

第二批国家级一流本科课程申报书

（虚拟仿真实验教学课程）

课程名称：大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验

专业类代码： 0801

负责人： 雷冬

联系电话： 13813815449

申报学校： 河海大学

填表日期： 2021. 5. 20

推荐单位：

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

填报说明

- 1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。
- 2.文中○为单选；□可多选。
- 3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。
- 4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。
- 5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。
- 6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验	是否曾被推荐	<input type="radio"/> 是 <input checked="" type="radio"/> 否
实验所属课程 (可填多个)	工程安全监测与设计案例研讨、实验力学		
性质	<input type="radio"/> 独立实验课 <input checked="" type="radio"/> 课程实验		
实验对应专业	工程力学		
实验类型	<input type="radio"/> 基础练习型 <input checked="" type="radio"/> 综合设计型 <input type="radio"/> 研究探索型 <input type="radio"/> 其他		
虚拟仿真必要性	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input checked="" type="checkbox"/> 不可逆操作 <input checked="" type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	<input checked="" type="radio"/> 中文 <input type="radio"/> 中文+外文字幕(语种) <input type="radio"/> 外文(语种)		
实验已开设期次	共 3 次: 1. 2020.11.25、82 人 2. 2020.05.18、116 人 3. 2019.12.23、35 人		
有效链接网址	http://lcy.hhu.owvlab.net/virexp/dxql		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员(含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	雷冬	1978.1	河海大学	副院长	教授	13813815449	leidong@hhu.edu.cn	负责人、在线教学
2	陈红	1981.3	河海大学	副处长	高级实验师	13851722324	496443687@qq.com	测量仪器仿真
3	傅卓佳	1985.1	河海大学		教授	13851418473	paul212063@hhu.edu.cn	结构力学分析 有限元模拟
4	朱飞鹏	1983.7	河海大学		副教授	15951923830	zhufeipeng@hhu.edu.cn	结构力学测试 在线教学
5	白鹏翔	1984.1	河海大学		实验师	15050565473	Baipengxiang@hhu.edu.cn	结构力学测试 在线教学
2-2 团队其他成员								

序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务
1	江守燕	1985.6	河海大学		副教授	静力学测试 在线教学
2	孙立国	1978.12	河海大学		高级实验师	动力学测试 在线教学
3	谢增芳	1981.3	河海大学		实验师	教学管理
4	胡丰	1983.5	河海大学		讲师	系统管理 技术支持
5	彭家意	1986.3	苏交科集团 股份有限公司	项目经理	高工	现场数据 技术支持
6	刘椿峰	1980.12	江苏泰斯特电子 设备制造有限公司	总工程师	工程师	测试仪器 技术支持
7	曹键桥	1984.1	江苏泰斯特电子 设备制造有限公司	软件部经理	工程师	测试传感器 技术支持
8	张云红	1994.5	北京润尼尔网 络科技有限公司	部门经理		网络服务 技术支持

团队总人数：13 人 其中高校人员数量：9 人 企业人员数量：4 人

2-3 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）

（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）

教学团队近 5 年承担河海大学工程力学专业的实验力学、工程安全监测与设计案例研讨、现代力学测量技术等专业课程，同时还承担了水利工程、土木工程等学校 20 余个专业的基础力学实验、材料力学实验等实验课程，年服务学生近 1000 人，年课时超过 800 学时。

负责人一直担任河海大学国家级力学实验教学示范中心、力学与水工程国家级虚拟仿真实验教学中心的常务副主任。近 5 年主持了江苏省高等教育教学改革项目、教育部产学研合作协同育人项目、教育部新工科研究与实践项目（第二负责人）等省部级教学改革项目以及河海大学实验慕课 2 门、各类创新性实验项目、翻转课堂、小型教改项目等 8 项。发表第一作者教学改革论文 6 篇，获 2018 年国家级教学成果二等奖 1 项（排名第 3）、2017 年江苏省教学成果奖一等奖 1 项（排名第 3）、二等奖 1 项（排名第 2）以及 2020 年宝钢优秀教师奖、全国优秀力学教师、首批教育部优秀创新创业导师、江苏省优秀双创导师等荣誉。

负责人近 5 年主持国家自然科学基金面上项目 1 项、重点项目子题 1 项、其他各类工程项目 10 余项，以第一作者或通讯作者发表高水平论文 30 余篇（其中国际 TOP 期刊论文 7 篇），获省部级科技奖励 2 项。

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

“大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验”应用智能传感和测试技术、计算机技术、网络通讯通信和数据处理技术等，模拟对大型桥梁结构主桥线形、斜拉索索力、主塔沉降、主梁应力和主桥振动等力学量的现场测试，并通过对测试结果的分析，进行桥梁结构性能演化和安全评价，为桥梁的运营管理、养护维修、安全和可靠性评估等提供依据。

该实验教学项目以灌河大桥作为开发原型。灌河大桥是江苏省沿海高速（G15）连盐段技术最为复杂的工程项目之一。该大桥的监测系统由项目合作单位**苏交科集团股份有限公司**开发建设，合作单位苏交科为本项目提供了详细准确的结构参数和真实检测监测数据。灌河大桥监测系统所采用的传感器和测试设备主要由项目合作单位**江苏泰斯特电子设备制造有限公司**提供，合作单位江苏泰斯特为本项目所需要的传感器和测试设备模型提供详细准确的技术指标和性能参数。产学研协同建设模式，实现了虚拟仿真实验教学内容与工程实际情况的高度契合。

1、项目建设的必要性和实用性：

（1）该实验教学项目是河海大学工程力学专业新工科建设的重要内容。我国公路桥梁总数已经超过 80 万座，其中 40%的公路桥梁服役已经超过 20 年。为了保障桥梁安全，对桥梁工程进行受力状态的监测检测和安全性能的评估，是工程力学专业面向社会需求人才培养模式改革的一个重要方向。该教学内容是工程力学专业承担的教育部首批新工科研究与探索项目的重要内容之一。

（2）该实验教学项目属于大型综合性实验，依托河海大学力学与水工程国家级虚拟仿真实验教学中心、国家级力学实验教学示范中心，可以为中心承担的多门实验课程提供在线虚拟仿真实验教学服务。项目首先是工程力学专业《实验力学》、《工程安全监测与设计案例研讨》两门专业课程的综合实验教学平台，能覆盖其中约 80%的知识点。同时部分实验环节也可为全校 20 多个专业公共基础课程《基础力学实验》的提高性实验教学提供支撑。

（3）该项目适合开展虚拟仿真实验教学，真实现场实验成本高（一套系统几百上千万）、危险性大（需要大量高空作业、桥下作业）、耗时长（连续监测数年），同时桥梁的破坏性分析，更是不可逆、破坏性的。学生通过实体模型实验只能完成传感器安装和测试、仪器操作等实验基本的教学环节，而模型实验得到的数据无法与实际情况契合，对于后续结构力学分析容易产生教学误区，而虚拟仿真实验特别适合解决以上问题。

2、教学设计的合理性：

(1) **虚实结合的实验设计：**本虚拟仿真实验教学项目配套建设有实体模型实验。以灌河大桥为原型，建成的大型桥梁结构模型实体实验系统，主要用于让学生掌握各种传感器的安装和调试、数据采集和分析等；建成的虚拟仿真实验系统，主要用于测试方案设计、传感器和测试设备选取、测试数据处理分析、结构安全分析等，虚拟仿真实验具有更好的互动性、设计性、探究性，体现了实验课程的高阶性、创新性和挑战度。实体实验与虚拟实验相互配合，各有侧重、各有优势，真正做到了“能实不虚、虚实结合、虚实互补”。



图 1 已建成的实体模型实验



图 2 建设的虚拟仿真实验

(2) 循序渐进的教学过程：本项目围绕大型桥梁结构力学测试与安全分析，按照“基础知识学习→测试方案设计→设备安装调试→桥梁加载测试→数据处理分析”的实验主要模块，共设计了15个实验步骤。实验前期设计有知识的学习和测试，实验后期有数据分析与处理，教学过程循序渐进，科学合理。



图3 虚拟仿真实验的5个模块

(3) 课程思政元素的有机结合：通过实验让同学们感受大型工程项目建设项目给交通出行带来的便利，同时又设置了破坏模式受力分析模块，让同学们体会到工程结构受力监测不到位将带来的巨大灾难后果。在实验过程中，增强同学们的社会责任感、职业使命感。



图4 大型桥梁破坏分析与课程思政元素的有机结合

3、实验系统的先进性：

(1) 教学内容的先进性：该教学内容是对实际工程项目的模拟仿真，所涉及

的检测监测技术、传感器设备都是当前工程应用中较为先进的；实验对象为双塔斜拉桥，结构形式也是当前桥梁工程较为先进的和常用的；结构力学测试结果的分析方法和安全评估理论也具有很好的先进性。

(2) 实现技术的先进性：该项目基于 Unity3D、3D Studio Max、Maya 等先进的开发平台，采用 3D 仿真、HTML5、WebGL 等先进的开发技术，并基于云服务器等先进网络平台，实现了网络访问、云端计算、瘦客户端等优良的系统架构，访问速度快、交互效果好、画面仿真度高。

(3) 建设模式的先进性：该项目采用了产学研协同建设模式，合作单位苏交科集团股份有限公司、江苏泰斯特电子设备制造有限公司参与了项目建设，保证了项目内容与工程实际的高度契合。项目建成后，将为合作单位提供用户培训等服务，实现了产学研合作的共赢。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

学生通过本虚拟仿真实验的学习，可以达到以下教学目标：

- (1) 掌握大型桥梁结构力学检测监测方案设计；
- (2) 掌握各种现代力学测试方法、传感器工作原理及相关仪器设备的使用方法；
- (3) 掌握结构力学测试数据的分析方法；
- (4) 掌握大型桥梁结构安全评估方法。

3-3 实验课时

- (1) 实验所属课程课时：实验力学：64 课时；

工程安全监测与设计案例研讨：32 课时

- (2) 该实验所占课时：2 学时

3-4 实验原理

- (1) 实验原理(限 1000 字以内)

实验原理：

桥梁结构受力状况的检测监测对于桥梁的运营管理、养护维修、安全和可靠性评估等具有重要的意义。本虚拟仿真实验教学项目通过训练学生进行桥梁结构力学检测监测方案的设计，使用各类力学测试传感器和相关仪器设备，进行桥梁结构受力状况的测试，并基于测试结果进行结构安全分析和可靠性评估。实验项目主要的测量内容包括：主桥线形、斜拉索索力、主塔沉降和偏位、主梁应力和主桥振动等。

- 1) 斜拉索索力测量

斜拉桥结构的受力特点是斜拉索对主梁提供弹性支承，将主梁承受的竖向荷载通过拉索轴力传向主塔，主梁的弯矩大大减小，因此主梁从以受弯为主转化为受轴力为主，索力大小将直接影响主梁受力状态。常用的测量传感器有光纤光栅锚索计、振弦式锚索计。

2) 主梁应力测量

结构应力是判断结构安全最直接的指标，结构亚健康状态往往将导致应力超限或应力异常重分布，所以对于应力的异常变化应给予足够的重视，并结合环境、变形等其它监测结果来综合判定结构状态是否处在安全及可控的范围。对于桥梁结构相关构件的应力情况采用专用应变传感器进行监测。

3) 梁端纵向位移测量

灌河大桥为“半漂浮体系”的结合梁斜拉桥，桥面因为车辆及温度等原因会发生一定的纵向位移，因此对桥面的纵向位移也应该进行监测。纵向位移则采用拉线式位移计进行监测，测点布置在主桥两端支座处，安装时将位移传感器的拉绳一端通过支架固定在主梁端部，另一端通过支架固定在桥墩墩顶。

4) 主梁振动测量

通过实时监测主梁在风、交通、地震等作用下的加速度响应，为研究桥梁整体动力特性、验证桥梁设计理论以及日常运营管理提供依据。主梁振动测量一般采用三向加速度传感器和动位移传感器。

5) 塔顶及主梁位移测量

桥梁基础的沉降会给桥梁结构造成多方面不利影响。可采用 GPS 高精度相对定位法、RTK 实时动态测量系统测定主桥塔基及部分基础沉降和水平位移变形。

知识点：共 9 个

1) 桥梁结构力学检测监测方案设计：3 个

- (1) 检测监测项目（工作环境、主桥线形、斜拉索、主塔沉降、主梁受力、主桥振动等）；
- (2) 检测监测内容（温度、风速、拉索应力、拉索振动、主塔位移、主梁应变、主梁应力、梁端纵向位移、主桥振动等）；
- (3) 测试方式（静载实验、动载实验、在线监测）；

2) 力学测试传感器和相关仪器设备：3 个

- (1) 传感器类型及作用（位移传感器、拉力传感器、压力传感器、应变传感器、加速度传感器、温度传感器等）；
- (2) 传感器工作原理（电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、电磁式传感器、磁阻式传感器、光电式传感器、压阻式传感器、热电式传感器等）；

(3) 数据采集系统（静态应变仪、动态数据采集系统等）；

3) 力学测试及结构受力分析：3个

(1) 力学加载方案设计（加载点、大小、静力、动力等）；

(2) 结构受力分析（索力分析、主桥线形分析、主塔沉降分析、主梁应力分析、主桥振动分析等）；

(3) 结构安全评估。

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限500字以内）

1) 桥梁结构的仿真设计

该实验教学项目以灌河大桥作为开发原型，对桥梁主要承力结构进行了仿真设计。桥梁的结构参数等全套资料由合作单位苏交科集团股份有限公司提供，能够准确反映桥梁的真实结构构型和所有结构细节内容。

2) 传感器和测试设备的仿真设计

项目对灌河大桥真实的监测系统所采用的传感器和测试设备进行了仿真设计，合作单位江苏泰斯特为本项目所需要的传感器和测试设备模型提供详细准确的技术指标和性能参数。

3) 测试结果的仿真设计

项目基于现有灌河大桥真实的监测系统所得到的测试结果数据，经过数据识别、滤波、修正，筛选出相对合理真实的数据作为基础，通过数值模拟插值或仿真计算得到实验所需的全部结果数据。

4) 破坏模式的仿真设计

为了提升学生对工程事故的分析能力，项目通过有限元模拟，对3种破坏模式进行了仿真设计，分别模拟了构件老化、严重超载以及极端情况下的破坏形态。

3-5 实验教学过程与实验方法

1、实验教学过程

本实验教学项目坚持“能实不虚、虚实结合、虚实互补”的原则，利用虚拟仿真技术，大力推进实验教学改革，采用沉浸式、自主式、互动式、反思式和团队合作式实验教学方法，致力于培养学生的合作能力、主动学习能力和创新能力，提高学生团队意识和问题意识。

(1) 采用沉浸式教学方法感知实验环境

沉浸式教学方法主要通过立体化三维场景漫游模块实现。在进行正式实验之前，学生可以通过漫游体验虚拟的大桥场景，学生如同“身临其境”沉浸在真实

的情境中，直观形象、立体生动地体验、感知与领略大型桥梁的空间、布局和结构。

(2) 采用自主式教学方法学习相关知识

自主式学习教学法主要通过知识模块实现。学生可以自主漫游实验对象、多角度直观了解传感器三维模型，该教学方法更加注重让学生探索知识的来源，从而引导学生从被动接受知识转变为主动获取知识。

(3) 采用交互式教学方法促进实验能力的提升

采用交互式教学方法，学生需要自己设计测试方案、选取测试传感器以及对结果数据进行分析。在每个实验环节，学生不是简单的观看实验动画，而是不断与系统进行互动。系统会根据学生操作进行不同的信息反馈，产生不同的实验数据。

(4) 采用团队合作式教学方法实现研究性实验教学

本实验教学项目支持由多个同学组队开展研究性实验。如通过研究不同测点数据的差异，分析对结构整体安全性能分析的影响，从而进一步优化测试方案。研究性教学可以使学生在明确的实验目的下，提高实验的主观能动性和创造性，同时又可以加强生生互动，增进学生的团队意识。

(5) 采用反思式教学方法潜移默化开展课程思政教育

反思式教学方法是通过对测试结果来反分析方案设计。如桥梁破坏分析过程中，如果方案设计不到位，就不能够有效对即将发生的破坏进行预警，造成重大灾害。通过反思，不仅可以提高学生对实验方案的分析能力、设计能力，同时可以增强同学们的社会责任感、职业使命感，达到课程思政教育的目的。

2、实验方法

本实验教学项目需要学生综合运用观察分析、自主设计、对比分析、探究分析等实验方法来完成。

(1) 观察分析法

学生在实验场景漫游模块，可以进行三维全场景的自主漫游，从不同视角对桥梁各构件的结构特点进行观察了解。结合观察到结构特点和相关信息，对每个构件的受力模式进行分析，为后面的力学测试方案设计提供准确的基本信息。

(2) 自主设计法

学生在测试方案设计模块，需要根据相关要求，确定测试内容，选择合适的测试传感器，进行合理的测点布置；在加载测试模块，需要根据要求，确定准确的加载方式、合适的加载位置等；这些都是通过学生自主设计来完成的。

(3) 对比分析法

学生设计不同的测试方案，将会得到不同的实验结果。通过对不同测试结果进行对比分析，学生可以判断测试方案的有效性、经济性，并且可以不断改进测试

方案，优化传感器布置。

(4) 探究分析法

学生在桥梁破坏分析模块，需要根据设置的传感器数据，对破坏过程提出预警，分析出导致桥梁破坏的力学原因。这个部分要求学生能够综合运用各种知识，对测试数据进行深入研究，才能准确给出分析结果。

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

(1) 学生交互性操作步骤，共 15 步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	实验场景漫游	0.2 学时	漫游观测到核心构件数 1-3 个给 1 分、4-6 个给 2 分，7 个及以上给 3 分	3	⚙️操作成绩 📄实验报告 ●预习成绩 ●教师评价报告
2	测试传感器及性能指标学习	0.2 学时	自主学习传感器构造和相关指标 1-3 个给 1 分，4-6 个给 5 分，7-9 个给 7 分，10 个及以上给 9 分。	9	
3	实验原理及知识测试	0.2 学时	随机 10 题，答对 1 题给 1 分	10	
4	静载测试方案设计	0.1 学时	准确设置监测项目占比*5 分（进位取整）	5	
5	静载测试传感器布置安装	0.2 学时	准确布置和安装传感器数量占比*10 分（进位取整）	10	
6	静载加载及测试数据采集	0.1 学时	准确设置加载位置 2 分、载荷大小 2 分，准确查阅并保存测试数据 2 分；	6	
7	动载测试方案设计	0.1 学时	准确设置监测项目占比*5 分（进位取整）	5	
8	动载测试传感器布置安装	0.2 学时	准确布置和安装传感器数量占比*10 分（进位取整）	10	
9	动载加载及	0.1 学时	准确设置加载位置	6	



图 6 实验场景自主漫游

步骤 2：传感器设备认识学习（0.2 学时）

要求：通过交互式页面，学习传感器设备基础知识。



图 7 传感器设备知识学习

步骤 3：实验知识测试（0.2 学时）

要求：通过交互式页面，从题库中随机抽取测试题进行考查，要求学生完成 10 道题，进一步了解自己对结构及传感器知识的学习掌握情况。



图 8 结构及传感器相关知识测试

步骤 4：静载测试方案设计（0.1 学时）

要求：通过交互式页面，根据静载测试要求设置合适的监测项目和内容。



图 9 静载实验方式选择



图 10 静载测试监测项目选择

步骤 5：静载测试传感器布置安装（0.2 学时）

要求：通过交互式页面，根据静载测试要求，在结构的工程简图设置传感器的位置和数量。



图 11 静载测试传感器安装

步骤 6：静载加载测试及数据采集（0.1 学时）

要求：通过交互式页面，要求学生了解静载测试内容。通过对加载点位置及加载数量的设置，让学生直观了解静荷载加载过程。完成每次加载条件设置后，查看并保存数据



图 12 静载测试加载实验

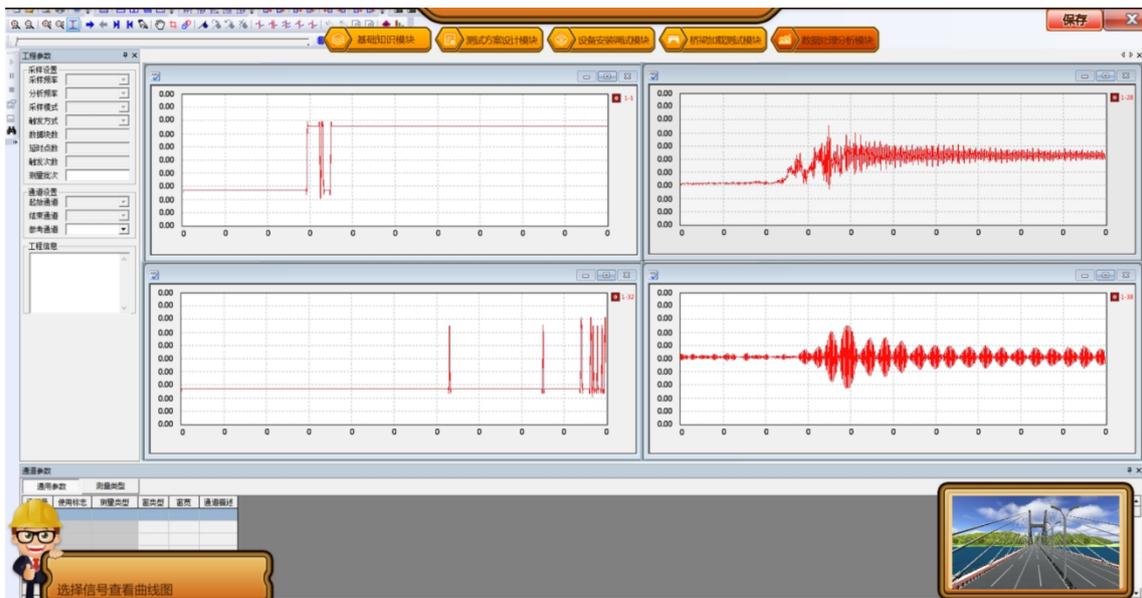


图 13 查看并保存静载测试数据

步骤 7: 动载测试方案设计 (0.1 学时)

要求: 通过交互式页面, 根据静载测试要求选择合适的监测项目和内容。



图 14 动载实验方式选择



图 15 动载测试内容选择

步骤 8: 动载测试传感器布置安装 (0.2 学时)

要求: 通过交互式页面, 根据动载测试要求, 在结构的工程简图设置传感器的位置和数量。



图 16 动载测试传感器安装

步骤 9: 动载测试加载及数据采集 (0.1 学时)

要求: 通过交互式页面, 要求学生了解动载测试内容。通过对行驶速度及跳车点的设置, 让学生直观了解动荷载加载过程。完成每次加载条件设置后, 查看并保存数据。

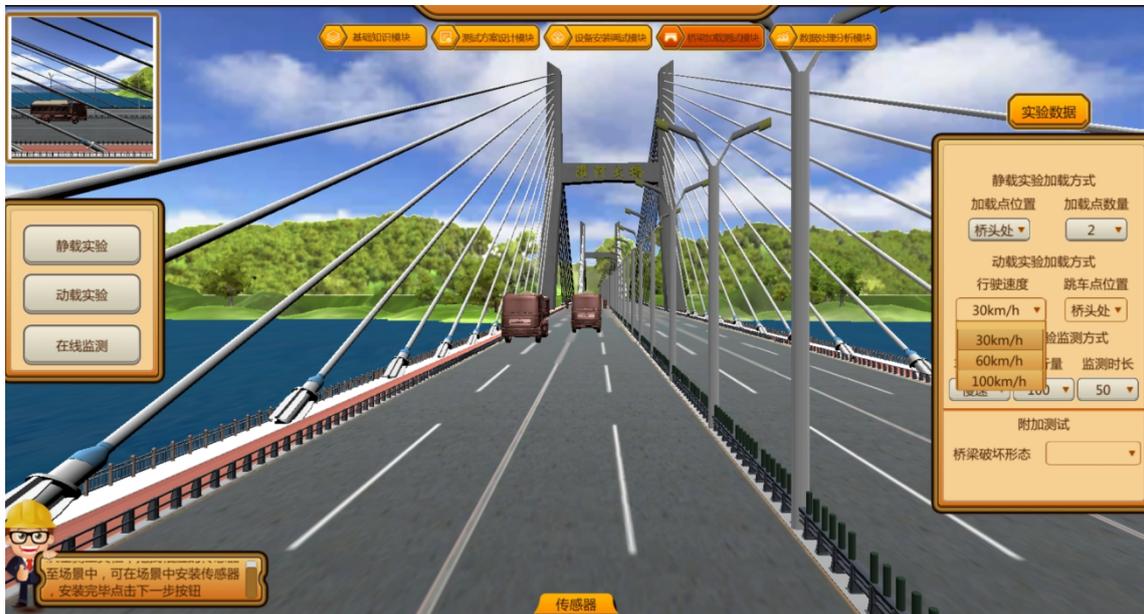


图 17 动载实验加载实验



图 18 查看并保存动载测试数据

步骤 10: 在线监测模式方案设计 (0.1 学时)

要求: 通过交互式页面, 根据在线监测模式测试要求选择合适的监测项目和内容。



图 19 在线监测模式测试方案设计



图 20 在线监测测试内容选择

步骤 11: 在线监测模式测试传感器布置安装 (0.2 学时)

要求: 通过交互式页面, 根据在线监测模式测试要求, 在结构的工程简图设置传感器的位置和数量



图 21 在线监测模式传感器安装

步骤 12: 在线监测模式加载及数据采集 (0.1 学时)

要求: 通过交互式页面, 根据在线监测模式测试要求, 在结构的工程简图设置传感器的位置和数量



图 22 在线监测模式加载实验



图 23 查看并保存在线监测模式数据

步骤 13: 破坏模式测试 (0.2 学时)

要求: 通过交互式页面, 在完成三种基础实验测试后, 选择附加测试, 要求学生了解桥梁结构的破坏形式, 并能够根据结构破坏形式及传感器数据认识结构破坏类型, 查看并保存数据。



图 24 附加破坏模式



图 25 桥梁破坏形态

3-7 实验结果与结论（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

学生的学习测试、方案设计、传感器设置、实验数据采集、数据结果分析及实验报告全部完成，实验正常结束，给出各环节实验成绩，并结合后续完成的实验报告成绩，给出实验综合成绩。

1) 方案设计不同产生的结果不同：学生在方案设计部分，针对不同的测试要求，需要给不同的测试对象设置不同的测试项目。如果设置的测试对象和测试项

目过少，特别是核心构件的力学性能没有进行测试，则无法准确进行结构安全的评估；如果设置的测试对象和测试项目过多，则造成资源浪费，大量的测试数据在结构安全分析的过程中起到的作用不大。

2) 传感器布置不同产生的结果不同：学生在传感器布置安装部分，需要针对不同的测试对象和测试项目，选择合适的传感器，设置安装在合适的位置。不同的传感器布置方式，得到的测试数据也不同，对于结构安全分析也可能产生不同的结果。

3) 不同原因导致的破坏模式不同：学生在破坏模式分析部分，需要针对不同原因导致的破坏模式进行分析预警。如果测试方案设计不够完整或者传感器布置不够准确，可能无法实现准确的预警和破坏事故原因分析。

在学生的实验过程中，通过对方案设计、传感器布置、实验加载、破坏模式等几个环节赋分结果的跟踪，来不断提醒学生进行实验过程的优化。学生也可以在完成实验以后，通过对实验数据的分析来反思实验过程的合理性，也运行学生进行多次实验，不断改进优化实验方案。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

本项目主要适用于工程力学专业以及相关专业的学生。通常安排在本科 3-4 年级学习。

(2) 基本知识和能力要求

进行本项目的实验学习的学生，应掌握了理论力学、材料力学、结构力学、土木工程结构的基础理论知识，并学习了实验力学、现代力学测试技术等专业理论课程，对测试方法、力学分析、结构设计、抗震防灾、桥梁设计有基本的了解。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019年12月23日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校202人，外校31人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：1，具体专业：工程力学，

教学周期：每学期1次，学习人数：80人左右

(4) 是否面向社会提供服务：是 否

(5) 社会开放时间： 年 月 日

(6) 已服务过的社会学习者人数： 人

4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限800字以内）

（1）实验方案设计：

产学协同项目建设增强了学生参与真实工程的实践能力。本项目以灌河大桥为原型进行虚拟仿真实验设计。通过与苏交科集团和江苏泰斯特的合作，为实验提供真实的监测数据和详细的传感器参数和指标，可以为学生提供实际监测过程中的真实问题，让学生能更加贴近真实工程，增强解决工程问题的实践能力。

（2）教学方法创新：

虚实结合大型教学项目提升学生综合实验能力。建设有配套实体模型实验，实体实验注重实验操作和仪器设备的使用，虚拟实验注重力学测试方案、数据处理和结构安全分析。实体实验与虚拟实验相互配合，各有侧重、各有优势，真正做到了“能实不虚、虚实结合、虚实互补”。

课程思政教育的深度融合。在桥梁力学测试方案设计过程中，让同学们感受到严格的技术要求、严谨的工作作风；在桥梁破坏分析过程中，增强同学们的社会责任感、职业使命感，让同学们在实验过程中潜移默化的接受课程思政教育。

（3）评价体系创新：

“重设计、重过程、重分析”的考核原则。围绕知识点考核（课前）、实验过

程考核（课中）、实验报告考核（课后），创新全过程的综合评价体系。

(4) 对传统教学的延伸与拓展：

实验技能培训到工程分析训练的拓展。本虚拟仿真实验教学项目在原有实体实验和模型实验的基础上建设的，让学生从掌握实验原理、测试技术拓展到测试方案设计、传感器和测试设备选取、测试数据处理分析、结构安全分析等。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源：教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件（演示文稿） 其他

(2) 实验指导资源：实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 测试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式：热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 7名提供在线教学服务的团队成员；5名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供4小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

- 1) 基于公有云服务器部署的系统，5M-10M 带宽
- 2) 基于局域网服务器部署的系统，10M-50M 带宽

(2) 说明能够支持的同时在线人数（需提供在线排队提示服务）

支持100个学生同时在线并发访问和请求，如果单个实验被占用，则提示后面进行在线等待，等待前面一个预约实验结束后，进入下一个预约队列。



6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

(1) 计算机操作系统和版本要求

Windows 7 及以上

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无

(3) 支持移动端：是 否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量：M

下载链接：

(3) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

无

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

中央处理器： Intel® Core™ i5-7400-3.0GHz-4 核 4 线程 内存： 8GB 硬盘空间： 100GB 图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 960 显存： 2G 及以上 显示器： 16:9 分辨率 1280*720 及 以上 网络带宽： 10Mbps 操作系统： Windows 7	中央处理器： Intel® Core™ i5-8500-3.0GHz-6 核 6 线程 内存： 16GB 硬盘空间： 500GB 图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 1060 显存： 4G 及以上 显示器： 16:9 分辨率 1920*1080 网络带宽： 50Mbps 操作系统： Windows 10 浏览器： Chrome、Firefox、遨游、猎 豹、360、QQ、搜狗、Edge 等
---	---

(2) 其他计算终端硬件配置要求
无

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求
无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：●无 ○有
如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

(1) 证书编号：32011643007-21001

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明



7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
<p style="text-align: center;">系统架构图及简要说明</p>	<p>大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验项目的开放运行依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台，二者通过数据接口无缝对接，保证用户能够随时随地的通过浏览器访问该项目，并通过平台提供的面向用户的智能指导、自动批改服务功能，尽可能帮助用户实现自主实验，加强实验项目的开放服务能力，提升开放服务效果。</p> <p>开放式虚拟仿真实验教学管理平台以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托，采用面向服务的软件架构进行开发，集实物仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体，是具有良好的自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验教学平台。</p> <p>支撑项目运行的平台及项目运行的架构共分为五层，每一层都为其上层提供服务，直到完成具体虚拟实验教学环境的构建。下面将按照从下至上的顺序分别阐述各层的具体功能。总体架构图如下：</p> <p>(1) 数据层</p> <p>大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验项目涉及到多种类型虚拟实验组件及数据，这里分别设置虚拟实验的基础元件库、实验课程库、典型实验库、标准答案库、规则库、实验数据、用户信息等来实现对相应数据的存放和管理。</p>

	<p>(2) 支撑层</p> <p>支撑层是虚拟仿真实验教学与开放共享平台的核心框架，是实验项目正常开放运行的基础，负责整个基础系统的运行、维护和管理。支撑平台包括以下几个功能子系统：安全管理、服务容器、数据管理、资源管理与监控、域管理、域间信息服务等。</p> <p>(3) 通用服务层</p> <p>通用服务层即开放式虚拟仿真实验教学管理平台，提供虚拟实验教学环境的一些通用支持组件，以使用户能够快速在虚拟实验环境完成虚拟仿真实验。通用服务包括：实验教务管理、实验教学管理、理论知识学习、互动交流、实验结果自动批改、实验报告管理、教学效果评、项目开放与共等，同时提供相应集成接口工具，以便该平台能够方便集成第三方的虚拟实验软件进入统一管理。</p> <p>(4) 仿真层</p> <p>仿真层主要针对该项目进行相应的器材建模、实验场景构建、虚拟仪器开发、提供通用的仿真器，最后为上层提供实验结果数据的格式化输出。</p> <p>(5) 应用层</p> <p>基于底层的的服务，最终大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验项目教学与开放共享。该框架的应用层具有良好的扩展性，实验教师可根据教学需要，利用服务层提供的各种工具和仿真层提供的相应的器材模型，设计各种典型实验实例，最后面向学校开展实验教学应用。</p>	
实验 教学	<p>开发技术</p>	<p>●VR ●AR ●MR ✨3D 仿真 ●二维动画 ✨HTML5 ●其他 <u>WebGL</u> 技术</p>
	<p>开发工具</p>	<p>✨Unity3D ✨3D Studio Max ✨Maya ●ZBrush ●SketchUp ●Adobe Flash ●Unreal Development Kit ●Animate CC ●Blender ●Visual Studio ●其他 <u>Photoshop</u></p>

	运行环境	<p>服务器 CPU <u> 6 </u>核、内存<u> 32 </u>GB、磁盘<u> 100 </u> GB、 显存<u> </u> GB、GPU 型号<u> 无 </u></p> <p>操作系统 <input type="checkbox"/>Windows Server <input checked="" type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本： 数据库 <input type="checkbox"/>Mysql <input checked="" type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle <input checked="" type="checkbox"/>其他</p> <p>备注说明（需要其他硬件设备或服务器数量 多于1台时请说明） 是否支持云渲染： <input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p>
	实验品质（如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等）	<p>单场景模型总面数：900000 面 贴图分辨率：1024*1024 动作反馈时间：1 秒以内 显示刷新率：高于 30Hz (fps) 正常分辨率 1920*1080</p>

8. 实验教学课程持续建设服务计划

（本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数）

（1）课程持续建设

日期	描述
第一年	根据使用反馈，继续优化实验流程和交互过程
第二年	优化软硬件条件,增加网络容量，确保在线使用效果
第三年	根据高校和社会反馈，增加不同类型传感器和采集设备
第四年	根据不同应用场景，增加桥梁故障分析内容
第五年	进一步提高服务器和网络平台硬件设备

其他描述：

(2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	2	200	1	100
第二年	5	500	2	200
第三年	10	1000	3	300
第四年	20	2000	4	600
第五年	30	5000	5	1000

其他描述：(1) 通过项目依托单位河海大学国家级力学实验教学示范中心以及江苏省力学学会向相关高校进行推广应用；(2) 通过项目合作建设单位苏交科集团股份有限公司、江苏泰斯特电子设备制造有限公司以企业客户培训的方式向相关行业进行推广应用。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	大型桥梁结构力学测试与安全分析虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作权人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型
河海大学	<input checked="" type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	独占
软件著作权登记号	软著登字第 5826144 号
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：

2021 年 4 月 15 日

11. 附件材料清单（可以先不提供）

1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

[由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。]

3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）