

文章编号:1001-4888(2022)05-0765-10

轻质结构材料力学性能 虚拟教学实验平台的开发与应用^{*}

侯琼, 朱晓磊, 李明轩, 赵建平, 王华, 周剑锋

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏南京 211816)

摘要: 结合“新工科”力学类人才培养体系的要求,开发了轻质结构材料力学性能虚拟仿真实验平台。该平台采用基于 Unity3D 的 WebGL 技术,能够开展轻质点阵夹层结构设计及力学性能的三维仿真实验;利用该平台学生可以进行轻质结构材料的设计流程训练、点阵夹层结构设计方法训练、点阵夹层结构力学性能实验表征方法训练,从而掌握轻质结构材料力学设计流程、设计方法以及设计原理,增进对轻质结构材料承载需求的了解。实验核心内容包括轻质结构材料典型单胞设计及力学性能实验表征,实验结果为满足承载要求的轻质结构材料尺寸及力学性能实验数据。实践证明,该虚拟仿真实验有效解决了新材料设计实验教学难度大、成本高、耗时长,以及实验资源匮乏、无法满足新时期本科教学的问题。

关键词: 轻质结构材料; 力学性能; 虚拟仿真; 实验教学

中图分类号: TQ022 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-21-284

0 引言

工业装备采用轻质材料和结构不仅可以有效地减少制备用材和运营成本,还可以提高装备使用寿命和安全性。在车辆工程领域,汽车重量的降低会提升汽车的动力性能和使用寿命,减少刹车距离、百公里加速时间、燃油消耗和碳排放量;在航空航天领域,飞行器采用轻质结构也能降低燃料消耗;在船舶工程领域,船舶采用轻质结构后能提高安装效率和舱容。轻质结构材料还具有减振、隔音、隔热等功能,大力推动轻质材料与结构在装备中的应用,是实现“绿色经济”的重要途径,同时,轻质结构技术也是工业装备科技水平的重要评价指标。

工科专业的《结构力学》等课程理论学习难度较大,实验教学也存在诸多问题,如结构种类繁多,设计周期长;制备困难,试样加工费用高昂;实体教学互动性差;综合性强,设计参数关联耦合度高等。此外,工程实际中的结构往往与《结构力学》课中的简化计算模型相去甚远,在一定程度上造成学生工程认识与理论认知的脱节,学生对课程的学习有畏难情绪,授课内容难以消化。《结构力学》主要研究工程结构的受力和载荷传递规律,是土木类、机械类等专业的基础课。然而,长期以来,由于实验教学内容以及教学方法陈旧,且实验装置体积庞大、价格昂贵,全国范围内多数院校本科阶段未开展相应的教学实验,轻质结构材料力学性能实验尚为空白。为了配合理论教学,部分院校采用了计算机软件仿真教学^[1-3],针对典型的杆式结构进行分析,但交互性能不佳。此外,有国内外知名院校依托各自行业领域优势,搭

* 收稿日期: 2021-11-26; 修回日期: 2022-01-24

基金项目: 2020 年教育部产学合作协同育人“轻质结构材料力学性能虚拟仿真实验”项目(202002046020);江苏省高等学校教育技术研究会 2021 年高校教育信息化研究课题(2021JSJG311);江苏省高等教育教改研究课题(2021JSJG311)

通信作者: 李明轩(1987-),男,博士,实验师。主要从事轻量化结构力学性能表征的研究。Email: lmx9989w@live.cn

建了结构力学实验教学平台,但推广难度较大^[4,5]。虚拟仿真实验是教育信息化的重要组成部分,是用虚拟系统对真实系统进行模仿的技术^[6-12]。随着工程教育的推进,培养学生“解决复杂和重大工程问题”的能力,成为新工科专业的培养目标之一,通过虚拟仿真实验,可以达到“以虚补实,虚实结合,深度交互,理实融合”的教学效果^[13-17]。

本虚拟仿真实验项目的核心技术为轻质夹层结构力学性能的理论计算方法。学生可以通过轻质结构材料力学性能虚拟教学实验平台的示教将课堂所学融会贯通;通过轻质结构的设计,加深对基础力学理论的理解;通过3D仿真的试样设计与实验方案设计,培养自主实验的能力;通过先进的多媒体技术观察试样变形、载荷-位移曲线特征以及应力分布特征,直观地了解轻质结构的承载特性与变形机理。

1 虚拟仿真实验平台设计

为了推进实验教学改革,本文利用虚拟仿真技术建立了轻质结构材料力学性能虚拟仿真实验平台。虚拟仿真实验可考查学生制定实验方案的能力,以及对相关实验标准的掌握和应用情况,让学生了解试样选取的标准与方法、各种加载条件的选择与设定、实验过程中安全操作规程与注意事项等知识,使学生初步具有进行基本力学实验的理论素养和动手能力;通过虚拟仿真实验可以培养学生的力学设计能力,要求学生针对不同专业领域,根据设计要求、载荷类型以及理想失效模式,设计轻质结构材料;通过虚拟仿真实验还可培养学生的经济意识以及综合分析能力,要求学生综合考虑包括构型选择、部件制备工艺、整机重量和体积等经济性,以及所设计的轻质结构的合理性。平台设计的先进性包括:

(1) 实验的教学理念先进。平台利用虚拟仿真实验技术进行轻质结构材料的设计流程训练、点阵夹层结构设计方法训练、点阵夹层结构力学性能实验表征方法训练,以考查学生的基础理论知识水平、工程设计水平、实验设计水平等综合素质。

(2) 实验的教学内容先进。轻质结构材料的设计开发是目前国际研究的热点。实验以储运壳体为原型,以帮助学生了解轻质结构材料力学设计流程、设计方法以及设计原理。学生在实验过程中可以对结构承载特性进行分析,对轻质结构材料典型单胞设计、力学性能进行表征,最终得到满足承载要求的轻质结构材料尺寸及力学性能实验数据,逐级逐层了解和掌握《结构力学》、《材料力学》、《弹性力学》、《塑性力学》以及《实验力学》的相关基础理论。本文的虚拟仿真实验从学生的兴趣点切入,不仅可以加深对基本力学知识的理解,而且可以了解并尝试解决前沿热点问题,以培养学生的专业兴趣。

(3) 实验的技术手段先进。平台采用基于 Unity3D 的 WebGL 技术,对轻质点阵夹层结构设计与其力学性能实验过程进行三维动态仿真,采用了本课题组在轻质结构材料设计与力学性能表征方面的最新研究成果。平台通过多种实验结果协同展示的方法,让学生从宏观载荷-位移变化规律、结构变形模式、微观应力-应变变化规律方面进行信息融合,让学生了解结构失效机理及变形特征,从而加深对基础理论的理解。

面向大尺寸承载结构的新型轻质点阵夹层结构的设计方法称为多尺度并发设计方法,它主要分为从单胞力学性能出发的胞元结构设计和从整板制备技术出发的焊接工艺方法 2 个部分。为了验证制备出的点阵夹层结构是否能够满足设计和使用要求,需要对板件进行相关的力学性能实验,主要包括:采用平压力学性能实验对结构的面外抗压性能进行评价,采用三点弯曲实验对结构的综合抗弯性能进行评价。以金字塔点阵夹层结构的变形为例,由于抗压和抗弯是夹层结构在实际使用时最常见的工况,因此研究者最关心的力学性能通常就是夹层结构的面外平压力学性能和三点弯曲力学性能。如图 1 所示,夹层结构的变形可以分解为单胞芯子变形和面板变形 2 个部分。平压变形中,变形可以视作单胞芯子的压缩变形和面板压缩变形(可忽略)的耦合;弯曲变形中,变形可以视作芯子的剪切变形和面板的弯曲变形的耦合。细观分析法通过对金字塔点阵夹层结构单胞在不同单轴载荷作用下变形的分析,分别建立单胞芯子和面板的解析力学模型,当整板受到某种复杂载荷作用时,将单胞芯子和面板的解析力学模型进行耦合即可得到整板解析力学性能的表达式。

图 2 所示为虚拟仿真教学实验的教学体系架构,该构架包括实验前、实验中、实验后 3 个部分。进入虚拟仿真实验系统后,学生可选定金字塔点阵夹层结构、四面体点阵夹层结构、八面体点阵夹层结构、

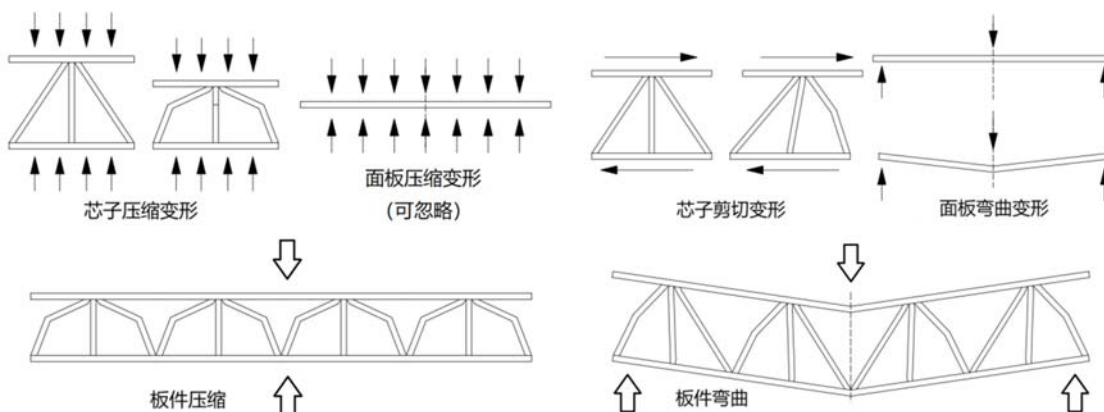


图 1 金字塔点阵夹层结构的面外平压变形和弯曲变形

Fig. 1 Out of plane deformation and bending deformation of pyramid lattice sandwich structure

蜂窝夹层结构和波纹夹层结构中的任意一种,给定胞元几何参数并选定对应的材料体系,通过虚拟面外平压力学性能实验或虚拟三点弯曲力学性能实验测试结构对应的力学性能,虚拟实验结果在实验的最后阶段直接反馈给学生用户。本虚拟仿真实验的核心技术为轻质夹层结构力学性能的理论计算方法,虚拟仿真实验平台能够真实再现金属点阵夹层结构弹塑性变形的完整过程,具备计算效率高、计算结果真实准确的特点,同时将“引导式教学”、“沉浸式体验教学”、“交互探究式教学”和“反思式教学”等先进的教学理念和方法贯穿于实验前、实验中和实验后的各个环节,以培养学生的实践能力、主动学习能力、综合分析能力和创新能力,从而提升实验教学效果。

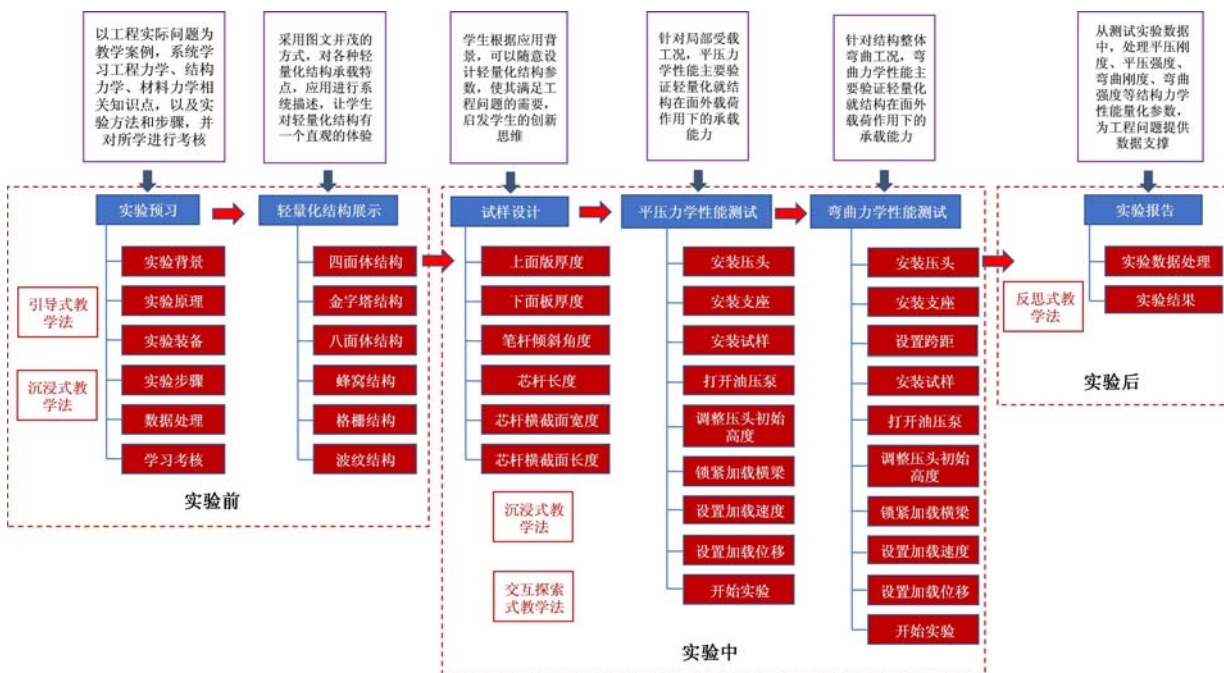


图 2 “轻质结构材料力学性能虚拟仿真实验”的体系框架

Fig. 2 System framework of "Virtual Simulation Experiment on Mechanical Properties of Lightweight Structural Materials"

2 虚拟仿真实验操作过程

2.1 虚拟仿真实验场景设计

除了实验结果可以高度还原真实结果外,轻质结构材料力学性能虚拟仿真实验还设计了有较强科技感的实验室仿真环境,界面友好,操作简便。虚拟仿真实验对实验流程、试验机和试样进行了高度仿

真(图3),有利于激发学生的学习热情,让学生身临其境地享受实验带来的“快乐”。

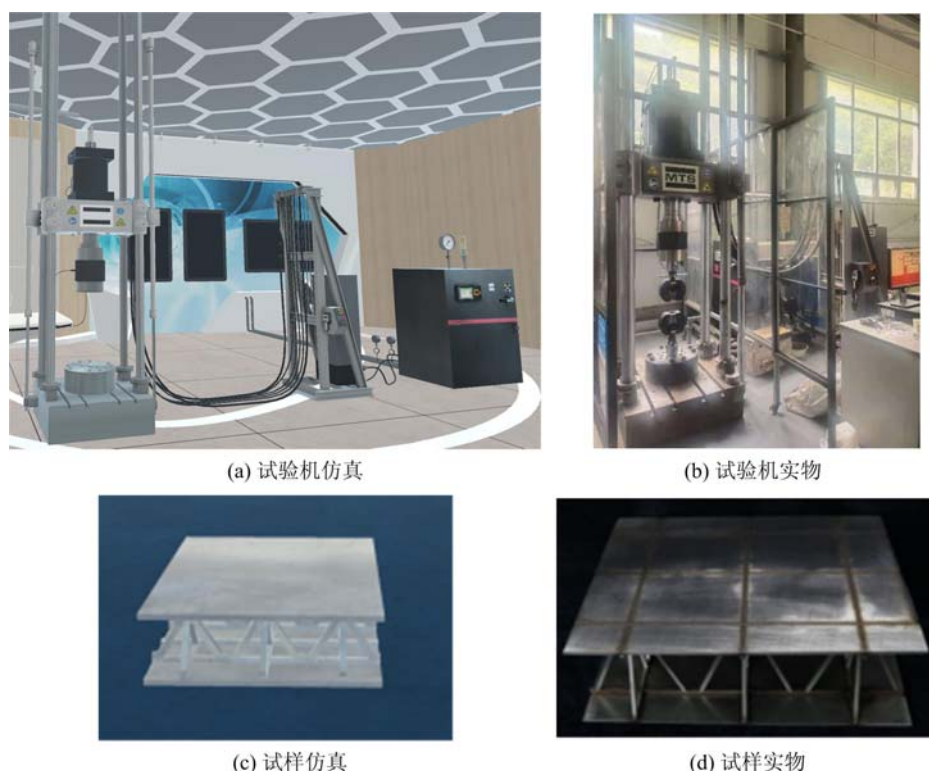


图3 仿真效果对比

Fig. 3 Comparison of simulation effects

2.2 虚拟仿真软件组成

虚拟仿真软件主要包括4个模块:虚拟实验知识点示教模块、典型先进轻质夹层结构展示模块、轻质夹层结构胞元结构设计及测试模块、成果评价模块。

(1) 虚拟实验知识点示教模块

在此模块中,学生将了解轻质结构材料力学性能虚拟仿真实验的实验背景、实验原理、实验装备、实验步骤、数据处理方式。在学习掌握基础知识、实验操作步骤、实验数据处理方法等的基础上,通过学习考核模式对预习情况进行测试,以保证学生具备实验测试能力。

(2) 典型先进轻质夹层结构展示模块

轻量化夹层结构种类繁多,且根据应用需求的不同,可以设计出各种各样的轻质结构材料。为了培养学生解决复杂工程问题的能力,在虚拟仿真实验中设计了知识拓展模块,即轻质结构材料展示模块;并根据应用场景对轻质结构材料进行了分类展示,让学生可以更加直观地了解轻质结构材料的承载特点,结合可互动真实三维模型,强化认识学习的效果。

(3) 轻质夹层结构胞元结构设计及测试模块

在此模块,学生能根据各点阵结构特性,分析设计结构几何参数组合,并可根据国家标准完成设计结构的虚拟仿真力学性能测试,包括平压力学性能测试、三点弯曲力学性能测试,测试结束后输出设计测试报告。

(4) 成果评价模块

成果评价模块首先对基础力学知识和实验操作步骤学习情况进行检验,学生通过对预习和视频的学习,回答随机抽取的六道题目,当得分为零分时,提示学生重新学习。然后,对复杂结构设计及力学性能分析方法掌握情况进行检验,系统会根据重量、平压刚度、平压强度、弯曲刚度、弯曲强度5个指标对设计结果进行评价,并根据学生设计结果与标准结果的偏差度进行打分。最后,对实验步骤掌握情况进行检验,系统设置了多种提示和纠错功能,引导学生顺利完成实验,对学生的实验操作情况进行评价打

分。

2.3 虚拟仿真实验交互性操作步骤

本文虚拟仿真实验的交互性操作流程如图4所示。



图4 点阵材料力学性能测试流程

Fig. 4 Testing process for mechanical properties of lattice materials

以面外平压力学性能实验为例,对点阵材料力学性能测试流程说明如下:

(1) 选择实验类型。可选类型为面外平压力学性能实验和三点弯曲力学性能实验,学生可任选一个优先开始实验。本步骤主要考查学生对轻质结构材料力学性能实验表征的熟悉程度。

(2) 设计胞元结构参数。供学生设计的参数有7个(面板厚度、芯层高度、胞元宽度、芯层杆件宽度、芯层杆件厚度、芯层杆件长度和杆件倾角),学生可根据《结构力学》基础知识开展设计。本步骤主要考查学生对静定结构受力分析、虚功原理、能量法等基础知识的掌握情况。

(3) 选择材料。学生可根据服役环境,同时兼顾经济性的要求,合理选择材料。本步骤主要考查学生对装备适应性和经济性等设计基础的理解。系统内置不锈钢、Q235、Q345和铝合金4种常见的金属材料参数,可选择一种赋予样件。

(4) 安装压头和支座。由学生根据实验类型选择合适的工装夹具,这一步骤考查学生对轻质结构材料力学性能实验方法的掌握情况。将平压实验工装安装至试验机,安装完成的示意图如图5所示。

(5) 样件装夹。这一步骤着重考查学生对轻质结构材料力学性能实验方法的熟悉程度。学生可以选择合适的试样,并将平压实验样件装夹到压头和支座之间。

(6) 仪器设置。这一步骤对力学性能实验过程进行仿真,要求学生了解力学性能试验机的开机步骤和对开机状态的检查。在这一步骤中学生需要开启试验机油泵,并调整试验机横梁位置,仪器设置界面图6所示。

(7) 加载参数设置。本步骤考查学生对轻质结构材料准静态力学性能测试方法的熟悉程度。学生可根据实验要求,设置加载速度和极限位移。

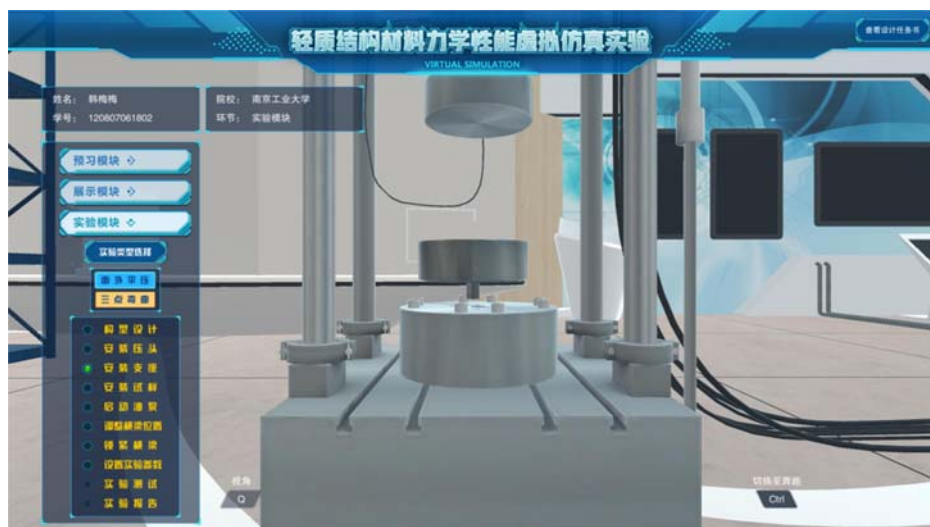


图5 安装压头和支座

Fig. 5 Install the head and support



图6 仪器设置

Fig. 6 Instrument settings

(8) 实验测试。实验中的载荷-位移曲线由点阵材料变形预测模型计算获得,虚拟仿真实验平台实时输出面外平压实验载荷-位移曲线,动态显示结构变形过程,平压实验测试界面如图7所示。学生可以直观地将结构变形、应力分布特征以及载荷-位移响应特征联系起来,充分理解结构变形机理。

(9) 实验数据处理,生成面外平压实验报告。这一步骤考查学生根据测试结果,处理实验数据的能力。该环节可以反复查看变形过程动画和对应的载荷-位移曲线,并能够复习该次实验结构力学性能参数计算所需要使用的理论公式。实验结束后形成一份包含实验类型、实验原理、样件参数、实验参数、实验结果、数据计算等内容的规范实验报告,作为学生的设计结论和系统的评分参考,生成的实验报告界面如图8所示。面外平压实验完成后选择实验类型为三点弯曲实验,操作步骤比面外平压实验多一步设置跨距,根据图4中步骤10到步骤19再进行一遍实验操作,最终生成三点弯曲实验报告。

3 虚拟仿真教学实验平台的意义

(1) 丰富实验教学内容

现有的轻质结构变形计算方法主要是基于《结构力学》中的杆变形理论,获得等效弹性刚度矩阵,然后再根据《材料力学》中的压杆稳定理论,建立极限承载力计算模型。这种做法无法表达轻质结构材料力学性能的塑性变形行为,导致学生对变形过程与失效机理的理解不透彻。本虚拟仿真实验将杆件塑

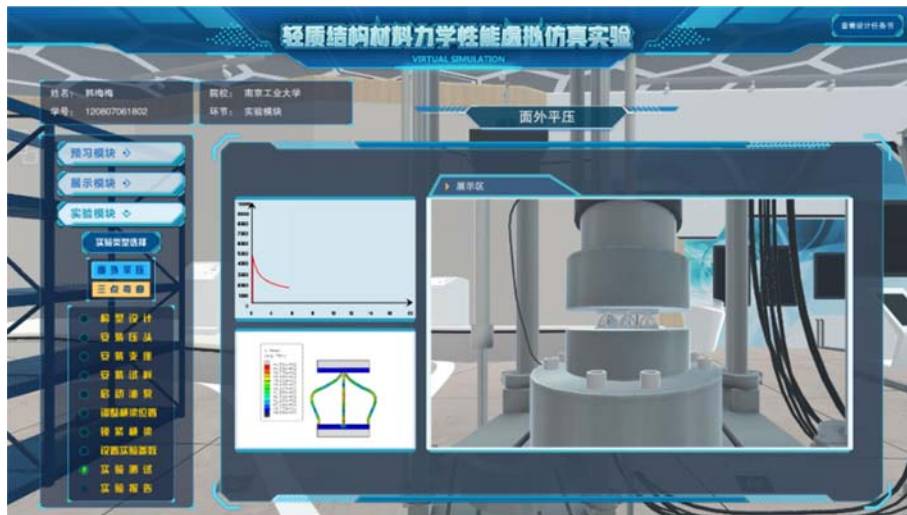


图 7 平压实验测试界面

Fig. 7 Flat pressure test interface

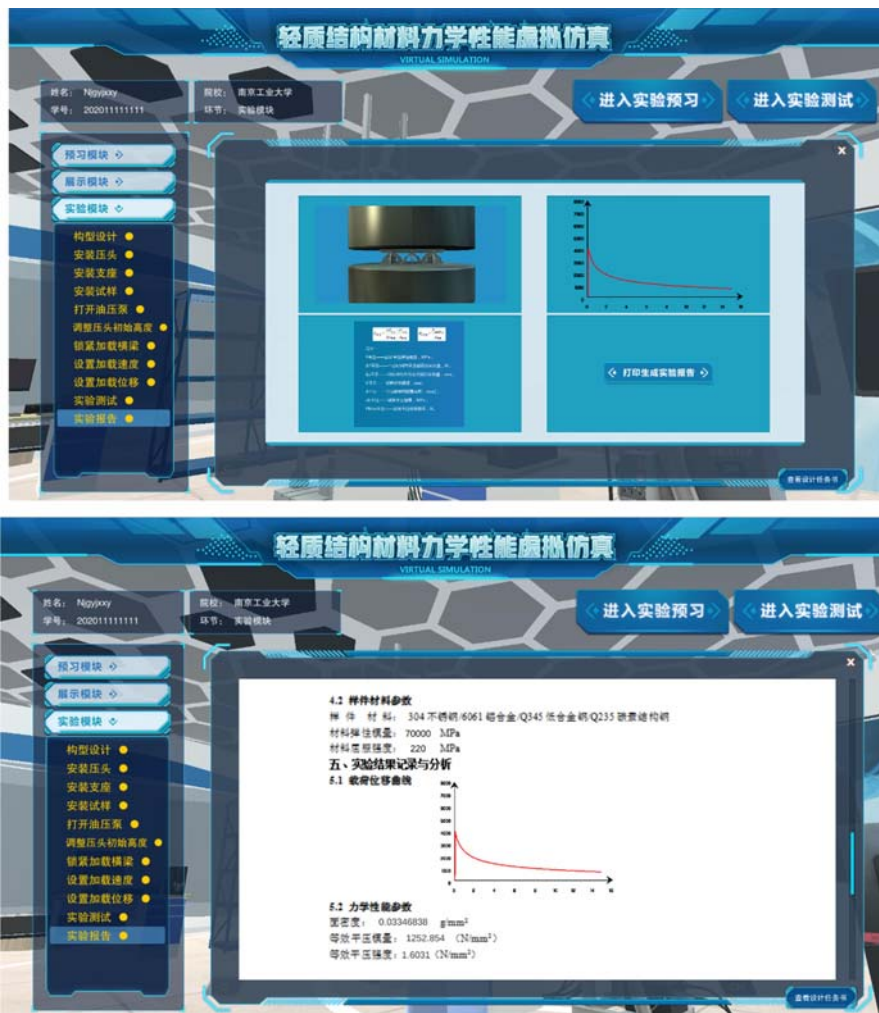


图 8 实验报告

Fig. 8 Lab report

性变形的解析方程及其求解方法,运用到轻质结构塑性变形行为的计算中,可有效刻画轻质结构塑性变形历程。

(2) 提升人才培养质量

通过虚拟仿真实验,学生能够开展综合性实验,综合应用所学知识,掌握《结构力学》课程中杆件结构力学性能分析方法、杆件力学性能的求解方法,《材料力学》课程中杆件塑性变形力学行为的分析方法以及求解方法,以及《实验力学》课程中构件力学性能测试方法和力学性能表征方法。同时,虚拟仿真实验平台涵盖了对学生在记忆、理解、应用、分析、综合和评估等不同层次能力的要求,不但提高了学生对基础力学知识的兴趣,开拓了学生的创新思维,而且可以促进学生将理论和实践有机融合起来,从而培养学生的创新意识和解决大型工程问题的能力。

(3) 培养学生爱国情怀

虚拟仿真的实验对象是工业与国防装备等“大国重器”中必备的轻质结构材料,能让学生理解我国重大基础件研发的必要性和迫切性,对于培养学生的爱国情怀有重要意义。

4 虚拟仿真教学实验的持续建设与应用

(1) 教学实验持续建设与服务计划

限于师资和教学课时,全国开设轻质结构材料设计实验课的高校不多。“轻质结构材料设计与力学性能虚拟仿真实验平台”将专业知识固化在平台内部,降低了对指导教师的要求,使得开设综合性设计课程成为可能,这对培养学生解决复杂工程问题的能力有重要意义。本文作者所在学校拟在现有网络教学平台的基础上,建设统一的实验教学信息平台,把该虚拟仿真教学实验向全国高校推广,力争年服务数超过3000人次。

本虚拟仿真教学实验平台2019年上线运行,已连续4年为我校广大师生提供了在线实验教学资源,有效解决了《结构力学》实验教学难度大、成本高、耗时长,以及实验资源匮乏的问题。

(2) 面向高校的教学推广应用计划

本虚拟仿真教学实验后期将继续开发波纹夹层结构、蜂窝夹层结构、手性结构的设计方法与实验表征方法,使实验项目覆盖航空、航天、航海、石化、车辆等领域的轻质结构设计的各个环节,最终形成一个综合性实验平台,向国内力学、材料、机械、土木类相关专业推广。

(3) 面向社会的推广应用计划

轻质结构材料对工业和国防装备的发展有着重要作用,国内部分企业和科研院所已经开始将轻质结构材料用于现役装备的探索。由于缺乏设计和力学性能实验表征软件,导致此项工作推进难度较大。本文所搭建的“轻质结构材料设计与力学性能虚拟仿真实验平台”弥补了技术手段的不足,可以向相关单位推广。

5 结语

轻质结构设计与材料力学性能虚拟仿真实验可用于弥补课程教学、传统实验教学过程中存在的理论抽象、零散、实验结果单一,理论与实践脱节,开放、自主、创新型实验难以开展等不足,将基本力学知识的学习与应用融为一体,实验内容由浅入深,兼顾基础知识应用与创新能力培养,有利于构建线上、线下相融合的信息化教学模式,使原本难以在课堂实现的复杂结构的力学分析设计训练成为可能,解决了《结构力学》以及相关课程拓展型和创新性实验环节难以开展的难题。本虚拟仿真实验平台的开发应用有益于对力学、机械、材料类本科及工程技术人才的培养。

参考文献:

- [1] 王勇,张婷.基于大数据分析的计算机网络课程的虚拟仿真实验教学研究[J].科技视界,2019(12):124-126 (WANG Yong, ZHANG Ting. Research on virtual simulation experiment teaching of computer network course based on big data analysis[J]. Science and Technology Vision, 2019(12):124-126 (in Chinese))
- [2] 黄瑶,蓝丽江.结构力学虚拟仿真实验教学研究[J].教育现代化,2020,7(64):162-165 (HUANG Yao, LAN Lijiang. Research on virtual simulation experiment teaching of structural mechanics[J]. Education Modernization,

- 2020, 7(64):162-165 (in Chinese))
- [3] 任伟杰, 李春林, 宋维源. 结构力学虚拟仿真实验教学研究[J]. 力学与实践, 2015, 37(2):257-262 (REN Weijie, LI Chunlin, SONG Weiyuan. Research on virtual simulation experiment teaching of structural mechanics [J]. Mechanics in Engineering, 2015, 37(2):257-262 (in Chinese))
- [4] 曲激婷, 陈廷国, 黄丽华. 结构力学实验促理论的教学方法探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2018(43):146-147 (QU Jiting, CHEN Tingguo, HUANG Lihua. Exploration and practice of teaching methods of structural mechanics experiment to promote theory[J]. Education Teaching Forum, 2018(43):146-147 (in Chinese))
- [5] 庞于涛, 何卫. 结构力学实验教学现状与改革措施初探[J]. 开封教育学院学报, 2018(12):100-101 (PANG Yutao, HE Wei. Current situation and reform measures of experimental teaching of structural mechanics[J]. Journal of Kaifeng Education College, 2018(12):100-101 (in Chinese))
- [6] 王琛, 于嘉浩, 訾然, 等. 虚拟仿真技术在工业设计综合实验中的应用探索[J]. 艺术科技, 2019, 32(8):54 (WANG Chen, YU Jiahao, ZI Ran, et al. Application and exploration of virtual simulation technology in industrial design comprehensive experiment[J]. Art Science and Technology, 2019, 32(8):54 (in Chinese))
- [7] 陈涛, 范林坤. 汽车运输安全虚拟仿真实验设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(3):129-132 (CHEN Tao, FAN Linkun. Virtual simulation experiment design of vehicle transportation safety[J]. Experiment Technology and Management, 2020, 37(3):129-132 (in Chinese))
- [8] 王佩, 冯波. 高压开关柜生产物流虚拟仿真实验研究[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(8):94-100 (WANG Pei, FENG Bo. Research on virtual simulation experiment of production logistics of high voltage switchgear[J]. Laboratory Research and Exploration, 2020, 39(8):94-100 (in Chinese))
- [9] 姚颂东, 方志刚, 陈林, 等. 虚拟仿真在OBE实践教学及创新创业中的作用[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(6):229-233 (YAO Songdong, FANG Zhigang, CHEN Lin, et al. Effect of virtual simulation on OBE practice teaching and innovation and entrepreneurship[J]. Experimental Technology and Management, 2019, 36(6):229-233 (in Chinese))
- [10] 宫莹, 张振宇, 陈剑. 教育信息化发展进程及其对高校实验教学改革的思考[J]. 高教学刊, 2015(20):1-2, 4 (GONG Ying, ZHANG Zhenyu, CHEN Jian, et al. The development process of education informatization and thoughts on the reform of experimental teaching in colleges and universities[J]. Higher Education Journal, 2015 (20):1-2, 4 (in Chinese))
- [11] 李梦如, 陈哲, 朱美华, 等. 液压虚拟仿真实验教学平台建设[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(2):148-152 (LI Mengru, CHEN Zhe, ZHU Meihua, et al. Hydraulic virtual simulation experiment teaching platform construction [J]. Experiment Technology and Management, 2019, 36(2):148-152 (in Chinese))
- [12] 石峰. 虚拟仿真技术在高职院校教学中的优势和应用探讨[J]. 课程教育研究, 2019(27):232-233 (SHI Feng. Discussion on advantages and application of virtual simulation technology in teaching of higher vocational colleges [J]. Curriculum Education Research, 2019(27):232-233 (in Chinese))
- [13] 段利斌, 江浩斌, 张学荣, 等. 车身结构耐撞性与乘员保护虚拟仿真实验开发与实践[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(8):120-124 (DUAN Libin, JIANG Haobin, ZHANG Xuerong, et al. Development and practice of virtual simulation experiment on crashworthiness and occupant protection of body structure [J]. Laboratory Research and Exploration, 2020, 39(8):120-124 (in Chinese))
- [14] 崔来中, 陆楠. 新工科背景下面向虚拟仿真实验的计算机网络课程实验教学探索[J]. 计算机教育, 2019(3):146-150 (CUI Laizhong, LU Nan. Experimental teaching exploration of computer network course facing virtual simulation experiment under new engineering background [J]. Computer Education, 2019 (3):146-150 (in Chinese))
- [15] 段新昱, 陈卫军, 姜品, 等. 面向新工科的跨专业建设工程教育虚拟仿真实验教学中心[J]. 中国现代教育装备, 2019(1):24-27 (DUAN Xinyu, CHEN Weijun, JIANG Pin, et al. Virtual simulation experiment teaching center of cross-specialty construction engineering education for new engineering [J]. China Modern Educational Equipment, 2019(1):24-27 (in Chinese))
- [16] 刘秀清, 葛文庆, 焦学键, 等. 国家级虚拟仿真实验教学中心建设与管理[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(11):225-228, 233 (LIU Xiuqing, GE Wenqing, JIAO Xuejian, et al. Construction and management of national virtual simulation experimental teaching center [J]. Experimental Technology and Management, 2018, 35(11):225-228, 233 (in Chinese))

—228, 233 (in Chinese))

- [17] 周莹, 蔡燕飞, 巩凯, 等. 疫情间的实践课程虚拟仿真线上教学探索[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(11):119—122, 128 (ZHOU Ying, CAI Yanfei, GONG Kai, et al. Research on virtual simulation online teaching of practical courses in epidemic situation[J]. Laboratory Research and Exploration, 2020, 39(11):119—122, 128 (in Chinese))

Development and application of virtual experimental platform for mechanical properties of lightweight structural materials

HOU Qiong, ZHU Xiaolei, LI Mingxuan, ZHAO Jianping, WANG Hua, ZHOU Jianfeng
(College of Mechanical and Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211800, Jiangsu, China)

Abstract: According to the requirements of “new engineering” mechanics talent training system, the virtual simulation experiment of mechanical properties of lightweight structural materials is developed. WebGL technology based on Unity3D is used to simulate the design and mechanical properties experiment of lattice sandwich structure. The virtual simulation experiment technology is used to train the design process of lightweight structural materials, the design method of Lattice Sandwich Structure and the experimental characterization method of mechanical properties of lattice sandwich structure, so as to help students understand the mechanical design process, design method and design principle of lightweight structural materials. Through the analysis of the structural load-bearing characteristics, the load-bearing requirements of light-weight structural materials are sorted out, and the typical cell design and experimental characterization method of mechanical properties of light-weight structural materials are presented. Finally, the experimental data of the size and mechanical properties of light-weight structural materials meeting the load-bearing requirements are given. Effectively solve the difficulty of experimental teaching, high cost, long time, lack of experimental resources, can not meet the needs of undergraduate teaching in the new period.

Keywords: lightweight structural materials; mechanical properties; virtual simulation; experimental teaching