

基于大科学工程的初中物理跨学科实践活动设计 ——以子午工程探测电离层电子浓度为例

陈雨晴 官文聪 郭庆 乔翠兰

(华中师范大学物理科学与技术学院,湖北 武汉 430079)

摘要 当前经济社会发展需要跨学科人才,《义务教育物理课程标准(2022年版)》提出“跨学科实践”主题,明确指出培养跨学科人才。大科学工程综合了多学科领域的知识观念、思维方法,具有丰富的跨学科实践教育价值。以子午工程探测电离层电子浓度为例,应用其原理、科学数据等设计跨学科实践活动并进行实践。通过分析科学家的任务流程、科学家与学生的差异,设计跨学科实践活动流程;结合学生知识水平简化其中的跨学科知识;设计系列问题与活动构建脚手架辅助学生逐步学习,完成实践任务。

关键词 跨学科实践;大科学工程;子午工程

DESIGN OF INTERDISCIPLINARY PRACTICE ACTIVITIES IN JUNIOR HIGH SCHOOL PHYSICS BASED ON BIG SCIENCE ENGINEERING —TAKING THE CHINESE MERIDIAN PROJECT TO DETECT THE IONOSPHERIC ELECTRON CONCENTRATION AS AN EXAMPLE

CHEN Yuqing GUAN Wencong GUO Qing QIAO Cuilan

(College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079)

Abstract The current economic and social development requires interdisciplinary talents. The “Physics Curriculum Standards for Compulsory Education (2022 Edition)” proposes the theme of “interdisciplinary practice” and clearly points out the cultivation of interdisciplinary talents. The big science project integrates knowledge concepts and thinking methods in multidisciplinary fields, and has rich interdisciplinary practical educational value. Taking the detection of ionospheric electron concentration in the Chinese Meridian Project as an example, the interdisciplinary practice activities are designed and implemented by applying its principles, scientific data, etc. By analyzing the task process of scientists and the differences between scientists and students, design the process of interdisciplinary practice activities; simplify the interdisciplinary

收稿日期: 2022-09-08

基金项目: 北京师范大学中国基础教育质量监测协同创新中心自主课题资助《中小学生科学实践能力测评研究》(课题批准号: 2021-04-008-BZPK01)。

通讯作者: 乔翠兰,女,副教授,主要从事物理教育研究, qcl@ccnu.edu.cn。

引文格式: 陈雨晴,官文聪,郭庆,等. 基于大科学工程的初中物理跨学科实践活动设计——以子午工程探测电离层电子浓度为例[J]. 物理与工程, 2023, 33(2): 24-30.

Cite this article: CHEN Y Q, GUAN W C, GUO Q, et al. Design of interdisciplinary practice activities in junior high school physics based on big science engineering—Taking the Chinese meridian project to detect the ionospheric electron concentration as an example[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(2): 24-30. (in Chinese)

nary knowledge in combination with students' knowledge level; design a series of questions and activities to build scaffolding to help students learn step by step and complete practical tasks.

Key words interdisciplinary practice; big science engineering; the Chinese Meridian Project

传统分科教学模式旨在传授单一学科的知识 and 经验,学生难以将知识转化为专家思维以解决实际问题,并在更广阔的现实世界中实现迁移应用。在结合试点区域的综合课程实践结果,并充分考虑全国义务教育的均衡性和一线教师实施的可能性后,《义务教育物理课程标准(2022 年版)》(以下简称“物理新课标”)中增加了“跨学科实践”板块,兼顾分科与综合课程^[1-2]。

大科学工程是指以前沿尖端科学技术突破为目标的、跨学科交叉、跨区域协作的大型复杂分布式协同创新研究项目,兼具我国科技创新的重要使命^[3]。它综合了多学科领域的知识观念、思维方法以开展科学实践与创新,具有丰富的跨学科实践教育价值。我国具有众多的大科学工程和装置,它们是开发跨学科实践教育资源的宝库。本研究将以子午工程为例,设计并实践相关的案例,探索大科学工程跨学科实践的有效路径。

1 问题的提出

1.1 经济社会发展要求教育培养跨学科人才

从经济社会发展的客观环境层面来看,我国产业发展受新一代信息技术的影响面临巨大的转型挑战,很多传统行业正被时代所淘汰。传统的单一操作型人才已经不能满足产业发展的需求,具备跨学科实践和创新能力是产业转型对人才提出的新需求。从经济社会发展的主观任务层面来看,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中指出“十四五”期间要坚持创新驱动发展,全面塑造发展新优势^[4]。然而,当前科技创新与发展的趋势表明:仅靠单一学科难以产出优质的创新成果,科技创新越来越强调跨学科融合,2020 年国务院学位委员会、教育部将“交叉学科”门类为一级学科就是最好的证明。因此,培养跨学科的复合型、创新型人才是当前经济社会发展对教育提出的迫切要求。

2022 年,教育部出台了各学科的《义务教育

课程方案和课程标准(2022 年版)》,其中几乎所有学科都增加了对“跨学科”的相关要求,物理新课标更是明确提出“跨学科实践”的主题^[2],强调培养学生跨学科应用知识的能力、和分析解决问题的能力、动手操作的实践能力等。跨学科实践的教学基于学生的基础、体验和兴趣,围绕某一主题进行实践活动,在活动中综合多学科的知识、经验和方法去解决问题^[5-6]。学生在这个过程中将自主建构跨学科的认知体系^[7-9],更好地认识自然,理解科学本质,发展问题解决能力、创造性思维、批判性思维、协作交流能力等 21 世纪核心素养^[8],成为促进我国经济社会发展的后备创新型人才。

1.2 大科学工程是跨学科实践的可靠资源

从我国科技传播和教育政策层面来看,基于大科学工程开发教育资源开发是符合国家战略的。2015 年修订的《中华人民共和国促进科技成果转化法》中强调要鼓励研究开发机构、高等院校等事业单位与生产企业相结合,联合实施科技成果转化^[10]。2016 年国务院印发的《促进科技成果转化行动方案》中指出推动科技成果与产业、企业需求有效对接,加快科技成果转化^[11]。2021 年国务院印发《全民科学素质行动规划纲要(2021—2035 年)》强调高校、科研机构开发开放优质科学教育活动和资源,支持和指导高校、科研机构、企业、科学共同体等利用科技资源开展科普工作,开发科普资源,及时普及重大科技成果^[12]。物理新课标中的“物理学与工程实践”指出将工程技术的素材应用于教学,让学生体会物理对工程技术发展的促进作用^[2]。从上述政策内容中不难看出,科技资源本身具备丰富的教育价值,物理教育也明确表达出对这类资源的迫切需要。大科学工程是科技创新的重要资源,推动并落实其教育转化是当前国家科技政策以及人才培养的共同需求。

从大科学工程的本质来看,它是科学、技术和工程交织一体的结果,具有多学科、多领域交叉融合的特征^[13],科学家通过大科学工程进行科学研

究就是一项跨学科的创造性实践活动。利用大科学工程开展跨学科实践教育可以将科学家开展跨学科研究的科研资源转化为促进学生跨学科实践能力发展的教育资源^[14],有利于学生在实践活动中学习大科学工程涉及的跨学科知识、积累实践经验,提高问题解决能力;同时促使学生了解科学发展,提高科学兴趣,建立科技自信^[15]。科学家和教育工作者尝试开发基于大科学工程开发跨学科实践教育资源,例如费米实验室利用其粒子加速器实验数据设计了如“计算顶夸克质量”等一系列跨学科实践活动,并参与建设了科学资源共享网络中心“夸客网”(QuarkNet),以促进大科学工程进入 K12 课堂^[16];美国国家航空航天局(NASA)利用国际空间站设计的系列教育资源“来自太空的 STEM 课程”,与亚利桑那州立大学教育专家合作开发的“火星教育项目”等都将工程实践融入课堂^[14];北京航天飞行控制中心的科技人员撰写了“嫦娥工程”的科普图书,从“嫦娥一号”到“嫦娥四号”全面介绍了我国探月工程^[17]。但是,当前我国大科学工程的教育研发与应用还停留在大众科普层面,层次较浅。深入挖掘大科学工程的跨学科实践教育价值,开发符合学生身心发展水平的跨学科实践教育资源有可能也有必要。

综上所述,将大科学工程融入物理课堂开展跨学科实践活动既是对科技传播政策和新课标理念的落实,也是大科学工程本身的跨学科实践本质在教育领域的深度应用,符合经济社会发展对跨学科人才培养的战略需求。此外,国内重视大科学工程的教育价值,但是基于大科学工程开展跨学科实践教育的案例较少。因此,将大科学工程融入物理课堂,促进中学生跨学科实践能力的发展是具有时代意义的。下以大科学工程东半球空间环境地基综合监测子午链(简称“子午工程”)为例,设计初中物理跨学科实践案例并进行实践,期望为后续大科学工程跨学科实践教育应用提供参考和启发。

2 案例设计

2.1 案例背景

子午工程是我国“十一五”国家重大科技基础设施项目,是一项探测空间环境中灾害性空间天

气变化规律的大科学工程。当异常太阳活动或磁暴、太阳风等异常现象出现时,电离层电子浓度往往会剧烈变化,严重时可能造成通讯中断、导航失灵等,对日常生活、军事活动等造成巨大的影响。探测电离层电子浓度,监测其变化是子午工程的一项重要工作。

2.2 教学目标

(1) 知道探测电离层电子浓度任务中的跨学科知识,包括激光、光的反射、无线电波、无线电波频率和电子浓度的关系等物理知识,测距原理等工程知识,数据图象、计算等数学知识,数字测高仪的原理等技术知识,培养学生跨学科理念;

(2) 通过自制实物模型类比理解数字测高仪的原理,培养模型构建的科学思维;

(3) 通过完成探测电离层电子浓度的任务,经历完整的跨学科实践流程,了解物理学与技术、工程、数学之间的联系;

(4) 了解子午工程的科研项目进展,激发对我国科技工程的关注,培养科技自信,增强对科研的兴趣。

2.3 活动方案

活动以子午工程中探测电离层电子浓度为主题进行跨学科实践。科学家已经掌握了仪器及探测原理,他们在完成这个任务时,一般直接使用探测仪器发射系列无线电脉冲,之后得到电离层频高图再进行数据分析,获取电离层的电子浓度信息。对于学生来说,并未掌握仪器及探测原理,因而学习仪器及探测原理是一个必要的环节。本活动分为两个阶段,第一阶段为选择探测仪器,在此阶段学习探测的原理和与之相关的跨学科知识;第二阶段为分析数据图像,在此阶段分析电离层频高图,获得电子浓度信息。

活动以基于问题的形式开展,如表 1 所示,每一个活动阶段都设计了两个问题引导学生进行跨学科实践学习。

3 活动开展

本设计在某中学初二课堂进行了实践,主要以情境引入、选择探测仪器和分析数据图像三个环节展开。鉴于探测电离层电子浓度这个任务技术含量较高、学生可能存在学习困难,教师在实践中搭建了多个脚手架,以减轻学生的认知负荷。

表 1 探测电离层电子浓度活动设计表

阶段	问题	活动设计	学科知识
探测电离层 电子浓度	如何到达电离层以获得 相关参数信息?	分别用米尺和激光测距仪 测量课桌和教室高度	物理:长度的测量、光沿直线传 播、光的反射、频率 技术:米尺、激光测距仪的使用 数学:数据计算
	选择探测 仪器	使用纸巾、泡沫板、塑料盒 自制模拟电离层模型;再 分别用前段削尖的纸棒、 木棒和铁棒戳自制模型, 记录穿透深度和层数	物理:电磁波的性质、无线电波频 率与电子浓度的关系 技术和艺术:制作模型 工程:短波通信
	分析数据 图像	如何理解电离层频高图 的数据?	物理:无线电波频率与电子浓度 的关系 数学和工程:读图获取相关信息
	如何从图象中分析计算 出电离层电子浓度?	根据给出的电离层电子浓 度和参数的关系式算出电 离层电子浓度	物理:无线电波频率与电子浓度 的关系 数学和工程:数据挖掘与分析

3.1 情境引入

(1) 创设导航迷途情境,提出导航偏离原因问题。课堂开始后,教师首先播放了轿车按照导航行驶结果从台阶上冲下来的视频,创设导航迷途的情境,吸引学生兴趣,引发学生思考,并提出了如下问题:在日常生活中我们经常使用导航,但有时也会遇见视频中这样被导航带偏离的情况,是什么原因造成导航不准确呢?

(2) 建立电离层电子浓度与导航联系,引出探测电离层电子浓度的任务。教师播放了导航信号与电离层关系的微课视频,学生初步了解到电离层的电子浓度会影响导航信号的传播,为接下来探究电离层电子浓度提供了学习支架。进而提出了本节课的任务:假设你是子午工程的工作人员,你会如何完成探测电离层电子浓度的任务?

3.2 选择探测仪器(阶段 1)

(1) 进行教室测距活动,第一次搭建脚手架。课堂引入之后,学生在教师的引导下开始就活动任务进行思考与讨论,同时教师加以引导,减轻学生认知负荷。经讨论,学生指出要解决的首要问题是选择何种仪器才能够达到电离层高度以获取相关信息。因此,教师设置了测距活动,组织学生小组合作用米尺、激光测距仪分别测量课桌和教室的高度。学生通过此活动得出了不同高度的测

距应该使用不同的仪器的结论,为后续活动提供了感性的认知基础。接着,教师进一步组织学生选择探测电离层电子浓度的仪器。学生提出可以用激光测量,教师对此给予肯定,但指出科学家使用比激光频率范围更广的无线电波测量电离层电子浓度,由此制造了认知冲突,引发学生进一步的思考。

(2) 进行模拟探测电离层电子浓度活动,第二次搭建脚手架。由于上一环节的认知冲突,学生提出了疑问:为什么要使用频率范围更广的无线电波?针对此问题,教师组织学生开展了模拟探测电离层电子浓度的活动,为学生搭建解答疑问的脚手架。学生小组合作将多层纸巾、一定厚度的泡沫板依次放入塑料盒中,制成简易模拟电离层模型,如图 1 所示。再分别用前段削尖的纸棒、木棒和铁棒竖直向下戳该模型,如图 2 所示,记录每次的穿透层和穿透深度,如表 2 所示。通过实验,学生获得了直观感受,发现不同材料的棍棒能戳破电离层深度和层数不同。



图 1 模拟电离层剖面

(3) 引导学生利用直观感受类比理解使用无线电波的真实原因,第三次搭建脚手架。学生认识到:①电离层中有许多电子,这些电子会影响激



图2 学生模拟探测电离层电子浓度

表2 模拟探测电离层数据记录表

材质	纸棒	木棒	铁棒
穿透层	泡沫层	纸层	塑料层
穿透深度/cm	1.40	2.52	4.33

光或无线电波的传播,就像这个模型会阻碍棍棒穿透它;②激光和无线电波都属于电磁波,不同频率的电磁波能穿透的电子浓度不同,频率越高穿透能力越强,就像不同材料的棍棒能穿透的模型层数不同。然而,与无线电波相比,激光的频率范围较窄,可以穿透的电离层电子浓度范围也较窄,因此利用频率范围更宽的无线电波可以在更大范围内测量电离层的电子浓度。

至此,学生对选择什么样的仪器已经有了较为清晰的想法,教师再引导学生明确测量仪器为数字测高仪。有了前面学习的铺垫,学生能够理解简化后的数字测高仪原理。数字测高仪原理简图如图3所示,频率和电子浓度之间有对应的关系,当无线电波不能穿透某一浓度的电子层时它就会完全反射回来,被地面的接收器接收到,通过分析我们就能知道此处电子浓度和高度。

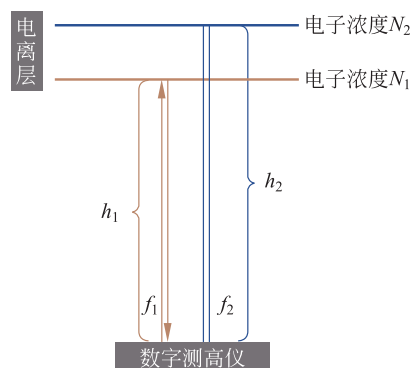


图3 数字测高仪原理简图

3.3 分析数据图像(阶段2)

此阶段学生活动与科学家活动相似:选择仪

器并利用仪器探测后,对收集到的数据进行分析,得到电离层电子浓度。教师介绍了如图4所示的频高图^[18],它是数字测高仪得到的图像,电离层的电子浓度信息就蕴含在其中。此图对于学生来说较为复杂,学生获取有效信息难度较大。教师设置脚手架帮助学生获取信息。

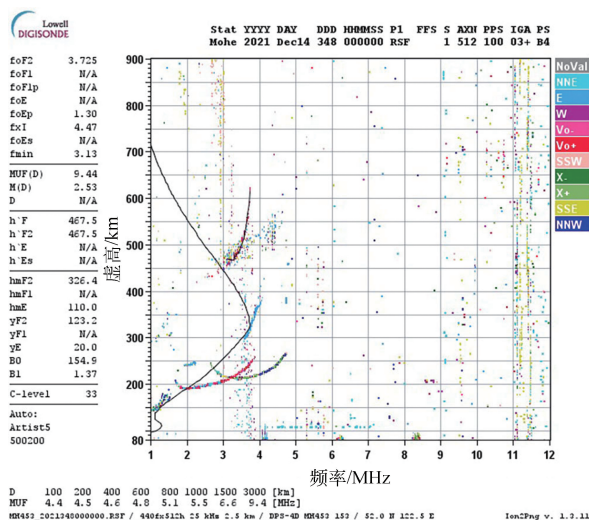


图4 电离层频高图

(1) 提问和补充知识,减轻学生认知负荷。教师引导学生认识数据,列出了频高图中较为重要的一些参数释义如表3所示,并向学生提问:是否有直接表示电离层电子浓度的参数。学生发现没有这样的参数,教师进一步提问:是否有与电离层电子浓度存在对应关系的参数,学生回想起频率与电离层电子浓度有关,寻找到了表中的频率参数。但是表中频率参数太多,学生不知道需要哪个参数,此时教师进行了补充介绍:电离层按照高度分为多个层级,所以会有多个频率参数,不同频率参数计算得出的电子浓度不同,假设我们只想知道 F2 层的最大电子浓度,只需要使用 f_oF2 这个参数即可。

(2) 指导学生计算电子浓度,引领学生达成目标。教师给出频率与电子浓度的近似定量关系: $f = \sqrt{80.6 N_m}$,其中, f 为临界频率, N_m 为最大电子浓度,指导学生用此频高图中的数据计算 F2 层的最大电子浓度 N_m 为多少,完成探测电离层电子浓度任务。

课堂最后,带领学生进行总结,梳理任务流程与知识脉络,体会物理与大科学工程的联系;布置课后作业,让学生撰写一份探测电离层电子浓度

表3 频高图部分参数释义表

参数	参数释义
f_oF2	F2 层寻常波临界频率
f_oE	E 层临界频率
f_oEs	Es 层临界频率
f_bEs	Es 层遮蔽频率,即 Es 开始变为透明的寻常波最低频率
f_{min}	是在电离图上记录到的反射回波的最低频率
$h'F2$	F2 层最小虚高
$h'F1$	F1 层最小虚高
$h'E$	E 层最小虚高

任务的流程图并写下所学到的知识与感悟,与同学进行交流讨论,深化对知识的理解。

3.4 实践反思

(1) 搭建脚手架,减轻认知负荷是大科学工程走入初中物理跨学科实践活动的有效手段。本设计蕴含的科技工程内容看似较为复杂,但是在实践中教师搭建了许多脚手架,并在每个环节及时给予提示、补充相关知识,减轻了学生的认知负荷,逐步促进学生深入学习。

(2) 基于大科学工程的初中物理跨学科实践活动能让学生跟进前沿科学研究,提升探究能力和数据素养,利于科技后备人才培养。在实践中中学生进行了与探测电离层电子浓度有关的活动,有机会接触科学前沿,加强了他们对科学的兴趣;经历了科学家的探究过程,了解到物理与工程、技术、数学等学科的联系,增进了对学科交叉的认识,提升了科学探究的能力;利用科学数据和参数之间的关系计算得出想要的电离层电子浓度,从科学数据中挖掘信息,提高了他们的数据素养。

(3) 教师应不断提升跨学科实践设计能力,架起大科学与工程与青少年教育之间的桥梁。大科学工程具有重要的教育价值,但青少年没有自主学习大科学工程的能力,因此教师需要结合青少年认知水平、课程标准要求和大科学工程的特点等进行设计,提高自身的教学设计能力,为青少年学习大科学工程架起桥梁。

4 结语

本研究基于子午工程中探测电离层电子浓度的科学任务,设计并实践了初中物理跨学科实践

案例。具体来说,本研究以问题为驱动设计了相应的活动,首先设计了米尺和激光测距的活动,使得学生对选用无线电波探测电离层的原因有了初步的认识;其次开展了模拟探测电离层的活动,使得学生对无线电波探测电离层的原理有了清晰的认识;最后开展了认识参数和计算电离层电子浓度的活动,使得学生对科学数据有了更深刻的认识。本研究厘清了跨学科实践的育人价值,以及大科学与工程与跨学科实践之间的耦合关系,为基于大科学与工程开发跨学科实践资源的可能性和必要性提供了理论支撑;另外,基于子午工程设计了包含物理、工程、技术、数学等学科的跨学科实践教学案例,展现了大科学工程蕴含的跨学科实践教育价值,为后续资源的开发提供了参考。

本研究认为,基于大科学与工程开发跨学科实践教育资源时,应当注意以下几点:第一,选择大科学工程中具体的科学任务或装置进行跨学科实践活动设计。整个大科学工程蕴含的跨学科知识种类繁多、层次不一,从整体进行设计难度较大,具体的科学任务和装置包含的跨学科知识更加集中,更容易与课程标准呼应,也更容易把握;第二,以问题为主导,设置脚手架。义务教育阶段学生的物理知识基础薄弱,在设计跨学科实践活动时可以设置层层递进的问题链作为脚手架帮助学生再课堂上实现学习进阶;第三,恰当使用科学数据。大科学工程中的科学数据是很好的教育资源,在使用时应注意科学数据的处理符合学生的认知水平,才能更好地发挥其教育价值。

值得强调的是,除本案例外,还有很多大科学工程包含众多跨学科知识和技能,具有开发跨学科实践教育资源的潜力,例如:三峡大坝工程包含了压强、功与能的转换等物理知识,模型建造等工程与地理知识,能源利用等技术知识;嫦娥工程包含力与运动等物理知识,航天器的研发等工程与艺术知识,材料性质、燃料选择等化学知识。大科学工程是被忽视的教育宝库,它们蕴含着巨大的跨学科实践教育价值。科研人员和教育研究者应当意识到大科学工程的教育价值,通力协作,广泛且深入地开发跨学科实践教育资源,促进课程改革的实践落地。

(本研究的科学数据来自国家重大科技基础设施子午工程)

参 考 文 献

- [1] 蒋炜波,赵坚.新修订“义务教育物理课程标准”的特点探讨与实施建议[J].中学物理,2022,40(10):2-6.
JIANG W B, ZHAO J. Discussion on the characteristics of the newly revised “Physics Curriculum Standard for Compulsory Education” and suggestions for its implementation [J]. ZHONGXUE WULI, 2022,40(10):2-6. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准[M].2022年版.北京:人民教育出版社,2022.
- [3] 孙雯,刘人境.我国大科学工程协同创新参研人员的网络嵌入性前因机制研究[J].管理学报,2021,18(12):1763-1771.
LIU W, LIU R J. Research on the antecedent mechanism of network embeddedness of research participants in collaborative innovation of China's major science projects[J]. Chinese Journal of Management, 2021,18(12):1763-1771. (in Chinese)
- [4] 新华社.中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议.[EB/OL].(2022-06-03)[2022-06-03].http://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content_5556991.htm.
- [5] 中华人民共和国教育部.义务教育地理课程标准(2022年版)[M].北京:人民教育出版社,2022.
- [6] 胡南,王飞.基于理工科专业的大学物理“跨学科”教学研究[J].物理与工程,2014,24(2):65-68.
HU N, WANG F. Research on “interdisciplinary” teaching of college physics based on science and engineering [J]. Physics and Engineering, 2014, 24(2): 65-68. (in Chinese)
- [7] 占小红,徐冉冉,符吉霞,等.工程实践活动影响中学生跨学科实践创新能力的实证研究[J].教师教育研究,2019,31(2):65-74.
ZHAN X H, XU R R, FU J X, et al. Empirical study on the impact of engineering practice on middle school students' interdisciplinary practical innovation ability[J]. Teacher Education Research, 2019, 31(2): 65-74. (in Chinese)
- [8] 杨文正,许秋璇.融入“大概念”的STEAM跨学科教研:模式构建与实践案例[J].远程教育杂志,2021,39(2):103-112.
YANG W Z, XU Q X. STEAM interdisciplinary teaching and research integrated with the “big concept”: model construction and practice cases[J]. Journal of Distance Education, 2021, 39(2): 103-112. (in Chinese)
- [9] 李瑞雪,王健.美国科学课程中的跨学科概念:演进、实践及启示[J].外国教育研究,2021,48(4):102-117.
LI R X, WANG J. The interdisciplinary concept in American science curriculum: evolution, practice and enlightenment[J]. Studies in Foreign Education, 2021, 48(4): 102-117. (in Chinese)
- [10] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国促进科技成果转化法(2015年修订)[EB/OL].(2022-06-03)[2022-06-03].http://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/fgzc/flfg/201512/t20151204_122621.html.
- [11] 国务院办公厅.促进科技成果转化行动方案[EB/OL].(2022-06-03)[2022-06-03].http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-05/09/content_5071536.htm.
- [12] 国务院.全民科学素质行动规划纲要(2021—2035年)[EB/OL].(2022-06-03)[2022-06-03].http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5623051.htm.
- [13] 匡光力,汪文强.聚焦我国大科学工程发展问题的管理建议[J].科学与社会,2021,11(1):1-11.
KUANG G L, WANG W Q. Management suggestions focusing on the development of China's major science projects [J]. Science and Society, 2021,11(1): 1-11. (in Chinese)
- [14] 郭庆,乔翠兰,朱宗宏,等.国外大科学装置机构STEM教育资源开发的启示[J].自然科学博物馆研究,2021,6(3):40-49+94.
GUO Q, QIAO C L, ZHU Z H, et al. Inspiration from the development of STEM education resources in foreign large science installation institutions[J]. Journal of Natural Science Museum Research, 2021, 6(3): 40-49+94. (in Chinese)
- [15] 刘作业,丁晶洁,王集锦,等.中国科技前沿元素在大学普通物理教学中的渗透[J].物理与工程,2021,31(3):73-77+84.
LIU Z Y, DING J J, WANG J J, et al. Infiltration of China's cutting-edge science and technology elements in college general physics teaching[J]. Physics and Engineering, 2021,31(3): 73-77+84. (in Chinese)
- [16] 郭庆,乔翠兰,伍远岳.科学素养的跨学科发展及其实现——美国费米实验室基于科学数据的课程开发之启示[J].全球教育展望,2020,49(9):79-91.
GUO Q, QIAO C L, WU Y Y. Interdisciplinary development of scientific literacy and its realization—Enlightenment of fermilab's curriculum development based on scientific data[J]. Global Education, 2020, 49(9): 79-91. (in Chinese)
- [17] 刘英.全景展现“嫦娥”工程的精彩瞬间[J].中国图书评论,2021(8):126.
LIU Y. A panoramic view of the wonderful moment of the “Chang'e” project[J]. China Book Review, 2021(8): 126. (in Chinese)
- [18] 子午工程数据中心.在线数据[EB/OL].(2022-06-10)[2022-06-10].<https://data2.meridianproject.ac.cn/data>.