

新式向心力探究与离心现象演示一体仪^{*}

郑宏伟 (江苏省清江中学 江苏 223001)

于文高 (江苏省淮安市教学研究室 江苏 223001)

丁 松 (江苏省清江中学 江苏 223001)

摘 要 通过采用手机无线投屏、电机无线遥控等现代信息技术手段,运用经过自行改装的数字转速表、电子秤和数显游标卡尺等新式测量仪器,设计和制作了向心力探究和离心现象演示一体仪。此装置具有可视性好、误差小、效率高、功能多、原理简单、操作方便等特点,既可用于定量探究向心力大小,也可用于演示多个典型离心现象。

关键词 向心力 离心现象 新式测量仪器

文章编号 1002-0748(2021)2-0027

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

近年来,很多物理老师就创新和改进定量探究向心力的实验进行了深入的研究,提出了不少改进方案,开发出不少新式装置^[1-5]。这些新式装置中,调速电机、力传感器、光电计时器、电脑等被普遍采用,还有的将单片机编程、蓝牙无线传输、手机无线同屏等技术用于实验之中,使实验的效果得到明显改善。笔者一方面对其中一些好的设计方案进行了学习和借鉴,一方面认真分析了现有装置仍然存在的一些问题,由此重新设计和制作了新式测量装置,使这些问题得到了有效解决。

1 实验装置的设计

1.1 现有实验装置中几个值得改进的地方

(1) 实验可视性欠佳

因历次的高中物理高考《考试说明》中都没有与“探究向心力”这一实验相关的要求,学校也就不会装备足够数量的此实验装置供学生分组实验使用,因此此实验几乎全部采用演示实验方案。而在演示时,实验装置放在讲台上,离得远的学生对实验装置只能看到个大概,关键细节看不清,尤其是半径等的数值看不到。

(2) 实验操作繁琐低效

在做探究角速度一定,向心力与半径的关系的实验时,大多数已有的实验装置,都是每改变一次半径时,需要先停机,手工调整好半径,再启动电机,调

整电机转速到稳定在同一值,最后记录数据。而笔者通过实际操作发现,因为电机处于非满功率带负载运转状态,驱动力较小,装置加速较慢,尤其当转速接近设定值时,加速更慢,此外还需多次微调,才能基本实现转速为同一值,这一过程耗时较多。另外,因无法用手协助,每次等待电机自己完全停下,也需一定的时间。由于多次重复这样的耗时过程,会让学生感到繁琐和无趣。

(3) 实验精度仍待提高

多数实验装置对小球采用的是线拉或穿杆固定的方式,当向心力较小时,摩擦力的影响就会凸显,此时测力装置的灵敏度显得不够,所测得的向心力误差会较大;有些装置旋转过程中,力传感器也在旋转,其自身会有离心力产生,从而带来系统误差;使用光电门的实验装置,由于每转一周才采集一次数据,对转速的瞬时值的反映不够及时准确;现有的一般装置在对半径进行测量时,都要在停机情况下通过目测小球对应刻度尺上的数值读出,不仅读数不便,偶然误差也会较大。

(4) 对学生实验能力的培养效果欠佳

采用光电门、传感器、单片机等与电脑连接采集数据并进行数据处理的实验装置,虽然有自动化程度高、数据处理方便快捷的优点,但由于实验装置测量原理不直观,电脑处理数据的操作方法学生陌生,操

^{*} 基金项目: 本文及本文介绍的实验装置均系江苏省中小学教学研究第十三期立项课题“运用现代信息技术优化和创新高中物理演示实验的实践研究”(项目编号: 2019JK13-L240)的阶段性研究成果。

作过程对技巧性和技术性要求较高,让学生完成实验会比较困难,为了省时省事,实验演示和数据处理基本由老师完成,学生以听和看为主。由于学生没有独自经历数据的记录、分析、猜想、处理和验证等探究过程,从培养学生的动手能力、对数据的分析预判能力、计算能力、绘图能力等重要实验能力角度看,效果欠佳。

(5) 实验装置功能单一

现有探究向心力的实验装置,几乎都只针对探究向心力大小进行设计,不能用来进行其他方面的实验演示。

(6) 个人制作困难

有些装置涉及的技术过于专业,一般人无法掌握,在装置没有得到推广使用的情况下,想个人制作,不太可能,对绝大多数老师来说,也就失去了利用的价值。

1.2 重新设计的方案

(1) 采用透明圆桶式设计

好处有:①便于在桶上部灵活选择位置固定手机;②可以对桶外壁施加摩擦力,使桶迅速停转,以缩短操作时间;③可灵活利用桶壁和桶底做其他与圆周运动有关的演示实验,实现一机多用;④桶壁相当于防护罩,提高安全性。

(2) 采用手机无线投屏进行画面放大

手机可轻易进行变焦和自动对焦,利用其无线投屏功能与大屏显示设备进行连接,实时将运动中的实验装置的细节画面传送到大屏上,并以静态放大显示,大大提高了实验的可视性,方便所有学生观察和记录数据。

(3) 采用遥控电机改变小球圆周运动半径

笔者首次引入遥控电机控制半径变化,经实测,在稳定转速下,通过遥控改变小球圆周运动半径,通过大屏幕上显示的数字转速表和电子秤示数记录不同半径下的向心力大小,1分钟内可轻松完成5组以上实验数据的记录。相比于传统的每次需停机后手动改变半径的方式,大大简化了实验的操作流程,节省了不少宝贵时间。同时,因只需按遥控器即可完成操作过程,很方便让学生进行操作。

(4) 采用新式专用测量仪器进行测量

这些仪器有体积小、外观简洁、功能专一、示数清晰、精确度高、稳定可靠、使用方便、容易购买等优点,只要对它们稍加改装,其优点即可为我所用。笔者购买了精度为0.01g的电子秤、每转一周进行8次数据采样的数字转速表和精度为0.1mm的数显游标卡尺,对仪器进行少许改装后用来测向心力、

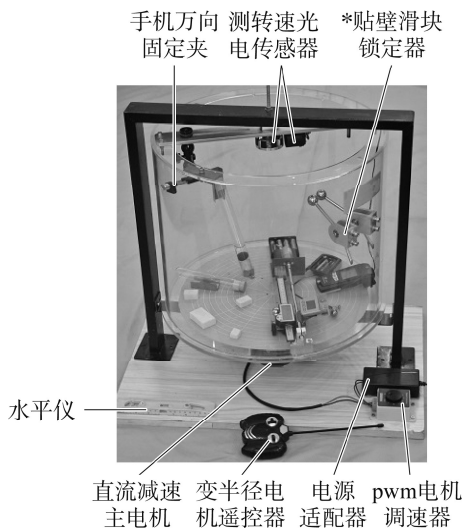


图1 实验装置照片

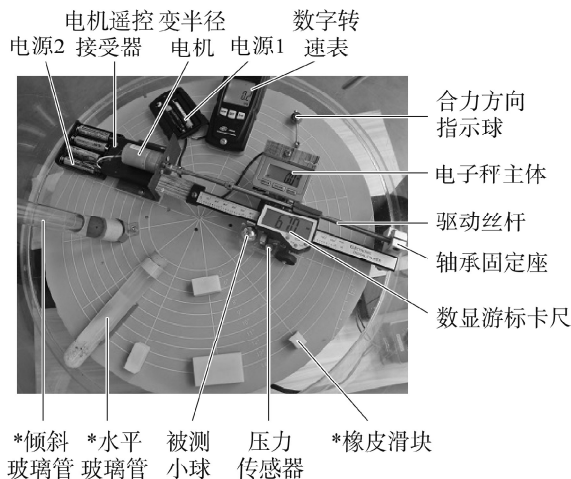


图2 装置主演示区俯视图

(注:图1、2中的橡皮、水平玻璃管、倾斜玻璃管、贴壁滑块锁定器是演示离心现象所用。)

转速和半径。相比于采用光电门、单片机、DIS等技术方案,测量的方法简单、直观,向心力、转速、半径的数值在电子大屏幕上同框显示,方便让所有学生对三个物理量的动态变化情况同时进行观察,和对数据进行记录。

(5) 采取多项措施减小误差

除了利用高精度测量仪器来减小测量误差外,笔者舍弃常见的将小球穿杆固定和线拉固定的方式,而是将其置于透明水平槽中,靠滚动与压力传感器发生正向挤压,从而避免了静摩擦力和滑动摩擦力的影响,明显提高了小半径、慢转速情况下实验装置测量的灵敏度和精确度。同时,针对力传感器在旋转过程中由于自身离心力而引起的误差,专门设计制作了主动矫正装置,通过矫正,基本可以消除由

力传感器自身离心力带来的误差。另外,通过装配的水平仪对装置进行水平调整,避免因装置不水平造成干扰,通过配重块对装置的质心位置进行微调,减轻圆桶因偏心转动而产生的振动。

(6) 进行多功能设计

本实验装置还可以用于演示做匀速圆周运动的小球受合外力方向指向圆心、水平转台上的滑块达到一定转速时向外甩出、贴着竖直筒壁的滑块旋转时不会下滑、旋转过程中倾斜玻璃管内的球往上跑、水往上流,及模拟离心机分离液体等典型现象,为离心现象一节的学习提供实验支持。

2 探究向心力的方法

实验前,要先调整装置质心位于转轴上。调整方法如下:将手机等安放到位,将装置平躺放置,如图 3 所示。圆桶在重力作用下自动转向重心朝下,调整桶口边的配重块位置,使圆桶转过任意角度都不自发转动。然后再正放装置,根据水平仪指示,调节底座水平。再打开手机投屏 App,通过无线投屏使手机屏幕画面在电子大屏上显示,最后打开手机拍照界面,调节手机万向固定夹以改变摄像头视角,使摄像头画面符合观察要求。

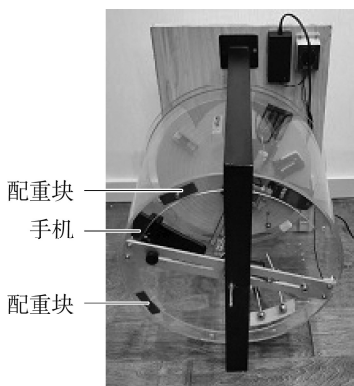


图 3 调整装置质心位于转轴上

2.1 显示小球做匀速圆周运动时合外力方向指向圆心

将合力方向指示球放到偏离半径方向的位置,如图 4(a)所示。接通主机电源,调节 pwm 电机调速器旋钮,使主电机加速旋转。学生通过大屏幕,可看到当转速增大和减小过程中,合力方向指示球受拉力方向没有指向圆心,但当装置匀速旋转时,拉力方向将指向圆心,情况如图 4(b)所示。此外,还看到拴着小球的橡皮筋随转速变大而伸长。该现象说明了小球做匀速圆周运动时,所受合力方向指向圆心,并且转速越大,合力越大。

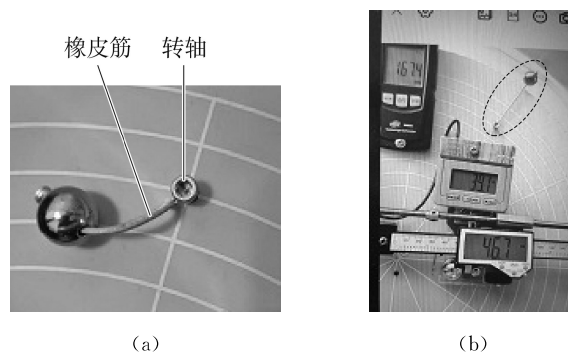


图 4 匀速转动时球受拉力方向指向圆心

2.2 探究转速一定时,向心力和半径关系

将实验小球放入如图 5 所示的测力装置的透明托槽内,启动电机。当电机转速稳定时,按变化半径电机遥控器遥控按钮,改变半径,通过大屏幕记录多组向心力和相应半径数值,如图 6 所示。



图 5 可移动测力装置

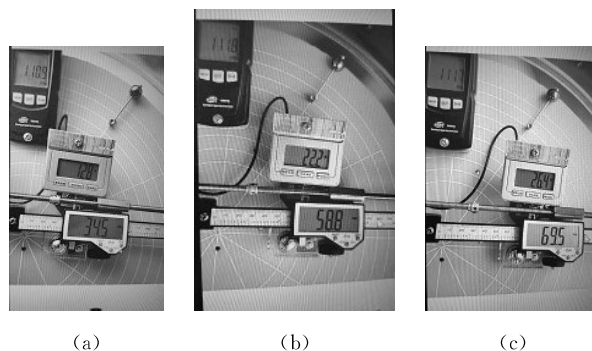


图 6 相同转速,不同半径下的实验情况电脑屏截图

2.3 探究半径一定时,向心力和转速关系

保持半径不变,调节主电机调速器旋钮,改变主电机转速,记录多组转速稳定时的向心力和相应转速的数值。

2.4 探究半径和转速一定时,向心力和小球质量关系

取两个大小相近,质量不同的小球,做相同半径、相同转速情况下小球质量不同的两次实验,记录小球质量和相应向心力的数值。

完成以上 3 组实验的数据采集后,让学生分组分析讨论数据间的定量关系,并在提供的坐标纸上分别

绘制向心力与半径和向心力与转速平方关系的图象。

为检验在力较小情况下本实验装置的灵敏度和测量精度,笔者特意选取小半径和低转速情况下测得的部分数据,用 Excel 绘制出向心力与半径及向

心力与转速平方关系的图象,结果如图 7 所示。从图象可看出,即使在小半径和低转速情况下,数据点仍然基本没有偏离图线,说明在力较小时,本实验装置的灵敏度和测量精度仍表现良好。

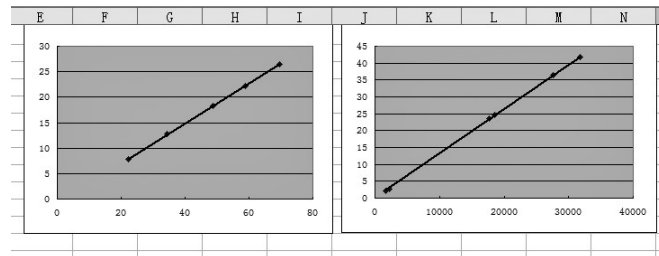


图 7 向心力与半径关系图像和向心力与转速平方关系图像

3 选材与制作

3.1 器材的购置

所需大多数器材均可从网上购买。其中主电机可选用“12 V, 20 W”,额定转速为 200~300 r/min 的减速电机,变半径电机可选用 6 V 的 370 型减速电机,额定转速可以取 300~600 r/min 之间。

3.2 贴壁滑块锁定器制作

该装置主要用于有关离心现象的教学。

如图 8 所示,开始时橡皮擦被压贴在圆桶壁上,当圆桶转速达到一定值时,利用配重球的离心力带动弯杆绕其固定轴转动,使弯杆下端与橡皮分离,此时可看到圆桶旋转时橡皮紧贴在竖直桶壁上不下滑的现象。

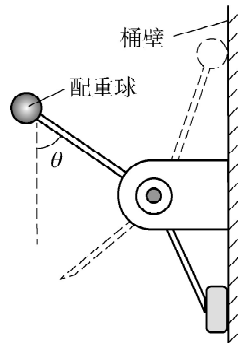


图 8 贴壁滑块锁定器结构图

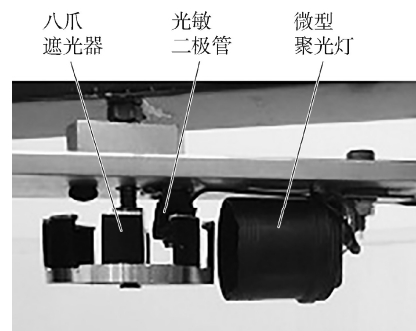
图 8 中 θ 不宜太大或太小。太大会导致圆桶加速旋转过程中橡皮迟迟不能被释放,太小又会导致橡皮被过早释放,会顺着桶壁滑下去。 θ 的值可以根据实际情况通过试验确定。

3.3 数显转速表的改装

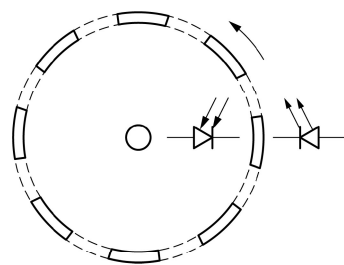
通常市面上的数显转速表有两大类,一类是非接触式的,这类转速表原理与光电门类似,实际上是对旋转周期进行测量,进而通过电路转换为转速,当转速较慢时,这类表无法及时反映转速的瞬时值。另一类是接触式的,这类表通常在其测量杆旋转一周的过程中,电路会进行多次光电信号采集,因此能较好反映转速瞬时值,这一点在转速较低时很重要。

笔者对购买的接触式转速表内部光电传感组件

进行研究,发现其测量杆每旋转一周,会进行 8 次光电信号采集。由于转速表在桶内找不到恰当的直接安装和连接的位置,笔者拆除了表内原配的测量杆和光电传感组件,自制了如图 9(a)所示的光电传感装置,将该装置安装到桶口的悬臂下,此传感器原理图如图 9(b)所示。图中的八爪遮光器,是笔者将一个筒灯外壳拆下,用微型电磨工具对其切割加工得到的,而微型聚光灯则是通过将筒灯内的一个高亮度发光二极管安装到普通白炽灯底座内获得,光敏二极管则仍使用该转速表原配的。最后将改装的光敏二极管和微型聚光灯通过导线连接到转速表中原电路的相应接入点,顺利解决了不便安装的问题。



(a)



(b)

图 9 测转速光电传感器

3.4 电子秤的改装

考虑到直径 20 mm 的被测小铁球,质量约为 33 g,故选用量程为 500 g、精度为 0.01 g 的小型电子秤,这类秤还自带去皮功能,可轻易实现校零。

图 10 中的虚线框内,从上到下依次为称重盘、力传感器和电池盒。去掉称重盘,取出力传感器,用微型电磨工具将电池盒部分切割掉,减小电子秤主体的体积。

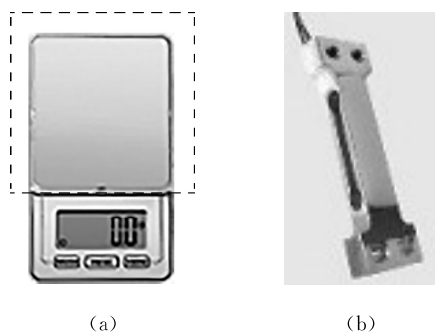


图 10 电子秤与力传感器

购买厚度为 1 mm 的铜板作为底座,根据需要切割、弯折、打孔等设计和加工。把力传感器一端固定在底座上,另一端用于承受球旋转时产生的正压力,如图 11 所示。



图 11 力传感器及矫正杠杆安装效果图

由于传感器是取垂直半径方向固定的,其自身在旋转过程中由于离心现象会在传感器内部产生附加应力,导致电子秤示数大于来自小球的实际压力,为解决这一问题,笔者设计制作了主动矫正装置,其原理图如图 12 所示。当圆桶旋转时,丝杆和微调螺母产生向外的离心力,通过杠杆原理,丝杆另一端对力传感器产生向里的推力,用以抵消力传感器因自身旋转产生的向外的离心力。通过调整微调螺母的位置,可将传感器自身因旋转产生的附加应力基本抵消。

为减小器件的分布面积,采用了立体结构设计,将传感器及矫正杠杆的大部分隐藏在数显游标卡尺的下面,实际效果如图 5 所示。

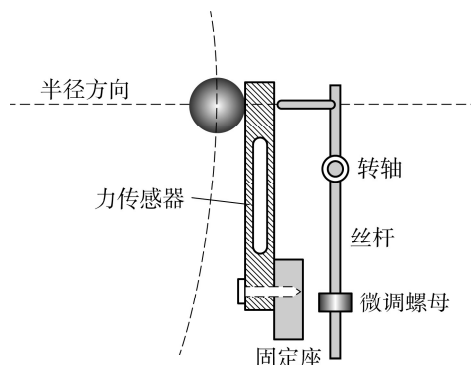


图 12 力传感器矫正原理图(俯视图)

最后将电子秤主体部分、数显游标卡尺显示屏部分等固定在铜板底座上,重新焊接好传感器的 4 根引线。

将各部分器件按图 12 所示进行组装。

4 实际使用效果

从课堂实际效果看,可以用“惊奇、兴奋、积极、认真、理想”来形容学生的表现。当学生看到本装置抬进教室时,许多学生投以惊奇的眼光,七嘴八舌地问:“老师,这是什么?”当我告诉他们这是我自制的实验教具,且获得了 2019 年江苏省教研室举办的实验教具创新大赛一等奖时,学生们一起发出“哦”的声音,随之是热烈的掌声。之后学生在操作、观察、数据记录、小组讨论等方面表现出积极、认真的态度,多个小组最后绘出了比较理想的关系图象。课后,还有学生向我表示:“老师,我也想学(制作)这个,您能不能教我呀?”我感到,本实验装置不仅在对学生学习文化知识方面起到了很好的辅助作用,也在对学生情感、态度、价值观的培养方面起到了明显的潜移默化的积极作用,还能引发一些学生在动手制作、发明创造方面的兴趣。

参考文献

- [1] 姚久民,祝玉华,姜丽飞,王春民. 新型向心力实验仪的研发及实验设计[J]. 物理教师, 2020(1): 58—61.
- [2] 王乐,王从容. 基于数字化实验系统的向心力演示仪的改进[J]. 物理教学探讨, 2018(1): 73—75+80.
- [3] 周隼. 巧用手机无线同屏技术创新向心力演示实验[J]. 实验教学与仪器, 2017(7/8): 70—71.
- [4] 冯容上,李鼎. Dis 无线向心力实验器[J]. 物理教学, 2012(3): 23—27+38.
- [5] 夏良英,李永洪,张喜良. Dis 实验和传统物理实验在教学实践中的对比研究[J]. 物理教师, 2014(4): 42—45+48.
- [6] 马丽娜,倪敏. 从实验各环节比较 Dis 实验与传统实验[J]. 物理通报, 2016(5): 80—83.