

# “直流小电机的能量转化”演示仪

程 柏

(新疆兵团第七师高级中学 新疆 伊犁 833200)

(收稿日期:2020-02-20)

**摘要:**直流电动机是典型的非纯电阻电路.设计制作教具“‘直流小电机的能量转化’演示仪”,让学生观察“电机转、电珠暗;电机不转、电珠亮”的奇妙反差现象,激发科学探究的兴趣,不仅对学生辨析电功和电热的概念、区别纯电阻与非纯电阻电路很有帮助,而且在后续课程“电磁感应”学习反电动势概念,能起到知识的迁移和升华作用.

**关键词:**直流小电机 能量转化 反电动势

## 1 制作因缘

如图1所示,高中物理教材人教版选修3-2中第四章“电磁感应”第4节“法拉第电磁感应定律”

### ► 说一说

如图4.3-4,将玩具电动机通过开关、电流表接到电池上.闭合开关S,观察电动机启动过程中电流表读数的变化,怎样解释电流的这种变化?

在电动机上加一定的负载,观察电流表读数的变化并做出解释.

电动机启动时的电流与正常工作时的电流不同,有负载与空载时的电流不同,这在技术上会引起什么问题?如果有问题,应该沿什么途径去解决?

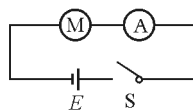
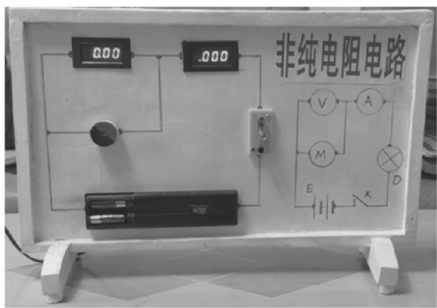


图4.3-4 观察电动机启动过程中电流的变化

图1 人教版教材中的“说一说”栏目

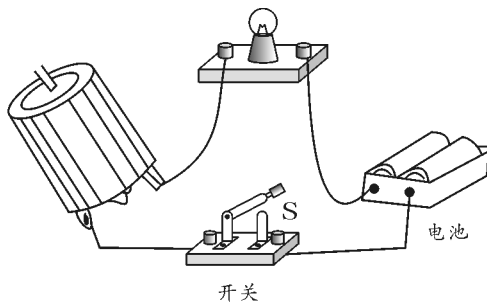
对于本实验,如果采用机械电流表,指针的偏转情况不易被坐在后排的学生们观察到;而阻止电机飞轮转动,使之转变为纯电阻电路,则要限制电路中的电流大小,电流过大,容易烧毁电源或电机.怎样限制电路中的电流大小,又能显化电路中电流的变化?把电机和恰当电阻的小电珠串联就能达到奇妙的实验效果.



(a)实物图

## 2 装置介绍

如图2所示,在长60 cm、高30 cm的自制展板上,将规格为“1.5 V, 0.3 A”的小电珠(带底座)、毫安数字直流电流表、玩具电动机、两节干电池(废旧的电视遥控器改装成电源)安装并连接为串联电路,将数字直流电压表与直流小电机并联.



(b)示意图

图2 实验装置图

### 3 使用说明

闭合开关,接通电源,观察电动机转子转动与用手按住转子使之不转时,电路中小电珠的亮暗变化及电流表和电压表的变化.如图3所示,明显地,随着电机越转越快,电机上的电压在增大,小电珠却越



图3 电动机转子转速变化时,毫安数字直流电流表示数

### 4 实验原理

从电路中能量转化与守恒角度来看,这涉及到纯电阻与非纯电阻电路的知识.这里视电池为理想电源;当转子转动时,电路为非纯电阻电路,具体说,电路变为电阻与电感串联电路,所消耗的电能不全转化为电热,还有一部分转化为机械能,电功大于电热, $W_1 > Q_1$ ,即

$$UI_1 t > I_1^2 (R + r)t$$

从而

$$I_1 < \frac{U}{R + r}$$

当转子不转时,电路为纯电阻电路,电功与电热的关系为  $W_2 = Q_2$ ,即

$$UI_2 t = I_2^2 (R + r)t$$

故

$$I_2 = \frac{U}{R + r}$$

可见,  $I_1 < I_2$ ,故而电路通电后比转子不转时小电珠要暗.

如图4所示,由动力学可知,在直流电动机中,通电后的线圈在磁场中受安培力产生动力矩而转动,线圈转动切割磁感线产生感应电动势,由右手定则可知,其方向与原电流方向相反,即线圈转动产生的感应电动势具有削弱原电源电动势的作用,因而我们把这个电动势叫做反电动势  $E$ . 其大小与磁场的磁感应强度、线圈的面积、匝数、转速有关,定量表示为

$$E_{\text{反}} = 2\pi NBSn \quad (1)$$

设电动机的外加电压为  $U$ ,线圈的电阻为  $r$ ,则

来越暗,电流表示数越来越小.当用手阻碍电动机转子的转动至不转动时,小电珠反而最亮,情况刚好倒过来.为什么直流小电机不转时,小电珠比电动机转子转动时要亮呢?小电机启动过程中,电流为什么会变小呢?

电机转动时线圈中的工作电流为

$$I = \frac{U - E_{\text{反}}}{r} \quad (2)$$

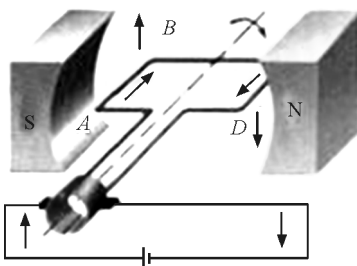


图4 直流电动机通电后,线圈在磁场中运动产生的电流方向

电动机是用来带动负载转动的,其转轴受到两个力矩作用.一个是磁场力矩作用,大小决定于电流、磁感应强度和线圈面积、匝数及偏转角度,即

$$M = NBIS \sin \theta \quad (3)$$

另一个则是由负载和机械摩擦产生的阻力矩.由上述式(1)、(2)、(3)可知:当电动机刚与电源接通时,线圈转速为零,反电动势为零,电流最大,动力矩也最大.动力矩大于阻力矩,使得电动机加速转动.随着转速加大,反电动势也逐渐增大,电流逐渐变小,动力矩逐渐减小,当动力矩减小到和阻力矩相等时,电动机匀速转动,连续工作下去.当负载增大,即阻力矩增大,电机转速变慢,反电动势变小,若外加电压不变,则电流增大,磁力矩增大,当磁力矩又和阻力矩相等时,电机将在较慢的转速下匀速转动.如果电机工作中,由于机械阻力过大而停止转动,这时没有了反电动势,线圈中的电流就会很大,时间长了,有可能烧坏电机,这就是现实生活中,当电机被卡住时,保险丝容易烧断的原因.因此,电机如果被

卡住不转动,要立即切断电源,进行检查<sup>[1]</sup>.

对于本实验,我们将电机与小电珠串联,确保了电流不至于过大,明显可以显示出电机线圈中的电流变化.当电动机不转时,回路中的电流

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (4)$$

当电动机转动时,由于反电动势的缘故,此时回路中的电流变为

$$I = \frac{E - E_{\text{反}}}{R+r} \quad (5)$$

由式(1)和(5)可知,电动机不转时  $E_{\text{反}} = 0$ ,  $I$  最大,电机转速加快,  $E_{\text{反}}$  增大,  $I$  减小,电珠由亮变暗.

由式(2)还可知

$$U = Ir + E_{\text{反}}$$

两边同时乘以电流  $I$ ,有

$$UI = I^2 r + E_{\text{反}} I$$

显然,  $UI$  表示电源输入给电机的电功率或电机消耗的电功率;  $I^2 r$  为电机线圈上消耗的热功率;由能量守恒与转化可知,  $E_{\text{反}} I$  就应该是电机的输出功率,也正是电能转化为其他形式的能的过程<sup>[2]</sup>.

## 5 创新要点与教育启示

(1) 古人云:“工欲善其事,必先利其器.”教具至于教师,犹于宝剑之于剑客,斧凿之于匠人.自制教具结构稳固、携带轻便;承载“瓶瓶罐罐当仪器,拼

拼凑凑做实验”的教育理念,用电视机遥控器改装电源、自制木轮做为电机负载,配置数显电表快速、及时地显示动态变化,使得电路简明实用;“电机转、电珠暗;电机不转、电珠亮”的反差现象明显,实验效果奇妙、生动有趣.

(2) 学习非纯电阻电路和纯电阻电路的知识,应直观地让学生看到电能与其他形式能间的转化.本教具中直流小电机工作时,显化了电能向电热和机械能转化.特别是,当手动控制转子不转时,电流明显变大,电珠随之变亮,实现了非纯电阻电路向纯电阻电路转化,电表的数据变化,证实欧姆定律适用条件是纯电阻电路,而非非纯电阻电路.

(3) 人教版选修3-2中第四章“电磁感应”第4节“法拉第电磁感应定律”中新增了“反电动势”概念,不应该仅仅是作为电磁感应定律的一个应用,而恰恰应作为分析直流电路欧姆定律应用、电动机工作原理中能量转化的一个重要补充和升华.使用教具,做好演示实验,能真正调动学生的探究乐趣,深化其对概念和规律的思考,从而实现学习态度从好胜向好奇、学习认知从习题向问题的转变.

## 参考文献

- 1 潘小利.“反电动势”概念教学之我见[J]. 中学物理, 2015(3):51
- 2 顾鹏.高中物理实验探究[M]. 石家庄:河北教育出版社, 2003
- 3 王晓东,彭晓峰,陆建峰,等.粗糙表面接触角滞后现象分析[J]. 热科学与技术,2003, 2(3), 230 ~ 234

(上接第80页)

动的方式,有助于此方向的进一步研究和应用.

## 参考文献

- 1 何济洲.毛细管中液柱的高度[J]. 南昌大学学报(工科

版), 1995, 17(2), 80 ~ 82

- 2 王晓东,彭晓峰,陆建峰,等.粗糙表面接触角滞后现象分析[J]. 热科学与技术,2003, 2(3), 230 ~ 234

# Anti-gravity Motion of Liquid in Capillary

Chen Chun

(Shanghai Maijike Information Technology Co., Ltd, Shanghai 201102)

**Abstract:** In order to study the force of different surface tension liquids in capillary, this paper injects the immiscible Dimethicone and saturated NaCl solution into glass capillary by sections. Through comparative experiments, it is revealed that when these two kinds of liquid are in direct contact, the resultant force of the interfacial tension of the liquid combination is not zero, and the value of the resultant force is measured by gravity balance method, which makes a good foundation for further study.

**Key words:** capillary; interfacial tension; anti-gravity