

申报编号：2021-207153

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：混凝土高坝浇筑施工虚拟仿真实验

专业类代码：0811

负责人：孟永东

联系电话：13972603234

申报学校：三峡大学

填表日期：

推荐单位：湖北省教育厅

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	混凝土高坝浇筑施工虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是 ●否
实验所属课程 (可填多个)	水利工程施工、施工机械与施工机械化、施工组织与管理		
性质	○独立实验课 ●课程实验		
实验对应专业	水利水电工程		
实验类型	○基础练习型 ●综合设计型 ○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	●中文 ○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)		
实验已开设期次	共 2 次: 1. 2019-10-01 ~ 2019-11-30、274 人 2. 2020-10-01 ~ 2020-11-30、230 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) http://hee.ctgu.owvlab.net/vlab/gbjz.html		

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	孟永东	1976-09-11	三峡大学	国家级实验教学示范中心	教授	13972603234	meng@ctgu.edu.cn	总体设计 / 在线教学服务

				心主任				务人员
2	田斌	1963-08-31	三峡大学	学校党委副书记	教授	13972603190	eudiltb@ctgu.edu.cn	设计策划 / 技术支持人员
3	周宜红	1966-09-29	三峡大学	校学科办公室主任	教授	13972605689	zhyh@ctgu.edu.cn	框架设计 / 在线教学服务人员
4	赵春菊	1974-03-04	三峡大学	研究生院副院长	教授	15926968661	chunju.zhao@ctgu.edu.cn	仿真设计 / 在线教学服

								务人员
5	范勇	1988-11-11	三峡大学	系党支部书记	副教授	13797016048	yfan@ctgu.edu.cn	实验教学 / 在线教学服务人员
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	孙开畅	1970-09-17	三峡大学	教师	教授	实验教学 / 在线教学服务人员		
2	彭辉	1976-09-01	三峡大学	学院院长	教授	项目		

						策 划 / 技 术 支 持 人 员
3	陈 述	1986- 11-05	三峡大学	学院副院长	副教授	项 目 策 划 / 技 术 支 持 人 员
4	姜德政	1975- 07-11	中国三峡集团长江电力股份有限公司	三峡电厂 总工程师	高级工程师	技 术 指 导 / 技 术 支 持 人 员
5	蔡启龙	1969- 07-21	三峡大学	教师	副教授	理 论 教 学 / 在

						线 教 学 服 务 人 员
6	明 华 军	1984- 12-24	三 峡 大 学	教 师	副 教 授	实 验 教 学 / 在 线 教 学 服 务 人 员
7	王 峰	1987- 05-30	三 峡 大 学	教 师	副 教 授	实 验 教 学 / 在 线 教 学 服 务 人 员
8	蔡 征 龙	1988- 05-02	三 峡 大 学	教 师	讲 师	实 验 教 学

						/ 在线教学服务人员
9	周华维	1988-01-17	三峡大学	教师	讲师	实验教学 / 在线教学服务人员
10	余晓云	1979-02-02	三峡大学	实验教学中心 主任	工程师	网站维护 / 技术支持人员
团队总人数：15 人 其中高校人员数量：14 人 企业人员数量：1 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)

(1) 团队主要成员承担该实验教学任务情况

负责人孟永东和主要成员周宜红、赵春菊、范勇主要承担本实验相关理论教学和在线实验教学服务。主要成员田斌主要承担本实验的设计策划和对外(高校、企业和社会)开放服务的推介,以及实验系统的持续建设规划。

(2) 负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励情况

教学研究方面:主持完成校级教研课题1项,第一作者发表教研论文1篇,获得教学软件著作权1项,授权相关课程实验教学发明专利1项、实用新型专利2项。

学术研究方面:近5年主持国家级项目3项(国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金重点项目专题、国家重点研发计划项目专题)、湖北省科技支撑计划项目1项,近2年以第一或通讯作者发表CSCD核心以上学术论文7篇,获得省部级科技奖励3项(教育部科技进步二等奖、湖北省科技进步一等奖、中国大坝工程学会科技进步一等奖),出版学术专著2部。

教学奖励方面:获得教育部高等学校水利类专业教学成果一等奖1项(第四),指导学生作品获第六届全国大学生水利创新设计大赛一等奖1项(第一指导教师),指导学生作品挑战杯湖北省大学生创业大赛创业计划赛金奖1项(第二指导教师)。

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）

《水利工程施工》是水利水电工程本科专业的核心专业课程，混凝土坝施工是该课程的重要章节，该内容涉及混凝土坝施工作业各个复杂环节，内容抽象难懂，教学过程中需要通过实习和实训等实践教学环节加以辅助。目前，多个世界级的高混凝土重力坝（三峡、向家坝等）和高拱坝（溪洛渡、锦屏一级、白鹤滩、乌东德等）在我国建设并陆续投入运行（图1）。这些典型混凝土高坝的施工难度大、浇筑方案复杂，代表着世界筑坝技术的最高水平。混凝土坝施工现场是水利水电工程本科专业学生开展《水利工程施工》课程实习、实训的重要场所。因此在本科生中开展混凝土高坝浇筑施工实验，通过理论与实验教学，引导学生掌握混凝土坝施工技术，提高科研水平和就业能力，对培养高层次领军人才，服务国家重大工程建设具有重要意义。



(a) 三峡重力坝



(b) 溪洛渡拱坝

图1 典型高混凝土坝

混凝土高坝工程规模宏大，坝体混凝土浇筑施工周期长、工艺和环境复杂，由于室内实验无法真实模拟现场情况，存在尺寸效应，且物理模型制作费用非常昂贵，因此混凝土坝浇筑施工不适合室内实验。通过远赴在建工程现场开展短期施工实习，学生很难全面深入理解混凝土坝施工的核心知识要点。同时，对于已建的典型重大水电工程，其施工场景和施工过程无法复现（图2）。



图2 三峡大坝混凝土施工场景

针对当前该课程线下教学无法满足学生实践需求的问题，通过整合三峡大学水利工程科研团队在混凝土坝施工过程仿真及三维可视化模拟方面服务我国重大水电工程的科研项目成果，反哺实践教学，基于网络三维可视化仿真平台，建设混凝土高坝浇筑施工虚拟仿真实验线上教学内容，形成共享性的教育资源，以弥补高坝混凝土施工现场实习和实训过程中学生无法直接参与的不足

本虚拟仿真实验项目将“国之重器”三峡工程为代表的混凝土大坝浇筑施工现场实践项目变为现实，通过“虚实结合、以虚促实”激发学生对混凝土坝浇筑方案的学习，促进课程思政建设。借助该虚拟仿真实验，使大量不可复现、无可直观展示的混凝土坝施工技术和工艺成为可调、可视、可低成本重复。

本虚拟仿真实验将科研成果转化为实践教学，以科研数据和科研成果为底层数据支撑，保证实验结果可靠，有效提升学生解决专业问题的能力，引导和培养学生创新思维，使先进的科研成果和技术快速融入教学，满足学生验证、探究未知的需求，实现“两性一度”教学目的，有效的促进了科教融合，带动“产-学-研”一体化发展。实验设计与教学全过程坚持“育人为本、德育为先”理念，把培育和践行社会主义核心价值观有机融入整个教学体系，为新时代中国特色社会主义建设培养具有专业胜任能力和社会适应能力的创新应用型水利工程人才，服务国家重大基础设施建设。

3-2实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

该虚拟仿真实验服务于《水利工程施工》、《施工机械与施工机械化》、《施工组织与管理》等多门课程，具体的实验教学目标如下：

- (1) 掌握混凝土制备设备选型和数量的确定方法；
- (2) 掌握大坝混凝土运输和浇筑设备的选型及浇筑方案设计；
- (3) 掌握常态混凝土坝浇筑方法；
- (4) 了解典型高混凝土坝的施工方案；
- (5) 了解最新的施工科技前沿成果。

通过开展“混凝土高坝浇筑施工虚拟仿真实验”，可引导学生掌握混凝土坝施工技术，使学生全面认识混凝土坝的施工工艺和方法，提高学生的工程意识、创新思维能力和就业能力。

3-3实验课时

(1) 实验所属课程课时：48学时

(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)

本实验以三峡工程为典型案例，结合3D建模、动画模拟、人机交互等手段，以三维可视化和虚拟现实的方式逼真还原混凝土大坝浇筑的施工场景，并结合虚拟的施工机械设备，围绕常态混凝土坝施工中的各项内容和各个施工环节开展虚拟仿真实验教学。包括大坝混凝土拌合设备及数量确定、混凝土浇筑方案设计、浇筑仓施工作业等，其基本原理如下：

1)混凝土拌合设备及数量确定

拌和机是制备混凝土的主要设备，每台拌和机的小时生产率P可按下式计算：

$$P = NV = K_t \frac{3600V}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}$$

式中：N为每台拌和机每小时平均拌和次数；V为拌和机出料容量， m^3 ； t_1 为进料时间； t_2 为拌和时间； t_3 为出料时间； t_4 为必要的技术间歇时间； K_t 为时间利用系数。

拌和设备的生产能力应能满足混凝土质量品种和浇筑强度的要求。混凝土拌和设备需要满足的小时生产能力 P_0 的计算式：

$$P_0 = K \frac{Q_{max}}{nm}$$

式中：n为高峰月每日平均工作时数；m为高峰月有效工作日数；K为小时生产不均匀系数； Q_{max} 为混凝土高峰浇筑强度。

2) 混凝土浇筑方案设计

混凝土的水平运输包括有轨和无轨运输，垂直运输设备主要包括：门式起重机；塔式起重机；缆式起重机；履带式起重机；皮带机；塔带机；胎带机；混凝土泵。

大坝及其它附属建筑物的混凝土运输浇筑方案有如下几种：门、塔机运输浇筑方案（门、塔机栈桥运输浇筑方案，门、塔机无栈桥方案）；缆机运输浇筑方案（缆机同其他起重机组成的浇筑系统，立体交叉缆机浇筑系统，辐射式缆机浇筑系统）；辅助运输浇筑方案（履带式起重机浇筑方案，汽车运输浇筑系统，皮带运输机浇筑方案）。

任何一台运输浇筑起重机械的月实用生产率 P_m 可按式计算：

$$P_m = PmnK_1K_2K_3$$

式中： P 为起重机械的技术生产率， $P=Nq$ ，其中 N 为每小时吊运罐数， q 为每罐的有效容积， m^3 ； m 为每月有效工作天数； n 为每天有效工作时数； K_1 为吊罐有效容积利用系数； K_2 为时间利用系数； K_3 为综合利用系数。

起重机需用需用数量 N 按下式计算后调整：

$$N = K_0 \frac{Q_m}{P_m}$$

式中： Q_m 为施工进度要求的月浇筑强度， $Q_m=mnQ_h$ ； P_m 为单台起重机月实用生产率； K_0 为备用系数。

3) 浇筑仓施工作业

常态混凝土大坝一般采用柱状浇筑法，对大坝整体进行分缝分块，形成多个柱状块。

混凝土坝浇筑仓内作业主要包括：浇筑前的准备、浇筑时入仓铺料、平仓振捣、浇筑后的养护。浇筑前的准备作业包括基础面的处理、施工缝处理、立模、钢筋和预埋件安设等。

知识点：共7个

1. 混凝土拌和设备及生产能力的确定；

2. 拌和站、拌和楼及其设备容量;
3. 模板的结构和类型;
4. 模板的安装及拆除;
5. 混凝土的水平、垂直运输设备;
6. 混凝土运输浇筑方案及选择;
7. 混凝土运输浇筑机械数量的确定;

(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)

本项目通过先进的建模技术,结合异步加载模型、场景模型结构优化和云渲染技术,真实再现了混凝土坝浇筑作业环境。实验设备均为3D效果,构建仿真模型与真实设备1:1比例、非拟人化、非漫画形象。系统核心要素仿真设计如下:

1) 混凝土坝施工场景

以三峡工程二期大坝混凝土浇筑施工为例,进行了虚拟仿真实验系统的实验场景仿真设计。场景地形地貌采用工程的同期历史测绘数据构建,仿真模型中的大坝建基面以及施工布置场地完全依照工程实际设计方案,可真实还原当时的施工场景,整体仿真度极高。

2) 混凝土生产系统的构成设备

对混凝土生产系统的搅拌机和拌合楼等主要设备,以及设备的组成结构进行仿真设计,设备模型精细,纹理真实,可进行功能模拟和运行。

3) 混凝土运输设备

含垂直运输设备和水平运输设备的仿真模型设计。混凝土运输设备仿真模型可全面模拟设备的真实运转情况,以便正确评估空间冲突和进行冲撞分析。

4) 大坝浇筑仓浇筑模拟设备

仓面作业设备可逼真完成混凝土浇筑仓内模板架立、混凝土调运入仓、平仓振捣、混凝土养护和拆模等施工工艺。

3-5 实验教学过程与实验方法

(1) 实验教学过程

该虚拟仿真实验教学环节包括预习和实验两部分。预习主要通过“施工方案学习”模块、“机械设备认知”模块和“知识点学习”模块完成。实验过程通过“混凝土生产”、“混凝土运输”、“混凝土浇筑”、“实验考核”等模块完成。

1) 首先进入“自主学习”模块，通过自学的方式完成相关知识点、实际工程的施工方案、施工机械设备的学习。自主学习模块以知识展示为主，配合教师线下讲解线上辅导，使学生能更快得获得专业理论与实际经验信息。

2) 自主学习结束后进入实验部分。系统根据实际工程预设大坝混凝土施工场景，学生根据所学知识设计混凝土生产、运输和浇筑方案，并完成场地选择和施工设备布设操作，系统自动记录实验过程及结果判断。

3) 实验部分完成后，进入“实验考核”模块，系统对相关知识点进行检测，记入实验成绩，考核结束后进入报告系统，撰写实验报告，包括实验目的、原理、实验数据、实验结论。报告提交后，教师进行评阅，并组织讨论。

(2) 实验方法

本实验采取虚实结合的实验方法，通过课堂理论学习，掌握基本实验理论和混凝土坝施工方法。在虚拟仿真试验平台的系统引导下，通过交互式操作完成混凝土高坝浇筑施工实验，并结合参观三峡、葛洲坝、隔河岩等大型水利枢纽工程，以便加深对水利工程施工的理解和认识，实验方法逻辑关系如图3所示。

线上虚拟仿真实验以三峡工程为例，围绕常态混凝土重力坝的施工方案，从混凝土生产系统设计和布置、混凝土运输设备选型与布置、混凝土坝浇筑方案预演、实验考核等知识模块开展实验。

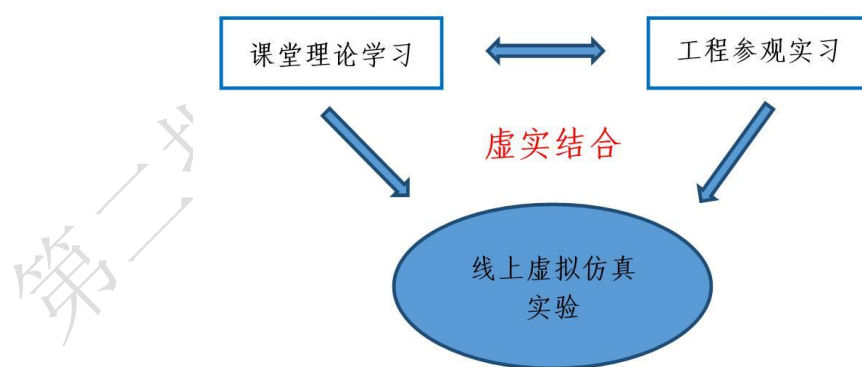


图3 实验方法

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 17 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	了解混凝土坝浇筑施工常见施工机械的结构；掌握实验原理和相关知识点；了解三峡工程施工方案中混凝土生产系统、浇筑运输设备配置。	9	目标分值=步骤满分值×0.6	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
2	合理选择混凝土生产系统的布设场地。	4	目标分值=步骤满分值×0.6	4	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
3	合理设置各混凝土生产系统的拌合机数量、工作容量和拌合方式。	9	目标分值=步骤满分值×0.6	16	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
4	在虚拟仿真场景中正确布置混凝土生产系统。	5	目标分值=步骤满分值×0.6	4	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
5	了解混凝土运输设备布设区域在虚拟仿真实验场景中的分布。	4	目标分值=步骤满分值×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
6	合理设置混凝土垂直运	10	目标分值=步骤满分值×	15	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告

	输机械设备的数量。		0.6		<input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
7	在虚拟仿真场景中正确布置混凝土垂直运输设备。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
8	检查混凝土运输设备的工作范围；消除运输设备间的空间冲突。	5	目标分值=步骤满分×0.6	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
9	完成混凝土垂直运输设备的布置。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
10	合理设置混凝土水平运输设备的数量。	6	目标分值=步骤满分×0.6	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
11	了解大体积混凝土浇筑仓模板安装的允许偏差。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
12	完成浇筑仓模板的安装。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
13	完成混凝土平仓振捣设备的吊运入仓。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
14	了解混凝土浇筑施工工艺流程。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

15	了解混凝土养护和拆模的基本要求。	4	目标分值=步骤满分×0.6	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
16	完成实验考核试题，提交实验报告。	6	目标分值=步骤满分×0.6	25	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
17	通过线上虚拟实习，了解三峡水利枢纽工程的完建形象。	4	目标分值=步骤满分×0.6	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

进行混凝土坝浇筑施工虚拟仿真线上实验需要完成以下交互性实验步骤：

第一步：在系统主界面（如图4）下点击自主学习，进入自主学习模块。



图4 虚拟仿真实验主界面

该模块包括施工方案学习、机械设备认知和知识点学习共3个子模块，如图5所示。



图5 自主学习界面菜单

分别点击界面中的功能图标可完成系统操作方法、实际工程施工方案、实验原理和相关知识点的学习，并可了解机械设备三维形象和功能特点，各学习模块的操作界面如图6~图8所示。

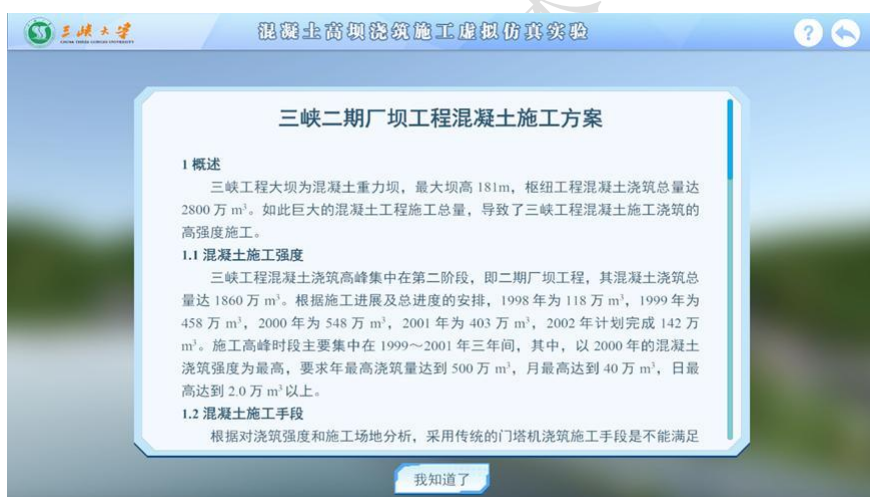


图6 施工方案学习



图7 施工机械设备认知

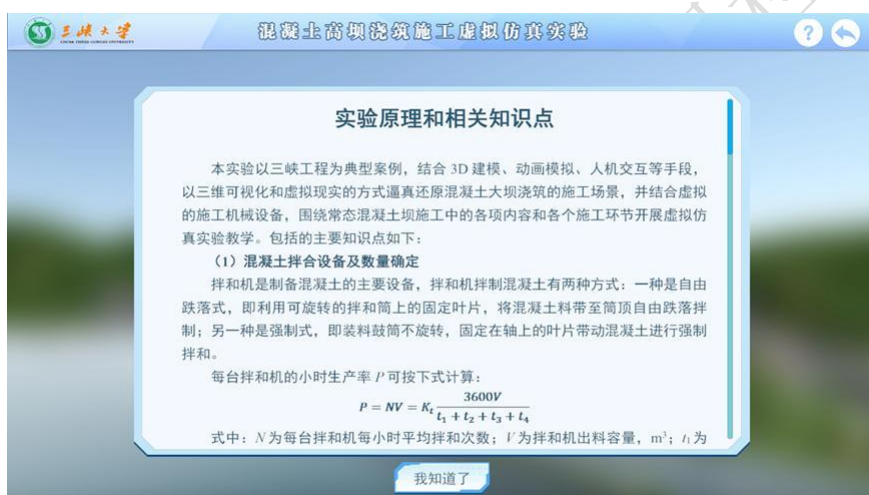


图8 相关知识点学习

第二步：完成自主学习后，返回系统主界面，点击**开始实验**进入实验核心模块（图9），包括**混凝土生产**、**混凝土运输**、**混凝土浇筑**、**实验考核**共4个子模块。



图9 实验模块

点击界面中的混凝土生产图标，进入虚拟仿真施工场景。选取合理的混凝土拌合系统布设场地，如图10所示。



图10 混凝土拌合系统场地选择

第三步：点击选定场地，弹出混凝土生产系统参数设置对话框，选择正确的拌合机数量、工作容量和拌合方式，选择结果将计入考核分数，如图11所示。



图11 混凝土生产系统参数设置

第四步：点击确定按钮确认选择，拖动左侧面板的拌合系统图标，将其放置到对应选址位置，完成该场地混凝土拌合系统的三维布置，如图12和图13所示。



图12 拖动拌合系统图标



图13 混凝土生产系统三维布置

点击布置下一个按钮，按照以上操作，可依次完成已选中的其它场地的混凝土拌合系统三维布置，如图14所示。点击完成布置按钮，返回实验模块选择界面。



图14 混凝土运输系统布置区域

第五步：在实验模块选择界面中点击已激活的混凝土运输图标（图15），进入已完成混凝土生产系统布置的虚拟仿真施工场景，如图16所示。



图15 激活混凝土运输系统设计模块



图16 混凝土运输设备布置场景

第六步：点击三维场景中闪烁的垂直运输机械布置区，场景视角自动切换至该区域并弹出参数设置对话框，如图17所示。输入正确的机械设备数量，点击确定按钮确认参数设置并返回。

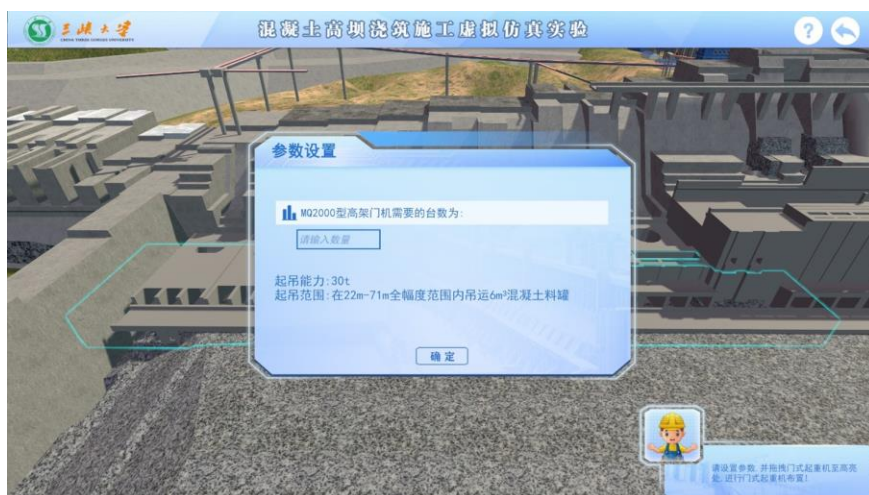


图17 混凝土垂直运输设备参数设置

第七步：拖动三维场景界面左侧面板对应的运输设备图标，将已设定数量的运输机械依次拖动放置到相应区域，可完成该类运输设备的三维布置，如图18所示。



图18 混凝土垂直运输设备三维布置

第八步：混凝土垂直运输设备三维布置完成后，系统自动检测起重机吊臂的空间冲突情况，如存在设备空间冲突，则弹出设备冲突危险和位置调整提示框，如图19所示。同时，三维场景自动变换视角为正视图，并显示各设备的工作范围和位置调整箭头，点击确定按钮退出提示。

点击场景中已布置设备的两侧箭头图标，进行运输设备布设位置的调整，直到相邻运输设备的显示工作范围无重叠现象，则可避免设备吊臂的空间碰撞，如图20所示。

由于每一类运输设备布置区域范围有限，用户应依据既定的混凝土浇筑强度数据合理确定混凝土运输设备台套数。设备台套数越多，发生空间冲突的可能性越大，布置过多设备可能会导致设备空间冲突无法消除的情况。



图19 运输设备空间冲突提示



图20 运输设备空间布设位置调整

第九步：点击底部的布置下一个，按照上述步骤依次进行其它类型的混凝土垂直运输设备的三维布置。最后点击布置完成按钮，完成混凝土垂直运输设备的布置。如图21所示。



图21 完成混凝土运输设备三维布置

第十步：系统弹出水平运输设备的参数设置界面（图22），完成设备选型和设备数量的输入，点击确定按钮，系统场景中自动显示水平运输设备的布置和运行情况，如图23所示。系统自动返回实验模块选择界面。



图22 水平运输设备参数设置



图23 水平运输设备布置

第十一步：在实验模块选择界面中点击已激活的混凝土浇筑模块（图24），返回已完成混凝土生产系统和运输浇筑系统的虚拟仿真施工场景。



图24 激活混凝土浇筑模块

同时，弹出相关施工规范规定的混凝土浇筑仓模板安装允许偏差数据表（图25），在该场景中将对单个浇筑仓的施工工艺进行展示，如图26所示。



图25 混凝土浇筑仓模板安装允许偏差



图26 浇筑仓施工工艺展示

第十二步: 依据操作提示拖动三维场景界面左侧面板的模板图标, 将模板放置到浇筑区域, 完成浇筑仓立模, 如图27所示。



图27 浇筑仓立模

第十三步：拖动界面左侧面板的平仓振捣机图标，完成混凝土平仓振捣设备的吊运入仓，如图28所示。场景视角自动切换至混凝土搅拌运输车卸料、立罐转运场景，如图29所示。



图28 平仓振捣设备吊运入仓



图29 混凝土转运

第十四步：拖动左侧面板立罐图标，将模拟混凝土搅拌运输车向立罐卸料，如图30所示。



图30 混凝土搅拌运输车卸料

以及立罐吊运入仓浇筑（图31）、平仓振捣（图32）、混凝土养护（图33）等仓内混凝土浇筑施工工艺。



图31 立罐吊运入仓浇筑



图32 平仓振捣

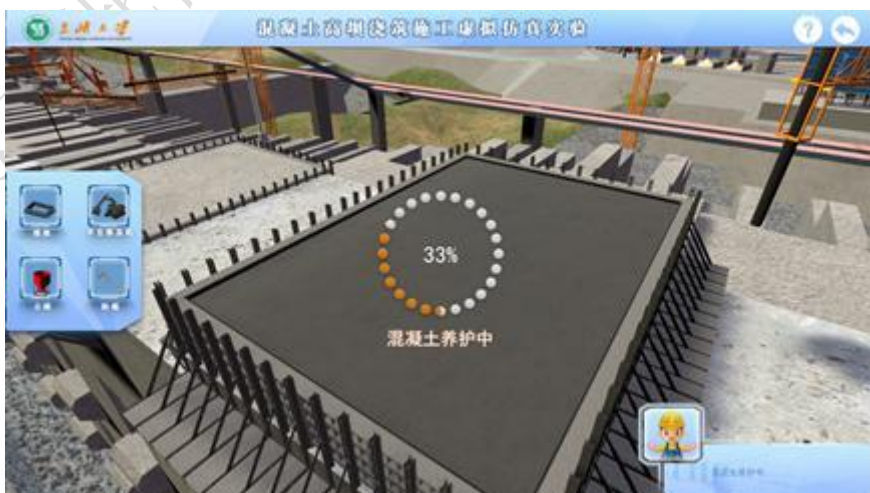


图33 混凝土养护

第十五步：混凝土养护完成后，拖动界面左侧面板的拆模图标，动态模拟浇筑仓模板拆除过程，如图34所示。拆模后自动进入施工场景漫游，全景展示混凝土浇筑机械设备的运行和施工作业场景，如图35所示。

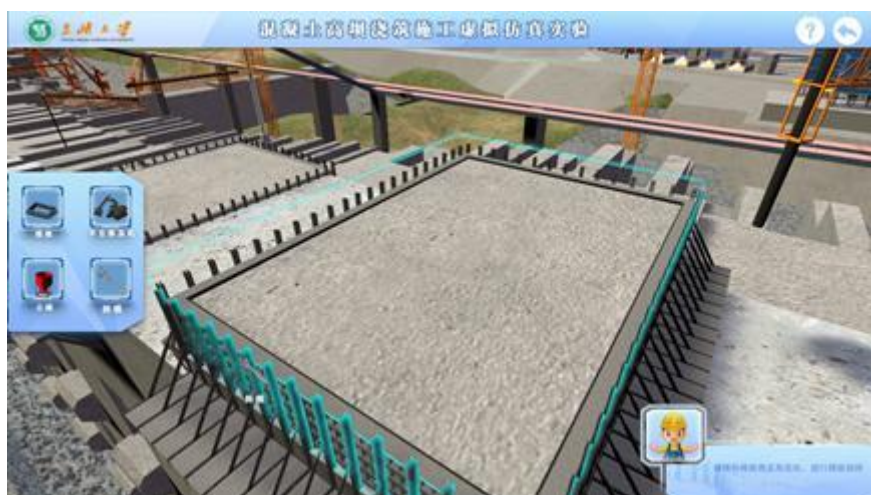


图34 浇筑仓拆模



图35 施工场景漫游

第十六步：上述操作完成后，系统自动返回实验模块选择界面，如图36所示。点击已激活的实验考核图标，弹出实验考核界面，依次完成与实验内容相关的选择题答题，点击提交，完成实验考核试题和实验操作过程考核结果的上传，将弹出该次虚拟仿真实验各步骤的评分，如图37所示。整个虚拟仿真实验结束。



图36 已激活实验考核模块

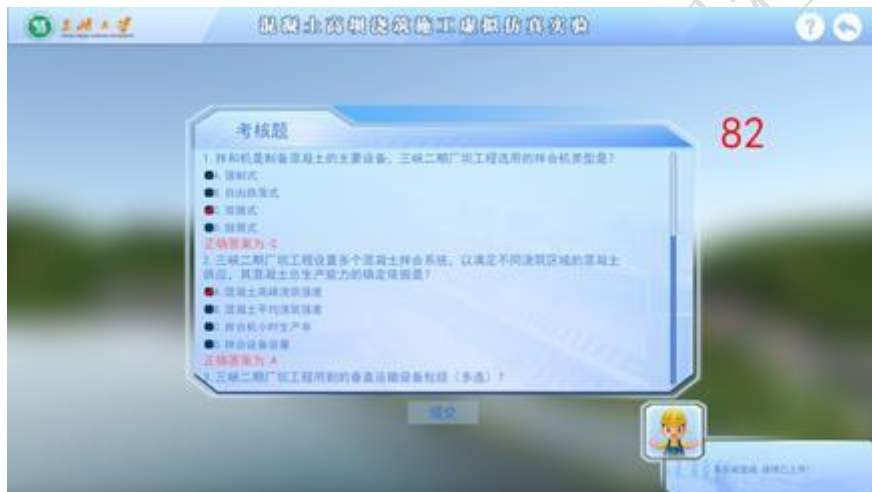


图37 实验考核

第十七步：实验操作完成后，系统返回主界面，点击完建形象图标，系统将加载已完建工程的三维虚拟场景，如图38所示。



图38 工程完建形象漫游

在该场景中可通过旋转视角和场景漫游，深入了解工程枢纽的空间布置情况，实现对工程的线上虚拟实习。

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）

实验过程中，选择不同的混凝土生产系统场地布置方案、不同拌合设备数量和类型、不同混凝土运输设备配备数量，将出现不同的实验结果和结论。

(1) 系统提供6个混凝土生产系统备选场地，实际合理的布置场地为4个。用户选择不同的布置场地组合后，系统将根据场地高程、距离浇筑点距离（即运距）、场地所处位置交通条件等综合评价场地布置方案的合理性，并进行评分。

(2) 用户可依据给定的混凝土高峰浇筑强度 Q_{max} ，结合选定拌合机的小时生产率 P ，确定每个混凝土生产系统满足混凝土质量品种和浇筑强度要求的拌合设备数量，在三维虚拟仿真实验场景中完成拌合系统的布置。系统根据用户选择的拌合设备选型和数量，与理论上需要拌合设备的类型和数量进行对比，依据偏差程度进行实验结果评价。

(3) 在混凝土运输模块，用户需依据施工进度要求的月浇筑强度 Q_m 和单台起重月实用生产率 P_m ，对塔带机、胎带机、高架门机、摆塔式缆机、塔机、履带吊等6类混凝土垂直运输设备进行台套配置，并完成所选数量运输设备的虚拟仿

真布置。系统根据用户选择的运输设备数量，与理论所需运输设备数量进行对比，依据偏差程度以及是否产生空间冲突进行实验结果考核。

3-8面向学生要求

(1) 专业与年级要求

主要面向水利水电工程专业大四学生。

(2) 基本知识和能力要求

在使用本虚拟仿真实验平台前，要求学生较系统的完成《水工建筑物》、《施工机械和施工机械化》、《水利工程施工》相关章节学习。

3-9实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019年9月1日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 604人，外校98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：水利水电工程，

教学周期：2，学习人数：504

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2020年9月10日

(6) 已服务过的社会学习者人数：484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) 实验设计具备高阶性

混凝土高坝浇筑施工周期长、工艺复杂，室内实验无法真实模拟现场情

况。通过整合团队在混凝土坝施工过程仿真及三维可视化模拟方面的科研成果，反哺实践教学，建设混凝土高坝浇筑施工虚拟仿真实验线上教学内容，弥补高坝混凝土施工现场实习和实训过程中学生无法直接参与的不足，将“国之重器”三峡工程为代表的混凝土大坝浇筑施工现场进行虚拟重现，促进工科专业的课程思政建设。将难以实现的重大工程现场实践项目变为现实，可激发学生的学习兴趣，加深学生对混凝土坝浇筑施工机械和施工工艺的认识，培养学生实践能力、创新能力。

(2) 教学方法具备创新性

贯彻“以学生为中心”的教学理念，采用沉浸式、互动式教学方式，集中式和分散式互补的教学方式，线上与线下相结合的教学方式，基于工程实践的实验教学模式，通过自主学习，引导与考核相结合等多种手段激发学习兴趣，培养创新能力。

(3) 实验考核和评价体系具备挑战度

研究基于学生实验设计、实验操作、虚拟实验结果分析等方面的过程性及形成性实验考核和评价体系，学生实验过程挑战度高，有利促进学生对相应理论知识的深入理解和掌握。制定虚拟仿真实验的相应制度，促进实验教学质量评价制度化、规范化，提高虚拟仿真实验教学的考核要求，切实提高实验教学水平和质量。

(4) 对传统教学的延伸与拓展

项目利用高度仿真技术，搭建虚拟实验环境，突破了时间与空间的限制，将难以实现的重大工程现场实践项目变为现实，将晦涩难懂、量大抽象的传统知识实现可视化教学，激发学生的热情。项目利用互联网技术，面向高校和社会免费开放运行，允许不同高校、机构、不同专业的学生和相关人员共享使用，拓宽教学服务范围。

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) 10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8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。 系统提供带宽测试服务。

(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）

100

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

采用Windows7及其以上版本，推荐Windows10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：●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™ i5-8500-3.0GHz-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、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：

42051443013-21011

（2）请附信息系统安全等级保护备案证明



Information System Security Level Protection Filing Certificate. The certificate is issued to 三峡大学 (Three Gorges University) for the 第二级 (Second Level) system. The certificate number is 42051443013-21011. It is supervised by the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. The certificate is valid for 2 years.

7. 实验实践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	混凝土高坝浇筑施工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。

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

混凝土高坝浇筑施工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享平台的的核心框架，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。

(3)通用服务层

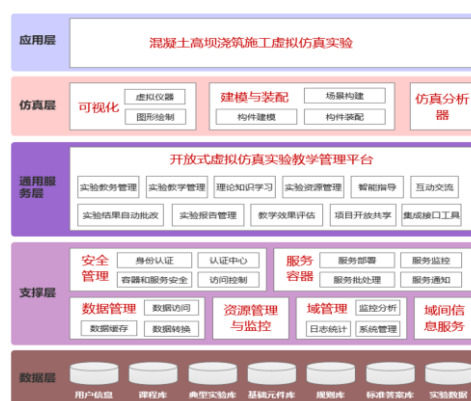
通用服务层即开放式虚拟仿真实验教学管理平台，提供虚拟实验教学环境的一些通用支持组件，以使用户能够快速在虚拟实验环境完成虚拟仿真实验。通用服务包括：实验教务管理、实验教学管理、理论知识学习、实验资源管理、智能指导、互动交流、实验结果自动批改、实验报告管理、教学效果评、项目开放与共等，同时提供相应集成接口工具，以便该平台能够方便集成第三方的虚拟实验软件进入统一管理。

(4)仿真层

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。

(5)应用层

基于底层的的服务，最终混凝土高坝浇筑施工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。



实验 教学	开发技术	<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 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 type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> AdobeFlash <input type="checkbox"/> UnrealDevelopment Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input checked="" type="checkbox"/> 其他
	运行环境	服务器 CPU 六核、内存32 GB、磁盘 100 GB、 显存 0 GB、GPU型号 无 操作系统 <input checked="" type="checkbox"/> Windows Server <input type="checkbox"/> Linux <input type="checkbox"/> 其他 具体版本：2019 数据库 <input checked="" type="checkbox"/> Mysql <input type="checkbox"/> SQL Server <input type="checkbox"/> Oracle <input type="checkbox"/> 其他 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： ●是 ○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）	单场景模型面数：900000个； 贴图分辨率：1024px * 1024px； 每帧渲染次数：30calls； 动作反馈时间：小于1000ms； 显示刷新率：高于30FPS； 分辨率：1920ppi * 1080ppi 其他：

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	持续优化已有系统场景三维模型细节表现效果和渲染效率，

	根据使用过程的反馈意见，不断优化模块之间的关联关系，改进人机交互操作，丰富虚拟仿真项目考核模块的试题库。
第二年	基于VR/AR技术继续开发该项目的VR/AR版本、手机WebGL版本，拓展学生的学习场景，进一步提高项目的真实度和体验度。在优化现有版本的基础上，建设英文版本。；
第三年	增强实验平台共享能力和稳定性，加深实验的深度与广度，满足和学生对于混凝土高坝浇筑施工实验学习的需求。优化网络平台的软硬件设施和运行环境，增加辐射效应。
第四年	在现有虚拟仿真实验功能的基础上，开展校企合作，进行相关科研项目对接，延伸平台的功能，继续优化虚拟仿真实验项目内容。
第五年	构建多层次、模块化的虚拟仿真教学体系，涵盖多门课程的多种理论知识和实验内容，结合我校水利类虚拟仿真实验教学情况，建立多种虚拟仿真实验的校级开放式虚拟仿真管理平台。

其他描述：

经过5年持续建设，三峡大学水利与环境学院将依托对本虚拟仿真实验，继续建设具有水利类专业特色的虚拟仿真实验项目，加大对虚拟仿真实验器材、设备和软件研发的投入，构建虚拟仿真实验教学体系，服务于国内高校水利类专业人才的培养。

（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	500
第二年	2	200	1	500
第三年	3	300	1	500
第四年	4	400	1	500
第五年	4	400	1	500

其他描述：

逐步形成虚拟仿真实验教材，在河海大学、西安理工大学、长沙理工大学、及湖北省内相关高校推广使用，通过共享共建逐步提升虚拟仿真实验教学质量。未来重点将此虚拟仿真系统推广到全国开设水利工程相关专业的高校，实现资源的有效共享。

利用学校区位优势，面向企业、科研院所等，开展工程实训，每年计划500人左右。通过3D教材建设，扩大项目的社会影响力。

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	混凝土高坝浇筑施工虚拟仿真实验教学系统
是否与课程名称一致	<input checked="" 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，可自行增加著作权人填写栏进行填报。</p>	
著作权人	著作权人类型
三峡大学	<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	原始取得
软件著作登记号	2020SR1254552
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。）