

大学物理课程教学模式五化建设创新实践

李晓波¹ 张嘉俊^{1,2} 张 军¹ 赵 娜¹ 张小姣¹ 陈 铜³

(湖南工商大学¹微电子与物理学院;²理学院,湖南 长沙 410205;

³江西理工大学能源与机械工程学院,江西 南昌 330013)

摘 要 伴随我国教育模式创新、教育信息化发展进入数字化建设新时期,高等教育中人才培养模式、教学育人模式、学科发展改革已经迫在眉睫。针对大学物理课程教学在新工科人才培养中的重要作用,本文提出一种五维多元化建设的大学物理课程教学创新模式,加快实现教学资源数字化、教学内容可视化、教学设计多元化、教学对象趣味化、教学过程标准化。通过课程教学五化建设使得教学模块有机融合,促进课程教学实现规范化、立体化,达成全方位育人教学目标,培养学生科学素养、求实精神、创新思维、家国情怀。

关键词 大学物理;教学创新;数字化;多元化

TEACHING INNOVATION PRACTICE OF FIVE MODES ON THE COURSES OF COLLEGE PHYSICS

LI Xiaobo¹ ZHANG Jiajun^{1,2} ZHANG Jun¹ ZHAO Na¹ ZHANG Xiaojiao¹ CHEN Tong³

(¹ School of Microelectronics and Physics, Hunan University of Technology and Business, Changsha, Hunan 410205;

² School of Science, Hunan University of Technology and Business, Changsha, Hunan 410205;

³ School of Energy and Mechanical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Nanchang, Jiangxi 330013)

Abstract Along with the innovation of education mode and the development of education informationization marking a new age of digital construction, the reform of talent training mode, teaching and education mode, and discipline development in higher education has become urgent. In view of the important role of college physics teaching in the training of new engineering talents, this paper puts forward a five-dimensional diversified college physics teaching innovation mode to accelerate the realization of digitalization for teaching resources, visualization of teaching content, teaching design diversification, interesting teaching objects and standardization of teaching process. Through the construction on the five aspects of curriculum teaching, the organic integration of teaching modules can promote the standardization and three-dimensional of curriculum teaching, achieving the goal of all-round education, and cultivate students' scientific literacy, realistic spirit, innovative thinking and feelings of home and country.

Key words college physics; teaching innovation; digitization; pluralism

收稿日期: 2023-02-22

基金项目: 湖南省教育厅教学改革项目(HNJG-2021-0748, HNKCSZ-2020-0410); 湖南省一流课程《大学物理》; 湖南省青年骨干教师培养计划; 江西省教育厅教学改革项目(XJG-2021-14); 湖南工商大学教改项目(YJG2021YB02); 湖南工商大学《大学物理》课程思政示范项目。

通信作者: 李晓波, 湖南工商大学副教授, xiaoboli2010@hutb.edu.cn。

引文格式: 李晓波, 张嘉俊, 张军, 等. 大学物理课程教学模式五化建设创新实践[J]. 物理与工程, 2024, 34(3): 54-60.

Cite this article: LI X B, ZHANG J J, ZHANG J, et al. Teaching innovation practice of five modes on the courses of college physics[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(3): 54-60. (in Chinese)

大学物理课程是自然科学领域和工程技术的基础,作为一门理论与实践性均较强的理工科课程,其创新理论与逻辑方法已经渗透到工程、技术、生活等各领域,并有机融合应用于教育教学、科技项目、工程技术等各环节^[1]。2020年教育部印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》对新时代人才的培养提出新要求,课程团队在教研中不仅要向学生传授现代化技术应用的知识和技能,而且要注重学生价值观的塑造和综合能力的培养。要着力把知识、能力、价值观三方面的培养作为有机整体,全方位推进教学改革^[2]。在“新工科”建设背景下,深度拓展大学物理课程教学深度和广度,充分挖掘大学物理课程特色和思政要点,开展大学物理课程教学模式改革与探索具有重要意义。

1 大学物理课程教学五化模式建设

利用现代信息技术推进大学物理课程数字化,能够充分利用学生直接感官功能,激发学生学习积极性,拓展学生思维想象空间,培养学生创造能力,彰显自然科学独有的课程特色和魅力^[3]。Cascarosa 等人的研究表明,传统的课程教育是以传达理论概念为基础,他们的研究发现建立了基于科学事实的教学案例和心理模型,这对指导学生掌握知识具有重要意义,虽然基于模型的科学教学在一些高校取得了不错的效果,但这在大学课程的物理教学方面研究不多^[4]。本文从教学资源、教学内容、教学设计、教学对象、教学过程五个维度开展大学物理课程的教学设计与改革(见图

1),在教育信息化建设背景下探索适应新时代发展、富有创新性、兼具活力与动力的大学物理课程建设新模式^[5]。

1.1 教学资源数字化

习近平在国际教育信息化大会指出,当今世界,科技进步日新月异,互联网、云计算、大数据等现代信息技术深刻改变着人类的思维、生产、生活、学习方式,深刻展示了世界发展的前景。因应信息技术的发展,推动教育变革和创新,构建网络化、数字化、个性化、终身化的教育体系,建设“人人皆学、处处能学、时时可学”的学习型社会^[6]。在教学设计中,教学资源是用于支持教学活动的各种材料、工具和技术,例如 PPT、视频、音频、模拟软件等。而教学内容则是指课程中需要传授的知识点、概念、理论和技能等。我国数字教学资源的开发和服务水平正聚力发展,而教师信息化教学创新能力与新时代要求存在脱节问题,专业教学和信息技术融合需要提升。因此,教育行政部门、高校等载体需共同提高数字教育资源服务水平与管理水平,探索教育信息化背景下教学资源数字化新模式^[7]。

秉持“优势互补、共建共享、内容创新、协同发展”的原则,参照国家精品网络课程建设标准,在课程教学中引入微课堂、微视频、微互动等教学模块,提升传统课堂数字化水平,开展校际间课件、视频、习题库、教学案例共享。通过数字化反馈与评价完善课程建设,鼓励学生参与共同建设课程案例资源、思政反馈案例库,建立多层次、多模式、多渠道的高质量课程数字化资源共建共享体系^[8]。此外,支持原创大学物理教学资源、保护数

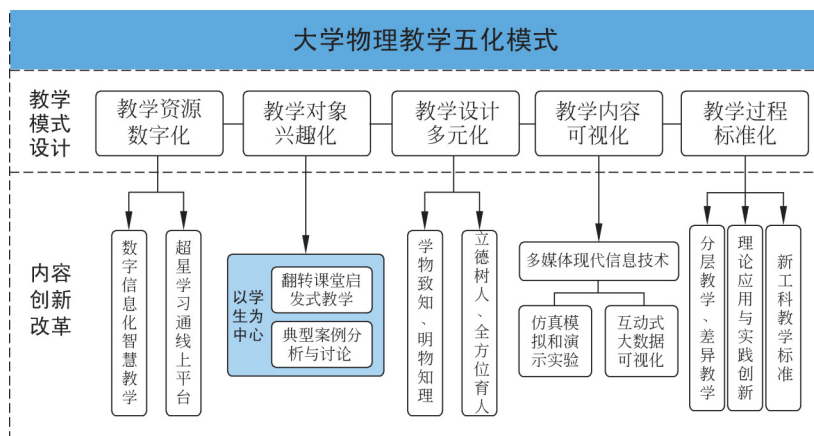


图1 大学物理课程教学五化模式

版权等,以提高高校教师共享贡献度,完善分担与按劳分配的共享制度,探索知识产权保护和共享激励政策互相促进的数字化支持系统,保障大学物理课程数字教学资源建设体系的良性发展。

我国已逐步迈入教育信息化 2.0 时代,教育资源从专用转向通用走向开放化、数字化,这需要教师快速提升发展自身信息技术的能力,对传统课程资源进行结构重组、模式重塑、资源合理配置,借助信息技术创新性地融入教学,成为新一代的“数字教师”^[9]。

1.2 教学内容可视化

教学内容可视化是一种利用图像、动画、视频等形式直观呈现教学内容的方式。可视化的知识传授更加形象直观,符合人脑直观的记忆模式,大学物理课程是一门逻辑性强、知识点涉及范围广、知识点联系紧密的学科课程。借助思维导图、总结结构图、视频图片可视化展示等方式,帮助学生梳理物理知识点之间的逻辑脉络、抓住学习关键、掌握知识重点、解决学习难点,有利于培养学生主动思考能力、想象力和创造力。通过互联网、高校资源库等建设渠道获得大学物理课程有关的图片、动画、视频等媒体素材,我校已与杭州电子科技大学等国内高校合作进行资源共享、以可视化形式向学生讲授课程,例如波动光学一章中获得相干光的方法、光的衍射、光的偏振等知识点讲解时,实验过程用动画、视频展示,原理用图形、动画或视频呈现,把抽象的、难以理解的内容形象化,合理使用可视化技术可以达到事半功倍的效果。

1.3 教学设计多元化

现代化课堂教学采用传统板书与多媒体相结合的教学手段,采用案例式、讨论式、启发式课堂教学设计,教学设计中注重多元化,将各色教学手段和方法有机结合,旨在提高学生的学习兴趣,促进学生的全面发展。融合德育与智育相结合的课程思政要点,教学设计中结合社会主义核心价值观将德育与智育有机结合,通过虚拟教研室开展校内外资源重整、在线教学设计深度拓展大学物理课程原有教学资源^[10]。课程教学中不仅传授给学生的基本概念、基本规律、基本思想,而且培养学生学术创造能力、科技创新力、爱国情怀,增强当代大学生为实现中华民族伟大复兴中国梦贡献青春力量的责任感和使命感。在现行的教学改革实践中,注重生活化物理知识的渗透,预期建设

成为一门以“课堂教学+思政教育+能力反馈+创新思维展现”为核心特色,满足学生集思想提升、能力培养于一体的新概念教学设计。

用讨论式教学、翻转课堂、实践实训等教学活动增加师生课堂互动学习,充分调动学生的学习积极性、主动性,引导学生主动分享观点、讨论流学习,以小组展示的形式进行案例的分析和研究。互动中教师观察与记录学生物理基础、科学的世界观、人生观、价值观的提升与转变,引导学生增强创新思维能力、实战操作能力、思维发散能力等。

1.4 教学对象兴趣化

在课程教学过程中,教师可以将学生的学习效果视为一面镜子,透过这面镜子反映教学水平、教学过程存在的问题,增强与学生的沟通与合作调整相应的教学策略。同时,将每节课的知识点见解串成一段故事,采用问题导入、趣味化故事提问、名人趣事等情境等方式引导学生在过程中提出问题、趣味化分析问题、多样化解问题,形成师生共同参与的课堂教学增进大学物理课堂浓厚的学习氛围,让大学物理教学激发生机和活力。

课程建设始终秉承“理论+实践、趣味服务学生、学生创新发展”的理念,对教学手段进行趣味化设计与改进,构建可视化、网络化、模块化的视频互动资源库。教师全程动态观察学生学习全过程,以同伴视角理解其思路,让学生在实践中感受到物理的魅力^[11],从而提高学生学习兴趣,激发创新思维。

1.5 教学过程标准化

教学过程标准化模块将教学过程划分为前、中、后三个阶段,分别采用不同的教学策略,以提高教学的综合水平和质量。

首先,教学过程需要个性化教学。在课前准备阶段,教师可以结合学生的兴趣爱好和特点,设计个性化的学习资源,激发学生的学习兴趣 and 积极性。在课中授课阶段,教师可以运用多媒体技术,如视频、音频、动画、虚拟现实等,生动形象地呈现知识点,增强学生的记忆和理解能力。第三,教学过程需要互动式教学。在课中授课阶段,教师可以采用互动式教学,如小组讨论、案例分析、游戏化教学等,激发学生的思考和创造力,培养学生的合作精神和领导能力。第四,教学过程需要精准化评估。在课后复盘阶段,教师可以采用精准化评估方法,如在线测试、反馈问卷等,及时了解学生的学习情况和反馈,为后续的教学改进提供有效

的数据支持。最后,教学过程需要实践教学。在课后复盘阶段,教师可以引导学生进行实践性学习,如实验、调研、项目等,将理论知识与实际应用相结合,提高学生的综合素质和职业能力。通过调研和项目实践,可以让学生将物理知识应用到实际问题中,培养学生的解决问题的能力 and 创新意识。

2 教学五化模式实践与成效

首先,通过生活化实践教学过程全方位设计与锻炼帮助学生准确理解物理概念和规律,认识物理基本理论及发展历程,培养学生创新思维和发散思维,是本课程培养学生创造力的主要阵地。其次,大学物理课程实践可视化、生活化实践教学环节,在传授知识的同时注重学生分析、解决问题能力的培养,注重启发学生务实精神和创新意识^[12]。将教学实践与思政元素有机融合,结合教学数字化、标准化、趣味化的教学模式,教师与学生在实践过程潜移默化地提高自身道德素质和行为修养,更好地实现学生知识、能力、素质的全面发展。

2.1 教学五化模式建设过程

以大学物理中光学部分重要的知识点-波动光学模块为例,通过情景引入方式给予学生代入感,

引用优秀的科学家生平优秀事迹来启发学生,借鉴优秀教学成果、教学方法和教学案例开展研讨式案例教学,设计和制作波动光学教学视频并利用生活实例、新科技成果等融五化模式于教学基本过程。

(1) 趣味化设置情境引入。不直接介绍波动光学的辉煌历史进程、诺贝尔奖等,而将这些情境预设为发生在身边的故事与之对比,引出重要历史事件和名人趣事等。将电影式情境在波动光学的应用与思政元素结合,设置问题悬念帮助学生产生因果循环兴趣,此过程中引入光的本质、规律等知识点,将枯燥的知识点趣味化。课堂小结即是故事揭秘、谜语揭底环节,这保证全程的趣味性和关注度。

(2) 可视化展示动态知识点。将光的波粒二象性、光的干涉、衍射等概念采用图片、声音、动画、视频等信息形式动态呈现,通过可视化知识点将静抽象知识点具体化、形象化,引导学生深入理解光的干涉、衍射、偏振的本质与联系^[13]。进一步列举光的干涉、衍射、偏振现象在生活中的应用,借助信息化网络手段丰富媒体素材促进学生理解。

(3) 标准化实施翻转课堂。用标准化的教学来阐释生活现象,例如在课程设计中利用虚拟教研室标准化开展备课与反思、标准化开展翻转课堂(见图2),将相控阵列雷达、光信息处理等实际

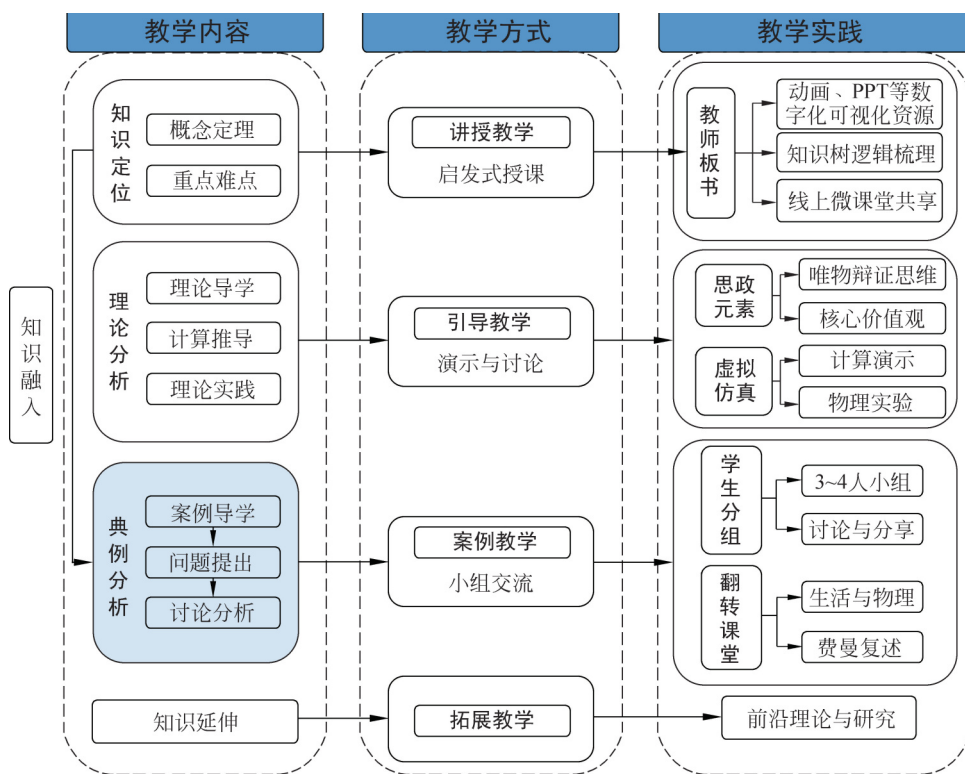


图2 教学实践过程标准化翻转课堂

应用标准化融入教学过程,通过启发式、案例式讲授帮助学生梳理知识点及逻辑关系,这些标准化过程能够提高平均水平,有效提高学生的学习热情和内在驱动力。

2.2 生活化物理现象与理论传授

犹如《墨经》里对小孔成像的纪录,《革象新书》中阐述小孔成像原理都能够将生活化物理现象采用故事情节来叙述,让艺术感来说话,摒弃传统讲述高效将中国优秀传统文化的现实意义如行云流水般渗透到学生心里。倡导学生用发现美的眼光看待世界,引导学生总结知识点的内涵。例如相干光现象描述中,光程差与相位差的关系可以用生活中胶带层数不同来观察,“光的偏振”现象中用“偏振片”去解析复杂多变的生活情境。通过动画、漫画展示、演示模拟等情景式教学来具体化、生动化映射知识点,帮助学生实现兴趣化学习并吸收光学知识点的目标。

2.3 用科创实践牵引教学

大学物理作为自然科学课程,应该利用其科技性,如科学解释日常生活现象用薄膜干涉原理来解释太阳下五彩斑斓的肥皂泡、雨过天晴地面水洼处的油膜,引导学生将知识内化于心、应用于生活来开展发明创造。通过组织学生开展社会性科普宣传让学生深入理解物理知识,提高学生发现生活现象并用物理知识解释的能力,培养其探索创新和求知的意识。

2.4 教学实践反馈与总结

最后,五化建设在大学物理课堂中的部分教学班级设置为改革组,传统教学班级设为参照组。原始数据为 2021—2022 学年 7 个班级,共计 389 名学生的大学物理课程的教学反馈数据,选取其中 4 个班级统计分析(见表 1),包括学生的平时成绩、期末成绩、教学评价等指标数据,考虑控制变量,排除年级、专业、学科、学习强度等因素对学生成绩的影响。

表 1 2021—2022 学年大学物理课程综合成绩统计

组别	人数	优秀率	及格率	平均分
改革组 1	44	81.82%	100%	85.50
改革组 2	59	69.49%	97%	82.90
参照组 1	45	51.11%	89%	73.42
参照组 2	51	56.86%	91%	76.24

表 1 只选择同一学期、相同专业设置 2 个改

革组、参照组进行研究,对不同教学模式下学生的物理成绩进行统计分析,检验大学物理五化模式的教学效果。首先,统计各组综合成绩的优秀率、及格率和平均分,学生综合成绩包括学生在大学物理课程中各阶段的考试成绩、小组测试成绩、课堂互动成绩等,能有效反映学生在大学物理中的学习情况和掌握程度等综合评价指标。本文将综合成绩大于 80 分的学生定为优秀,60 分为及格线。结果显示,五化教学模式下的改革组学生平均分分别为 85.5 和 82.9,分别超过传统教学模式下参照组的学生平均分最高为 12.08。这表明通过开展课程五化教学,学生综合成绩得到大幅度提高,及格率提高 8.5%,尤其是优秀率提高 30.71%,在一定程度上反映了学生学习积极性和内驱动力的快速提升,采取问题情境(景)、生活化模式显著提高了学生对大学物理的学习兴趣。

单因素方差分析(One-way ANOVA)是一种统计方法,用于检验三个或更多独立样本组之间是否存在显著差异。它的基本思想是通过比较组内方差(Within-group variance)和组间方差(Between-group variance)来确定不同组之间是否存在显著差异。若组间差异远大于组内差异,则认为不同组之间存在显著差异。本文首先对教学方法这一因素进行单因素方差分析,基于单因素方差分析结果进行各组的多重比较,即因素下各组平均成绩是否具有显著性差异。

从统计显著性角度分析,利用原始数据,使用学生的期中成绩、期末成绩和综合成绩数据分别进行单因素方差分析,将实行五化模式教学的改革组与实行传统教学模式的参照组分别进行 t 值检验的统计比较(如图 3)。结果显示,期末成绩平均分和综合成绩平均分的单因素方差分析结果的 $p < 0.0001$,说明不同模式下的学生成绩存在显著性差异。T 检验结果显示,在期末成绩的平均分中改革组显著高于参照组。而分析综合成绩的平均分可知,改革组 1 显著高于参照组 1 和参照组 2,改革组 2 显著高于参照组 1,但不显著高于参照组 2。这说明五化教学模式改变了传统输入型教学,将输入-输出有机衔接,引导学生深度参与到大学物理课堂学习和互动中,学生综合能力显著提高。

此外,改革组学生综合成绩的标准差为 8.23,分数的离散程度较小,低于参照组的 15.46,说明通过引入的智慧数字化信息教学、翻转课堂启发

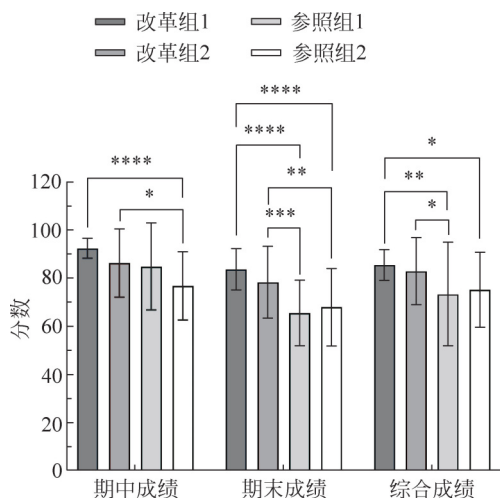


图3 教学实践中改革组与参照组学生成绩统计
检验分析^{①②}

式授课、微课堂等创新方法,大多数学生能够较好地适应课堂教学并取得不错的学习效果。同时,也说明结合不同学生的学习风格和差异化特征,提供个性化的教学思路开发多样化的教学策略,完善五化教学模式可以帮助学生更好地理解大学物理知识。

通过比较教学五化模式和传统模式学生成绩各项模块的得分情况(见图4),发现在大学物理的公式推导、计算分析模块中两种教学模式得分率相近,传统模式的得分率相对高一点,五化模式在综合题型、实践应用模块题型中的得分率明显高于传统模式,分别为81%和80%。可见,传统授课学生“灌输”式学习后在计算推导类题目中效果尚可,而对于综合实践、应用类问题便显得捉襟见肘,说明学生对物理知识缺乏实质性理解。因此,五化教学模式秉持理论与实践相结合、实践出真知的理念,充分调动了学生学习的主动性,以

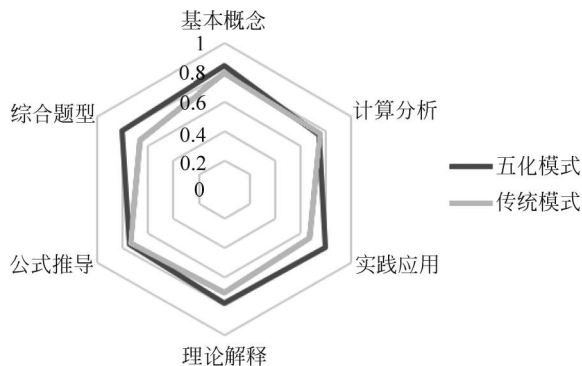


图4 五化模式与传统模式各模块得分率

学生为中心构建可视化、数字化、标准化的教学体系,开发微课堂、高校联合数据库等教学资源,制定多样化教学策略,有效帮助学生将大学物理知识生活化、技能化、多元化。

从学生成绩分布情况分析,选择改革组2与参照组2的综合成绩进行比较,绘制综合成绩分布直方图(见图5)。从整体分布来看,改革组分数呈左偏分布,中等、高分人数较多。低分分数段中,参照组有5人,改革组有2人,可见经教学模式改革后,学生及格人数明显上升,这表明开展翻转课堂时应将培养学生自主学习能力作为首要目标。

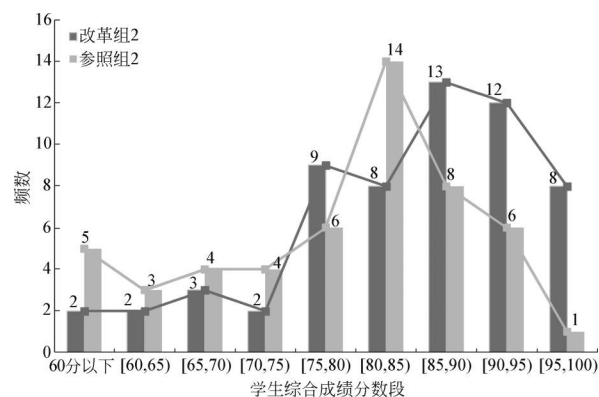


图5 改革组与参照组学生综合成绩区间分布图

从分布的集中趋势看,参照组学生综合成绩在75~80分数段的占6人,在80~85分数段的占14人,参照组的学生成绩大多数处于优良水平,改革组学生综合成绩主要集中在80~95的分数段,占该组总人数的55.93%,该比例明显提高。对比发现大学物理五化教学模式在成绩水平处于中等偏上的学生中取得显著成效,说明五化教学模式将费曼学习法融入课程教学中,知识经过拆解重构、整合输出,有效地帮助学生突破学习中的重点难点。

① 注:****、***、**、* 分别表示在 0.0001、0.001、0.01、0.05 水平下显著。

② 在统计学中,显著性水平(Significance Level)是指在假设检验中所设置的拒绝原假设的概率阈值。以 0.05 的显著性水平为例,它代表的含义是:当进行统计检验时,如果计算得到的 p 值小于等于 0.05,即 $p \leq 0.05$,那么我们可以认为所观察到的差异不是由随机误差所引起的,而是有真实的差异存在。因此,我们可以拒绝原假设,接受备择假设。

3 结语

实践表明,围绕大学物理课程开展五化建设对学生科学思维、创新意识、创造能力等能力培养具有重要作用。本文基于新工科背景对大学物理课程教学模式进行创新与探索,提出的大学物理课程教学资源数字化、教学内容可视化、教学设计多元化、教学对象兴趣化、教学过程标准化的五化教学新模式势在必行。这种模式经过实践检验展示了较好的可操作性,将这一模式融入到教学实践的各环节,能有效激发学生学习积极性,培养学生创新思维与创造力,彰显自然科学独有的课程特色和魅力。

参 考 文 献

- [1] 韩思思, 罗莹. 大学物理教学研究现状与展望——基于 10 年核心期刊论文分析[J]. 大学物理, 2018, 37(6): 50-56.
HAN S S, LUO Y. Current status and prospect of research on university physics teaching—An analysis based on 10 years of core journal papers[J]. College Physics, 2018, 37(6): 50-56. (in Chinese)
- [2] 高宁, 王喜忠. 全面把握《高等学校课程思政建设指导纲要》的理论性、整体性和系统性[J]. 中国大学教学, 2020(9): 17-22.
GAO N, WANG X Z. Comprehensively grasp the guideline for the construction of higher school curriculum civics and politics of theoretical, integral and systematic[J]. China University Teaching, 2020(9): 17-22. (in Chinese)
- [3] DAI NEKO Y, DMITRIYEV V, IPALAKOVA M. Using virtual laboratories in teaching natural sciences: An example of physics courses in university[J]. Computer Applications in Engineering Education, 2017, 25(1): 39-47.
- [4] CASCAROSA E, SÁNCHEZ-AZQUETA C, GIMENO C, et al. Model-based teaching of physics in higher education: A review of educational strategies and cognitive improvements[J]. Journal of Applied Research in Higher Education, 2020, 13(1): 33-47.
- [5] 刘献君. 面向未来的高校学科建设[J]. 中国高教研究, 2022(10): 1-7.
LIU X J. Scientific construction of higher education toward the future [J]. China Higher Education Research, 2022(10): 1-7. (in Chinese)
- [6] 习近平致国际教育信息化大会的贺信[N]. 人民日报, 2015-05-24(02).
- [7] 张大良. 用现代信息技术赋能高质量人才培养的内涵与路径[J]. 中国高教研究, 2022(9): 14-17.
ZHANG D L. The connotation and path of empowering high-quality talent cultivation with modern information technology[J]. China Higher Education Research, 2022(9): 14-17. (in Chinese)
- [8] WEBER J, WILHELM T. The benefit of computational modelling in physics teaching: a historical overview[J]. European Journal of Physics, 2020, 41(3): 034003.
- [9] 杨宗凯, 吴砥, 郑旭东. 教育信息化 2.0: 新时代信息技术变革教育的关键历史跃迁[J]. 教育研究, 2018, 39(4): 16-22.
YANG Z K, WU M, ZHENG X D. Education informatization 2.0: The key historical leap of information technology transforming education in the new era[J]. Education Research, 2018, 39(4): 16-22. (in Chinese)
- [10] 倪涌舟, 郭中富. 大学物理课程思政的课堂实践探索[J]. 教育教学论坛, 2020(16): 51-52.
NI Y Z, GUO Z F. Exploration of classroom practice of Civics in university physics course[J]. Education Teaching Forum, 2020(16): 51-52. (in Chinese)
- [11] BOZZI M, RAFFAGHELLI J E, ZANI M. Peer learning as a key component of an integrated teaching method: Overcoming the complexities of physics teaching in large size classes[J]. Education Sciences, 2021, 11(2): 67.
- [12] 凌惠琴, 杭弢. 问题式教学法联合输出式学习在材料物理教学中的应用探索[J]. 高等工程教育研究, 2021(S1): 31-32.
LING H Q, HANG T. Exploration of the application of problem-based teaching method and combined output learning in the teaching of material physics[J]. Research on Higher Engineering Education, 2021(S1): 31-32. (in Chinese)
- [13] 邢昊, 罗清, 蔡和等. 偏振态对涡旋光束拓扑荷识别的影响[J]. 光学学报, 2022, 42(17): 391-401.
XING H, LUO Q, CAI H, et al. Influence of polarization state on topology charge identification of vortex beams[J]. Acta Optica, 2022, 42(17): 391-401. (in Chinese)