



# 一道有关法拉第圆盘的题目引发的探讨<sup>\*</sup>

刘红 田维毛

(重庆市第一中学校 重庆 400030)

(收稿日期:2020-02-14)

**摘要:**一道有关法拉第圆盘的题目引发了笔者的疑惑,开启了笔者对这个问题的探究之旅.理论探究不好定量分析,实验探究的困难在于保证圆盘转速恒定和如何测量微电流.最终笔者利用 VEX 机器人中的 393 电动机和 393 电动机集成编码器实现了对法拉第圆盘转速的控制,成功地解决了法拉第圆盘转速恒定的问题.又利用朗威微电流传感器成功地解决了小电流(小电压)的测量问题,探究发现法拉第圆盘特殊位置与圆盘圆心间电势差的变化规律,解答了疑惑.

**关键词:**科学探究 法拉第圆盘 实验 电磁感应

## 1 问题的提出

在高三物理一轮复习中,笔者在进行电磁感应的复习时,遇到一个有关法拉第圆盘的问题,题目如下:

**【题目】**如图 1 所示为感应式发电机, $a, b, c, d$  是空间 4 个可用电刷与铜盘边缘接触的点, $O_1, O_2$  是铜盘轴线导线的接线端, $M, N$  是电流表的接线端.现在将铜盘转动,能观察到感应电流的是( )

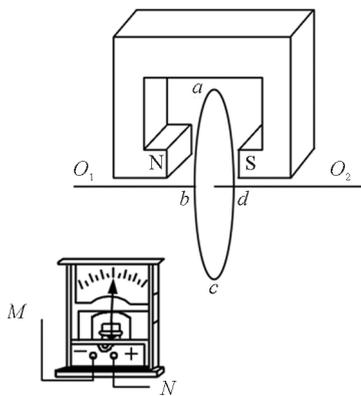


图 1 题目图

- A. 将电流表的接线端  $M$  和  $N$  分别连接  $a$  和  $c$  位置  
 B. 将电流表的接线端  $M$  和  $N$  分别连接  $O_1$  和  $a$  位置  
 C. 将电流表的接线端  $M$  和  $N$  分别连接  $O_1$  和

## $O_2$ 位置

D. 将电流表的接线端  $M$  和  $N$  分别连接  $c$  和  $d$  位置

### 1.1 出题者给出的解答

正确选项 B. 理由是:当铜盘转动时,其切割磁感线产生感应电动势,此时铜盘相当于电源,铜盘边缘和中心相当于电源的两个极,则要想观察到感应电流, $M$  和  $N$  应分别连接电源的两个极即可,故可知只有选项 B 正确.

### 1.2 笔者的定性分析

笔者分析时首先做了以下简化处理:磁极正对以外的部分圆盘中的磁场比磁极正对部分圆盘的磁场弱得多(因异名磁极正对),因而磁极正对以外部分圆盘因圆盘旋转产生的感应电动势比磁极正对部分圆盘产生的感应电动势小得多,忽略它在研究问题中的影响.

圆盘旋转时,圆盘在磁场中的半径将切割磁感线产生感应电动势,在磁极正对的部分圆盘相当于电源,在磁极正对以外的部分圆盘相当于外电阻,这样在圆盘上就形成闭合回路.圆盘的电路结构关于直径  $ac$  呈对称分布,在圆盘里就形成了如图 2 所示的电流.

因为圆盘中的电流分布关于  $ac$  对称(如图 3),左右两个半圆盘中的感应电流产生的磁场方向相反,磁通量抵消,所以感应电流在圆盘中引起的磁通

<sup>\*</sup> 重庆市教育科学“十三五”规划重点课题“新课程背景下中学物理教师核心素养的养成研究”,课题批准号:2018-07-057

量为零. 整个圆盘在旋转时, 磁通量没有发生变化, 因感应电流的在圆盘中引起的磁通量也为零, 所以符合电磁感应原理. 依据笔者分析, 在  $ac$  和  $cd$  间就存在电压, 接上电流表就会观察到感应电流.

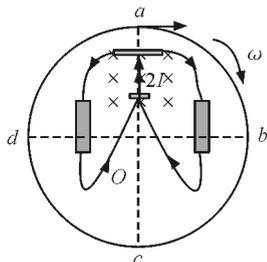


图2 圆盘中的电路结构

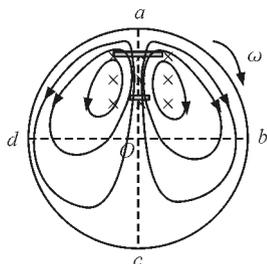


图3 圆盘中的电流分布

1.3 疑惑

出题者给出的解答正确, 还是笔者的分析正确? 只有实验能回答这个问题.

2 问题的探究

2.1 实验的设计

笔者用机器人编程比赛中的 VEX393 电动机(附 VEX393 电动机编码器) 来带动圆盘转动, 通过编写程序来实现对电动机的闭环控制, 固定的支架来固定用铜片做成的电刷, 保证圆盘旋转时, 测量点相对地的空间位置不变. 用朗威微电流传感器 LW-E821 来测圆盘中两点间的电流. 最终设计出了如图 4 的实验装置来进行科学探究.

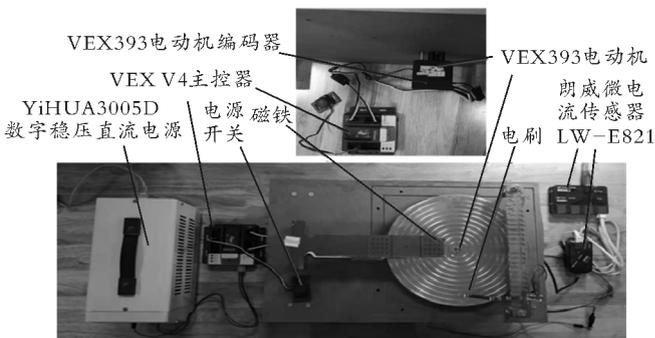


图4 实验装置

2.2 实验过程

因为没有铜盘, 笔者就用铝盘来做这个实验.

(1) 实验器材

实验底座(安装电动机、圆盘、磁铁、电刷支架, 并固定其相对位置)1个, 半径 11.6 cm 的铝盘 1 个, 电刷支架及电刷 2 个, 强磁体 1 个, 朗威微电流传感器 LW-E821(量程  $-1 \mu\text{A} \sim +1 \mu\text{A}$ , 精度  $0.01 \mu\text{A}$ ), YiHUA3005D 数字稳压直流电源 1 台, VEX V4 主控器 1 个, VEX393 电动机 1 个(附 VEX393 电动机编码器), 电源开关 1 个, 导线若干.

(2) 实验准备

圆盘直接由 VEX393 电动机带动旋转. 为实现转速基本恒定, 用 VEXV4 主控器控制电动机转速: 通过 VEX393 电动机编码器检测实时转速, 每 100 ms 检测调节一次, 若低于设定转速, 主控器增加电动机输出功率, 提高转速, 反之则降低转速, 实现了对转速的闭环控制. 最终将转速控制在  $90 \text{ r/min}$ , 经实测每分钟转速为:  $(90 \pm 1) \text{ r}$ .

(3) 实验过程

1) 按图连接电路, 把朗威微电流传感器 LW-E821 一端连接在转轴 O, 另一端通过电刷连接在圆盘上的测量位置, 然后启动电动机, 待圆盘稳定转动后开始测量(用微电流传感器 0.05 s 采集一个数据, 连续测量 300 个数据, 求平均值).

2) 关闭电源, 记录数据(电流平均值).

3) 移动电刷位置, 再重复 1)、2) 步骤.

4) 完成实验, 关闭电源, 整理器材.

(4) 数据记录及处理

以圆盘转轴 O 为坐标原点, 以  $ac$  为  $y$  轴,  $bd$  为  $x$  轴, 建立直角坐标系, 如图 5 所示, 记录数据如表 1 所示.

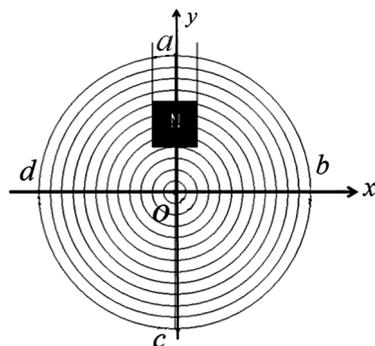


图5 建立直角坐标系

表1 实验数据

距离 $y$ /cm	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2
微电流 / $\mu\text{A}$	0.039	0.037	0.039	0.043	0.044	0.042	0.037	0.034	0.029	0.013
距离 $y$ /cm	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
微电流 / $\mu\text{A}$	-0.056	-0.105	-0.174	-0.149	0.000	0.198	0.422	0.511	0.485	0.473
距离 $x$ /cm	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
微电流 / $\mu\text{A}$	0.011	0.025	0.039	0.054	0.065	0.074	0.071	0.073	0.074	0.076

用Excel表格拟合电流(亦可反映电势差)随研究位置到 $O$ 的距离变化规律如图6(虚线是笔者手动拟合的)所示。

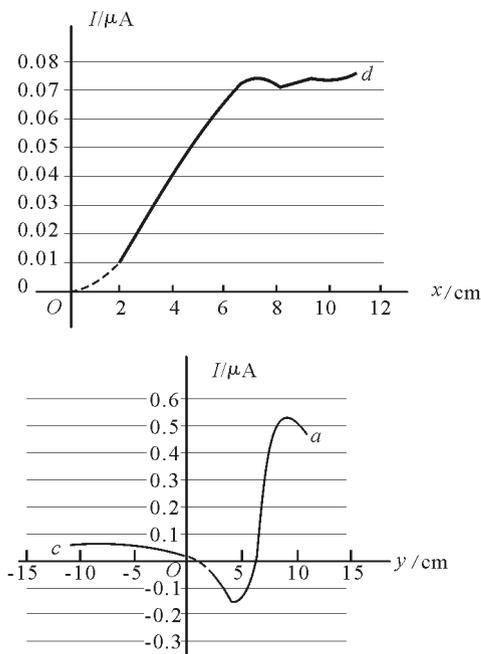


图6 电流随距离的变化

### (5) 实验结论

$dO$  连线上的位置与 $O$ 间的电势差随研究位置到 $O$ 的距离增大而增大,在大于7 cm后电压趋于不变; $cO$  连线上的位置与 $O$ 间的电势差随研究位置到 $O$ 的距离增大而增大,但整体变化很小; $aO$  连线上的位置与 $O$ 间的电势差随研究位置到 $O$ 的距离增大而先减小后增大,具体为在4 cm附近最小,在9 cm附近最大。

在此条件下通过实验测得 $a$ 和 $c$ 间的电流为 $0.380 \mu\text{A}$ , $c$ 和 $d$ 间的电流为 $0.036 \mu\text{A}$ , $O_1$ 和 $a$ 间的电流为 $0.465 \mu\text{A}$ 。由此分析可知:同一条件下,

$$\frac{U_{ac}}{U_{aO_1}} = \frac{0.380}{0.465} = 0.817, \frac{U_{dc}}{U_{aO_1}} = \frac{0.036}{0.465} = 0.077,$$

实验的结果与笔者的理论分析符合,所以此题的正确选项

应该为选项A,B,D。

### 3 问题的引申

法拉第圆盘发电机还有一个问题困扰着一部分物理教师,就是圆心和圆盘边缘与电表相连,圆盘转动时,圆盘中的磁通量没有变化,为什么电表会有示数?这个问题的关键就是要彻底理解电磁感应现象产生的条件:闭合回路的磁通量发生变化时有感应电流产生,这里的“回路”是同一闭合回路。比如要研究电表所在回路就应该以同一圆盘半径(等效辐条)和导线、电表构成的电路为回路来研究(如图7),在辐条转动时,该闭合回路中的磁通量必有变化,所以电流表中就有电流。

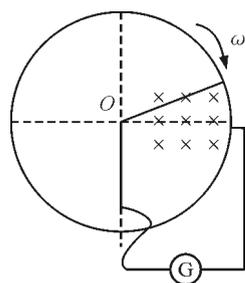


图7 法拉第圆盘发电原理图

过去在中学物理实验室难以完成的探究实验,在科学技术高度融合的今天也可以完成,这对培养学生的核心素养有莫大的裨益:以后当我们发现疑惑时,就能通过实验来加以释疑,纠正错误的认知。教师就能把科学探究这只“点金之手”展示给学生,让学生看到科学探究的过程,养成科学探究的习惯,通过设计相关的实验,并在实验过程中着重培养了学生科学探究的核心素养。

### 参考文献

- 王蔚长. 怎样解释法拉第圆盘发电机的原理[J]. 物理教师, 1988(2): 28 ~ 29
- 三维设计编委会. 三维设计物理. 北京: 光明日报出版社, 2019