同轴异电　废旧重生

——手摇式交直流并发发电机教具的创新设计

陈振朝

（沙河市渭水学校，河北邢台 054100）

摘　要：在初中物理教学中，学生对“相线为何不是正极、中性线为何不是负极”常感到困惑，其根源在于对交流电特性的认知不足。为此，利用生活中的废旧材料设计制作一款手摇式交直流并发发电机教具。该教具在同轴转子上同时安装换向器与集流环，实现交流与直流同机同步输出，同时还配合基于发光二极管的电流检测装置，将抽象的电流方向变化转化为直观的视觉现象。它可用于开展交直流对比实验，帮助学生厘清二者的本质差异，纠正“相线为正极、中性线为负极”的错误认知。该教具制作成本低廉、操作便捷，在初中物理电学教学中具有较高的实用价值与推广意义。

关键词：交直流并发发电机；废旧材料；电流检测；物理教学；对比实验；模块化设计

DOI：10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.10.023

引用格式：陈振朝.同轴异电　废旧重生：手摇式交直流并发发电机教具的创新设计[J].实验教学与仪器，2026，43(10)：92-94，104.

《义务教育科学课程标准（2022年版）》提出：“教师应根据教学需要，本着科学合理、安全可靠的要求开发实验教具。”[1]在中学物理家庭电路教学中，交流电的成因、方向变化特性及其与直流电的本质区别，是教学的核心难点[2]，学生对此普遍存在认知困难，诸如“家庭电路中相线为何不是正极、中性线为何不是负极”“三根相线既然同为相线，为何两两之间还存在电压”等问题，始终困扰着学生。传统教学多依赖理论讲解与静态图片展示，无法让学生直观感知“交流电方向不断变化，不存在固定正负极”的核心特性，导致学生容易形成“相线就是正极、中性线就是负极”的错误概念，进而影响后续家庭电路知识的学习，这与直观性教学原则中“通过直观手段降低抽象知识理解难度”的要求相悖。

此外，物理实验室现有发电机教具功能单一，同一时间仅能输出交流电或直流电，无法实现二者同步对比；少数可进行交直流对比的教具，也需两台设备配合操作，存在对比误差大、无法同步观察的问题，难以通过对比实验教学法凸显交直流的本质差异，导致教学效果不佳，无法有效突破上述教学难点和纠正学生错误认知。基于此，为突破教学瓶颈、激发学生学习兴趣，帮助学生直观清晰地认知交直流电的本质区别，从根源上纠正错误的前概念，笔者设计并制作了交直流并发发电机教具（图1），可同步解决上述教学难题。

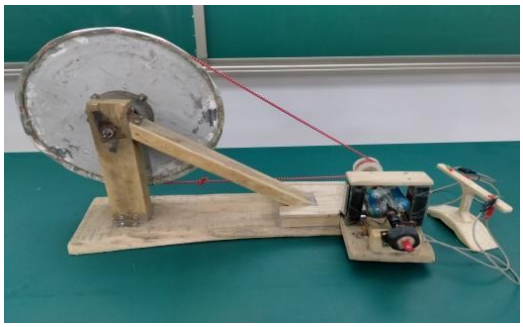


图1　交直流并发发电机

1　制作方法

1.1　转子制作

选取直径为10 mm、长度约150 mm的PVC管，在管体中部对称粘贴两片尺寸适宜的饮料罐铁皮，作为铁芯；沿同一方向在铁芯上缠绕数百匝铜漆包线（或剥取网线内芯细导线），完成发电机线圈制作。

选取宽度约10 mm、厚度约1 mm的铜片，围绕直径约10 mm的钢筋弯折成型，制作3个顶针状铜圆环。取其中1个铜圆环沿环面中线对半切开，制成两个铜半环，分别与线圈两端连接；用绝缘胶黏剂将两个半环粘贴于PVC管外侧壁（紧邻线圈任一端），使两个半环拼接成环状并预留绝缘间隙，即完成换向器的制作。

取剩余2个铜环，用两段引线分别与线圈两端连接，使线圈两端、换向器两端与集流环两端之间形成两组三

叉连接。用胶黏剂将2个铜环前后相邻固定于PVC管另一端(紧邻线圈),连接外侧铜环的导线需从内侧铜环内部穿过,并确保与内侧铜环保持绝缘,即完成集流环的制作。

换向器、集流环、转轴、铁芯与线圈共同构成发电机转子,制作过程中应确保线圈紧密绕制。将换向器与集流环集成于同一转子,是本教具的核心创新点(图2)。其设计依据为电磁感应定律:当穿过闭合电路的磁通量发生变化时,电路中会产生感应电动势[3]。

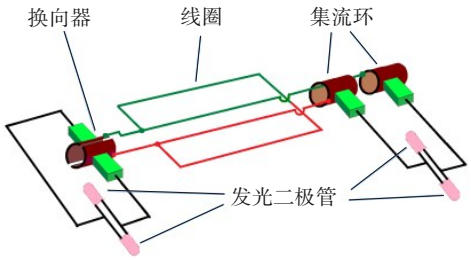


图2 转子结构设计示意图

1.2 定子制作

选取长200 mm、宽150 mm、厚10 mm的木板作为定子基板。在与转子上换向器对应的位置,固定粗铜丝或铜片作为电刷,确保电刷自由端与换向器紧密接触,借助电刷与换向器的配合实现机械整流,输出直流电。

在定子基板上与集流环对应的位置,另固定两根粗铜丝或两片铜片作为电刷,使其分别与2个铜环紧密接触。借助集流环与电刷的导电作用,直接输出线圈中的感应交流电。

在定子基板上与转子线圈两侧对应的位置加装磁体并固定牢固,防止使用过程中移位。电刷与磁体共同构成发电机定子:磁体用于产生稳定磁场,使转子线圈旋转时磁通量发生周期性变化,满足电磁感应的产生条件[3]。定子制作完成后,按要求组装转子与定子,完成发电机主体结构的搭建。

1.3 整体组装

选取废旧铁桶盖,打磨边缘去除毛刺,制成飞轮。通过轴承将飞轮安装在木质支架上,作为手摇主动轮,确保转动顺畅。采用橡胶皮带连接发电机转轴与手摇飞轮,调整皮带松紧度,确保飞轮转动时能有效带动转子旋转。整体组装兼顾操作便利性,便于学生动手操作、开展探究学习。至此,完成手摇式交直流并发发电机教具的制作。

1.4 电流检测装置制作

取红色、绿色发光二极管各1支,将二者正负极反向对接,形成一组检测单元,利用发光二极管的单向导电特性,根据发光情况判断电流方向(图3)。制作两组相同的检测装置,分别用导线可靠连接至集流环电刷输出端子与换向器电刷输出端子,确保接触良好,避免影响检测效果。该设计将抽象的电流方向变化转化为直观的灯光亮灭变化,是直观性教学原则的具体应用[2]。



图3 交直电流检测装置

2 使用方法

2.1 交直流判断

使用者手摇飞轮,带动转子旋转,同时观察两组发光二极管的发光情况。与集流环连接的红、绿二极管交替发光,表明电流方向发生周期性变化,输出为交流电;与换向器连接的二极管仅呈单一颜色常亮,且亮度稳定,表明电流方向保持不变,输出为直流电。学生通过主动操作、观察现象,体现了建构主义学习理论中“学习者主动建构知识”的核心观点[4-5]。

2.2 转动方向对电流的影响

改变手摇飞轮的转动方向,继续观察二极管发光变化:交流电输出端的红、绿二极管仍交替发光,仅交替频率随转速略有变化,交变特性不变;直流电输出端的二极管由一种颜色切换为另一种颜色,但始终保持单灯常亮。这一现象表明,转子转动方向改变会使直流电的输出方向发生变化,但电流类型不变,同时验证了电磁感应中感应电流方向与磁通量变化之间的关联规律[3]。

2.3 原理说明

发电机转子线圈在定子磁场中旋转时,线圈每转过半圈,其有效边切割磁感线的方向就改变一次。根据电磁感应定律和楞次定律($E = n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$)可知,线圈内部感应电流方向每半圈改变一次,因此线圈中产生的是方向周

期性变化的交流电[3]。

集流环仅起传导电流的作用，不改变电流方向，故直接输出交流电；换向器随转子同步旋转，每转过半圈，便与固定电刷完成一次极性切换，对交流电进行机械整流，使输出电流方向始终一致，将交流电转化为直流电[3]。这一原理阐释了“同一转子输出两种电流”的本质，为学生理解交直流差异提供了核心理论依据。

2.4 能量转化验证

将外部电源接入发电机直流电输出端子，发电机转子在电磁力的驱动下旋转并带动飞轮转动，发电机切换为电动机模式。这一现象验证了装置中电能与机械能的相互转化，契合能量守恒定律——能量在转化过程中总量保持不变，只是形式发生改变[3,6]，从而让学生对能量转化原理形成直观、深刻的认识。

3 创新点

3.1 核心结构创新：同轴同步输出，直观对比呈现

本教具的核心创新是在同一转子上同轴集成换向器与集流环，实现交流电与直流电同机同步输出，配合反向对接的二极管检测装置，将抽象的电流方向变化转化为直观的灯光差异。与传统仅能单一输出交流电或直流电的教具相比，本教具无须更换设备即可完成交直流对比；与需要两台设备配合对比的教具相比，本教具有效解决了多设备对比误差大、无法同步观察的问题，让学生在同一操作环境下，实时观察两种电流的输出表现，清晰对比二者在电流方向变化上的本质差异，帮助学生理解交直流形成原理及交流电“无固定正负极”的核心特性，为纠正学生“相线为正极、中性线为负极”的错误认知提供直接支撑，增强教学针对性。该设计遵循对比实验教学法的要求，控制其他变量，使实验结论更具说服力[2]。

3.2 模块化设计，卡槽式速接

该教具采用模块化卡槽结构，将发电机主体、手摇飞轮、电流检测装置设计为可快速组装与拆卸的独立模块（图4），可单独取出发电机主体开展电磁感应原理探究，单独拆卸电流检测装置讲解二极管单向导电特性，亦可单独操作手摇飞轮观察转速对电流输出的影响，还可根据教学需求灵活组合，满足多样化实验场景的需求，提升教具使用效率，拓展适用范围[7]。该设计源于模块化设计理论，将复杂系统拆分为独立功能模块，通过模块组合适配多样化教学需求，提高教具的复用性与灵活性[7]。

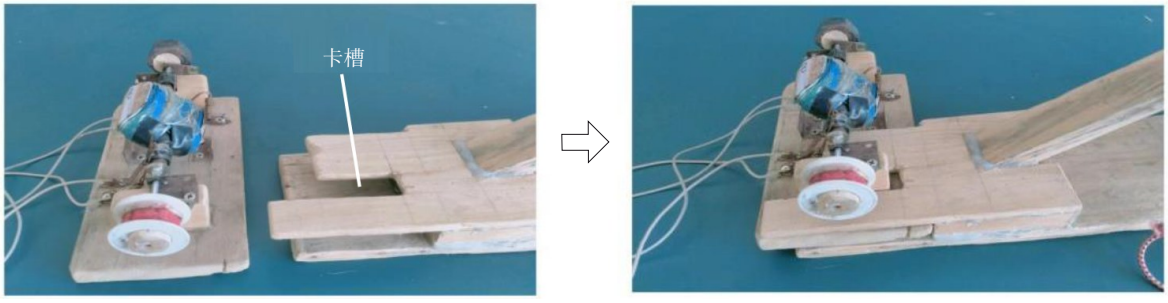


图4 模块化卡槽设计

3.3 创新材料，学科跨越

教具制作材料均为生活中的废旧物品，如饮料罐铁皮、铁桶盖、废旧网线、木质边角料、PVC管等。选用这些材料可显著降低制作成本，便于各类学校推广，符合低成本教具开发理论“利用生活材料实现教育资源均衡化”的核心原则；同时让学生感受“生活中处处有科学”，消除对实验器材的陌生感，激发物理学习兴趣，培养环保意识与创新思维。此外，制作过程融合科学（电磁原理）、技术（材料加工）、工程（结构组装）、数学（匝数与尺寸计算）等多学科要素，践行STEAM教育理念，可有效培养学生的跨学科综合素养[8]。

3.4 依托创新教具，赋能创新教学

创新教具在课堂中的应用，推动了相应教学模式的创新，并在实际教学中展现出良好的辅助教学效果。与传统理论讲解为主的教学相比，学生亲手操作由废旧材料制作的发电机，尤其是通过观察两组源自同一线圈却呈现出不同发光现象的二极管，能够直观、清晰地理解交流电的特性，同时掌握换向器的原理及作用，学习积极性与课堂参与度得到显著提升，充分体现了以学生为中心的教学工具设计优势。

教学实践表明，多数学生能够快速区分交流电与直流电的差异，准确把握交流电的成因及核心特性，有效纠

（下转第104页）