

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2023.01.004

欢迎按以下格式引用:张志镇,高峰,赵玉成,等.新工科背景下力学创新实验教学体系探索——以中国矿业大学为例[J].高等建筑教育,2023,32(1):24-30.

新工科背景下力学创新实验 教学体系探索 ——以中国矿业大学为例

张志镇^a,高峰^b,赵玉成^a,赵慧明^a,钟卫平^a

(中国矿业大学 a. 力学与土木工程学院;b. 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室,江苏 徐州 221116)

摘要:力学是工科的重要科学基础,力学创新实验是深化认识力学理论、有效联结工程技术的重要载体,新工科建设迫切要求力学创新实验教学体系的革新。从力学创新实验教学的现状和不足出发,立足国家战略技术与产业需求,突出行业特色,注重跨学科交叉融合,将基础力学知识与专业核心课程相结合,构建了“工程技术前沿—创新实验项目—创新成果产出”逐级提升的研究型实验教学体系,设计了力学创新实验教学的总体实施方案,显著提升了工科学生“创意—创新—创业”一体化的意识与能力。

关键词:新工科;工程力学;创新实验;行业特色;研究型教学

中图分类号:G642.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2023)01-0024-07

国家重大战略需求是高等工程教育改革创新起点和目的^[1]。未来几十年,新一轮科技革命与产业变革必将重塑全球创新版图、经济结构乃至政治格局^[2],为了支撑、服务“创新驱动发展”、“一带一路”“中国制造2025”“互联网+”等国家重大计划,2017年2月以来,教育部积极推进新工科建设,先后形成了“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”,全力探索形成领跑全球工程教育的中国模式、中国经验,助力高等教育强国建设^[3]。新工科建设已成为当前中国工程教育改革的重要内容^[4-5]。

实践是检验真理的唯一标准。新工科建设更加强调理论和实践相结合,对于实践的重视达到了前所未有的高度^[6]。作为高等教育中实践教学的重要环节,实验教学中创新能力的培养尤为受到重视,力学是机械、土建、材料、能源、交通、航空航天、船舶、水利、化工等现代工程科学的基础,力

修回日期:2021-04-11

基金项目:中国矿业大学“动力中国·课程思政”示范项目“材料力学课程实验示范课程”(2020KCSZ14);“工程力学课程示范团队”(2021KCSZ07);“工程力学示范专业”(2022KCSZ02);中国矿业大学教学研究项目“突出能源资源特色的工程力学创新实验教学体系建设与实践”(2019YB06)

作者简介:张志镇(1987—),男,中国矿业大学力学与土木工程学院副教授,博士,主要从事工程力学研究,(E-mail)zzcunt@163.com。

学创新实验是基础力学教学中不可或缺的一个重要环节,是学生素质教育与能力培养的重要支撑,因此,立足工程技术与产业前沿,探索构建力学创新实验教学新模式与新体系,对于提高学生的工程实践能力与创新精神、推动新工科建设具有十分重要的意义。

一、力学创新实验教学存在的主要问题

目前,各工科院校十分重视基础力学实验课程建设,都加大了基础力学实验课程学时,部分院校甚至单独设课。在力学创新实验教学方面,国内外许多高校已经开展了大量研究与实践。据调研,美国布朗大学在本科教学中立足科学研究前沿,将纳米粒子穿越细胞膜试验等引入固体力学教学;亚利桑那州立大学结合重大隧道工程,在工程力学课程中开展隧道围岩稳定性控制创新实验教学;澳大利亚蒙纳士大学基于业界领先的真三轴霍普金森杆,将三维冲击动力学实验与精细测量引入岩石力学课程,加深了学生对课程知识的认识,拓展了对科学和工程前沿的视野,取得了良好效果。在国内,浙江大学国家级力学实验教学示范中心探索并实践了工程流体力学与水力学的实验教学改革与创新,积累了一定的经验和成果^[7];河海大学国家级力学实验教学示范中心组建了理论力学实验室、材料力学实验室、水力学实验室、结构力学实验室、力学创新思维实验室和工程力学与结构检测实验室,开出8门实验课程,开设的实验项目数在135个以上^[8];北京航空航天大学力学实验教学中心构建了实验教学与理论教学、科学研究、大学生科技竞赛活动、校园文化建设相结合的立体化人才培养模式^[9];西北工业大学国家级力学实验教学示范中心建设了大学生开放创新实验网络平台,在项目的申报、运行、结题等过程管理中发挥了积极作用^[10];黑龙江科技大学创新实验内容,改进教学方法,以实验兴趣小组的形式积极开展力学创新实验教学的第二课堂活动^[11];此外,中山大学^[12]、西南石油大学^[13]、江苏师范大学^[14]等高校也不同程度的开展了本科生力学创新实验项目建设等系列教学改革,取得了不错的成绩。

但在新工科建设背景下,这些力学创新实验教学研究与实践尚有不足之处,主要表现在:

(1)立足工程技术与产业前沿不够。现有力学创新实验项目大多数还是在传统基础实验上发展而来,通常结合学校的优势学科,从相关科研项目中选择部分创新实验课题,立足前沿的力度不够,较少从机器人、新材料、生物技术、先进能源技术等新兴高新技术与页岩气开发、地下城市等重大工程中系统性地提炼、构建一系列结构化、有特色的创新实验项目。

(2)跨学科交叉融合不够。新工科建设注重探索多学科交叉融合的工程人才培养模式,探索面向复杂工程问题的课程模式,推进跨学科合作学习。从力学的工科基础定位出发,更应该积极与机械、土木、材料、能源等学科深度交叉,相互促进。现有大部分创新实验项目依然从理论力学、材料力学、结构力学等课程教材出发,与其他学科以力学为基础的关键科学技术问题缺乏有机结合。

(3)“创意—创新—创业”一体化不够。新工科建设注重强化工程人才的创新创业能力培养,完善工科人才“创意—创新—创业”教育体系,提升工科学生的创新精神、创业意识和创新创业能力,以创新引领创业、创业带动就业。实际力学实验多数是验证性实验和综合性实验,“创意”和“创新”实验匮乏,“创业”层次就更少,无论是教师还是学生此方面的意识和能力都亟待加强。

就中国矿业大学而言,为期6周的力学创新实验设计、2周的创新创业实践、16周的毕业论文,以及实验室开放基金、各级大学生科研训练计划、本科生导师制等,周期很长,多数是按部就班的实验项目,无论是课程考核,还是各种大创项目结题,都没有产生大量的以学生为主的创新成果,本科

生深度参与的高级别学术竞赛奖励、高水平学术论文、高水平专利很少,因此,需要完善力学创新实验教学从实验设计到创新成果,甚至创业实践的一体化培养机制。

二、力学创新实验教学体系的建设要点

中国矿业大学是行业特色高校,在2019年建校110年创新发展大会上确立了能源资源特色世界一流大学的奋斗目标,各学科专业拔尖人才培养要密切契合行业需求、行业背景与行业特质。作为全校工科专业基础课,工程力学创新实验教学模式也应立足学科前沿,突出能源资源特色,结合力学创新实验设计课程、创新创业实践课程、本科毕业设计(论文)等,建设工程力学创新实验项目库教学资源,从而构建“工程技术前沿—创新实验项目—创新成果产出”逐级提升的研究型实验教学体系,具体建设要点如图1所示。

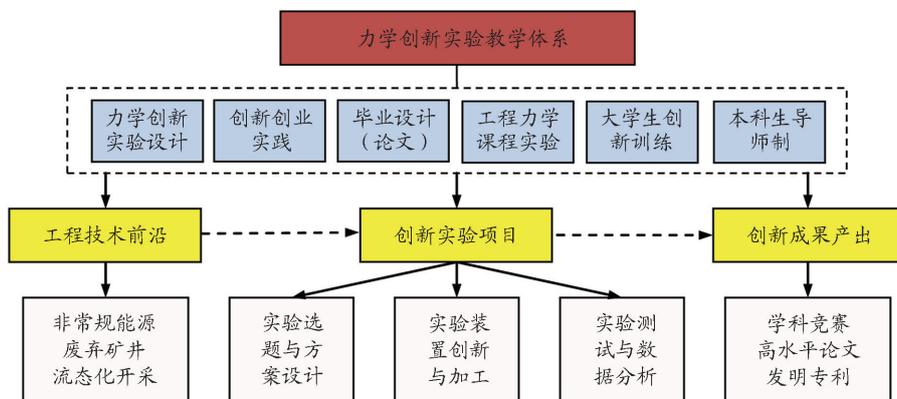


图1 力学创新实验教学体系的建设要点

(一) 工程技术前沿提炼

以学校“双一流”学科建设为基点,围绕矿业工程学科群深地开发、深部构建、深度利用、新能源(“三深一新”),安全工程学科群低死亡、低伤害、低排放、新工科(“三低一新”),探索相关工程技术前沿,重点关注非常规能源开发、废弃矿井再利用、深部固体资源流态化开采、矿山重大事故防控等方向,通过查阅资料、咨询专家、开展精细分析,提炼出力学相关课题,为后续创新实验项目的方案设计提供基础资料。

(二) 创新实验项目设计

以能源资源工程前沿中的力学问题为基础,选择难度适中且能充分反映相关理论知识的课题作为实验选题,并设计出详细的实验方案,创新改进实验装置,开展实验测试,面向多学科交叉,提出分析思路与思考。针对课程教学和科研训练内容,开发适宜的创新实验项目,并建设完备的实验指导书等教学资源。

(三) 创新成果产出路径构建

在能源资源特色学科前沿和已开发创新实验项目的基础上,或自主设计,或结合教师科研项目,进一步深入了解并切实探索具体科研问题,充分激发学生的创造动能,催生新点子、新思路、新成果。积极指导学生撰写学术论文、申请发明专利,并将其与学科竞赛、创新创业项目等有机结合,与学校“大学生创新训练中心”“青创广场”“大学生创业园”建立畅通的联系渠道,对优秀成果进行大力度支持与深度合作,构建高效的“创意—创新—创业”一体化成果产出机制,促进拔尖人才和拔

尖成果的培育。

三、力学创新实验教学的总体实施方案

根据以上建设要点,结合工程力学课程教学,设计了力学创新实验教学的总体实施方案,如图2所示,从创新实验项目开发、实验教学方法革新、力学创新实验实践、自主创新试验设计、创新实验成果总结和创新实验教学评价六个方面,形成“一条龙”全方位培养方案。

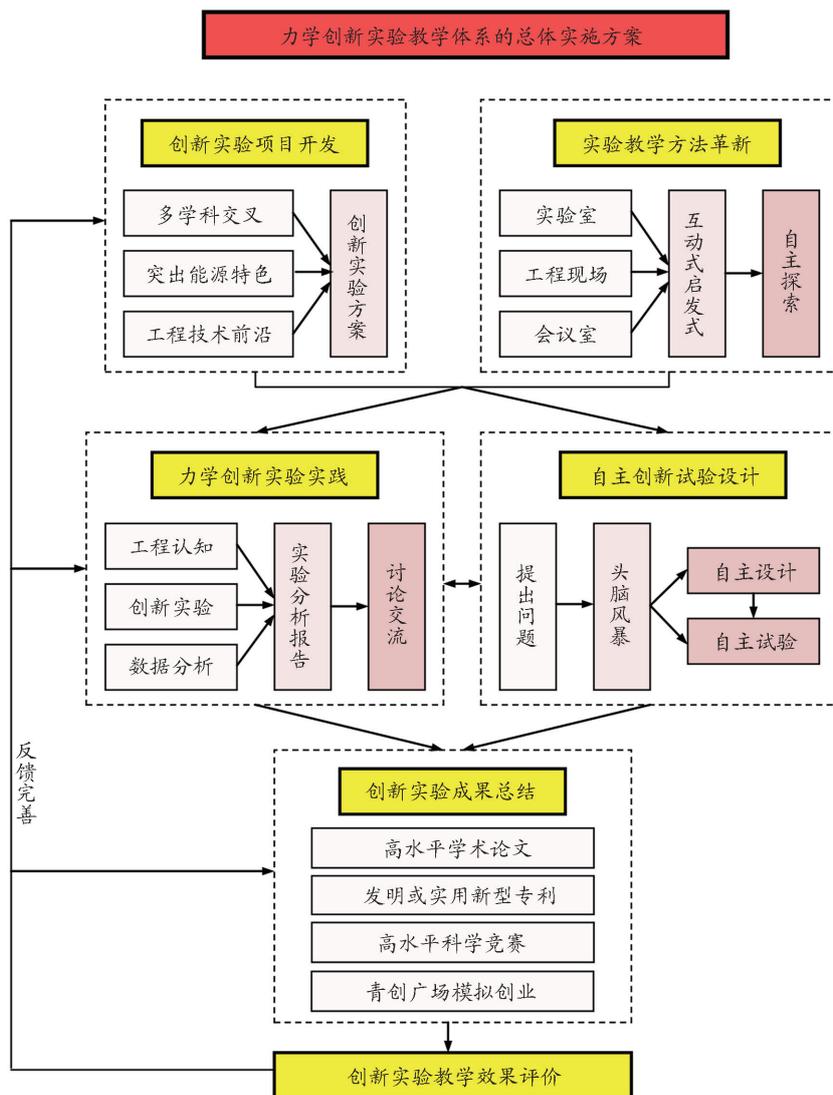


图2 力学创新实验教学体系的实施方案

(一) 创新实验项目开发

围绕煤层气开发、废弃矿井再利用、海绵城市建设等工程前沿方向,提炼力学相关的实验课题,设计实验方案,开展实验测试。例如,针对松软低透煤层瓦斯抽采孔容易坍塌的重大工程问题,开发了瓦斯抽采护孔管的轴向拉伸、压缩和扭转试验,并考虑有孔和无孔两种情况^[15],如图3所示,加深学生对薄壁圆筒基本变形、应力集中的理解,激发学生在煤层气抽采方面的自主创新。此项目获得了全国煤炭行业教育教学成果奖1项。对于实验条件不具备或实际运行困难,涉及高危或极端环境,或具有高成本、高消耗、高复杂度等特征的实验项目,开发建设虚拟仿真教学实验系统,虚实

结合,以虚促实。例如,针对岩体防护工程中锚固体的拉弯扭剪组合工况,通过建设虚拟仿真实验平台,使学生更直观更深入地理解多方式组合加载下材料的变形力学行为。

(二) 实验教学方法革新

改革以实验室讲授为主要手段的教学方法,以重大工程问题为基点,以实验室讲解演示和虚拟仿真实验平台综合训练为基础,开展工程现场教学、会议室讨论等多种形式的教学,采用启发式和互动式教学,鼓励学生自主学习,提高学习的主动性和积极性。例如,在透水混凝土力学性质实验教学中,引入徐州卧牛山山体公园海绵城市建设真实案例,给出若干思考题,在会议室讨论解决方案与预防措施等,学生讨论热烈,知识理解更深入,教学效果更佳。

(三) 力学创新实验实践

组建力学创新实验小组,每组3~5人,开展力学创新实验实践,以力学创新实验项目库的形式布置任务,重点开展工程前沿问题提炼;实验设备操作与创新改进;实验测试与具体分析计算;撰写分析报告;开展小组讨论交流等能力训练。

(四) 自主创新试验设计

在能源资源特色学科前沿和已开发创新实验项目的基础上,设置“自主设计”创新试验环节,提出问题,围绕特定问题开展头脑风暴,充分调动学生的活跃思维和求知欲,启发学生新观点、新想法,经师生充分讨论后,开展“自主设计”创新试验。可利用已有的教学实验设备,也可自行开发试验平台,亦可结合相关数值仿真平台或虚拟仿真实验平台,开展工程问题的数值模型建立及分析,与试验结果进行对照。值得说明的是,自主创新试验可与教师科研项目、学校开放实验基金项目、各级大学生创新训练计划、毕业设计等有机结合。例如,结合笔者科研课题,以废弃矿井抽水蓄能发电过程中的抽水和放水过程,指导学生开展干湿交替下水库围岩的力学响应规律创新实验,以学生为主体发表论文2篇。



图3 瓦斯抽采护孔管的轴向拉伸、压缩和扭转试验^[15]

(五) 创新实验成果总结

基于创新性实验数据分析,认真开展成果总结与提升,积极参加学科竞赛、撰写学术论文、开展会议交流、申请发明专利,条件成熟时入驻“青创广场”开展模拟创业实践,促进拔尖人才和拔尖成果的培育。例如,在煤矿冲击地压巷道支护系统抗冲击性能实验研究基础上,指导学生设计新型防冲元件和结构,在“青创广场”模拟创业,并准备参加“创青春”全国大学生创业大赛。

(六) 创新实验教学效果评价

客观上,利用学生所取得的创新实验成果作为教学效果评价指标;主观上,通过与学生直接交流、发放无记名调查问卷等,获得教学效果的反馈与建议,完善力学创新实验教学体系。

四、初步建设成效与经验

近3年来,组织力学系教师主持开发建设数十项具有能源资源特色的力学创新实验项目,如表1,并将其应用于力学创新实验设计、创新创业实践等课程中,该教学体系已基本成熟,并逐渐发挥成效。教师在教学改革、学生在创新创业方面均取得了较为显著的成果,这将有力支撑学校“双一流”和新工科建设。

学生对工程力学基本概念与理论的理解更深刻,并且更有效地将基础力学知识与专业核心课程相结合,促进了专业素养和技能的提升,学科视野和创新能力也得到极大提高。在周培源大学生力学竞赛、江苏省力学创新创意大赛、江苏力学青年创新创业大赛,以及全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛等课外科技竞赛中取得特等奖、一等奖多项,本科生作为第一作者发表核心以上论文10余篇,申请发明专利多项,启动青年创业项目1项。

表1 已开发力学创新实验项目(部分)

序号	实验名称	对应工程前沿
1	筛孔对瓦斯抽采管弯扭组合变形的影响	煤矿瓦斯抽采
2	不同高温下花岗岩的损伤破裂与渗透规律	核废料存储
3	干湿交替下水库围岩的力学响应规律	废弃矿井储能
4	高温脉动气压致裂页岩的裂纹扩展规律	页岩气开采
5	巷道支护系统的能量吸收与抗冲击性能	巷道防冲支护
6	液氮冷冻对干热岩压裂性质的影响	地热开采
7	煤矿救灾机器人的爬行设计与力学响应	机器人
8	层状盐岩中压气蓄能储气库腔体稳定性	油气资源存储
9	不同形态下铁基非晶合金的拉伸断裂性能	新材料
10	地震作用下钢筋混凝土柱受力性能	深地空间开发

值得提出的是,该教学模式打通了创新试验项目开发、教学、设计、成果产出的全环节,虽看似对教师和学生要求较高,但基本上对所有高校均具有推广价值,具体表现为:(1)考虑到不同高校行业背景的差异,在应用本教学模式时,应突出自身特色,科教融合,重点建设面向所在高校优势学科方向的创新试验项目;(2)考虑到不同高校发展阶段的差异,可在总体实施方案的6个方面侧重某一个或某几个方面,例如,若暂无条件开发新的试验项目,可借鉴其他高校教学案例,由易到难,逐步推进;(3)考虑到不同高校试验条件的差异,应尽量基于已有实验仪器开发合适的创新试验项目,此外,应注重与企业开展合作,每年教育部高等教育司会发布产学研合作协同育人项目指南,推动产教融合、产学研合作、协同育人,亦可与兄弟院校开展合作,共建试验基地等。

五、结语

力学是工科的基石,将力学基础理论与工程技术前沿有机结合是新工科建设的迫切需求。文章针对当前力学实验教学中存在的立足工程技术与产业前沿不够、跨学科交叉融合不够、“创意-创新-创业”一体化不够等问题,面向国家重大需求和世界科学前沿,设计力学创新实验项目方案,激励创新成果产出,构建了突出能源资源行业特色的工程力学创新实验教学体系,形成了创新实验项目开发、实验教学方法革新、力学创新实验实践、自主创新试验设计、创新实验成果总结和创新实验教学评价的总体实施方案,取得了良好的教学效果。

下一步,将依托学校优势学科,重点围绕矿山无人开采与救援机器人、煤矿职业病防治、城市地下空间开发等方向,加强建设面向新工科的力学创新实验教学资源,争取做大做强,做出特色。此外,在实验所涉及知识点方面,进一步从以理论力学和材料力学为主扩展至振动力学、断裂力学等高阶力学课程。

参考文献:

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [2] 高祖贵. 世界百年未有之大变局的丰富内涵[N]. 学习时报, 2019-01-21.
- [3] 百度百科. 新工科[EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/新工科/20597803>.
- [4] 吴巧云, 肖如峰. “新工科”时代背景下德才兼备型土木工程人才培养改革与实践[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(2): 8-15.
- [5] 张雪, 齐永正, 曾文杰, 等. 面向新工科人才培养的土建类专业实践教学体系探索[J]. 高等建筑教育, 2021, 30(1): 124-129.
- [6] 林健. 面向未来的中国新工科建设[J]. 清华大学教育研究, 2017, 38(2): 26-35.
- [7] 章军军, 崔秀红. 创新实验的设计性和自主性[J]. 实验技术与管理, 2008, 25(7): 23-25.
- [8] 杜成斌, 尚作萍. 依托力学实验创新基地培养大学生的创新能力[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(4): 182-185.
- [9] 蒋持平, 王士敏, 张华. 为创新人才筑基的力学实验教学中心建设[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(3): 263-266.
- [10] 何新党, 耿小亮, 张柯, 等. 网络平台在大学生力学创新实验中的应用研究[J]. 教育现代化, 2018(9): 136-138.
- [11] 缪正华, 杨德生, 赵国臣. 力学实验教学创新与改革[J]. 实验室研究与探索, 2008, 27(3): 81-83.
- [12] 刘玉岚, 詹杰民, 黄建亮, 等. 中山大学力学实验教学示范中心建设研究与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(8): 203-205.
- [13] 曾鸣, 王钰文, 石明江, 等. 面向创新人才培养的力学实验教学改革创新研究[J]. 教育教学论坛, 2019(33): 111-112.
- [14] 蔡瑜玮. 材料力学实验教学改革创新研究[J]. 实验科学与技术, 2016(3): 162-164.
- [15] 张志镇, 杨玉贵, 高亚楠, 等. 源自工程实践的材料力学创新实验教学探索[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(10): 188-192.

Exploration on the innovative experimental teaching system of mechanics under the background of emerging engineering education: Taking China University of Mining and Technology as an example

ZHANG Zhizhen^a, GAO Feng^b, ZHAO Yucheng^a, ZHAO Huiming^a, ZHONG Weiping^a

(a. School of Mechanics and Civil Engineering; b. State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China

University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, P. R. China)

Abstract: Mechanics is an important scientific foundation for engineering subjects, and the innovation experiment course of mechanics is an important carrier to deepen the understanding of mechanics theory and effectively connect engineering technology. The construction of emerging engineering urgently requires the reform of the innovation experiment teaching system for mechanics. Considering the current status and shortcomings of innovation experiment teaching of mechanics, looking into national strategic technology and industrial needs, highlighting industry characteristics, focusing on cross-disciplinary integration, a research-based experimental teaching system of “engineering technology frontier - innovation experiment project - innovative product” has been established, and the implementation scheme of the teaching system also has been proposed. This teaching system significantly improves the awareness and ability on “originality - innovation - entrepreneurship” of engineering students.

Key words: emerging engineering education; engineering mechanics; innovation experiment; industry characteristics; research-based teaching

(责任编辑 梁远华)