

面向工程师人才培养的基础实验类课程建设探索与实践 ——以“物理实验(光学)”课程为例

王 峥¹ 安 炜¹ 王文文² 徐 平¹

(北京航空航天大学¹中法工程师学院;²航空发动机研究院,北京 100191)

摘 要 基础实验类课程在工程师人才培养过程中担负着培养学生实践动手能力、系统思维能力和工程意识的重要作用。本文以“物理实验(光学)”课程为例,从课程目标与定位、内容设计、授课模式、考评方式等方面,详细阐述了改革创新举措。课程的改革创新使理科基础实验课程为工程技术类专业课程的学习提供有效支撑,为卓越工程师人才的创新能力培养提供有力保障。

关键词 物理实验;课程建设;工程师

EXPLORATION AND PRACTICE OF BASIC EXPERIMENTAL COURSES CONSTRUCTION FOR THE TRAINING OF ENGINEERS —CASE STUDY ON COURSE OF PHYSICS EXPERIMENT (OPTICS)

WANG Zheng¹ AN Wei¹ WANG Wenwen² XU Ping¹

(Beihang University¹ Sino-French Engineer School;² Research Institute of Aero-engine, Beijing 100191)

Abstract Basic experimental courses play an important role in training students' practical ability, systematic thinking and engineering consciousness in the process of training engineers. Taking physics experiment (optics) course as an example, the present paper introduces the exploration and practice of course construction from aspects of course objectives, content design, teaching mode and evaluation method. The reform and innovation of the curriculum not only makes the basic experiment course provide effective support for the study of engineering courses, and also provides a strong guarantee for the cultivation of engineers' innovation ability.

Key words physics experiment; course construction; engineer

2022年9月27日,教育部、国务院国资委联合举行了卓越工程师培养工作推进会。教育部怀进鹏部长在会上指出,要深刻理解卓越工程师培

养的极端重要性,着力破解核心难题,实现工程教育办学方式从学科专业单一性和独立性向学科大类交叉、校企深度融合模式的根本转变,培养目标

收稿日期: 2023-06-06

基金项目: 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会 2023 高等学校教学研究项目(DJZW202307hb);北京航空航天大学校级一流本科课程建设项目《预科物理实验》。

作者简介: 王峥,女,副教授,从事大学物理实验教学工作,研究方向为先进核能材料;安炜,男,副教授,从事大学物理教学工作,研究方向为第一性原理计算;王文文,女,教授,从事大学物理教学工作,研究方向为功能薄膜材料。

通讯作者: 徐平,男,教授,主要从事大学物理实验教学工作,研究方向为传感器, xuping@buaa.edu.cn。

引文格式: 王峥,安炜,王文文,等. 面向工程师人才培养的基础实验类课程建设探索与实践——以“物理实验(光学)”课程为例[J]. 物理与工程, 2023, 33(4): 129-132.

Cite this article: WANG Z, AN W, WANG W W, et al. Exploration and practice of basic experimental courses construction for the training of engineers—Case study on course of physics experiment (optics)[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(4): 129-132. (in Chinese)

从重视理论传授向重视工程创新能力的根本转变,评价标准从唯论文唯奖项等向考查实际创新贡献为主的根本转变^[1]。卓越工程师培养计划对高校的工程师人才培养工作提出了更高的要求,如何在传授理论的同时培养学生的工程创新能力是摆在高校教师面前的重要课题。

作为工科优势突出的北京航空航天大学,以为国家培养红色工程师为己任,早在二十多年前就开始了工程师人才培养的模式创新,包括与法国中央理工大学集团合作,于2005年创立的北航中法工程师学院^[2],旨在借鉴法国工程师培养理念、模式和成功经验,结合北航高等工程教育的优势,培养具有国际视野和创新意识的卓越工程师人才。在十多年的探索实践过程中,有较为丰富的积累,特别是在基础课程与专业课程的有效衔接、实验课程对工程师专业人才培养的支撑等方面,有值得推广的经验。

基础实验类课程在培养学生的实践动手能力、系统思维能力和工程意识等方面具有非常重要的作用。然而,实验课在一些高校中存在学生重视程度不足、学习兴趣不高,课程内容陈旧,教学模式死板、僵化等问题。本文以北航中法工程师学院开设的本科生必修课“物理实验(光学)”的课程建设为例,探讨如何在基础实验类课程的教学实践中通过有针对性的课程设计,递进式的师生、生生互动授课模式,以及多维度的考评方式来促进学生的工程意识和实践能力培养。

1 课程定位与目标

北航中法工程师学院采用“本科-硕士”与“预科-工程师”融合的培养模式,专业方向为通用工程师。本科阶段强化学生的数理基础,培养学生多学科知识的融合、应用能力并注重培养学生的工程意识。“物理实验(光学)”课程是一门面向通用工程师专业大三学生开设的实验类基础课程,旨在培养学生的知识构建能力、综合运用光学等相关知识和数学工具建模并设计实验的能力、系统思维能力、解决复杂问题能力和工程意识。本课程对于通用工程师专业学生由强化理科基础阶段进入工程教育阶段的顺利进阶具有重要意义。围绕北航培养新时代领军领导人才的办学定位,

结合通用工程师培养目标要求,确立了本课程的教学目标:

(1) 掌握常用光学仪器的工作原理和调节方法,具有光学测量系统设计的基本知识和工程意识,具备对实验系统进行建模的能力。

(2) 能提出问题并结合实验系统建立相应的实验模型,利用各类工具(软件)和技术资源,设计实验系统并完成实验操作。

(3) 能对实验数据合理性进行评估,并基于实验数据验证模型的合理性,从而具备知识的构建能力。

(4) 具有团队精神,能以口头和书面方式参与学术讨论并准确表达实验思想和结论。

2 课程改革创新与实践

2.1 课程设计

围绕课程目标和专业定位,优化教学内容,开设出适合实践动手能力和工程意识培养的、层次化递进的实验项目。课程目前共有六个专题12个实验项目(见表1),涵盖几何光学和波动光学内容。根据实验课程教学特点和“两性一度”要求,以专题形式编排实验内容。每个专题包含多个(知识)由浅入深、(操作)由易到难、(系统性或应用性)由简单到复杂,并且关联度很高的系列实验项目。实验中引导学生通过观察实验现象,获得客观真实的实验数据或特征,再对数据或特征进行分析以解释物理现象,从而帮助学生形成物理世界观。

基础性实验可以帮助学生巩固知识并掌握光学实验基本技能;拓展性实验可以培养学生归纳分析、建模和验证模型以及利用模型进行实验现象预测的能力;设计性实验可以培养学生限定条件下,基于理论和实验模型设计实验、完成实验并对结果进行有效性和局限性分析的能力;而应用性探究实验则可以培养学生基于需求建立模型、模拟仿真、构建实验,并通过比较仿真结果、实验结果与需求之间差异,修正模型、改进设计以逼近实际需求的能力。实验中学生需要综合运用各种知识和技能,包括数学、计算机、实验和实践等技能。

表 1 “物理实验(光学)”课程实验项目

专题	实验项目
一 薄透镜和球面镜专题	1 薄透镜和球面镜焦距测量及诺莫图法应用
	2 天文望远镜模型搭建及原理研究
二 透镜组专题	3 消色差透镜组及焦距的精确测量
	4 光学显微镜特性的实验研究
三 分光计专题	5 分光计的使用和柯西公式
	6 光栅和棱镜光谱仪的搭建及应用
	7 白光干涉法测量透明薄膜的厚度
四 光的干涉和衍射专题	8 光的干涉和衍射及光盘参数测量
五 光的偏振专题	9 光的偏振及 3D 电影
	10 云母片快慢轴的测定
六 迈克尔逊干涉仪专题	11 迈克尔逊干涉仪的调整及白光干涉观察
	12 傅里叶变换光谱仪和光谱测量

2.2 授课模式

根据实验难度和课程特点,实施小班化教学(每班 12~15 人),保证教师有足够的时间指导和与学生互动。教学过程中不规定严格统一的实验步骤,而是在讲义中以设置问题的形式一步步引导学生设计实验方案、动手操作、记录数据、总结规律、最终给出观点或结论。根据实验项目特点,综合运用采用引导启发式、互动辩论式、共情探索式等教学方法,鼓励学生自主探索。下面分别举例说明:

验证性实验项目主要以学生自主动手实践为主,教师把控整体进程并作适当引导和阶段性总结,学生有充分的试错时间和空间。如“薄透镜和球面镜焦距测量及诺莫图法应用”实验,要求学生从实像到虚像、实物到虚物观察实验现象,从定性到半定量、定量测量薄透镜和球面镜焦距,中间穿插多个讨论环节,最后由教师根据归纳法,以诺莫图法^[3]对各类薄透镜和球面镜的成像特点

进行归纳总结,并以天文望远镜的研究作为应用拓展。

有些概念比较抽象的实验项目,以教师理论讲解和知识梳理开始,中间穿插实验演示、现象讨论等环节。如“光的偏振特性研究”,实验过程中要由光强的变化反推偏振态的变化,具有很强的抽象性,需要学生有非常扎实的理论基础、清晰的物理模型和正确的实验设计。为保证实验顺利进行并有实际收获,需要教师在课堂中系统梳理相关知识,有序把控实验进程,并组织学生基于实验现象开展有效的讨论和辩论。

对于有些实验项目中结合科学研究、工程技术前沿的讨论题目,需要在师生、生生互动中层层推进,没有确定的答案,通过共情探索拓展,主要目的是培养学生批判性思维和学术交流能力。根据观察到的现象、得到的数据,学生应在批判性地解释这些数据和现象基础上,得到基于实验结果的初步结论;根据实验课堂的组织形式,通过书面和口头形式,陈述结果、推论或自己的观点。

2.3 考评方式

考核方法和标准与课程目标高度契合,引入法国教育部的六项能力评价量表(见表 2),以考核学生知识和资源的综合运用能力、建模能力、解决实际问题能力为主线,对学生分析、计算、仿真、实验、验证、交流沟通等能力进行多维度、全方位考核,客观地评价考生理论与实践的结合能力以及解决复杂工程问题的综合能力。学生成绩由以下三部分构成:

(1) 平时实验操作成绩占 50%:根据实验项目特点,使用六项能力评价量表对学生的课堂表现予以评价。

(2) 期末笔试成绩占 20%:闭卷考试,侧重实验知识以及实验方法的考查。

(3) 期末操作考试成绩占 30%:每名学生独立参加操作考试,时长 1 小时。不同学生所抽到考试题目可能不同,但难度相同。每份试题针对某一个实验项目展开,题目中全面涵盖对六项能力的考查,操作过程中有明确的与教师交流表述环节。

此外,设置开放式实验项目,鼓励学生应用所学知识解决一些实际问题。学生自愿参加,根据完成质量给予最多不超过 10 分的加分。

表2 六项能力评价指标^[4]

能力	相关素质要求
理解与适应能力	-实验环境下搜集、提取及组织信息 -陈述实验所研究问题 -确定适当的实验目标
方案实施能力	-实现实验流程 -按照说明指导,正确使用实验设备 -严格遵守实验安全操作规范
分析计算能力	-明确并修改假设 -针对研究问题提出解决思路 -提出相关模型 -解释、论证实验规程或实验设置的原理 -估计实验现象数值及其变化的量级
结果验证能力	-发现观察和测量中可能的错误来源,估计误差 -将实验结果与模型相对照 -判断假设与信息的正误 -批判性地分析实验结果 -对实验流程或模型提出改进方案
学术交流能力	-以书面或口头形式条理清晰、逻辑严密、简明易懂地概括介绍自己的实验过程; -使用合适的科学用语 -善于使用图表描述实验数据 -了解他人的工作,互相对照观点
自主实践能力	-独立研究或团队合作 -适当请求帮助 -主动投入,勇于抉择,预备周全

3 课程建设成效

本课程注重学生自主探究的实验能力培养,给学生“试错”的时间和空间,让学生有更多的探索机会,并在挑战失败中建立自信;突出高阶性的能力素质评价,弱化纯知识记忆型考查内容,注重学生学习过程,并使用能力量表跟踪学生成长,学生的适应、分析、实现、验证、交流和自主探究能力得到显著提升。基于本课程的培养,本科生以第一作者的身份在《大学物理》杂志发表实验研究论文,并有多名学生获得北京市大学生物理实验竞赛一等奖和全国大学生物理实验创新赛三等奖等奖项。学生历年对课程的评价均为优秀。课程也

得到了法国教育部巡查督学的肯定,为学院申请法国工程师职衔委员会(CTI)认证提供了有力支撑。

在课程建设运行过程中,课程团队积极开展教学研究,在《大学物理》《物理实验》等期刊上发表多篇以实验研究为背景的教改论文;围绕国家需求、学校的人才培养定位和工程师人才培养目标,对课程教学模式和方法进行了创新发展,在《物理与工程》《高等工程教育研究》等期刊上发表了多篇教学模式改革和教学方法探索的研究论文。课程获批北航精品课程、双百工程(优质课程)。为课程编写的配套教材“物理实验(光学)”为工信部“十四五”规划教材,并被评为2022年北京市优质本科教材。

4 结语

面向工程师人才培养的课程,不仅应当重视理论传授,更要看重工程创新能力的培养。“物理实验(光学)”课程以培养学生解决复杂问题能力和工程意识为导向,强调物理思想,融入工程技术的方法,实现了科学素养和科学实验能力训练与工程意识、工程实践能力培养有机结合。课程的改革创新可以使理科基础实验课程为工程技术类专业课程的学习提供有效支撑,为卓越工程师人才的创新能力培养提供有力保障。

参 考 文 献

- [1] 教育部国资委联合召开卓越工程师培养工作推进会[DB/OL] http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/moe_1485/202209/t20220927_665483.html
- [2] 北航中法工程师学院成立[J]. 北京航空航天大学学报, 2005(7):734
Establishment of Sino-French Engineer School in Beihang University [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005(7):734(in Chinese)
- [3] 刘佳,徐平,陈子瑜,等. 诺莫图法在薄透镜和球面镜成像分析中的应用[J]. 大学物理, 2010(6):5-8.
LIU J, XU P, CHEN Z Y, et al. Application of Nomograph in the imaging analysis of the thin lens and spherical mirror [J]. College Physics, 2010(6):5-8. (in Chinese)
- [4] Classes préparatoires aux grandes écoles : Filière scientifique MPSI [EB/OL]. <https://prepas.org/index.php?document=71>