

文章编号:1005-4642(2022)12-0046-06

数字化多功能力学实验平台的开发与应用

刘作志

(高密市崇文中学, 山东 潍坊 261500)

摘 要:在物体匀速直线运动中测量其所受的某个力,是中学力学实验中的难点. 开发了数字化多功能力学实验平台,该平台整合了通用工程技术、传感器技术和微控制器技术,以较低的成本系统化地解决了该难点,改进了多项力学实验. 该平台还可用于设计创新实验,探究各类场量的空间分布问题.

关键词:力学实验平台;教具制作;实验探究;数字化实验

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.12.008

中学力学中有一类实验需要在匀速直线运动中测量物体所受某个力的大小,例如“测量滑动摩擦力的大小”“测量斜面的机械效率”“探究滑轮组的省力情况”等. 这类实验存在以下难点:

- 1) 学生很难精确控制物体做匀速直线运动;
- 2) 物体是否匀速直线运动出自实验者的主观判断;
- 3) 兼顾匀速运动的同时读出测力计的示数非常困难^[1].

为了破解以上难点,各类实验的改进方案被提出,尽管这些方案能解决部分难点,但存在实验器械复杂、实验成本高昂、应用过程繁琐等问题,且没有通用的方案能系统地破解该类实验难点. 针对该状况,本文所述的多功能数字化力学实验平台,以较低的成本系统化地破解了以上难点,可改进多项力学实验.

1 多功能力学实验平台的开发

1.1 设计原则与思路

从教具的实用价值出发,本实验平台的开发坚持经济性、便捷性、通用性 3 个原则^[2]. 一般来说,教具的推广价值与其成本成反比,昂贵的教具很难被学校充足采购. 另外,准备和操作费时的教具也很难被教师经常采用. 除了降低教具的成

本和复杂性外,增强其通用性也是提高教具性价比的方案.

基于以上原则,实验平台要实现的主要功能为:能够在物体沿任意方向做匀速直线运动的过程中测量其受力情况. 要实现该功能必须解决以下问题:

- 1) 控制问题,即能够控制物体做匀速直线运动;
- 2) 测量问题,即能够测量物体在运动中的受力情况;
- 3) 支撑问题,即能够便捷地实现平台的方向变换.

根据以上问题,设计的实验平台系统架构如图 1 所示.

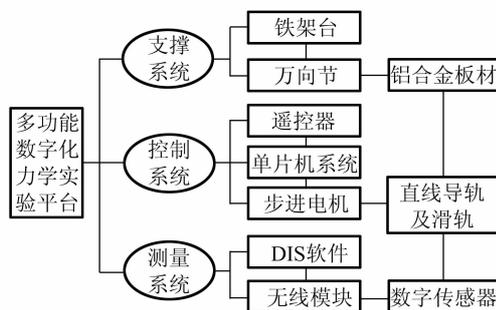


图 1 实验平台的系统架构

收稿日期:2022-06-03;修改日期:2022-07-13

基金项目:山东省教育科学“十四五”规划课题项目(No. 2021ZC220)

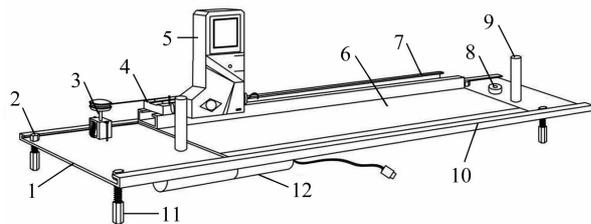
作者简介:刘作志(1987-),男,山东高密人,高密市崇文中学二级教师,硕士,从事初中物理教学工作. E-mail: lzuozhi2010@163.com

利用步进电机(负载范围内有可靠的匀速特征)配合直线导轨解决运动的匀速直线问题;利用单片机和遥控器实现对步进电机转动时长、转动速度的远程控制;利用数字传感器配合无线模块实现准确、便捷地数据测量;利用万向节配合铁架台实现平台主体在 3 个维度上的自由变换。

1.2 教具材料与结构

实验器材:铝合金插槽型板材 1 块(70 cm×12 cm×0.5 cm),PVC 板材 1 块(60 cm×11.5 cm×0.3 cm),28BYJ-48 型步进电机 1 台,微控制器驱动套装 1 副;双轴直线导轨 1 条(长 60 cm),配套滑块 2 个,直流电源 1 个(5 V),可粘贴金属标尺 1 条,气泡水平仪 1 枚,支架固件若干。

按图 2 所示的实验平台设计图进行组装。铝合金板材插接 PVC 薄板,构成实验平台主体;4 颗螺丝配合可调支脚和水平仪在支撑平台主体的同时,可实现调平功能;数字传感器固定在滑块上,步进电机通过细线与滑块相连,可拉动滑块在双轴直线导轨上做匀速直线运动;5 V 直流电源为步进电机供电,同时由微控制器模块实现对电机的远程控制;固件根据实验需要可固定不同器件;标尺可以方便读出物体移动的距离;实验平台底部固定的万向节,可配合铁架台实现平台方向变换。



1. 铝合金板材 2. 螺丝 3. 步进电机 4. 滑块 5. 力传感器 6. PVC 薄板 7. 双轴直线导轨 8. 水平仪 9. 支架 10. 标尺 11. 可调支脚 12. 直流电源

图 2 实验平台设计图

2 基于平衡状态的改进实验实例

2.1 探究影响滑动摩擦力大小的因素

2.1.1 实验方案

1)将实验平台水平放置,调节支脚,直至水平仪显示水平。在滑块上固定力传感器和数显模块,传感器的后方挂 1 块各面粗糙程度均不同的

木块,如图 3 所示。

2)按下遥控器开关,使传感器拉动木块做匀速直线运动,读出数显模块上摩擦力的大小。

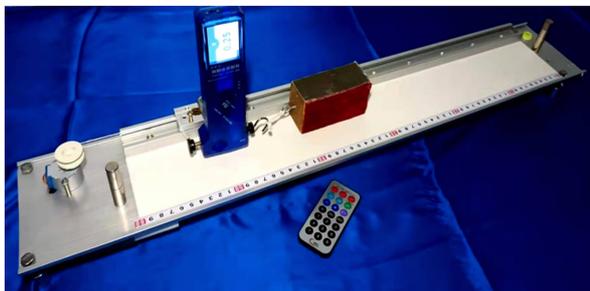


图 3 测量滑动摩擦力

通过以上步骤,可以进行以下探究:a. 翻转木块,探究滑动摩擦力与物体表面粗糙程度的关系;b. 在木块上加减钩码,探究滑动摩擦力与压力的关系;c. 改变电机的转速,探究速度对滑动摩擦力的影响。

作为半定量探究实验,以上方案仅适用于初中学段。对于高中学段的实验教学,可将数显模块更换为无线模块,并将数据采集器连接到计算机,配合 DISLab 软件测算动摩擦因数,表 1 是使用 DISLab 软件(朗威 8.0)测得的数据。

表 1 测量动摩擦因数的实验数据

F_N/N	f/N	μ	F_N/N	f/N	μ
1.20	0.32	0.267	1.79	0.47	0.263
1.40	0.37	0.264	1.98	0.53	0.268
1.59	0.42	0.264	2.18	0.58	0.266

2.1.2 评估与讨论

在用传感器测量滑动摩擦力时,常遇到数据有大幅波动的问题,有教师解释该问题是由接触面的不均匀、不平整所致^[3]。采用本实验平台探究的过程中发现,该问题主要是由物块在快速运动中的震动所致。如图 4 所示,1 段是力传感器空载时采集到的数据,2 段是物块由静止到运动采集到的数据,3~5 段是不同大小压力下测得的滑动摩擦力(在物块运动过程中,逐次添加等质量的钩码)。本实验平台的步进电机可以使物块以 0.025 cm/s 的速度做匀速直线运动,可以看出:3~5 段的数据波动与空载传感器的数据波动相近,均小于 0.05 N。

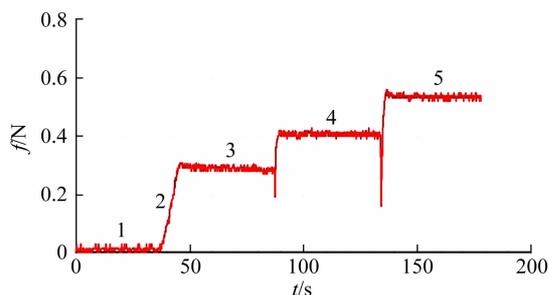


图4 低速下的滑动摩擦力测量

由本实验方案不难想到,只需将平台倾斜,就能用其测量斜面的机械效率.如图5所示,磁吸指针可方便读出物体移动的距离,下端的量角器可读出角度,距离读取和角度测量也可采用数字化解决方案,但从教学意义考虑,实验的数字化应适度使用.



图5 测量斜面的机械效率

2.2 测量滑轮组的机械效率

2.2.1 实验方案

1) 调节万向节,将实验平台固定在竖直方向上,在平台固件上组装滑轮组,如图6所示.

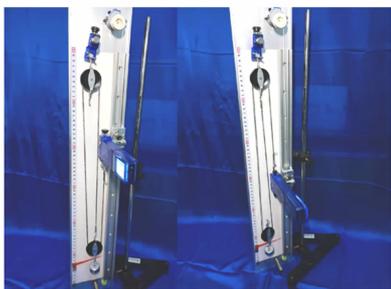


图6 测量滑轮组的机械效率

2) 利用遥控器控制力传感器拉动绳端,利用数显模块读取绳端的拉力,利用磁吸指针读取物体和绳端移动的距离,反向转动复位,重复实验.

3) 将测得的数据填入表格,根据公式计算出滑轮组的机械效率.

4) 增减钩码、更换滑轮和绳子,探究影响滑轮组机械效率的因素.

2.2.2 评估与讨论

对于学生来说,能正确组装滑轮组是必要的,反复拆装滑轮组是非必要的;会读取、记录所需要的数据并进行正确计算是必要的,能在竖直匀速拉动中读出测力计示数是非必要的.利用本实验平台开展滑轮组系列实验,操作方便、效率高,能让学生将更多的精力投入到对问题的探究中.

由于受传统弹簧测力计的结构和功能制约,因此做滑轮组相关实验时存在诸多难点,例如:滑轮组承担物重的绳子股数为偶数时,需要向下拉动,此时测力计存在调零问题;弹簧测力计较难开展水平滑轮组机械效率的测量.而本实验平台利用数字化器件可有效避免以上问题,从而使学生可以轻松地完成该类问题的探究.

2.3 验证匀速直线运动物体的受力平衡

2.3.1 实验方案

1) 将实验平台水平放置,在导轨上安装2块滑块并固定力传感器,挂钩相对,在两传感器之间悬挂1片瓦楞纸板,如图7所示.

2) 控制其中1个传感器带动纸片,并和另一个传感器一起做匀速直线运动,绘制两传感器的 $F-t$ 图像,如图8所示,发现2幅图像关于 t 轴对称,证明匀速直线运动中的纸板受力平衡.



图7 平衡力实验

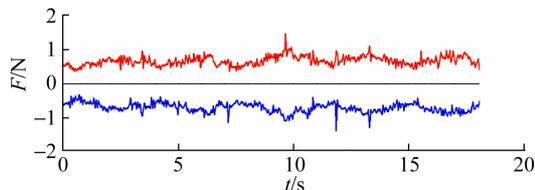


图8 平衡力的大小关系

2.3.2 评估与讨论

物体的平衡状态有2种:静止和匀速直线运动.教材多数围绕静止的平衡状态展开实验设

计,本方案发挥教具的独特功能,测量纸板在匀速直线运动中的受力情况,是对教材实验内容的补充. 实验中应该指出纸板与传感器之间是非刚性连接,加之纸板自身的重力影响,纸板在水平方向上的受力并非严格的二力平衡,纸板也并非一直保持匀速直线运动状态. 在实际教学中可利用 DISLab 软件的同步录制功能,让学生回看纸板在图像不对称的时刻运动有何异常,这将有助于学生深入理解运动和力的关系.

3 基于坐标变换的创新应用实例

物体做匀速直线运动意味着物体运动的距离始终与运动时间成正比,即物体的位置与时刻存在简单的对应关系,因此可将测量到的时间坐标转换为空间坐标.

3.1 探究液体压强与深度的关系

3.1.1 实验方案

1) 在 1 段外径为 6 mm 的 PUA 管中装满水, 下端与相对压强传感器相连, 上端安装阀门并将其固定在滑块上, 如图 9 所示.

2) 打开 DISLab 软件中的“组合图线”, 将纵坐标设置为压强 p , 横坐标设置为 h , 变量 v 和 t 分别为滑块的运动速度和运动时间, 其中 $v = 0.06 \text{ cm/s}$.

3) 先将相对压强传感器调零, 利用遥控器控制水管匀速提升, 同时用软件实时绘制压强随深度变化的图像, 如图 10 所示.

4) 对图像进行线性拟合, 得到比例系数为 0.097 8, 与液体压强公式 $p = \rho gh$ 结果相符.

另外, 还可换 1 根装有酒精的 PUA 管重复该实验, 比较不同液体得到的比例系数之间的差别, 探究液体密度对液体压强的影响.

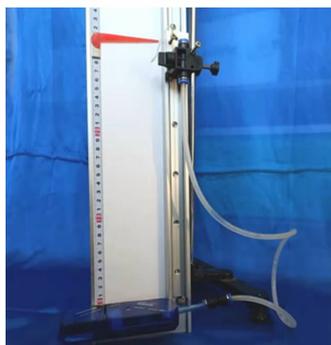


图 9 液体压强与深度的关系

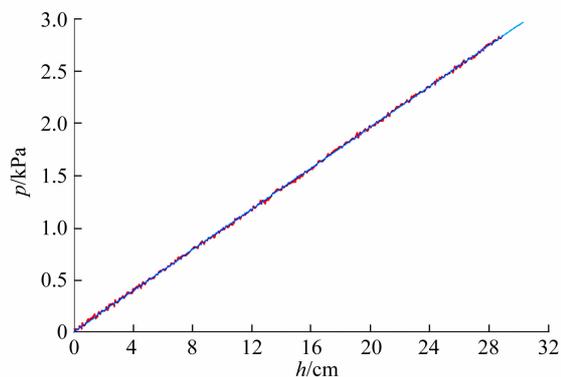


图 10 $p-h$ 图像

3.1.2 评估与讨论

根据相关参量计算或者实测出滑块的移动速度, 就能实时获取物体的位置坐标, 在测量的同时就能完成实验图像的绘制. 与手动采集的离散数据相比: 一方面用更少的时间完成了大样本的连续采集, 提高了实验效率; 另一方面实验现象与图像结果实时对应, 有利于学生物理概念的生成.

实验采用 PUA 管, 不仅在教学中能够方便引入对液体体积、液体形状等无关变量的讨论, 还有利于加深学生对液体压强规律本质的理解.

3.2 探究浮力与排开液体体积的关系

3.2.1 实验方案

1) 在力传感器的下方悬挂底面积为 S_1 的圆柱形金属块, 在金属块正下方放置内底面积为 S_2 的烧杯, 如图 11 所示.

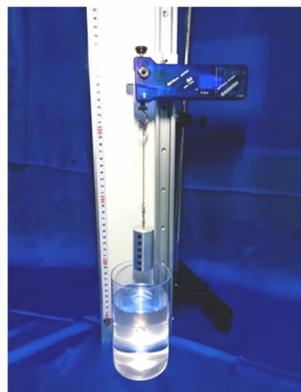


图 11 探究 $F_{\text{浮}}$ 与 $V_{\text{排}}$ 的关系

2) 在 DISLab 软件的表格中设置 $F_{\text{浮}} = G - F_{\text{拉}}$, $V_{\text{排}} = S_1 H = S_1 \frac{S_2}{S_2 - S_1} \Delta h = \frac{S_1 S_2 v}{S_2 - S_1} t$, 其中, G 为金属块自重, H 为金属块吃水深度, Δh 为金属

块下降的高度, v 为金属块的下降速度, t 为金属块下降的时间.

3) 利用遥控器控制金属块以速度 v 匀速下降, 以 2 Hz 的频率采集数据.

4) 绘制 $F_{\text{浮}}-V_{\text{排}}$ 图像, 取浸没前的一段图像进行线性拟合, 如图 12 所示, 拟合所得比例系数为 0.099, 与阿基米德原理相符.

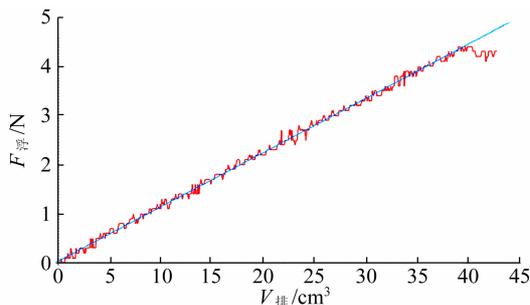


图 12 $F_{\text{浮}}-V_{\text{排}}$ 图像

3.2.2 评估与讨论

排开液体的体积 $V_{\text{排}}$ 虽然与金属块下降的时间 t 呈正比关系, 但实验中容易忽视的是^[4]: 金属块的吃水深度 H 并不等于金属块的下降高度 Δh , 这是由于金属块排开的水使得液面上升, 因此需要乘以系数 $\frac{S_2}{S_2-S_1}$, 具体推导过程不在此赘述. 本实验在收集数据之后, 可以分别绘出 $F_{\text{浮}}-t$, $F_{\text{浮}}-\Delta h$ 和 $F_{\text{浮}}-H$ 图像, 通过图像对比引导学生提出更深层次的问题, 并进一步开展相关的分析论证.

3.3 测量场的空间分布

基于本节所述基本原理, 还可以探索“场的空间分布测量”. 如图 13 所示, 可用手机环境光传感器和 Phyphox 软件与实验平台配合, 探究日光灯照度随距离的衰减; 还可用磁感应强度传感器与 DISLab 软件探究钕铁硼磁片的磁感应强度随距离的衰减.

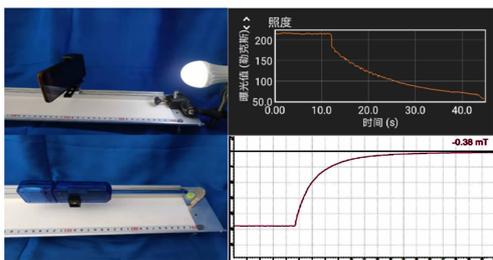


图 13 场分布的测量

4 实验平台的特点与价值

4.1 高技术与低成本

实验教具的低成本与高技术表面看是对立的, 但本质上却是统一的. 一方面, 本教具在整合通用工程技术、数字化实验技术与微控制器技术的基础上, 凸显了实验教学信息化的价值; 另一方面, 通过对大量实验案例的整合改进, 提升了教具的通用性, 同时在整体上降低了教具的成本.

4.2 小问题与大概念

本文介绍的实验平台, 其相关功能能够揭示出以前较难察觉的细节问题, 并能解决多个以前不能解决的问题. 如低速功能与摩擦力数据波动问题, 支撑功能与运动物体的受力平衡问题, 等等. 与此同时, 该实验平台还能为学科大概念教学提供新的视角. 该教具涉及的课题之所以能如此丰富, 其原因是教具设计把握了“运动与相互作用”这一基本概念在力学实验教学中的作用.

4.3 简捷性与自由度

本教具的结构简单, 原理简明, 使用方便, 功能多样. 学生既能快捷方便地完成实验操作, 又能在教材实验的基础上深化探究, 部分学生还可自行组装制作, 用以自主设计创新实验.

5 结束语

数字化实验与传统实验的整合值得深入探讨, 基于教学需求自主开发的数字化实验教具是实现 2 类实验资源深度融合的重要路径. 数字化教具开发的过程有助于教师的素养提升与专业发展. 当前数字化教具的开发除了要专注数字传感器的数据采集, 还要关注基于单片机系统的智能控制, 以挖掘数字化实验的教学价值.

参考文献:

- [1] 刘作志, 翟应品, 于鲁辉, 等. 巧用 DIS 滑杆机构破解力学实验难题[J]. 中学物理, 2020, 38(14): 63-65.
- [2] 刘济昌. 教具理论研究导论[M]. 北京: 教育科学出版社, 2011: 36-37.
- [3] 聂应才, 聂辰熙. 巧用力传感器研究滑动摩擦力[J]. 物理教师, 2019, 40(9): 56-58.
- [4] 黄少楚, 卢政, 王笑君, 等. 利用 DISLab 传感器进行浮力相关系列探究实验[J]. 物理通报, 2021(5): 111-114.

Development and application of digital multifunctional mechanical experiment platform

LIU Zuo-zhi

(Chongwen Middle School, Weifang 261500, China)

Abstract: In physical experiments, it is difficult to measure the force on an object in uniform linear motion. In this paper, the digital multifunctional mechanical experiment platform had been developed, which systematically solved the above-mentioned difficulty at a lower cost, and improved several mechanical experiments through integrating general engineering technology, sensor technology and microcontroller technology. In addition, according to the basic feature of uniform linear motion, the platform could also be used to design innovative experiments and explore the spatial distribution of various field quantities.

Key words: mechanical experiment platform; teaching aid production; experiment exploration; digital experiment

[责任编辑:郭 伟]

(上接 45 页)

Construction of evaluation system of physical experiment data analysis ability for senior high school students

LI Jia-hong, HU An-qi, LI He-wen, LI Chun-mi

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to implement the core competencies and values of physics in senior high school, the construction of evaluation system required defining clear core concepts and establishing clear construction principles. As mentioned above, specific indicators were abstracted from the process of experimental data analysis, as well scientific and objective level division was carried out. The constructed system consisted of three first-level indicators and seven second-level sub-indicators, which were divided into five levels according to their performance levels, so as to scientifically and effectively evaluate the data analysis ability of physics experiments of senior high school students, and to provide practical suggestions for front-line teaching and educational research.

Key words: core competencies and values; evaluation system; physical experiment data analysis ability; level division

[责任编辑:郭 伟]