

DIS 实验新探

# DIS 光电轨道系统

冯容士 李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

尽管“海森堡测不准原理”已经成为量子力学的代名词并被广泛传播,但中学物理教学所涉及的力学主要是牛顿经典力学,即所谓“低速状态”。因此还是讲究要精确把握运动物体的位置与时间的对应关系,并以此导出物体的运动规律。

各版本中学物理教材不约而同地将物体运动规律的研究作为开篇之作,其考虑有三:(1)导入物理思想——以“时空信息”,即将运动物体所达到的空间位置和该位置对应的时间作为运动物体的核心属性加以研究,并将这两者的关系,即“时空关系”作为今后物理学一切研究的基础。(2)导入物理方法——测量和实验是获取运动物体的“时空信息”、研究“时空关系”的基础,同时也是物理学研究的基本方法。(3)导入测量仪器和实验手段——了解获取运动物体“时空信息”所用的仪器的原理、性能和使用规律,对于刚开始学习物理的中学生具有特殊的意义。

本论文即从运动物体时空信息的测量和实验开始,回溯了测量和实验方法的发展,以此为基础展示了上海市中小学数字化实验系统研发中心在将数字化实验技术引入该领域后所取得的一系列成果。

## 一、中学物理教学领域“时空信息” 测量和实验方法的发展

中学物理教学中研究“时空信息”可根据实验方法的不同,分为按时间定位置(按时定位)、按位置定时间(按位定时)、以及时间位置同时确定(时位同定)三大类。

### 1. 按时间定位置

这是根据事先设定的时间信息,来记录运动物体空间位置的实验方法。代表性的案例是使用节拍器研究物体的运动。

最早的节拍器是水漏,而历史上最著名的“节拍器”则是伽利略的心脏。据说当年伽利略就是靠着他那颗规律跳动的“心脏”,通过观察得出了单摆的等时性规律。随着钟表技术的发展,出现了专用的机

械节拍器(图 1),目前则有电子节拍器。

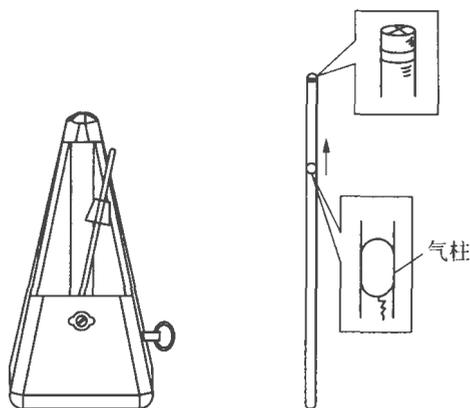


图 1

图 2

图 2 所示为用节拍器研究匀速运动的实验装置。一根长的玻璃管,内装机油或植物油,留出空气柱,两端封闭。演示时把管竖直倒立起来,观察气柱在管中上升的运动。根据节拍声,用记号笔在管壁上画记号,最后用刻度尺测量在相同时间内气柱通过的距离。可发现这些距离基本上是相同的,由此说明空气柱的运动是匀速直线运动。这种按时定位的方法虽然比较粗糙,且只能用于缓慢运动的研究,但也不失为一种简便可行的实验方法。

### 2. 按位置定时间

根据预先确定运动物体经过的路径(空间位置),以及经过该路径上各位置的时刻来研究其运动的实验方法。常用的有秒表(图 3)和演示秒表(图 4)。

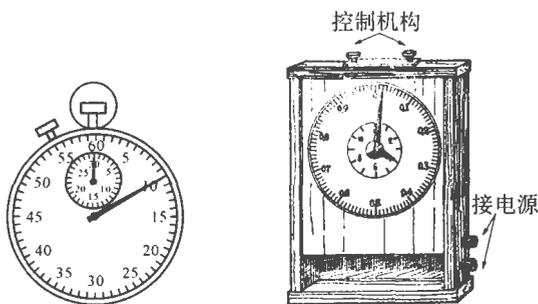


图 3

图 4

秒表一般用于学生实验,实验时确定运动物体的起点和终点位置,当运动物体在起点和到达终点位置时分别按动秒表,即能确定运动物体所经过的时间。

课堂演示要求秒表的可见度足够大。演示秒表(图 4)不但可见度大,而且根据演示要求具有启动、结束以及自动控制的功能。

### 3. 同时确定时间和位置

这是指在记录时间的同时,记录运动物体空间位置的实验方法。常用的器材有闪光照相机和打点计时器。由机械或电子定时方法控制上述装置,得到的照片上的运动物体影像或记录纸上打下的点,不仅反映了物体所处的位置,而且还包含有与这些位置相对应的信息。

中学实验室普遍使用的是电磁打点计时器(图 5)。但使用时打点针对纸带的运动会有影响,往往造成的实验误差较大。这也迫使动手能力较强的老师围绕如何打点改进出了“液滴打点计时装置”(图 6)。

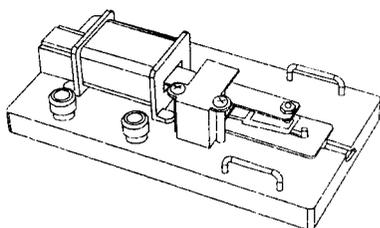


图 5

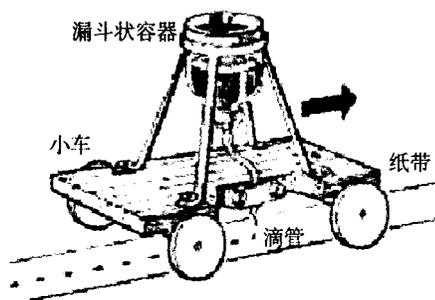


图 6

另有一种电火花打点计时器,可记录运动物体在一定时间间隔内的位移。由于这种打点器利用 50 赫、近 5 千伏脉冲高压,会把纸击穿,并在纸带上留下点迹。和前述的电磁打点器相比,不会因打点对纸带的运动产生阻力。

## 二、光电门传感器——测量时空信息的有力工具

### 1. 结构和原理

广泛应用于工业自动控制领域的光电门传感器采用的也是按位置定时间的方法,DIS 实验系统也引入了光电门传感器。

该传感器的门式结构如图 7 所示。工作原理如下:采用光电管 A、B;A 管发射红外线,B 管接收红外线;A、B 间无挡光物体时,电路断开;有物体挡光时电路接通。这样当运动物体经过时就可测出挡光时间。测量时只要在需要研究的位置上装上光电门传感器,在运动物体上插上宽度一定的挡光片,当运动物体经过光电门传感器时,即可根据挡光片的宽度和测得的挡光时间,计算出物体通过光电门所在位置的速度。

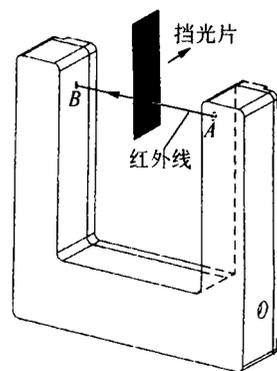


图 7

### 2. 教学应用

光电门原理简单、用途广泛,而且可以根据不同使用要求进行多种变型。

图 8 所示的是上海二期课改高中物理教材中采用光电门传感器测量瞬时速度的实验装置。倾斜的轨道上固定有光电门传感器,小车从轨道同一位置由静止开始下滑。依次将不同宽度的挡光片插在小车上,根据不同挡光片通过光电门传感器的时间,可测出小车通过光电门时的速度。从实验数据分析可知,挡光片的宽度逐渐减小时,测量的速度值越来越接近小车经过光电门所在位置的瞬时速度。

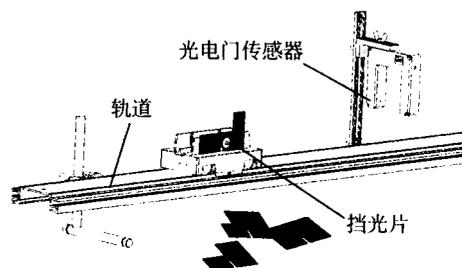


图 8

### 3. 应用扩展

单个光电门传感器只能用于测量物体运动到某一特定位置时的时空信息。如果需要研究物体的运动过程,按照直线型的思维方式,恐怕要使用多个传感器,甚至如某些老师所设想的:需要构造一个“光电门阵列”。这当然是典型的机械思维方式。

击破“光电门阵列”这种机械思维的是简单的“置换思维”:与其增加测量端,不如改变运动物体!只要把图 8 所示的单点式挡光片变成连续的挡光条,不就可以实现使用一个光电门测量物体的整个运动过程了吗?

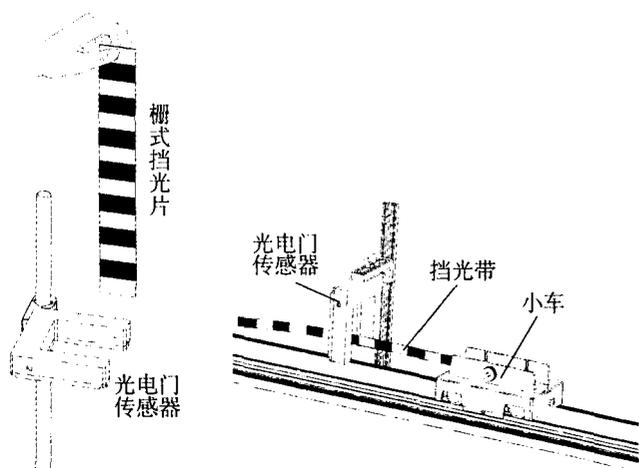


图 9

图 10

“置换思维”虽然简单,但却是具有颠覆性的创造力。其结果是“栅式挡光片”(图 9)和“柔性挡光带”(图 10)的出现。

栅式挡光片和柔性挡光带可通过增加挡光次数提供更多的测量数据,除适合研究运动过程的规律以外,还适合在高速或加速度较大的实验中应用。比如,将栅式挡光片和光电门如图 9 所示组合使用,即可通过挡光片下落时测得的数据计算出加速度值。教学应用显示,使用该实验方法,得出来的加速度值与  $g$  的误差,明显小于使用单个或少数几个挡光片时的实验结果。

### 三、DIS 位移传感器——测量时空信息的另一尝试

物理学崇尚“简洁是美”。栅式挡光片和柔性挡光带固然有其作用,但势必会给实验操作平添很多麻烦。抛弃这些缠缠绕绕,让我们以更简约的方法来研究物体的运动过程!用超声波替代电磁波,构造类似于雷达的回波测量系统似乎可以做到这一点。

#### 1. DIS 位移传感器的开发

2002 年,上海市中小学数字化实验系统研发中心刚刚成立,即面临这个挑战。当时,中心借鉴国际上超声波技术的发展应用成果,研发了如图 11 所示的收发一体式超声波传感器。但因为盲区大等缺陷,又结合国产超声波器件的性能,独创了收发分体式 DIS 位移传感器(图 12)。

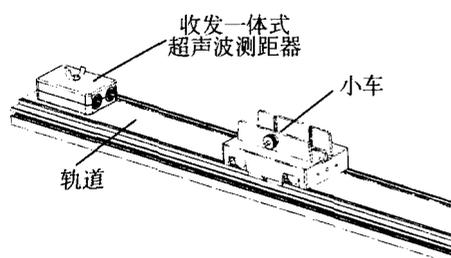


图 11

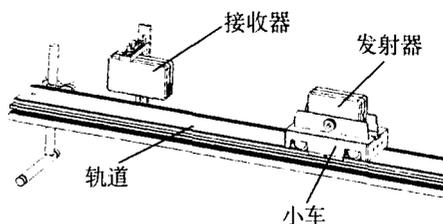


图 12

相比于当时国际上流行的收发一体式位移传感器(超声波测距仪),DIS 位移传感器具有精度高、无盲区等显著优点。一经推出,即被上海二期课改教材编写组所认可,成为上海教材的“制式装备”,并以此派生出了多个 DIS 实验。

#### 2. DIS 位移传感器的不足

多年来的教学实践发现,不管是一体式机构还是分体式结构,只要是使用超声波进行测距都有其先天不足:①超声波的发射和接收极易受环境温度、湿度和风速的影响;②分组实验易相互干扰;③运动物体在轨道上不同位置的测量精度很难保持一致。尽管研发中心在滤波、检波等软硬件技术上做了大量努力,但超声波本身的物理特性还是成了限制 DIS 位移传感器性能提升的短板。

图 13 显示是用 DIS 位移传感器实验中描出的速度-时间图线,图中虚线区域内的图线波动曾经长期困扰研发中心的技术人员。后经查证,这是因为轨道对超声波的反射所造成。后对整个系统进行了改进升级,虽有所改善,但因为轨道反射波难以被彻底消除,很难使速度-时间图线做到平滑(图 14)。

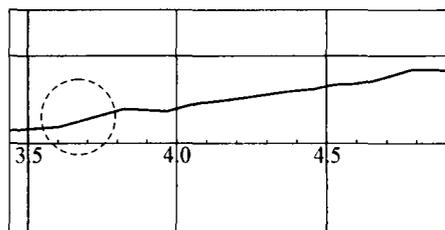


图 13

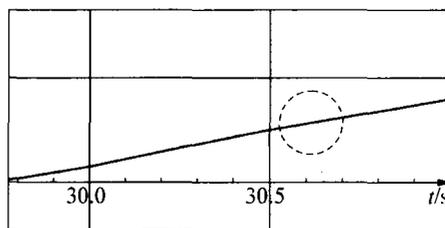


图 14

### 四、从超声向光电的回归

超声波问题迟迟得不到解决,使得研发中心不得不把目光重新转回性能可靠的光电技术,以期寻

求对运动物体时空信息测量的理想方案。

### 1. 光电读码器——光电门的扩展

基于栅式挡光片和柔性挡光带所代表的连续挡光和连续测量思想,研发中心主任冯容士又做了一次“思维置换”——传统实验模式是光电门固定而挡光片移动。如果挡光片不动而光电门移动,结果将会怎样?首先,从物理原理上来说,两者是等价的。接下来要做的,就是构造这样一个令光电门在挡光片上连续运动并实现测量的系统装置。

思维方向一旦确定,实施方案就不难选择了。在日新月异的信息技术浪潮推动下,当今社会已经为教学仪器和教育装备储备了足够多的技术方案。但要想从这些方案中做出最恰当的选择,仍然需要另一项创造性思维能力——移用思维。

这次,冯容士主任选择了光电读码器。光电读码器的技术原理与光电门别无二致。也可以说光电读码器就是光电门在数码识别领域的一个扩展应用。基本的光电读码器内置一组红外发射管和接收管。红外发射管发射红外线,照射到有黑白条纹的数码刻度尺。如果照射位置为黑色条纹,红外线接收管接收不到红外光;当照射白色条纹时,红外线接收管接收到反射的红外光。如果将接收到红外光定义为“1”而接收不到红外光定义为“0”,光电读码器即可将黑白条纹读取并译解成为一组二进制数字,供计算机加以识别。经过多年发展,光电读码器已经演变为成熟可靠的器件,其体积也已经实现了小型化甚至微型化。

### 2. 条码轨道——栅式挡光片的扩展

将光电读码器装在运动小车上,其扫描的对象怎么安置?

在多种方案中,研发中心选择了在轨道上铺设黑白相间且等宽条纹的方案(图 15)。这样,小车在轨道上的运动就形成了连续的光电扫描,我们也就可以源源不断地获取其运动过程中的“时空信息”了。

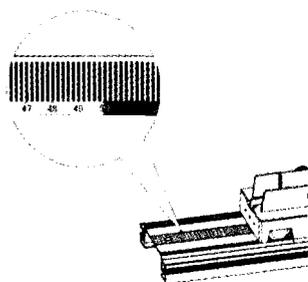


图 15

### 3. DIS 光电轨道系统的构造

基于上述基础设计,研发中心历时两年完成了 DIS 光电轨道系统的设计。其基本构造如下:

#### (1) 带有光电扫描器的轨道小车

该小车外观与 DIS 力学轨道系统运动小车一致,但底部空间内装设有光电读码器和单片机,并配以信号处理和传输电路、供电电路。

#### (2) 铺设等宽黑白条纹的轨道

该轨道采用 DIS 力学轨道系统专用铝合金轨道,但表面铺设等宽黑白条纹,供光电读码器扫描使用。调整黑白条纹的宽度,可改变采集的精度。

#### (3) 专用的实验教学软件

该软件汇集了教材中需要进行时间、距离、速度和加速度测量的多个实验的要求,系专用软件包。

#### 4. DIS 光电轨道系统的教学应用

DIS 光电轨道系统保持了光电门测量时间的可靠性,又利用轨道上的等宽条纹与光电读码器配合提高了测量距离的精度,因此构成了中学物理实验教学领域一种全新的运动学实验工具。

相比于借助超声波进行的实验,DIS 光电轨道系统彻底排除了外接干扰,实验的稳定性、一致性大幅度改善。

图 16 所示为采用 DIS 光电轨道系统完成的“用 DIS 测定位移和速度”实验中所获得的位移和时间、速度和时间数据及图线。由数据可见,实验的准确性有了显著提高。作为数据的表现,该实验的两个过程中的图线质量也得到明显

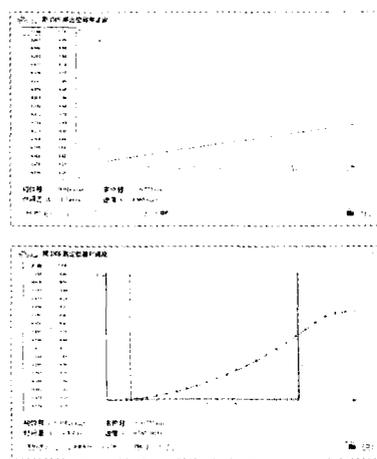


图 16

改善。这是 DIS 位移传感器(超声波)所难以企及的。

除此之外,DIS 光电轨道系统还可以支持原 DIS 位移传感器和力学轨道系统组合后完成的所有实验,如受迫振动、共振、衰减震动、碰撞等,且无一例外地获得了实验质量的显著提升。

教育需求是实验教学发展的动力,而技术进步则是实验教学发展的阶梯。

围绕着运动物体时空信息的测量,人类从古至今不断探索,拥有了一整套的技术手段,分别解决了各自时代中的问题。但世易时移,唯有与时俱进,才能把这种科学探索精神通过实验教学仪器的进步传递给一代又一代的莘莘学子。

很高兴上海市中小学数字化实验系统研发中心一直坚持了这样一个与时俱进的传统,也很庆幸我们总是能够通过“思维置换”和“移用”等创造性思维的应用,不断找到将新技术应用于实验教学仪器装备开发的最佳解决方案。这是个人贡献,更是集体的成功。最重要的是,我们所追求的正是整个教育界在实验教学领域的理想收获。