基于DIS验证恒力作用下的动能定理实验设计

赵登峰
（福建省石狮市第一中学，福建泉州 362700）

摘　要：高中物理教材中有验证恒力做功与动能变化关系的实验，其装置与“探究加速度与力、质量的关系”实验基本相同，两者均因实验原理而存在系统误差。为此，有针对性地改进实验方案，有效消除了该系统误差，并借助DIS在误差允许范围内验证了动能定理。

关键词：DIS；恒力作用；动能定理；实验设计
DOI：10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.10.026
引用格式：赵登峰.基于DIS验证恒力作用下的动能定理实验设计[J].实验教学与仪器，2026，43(10)：102-104.

传统教材中有“探究恒力做功与动能变化关系”实验，其装置与“探究加速度与力、质量的关系”基本相同，均涉及连接体模型。实验要求定滑轮一端钩码的质量远小于小车质量，但“远小于”缺乏明确的量化标准，给实验操作和误差分析带来了不确定性。同时，传统实验借助打点计时器和纸带计算瞬时速度，操作烦琐且偶然误差较大。若用DIS系统中的光电门替代打点计时器，可快速、准确地测得小车经过某位置的瞬时速度，但因“远小于”条件仍为定性描述，相应的系统误差并未消除[1]。为此，笔者创新设计了实验装置，旨在消除上述系统误差，从而验证恒力作用下的动能定理。

1　实验原理

实验装置如图1所示，设小车和遮光板总质量为M，斜面倾角为θ，小车受到的摩擦力为f，细绳张力为T。挂上钩码，调节轨道倾角使小车沿斜面匀速下滑，此时对小车沿斜面方向有：$Mg\sin\theta-T-f=0$；　①

设小桶及钩码总质量为m，由于小车匀速运动时钩码也匀速运动，对钩码有：$T-mg=0$，　②

联立①②得：$Mg\sin\theta-f=mg$。　③

取下细绳和钩码后，小车沿轨道加速下滑，只受到重力、支持力和摩擦力，合力为：$F=Mg\sin\theta-f$，　④

联立③④得：$F=mg$。　⑤

即小车所受合力精确等于小桶及钩码的总重力，无须满足“远小于”条件。

实验时，将两个光电门固定在支架上，间距为s。先挂上钩码，调节轨道倾角θ，观察小车经过两光电门的遮光时间是否近似相等，判断小车是否匀速下滑。确认匀速后记录m，取下钩码，释放小车，由光电门测出小车经过两位置的速度v_1、v_2。保持小车质量M不变，改变钩码质量m后需重新调节倾角使小车再次匀速，方可进行下一次测量；也可保持m不变，改变小车质量M，同样需重新调节倾角平衡。用电子秤测出M和m，计算恒力做功$W=mgs$与动能变化量$\Delta E_k=\frac{M(v_2^2-v_1^2)}{2}$，比较两者是否一致。

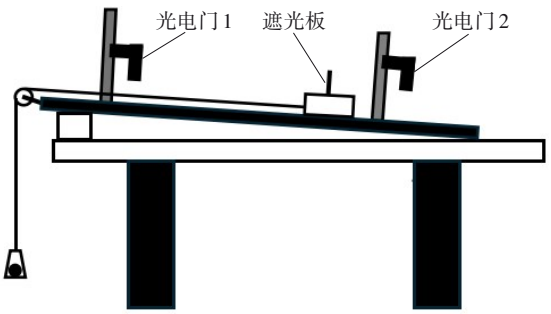


图1　实验装置

2　实验装置及器材

实验器材：多用力学轨道及附件、光电门（两个）、小车含配重片、遮光板（宽度0.5 cm）、小硬纸盒、数据采集器、电子秤等。将其组装好，其实物如图2所示。

3　实验步骤及说明

3.1　保持小车质量不变，改变恒力大小

首先，用电子秤测量小车（含遮光板）总质量为0.049 60 kg，小桶及桶内钩码总质量为0.011 40 kg，取重力加速度$g=9.80\ \mathrm{m/s^2}$，则重力为0.111 7 N。接着按如下步骤进行实验。

（1）按图2所示安装好实验装置。将两个光电门固定在轨道上，使其间距$s=0.300\ 0$ m，连接数据线，打开计算机内的通用软件，进入实验界面。



图2　实验装置实物

（2）用小硬纸盒垫高轨道定滑轮一端，调节轨道与水平桌面之间的倾角。点击“开始”按钮后轻推小车，待小车滑至轨道底端时点击“停止”按钮。若两个光电门记录的时间近似相等，则小车沿轨道做匀速直线运动。此步骤至关重要，建议重复多次以确保摩擦力平衡效果稳定。

（3）取下细绳和小桶，该过程要注意不能改变轨道与桌面夹角，先点击“开始”按钮，再将小车由轨道上端轻轻释放，待小车滑至底端时点击“停止”按钮，小车通过两光电门的时间会被记录下来。该过程中恒力做的功为：

$$W = mgs, \tag{6}$$

代入数值 $mg = 0.111\,7$ N、$s = 0.300\,0$ m，得出：$W = 0.033\,51$ J。小车通过光电门的瞬时速度为：$v = \frac{d}{t}$，　⑦

代入数值 $d = 0.005$ m、$t_1 = 0.004\,513$ s、$t_2 = 0.003\,151$ s，得 $v_1 = 1.108$ m/s、$v_2 = 1.587$ m/s。小车动能变化量为：

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}Mv_2^2 - \frac{1}{2}Mv_1^2, \tag{8}$$

代入数值 $M = 0.049\,60$ kg，得 $\Delta E_k = 0.032\,01$ J。

（4）重新挂上细绳和小桶，改变桶内钩码数量（每次增加一个质量为5 g的钩码），重复步骤1~3共4次，可得到5组小车在不同恒力 F 作用下，恒力做功 W 及小车动能变化量 ΔE_k 的实验数据，记录于表1。由表1可知，5组实验的相对误差（$\frac{|\Delta E_k - W|}{\Delta E_k} \times 100\%$）均小于5%。在误差允许范围内，可认为恒力所做的功等于小车动能的变化量，从而验证了恒力作用下的动能定理。

3.2　保持小车受到合力不变，改变小车质量

首先，用电子秤测量小车（含遮光片）总质量为0.069 50 kg，小桶及桶内钩码总质量为0.021 40 kg，取重力加速度 $g = 9.80$ m/s^2，则重力为0.209 7 N。

按上述实验步骤1~2进行实验。记录下小车通过两光电门的时间后，重新挂上细绳和小桶，通过在小车上添加配重片（每次增加一片配重片50 g），重复4次以上步骤，可得到5组小车在同一恒力 F 作用下，恒力做功 W 及不同质量小车动能变化量 ΔE_k 的实验数据，记录于表2。由表2数据可知，5组实验的相对误差均小于5%。在误差允许范围内，可认为恒力所做的功等于小车动能的变化量，从而验证了恒力作用下的动能定理。

表1　不同恒力做功与动能变化量关系的实验数据

序号	光电门1 $t_1/10^{-3}$s	光电门2 $t_2/10^{-3}$s	动能变化量 ΔE_k/J	恒力 F/N	恒力做功 W/J	相对误差/%
1	4.513	3.151	0.032 01	0.111 7	0.033 51	4.69
2	4.124	2.682	0.049 74	0.160 7	0.048 21	3.03
3	3.906	2.414	0.065 76	0.209 7	0.062 91	4.33
4	3.711	2.213	0.081 58	0.258 7	0.077 61	4.87
5	3.135	1.976	0.095 70	0.307 7	0.092 31	3.54

表2　相同恒力做功与动能变化量关系的实验数据

序号	光电门1 $t_1/10^{-3}$s	光电门2 $t_2/10^{-3}$s	小车质量 M/kg	动能变化量 ΔE_k/J	恒力做功 W/J	相对误差/%
1	4.876	3.414	0.1195	0.065 33	0.062 91	3.70
2	5.763	4.039	0.1695	0.066 08	0.062 91	4.78
3	6.154	4.517	0.2195	0.062 03	0.062 91	1.42
4	7.203	5.105	0.2695	0.064 33	0.062 91	2.21
5	7.884	5.599	0.3195	0.063 15	0.062 91	0.38

4　结语

通过巧妙设计实验方案，消除了传统实验中因实验原理所导致的系统误差。借助DIS系统中光电门的遮光时间测量功能，既便于判断小车是否做匀速直线运动，又能快速获取小车通过光电门时的瞬时速度，进而计算其动能变化。实验结果表明，恒力做功与动能变化量在误差允许范围内一致，有力验证了恒力作用下的动能定理。通过本次实验，不仅加深了学生对动能定理这一基本物理规律的理解，也切实使学生感受到数字化技术为传统物理实验带来的深刻变革。

DIS系统的引入，使得实验数据的采集、处理与展示变得前所未有的高效与精确，极大地减少了人为误差，提升了实验的可靠性和科学性。在实验中，通过精确测量滑块在不同位置的速度，计算其动能变化量，并与恒力做功进行对比，获得了验证动能定理的直接证据。这一过程不仅加深了学生对动能定理物理意义的理解，也进一步彰显了物理规律的普遍性与严谨性。此外，还可以激

发学生对数字化技术在物理学习中的应用兴趣。DIS系统为师生提供了一个全新的视角，使其能够以更加直观、动态的方式探索物理世界，发现物理之美[2]。在未来的学习和探究中，数字化技术将继续发挥重要作用，推动物理学科的不断进步和发展。借助信息技术手段可以有效提高物理实验教学质量，因此物理教师应多学习信息技术，以促进个人信息素养的提升。

基金项目：2024年度福建省电化教育馆教育信息技术研究课题“教育数字化转型背景下高中物理教学范式研究”，编号：KT24084。

作者简介：赵登峰（1990—），男，一级教师，研究方向：中学物理实验教学，E-mail：852474260@qq.com。

参考文献

[1] 廖伯琴.普通高中教科书物理必修第二册[M].济南：山东科学技术出版社，2019.
[2] 谭旭艳，吕兵.借助DIS实验突破教学难点：以“磁场对通电导线的作用力”为例[J].实验教学与仪器，2024，41(02)：18-19.

（上接第94页）

正了“相线为正极、中性线为负极”的错误认知，知识掌握程度明显优于采用传统教学模式的班级。与此同时，利用废旧材料制作教具的方式，激发了学生对生活中科学现象的兴趣，部分学生主动尝试动手制作简易科学装置，不仅有效培养了自身的创新思维与实践操作能力，更体现了STEAM教育“通过跨学科实践提升学生综合能力”的理念[8]。

4 教具反思

尽管该教具在教学中取得了较好效果，但仍存在可改进之处。第一，稳定性方面，木质部件与手工组装的特点，导致长时间使用后易出现部件松动、转动不顺畅等问题，影响使用效果和使用寿命；第二，电流检测装置功能单一，仅能判断电流类型与方向，无法检测电流大小，难以满足更深入的实验教学需求；第三，手摇飞轮对操作者的力度控制要求较高，转速不均匀会导致输出电流不稳定，影响实验现象的准确性。

针对上述问题，后续可选用塑料或金属等更耐用的材料制作关键部件，提升结构稳定性；在检测装置中增设微安表、毫安表等测量元件，拓展电流检测功能；优化飞轮传动结构，增加调速装置，保证转子匀速旋转，使电流输出稳定。同时，从模块化设计优化的角度优化，有必要进一步规范各模块的接口标准，提升模块的互换性，提高维护便利性[7]。

5 结语

交直流并发发电机教具的设计与制作，以电磁感应定律、能量守恒定律等物理原理为核心支撑[3]，以直观性教学原则、建构主义学习理论、STEAM教育理念等为教学理论指导[2,4,8]，不仅为物理教学提供了一款实用、高效的辅助工具，有助于解决交流电知识教学的难点问题，更在培养学生科学素养、创新思维与实践能力方面发挥了积极作用。

该教具以生活中的废旧材料为载体，将抽象的物理知识转化为直观的实践操作，让学生在动手与观察中感受科学魅力，激发对物理学科的学习兴趣。未来，可在现有基础上进一步优化教具设计，拓展功能与应用范围，如增加三相交流电演示、电压调节等模块，使其在更多物理教学领域发挥作用。同时，以此为契机，引导更多教师参与自制教具开发，让生活中的废旧材料成为科学教学的重要载体，为培养学生科学精神与创新能力提供支持。

作者简介：陈振朝（1978—），男，高级教师，研究方向：中学物理教育教学、自制教具以及高效课堂活动设计，E-mail：13503395826@126.com。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准（2022年版）[S].北京：北京师范大学出版社，2022.
[2] 阎金铎，郭玉英.中学物理教学概论[M].第4版.北京：高等教育出版社，2019.
[3] 胡友秋，程福臻，叶邦角，等.电磁学[M].北京：科学出版社，2025.
[4] 李韦潼.关于建构主义学习理论在物理教学中应用的思考[J].中学物理教学参考，2016，45(16)：39-40.
[5] 卢伟.基于建构主义的高中物理课堂教学设计：以“曲线运动”为例[J].湖南中学物理，2021，36(08)：76-78.
[6] 赵凯华，罗蔚茵.新概念物理教程·力学[M].第2版.北京：高等教育出版社，2004.
[7] 袁源.模块化设计及其在机械基础教具改进中的应用研究[J].中国机械，2023(16)：117-120.
[8] 赵亮.STEAM理念在初中物理教学中的应用：以浙教版“大气的压强”教学为例[J].中学物理教学参考，2021，50(11)：17-19.