

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.08.001

## 基于 MEMS 和静电探测技术的新型复合引信

陈凯, 房立清, 张磊

(军械工程学院火炮工程系, 石家庄 050003)

**摘要:** 为解决有效转换成为快速作战的最大瓶颈问题, 研制一种新的能满足小口径对空武器发展需求的复合引信。通过对近代小口径对空武器毁歼目标机理的分析, 依据提高小口径对空武器毁歼目标概率的有效方法, 基于高  $g$  值 MEMS (micro-electro-mechanical systems) 传感器及被动式静电探测技术, 阐述 MEMS 传感器及静电探测技术在复合引信中的应用, 并描述其工作机理和方法。结果表明, 该复合引信能有效提高小口径对空武器的作战性能。

**关键词:** 高  $g$  值 MEMS 传感器; 被动式静电探测; 复合引信

**中图分类号:** TJ410.3 **文献标志码:** A

## New Composite Detonator Based on MEMS and Static Detection Technology

Chen Kai, Fang Liqing, Zhang Lei

(Dept. of Artillery Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** For solving the effective transformation of quick campaign, which is the biggest bottleneck, research on a new composite fuse which can meet the small bore antiaircraft weapon development. Through analyzing destroyed target mechanism of the modern small bore antiaircraft weapons, according to the method for improving target destroyed probability of the small bore antiaircraft weapon and based on the high  $g$  value micro-electro-mechanical systems (MEMS) sensor and passive static detection technology, introduce the application of MEMS sensor and static detection technology in composite detonator, and describe its working mechanism and method. The result shows that the composite fuse can effectively improve the combat performance of small bore antiaircraft.

**Key words:** high  $g$  value MEMS sensor; passive electrostatic detection; composite detonator

### 0 引言

小口径对空武器在近几场高技术局部战争中, 凭借着独有的特点, 成为防空体系中不可或缺的一道防线。通过对现有小口径对空武器直接、间接、双重毁歼空中目标的 3 种工作方式的分析, 发现最有发展前景的毁歼方式是双重毁歼。但是, 同时配备碰炸和近炸 2 种弹药, 有效转换成为快速作战的最大瓶颈<sup>[1-2]</sup>。需利用先进的新技术, 改进现有的近炸引信或开发研制新型引信, 使其同时具备近炸和碰炸 2 种特性, 即新型复合引信。因此, 笔者根据现有微机电系统 (micro-electro-mechanical systems, MEMS) 传感器的特殊性能及静电探测技术在该领域独特的抗干扰性能, 研制了一种能适应战场快速决定碰炸或近炸的新型复合引信。

### 1 MEMS 传感器的选取及应用

在现有小口径对空武器中, 采用碰炸弹丸的占总量的 80%。而在碰炸弹丸中, 90% 采用机械式引炸。考虑到复合引信的近炸部分需采用电子式引炸技术及引信特殊的工作环境, 同时为了充分利用小

口径弹丸的内部空间, 故笔者选用 MEMS 传感器及其他电子电路实现电子式的碰炸。

一方面, 由于引信, 特别是小口径弹丸引信工作的特殊环境, 对传感器提出了一些苛刻的要求, 如: 小型化、高可靠性、抗高过载、低功耗、低成本等。传统的技术手段已经难以满足这些要求, 而 MEMS 器件具有体积小、重量轻、功能丰富以及批量生产成本低等特点, 与引信技术发展的要求十分吻合。特别是 MEMS 加速度传感器, 更适合本研究的需求。

另一方面, 现代小口径高炮的射速很高, 弹丸出炮口速度可达 1 175 m/s, 在炮膛内的平均加速度为 25 000 $g$ , 其中最大过载为 60 000 $g$ 。因此, 从过载角度考虑, 应选取能够抗高过载, 且精度测量范围及可靠性都能满足要求的加速度传感器。通过对现有的压阻式、电容式、谐振式、压电式、隧道式等加速度传感器性能的分析对比, 如表 1 所示, 压阻式 MEMS 加速度传感器综合性能较好, 加工工艺比较成熟。因此, 笔者选用高  $g$  值压阻式微加速度传感器, 其基本原理结构图如图 1 所示。

收稿日期: 2012-04-01; 修回日期: 2012-04-28

作者简介: 陈凯(1987—), 男, 河南人, 在读硕士研究生, 从事武器实验、性能检测与故障诊断研究。

表 1 不同工作方式加速度传感器的性能比较

传感器类型	测量范围	精度	频响	线性度	信号处理电路	结构工艺	技术成熟性
压阻式	大	中	高	好	简单电桥电路	简单	好
电容式	小	高	中	较差	高灵敏开关电容或电桥电路	复杂	差
谐振式	小	高	中	较好	宽频带闭环谐振回路	复杂	差
压电式	大	低	高	较好	电荷放大器	简单	好
隧道式	小	高	高	较差	电流检测电路	复杂	差
热对流式	小	中	低	一般	热敏电阻电桥	简单	差

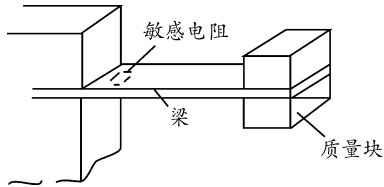


图 1 压阻式加速度传感器原理结构图

通过分析，已确定该复合引信中所用传感器为高  $g$  值压阻式 MEMS 加速度传感器。经过对国内外压阻式加速度传感器资料的查阅，发现已经有能满足要求的高  $g$  值压阻式 MEMS 加速度传感器。例如，美国 NASA 中心研制的高  $g$  值压阻式 MEMS 加速度传感器，最大量程可高达 100 000g，固有频率 600 MHz 以上，灵敏度 343  $\mu\text{V/g}$ 。该传感器采用 6H-SiC 材料，故可适用于高电磁场、高温等特殊的应用场合中。在国内，中国科技集团研制的高  $g$  值压阻式 MEMS 加速度传感器，最大量程可以达到 30 000g~50 000g 抗过载能力大于 100 000g，灵敏度达 50  $\mu\text{V/g}$ ，频率响应为 2~20 kHz，工作温度 -40~+80  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[3]</sup>。中北大学研制成功的压阻式弹用高  $g$  值加速度传感器，采用四边四梁结构，如图 2 所示，该结构能够有效解决横向灵敏度的问题，量程达到 150 000g，灵敏度为 3  $\mu\text{V/g}$ ，工作温度范围是 -70~+100  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[4]</sup>。这些传感器同时都具有体积小、抗高冲击、性价比高、使用寿命长和可靠性高等优点。

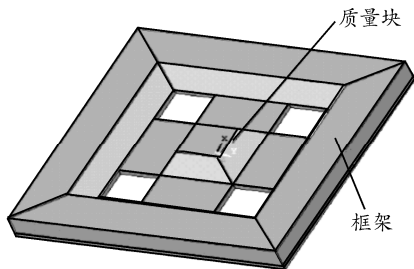


图 2 高  $g$  值传感器结构图

## 2 被动式静电探测技术的应用

被动式静电探测技术是依靠目标的电场在其探测电极上产生感应电荷而探测目标<sup>[5]</sup>。空中飞行的物体会在飞行过程中带上静电，其带电的原因主要有摩擦起电、感应起电、引擎燃烧产生等离子起电

和吸附带电粒子起电等方式<sup>[6]</sup>。据测量，喷气式飞机所带的静电量可达  $10^{-7}\sim 10^{-4}$   $^{\circ}\text{C}$ ，直升机和巡航导弹可达  $10^{-5}\sim 10^{-3}$   $^{\circ}\text{C}$ 。这在其周围上千米范围内形成了可探测的静电场，其电位一般为几万伏，最大可达 500 kV。这一数值在上千米的距离内完全可以测得。有研究表明：直升机在距地面 1 km 的高空，地面传感器处的场强为 14  $\mu\text{V/m}$ <sup>[7]</sup>。

静电感应起电理论指出，当带电体附近有一金属导体时，金属导体离带电体接近的一端感应出与带电体极性相反的电荷，另一端感应出等量异号的电荷。根据高斯定理，不难得出金属导体表面任意一点  $P$  的电荷密度为：

$$\rho = \epsilon_0 E_p$$

式中： $\epsilon_0$  为空气的介电常数； $E_p$  为该点的电场强度。

则金属导体靠近带电体一侧所带的异号电荷总量：

$$q = \int_S \rho dS = \int_S \epsilon_0 E_p dS$$

式中： $S$  为金属导体带电异号电荷的面积。

当带电体和金属导体间有相对运动时，其间的电场变化引起电极的感应电荷发生变化，从而有电流变化。通过检测这一变化电流，可得到两者间的运动交会信息。同时，可以看到电流的变化取决于电场的变化，该值随感应导体表面各点的位置不同而变化，利用该特征无疑可作为探测空中带静电飞行物体的依据<sup>[5]</sup>。探测原理如图 3 所示，A、B 分别为探测器探测电极， $U$  为两极板间的感应电压。

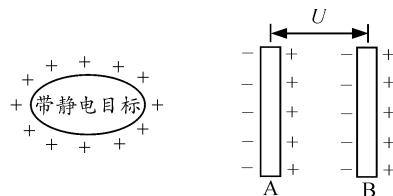


图 3 静电探测原理图

如果将探测电极布设在弹丸引信之上，经过数据采集将电压信息输送到微型单片机内进行处理，即可对带静电物体进行位置判断，通过实验可知，利用该种静电探测方式可以实现弹丸在最佳炸点爆炸的目的<sup>[3]</sup>。