

装备防护

复合材料发射箱定向器结构设计

秦旭锋¹, 曹德垚², 张哲良³, 赵耀辉¹, 徐淑权¹, 卓毅¹, 蔡建¹

(1.中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2. 陆军航空兵军事代表局驻成都地区军事代表室, 成都 610036; 3.山西金恒化工集团有限公司, 晋中 030616)

摘要: **目的** 针对复合材料发射箱定向器的结构进行优化设计。**方法** 通过材料力学理论, 计算并结合有限元仿真分析, 对定向器进行结构优化设计。**结果** 定向器的最大变形满足指标要求, 最大应力低于材料屈服强度。**结论** 该设计方法便捷可靠, 为今后类似产品设计提供了思路参考。

关键词: 发射箱; 定向器; 结构设计

中图分类号: TB485.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)23-0237-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.038

Structural Design for Composite Guide of Launch Canister

QIN Xu-feng¹, CAO De-yao², ZHANG Zhe-liang³, ZHAO Yao-hui¹, XU Shu-quan¹, ZHUO Yi¹, CAI Jian¹
(1.No.59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;

2.Military Representative Office of Army Aviation Military Representative Bureau in Chengdu, Chengdu 610036, China;

3.Shanxi JinHeng Chemical Industry Group Co., Ltd., Jinzhong 030616, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize the structural design of composite guide of launch canister. Based on the theory of mechanics of materials, the calculation and simulation analysis combined with the finite element were carried out to optimize the structural design of the guide. The maximum deformation of the guide met the index requirements and the maximum stress was lower than the material's yield strength. The proposed design method is convenient and reliable, and provides a reference for future similar product design.

KEY WORDS: launch canister; guide; structural design

集贮存、运输及发射功能于一体的箱式发射技术是各型陆基和舰载先进弹箭武器系统的一大重要发展趋势。定向器作为箱式发射系统中与导弹直接接触的部件, 作用主要有2点: 在发射之前悬挂和支撑导弹; 发射时为导弹提供初始发射方向, 使导弹获得准确的初始射向。在定向器结构设计时, 应充分考虑与定向器形成装配关系的各零部件的结构及其外形尺寸, 且定向器结构还需满足一定的刚度、强度等力学性能要求。文章以某多用途导弹为应用对象, 对复合材料定向器进行了结构优化设计, 按照此设计制备的定向器可满足抗冲击、高强度、小变形等各项要求^[1-4]。

1 结构初步分析

在定向器的外形结构设计时, 应充分考虑与定

向器形成装配关系的各零部件的结构及其外形尺寸, 一般来说主要有: 弹身与定向器相配合的“滑块”结构尺寸; 发射箱内腔结构尺寸及其与定向器的装配尺寸; 控制线路的走线及安装操作空间; 信号开关、锁弹器等安装于定向器的元器件的结构尺寸。为了满足使用要求, 定向器结构还需满足一定的刚度、强度等力学性能要求, 故还应考虑以下几个因素: 弹身重量; 贮运、使用等过程中的最苛刻的环境应力条件; 拟采用材料的力学性能参数^[5-10]。定向器以某多用途导弹为应用对象, 根据上述分析能够确定的已知条件见表1。

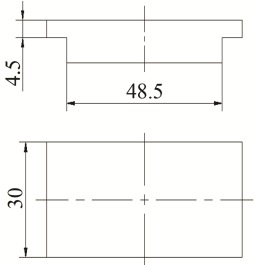
根据上述已知条件, 定向器的外形初步设计为见图1。

由图1可知, 各尺寸关系为:

收稿日期: 2018-09-04

作者简介: 秦旭锋(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为弹箭防护包装技术。

表 1 已知条件汇总
Tab.1 Summary of known conditions

序号	关联项目	特性描述	滑块结构尺寸图
1	弹身滑块结构尺寸及位置关系	3 组滑块, 每组间距 700 mm, 与定向器前端部距离 300 mm, 滑块结构尺寸见表右	
2	发射箱与定向器装配关系	箱体内部顶面距弹身滑块的间距 81.5 mm; 两者采用两点式连接, 间距 1350 mm	
3	定向器安装元器件的外形尺寸	在弹径截面方向上: 上端的尺寸为 80 mm; 下端的尺寸为 48 mm	
4	弹身质量	75 kg	
5	最苛刻应力条件	最大冲击加速度 30g	
6	材料参数	拉伸强度 250 MPa; 弹性模量 60 GPa	

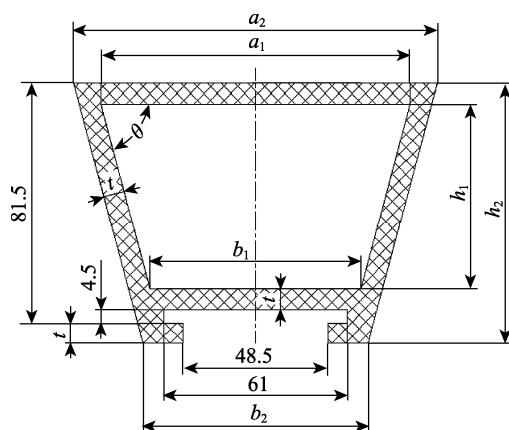


图 1 定向器截面结构尺寸

Fig.1 Structural dimensions of the guide section

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 81.5 - 4.5 - 2t = 77 - 2t; \\
 h_2 &= 81.5 + t; \\
 a_2 &= b_2 + 2h_2 \cot \theta = b_2 + 163 \cot \theta + 2t \cot \theta; \\
 a_2 &= a_2 - 2t \cot \theta = b_2 + 163 \cot \theta; \\
 b_1 &= a_1 - 2h_1 \cot \theta = b_2 + 9 \cot \theta - 4t \cot \theta \\
 \text{令 } b_2 &= 61 + 2t, \text{ 则有:} \\
 a_2 &= 61 + 2t + 163 \cot \theta + 2t \cot \theta; \\
 a_1 &= 61 + 2t + 163 \cot \theta; \\
 b_1 &= 61 + 2t + 9 \cot \theta - 4t \cot \theta
 \end{aligned}$$

(1)

2 目标函数的建立

定向器结构设计的主要目标是: 在确保满足要求的刚度和强度条件下质量最轻、体积最小。由于定向器的质量和体积取决于截面形状, 当质量最轻、体积最小时, 其截面的面积应最小^[11-12], 因此, 可以把定向器的优化设计问题归结为:

求 $X = [t \ \theta]^T$, 使截面面积:

$$s(X) \rightarrow \min$$

满足强度约束条件:

$$\sigma(X) \leq [\sigma]$$

刚度约束条件:

$$|w|_{\max} \leq [w]$$

3 强度条件分析

3.1 定向器受力状态简图

定向器主要受到箱体两端的约束固紧及导弹自身的重力, 受力情况见图 2。已知, 导弹质量为 75 kg, 则其重力 750 N 由 3 组滑块作用于定向器上, 每个集中力均为 250 N。当在冲击过载为 30g 的情况下, $F = 7500$ N。

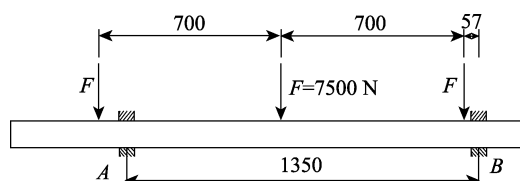


图 2 定向器受力状态简图

Fig.2 Stress state diagram of the guide

3.2 最大弯矩计算

根据图 2, 可将计算简图表示为图 3。

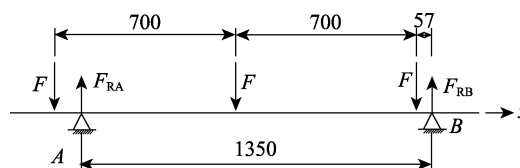


图 3 计算简图

Fig.3 Calculation diagram

由静力平衡方程 $\sum M_A = 0$, $\sum M_B = 0$, 求出支座 A, B 的支反力: $F_{RA} = 12\ 617$ N; $F_{RB} = 3F - F_{RA} = 9883$ N。

由定向器的受力状态可知, 最大弯矩应位于中间的集中力位置, 则该处的弯矩为: $M = F_{RB} \times 757 \times 10^{-3} - F \times 57 \times 10^{-3} = 7044$ N·m。根据材料力学可知弯矩最大处产生的弯曲正应力也最大^[9]。

3.3 强度条件的确定

由材料力学可知, 一般情况下, 最大正应力 $\sigma_{\max}$ 发生于弯矩最大的截面上, 且离中性轴最远处, 即有^[13-14]:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} y_{\max}}{I_z}$$

$$\begin{aligned} \text{由图 1 可知, } y_{\max} &= \frac{h_2(b_2 + 2a_2)}{3(b_2 + a_2)}, \quad I_z = \\ &= \frac{h_2^3(b_2^2 + 4b_2a_2 + a_2^2)}{36(b_2 + a_2)} - \frac{h_1^3(b_1^2 + 4b_1a_1 + a_1^2)}{36(b_1 + a_1)} - \frac{1}{12} \times 48.5 \times 10^{-3} \times \\ &\quad \left[(4.5 + t)10^{-3} \right]^3. \end{aligned}$$

令材料的许用应力为 138 MPa, 则强度条件转化为:

$$\begin{aligned} 7044 \times \frac{h_2(b_2 + 2a_2)}{3(b_2 + a_2)} \left\{ \frac{h_2^3(b_2^2 + 4b_2a_2 + a_2^2)}{36(b_2 + a_2)} - \right. \\ \left. \frac{h_1^3(b_1^2 + 4b_1a_1 + a_1^2)}{36(b_1 + a_1)} - \frac{1}{12} \times 48.5 \times 10^{-3} \times \right. \\ \left. \left[(4.5 + t)10^{-3} \right]^3 \right\}^{-1} \leq 138 \end{aligned} \quad (2)$$

4 刚度条件分析

4.1 定向器扰曲线方程

将定向器近似为等截面梁, 由梁的扰曲线近似微分方程:

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

积分可求得扰曲线方程:

$$w = \iint \left(\frac{M}{EI} dx \right) dx + Cx + D$$

建立如图 4 所示的坐标系, 分段求解弯矩方程。

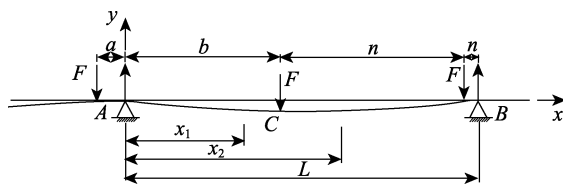


图 4 坐标系
Fig.4 Coordinate system

易知, 弯矩为:

$$AC \text{ 段: } M_1 = F_{RA}x_1 - F(x_1 + a)$$

$$CB \text{ 段: } M_2 = F_{RA}x_2 - F(x_2 + a) - F(x_2 - b)$$

采用积分法求 AC 段和 CB 段的扰曲线方程:

1) 在 AC 段 ($0 \leq x_1 \leq b$)。

$$EIw_1'' = M = F_{RA}x_1 - F(x_1 + a)$$

积分得:

$$\begin{aligned} EIw_1' &= \frac{F_{RA} - F}{2} x_1^2 - Fax_1 + C_1, \\ EIw_1 &= \frac{F_{RA} - F}{6} x_1^3 - \frac{Fa}{2} x_1^2 + C_1 x_1 + D_1 \end{aligned} \quad (3)$$

在固定端 A、转角和挠度均应等于 0, 即当 $x_1 = 0$ 时, $w_A' = \theta_A = 0, w_A = 0$ 。

把上述边界条件代入式 (3) 得 $C_1 = 0, D_1 = 0$, 则有:

$$EIw_1' = \frac{F_{RA} - F}{2} x_1^2 - Fax_1, \quad EIw_1 = \frac{F_{RA} - F}{6} x_1^3 - \frac{Fa}{2} x_1^2 \quad (4)$$

2) 在 CB 段 ($b \leq x \leq l$)。

$$EIw_2'' = M_2 = F_{RA}x_2 - F(x_2 + a) - F(x_2 - b)$$

积分得:

$$EIw_2' = \frac{F_{RA} - 2F}{2} x_2^2 + F(b - a)x_2 + C_2$$

$$EIw_2 = \frac{F_{RA} - 2F}{6} x_2^3 + \frac{F(b - a)}{2} x_2^2 + C_2 x_2 + D_2$$

当 $x_1 = x_2 = b$ 时, $w_1' = w_2', w_1 = w_2$, 得:

$$\begin{aligned} \frac{F_{RA} - F}{2} b^2 - Fab &= \frac{F_{RA} - 2F}{2} b^2 + F(b - a)b + C_2 \\ \frac{F_{RA} - F}{6} b^3 - \frac{Fa}{2} b^2 &= \frac{F_{RA} - 2F}{6} b^3 + \frac{F(b - a)}{2} b^2 + C_2 b + D_2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{F_{RA} - F}{6} b^3 - \frac{Fa}{2} b^2 &= \frac{F_{RA} - 2F}{6} b^3 + \frac{F(b - a)}{2} b^2 + C_2 b + D_2 \\ \frac{F_{RA} - F}{6} b^3 - \frac{Fa}{2} b^2 &= \frac{F_{RA} - 2F}{6} b^3 + \frac{F(b - a)}{2} b^2 + C_2 b + D_2 \end{aligned} \quad (6)$$

由式 (5—6) 求得:

$$C_2 = -\frac{Fb^2}{2}, \quad D_2 = \frac{Fb^3}{6}$$

则有:

$$EIw_2' = \frac{F_{RA} - 2F}{2} x_2^2 + F(b - a)x_2 - \frac{Fb^2}{2}$$

$$EIw_2 = \frac{F_{RA} - 2F}{6} x_2^3 + \frac{F(b - a)}{2} x_2^2 - \frac{Fb^2}{2} x_2 + \frac{Fb^3}{6}$$

4.2 最大挠度分析

由材料力学可知, 一般来说, 对于中间集中作用力且两端有固定支撑的梁结构, 在两固定端的中间部位会出现最大挠度^[15]。

令 $x_2 = \frac{l}{2}$, 根据 CB 段的挠度方程有

$$w_{\frac{l}{2}} = \frac{\frac{F_{RA} - 2F}{6} \left(\frac{l}{2} \right)^3 + \frac{F(b - a)}{2} \left(\frac{l}{2} \right)^2 - \frac{Fb^2}{2} \left(\frac{l}{2} \right) + \frac{Fb^3}{6}}{EI}$$

$w_{\max}$

已知, $F_{AR} = 12\ 617\ \text{N}$, $F = 7500\ \text{N}$, $a = 107\ \text{mm}$, $b = 593\ \text{mm}$, $l = 1350\ \text{mm}$, $E = 60\ \text{GPa}$ 。

根据定向器使用要求, 最大挠度应小于等于 2 mm, 则有:

$$\begin{aligned} w_{\max} &= 79 \cdot \left\{ 60 \times 10^9 \times \frac{h_2^3(b_2^2 + 4b_2a_2 + a_2^2)}{36(b_2 + a_2)} - \right. \\ &\quad \left. \frac{h_1^3(b_1^2 + 4b_1a_1 + a_1^2)}{36(b_1 + a_1)} - \frac{1}{12} \times 48.5 \times 10^{-3} \times \right. \\ &\quad \left. \left[(4.5 + t)10^{-3} \right]^3 \right\}^{-1} \leq 0.002 \end{aligned} \quad (7)$$

- 存加速寿命试验应力研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(5): 88—91.
- XU Jin-xin, WANG Jin-zhu, FAN Zhi-feng. Study on Accelerated Storage Life Testing of Control-Capsule of Terminally Guided Projectile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(5): 88—91.
- [6] 陈愚, 孙凤云. 贮运发射箱的结构与设计[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 132—135.
- CHEN Yu, SUN Feng-yun. Structure and Design of Storage and Transport Launcher[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 132—135.
- [7] 高欣宝, 祁立雷. 弹药储运管理[M]. 北京: 解放军出版社, 2003.
- GAO Xin-bao, QI Li-lei. Manage and Stock Ammunition[M]. Beijing: Publishing House of PLA, 2003.
- [8] 陈源, 李小平, 罗勇, 等. 包装箱用碳纤维增强复合材料贮存寿命研究[J]. 装备环境工程, 2018, 15(8): 111—114.
- CHEN Yuan, LI Xiao-ping, LUO Yong, et al. Storage Life of Carbon Fiber Reinforced Composite of Packing Box[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(8): 111—114.
- [9] GJB 145A—1993, 防护包装规范[S].
- GJB 145A—1993, Specification Preservation Packaging[S].
- [10] VYBRON COMPOSITES. Pultrusion Process[EB/PL]. <http://www.vybroncomposites.com>, 2003-12-28.
- [11] CARLONE P, PALAZZO G S, PASQUINO R. Pultrusion Manufacturing Process Development by Computational Modeling and Methods[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2006, 44: 701—709.
- [12] JOSHI S C, LAM Y C, TUN U W. Improved cure Optimization Inpultrusion with Pre-Heating and Die-Cooler Temperature[J]. Composites Part A, 2003, 12(3): 1151—1159.
- [13] LIU Xiao-lin, CROUCH I G, LAM Y C. Simulation Of Heat Transfer and cure in Pultrusion with a General-Purpose Finite Element Package[J]. Composites Science and Technology, 2000, 60(6): 857—864.
- [14] KALAMKAROV A L, FITZGERALD S B, MACDONALD D O. The use of Fabry Perot Fiber Optic Sensors to Monitor Residual Strains During Pultrusion of Frp Composites[J]. Composites Part B, 1999, 30(2): 167—175.
- [15] 陈海燕. ABAQUS 有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- CHEN Hai-yan. ABAQUS Finite Element Analysis from the Introduction to the Master[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015.
- [16] GJB 2711—96, 军用运输包装试验方法[S].
- GJB 2711—96, Test Methods for Military Transport Packages[S].
- [17] HERNANDEZ C, BUCHELY M F, MARANON A. Dynamic Characterization of Roma Plastilina NO.1 from Drop Test and Inverse Analysis[J]. International Journal of Mechanical, Sciences, 2015, 100: 158—168.