

国防特色高校应用物理类本科专业实验教学的改革和实践

金克新 王 民 王建元 王海鹏

(西北工业大学物理科学与技术学院, 陕西 西安 710072)

摘 要 在“新工科”建设和大类人才培养模式的背景下,结合学校国防特色和学科专业定位以及现有实验教学科研条件,对我校应用物理类本科专业实验教学的课程体系进行了探索 and 改革,主要包括构建具有国防特色的专业实验教学体系、设计研究型模块化的系列实验以及推行多元化考核评价等内容。探索和实践工作助推了国家和省级一流本科专业建设,提升了学生的创新能力、合作能力与实践能力,激发了军工情怀,培养了科学家精神,明显提高了学生的综合素质。

关键词 应用物理类专业;实验教学改革;创新能力;实践能力

REFORM AND PRACTICE OF EXPERIMENTAL TEACHING OF APPLIED PHYSICS IN NATIONAL DEFENSE CHARACTERISTIC UNIVERSITIES

JIN Kexin WANG Min WANG Jianyuan WANG Haipeng

(School of Physical Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072)

Abstract Under the background of the construction of “new engineering” and the training mode of large-scale talents, combined with the characteristics of national defense, the orientation of subjects and the existing experimental teaching and scientific research conditions, we explored and reformed the curriculum system of experimental teaching for undergraduate majors of Applied Physics in our university. It mainly includes the construction of a professional experimental teaching system with national defense characteristics, the design of research-oriented modular series of experiments and the implementation of diversified assessment. Through exploration and practice, it has promoted the construction of national and provincial first-class undergraduate majors, improved students' innovation ability, cooperation ability and practical ability, stimulated military feelings, cultivated the spirit of scientists, and significantly improved students' comprehensive quality.

Key words major in applied physics; experimental teaching reform; innovation ability; practical ability

收稿日期: 2021-08-11; 修回日期: 2021-09-26

基金项目: 陕西省研究生教育综合改革研究与实践项目和西北工业大学教育教学改革研究项目资助。

作者简介: 金克新,男,教授,主要从事物理教学科研工作,研究方向为薄膜材料物理, jinkx@nwpu.edu.cn。

通讯作者: 王海鹏,男,教授,主要从事物理教学科研工作,研究方向为液态金属物理, hpwang@nwpu.edu.cn。

引文格式: 金克新,王民,王建元,等. 国防特色高校应用物理类本科专业实验教学的改革和实践[J]. 物理与工程, 2022, 32(3): 56-60.

Cite this article: JIN K X, WANG M, WANG J Y, et al. Reform and practice of experimental teaching of applied physics in national defense characteristic universities[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(3): 56-60. (in Chinese)

2018年9月,习近平总书记在全国教育大会上强调,我国高等教育须建立以科技创新质量、贡献、绩效为导向的分类评价体系。2020年10月,中共中央、国务院印发的《深化新时代教育评价改革总体方案》提出,高等教育要科学评价,转变“功利化、绝对化、单一化”不良倾向,推动不同类型高校科学定位、坚持特色,构筑“新工科”建设背景下大类人才培养模式。在此形势下如何实现“厚基础、宽口径、重实践、求创新”的培养特色,并推进人才培养和科技创新有机融合是赋予工科高校的一项重要使命,也是新时代中国特色世界一流大学的人才培养努力方向之一^[1-3]。西北工业大学是一所以发展航空、航天、航海等领域人才培养和科学研究为特色的多科性、研究型大学,以培养具有家国情怀,追求卓越、引领未来的领军人才为目标,一直着力提升学生的创新能力、研究能力与实践能力。因此,针对应用物理类专业实验体系,构建科学研究与国防背景相结合的特色专业实验课程是一项重要的使命,并推行科研育人和科教融合模式,将学科前沿最新的研究成果引入到教学中,进一步提升应用物理类本科人才的综合科学素养和实践能力,尤其是创新能力,并且能够运用新技术新方法解决问题。

早在1971年,克洛普弗提出理工科大学实验教学要达到知识和理解能力、训练动手能力、实践科学的探索过程、了解科学家的工作方法以及培养对科学的兴趣和科学态度等五个层次的目标要求^[4]。我国著名科学家钱学森先生认为高等学校的学习应该强调学好基础课程,科学精神重要的就是创新。其中,专业实验是继普通物理实验、近代物理实验之后的又一重要实验教学环节,它应该达到本科阶段实验教学的最高层次要求,其主要任务和目标是:掌握本专业领域科学研究和生产实际中所需的最基本的实验手段,通过科学的实践和训练,强化学生对专业知识的理解与运用,培养学生观察实验现象、分析问题和解决问题的能力,培养独立进行研究工作能力和团队合作的精神,了解科学研究的过程,培养科学家精神,进而提升学生的综合素质^[5-7]。

与普通高校相比,国防特色高校培养的学生要面向国防军工的主战场,因此在课程设置中要体现出前沿科技在国防领域中的应用,并着力培养学生的军工精神、对社会的责任、对国家的忠

诚,激发学生的爱国情怀^[8]。因此,通过深入思考应用物理类专业学科特色和方向、专业课程的系统性,我们结合现有的教学科研条件,对传统教育教学体系进行了总结、反思、提炼和创新探索,重塑了专业实验教学体系,具体的改革思路如图1所示。

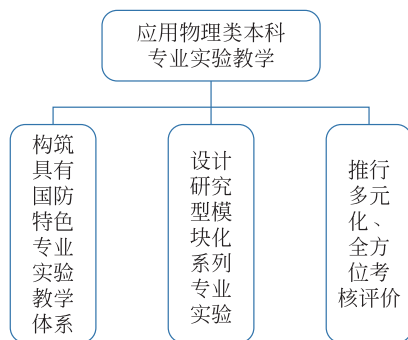


图1 实验教学的改革思路示意图

1 实验教学改革思路和方法

1.1 构筑具有国防特色的专业实验教学体系,培育“颠覆性”科技创新能力

通过引进现代教育理念和先进的教学手段,加强基础知识教学与科学研究以及与国防科技和工程应用的交叉融合,形成以能力和素质培养为核心,以学生为主体,“集中、自主、合作、研究”多模式以及严格训练与灵活开放相结合的应用物理类专业实验教学理念。构筑具有国防特色的专业实验体系,是本科教学改革的重要一环,对落实个性化培养模式下提升大学生的创造能力和创新意识意义重大。

结合学科前沿和专业特色,引入航空航天高温合金设计和紫外红外双色探测等具有国防特色的实验。如航空航天高温合金是制造发动机高温部分的关键材料,主要用于制造燃烧室、涡轮叶片、导向叶片、压气机与涡轮盘等高温载荷,通常使用的温度在 $600\sim 1200^{\circ}\text{C}$,因此对合金的物理性能有严格要求,是发动机的性能、可靠性与寿命的决定性因素,更是国防材料领域中的重点研究方向之一^[9,10]。在材料物理专业实验中,我们引入以镍基、钛合金等高温合金为主要对象的实验研究,通过单棍快速凝固方法设计并实现新型合金,进一步通过金相显微镜观察组织结构,从微观尺

度入手,研究材料微观结构的演变规律,建立微观结构与宏观性质的物理图像,对拓宽学生的视野具有重要的意义。另外,紫外红外双色探测可同时获得紫外和红外两个波段的信息,并可增强对目标的识别能力,降低虚警率,是目前航空航天领域探测技术的研究热点之一,在多种制导系统、防空导弹、安全监控等领域有着重要的应用前景^[11]。在材料物理专业实验中引入这一概念和实验,并采用脉冲激光薄膜沉积的方法在钛酸锶衬底上制备硒化铅薄膜,进一步测试其在紫外和红外波段的光电响应特性,让学生了解通过叠加组合实现紫外红外双色探测的方法,这样可培养在功能材料物理和器件方面从事科学研究、生产实践的创新型科技人才^[12,13]。通过引入国防特色实验,增强了学生对国家安全和科技创新领域相关内容的认识 and 了解,同时让学生进一步深入思考在这一领域的从 0~1“颠覆性”想法,创新本质上具有偶然性,要给予学生更多的参与机会,才能增加“偶然”的概率。这样激发了学生的学习热情和主动性,培养了学生的爱国情怀和“颠覆性”创新思维方式,为以后从事本领域工作奠定了坚实的基础^[14]。

1.2 设计研究型模块化的系列专业实验,设置攻克“卡脖子”技术知识内容

坚持研究型教学理念,才能培养出具有竞争力的创新型人才。将科学研究的思想和方法、科学探索精神等引入相关教学过程中,能够让学生在接课本知识的同时,逐渐学会科学思维,掌握科学研究方法,为将来进一步从事科学研究和科技创新打下坚实基础。围绕一个科研主题设置具有学科特色的系统实验,实现研究型实验模块化,由一个或数个实验组成模块,此时实验模块应结合专业的学科特色和研究方向,包括相关“卡脖子”的技术知识内容,并融科学研究于教学环节中,保证实验具有系统性和连续性。

以材料物理专业实验为例,我们设计了 2 个特色实验模块,分别从金属材料 and 无机非金属材料入手,一个实验模块是关于薄膜的制备及相应的物性测试,另一个实验模块则是纳米熔淬薄带的制备及其组织结构的观测实验,每个模块包括 3 个综合实验,有关薄膜的实验模块主要有脉冲激光薄膜沉积实验、微小器件光刻实验 and 低温薄膜材料输运及光电导实验等;而纳米熔淬薄带的实

验模块主要有纳米熔淬薄带制备实验、金相组织显微观测实验 and 薄带电阻率测量实验等。第一个实验模块的具体流程是:薄膜制备→光刻实验→低温输运及光电特性测量,第二个模块的实验流程是:薄带制备→金相组织观测→电阻率测量。其中薄膜制备实验是紧跟国内外材料和凝聚态物理领域的研究热点,材料体系涉及到过渡金属复杂氧化物,如具有特大磁电阻效应的锰氧化物 and 具有多铁性的铁酸铋等,其物理特性涉及低温的输运及光电响应性能等,具有强的专业性,且处于研究领域的前沿,进一步让学生掌握半导体光刻工艺,并光刻出不同图形。设计这个实验的主要目的是在薄膜上制备出电极,并让学生了解目前极紫外光刻机是我国的“卡脖子”问题,也是芯片生产中必不可少的设备,推动光刻机的国产化势在必行,从而提高了学生的学习动力 and 实验兴趣。纳米熔淬薄带制备实验的材料体系则主要涉及到高温合金,包括母合金的熔炼 and 单棍甩带等,进一步利用四探针法测量薄带电阻率,并利用金相显微镜观察相应微观组织结构。

通过这两个系统的实验模块让学生充分了解本专业相关材料的发展前沿 and 趋势,对学生来说就是一个科学训练过程,各实验有机地结合在一起,实验内容前后衔接,三个实验一体化。通过学生的专业实验与科研相结合以及实验之间的相互连接不但让学生掌握了现代材料的制备 and 分析的基本技能,而且初步掌握了一个系统的全面的科学研究过程,从而可以进一步培养学生进行科研实验的浓厚兴趣,并了解科学研究的基本过程,使专业实验变成了探索性的科学研究,实现了“做中学”的教学理念,培养了科学家精神,为学生以后更好的投入工作创造条件。另外,在综合系统实验中,一些实验需要同学之间相互配合 and 相互协作完成,这样提高了学生团结协作的意识 and 精神。如纳米熔淬薄带制备实验中,通常一个同学控制高频感应电源进行加热,一个同学控制真空压力罐,还有一个同学观察合金的熔化情况 and 控制电机的转速等,当熔炼的合金到达熔化温度并完全熔化时,则打开阀门增加真空压力罐的压力,制备出合金薄带。通过类似实验,既让学生了解到科学实验的成功来之不易,又增强了同学间团结协作的意识,以适应现在社会的发展,培养全面发展的高水平领军人才。

1.3 改革教学和考核方式,推行多元化、全方位考核评价

专业实验教学一般在本科四年级开始,学生的基础和专业知识已全面掌握,如何融会贯通地利用这些知识,并与研究前沿相结合是一个重要的教学内容,因此专业实验的组织方式和考核方式应不同于以前的物理实验。强化课前预习过程,授课方式采用开放、预约模式,增强学生的积极主动性。开放专业实验室,不仅是针对本科生,而且对本专业的硕士和博士生均可以进行相关实验。课程教学和考核评价过程如图2所示,实验课程采用预约式,首次课老师介绍相关实验内容和设计想法,并给学生提供实验讲义和仪器的说明书等资料,让学生有充分时间去准备和预习实验。当学生准备充分,便和指导老师联系有关具体实验的内容和时间,进行预约实验,这样安排不但学生自己可以安排上课时间,提高了学生上课的积极性和主动性,而且解决了在大类培养模式下不同学生上课时间不一致的问题。实验的考核方式是课程论文和实验报告相结合,实验全部结束后,学生可根据自己的兴趣爱好,通过查阅文献资料,写出一篇课程论文。其目的是提高学生的主观意识,同时也提升了文献查阅能力、总结凝练能力和论文写作能力,拓宽学生的知识面,优化了

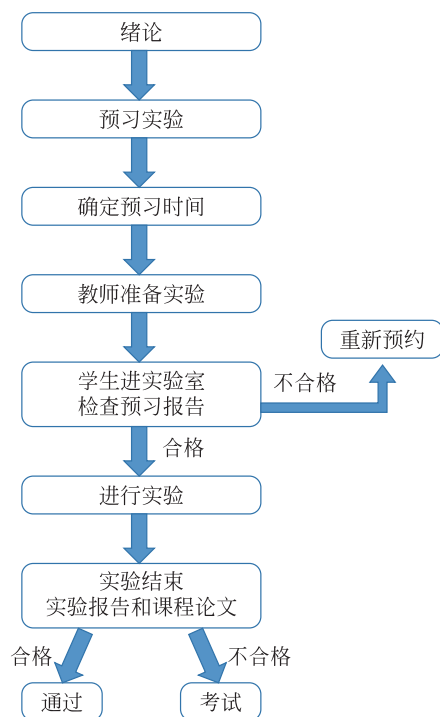


图2 课程教学和考核评价过程示意图

知识结构,为以后的本科毕业设计、甚至为以后深入的学习和工作奠定基础。

1.4 实验改革的成效

通过教学改革,增强了学生的学习兴趣,拓宽了学生的视野,激发了学生的科研热情和军工热情,极大提高了学生的实践能力。学生获得国家级大创项目逐年递增,多名学生获得全国大学生“挑战杯”、中国大学生物理学术竞赛、大学生数学建模比赛等奖励。

教学改革充分调动了学生的学习积极性,激发了学生的学习潜力,提高了学习效果。以2019—2020学年为例,选课人数共计45人,学生成绩的分布直方图如图3所示,从图中可以看出成绩整体分布比较合理,平均分为87.6,优分率达到20%以上,说明学生达到了预期的课程教学要求。

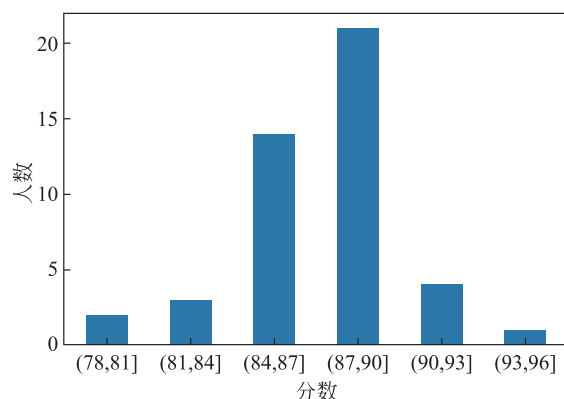


图3 2019—2020学年课程成绩直方图

学生对本课程的改革有较好的认识和体会,在学校的评教中,学生的评教意见和建议有“上课很有计划,目的很明确,操作性很强,锻炼了我们的实验能力”等,说明实验教学改革得到了同学们的认可。

同时本课程也极大地促进了学生的升学深造和就业。近年来,本科生的考研率近60%,大部分被清华、北大等国内外知名研究机构录取,一大批优秀毕业生进入中国航空工业、中国航天科技、中国船舶重工、中国工程物理研究院等国防领域重点单位工作,为我国国防科技发展做出重要贡献,助推了材料物理专业入选国家级一流本科专业建设点和应用物理学专业入选了省级一流本科专业建设点。

2 结语

总之,国防特色高校应用物理类专业实验的建设在整个教学环节中占有很重要的地位,更重要的是具有学科特色和专业特点,并能代表本学科的发展和前沿方向。通过改革和实践,我们构筑了具有国防特色的实验体系,践行科研育人,设置了“卡脖子”技术等相关实验内容,设计了研究型的系列实验,并将它们有机的组合在一起形成一个模块,这让学生了解科学研究的基本过程,培养了科学家精神和“颠覆性”创新思维。授课方式采用开放预约模式,让学生掌握了学习的主动权,提高了实验课的积极性,同时撰写课程论文也促进了学生文献查阅能力和论文撰写能力的提升,为以后的工作和学习奠定了坚实的基础。这些探索和尝试培养出的学生具有实践能力、创新能力和团队协作精神,而且是知识面宽、知识结构合理的科研人才,具有一定的实际推广价值。

参 考 文 献

- [1] 张曰理,吕平,欧阳红群,等. 强化材料物理专业实验教学培育新型创新人才[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(8): 241-243.
ZHANG Y L, LV P, OU YANG H Q, et al. Strengthen experimental teaching of material physics and cultivate new type innovative talents[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2010, 29(8): 241-243. (in Chinese)
- [2] 石敏,陈翌庆,许育东,等. 论材料物理专业教学的改革[J]. 中国科教创新导刊, 2009, 19: 73-74.
SHI M, CHEN Y Q, XU Y D, et al. Review on the teaching reform of material physics[J]. China Education Innovation Herald, 2009, 19: 73-74. (in Chinese)
- [3] 侯廷平,彭顺金. 材料物理专业教学方法的探讨与实践[J]. 科教文汇, 2015, 333: 49-50.
HOU Y P, PENG S J. Discussion and practice on teaching methods of material physics specialty courses[J]. Science, Education and Literature Collection, 2015, 333: 49-50. (in Chinese)
- [4] KLOPFER L E. Evaluation of learning in science//Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning[M]. Bloom B S, Hastings J T, Madaus G F (eds.). New York: Mc Graw—Hill, 1971.
- [5] 张军,燕友果,胡松青,等. 培养创新人才的实验教学模式的探索与实践[J]. 科技信息, 2010, 7: 541.
ZHANG J, YAN Y G, HU S Q, et al. Exploration and practice of experimental teaching mode for cultivating innovative talents [J]. Science & Technology Information, 2010, 7: 541. (in Chinese)
- [6] 赵建华. 高校实验教学目标探析[J]. 高教探索, 2012, 4: 71-73.
ZHAO J H. A Probe into the objectives of experimental teaching in colleges and universities[J]. Higher Education Exploration, 2012, 4: 71-73. (in Chinese)
- [7] 汪大海,付强. 材料物理与化学专业综合性实验教学改革初探[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30: 103-105.
WANG D H, FU Q. A preliminary study on the comprehensive experimental teaching reform of material physics and chemistry[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2011, 30: 103-105. (in Chinese)
- [8] 张炜. 国防特色高校在军民融合中的地位与作用[J], 国防科技工业, 2017, 06: 39-41.
ZHANG W. The status and role of colleges and universities with national defense characteristics in military civilian integration [J]. Defense Science and Technology Industry, 2017, 06: 39-41. (in Chinese)
- [9] 周瑞发,韩雅芳,李树索. 高温结构材料[M]. 北京:国防工业出版社, 2006: 91-114.
- [10] 李恒德,师昌绪. 中国材料发展现状及迈入新世纪对策[M]. 济南:山东科学技术出版社, 2003: 175-183.
- [11] 王伟建,黄雄哲,顾宪辉,等. 紫外/红外准成像双色导引头技术研究[J]. 制导与引信, 2001, 22(1): 6-12.
WANG W J, HUANG X Z, GU X H, et al. Research on ultraviolet/infrared quasi-imaging dual-color seeker technology[J]. Guidance and Fuze, 2001, 22(1): 6-12. (in Chinese)
- [12] 赵春霞,周静,韩京. 材料物理专业创新型实验教学探索与实践[J]. 实验科学与技术, 2013, 11: 77-79.
ZHAO C X, ZHOU J, HAN J. Exploration and practice of innovative experimental teaching in material physics[J]. Experiment Science and Technology, 2013, 11: 77-79. (in Chinese)
- [13] 王永强,苏玉玲. 材料物理专业综合改革研究与实践[J]. 教育教学论坛, 2016, 9: 248-249.
WANG Y Q, SU Y L. Research and practice on comprehensive reform of material physics[J]. Education Forum, 2016, 9: 248-249. (in Chinese)
- [14] 文德华,邓文基,杨中民. 理工融合协同育人建设一流应用物理学本科专业[J]. 物理与工程, 2021, 31(3): 55-58, 66.
WEN D H, DENG W J, YANG Z M. Constructing first-class undergraduate major of applied physics through integration of Science &. Technology and Coordinated Education[J]. Physics and Engineering, 2021, 31(3): 55-58, 66. (in Chinese)