

武昌首义学院一流本科课程申报书

课程名称：建筑结构试验

专业类代码：080102

授课教师（课程负责人）：徐翔宇

联系电话：13487090958

申报类型：
☐ 线上一流课程
☐ 线下一流课程
☐ 线上线下混合式一流课程
☒ 虚拟仿真实实践教学一流课程
☐ 社会实践一流课程

申报学院：城市建设学院

填表日期：2020.09.12

武昌首义学院制
二〇一九年十月

填报说明

1. 每门课程根据已开设两学期的实际情况，只能从“线上一流课程”“线下一流课程”“线上线下混合式一流课程”“虚拟仿真实实践教学一流课程”“社会实践一流课程”中选择一类进行申报。

2. 申报课程名称、授课教师（含课程负责人）须与教务系统中已完成的学期一致，并须截图上传教务系统中课程开设信息。

3. 相同授课教师、不同选课编码的同一名称课程，若教学设计和教学实施方案相同，教学效果相近，可以合并申报。

4. 专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2012）》中的代码。没有对应学科专业的课程，填写“0000”。

5. 申报书与附件材料一并按每门课程单独装订成册，一式两份。

一、课程基本信息

(四) 虚拟仿真实实践教学

1. 实验教学项目描述

1-1 名称

多自由度体系的地震反应虚拟仿真实验

1-2 实验目的

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建筑结构试验的教学,这就要求广大在校大学生能够更好的掌握建筑结构试验知识。

1、目前教学存在的问题

“建筑结构试验”是一门技术性很强的专业基础课程,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“建筑结构试验”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结构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:

<p>(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;</p> <p>(2) 使学生掌握阻尼比、场地土、震中距对反应谱的影响;</p> <p>(3) 使学生理解、掌握拟合设计反应谱的方法;</p> <p>(4) 使学生了解结构缩尺建模、结构动力分析的方法;</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>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。</p>
<p>1-3 实验课时</p> <p>(1) 实验所属课程所占课时: 32</p> <p>(2) 该实验项目所占课时: 4</p>
<p>1-4 实验原理(简要阐述实验原理,并说明核心要素的仿真度)</p> <p>1、实验原理</p> <p>该虚拟仿真实验以地震模拟振动台实验为核心,研究多层框架结构的自振频率、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,结合多层框架结构所在场地性质,拟选用三类地震波作为振动台台面输入波形:</p> <p>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) 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。</p> <p>为得到以上三种波形,该实验在地震模拟振动台实验模块之前,设计了多自由度结构体系结构缩尺建模、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“多自由度结构体系的地震反应虚拟仿真实验”(如图 2-1)。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,更可以提高学生的抗震设计能力。</p>

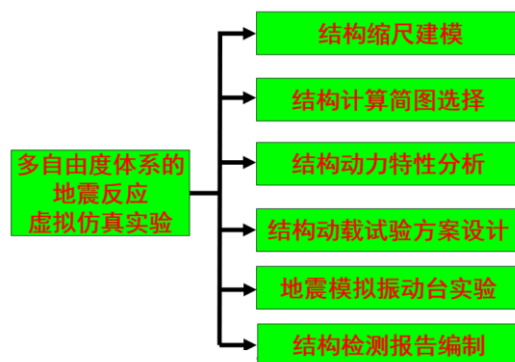


图 2-1 实验设计框架

2、实验设计思路

(1) 结构缩尺建模（1 学时）

结构具体参数见图 2-2，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，故设计时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（按等强度进行代换）等相似关系，用设置配重的方法满足质量和活载相似关系。

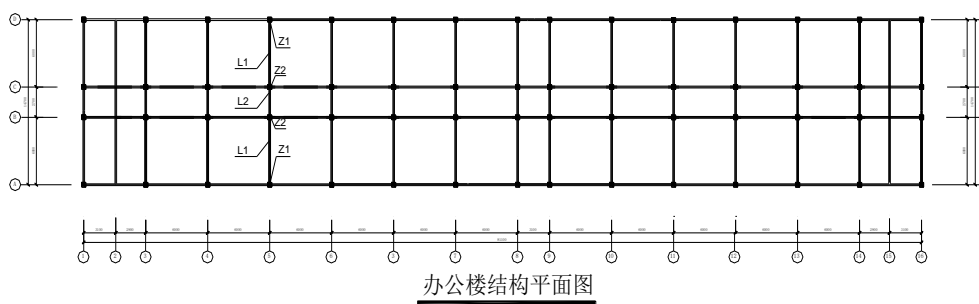


图 2-2 多自由度体系结构平面图

在设计模型各相似关系时，还相应考虑了施工条件、起吊能力和振动台性能参数等方面的因素，具体相似系数见表 2-1。

表 2-1 模型相似系数

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

模型主体采用微粒混凝土和镀锌铁丝制作，柱、梁、板、墙等构件尺寸及配筋由相似关系计算得出。柱中纵向钢筋与箍筋的连接采用锡焊。梁板中配点焊铁丝网或镀锌铁丝。微粒混凝土设计强度等级为 C5.0~C7.5，弹性模量为 6500~7200N/mm²，实测结构见表 2-2。

由于模型比较小，精度要求高，因此对施工有特殊要求。采用了有机玻璃板作为外模，以确保在浇筑微粒混凝土过程中及时发现问题，保证浇筑密实。内模采用泡沫塑料，

这种材料易于拆模，即使局部不能拆除，对模型的刚度和质量影响也很小。将内模制作成一定形状，形成构件所需空间，完成钢筋绑扎后进行浇筑，边浇边振捣密实，每搅拌一次浇筑一层，第二天进行上一层模板、钢筋施工，重复以上步骤，直至模型全部浇筑完成。施工过程中检查构件尺寸、整体垂直度等。完工后的模型总高度为 2.356m，底板厚为 0.300m，模型总重为 6.395t，其中模型重为 2.98t，底板重为 3.415t。

表 2-2 微粒混凝土强度及弹性模量

楼层	f _{cu}		E _c	
	实测	理论	实测	理论
1 层	11.3	12.0	9738	7200
2-4 层	8.71	10.0	7002	6900
5 层-屋顶	6.79	8.0	6593	6500

(2) 结构计算简图选择如图 2-3 所示。

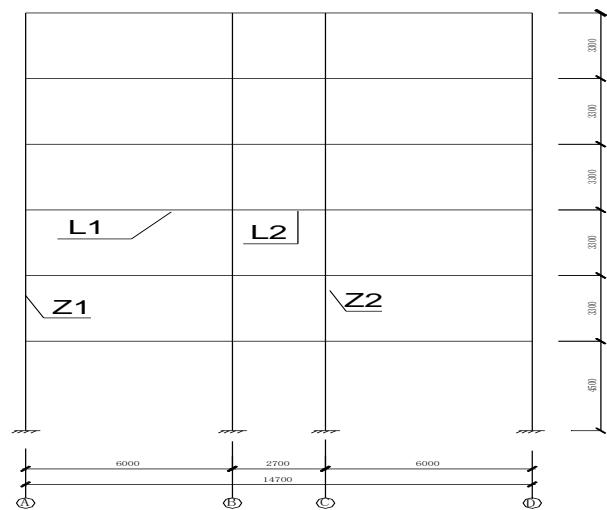


图 2-3 多自由度结构体系结构计算简图

(3) 结构动力特性分析（1 课时）

采用子空间法进行计算求解，求出结构的前 r 阶振型。本工程得经过 MIDAS/GEN 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；X 方向振型参与达到总质量的 95.57%，Y 方向振型参与达到总质量的 94.83%，经过整理取前十阶列表可得到表 2-2。

表 2-2 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

由表 2-2 可知道结构以水平振动为主。第一阶振型为 X 方向的平动，第二阶振型为 Y

方向平动，第三阶振型为绕 Z 轴的转动。以平动为主的第一自振周期为 $T_1=1.0149\text{s}$ ，以扭转为主的第一自振周期为 $T_2=0.9768\text{s}$ ，其比值 $T_2/T_1=0.96$ 满足《高层建筑混凝土结构技术规程》规定的 0.90（A 级高度）的严格限值，可见结构的平面刚度比较均匀。

前三阶模态图形：

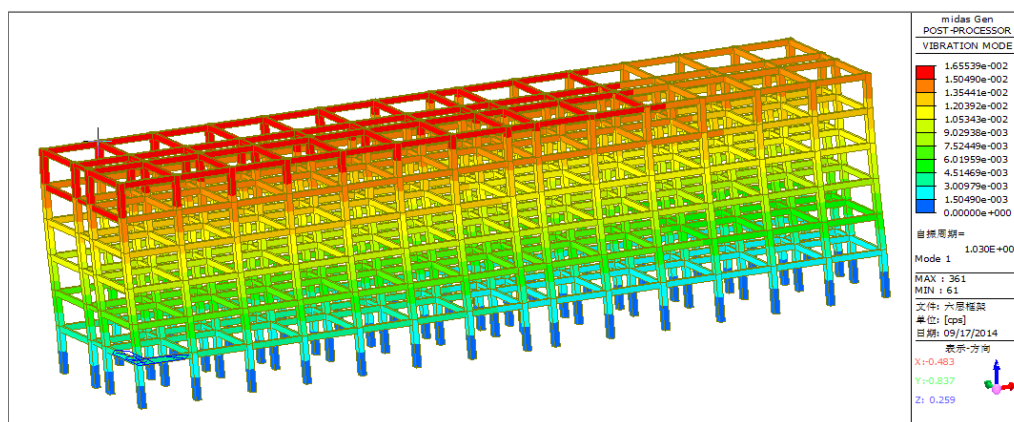


图 2-4 第一阵型图（Y 方向平动）

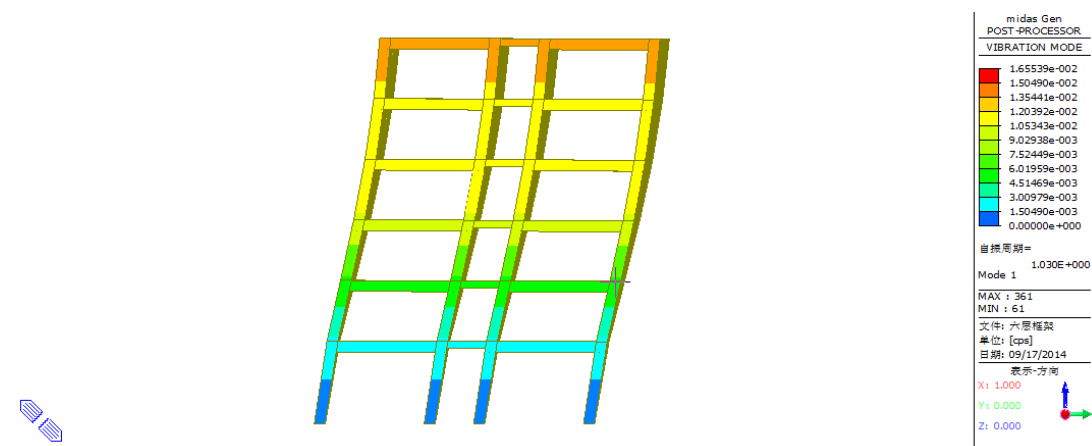


图 2-5 第一阵型图（Y 方向平动，侧面图）

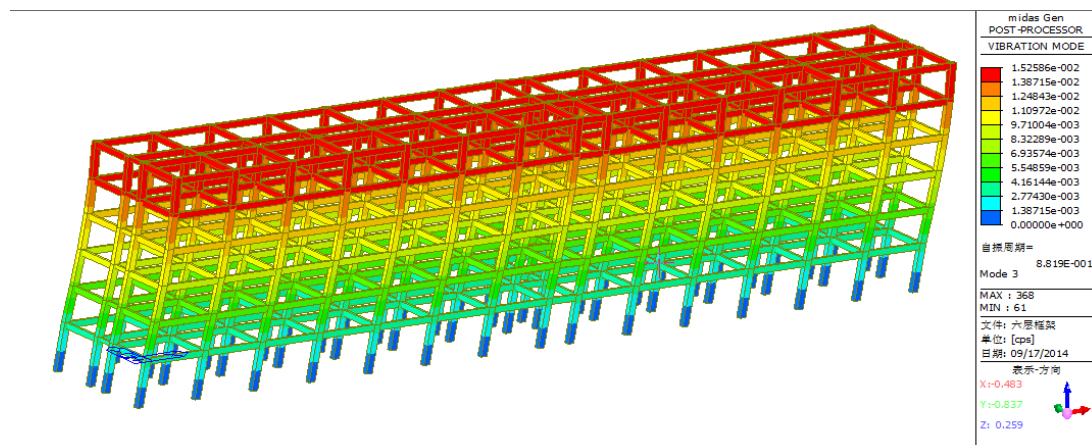


图 2-6 第二阵型图（X 方向平动）

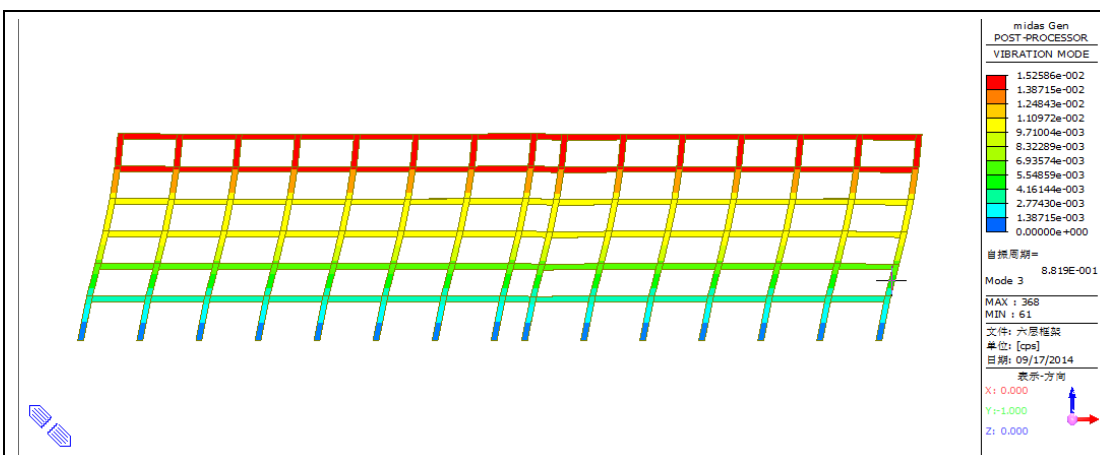


图 2-7 第二阵型图（X 方向平动，侧面图）

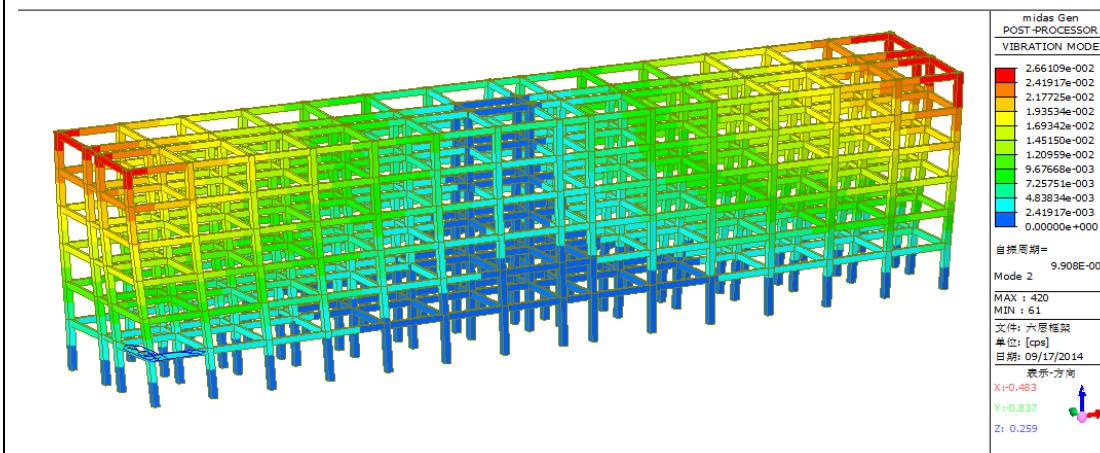


图 2-8 第二阵型图（Z 方向转动）

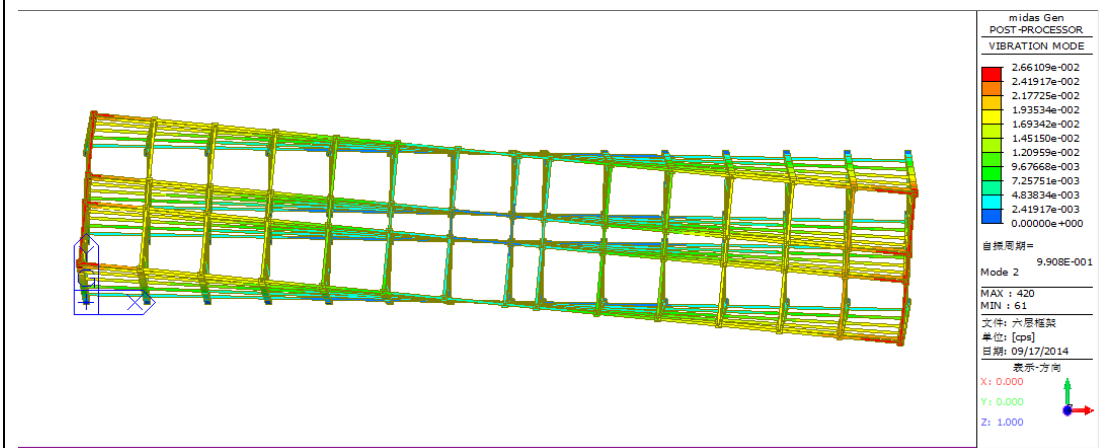


图 2-9 第二阵型图（Y 方向平动，平面图）

由计算结果看出，结构的第一周期为 $0.08\text{N} \sim 0.1\text{N}$ ，即 $0.48 \sim 0.6$ ，而计算结果为 1.01s ，超出了这个经验公式的区间内，在误差范围内属合理的周期值。经计算，结构的前三阶振型如图 2-4~图 2-7 所示。图中的各阶振型是从正视、侧视和俯视这三个角度观察的，以便一目了然。

由前三阶振型图可以看出，该结构的动力特征具有以下特点：

- 1). 第一振型以纵向平动为主
- 2). 第三振型表现为横向平动

3). 第二振型是扭转的振动，这主要是因为该结构纵横方向刚度不同引起的。由前三个振型图可以看出，两个水平方向的振型参与系数不在同一个数量级，即不存在明显的

扭转效应，可见本结构具有良好的抗扭刚度。

(4) 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 30 个，分别布置在各楼层柱和梁上，加速度测点共 20 个。

(5) 地震模拟振动台试验 (0.5 学时)

①多自由度结构体系建模设计模块 (1 学时) 提供第 I 类地震波。用 GSRevit 进行单层框架结构建模，具体尺寸见图 2-2、图 2-3。

②强震记录分析模块 (1 学时) 提供第 II 类地震波。从 PEER (太平洋工程地震研究中心, http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database) 下载的地面振动的时程信号通过频谱分析转化为频谱信号，也就是频谱曲线。

③反应谱分析模块 (1 学时) 提供第 III 类地震波。多自由度体系最大地震反应与体系自振周期的关系曲线称为反应谱，根据反应量的不同，可以分为位移反应谱、速度反应谱和加速度反应谱。由于结构所受的地震作用与质点运动的加速度直接相关，在工程抗震领域，常采用加速度反应谱计算结构的地震作用，如图 2-4。

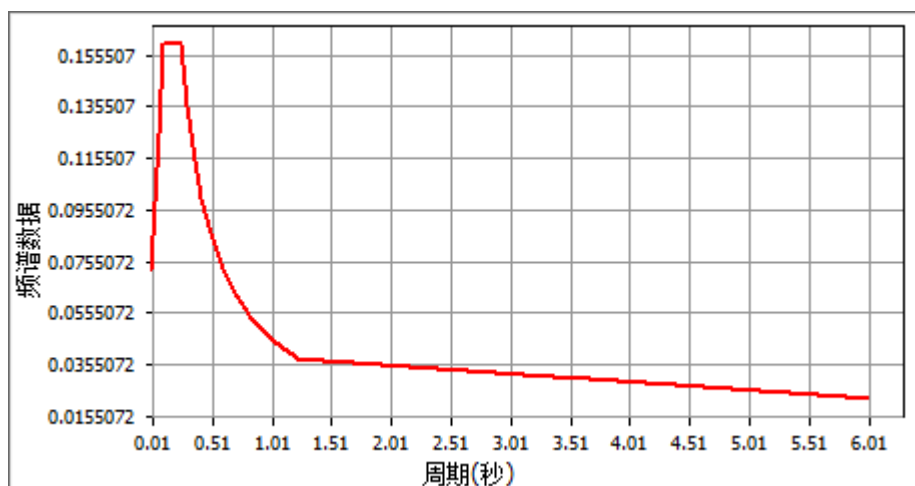


图 2-10 加速度反应谱

由结构的变形图可看出结构的水平侧移随楼层的变化比较均匀，也说明结构刚度均匀，结构的整体变形和位移如图 2-11。

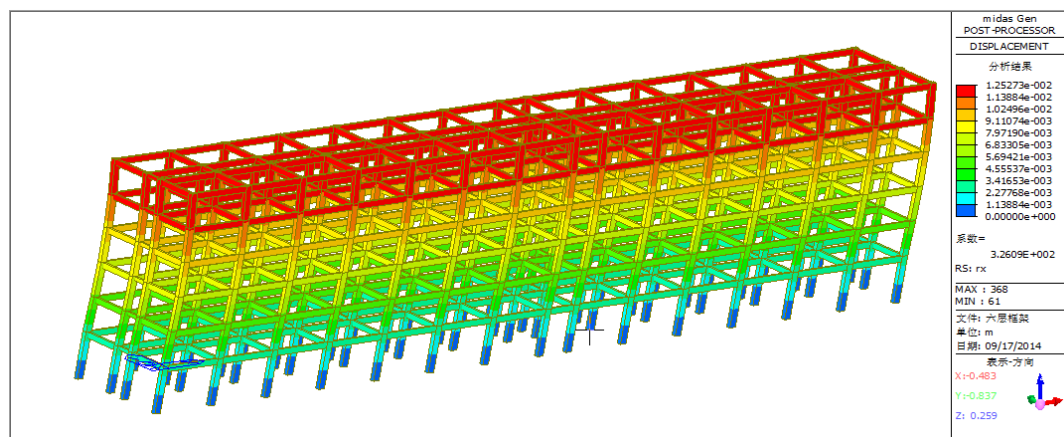


图 2-11 X 一反应谱作用下整体位移

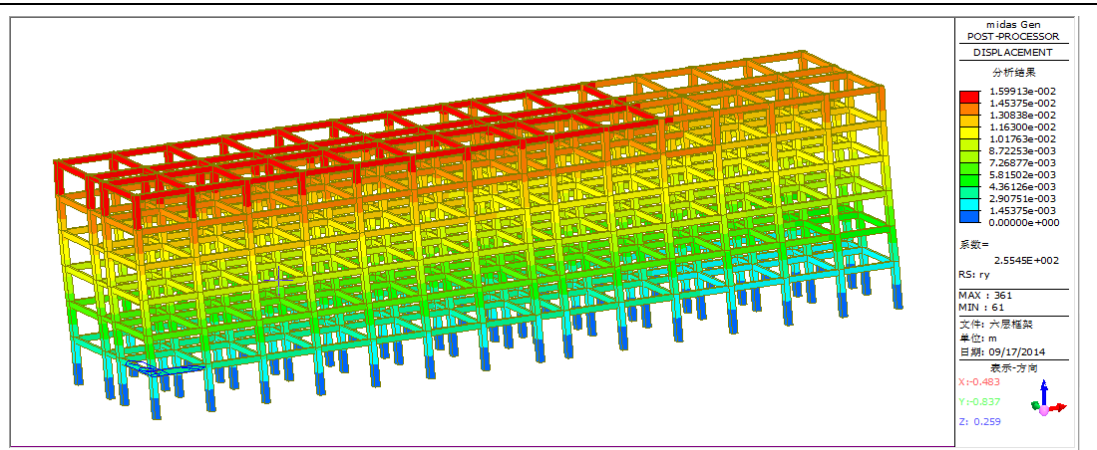


图 2-12 Y 一反应谱作用下整体位移

从图 2-13、图 2-14 中可以看出在 X 向反应谱作用下整个楼层的剪力最大值为 200.7kN，在 Y 向反应谱作用下整个楼层的剪力最大值为 167.9kN，发生的位置在楼层的最底层 1F。通过框架和抗震墙之间的协同工作分析，进行地震内力分配。

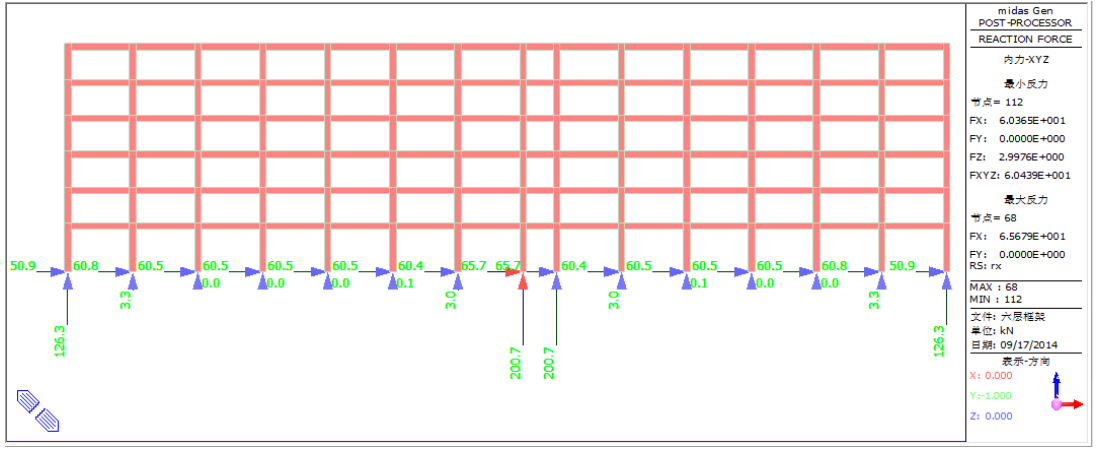


图 2-13 X 向反应谱层一层剪力

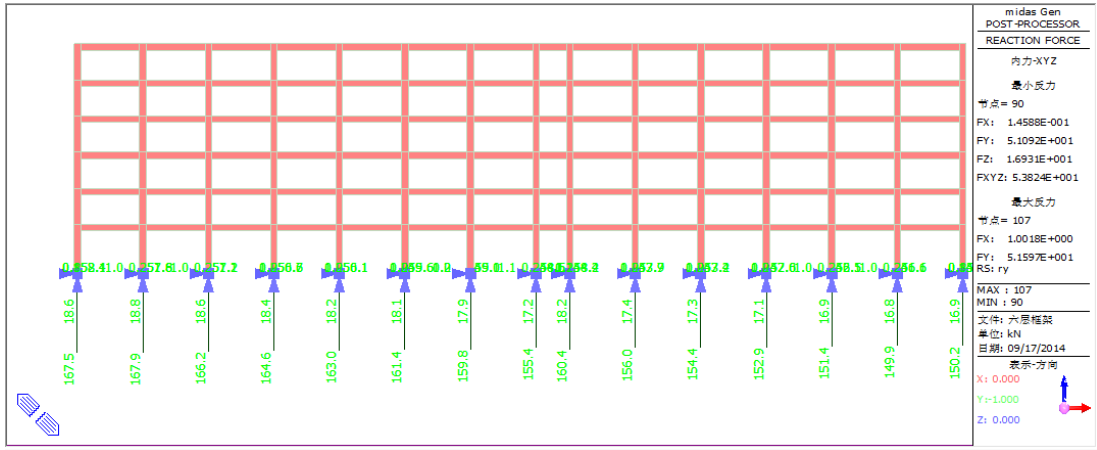


图 2-14 Y 向反应谱层一层剪力

由于地震的随机性和影响地面运动因素的复杂性，即使同一地点不同时间发生地震，产生的地面运动强度和频率谱不会完全相同，地震反应谱也不同，所以为满足结构抗震设计要求，应根据大量强震地面运动加速度记录算出对应的每一条记录的反应谱曲线，按照影响反应谱曲线形状的因素进行分类，然后按照每种分类进行统计分析，求出最具代表性的平均曲线作为设计依据，这种曲线称为标准反应谱曲线。实验中标准反应谱曲线的拟合直接采用软件进行分析。

④地震模拟振动台实验操作模块（1 学时），帮助学生熟悉振动台结构和地震模拟振动台实验过程。将模块 1 得到的人工地震波、模块 2 得到的天然地震记录（取三组）、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。

（6）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

1-5 实验仪器设备（装置或软件等）

根据以上 6 个仿真实验模块，将配备如下软、硬件：

1、结构动力特性分析

通过 MIDAS/GEN 软件，完成结构动力特性建模和分析，进行最大剪力分析、弯矩分析。

2、多自由度结构体系设计模块

通过 GSRevit 软件，完成多跨框架结构模型设计。

3、强震记录分析模块

运用 GSRevit 软件，帮助学生认识适用于不同场地类型的多遇（罕遇）第一组、第二组和第三组地震动；

4、反应谱分析模块

（1）运用 GSRevit 软件进行地震响应计算，输出结构在地震动作用下的响应，帮助学生寻找不同工况下的响应峰值；

（2）运用 GSRevit 软件，帮助学生绘制反应谱曲线；

5、地震模拟振动台实验操作模块

（1）嵌入振动台的设备模拟：包括基坑、台面、作动器、伺服阀控制器与数据采集系统等；

（2）模拟振动台实验操作：台面输入三类地震波完成地震作用下的结构加速度响应测试。

1-6 实验材料（或预设参数等）

1、结构模型准备：

运用 MIDAS/GEN、GSRevit 设计的多跨框架结构模型。

2、结构缩尺建模：

按照相似理论完成缩尺设计、施工。

3、振动台台面输入程序准备：

按照给定场地土性质，选用三类地震波：

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，罕遇地震三组。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）下载的地震波数据。第 III 类：拟合规范反应谱的人工地震波。

4、实验场景设计

按照给定的环境和设计的多自由度体系结构模型，完成实验场景设计，充分体现 3D 效果和沉浸式教学模式，并体现相关试验过程和质量、安全等注意事项。

5、地震模拟振动台实验的准备：

认识振动台主要部件；熟悉结构动力特性和加速度响应的测试等实验方案；熟悉加速度传感器布置情况。

1-7 实验教学方法（举例说明采用的教学方法的使用目的、实施过程与实施效果）

1、使用目的

通过实验帮助学生认识缩尺建模的方法和设计思路、了解结构计算简图选择的方法、结构动力特性的分析流程和方法、结构动载试验方案的设计方法、结构检测报告的编制要求和编制方法，了解适用于不同场地类型的多遇（罕遇）第一组、第二组和第三组地震震动，掌握加速度反应谱的绘制方法，理解阻尼比、场地土、震中距等反应谱的影响因素，理解动力系数 β 、地震影响系数 α 的意义。

2、实施过程

本实验将安排在《建筑结构试验》结构动力学部分进行授课。具体实施过程为：

（1）学生登录虚拟仿真实验界面，查阅课程相关 PPT、电子文档等资源，为实验做好理论准备。

（2）实验理论知识检测：按照实验过程中涉及的知识点要求，设计小测验，学生达到检测要求后方可进行具体实验，不达标将返回上一步骤，继续进行理论知识学习，系统按照学生测验情况生产“错题统计图”，并发送到任课教师邮箱，辅助任课教师及时发现教学“死角”，及时调整教学方向，为理论教学及时提供反馈信息。

（3）通过理论知识测试后，学生进入虚拟仿真实验系统，具体实验流程如下：

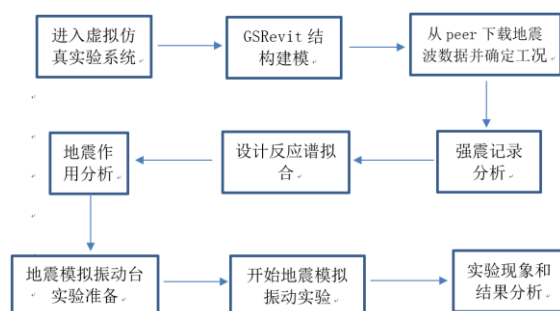


图 2-3 虚拟仿真实验流程

（4）按照学生完成虚拟仿真实验效果，给出涉及知识点实践应用效果评价，将学生实践应用的难点、盲点进行实施反馈，对后期的课程设计、毕业设计等实践教学环节的教学侧重点形成数据支持，进一步提高实践教学质量。

3、实施效果

该虚拟仿真实验教学以网络为载体，将多自由度体系的地震反应实验作为推进完善现有实践教学体系的一环，弥补了众多高校因实验设备昂贵（地震模拟振动台）而无法开设相应实验的缺陷，将理论知识和实践（工程抗震设计）的应用紧密结合，实现了理论教学、实验教学和工程应用的无缝对接，对学生的理论知识学习、应用提供了平台。具体体现：

（1）学生能更加直观地理解和掌握结构缩尺建模、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、地震模拟振动台实验和结构检测报告的编制等相关知识。

（2）通过地震模拟振动实验，使学生对结构抗震设计有了更直接、更具体的了解，在地震动特性分析、反应谱影响因素分析、地震系数和动力系数的分析中，锻炼了学生的数据分析能力，提升了学生的实验能力，强化了学生解决工程问题的能力。

（3）通过结构动力特性分析，使学生的理论知识学习和生产实践应用实现了无缝对接，提高了学生的实践创新能力。

1-8 实验方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

实验方法描述：

在软件的引导下，学生进行交互式的自主研究学习，了解缩尺建模，熟悉结构计算简图选择，理解结构动力特性分析，强化抗震设计知识，利用结构建模提取的人工地震波和强震记录分析，拟合规范反应谱的人工地震波，进行地震模拟振动台实验的虚拟仿真，了解地震波形频谱分析、反应谱绘制、地震作用计算，熟悉振动台的结构和地震模拟振动台实验过程，得出多自由度结构体系在不同的地震波下的地震反应和破坏现象，强化学生对现行结构设计规范的学习以及对结构抗震设计理念的理解。

学生交互性操作步骤说明：

1) 结构缩尺建模（1 学时）

展示。

2) 结构计算简图选择

展示。

3) 结构动力特性分析（1 学时）

展示。

4) 结构动载试验方案设计（1 学时）

展示。

5) 地震模拟振动台实验（4 学时）

①多自由度结构体系设计模块（1 学时）

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（1 学时）

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（1 学时）

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

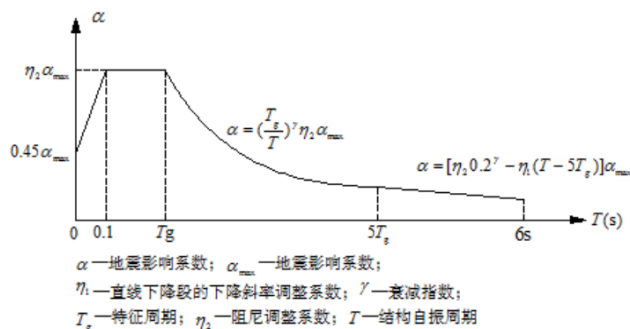
第八步：调整震中距改变地震动类型，重复地震反应分析，绘制反应谱曲线

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（1 学时）

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 α_{max} 和特征周期 T_g 等参数，按照图 2-3 计算地震影响系数 α ，由 $F = \alpha G$ 计算地震作用



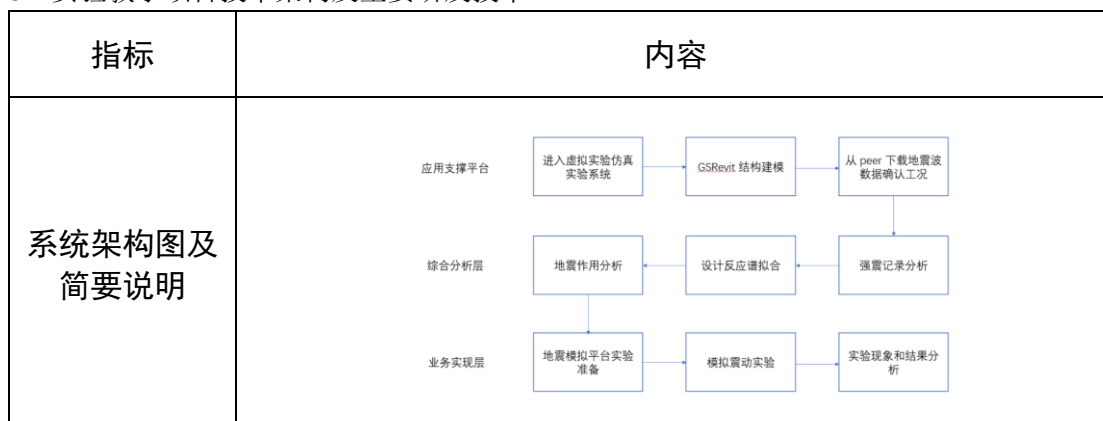
<p style="text-align: center;">图 2-4 地震影响系数曲线</p> <p>第十二步：嵌入实验过程小测验 3：学生在振动台相应位置填写振动台构造名称。</p> <p>第十三步：输入多自由度结构体系的模型尺寸、质量、弹性模量等参数，确定加速度传感器的布点位置</p> <p>第十四步：模拟加载，记录实验数据</p> <p>第十五步：选择地震动输入峰值和方向</p> <p>第十六步：地震动加载并记录实验数据</p> <p>6) 结构检测报告编制 (1 学时)</p>
<p>1-9 实验结果与结论要求</p> <p>(1) 是否记录每步实验结果：<input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p> <p>(2) 实验结果与结论要求：<input checked="" type="checkbox"/>实验报告 <input checked="" type="checkbox"/>心得体会 <input type="checkbox"/>其他</p> <p>(3) 其他描述：</p> <p>a、要求学生通过地震动记录分析，确定场地的卓越周期，确保结构抗震设计中建筑物的自振周期避开场地的卓越周期，避免发生共振现象。</p> <p>b、要求学生通过对反应谱分析，掌握设计反应谱的绘制和应用。</p> <p>要求学生掌握场地、震中距和阻尼比对反应谱的影响。</p> <p>d、要求学生掌握地震作用的计算并独立完成工程抗震设计。</p> <p>e、要求学生掌握振动台的构造，了解振动台的工作原理，熟悉加速度传感器的测点布置、结构自振周期与加速度响应的测定。</p>
<p>1-10 考核要求</p> <p>1、对学生每一步操作的正确性、规范性由软件自动记录、评估、计分，并输出和提交详细的考核记录。</p> <p>2、实验结束，需提交实验分析结果，内容包括：</p> <p>(1) 提取的强震记录时频曲线与频谱曲线。</p> <p>(2) 拟合的设计反应谱曲线并分析其响应要求。</p> <p>(3) 绘制的地震作用曲线并分析地震系数和动力系数。</p> <p>(4) 振动台实验所获结构动力特性与加速度响应结果。</p>
<p>1-11 面向学生要求</p> <p>(1) 专业与年级要求</p> <p>土木工程专业三、四年级本科生、专升本二年级本科生</p> <p>(2) 基本知识和能力要求</p> <p>学生应具有大学物理、工程施工、结构检测、建筑结构试验、结构建模、土木工程实验的专业基础知识储备，掌握 MIDAS/GEN、GSRvit 建模应用。</p>
<p>1-12 实验项目应用及共享情况</p> <p>(1) 本校上线时间：2021 年 5 月</p> <p>(2) 已服务过的本校学生人数：290</p> <p>(3) 是否纳入到教学计划：<input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p> <p>(4) (勾选“是”，请附所属课程教学大纲)</p> <p>(5) 是否面向社会提供服务：<input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p> <p>(6) 社会开放时间：2021 年 12 月</p>

2. 实验教学项目相关网络及安全要求描述

2-1 有效链接网址

2-2 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） 100M
(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） 100 人
2-3 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 Windows7 以上系统
(2) 其他计算终端操作系统和版本要求 无
(3) 支持移动端： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
2-4 用户非操作系统软件配置要求（如浏览器、特定软件等）
(1) 需要特定插件 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 (勾选“是”，请填写) 插件名称 插件容量 下载链接
(2) 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
2-5 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 处理器：i5-4590 及以上，2.0GHz 及以上 内存：4G 或以上 显卡：gtx750 或以上（2G 显存或以上） 硬盘：20G 或以上
(2) 其他计算终端硬件配置要求 无
2-6 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
2-7 网络安全
(1) 项目系统是否完成国家信息安全等级保护 <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 (勾选“是”，请填写) 二 级

3. 实验教学项目技术架构及主要研发技术



		<p>1、应用支撑平台：应用支撑平台主要包括应用开发平台（基础数据管理，报表管理， workflow 管理，表单工具等等）和中间件（应用服务器、消息中间件、Web 服务器）。通过建设应用支撑虚拟实验仿真平台，实现界面集成，应用集成，数据以及流程集成。通过四个集成达到郭伟所有系统集成效果</p> <p>2、综合分析层：由真实数据出发，通过软件模拟实现情景再现，对数据进行采集，优化，进一步完善数据处理工作。</p> <p>3、业务实现层：通过采集好的数据，上传至虚拟实验仿真平台。通过虚拟实验平台，进行模拟地震实验，然后进一步采集数据，获取实验现象以及结果，最终对实验结果进行现象分析，完成实验。</p>
实验 教学 项目	开发技术	<input type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input checked="" type="checkbox"/> 二维动画 <input type="checkbox"/> HTML5 其他_____
	开发工具	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input type="checkbox"/> 3D Studio Max <input type="checkbox"/> Maya <input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> Adobe Flash <input type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input type="checkbox"/> 其他_____
	运行环境	<p>服务器 CPU <u>8</u> 核、内存 <u>16</u> GB、磁盘 <u>500</u> GB、 显存 <u>4</u> GB、GPU 型号_____</p> <p>操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input checked="" type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本_____</p> <p>数据库 <input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle 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） _____</p>
	项目品质	模型面数：12；贴图分辨率：1024*512；每帧渲染次数：2；动作反馈时间：50ms；显示刷新率：60hz；分辨率：1280*720

4. 实验教学项目持续建设服务计划

<p>（本实验教学项目今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数）</p> <p>1、项目持续建设与服务计划：</p> <p>该实验项目选择的实验对象是多自由度体系，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。</p> <p>2、面向高校的教学推广应用计划：</p> <p>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。</p> <p>3、面向社会的推广应用计划：</p> <p>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</p>

区域经济发展服务，将地震的危害降到最低。

5. 知识产权

软件著作权登记情况	
软件著作权登记情况	<input type="checkbox"/> 已登记 <input checked="" type="checkbox"/> 未登记
完成软件著作权登记的，需填写以下内容	
软件名称	
是否与项目名称一致	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
著作权人	
权利范围	
登记号	

二、授课教师（教学团队）

课程团队主要成员 (序号 1 为课程负责人，课程负责人及团队其他主要成员总人数限 5 人之内)								
序号	姓名	学院	出生年月	职务	职称	手机号码	电子邮箱	教学任务
1	徐翔宇	城建	1983.07	实验实训中心主任	副教授	13487090958	786583@qq.com	方案设计
2	刘娅婷	城建	1987.10	无	讲师	18963990895	371905781@qq.com	结构分析
3	胡高茜	城建	1982.05	无	副教授	18995638161	31682379@qq.com	结构建模
4	卫军	城建	1957.06	特聘教授	教授	13808659982	495569397@qq.com	技术指导
5	冯仲仁	城建	1962.08	院长	教授	19307180589	443466604@qq.com	理论指导

授课教师（课程负责人）教学情况（300 字以内）

（教学经历：近 5 年来在承担学校教学任务、开展教学研究、获得教学奖励方面的情况）

近五年来，主要承担《理论力学》、《土木工程施工》、《房屋建筑学》、《建筑结构试验》、《建筑结构检测与加固》、《隧道工程》等 15 门专业课程的讲授，此外参与指导相关专业的生产实习、课程设计、毕业设计等。授课层次包括了专科、专升本、本科、高职等不同层次，土木、道桥、工管、工造等不同专业的学生。在教学研究方面：完成了教育部协同育人教研课题《基于 BIM 的结果力学教学内容试验改革研究》（排 1）和校级教研课题《基于大学生创新实践能力培养的开放实验建设研究》（排 1），并参与教研室多项教研项目，荣获校教学质量二等奖。

三、课程目标（300 字以内）

（结合本校办学定位、学生情况、专业人才培养要求，具体描述学习本课程后应该达到的知识、能力水平。）

《建筑结构试验》是土木类专业必修的基础课程之一。课程具有理论性强、公式繁多、仪器操作难度较大等特点。从“高素质应用型”人才的科学定位出发，在以“学生为中心”的 OBE 理念的指导下，能较好的将学生前期学习到的力学知识、结构设计知识、结构建模知识等专业知识进行综合运用，充分实现学以致用、培养应用型人才的人才培养目标。

四、课程建设及应用情况（1500 字以内）

1、本课程建设发展历程

《建筑结构试验》教学经过了十二年的发展，逐步形成了和谐的教学团队，配备有结构实验室，面向土木工程专业开设实验。在十余年的教学中，历经了多种多样的教学改革，如以 OBE 为目标的教学改革，取得了较好的成效。在全校范围内尝试开展了开放试验教学改革，并成功立项教研项目。

课程教学资料完备：（1）有徐翔宇主编的《建筑结构试验指导》教材；（2）徐翔宇和刘娅婷合编《建筑结构试验》教材即将出版；（3）课题组申报的虚拟仿真项目获得省教育厅立项；（4）进行线上线下混合教学尝试，运用超星学习通平台积累了一系列教学活动的经验。

2、本课程教学与改革要解决的重要问题

教学中碰到的问题有：

课程具有一定难度，原理部分较抽象。

（2）学生学习基础参差不齐，教师在课堂讲解中如何满足更多的学生学习需求。

（3）学生惰于思考、缺乏创新精神，舍得花时间花力气独立自主编制试验方案、认真完成试验的学生偏少。

（4）试验投资过大，短时间内无法通过传统的试验投资完善试验项目。

基于上述问题，拟从以下几个方面解决：

（1）微课片段，针对课程中的难点和作业中的易错点录制适当视频，以反复观看。

（2）运用超星学习平台强大的数据功能，将学生对知识点的掌握情况及时反馈给教师，并及时进行改进。

（3）通过虚拟仿真试验的方式，弥补硬件投资上的不足。

3、课程内容与资源建设及应用情况

本课程教学中以地震反应模拟试验为指导，使学生将所学的力学知识、设计知识、建模知识等专业课程进行综合运用，能够极大的提供学生的专业学习能力和专业素养。

五、课程特色与创新（500 字以内）

（概述本课程的特色及教学改革创新点。）

1、实验方案设计思路：

通过结构缩尺建模和 MIDAS/GEN、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。

六、课程建设计划（500 字以内）

（今后五年课程的持续建设计划、需要进一步解决的问题，改革方向和改进措施等。）

1、项目持续建设与服务计划：

该实验项目选择的实验对象是多自由度体系，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。

3、面向社会的推广应用计划：

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。

七、附件材料清单

1. 教学设计样例说明（必须提供）

（提供一节代表性课程的完整教学设计和教学实施流程说明，尽可能细致地反映出教师的思考和教学设计，在文档中应提供不少于 5 张教学活动的图片。要求教学设计样例应具有较强的可读性，表述清晰流畅。课程负责人签字。）

2. 最近一学期的教学日历（必须提供）

（申报单位盖章。）

3. 最近一学期的测验、考试（考核）及答案（成果等）（必须提供）

（申报单位盖章。）

4. 最近两学期的学生成绩分布统计（必须提供）

（申报单位盖章。）

5. 最近两学期的学生在线学习数据（仅混合式课程必须提供）

（申报单位盖章。）

以上材料均可能在网上公开，请严格审查，确保不违反有关法律及保密规定。

八、课程负责人诚信承诺

本人已认真填写并检查以上材料，保证内容真实有效。

课程负责人（签字）：

年 月 日

九、申报单位教指委或学术委员会课程评价意见

负责人（签字）：

年 月 日

十、申报单位承诺意见

该课程内容及上传的申报材料无危害国家安全、涉密及其他不适宜公开传播的内容，思想导向正确，不存在思想性问题。

该课程团队负责人及成员遵纪守法，无违法违纪行为，不存在师德师风问题、学术不端等问题，五年内未出现过重大教学事故。

本单位对课程有关信息及课程负责人填报的内容进行了核实，保证真实性。经对该课程评审评价，择优申报推荐。

该课程如果被认定为“武昌首义学院一流本科课程”，本单位承诺为课程团队提供政策支持，在学校经费支持的前提下，确保该课程继续建设五年。本单位同意课程建设和改革成果在指定的网站上公开展示和分享。本单位将监督课程教学团队经审核程序后更新资源和数据。

申报单位主管领导签字：

（单位公章）

年 月 日

十一、学校教务处推荐意见

（部门公章）

年 月 日