

基于 OBE 理念的物理学术竞赛教育模式

陈 靖 李川勇 陈宗强 余 华 潘崇佩

(南开大学物理科学学院, 天津 30071)

摘 要 为了全面培养物理人才的综合素质, 我们设计并实践了基于 OBE 理念的物理学术竞赛教育模式。教育模式以培养学习能力、创新能力、实践能力、交流能力、科学精神和德育教育等为产出目标, 设计教学课程内容、考核方式和辅助支持, 以保证全方位整体化教学目标的实现。通过多年实践探索证明, 这种精准实时反馈型的教育模式能够可持续良性发展, 取得了显著的育人成效。本模式被多所大学和中学采纳实施, 促进了中学和大学的紧密合作和有效衔接。

关键词 产出导向教育(OBE); 物理综合素质; 物理学术竞赛; 教育模式

THE EDUCATION MODE OF PHYSICS TOURNAMENT BASED ON OBE THEORY

CHEN Jing LI Chuanyong CHEN Zongqiang YU Hua PAN Chongpei

(School of Physics, Nankai University, Tianjin 30071)

Abstract The education mode of physics tournament based on OBE theory is designed and practiced, in order to cultivate the comprehensive quality of physics talents in all directions. The outcomes goals of the education mode consist of learning, innovation, practicing, communication, scientific spirit, and moral education. Teaching courses, evaluation methods and auxiliary supports are designed implemented to realize the all-round integrated teaching objectives. Through years of practice and exploration, it has been proved that this precise and real-time feedback education model can achieve sustainable and benign development, and has achieved remarkable educational results. This model has been adopted and implemented by many universities and middle schools, which has promoted the close cooperation and effective connection between middle schools and universities.

Key words outcomes based education(OBE); physics comprehensive quality; physics tournament; education mode

2017 年 9 月 21 日, 教育部、财政部、国家发展改革
委联合发布《关于公布世界一流大学和一流

学科建设高校及建设学科名单的通知》, 正式确认
公布世界一流大学和一流学科建设高校及建设学

收稿日期: 2019-11-10; 修回日期: 2022-04-30

基金项目: 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会教学研究项目(DWJZW202107hb, DWJZW201702hb), 教育部产学研合作协同育人项目(202002091038), 南开大学教改项目(NKJG2021099, NKJG2021100, 21NKSYSZ04)。

作者简介: 陈靖, 女, 副教授, 主要从事物理实验教学和微纳光学研究工作, jingchen@nankai.edu.cn。

通讯作者: 李川勇, 女, 教授, 主要从事物理教学和生物物理研究工作, chuan@nankai.edu.cn; 陈宗强, 男, 高级实验师, 主要从事物理科普教学和光子学研究工作, chenzongqiang@nankai.edu.cn。

引文格式: 陈靖, 李川勇, 陈宗强, 等. 基于 OBE 理念的物理学术竞赛教育模式[J]. 物理与工程, 2022, 32(6): 80-86.

Cite this article: CHEN J, LI C Y, CHEN Z Q, et al. The Education Mode of Physics Tournament Based on OBE Theory[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(6): 80-86. (in Chinese)

科名单,对我国高校教育模式改革提出了新要求。南开大学作为入选“双一流”名单的学校,是专业型人才培养的基地,承担着为国家培养高素质人才的重要任务。这正是大学教育的初心。为此,南开大学结合多年来的教育教学探索和实践,提出了《南开大学一流本科教育质量提升行动计划(2019—2021年)》,即南开40条。行动计划坚持以人为本、全面实施素质教育,面向全体学生、促进学生全面发展,着力提高学生服务国家服务人民的社会责任感、勇于探索的创新精神和善于解决问题的实践能力。

针对物理相关专业学生的培养,我们应该积极推进素质教育改革,更新教育观念,树立系统培养观念。坚持德育为先、能力为重、全面发展并推进中学和大学有机衔接,加强教学、科研、实践的紧密结合。我们采用国际先进的产出导向教育(Outcomes Based Education, OBE)理念,借鉴国际青年物理学家锦标赛(International Young Physicists' Tournament, IYPT)的先进物理人才培养理念,提炼世界一流人才的培养目标,进行精准定位,开展教学改革,提出了整体化培养物理综合素质人才的教育模式。这种教育模式可广泛应用于中学和大学的物理教育之中,实现中学和大学教育的有机衔接,取得显著的育人成果。

1 OBE理念指导物理教育改革

1.1 OBE教育理念简介

OBE是20世纪80年代在美国和澳大利亚出现的教育改革思想^[1,2]。在OBE教育系统中,教育者必须对学生毕业时应达到的能力及水平有清楚的构想,然后寻求设计适宜的教育结构来保证学生达到这些预期目标。为了实现预期的学习产出,所有的教学计划和课程内容都围绕产出目标来组织、实施和评价,形成整体化的行动结果匹配方案。

与传统课堂“以内容为本”的教学模式不同,OBE教学模式强调“以成果为本”,围绕学生的预期学习成果来设计和实施教学活动。因此,OBE是一种有效的教育方法。定义学习产出——教学目标是OBE的核心内容,教学方法、考核方式是OBE能否高效实现的关键环节。同时,OBE教育重视“以学生为中心”的教学持续改进性,促进了

师生教学相长,共同提升。具有明确目标的OBE教育理念在高校教育教学改革中具有重要的作用和广泛的应用价值。

1.2 物理类人才培养的目标

物理是自然科学中一门重要而范围广泛的学科,是国家科技发展进步的基础和支撑。物理类人才的培养是我国科技,特别是关键科技的需要。应用型人才和研究型人才在教育培养的两个主要方向。探索出一条同时满足两类学生培养需求的教育模式,是被广大教育者关注的问题。依据OBE教育方法的指导,应首先确定物理教育的培养目标。我们根据本科生毕业要求,结合学科特点和国家对物理人才的需求,提炼出的人才培养目标如图1所示,要求学生在本科四年的学习后获得相应的提升。同时,教学模式还应包含对教师教学能力和教学方法的有效促进提高。

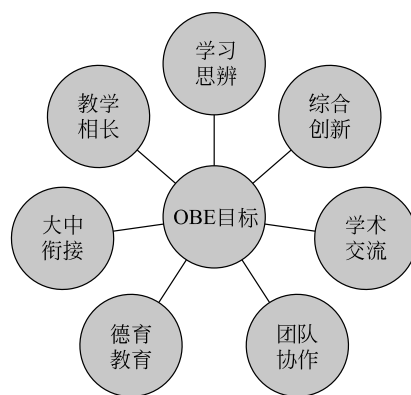


图1 基于OBE教学方法的物理人才培养目标

(1) 提升学生自主学习和思辨能力,包括调研资料、学习新知识、独立思考、辨明正误的学习能力。传统课堂以讲授为主的授课方式强调的是学生学习的接受能力和吸收能力,疏于学生自主学习能力的培养。但是,在学生毕业后的工作中,面临的往往是了解、学习和掌握新内容、新方法和新思想的情况。因此,在教学过程中培养学生的自主学习能力、思辨能力是十分必要的。

(2) 在实验教学过程中重视培养学生自主发现和解决问题的综合创新能力。学生本科阶段实验教学多以验证性学习为主,探究性学习内容占比不大。在新的教学活动中,需要加强学生理论联系实际、综合所学知识开展研究、自行设计实验方案解决实际问题并完成学术论文和报告的科研总结能力。

(3) 重视学生学术交流能力的提升,强调以学生为中心开展教学,学生作为教学活动的主角,需要以学术交流的形式向老师或者同学表述自己的研究内容、研究观点,同他人讨论、明晰所研究的工作。这里也包括向他人寻求帮助的交流表达能力。

(4) 增强学生的团队意识,培养学生的团队协作能力。目前,无论是在大学还是中学,教学的检验方式均主要为笔试考核。这决定了教学活动中学生独自学习的形式。传统教学模式缺乏对学生团队合作能力的关注和培养。然而,在学生后续工作和科研学习中,团队是工作的主要完成形式。这就出现从学习到工作过程能力需求的断层。

(5) 教学活动中的德育,重视学生的爱国精神、奉献精神、团队精神、科学精神等精神在教学过程的渗透。现有的物理教学中,多采用挖掘物理背景,通过讲授报告等形式向学生们宣讲德育精神,学生亲身体验不足。我们希望能够通过学生参与教学活动的方式,全方位、全过程实施覆盖面广泛的德育教育。

(6) 实现中学教育和大学教育的有效衔接。中学多以高考为指挥棒,以应试教育为主导;大学关注学生能力的培养,以综合素质提升为教学目标。大学和中学教学目标的不同导致大学低年级学生不适应大学的学习方式和教学节奏。大学和中学教师之间缺少教学交流桥梁,存在大学中学物理教育的融合和贯通不畅的问题。

(7) 良性的教育教学模式一定是可持续发展的。在教学设计中,要关注学生和教师两方面的获益,师生作为共同体应共同得到能力的提升,实现教学相长,师生互促,持续提高。

上述这些教学目标的提出为我们进行教育模式的改革提出了方向。经过调研发现,现有的一些教学改革或能对标某一个或者某几个目标。如何能够通过一个教学模式同时实现整体化教学目标,全方位高效育人是我们急需解决的问题。

2 物理素质教育模式的设计

2.1 IYPT 精准对标 OBE 产出目标

为了实现上述全方位立体化的教育教学目标,我们希望设计出一种教育模式,通过这种教学

方法实施能够实现全体的教育教学目标,成为现有教学方法的有效补充。经过多年调研、探索和实践,我们发现国际青年物理学家锦标赛 IYPT 的教学思想和教育理念十分契合我们的教育目标。因此,我们选定 IYPT 的先进物理教学方法为突破口,结合我国大中学物理教育现状,设计教学内容、开展课程建设、搭建平台支持,探索出了一条新的教学路径^[3-5]。

国际青年物理学家锦标赛(IYPT)是由苏联在 1988 年发起的,用于培养和发掘物理人才的一项中学生物理教学活动。它不同于一般的物理竞赛,其比赛选用的物理题目是源自生活的开放性问题,没有标准答案。针对这些题目,要求学生以团队的形式进行为期一年的合作研究。在问题研究过程中,学生们既要有分工,又要有合作。通过查阅资料和讨论交流,学生自主设计并完成实验,观察到实验现象,并根据实验数据总结出结论,给出理论的解释,最后以学术报告和学术讨论的形式进行比赛交流,辨明研究的正确性和科学性。IYPT 这样一项综合性的教学活动,具有鲜明的先进性理念。IYPT 的教学过程对师生都提出了多方面的要求。学生需要在掌握物理原理和实验技能的基础上,综合运用所学知识和实验手段自行设计实验方案,选择适当的设备、元件自组实验系统,理论联系实际、辨明实验结果的真伪。还要多方请教,才能够把题目做好。教师在整个教学活动中起到启发者和引导者的作用,基于学生的研究基础因材施教,逐步推进学生对于研究问题的物理本质的认知。同时,这样的教学活动也提升了教师的业务水平和教学能力。基于 IYPT 的教学方法是一种侧重于知识应用的项目式教学法,实现了学生由被动学习向主动思考的根本转变,很大程度上体现了物理学习的价值,为学生后续高阶课程的学习夯实基础。

以 IYPT 课题为教学内容的教学方法很好地契合了我们教学改革的设计思路和对学生的培养方向。IYPT 以开放性物理问题为教学内容,倡导学生自主、合作的进行探究式学习。鼓励学生积极参与到物理学习活动中,不再是被动地接受教师传授知识。以 2017 年第 30 届 IYPT 第 14 题唧呀转转机(Gee-Haw Whammy)为例^[6],本题所研究的唧呀转转机是一种有趣的力学玩具,它由一个简单的滑动杆和一个具有一系列凹槽的木棒组

成,在木棒末端有一个螺旋桨,当滑动杆划过凹槽时,螺旋桨开始旋转。题目要求解释这一现象并研究相关参数对它的影响。这是一个力学的谐振问题,需要通过预实验观察和文献调研,建立正确的运动力学模型,得出谐振是两个垂直方向的正弦振动合成的利萨如图轨迹。基于这个研究模型,设计科学合理的实验方案,选择适当的实验仪器设备,研究凹槽周期、阻尼系数、螺旋桨孔径等参数对运动轨迹的影响。最后,对理论研究和实验结果进行对比验证,并总结出相应的物理结论。整个学习过程强调学生自主开展学习、提炼研究问题、设计实验内容、判断结果正误、总结研究成果等综合物理能力。

IYPT 教学方法对学生学习的检验是多方位全面化的。学生需要以学术报告和学术辩论的方式去论证自己研究问题和内容的正确性。因此,考核方式涵盖了对物理概念、实验能力、数理逻辑能力、学术交流能力和科学精神和团队意识等多方面的评价。同时,鼓励学生撰写科研论文,对学习研究进行总结梳理,通过文章的撰写、修改和发表进一步加深研究的深度和广度,提升学生的综合研究能力。

IYPT 的教学方法要求学生以团队为单位展开学习。在学习活动中,学生之间既要有独立分工,又强调合作研究。保证团队的良性高效运行是科学研究成功的关键之一。此外,团队在开展工作中,不可避免地会遇到无法攻克的困难问题,这时则需要团队向专家、教师、同学寻求帮助,通过不懈努力,才能完成学习任务。因此,这项教学活动的实施可以浸润式的培养学生的团队合作意识、奉献精神、集体精神、科学精神等优秀道德品质。

由于 IYPT 是一项起源于中学生的物理活动,因此,在大学和中学中,均可以开展不同深度和层次的学习研究。IYPT 的研究内容多是来自于生活的物理现象,实验器材容易获得,这也使广大中学和大学具备开展教学的实验条件。从中学到大学,能够就同样的学习内容开展学习,在学习的深度和广度上加以区分。从这个角度出发,IYPT 教学模式为大学和中学的有效衔接搭建了贯通的桥梁,大中学师生可以就共同的学习内容开展研讨,实现了大中学的物理教育的有效衔接。IYPT 的教学中,教师不再是传统课堂中的物理知

识讲授者,而是学生学习过程的引导者,特别是当学生研究出现偏差的时候,能够及时引导学生回到正确的研究方向上来。因此,对教师的教学水平提出了更高要求。这样,就形成了良性的教学相长的可持续发展教学机制,师生共同体,共同进步。如前文中提到的哟呀转动机,就是在教师指导下,学生开展研究、撰写论文并发表在《物理与工程》杂志上^[6]。

2.2 基于物理学术竞赛的素质教育模式

IYPT 的教学理念可以有效地培养学生的物理综合能力。南开大学经过充分的调研和探索,在 2008 年将 IYPT 的理念首次引入到中国,结合我国物理教育的特点和问题,开展系列教学改革活动。教学活动以“四个一”为设计思想,如图 2 所示。具体的,包括一个理念、一条主线、一个贯通和一个整体。教学模式以一个理念——OBE 为指导,我们借鉴 IYPT 的教学方法,开展了物理素质教育模式的探索和实践。在这种教学模式中,教学全程始终坚持一条主线:整体培养学生的团队协作、自主学习、理论联系实际、解决问题、交流表达、挫折应对等综合能力,这是教育实践的最终培养目标(产出目标)。在此教学模式的指导下,通过课程建设、团队建设、平台建设等途径搭建大中学师生有效沟通的桥梁,形成了中学-大学物理素质教育的有效衔接,实现了中学-大学物理教育的贯通。通过上述途径,经过十年的探索实践,我们在国内率先实现了中学-大学有效衔接、全面培养学生综合素质、教学相长、交流多样的整体化物理素质教育模式改革。

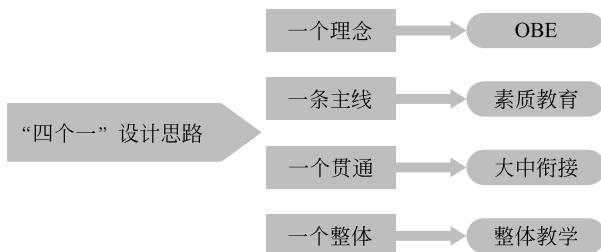


图2 物理学术竞赛教育模式的设计思路

2.3 物理学术竞赛教育模式的特点

这种教育模式具有本土化特色,我们首次将国际青年物理学家锦标赛的理念引入中国,深化拓展成为全方位、全过程的新时代中国物理人才培养教育模式。

教学模式注重全方位、多角度、集成化培养学生的物理综合素质,包括研究性学习的能力、解决实际问题的能力、团队合作的能力、表达与交流的能力、进取精神和责任感,激发了学生的主动性,从而能够推动学生学习研究能力的持续提升。

教学模式的普适性高。2008年起南开大学开始物理学术竞赛教育模式的课程建设和实践探索,并逐渐推进、积累、总结、完善。2010年该模式推广至全国高校,2013年推广至全国中学,为培养物理类创新型人才提供了新途径,得到国内外物理教育界的广泛认可。

本教学模式的建设实施实现了大学中学在教学理念、教学方法、培养目标上的彼此一致、相互贯通,互促互助,实现教学相长,共同进步提高。

3 教育模式的建设和实施

物理学术竞赛教育模式强调整体化概念,旨在通过教学活动的推进全方位立体化培养学生多方面的综合能力和提升学生的思想信念。我们以物理学术竞赛的学习方式为抓手,选取源于生活的开放性、综合性的 IYPT 物理问题为教学内容;以学生自发组建 5 人研究团队为学习方法,在学习活动中,学生作为实施者主导学习过程,教师作为引导者辅助研究学习;历经一整年时间,师生作为有机的共同体完成给定物理问题的研究。最后各队以 IYPT 的比赛模式进行考核检验,具体包括学术辩论、互动讨论,教师进行点评,相互交流等。为了保证新教学方法能够有效提升学生的综合能力,需要我们对教学内容、教学方法和考核标准精心设计,方可取得有效的教学成果。

3.1 教学内容——课程的设计

教学模式强调学生对物理知识和实验技能的综合运用,这在以学科分类进行授课的传统课堂中是较难体现的部分。为了补充传统教学方法的不足,针对不同年级学生的特点和需求,我们建设了系列化综合型课程以提升学生物理综合素质。例如,针对本科低年级学生在中学阶段物理实验训练不足、动手能力普遍偏弱、缺乏思考探究的问题,我们开设了《物理实验基本技能训练》课程。教学内容既包括学生基础实验技能的培训,也包括一些物理问题的探索性实验内容。课程将基础

技能训练和探索性实验开展结合起来,使学生由实验操作向实验探索进步。针对学生理论和实验学习脱节,创新能力不足等问题,我们面向不同年级和不同层次的学生,开设了《IYPT——学习物理新思路》、《基本学术能力训练》、《创新创业研究与训练》等综合型课程,从科学研究方法、物理综合分析、实验技术、总结写作等方面实施一体化教学,全面提升学生的理论、实验、总结、交流等综合素质。

3.2 教学方法——团队的支持

在教育模式实施过程中,我们组建了由教师和学生组成的多个团队,在硬件和软件两方面为教学提供全方位支持。在硬件上,由教师组成南开大学 TEAL“未来课堂”教学团队,推动以 TEAL 智慧教室等为代表的智慧教学^[7]。团队借鉴 TEAL 教学模式,建设了一批具有南开特色的理论与实践有机结合的教学平台,解决理论课程中引入实验教学内容的方法,提高教学实效。

在软件上,由教师组成的天津市物理学术竞赛教学团队,致力于物理综合素质教育模式的开发、实践与推广。在本模式教学活动的全过程中,指导学生开展理论、实验、论文、交流等各方面学习内容,并以浸润和渗透的方式向学生传递科学精神、团队意识、奉献精神等思政元素。此外,学生团队也在教学中具有重要的支持作用。团队成员均有物理学术竞赛的学习经历,他们向学生们提供协助和传授经验,一方面朋辈学习促进了学生的学习主动性,另一方面也培养了学生为他人提供帮助的社会服务精神。师生两级团队支持下,保证了学生能够从学习层面、交流层面和组织层面都可以寻求到帮助,使教学活动可以良性顺利地开展。

3.3 考核方式——平台的建设

完善的考核机制,是检验教学实施结果的重要反馈方式,也是实现教学目标的重要保障。为了能够体现教育模式中的各项教学目标,传统的笔试试卷形式已经不适合检验教学培养效果。因此,从 2008 年开始,南开大学就致力于建设新的考核机制,在传统的试卷和报告考核外,还搭建各类交流平台用于检验教学模式的教学效果。在历时一年的教学活动后,在全校范围举办南开物理学术竞赛(NKPT)用于检验学生的学习成果,也向教师反馈教学效果。通过学术交流比赛的形式

检验教学效果,既能检查学生物理知识和实验能力的掌握程度,也能反映学生的总结能力、交流能力、组织能力、协作能力,使得这种教育模式能够不断地提升发展。

这种“评价-反馈”相结合的循环考核形式,持续改进教育模式的教学方法、教学内容和评价体系,符合现代物理教育的需要,很快就被推广到全国范围。2010年,由南开大学发起并组织的第一届中国大学生物理学术竞赛(CUPT)在南开大学成功举办,来自12所高校师生参赛。很快,这种教学方式被众多的高校重视并应用,至2019年参赛高校最高纪录达到73所。图3显示了历年CUPT参赛高校和观摩高校的数量。可以看出,参与CUPT的高校数量逐年增多,至2017年达到最高峰94所。考虑到举办单位的承接压力,2018年CUPT增加了地区赛。经过地区赛选拔后的队伍,方可参加CUPT正赛。因此,自2018年开始,比赛队伍保持在60余所。这一做法既缓解了承办压力,也保证了比赛交流的质量,同时也可以让更多的高校参与其中。此外,本教育模式在中学也蓬勃发展,在2013年开始南开大学组织举办全国中学生物理学术竞赛(CYPT),至今有120余所优质中学参与。一方面为IYPT中国队选拔人才,一方面也增强了大中学教师的交流与合作。经过十年的建设和推广,目前基于物理学术竞赛的交流平台已经被众多高校和中学采用。

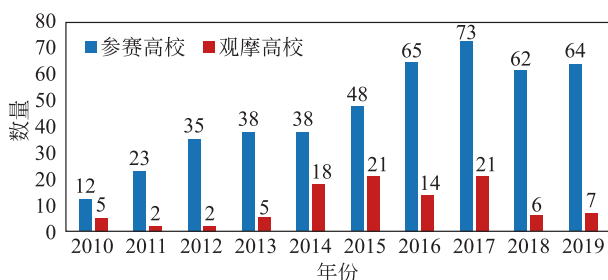


图3 CUPT历年参赛高校和观摩高校情况

课程建设支撑、实践平台支撑、团队支撑和交流平台支撑这四大支撑保证了教学的贯通性、学生培养的连续性和师生综合素质培养的全面性。

4 显著的教学效果

南开大学从2008年启动构建物理综合素质教育模式以来,历经十年不懈的探索积累,已经在

全国高校和中学物理教学中得到了广泛实践。据不完全统计,全国有164所高校和16个省(区、市)的120余所优质中学开展了物理综合素质教育模式,极大地推动了我国的物理素质教育。同时,南开大学还作为国际中学生和大学生物理学术竞赛国际组委会委员负责中国队的选拔、培训和参赛工作,在国际上发出了响亮的中国声音。

教育模式搭建了大中学联系交流的桥梁,极大地激发了大学和中学的合作热情,有力地促进了各校的紧密联系。例如:自2008年来,南开大学作为IYPT中国国家队的领队负责单位,指导国家队中学生开展物理研究,代表中国参加比赛;南京大学和南京外国语学校联合组织江苏省的高中生物理实践成果展示,青岛二中和中国海洋大学的联合培育计划,人大附中与中国人民大学联合承办国际青年物理学家锦标赛等,达到了互利共赢的目的,效果良好。

本教育模式的实施对学生未来发展起到了积极的作用。我们追踪近年来参加IYPT的中学生毕业去向,结果如图4所示。这些学生在本教育模式的实施推动下,本科阶段被麻省理工学院、哈佛大学、普林斯顿大学等国际知名高校录取的占53%,被国内一流大学(含香港地区)录取的占40%,其余仍在高中就读。同样,参加CUPT的大学生在其后的学习科研中表现出的综合能力也都比同期学生有显著的优势。以南开大学参加CUPT的学生为例,反馈结果显示,96%的学生选择了继续深造,超过一半的学生进入世界一流的高校或研究所继续攻读博士学位。

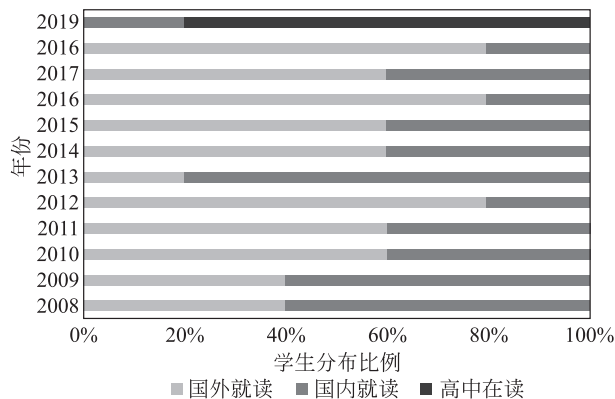


图4 IYPT历年中学生毕业去向

本教育模式极大地促进了国内物理教学改革。百余所高校针对该模式的不同环节开设了课

程;一些高中在传统课堂教学基础上建立了跨学科、跨年级的探究型教学体系,在一定程度上改变了中学应试教育对学生综合能力培养不足的问题。以南开大学为例,在这种教学模式推动下,教学改革立项 71 项,其中,国家级 5 项,省部级 17 项,省部级以上的教育教学奖励 30 项,国家级教学成果奖励 1 项。上述这些改革成果表明,本教育模式是目前我国物理教育的必要和有效补充。

5 结语

基于 OBE 模式进行物理综合素质教育改革,针对培养目标设计物理课程、考核方式以及硬件辅助,提升了学生的物理综合创新能力,加强了学生的思想道德培育。并且,这样的教学方式能够实时地、直观地反馈教学效果,使本教育模式能够持续良性的发展。通过十年的教学实践与研究,本教育模式实现了师生共同进步,促进了学生学习主动性,教师教学积极性,解决了传统教学中无法实现全方位教学目标的问题。这种教育模式获得广大高校和中学的一致认可和广泛使用,取得了显著的教学效果。

参 考 文 献

- [1] SPADY W. Choosing Outcomes of Significance[J]. Educational Leadership, 1994, 6(51): 18-22.
- [2] 徐联恩,林明吟. 成果导向教育(OBE)的教育改革及其在美国实践的经验[J]. 教育政策论坛, 2005, 8(2): 55-74.
- HSU L, LIN M Y. Lessons of the Implementation of Outcome-Based Education Reform in the US[J]. Education Policy Forum, 2005, 8(2): 55-74. (in Chinese)
- [3] 李川勇,王慧田,宋峰,等. 中国大学生物理学术竞赛及其对培养学生综合能力的作用[J]. 大学物理, 2012, 31(5): 1-4. LI C Y, WANG H T, SONG F, et al. China undergraduate physics tournament and its enhancement of students' comprehensive ability[J]. College Physics, 2012, 31(5): 1-4. (in Chinese)
- [4] 余华,李川勇,吴强,等. 物理学术竞赛对学生从中学到大学过渡的桥梁作用[J]. 物理与工程, 2017, 27(6): 104-107. YU H, LI C Y, WU Q, et al. The bridging role of physics tournament in the transition from high school to college[J]. Physics and Engineering, 2017, 27(6): 104-107. (in Chinese)
- [5] 陈宗强,陈靖,刘松芬,等. 衔接大中学物理综合素质教育模式的探究与实践[J]. 物理与工程, 2019, 29(3): 97-100. CHEN Z Q, CHEN J, LIU S F, et al. Exploration and practice of linking up the comprehensive quality education mode of physics in middle school and college[J]. Physics and Engineering, 2019, 29(3): 97-100. (in Chinese)
- [6] 邢惠焱,陈宗强,陈靖,等. 啪呀转转机运动特性的研究[J]. 物理与工程, 2019, 29(4): 75-87. XING H Y, CHEN Z Q, CHEN J, et al. Study of the movement of gee-haw whammy diddle[J]. Physics and Engineering, 2019, 29(3): 97-100. (in Chinese)
- [7] 李川勇,孙益顶,孙骞,等. 南开公能 TEAL 教室的设计和实现[J]. 大学物理, 2017, 36(10): 52-56. LI C Y, SUN Y D, SUN Q, et al. Design and implementation of TEAL-based Nankai interactive classroom[J]. College Physics, 2017, 36(10): 52-56. (in Chinese)