文章编号:1005-4642(2023)09-0060-04

探究滑轮组机械效率实验装置的创新设计

陈剑峰
(莆田第二中学,福建 莆田 351131)

摘　要:利用 ESP32 自制力传感器,将装有绕线轮的电动机固定在力传感器上,匀速提升物体时可直接测量拉力,借助亚克力板上的刻度线记录重物与自由端移动的距离. 分别改变物重、动滑轮重、摩擦情况和滑轮组的绕线方式,探究了提升滑轮组机械效率的方式. 该实验能够充分发挥课程的实践性,提高学生分析问题和解决问题的能力,促进学生深度学习,有效培养学生的学科核心素养.

关键词:滑轮组;机械效率;数字化;匀速直线运动
中图分类号:G633.7　　**文献标识码**:A　　DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2023.09.010

“机械效率”是人教版物理八年级下册第十二章第 3 节的内容,教材利用铁架台、滑轮组和木直尺等器材组装实验装置,测量不同物重下滑轮组的机械效率,通过分析实验数据归纳出提高滑轮组机械效率的方法. 经实践,教材实验存在以下不足:

a. 滑轮组组装难度较大;

b. 利用弹簧测力计匀速拉动重物,同时又要读数,误差较大;

c. 利用木直尺测量重物移动的距离和弹簧测力计移动的距离,操作困难;

d. 教材只研究了改变物重对滑轮组机械效率的影响,未进一步探究机械效率与动滑轮的重力、摩擦情况及滑轮绕线情况的关系;

e. 教材实验操作时间较长,难以在课时有限的情况下对数据进行充分分析[1].

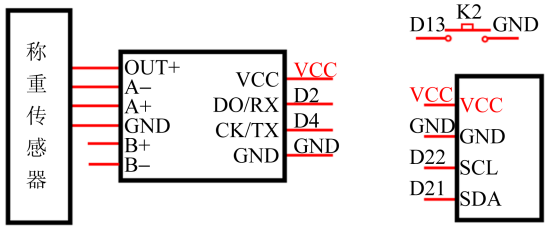
为解决以上问题,本文设计并制作了数字化探究滑轮组机械效率的装置,探究了滑轮组机械效率与物重、动滑轮重、摩擦情况及滑轮组绕线方式的关系.

1　实验装置的设计与制作

实验器材:ESP-WROOM-32 模块、HX711 称重传感器 AD 模块、1 kg 称重传感器、OLED 模块、电路板、制作力传感器的电子元件、12 V 直流电源(可调压)、DC5.5-2.1 母头、钮子开关(6 脚 3 挡)、45 转 12 V 的 37GB520 减速电机、电机支架、木板底座、2020 铝轨框架、亚克力板(UV 刻度线)、滑轮、硅胶垫片、磁力配重片、3D 打印绕线盘和传感器外壳等配件.

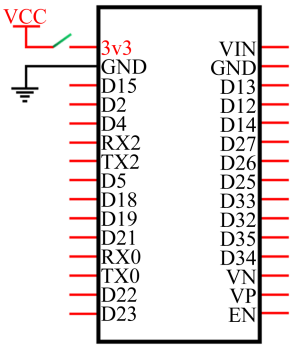
1.1　力传感器系统的搭建

1)电路焊接. 将图 1 所示的各元件固定在电路板上,然后进行焊接,具体操作为:利用 3.2 V 磷酸锂电池为 ESP32 供电,将 HX711 模块的 VCC,GND,DO/RX 和 CK/TX 引脚分别与 ESP32 的 VCC,GND,D2 和 D4 引脚连接,OLED 的 VCC,GND,SCL 和 SDA 引脚分别与 ESP32 的 VCC,GND,D22 和 D21 引脚相连接,并在 ESP32 的 D13 与 GND 引脚之间接微动开关(调零与设置小数位数).



(a)HX711　　(b)OLED

收稿日期:2023-05-08;修改日期:2023-07-18
作者简介:陈剑峰(1983—),男,福建莆田人,莆田第二中学一级教师,主要从事中学物理实验教学. E-mail:250520974@qq.com



(c)ESP32

图 1　自制力传感器的电子元件

2)程序设计. 利用 Arduino 编程,将程序上传到 ESP32 模块上(需要利用钩码对传感器进行校准).

3)拓展功能设计. 利用 Phyphox editor 或 VB 编辑实验专用软件,通过蓝牙实时显示数据,方便课堂演示、观察及记录数据.

1.2　实验装置的制作

1)将尺寸为 60 cm×40 cm 带刻度线的亚克力板嵌入到 2020 铝型材制作的框架内,竖直固定在水平木板底座上,以方便测量绳子自由端移动的距离 s 和物体上升的距离 h. 框架中间安装可伸缩的螺杆用来挂动滑轮,辅助绕线,降低绕线难度.

2)将 OLED 显示屏、传感器调零开关、传感器电源开关、电机电源 DC 插头和控制电机的钮子开关安装在亚克力板相应位置,焊接电路.

3)用 M5 长螺丝分别穿过称重传感器的螺孔、厚垫片和 2020 铝型材专用螺母,并将称重传感器和减速电机固定在轨道上,将 3D 打印的绕线轮固定在电机转轴上,利用固定在绕线轮上的蜡线匀速提升重物,可直接显示拉力大小.

4)设计上、下轨道,快速固定力传感器和电机,实现竖直向上施力或向下施力.

5)利用磁吸配重片改变动滑轮的重力,在动滑轮轴上套不同厚度的硅胶垫片(见图 2),来改变动滑轮、轮轴及硅胶垫片之间的摩擦力(轮轴前端有螺帽,将硅胶垫片环套进去,硅胶垫片越厚,轮、轴和硅胶垫片之间的摩擦力越大). 制作完成的实验装置如图 3 所示.

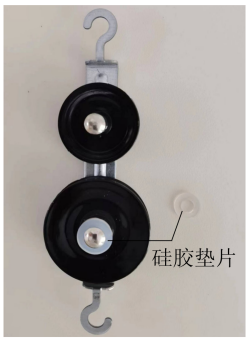


图 2　改变动滑轮摩擦结构

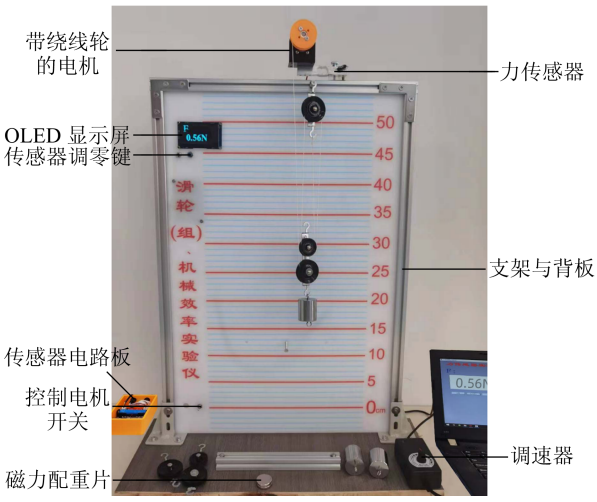


图 3　实验装置整体图

2　实　验

2.1　探究物重对滑轮组机械效率的影响

实验步骤:

1)将测力系统固定在下轨道上,闭合自制力传感器的电源开关,按下力传感器的清零键,完成测力系统调零.

2)将动滑轮挂在辅助螺杆上绕线,并在动滑轮下方挂上钩码,记录重力 $G_{物}$,标记物体与绳子自由端的位置.

3)打开电机控制开关(电机正转),匀速提升重物,让重物提升高度为 $h=0.05$ m,闭合开关,记录拉力 F 和绳子自由端移动的距离 s.

4)分别改变 $G_{物}$ 和滑轮组绕线方式(绕线方式不同,绳子受力段数 n 不同),重复以上操作,并记录数据,结果如表 1 所示.

表 1 不同物重对应的滑轮组机械效率实验数据

i	绕线情况	$G_{物}$/N	$W_{有}$/J	F/N	s/m	$W_{总}$/J	η
1		1.96	0.098	0.80	0.15	0.120	81.7%
2	$n=3$	3.92	0.196	1.51	0.15	0.227	86.5%
3		5.88	0.294	2.20	0.15	0.330	89.1%
4		1.96	0.098	0.63	0.20	0.126	77.8%
5	$n=4$	3.92	0.196	1.22	0.20	0.244	80.3%
6		5.88	0.294	1.75	0.20	0.350	84.0%

由表 1 可知：当其他条件不变，物重越重，有用功占总功的比例越大，滑轮组的机械效率越高；滑轮组的机械效率还与绳子受力段数 n 有关，即同等物重下，n 越大，摩擦力做功越多，即额外功越多，滑轮组的机械效率越低.

2.2 探究动滑轮重对滑轮组机械效率的影响

固定钩码数量和绕线方式，在 $G_{物}=1.96$ N，$h=0.05$ m，$s=0.15$ m 和 $n=3$ 的条件下，改变动滑轮重 $G_{动}$，重复 2.1 中的实验步骤，探究动滑轮重 $G_{动}$ 对滑轮组机械效率 η 的影响，此时系统的有用功 $W_{有}=G_{物}h=0.098$ J，得到的实验结果如表 2 所示.

表 2 不同动滑轮重对应的滑轮组机械效率实验数据

i	$G_{动}$/N	F/N	$W_{总}$/J	η
1	0.21	0.80	0.120	81.7%
2	0.37	0.85	0.128	76.9%
3	0.52	0.91	0.137	71.8%

由表 2 可知：当其他条件不变时，动滑轮的重力越大，额外功越多，滑轮组的机械效率越低.

2.3 探究不同摩擦情况下的滑轮组机械效率

固定钩码数量和绕线方式，在 $G_{物}=1.96$ N，$h=0.05$ m，$s=0.15$ m 和 $n=3$ 的条件下，通过在动滑轮轴端套上不同厚度 d 的硅胶垫片来改变动滑轮的摩擦情况，重复 2.1 中的实验步骤，探究不同摩擦情况下，滑轮组的机械效率 η，此时系统的有用功（$W_{有}=G_{物}h=0.098$ J），得到的实验结果如表 3 所示.

由表 3 可知：当其他条件不变时，d 越大，摩擦力越大，额外功越多，滑轮组的机械效率越低.

表 3 不同摩擦情况下滑轮组机械效率的实验数据

i	d/mm	F/N	$W_{总}$/J	η
1	1.0	0.79	0.119	82.7%
2	1.5	0.84	0.126	77.8%
3	2.0	0.93	0.140	70.3%

综上所述，提高滑轮组机械效率的方法有：

a. 减小动滑轮的质量和滑轮组的摩擦来减少额外功；

b. 在额外功不变的情况下，增加物体的重力可增大有用功.

3 结束语

现代信息技术正深刻地影响着中学物理实验教学，自制教具中融入数字化信息系统等现代化教学技术已成为新课程实施的有效途径[2]. 本实验利用自制数字化滑轮组机械效率实验装置，引导学生自主探究滑轮组的机械效率与物重、动滑轮重、摩擦力及滑轮组绕线情况的关系，能够有效地提高学生分析问题和解决问题的能力，让学生在“做中学，学中思”，并充分发挥了课程的实践性，以促进学生深度学习，有效培养学生的学科核心素养.

参考文献：

[1] 陈仁多. 虎头蛇尾的遗憾——执教“测滑轮组机械效率”教学反思[J]. 科学咨询(科技·管理)，2015(9)：83.

[2] 陈剑峰. 基于 ESP32 与 Phyphox 的多功能振动实验装置的设计与实验[J]. 物理教师，2022，43(8)：49-51.

Experimental device for exploring mechanical efficiency of pulley block

CHEN Jianfeng
(Putian No. 2 Middle School, Putian 351131, China)

Abstract: The electric motor with a winding wheel was fixed on the self-made force sensor, and the force could be directly measured when lifting the object at a constant speed. The distance between the weight and the free end was measured by using the scale line on the acrylic plate. The way to improve the mechanical efficiency of the pulley block was explored by changing the weight of the object, the weight of the movable pulley, the friction situation and the winding mode of the pulley block. This experiment fully utilized the practicality of the course, enhanced students' ability to analyze and solve problems, promoted deep learning, and effectively cultivated students' core competencies in the subject.

Key words: pulley block; mechanical efficiency; digitalization; uniform linear motion

[编辑:龙玉梅]

欢迎订阅　欢迎投稿

《物理实验》是由教育部主管、东北师范大学主办的学术期刊,是教育部高等学校物理学类专业教学指导委员会会刊,是全国高等学校实验物理教学研究会副秘书长单位,是全国高等学校物理演示实验教学研究会常务理事单位. 本刊宗旨主要是交流物理实验研究成果,介绍国内外物理实验教学经验,培养读者的科学精神与创新能力,引领我国物理实验教学的改革与发展. 杂志着重刊载对物理实验教学改革与发展具有前瞻性,对实验教学的具体问题具有指导性,对新科技成果应用于实验教学具有深度融合性,对传统实验内容具有拓展性和创新性的论文. 目前开设的主要栏目有:前沿导读、近代与综合实验、普通物理实验、专家讲坛、拓展与创新、专题、互联网+物理、学生园地、基础教育等.《物理实验》适合于物理实验工作者、理工科学生以及教学仪器研制技术人员阅读.

《物理实验》为月刊,全国各地邮局均可订阅,邮发代号为 12-44. 若错过邮局订阅时间,可直接与编辑部联系.

物理实验杂志