

范氏起电机的工作原理及常见故障排除

张立新

(南通师范高等专科学校如皋校区 江苏 南通 226500)

(收稿日期:2017-03-23)

摘要:阐述了范氏起电机的整机工作原理:包括摩擦起电、尖端放电、电荷自激等基本理论;讨论了范氏起电机常见故障的排除方法。

关键词:范氏起电机 摩擦起电 尖端放电 电荷自激机制

随着教育技术装备的日趋完善,范氏起电机走进了各类学校的实验室。范氏起电机的全称是范德格拉夫起电机,由美国物理学家罗伯特·杰米森·范德格拉夫于1931年发明。范氏起电机是静电教学

演示实验常用的仪器设备,它将众多静电学原理精彩地链接起来而构成自身的工作原理;该起电机使稍纵即逝的静电变得易于控制,为演示实验和科学研究提供了可靠的静电源。

- 8 周党培,陈业仙. 牛顿环实验的计算机仿真. 四川兵工学报,2009,30(7):139 ~ 141
- 9 赵会江. Maple 9.0 符号处理及应用. 北京:科学出版社,2007
- 10 王悦悦,赵丽华,吴雷. Maple 在光学实验中的应用. 物理与工程,2009,19(4):17 ~ 19
- 11 汤剑锋,赵凡,欧阳锡城. 应用 Maple 仿真模拟光学干涉实验. 湖南文理学院学报(自然科学版),2011,23(2):77 ~ 81
- 12 汤剑锋,赵凡. 夫琅禾费衍射实验的 Maple 仿真设计. 湖南文理学院学报(自然科学版),2011,23(4):37 ~ 41

- 13 刘刚,王立香,张连俊. LabVI EW 8.20 中文版编程及应用. 北京:电子工业出版社,2008
- 14 杨乐平,李海涛,肖凯,等. 虚拟仪器技术概论. 北京:电子工业出版社,2003
- 15 李晨璞,谢革英,胡金江,等. 基于 LabVIEW 的牛顿环实验动态仿真. 实验室研究与探索,2013,32(6):97 ~ 101
- 16 翟龙华. 基于 LabVIEW 的干涉虚拟实验研究. 湖南城市学院学报(自然科学版),2016,25(5):41 ~ 42
- 17 杨坤,苏玉玲,沈岩,等. LabVIEW 与 Matlab 在信息光学教学中的应用. 物理与工程,2011,21(2):39 ~ 42

Application and Exploration on Simulation Technology in University Physics and Experiment Teaching

Shen Huijuan Deng Liqiang Xu Xiangfu Fang Yunliang Qi Lingmin Lai Guoxia
(GuangDong University of Petrochemical Technology, College of Science, Maoming, Guangdong 525000)

Abstract: Computer assisted instruction is an important complement to classroom and experimental teaching. The current simulation research on optical experiment in university physics experiment based on the application of several commonly used simulation software is introduced, and compares the several simulation software quality, provide a reference for the further improvement of the experimental simulation technology and related work.

Key Words: university physics experiment; simulation; matlab; maple; labVIEW

1 范氏起电机工作原理

演示实验用范氏起电机的内部结构如图1所示. 主要部件有金属球壳、绝缘支架、上滚轮、下滚轮、传送带、自激梳、集电梳、单相交流电动机等. 范氏起电机的工作过程涉及到哪些静电学基础理论呢?

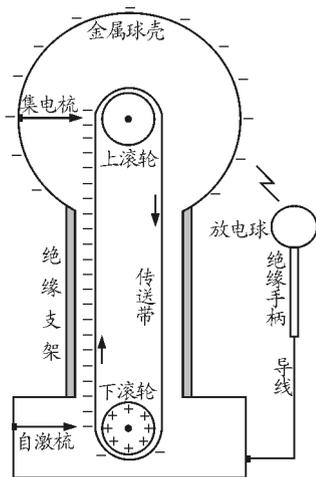


图1 演示实验用范氏起电机

1.1 摩擦起电原理

如图1所示, 范氏起电机静电荷来源是基于两种不同材料摩擦起电的原理(包括紧密接触起电). 一般说来两种不同的材料发生摩擦时都会发生电荷的转移, 获得电子的材料带负电; 失去电子的材料带正电. 由于金属材料的自由电子很容易转移, 保存这些电荷特别困难, 所以实际应用中都采用绝缘材料摩擦来获得静电荷. 绝缘体摩擦产生的电荷称为束缚电荷, 其涵义为, 这些电荷在哪里产生就停留在哪里而不能在绝缘材料上移动. 范氏起电机的两个摩擦对象是: 下滚轮与传送带. 根据需要适当地选择两种材料的组合; 可以使下滚轮带正电、传送带带负电; 调换材料的组合也可使带电情况相反. 交流电动机与下滚轮共轴, 接通220V交流电源, 电动机随即带动下滚轮转动. 下滚轮与传送带之间的摩擦和紧密接触作用, 导致两介质带上异种电荷. 这里不妨假设下滚轮带正电, 传送带带负电.

1.2 尖端放电原理

从图1看到, 传送带左边做上行运动、右边做下行运动. 负电荷随着传送带的上行而上移, 当负电荷到达上滚轮附近时, 在上滚轮附近设置有集电梳, 所

谓集电梳就是一排整齐的金属尖针, 它的外形正像日常生活用品——梳头的梳子. 在尖端导体强电场的作用下, 与尖端电荷极性相反的离子飞向尖端跟尖端电荷中和; 与尖端电荷极性相同的离子受到排斥背离尖端飞走, 这就是所谓尖端放电. 根据尖端放电原理, 传送带上的负电荷(束缚电荷)经过集电梳时必然发生尖端放电, 负电荷飞向尖端并迅速分布到球壳表面. 总之, 在尖端放电的作用下, 传送带的负电荷顺利地转移到金属球外表面.

1.3 电荷自激原理

摩擦起电的电荷量太小, 不能使金属球带上足够多的静电荷, 大球与小球之间不能产生强烈的火花放电. 因此仪器还需要电荷的自激机制. 下滚轮、传送带、自激梳三者构成了电荷自激系统. 在摩擦起电的过程中, 负电荷被传送带源源不断地运走, 但正电荷只能聚集在下滚轮, 而且越聚越多. 这样下滚轮正电荷的面密度就大大高于传送带的负电荷的面密度, 因此正电荷是矛盾的主要方面: 下滚轮周围空间的电场就是正电荷形成的强大电场. 在正电荷电场作用下导致自激梳发生尖端放电, 由于传送带的中介隔离作用, 尖端放电放出的负电荷不能与下滚轮的正电荷相遇中和, 这些负电荷只能吸附于传送带且被上行的传送带带走. 运转一定时间后, 下滚轮的带电荷增加量与泄漏量达到动态平衡. 一定量的正电荷通过自激梳的尖端放电可产生无限量的负电荷, 这就是范氏起电机的电荷自激原理. 实验表明: 取下自激梳仅依靠摩擦电荷对金属球充电它只能带有微弱电荷.

1.4 火花放电原理

起电机金属球相当于一个电容器, 这个电容器可视为两个同心球壳构成, 一个球壳半径是 R ; 另一个球壳半径为无穷大, 两球壳组成的电容器容量是

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

集电梳作用就是给这个电容器不断充电. 大球带上足够的负电荷后, 将小球靠近大球, 可看到明亮的电火花同时听到爆鸣声, 即发生了“火花放电”. 火花放电时碰撞电离并不是发生在两个电极之间的整个区域, 而是发生在狭窄曲折的闪光通道中. 空气击穿后突然由绝缘体变为导体, 两个电极上的电荷很快中和, 因此放电之后两极间的电压迅速降低, 火花放电

很快停止,需要等待起电机继续起电,当两极间的电压又升到一定数值方能再次看到火花放电,所以火花放电是间断发生的。

1.5 感应起电原理

范氏起电机可演示感应起电实验.摩擦起电与感应起电是两种基本的静电起电方式.当起电机的金属球带上一定电荷时,教师手持验电器慢慢靠近金属球,学生看到验电器的两箔片逐渐张开,靠得越近张开的角度越大;再将验电器逐渐远离金属球时张角变小,验电器离开金属球足够远时两箔片合拢.这就是感应起电实验,如图2所示.



图2 验电器发生感应起电现象

在感应起电过程中验电器所带的净电荷等于零.然而验电器与金属球靠得足够近时发生火花放电,此时验电器带上了净电荷,再将验电器远离金属球时两箔片不再合拢.

2 范氏起电机常见故障排除

范氏起电机是静电理论知识综合实践应用的范例,掌握了范氏起电机的结构和工作原理后不难排除起电机的常见故障.结合我们在教学实验中遇到的故障及排除方法做出概括性陈述.

2.1 电动机不转或旋转无力

范氏起电机一般使用电容启动式单相交流电动机驱动滚轮转动,使用日久后启动电容器容易漏电变质甚至完全损坏,此时出现电动机旋转无力或者只有交流声而不旋转的现象.可照原来电容器的容量和耐压数值购买新的电容器并且更换.

2.2 起电机几乎不起电

最具可能的原因就是机器潮湿或灰尘多致使各

部件绝缘性能变差.如果绝缘支架、下滚轮、上滚轮、橡胶带、金属球表面等有纤维物、汗渍或灰尘等,都会造成许多微小的尖端,使产生的电荷直接从尖端通过电晕放电流散到空气中.因此需要用清洁抹布将各个组件表面擦干净,且不要用手直接接触仪器.环境湿度太大也会导致起电机不起电,含杂质的水分子附着在绝缘体表面会使仪器绝缘性能大大降低.起电机内部安装有一盏白炽灯可用来烘干除湿.如果白炽灯不亮,可以检查电路故障或者更换新灯泡.若白炽灯烘干效果不理想可考虑另加红外线的烘干热源,总之要保证演示实验环境的清洁、通风、干燥.

2.3 起电机正常工作但起电量较小

这也是经常发生的故障,造成故障的原因可能来自几个方面.一是自激梳的位置发生偏移.由前文分析可知,集电梳就是一排整齐的金属尖针,而金属尖针紧密连续的排列就等同于金属刀片.我校实验室的静电起电机就是采用金属刀片做为自激梳.电荷自激原理告诉我们,集电梳可以实现下滚轮有限的正电荷通过尖端放电原理产生无限量的负电荷,且附着于传送带而上行.因此自激梳如果出现偏移就不能很好地发挥电荷自激装置的作用,起电机只能产生微弱的静电荷.实验教师可以仔细地调整自激梳到“合适位置”——使得自激梳尽量靠近传送带但不要碰触传送带;二是集电梳的位置发生偏移.集电梳如果与传送带距离太大即不能很好地收集静电荷;集电梳如果与传送带的距离过近则容易划伤传送带,也不能正常地收集静电荷.实验教师可以通过反复仔细的调节集电梳的左右两侧螺母使其到达合适位置,这里的“合适位置”与自激梳的要求相同;三是前面说到的潮湿问题以及仪器不清洁问题也是造成起电机电荷量小的原因.

2.4 传送带偏离上下滚轮的中线

当传送带偏离上下滚轮的中线较多时,传送带会与绝缘支架内壁摩擦,造成传送带与支架内壁磨损受伤.此时需要松开电动机安装支架,重新调整电动机位置且固定之;或者调试上滚轮两端的螺母,使橡胶带到达较理想的中线位置.传送带如果出现裂纹老化现象直接影响起电效果,必须更换新的传送带.此外需要注意:教学演示结束要将小球与大球接触完全放电后人体方可接触金属球.