方向如箭头所示,铺放起点为锥壳大径端。两片直角梯形预浸带片组成一片等腰梯形预浸带片。

重复前述过程,当锥壳表面被完全铺覆,经修剪即可得到锥壳的 $0^\circ$ 铺层。

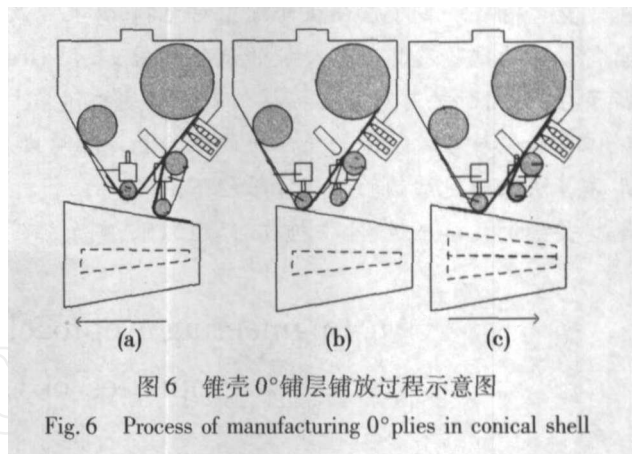


图6 锥壳 $0^\circ$ 铺层铺放过程示意图

Fig.6 Process of manufacturing  $0^\circ$  plies in conical shell

## 3 结论

根据锥壳展开面为扇形的特点,提出了一种锥壳 $0^\circ$ 铺层的自动铺带成型方法,与 $90^\circ$ 铺层采用预浸纱环向缠绕成型方法组合,可以实现锥壳的自动化制造,提高成型效率,降低废料率,稳定工艺质量。从工程实现角度,可以在通用缠绕机上安装标准铺带头,并加装附件即可实现 $0^\circ$ 铺层自动铺放,降低了装备制造成本。

### 参考文献

- 1 霍肖旭,刘红林,曾晓梅.碳纤维复合材料在固体火箭上的应用.高科技纤维与应用,2000;25(3):1~8
- 2 吴宏伟,王桂英,张福成.圆锥台柱体上的纤维缠绕.复合材料,2000;(6):31~34
- 3 肖军,吴海桥,李勇.复合材料结构自动铺放技术现状与发展.中国航空学会复合材料专委会交流论文,北京,2005
- 4 Pirrung P F. Flat Tape Laying. Engineered Materials Handbook, Vol. 1. Composites. ASM International, 1987: 624 ~ 630
- 5 Williams L A III. Contoured tape laying. Engineered Materials Handbook. Vol. 1. Composites, ASM International, 1987: 631 ~ 635
- 6 Heth J. Inside manufacturing: automated tape-laying excels for F-22's wing skin panels. High Perform. Compos., 1999; 7(5):27~30
- 7 Youngkeit D C, Utah W. Method for making a composite component using a transverse tape. US Patent, 4938824, 1990
- 8 Peterson, David A. Tape laying apparatus. US Patent, 5269869, 1993

(编辑 吴坚)