

弹道靶线圈法测速的研究

袁茂竹 吴应湘 白秀清

(中国科学院力学研究所)

摘要 本文介绍了一种新的用于弹道靶实验的测速方法。该方法用线圈作为测速的探测装置,结合自行设计的计时装置——单次双路测速仪,组成一套测速设备。实验表明,该设备装置简单,造价低,抗干扰能力强,对模型无破坏作用,测量精度高。本方法在目前国内弹道靶实验中尚属首次使用。

关键词 速度测量,弹道靶,线圈法。

1 引言

速度测量是弹道靶实验中的一项基本测量项目。模型在靶场内作高速自由飞行,整个运行时间极短(一般为几十毫秒)。因此弹道靶设备需要采用不同于常规气动模拟设备的测速方法。同时由于测量装置与模型间是非接触式的,从而给测速工作带来一定难度。

六十年代初期,随着国外弹道靶设备的发展,模型速度的测量工作也不断地发展和完善。可用于弹道靶实际测速的方法有:靶网法^[1],光减法^[2],光网法^[3],激光多普勒测速^[4]等。靶网法装置简单可靠,但对模型有破坏作用。目前很少用于弹道靶实验。激光多普勒测速是近二十年来发展起来的先进测速装置;但技术复杂,投资大,到目前为止其测速范围远小于1000m/s。光减法和光网法是通过模型飞过测量窗口时挡住预置在该处光源的部分或全部光束来获得触发信号的测速装置,技术较成熟,是国内外弹道靶实验通常采用的测速手段。

本文选用的线圈法,既有靶网法原理浅显,结构简单的优点,又能防止模型破坏;而且抗干扰能力强。既有比光减法、光网法投资少很多的特点,还有光减法、光网法的测量效果。本法在国内弹道靶实验中尚属首次使用。文中较详细地描述了线圈法测速的原理,装置设计和现场测试结果。还介绍了自行设计能同时记录两个测量站的时间间隔的计时装置。

2 线圈法测速

2.1 测速原理

根据弹道靶实验非接触式测量的特点,测量时在弹道靶场距离为 ΔS 的两个固定位置设置

1989年3月2日收到。

本课题属国家自然科学基金项目。

两个探测器。当模型飞经探测器时有讯号输出，再用时间记录仪把经转换和放大系统得出的探测讯号记录下来，得出模型通过两探测器间所需时间。再按照物体运动的平均速度是其位移和相应时间比：

$$\bar{v} = \Delta S / \Delta t \quad (1)$$

就可得到实验时模型平均运动速度（见图 1）。可见测速装置主要由确定模型位置的探测器和计录模型运动时间的计时器两部分组成。本文是采用线圈作探测器，用铁磁模型穿过线圈时线圈内产生感生电动势作为计时器的触发信号（参见图 2），结合自行研制的单次双路计时器来实现弹道靶测速。图 3 给出了模型穿过线圈时用记忆示波器显示的原始电压信号波形（扫描速度为 1.25ms/格，灵敏度为 250mV/格）。

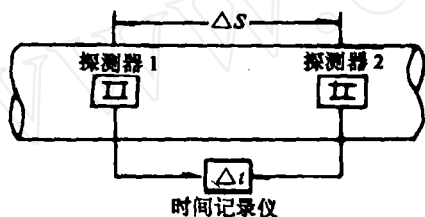


图 1 弹道靶测速原理图

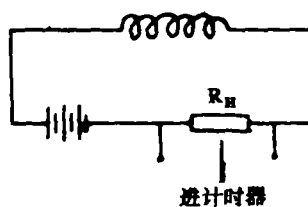


图 2 线圈电磁感应示意图

2.2 线圈的制作和安装

线圈的制作特别简单，在一非金属骨架上缠上漆包线即可。线圈直径应根据实验模型的速度范围，模型的大小和飞行轨迹可能偏差来确定。要保证线圈安全则线圈直径可大，但增加线圈直径就会减弱模型经过线圈时的电磁感应信号。因此选取线圈直径以同时兼顾线圈安全和稳定可靠触发计时器为准。通过实验，我们认为线圈直径比模型最大直径大 2 倍到 3 倍较为合适。如本文模型最大直径为 20mm，线圈直径（内径）为 50mm。导线的直径，匝数，供电电流大小以及线圈宽度则要按照计时器所需要触发信号电压幅度来选取。选取这些参数时还要考虑系统的抗干扰能力和测量精度。我们实验用宽 35mm，直径 50mm 的线圈（参见图 4）较合适。线圈及负载电阻端加 27V 直流电压，负载电阻 R_H 为 16Ω。通过线圈的电流为 1.5A。线圈的负载电阻上产生的电压信号就能稳定可靠地触发计时器。

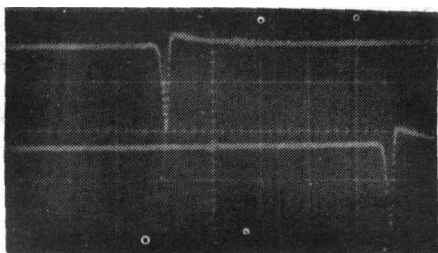


图 3 线圈产生的原始信号

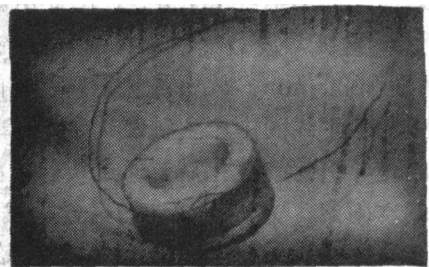


图 4 线圈外形

在靶道内已知距离 ΔS 上安装两个线圈，见图 1。模型飞经第一个线圈时产生的电压信号触启动计时器，飞经第二个线圈时停止计时器。测得模型飞经距离 ΔS 所需的时间 Δt ，由式(1)即得到模型在该距离内的平均速度。

2.3 计时器

通常使用的计时器只能记录一个站的数据，难以满足我们的要求。根据单次瞬态，不同

站位发出的启动, 停止信号以及输入阻抗, 抗干扰和数据门锁等实验现场要求。我们研制了单次双路测速仪。其电路组成方框图如图 5 所示。

来自前后两个线圈的原始信号, 分别经过两路相同的电路转换成计时门电路的开启和停止脉冲。输入电路对原始信号进行限幅, 极性选择和放大有效抑制干扰信号。原始信号负跳变电压约为 -200mV , 经放大整形后成为陡峭的脉冲前沿。触发电平选择 -150mV , 触发单次触发电路。它一旦被触发其状态就不再改变, 从而避免误触发和连续触发。单次触发电路产生的脉冲边沿开启计时门电路, 对 $1\mu\text{s}$ 的标准时钟脉冲计数。来自第二个线圈的信号经过相同过程关闭计时门电路停止计数。所得时间数据门锁, 直到人工复位, 这样便得到模型经过两线圈间的飞行时间, 进而得到速度值。经实际测量证明该仪器电路状态稳定, 数据可靠。

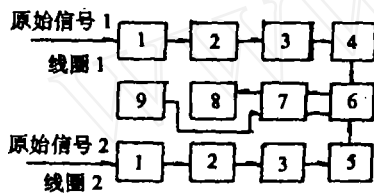


图 5 测速仪电路方框图

- 1 输入级极性与限幅电平选择
- 2 放大级脉冲形成 3 单次触发电路
- 4 开启边沿脉冲形成 5 停止边沿脉冲形成
- 6 门控电路 7 计时电路 8 数字显示
- 9 标准时钟脉冲

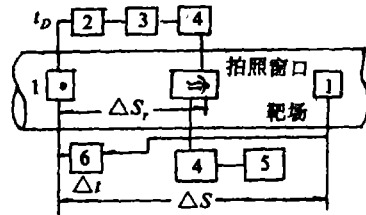


图 6 弹道靶延时闪光测速照相原理图

- 1 探测器 2 延时器 3 火花光源
- 4 阴影仪 5 相机 6 计时器

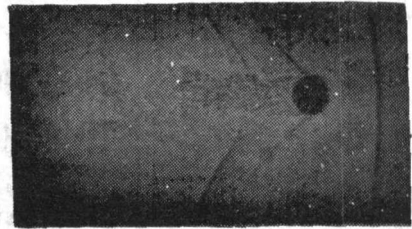
3 测速系统的调试

测速系统原理试验和静态调试（从示波器上观察信号）的完成只能证明系统基本原理无误。真正的检验是实验现场。在跨声速实验中尤其对马赫数 $M=1$ 附近的实验测速的精度显得特别重要。

由式 $\bar{v} = \Delta S / \Delta t$ 知, 测速的误差来源于 ΔS 和 Δt 的误差。计时器的误差为 $\pm 1\mu\text{s}$, 而整个记录时间大多数在 ms 量级。因此由记录时间引起的误差一般小于千分之一。测量距离的误差为 mm 量级; 设备测量窗口所确定的 ΔS 的距离有 1.6m , 800mm 和 180mm 三种。大多数在 1.6m 和 800mm 。故由测量距离引起的误差也仅为千分之几。然而由于线圈有一定宽度, 不同模型在各种线圈中产生触发计时器信号瞬间, 在各线圈内位置是不十分固定的。启动和停止位置的差异引起的变化需要通过实验来测定。对于特定发射条件实验模型在某种线圈中的触发位置基本固定。为了确切地知道各种发射条件下的触发位置, 实验时我们同时用光减法 and “延时闪光法”对模型在线圈中的触发位置进行标定。结合延时闪光法和流场照片对触发位置进行校正确定, 以便提高测速精度。图 6 是延时闪光法测速和拍照的基本原理。根据弹道靶内弹道性能计算^[5]得到模型的发射速度, 从线圈 (或光减探测器 1) 到照象窗口的距离 ΔS , 除以发射速度得到模型的飞行时间 t_D , 在我们自行研制的精度为 $1\mu\text{s}$ 的数字延时器上选定延时时间 t_D , 即模型在飞经探测器 1 后的 t_D 时刻启动闪光光源; 通过阴影仪等照象系统得到模型在拍照窗口飞行时的流场照片。由流场照片上的模型位置和预置的延时时间, 可以得出模型的实际飞行速度 v_r 。将此速度与线圈法测得的速度比较, 就可以标定出该模型在线圈中的触发位置。

这样大大提高了 ΔS 的精度；从而提高了整个测量精度。与延时闪光法测得的速度相比较，线圈法测速误差一般在1%以内。

图7给出了由线圈启动用延时闪光法得到的模型飞行的流场照片。用线圈法测得的速度值为 363.1m/s ，由延时闪光法同时测得的精确速度值为 364.4m/s ，其误差为0.275%，已接近目前国际速度测量的最高水平。这不但证明线圈法则速的准确性，而且说明延时闪光法校正后 ΔS 的准确性。



从照片上可以看到低超声速圆球绕流流场全貌，包括脱体激波，分离激波，尾激波以及近尾迹的发展情况。这是由于测速准确，延时精确把模型调节到照片最佳位置才得到的。

4 结束语

线圈法测速只需要一台时间测量记录仪器和自己可以加工的造价低廉的线圈，整个系统装置简单，且抗干扰能力强，省去了光学方法中光电倍增管，高压电源等附属设备。而具有较高的测量精度。与光减法，光网法相比也为一种有效的测速方法。这种测速方法在国内弹导靶实验中首次使用。它不仅适于跨声速实验，还适于亚、超声速，高声速弹道靶实验；高速碰撞实验以及子弹，炮弹的测速实验。用线圈法和光减法同时测速，线圈对光电倍增管有一定干扰，而线圈却不受干扰。

用线圈法测速，应注意的是两线圈的大小，所绕漆包线的线径，圈数等必须大致（尽量）相同，否则影响测量精度。线圈对非铁磁性材料不起作用，因此模型（或模型的一部分）一定要用铁磁物质制作。另外，线圈直径有限，若弹道偏差太大或模型飞行攻角较大，或破碎的弹托散布区太大，都可能危及线圈的安全。因而对发射应有相应要求。然而与它的优点相比，本方法不失为一个简便有效的速度测量方法。

本文在林同骥教授、郑之初副研究员直接指导下完成。

参 考 文 献

- [1] Thomas, N. Canning, et al, Ballistic-Range Technology AD713915, 1970.
- [2] Anon, Aerospace Research Capabilities. General Motors Defense Research Laboratories, TR63-223 April, 1964.
- [3] White, E.L., Fedenia, J.N., Projectile Detection of Luminous and Nonluminous Bodies IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, AES-2(1966), No.1, 13-20.
- [4] Koch, B., Simen, G., Synchronisierung Ballistischer Reihenaufnahmen Mittels Radioelektrischer Geschwindigkeitsmessung, Proc. Sixth International Congress on High-speed Photography, (1963), 409-412.
- [5] Seigel, A.E., The Theory of High Speed Guns Nato Agardograph 91, 1965.

A Study of Velocity Measurement by Solenoid Sensors on Ballistic Ranges

Yuan Maozhu Wu Yingxiang Bai Xiuqing

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract A method to measure model velocity for ballistic range test is presented. It uses solenoids as sensors and a single-sample-two-channel-chronograph as a velograph. The device has such advantages as simple structure, less cost, strong anti-interference capability, free of experiment model damage, and high accuracy. This method is used for the first time in this country.

Key words velocity measurement, ballistic range, solenoid sensor.