

doi: 10.7690/bgzdh.2024.07.001

## 可编程引信杀爆弹长管电底火设计

杨青山<sup>1</sup>, 闫鹏飞<sup>1</sup>, 李泽亨<sup>1</sup>, 卫夏<sup>1</sup>, 李宝明<sup>2</sup>, 王晓庆<sup>3</sup>(1. 驻太原地区第三军事代表室, 太原 030008; 2. 山西晋东化工厂科研所项目组, 山西 阳泉 045000;  
3. 晋西工业集团江阳公司七分厂, 太原 030041)

**摘要:** 为提升坦克炮杀爆弹的作战能力, 设计用于可编程引信杀爆弹的长管电底火。针对抗静电性能、通电安全性、击发可靠性等性能指标, 进行结构设计, 解决电底火漏烟密闭性、环电极的强度、发火件桥丝焊接质量及发火可靠性等问题。结果表明: 该方案能保证长管电底火对杀爆弹装定击发电压的有效执行, 满足火炮发射指令的要求。

**关键词:** 长管电底火; 结构设计; 发火可靠性; 发射指令

**中图分类号:** TJ45<sup>+</sup>1.6 **文献标志码:** A

## Design of Long Tube Electric Primer for Programmable Fuze Explosive Bomb

Yang Qingshan<sup>1</sup>, Yan Pengfei<sup>1</sup>, Li Zeheng<sup>1</sup>, Wei Xia<sup>1</sup>, Li Baoming<sup>2</sup>, Wang Xiaoqing<sup>3</sup>(1. No. 3 Military Representative Office in Taiyuan, Taiyuan 030008, China;  
2. Project Team, Scientific Research Institute of Shanxi Jindong Chemical Plant, Yangquan 045000, China;  
3. No. 7 Branch Factory, Jiangyang Co., Ltd. of Jinxi Industries Group, Taiyuan 030041, China)

**Abstract:** In order to improve the combat capability of tank gun fragmentation bomb, the long tube electric primer for programmable fuze fragmentation bomb was designed. Aiming at the performance indexes such as antistatic performance, electrifying safety and firing reliability, the structure design is carried out to solve the problems such as the smoke leakage tightness of the electric primer, the strength of the ring electrode, the welding quality of the bridge wire of the firing piece, the firing reliability and the like. The results show that the scheme can ensure the effective implementation of the long tube electric primer to the setting and firing voltage of the explosive bomb, and meet the requirements of the gun firing instructions.

**Keywords:** long tube electric primer; structure design; firing reliability; firing instruction

### 0 引言

长管电底火用于某坦克炮新型可编程引信杀爆弹, 主要用来实现点传火、连接药筒可靠闭气、装定信息的电压分级识别与导通传输等功能, 适用于近年来大力发展的局部杀伤性武器。这类武器具备机动敏捷、防护性高等特点, 可进行反装甲、摧毁敌方防御工事和杀伤有生力量等作战任务。其中突出的特点可参考美国在研的多用途单兵弹药/近程突击武器(MPIM/SRAW), 将两级火箭发射技术和制导技术结合, 将“发射后不管”与“有限空间发射”技术列为未来武器的重点发展对象<sup>[1]</sup>。

随着高新技术弹药、新概念弹药的蓬勃发展, 总体性能得到不断提高, 对底火也提出了更高的要求<sup>[2]</sup>, 其结构不断改进, 广泛应用新材料、新技术和新工艺。新型可编程引信坦克炮杀爆弹适用于加装了装定控制器的坦克装甲车辆, 增加了空炸和延

期作用方式, 可替代现役仅具备触发作用方法的制式弹。

杀爆弹上膛后, 火炮击针与长管电底火底部中心位置导电块接触, 接通底火内置的钝感半导体桥点火元件, 其发火原理分为桥丝预热和桥丝传热给药剂(药剂发火)2个过程, 每个过程的理论设计与效能的提升针对不同的技术要求。常见的做法是提高桥温和提高电火工品的感度, 具体实施包括优化桥丝直径、选用感度和工艺性能好的点火药剂<sup>[3]</sup>。当装定控制器输出小于等于14V低电压时, 长管电底火发火回路不导通, 底火不作用, 当装定控制器输出大于等于18V的高电压时, 发火回路导通, 长管电底火内发火件桥丝发热点燃压制的三硝基间苯二酚铅及黑火药, 进而点燃装药管壳内的点火药, 其产生的火焰通过中心管点燃传火管内的环型药饼, 药饼燃烧产生高温、高压火焰气体及灼热的固体颗粒, 从传火管四周均布的喷火孔输出, 点燃发

收稿日期: 2024-03-20; 修回日期: 2024-04-26

第一作者: 杨青山(1973—), 男, 山西人。

射装药,长管电底火完成预定功能。

## 1 功能要求与结构组成

新型可编程引信杀爆弹是一体化弹药,其部件包括弹丸和战斗部装药、药筒和发射装药、底火等,均为新式设计。长管电底火配装于杀爆弹药筒底部,基本功能是点燃药筒中的发射装药,并保证满足药筒的用途和技术要求,完成有效的射击、退壳、连续射击等功能<sup>[4]</sup>。

在火控系统作用下,坦克炮装定控制器发出指令,经击发机构与杀爆弹长管电底火共线通道完成对引信的信息装定和反馈,火控线路提供引信装定能量,发送击发指令,经长管电底火、发射药完成推动弹丸发射任务。

底火主要由联接底座、装定识别模块、环电极发火件、点传火装置、检测导线、连接块、顶块和 O 型密封圈等组成。底火外形如图 1 所示,结构如图 2 所示。

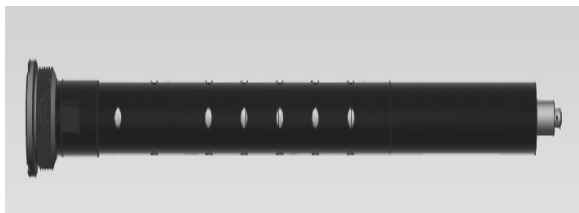


图 1 底火外形

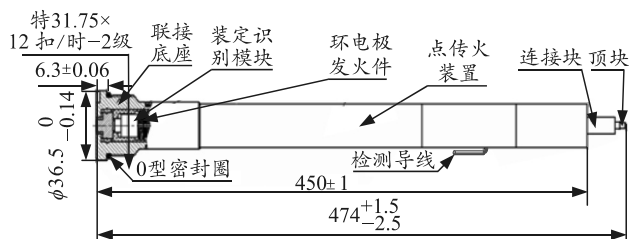


图 2 底火接口尺寸

## 2 产品设计

### 2.1 联接底座设计

联接底座由底火体和导电块组成,如图 3 所示,在底火体和导电块之间采用台阶式注塑密封连接,注塑层材料为高强度、绝缘性较好的高密度酚醛热固性材料,使底火体和导电块可靠连接,底火体与导电块轴向均设计了锯齿防脱结构以保证底火绝缘层的密封性强度和导电性。联接底座经 100 V 电压测试,底火体与导电块之间的电阻值不小于 20 MΩ,满足绝缘性要求。经弹药强装药试验验证,联接底座中绝缘层在高温作用下不熔化、无漏烟鼓底、零件脱落等故障,保证了电底火的强度和绝缘性。



图 3 联接底座外形

### 2.2 压控式装定识别模块设计

装定识别模块外形如图 4 所示。

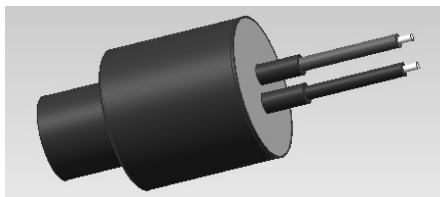


图 4 装定识别模块外形

设计参数:安全电压小于等于 14 V,可靠导通电压大于等于 17 V。

主要设计环节如下:

1) 装定识别模块安全性设计取决于模块电路阈值判断,模块回路初始设计处于断路状态,当电压大于等于 17 V 时模块上下电极导通。

2) 装定识别模块可靠性设计针对的主要失效模式有:

① 短路,不影响底火作用可靠性,但装定功能丧失,引信将按默认方式作用;

② 断路,如果高低压条件断路将导致底火瞎火。

### 2.3 环电极发火件设计

为保证环电极发火件(图 5)在规定发火电压或电流条件下的可靠作用,环电极采用双桥冗余结构设计,桥丝选用  $\phi 0.04$  mm 的镍铬合金丝(6J20),桥路电阻满足 0.68~1.85  $\Omega$  的指标要求,点火序列采用热感度高的三硝基间苯二酚铅(LTNR)和 6 类黑火药压制而成,点传火性能稳定可靠。

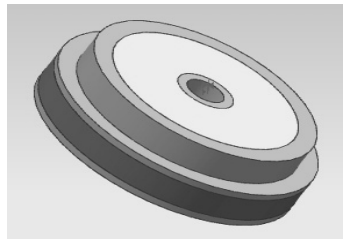


图 5 环电极发火件外形

根据火工品可靠性设计与评估技术研究,电火工品感度系数变差系数  $k$  一般按照单质起爆药与其他发火药的区别,介于 0.02~0.05 与 0.05~0.08 之

间<sup>[5]</sup>，按照电火工品裕度法感度设计原则，可靠击发电压设计为 17~18 V。选择的上述常用发火原件，其安全电流与桥丝直径的经验对应关系为电极塞单桥结构安全电流约为桥丝直径的 7~8 倍<sup>[6]</sup>，产品桥丝设计直径为 40 μm，通过计算(40×8=320 mA)，理论设计安全电流为 320 mA，由于发火件结构为双桥结构设计，因此安全电流应大于理论设计的 320 mA。

#### 2.4 点传火装置设计

点传火机构由点火组件、传火管、环形药饼等组成，外形如图 6 和 7 所示。点火序列采用热感度高的三硝基间苯二酚铅(LTNR)和 6 类黑火药压制而成，为保证由装药管壳和内装黑火药压制而成的扩燃件将传火管内的环形药饼瞬时均匀一致的点燃，并保证均匀一致稳定点燃药筒内的发射药，使弹药内弹道性能稳定，传火管设计为两端带内螺纹的中心管和传火管双管传火结构，在传火管内装有环形药饼，管壁四周均布有 24 个传火孔，传火孔内壁用弹药筒衬纸刷虫胶漆密封，底端螺纹与联接底座密封连接。这种结构保证了传火管内药饼燃烧的均匀性和一致性，并稳定、均匀一致地将药筒内发射药点燃，从而保证了内弹道性能的稳定。



图 6 传火系统外形



图 7 点火机构外形

中心管设计采用传统前段收敛型后端扩散状喷管结构，提高了电底火内一级点火火焰的传播速度，增加了传火距离。这种结构在增加火焰在中心管中传播速度的同时降低了底部点火对传火管内装药的冲击，使火药床在前半部先点燃，燃气向火药床两端流动，减少了火药床受挤压的程度，可达到比较均匀一致的点火，能有效地抑制压力波的形成，提高了弹药内弹道性能的稳定。

##### 2.4.1 传火管装药量设计

传火管装药选用黑火药药饼结构，资料显示<sup>[7]</sup>：

黑火药的火药力  $f=0.03$  MJ/kg，火药气体余容  $\alpha=0.82$ ，对环形药饼选用的其他药剂的炸药力和火药气体余容、输出气体压力等进行了估算与测试<sup>[8]</sup>。

点火能量由传火管装药量燃烧释放的总热量决定。点火能量是否满足要求，通常以装药表面上单位面积所占有的点火热量来衡量。对于制式火药，综合同类产品中心传火管传火结构有关资料，确定在有效点火时，一般装药条件下热量标准约 1.8~2.4 C/cm<sup>2</sup>(7.2~9.6 J/cm<sup>2</sup>)。

传火管装药量计算如下：

已知传火管传火孔径  $d=0.50$  mm，外径  $D=24.8$  mm，单粒药长度  $L=14$  mm，

根据经验公式  $S_1=S_{外}+19S_{内}+2S_{端}-38S_{孔}$ ，计算单个药粒的表面积：

$$S_{外}=\pi DL=3.14\times 24.8\times 14=615.44\text{ mm}^2; \quad (1)$$

$$19S_{内}=19\pi dL=19\times 3.14\times 0.50\times 14=417.62\text{ mm}^2; \quad (2)$$

$$2S_{端}=\pi D^2/2=3.14\times 24.8\times 24.8/2=965.61\text{ mm}^2; \quad (3)$$

$$38S_{孔}=38\pi d^2/4=38\times 3.14\times 0.5\times 0.5/4=7.46\text{ mm}^2; \quad (4)$$

$$S_1=1991.21\text{ mm}^2. \quad (5)$$

单个药粒的体积按经验公式计算：

$$V=(\pi D^2/4-19\pi d^2/4)L=(3.14\times 24.8\times 24.8/4-19\times 3.14\times 0.5\times 0.5/4)\times 14=6\ 707.09\text{ mm}^3. \quad (6)$$

药粒密度  $\rho=1.68$  g/cm<sup>3</sup>，

$$m=V\cdot\rho=6.7\times 1.68=10.586\text{ g}. \quad (7)$$

发射装药总质量为  $M=4.3$  kg；发射装药的总数量：

$$N=M/m=4\ 300/10.586\text{ g}\approx 406\text{ 粒}. \quad (8)$$

则发射装药总的表面积为：

$$S=S_1\times N=19.91\times 406\text{ cm}^2=8\ 083.46\text{ cm}^2. \quad (9)$$

对传火管装药量的计算如下：

$$W=(1+K)Sq/\psi Q^{[9]}. \quad (10)$$

式中： $W$ 为传火管装药量，g； $q$ 为点燃每平方厘米传火管装药所需的热量，J/cm<sup>2</sup>； $S$ 为传火管装药总表面积，cm<sup>2</sup>； $Q$ 为传火管装药爆热，J/g； $\psi$ 为热损失系数； $K$ 为经验常数。

选择炮用装药  $\psi=1$ ， $q=2.5$ ，经验常数取  $K=0.8$ ，黑火药爆热  $Q_I=2\ 780$  J/g。

$$W=(1.8\times 8\ 083.46\times 2.5)/2\ 780=13.1\text{ g}.$$

考虑到设计裕度，并根据传火管的管径、管长等参数，将传火管装药设计为 23 个药饼组成的药饼串，药量共计 26 g，可保证发射药所需的点火能量。

##### 2.4.2 管体壁厚( $\delta$ )设计

1) 最大管压  $P_B$  计算。

为求管内最大点火压力, 可将传火管看作一薄壁密闭爆发器, 最大管压  $P_B$  可由经验公式计算:

$$P_B = 3.6 + 0.595L_1 \quad (11)$$

式中:  $L_1$  为传火管第一开孔高度, 17.4 cm;  $P_B$  为最大管压, MPa。

求得:  $P_B = 3.6 + 0.595 \times 17.4 = 13.95$  MPa。

2) 管体壁厚  $\delta$  的计算。

选用管体材料的许用应力  $[\sigma]$ :

$$[\sigma] = \sigma_s / K_S, \quad \delta \geq \frac{16 \text{ mm} \times 13.95 \text{ MPa}}{2 \times 213.33 \text{ MPa}} = 0.5 \text{ mm} \quad (12)$$

式中:  $\sigma_s$  为材料屈服极限, 320 MPa;  $K_S$  为安全系数, 取  $K_S = 1.5$ 。

求得:  $[\sigma] = 320 \text{ MPa} / 1.5 = 213.33$  MPa。

确定最大管压  $\delta$ :

$$\delta \geq D_1 P_B / 2[\sigma] \quad (13)$$

式中:  $D_1$  为管内径, 16 mm;  $P_B$  为最大点火压力, 13.95 MPa。

考虑到管体上加工螺纹, 螺纹高度约为 1.083 mm。

$$\delta \geq (0.5 + 1.083) \text{ mm} = 1.583 \text{ mm}。$$

设计选用的管体壁厚为  $\delta = 3$  mm。

通过设计计算  $\delta = 3 \text{ mm} \geq \delta = 1.583 \text{ mm}$  (校核值)。管体强度满足使用要求。

### 3 关键技术

通过对长管电底火的结构设计与优化, 实现了一系列技术突破, 如中心电极与联接底座螺纹连接改进为一体式注塑, 解决了底火漏烟密闭性问题, 其中包括注塑材料选择、尺寸计算和功能验证, 增加了设计余量, 保证了中心电极连接底座的强度和稳定性, 增加了绝缘层厚度, 预留螺纹扣数来保证导电块与绝缘层的防脱、防转, 解决了绝缘层断层

错位和击穿等问题。

长管电底火在生产、测试、运输、贮存、使用过程中, 突出的安全隐患是静电防护难度大, 就安全风险管控而言, 优选方法是消除、替代、降低、限制和个人防护<sup>[10]</sup>, 考虑实际使用中电磁环境的复杂和不可预见性, 对长管电底火点传火装置脚-脚、脚-壳的防静电结构进行加固设计, 解决了桥式发火装置的静电干扰问题。以电感器实时监控点火装置静电电压, 大于压敏电阻的敏感电压时, 则导通泄放电路, 保证在发火回路中的抗静电功能, 以提高武器系统的安全性。其设计思路采用了常见的 2 种解决途径: 1) “堵”, 在火工品内部设计绝缘系统, 增加脚-壳的防静电强度, 避免在静电电压下击穿; 2) “泄放”, 采用保护性静电泄放装置设计, 构成静电的泄放通道<sup>[11]</sup>。

通过环电极发火件的设计和改进, 以及桥丝的双桥结构保障, 安全电流达到 350 mA。优化选择装定识别模块外壳材料, 提高了模块的抗压强度, 防止扭曲变形导致的电路异常。设计应用了国内该类型底火第一种专用检测仪, 对上述的性能参数进行了精确测量, 保证了关键技术的有效突破。

## 4 功能验证

### 4.1 安全性试验

静电感度、安全电流、安全电压、2 m 跌落等试验过程中未发生故障, 试验满足指标要求, 结果如表 1 所示。

### 4.2 环境适应性试验

震动、运输震动、温度冲击、高温贮存、低温贮存等试验过程中未发生故障, 满足指标要求, 试验结果如表 2 所示。

表 1 长管电底火安全性试验结果

项目	数量/发	电阻/ $\Omega$	导通线阻/ $\Omega$	备注
静电感度	115	0.80~1.43	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏
安全电流	115	0.86~1.55	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏
安全电压	115	0.88~1.20	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏
2m 跌落	15	0.92~1.28	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏

表 2 电底火环境适应性试验结果

项目	数量/发	电阻/ $\Omega$	线阻/ $\Omega$	备注
震动	85	0.81~1.60	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏
运输振动	45	0.86~1.65	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏
温度冲击	25	0.84~1.75	$\leq 0.3$	产品无发火, 结构无损坏
高温贮存	30	0.79~1.32	$\leq 0.3$	满足指标要求
低温贮存	30	0.80~1.33	$\leq 0.3$	满足指标要求