

以能力培养为导向的光学实验课程设计

安 炜 王 峥 徐 平

(北京航空航天大学中法工程师学院, 北京 100191)

摘 要 为在基础教学阶段的实验课程中开展以能力培养为导向的教学, 强化工程意识和实践能力培养, 法国教育部针对工程师预科物理和化学类课程提出了六项能力指标。本文以面向工程师专业的“物理实验(光学)”课程为例, 介绍了以六项能力指标为导向的教学设计, 包括课程内容的重构、过程性评价和终结性考核的实施方案和考核结果, 取得的经验可为同类课程的教学改革提供参考和借鉴。

关键词 工程意识; 能力培养; 能力测评; 课程设计

DESIGN OF OPTICAL EXPERIMENT COURSE ORIENTED BY COMPETENCE DEVELOPMENT

AN Wei WANG Zheng XU Ping

(Sino-French Engineer School, Beihang University, Beijing 100191)

Abstract In order to carry out competency-oriented teaching in the experimental courses at the foundational teaching stage, and strengthen engineering awareness and practical ability cultivation, the French Ministry of Education has proposed six competency indicators for the physics and chemistry courses of engineering preparatory courses. This paper takes the “Physics Experiment (Optics)” course for engineers majors as an example to introduce a teaching design oriented towards six competency indicators, including the reconstruction of course content, implementation plans and evaluation results of process-oriented assessment and terminal assessment. The experience gained can provide reference and inspiration for the teaching reform of similar courses.

Key words engineering awareness; competency development; competency assessment; course design

近年来我国工程师人才培养的进程不断加速, 涉及的专业领域不断拓宽。从新工科理念的提出^[1]到国家卓越工程师学院的建设推进, 工科人才的培养也从单一专业扩展至校企融合的项目制牵引(http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5147/202401/t20240129_1113148.html), 同时特别强调要聚焦关键领域、核心技术, 解决工程技术人才

培养与生产实践脱节的问题, 在培养过程中要转变理念, 探索以工程创新能力培养为导向的工程师人才培养新模式。

法国的工程师培养在世界范围内享有盛誉, 其“预科-工程师”结合的培养模式已被多个国家借鉴采纳。本文介绍的“物理实验(光学)”课程就是面向北京航空航天大学中法工程师学院三

收稿日期: 2024-06-10

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)。

作者简介: 安炜, 北京航空航天大学中法工程师学院副教授, anwei@buaa.edu.cn; 王峥, 北京航空航天大学中法工程师学院副教授, wangzh@buaa.edu.cn。

通信作者: 徐平, 北京航空航天大学中法工程师学院教授, xuping@buaa.edu.cn。

引文格式: 安炜, 王峥, 徐平. 以能力培养为导向的光学实验课程设计[J]. 物理与工程, 2024, 34(5): 34-39, 68.

Cite this article: AN W, WANG Z, XU P. Design of optical experiment course oriented by competence development[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(5): 34-39, 68. (in Chinese)

年级学生开设的一门必修课程。作为从预科向工程师阶段进阶的一门核心基础课程,围绕法国教育部针对工程师预科物理和化学类课程提出的六项能力指标(<https://prepas.org/index.php?document=71>),开展通过基础实验课程培养学生工程意识和解决工程问题基本能力的教学实践。

1 能力培养指标

法国工程师培养采用“预科-工程师”培养模式,中法工程师与法国预科阶段学院本科一至三年级开展的数理通识基础课程相似,旨在培养学生多学科交叉应用能力以及唤醒学生的工程意识。为了进行通识基础教育,法国工程师预科阶段实行多种系列大类培养。常规的预科第一年有六个系列,分别是数学-物理-工业科学(MPSI)、

数学-物理-工程-信息(MP2I)、物理-化学-工业科学(PCSI)、物理-技术-工业科学(PTSI)、技术-物理-化学 1(TPC 1)、技术-工业科学 1(TSI 1);预科第二年有七个系列,分别是数学-物理(MP)、数学-物理-信息(MPI)、物理-化学(PC)、物理-工业科学(PSI)、物理-技术(PT)、技术-物理-化学 2(TPC2)、技术-工业科学 2(TSI2)。

法国的预科教育以能力培养为导向,从基本的物理知识和方法的教学要求,逐渐过渡到解决工程问题需要的具体能力的培养。针对上述所有不同培养系列,法国教育部给出了具体的能力培养指标体系,针对每一项能力,都有明确的指标作为该项能力是否达标的判据。表 1 所示为 2021 版的指标体系。所有教学活动均围绕相应能力的培养展开,并通过该体系制作力量表对学生能力培养成效进行测评。

表 1 法国预科物理能力培养指标体系(2021 版)

<https://prepas.org/index.php?document=71>

(表中删除线为已被剔除的旧版内容,斜体为新增内容)

能力	评价指标
理解与适应能力	- 实验环境下搜集、提取及组织信息
	- 陈述实验所研究的问题
	- 确定适当的实验目标
	- 能从各类不同形式信息(文字、图表、表格等)中识别出有用的与某一具体问题相关的补充信息
	- 通过建模并以图示的方法简洁明了地表示所研究的问题
	- 确定相关物理量,并为其分配符号
	- 将问题与已知模型进行联系
方案实施能力	- 能够在调研问题期间独立获取与之相关的新知识
	- 实现实验流程
	- 按照指导说明,正确使用实验设备
	- 严格遵守实验安全操作规范
	- 从文本、图表、表格、示意图和图像中提取有用信息
	- 绘制设备、实验、测量方法与过程的示意图
	- 能够根据所测数据绘制图表进行展示
分析计算能力	- 能够手推解析计算或使用编程语言进行数值计算
	- 进行量纲分析
	- 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
	- 将一个复杂问题分解成若干简单问题
	- 能够总结出文献中的主要观点以及它们之间的联系
	- 能够定性或者定量的联系一篇或多篇文献中的不同要素和解决问题的线索

续表

能力	评价指标
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
	- 将实验结果与模型对照,与文献中的数据以及个人常识进行比较
	- 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	- 找出论证中的不足(矛盾、偏见、不完整等)
	- 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	- 撰写总结,分析和论证
	- 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

与此前的版本相比,新版能力培养指标体系中针对各项能力均增加了相应的指标。其中理解与适应能力的评价指标更加细化,由原来的 3 条增加到 7 条;方案实施能力的评价指标由原先的 3 条增至 8 条,所增加的指标强调了信息提取、示意图绘制、量纲分析与计算能力等;分析计算能力的评价指标由原先的 5 条增至 8 条,新增指标强调了针对文献的分析总结能力;结果验证能力部分修改不大,略有增加和细化;学术交流能力中增加了撰写总结、分析和论证的描述;自主实践能力的描述没有变化。

2 基于能力指标的课程设计

2.1 课程目标与六项能力评价指标

工程师物理实验(光学)课程属于基础实验课程,除了学习基础的物理实验知识和方法以外,更重要的是培养学生工程意识、科学思维方法和科学素养。然而,在执行层面上如果仍采用以知识和方法为主导的教学模式,则很难达成目标。将教学目标按照能力培养的要求进行拆解并关联到相应的能力指标,在实施过程中让学生看到自己能力的稳步提升,增加学生成就感和课程黏性,则能够更好地传达基础实验课程的内涵与教学目标的本质。

六项能力培养体系在法国已实施近 10 年,其初衷是最大化提升学生的兴趣和自主选择权的同

时,保障进入工程师阶段的学生具有同样的水平。法国预科阶段开设了众多系列课程,如何保证不同系列课程在工程师大学校的入学考试中的公平性,以及如何界定同样的水平,倒逼了法国预科教育界对教育本质的思考。虽然各个系列所学内容有较大差异且各自有所侧重,但所要求培养和达到的能力标准则各系列应保持一致。各项能力以及关联的详细指标是在企业界以及后续工程师教育的需求中逐渐凝练总结得来。该能力培养指标体系的实施和改革,为法国工程师培养以及后续学生进入企业工作提供了支撑。

本文所讨论的面向通用工程师专业大三学生开设的实验类基础课程“物理实验(光学)”结合了北航培养新时代领军领导人才的办学定位和通用工程师培养目标要求,借鉴融合法国六项能力培养指标体系确立了教学目标,且与六项能力有着较强的关联对应,如图 1 所示。通过对教学目标进行能力点拆解,使其更具有可操作性。

2.2 实验项目设置

本课程知识覆盖面广泛,内容涉及几何光学和物理光学两大部分,详见文献[2]。在 2024 年春季学期,对开设的实验项目进行了增补。在原先分光计专题下增补了,“商用光谱仪的使用”“里德堡常数的测量”两个实验。新增傅里叶光学专题,包括“阿贝成像和空间滤波实验”和“傅里叶变

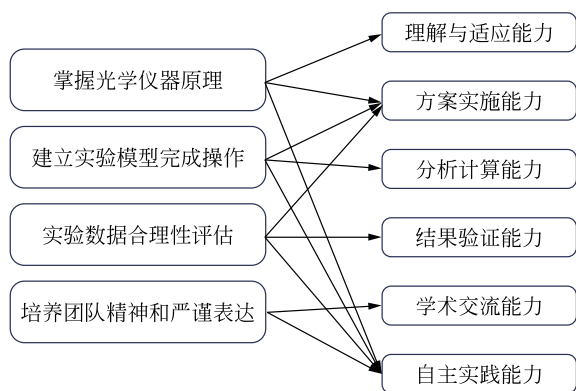


图1 “物理实验(光学)”教学目标与六项能力的关联对应

换实验”。全部实验共涉及七个专题 16 个实验项目。实验项目的选择除了考虑知识和实验方法之外,更加注重学生能力的培养。实验中学生需要运用包括数学、计算机、编程、数据处理、实验实践技能等多项能力,并在过程中体会模拟仿真、实验结果以及理想物理模型之间的差异,形成较为成熟的物理世界观,并初步具备工程意识。16 项实验项目与六项能力之间的关联矩阵如表 2 所示,其中√的个数代表了关联的强度。下面举若干例子进行详细论述:

1) “薄透镜和球面镜焦距测量及诺莫图法应用”实验

该实验为验证性实验,通过实验学生将进一步掌握实物、虚物、实像和虚像的概念,定量测量物距像距并评定测量结果的不确定度,以此来验证物像共轭关系。因此该实验和结果验证能力有较强的关联,并且实验过程中需要进行成像的实验操作以及诺莫图方法的应用,对方案实施能力也有一定要求,实验最终需要上交书面报告,并且在实验过程中跟随教师的引导表达自己对于实验的想法,因此对学术交流能力也有一定要求。

2) “光的偏振及 3D 电影”实验

实验中偏振态的变化十分复杂抽象,需要学生能够将复杂问题分解并使用合适的模型进行分析研究,有利于培养学生的抽象思维和分析计算能力。为了清晰地表述实验现象背后的原理,学生需要较强的学术交流能力。该实验要求学生通过口头形式描述实验现象和产生原理,给出自己的观点。除了个人想法展示外,还可以通过辩论锻炼学生的结果验证能力。

3) “光学显微镜特性研究”实验

该实验主要培养学生的理解与适应能力。课

程中给学生提供仪器操作手册和各实验配件的使用文档,告知学生最终需要测量的特性参数,如显微镜物镜的放大率或者整个显微镜的放大率等,学生需要自主研究文档、自主尝试使用仪器、自主设计实验方案、建立模型并完成实验。

4) “光的干涉和衍射及光盘参数测量”实验

该实验通过引导学生观察实验现象,获取数据,再通过数据中的规律得到物理模型,从而进行物理规律和物理模型的再次应用,并对结果进行评价,从而锻炼分析计算能力和结果验证能力。

为了解释六项能力与具体实验内容的关系,下面以“光的偏振及 3D 电影”实验为例进行详细说明。其中六项能力与该实验内容的关联矩阵如表 3 所示。首先,学生需完成马吕斯定律的验证。由于学生已在理论课上学习过该内容,因此这部分并未过多锻炼理解与适应能力和自主实践能力,其操作和分析过程也较为简单,全程大量的重复测量工作亦无须过多交流,主要锻炼学生的数据处理和不确定度计算等结果验证能力。随后,学生需要通过已有的理论知识和所提供的仪器设备产生一束右旋圆偏光。这一过程主要锻炼了学生分析偏振光振动状态的分析计算能力,并且需要一定的学术交流能力说明自己产生偏振光的过程。在以上两项实验内容的基础上,实验进入到对于学生综合能力有一定要求的检验未知偏振光的阶段。学生需要掌握检验流程并清楚相应的波片和检偏片的摆放位置,并且全过程需要能够清晰表达并给出验证的理由。第四项内容,研究镜面反射对偏振光的作用,问题的提出较为具体,但需要自主进行实验探究,对于上述六项能力均有一定程度的锻炼。最后进入到高阶内容,学生需要充分运用已有知识和认知对 3D 电影眼镜原理进行分析,随后设计实验方案开展实验操作,自行分析,验证自己给出的假设的正确性,并且需要与教师或同伴进行口头或书面交流。

3 课程实践

3.1 过程性能力培养

学生的能力培养不只是单个实验项目的任务,因为能力不是一朝一夕便可获得的,能力的培养应注重过程。本课程注重平时实验的能力培

表 2 六项能力与实验项目的关联矩阵
(√:弱关联,√√:中关联,√√√:强关联)

	理解与适应能力	方案实施能力	分析计算能力	结果验证能力	学术交流能力	自主实践能力
薄透镜和球面镜焦距测量及诺莫图法应用	√√	√√	√	√√√	√√	√√
天文望远镜模型搭建及原理研究	√√	√	√√√	√	√√	√√√
消色差透镜组及焦距的精确测量	√	√√√	√√	√√	√	√
光学显微镜特性的实验研究	√√√	√√	√	√	√√√	√√√
分光计的使用和柯西公式	√	√√√	√	√√√	√	√
光栅和棱镜光谱仪的搭建及应用	√√	√√	√√√	√	√√	√√√
白光干涉法测量透明薄膜的厚度	√√	√√	√√	√	√√	√√
光的干涉和衍射及光盘参数测量	√√√	√√√	√√√	√√	√√	√√√
光的偏振及 3D 电影云母片快慢轴的测定	√√	√	√√√	√√√	√√√	√√
迈克尔逊干涉仪的调整及白光干涉观察	√	√√√	√√	√√√	√√	√√
傅里叶变换光谱仪的调整及白光干涉观察	√√	√√√	√	√	√√	√√
傅里叶变换光谱仪和光谱测量	√√	√√√	√√√	√√	√√	√
商用光谱仪的使用	√√√	√√	√	√	√√	√√√
里德堡常数的测量	√	√√	√√√	√√√	√√	√√
阿贝成像和空间滤波	√√	√√√	√√√	√√	√√√	√
傅里叶变换实验	√√√	√√√	√√√	√	√√	√√√

表 3 六项能力与《光的偏振及 3D 电影》实验内容的关联矩阵

	理解与适应能力	方案实施能力	分析计算能力	结果验证能力	学术交流能力	自主实践能力
验证马吕斯定律	√	√	√	√√√	√	√
产生右旋圆偏振光	√	√√	√√√	√	√√	√
检验未知偏振光	√√	√√√	√√	√√√	√√√	√√
镜面对偏振光的作用	√√	√	√√	√√	√√	√√
3D 眼镜与立体电影原理	√√√	√√√	√√√	√√√	√√√	√√√

养,并且评价机制也保持与教学理念一致,平时实验操作成绩占总评成绩的 50%,其中实验知识以

及实验方法的考查计 20 分;采用六项能力量表对学生的课堂表现予以评价和追踪,计 30 分。下面

分别进行详细解释:

1) 实验知识以及实验方法的考查

平时每个实验都有基本实验操作和实验方法完成进度分数,采用累计制共计 20 分,如有缺项或未得到满意分值,可在期末复习课中重做,获得相应累计分数。每个实验需要完成的环节个数约为 5 个。在实际运行中学生普遍能够较好地完成基本实验操作和实验方法的训练,有一些对于分析计算能力和方案实施能力要求较高的实验完成度参差不齐。由于期末复习课的设置,使得平时分较低的学生能够查漏补缺。在复习课中,学生自主选择需要复习的实验,自主操作,教师给予个性化辅导。对于一些普遍性和共性问题,教师还会通过集中讲解问题的解决思路来引导学生。

2) 采用六项能力量表对学生的课堂表现予以评价和追踪

由于复习课的设置,最终大部分同学可以获得较高的进度分,而实验过程中体现出的能力则采用六项能力量表测评,共计 30 分。教师根据学生在实验过程中的表现给出能力水平评价,打分范围为 0~5 分,六项能力共计 30 分。平时能力的测评和追踪旨在督促学生,而不是将该成绩作为最终成绩,因为学生各项能力随着时间推移稳步增长最终稳定在某个等级则最终平时成绩即为该等级,因此学生不必计较一两次实验的表现和得失。

图 2 中给出了某学生六项能力水平随实验课程推进的追踪表现。该同学的情况有较强的代表性。在实验课程最初该同学已表现出较强的学术交流能力、分析计算能力和方案实施能力,较为欠

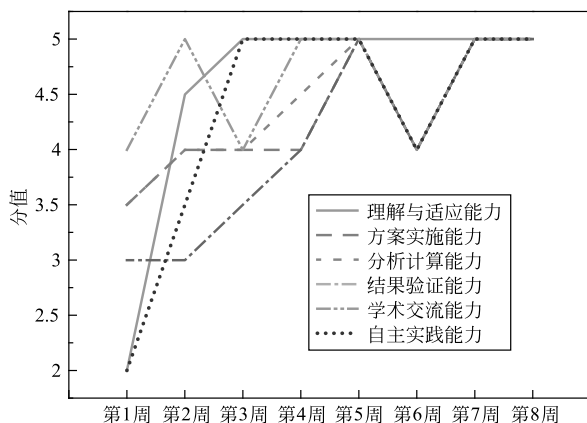


图 2 某学生的六项能力水平随实验课程推进的追踪

缺的是结果验证能力、理解与适应能力和自主实践能力。从能力追踪图可以看出,在随后的实验课程中由于学生明确需要达标的指标,有意识地开始锻炼自己欠缺的能力点,经由态度的转变后,理解与适应能力和自主实践能力的提升速度较快。而结果验证能力需要对于实验过程中的理论与实验结果有较好的把控以及误差分析方法较好的掌握,因此,提升速度较为缓慢。同时,能力的提升有一定的波动过程,最终能够稳定地获得能力的提升。

上述过程性能力评价方案能够较好地促进学生在平时重视实验,并且有意识地锻炼培养自身的六项能力,尽力符合后续工程师的培养要求,其重视过程的理念很好地减轻了学生的焦虑心理,使其能够静下心来真正将时间精力投入到实验中去。

3.2 终结性能力测评

期末终结性评价占总评的 50%,即 50 分,包括笔试和操作考试。笔试满分 20 分,闭卷考试 2 小时,侧重实验知识以及实验方法的考查,考查范围为平时实验项目以及拓展实验项目。操作考试成绩满分 30 分,是对学生能力水平的终结性测评。为考查学生的六项能力,期末操作考试每名考生需独立参加,操作考试时长 1 小时。每份试题针对某一个实验项目展开,以所学过的实验项目为基础并进行拓展。虽然不同组学生的考试题目不同,但由于测评是针对六项能力体系进行的,因此,从能力角度讲对于学生的衡量尺度是一致的。期末操作的考查分级更为精细化,实验操作六项能力每项 10 分,共计 60 分,折算为 30 分计入总评。

总体而言,期末的终结性评价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,对学生六项能力进行全方位考核,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。

4 结语

以能力为导向的教学设计在教学实践中取得了较好的成效。学生在六项能力培养体系下更愿

(下转第 68 页)