

2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目申报表

学 校 名 称	浙江大学
实 验 教 学 项 目 名 称	超重力离心模拟虚拟仿真实验
所 属 课 程 名 称	土力学
所 属 专 业 代 码	081001
实 验 教 学 项 目 负 责 人 姓 名	朱斌
有 效 链 接 网 址	http://ccea.zju.rofall.net/virexp/lxj

教育部高等教育司制

二〇一九年七月

填写说明和要求

1. 以 Word 文档格式，如实填写各项。
2. 表格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。
3. 所属专业代码，依据《普通高等学校本科专业目录（2012 年）》填写 6 位代码。
4. 不宜大范围公开或部分群体不宜观看的内容，请特别说明。
5. 表格各栏目可根据内容进行调整。

1.实验教学项目教学服务团队情况

1-1 实验教学项目负责人情况					
姓 名	朱斌	性别	男	出生年月	1977.3
学 历	博士研究生	学位	博士	电 话	0571-88208784
专业技术职务	教授	行政职务	副院长	手 机	13588476578
院 系	建筑工程学院			电子邮箱	binzhu@zju.edu.cn
地 址	浙江大学紫金港校区安中大楼 B316-1			邮 编	310058
<p>教学研究情况：主持的教学研究课题（含课题名称、来源、年限，不超过5项）；作为第一署名人在国内外公开发行的刊物上发表的教学研究论文（含题目、刊物名称、时间，不超过10项）；获得的教学表彰/奖励（不超过5项）。</p> <p>教学研究情况： 主讲本科生核心课程《土力学》和《基础工程》、浙江省研究生精品课程《高等基础工程学》和研究生选修课程《岩土工程灾变与防灾减灾》。</p> <p>教学研究课题： 超重力离心模拟虚拟仿真实验，浙江大学虚拟仿真实验教学培育项目，2019-2020</p> <p>获奖情况： “大土木”教学理念下岩土工程学科复合型创新人才培养与成效（2016GJ001），浙江省高等教育教学成果奖一等奖，2016年，8/11。</p>					
<p>学术研究情况：近五年来承担的学术研究课题（含课题名称、来源、年限、本人所起作用，不超过5项）；在国内外公开发行刊物上发表的学术论文（含题目、刊物名称、署名次序与时间，不超过5项）；获得的学术研究表彰/奖励（含奖项名称、授予单位、署名次序、时间，不超过5项）</p> <p>学术研究课题：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 风机棘轮致密化桩周海床在波浪作用下的液化机理与灾变防控，国家自然科学基金面上项目（51679211），2017.1~2020.12，项目负责人； 2. 考虑河谷地形效应的土石坝坝坡地震稳定性研究，国家自然科学基金重点项目（41630638），2017.1~2021.12，浙江大学负责人； 3. 近海吸力式桶形基础长期循环效应及控制，国家自然科学基金面上项目（51179169），2012.1~2015.12，项目负责人； 4. 海洋岩土介质多场耦合作用及海床设施灾变的超重力试验研究，浙江省基础公益研 					

究计划超重力科学试验专项重大项目 (LCD19E090001), 2019.01-2022.12, 项目负责人;

5. 河网地区大型输电线路吸力式桶形基础关键技术, 浙江省电力公司重大科技项目 (ZB12-043B-020), 2013.1-2014.6, 项目负责人。

学术论文:

1. Kong D. Q., Wen K., **Zhu B.***, Zhu Z. J. Centrifuge modelling of cyclic lateral behaviors of a tetrapod piled jacket foundation for offshore wind turbines in sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. 2019, 145(11): 04019099.

2. Wang L. J., **Zhu B.***, Chen Y. M., Chen R. P. Shi X. S. A precise model for predicting excess pore water pressure of layered soils induced by thermal-mechanical loads. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 2019, 145(1): 04018114.

3. Chen Y. M., Li J. C., Yang C. B., **Zhu B.***, Zhan L. T. Centrifuge modeling of municipal solid waste landfill failures induced by rising water levels. Canadian Geotechnical Journal, 2017, 54: 1739-1751.

4. **Zhu B.***, Zhu Z J, Li T, et al. Field Tests of Offshore Driven Piles Subjected to Lateral Monotonic and Cyclic Loads in Soft Clay. Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering, ASCE, 2017, 143(5): 05017003.

5. **Zhu B.**, Sun Y. X. Yang Y. Y., Chen R. P.*, Guo W. D., Chen Y. M. Experimental and analytical models of laterally loaded rigid monopiles with hardening p-y curves. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, 2015, 141(6): 04015007.

获奖情况:

1. 沿海重大岩土工程超重力试验与安全防控关键技术及应用, 浙江省科技进步一等奖, 2018年, 1/10;

1-2 实验教学项目教学服务团队情况

1-2-1 团队主要成员 (含负责人, 5人以内)

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	朱斌	建筑工程学院	教授	副院长	项目实施规划	总负责
2	林伟岸	建筑工程学院	高级工程师	“十三五”国家重大科技基础设施“超重力离心模拟与实验装置”建设指挥部办公室副主任	项目建设需求指导	在线教学服务
3	叶肖伟	建筑工程学院	教授	国家级土建类虚拟仿真实验教学中心	虚拟仿真构架及项	实施保障

				副主任	目建设指导	
4	赵宇	建筑工程学院	教授	ZJU400 超重力离心模拟与实验基地负责人	超重力离心模拟技术指导	在线教学服务
5	李俊超	建筑工程学院	实验师	无	实验项目开发	在线教学服务
1-2-2 团队其他成员						
序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	周燕国	建筑工程学院	教授	岩土工程研究所所长助理	地震类离心机试验技术指导	在线教学服务
2	秦小亮	北京润尼尔网络科技有限公司	工程师	销售经理	项目协调	技术支持
3	贾龙	北京润尼尔网络科技有限公司	工程师	产品设计经理	实验平台设计	技术支持
4	王喆	北京润尼尔网络科技有限公司	工程师	技术主管	虚拟仿真实验管理平台维护	技术支持
5	王露	北京润尼尔网络科技有限公司	工程师	技术主管	项目质量把控	技术支持
6	孙光明	北京润尼尔网络科技有限公司	软件工程师	技术主管	平台开发	技术支持
项目团队总人数： <u>11</u> （人） 高校人员数量： <u>6</u> （人） 企业人员数量： <u>5</u> （人）						

- 注：1.教学服务团队成员所在单位需如实填写，可与负责人不在同一单位。
2.教学服务团队须有在线教学服务人员和技术支持人员，请在备注中说明。

2.实验教学项目描述

2-1 名称

超重力离心模拟虚拟仿真实验

2-2 实验目的

超重力离心模拟实验是指在超重力环境下开展的各项实验，主要包括两大类：一类基于超重力效应和相似理论研究常重力场中物质大时空运动过程，另一类研究极端超重力场中物质运动新现象和新规律。超重力离心模拟实验是学习土力学和基础工程等课程的重要组成部分。该实验涉及材料制备、模型制作、传感器安装、模型吊装与配重、离心机启动运行、实验数据整理计算和实验报告编写等步骤。整个实验过程十分复杂、实验从准备到获得结果周期长达数月，实验成本高，难以直接用于教学。目前尚无专门针对超重力模拟实验方面的课程，对于超重力模拟手段在科研和教学中的重要性和前景的认识尚不足。

万物都受到重力的作用，物体在地球表面所受的重力场为常重力场，大于它的我们称之为超重力场。超重力离心机通过高速旋转可产生 ng 的超重力场，模拟常重力场具有缩尺和缩时效应，是岩土工程领域研究的“革命性工程工具”。浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室在“211 工程”、“985 工程”及国家自然科学基金仪器专项等资助下，历时 10 年于 2010 年建成了具有国际先进水平的 ZJU-400 超重力离心模拟与实验基地。浙江大学作为法人单位牵头申报的“十三五”国家重大科技基础设施“超重力离心模拟与实验装置”，于 2018 年 1 月经国家发改委批复立项，将建成为国际领先的、面向国内外开放共享的综合超重力多学科实验平台，并将广泛应用于岩土、地质、材料、地震、海洋、地下环境、化工和军工等多个研究领域。

本虚拟仿真实验项目基于 3D 仿真技术结合理论学习、实验实践和虚拟操作,使学生全面掌握离心机构成及原理、超重力离心模拟实验操作流程及实验技巧,使得超重力离心模拟技术在教育教学中得到更为广泛的应用,解决实验成本高、周期长难以直接用于实验教学的难题。与土力学、基础工程等相关课程教学相辅相成,激发学生创新思维,提高学生实践能力。同时,作为“超重力离心模拟与实验装置”国家重大科技基础设施开放共享的重要环节,通过本虚拟仿真项目将超重力离心模拟技术推广到全国各高校本科及研究生教育教学中。

2-3 实验课时

(1) 实验所属课程所占课时: 48

(2) 该实验项目所占课时: 4

2-4 实验原理 (简要阐述实验原理,并说明核心要素的仿真度)

超重力离心模拟的基本原理是将由原型材料按一定比尺制成的模型,置于由离心机生成的高离心力场中,通过加大模型土体或岩体的自重体积力,使模型的应力状态与水平达到与原型相同的应力状态与水平,并显示出于原型相似的变形和破坏过程。半无限地基自重应力的模拟,最能直观地说明超重力离心模拟的相似性。若研究点的深度为 H ,地基土的容重为 γ ,则其自重应力为:

$$(\sigma_z)_p = \gamma H = \rho g H$$

其中 ρ —土的密度;

g —重力加速度。

现以原型材料按 1: n 比尺制作一模型并置于离心力场中,则其相应点的模型自重应力为:

$$(\sigma_z)_m = \rho a H_m = \rho a H / n$$

式中 a —离心模型试验加速度。

若令 $(\sigma_z)_m = (\sigma_z)_p$, 则有

$$a = n g$$

只要使离心模型的试验加速度加大到重力加速度的 n 倍,就可使模型达到

与原型相同的应力水平与状态。

离心模拟的基本点就是模型土体或岩体的自重力被增加 n 倍，因此，不管利用离心模型试验研究何种问题，都应基于这一基本点，利用相似定理，论证和推导出确切的相似关系，以使试验成果有效可靠，且有使用或参考价值。

超重力离心模拟试验主要包括两大类：一类研究极端超重力场中物质运动新现象和新规律，如超重力环境下合金材料的高通量制备；另一类基于超重力效应和相似理论研究常重力场中多相介质物质大时空运动过程。

超重力离心模拟试验的实施过程主要包括 3 个环节：（1）模型设计；（2）模型制作；（3）模型试验。模型设计主要包括研究分析工程资料、模型率和模型范围的确定、建筑材料模拟、工程施工或运行历时的模拟以及观测仪器布设等。模型制作包括模型材料制备、制模操作以及观测仪器的安装与埋设等内容。制模操作主要有 3 个方面内容，即地基制备、模型土料填筑和模型细部构件装配。模型试验包括模型吊装与配重、离心机启动运行、试验数据整理、试验报告编写。

知识点：共 8 个

（1）相似三定理

土工离心模拟仍属物理模拟，故它也必然要服从物理现象相似的三定理。

定理一：两系统中的物理现象相似，必须服从一定的相似准则，使其相似数等于 1。

例如，对于模型与原型的速度系统，若定义其相似常数 $C_v=v_p/v_m$ ， $C_l=l_p/l_m$ ， $C_t=t_p/t_m$ ，则其相似数为：

$$C=C_v C_l / C_t = 1$$

相似第一定理又可表述为：两现象相似其相似模数相等。对于原型与模型的速度系统，其相似模数 K 可表示为：

$$K=v_p t_p / l_p = v_m t_m / l_m = \text{不变量}$$

相似第一定理是关于相似准则存在的定理，它是牛顿在他的《哲学原理》一书中首先提出，而后由法国科学家别尔特兰进一步肯定。

定理二：在相似现象中，相似模数必须相等，且由这些相似模数组成的综

合方程也必须相等。

相似第二定理就是 π 定理，它肯定了由决定现象物理量的关系式转换为相似模数综合方程的可能性。这个定理是通过费杰尔曼和八京汉等人的努力而得到解决的，但其一般结论是 1949 年由卡纳克夫所完成的。

定理三：相似现象的充分条件是由它们的单值条件组成的单值量相似模数都相等。

所谓单值条件即所解决问题的定解条件，如研究变形场和渗流场的初始条件和边界条件。所谓单值量即单值条件上给定的物理量，如渗流场边界条件给定的流量、水头值或其随坐标变化的函数。

(2) 超重力场的概念与模拟

万物都受到重力的作用，物体在地球上所受的重力场为常重力场，大于它的我们称之为超重力场。超重力离心机是通过高速旋转产生 n 倍于常重力场强度的离心加速度，以物质承受的离心惯性力模拟超重力的装置。超重力离心机产生的离心力具有超重力的二个基本特征，即都是体积力，且都与质量密度成正比。但是地球等星球的重力场与场中物质是否存在或处于何种运动状态无关，而离心机产生的离心力基于物质随转臂和实验舱同步转动这一前提。超重力离心机的服役能力取决于三个重要指标：最大离心加速度（单位： g ）、最大负载（单位： t ）和容量（单位： $g \times t$ ）。

(3) 超重力效应

超重力场增大了多相介质体积力和相间相对运动驱动力，具有强化不同相物质相间分离的效应。利用超重力场模拟常重力场中多相介质物质运动过程具有三大效应：（1）缩尺效应：模型缩尺 $1/n$ ，应力水平与原型相等；（2）缩时效应：缩尺模型中，流速与压力（差）梯度成正比的多相介质，其孔隙流体运移时间缩短为原型的 $1/n^2$ ；（3）能量强化效应：缩尺模型中爆炸、冲击等作用产生的效应与 n^3 倍能量在原型中产生的效应相当。以上三个效应构成了常重力场中大时空尺度物质运动过程的超重力缩尺模拟的理论基础。

(4) 超重力离心模拟实验设计原理

模型设计主要包括研究分析工程资料、模型率和模型范围的确定、建筑材

料模拟、工程施工或运行历时的模拟以及观测仪器布设等。所谓工程资料，包括建筑区的工程地质与水文地质资料和工程建筑物设计资料，它们是模型设计的基本依据。只有熟知和掌握这些工程资料，方可通过某种模化或简化，设计出简约而不失真、事半功倍的实验模型。由于一般土工离心机的实验空间和载荷容量均有限，故模型率和模型范围的确定是个逐步试算和优化过程，其目的是使土工离心机有限的实验空间和载荷容量发挥最大的作用。根据土工离心模型实验的基本原理，模型材料应采用原型材料。若因某种原因不能采用原型材料，也可采用代用材料，但必须服从变形等效原则。对于模型代用材料问题，尤其对于粗拉土代用料问题，虽提出了有关处理方法，但仍需进步研究改善，使其具有更好的相似性。土工离心模型实验可以模拟时维的变化，即工程施工或运行的历时过程，但时间相似常数并不统一，因此，当进行此种实验时，应首先对所研究的问题，基于离心模拟基本原理推定时维相似关系。土工离心模型的观测较普通模型困难得多，不仅要求传感器能在高重力场作用下正常工作，而且传输信道技术也相当复杂，不易确保信息传输质量，故其观测仪器布设以少而精为原则。

(5) 模型率和模型范围确定

超重力模拟实验的模型率 n 可按下式确定：

$$n = H_p / H_m$$

约束条件

$$H_m \leq \delta_a R_b$$

$$A = ng \leq a_{\max}$$

$$C = aM_m \leq C_{\max}$$

式中：

H_p ：原型的高度；

H_m ：模型的高度；

δ_a ：离心模拟允许的梯度误差，对于岩土工程，可在 10%-15% 之间取值；

R_b ：离心模型底版至离心机旋转中心的距离；

a ：离心模型试验加速度；

a_{\max} : 离心机运行允许的最大加速度;

C : 离心模型荷载容量;

M_m : 离心模型的质量;

C_{\max} : 离心机允许的最大有效荷载容量。

确定模型率是一个试算过程,即根据已知的 δ_a 和 R_b 值初步确定模型高度 H_m , 并求得 n 值, 然后计算离心模型试验加速度 $a=ng$ 和荷载容量 $C=aM_m$ 值。若算得的 a 和 C 值满足约束条件, 模型率 n 值即被确定, 否则, 应重新拟定 H_m 值, 按上述步骤进行计算。一般来说, 在满足约束条件的情况下, 模型率 n 值应尽可能小, 即采用较大比尺的离心模型, 这样可使模型变形信号有所加强, 有利于提高离心模型试验的精度。

(6) 实验材料的相似性

对于粘性土, 采用原型土料即可, 只要其干密度和含水量同原型保持一致就可基本满足相似关系要求。对于无粘性土, 能否采用原型土料制作模型, 应首先进行模型箱最小尺寸与土料粒径比尺效应的判别。所谓模型箱最小尺寸与土料粒径比尺效应, 系指两者的比例关系对模型土体变形的影响。根据现有试验研究成果, 当模型箱最小尺寸与土料特征粒径满足如下关系时, 可基本消除模型箱边界对试验成果的影响: .

$$B_{\min}/d_{\max} > 13$$

$$B_{\min}/d_{50} > 60$$

式中 B_{\min} : 模型箱最小尺寸

d_{\max} : 模型土料的最大粒径

d_{50} : 模型土料的平均粒径

若经判别, 原型土料不满足上述条件, 则需对其超粒径颗粒部分给予适当处理, 重新配制模型试验土料, 目前常用的对超粒径颗粒的处理方法有剔除法、等量替代法、相似级配法、改进方法。

(7) 模型试验配重计算

由于离心机属高速旋转的飞行器一类设备, 故其动平衡问题是确保离心机安全运行的关键之关键。为此, 必须精确计算模型总重力重心, 精确配重, 使

离心机两端满足动平衡条件，即两端转动总重力相等，且总重力作用线的偏心距为零。

(8) 超重力模拟实验的种类及实验结束判定

超重力模拟实验可划分为三种类型，即历时模型试验、破坏性试验和非破坏性试验。

①历时模型实验。这类模型实验通常具有明确的时间相似关系，需了解模型物理量随时间的变化过程。例如，饱和黏性土或淤泥地基上堤坝填筑问题，需根据地基土中孔隙水压力随时间的增长和消散来确定填筑施工的速度和程序。再如，孔隙介质中溶质运移渗流问题，需要了解溶质质随时间的扩散范围以及对地下水的影响程度。对这类模型实验，必须严格按原设定的试验历时长度进行试验和结束实验，提前或延迟都是不允许的。

②破坏性实验。在原型受力状态下，能直观观察模型破坏的全过程，是超重力模拟实验的一大特点和优势。对这类模型实验一般要了解模型破坏的全过程，一旦发现模型发生破坏，则必须待其破坏状态不随时间变化时方可结束实验，不可中途停机。模型土体的破坏过程由布设的观测设备予以跟踪和记录，而模型中混凝土或其他材料部件的破坏可由其上所贴应变片的变形状态来判定。当部件上所发生的断裂穿过应变片中间时，其应变值突然增大，甚至被拉断。当部件断裂发生在应变片附近时，其应变值向相反方向突变，甚至回零，这对该应变片来说，犹如应力释放。

③非破坏性实验。这类模型实验通常要求得模型土体变形稳定的最后结果，其稳定判定标准为模型变形不再随时间变化，即 $d\sigma/dt=0$ 。这对于堆石体、砂砾石和砂性土壤模型，在较短试验时间内就可达到该稳定标准，但对于饱和蒙古土或淤泥地基来说，要达到稳定标准 $d\sigma/dt=0$ ，则可能需要很长的试验时间。而离心模型试验系高风险实验，往往不允许任意延长离心机的运行时间。对于这种情况，建议根据当前模型沉降值，利用经验方法估算其最终沉降值，若当前观测值与最终沉降值之差在允许范围内，即可结束试验。但试验报告中应说明该试验值所相应的原型时间长度。

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

实验仪器设备主要有 ZJU400 土工离心机、机载振动台、刚性/柔性模型箱、加速度计、孔压计、高清数码相机、传感器固定架、配重块与行车等。



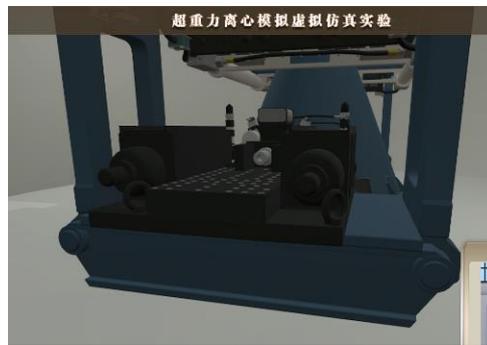
ZJU400 土工离心机



ZJU400 土工离心机（虚拟）



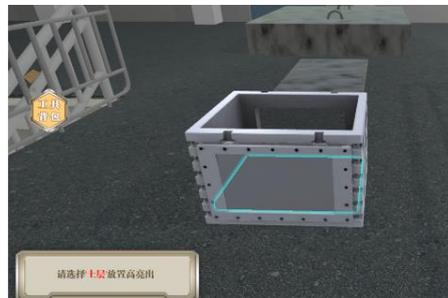
机载振动台



机载振动台（虚拟）



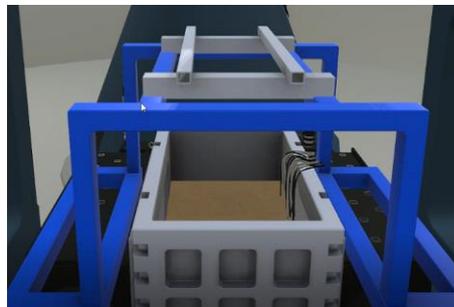
模型箱



模型箱（虚拟）



传感器固定支架



传感器固定支架（虚拟）



行车



行车（虚拟）



加速度计



加速度计（虚拟）



孔压计



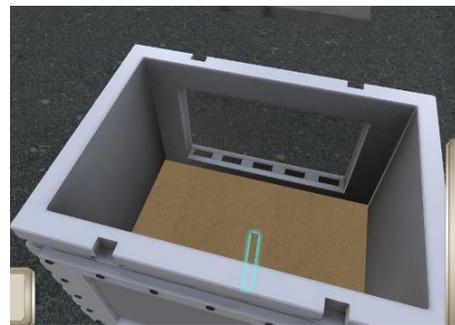
孔压计（虚拟）

2-6 实验材料（或预设参数等）

模型土料（包括砂土、软黏土等）、预制模型构件（如管道、桩模型等）、硅油等



实验土料



实验土料（虚拟）



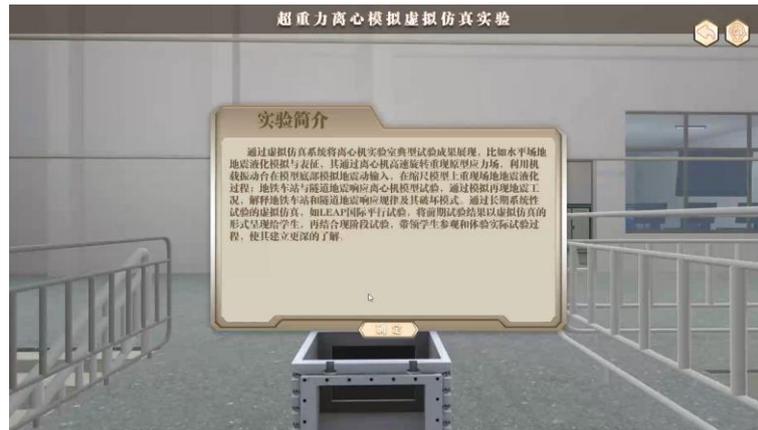
预制模型构件



预制模型构件（虚拟）

2-7 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）

本项目通过**案例式、讨论式**的教学方法，使学生（1）建立超重力模拟的基本概念，掌握离心机基本结构及相似原理；（2）掌握离心机模拟实验的基本流程，以及模型制作、上机实验等关键步骤的操作技巧；（3）通过经典实验的重演，掌握历时模型实验、破坏性实验和非破坏性实验等各种超重力模拟实验的模拟方法。



实验简介

本实验系统包含多个实验，具有**可拓展性**，每个实验包含几方面内容：（1）模型设计，基于对研究问题的认识和实验条件确定模型率和模型范围、选择合适的模型材料；（2）模型制备，包括如挡土墙、地下埋管等模型材料的制备，模型地基制备、模型土料填筑和细部构件装配以及传感器的安装与埋设。（3）模型试验，包括模型吊装与配重、离心机启动运行、试验数据整理及报告编写等。

首先，开展实验原理及方案教学与讨论，以“水平含管道液化场地离心机试验”为例，让学生掌握实验相关物理量的相似原理，学会如何将原型场地根据相似关系转换为模型场地，从而确定模型的尺寸等，同时对整个实验流程有初步的认识，学生将以**5-8人小组**的形式自主讨论制定模拟试验方案，并与老师充分论证方案的合理性和可行性；

其次，开展虚拟实验教学与实操，基于实验系统平台的模拟操作模块，结合线上讨论、线下交流，让学生对从模型制备（包括浇砂、传感器埋设等）、模型箱固定与配重、数采系统参数设置、离心机启动运行、地震荷载施加到实验报告整理整个实验过程进行多次演练，**实验操作过程具有报错和提示功能**，能够引导学生自主完成实验操作并提示纠正操作错误，促进学生掌握实验基本流程和相关技术难点；

再次，开展的模拟考核，通过实验系统平台的考核模块，对该实验进行模



实验过程纠错提示

2-8 实验方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

(1) 实验方法描述：

1. 学生通过账号密码进入系统,以“水平含管道液化场地离心机试验”为例,选择进入实验。

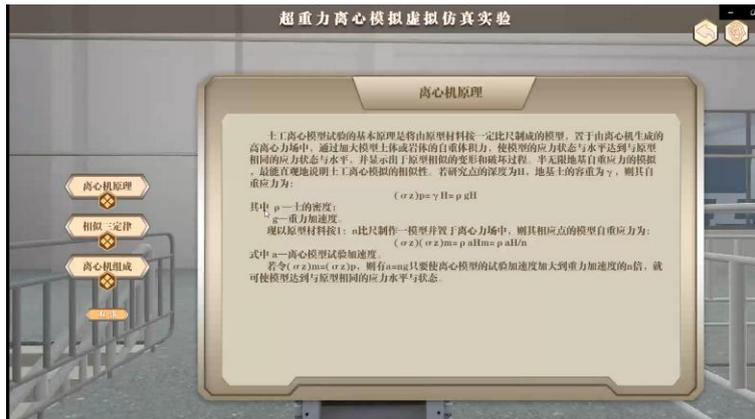


系统登录

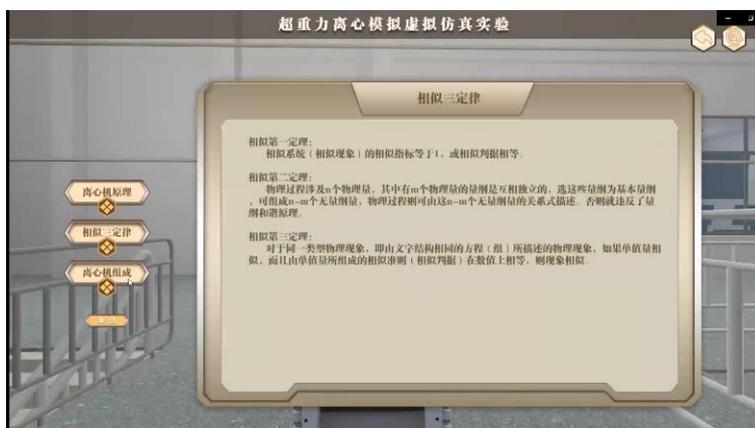


实验系统界面

2. 学习实验原理与方案。进入实验原理,其中包含了离心机原理、相似三定理及离心机组成。



实验原理

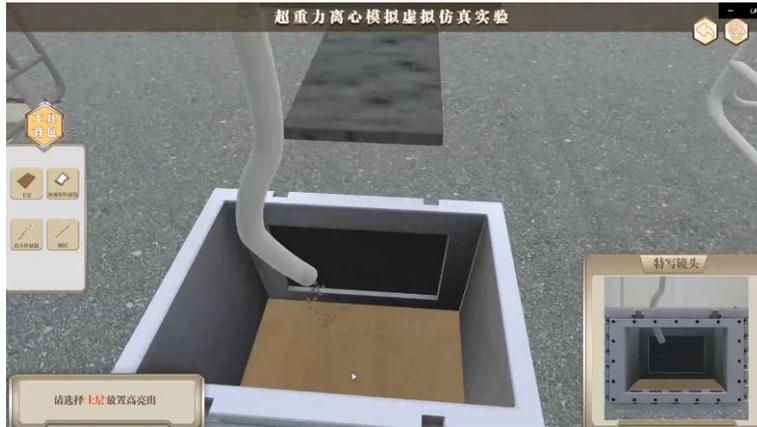


相似三定律

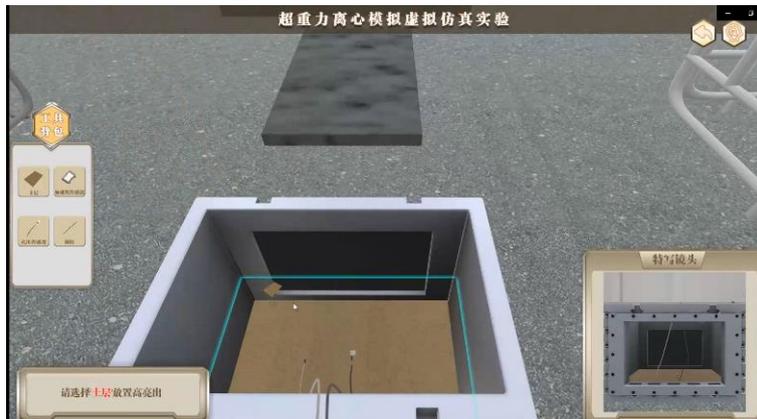


离心机组成

3.模型制作。通过菜单选择式设计构件，实验选用砂土，采用落雨法将其均匀的铺洒在模型箱内，待到设计高度后，将模型管道固定在预定位置，然后根据模型实验方案中的传感器布置，依次将加速度传感器、孔压传感器等埋设到土层上；待第一层传感器布置完成后，继续铺洒第二层土，并布设传感器；按顺序逐层布设，直至制模完成。



浇砂过程



布设传感器



预埋模型管道

4.模型吊装与配重。将模型箱吊至离心机一侧吊篮中，固定，并将传感器连接至离心机数采模块；在另一侧吊篮中吊入实验平衡所需配重块。



模型箱吊装



连接数采模块



吊装配重块

5.仪器调试。控制室有三个控制系统，分别为离心机启动控制系统、数据采集系统和荷载施加系统。在启动离心机前，在数采系统中设置好相应的传感器参数，并进行调试和同步，然后开始数据采集；调试完成后，盖上井盖，关闭舱门。



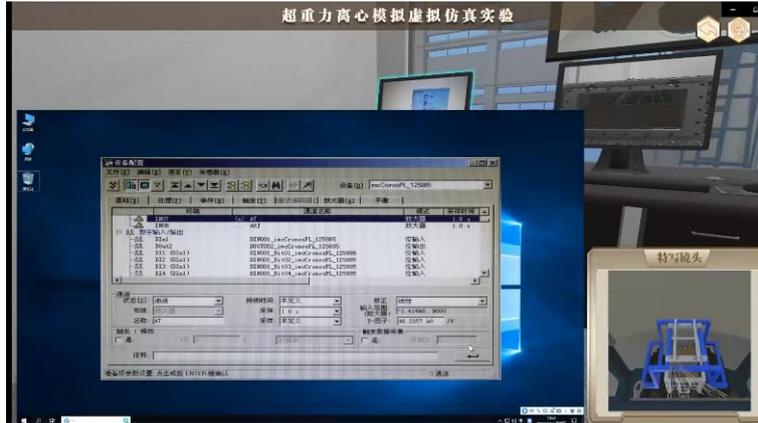
控制室



控制系统



数采系统设置



传感器设置

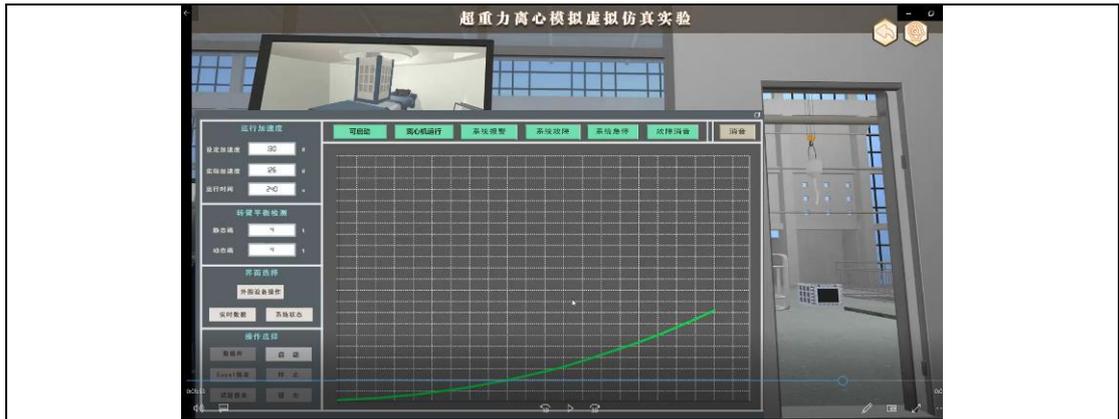
6.离心机启动运行。开启离心机控制电脑，检查离心机设备状态后，设置好实验所需的离心加速度值，启动离心机。离心机转机过程中，可以实时看到离心加速度的上升曲线，最终稳定在预设加速度值；转机时关注不平衡力，其不得超过离心机运行安全值。



离心加速度设置

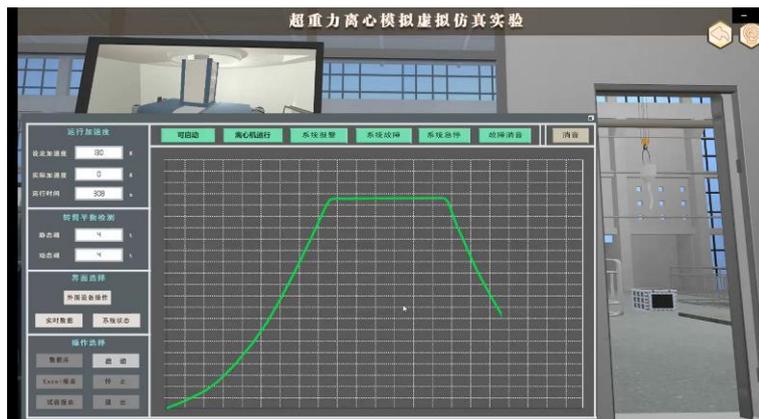


离心机工作状态检查

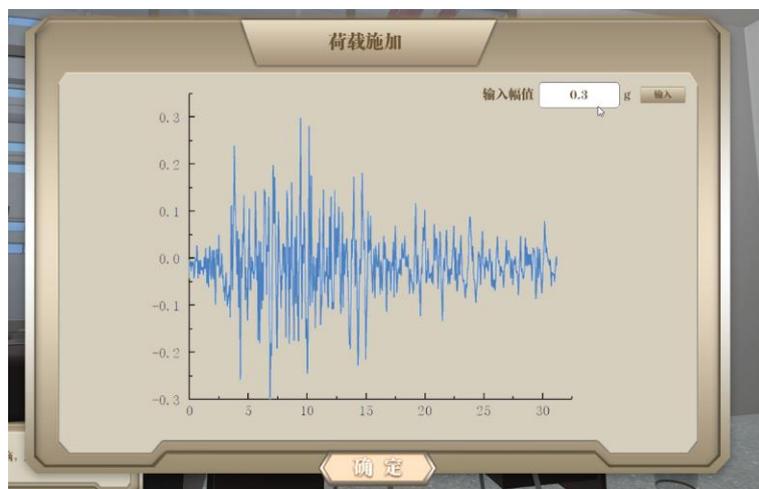


离心机转机过程

7. 试验加载。离心机转至设定加速度值后，维持继续转机，通过数采数据判断土体是否沉降稳定，待稳定后，开启荷载施加系统，根据实验方案中的荷载值，输入相应的荷载幅值，并点击施加；施加荷载后，观察数采系统采集的数据，初判模型响应；根据数采响应规律，判断下一级荷载施加的时间，并根据实验方案依次完成所有荷载的施加；实验完成后，结束实验，使离心机逐渐减速停止。



加卸载



输入地震波

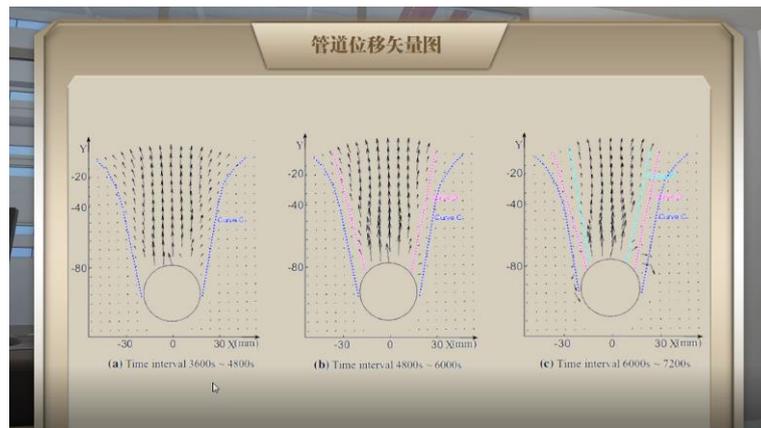
8.数据处理及报告编写。开启舱门，观测实验后模型；结合模型观察现场和数据处理，最终整理形成实验报告。



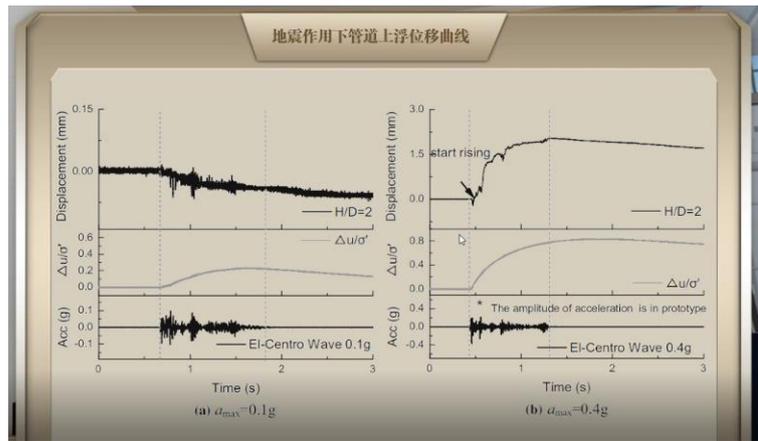
数据处理



实验现象观察



实验结果分析 1



实验结果分析 2



实验报告

(2) 学生交互性操作步骤说明:

实验过程中涉及到交互性操作的步骤有:

1. 进入实验操作界面, 屏幕右上方设有操作按键说明, 包括移动物品、转换视角等;



操作说明

2. 模型制备时, 会按照模型制作过程顺序依次提示浇砂、埋设孔压计、加速度计等;



提示浇砂



提示布置加速度传感器

3.传感器选择错误时，会提示选择相应的传感器；



传感器选择错误提示

4.传感器放置位置错误时，会高亮显示正确的放置位置；



位置放置错误提示

5.每一层土层浇筑完成且传感器埋设完成后，系统会提示进行下一土层的制作；



进入下一层土提示

6.模型制作完成后，将模型箱吊至离心机一侧吊篮中，此时提示将传感器数据线接至离心机数采模块；

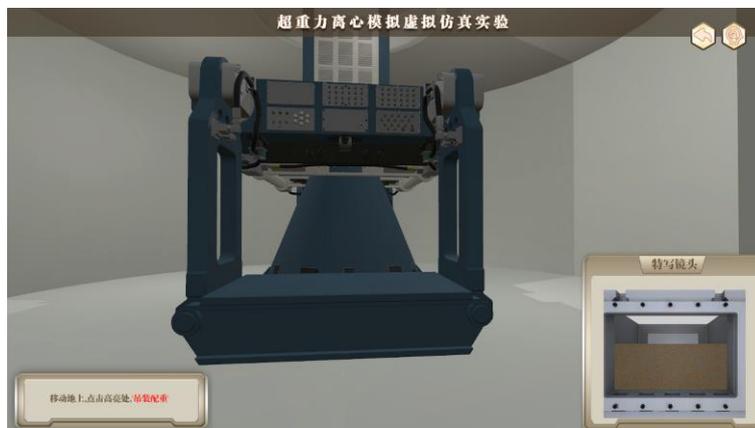


空间移动提示



连线提示

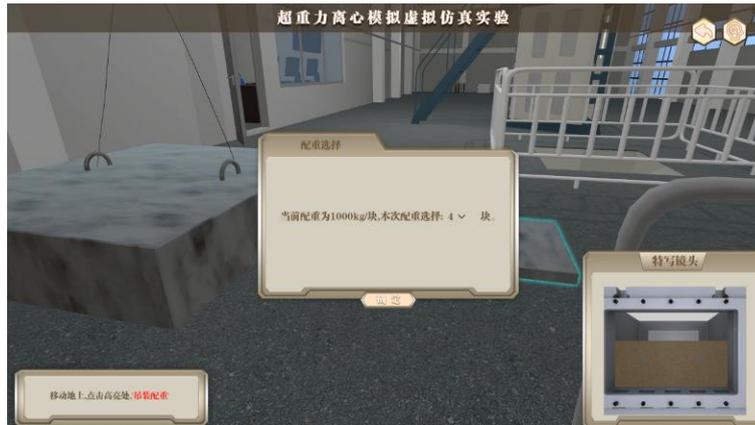
7.配重是离心机平衡运行的保障，虚拟操作时会进行提示，按照提示进行配重，否则无法继续实验；



空间移动提示



配重块提示



数量选择

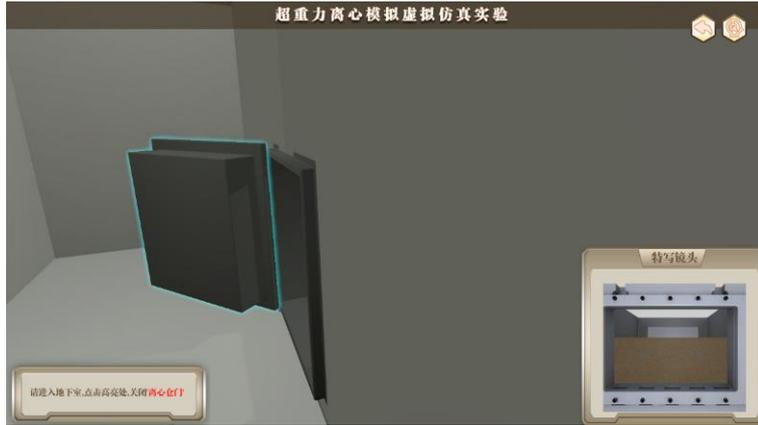
8.离心机启动前,需要盖上井盖、关闭舱门,如果这两部被跳过,会报错提示,离心机不允许运行;



盖井盖提示



空间移动提示

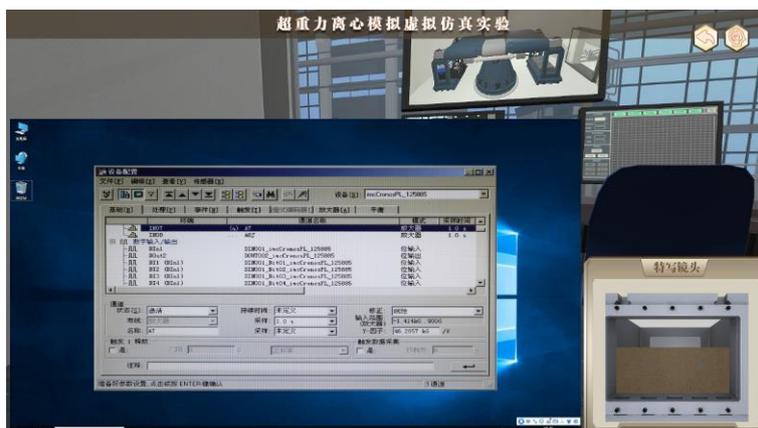


关闭舱门提示

9.传感器参数设置完成后, 会提示进行同步和归零;



空间移动提示



参数设置

10.启动离心机后, 当离心加速度上升到目标值且稳定后, 系统提示进行地震荷载施加, 若离心加速度值未稳定时进行施加荷载操作, 系统会报错提示;



离心机速度设置提示

11. 实验结束后，需带离心机完成停止转动后，方可打开舱门，如未完成停止打开舱门，会有危险提示。



开舱检查提示

2-9 实验结果与结论要求

- (1) 是否记录每步实验结果： 是 否
- (2) 实验结果与结论要求： 实验报告 心得体会 其他
- (3) 其他描述：

系统自动记录并评判实验过程，对学生的操作过程进行自动记录和评判，并提供学习记录查看功能，便于学生检查自己对实验流程掌握的熟练程度。学生在线编辑填写的每一步将以实验报告的形式汇总，供老师批阅学生有关实验过程、实验数据和实验结果等，并以此为基础掌握学生的学习情况。

实验报告中应包括：实验整体描述、实验观测现象描述、数据处理及规律分析以及主要结论等。

2-10 考核要求

从实验原理、实验操作、实验报告等维度考察学生是否熟练掌握实验，达到实验目的要求，有具体考核方法，从而对学生评价。

(1) 实验操作技能（占 65%）

包括：是否能正确使用仿真实验系统并掌握实验步骤。

其中模型设计与制备 30%、模型箱吊装与配重 10%、离心机启动运行 10%、数据采集等设置 15%。

(2) 理论知识水平（占 35%）

包括：超重力实验方案的认识程度、实验报告是否完整、数据分析处理是否正确、实验结果分析、讨论及思考题解答等。

其中实验方案问题解答 5%、实验报告 15%、实验数据分析 10%、思考与讨论 5%。

2-11 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

主要面向土木工程专业、海洋工程专业、材料科学与工程专业、地质工程专业的大四下学生。

(2) 基本知识和能力要求

实验要求学生学完大三及之前所有课程和相关的基础课程和专业课程。要求学生学完至少相关的岩石力学、土力学、土力学实验、大学物理、流体力学、土木工程材料、大学计算机基础等相关课程。在能力方面要求学生具备动手能力和计算机操作能力，熟悉专业课程相关知识，掌握实验辅助设备、仪器的使用方法，初步具备分析问题和解决问题的能力。

2-12 实验项目应用及共享情况

- (1) 本校上线时间： 2019.6.12
- (2) 已服务过的本校学生人数： 520
- (3) 是否纳入到教学计划： 是 否
(勾选“是”，请附所属课程教学大纲)
- (4) 是否面向社会提供服务： 是 否
- (5) 社会开放时间： 2019.6.12 ， 已服务人数： 373

3.实验教学项目相关网络及安全要求描述

3-1 有效链接网址

<http://ceea.zju.rofall.net/virexp/lxj>

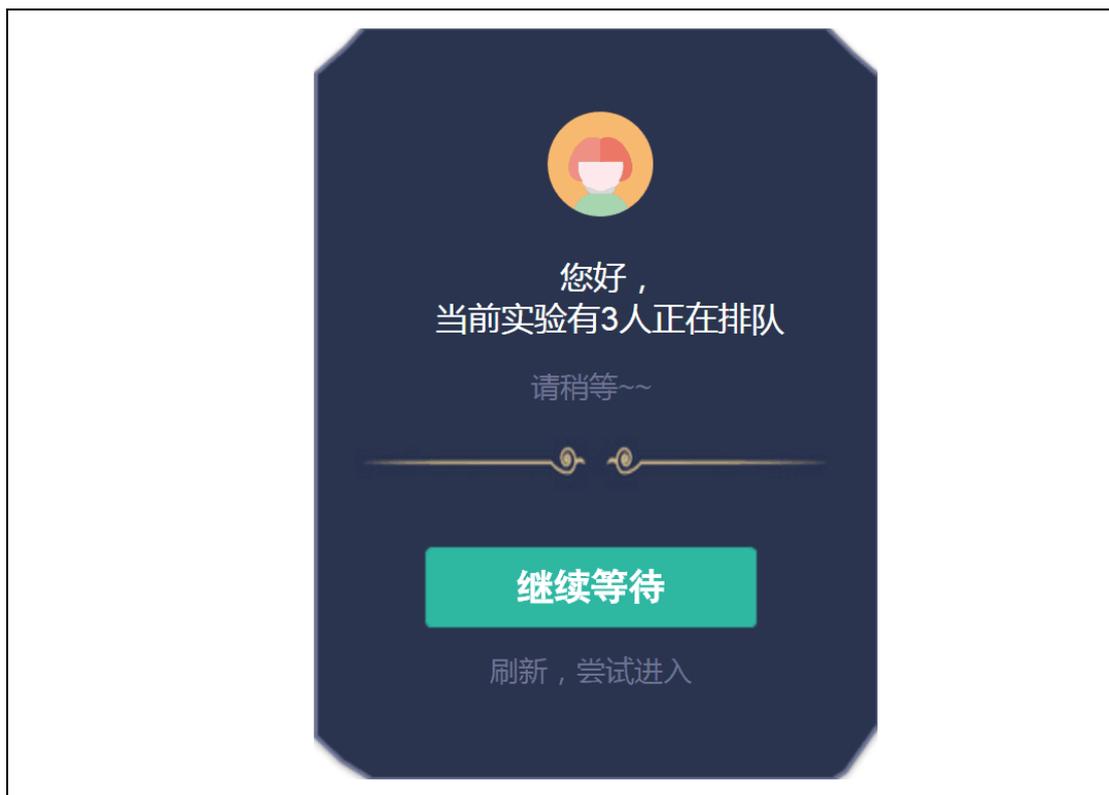
3-2 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

- 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

(3) 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。



3-3 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
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

3-4 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 是 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）
浏览器推荐使用谷歌（Google Chrome）浏览器 55.0 以上版本、火狐（Firefox）浏览器 50.0 以上版本

3-5 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

计算机硬件配置需求（最低）	计算机硬件配置需求（推荐）
---------------	---------------

<p>中央处理器： Intel® Core™ i5-7400-3.0GHz-4 核 4 线程</p> <p>内存： 8GB</p> <p>硬盘空间： 100GB</p> <p>图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 960</p> <p>显存： 2G 及以上</p> <p>显示器： 16:9 分辨率 1280*720 及以上</p> <p>网络带宽： 10Mbps</p> <p>操作系统： Windows 7</p>	<p>中央处理器： Intel® Core™ i5-8500-3.0GHz-6 核 6 线程</p> <p>内存： 16GB</p> <p>硬盘空间： 500GB</p> <p>图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 1060</p> <p>显存： 4G 及以上</p> <p>显示器： 16:9 分辨率 1920*1080</p> <p>网络带宽： 50Mbps</p> <p>操作系统： Windows 10</p> <p>浏览器： Chrome、Firefox、遨游、 猎豹、360、QQ、搜狗、Edge 等</p>
<p>(2) 其他计算终端硬件配置要求</p> <p>无</p>	
<p>3-6 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）</p> <p>(1) 计算机特殊外置硬件要求</p> <p>无</p> <p>(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求</p> <p>无</p>	
<p>3-7 网络安全</p> <p>(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</p>	

4.实验教学项目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	<p>超重力离心模拟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的支撑，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的实验，加强实验项</p>

目的开放服务能力，提升开放服务效果。

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。

总体架构图如下：



图 1 系统总体架构图

如图 1 所示，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。

(1) 数据层

超重力离心模拟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。

(2) 支撑层

支撑层是虚拟仿真实验教学与开放共

	<p>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、实验资源管理、智能指导、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>基于底层的服服务，最终实现超重力离心模拟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 学项目	<p>开发技术</p> <p><input type="checkbox"/>VR <input type="checkbox"/>AR <input type="checkbox"/>MR <input checked="" type="checkbox"/>3D 仿真 <input type="checkbox"/>二维动画 <input type="checkbox"/>HTML5 其他_____</p>

<p style="text-align: center;">开发工具</p>	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" 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_____
<p style="text-align: center;">运行环境</p>	<p>服务器 CPU <u>六</u>核、内存<u>32</u>GB、 磁盘<u>100</u>GB、 显存<u>0</u>GB、GPU型号<u>无</u></p> <p>操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input 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>
<p>项目品质(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>	<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>

5.实验教学项目特色

<p>(体现虚拟仿真实验教学项目建设的必要性及先进性、教学方式方法、评价体系及对传统教学的延伸与拓展等方面的特色情况介绍。)</p> <p>(1) 实验方案设计思路:</p> <p>超重力离心模拟实验是指在超重力环境下开展各类实验,利用超重力的“时空压缩”效应可以实现实验室条件下全过程观测大尺度边坡高速流滑、场地岩土体瞬态地震灾变、污染物地下万年历时迁移等过程,为岩土工程领域的研</p>

究和教学提供了革命性工具。但掌握离心模型实验技术需要长期的理论学习和经验积累，进行离心模型实验的成本很高，难以直接运用于大众化的教学中。目前尚无专门针对离心机模拟实验方面的课程，对于离心机模拟手段在科研和教学中的重要性和前景的认识尚不足，本虚拟仿真实验课程拟将超重力离心模拟的概论、理论基础及工程应用等纳入教学内容，针对超重力离心模拟设立系统性课程，使超重力离心模拟技术在教育教学中获得更为广泛的应用。

(2) 教学方法创新：

本虚拟仿真实验课程结合理论学习和虚拟实验操作，基于深刻的理论认识和虚拟的重复性操作，采用案例式和讨论式的教学方法，结合线上线下操作与交流，让学生从原理上掌握超重力离心模拟实验，并通过多次的重复操作加以巩固、修正错误，而不是一味地机械操作，既可以像做真实超重力离心模拟实验一样让学生生动而有趣地掌握知识，又避免了真实离心模拟实验低容错率的问题。

(3) 评价体系创新：

具有交互功能的系统评价体系，会自动记录学生实验操作过程，对学生学习及纠错能力进行评价，并提供学习记录查看功能，帮助学生提升对实验流程的熟练程度。学生在线操作的过程以报告形成提交，供老师批阅学生有关实验过程、实验数据和结果等处理情况，以此为基础评价学生的学习情况。

(4) 对传统教学的延伸与拓展：

本虚拟仿真实验课程的建设，将传统土力学中如大尺度边坡高速流滑、岩土体瞬态地震灾变、污染物地下万年迁移等大尺度、长历时或瞬态的现象重演成为现实，对加深学生对土力学问题认识、掌握土力学相关知识有着重要作用。同时，由于离心机应用领域的广泛性，使得他对土木工程、海洋工程、材料科学与工程、地质工程等专业领域的教学都将起到重要作用。

6.实验教学项目持续建设服务计划

(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)

(1) 项目持续建设与服务计划:

进一步完善系统拓展性实验模块,增加可虚拟模拟的实验数量,服务于更多专业领域教育教学,五年预计服务人数 8000 人。

(2) 面向高校的教学推广应用计划:

首先将本虚拟仿真课程推广到海洋工程、材料科学与工程和地质工程等本校其他学院,接着将本课程推广至其他高校,五年预计推广高校 5 所。

(3) 面向社会的推广应用计划:

ZJU400 超重力离心机已形成了岩土、水利、环境等学科 40 余家科研和工程单位用户群,拟将本虚拟仿真项目在用户群中推广应用,五年预计推广科研和工程单位 10 家。

7.知识产权

软件著作权登记情况	
软件著作权登记情况	<input checked="" type="checkbox"/> 已登记 <input 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	超重力离心模拟虚拟仿真实验教学软件
是否与项目名称一致	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
著作权人	浙江大学
权利范围	全部专利
登记号	2019SR0806072

8.诚信承诺

本人承诺：所申报的实验教学设计具有原创性，项目所属学校对本实验项目内容（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项目的一切资源）享有著作权，保证所申报的项目或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

本人已认真填写、检查申报材料，保证内容真实、准确、有效。

实验教学项目负责人（签字）：

2019年8月28日

9.附件材料清单

1.政治审查意见（必须提供）

（本校党委须对项目团队成员情况进行审查，并对项目内容的政治导向进行把关，确保项目正确的政治方向、价值取向。须由学校党委盖章。无统一格式要求。）

见附件

2.校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为项目有关学术水平、项目质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由项目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。）

见附件

10 申报学校承诺意见

本学校已按照申报要求对申报的虚拟仿真实验教学项目在校内进行公示，并审核实验教学项目的内容符合申报要求和注意事项、符合相关法律法规和教学纪律要求等。经评审评价，现择优申报。

本虚拟仿真实验教学项目如果被认定为“国家虚拟仿真实验教学项目”，学校将严格贯彻《教育部高等教育司关于加强国家虚拟仿真实验教学项目持续服务和管理有关工作的通知》（教高司函〔2018〕56号）的要求，承诺将监督和保障该实验教学项目面向高校和社会开放，并提供教学服务不少于5年，支持和监督教学服务团队对实验教学项目进行持续改进完善和服务。

主管校领导（签字）：

（学校公章）

2019年9月19日



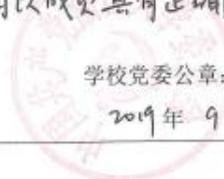
附件：

- 1、浙江大学申报国家虚拟仿真实验教学项目校内政治审查表
- 2、校外评价意见
- 3、《土力学》教学大纲

浙江大学申报国家虚拟仿真实验教学项目

校内政治审查表

(2019年)

实验教学项目名称	超重力离心模拟虚拟仿真实验
项目负责人	朱斌
负责人所在学院	建筑工程学院
项目团队成员	林伟岸、叶肖伟、赵宇、周燕国、李俊超（建筑工程学院） 秦小亮、贾龙、王喆、王露、孙光明（北京润尼尔网络科技有限公司）
实验教学项目平台	http://ccea.zju.rofall.net/virexp/lxj
学院党委政治审查意见	<p>（对本校虚拟仿真实验教学项目团队成员进行审查，以及对项目政治导向审查，确保项目正确的政治方向、价值取向）</p> <p>项目负责人朱斌为浙江大学教授、博士生导师，2016年入选教育部“长江学者奖励计划”青年学者。项目负责人和团队老师政治立场坚定，拥护党的路线、方针和政策，思想上能与习近平为核心的党中央保持一致。根据《教育部高等教育司关于开展2019年度国家虚拟仿真实验教学项目认定工作的通知》（教高司函〔2019〕33号）的精神与要求，《超重力离心模拟虚拟仿真实验》面向全国高校大学生，普及超重力离心模拟知识，提高学生实验能力，激发学生创新思维，项目注重科学性和实用型，体现社会主义核心价值观。</p> <p>经审查，该项目及团队成员具有正确的政治方向、价值取向。</p> <p style="text-align: right;">学院党委书记或副书记签字：</p> <p style="text-align: right;">学院党委公章：</p> <p style="text-align: right;">2019年8月28日</p>
学校党委政治审查意见	<p>经审查，该项目及团队成员具有正确的政治方向和价值取向。</p> <p style="text-align: right;">学校党委公章：</p> <p style="text-align: right;">2019年9月16日</p>

关于共享浙江大学建筑工程学院
《超重力离心模拟虚拟仿真实验》
的情况说明

我院土木工程专业学生共享了浙江大学建筑工程学院开发的《超重力离心模拟虚拟仿真实验》，该虚拟仿真实验内容丰富全面、创新性与实用性强，提升了我院土力学及基础工程等课程的实验教学水平，提高了学生对相关科学和工程问题的认识，增强了学生自主学习和实践能力。该虚拟仿真实验实现了线上线下教学的融合，使得课堂教学成效得到了显著提高。

特此说明。

塔里木大学
水利与建筑工程学院
2019年8月26日



12121240土力学课程教学大纲

课程代码: 12121240
课程中文名称: 土力学
课程英文名称: Soil Mechanics
学分: 3.0 周学时: 2.5-1.0
面向对象:
预修要求:

一、课程介绍

(一) 中文简介

土力学是高等学校土木工程专业的一门重要的专业基础课程, 目的是教授学生土力学基本概念和基本原理, 学会如何应用基本理论去解决具体工程问题。内容主要包括: 土的物理性质与工程分类、土的渗透性与渗流、地基中应力计算、土的压缩性和固结理论、地基沉降计算、土的抗剪强度理论、土压力和支挡结构、地基承载力和土坡稳定分析等。

(二) 英文简介

Soil Mechanics

主要内容及学时分配:
每周5.0学时, 共8周。

主要内容:		
1学时	绪论	第一章
5学时	土的物理性质与工程分类	第二章
	概述	1.
1学时	土的成因与组成	2.
1学时	土的物理性质指标	3.
	无粘性土的物理性质	4.
1学时	粘性土的物理性质	5.
	土的结构性	6.
1学时	土的压实性	7.
1学时	土的工程分类	8.
5学时	土的渗透性与渗流	第三章
	概述	1.
1学时	达西定律	2.
2学时	土的渗透系数	3.
1学时	饱和土中的应力和有效应力原理	4.
1学时	渗透力和渗透变形	5.
2学时	地基中应力计算	第四章

概述	1.		
1学时		地基中自重应力计算	2.
1学时		荷载作用下地基中附加应力计算	3.
5学时		土的压缩性和固结理论	第五章
		概述	1.
2学时		土的压缩特性	2.
1学时		应力历史与土压缩性的关系	3.
2学时		一维固结理论	4.
2学时		地基沉降计算	第六章
概述	1.		
0.5学时		地基沉降原理	2.
1学时		常用沉降计算方法	3.
其他分析方法简介	4.		
饱和软粘土地基沉降随时间发展规律分析	5.		
0.5学时		沉降计算应注意的几个问题	6.
5学时		土的抗剪强度	第七章
概述	1.		
		土的抗剪强度理论和极限平衡条件	2.
2学时		土的抗剪强度指标和抗剪强度的测定	3.
		饱和粘性土抗剪强度	4.
2学时		未饱和土抗剪强度	5.
		无粘性土抗剪强度	6.
1学时		抗剪强度的影响因素	7.
6学时		土压力和支挡结构	第八章
		概述	1.
1学时		静止土压力计算	2.
2学时		主动土压力计算	3.
1学时		被动土压力计算	4.
1学时		土压力计算的讨论	5.
1学时		重力式挡土结构	6.
柔性挡土结构	7.		
加筋土挡土结构	8.		
		管涵上的土压力计算	9.
4学时		地基承载力	第九章
1学时		概述	1.
1学时		地基破坏模式	2.
1学时		地基临界荷载	3.
1学时		地基极限承载力计算	4.
5学时		土坡稳定分析	第十章
		概述	1.
1学时		无粘性土坡的稳定分析	2.
1学时		粘性土坡的稳定分析	3.
1学时		稳定渗流和地震条件下土坡的稳定分析	4.
1学时		孔隙水压力的估算和抗剪强度指标的选用	5.
1学时		滑坡的防治和土坡稳定的安全系数	6.
相关教学环节安排:			
采用以课堂授课与多媒体课件相结合的方式进行教学;			
1.			
每周布置作业,作业量2~3小时,主要针对基本概念、基本原理和计算方法。			
2.			
考试方式及要求:			
考试方式: 闭卷 笔试			
1学时		地基破坏模式	2
1学时		地基临界荷载	3
1学时		地基极限承载力计算	4
5学时		土坡稳定分析	第十章
		概述	1.

1学时 孔隙水压力的估算和抗剪强度指标的选用 5.

1学时 滑坡的防治和土坡稳定的安全系数 6.

相关教学环节安排：

采用以课堂授课与多媒体课件相结合的方式进行教学； 1.

每周布置作业，作业量2~3小时，主要针对基本概念、基本原理和计算方法。 2.

考试方式及要求：

考试方式：闭卷，笔试

考试要求：掌握土的分类、形成、三相指标换算及基本工程特性，熟悉常规的室内土工试验，了解原位测试方法，牢固掌握土的应力、变形、强度和稳定计算等土力学基本原理和方法，并能用于分析和解决实际工程问题。