

## 变截面导弹发射筒成形工艺研究

何喜营, 赵海娥, 杨树文, 杨跃东

(中国兵器工业第二〇三研究所, 西安 710065)

**摘要:** 对变截面导弹发射筒的缠绕工艺进行了研究。目的在于简化工艺, 提高精度, 减轻质量, 节约成本, 缩短生产周期。详细地介绍了这种发射筒的成形工艺选择、芯模设计、准备工艺设计、缠绕线形设计以及缠绕工艺设计, 使这种发射筒满足武器系统提出的新要求。

**关键词:** 变截面导弹发射筒; 芯模设计; 缠绕线形设计; 缠绕工艺设计

中图分类号: TJ711; TJ760.5 文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2010)01-0061-05

## Moulding Technology Research of the Variable Cross-section Missile Launcher

HE Xi-ying, ZHAO Hai-e, YANG Shu-wen, YANG Yue-dong

(No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** This paper introduces the research on the variable cross-section missile launcher moulding technology. The purpose is simplifying working process, improving precision, decreasing weight, saving cost and shortening manufacture periods. It introduces launcher moulding technology selection, mould design, mould preparation, wind line pattern design and wind technology design in detail. This missile launcher meets the requirements of weapon system.

**Key words:** variable cross-section missile launcher; mould design; wind line pattern design; wind technology design

树脂纤维增强材料具有密度低, 比强度、比模量高等特性, 在航空航天以及军事领域得到日益广泛地应用。它不仅具有结构材料优良的性能, 而且还有良好的综合性能, 如耐腐蚀、绝热耐烧蚀、电磁屏蔽等特点, 使得武器装备实现轻量化、小型化、功能化以及智能化成为可能。

火箭或导弹武器系统使用树脂纤维增强材料制

作发射筒不仅可以减轻武器系统质量, 而且还可以降低成本, 对一次性使用武器来说更为突出。这种武器发射筒在导弹运输和储存时可以作为包装筒使用, 而在发射时可以作为导弹发射装置使用。

在机载导弹武器系统中, 由于发射系统结构的要求, 在发射筒尾部带有一个喇叭形尾喷管, 这种发射筒的结构形状如图 1 所示。

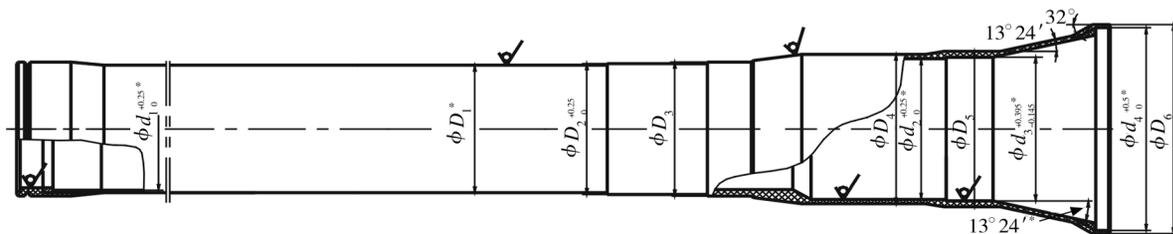


图 1 带有尾喷管(变截面)的发射筒

Fig. 1 Missile launcher with exhaust nozzle(variable cross-section)

收稿日期: 2009-10-13

作者简介: 何喜营(1953-), 男, 陕西长安人, 高级工程师, 主要研究方向为复合材料成形。

从图1可以看出,这种发射筒从前到后其筒径变化较大,为一个变截面的发射筒。显然这种发射筒的纤维缠绕成形不同于一般直筒形发射筒,需要对其成形工艺做深入细致的研究。

### 1 成形工艺方案选择

目前如图1所示的发射筒有2种成形方案可供

选择。第1种方案是把图1所示的发射筒分成2部分,如图2,3所示。这种成形方案是把筒径变化不大的(如图2所示)前半部分用树脂纤维缠绕成形,把如图3所示的后半部分,即尾喷管部分用模压或树脂传递的方法成形。这2部分成形之后,经机械加工再把它们粘结在一起。显然,这种方法成形工艺简单,但过程繁杂。它需要2套成形工艺设备、2套工装,成形之后还需要机械加工才能组装成形,

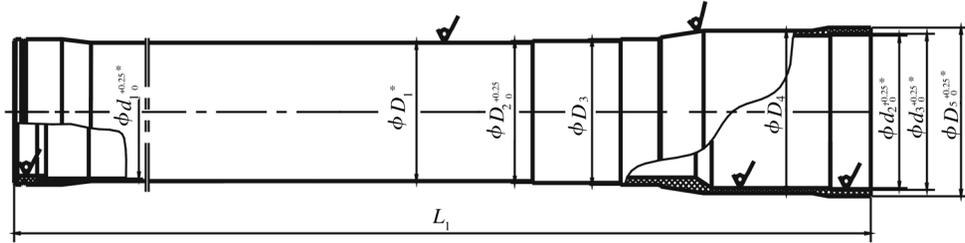


图2 发射筒筒体

Fig. 2 Body of missile launcher

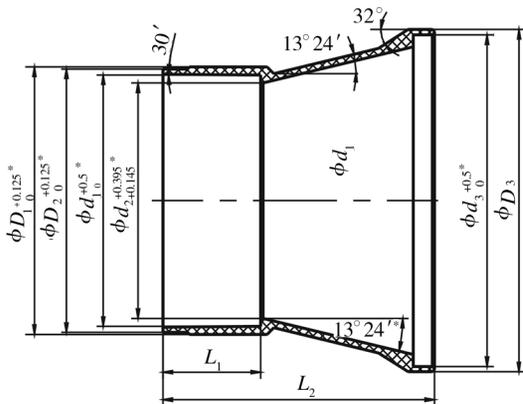


图3 发射筒尾喷管

Fig. 3 Exhaust nozzle of missile launcher

并且在组装之后,筒体和尾喷管连接处的强度以及它们的同轴度都难以保证。另外,这种成形方案的发射筒制作成本高,不利于大批量生产。

第2种成形方案是用树脂纤维整体缠绕成形。这种方案最大的特点是筒体整体性能好。发射筒的强度、刚度都优于第1种方案,发射筒的尺寸和形位精度等性能也有显著提高。这种方案的发射筒制作工期短,生产成本低,有利于大批量生产。文中主要介绍变截面发射筒第2种成形方案以及对成形工艺的研究。

### 2 整体芯模设计

在芯模设计时,芯模的强度和刚度,即芯模的壁厚是依据经验设计的;芯模的端头是依据缠绕设备的装夹位置和脱模需要设计的。在这种芯模设计时,除了要考虑芯模的外形尺寸,表面粗糙度要满足发射筒纤维缠绕成形的需要外,还要考虑芯模加工方便等因素。

为了使整体芯模结构合理、便于加工和节约芯模制作成本,把整体芯模先分成4部分,即前封头、前筒身、后筒身和后封头进行粗加工。粗加工之后用螺纹和焊接的方法把它们组装在一起,经热处理之后再进行整体精加工。针对如图1所示的发射筒,设计的芯模如图4所示。

用螺纹和焊接的方法把芯模零件组装在一体是通过实践总结出的经验。可以减小芯模因焊接变形引起的对正误差,减小组装后芯模的磨削加工量,进而减小芯模壁厚误差,增加芯模的强度和刚度,节约芯模制作成本。

### 3 芯模准备工艺设计

从图1可以看出,该发射筒是一个变截面结构,

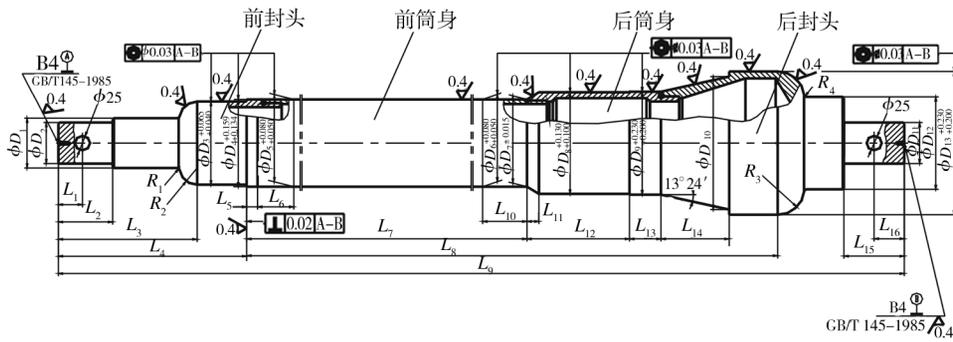


图4 带有尾喷管(变截面)的发射筒缠绕芯模

Fig.4 Wind mould of missile launcher with exhaust nozzle

且截面直径变化较大。由如图4所示的芯模可以看出,如果对这个芯模不做任何处理,在进行纤维缠绕时就会出现滑线、架空等现象,从而使缠绕出的筒体不符合发射筒内腔的要求。

针对如图4所示的芯模,可以用敷层加芯模各变径段的具体结构采取不同的方法进行处理,其具体处理方法如下。

1) 在直径由  $\phi D_6$  变到  $\phi D_8$  这段内,它的变径长度只有 20 mm,这里可以用布带敷层缠绕的方法把变径段的长度从 20 mm 延长到 90 mm。这样一来它的变径角从原来的  $32^\circ$  减小到小于  $10^\circ$  的范围内。这样在这一段进行纤维缠绕时就不会出现滑线和架空现象。

2) 在直径由  $\phi D_8$  变到  $\phi D_9$  这段内,尽管直径变化只有 1 mm,但这里没有过渡段,它是一个直角变化,需要用敷布加纤维勒紧的办法做过渡处理。

3) 在直径  $\phi D_9$  经  $L_{14}$  圆锥段过渡到  $\phi D_{10}$ ,再经直角变到  $\phi D_{13}$  这段内的特点是直径变化较大,并有跳跃式变化。对这一段的处理是否合理是这种变截面发射筒能否进行整体纤维缠绕的关键。对这

一段处理所采取的措施是配合直角变化处预制一个镶圈,这个镶圈如图5所示。

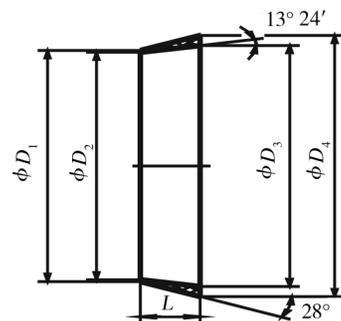


图5 镶圈

Fig.5 Inlay circle

镶圈的端面紧贴在直角变化处,内表面与芯模锥面配合,外表面是一个斜锥面。斜锥面的锥度是以纤维螺旋缠绕在此处不架空为原则,经计算它的锥度为  $58^\circ$ 。处理时,在芯模上先做涂胶、敷布处理,然后再把镶圈套在芯模上固定。镶圈固定之后,再用敷布加纤维做平滑过渡处理。

经各段处理后的芯模如图6所示。

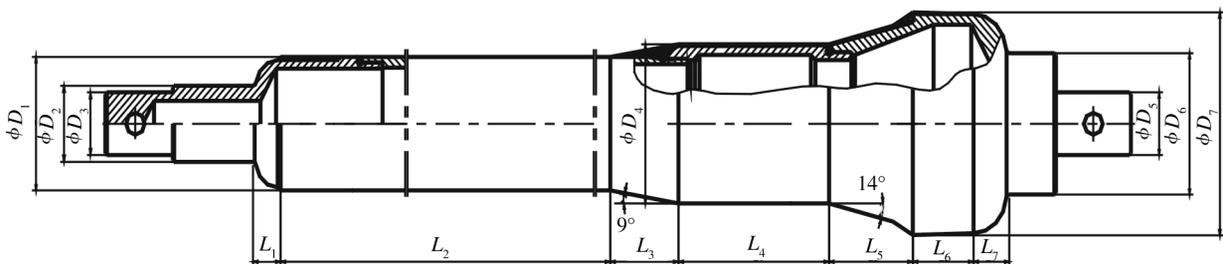


图6 带有尾喷管(变截面)的发射筒缠绕前的芯模准备

Fig.6 Preparative wind mould of missile launcher with exhaust nozzle before winding

## 4 纤维缠绕线形设计

### 4.1 环向缠绕线形设计

从图3可以看出,由于尾喷管处截面变化较大,因此环向缠绕只能在尾喷管之前进行。在直径由 $\phi D6$ 变到 $\phi D8$ 这段内,尽管把它的过渡段由20 mm延长到90 mm,但在进行环向缠绕时,尤其在湿法缠绕时还有可能滑线。因此在进行环向缠绕之前,应先在过渡段敷设1到2层干布增大摩擦力,减小滑线的可能性。

### 4.2 螺旋缠绕线形设计

对于这种带有尾喷管(变截面)的发射筒来说,螺旋缠绕线形设计是非常关键的。在螺旋缠绕线形设计时,既要考虑发射筒的强度和刚度,还要考虑这种变截面发射筒的几何形状带来的缠绕厚度分布问题、滑线问题、架空问题以及缠绕设备实施等问题。

现在就这种发射筒螺旋缠绕线形设计要考虑的几个主要问题进行讨论。

### 4.3 发射筒强度问题<sup>[1]</sup>

如果对发射筒做等强度设计,并且发射筒只进行螺旋缠绕,那么经下列计算:

$$P_{\alpha} = \frac{2JMNf \cos \alpha}{\pi R^2} \quad (1)$$

$$P_{\theta} = \frac{JMNf \sin^2 \alpha}{\pi R^2 \cos \alpha} \quad (2)$$

式中: $P_{\alpha}$ ——螺旋缠绕时,发射筒纵向压力强度;  
 $P_{\theta}$ ——螺旋缠绕时,发射筒环向压力强度;  
 $J$ ——螺旋缠绕层数,完成布满芯模一次完整的螺旋缠绕定义为一层;  
 $M$ ——完成布满芯模一次完整的螺旋缠绕时,纱带的往返数;  
 $N$ ——螺旋、环向缠绕时所使用的纱带的合股纱根数(一个纱团上出来的纤维为一根);  
 $F$ ——每根纤维的设计拉断力,kg/根;  
 $\alpha$ ——缠绕角,纱带与缠绕芯模子午线夹角,度。

如果令  $P_{\alpha} = P_{\theta}$  那么:

$$\frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = 2, \text{ 即 } \tan \alpha = \sqrt{2}, \alpha = 54.7^{\circ} \quad (3)$$

发射筒只进行螺旋缠绕时,其等强度的缠绕角 $\alpha = 54.7^{\circ}$ 。如果缠绕角 $\alpha$ 大于 $54.7^{\circ}$ ,发射筒环向强度增加,纵向强度减少;反之发射筒纵向强度增加,环向强度减少。

发射筒除了进行螺旋缠绕,还要做环向缠绕,那么如果从发射筒强度设计考虑,其缠绕角 $\alpha$ 应小于 $54.7^{\circ}$ 。

### 4.4 发射筒壁厚问题<sup>[2]</sup>

对于这种变截面发射筒来说,如果要做等厚缠绕,在纱带宽度不变的情况下其缠绕角公式是:

$$d \cos \alpha_d = D \cos \alpha_D \quad (4)$$

式中: $d$ ——圆锥段小端直径;

$D$ ——圆锥段大端直径;

$\alpha_d$ ——圆锥段小端 $d$ 处的缠绕角;

$\alpha_D$ ——圆锥段大端 $D$ 处的缠绕角。

由公式(4)可以看出,对于这种变截面发射筒来说,要想达到等厚要求,随着筒体直径的变大,它的缠绕角也要变大。

### 4.5 发射筒缠绕线形稳定问题

众所周知,采用测地线缠绕最为稳定,它在缠绕过程中不滑线并且排列整齐。对于回转体来说,其测地线缠绕的规律按下式进行:

$$d \sin \alpha_d = D \sin \alpha_D \quad (5)$$

式中: $d$ ——圆锥段小端直径;

$D$ ——圆锥段大端直径;

$\alpha_d$ ——圆锥段小端 $d$ 处的缠绕角;

$\alpha_D$ ——圆锥段大端 $D$ 处的缠绕角。

由公式(5)可以看出,对于这种变截面发射筒来说,要进行测地线缠绕,随着筒体直径的变大,缠绕角要求变小。

综合上述因素,在发射筒螺旋缠绕线形设计时,既要考虑发射筒内压强度问题,也要注意发射筒壁厚均匀性和缠绕线形稳定的问题。在这种变截面发射筒纤维缠绕线形设计中所采用的是折中的方法,即在发射筒直筒段采用变角缠绕;在变径段采用等角缠绕。参照图6,这种发射筒可以分为7段进行线形设计。经计算和修正,这种发射筒缠绕线形

设计见表1。

表1 发射筒缠绕线形设计

Table 1 Design of missile launcher winding line pattern

	直径	缠绕长度	缠绕角	封头高度	停留角
01 球体	$D_1$	$100+L_1$	$36^\circ$	36	$10^\circ$
02 直体	$D_1$	$L_1+L_2$	$36^\circ 45^\circ$		
03 直(锥)体	$D_1 D_4$	$L_3$	$45^\circ$		
04 直体	$D_4$	$L_4$	$45^\circ 54^\circ$		
05 直(锥)体	$D_4 D_7$	$L_5$	$54^\circ$		
06 直体	$D_7$	$L_6$	$54^\circ$		
07 球尾	$D_7$	$L_7+20$	$54^\circ$	$L_7$	$10^\circ$

## 5 纤维缠绕工艺设计<sup>[3]</sup>

纤维缠绕工艺设计包括纱带宽度,即纱带合股纱根数的设计和螺旋、环向缠绕层排序设计,以及纤维张力的设计。必要时还要考虑缠绕过程中的预埋或其他辅助工序的编排。

### 5.1 纱带宽度设计

纱带宽度的设计是依据所使用的缠绕设备而定的。其设计原则是在缠绕过程中要布线均匀整齐,没有离线和重叠。在这个前提下,为了减少时间,纱带宽度尽可能地选择宽的,即纱带合股纱根数尽可能多一些。

### 5.2 缠绕层排序设计

缠绕层排序设计一是要从发射筒筒体强度,即发射筒环向强度和纵向强度的分配来考虑;二是要从发射筒筒体内外表面成形的粗糙度来考虑。一般来说内表面采用纵向成形;外表面采用环向成形。筒体中间层采用纵环交错成形,至于纵环各自的多少和排序是由强度的分配来设计的。

### 5.3 纤维张力设计

纤维张力的设计是依据发射筒内径尺寸公差和

筒体含胶量而定的。纤维张力一般是要通过发射筒实际缠绕经测试修正而定的。如经测定发射筒内径尺寸公差偏大,那么就要增强纤维张力,反之亦然。

## 6 结语

通过一系列设计,灵活的运用了发射筒纤维缠绕规律,合理地解决了变截面发射筒缠绕过程中测地线缠绕和等壁厚缠绕之间的矛盾,把分为2部分成形的发射筒成功地进行一次性缠绕成形。这样不但节约了发射筒生产成本,并且提高了发射筒的强度和精度。

### 参考文献:

- [1] 刘锡礼. 玻璃钢产品设计(下册)[M]. 哈尔滨:中国玻璃钢工业协会、哈尔滨市科学技术协会组,1985:322-408.
- [2] 张玉龙,李长德,王喜梅,等. 高技术复合材料制备手册[M]. 北京:国防工业出版社,2003:207-236.
- [3] 沈真,张怡宁,黎观生,等. 复合材料结构设计手册[M]. 北京:航空工业出版社,2001:13-74.