

一种惯性触发开关闭合特性分析

何晓聪 李会群 朴成文

(湖北汉丹机电有限公司 湖北 襄阳 441021)

摘要: 针对某脉冲推力控制器末端修正弹药引信惯性触发开关闭合阈值问题, 利用理论分析和 ADAMS 动力学仿真相结合的方法, 对引信惯性触发开关闭合特性及弹道安全性进行分析。结果表明: 该惯性触发开关更容易“倾倒”闭合; 惯性触发开关对脉冲振动冲击的响应是敏感的, 脉冲冲击的频率和峰值对开关的闭合影响大; 在末端修正弹药修正段复杂弹道环境条件下惯性触发开关闭合阈值下限偏低, 安全裕度不足, 可能会发生弹道炸。

关键词: 引信; 末端修正; 触发开关; 闭合阈值

0 引言

惯性触发开关是利用弹体碰击目标时的前冲力闭合, 接通引信发火电路, 使引信传爆序列中的电起爆元件作用。参考文献《惯性触发开关动态特性与引信弹道炸分析》一文分析了一种惯性触发开关的动态特性, 并结合配用的具体弹药弹道特点分析了弹道炸的原因。参考文献《引信簧片抱球万向惯性触发电开关动态特性》一文分析了一种采用接电爪抱球结构的小尺寸万向型机械式惯性电触发开关接电特性的影响因素, 但未结合具体弹药弹道特点分析其闭合特性, 参考文献《基于计算机仿真的引信惯性开关结构设计》一文建立了弹簧压球结构的引信惯性触发开关的静力学运动方程, 并结合手榴弹触发引信的特点研究了触发开关的方向敏感性问题。参考文献《引信惯性球电触发开关方向敏感性》一文研究了一种火箭弹的惯性开关, 研究惯性开关结构参数对其灵敏度的影响, 并进行了试验验证。本文针对某脉冲推力控制器末端修正弹药引信惯性触发开关闭合阈值问题, 利用机械振动学理论和 ADAMS 动力学仿真相结合的方法, 分析了惯性触发开关闭合特性和弹道安全性。

1 惯性触发开关的结构与作用原理

某脉冲推力控制器末端修正弹药引信惯性触发开关的结构如图所示。其中开关帽为一极, 接电盘、接电簧、接电销与开关体组成另一极。勤务处理过程中引信电源未上电, 引信未解除保险, 各种环境激励即使造成惯性触发开关闭合, 也不会引起引信的安全性问题, 且接电销的接电动作是可逆的, 当环境激励消失后, 在接电簧的作用下接电销会复位。碰目标过程中接电销受前冲过载的作用压缩接电簧, 前冲与开关帽接触, 或擦地时受侧向惯性力的作用使接电销侧向摆动(“倾倒”)与开关帽接触, 导通发火电路, 使引信作用。

2 惯性触发开关闭合特性分析

2.1 惯性触发开关中接电销运动数学模型

惯性触发开关是典型的“弹簧-质量-阻尼”系统, 其闭合原理分为轴向闭合和“倾倒”闭合两种。

按照机械振动理论, 在惯性激励 $a(t)$ 的作用下, 轴向闭合的系统的运动方程可表示为:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = a(t) - \frac{f}{m} \quad (1)$$

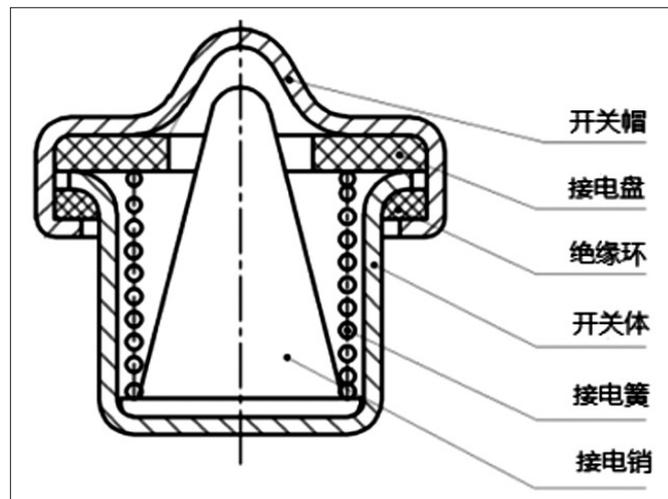


图 惯性触发开关结构

“倾倒”接电的系统的运动方程可表示为:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\delta \frac{d\theta}{dt} + \omega_n^2 \theta = \left(\frac{1}{J}\right) [T(t) - kx_0 R_0] \quad (2)$$

式(1)、(2)中符号的含义与参考文献中一致。

2.2 静力条件下惯性触发开关闭合阈值分析

从惯性触发开关系统的运动方程式(1)和式(2)可以看出, 惯性触发开关系统的运动是典型的单自由度系统有阻尼受迫振动, 只要系统在极限参数条件下的最大振幅等于惯性销的轴向闭合行程或“倾倒”闭合角度, 即可确定激振过载。

考虑到在接电销运动过程中阻尼远小于弹簧的抗力, 为了简化计算, 本文忽略不计, 则式(1)可简化为: $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = a(t) - \frac{f}{m}$, 式(2)可简化为: $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega_n^2 \theta = \left(\frac{1}{J}\right) [T(t) - kx_0 R_0]$ 。在静力条件下的单自由度系统受迫振动的激振力的频率可以认为无限趋近于0, 此时并不振动, 所谓的振幅就是惯性销在静过载 $a(t)$ 的作用下的位移。可以用惯性触发开关惯性销振幅来衡量惯性触发开关能否沿轴向闭合, 即: $a(t) = \frac{kb+f}{m} = \omega_0^2(b+x_0)$ 。可以用惯性触发开关惯性销的振幅(“倾倒”闭合角度)来衡量惯性触发开关能否“倾倒”闭合, 其倾倒闭合角度 $\varphi = \frac{(j)[T(t)-kx_0R_0]}{\omega_n^2} = \frac{T(t)-kx_0R_0}{k_d}$, 惯性触发开关闭合角度一般小于 5° , 即 $k_d = k \frac{\tan\theta}{\theta} [R_0^2 + \frac{r^2}{2}]$, 即:

即 $\frac{\cos\theta}{\theta} \approx 1$, 且 $R_0^2 > \frac{r^2}{2}$, 即: $a(t) = \frac{k}{m_l}(R_0^2\varphi + x_0R_0) = \omega_0^2 \frac{R_0^2\varphi + x_0R_0}{l}$ 。

将惯性触发开关的极限设计参数代入式中得到: 静力条件下轴向最大闭合过载值为 222.21g, 最小闭合过载为 78.15g; 倾倒闭合过载最大值为 184.60g, 最小闭合过载为 55.52g。从计算结果来看, 本文所述的开关更容易“倾倒”闭合, 这与参考文献《引信簧片抱球万向惯性触发电开关动态特性》中研究的与本文触发开关结构相似的万向开关的结论一致。

2.3 最易闭合角度测试

为了验证“倾倒”闭合过载随过载与接电销轴向夹角的变化关系, 选择了 3 个开关在离心机上进行测试。测试原理将惯性触发开关固定在工装内, 置于离心机夹具上, 通过旋转工装调整惯性开关中接电销与轴线离心力的夹角。测试结果表明惯性触发开关倾倒闭合的过载随着过载与接电销轴向夹角的增大先减小, 当角度增大到 40° 左右时, 达到最小值, 随后逐步增大。理论计算结果与实测结果相近, 相互验证, 理论计算结果可信。

3 惯性触发开关闭合特性仿真

现应用 ADAMS 仿真软件仿真实接电销的接电运动特性。

3.1 仿真模型的建立

利用三维建模软件建立惯性触发开关动态仿真响应模型, 然后利用 ADAMS/VIEW 的模型数据交换接口, 将该模型文件导入 ADAMS 仿真软件中。

利用冲击函数法 (impact 函数) 来计算两个构件之间的碰撞力, 参照参考文献《惯性触发开关动态特性与引信弹道炸分析》进行参数设置。

3.2 动态过载环境下的接电销接电特性仿真

本文脉冲推力控制器末端修正弹药的脉冲推力控制器的工作时间 (脉宽) 范围为 7ms ~ 37ms, 工作时间间隔 (脉宽间隔) 60 ~ 120ms。

为了便于仿真, 本文将脉冲推力控制器过载简化为矩形的脉冲过载, 并假设的脉冲过载线型是: 1ms 内过载达到最大值, 然后保持最大值, 最后脉冲结束时, 1ms 内变为零, 整个过程为一个脉冲过载宽度, 脉宽间隔设置为 5ms、15ms、30ms、45ms、60ms。

通过仿真可以得到如下结论:

(1) 接电销对脉冲过载的响应是敏感的, 当脉冲过载加载后, 接电销在过载作用下迅速产生一定的位移。脉冲间隔大于 30ms 时, 相邻脉冲互不干扰;

(2) 脉冲过载上升时期, 接电销位移很小, 过载值达到最大后, 接电销位移迅速增大; 随着时间的增加, 接电销位移迅速减小, 虽然过载仍作用于接电销, 接电销位移仍在

波动, 但远小于峰值位移;

(3) 脉宽越大时, 接电销产生的位移越大, 当脉宽大于 15ms 时, 最大位移不再发生变化;

为了进一步验证脉冲推力控制器工作时对引信惯性触发开关的影响, 引信惯性触发开关位置处布置三轴加速度传感器对修正段脉冲推力控制器工作时, 惯性触发开关受到的过载进行了测试和记录。

将测试的脉冲推力控制器推力作用下的接电销总过载曲线分别以 Spline 导入建立的 ADAMS 仿真模型, 由于过载的方向不确定, 按照前述仿真结果, 将过载方向与接电销的几何纵轴的夹角设为 40.52° 。结果表明, 接电销在 38.7s 时刻 (第二个脉冲推力控制器开始工作时刻) 能接电。

4 结语

本文利用机械振动理论和刚体动力学仿真相结合的方法, 分析了脉冲推力控制器末端修正弹药引信惯性触发开关的闭合特性和弹道安全性。理论计算、仿真分析和试验验证结果均表明该惯性触发开关更易“倾倒”闭合; 该惯性触发开关对脉冲过载冲击的响应是敏感的, 在修正段脉冲推力控制器产生的脉冲推力的作用下, 容易“倾倒”闭合, 闭合阈值裕度不足; 对于脉冲修正弹药, 引信惯性触发开关的设计需要考虑脉冲修正力对惯性触发开关的影响, 防止闭合阈值裕度不足造成惯性触发开关在修正段闭合, 出现修正段弹道炸; 本文提出的动力学分析方法可以为修正类弹药引信应用低过载惯性触发开关设计提供参考。为避免弹道炸事故的发生可在现有惯性触发开关的基础上调整结构参数, 提高过载阈值。

参考文献:

- [1] 张武凤, 王雨时等. 惯性触发开关动态特性与引信弹道炸分析 [J]. 探测与控制学报, 2016, 38(3): 36-39.
- [2] 刘鹏, 王雨时等. 引信簧片抱球万向惯性触发电开关动态特性 [J]. 探测与控制学报, 2016, 38(2): 1-3.
- [3] 尚雅玲, 马宝华. 基于计算机仿真的引信惯性开关结构设计 [J]. 探测与控制学报, 2014, 26(2): 44-46.
- [4] 倪乐庆, 王雨时等. 引信惯性球电触发开关方向敏感性 [J]. 探测与控制学报, 2017, 39(3): 31-33.
- [5] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学 (II) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [6] GJB/Z135-2002, 引信工程设计手册 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行中心, 2003.

作者简介: 何晓聪 (1981.05-), 男, 汉族, 甘肃镇原人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 精密机械。