

一种新的丝张力测量法

王运永

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本方法利用简单的、现成的仪器,根据丝共振原理,可以在多丝正比室或漂移室组装之前及组装之后,测量每根丝的张力.共振频率的测量误差为 $\pm 0.1\text{Hz}$,由低频讯号发生器的精确度及稳定性决定.

一、引 言

几乎所有的高能物理实验都要使用庞大的多丝正比室或漂移室系统,在它们的制造过程中,一个关键的问题是:每根丝都要加一定的张力,以克服由于静电斥力引起的丝位移及重力引起的丝下垂.张力的均匀性是十分重要的.它不但影响到室的空间分辨,而且,如果有的丝张力太小,还会引起振荡、放电等现象,使室不能正常工作.再者把含有成千上万根丝的系统放入谱仪之前,也要通过张力测量把不能用的丝去掉,消除隐患.使谱仪能可靠地工作.

目前已知的张力测量法只有两、三种,有的只能在把丝平面放入室内之前进行测量^[1,2],不能知道组装之后的结果,有的需要做一套复杂的专用设备,工作量很大^[3].这里介绍的新方法,只用三台现成的仪器,便可在室组装之前或组装之后对每根丝进行张力测量.

二、工作原理

把一根两端固定的细导体丝放于磁场中,通以交变电流,丝将在磁场中振动.当驱动电流的频率与丝的固有频率相等时,丝将发生共振,丝的张力与其固有频率间的关系为:

$$T = 1.02 \times 10^{-3} \cdot 4l^2 \omega_0^2 \mu \quad (1)$$

其中 l 是丝的长度 (cm), ω_0 是丝的固有频率 (Hz), μ 是丝的线密度 (g/cm), T 是加于丝上的张力 (g), 1.02×10^{-3} 是从达因到克的转换系数.

丝位移与驱动电流之间的位相有关系.设丝的振幅合理地小,这个系统就可以近似地用谐振子的阻尼受迫运动来描述.加于丝上的张力可以看成弹性恢复力.设驱动电流产生的电磁力为: $F(t) = a_0 \sin \omega t$, 则运动方程为:

$$\ddot{x} + \frac{1}{\tau} \dot{x} + \omega_0^2 x = \alpha_0 \sin \omega t \quad (2)$$

ω_0 是丝的固有频率, ω 是驱动电流的频率, τ 是阻尼衰减常数. 假定阻尼很小, 即 $\omega_0 \tau \gg 1$, 那么方程 (2) 的解为: $X = X_0 \sin(\omega t + \varphi)$, 其中: $X_0 = \alpha_0 / [(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{1/2}$, 是振幅, $\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega/\tau}{\omega^2 - \omega_0^2}$ 是驱动外力与丝的振动位移之间的位相差. 可以看出, 若驱动外力的频率不等于丝的固有频率, 那么位相差 φ 将随驱动外力的频率而变.

当驱动频率很低时, 即 $\omega \ll \omega_0$ 时, $\varphi \rightarrow 0$; 当共振时, 即 $\omega = \omega_0$ 时, $\varphi = -\frac{\pi}{2}$; 当驱动频率很高时, 即 $\omega \gg \omega_0$ 时, $\varphi \rightarrow -\pi$. 丝的振动速度为: $v = \frac{dx}{dt} = X_0 \omega \cos(\omega t + \varphi)$, 可以看出, 当驱动电流的频率从低到高变化时, 丝的振动速度与驱动电流之间的位相差从 $\pi/2$ (低频) 经过 0 (共振) 到 $-\pi/2$ (高频) 变化.

根据法拉第电磁感应定律, 当导体丝在磁场中运动时, 其两端会有感应电动势出现. 感应电动势与驱动电流之间的位相关系, 象讨论速度时那样, 当丝共振时位相差为 0, 当偏离共振时位相差不为 0.

利用差分放大器将这个感应电动势取出、放大并加于示波器的 Y 轴. 将驱动电流选择适当的大小后加于 X 轴. 观察合成波形. 根据上面的讨论可知, 当丝共振时波形为一条斜线, 若 X 轴与 Y 轴输入相等, 倾斜角应为 45° . 当丝刚刚偏离共振时, 波形应为椭圆. 当远离共振时为一水平直线. 利用频率计测出共振时的频率, 即可算出丝的张力.

三、实验装置和实验步骤

实验装置十分简单, 框图如图 1 所示.

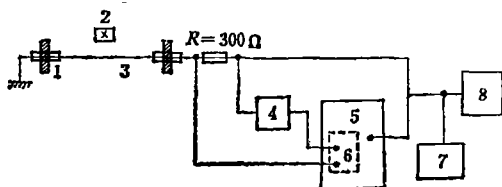


图 1 实验装置示意图

- 1 穿透接头 2 磁铁 3 待测丝 4 衰减器
5 示波器 6 差分放大器插件 7 频率计
8 低频讯号发生器

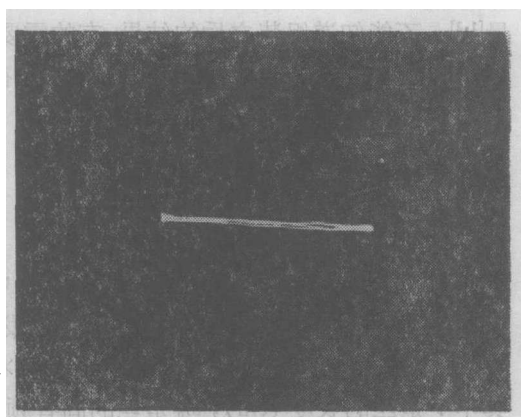


图 2 频率远离共振点时的波形

实验步骤如下: 将一块永久磁铁放在尽可能靠近丝的位置. 接通驱动电流. 当低频讯号发生器的频率远离共振点时, 调节衰减器, 使差分放大器的两个输入端互相平衡. 这时波形为一条水平线, 如图 2 所示. 表示感应电动势近似为 0. 调节低频讯号发生器的频率, 波形将非常灵敏地随之变化. 共振时的波形如图 3(a) 所示, 将驱动电流突然降为 0, 波形如图 3(b) 所示, 它是丝本身在磁场中“自由”振动产生的, 它的高度反映了振动幅

度的大小。图 3(c) 是在驱动电流为 0 后 20 秒拍摄的，表明“自由”振动即将停止。调节低频讯号发生器的频率使之高于共振频率 0.1 Hz 及低于共振频率 0.2 Hz，相应的波形如图 4(a) 和图 5(a) 所示。它们与共振时的波形图 3(a) 有显著的不同。把驱动电流突然降到 0，波形分别为图 4(b) 和图 5(b)。可以定性地看出，此时的振幅比共振时 (图 3 (b)) 小。

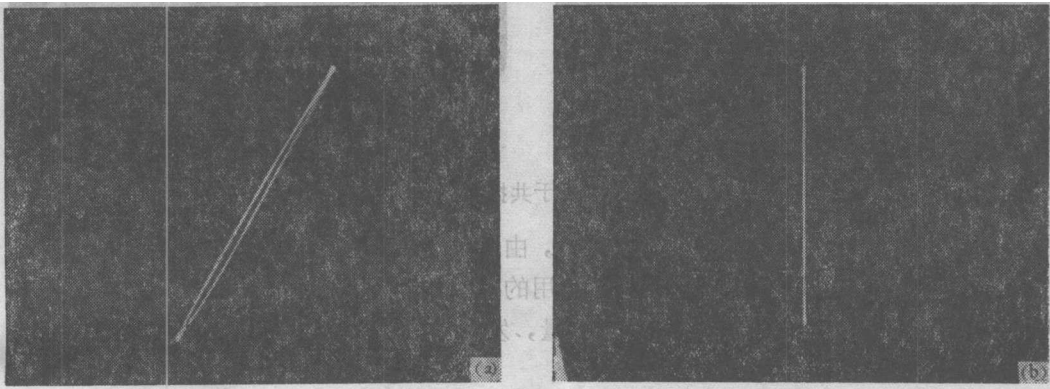


图 3 共振时的波形

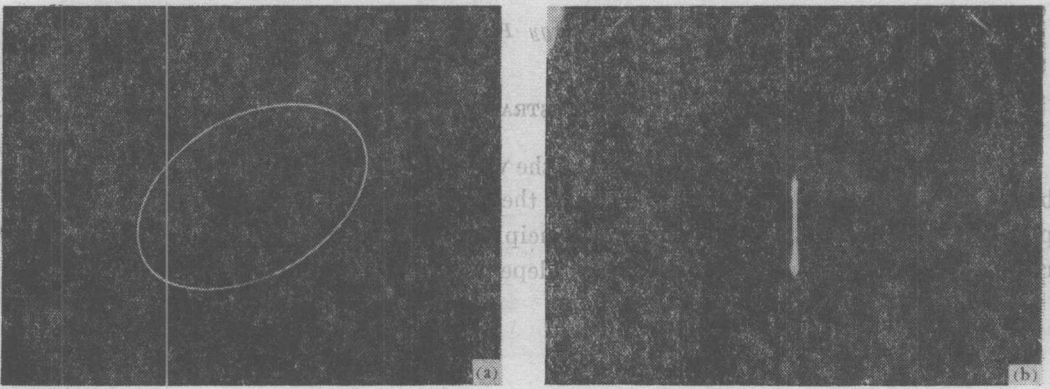


图 4 驱动电流频率高于共振点 0.1Hz 时的波形

因此，从低到高调节低频讯号发生器的频率，根据共振时的特征波形图 3(a)，可以方

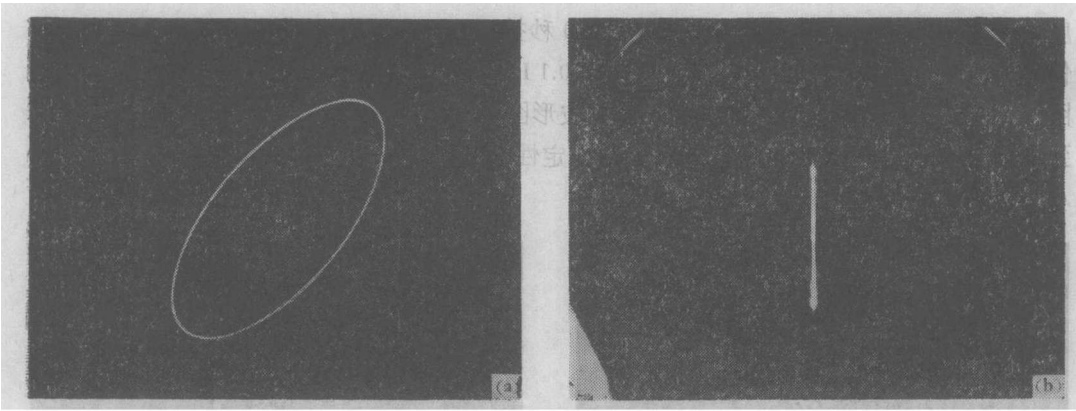


图5 驱动电流频率低于共振点 0.2Hz 时的波形。

便地测出共振频率。测量误差为 ± 0.1 Hz, 由低频讯号发生器的精确度和稳定性决定。

利用本方法对 SLAC 的 MARK-II 所用的次级顶点探测器——一组高精度漂移室的 3120 根电位丝及 1695 根阳极丝进行了测量, 发现 24 根电位丝及 3 根阳极丝张力太小, 进行了替换。

本工作是作者在美国加利福尼亚大学物理系 MARK-II 联合组进修期间完成的。杰柔斯博士曾与作者进行过深入细致的讨论, 弗拉基米尔博士及过雅南同志亦提出过宝贵的意见, 对于他们的巨大帮助在此深致感谢。

参 考 文 献

- [1] M. Cavalli-sforza et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **124**(1975), 73.
- [2] Alessandro Borghesi, *Nucl. Instr. and Meth.*, **153**(1978), 379.
- [3] R. L. Chase, *Nucl. Instr. and Meth.*, **113**(1973), 395.

A NEW METHOD TO MEASURE THE WIRE TENSION

WANG YUN-YONG

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

This method can be used to measure the wire tension of multiwire proportional chambers and drift chambers, Before or after the chambers have been sealed, using simple instruments and according to the principle of wire resonance. The accuracy of the resonance frequency measured is 0.1 Hz depending on the AC generator.