

# 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：土木工程检测与加固

专业类代码：0810

负责人：徐翔宇

联系电话：13487090958

申报学校：武昌首义学院

填表日期：2021.04

推荐单位：武昌首义学院

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	多自由度体系的地震反应虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是 <input checked="" type="radio"/> 否
实验所属课程 (可填多个)	建筑结构抗震设计、土木工程结构试验、土木工程结构检测与加固		
性质	○独立实验课 <input checked="" type="radio"/> 课程实验		
实验对应专业	土木工程		
实验类型	○基础练习型 <input checked="" type="radio"/> 综合设计型 <input checked="" type="radio"/> 研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	<input 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 ○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)		
实验已开设期次	共 3 次: 1. 2019 年 11 月, 61 人; 2. 2020 年 5 月, 69 人; 3. 2020 年 12 月, 62 人。		
有效链接网址	(要求填写标准 URL 格式的实验入口网页, 不允许仅为文件下载链接)		

## 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	徐翔宇	1981.06	武昌首义学院	实验中心主任	副教授	13487090958	786583@qq.com	方案设计
2	蒋华	1986.06	武昌首义学院	专业负责人	副教授	18963990895	371905781@qq.com	结构分析
3	刘娅婷	1986.02	武昌首义学院	教师	讲师	18995638161	31682379@qq.com	结构建模
4	卫军	1957.06	武昌首义学院	特聘教授	教授	13808659982	495569397@qq.com	技术指导
5	冯仲仁	1962.08	武昌首义学院	院长	教授	19307180589	443466604@qq.com	理论指导
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	胡高茜	1981.06	武昌首义学院	教师	副教授	实验教学		

2	陈捷翎	1995.04	武昌首义学院	教师	讲师	在线教学服务
3	刘山山					技术支持
4	邹思敏	1983.04	武昌首义学院	教师	讲师	实验教学
5	郭怡楠	1990.01	武昌首义学院	实验员	讲师	在线教学服务
6	彭洪翠	1980.10	武昌首义学院	实验员	讲师	在线教学服务
7	段纪成	1962.11	武昌首义学院	教师	副教授	实验教学
8	余小燕	1977.12	武昌首义学院	教师	讲师	实验教学
9	徐珩	1990.02	武昌首义学院	教师	讲师	在线教学服务

团队总人数： 人 其中高校人员数量： 人 企业人员数量： 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）

近 5 年来，《土木工程结构试验》、《建筑抗震设计》、《土木工程结构检测与加固》课程中共开设线下形式的该实验 6 轮，分别由项目负责人徐翔宇和团队成员冯仲仁、卫军、刘娅婷等老师承担实验教学任务，通过 6 轮线下实验发现，受构件制作的周期限制和实验室条件限制，较难达到该实验的教学目标，实验教学效果距离预期还有一定差距。

项目负责人，徐翔宇老师在近 5 年中，积极开展教学研究和学术研究，荣获教学质量二等奖 1 项，并取得成果如下：

[1] 2019.6-2021.04, 基于大学生创新实践能力培养的开放实验室建设研究, 武昌首义学院教学研究项目.

[2] 2018.11-2021.04, 基于装配深化设计的结构 BIM 正向设计实践基地建设探究, 教育部协同育人项目.

[3] 2018.5-2020.05, 基于 BIM 的结构力学实验内容改革研究, 教育部协同育人项目.

[4] 2017.11-2019.12, 基于 RFID 技术的 BIM 装配式构件配送研究, 湖北省教育厅科研计划项目, 排名第一, 负责项目设计、研究.

[6] 2019.01-2020.12, 湖北嘉诚明珠建设项目设计研究, 横向课题 90 万.

[7] 国家发明专利:《一种抗震能力强的建筑装配结构》.

[8] 装配式混凝土预制构件深化设计与问题分析, 混凝土, 2019.

[9] BIM 技术在装配式建筑施工质量管理中的应用研究, 建筑工程技术与设计, 2019(5).

[10] BIM 在 PC 构件深化设计中的应用. 建筑工程技术与设计, 2019 (6) .

[11]土木工程设计与绿色施工的可持续发展研究. 建筑学研究前言, 2019 (10) .

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）

地震是人类社会面临的一种严重的自然灾害。近年来世界上几次大地震使世界各国对结构设计标准、抗震技术、抗震设计方法等方面的认识发生了重大变化，传统的结构设计方法受到挑战，一些新的结构抗震技术和方法得到应用。这一系列的改变，对标到专业教学上的体现主要是《抗震设计》、《土木工程结构试验》、《土木工程结构检测与加固》的教学，这就要求广大在校大学生能够更好的掌握结构抗震相关知识。

##### 1、目前教学存在的问题

《土木工程结构检测与加固》是一门技术性很强的专业核心课程，涉及数学建模、演绎、计算方法、测试技术和数值模拟等多个研究领域，具有鲜明的工程应用背景和前景。绝大多数学生对“土木工程结构检测与加固”这门课有一个共同的感觉：公式多而冗长、计算难而复杂、求解繁琐、涉及面广、不易理解。不少学生反映看书时经常理不清思路、做习题大多无从下手、复习时往往找不到重点，如：教学中涉及的多自由度体系地震反应分析较为抽象，传统的教学方法是通过建立多自由度体系的运动微分方程，运用高等数学理论求解方程，而后通过对结构各层水平地震作用力的计算，运用反弯点法或D值法计算各构件截面内力并进行配筋的方法。对于这种教学方式，学生普遍反应对地震作用认知不够深入、对地震反应理解难度较大，具体表现为：

（1）在应用练习中，因教学条件限制无法获取到实际强震记录，对于各类强震记录的特点没有认识，对于地表振动时程信号通过频谱分析转换为频谱信号没有接触。

（2）地震记录在不同场地、不同震中距、不同周期、不同阻尼结构条件下产生的不同作用效果、规律，理解上比较抽象，特别是结构动力特性响应效果过于抽象。

（3）依据地震记录如何进行设计反应谱的拟合绘制、进行设计反应谱的应用等知识点比较抽象、难懂，学生反应学习较吃力。

（4）结构计算简图的选择，需要力学知识、结构知识、工程实践经验和洞察力，经过科学抽象、实验论证，根据实际受力、变形规律等主要因素，对结构进行合理简化，这对学生是一个较大的挑战。

（5）结构特性分析中的自振频率、阻尼系数、振型等基本参数的特性，由结构形式、质量分布、结构刚度、材料性质、构造联结等因素确定，对学生的学习更是增加了难度。

##### 2、通过虚拟仿真实验解决目前教学难题

上述问题的解决，需要对实际的结构构件进行结构建模、结构分析和结构特性分析，按照理论计算与试验数据比对的原则，通过虚拟仿真技术手段，实现结构缩尺、结构建模、结构分析与结构试验进行对比，最终实现解决以上问题的教学研究目标。

研究结构特性试验，业内最普遍的做法是开设地震模拟振动台实验，但是，地震模拟振动台设备价格高，并不是所有高校都具备采购条件，而且地震模拟振动台实验周期一般较长、费用较高，后期保养维护费用也比较高，并非所有高校都有条件承担，所以地震模拟振动台实验实际开设的可能性较小。

团队针对教学中存在的问题，结合教学大纲相关知识点教学要求，按照“国家虚拟仿真实验教学项目”的文件精神，秉承“能实不虚”的原则，引入地震模拟振动台虚拟仿真实验。希望通过该实验的虚拟仿真设计，在不耗费过大经济条件的前提下实现以下实验目的：

(1) 使学生了解强震记录的表示方法，了解频谱分析方法，明确建筑设计地震分组的特征；

(2) 使学生掌握阻尼比、场地土、震中距对反应谱的影响；

(3) 使学生理解、掌握拟合设计反应谱的方法；

(4) 使学生了解结构缩尺建模、结构动力分析的方法；

(5) 使学生了解振动台构造、实验的原理，熟悉振动台实验的操作，了解模拟地震动实验过程。

(6) 使学生了解结构计算简图选择的方法和重要性，了解工程结构在外荷载作用下的应力、应变和位移等的规律；分析不同形式和不同材料的工程结构，为工程设计提供分析方法和计算公式；确定工程结构承受和传递外力的能力。

使学生在虚拟环境中，不受时间、空间的制约，可以随时随地进入网络进行虚拟操作，最大化利用教学资源。通过在虚拟场景中的操作，实现人机交互的独立操作模式，锻炼学生的操作、判别和分析能力，培养学生的创新实践能力，提高学生理论与实践的衔接能力、知识链的认知能力、客观辩证的认识事物的能力、融合各种知识的能力、接纳新技术的能力和解决问题的能力。

### 3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

知识目标：通过实验教学，使学生进一步掌握缩尺建模相似系数、结构计算简图确定、结构动力特性分析等相关理论知识点，深入掌握抗震设计中场地类型、地震动类型、震中距和结构阻尼比等参数对结构设计的影响和重要性。

能力目标：通过实验教学，建立学生缩尺建模的抗震检测手段和意识，培养学生的结构计算简图确定能力，提升学生的结构检测方案的设计水平，强化学生的抗震设计能力和意识，训练编制结构检测报告的水平和熟练程度。

素质目标：通过实验教学过程相关实验参数的调整 and 变化，考查学生的理论知识掌握能力、锻炼学生的计算能力、引导学生将理论知识转化为工程应用，培养学生的工程素养。

思政目标：通过实验教学，培养学生的爱国情怀，树立结构抗震设计关系着千家万户的安危和国家的发展，认真学习专业知识，运用专业技术和能力报效祖国和人民。

### 3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：32 学时

(2) 该实验所占课时：4 学时

### 3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

该虚拟仿真实验以地震模拟振动台实验为核心，研究多层多自由度体系的自振频率、振型、阻尼等参数，在多遇 7，8，9 度地震作用下结构的地震反应、破坏现象。为达到预期实验目的，结合结构所在场地性质，拟选用三类地震波作为振动台台面输入波形：

第 I 类：根据地震危险性分析得到的人工地震波，分为多遇地震三组。这种波形通过 GSRevit 建模设计提取人工地震波。

第 II 类：天然地震记录，从 PEER（太平洋工程地震研究中心，[http://peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database](http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database)）下载的地震波数据，进行强震记录分析。

第 III 类：拟合规范反应谱的人工地震波。

该实验在地震模拟振动台实验模块之前，设计了结构缩尺建模、结构计算简图选择、结构动力特性分析、结构动载试验方案设计、结构检测报告编制等模块，以上 5 个模块和地震模拟振动台实验模块共 6 个模块构成“多自由度体系的地震反应虚拟仿真实验”（如图 3-1）。通过实验，使学生不仅加深对结构特性、计算计算简图、结构缩尺建模、结构动力分析的方法，和地震波的认识、了解反应谱的拟合绘制方法，进一步掌握地震作用的计算，熟悉振动台结构和地震模拟振动台实验过程，可以提高学生的抗震设计能力。



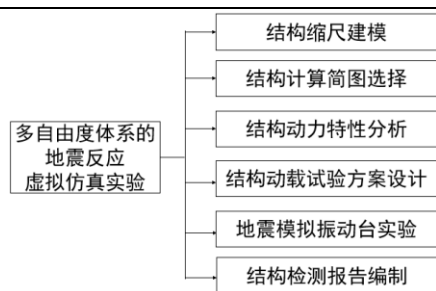


图 3-1 实验设计框架

具体设计思路为：

a. 结构缩尺建模（1 学时）

在设计结构动力模型时，完全满足模型与原型的相似关系十分困难，该试验主要研究地震动下结构的性能，着重考虑抗侧力构件相似关系，使墙、柱、梁、板构件及其节点满足尺寸、配筋（等强度代换）等相似关系（见图 3-2），用设置配重的方法满足质量和活载相似关系；具体相似系数见表 3-1。

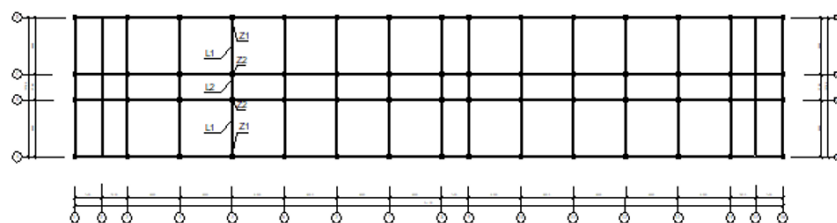


图 3-2 框架结构体系结构平面图

表 3-1 模型相似系数

序号 <sup>↙</sup>	物理量 <sup>↙</sup>	相似系数 <sup>↙</sup>	物理量 <sup>↙</sup>	相似系数 <sup>↙</sup>
1 <sup>↙</sup>	长度 <sup>↙</sup>	1/25 <sup>↙</sup>	应变 <sup>↙</sup>	1 <sup>↙</sup>
2 <sup>↙</sup>	频率 <sup>↙</sup>	11.19 <sup>↙</sup>	质量 <sup>↙</sup>	$6.4 \times 10^{-5}$ <sup>↙</sup>
3 <sup>↙</sup>	密度 <sup>↙</sup>	1 <sup>↙</sup>	位移 <sup>↙</sup>	1/25 <sup>↙</sup>
4 <sup>↙</sup>	弹性模量 <sup>↙</sup>	1/5 <sup>↙</sup>	加速度 <sup>↙</sup>	5.0 <sup>↙</sup>

b. 结构计算简图选择如图 3-3 所示。

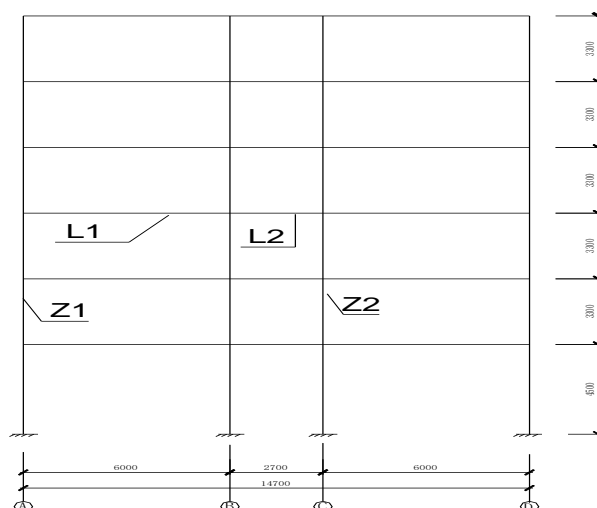


图 3-3 框架结构体系结构计算简图

#### c. 结构动力特性分析（1 课时）

经过 GS 的计算得到固有周期、固有频率、振型参与质量等的数值结果见表 2-2。

表 3-2 结构的自阵周期、频率、运动形态

模态	周期 (s)	频率 (Hz)	运动形态
1	1.0149	0.9853	Y 方向平动
2	0.9768	1.0236	Z 方向转动
3	0.8826	1.133	X 方向平动
4	0.3053	3.2757	Y 方向平动
5	0.2936	3.406	Z 方向转动
6	0.2716	3.6824	X 方向平动

#### d. 结构动载试验方案设计（0.5 学时）

试验用地震波根据原型场地条件、原型结构的动力特性选用 EL-CENTRO 地震记录、PASADENA 地震记录和根据地震危险性分析得到的人工地震波作为模拟地震振动台试验的输入波。应变测点布置共选择 10 个，分别布置在各楼层柱和梁上，加速度测点共 10 个。

#### e. 地震模拟振动台试验（0.5 学时）

①多自由度体系建模设计模块，提供第 I 类地震波。

②强震记录分析模块，提供第 II 类地震波。

③反应谱分析模块，提供第 III 类地震波，加速度反应谱计算结构的地震作用(见图 3-4)，拟合标准反应谱曲线。

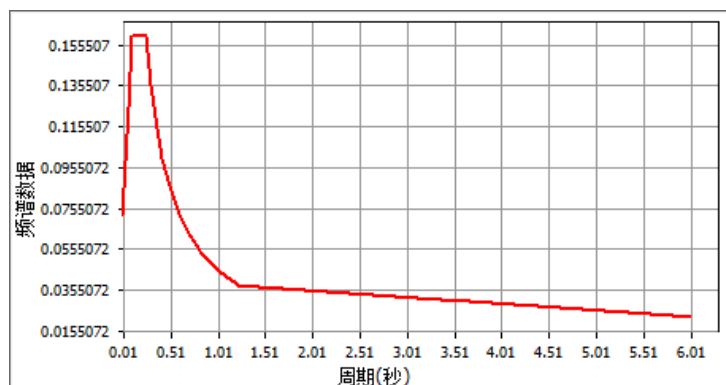


图 3-4 加速度反应谱

④地震模拟振动台实验操作模块，将模块 1 的人工地震波、模块 2 的天然地震记录、模块 3 拟合的规范反应谱的人工地震波作为振动台台面输入程序进行实验。

#### f. 结构检测报告编制（1 学时）

在上面 5 个模块的基础上，进行数据采集和数据处理，将理论和实验数据进行比对，编制结构检测报告。

知识点：共 5 个

1. 缩尺建模
2. 结构动力特性分析
3. 结构动载试验方案设计
4. 地震模拟振动台试验
5. 结构检测报告编制

（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）

通过对结构缩尺建模进行仿真设计，使学生了解缩尺建模相似系数知识点，形成一定的缩尺建模意识；

通过对结构计算简图的仿真设计，使学生初步掌握结构计算简图的确定方法和原则，巩固结构中荷载的传递路径，深入了解结构纵向和横向的之间的空间联系，提升学生的结构设计水平和能力

通过结构动力分析，使学生进一步了解结构动力分析知识，了解由已知结构和动力荷载来计算结构的响应的方法，以确定结构的承载能力和动力特性，为改善结构性能、合理进行设计提供依据的重要性；

通过对结构动载试验方案设计，使学生了解结构检测点的选择依据和基本方法，具备一

定的方案编制基础；

通过对地震模拟振动台实验的模拟，使学生了解抗震设计中场地类型、地震动类型、震中距等参数的变化和地震作用、反应谱曲线之间的关系，以提高学生试验水平；

通过结构检测报告编制实验，给学生展示结构检测报告的形式和内容，让学生了解学习的相关知识点在工程实践中的具体应用，明确学习目标，更好的为工程实际服务。

### 3-5 实验教学过程与实验方法

学生通过观看实验简介视频和实验引导视频，对实验涵盖的知识点和内容进行全面了解，通过学习实验预备知识，做好实验所需知识的储备工作后，系统会提示继续观看储备知识还是开始做实验，学生可以通过选择继续观看储备知识选项进行相关知识点的进一步巩固，也可以选择开始实验选项直接开始实验，在实验过程中按照系统提示进行相关操作，实验完成之后，学生可以进入评测系统查看自己的实验完成情况。

实验方法主要是通过系统与系统交互，填写结构参数和相关实验环境参数，具体表现为场地类型的参数选择、地震动类型的参数选择、震中距的参数选择和结构阻尼比的参数选择，这些参数的变化，与抗震设计的地震作用计算和反应谱的绘制工作相结合，提升学生的抗震设计能力；同时，实验过程中要求学生进行布片位置的确定，考查了学生对结构检测相关知识点的掌握情况，较好的提升了学生的结构检测方案的设计水平和能力。

**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 16 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	按照给定条件填写结构信息、布置构件；布置结构荷载	5 分钟	共填写 5 个参数，每个 2 分	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
2	通过 GSRevit 生成人造波，并对人造波进行谱分析	2 分钟	GS 生产人造波 2 分，谱分析 2 分	4	
3	在预设好的第一组、第二组和第三组地震数据库中分析选择适应指定场地土类型的强震记录。地震动经分析显示功率谱，从频谱图中记录地震动的卓越周期。	3 分钟	场地类型选择 4 分，填写卓越周期 2 分	6	

4	嵌入实验过程小测验 1: 不同地震动的频谱特性比较分析	2 分钟	填写特征值 5 分	5	
5	将不同类型地震动分别输入结构模型进行地震响应数值分析, 在加速度时程曲线中分别记录加速度响应的峰值	3 分钟	选择应记录的峰值, 1 个 2 分	6	
6	绘制反应谱曲线, 将结构自振周期作为横坐标, 将加速度峰值作为纵坐标	5 分钟	坐标参数填写 2 分, 输入个峰值 8 分,	10	
7	调整场地土类型, 重复地震反应分析, 绘制反应谱曲线	2 分钟	改变场地类型 2 分, 点击绘制反应谱曲线 2 分	4	
8	调整震中距改变地震动类型, 重复地震反应分析, 绘制反应谱曲线	2 分钟	输入震中距参数 4 分	4	
9	调整结构阻尼比, 重复进行地震反应分析, 绘制反应谱曲线	2 分钟	调整结构阻尼比 3 分, 绘制反应谱 3 分	6	
10	拟合标准反应谱曲线	2 分钟	拟合标准反应谱曲线 6 分	6	
11	嵌入实验过程小测验 2: 确定结构自振周期 $T$ 、地震影响系数最大值 $\alpha_{max}$ 和特征周期 $T_g$ 等参数, 计算地震影响系数 $\alpha$ , 由 $F = \alpha G$ 计算地震作用	5 分钟	计算地震影响系数 $\alpha$ , 6 分, 计算地震作用 4 分	12	
12	嵌入实验过程小测验 3: 学生在振动台相应位置填写振动台构造名称	2 分钟	填写 3 个部分名称, 1 个 2 分	6	
13	输入多自由度体系的模型尺寸、质量、弹性模量等参数, 确定加速度传感器的布点位置	3 分钟	输入弹性模量 2 分, 确定加速度传感器布点位置 5 分	7	
14	模拟加载, 记录实验数据	3 分钟	选择记录的实验数据 3 个, 1 个 2 分	6	
15	选择地震动输入峰值和方向	2 分钟	选择峰值 2 分, 选择方向 2 分	4	
16	地震动加载并记录实验数据	2 分钟	加载操作 2 分, 选择记录实验数据 2 分	4	

## (2) 交互性步骤详细说明

### 1) 结构缩尺建模

展示。

## 2) 结构计算简图选择

展示。

## 3) 结构动力特性分析

展示。

## 4) 结构动载试验方案设计

展示。

## 5) 地震模拟振动台实验

### ①多自由度结构体系设计模块

第一步：按照给定条件填写结构信息、布置构件；布置结构荷载；

第二步：通过 GSRevit 生成人造波，并对人造波进行谱分析。

### ②强震记录分析模块

第三步：在预设好的第一组、第二组和第三组地震数据库中分析选择适应指定场地土类型的强震记录。地震动经分析显示功率谱，从频谱图中记录地震动的卓越周期。

第四步：嵌入实验过程小测验 1：不同地震动的频谱特性比较分析

### ③反应谱分析模块

第五步：将不同类型地震动分别输入结构模型进行地震响应数值分析，在加速度时程曲线中分别记录加速度响应的峰值

第六步：绘制反应谱曲线，将结构自振周期作为横坐标，将加速度峰值作为纵坐标

第七步：调整场地土类型，重复地震反应分析，绘制反应谱曲线

第八步：调整震中距改变地震动类型，重复地震反应分析，绘制反应谱曲线

第九步：调整结构阻尼比，重复进行地震反应分析，绘制反应谱曲线

第十步：拟合标准反应谱曲线（如图 2-4）

### ④地震模拟振动台实验操作模块

第十一步：嵌入实验过程小测验 2：确定结构自振周期  $T$ 、地震影响系数最大值 和特征周期 等参数，按照图 2-3 计算地震影响系数  $\alpha$ ，由  $F = \alpha G$  计算地震作用

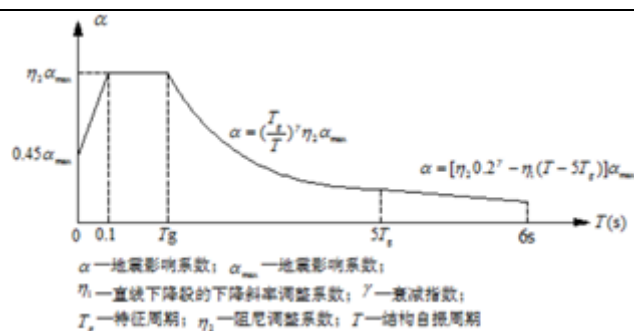


图 2-4 地震影响系数曲线

第十二步：嵌入实验过程小测验 3：学生在振动台相应位置填写振动台构造名称。

第十三步：输入多自由度结构体系的模型尺寸、质量、弹性模量等参数，确定加速度传感器的布点位置

第十四步：模拟加载，记录实验数据

第十五步：选择地震动输入峰值和方向

第十六步：地震动加载并记录实验数据

6) 结构检测报告编制

### 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）

该实验过程中实验条件的变化主要涉及场地类型、地震动类型、震中距和结构阻尼比等 4 个方面的实验条件变化。

学生在实验过程中，通过选择不同的场地类型，实验系统会进行相应周期的调整，并在反应谱曲线中进行体现，同时地震作用值随之调整；

学生在实验过程中，通过选择不同的地震动类型，实验系统会进行相应加速度响应峰值调整，并在反应谱曲线中进行体现；

学生在实验过程中，通过选择不同的震中距，实验系统会进行相应周期调整，并在反应谱曲线中进行体现；

学生在实验过程中，通过选择不同的结构阻尼比，实验系统会进行相应周期调整，并在反应谱曲线中进行体现，同时地震作用值随之调整。

### 3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

土木工程专业，三年级、四年级学生

(2) 基本知识和能力要求

通过该结构缩尺建模模块的实验教学，使学生初步了解结构缩尺建模的基本知识和方法，

具备一定的缩尺建模思维能力；

通过该结构计算简图选择模块的实验教学，使学生掌握结构计算简图确定的基本方法和原则，明确结构计算简图应尽可能反映结构的真实受力情况和尽可能使计算过程简化，以提升学生结构设计的质量和水平；

通过该结构动力特性分析模块的实验教学，使学生了解由已知结构和动力荷载来计算结构的响应的基本方法，通过确定结构的承载能力和动力特性，对改善结构性能、合理进行设计的重要性，提升学生的工程设计水平和能力；

通过该结构动载试验方案设计模块的实验教学，使学生将所学专业知转化为工程应用，通过选择合理的布片位置等方案设计，提升学生的检测方案设计水平和能力；

通过该地震模拟振动台实验模块的实验教学，解决学生对《抗震设计》课程学习中碰到的因实验条件不具备造成的知识点抽象、学习难度大等问题，提升学生的抗震设计知识储备和抗震设计水平和能力；

通过该结构检测报告编制模块的实验教学，解决理论教学和实践环节联系紧密度不足的问题，通过对实验过程中的交互操作，最终形成的框架结构体系检测报告，能够较好的反应在抗震设计中选择不同的设计参数，结构的性能的及时响应，提升学生的工程设计认知和学习动力。

### 3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间： 年 月 日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 人，外校 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：土木工程，

教学周期：8周，学习人数：

(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、实验方案设计思路：

通过结构缩尺建模和 GSRevit 建模，与地震模拟振动台实验相结合，及时的将理论教学内容应用到结构抗震设计中，借助虚拟仿真实验对工程模型进行地震模拟振动台实验，使学生熟悉结构缩尺建模、结构计算简图选择、结构动力特性分析，运用结构动载实验方案设计，将前面模块的最大剪力分析和弯矩分析进行应用，找出结构整体薄弱点进行布置测点，强化对强震记录分析、抗震设计分析、标准反应谱拟合绘制等理论教学中较为抽象的知识点的认识更加形象、具体，对反应谱在结构抗震设计中的应用更加熟练。通过建模设计，让学生将所学理论知识进行实践应用，及时实现了学以致用，明确了学习目标，提高了学习的积极性和创新实践能力。

### 2、教学方法：

通过 6 个模块的虚拟仿真实验和开放实验室的教学模式，将抽象、生涩的理论知识具体化、形象好，提高了学生理论知识学习的兴趣，搭起了理论和实践无缝对接的桥梁。

### 3、评价体系：

通过嵌入实验过程测验和系统对实验过程自动记录，实现虚拟仿真考核评价体系的智能化，并且系统将自动将考评分析结果及时反馈给任课教师和相关负责人，及时调整教学方向和重点，并为后续诸如课程设计、毕业设计等实践环节的设置提供参考和依据，实现实践教学针对性和有效性。

### 4、传统教学的延伸与拓展：

在传统教学模式的基础上，引入虚拟仿真实验这一开放实验的形式，进行虚拟仿真实验项目教学，在保证不额外增加经费、设备、场地、工作量的前提下，实现了理论与实践的无缝对接，增加了传统教学的课后练习和应用环节，开阔了学生视野，提高了学生学习的积极性。

## 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) 名提供在线教学服务的团队成员; 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 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)

(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)

### 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

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

(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）

**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

(2) 其他计算终端硬件配置要求

**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

(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：

(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
系统架构图及简要说明		
实验教学	开发技术	<input checked="" type="checkbox"/> VR <input checked="" type="checkbox"/> AR <input checked="" type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input checked="" type="checkbox"/> 二维动画 <input checked="" type="checkbox"/> HTML5 <input checked="" type="checkbox"/> 其他
	开发工具	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya <input checked="" type="checkbox"/> ZBrush <input checked="" type="checkbox"/> SketchUp <input checked="" type="checkbox"/> Adobe Flash <input checked="" type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input checked="" type="checkbox"/> Animate CC <input checked="" type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input checked="" type="checkbox"/> 其他
	运行环境	<b>服务器</b> CPU 核、内存 GB、磁盘 GB、 显存 GB、GPU 型号 <b>操作系统</b> <input checked="" type="checkbox"/> Windows Server <input checked="" type="checkbox"/> Linux <input checked="" type="checkbox"/> 其他 具体版本： <b>数据库</b> <input checked="" type="checkbox"/> Mysql <input checked="" type="checkbox"/> SQL Server <input checked="" type="checkbox"/> Oracle <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <b>备注说明</b> （需要其他硬件设备或服务器数量 多于 1 台时请说明） <b>是否支持云渲染：</b> <input type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
	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）	

## 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	在现有的架构模式上，结合教学评价效果进行深入优化
第二年	在缩尺建模方面进行更深入的虚拟实验开发
第三年	在结构计算简图确定方面，引入更多的建筑模型，提升学生对确定结构计算简图的熟练掌握程度
第四年	在结构动载试验方案设计方面，引入更多的建筑模型，结合我国建筑行业发
第五年	结合近几年地震频发的实际情况，引入更多的地震波分析模型，与地震作用和反应谱绘制相结合，提升学生的结构设计水平和能力

其他描述：

该实验项目选择的实验对象是框架结构体系，后期将陆续增加更加多样多自由度体系的建模、实验和结构检测内容。加大与长委设计研究院、理工大设计公司等多家单位的产学研合作关系，不断拓展在虚拟实验项目上的合作广度和深度，共同研发新型结构形式，共建教材和实验课程，不断丰富和完善虚拟实验项目资源库。

### (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	60	1	5
第二年	2	60	1	5
第三年	2	60	1	10
第四年	3	90	1	10
第五年	5	150	1	20

其他描述：

#### 2、面向高校的教学推广应用计划：

面向资金紧张、实验条件不足的高校进行该虚拟仿真实验项目的积极推广，扩大该项目的受益面和影响力。通过虚拟仿真实验项目教学形式，培养土木工程专业学生的专业学习兴趣和建模学习兴趣，进一步推动土木工程专业学生的软件应用能力、数据分析能力和软件二次研发能力。

通过对受益对象抗震设计能力的培养，促进区域内结构设计能力的进一步提高，为区域经济发展服务，将地震的危害降到最低。

## 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	
是否与课程名称一致	<input type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
<p>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，可自行增加著作人填写栏进行填报。</p>	
著作权人	著作权人类型
	<input 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	
软件著作登记号	
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）：

年 月 日

## 11. 附件材料清单

### 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。）