

doi: 10.7690/bgzd.2015.06.007

## 浮动自动机弹簧机构的改良设计

张 辉, 张相炎

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 针对浮动自动机后坐力峰值大、变化不稳定的问题, 设计一种实现浮动自动机受力近似恒定的弹簧机构, 近似实现自动机后坐受力大小近似不变、方向恒定。从原理上分析了自动机后坐力为定值的可行性, 创新地设计了一种凸轮槽式弹簧机构。先从理论上推导了改良机构实现浮动弹簧后坐力稳定的原理, 再通过 ADAMS 完成改良机构的仿真分析, 得到改良后自动机炮箱受力曲线图。仿真结果表明: 改良设计后的浮动弹簧机构降低自动机受力峰值, 而且受力方向保持不变。

**关键词:** 弹簧机构; ADAMS 仿真; 后坐力; 改良设计

**中图分类号:** TJ302 **文献标志码:** A

## Improved Design Floating Automaton Spring Mechanism

Zhang Hui, Zhang Xiangyan

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Aiming at floating for automatic machine recoil big peak and instable changes, design a floating robot realize approximately constant force spring mechanism, similar to realize automatic machine after sitting approximate size of the force constant, constant direction. After feasibility analysis from the principle of automatic machine recoil for a given value, innovative design of a cam trough spring mechanism. After the first theoretically improved recoil spring mechanism to achieve a stable floating principle, and then complete the simulation analysis through improved organization ADAMS, get improved automatic cannon box after the force curve. Simulation results show that: after floating spring mechanism improved design can reduces the peak force automatically, and direction of the force remains unchanged.

**Keywords:** spring mechanism; ADAMS simulation; recoil; improved design

### 0 引言

减轻质量、提高射击精度是火炮设计的永恒主题, 其主要技术途径之一是减小后坐力。减小自动机后坐力的方法很多, 其中采用浮动原理就是主要技术手段之一<sup>[1]</sup>。火炮自动机的浮动发射, 浮动部分可视为一种特殊的反后坐装置, 根据浮动自动机发射原理可知, 浮动发射在复进过程中击发; 因此, 击发后火药气体产生的冲量首先要抵消掉浮动部分向前的冲量, 后坐部分剩余的冲量就大大减小, 所以作用炮架上的力降低<sup>[2]</sup>。目前, 浮动自动机根据结构不同, 最长采用的是弹簧式浮动机<sup>[3]</sup>。对于小口径自动炮, 由于弹簧式自动机结构简单紧凑, 故小口径自动炮通常采用弹簧式浮动自动机。弹簧式自动机的设计关键在于浮动弹簧的设计。为使炮架受力小切均匀, 应尽量使浮动弹簧的压缩比小些, 最理想的压缩比为 1, 这就需要使在一定范围内, 弹簧刚度系数变为 0。然而, 目前还未发现有这样的弹簧, 这就需要转变思路: 浮动部分所受的弹簧力始终为常数并不一定要求弹簧刚度系数为 0, 可以通过设计合理的机构实现。基于此, 笔者提出一

种浮动自动机弹簧机构的设计, 来实现浮动自动机弹簧的压缩比为 1, 以最大限度地发挥浮动发射技术减小后坐力的优点。

### 1 基本原理

浮动自动炮的自动机在连续射击时, 自动炮后坐受力的方向一直是向后的。假设在  $t$  时间内共发射了  $n$  发弹丸, 则由动量定理可知:

$$\int_0^t F dt = nmv + p \quad (1)$$

式中:  $F$  炮箱受力;  $mv$  是每发弹丸的动量;  $p$  是  $t$  时刻浮动部分和浮动弹簧的动量。 $F$  在时域上分布越均匀, 则  $F$  的峰值越小<sup>[4]</sup>。所以火炮发射时, 后坐浮动部分受到的后坐力为定值, 而且方向保持不变, 对火炮整体结构的强度设计是非常有利的, 笔者也正是基于此原理, 对浮动弹簧进行改良设计。

### 2 方案分析

从弹簧的结构特性来看, 弹簧的受力是和弹簧的形变量成正比, 即弹簧的弹力都随着弹性变形的增加而增加。目前, 对于普通的弹簧, 还没有一种

收稿日期: 2015-01-23; 修回日期: 2015-02-25

作者简介: 张 辉(1988—), 男, 安徽人, 硕士, 从事新概念火炮及动力学仿真研究。

弹簧的弹力不随弹簧的形变而保持不变的。如果要使常规的浮动自动机上的弹簧的弹力保持不变,实现浮动弹簧弹力为定值,只能从弹簧与其他机构设计方面入手,笔者总结了以下 2 个思路:

1) 在浮动部分运动方向上采用多个弹簧组合。可以采用串联或并联的方法:并联时,在后坐刚开始时,多个弹簧同时参与工作,随着位移的增大,弹簧逐次退出工作并被卡主,最后只剩一根弹簧工作。浮动部分所受的弹簧力呈锯齿状并相对稳定。复进时是后坐的逆过程;串联时,弹簧逐个参与工作,是刚度系数逐渐降低。串联时的浮动部分受力情况与并联是类似。

2) 设计合理的结构,使浮动部分的位移与弹簧的变形不同步。也即是说,随着弹簧变形量的增大,浮动部分位移与弹簧的变形之比也增大。可以这样解释:浮动部分每次后坐  $\Delta l$ ,为了使弹簧吸收的能量与上次一样,弹簧的变形量必须比上一次小。

由于自动机对重量和可靠性要求很高,所以缓冲机构越简单越好。为此,笔者构思了一种凸轮槽式的结构方案。

### 3 机构总体设计

设计结构总体方案示意图和效果图如图 1、2。

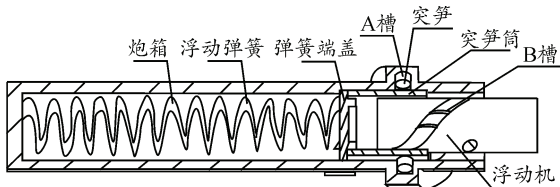


图 1 方案示意图

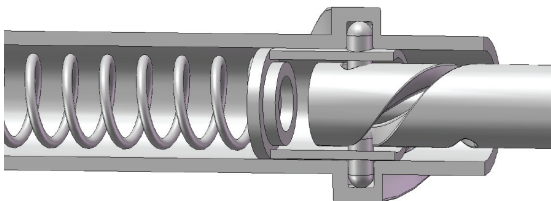


图 2 三维效果图

#### 3.1 机构工作原理

如图 1 所示,在炮箱内壁开有两条曲线槽,称之为 A 槽,展开后为 2 条直线;浮动部分的一段套在炮箱中,其表面也开有 2 条曲线槽,称为 B 槽,它的螺旋角是变的,需要计算得出,而它的旋向与 A 槽相反;突笋筒上固联有 2 个对称的突笋(装有 2 个是为了受力均匀),分别位于 A、B 槽相交的位置,并与之配合。突笋筒与弹簧端盖相配合,可以相对

转动;弹簧力可通过端盖传递到突笋筒上,再通过突笋筒上的 2 个突笋传递到浮动机和炮箱上。

浮动机往复运动时,浮动机和炮箱并不转动,只有突笋在 A 槽和 B 槽的约束下带着突笋筒在作往复运动的同时转动。当后坐刚开始时, B 槽的螺旋角为零,浮动机的运动与弹簧的变形同步,弹簧所有的力都作用在浮动机上。随着后坐量的增大,突笋在 A 槽的约束下逐渐旋转,与突笋接触的 B 槽位置的螺旋角也会逐渐增大。这时,弹簧力将有一部分通过突笋作用到炮箱上,随着后坐量的增大,这部分力将逐渐变大。因此,只要 B 槽的曲线合适,因弹簧变形量增加而增加的弹力就可以全部分配到炮箱上,浮动部分所受的弹力将会一直不变。后坐结束时,浮动机的总位移将大于弹簧总变形量,从能量角度来说:在弹簧储存能量不变的前提下,做功距离的增加使力减小了。

#### 3.2 凸轮槽曲线的计算<sup>[5-7]</sup>

如图 3 所示,对突笋进行受力分析,列出平衡方程如下。

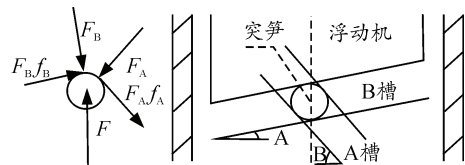


图 3 受力示意图

$$F_B \cos \alpha - F_B f_B \sin \alpha + F_A \cos \beta + F_A f_A \sin \beta = F \quad (2)$$

$$F_B \sin \alpha + F_B f_B \cos \alpha = F_A \sin \beta - F_A f_A \cos \beta \quad (3)$$

弹簧弹力为

$$F = F_0 + ky \quad (4)$$

令浮动部分在运动方向上所受的弹簧作用力始终等于弹簧初力

$$F_0 = F_B \cos \alpha - F_B f_B \sin \alpha \quad (5)$$

以上各式中,各符号代表的含义为:  $F_A$ 、 $F_B$  分别表示 A、B 槽对突笋的正压力;  $\beta$ 、 $\alpha$  分别表示 A、B 槽的螺旋角;  $f_A$ 、 $f_B$ 、 $f_C$  分别表示突笋与 A、B 槽以及浮动部分与炮箱的摩擦系数;  $k$  为弹簧刚度系数;  $y$  为弹簧变形量。由以上 4 式可解得

$$y = \left[ \frac{(1 + f_A f_B) \sin(\alpha + \beta) + \cos(\alpha + \beta)(f_B - f_A)}{(\cos \alpha - f_C \sin \alpha)(\sin \beta - f_A \cos \beta)} - 1 \right] \frac{F_0}{k} \quad (6)$$

在理想情况下,3 个摩擦系数都为零,上式转化为

$$y = \left[ \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha \sin \beta} - 1 \right] \frac{F_0}{k} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \frac{F_0}{k} \quad (7)$$

其中