

# 抗磁性物质磁悬浮的实验设计

陈钢, 韩英, 沈凯

(浙江工业大学 理学院应用物理系, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 为了对磁场分布以及磁场对物质磁化现象有更加深入直观的了解和认识, 利用永磁铁排列成一定结构, 对磁场分布特性进行了计算机模拟, 表明该结构能够在磁铁表面形成一种类似正弦波的磁场分布。再利用石墨的抗磁性, 将铅笔芯放置在磁铁表面, 磁化时产生的磁场和原磁场相斥, 竖直方向斥力和重力平衡, 水平方向借助磁场分布实现平衡, 从而可以实现稳定的磁悬浮。该实验对认识磁场分布、磁化现象、抗磁性具有一定帮助, 同时也能激发学生对磁场知识学习的兴趣和实验动手能力。

**关键词:** 磁悬浮; 抗磁; 石墨; 铅笔芯

在电磁学及电磁场的教学和学习过程中, 相比电现象, 磁现象总觉得比较抽象。与电现象相关的实验也都比较丰富, 如伏安特性测量、电桥测电阻、电阻的温度效应、电场模拟等<sup>[1]</sup>。磁现象的实验相对比较少, 一些实验要么特别简单, 如磁铁吸引力的应用, 要么特别抽象, 如电子在磁场中的运动等<sup>[2]</sup>。这个差异主要在于电现象的实验主要用电路来进行, 电场被局限在导线内, 从而容易控制和改变。而磁场由于其弥散性和磁力线的封闭性, 要构造像电路一样的封闭磁路系统, 往往设备比较沉重<sup>[3]</sup>, 不太适合开展实验。

磁现象的应用在生活中也是随处可见, 如磁卡、磁盘、防盗门的磁力锁, 工业上的应用更是较大体积的磁力吸盘, 磁力位移平台<sup>[4]</sup>。相比电的应用, 磁有许多优点, 比如不用绝缘处理, 不用专门的电源、电线。当然要做到精确的控制, 电磁和永磁的结合就更加完美, 这时还是需要电源和电线的<sup>[5]</sup>。为了更好地理解磁场的分布特点和磁场对物质的相互作用, 本文利用磁铁和物质磁化时产生的斥力来实现一种稳定的磁悬浮, 从而加深磁场分布及磁化现象的认识。

## 一 磁悬浮原理

磁悬浮现象一直是人们感到神奇和有趣的现象。提起磁悬浮肯定会想到磁悬浮列车, 由于不和轨道接触, 速度非常快。很多人都曾想着用两块磁铁的斥力形成磁悬浮, 但是恩肖定理告诉我们, 不借助外力, 这是很难平衡的<sup>[6]</sup>。就像把一个小球放到一个大球上, 很难稳定。当然利用陀螺旋转可以使一个永磁铁旋转悬浮在另一个磁铁上, 但这个时间不

会太长, 最后会掉下来, 而且操作难度比较大<sup>[7]</sup>。利用超导体的磁悬浮成本太高<sup>[8]</sup>, 利用涡流原理实现的磁悬浮本质上也是抗磁性的体现<sup>[9]</sup>, 利用电磁铁反馈形成的磁悬浮展台, 已经商业化, 价格较贵, 制作也比较复杂<sup>[10]</sup>。

超导体之所以可以在磁铁表面悬浮, 主要是利用了超导体的抗磁性, 即在磁场磁化下产生反向磁场, 这个现象对理解磁场和物质相互作用非常直观, 但由于超导体目前都需要低温才能实现, 实验起来有一定的困难。作为一个演示实验, 我们可以利用一些常温下也具有抗磁性的物质来实现。可以说自然界中物质基本分为顺磁物质和抗磁物质, 顺磁物质在磁场中磁化后和外磁场方向一致, 加强了外磁场, 这正是一些电磁线圈要加铁芯的原因。而抗磁物质在外磁场磁化时产生和外磁场相反的磁场, 这就为实现磁悬浮提供了悬浮力, 本实验正是利用了石墨的抗磁性。正如上面所说, 两个磁性相反的磁铁很难达到稳定平衡, 抗磁物质被磁化后就相当于一个磁铁, 也很难稳定平衡。利用特殊的磁铁结构, 构造出一种类似碗状的磁场, 可以将铅笔芯牢牢地限制在磁铁表面, 从而实现稳定悬浮。图1是一些常见的抗磁物质的磁化系数<sup>[11]</sup>, 从图1中可以看出, 金属铍、石墨和热解石墨的抗磁性最好, 最适合做抗磁性的磁悬浮实验, 本实验中选取容易获得的石墨含量较纯的自动铅笔芯为实验材料。

## 二 磁场模拟

要利用抗磁性实现稳定的磁悬浮, 要构造一种特殊的磁场结构, 如图2所示, 立方体磁铁NS极交替排列, 在磁铁表面将形成一种类似正弦波的磁

**基金项目:** 浙江工业大学校级精品在线开放课程建设项目(JPZX1514)

**作者简介:** 陈钢,男,陕西西安人,副教授,研究方向为电磁场理论,激光物理。

材料 <sup>Ⓐ</sup>	磁化系数 (10 <sup>-5</sup> ) <sup>Ⓐ</sup>
铜 <sup>Ⓐ</sup>	-0.9 <sup>Ⓐ</sup>
锌 <sup>Ⓐ</sup>	-1.4 <sup>Ⓐ</sup>
金 <sup>Ⓐ</sup>	-3.6 <sup>Ⓐ</sup>
铋 <sup>Ⓐ</sup>	-16.7 <sup>Ⓐ</sup>
石墨 <sup>Ⓐ</sup>	-16 <sup>Ⓐ</sup>
热解石墨 <sup>Ⓐ</sup>	-47 <sup>Ⓐ</sup>

图1 常见抗磁物质的磁化系数

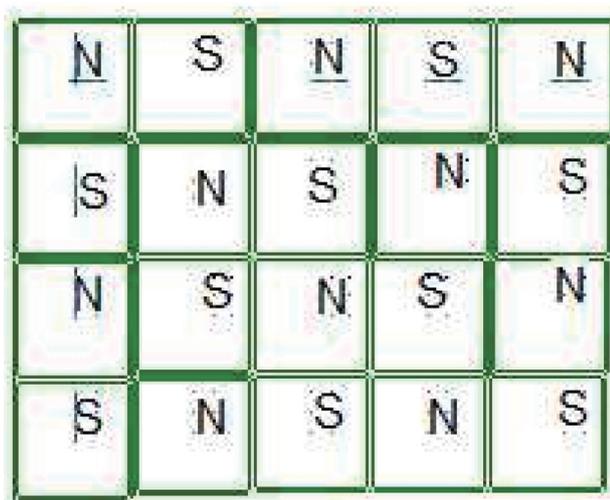


图2 磁铁排布

场分布，这样抗磁物质会被限制在两个峰之间形成的一个磁阱中。利用磁场模拟软件，可以模拟出这种磁场的二维或三维分布<sup>[12]</sup>，模拟中磁铁选边长为5mm的立方体，这和实验中用到的磁铁参数一致，结果见图3。

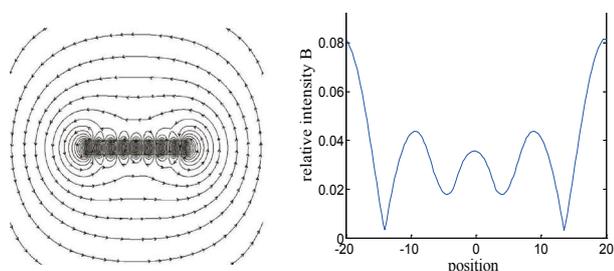


图3 磁场二维、一维分布模拟

从图3中的磁场模拟可以看到，当立方体小磁铁NS交替排列时，磁力线从N极出发回到相邻的S极，在磁极表面附近能够形成类似正弦波分布的磁场，这种磁场分布也被叫做Halbach磁场，该磁场

可用于实现精确的磁悬浮位移平台<sup>[4]</sup>。从模拟计算可以看到，这个磁阱的高度非常有限，在磁铁表面约1-2mm，所以抗磁物质的悬浮高度非常有限。当然增加磁铁的体积会增大磁阱的高度，但是这样会降低磁场的梯度，使得磁场变化比较平坦，反而不利于抗磁物质的稳定悬浮。

### 三 实验结果

为了增大磁场，要尽量选用剩磁大的永磁体，经过多次尝试，发现牌号为N52的钕铁硼永磁是最佳选择，如果牌号小一些就很难悬浮。铅笔芯尽量选用比较细的自动铅笔的笔芯，可选0.3-0.7mm粗细的。非常重要的一点是尽管大家都知道铅笔芯是用石墨做的，但其中石墨的含量是差别很大的，大部分铅笔芯中除了石墨，还有大量的黏土成分，这些黏土里面含有一定量的铁元素，所以市面上买到的铅笔芯基本不会悬浮，而是吸引。为了实现抗磁悬浮，可以选用树脂材料和石墨合成的铅笔芯，而且要石墨含量尽量高。实验中选用了比较方便购买的日本派通牌自动铅笔芯，小磁体选用了边长5mm的40个小立方体。

由于所选的磁铁磁性较强，买来的磁铁都是NSNS相互吸引成一直条。而排列时需要NS极向上，必须分开每一个小磁体然后再排列。具体做法可以先找一个比较薄的铁皮盒子，然后从整条磁铁的一头侧向用力掰一个小磁铁下来，然后将该小磁铁吸在铁皮盒子上，这时能够保证N或S极向上。然后再从整条磁铁的另外一头掰一个小磁铁下来，和第一次吸上去的小磁铁并排放置，两个小磁铁侧边吸在一起，而向上的磁极和第一个是相反的。依次类推，可以先排列成8-10个一条，然后再组装成4×8或者5×8的阵列，这样就能够保证排列成NS极交错且磁极向上的磁铁阵列。

磁悬浮时根据磁极面积大小，将铅笔芯长度截取为不超过最长磁极的一半最好，磁铁尽量保持水平放置，轻轻放置铅笔芯，即可实现悬浮。如果铅笔芯总是朝一个方向滑动，说明磁铁放置的不够水平，可调整磁铁位置。悬浮的位置根据磁体面积大小，会有许多不同的位置，而且有的平行于磁铁的边沿，有的可能沿着对角线，另外铅笔芯的长短对悬浮的状态也有影响，太短和太长悬浮的状态可能不一样，各种悬浮状态如图4所示。图中当铅笔芯太短时，会出现一端吸引，一端翘起的状态。这个现象正好能解释抗磁性物质被磁化后出现了NS极，在单个磁铁的正中心磁场最强，所以被吸引住了，但只要换个位置还是能够悬浮，这对理解磁化现象及磁场分

(下转第195页)

不可少的一剂良药,是打开医患“心结”的一把钥匙。

综上,改善医患关系的金钥匙就是医患沟通,而医患沟通需要医生、患者互相配合。医患关系的改善取决于双方的努力。医生和患者应该是面对同一个敌人的战友而不是互相把对方作为假想敌。医生是医患这个矛盾对立统一体中的主要方面。在目前无法解决患方因素的情况下,我们应该加强对医学生及临床医生群体的医患沟通教育,改善医生行业的人文素质,提高医患沟通能力,构建和谐医患关系。

#### 参考文献

- [1] 王方松. 论医患沟通的实现[J]. 江苏卫生事业管理, 2006, 1: 11-15.
- [2] Silverman J. Teaching clinical communication: A mainstream activity or just a minority sport? Patient Educ Couns, 2009, 76(3): 361-367.
- [3] Gude T, Baerheim A, Holen A, et al. Comparing self-reported communication skills of medical students in traditional and integrated curricula: a nationwide study. Patient Educ Couns, 2005, 58(3): 271-278.
- [4] Carvalho IP, Pais VG, Almeida SS, et al. Learning clinical communication skills: Outcomes of a program for professional practitioners. Patient Educ Couns, 2010, 84(1): 84-89.

(上接第188页)

布更有帮助。



图4 铅笔芯不同的悬浮状态

#### 四 小结

通过选取剩磁较大的 N52 钕铁硼永磁铁来构造出一种特殊的磁场结构,利用磁场模拟软件分析了该结构的磁场分布特性,该结构能够在磁铁表面形成一种类似正弦波的磁场分布。选取石墨含量较纯的铅笔芯,利用石墨的抗磁性,竖直方向斥力和重力平衡,水平方向借助磁场分布实现平衡,从而可以实现稳定的磁悬浮。

#### 参考文献

- [1] 隋成华. 大学物理实验[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2012.
- [2] 李海洋, 陈水桥, 陈红雨, 等. 大学物理实验 II[M]. 北京: 高等

教育出版社, 2014.

- [3] 贺湘琰. 电器学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 张生果. 磁悬浮平面电机驱动及控制技术磁力位移平台[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [5] 郎素萍, 强冬梅. 电永磁吸盘及其应用的研究[J]. 天津成人高等学校联合学报, 2004, 6(2): 82-85.
- [6] S. Earnshaw. On the nature of the molecular forces, which regulate the constitution of the luminiferous ether [J]. Transactions of Cambridge Philosophical Society, 1842, 7.
- [7] 贺文字. 关于磁悬浮陀螺稳定悬浮条件的探讨[J]. 大学物理, 2012, 31(5): 8-10.
- [8] 刘建华, 王秋良, 严陆光, 等. 一种超导磁悬浮系统的设计及悬浮力特性分析[J]. 电工技术学报, 2010, 25(10): 1-5.
- [9] 杨联弟. 基于感应涡流的磁悬浮实验的设计[J]. 运城学院学报, 2013, 31(5): 41-43.
- [10] 王莉, 熊剑, 张昆仑, 连级三. 永磁和电磁构成的混合式悬浮系统研究[J]. 铁道学报, 2005, 27(3): 50-54.
- [11] 王桂香. 抗磁性磁悬浮装置的研究[D]. 北京交通大学, 2006.
- [12] 郭磊, 严珩志, 李群明, 杨安全. 一种磁悬浮平台的电磁场分析[J]. 仪器仪表用户, 2005, 12(2): 76-77.

(上接第192页)

的形成。

#### (三) 提供必要的心理支持与辅导

高校应充分发挥学生心理中心的作用,开设专门针对学生学习心理的辅导小组,为学生提高心理压力释放的场所,并给学生提供专业的心理咨询辅导,缓和学习压力,提高学习适应性能力。如心理老师利用专业的技能帮助学生认识学习的方法与原

理,了解自身的学习潜能,协助学生树立清晰明确的学习目标。

#### 参考文献

- [1] 甄瑞. 高职新生学习适应性状况调查研究[J]. 河北农业大学学报(农林教育版), 2015(2): 83-87.
- [2] 牛丽凤. 大学生学习适应性的调查与研究[J]. 青岛大学师范学院学报, 2011(6): 65-72.