

与土木工程相结合的大学物理教学设计*

刘恒志 徐 迅 徐洁如 王 旭 罗达峰

(南通大学杏林学院 江苏 南通 226000)

(收稿日期:2023-04-03)

摘要:大学物理是理工科专业的一门基础课,如何与专业深入结合,满足专业建设需求,是大学物理教学改革的重要内容.以土木工程专业为例,将大学物理理论与实际工程相结合,在教学中融入工程实例,设计了建筑格构柱稳定性校核、建筑屋面虹吸排水系统、建筑供暖热泵系统、电容电感式传感器、光弹性法测量结构应力应变等教学实例.用工程实例讲述物理理论,实现以专业为导向的大学物理教学.

关键词:大学物理;土木工程;专业结合;教学设计

1 前言

大学物理是理工科专业的一门基础课.近年来,教育部积极引导地方高校向应用型技术型本科院校转型,大学物理课程如何与专业衔接,满足专业建设需求,成为大学物理教学改革的重要内容.很多学者在教学、教材创新方面进行积极的尝试并取得了一定的成果^[1-6].

笔者参与编写的教材《大学基础物理学》^[7],根据工程技术人才培养的目标和要求,对大学物理学的内容进行了重新编排,突破了传统教材的框架和内容体系,力求为专业后续课程打好基础.该教材针对不同专业提供了力学、热学、电磁学、光学和近代物理基础 5 个选讲模块,各专业可根据后续专业课程选择任意组合.

笔者在学院承担土木工程专业大学基础物理学的教学任务,认为目前的教材,虽按专业需求调整了教学侧重点,但物理学与专业的结合仍不够深入,缺乏工程实例支撑,迫切需要在课程中引入具体情境,用工程实例来讲述物理理论.然而,工程实例大多较为复杂,涉及跨章节跨学科理论知识的综合运用,直接引入课程对学生难度过大,反而适得其反.因此,深入研究工程中的物理理论,从中提炼与课程中知识点相关联的实例,帮助学生更深刻地理解理论并

了解其专业实用性,具有很强的现实意义.

本文从力学、热力学、电磁学、光学等几个方面,开展与土木工程相结合的教学设计,为大学物理与专业相结合的教学改革提供思路.

2 “平行轴定理”结合建筑格构柱的稳定性校核

在钢结构工程设计中,将实腹式工字钢柱中心腹板处的材料转移到两端翼缘处,中间用缀件连接,形成格构柱,其抗弯能力大大提升.对截面尺寸如图 1(a) 所示的格构柱一股进行稳定性校核.

物理量惯性矩通常被用作描述一个物体抵抗弯曲的能力,计算式为

$$I = \int_A y^2 dA \quad (1)$$

式中, dA 为截面各微元面积, y 为各微元到轴线的距离.

对如图 1(b) 所示的矩形,其对过质心轴的惯性矩为

$$I_c = \frac{1}{12}bh^3 \quad (2)$$

根据平行轴定理,面积对某转轴的惯性矩

$$I = I_c + Ad^2 \quad (3)$$

式中, A 为面积, d 为转轴到过质心轴的距离.

该格构柱一股对 $x-x$ 轴的惯性矩为

* 江苏省高等教育学会评估委员会课题“互联网+新时代本科院校课程评价体系的新探索”,课题编号:2021-C122;大学生创新创业训练计划项目“与专业相结合的大学物理例题设计”,项目编号:202213993028Y.

作者简介:刘恒志(2002-),男,在读本科生,土木工程专业.

通讯作者:徐迅(1983-),男,博士,副教授,研究方向为大学物理课程与教学.

$$I_x = 2 \left[\frac{1}{12} b_1 t_1^3 + b_1 t_1 \left(y_1 + \frac{t_1}{2} \right)^2 \right] + \frac{1}{12} t_2 (h_1 - 2t_1)^3 \quad (4)$$

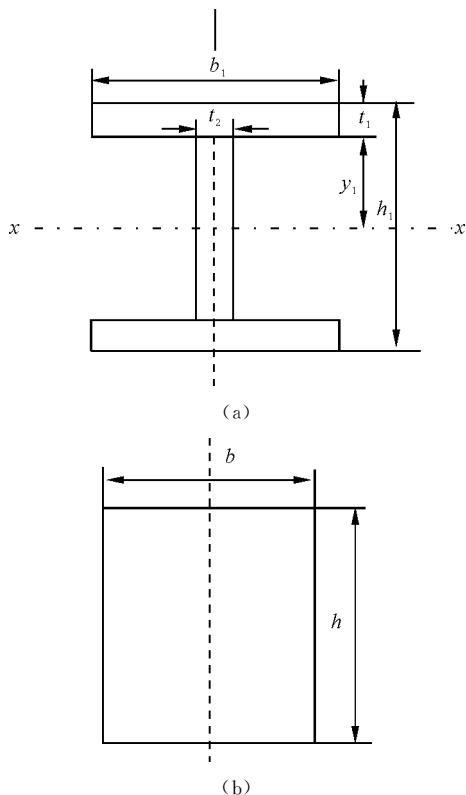


图 1 格构柱稳定性校核

将建筑格构柱稳定性校核计算融入教学,帮助学生了解刚体力学在工程中的应用,同时更深刻地理解平行轴定理。

3 “伯努利原理”结合大型屋面虹吸排水系统

大型屋面虹吸雨水排放系统,是利用伯努利方程进行排水管道内压力计算,通过管径变化从而改变排水管道内的压力变化,形成满管流,在压力作用下快速排水的系统,是大型复杂建筑屋面排水问题的有效解决方式。虹吸系统管道排水模块主要包含虹吸雨水斗及尾管、悬吊管、立管及排出管,如图 2 所示。利用伯努利原理分析虹吸系统管道内压力水头的变化情况。

取系统任意高度的截面 $x-x$,与虹吸雨水斗进口截面 $B-B$ 列伯努利方程

$$H + p_B + \frac{v_B^2}{2g} = h_x + p_x + \frac{v_x^2}{2g} + h_{B-x} \quad (5)$$

其中, $p_B=0$, $v_B=0$, h_{B-x} 为虹吸雨水斗高度 $B-B$ 到截面 $x-x$ 的总水头损失, p_x 为管道在 $x-x$ 截面处

的压力水头,令 $h = H - h_x$ 为可利用水头,则

$$p_x = h - \frac{v_x^2}{2g} - h_{B-x} \quad (6)$$

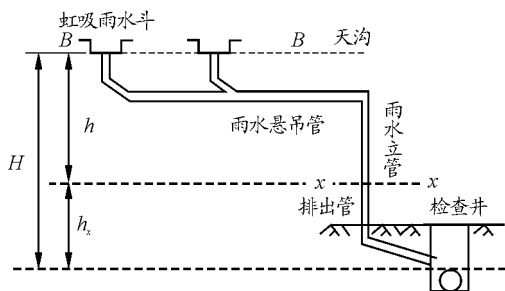


图 2 虹吸式屋面排水系统

由式(6)分析管道内压力水头的变化如下:

(1) 虹吸雨水斗可利用水头较小,尾管管径较小,流速较快,速度水头较大,加上局部阻力损失,尾管内压力可能呈现较小的正压或负压。

(2) 悬吊管段水平敷设,可利用水头不变,随着管段长度和配件数增加,管道总水头损失增大,管内负压值逐渐增大,悬吊管末端为最大负压处。

(3) 立管段系统的可利用水头快速增长,增长幅度远大于管道沿程水头损失的的增长,立管内负压值迅速变小降至为零,随之出现逐渐增大的正压值,立管底部有最大正压值。

(4) 排出管内压力水头逐渐减小,直至与大气相通的市政检查井,压力水头降至为零。

将屋面虹吸排水系统融入教学,帮助学生了解流体力学在工程中的应用,同时更深刻地理解伯努利方程。

4 “热力学循环过程”结合建筑供暖热泵系统

建筑供暖是土木工程中的重要设计部分。在当前世界能源危机以及国内“双碳”背景下,热泵技术成为近年来在全世界倍受关注的新能源技术。

热泵利用少量高品位电能作为驱动,从低温分散的热源吸收低品位热能并传输给高温热源,达到“泵热”的目的。目前应用最普遍的是空气源蒸汽压缩式热泵,运用逆卡诺循环原理,用电能驱动压缩机,将制冷剂压缩成高温高压气体;进入冷凝器放热,被冷凝成高压液体;高压液体经膨胀阀节流降压后,在蒸发器中吸收空气中的热量,蒸发成低温低压气体,又被吸入压缩机中压缩,如此反复循环。热泵系统的组成如图 3 所示。

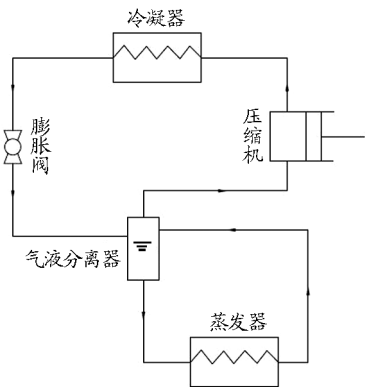


图3 热泵系统

制热系数COP是衡量热泵性能的重要指标,又称为能效比. 设制热量为 Q ,压缩机输入功为 W ,则

$$\text{COP} = \frac{Q}{W} \quad (7)$$

式中, Q 为制热量, W 为压缩机输入功.

目前热泵的COP通常在3~4. 而传统的电热水器、燃气锅炉等设备则因能量转换的过程中存在损失,其COP不超过1.

将热泵系统融入教学,帮助学生了解热力学在工程中的应用,同时更深刻地理解热力学过程、循环系统、逆卡诺循环等理论.

5 “电磁学”结合检测传感器

电容式压力传感器是利用电容敏感元件将被测压力转换成与之成一定关系的电量输出的压力传感器. 如图4所示的一单电容式压力传感器,由一个固定极板和一个弹性膜片(即动极板)组成,弹性膜片受压力而变形时,与固定极之间形成的电容量发生变化.

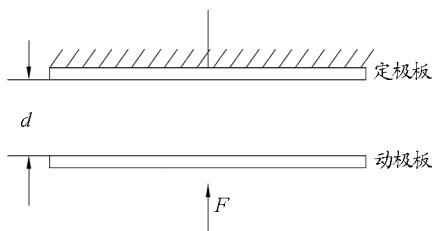


图4 单电容式压力传感器

设极板面积为 S ,极板间距离为 d ,其初始值为 d_0 ,初始电容 C_0 为

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d_0} \quad (8)$$

受到压力 F 后,极板间距离缩小了 Δd ,则电容变为

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d_0 - \Delta d} = \frac{C_0}{1 - \frac{\Delta d}{d_0}} \quad (9)$$

该实例结合了平行板电容器计算公式.

电容式液位传感器是依据电容感应原理,当被测介质浸润测量电极的高度变化时,引起电容变化. 某电容式液位传感器如图5所示,由直径为 d 和 D 的两个同心圆柱体组成,储罐高 H ,储存液体的相对电容率为 ϵ_r .

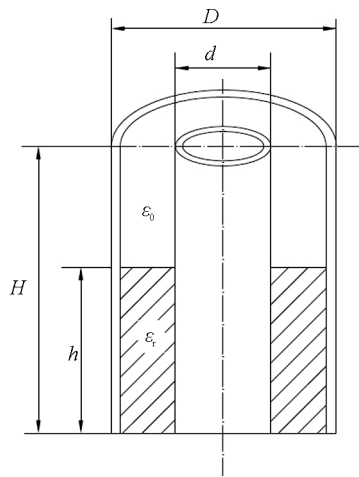


图5 电容式液位传感器

液面高度 $h=0$ 时,电容

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0 H}{\ln \frac{D}{d}} \quad (10)$$

液面高度为 h 时,电容为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 (H-h)}{\ln \frac{D}{d}} + \frac{2\pi\epsilon_0 \epsilon_r h}{\ln \frac{D}{d}} = C_0 + \frac{2\pi(\epsilon_r - \epsilon_0)h}{\ln \frac{D}{d}} = C_0 + kh \quad (11)$$

其中

$$k = \frac{2\pi(\epsilon_r - \epsilon_0)}{\ln \frac{D}{d}}$$

可见电容的增量正比于液面高度.

该实例结合了圆柱形电容器的计算公式以及电容器并联公式.

电感式压力传感器,是利用电磁感应原理将被测量如位移、压力、振动等转换成线圈自感 L 或互感 M 的变化,再由测量电路转换为电压或电流的变化输出.

一螺管式自感传感器,线圈总长为 l ,线圈半径为 r ,衔铁半径为 r_s ,衔铁磁导率为 μ_m ,线圈匝数为

N ,如图6所示.

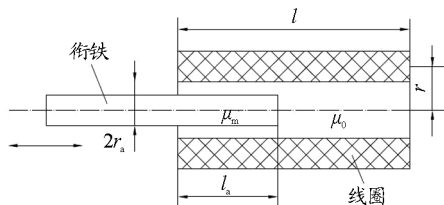


图6 螺线管型电感式传感器

当线圈中的衔铁移动时,螺线圈的自感 L 将发生相应变化

$$L = \frac{\mu_0 \pi N^2}{l^2} [lr^2 + (\mu_m - 1)l_a r_a^2] \quad (12)$$

自感的增量正比于衔铁的位移.线圈的输出电压与衔铁位移量相关.该实例结合了螺线管自感公式.

将各类检测传感器融入教学,帮助学生了解电磁学在工程中的应用,同时更深刻地理解电容、电感等理论.

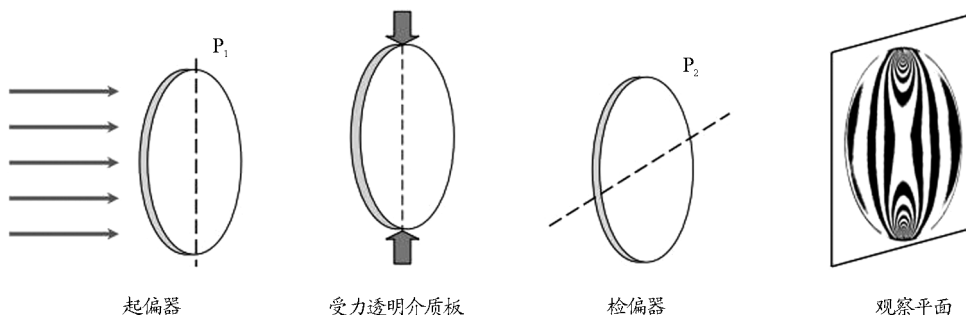


图7 光弹性实验原理图

根据应力光学定律

$$n_o - n_e = K\sigma \quad (13)$$

式中, σ 为作用应力, K 为应力光学常数.

在侧向应力作用下,透明材料可使透过的 o 光和 e 光产生相位差

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| L = \frac{2\pi}{\lambda} L K \sigma \quad (14)$$

式中, L 为材料厚度, λ 为光波长.

材料内部各处受力不均时,自各处透过的 o 光和 e 光的相位差不同.获得的干涉图样与材料内部各处应力分布相对应.将光弹性实验融入教学,帮助学生了解光学在工程中的应用,同时更深刻地理解光的干涉、偏振等理论.

7 结束语

大学物理课程与专业衔接,满足专业建设需求,

6 “光的干涉、偏振”结合光弹性法测量结构应力应变

光弹性法是土木工程测量中用于研究各种工程结构和构筑物应力应变状态的常用方法.它是采用具有双折射性能的透明材料,制作与实际构件形状相似的模型,并在模型上施加与实际构件形状相似的外力,把承载的模型置于偏振光场中,可观察到与模型应力状态有关的条纹,用于确定模型各点的应力^[8].

光弹性实验原理如图7所示,光源经过起偏器 P_1 成为线偏振光,通过受力透明介质板后,产生双折射,分解为两路折射率不同的线偏振光,其中一束仍沿原方向传播,遵守折射定律,称为寻常光,简称 o 光,另一束光偏离原来的传播方向,不服从折射定律,称为非寻常光,简称 e 光. o 光和 e 光传播速度不同,产生光程差 δ . 通过检偏镜 P_2 后,产生光干涉现象.

是大学物理教学改革的重要内容.但实际工程较为复杂,大多涉及跨章节、跨学科理论知识的综合运用,如何与大学物理基础理论相结合需要深入探讨.本文以土木工程专业为例,深入研究工程中的物理理论,从中提炼与课程知识点相关联的实例,设计了建筑格构柱稳定性校核、建筑屋面虹吸排水系统、建筑供暖热泵系统、电容电感式传感器、光弹性法测量结构应力应变等教学实例,帮助学生更深刻地理解物理理论并了解其专业实用性,为大学物理与专业相结合的教学改革提供思路.

参考文献

- [1] 张婷,吴伟,孙仕海.用大学物理知识诠释前沿科技——从光的偏振到量子通信[J].物理与工程,2023,33(1): 14-19.
- [2] 张师平,吴平,闫丹,等.将拉曼光谱技术引入大学物理课堂教育的浅析[J].物理与工程,2020,30(5):82-85.

- [3] 刘一曼,刘敏.“新工科”视域下土木工程专业“大学物理”课程改革探索[J]. 教育教学论坛,2020,49(12): 200-201.
- [4] 崔海瑛,崔莲.大学物理模块化教学改革探究——以力学教学内容为例[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2017(9):26-27.
- [5] 廖健飞.大学物理知识实用化的教学探究[J]. 高教学刊,2021(22):91-93,99.
- [6] 武海波,宋加俊.非物理学工科专业大学物理教学现状与建议[J]. 物理通报,2022(10):6-9.
- [7] 沐仁旺,葛一兵.大学基础物理学[M]. 镇江:江苏大学出版社,2013.
- [8] 天津大学材料力学教研室光弹组.光弹性原理及测试技术[M]. 北京:科学出版社,1980.

Instructional Design on College Physics Combined with Civil Engineering

LIU Hengzhi XU Xun XU Jieru WANG Xu LUO Dafeng

(Nantong University Xinglin College, Nantong, Jiangsu 226000)

Abstract: As a basic course for science and engineering majors, how to deeply integrate college physics with the major and meet the needs of professional construction is an important content of college physics teaching reform. Taking the major of civil engineering as an example, this paper combines the basic principles of college physics with practical engineering, and integrates engineering examples into teaching. Examples such as stability check of architectural lattice columns, siphon drainage system for building roofs, heat pump system for building heating, capacitive and inductive sensors, and photoelastic methods for measuring structural stress and strain are designed. Use engineering examples to explain physical theory and achieve professional oriented college physics teaching.

Key words: college physics; civil engineering; professional integration; instructional design

(上接第24页)

- [5] 叶华龙.浅析 EAST 托卡马克及中国核聚变相关研究[J]. 科技与创新,2021(12):92-93.
- [6] 陆国柱.相对论、量子力学与真空科学技术——热烈祝贺我国 EAST 和 HL-2M 再获重大突破[J]. 真空, 2021(5):1-10.

Practice on Curriculum Ideological and Political Education in University Physics

——Taking “Magnetic Force” Teaching as an Example

BAI Lang

(Center of Experimental Teaching for Common Courses, Panzhihua University, Panzhihua, Sichuan 617000)

Abstract: As a compulsory public basic course for science and engineering majors, university physics have a large number of students and contains rich ideological and political education resources, which is a important course for curriculum ideological and political education. Taking the “magnetic force” section of college physics as an example, This paper discusses how to scientifically and reasonably integrate ideological and political content in the teaching process, so that college students can receive correct value guidance while receiving knowledge imparting, and strive to realize the “trinity” of value shaping, ability training and knowledge imparting.

Key words: university physics; curriculum ideological and political education; magnetic force