

γ 射线 距 离 指 示 器*

徐君权 江立人 谢炳华 李成格

(上海原子核研究所)

测量空中或者地面两个高速飞行物体之间的距离,特别是二者接近时的最近距离,例如导弹对飞机的脱靶量,以往通常采用电磁探测、红外线探测、声学测量和光学观测等方法。六十年代发展起来的γ射线距离指示器是一种利用放射性同位素的新颖仪器。第一,它在测量中避开了使用无线电频率,因此这种方法不受邻近通讯和遥测系统,以及其它非核辐射产生的电讯号的干扰。第二,它不受通常气候和地面环境的影响,设备简单。第三,由于按装在弹丸上的放射源体积小、重量轻,形状可以按照需要加工,因此不会改变弹丸飞行的空气动力和弹道特性。第四,在测量范围内,距离越小,测量的统计误差也小,使测量精度提高。

这种指示器将γ射线放射源和γ射线探测设备分别按装在弹丸和靶上,因此探测器接收到的γ射线强度*I*(个/秒)将随着弹丸和靶的距离*R*(厘米)而变化。

其关系为

$$I = \frac{3.7 \times 10^7 Q n \epsilon}{4\pi} \frac{S}{R^2} \quad (1)$$

或者

$$I = \frac{k}{R^2} \quad (2)$$

这里,*Q*为放射源强度(毫居);*n*为放射源每次衰变所发出的有效γ射线数;*ε*是探测器接收这些γ射线的平均效率;*S/R²*是探测器对放射源的立体角;*S*为探测器朝向放射源方向的灵敏区截面([厘米]²);*k*是一常数,

$$k = \frac{3.7 \times 10^7}{4\pi} Q n \epsilon S.$$

当弹丸飞向靶时,*I*随着增加,在最近距离处产生一个极大值——讯号峰,然后再逐渐减小,所以这个讯号峰的大小就是最近距离的度量。

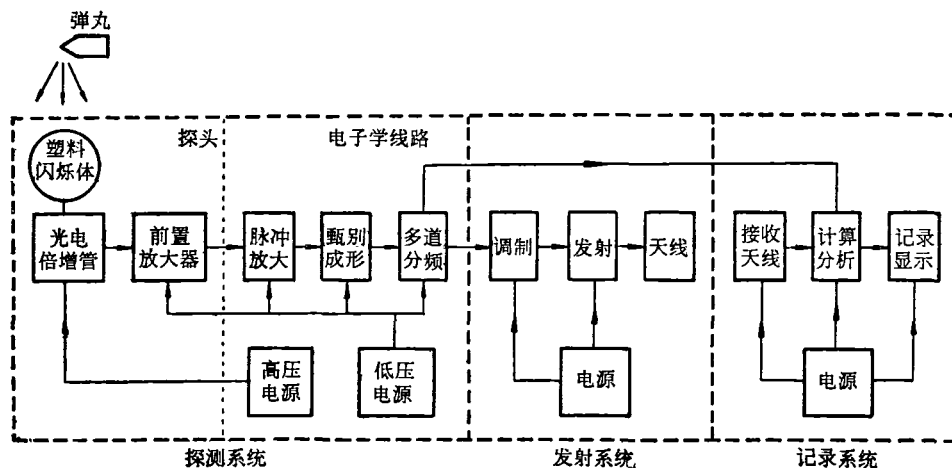


图 1. γ 射线距离指示器方块图

被选用的γ射线放射源,能量都比较硬,半衰期*T_{1/2}*按照需要可以从几天到几年。常用的有铯¹³⁷(*T_{1/2}*=250天)、钼¹¹³(115天)、钪⁴⁶(84天)、铟¹¹⁴(60天)等。源的强度根据测量范围和精度来选择(数拾毫居),形状为圆顶型或者环型,可以直接制造在弹丸上,

也可以粘结在弹丸上。

一个完整的γ射线距离指示器的方块图如图1所示。探测系统包括探头和电子学线路。探头中的探测

* 1973年11月19日收到。

介质一般采用直径 $\phi 15-20$ 厘米的以聚苯乙烯或者聚乙基甲苯为基体的球型塑料闪烁体。塑料闪烁体的发光衰减时间约 10^{-9} 秒,适合于探测强辐射,而且容易制造和加工。当它吸收 γ 光子能量后就发出波长为 $4200-4800 \text{ \AA}$ 的蓝光脉冲,然后由光电倍增管转换成电脉冲。电子学线路的作用是改造探头输入的电脉冲,并将改造成的电讯号送入记录系统,进行数据处理和显示。在空中测距时,也可以用发射机将经改造的电脉冲发给地面站,进行数据处理和显示。

γ 射线距离指示器的测量范围和误差决定于探测系统的灵敏度和放射源的强度。实用的测量范围从零到数拾米,误差5%到10%。

我们试制的 γ 射线距离指示器,在地面靶场测试了半自动步枪弹丸飞行的脱靶量。靶场布置见图2。试验的脱靶量从0.5米到9米。记录系统由快时间常数积分器和SC-10型振子示波器组成,它直接接在图1的多道分频器后。半自动步枪的正常弹丸的飞行速度约720米/秒。改制后的弹丸见图3,它比正常弹丸略轻一些。试验用的放射源是直径1毫米、长度10毫米的金属钴 60 丝,强度21.5毫居。由于改制后的弹丸结构简单,可拆卸,因此每次射击完毕后,可以回收弹丸,取出放射源重复使用。自制的球型聚苯乙烯塑料闪烁体,直径15厘米,第一溶质(重量比2.3%)是对-联三苯,第二溶质(0.08%)是POPOP,吸收 γ 光子后发出蓝光,外涂氧化镁粉作荧光反射层。光电倍增管的供电回路以及前置放大器如图4所示。加在GDB-10光电倍增管上的高压 V_0 为负1000伏。探头对钴 60 γ 射线的平均计数效率约3%,输出脉冲的最大高度约120毫伏,宽度约0.2微秒。

电子学线路由脉冲放大器、甄别成形器和多道分频器组成。放大器的电压放大倍数约100倍。经过甄别成形后的输出讯号为高5伏、宽0.2微秒的负矩形脉冲。由于在0.5米到9米的脱靶量范围内,光电倍增管输出的脉冲计数率可以从 10^6 个/秒变化到 10^3 个/秒,为了便于积分后用振子示波器记录,选用2、4(2×2)、8($2 \times 2 \times 2$)三个分频记录道(图5)。每个2分频器都是由二个3DK3B晶体管组成的相同的双稳态线路构成。三个记录道的积分线路大体相同(图6),只不过电容 c_1 的数值分别为75P, 150P, 450P; c_2 的数值分别为 0.005μ , 0.01μ , 0.01μ 。这样,频率从1KC到1MC的讯号都能由SC-10型振子示波器记录下来。振子示波器的记录胶卷宽61毫米。

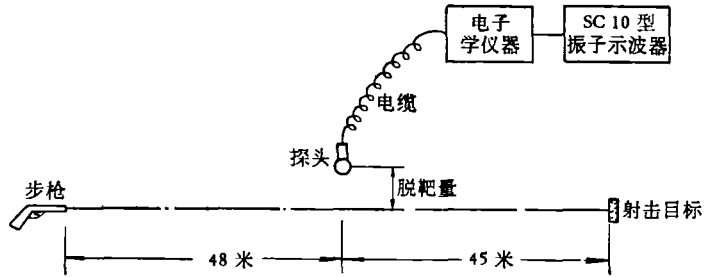


图2. 靶场试验布置示意图

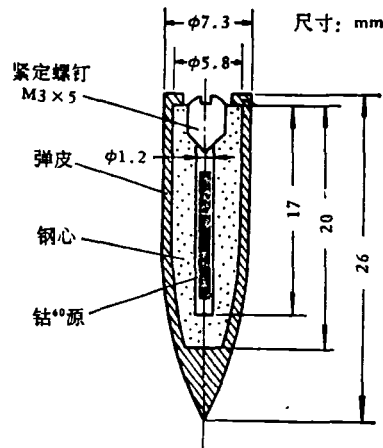


图3. 弹丸与放射源装配

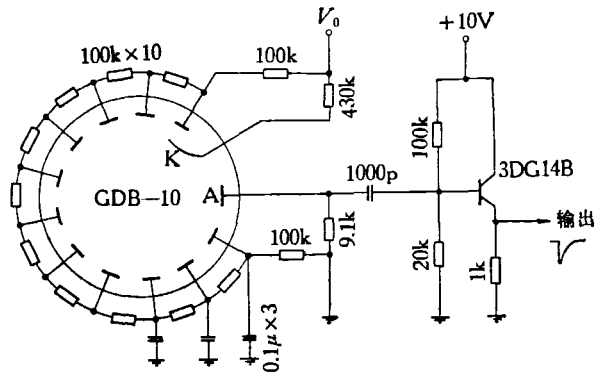


图4. 光电倍增管的供电回路和前置放大器

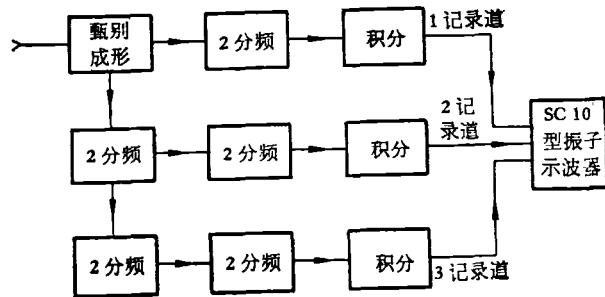


图5. 2、4、8分频记录道方块图

在射击时,步枪用支架固定,由电磁铁-继电器回路和振子示波器配合扣发扳机。相应于每颗飞行弹丸,振子示波器工作约3秒钟。图7是由振子示波器拍摄到的一张脱靶量为1.5米的弹丸飞行的记录照片。照片上的正弦曲线是频率为50周的时标,讯号峰的底线是弹丸远离探头时的积分电压值,因此讯号峰的高度就是脱靶量的记录。脱靶量越小,探测器接收到的 γ 射线强度越大,由积分回路得到的讯号峰就越高。弹丸飞行

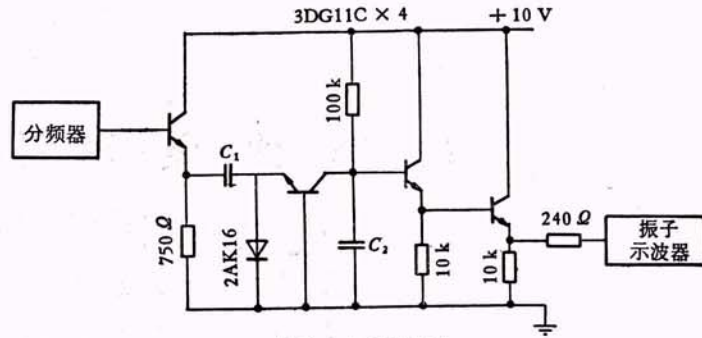


图6. 积分器线路

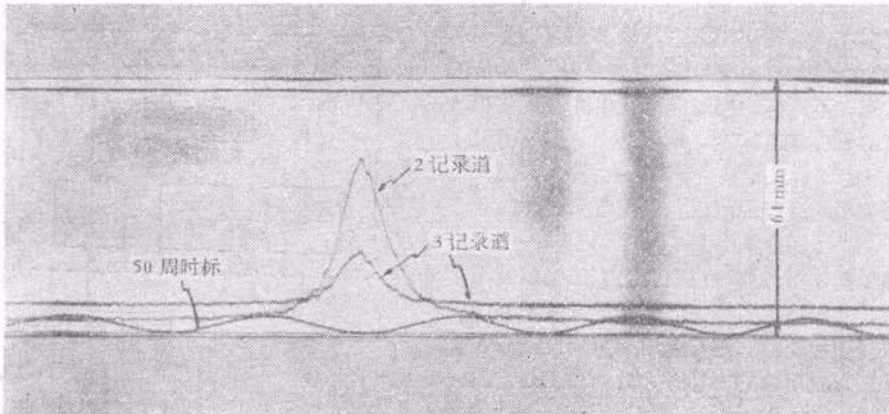


图7. 脱靶量为1.5米的弹丸的飞行记录照片

的脱靶量测量记录如图8。图中的静态点表示弹丸跟探头在此距离相对静止时,振子示波器记录照片上的讯号高度;动态点即弹丸飞行时的脱靶量记录。若用静态曲线来定标,那末飞行弹丸脱靶量的测量误差一般都小于8%。在这个试验中,产生误差的主要原因,是由于积分电压的统计涨落,用尺在照片上量测讯号高度很难量准造成的。倘若在记录系统中用计算机来处理数据,那末可以大大得到改善。另外,从前面的公式(2)可以知道,仪器输出的积分电压与脱靶量的平方成反比,因此在双对数坐标纸上,积分电压应跟脱靶量成斜率为-2的直线关系,但从图8见到的静态曲线在脱靶量小(计数率大)时偏离了此直线,这是由于计数损失造成的,因此仪器的高频特性有待进一步提高。

此外,我们从图7还可以看到,讯号峰的宽度是跟弹丸飞行速度有关的物理量,飞行速度越快,峰越窄,因此只要在这种距离指示器中增加一个时间常数适当的积分回路,就能用它来同时测量一定范围内的弹丸飞行速度。

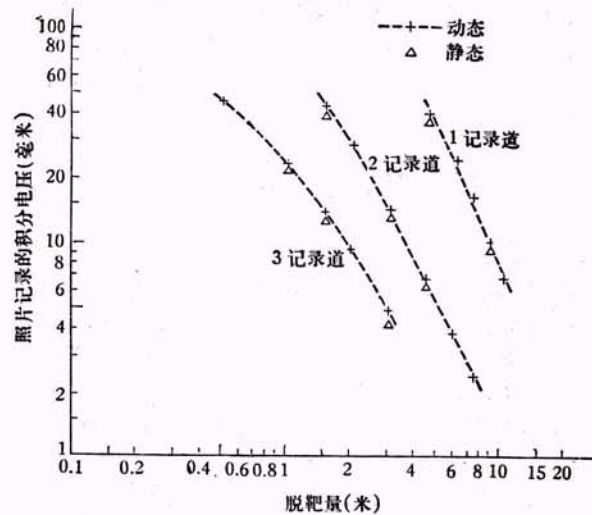


图8. 脱靶量测量记录

参考文献

Charles D. Lafond, "A Gamma-Ray Miss-Distance Indicator", *Missiles & Rockets*, 10-3 (1962), 34.