

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.12.021

被动非接触静电探测在复合引信中的应用

房立清, 陈凯, 王宏凯, 张磊

(军械工程学院火炮工程系, 石家庄 050003)

摘要: 通过对被动非接触式静电探测方法的研究, 根据其具有的独特优点, 提出了其在实现防空武器弹丸引信近炸功能方面的应用。经过理论分析和模拟实验得出被动非接触式静电探测方法在复合引信实现近炸功能方面应用的可行性。实验结果表明: 该探测技术的应用能使弹丸在最佳炸点爆炸, 实现弹丸的最大杀伤力, 有效提升防空武器对目标的毁歼概率。

关键词: 静电探测; 被动非接触; 复合引信; 近炸

中图分类号: TJ430.3 **文献标志码:** A

Application of Passive Non-Contact Electrostatic Detection in Composite Fuze

Fang Liqing, Chen Kai, Wang Hongkai, Zhang Lei

(Department of Artillery Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Through the research of the way of passive non-contact detection methods of static electricity, and according to its own unique advantages, put forwards the applications of passive non-contact detection methods of static electricity in nearly burst detonator function of air defense weapon. And through the theoretical analysis and simulation experiments, we can come to the conclusion that the passive non-contact detection method of static electricity in a composite electrostatic detonator realization nearly the feasibility of fried is feasible. The application of detecting technology can make the projectile exploded in the best stopping point, realize the maximum projectile damage and effectively increase the target of air defense weapon to destroyed fighters probability.

Key words: static detection; passive non-contact; composite fuze; nearly fried

0 引言

在近几场高技术局部战争中, 小口径对空武器凭借着自己的特点, 成为现代防空体系中不可或缺的最后一道防线, 其对目标的打击程度关系到反空袭作战的成败。通过对现有小口径对空武器毁歼目标 3 种主要方式(直接毁歼、间接毁歼、双重毁歼)的分析, 可以得出最有发展前景的毁歼方式是双重毁歼。在双重毁歼方式中, 近炸功能的实现能有效提升弹丸对目标的毁歼概率^[1-2]。由于现代隐身技术的发展, 复杂的电磁环境, 以及人工有源对电子探测系统的干扰, 使得传统的探测系统受到严峻考验, 有些探测系统甚至已经失去了应有的探测功能^[3]; 因此, 必须研究不受现有的电子对抗和隐身技术威胁的新体制下的探测方法。

空中飞行的物体会在飞行过程中因为摩擦起电、感应起电、引擎燃烧产生等离子起电等几种方式带上静电, 且该种带静电现象是不可避免的^[4]。有研究表明: 喷气式飞机所带的静电量可达 $10^{-7} \sim$

10^{-4} C, 直升机和巡航导弹可达 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ C。这在飞行物体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^[5]。其中, 被动非接触式静电探测技术就是依靠目标的静电场在探测器电极上产生感应电荷的现象来探测与目标之间的距离^[6]。如果将探测电极布设在弹丸引信之上, 加上信号处理系统, 即可判断弹丸与目标之间的相对距离^[3,7]; 因此, 笔者采用该种静电探测方式实现弹丸的近炸以及在最佳炸点爆炸的目的。

1 被动非接触式静电探测

按照测量时探头是否与被测物体接触, 将静电测量方法分为接触式和非接触式。非接触式静电测量方法又分为感应法、交流调制法和集电法 3 类。基于本研究应用需具有高的隐蔽性、抗干扰性和可靠性的要求, 经过对 3 种测量方法的对比分析, 笔者最终选用被动非接触式感应测量法^[3,6]。测量原理图及等效电路图如图 1 所示。

收稿日期: 2012-06-31; 修回日期: 2012-07-28

作者简介: 房立清(1969—), 男, 河北人, 博士, 教授, 从事武器实验、性能检测与故障诊断研究。

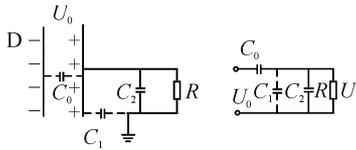


图 1 感应法静电测量原理图和等效电路图

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： ϵ_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为

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

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，从而有电流变化表达式：

$$i = \frac{dq}{dt} = \epsilon_0 \int_S \frac{dE_p}{dt} dS$$

如图 1 所示，将测量时探测头 D 对着被测物，它们之间存在电容 C_0 ，该电容与测试仪器的电容构成电容分压器，仪器电容包括仪器的输入电容 C_2 和极板对地电容 C_1 ，所测得 C_2 上的电压为 U ，则该系统的传函^[3]为

$$H(s) = \frac{U(s)}{U_0(s)} = \frac{sRC_0}{1 + sR(C_0 + C_1 + C_2)}$$

当仪器的输入电阻 R 趋于无穷大，极板对地的电容 C_1 远远小于仪器的输入电容 C_2 时，传函近似为

$$H(s) = \frac{U(s)}{U_0(s)} = \frac{C_0}{C_0 + C_2}$$

此时探测器件近似实现电容分压测量。

2 近炸功能的实现

如图 2 所示， A 、 B 分别为探测头的 2 个探测极板， U_0 为两极板间的感应电压。通过检测探测器两

极板间电压变化，即可得到探测器与被探测目标之间的运动交会信息。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^[5]。

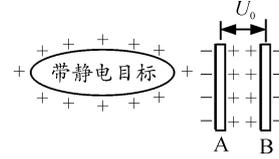


图 2 被动非接触式静电探测原理

如图 3 所示，如果将探测电极布设在弹丸引信之上，经过电荷放大器把 A 、 B 两极板间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相对距离的判断^[3]。经理论分析可知：当目标与弹丸交叉通过时， A 、 B 两极板间电压 U_0 的变化将会是：增加至某一值（假定此刻该值为正）后迅速达到反向最大值，最后恢复至零。在电压 U_0 由最大正值迅速变为最大负值的过程中， U_0 为零的时刻将是目标与弹丸距离最近的时刻，此时即是实现最佳近炸的时刻。当目标与弹丸相撞时， A 、 B 两极板间的电压 U_0 的变化将迅速增加到最大值。此时将采用复合引信的碰炸功能，在此不做详述。实际情况是否与理论分析相符，将通过实验进行验证。

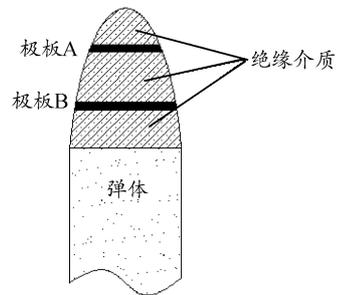


图 3 静电探测极板布设方式

3 实验验证

在室外环境下，用便携式高压静电电源对模拟飞行物体充 12 kV 的静电，并使带静电模拟飞行物体分别飞过和撞击探测电极。两极板导出的信号首先经过电荷放大器放大，然后使用数据采集卡将模拟信号转换为数字信号，再利用 LabVIEW 编写的可视化程序，如图 4 所示，对数字信号进行处理，采样频率定为 50 kHz，采样点数为 200 K，最终在显示器上得到如图 5、图 6 两种感应曲线。

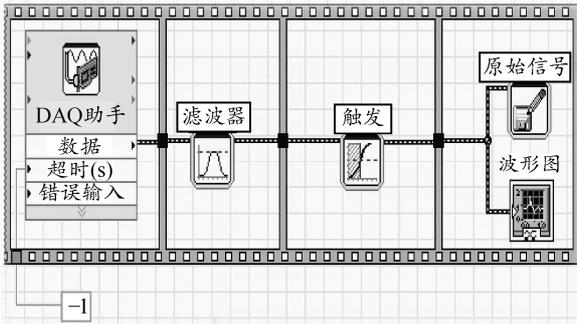


图 4 实验程序框图

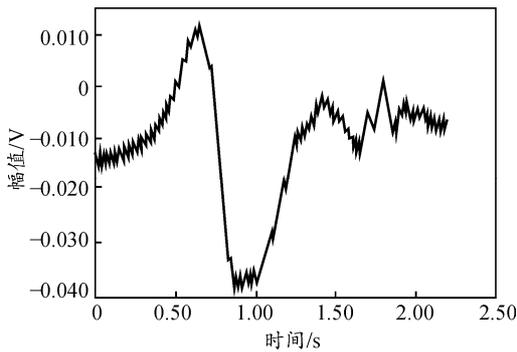


图 5 交叉通过感应曲线

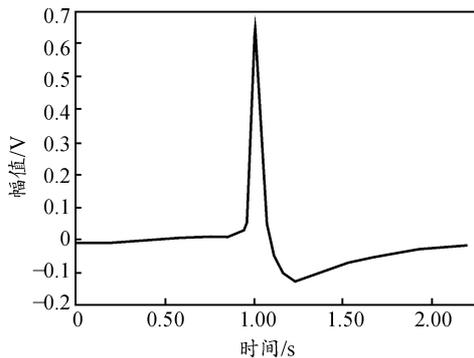


图 6 碰撞感应曲线

由图 5 可知, 被测物体并未接触到探测电极,

且在大约 0.75 s 时, 被测物体与探测电极之间的距离最近。在 1.25 s 后, 由于人体静电的影响, 信号出现小的波动属于正常现象。由图 6 可知, 在大约 0.9 s 时被测物体与探测电极相撞, 在 1 s 后, 由于被测物体静电的释放, 所测信号强度慢慢下降属于正常现象。在实际应用中, 此种情况下将采用复合引信的碰炸功能, 以便实现弹丸的最大杀伤力。经过上述实验结果分析, 可以得出: 第 2 节中的理论分析符合实际情况, 即被动非接触式静电探测法在实现弹丸近炸功能方面是可行的。

4 结论

模拟实验结果验证了理论分析结果的正确性, 证明非接触式静电探测方法在实现复合引信近炸功能方面的应用是可行的。该探测技术的应用能使弹丸在最佳炸点爆炸, 实现弹丸的最大杀伤力, 有效提升防空武器对目标的毁歼概率。

参考文献:

- [1] 陈凯, 房立清, 王宏凯. 现有高炮毁歼特点及改进方向[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 17-19.
- [2] 高尚瑞. 高炮的发展及国产新高炮系统介绍[M]. 桂林: 中国人民解放军桂林空军学院, 2000.
- [3] 房立清. 地面防空武器弹药复合引信关键技术研究[R]. 石家庄: 军械工程学院, 2009.
- [4] 陈曦, 崔占忠, 陈方. 空中静电目标特性分析[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(增刊): 169-172.
- [5] 张艳军, 张亚, 闫红红, 等. 弹载旋叶式静电探测方法的研究[J]. 火箭与制导学报, 2008, 28(5): 259-260.
- [6] 白玉贤, 崔占忠, 李银林. 被动式静电引信定向探测电极研究[J]. 探测与控制学报, 2002, 24(1): 45-47.
- [7] 崔奉云, 王军. 基于电容近感原理的无源探测信号分析[J]. 电子科技大学学报, 2002, 31(6): 562-565.