

转管炮机心结构参数化分析

原平, 戴劲松, 王茂森

引用本文:

原平, 戴劲松, 王茂森. 转管炮机心结构参数化分析[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(4): 6-9.

您可能感兴趣的其他文章

1. 圆膛多轨电磁炮身管的多场耦合有限元仿真

引用本文: 高硕飞, 李海元, 栗保明. 圆膛多轨电磁炮身管的多场耦合有限元仿真[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(2): 54-58,124.

2. 转管炮身管组内倾角对炮口扰动的影晌分析

引用本文: 曹渊, 邱志明, 崔东华, 等. 转管炮身管组内倾角对炮口扰动的影晌分析[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(1): 1-5.

3. 基于线性规划的转管武器曲线槽优化设计

引用本文: 熊镐, 王惠源. 基于线性规划的转管武器曲线槽优化设计[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(2): 80-85.

4. 电磁轨道炮抗烧蚀枢轨结构设计

引用本文: 毛保全, 张天意, 白向华, 等. 电磁轨道炮抗烧蚀枢轨结构设计[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(3): 67-71.

5. 某小口径凸轮炮开锁力矩有限元分析

引用本文: 戴劲松, 易智, 王茂森, 等. 某小口径凸轮炮开锁力矩有限元分析[J]. 兵器装备工程学报, 2015, 36(12): 118-121.

转管炮机心结构参数化分析

原平,戴劲松,王茂森

(南京理工大学 机械工程学院,南京 210000)

摘要:在某型转管炮射击实验中,机心运动发生卡滞、机心滚轮与炮箱凸轮曲线槽以及机心与星形体导轨之间的磨损较严重,因此开展对转管炮机心结构的研究,分析机心滚轮与炮箱凸轮曲线槽之间正压力和机心结构的变化关系。根据达朗贝尔原理,得到机心动平衡方程,利用 Matlab 得到机心径向宽度、导轨理想作用点高度、导轨倾角的参数采样点矩阵,分析机心结构参数与正压力之间的关系。结果表明:机心径向宽度和导轨理想作用点高度值越大,正压力越小;导轨倾角的改变对正压力的影响随着射速的提高而逐渐增大,当机心选取较大的径向尺寸和导轨理想作用点高度时,导轨倾角越大越好,反之,水平最好。

关键词:转管炮;机心;参数化分析;Matlab;凸轮

本文引用格式:原平,戴劲松,王茂森.转管炮机心结构参数化分析[J].兵器装备工程学报,2020,41(04):6-9.

Citation format:YUAN Ping, DAI Jinsong, WANG Maosen. Parameterization Research on Gatling Gun Bolt Carrier[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2020,41(04):6-9.

中图分类号:TJ301

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2020)04-0006-04

Parameterization Research on Gatling Gun Bolt Carrier

YUAN Ping, DAI Jinsong, WANG Maosen

(College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210000, China)

Abstract: In the experiment of a certain type of Gatling gun, the movement of Bolt Carrier is stuck, and the cam groove and guide rail wear seriously. The relationship between the bolt carrier and the positive pressure of roller and the cam groove was analyzed. According to the principle of D' Alembert, the dynamic balance equation was obtained. The radial width of bolt carrier, the ideal point height of the guide rail and the inclination angle of the guide rail were parameterized by Matlab. The relationship between the structural parameters of bolt carrier and the positive pressure was analyzed by using the surf function. The results show that the larger the radial width of the bolt carrier, the height of the guide rail, and the smaller the positive pressure. The influence of the inclination on the positive pressure gradually increases with the increase of the rate of fire.

Key words: gatling gun; bolt carrier; parametric analysis; Matlab; cam

转管炮机心组在星形体导轨和炮箱凸轮曲线槽的共同作用下做循环往复运动,完成射击循环动作。不同炮管数量的转管炮射速可达 1 500 ~ 10 000 发/min,机心组自动循环时间短,运动状态变化剧烈。在某型转管炮射击实验中,发现机心组运动卡滞,机心滚轮与炮箱凸轮曲线槽之间以及机心与星形体导轨之间的磨损较严重。关于减少机心滚轮与炮箱凸轮曲线槽之间的正压力、降低驱动功耗方面,前人研

究的重点在于对炮箱凸轮曲线槽的优化设计上。文献[1-2]通过对炮箱凸轮曲线槽过渡段进行优化设计,使得机心滚轮与凸轮曲线槽间的接触力降低。文献[3]研究了机心主滚轮在机体上的布局对机心滚轮和炮箱凸轮曲线槽之间接触力的影响。文献[4]主要对星形体导轨倾角进行了研究,而对机心结构没有进行较为细致的研究。为了解决上述实验中出现的问题,展开对转管炮机心结构的研究,根据达朗贝

收稿日期:2019-06-19;修回日期:2019-07-25

作者简介:原平(1993—),男,硕士研究生,主要从事火炮设计研究,E-mail:yp_616@189.cn。

通讯作者:戴劲松(1968—),男,博士,研究员主要从事火炮自动武器研究,E-mail:nust_seti@163.com。

尔原理^[5],列出机心受力的动平衡方程,应用 Matlab 编程分析机心结构参数的变化与机心滚轮和炮箱凸轮曲线槽正压力之间的关系。

1 动力学分析

1.1 机心运动过程分析

机心组在转管炮凸轮曲线槽约束下做循环往复运动,运动特性取决于转管炮凸轮曲线槽的特征。根据转管炮循环图,转管炮凸轮曲线槽分段设计^[6],凸轮槽展开如图 1 所示。在一个射击循环中, θ_1 为输弹加速段, θ_2 为输弹等速段, θ_3 为输弹减速段, θ_4 为击发过程直线段, θ_5 为退壳加速段, θ_6 为退壳等速段, θ_7 为退壳减速段, θ_8 为进出弹直线段。所以在一个射击循环,机心组经历两次直线段,两次加速段,两次减速段、两次等速段^[7]。取机心组其中一个机心为研究对象,不考虑弹丸的情况下,分析各个过程机心的动力学。

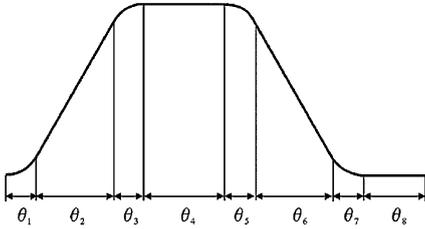


图 1 凸轮槽展开示意图

1.2 机心动力学分析

1) 机心加速段动力学分析

机心滚轮与凸轮曲线槽加速段受力分析可得,凸轮曲线槽对滚轮的正压力为 N ,方向垂直于凸轮曲线槽接触面,机心滚轮按纯滚动处理,所受到的摩擦力为 $f_1 N$,方向沿凸轮曲线槽切线方向,与运动方向相反。 f_1 为滚动摩擦系数。将正压力和摩擦力投影,分解为沿着机心轴向运动方向的主动推力 N_x 和垂直于运动方向横向力 N_y ,其中 α 为压力角:

$$\begin{cases} N_x = N(\cos\alpha - f_1 \sin\alpha) = NS_x \\ N_y = N(\sin\alpha + f_1 \cos\alpha) = NS_y \end{cases} \quad (1)$$

其中令:

$$\begin{cases} S_x = \cos\alpha - f_1 \sin\alpha \\ S_y = \sin\alpha + f_1 \cos\alpha \end{cases} \quad (2)$$

机心的主要设计结构参数以及加速段受力分析如图 2 所示, O 点为机心中心,在身管轴线延长线上, B 点为机心滚轮理想受力点, A 点为导轨对机心侧向正压力 N_1 作用延长线与 O, B 连线的交点, D, D' 点为导轨对机心作用中心点。令 A 点和 B 点连线长度为 h_0 , O 点和 B 点连线长度为 h , O 点与 D, D' 连线的垂直距离为 h_1 , h_1 在 O 点以下为负值,在 O 点以上取正值。 A 点和 D 点连线长度为 L_0 , C 为 D, D' 连线长度, L 为机心纵向长度, θ 为星形体导轨倾角。当转管炮凸轮曲线槽和身管组中心圆给定之后, h 等于机心滚轮公转半径减去身管组中心圆半径。机心纵向长度 L 取决于凸轮的

轴向长度,研究机心结构参数影响就集中在星形体导轨倾角 θ 、机心径向宽度 C 、导轨理想作用点高度 h_1 上。

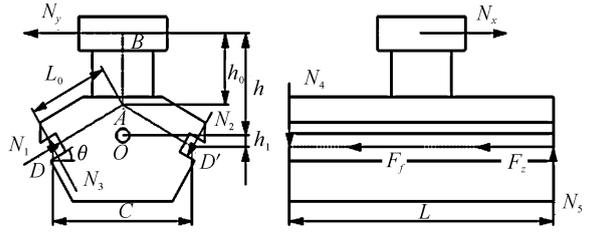


图 2 机心受力分析示意图

由几何关系可得:

$$\begin{cases} L_0 = C/(2\cos\theta) \\ h_0 = h - h_1 - C\tan\theta/2 \end{cases} \quad (3)$$

机心加速段受力分析可得,在机心主视图上,机心受到星形体导轨正压力 N_1, N_2, N_3 ,作用点和方向如图上所示。根据受力列出机心主视图的力平衡方程:

$$\begin{cases} N_y = N_1 \cos\theta - (N_2 + N_3) \sin\theta \\ N_1 \sin\theta = (N_2 - N_3) \cos\theta \\ N_y h_0 = (N_2 + N_3) L_0 \end{cases} \quad (4)$$

在机心左视图上,机心受到星形体导轨正压力 N_4, N_5 ,作用点和方向如图上所示。图中 F_f 为星形体导轨对机心正压力以及由机心离心力和切向惯性力引起的摩擦力, f_2 为星形体导轨与机心之间的摩擦系数, m 为机心质量, r 为身管组中心圆半径, ω 为星形体转动角速度, ε 为星形体转动角加速度。

$$F_f = f_2((N_1 + N_2 + N_3) + \frac{N_4 + N_5}{\cos\theta} + (mr\omega^2 + mr^2\varepsilon)) \quad (5)$$

在机心加速度反方向施加达朗伯力 F_z 得到机心左视图动平衡方程:

$$\begin{cases} N_4 = N_5 = \frac{N_x(h - h_1)}{L} \\ F_z = F_f - N_x = -ma \end{cases} \quad (6)$$

由式(1)~(6)联立可得在机心加速段运动中凸轮曲线槽对滚轮的正压力 N :

$$N = \frac{m(a + rf_2\omega^2 + \varepsilon f_2 r^2)}{(1 - 2f_2\mu)(\cos\alpha - f_1 \sin\alpha) - f_2\lambda(\sin\alpha + f_1 \cos\alpha)} \quad (7)$$

其中:

$$\begin{cases} \mu = \frac{h - h_1}{L\cos\theta} \\ \lambda = \frac{L_0 + h_0(\sin\theta + \cos\theta)}{L_0\cos\theta} \end{cases} \quad (8)$$

2) 机心减速段动力学分析

机心在减速段运动时,凸轮曲线槽对滚轮的正压力 N 与机心轴向运动方向相反,受力分析计算可得,只需将 f_1 变为 $-f_1$, f_2 变为 $-f_2$ 即可得到在机心减速段运动中凸轮曲线槽

对滚轮的正压力 N :

$$N = \frac{m(a - rf_2\omega^2 - \varepsilon f_2r^2)}{(1 + 2f_2\mu)(\cos\alpha + f_1\sin\alpha) + f_2\lambda(\sin\alpha - f_1\cos\alpha)} \quad (9)$$

其中 μ, λ 同上。

3) 机心等速段动力学分析

机心运动到等速段时,机心加速度为0,这时机心等速段运动中凸轮曲线槽对滚轮的正压力 N 为:

$$N = \frac{mf_2(r\omega^2 + \varepsilon r^2)}{(1 - 2f_2\mu)(\cos\alpha - f_1\sin\alpha) - f_2\lambda(\sin\alpha + f_1\cos\alpha)} \quad (10)$$

其中 μ, λ 同上。

4) 机心直线段动力学分析

机心运动到直线段时,机心轴向位移为0,这时机心直线段运动中凸轮曲线槽对滚轮的正压力 N 为0。

2 实例分析

2.1 参数化计算

以某型转管炮为例,其炮箱凸轮曲线槽是按照摆线修正梯形加速度运动规律设计,摆线修正梯形加速度运动规律的种类加速度曲线没有突变现象,因此从动件没有刚性和柔性冲击^[8-10]。位移和压力角曲线如图3。

身管组中心圆半径 $r = 50$ mm,机心滚轮公转半径 $r_1 = 78$ mm。机心的结构参数:机心中心 O 到机心滚轮理想受力点 A 的距离 $h = 28$ mm,机心纵向长度 $L = 80$ mm,星形体导轨倾角 $\theta \in [0^\circ, 45^\circ]$ 、机心径向宽度 $C \in [35, 50]$,导轨理想

作用点高度 $h_1 \in [-8, 8]$,机心质量 m 根据具体的结构尺寸计算得到。凸轮曲线槽与机心滚轮之间的滚动摩擦系数 f_1 的取值根据机械手册^[11]: $f = \mu_g/R, \mu_g$ 为滚动摩擦臂,钢与钢的滚动摩擦臂一般取值为 $0.2 \sim 0.4$, R 为滚动摩擦半径,实例中的机心滚轮半径 $R = 12.5$ mm,得到 $f_1 = 0.03$ 。机心与星形体导轨之间的滑动摩擦系数取 $f_2 = 0.1$ 。这里只研究转管自动机稳定工作的情况,星形体角加速度 $\varepsilon = 0$ 。加速度 a 和压力角 α 根据凸轮曲线方程计算得到。

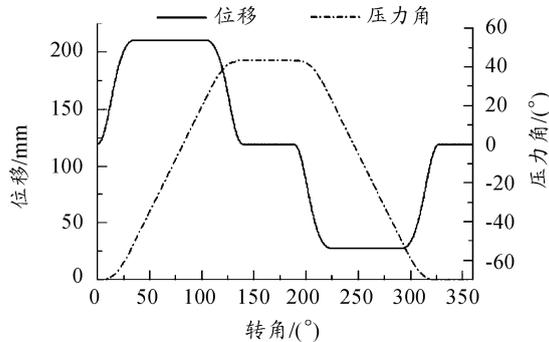


图3 凸轮曲线槽位移和压力角曲线

当射速为4000发/min时,计算得到对应的角速度 $\omega = 104.72$ rad/s。应用 Matlab 中的 surf 函数,带入数据得到 C, h_1, θ 结构参数的变化对机心滚轮与凸轮曲线槽之间的正压力最大值的变化情况, X 坐标为 C, Y 坐标为 h_1, Z 坐标为 N_{\max} ,如图4所示。当分别取 C, h_1 等于其取值范围最大最小值,研究随着 θ 的变化,正压力最大值的变化情况,如图5所示。当 C, h_1 分别取最小与大值时, N_{\max} 随 ω 变化情况,如图6所示。

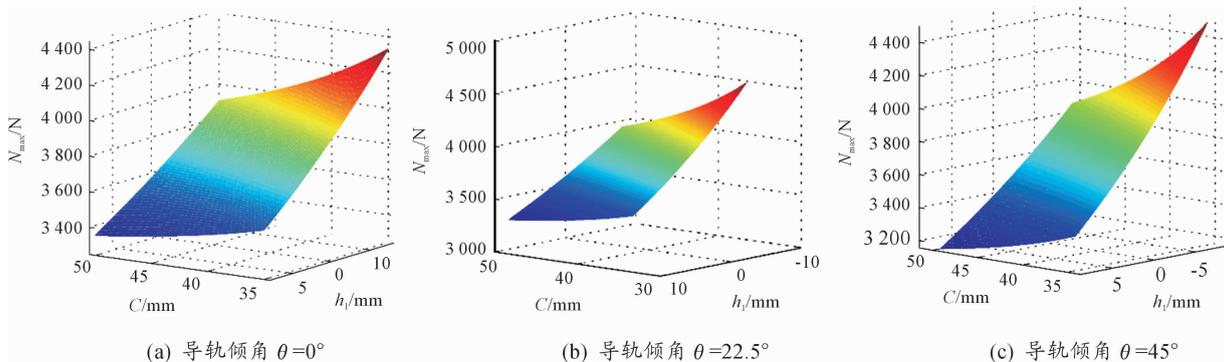


图4 不同倾角 θ, N_{\max} 随 C, h_1 变化情况

2.2 计算结果分析

从图4可以看出,当星形体导轨倾角一定时,随着机心径向宽度 C 以及导轨理想作用点高度 h_1 的增大,机心滚轮与凸轮曲线槽之间的正压力最大值成规律性变化,其最大值逐渐减小。正压力 N_{\max} 的最大值位于 $C = 35$ mm, $h_1 = -8$ mm处,即 C, h_1 取得其取值范围的最小值时。正压力 N_{\max} 的最小值位于 $C = 50$ mm, $h_1 = 8$ mm处,即 C, h_1 取得其取值范

围的最大值。

由图5可以看出,当机心径向宽度 C 以及导轨理想作用点高度 h_1 分别取最小与最大值时, N_{\max} 随 θ 变化情况。 θ 从 0° 到 45° 变化中, C, h_1 取最大值时,可以看出 N_{\max} 先增大后减小, N_{\max} 最小等于 4315.2 N,此时导轨倾角 $\theta = 0^\circ$ 。当 C, h_1 取最小值时, N_{\max} 随着 θ 的增大而逐渐减小, N_{\max} 最小等于 3154.7 N,此时导轨倾角 $\theta = 45^\circ$ 。正压力减小幅度 26.9% 。

可以得出要使机心滚轮与凸轮曲线槽之间的正压力减小,应选取较大的机心径向宽度 C 以及导轨理想作用点高度 h_1 。

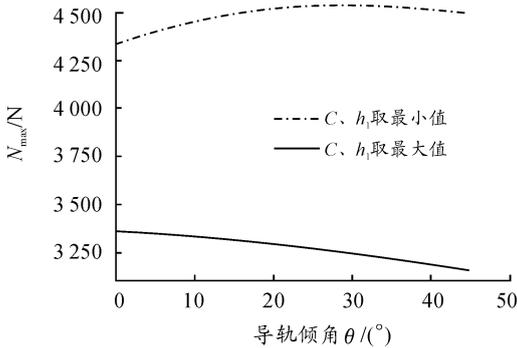


图5 C, h_1 取最小值与最大值时, N_{max} 随 θ 变化情况

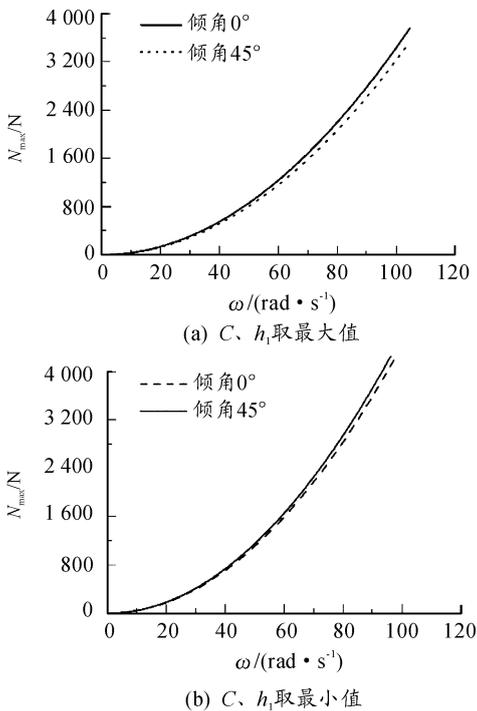


图6 当 C, h_1 取最小与大值时, N_{max} 随 ω 变化情况

由图6可以看出,当机心径向宽度 C 以及导轨理想作用点高度 h_1 分别取最小与最大值时, N_{max} 随 ω 变化情况。随着转管炮射速的提高,角速度增大, N_{max} 增长速度由慢变快,倾角变化对 N_{max} 的影响也越来越大。当 C, h_1 取最大值时,星形体导轨倾角 45° 的 N_{max} 小于导轨倾角 0° 的 N_{max} , 当 C, h_1 取最小值时,星形体导轨倾角 45° 的 N_{max} 大于导轨倾角 0° 的 N_{max} 。得出当机心选取较大的径向尺寸和导轨理想作用点高度时,导轨倾角越大越好,反之,水平最好。

由以上分析,取 $C = 50 \text{ mm}, h_1 = 8 \text{ mm}, \theta = 45^\circ$, 机心滚轮与凸轮曲线槽之间的正压力最小,星形体旋转一周,机心滚轮与凸轮槽正压力变化曲线如图7之实线,图7之虚线为原设计 $C = 40 \text{ mm}, h_1 = -5 \text{ mm}, \theta = 30^\circ$ 的机心滚轮与凸轮槽正压力变化曲线。原机心模型 $N_{max} = 4065.9 \text{ N}$, 新机心模型 $N_{max} = 3154.7 \text{ N}$, 最大减小幅度为 22.4%。

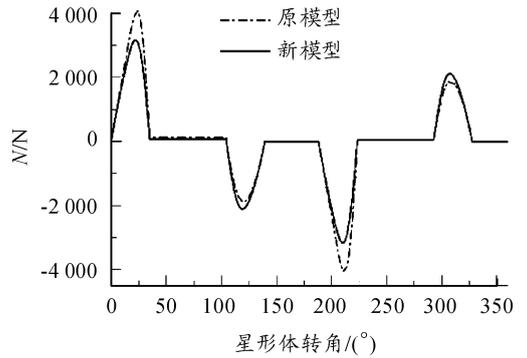


图7 原模型与新模型正压力曲线

3 结论

在对某转管炮进行动力学分析的基础上,通过参数化分析,得到了机心结构参数的改变对机心滚轮与转管炮凸轮曲线槽的正压力的变化规律。为了得到较小的正压力,减小驱动功耗,机心与导轨接触的径向宽度应尽量选较大的尺寸,导轨对机心作用中心点应位于机心中心以上,距离机心中心点越远,正压力越小。当机心选取较大的径向尺寸和导轨理想作用点高度时,导轨倾角越大越好,反之,水平最好。

参考文献:

- [1] 李世康,李强,安俊斌,等.高射速转管炮凸轮曲线槽的优化与设计[J].火炮发射与控制学报,2017,38(02):40-43.
- [2] 熊镐,王惠源.基于线性规划的转管武器曲线槽优化设计[J].兵器装备工程学报,2019,40(02):80-85.
- [3] 徐健,薄玉成,李强,等.转管炮主滚轮在机体上位置布局研究[J].兵工学报,2010,31(08):1036-1040.
- [4] 徐健,李强,杨臻.转管炮降低机心组导轨摩擦力研究[J].火力与指挥控制,2016,41(09):50-52+56.
- [5] 哈尔滨工业大学理论力学教研室.理论力学[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [6] 戴劲松.现代火炮自动机设计理论[M].北京:国防工业出版社,2018.
- [7] 张相炎.火炮概论[M].北京:国防工业出版社,2013.
- [8] 石永刚.凸轮机构设计[M].上海:上海科学技术出版社,1995.
- [9] QIU Hua, LIN Chang-jun, LI Zi-ye, et al. A universal optimal approach to cam curve design and its application[J]. Mechanism and Machine Theory, 2005, 40:669-692.
- [10] SUCH C H, RADCLIFF C W. Kinematics and mechanism design. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [11] 机械设计手册编委会.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,2004.