

挖掘传感器的教学价值

——以加速度传感器为例

何京妮 (深圳市高级中学 广东 518040)

摘 要 本文以加速度传感器为例,将求加速度这一力学问题与电路设计相结合,体现了转化思维在实验设计中的应用,让学生体验从科学知识到技术实现的过程,提升其科学思维与科学探究能力。

关键词 传感器 加速度 电路设计

文章编号 1002-0748(2022)2-0022

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 课程标准对于传感器一章的要求

《普通高中物理课程标准(2017年版)》对于传感器一章的要求为:知道非电学量转换为电学量的技术意义;通过实验,了解常见传感器的工作原理,会利用传感器制作简单的自动控制装置;列举传感器在生产生活中的应用。可见,课程标准从学科学业要求的层面提高了对传感器的重视程度。

传感器是物理知识和技术应用两个领域的重要交叉点,一方面蕴含了丰富的物理知识与思想,另一方面体现了技术在日常生活中的应用,与新高考评价体系“一核”“四层”“四翼”的要求高度契合,充分体现了基础性、综合性、应用性和创新性。

本章从实际情境中习得知识、运用知识,与新课程、新高考理念契合,教师们需对本章节给予足够的重视。由于智能手机的普及,传感器作为被研究的对象或科学探究的工具,为学生提供了丰富的课后研究空间。如何找到切入点将传感器与课程教学、学生活动有机结合,是本文讨论的重点。

2 中学阶段传感器的应用

当前中学阶段有关传感器的应用,多集中在实验仪器方面,例如用 DISlab 或 PASCO 系统设计教具及实验辅助教学,用智能手机内置的传感器进行实验探究等。集成化传感器的应用体现了现代科技服务于学科教学,为教与学拓宽了深度和广度,也为学生的自主探究提供了技术手段上的支撑。通过传感器辅助演示实验,更清晰地展现实验现象和实时采集的数据,让学生对实验有更深刻的认识,也更容

易理解物理规律;同时,学生在亲自动手实验过程中,学会使用传感器去测量某些物理量或设计实验,提升了科学探究核心素养。

3 教师研究传感器的新方向

在拓宽传感器应用的基础上,尝试挖掘传感器背后的工作原理,将技术与物理原理相结合,是中学教师研究传感器的新方向,也为命题与教学设计提供了新思路。

引导学生用已有的物理知识去理解、解释常见传感器的基本原理,可从物理观念层面提升学生的物理学科核心素养。传感器通过电路进行测量与控制,恰好是学生加深理解相应物理规律、领悟电路设计思路的重要载体。例如,霍尔元件在磁场中产生的霍尔电压与什么因素有关;如何通过测出的数据绘制的电压-时间图象算出转速等。

传感器是将非电学量转换为电学量的元件,转化法是科学思维中的重要方法。如何实现这一转化,则是在设计传感器时要解决的核心问题。例如,位移传感器是通过测量什么物理量来测量位移的?物理量间的转化,是科学探究中经常面临的问题,对该问题的深入思考,有助于拓宽解决问题的思路,提升学生的思维水平。

下面将以加速度传感器为例,介绍如何从设计原理和物理量的转化入手,挖掘传感器的教学价值。

4 基于实际情境的设计——加速度传感器

加速度传感器在生活中有重要作用,例如控制

汽车安全气囊的弹出需要迅速、精准地测量加速度。如何方便且准确地测量加速度呢？测量加速度主要基于两种原理：一是运动学公式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ；二是牛顿运动定律 $a = \frac{F}{m}$ 。高中物理常见的测量方案是用打点计时器记录物体运动的位置和时间信息，通过运动学公式求解。但受精确度和可操作性的限制，无法满足生活实践的需要。利用牛顿运动定律设计传感器，则需要实时测量物体所受的合外力，并转化为电学量输入控制电路。

常见的加速度传感器主要有电阻式、电容式、应变式、压电式等。考虑到与高中物理知识的关联性，本文选择电阻式和电容式传感器作为教学素材，两者测量加速度的方式相似。如图 1 所示，物体与固定的弹簧连接，弹簧形变改变物体的受力情况，将测量合外力转化为测量弹簧的形变量，再通过弹簧形变引起接入电路的电阻或电容变化，将弹簧形变量这一非电学量转化为电压、电流等电学量，实现弹簧形变量的测量，再由胡克定律算出弹力从而得到物体的加速度。

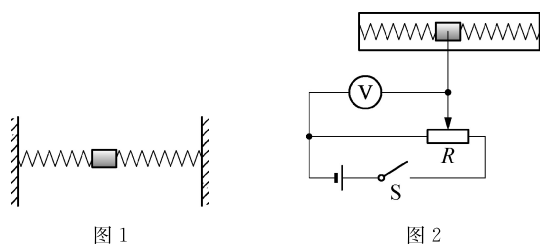


图 1

图 2

电阻式加速度传感器如图 2 所示。质量为 m 的物体处于平衡位置时，电压表示数为 $U_0 = IR_{左} = I \frac{R x_{左}}{x_{总}}$ ，若物体向左偏离平衡位置 Δx ，则两个劲度系数均为 k 的弹簧提供向右的合力 $F_{合} = 2k\Delta x = ma$ 。闭合回路中，线性电阻 R 总长度 $x_{总}$ ，流过 R 的电流 I 始终不变，此时电压表示数 $U_1 = IR'_{左} = I \frac{R(x_{左} - \Delta x)}{x_{总}}$ ，电压变化量 $\Delta U = U_1 - U_0 = -I \frac{R\Delta x}{x_{总}}$ ，加速度 $a = \frac{2k\Delta x}{m} = -\frac{2k x_{总}}{mIR} \Delta U$ 。可见，由电压变化量可定量描述加速度，电压变化量为正时，加速度方向向左；电压变化量为负时，加速度方向向右；加速度大小可由电压变化量乘上系数得到。

在电容式加速度传感器中，与弹簧相连的极板

会随着受力情况的改变靠近或远离另一固定的极板，通过测量电容器的充放电情况，便可反推出物体的加速度大小和方向。课程标准对电容式加速度传感器的要求较低，只需定性分析原理，将惯性、加速度与平行板电容器的充放电联系起来，实现知识的有机融合。举例如下。

例题 微信运动步数的测量是通过手机内电容式加速度传感器实现的。如图 3 所示，电容器与电源相连，上极板固定，下极板连接两相同弹簧，弹簧只能前后伸缩，图中 R 为定值电阻。下列对传感器的描述中正确的是 ()

(A) 静止时，电流表示数为零，电容器两极板不带电

(B) 由静止突然向前加速时，电容器的电容增大

(C) 由静止突然向前加速时，电流由 b 向 a 流过电流表

(D) 保持向前匀减速运动时，电阻 R 以恒定功率发热

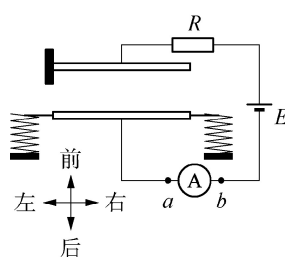


图 3

实际生活中常用的 MEMS 系列加速度传感器就采用电容式的设计思路，原理图如图 4 所示，质量块做变速运动时，通过电路中电容电荷量的变化，间接测量质量块相对平衡位置的运动距离，得出弹簧弹力由此算出加速度。

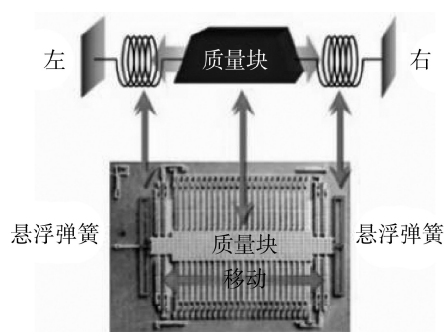


图 4

真实情境中需在三维空间里测量加速度，则在三个相互垂直的方向设置类似的装置，分别测出三个方向的分加速度再进行合成。

这两种加速度传感器的设计都将求加速度这一力学问题与电路知识结合，通过转化法与科学推理，

(下转第 55 页)

对⑨式 θ 角求偏导, 并令偏导等于零, 可得

$$x \cos \theta - (R - r - y) \sin \theta = 0 \quad (10)$$

由⑩式可得

$$\sin \theta = \frac{x}{\sqrt{(R - r - y)^2 + x^2}} \quad (11)$$

$$\cos \theta = \frac{R - r - y}{\sqrt{(R - r - y)^2 + x^2}} \quad (12)$$

将⑪、⑫式代入⑨式, 可得粒子束在圆形磁场中偏转轨迹的包络线方程为

$$x^2 + [y - (R - r)]^2 = (R - r)^2 \quad (13)$$

观察⑬式可以发现, ⑬式为圆的标准方程, 其对应的圆的圆心坐标为 $(0, R - r)$ 、半径为 $(R - r)$ 。

如图 3(a) 所示的平行带电粒子束在圆形磁场中的偏转轨迹的包络线方程和包络线形状均说明, 当轨迹圆半径 r 小于磁场圆半径 R 时, 偏转轨迹不具有磁聚焦的特征。

只有当轨迹圆半径 r 趋近于磁场圆半径 R 时, 平行带电粒子束在圆形磁场中的偏转轨迹的包络线逐渐收缩为一个点, 才呈现出如图 3(b) 所示的磁聚焦特征。

2. 4. 2 轨迹圆半径 r 大于磁场圆半径 R 时

基于⑧式所表示的平行带电粒子束射出圆形磁场后的轨迹所在的直线方程, 利用 2. 4. 1 小节的方法, 可以得到如图 3(c) 所示的轨迹圆半径 r 大于磁场圆半径 R 时出射粒子束的轨迹的包络线。该包络线为一条平滑的曲线, 曲线形状随着轨迹圆半径 r 的变化而变化。

只有轨迹圆半径 r 趋近于磁场圆半径 R 时, 平行带电粒子束射出圆形磁场后的轨迹的包络线才会逐

渐收缩为一个点, 呈现出如图 3(b) 所示的磁聚焦特征。

由于方法雷同, 步骤冗长, 运算复杂, 不再赘述。

3 结 论

平行带电粒子束在圆形匀强磁场中偏转时, 如果轨迹圆半径小于磁场圆半径, 偏转轨迹在磁场圆内部不会汇聚于一点, 而是形成一条半圆形的包络线; 如果轨迹圆半径大于磁场圆半径, 出射线轨迹在磁场圆外部也不会汇聚于一点, 而是形成平滑的包络线。这两种情况下的包络线的形状都会随着轨迹圆半径的变化而变化。只有轨迹圆半径与磁场圆半径相等时, 平行带电粒子束中的所有粒子在圆形匀强磁场中的偏转轨迹才会汇聚于一点, 呈现出磁聚焦的特征。

参考文献

- [1] 王百庆, 黄晶. 磁聚焦与磁扩散——2009 年浙江省高考理综物理压轴题的背景透视[J]. 物理教师, 2010(1): 53—54.
- [2] 周文富. 2009 年高考海南卷第 16 题无定解之分析[J]. 物理通报, 2010(9): 62—63.
- [3] 袁晓鹤. 带电粒子在匀强磁场中运动的磁聚焦问题归类分析[J]. 物理教学, 2018(8): 31—34, 36.
- [4] 曾国平. 例析磁聚焦与磁扩散[J]. 物理教学探讨, 2010(7): 54—56.
- [5] 王波. 圆形有界磁场中“磁聚焦”规律的证明及应用[J]. 物理教学, 2011(12): 47—49.
- [6] 吴建鹏. 透析带电粒子在圆边界磁场中的磁发散与磁聚焦现象[J]. 中学物理教学参考, 2020(18): 18—19.
- [7] 李锦成. 直线关于直线的对称直线的公式[J]. 数学学习与研究, 2017(10): 153.
- [8] 杨广娟. 直线关于直线对称问题的求解方法[J]. 高中数学教与学, 2017(20): 45—46.
- [9] 董慎行. 抛体包络线方程的推导及其用例举[J]. 物理教师, 2007(12): 45—46.

(上接第 23 页)

将非电学量转化为电学量。若以设计加速度传感器为主线进行项目式学习, 引导学生经历实验原理选择、实验电路设计、实验装置搭建、实验操作与数据采集、分析与论证、交流与反思等科学探究全过程, 可在实际情景下加深学生对用牛顿第二定律求加速度、电路设计的理解, 让他们初步体验从科学知识到技术应用的过程, 也为学生从实际情境中发现问题、解决问题提供了方法论上的指导。

5 小 结

挖掘传感器的教学价值时, 可从用传感器设计、

优化实验和用已有知识理解、设计传感器两个角度深入思考, 使学生在实际问题的解决过程中完善知识网络, 提升分析、推理能力, 播下创新、创造的种子。

参考文献

- [1] 周祎, 马如宝. 创设真情景 探究真问题[J]. 物理教学, 2019(8): 2—6.
- [2] 教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020. 6.