

# 一种微小型传爆序列的设计\*

王少卫, 聂伟荣

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:**在分析了典型的错位隔断式传爆序列的基础上,借鉴一种微小型传爆序列的设计思路,设计出一种新的微小型传爆序列。这种微小型传爆序列主要特点是利用薄片状滑块代替了原来的隔爆机构。对此传爆序列进行了初步的传爆理论计算,理论上传爆是可行的。做了传爆实验,其结果是传爆实验是失败的。这说明此传爆序列还得进一步改进,但是仍然可以看出来此微小型传爆序列具有明显的优点和广阔的应用前景。

**关键词:**引信;微小型传爆序列;理论计算

**中图分类号:**TJ456 **文献标志码:**A

## The Design of a New Micro-scale Explosive Train

WANG Shaowei, NIE Weirong

(School of Mechanical Engineering, NUST, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In a typical dislocation partition type explosive train, a new micro-scale explosive train based on a kind of miniature explosive train was designed with a thin sheet instead of the original explosion-proof body. The theoretical calculation of explosive was carried out; the explosion theory was feasible to upload. Explosive experiment was made and ended with a failure. This shows that the explosive train should be further improved, but the micro-scale explosive train has obvious advantages and potential applications.

**Keywords:** fuze; micro-scale explosive train; theoretical calculation

### 0 引言

引信是兵器战斗部的重要组成部分,是激发弹药产生毁伤作用的执行装置,其功能是把一个小的初始能量有控制的放大到适当的爆轰冲量以引爆武器的战斗部,实现武器的毁伤作用<sup>[1]</sup>,所以传爆序列的设计直接影响引信的性能和机构设计。

小口径武器如小口径速射火炮广泛应用于陆基、舰载和机载,是近程防空反导系统的重要组成部分<sup>[2]</sup>。小口径武器对于引信的小型化提出了更高的要求,引信体积缩小腾出的空间可以安装探测和信号处理电路,引信的小型化必然要求传爆序列的微小型化。

文中首先分析了典型传爆序列的基本结构,一般由三级感度依次降低、输出能量依次增强的火工品组成,最后引爆主装药。传爆序列必须满足适当的感度、准确的作用时间、足够的爆轰输出能量、良好的安全性。文中首先介绍了一种微小型传爆序列的设计思路,借鉴这种设计思路设计了一种新型的微小型传爆序列,进行了传爆的理论计算和传爆实验,对这种

微小型化传爆序列进行了初步研究。

### 1 典型错位隔断式传爆序列的分析

传爆序列的种类很多,从引信隔爆安全要求和功能分类来说,传爆序列分为非保险型传爆序列和保险型传爆序列,有隔离机构的为保险型,无隔离机构的为非保险型。错位隔断式传爆序列是最常用的传爆序列结构,其典型的基本结构如图1所示。

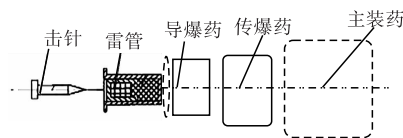


图1 典型的传爆序列

击针与雷管为第一级火工元件,导爆药和传爆药分别为二三级火工元件,当处于发火状态时,各火工元件排列为一条直线,击针刺入雷管发火,各火工元件将爆轰能量依次传递给主装药。雷管作为独立的火工元件装配在滑块或转子上,依靠后座力或离心力驱动滑块和转子运动与上下级火工元件对正。但是传统的雷管尺寸较大,如美国 M55 式针刺雷管外形尺寸为  $\Phi 3.73\text{mm} \times 3.64\text{mm}$ ,而雷管直径每减小

\* 收稿日期:2010-04-20

作者简介:王少卫(1986-),男,陕西人,硕士研究生,研究方向:微小型传爆序列在引信中的应用。

1mm,将使隔爆机构径向缩小 4~6mm<sup>[1]</sup>,所以配有雷管的隔爆机构的尺寸很大,小口径武器如小口径速射火炮口径不超过 37mm,不利于小口径武器引信的设计。

## 2 微小型传爆序列的设计

### 2.1 微小型传爆序列的设计思想

这种微小型传爆序列是为 MEMS 引信装置而设计的传爆序列,传爆序列必须符合小尺寸和合适的输出能量的要求。下面参考文献[3]介绍了这种微小传爆序列的主要设计思想。

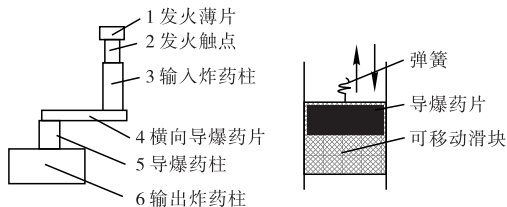


图 2 微小型传爆序列的结构

图 2 是此种微小型传爆序列的结构。这种微小型传爆序列中:包括一个发火薄片、一个发火触点、一个输入炸药柱构成第一级火工元件;一个横向导爆药片为第二级火工元件;一个导爆药柱、一个输出炸药柱构成第三级火工元件。

如图 2 所示此微小型传爆序列与典型的传爆序列的最大不同点在于导爆药片 4。导爆药片 4 形状为矩形薄片状,被压装在可移动滑块上的凹槽内。可移动滑块依靠弹簧能够在引信装置的空隙内横向运动,使导爆药片 4 两端与输入炸药柱 3 和导爆药柱 5 同时接触,均形成爆轰界面,等同于装配在滑块或转子上的雷管,导爆药片 4 的体积不超过 4 mm<sup>3</sup>。

这种微小型传爆序列的难点是:1)当装药直径小于临界直径时,无论起爆能量多强,都不能达到稳定爆轰,导爆药片 4 厚度不超过 0.8mm,可能装药的临界尺寸达不到要求,造成不能起爆;2)传爆序列的爆轰能量传递要经过两处直角拐角的传输,有爆速亏损的;3)导爆药片 4 的爆速方向是沿着长度方向,而且厚度很小,导爆药柱 5 利用导爆药片 4 的侧向起爆,可能造成起爆能力不足。

### 2.2 微小型传爆序列的具体设计

在具体设计中,微小型传爆序列的核心部分是输入炸药柱 3、导爆药片 4、导爆药柱 5。结合已有的 MEMS 引信装置,设计出的微小型传爆序列的具体结构如图 3 所示。

结合已有的 MEMS 引信保险隔爆机构,输入炸药柱 3 可以选用已有的微小型雷管,尺寸为 Φ1.6mm

×4mm,装药高度是 3.2mm,起爆药叠氮化铅为 5mg,猛炸药 CL-20 为 5mg,起爆方式为电起爆,起爆能量要求小,输出威力比较小。

在已有的 MEMS 引信保险隔爆机构中的可移动滑块的厚度仅有 0.5mm,所以导爆药片 4 的装药厚度会更小,如 2.1 小节所述的临界尺寸和侧向起爆的难点更突出。本设计将可移动滑块中的装药取消,让微小型雷管直接起爆下一级火工元件,可移动滑块只起到隔爆的作用。

小直径铅皮金属导爆索已成功应用于某型号串联战斗部的传爆系统<sup>[4]</sup>,所以导爆药柱 5 可以直接采用直径为 3.2mm 的铅皮导爆索用于传递爆轰,内径约为 2.0mm,药芯为黑索今,爆速大约为 7000m/s,装药密度为 26~30g/m。

### 2.3 微小型传爆序列传爆的理论计算

微小型传爆序列的装药为小尺寸装药,为了解决小尺寸装药击爆和传爆的可靠性,采用超细化炸药作为小型化火工品的装药。所以微小型传爆序列传爆的理论计算可以参照理想炸药理论。

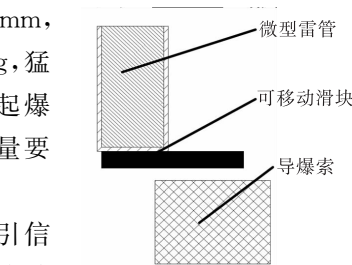


图 3 微小型传爆序列具体结构

将微小型雷管和导爆索均简化为药柱,则微小型传爆序列的传爆模型如图 4 所示。

微小型雷管的装药为起爆药叠氮化铅为 5mg,猛炸药 CL-20 为 5mg。根据能量相似原理将装药转化为黑索今药量,转化公式为<sup>[1]</sup>:

$$W_e = W_i \frac{Q_i}{Q_e} \quad (1)$$

式中:W<sub>i</sub> 为起爆药药量;Q<sub>i</sub> 为对应的爆热;W<sub>e</sub> 为折合黑索今药量;Q<sub>e</sub> 为黑索今的爆热。

起爆药叠氮化铅的爆热为 1.52×10<sup>3</sup>kJ/kg,黑索今的爆热为 5.42×10<sup>3</sup>kJ/kg。奥克托金与黑索今爆热相似,所以 W<sub>e</sub>=6.402mg,根据图 4 微小型雷管直径为 d<sub>1</sub>=1.6mm,估算雷管装药高度为 h=2mm,装药密度为 ρ<sub>1</sub>=1.592g/cm<sup>3</sup>。

导爆索的内径约为 2.0mm,装药密度为 26~

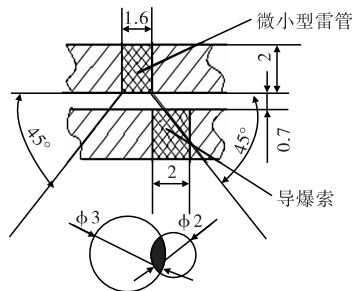


图 4 微小型传爆序列的传爆模型

30g/m,所以导爆索装药密度为 $\rho_2=0.0892\text{g/cm}^3$ 。

雷管的爆轰参数作为设计计算可以采用如下简化公式计算<sup>[5]</sup>:

爆速 $D$ 和体密度 $\rho$ 的关系:

$$D = A + B(\rho - 1) \quad (2)$$

爆压 $P_1$ 与爆速 $D$ 、体密度的关系:

$$P_1 = \frac{1}{4}\rho D^2 \quad (3)$$

临界起爆压强 $P_c$ 与爆压 $P_1$ 的关系:

$$P_c = CP_1 \quad (4)$$

式中 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 为常数,不同炸药有不同的 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 值,黑索今(RXD)的 $A=5.408\text{km/s}$ , $B=4.160 \times 10^{-15}\text{km}^4/\text{g} \cdot \text{m}$ , $C=0.274$ 。

将微小型雷管的装药密度代入式(2)~式(4)中得出微小型雷管爆轰参数为爆速 $D_1=7.871\text{km/s}$ ,爆压 $P_{11}=24.657\text{GPa}$ ,临界起爆压强 $P_{c1}=6.779\text{GPa}$ 。

将导爆索的装药密度和爆速代入式(3)~式(4)中得出,导爆索爆压为 $P_{12}=1.0927\text{GPa}$ ,临界起爆压强 $P_{c2}=0.3\text{GPa}$ 。

雷管的轴向输出冲击波一般为衰减的压力脉冲,压力峰值由输出装药的密度、爆轰成长距离、装药种类、约束及底壳等决定,冲击波经过长度为 $x$ 的小空气隙后,压力峰值衰减公式为<sup>[6]</sup>:

$$P = \frac{P_0}{2} \left( \frac{h}{h+x} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$P_0$ 为冲击波的峰值压力, $h$ 为雷管装药折合高度。

由图4中传爆模型可得 $x=0.7\text{mm}$ , $h=2.3\text{mm}$ ,将微小型雷管的爆压 $P_{11}=24.657\text{GPa}$ ,即 $P_0=23.93\text{GPa}$ 代入式(5)中得 $P=10.61\text{GPa}$ ,即 $\Phi 1.6\text{mm}$ 雷管的冲击波输出经过 $0.7\text{mm}$ 的空气隙,冲击波的压力峰值为 $10.61\text{GPa}$ 。下级火工品为 $\Phi 3.2\text{mm}$ 雷管,其临界起爆压强为 $P_{c2}=0.3\text{GPa}$ 。所以 $P_{c2} \leq P$ 。

$\Phi 1.6\text{mm}$ 雷管的冲击波可以近似看作球状波,冲击波的冲击方向与端面成 $45^\circ$ ,所以其冲击面积的直径为 $d_{\text{mr}}=3\text{mm}$ ,所以下级火工品内径为 $\Phi 2\text{mm}$ 的导爆索能够直接接受冲击波面积为图中的两圆相交阴影部分,其面积为 $S_1=0.806\text{mm}^2$ 。内径为 $\Phi 2\text{mm}$ 的导爆索的装药端面面积为 $S=3.14\text{mm}^2$ ,比例为 $25.68\%$ ,起爆面积还是比较大的。

由以上可得 $P_{c2} \leq P$ ,且起爆面积很大,所以此微小型传爆序列理论上能可靠起爆。

## 2.4 微小型传爆序列的起爆实验及实验结果

使整个微小型传爆序列处于发火状态,首级火工品为电雷管,通电起爆。将导爆索固定在铝块上,观察导爆索是否被起爆,实验装置如图5。

实验结果为微型雷管爆炸,而导爆索完好,说明此微小型传爆序列的传爆实验失败。实验失败的主要原因微型雷管的起爆能力不足起爆导爆索,而结果与理论计算

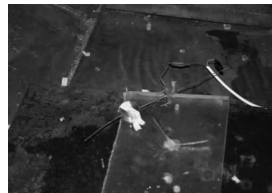


图5 起爆实验装置

不符的原因可能是理论计算只是用于稳定爆轰,而此微小型传爆序列的传爆为非理想爆轰。解决的方法是采用起爆能力更强的雷管,或者重新使用导爆药片来传爆,但是需要解决的问题是找到临界尺寸和爆轰成长长度更小的新型炸药来满足导爆药片的传爆。

## 3 结论

尽管此微小型传爆序列的传爆实验失败,但是对于引信隔爆机构的小型化作了有益的尝试,而且能够明显看出微小型传爆序列的某些优点,此微小型传爆序列用厚度仅为 $0.5\text{mm}$ 的可移动滑块代替了原来的装配雷管的滑块或转子,大大减小了隔爆机构的体积,实现了引信的小型化,从而可以增加战斗部的装药,也能够增加引信探测和信号处理电路的安放空间,增强武器的智能化和精准化。

此微小型传爆序列在军事方面对小口径武器引信的发火和隔爆很有价值。而且应用这种微小型传爆序列的引信体积很小,可组成爆炸阵列,可以实现对多点起爆的高级控制,极大的提高了武器系统的精确度和杀伤性。在民用方面,应用这种传爆序列能用于比如输出各种能量如震动、热能、压力、动能,化学能的小型化装置如爆炸螺栓、起爆索,执行器、自毁装置,火箭发动机等等,具有很广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 王凯民,温玉全. 军用火工品设计技术[M]. 北京:国防工业出版社,2006:249,30,257.
- [2] 朱森元. 小口径速射火炮武器系统发展展望[J]. 兵工自动化,2008,27(6):1-4.
- [3] Charles H R. Micro-scale firetrain for ultra-miniature electro-mechanical safety and arming device; US,7055437 b1[P]. 2006.
- [4] 黄寅生,金建峰,张春祥,等. 小直径铅皮金属导爆索异常情况下的传爆[J]. 火工品,2002(2):9-11.
- [5] 刘平谷,乃古. 传爆药柱参数可靠性设计方法研究[J]. 火工品,2004(3):34-36.
- [6] 王凯民,严楠,蔡瑞娇,等. 引信用雷管的冲击波传爆与隔爆机理研究[C]//中国兵工学会第十五届引信学术年会论文集,2007.