

演示永磁体与运动非磁性导体相互作用实验装置的制作

唐亚明 杨清雷

(青岛科技大学数理学院 山东 青岛 266042)

(收稿日期:2017-06-13)

摘要:应用所学知识,自己动手制作了这套演示装置.通过本装置可以对运动非磁性导体与永磁体间相互作用进行探究,并演示其相互作用产生的力矩驱动永磁体绕自身对称轴转动.实验内容有丰富内涵,展示了多种物理现象.在课堂教学、课程设计等场合,直观显示电磁感应原理的各种现象和技术应用,有着良好的教学效果.

关键词:电磁感应 相互作用 演示装置

永磁体与运动非磁性导体间的相互作用是一种广泛应用的电磁感应现象,自制的这套实验演示装置,可以实现运动非磁性导体驱动永磁体绕中心对称轴旋转,这一现象能够很好地反映永磁体与运动非磁性导体的相互作用的本质.加深学生理解电磁感应理论,从而使实验教学更加形象、生动.

1 实验原理

本演示装置的永磁体与非磁性导体的相对运动位置如图1所示(剖面图),所用永磁体为矩形,长宽高分别为 a, b, h .导体为铝质圆盘(相对于磁体足够大,可近似认为导体为无限大铝平板),在永磁体下方以一定速度 v 运动(平行于永磁体).

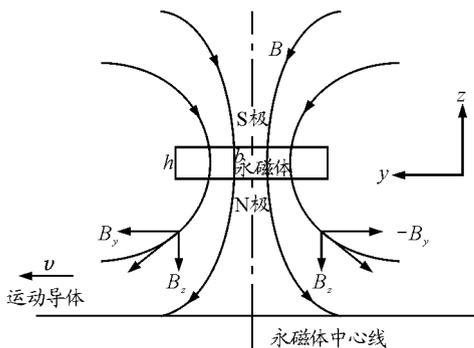


图1 矩形永磁体与导体相对运动位置及导体内磁场水平分量和垂直分量示意图

忽略导体内永磁体投影区域外部磁场,导体中投影区域内磁场为均匀分布.当导体在磁场中运动

时,导体中产生感应电流.我们只考虑投影区域内的感应电流,若不考虑回路电感对感应电流的影响,则感应电流是以永磁体 $\frac{b}{2}$ 处为中心轴对称分布的,如图2所示(从永磁体上方看下去的俯视图).

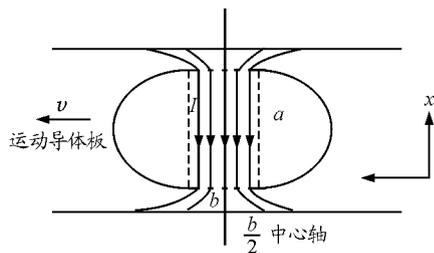


图2 不考虑电感的影响时,永磁体投影区域导体内感应电流 I 分布示意图(虚线框为永磁体投影区域)

由于边缘效应,可将导体中的磁感应强度分解为与运动导体表面垂直的垂直分量 B_z 和与运动导体表面平行的水平分量 B_y ,如图2所示.感应电流 I 将与所在区域的磁场发生相互作用,由安培定律知

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

感应电流与垂直方向磁场分量 B_z 相互作用会受到与导体运动方向相反的力,即磁阻力

$$d\mathbf{F}_{\text{水平}} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}_z \quad (2)$$

该力反作用到永磁体上,使永磁体受到一个与导体运动方向一致的水平力,即所谓的“水平拽力”.感应电流在水平方向磁场 B_y 中受到垂直于运动方向和电流方向的作用力

$$d\mathbf{F}_{\text{垂直}} = Idl \times \mathbf{B}_y \quad (3)$$

由于永磁体中心两边水平方向磁场大小相等,方向相反,所以感应电流受力在永磁体中心两边大小相等,方向相反.由作用力与反作用力,永磁体中心两边分别受到大小相等方向相反的作用力,使得永磁体质心在竖直方向所受合力为零,从而不会产生可与重力平衡的“净浮力”,但此作用力却会产生绕永磁体中心对称轴的力矩.若在永磁体该对称轴位置安装一转动轴,永磁体就会在运动导体的驱动下做旋转运动,这是一种全新的非接触驱动方式.永磁体的受力情况如图3所示.

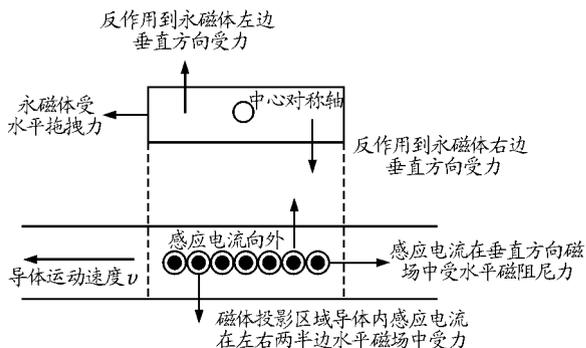


图3 感应电流及永磁体受力示意图

2 器材和装置的制作

演示实验装置示意图如图4所示.

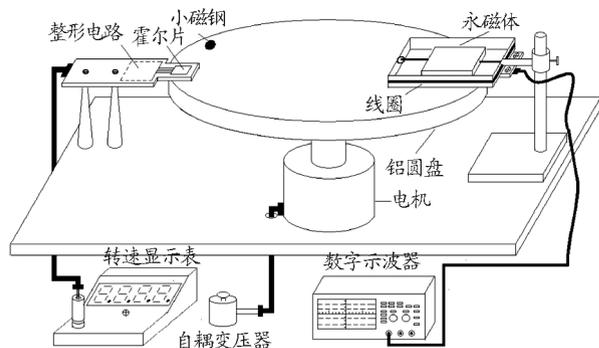


图4 永磁体与运动非磁性导体相互作用的实验装置示意图

电机带动铝盘转动,调节自耦变压器,就可以改变电机上所加电压的大小,实现铝盘转速的连续可调;在铝盘边沿粘帖小磁钢,装置的固定支架上安放

集成开关型霍尔元件,通过数据线连到转速表上,对铝盘的转速实时观测;取长方形磁铁一块,其纵向两端固定上转轴,在一节橡塑管的径向位置钻孔,插入磁铁的两轴,能自由转动;在橡塑管的周边密绕漆包线400匝,另外,在橡塑管端面均匀放置4只发光二极管,再固定一对接线柱,线圈的两端和发光二极管引脚与之相连,并通过信号线与数字示波器Y端链接,用以观察线圈在永磁体转动情况下感应到的电信号.图5为演示永磁体与运动非磁性导体相互作用的实验装置实物图.



图5 永磁体与运动非磁性导体相互作用的实验装置实物图

3 演示内容

3.1 演示永磁体与运动非磁性导体的相互作用

接通演示实验装置电源,逐渐加大自耦变压器的输出电压,在其驱动下,交流电机带动铝盘旋转起来.基于上述原理的分析,在铝盘上方架起的永磁体(矩形磁铁)也跟着转动,并随铝盘转速的增加而提高.这里铝盘和永磁体之间没有任何直接连接,永磁体的转动完全是由看不见,且又存在的磁场和电流(涡流)之间相互作用产生的结果,效果直观生动.可以观察运动铝盘和上方永磁体相对高度固定,永磁体沿运动铝盘径向方向位置发生改变时,这种相互作用随之变化的情况,数据记录在表1和表2中;又可以观察运动铝盘和上方永磁体相对高度发生改变时,这种相互作用随之变化的情况,数据记录如表1和表3所示,两组数据的变化情况画在图6(b)中.

表1 $R=14\text{ cm}$, $H=2\text{ cm}$ 时的实验数据

铝盘转速 $/(r \cdot s^{-1})$	7.4	8	8.3	9	10	11	11.8	12.9	13.7	14.5
永磁体转速 $/(r \cdot s^{-1})$	38	40	42	45	51	54	59	65	69	72

表2 $R=12\text{ cm}$, $H=2\text{ cm}$ 时的实验数据

铝盘转速 / ($\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$)	5	7.2	9	13.3	14.5	17.8	19.1	19.7	20	21
永磁体转速 / ($\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$)	22	32.6	41	57	60	71.4	75.7	75.9	76.9	79.3

表3 $R=14\text{ cm}$, $H=3\text{ cm}$ 时的实验数据

铝盘转速 / ($\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$)	6	7	8	9	10	12	15	16.5	18	20
永磁体转速 / ($\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$)	12	14	16	19	23	29	38	43	47	54

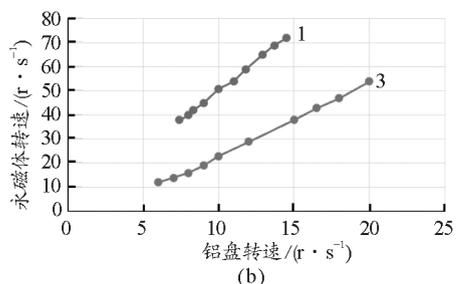
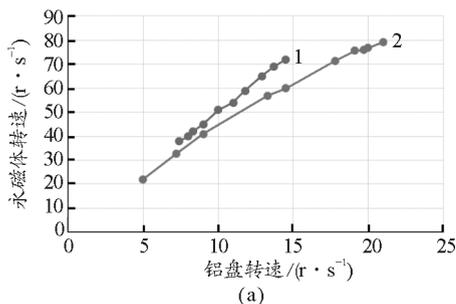


图6 永磁体与运动非磁性导体相互作用的关系曲线

从图6中曲线可以得出,在一定的范围内,永磁体转速和铝盘转速成正比,这与理论分析的结果一致.同时,永磁体转速和永磁体与铝盘的位置相关,相对位置发生改变,将得到不同的永磁体转速.

3.2 演示霍尔测速传感器的工作原理

由实验演示装置的示意图(或实物图)可以看到,在运动铝盘边沿粘贴一个小磁钢,另一支架上放置了集成开关型霍尔元件,调整好与小磁钢之间的位置.根据霍尔效应原理,霍尔片电流端通以稳恒电流,正对磁场时,霍尔片电压端就有霍尔电压存在.在这里,铝盘每旋转一周,小磁钢就经过霍尔片正下方一次,出现霍尔电压值,远离时此电压消失.随着铝盘的连续转动,霍尔片电压端就有周期性电压输出(经整形处理可得连续方波).其表征铝盘旋转的速度,此方波接到相应数字表上,就可显示转速;若把它接到示波器上,通过测信号频率的方法,也可以确定铝盘的转速.

3.3 演示相关能量形式之间的转换

本演示实验装置在运行过程中,悄然演示了能量形式之间相互转换,当我们接通电源,电机转动带动铝盘一起旋转,是由电能到机械能的形式转换;而转动铝盘与上方架起的永磁体间相互作用,使永磁体随之转动,这里是由机械能到电磁能再到机械能的形式转换;由于我们在支起永磁体框架周边密绕多匝线圈,线圈的输出一路接到4只发光二极管上,当永磁体随着下面运动铝盘轴向转动时,作用于框架周边线圈,与其相连的发光二极管点亮,其中是由机械能到电能再到光能的形式转换.几种形式的能量在实验过程中相互转换,显现着它们的存在.

3.4 演示一种磁电式传感器的工作原理

由以上演示过程可知,运动铝盘与上面架起的永磁体相互作用,永磁体随之绕自身转轴转动,其支架框周围的线圈相对切割磁力线,产生感生电动势,这是随铝盘旋转速度变化的正弦波,通过示波器显示,其频率就表征铝盘的转速,生动显示了一种测转速的方法.

4 结论

(1) 用简单精巧的方法,演示了运动非磁性导体与永磁体间相互作用产生的力矩可以驱动永磁体绕自身对称轴转动.

(2) 实验内容有丰富的内涵,演示多种物理现象,比较好地展示了物理原理.可以激发学生实验的兴趣和创新的热情.

(3) 本演示装置是自主研发,大学实验室没有见过同类产品.显而易见它的科学性、趣味性;对学生深入讨论和应用电磁感应原理有帮助.学生拿着自己制作的这套装置,参加了2015年山东省第七届

大学生物理科技创新大赛,获得了一等奖.

参考文献

- 1 黄建岗. 大学物理实验教程. 长沙: 湖南大学出版社, 2007. 125 ~ 129
- 2 王明茜. 在 PASCO 磁悬浮实验装置上实现对非磁性运动导体驱动永磁体转动行为的研究. 见: 第五届全国物理实验教学研究讨论会论文集(下). 上海: 复旦大学出版, 2008. 207 ~ 210
- 3 苟晓凡, 杨勇, 郑晓静. 矩形永磁体磁场分布解析表达

- 式. 应用数学和力学, 2004, 25(3): 271 ~ 278
- 4 王明勇, 郎志坚, 李国军. 方形磁体的空间磁场分布. 磁性材料及器件, 2001, 32(3): 17 ~ 20
- 5 林德华, 蔡从中, 董万春. 方型永磁体表面磁感应强度分布的研究. 工科物理, 1999, 9(2): 5 ~ 9
- 6 杨素行. 模拟电子技术基础简明教程. 北京: 高等教育出版社, 2006. 390 ~ 442
- 7 周瑾, 林吉凯. 轴向磁悬浮轴承支撑特性理论分析和实验. 机械设计与研究, 2010, 26(5): 71 ~ 73

The Production of an Experimental Device of the Interaction of Permanent Magnets and Moving Non – magnetic Conductors

Tang Yaming Yang Qinglei

(Qingdao University of Science and Technology, College of Mathematics Physical, Qingdao, Shandong 266042)

Abstract: Applying the knowledge, I made the demonstration device myself. Through this device can be non – magnetic conductor for sports and explore the interaction between permanent magnet, and demonstrate its interact to produce torque drive permanent magnet turning around its axis of symmetry. The contents of the experiment are rich in connotation and show various physical phenomena. In the classroom teaching, the course design and so on, the various technical phenomena and the technical application of the electromagnetic induction principle are shown in the paper, which has good teaching effect.

Key words: electromagnetic induction; interact with each other; demonstration unit

(上接第 87 页)

$G_{\text{弹簧}} + G_{\text{秤钩}} + G_{\text{外壳}}$, 就测量出了整个弹簧测力计的自重. 最后只需在操作中将弹簧测力计倒挂好, 调节弹簧测力计的刻度盘使其示数等于上面测出来的 3 个重力之和 $F_{\text{示数}}$, 这样即可直接测量竖直向下的拉力. 利用单个弹簧测力计倒挂校零, 这个难题也就迎刃而解了.

从笔者探索解决单个弹簧测力计倒挂调零问题的过程可见, 正如陈国栋教授所说: 教师所从事的教学是改造社会的输出过程, 要给学生一碗水, 自己要有一桶水, 并且是新鲜的, 要及时更换桶中的水, 这就要求教师不断充实自己知识储备, 不能固守成规. 在平时的教学过程中, 课本会介绍一些仪器的工作原理, 但在使用过程中还会遇到很多细节的问题, 要

解决这些问题一定要认真研读仪器的使用说明, 并结合使用原理进行分析, 否则就可能产生一些错误认识并会伴随着整个教学活动. 南京市鼓楼区在考核教师实验基本操作时就提出了单个弹簧测力计倒挂校零的问题. 如果教师在平时的教学过程中多思考、多总结仪器在不同情况下的使用技巧, 多揣摩在教学实践中遇到的具体问题, 那么就可以最大限度地拓展仪器的使用空间, 达到最佳教学效果.

参考文献

- 1 吉临荣. 再谈弹簧测力计使用前的校零. 中学物理, 2017(6): 36
- 2 刘炳昇. 物理教师教学用书(9 年级上册). 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2013. 6