

2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目申报表

学 校 名 称	环境科学与工程学院
实 验 教 学 项 目 名 称	人工湿地污水生态处理工艺虚拟仿真综合实验
所 属 课 程 名 称	人工湿地污水处理与技术
所 属 专 业 代 码	081003
实验教学项目负责人姓名	13517482083
有 效 链 接 网 址	http://119.23.40.38:14800/

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	陈传胜	性别	男	出生年月	1970.01
学 历	研究生	学位	博士	电 话	
专业技术职务	副教授	行政职务	系主任	手 机	13517482083
院 系	环境科学与工程学院			电子邮箱	653948140@qq.com
地 址	湖南省长沙市韶山南路 498 号 中南林业科技大学			邮 编	410000
<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>（1）主持的教学研究课题</p> <p>[1].湖南省普通高等学校教学改革研究项目：农林业院校《土壤学》创新型实践教学体系的构建，湖南省教育厅，2012 年。</p> <p>[2].中南林业科技大学教改项目：基于创新与创业能力培养为目标的研究生教育体系的探索与实践—以中南林业科技大学为例，中南林业科技大学，2011 年。</p> <p>[3].中南林业科技大学教改项目：研究生创新创业能力培养的训练体系探索研究，中南林业科技大学，2016 年。</p> <p>（2）发表的教学研究论文</p> <p>[1].Chuansheng CHEN, Kelin LI,Guoying ZHOU.Exploration and practice about education of innovation and career-creation education of postgraduate, The 2nd Teaching Seminars on Higher Education Science and Engineering Courses 2012.11 08, ISTP 收录.</p> <p>[2].Chuansheng CHEN, Congjun HUANG.Study on problems and countermeasures of practice on the current forestry specialty, The 2nd Teaching Seminars on Higher Education Science and Engineering Courses 2012.11 08, ISTP 收录.</p> <p>[3].陈传胜,吴晓芙,彭佩钦等.土壤学课程创新型实践教学的改革研究,课程教育研究[J]. 2014.(04)221-222.</p> <p>[4].陈传胜,陈永华,王平等.林业院校研究生创新创业教育探索与实践,湖南省第九届研究生创新论坛“生态经济与绿色发展”分论坛, 2018.25-26.</p> <p>[5]. 陈明利,陈传胜.环境生物学创新型教学体系探讨,科教文汇, 2015, 11 (42-43) .</p> <p>（3）获得的教学表彰或奖励</p> <p>[1]. 中南林业科技大学优秀班主任（2011 年，排序 1）</p> <p>[2]. 中南林业科技大学优秀班主任（2012 年，排序 1）</p> <p>[3]. 中南林业科技大学优秀班主任（2013 年，排序 1）</p> <p>[4]. 中南林业科技大学本科优秀毕业论文（2016 年，排序 1）</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）；在国内外公开发行人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）

(1) 学术研究课题

- [1]. 主持湖南省自然科学基金面上项目（2016JJ2174），粘性滑带土峰后强度衰减应力-应变曲线分类研究，湖南省科技厅，2016-2018，排序1.
- [2].湖南省教育厅重点项目（2014A152），滑坡滑带土残余强度参数快速取值方法的研究，湖南省教育厅，2014-2017，排序1.
- [3].教育部出国留学基金（20121707），滑坡防治工程的效果与滑动面强度参数 c' 、 ϕ' 关系的研究，2013-2015，教育部，排序1.
- [4]. 湖南省科技厅科学研究项目（2012SK3168）：滑坡应急治理设计中的强度参数快速取值方法研究，2012-2014，排序1.
- [5].国家自然科学基金(项目编号:31270671)，强度林草混交根系成型机理与边坡根系土体加固机制研究，国家基金委，2013-2016，排序2.

(2) 发表的学术论文

- [1]. 陈传胜,尹育知,吴琼.生态文明城市建设中湿地生态工程构建模式研究,北方园艺,2011(18):118-121.排序1
- [2]. 陈传胜,张建敏,文仕知.基于有效垂直应力水平下的滑带土强度参数的适用性研,岩石力学与工程学报,30(8):1705-1711,2011(株洲市科协论文一等奖, Ei 收录). 排序1
- [3]. 陳伝勝*,宜保清一,中村真也,木村匠. 地すべりの断面形状と安定解析 $c'-\tan\phi'$ の関係. 日本地すべり学会誌,46(1):27-34,2009. 排序1
- [4]. Chen C*,Liu J., Wen S., Study of the effect of shear rates on residual shear of landslide soil. Advanced Materials Research,598-601,2013 (Ei 收录). 排序1
- [5]. 陈展祥, 陈传胜等. 凹凸棒石及其改性材料对土壤镉生物有效性的影响与机制,环境科学,39(10):4745-4750.(Ei 收录). 排序2 通讯作者

(3) 学术研究表彰或奖励

- [1]. 湖南省科技进步一等奖:组合人工湿地污水处理技术开发与产业化应用研究，湖南省科技厅，2011年，排序7.
- [2]. 株洲市第十二届自然科学优秀论文一等奖，株洲市科协，2011，排序1.

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	陈传胜	中南林业科技大学	博士、副教授	系主任	项目总负责人	
2	陈永华	中南林业科技大学	博士、教授	副院长	技术负责人，实验设计、指导	收集反馈持续改进
3	付新喜	中南林业科技大学	博士、讲师	无	工艺流程设计指导	在线教学服务

4	杜露	中南林业科技大学	博士、讲师	无	项目开发 实验操作讲 授	在线教学 服务
5	陈明利	中南林业科技大学	博士、副教授	无	项目开发 实验操作讲 授	指导学生 实训实习
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	王平	中南林业科技大学	博士、教授	院长	项目开发主 管	实验条件 建设和保 障
2	李科林	中南林业科技大学	博士、教授	副院长	项目开发副 主管	实验条件 建设和保 障
3	胡新将	中南林业科技大学	博士、副教授	无	实验指导学 生在线问 答	在线教学 服务
4	冯冲凌	中南林业科技大学	博士、副教授	实验中心 主任	项目开发， 实验指导学 生在线问 答	指导学生 实训实习
5	朱健	中南林业科技大学	博士、副教授	系副主 任	实验教学 法研究	在线教学 服务
6	汤春芳	中南林业科技大学	博士、教授	无	实验操作讲 授	指导学生 实训实习
7	王文明	长沙洋湖再生污水处理厂	硕士	总工	工艺技术支持与指导	企业导师
8	郭丹丹	长沙洋湖再生污水处理厂	硕士	技术员	工艺技术支持与指导	企业导师
9	刘洵	北京象新力科技有限公司	工程师	产品经理	软件设计和算法	
10	亢海旭	北京象新力科技有限公司	工程师	Maya建模 工程师	三维模型建模	
11	龙亮	北京象新力科技有限公司	工程师	Unity建模 工程师	程序制作	
项目团队总人数：16（人） 高校人员数量：13（人） 企业人员数量：3（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

人工湿地污水生态处理工艺设计虚拟仿真综合实验

2-2 实验目的

人工湿地（Constructed Wetlands）是本世纪 70 年代末发展起来的一种生态净化污水处理技术，不仅具有较强的氮、磷处理能力，出水水质好，运行维护管理方便，投资建设和运行成本低，同时还具有良好的景观效益，近些年在美丽中国建设和乡村振兴战略中备受关注并发挥着的举足轻重的作用。

然而，该处理系统的构建较为复杂，且系统运行周期长，难以在较短实验周期中重现人工湿地生态去污的整个工艺流程，自然保护与环境生态类专业的学生实习主要以参观为主，无法进行实际操作与深入了解，学习效果非常有限。针对以上情况。为全面系统掌握人工湿地工艺设计的知识原理，促进知识结构的融会贯通，提升学生综合设计能力和工程能力，本项目借助虚拟仿真技术实现人工湿地污水生态处理工艺全流程的构思、设计、构建、运行和管理，通过校企合作开发人工湿地污水生态处理工艺虚拟仿真实验。

实验目的如下：

掌握人工湿地污水生态处理系统工艺流程的设计；

掌握人工湿地净化污水的机理；

了解人工湿地系统去污效果的影响因素；

贯通学生对课程体系构建的理解；

提升实验动手及工程综合创新能力。

2-3 实验课时

(1) 实验所属课程所占课时：40 课时

(2) 该实验项目所占课时：8 课时

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）

该项目以人工湿地污水生态处理工艺设计及运行为主体，采用了虚拟仿真网络化、数字化和智能化实验研发技术，以人工湿地污水处理技术设计实验教学内容为指向，通过构思、设计、参数调节、运行、考评五个实验环节，实现人工湿地污水生态处理设计知识结构的融会贯通，综合提升学生的设计与工程能力。

本设计实验设为 8 学时，包括以下五个阶段，见下图。

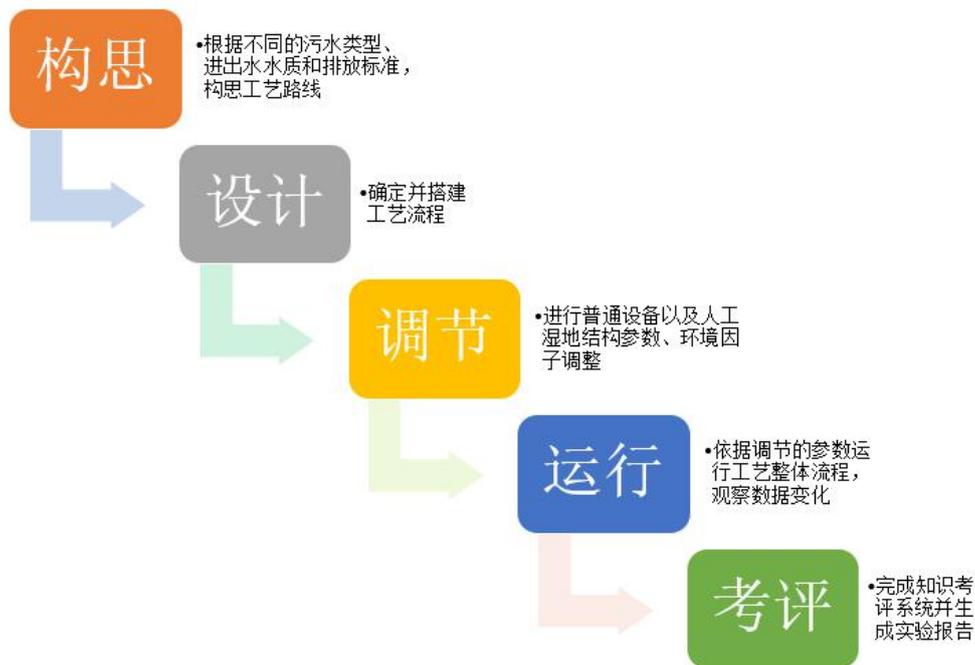


图 1 实验设计思路以及原理

知识点：共 14 个

本实验项目通过人工湿地污水处理系统设计虚拟仿真实验，直观呈现不同工艺设计参数及环境因子下，湿地系统去污效果数值变化特性。

1. 污染物浓度、处理要求、处理规模对工艺流程搭建的影响

2. 污水排放标准执行原则及相应设计规范

3. 人工湿地场地的选择原则

人工湿地污水处理设施位置的选择应符合居住区、村镇或厂区总体规划及环境影响评价的要求，并结合下列因素综合确定：

宜靠近自然水体、市政排污管道的排放点或便于处理后回用的地点；

在城市、居住区处理站内宜在夏季主导风向的下风侧，应与建筑保持一定

距离，并用绿化带与建筑物隔开；

居住区内处理站宜设置在绿地、停车坪及室外空地；农村地区宜设置在地势相对较低的荒地处；

处理设施与生活供水泵站及其清水池距离应不得小于 10m；

处理设施地点应便于施工、维护和管理等。

4.掌握人工湿地工艺参数的确定

(1) 设计水质以及出水水质的确定

表 1 常见区域污水水质指标

指标	BOD ₅	COD	SS	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP	pH
城市生活污水	100-400	250-700	100-300	20-50	20-80	2-6	6.5-8.5
农村生活污水	40-150	70-300	35-180	10-50	10-60	2-7	7.1-7.3

(2) 人工湿地出水排入国家和省确定的重点流域及湖泊、水库等封闭、半封闭水域的水质，应执行一级标准的 A 标准；出水排入 GB3838 地表水 III 类功能水域（划定的饮用水源保护区和游泳区除外）、GB3097 海水二类功能水域时，应执行一级标准的 B 标准；出水排入 GB3838 地表水 IV、V 类功能水域或 GB3097 海水三、四类功能海域，执行二级标准；作为中水回用的出水水质应达中水回用水质指标。

表 2 常见水质指标

指标	BOD ₅	COD	SS	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP
一级 A 标准	≤10	≤50	≤10	≤8	≤15	≤0.5
一级 B 标准	≤20	≤60	≤20	≤15	≤20	≤1
二级标准	≤30	≤100	≤30	≤30	-	≤3.0
城市杂用水	≤10~20	-	-	≤10~20	-	-
景观用水	≤6~10	-	≤10~20	≤5	≤15	≤0.5~1

(3) 设计水量的确定

设计水量可根据用水定额的 80%-90%采用，采用埋地塑料管或地下水位较高时取高值。

表 3 居民生活用水量参考取值（升/人日）

卫生设施类型	农村居民用水量	城镇居民用水量
经济条件好，室内卫生设施齐全	90~150	150~180
经济条件较好，室内卫生设施较齐全	60~120	120~150
经济条件一般，有简单的室内卫生设施	50~100	90~120
无卫生间和沐浴设备，主要利用地表水、井水洗涤	30~90	-

(4) 表面水力负荷的确定

表面水力负荷(HLR)是指每平方米人工湿地在单位时间所接纳的污水量,是湿地系统设计的重要参数之一,它通常可计算为:

$$q = Q/A$$

式中:

q——水力负荷率, m/d;

Q——日处理量, m³/d;

A——人工湿地面积, m²。

从式中可看出,水力负荷与处理量、湿地面积相关。一般而言,水力负荷越低、水力停留时间越长,湿地系统去污效果就越好。然而,在处理量已确定的前提下,较低的水力负荷意味着需以较大的湿地面积为代价。因此,在进行人工湿地系统设计和运行时,需确定最佳水力负荷,在保证出水水质的同时,实现土地使用价值最大化。目前已应用的湿地系统中所采用的表面水力负荷约在 0.2-0.5 m/d 之间。

(5) 表面有机负荷的确定

表面有机负荷(organic surface loading)是指每平方米人工湿地在单位时间去掉的五日生化需氧量,也是人工湿地设计过程中的主要参数之一。通常可计算为:

$$q_{os} = \frac{Q \times (C_0 - C_1) \times 10^{-3}}{A}$$

式中:

q_{os}——表面有机负荷率, kg/m²d;

Q——湿地系统设计水量, m³/d;

A——湿地系统面积, m²;

C₀——湿地系统进水 BOD₅ 浓度, mg/L;

C₁——湿地系统出水 BOD₅ 浓度, mg/L。

(6) 设计面积的确定

比较上述两种方法所求得湿地系统占地面积,取二者最大值作为设计面积。

(7) 处理单元数的确定

已有大量的研究表明,在给定的水力负荷下组合湿地系统可缩短处理周期和提高处理率,因此,确定湿地单元数也是增强湿地系统去污力的重要步骤。可根据以下公式计算:

$$n = \ln(C_e/C_0)/\ln(1 - R)$$

式中:

n——处理单元数;

C_e——设计出水标准;

C₀——进水水质;

R——单元去除率。

(8) 水力停留时间的确定

水力停留时间(HRT)是指污水在系统内的平均停留时间,是人工湿地污水处理系统重要的设计参数之一。水力停留时间可定义为湿地有效容积与日处理量的比值,计算公式如下:

$$HRT = V_e/Q$$

式中:

HRT——水力停留时间, d;

V_e——系统有效容积, m³;

Q——日处理量, m³/d。

水力停留时间与日处理量、系统容积、填料孔隙度、操作水位等有关。水力停留时间对系统去污效果影响较大,时间过短,会使污染物降解不够充分,时间过长,易造成水流停滞和大面积厌氧,从而降低系统去污效果。

(9) 填料深度

在占地面积、水力停留时间、填料孔隙率确定的前提下,可通过以下公式确定系统高程:

$$H = V_e/(S * \epsilon)$$

式中:

H——高程, m

V_e——系统有效容积, m³;

S——系统占地面积, m²;

ε ——填料孔隙率，%。

5. 湿地基质配置

(1) 基质的选择应根据基质的机械强度、比表面积、稳定性、孔隙率及表面粗糙度等因素确定；

(2) 基质选择本着就近取材的原则，并且所选基质应达到设计要求的粒径范围；

(3) 对出水的氮、磷浓度有较高要求时，提倡使用功能性基质，提高氮、磷处理效率；

(4) 潜流人工湿地基质层的厚度应大于植物根系所能达到的最深处。

6. 掌握湿地植物选择及种植方法

(1) 人工湿地宜选用耐污能力强、根系发达、去污效果好、具有抗冻及抗病虫害能力、有一定经济价值、容易管理的本土植物。人工湿地出水直接排入河流、湖泊时，应谨慎选择外来入侵物种；

(2) 人工湿地可选择一种或多种植物作为优势种搭配栽种，增加植物的多样性并具有景观效果；

(3) 人工湿地植物的栽种移植包括幼苗移植、种子繁殖、收割植物的移植以及盆栽移植等；

(4) 人工湿地植物种植时间宜为春季；

(5) 植物种植密度可根据植物种类与工程要求调整。

7. 集、配水及出水布置

(1) 人工湿地单元宜采用穿孔管、配水管、配水堰等装置来实现集配水的均匀；

(2) 穿孔管的长度应与人工湿地单元的宽度大致相等。管孔密度应均匀，管孔的尺寸和间距取决于污水流量和进出水的水力条件，管孔间距不宜大于人工湿地单元宽度的 10%；

(3) 穿孔管周围宜选用粒径较大的基质，其粒径应大于管穿孔孔径。

(4) 在寒冷地区，集配水及进、出水管的设置应考虑防冻措施；

(5) 人工湿地出水可采用沟排、管排、井排等方式，并设溢流堰、可调管道及闸门等具有水位调节功能的设施；

(6) 人工湿地出水量较大且跌落较高时，应设置消能设施。

(7) 人工湿地出水应设置排空设施。

8.湿地系统防渗层设计

(1) 人工湿地应在底部和侧面进行防渗处理；

(2) 防渗层可采用黏土层、聚乙烯薄膜及其他建筑工程防水材料。

9.湿地系统管材以及闸阀

(1) 管材选用 PVC 或 PE 管，应按 GB/T13663 规定执行；

(2) 阀门选用应满足耐腐蚀性强、密封性好、操作灵活等要求；

(3) 水位控制闸板、可调堰等装置采用非标设计时，应考虑材质控制方式、防腐及耐用等因素。

10.湿地系统后处理

(1) 应根据污水排放标准的要求，选择是否设置消毒设施。当出水对病菌指标要求较高时，消毒应符合 GB50014 中的有关规定；

(2) 人工湿地出水作为再生水利用时，应符合 GB50335 中的有关规定。

11.污泥处理与处置

(1) 预处理系统产生的污泥处理与处置应符合 GB50014 中的有关规定；

(2) 人工湿地系统应定期清淤排泥。

12.突发事件应急措施

(1) 人工湿地系统应设置雨水溢流口、排洪沟渠等排洪设施；

(2) 人工湿地系统应设置超越管、溢流井等分流设施。

13.工艺参数对系统去污影响

(1) 表面水力负荷

(2) 水力停留时间

(3) 填料孔隙率

14.实验环境因子的影响

(1) 温度

(2) pH 值

(3) 溶解氧

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

1. 实验设备

PC 个人电脑若干台、服务器一台、实验软件平台一套（包括服务器端与客户端 B/S 架构）。



图 2 在线教学机房

2. 实验软件：

《人工湿地污水生态处理工艺设计虚拟仿真综合实验》教学软件一套。由人工湿地设备模型库、污水处理二维设计平台、人工湿地污水处理三维搭建平台、人工湿地污水处理国标客观题考评系统等及部分组成。

人工湿地设备模型库：包括人工筑成水池或沟槽，防渗漏隔水层。土壤填充物、不同材质的填料层填充物、芦苇等水生植物、布水管渠、格栅池、调节池等。

污水处理二维设计平台：包括在二维环境下，不同工艺流程污水处理的对比和数据分析工具。二维环境下，人工湿地污水处理选址设计、数据核算工具（设计水质、设计水量、水力负荷、水力停留时间、填料粒径、温度、pH 值）。

人工湿地污水处理三维搭建平台：提供三维基础场景，学生从人工湿地设备模型库中选择合适的施工件、设备件拖拽到场景中，完成人工湿地的搭建。搭建完成后计算运行，可以实时查看湿地运行状态下的污染物脱除效果参数，调整设计参数，可以得到不同的污染物脱除效果参数。

人工湿地污水处理客观题考评系统：虚拟实验平台提供客观题考评系统，

包括湿地基质选择原则、湿地植物配置原则、集、配水及出水布置原则、湿地系统防渗层设计、湿地系统管材及闸阀、湿地系统后处理、污泥处理与处置等方面的题目。



图 3 漫游场景内容

3. 硬件设备—人工湿地自制装置：

我校湿地技术研究课题组历经 20 余年，自主研发了一套高效率低成本的综合湿地处理工艺，2012 年获湖南省科学技术进步一等奖，该工艺主要构筑单元清晰，内部结构完整。学生可通过调整人工湿地运行参数，量化水质处理效果。以下为我校已建成人工湿地污水处理工程案例。

(1) 处理校园混合废水的人工湿地系统



图 4 处理校园生活污水与试验废水的人工湿地处理系统
(日处理量为 1200t/d)

(2) 处理农村生活污水的人工湿地系统



图 5 云南省滇池周边人工湿地工程 (晋宁县)

(3) 处理农户生活污水的人工湿地系统



图 6 处理农户生活污水的人工湿地实验装置



图 7 人工湿地实验装置植物生长图



图 8 处理农户污水人工湿地装置



图 9 我校所研发的农户湿地装置接受湖南媒体报道

2-6 实验材料（或预设参数等）

1. 操作系统：互联网、局域网和电脑。
2. 人工湿地污水处理系统构建由以下元素组成，污水类型、植物、基质、微生物，物理参数、污水处理设备。每一个元素的选择和改变皆会影响实验整体和局部的数据变化，影响实验结果。

可选污水类型：生活污水、城市污水处理厂尾水、自然水、暴雨径流等。不同类型的来水污水将会影响到不同的污水类型污染物指标，用户可根据不

同的情况自行去判断，构思与设计不同的污水处理工艺流程。

可选设备模型：人工湿地、粗格栅、细格栅、氧化沟、A20、UASB、生物接触氧化池、化粪池、膜格栅、MBR、DF/RO、幅流沉淀池、机械加速澄清池、调节池。

可选植物：芦苇、香蒲、菖蒲、茭草、纸莎草、睡莲、千屈菜、水葱、再力花、花叶芦苇。

可选填料：石灰石、蛭石、沸石、炉渣（块状）、炉渣垫层、火山岩、页岩、陶粒。

可选防渗层：天然黏土、改良土、聚乙烯膜、聚合物水泥。

成本金额：各设备、植物、基质、防渗、结构的成本、人工湿地总成本、整体污水处理工艺总成本等经济性指标。

实验预设可改变参数：溶解氧量、格栅间距、停留时间、膜组件、转速、反冲洗类型、pH、温度、填料比表面积、设计水量、表面水力负荷、设计水深、BOD5 负荷去除负荷、COD-Cr 去除负荷、坡度、湿地处理面积、湿地进水流量、防渗材料厚度、植物适种密度、微生物菌群、填料孔隙度。

实验影响参数：pH、COD-Cr、BOD5、SS、NH4-N、TN、TP、人工湿地设计面积、水力停留时间。

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）

教学方法使用目的：

人工湿地是一种由人工建造和调控的湿地系统，包括人工基质、植物和微生物三大要素，通过物理、化学和生物作用联合去除污染物，净化机理复杂。传统课本教学和现场观测方式无法直接观测人工湿地内部构造，不便于理解联合去污过程；另外，人工湿地对污染物去除效率易受工艺设计和外界环境影响，传统教学无法直观理解湿地三大要素（基质、微生物和植物）、设计参数和外界环境等对出水水质的量化作用，以及时间尺度上湿地微环境变化。

采用了虚拟仿真在线教学方式以后，学生实现了随时随地进行实验和自学活动，直观量化设计参数和外界环境对出水水质影响规律，同时实验结果和实验记录能够在网络平台上统一管理和统计，便于老师更好的掌握学生的学习进度和效果。

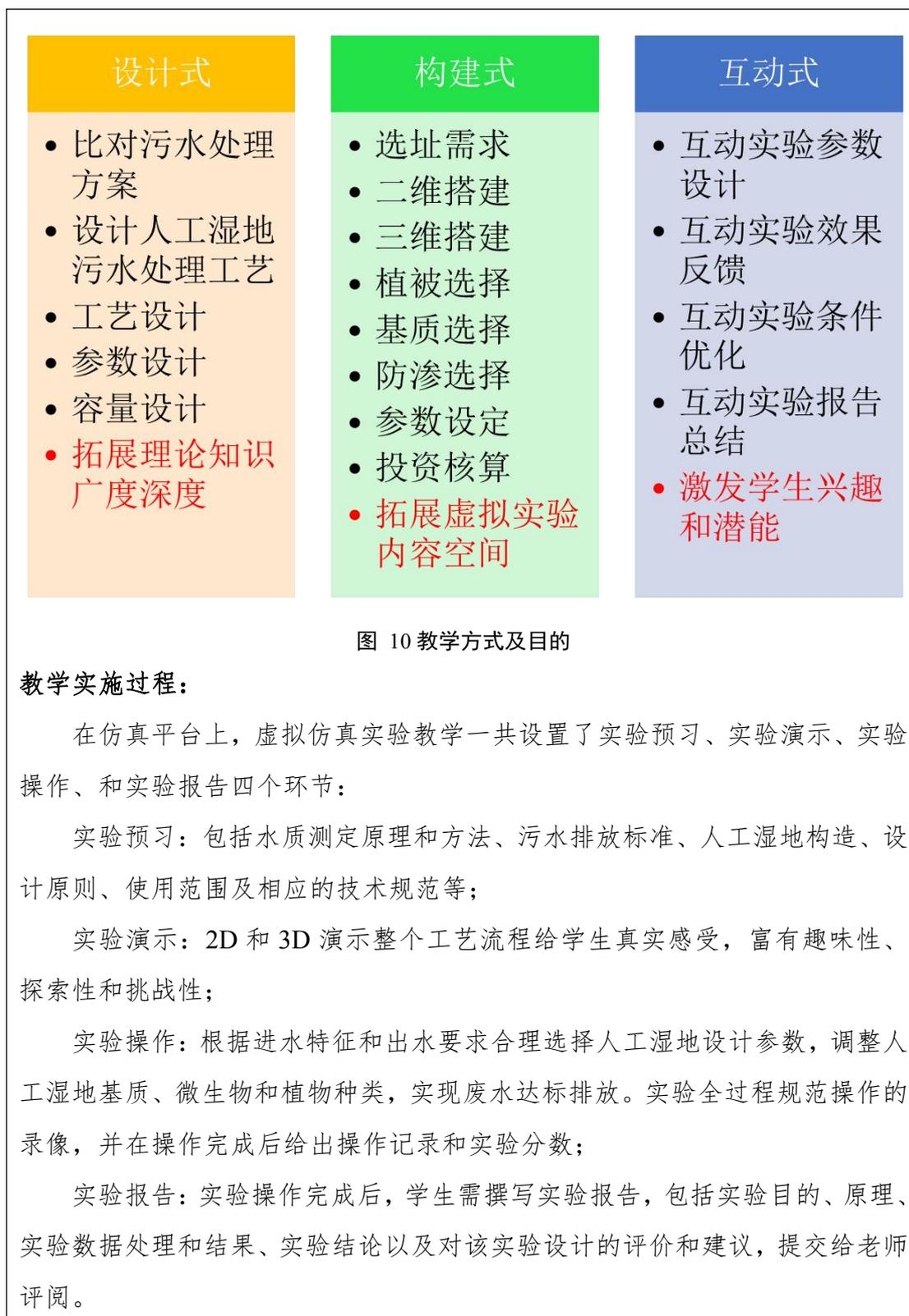




图 11 人工湿地网站平台总界面

题目管理

[导出题库](#)
[+ 单选题](#)
[+ 多选题](#)
[+ 问答题](#)
[+ 填空题](#)
[+ 不定项选择题](#)
[+ 判断题](#)
[+ 材料题](#)

题目	类型	创建时间	操作
在我国的社会总用水量中，工业生产是用水大户。	判断题	2018-11-14 19:18:14	预览 更多
国家确定的重要河、湖泊的流域综合规划，由国务院批准。	判断题	2018-11-14 19:19:13	预览 更多
新修订的《水法》颁布并施行于2003年	判断题	2018-11-22 11:27:03	预览 更多
空压气阀可以引起机组出力摆动，主轴摆度增加，机架振动增加。	判断题	2018-12-12 13:40:18	预览 更多
大型水轮机的导水叶为了增加强度所以导水叶是实心的。	判断题	2018-12-12 13:51:38	预览 更多
水轮机转轮的减压装置可以减少水轮机的轴向水推力。	判断题	2018-12-12 13:54:11	预览 更多
水轮机的轴向水推力是指作用在上冠上表面和下环外表面向下的水压力...	判断题	2018-12-12 14:23:56	预览 更多
混流式水轮机的标称直径是指叶片进口边的最大直径。	判断题	2018-12-12 14:24:54	预览 更多
百分表只能用于测量1mm以内的位移。	判断题	2018-12-12 14:25:13	预览 更多
在位置高度相同，管径相同的两断面上，其断面上的势能、动能都相同。	判断题	2018-12-12 14:25:33	预览 更多
计算压强时，凡是不计入大气压强所得的压强值称为绝对压强。	判断题	2018-12-12 14:25:55	预览 更多
实际水流中总水头线都是沿程下降的。	判断题	2018-12-12 14:26:13	预览 更多
液体的粘滞力就是液体的内摩擦力。	判断题	2018-12-12 14:26:36	预览 更多
牛顿第三定律是：两个物体间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相...	判断题	2018-12-12 14:26:48	预览 更多

图 12 题目管理



图 13 实验详情

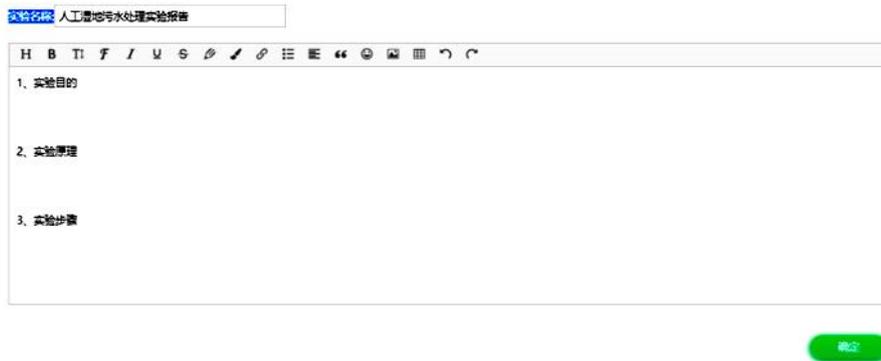


图 14 实验结论和感想提交

网络学习平台相关功能如下：

1.课程功能。可根据课程教学的要求，自由定制课程的内容，包括：导读、课程目录、笔记、讨论、评价等子功能；可自定义课时的内容，包括：视频、音频、仿真软件、作业、考试等形式；

2.实验库功能。可根据实验教学的要求，自由定制实验库的内容，包括：导读、实验目录、笔记、讨论、评价、公告等子功能，可自定义实验的内容，包括：导读、要求、教学、操作、评分、记录、结果、报告等形式；根据仿真软件的类型，可实现 PC 版软件的联机管理和 WEB 版软件的实验教学，具备实时仿真计算能力，具备与三维软件交互，提供网络通信功能；

3.资源管理功能。管理员、教师、学生用户可上传教学使用的资源文件，包括：仿真软件、视频、音频、图片、办公文件、Flash 等形式，资源库中的资源可应用到课程或实验库中，教学过程中产生的文件（例如：工况文件、评分文件、实验报告等）也可存储于资源库中。对于站外的资源，可以通过外链功能引入到本站中，实现外部资源的集中管理；

4.多平台功能。要求在 PC 端、平板电脑端、手机端均可登录网络学习平台进行学习或管理。可根据设备的不同提供不同的功能和人机交互界面。

教学实施效果：

在实验教学过程中，强调关键步骤和安全注意事项，理论与技能并重。由于教学活动的重点放在实验安全和规范操作过程上，这就有利于学生掌握知识同时将所学的知识运用到真实设备的操作中去，知行合一。学生通过完成既定教学项目，能有效调动学习的积极性，既掌握实践技能，又掌握相关安全知识，既学习了课程，又学习了解决问题的方法，能够充分发掘学生的创造潜能，提

高了学生解决实际问题的综合能力，提升实验教学质量和水平。

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：

学生可通过登录虚拟仿真实验平台，查看本实验相关的实验内容以及视频引导，在网站中，学生可通过实验详情了解实验背景、提前预习要求掌握的知识点、熟悉操作过程。此外，用户不需下载任何插件和辅助，通过点击网站中的【开始实验】即可直接进入实验，学生可根据实验指导书以及软件界面中的提示文字自主进行虚拟实验，每一部分实验内容都配备了相应的文字和图示说明，操作和变化皆带有引导特效，用户可在虚拟仿真实验软件中自由探索虚拟世界，分步骤完成人工湿地各项相关参数的调试，引导学生探究影响人工湿地生态污水处理工艺的决策因素以及原理和工程结论。

首先学生登陆虚拟仿真实验平台，完成实验预习。



图 15 平台的实验详情

其次，再启动软件，在二维场景中完成工艺流程构思设计的过程。根据命题给出的污水类型、进出水水质及排放标准，构思工艺路线；在构思工艺流程和排放标准的时候，以连线自由搭建为主要操作方式，学生在元件面板上自由选择需要的处理设备，进行灵活的拖拽、连线，构建自己想要的工艺流程，便捷的交互方式，允许学生对多种工艺流程做出对比。在三维场景中进行人工湿地的施工建设。期间包括原理解读、植物的选择，基质的摆放、防渗层的布置以及水力参数的调节等，总体构建人工湿地污水生态处理系统。

最后运行人工湿地污水生态处理系统，并通过调整参数进行运行试验。操作完成后由学生完成实验报告，由系统评分、教师评阅给出实验成绩。

(2) 学生交互性操作步骤说明：

步骤 1：课前预习知识检测

在“人工湿地污水生态处理工艺设计虚拟仿真软件主界面”的中鼠标点击“开始实验”按钮，可以进入下图所示的场景首界面。



图 16 场景主界面

用户通过了解现阶段背景和内容，进行简单的知识测验，其中包括人工湿地污水处理工艺设计全方面内容，如故障分析、模拟运行、池体设计、基质以及植物的选择等等。完成课前预习知识检测以后，方可进入下一步操作。



图 17 课前预习测试

步骤 2：选择处理污水类型

用户需选择处理不同的污水类型，此处将会影响用户处理来水的类型从而

应对不同的原始污水处理参数。用户可根据不同的来水指标设计不同的污水处理工艺，确定设计流量污水类型，明确主要污染物指标以及浓度。



图 18 不同类型污水选择

污水排放量的确定之分项指标法预测：学生在纳污范围综合污水量计算表中输入核算污水量预测计算结果，使学生通过实践体验污水规模预测的方法。并且，确定污水处理后水质要求，选择应执行的出水标准，考察学生对排放标准的掌握情况。

表 4 污水综合分析表

年限	2020 年	2025 年	2030 年
最高日用水量 (万 m ³ /d)	9.93	12.77	15.18
日变化系数	1.2		
平均日用水量 (万 m ³ /d)	8.28	10.64	12.65
排放系数	0.85		
处理率	100%		
污水量 (万 m ³ /d)	7.03	9.05	10.75
地下水渗入量 10% (万 m ³ /d)	0.70	0.90	1.08
平均日综合污水量 (万 m ³ /d)	7.73	9.95	11.83

步骤 3：工艺流程构思设计

工艺流程构思，设计计算。在构思工艺流程和排放标准的时候，以连线自由搭建为主要操作方式，学生在元件面板上自由选择需要的处理设备，进行灵活的拖拽、连线，构建自己想要的工艺流程。并且，用户也可以查询相应的推

荐工艺流程。在本步骤中，用户需根据来水

用户可以在自主搭建实时仿真平台中，在完全可视化操作模式下对算法模型进行拖拽、连线等操作；工艺过程连接关系，如串联、并联、环网、前后相对位置等，平台可以自动识别并自动生成相对应的代码，各个设备参数的分布和传递完全由模型自动计算，无需编写任何代码。

通过图形化建模工具，进行模块的建模和系统搭建，为教学资源提供实时计算模型，作为后台支持。如下图所示为人工湿地污水生态处理工艺设计虚拟仿真软件的界面。左边为图形模块库，右边为设计面板。在设计系统流程时，可通过左侧模块区域拖动模块，在右侧设计面板搭建工艺。

软件中元件库模型包括但不限于：人工湿地、粗格栅、细格栅、氧化沟、A2O、UASB、生物接触氧化池、化粪池、膜格栅、MBR、DF/RO、幅流沉淀池、旋流沉砂池、机械加速澄清池、调节池等。

人工湿地处理工艺流程应根据进水水质条件和出水水质要求，综合考虑各类型人工湿地的特点和工程用地等环境条件，通过技术经济比较后确定。当来水污水为生活污水或类似污水时，应先经过预处理设施后再进是滴单元；当人工湿地用于深度净化污水处理厂排水或污染河道水等低污染水时则无需做预处理。



图 19 搭建平台

步骤 4：其他设备参数调节

在此步骤中，用户需基于已搭建好的工艺针对污水来水污染指标和要求的

排放标准给出设计参数，并进行投料量调整，做出数据分析对比报告。用户可调节每一个关键设备的参数，实时观察出口水质的变化，了解每一个设备的对不同污染物指标的处理能力和相关性，更好的理解污水处理净化原理。

并且，用户可以根据选择的工艺设备以及参数因子的投入量影响到整个工艺的成本与投资，核算项目的经济性指标。



图 20 设备参数调节

步骤 5：人工湿地类型选择

按照工程设计和水体流态的差异，人工湿地污水处理系统分为表面流人工湿地、水平潜流人工湿地和垂直流人工湿地三种主要类型，水平潜流人工湿地和垂直潜流人工湿地可统称为潜流人工湿地。在此步骤中，用户可根据已搭建好的工艺流程以及各项相关参数因子选择在三维场景中选择合适人工湿地类型，并且不同的选择会实时反映在数据参数和三维变化上，让用户可以更深入的理解不同结构之间的区别和内部因子相互影响关系。

表 5 不同类型人工湿地的差异

参数	表面流人工湿地	水平潜流人工湿地	上行垂直流人工湿地	下行垂直流人工湿地
水流方式	表面漫流	水平潜流	上行垂直流	下行垂直流
负荷	较低	高	高	高
占地面积	大	一般	较小	较小
构造管理	简单	一般	复杂	复杂
工程建设费用	低较	高	高	高
季节气候影响	大	一般	一般	一般
卫生状况	差	好	一般	一般

景观效果	好	好	较好	较好
有机物去除能力	一般	强	强	强
硝化能力	较强	较强	一般	强
反硝化能力	弱	强	较强	一般
除磷能力	弱	较强	较强	较强

每种类型的人工湿地各具特色，他们的区别不仅仅在物理结构上的区别，在工程设计上也需要根据实际情况选择不同的工艺组合，充分利用各自优点实现工程效益最优。

步骤 6-8：人工湿地结构设计

防渗层设计：湿地单位的围护结构一般采用砌体或者钢筋混凝土结构，在地质条件满足的条件下可取消。防渗设施的作用是防止湿地系统因渗漏而污染地下水，人工湿地污水处理系统建设时，应在底部和侧面进行防渗处理。当原有土层渗透系数大于 10^{-8}m/s 时，应构建防渗层。本软件中提供多种防渗层更改，用户可从元件库中拖拽需要的防渗层材料至相关位置替换原有的组件，三维场景和相关参数实时发生变化。对于渗透系数小于 10^{-8}m/s ，且有厚度大于 60cm 的土壤或致密岩层时，可不需采取其他防渗措施。

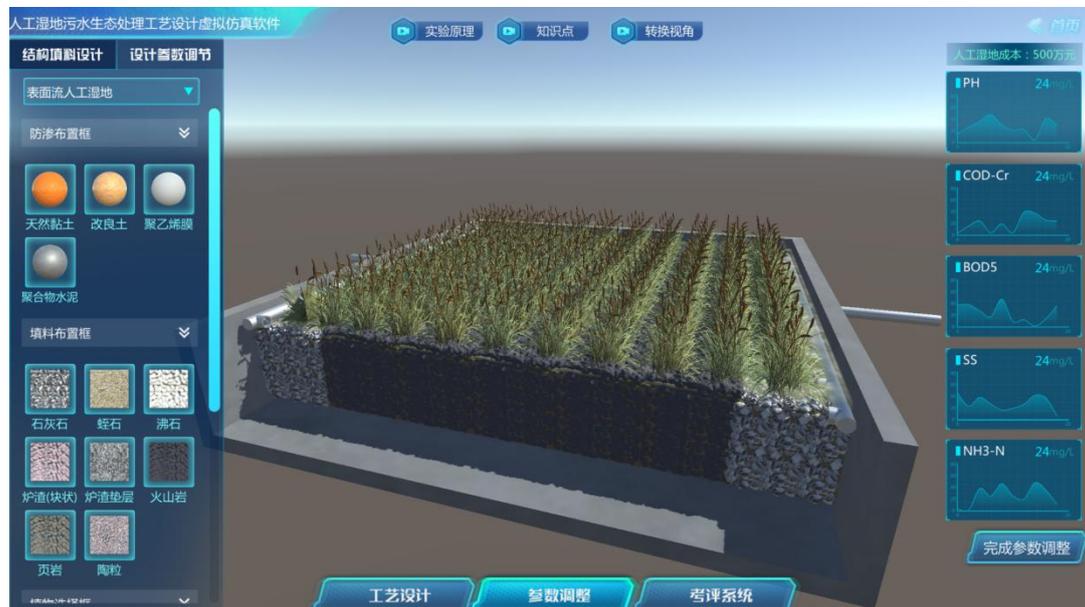


图 21 三维搭建更换防渗界面

填料（基质）设计：在湿地系统中，填料是植物的载体，是微生物的生长介质，它将湿地中发生的所有处理过程连成一个整体。基质还能够通过沉淀、过滤和吸附等作用直接去除污染物。对于填料的配置，主要考虑种类、粒径、

深度等，特别需要关注对磷的去除能力。填料安装后湿地孔隙率不宜低于 0.3，一般为 0.3-0.5 之间。

基质粒径的大小是影响湿地系统水力传导性的主要因素，直接关系到湿地床体的孔隙度，进而影响污染物在湿地中的停留时间。粒径大的基质，孔隙度大，所能容纳的污水量大，吸附作用的时间长，有利于污水的净化。



图 22 人工湿地填料

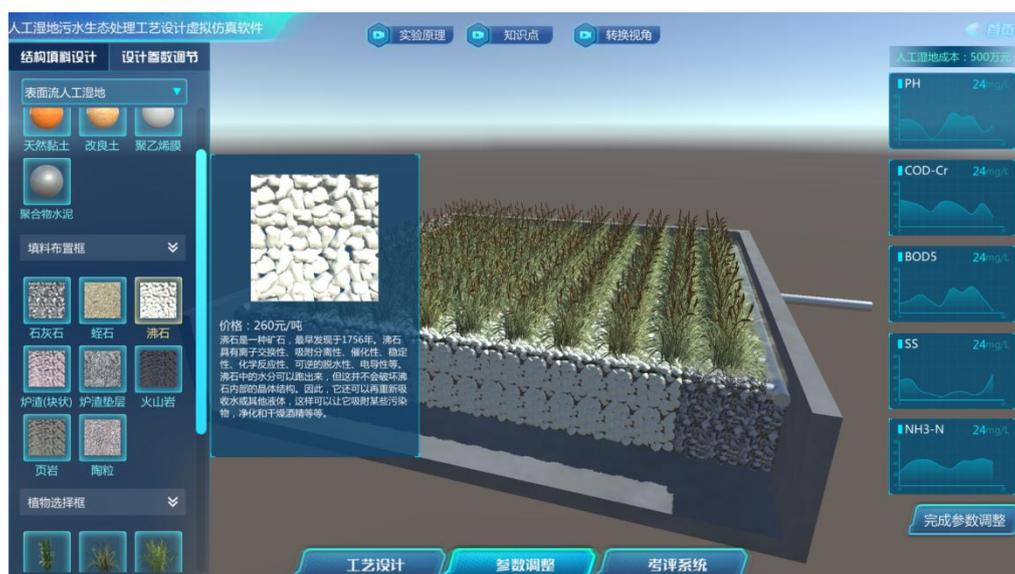


图 23 替换不同的填料

本实验选择多种常用的填料类型供学生选择，学生可根据不同的需求构建自己的人工湿地。

植物设计：湿地植物是种植在人工湿地中，具有一定的耐污能力和污染物去除功能，同时具有一定景观效果的植物。植物在污水控制方面有多种优势：吸收利用和吸附富集污染物、传输氧到湿地系统、为微生物提供挂膜载体、维持系统的稳定等。而湿地植物按其生长形态可分为挺水植物、浮叶植物和沉水

植物。

挺水植物具有中空的根茎，根系发达。主要功能是为湿地内部填料中输氧、为微生物提供生长场所、吸收水中的污染物等，种类繁多景观效果较好，并且多数种类都具有一定的经济价值。而浮叶植物的大面积叶片漂浮在水面可以有效的控制水华的爆发。沉水植物的各部分都可以吸收水分和养料，通气组织特别发达，有利于在水中缺乏空气的情况下进行气体交换，但是光合作用强烈，对增加水中溶解氧的浓度具有明显的效果，对水深水质有一定要求，水的透光性不能太差。

序号	植物种类	适种密度	备注
1	芦苇	16~25丛/m ²	2~3株或芽/丛
2	香蒲	9~16丛/m ²	2~3株或芽/丛
3	菖蒲	9~16丛/m ²	2~3株或芽/丛
4	茭草	8~12丛/m ²	2~3株或芽/丛
5	纸莎草	4~6丛/m ²	2~3株或芽/丛
6	黄花鸢尾	16~25丛/m ²	2~3株或芽/丛
7	千屈菜	16~25丛/m ²	——
8	水葱	16~25丛/m ²	2~3株或芽/丛
9	再力花	6~9丛/m ²	2~3株或芽/丛
10	花叶芦竹	6~9丛/m ²	2~3株或芽/丛

图 24 人工湿地植物种类

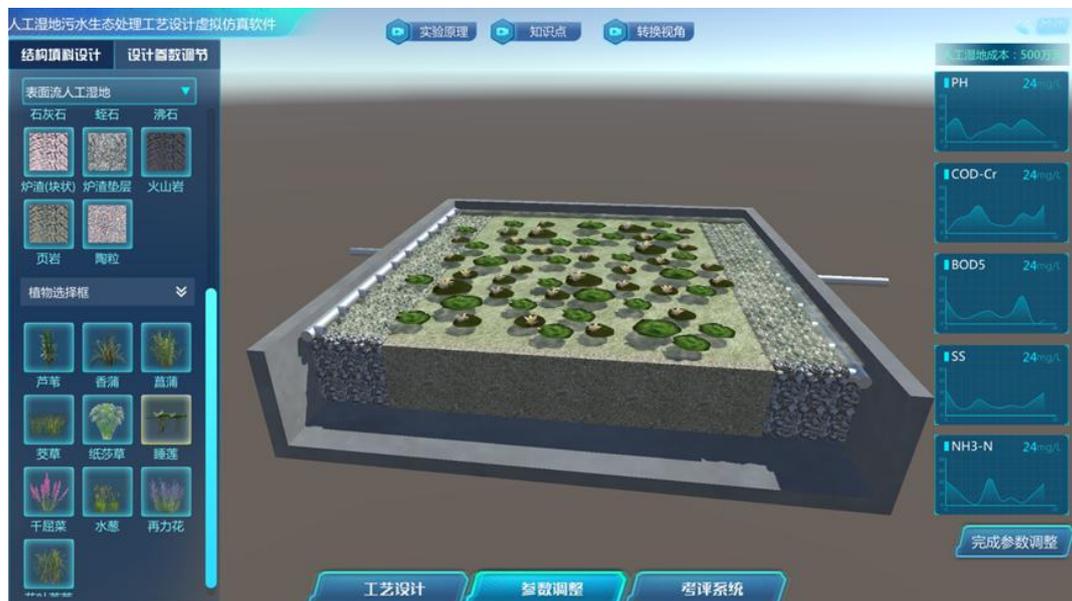


图 25 更换植物类型

步骤 9：人工设计参数调节

人工湿地的设计因素会影响到其运行效果，主要的设计参数包括湿地尺寸参数、水力参数和构造参数三类。其中，湿地尺寸参数主要包括湿地长宽比、

面积、深度等；水力参数主要包括水力停留面积、表面负荷率、水力坡度、水动力弥散系数等。用户可通过多种形式如滑竿、选项、填写等调节人工湿地运行参数，探究各环境因子和水力参数之间的相关关系，从而理解到人工湿地的运行原理，最后使用户自主判断对出水指标含量的影响，并且引导学生可借鉴响应免罚来确定最佳参数组合。对于不同类型的人工湿地系统，存在不同的参数最佳值。

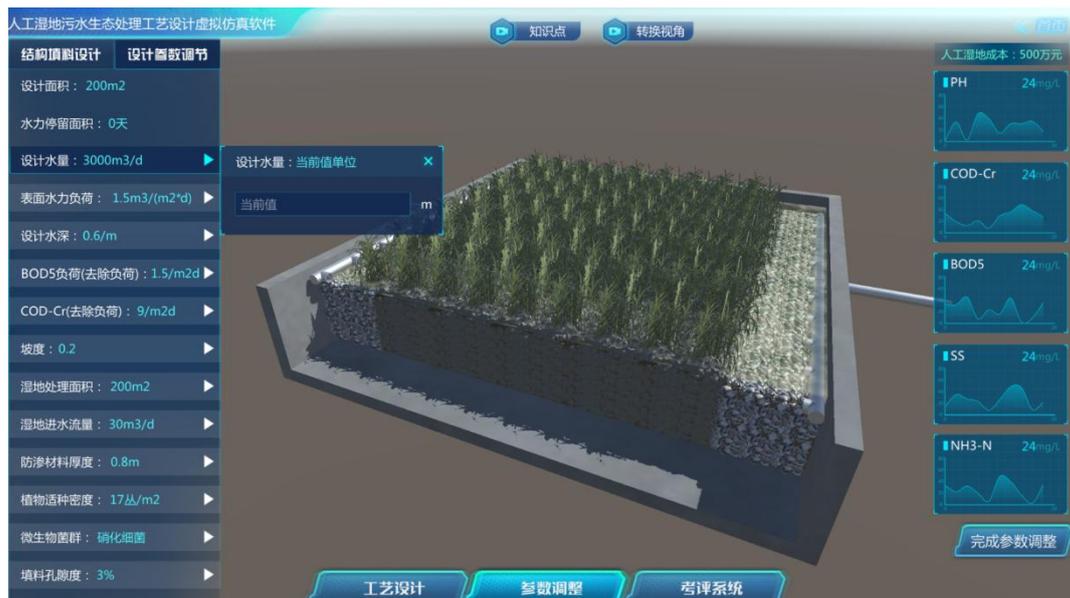


图 26 人工湿地设计参数调节

步骤 10：人工湿地污水处理过程

学生可以通过原理与知识点的学习，从多种媒介途径详细的观察和理解各种人工湿地结构处理污水的原理与过程。

表面流人工湿地指污水在基质层表面上，从池体进水端水平流向出水端的人工湿地。表面流人工湿地的水力负荷较低，对水体的净化处理效果有限。水平潜流人工湿地是指污水在基质层表面以下，从池体进水端水平流向出水端的人工湿地。水平潜流人工湿地的填料系统，处于底部厌氧、中部兼氧和上部好氧的状态，适宜湿地系统内微生物的好氧和厌氧代谢，对各种有机污染的处理效果相对较好。垂直潜流人工湿地是指污水垂直通过池体中基质层的人工湿地。垂直潜流人工湿地中水体从床体表层纵向流向填料床的床层，床体厨余相对不饱和状态，因此氧气可通过污水的垂直滴落、大气扩散与植物的传输进入湿地系统，使系统满足好氧处理的要求，使系统内污染处理处于硝化反应的过程。

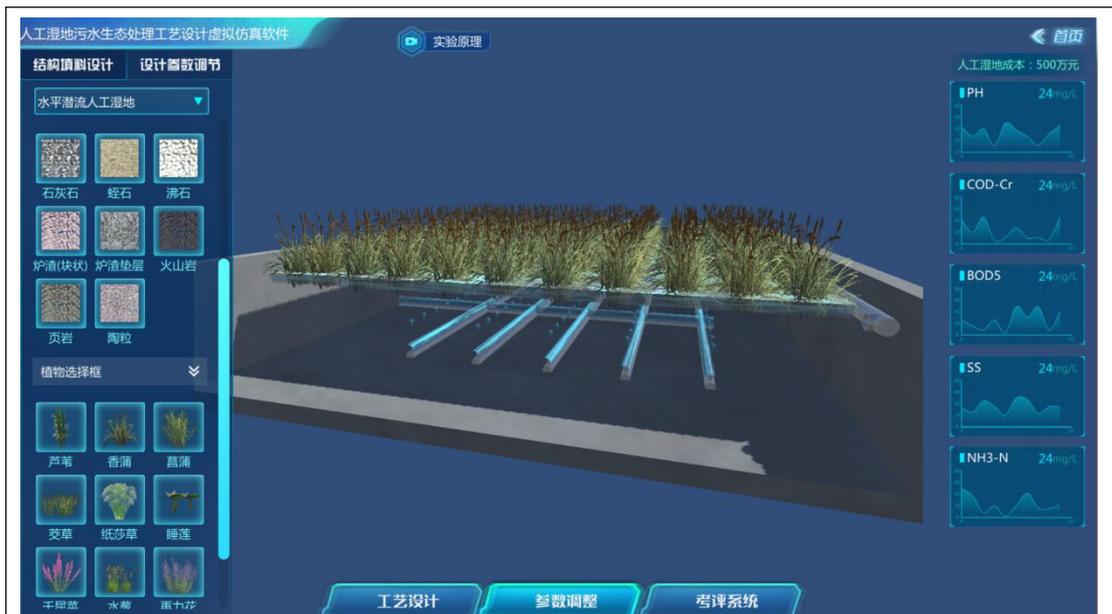


图 27 动画原理展示

步骤 11：综合测评

完整整体设计和模拟参数运行之后，软件将会通过测评的方式对关于人工湿地污水处理工程设计方便进行全方位的检测，用户可在答题界面可以鼠标点击答题标记选择正确答案。可点击向左标记进入上一题，点击或向右标记进入下一题。考评练习随机从题库中选题，达到灵活测验的效果。系统根据考试情况计算得分。



图 28 考题倒计时

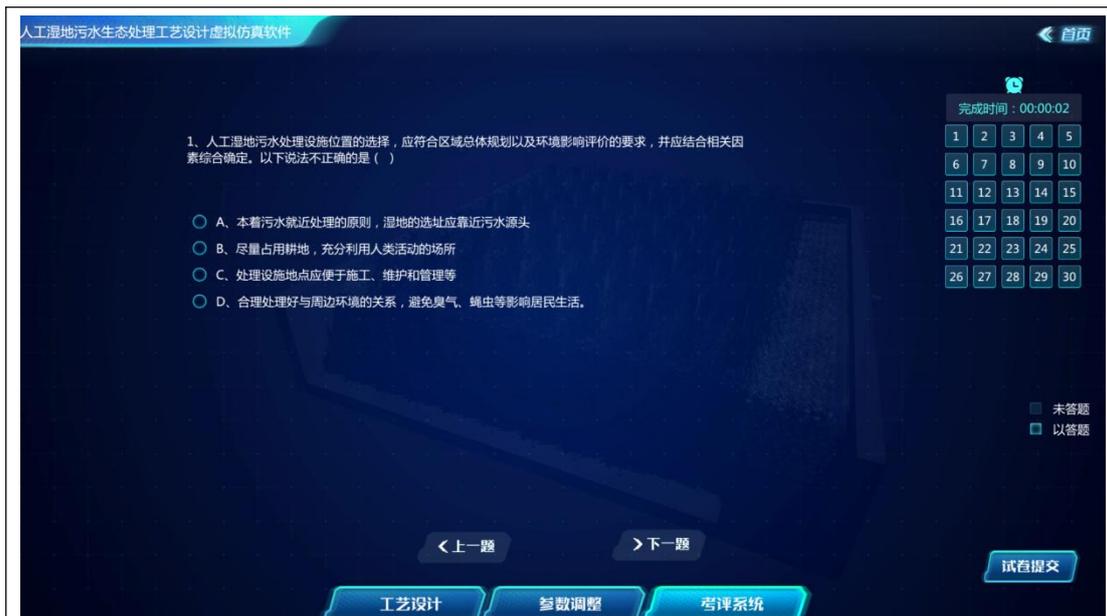


图 29 考试界面

步骤 12：评分系统并生成实验报告

系统可在运行结束后，对用户设计操作以及水质的处理变化等人工湿地建设设计全生命周期过程进行实时的评分，并且可导出成绩、打印成绩。



图 30 评分结果界面



图 31 综合整体评分内容

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：

用户可显示并确认生产运行过程中的结果报告，在整个人工湿地污水处理设计工艺流程过程中，显示学生在调整过程中所设置的所有条件参数，并根据处理结果反馈可无限修改和优化。实验最终的评价体系中，综合纳入工艺流程的流畅性、科学性、适用性、经济性等多角度评估，以“不限标准答案”的方式对人工湿地污水生态处理工艺设计虚拟仿真综合实验进行评价和反馈。

实验结果上传虚拟仿真平台供教师查阅。本虚拟仿真实验特别注重专业学生自主学习能力的培养，设置了多个自主设计和自由构建的实验环节，可自己动手根据实验任务自主设计实验方案，自由构建各种影响生态污水处理工艺的条件，观察不同影响因素对出水污染物指标的相关性影响。获得实时实验结果，使学生在做的过程中充分思考，灵活拓展，展示出最终设计工艺的形成过程，实验者的全局性，系统性思维得到了锻炼。

此外，本虚拟仿真实验还非常适合于非专业学生的通识教育，以及不同年龄、学历层次人员的各种科普教学需求，开放对象灵活多变。

2-10 考核要求

主要设置一以下三项考核要求：

人工湿地设计规范理论学习考核：学生掌握人工湿地主要参数选取原则和计算方法；评分采用客观题与主观题相结合的考核方式，知识点包括：工艺流程搭建、工程设计计算、湿地结构三维搭建、参数的选择等。

人工湿地工艺设计和优化考核：考核人工湿地类型、参数选择、三维构建布置等合理性。根据进出水质和系统运行情况优化工艺。通过学生的操作行为智能识别操作步骤和操作质量，由教师给出评阅意见并评分。

人工湿地运行和管理办法考核：考核人工湿地运行优化方式和管理办法，根据实际状况调整湿地运行条件，完成相应的课题检测。智能识别操作步骤和操作质量，由教师给出评阅意见并评分。

虚拟仿真项目考核评分体系由预习、模拟仿真实验和实验报告三个部分组成，具体评分标准和考核内容如下表：

表 6 虚拟仿真实验考核细则表

考核体系	考核内容	考核方式	权重
预习	排放标准及相应技术规范	客观题	5%
	人工湿地主要参数选取原则	客观题	5%
	人工湿地参数计算方法	客观题	10%
模拟仿真实验 (8 课时)	人工湿地工艺设计	教师评阅	40%
	人工湿地运行优化	教师评阅	10%
	人工湿地运行影响因素	客观题	10%
	人工湿地维护管理	客观题	10%
实验报告	内容完整，规范撰写	教师评阅	10%

2-11 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

专业要求：给排水科学与工程、环境科学、环境工程、环境生态工程、环境科学与工程等相关专业。

年级要求：大三或大四学生。

(2) 基本知识和能力要求

- 具有水污染控制工程基本理论知识
- 具备一定设计能力

2-12 实验项目应用及共享情况

- (1) 本校上线时间：2017年12月
- (2) 已服务过的本校学生人数：356人
- (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)

《人工湿地污水处理技术》课程教学大纲

课程名称：人工湿地污水处理技术

英文名称：Constructed Wetland Wastewater Treatment Technology

开课学期：6

学时/学分：40/2.5

课程类型：专业特色课

开课专业：给排水科学与工程、环境工程、环境生态工程

一、课程简介

《人工湿地污水处理技术》是给排水科学与工程、环境工程、环境生态工程等专业的课程，也是我校环境科学与工程学科的特色课程。本课程全面、系统地阐述了人工湿地污水处理技术及相应技术，重点介绍湿地的定义、内涵、类型、分布和湿地生态系统特点、人工湿地污水处理技术学原理、人工湿地污水处理技术的设计理论与方法、湿地资源的保护、价值评估、湿地生态系统的恢复与重建及人工湿地的构建等内容。通过该课程的学习，使学生熟练掌握湿地及湿地生态系统的基本知识，了解世界与中国湿地及其保护现状，国内外湿地生态学学科的新发展、新的研究方法；掌握有关人工湿地污水处理技术的主要理论与技术，并能够在实际中加以应用，逐步形成系统的生态工程设计的思想，并具备分析与解决实际工程问题的基本能力，提高学生整体综合素质。

二、理论教学内容及学时分配

第1章 前言（本章总学时3学时）

了解当前水污染现状，人工湿地在我国的应用与发展。

1.1 课程学习背景

1.2 水污染现状

1.3 污染水体的危害

1.4 常规污水处理方法

1.5 人工湿地在我国的应用与发展

本章的重点和难点：人工湿地在我国的应用与发展。

本章融入课程思政。

第2章 人工湿地基本知识（本章总学时6学时）

掌握人工湿地技术的定义、类型及特点，人工湿地组成要素，了解人工湿地技术产生的背景及发展历程，了解当前人工湿地技术发展中的常规问题。

2.1 湿地与人工湿地（2学时）

2.2 人工湿地的构成要素（2学时）

2.3 人工湿地的类型（2学时）

本章的重点和难点：人工湿地的定义、类型、组成要素。

本章融入课程思政。

第3章 人工湿地的去污机理（本章总学时7学时）

掌握人工湿地对常规污染物的去除机制。

3.1 有机物的去除机理及影响因素（1学时）

3.2 氮的去除机理及影响因素（2学时）

3.3 磷的去除机理及影响因素（1学时）

3.4 悬浮物的去除机理（1学时）

3.5 重金属的去除机理（1学时）

3.6 其他污染物的去除机理（1学时）

本章的重点和难点：人工湿地去污机理，尤其是去氮除磷的机理。

第4章 人工湿地基质选择与配置（本章总学时4学时）

掌握人工湿地基质的功能作用，湿地基质的配置原则，及常用基质种类。

4.1 人工湿地基质的作用（1学时）

4.2 基质选择的原则（1学时）

4.3 常用基质种类（2学时）

本章的重点和难点：人工湿地基质的作用、种类及基质选配的原则。

第5章 人工湿地植物选择与种植（本章总学时4学时）

掌握人工湿地植物的作用、筛选原则，常用湿地植物种类及其栽种管理等。

5.1 人工湿地植物的作用（0.5 学时）

5.2 人工湿地植物筛选原则（0.5 学时）

5.3 常用湿地植物种类（2 学时）

5.4 湿地植物的种植（0.5 学时）

5.5 湿地植物的管理（0.5 学时）

本章的重点和难点：人工湿地植物筛选原则，常用湿地植物种类。

第 6 章 人工湿地的设计（本章总学时 6 学时）

掌握人工湿地污水处理系统的设计原理及相关方法，熟悉人工湿地系统的基本设计流程。

6.1 设计水量与设计水质（0.5 学时）

6.2 处理设施选址与总体布置（0.5 学时）

6.3 工艺流程（2 学时）

6.4 设计参数（1 学时）

6.5 集配水及出水（0.4 学时）

6.6 防渗层设计（0.4 学时）

6.7 清淤及通气（0.4 学时）

6.8 雨水溢流设施（0.4 学时）

6.9 主要辅助工程（0.4 学时）

本章的重点和难点：掌握人工湿地系统设计原理及方法。

第 7 章 人工湿地设计案例（本章总学时 2 学时）

介绍人工湿地处理各种类型污水的设计案例，深入了解不同污水条件下人工湿地设计方案。

7.1 生活污水（0.4 学时）

7.2 污染河流和富营养化水体（0.4 学时）

7.3 农村污水和畜牧养殖废水（0.4 学时）

7.4 城市地表径流水（0.4 学时）

7.5 矿区废水（0.4 学时）

本章的重点和难点：人工湿地污水处理工程案例的设计思路及相关参数等。

三、实验教学内容及学时分配

实验部分基于学院开发的在线模拟仿真平台,共占 8 学时,主要教学内容和学时分配如下:

1. 人工湿地工艺设计(2 学时)
2. 人工湿地运行优化(2 学时)
3. 人工湿地运行影响因素(2 学时)
4. 人工湿地维护管理(2 学时)

四、作业及要求

平时作业: 自选专题+收集素材+课堂汇报, 最终成绩评定中所占比例为 20%。

实验作业: 在线测评(20%)。

五、考核方式及成绩评定

课程考核采用撰写课程论文的方式,具体为在限定范围内,按照设定要求自选题撰写课程论文。

总成绩=课程论文成绩 (50%) +实验作业(20%)+出勤考核 (10%) +平时作业 (20%)

六、教材及主要参考资料

[1] 克雷格·S·坎贝尔, 迈克尔·H·奥格登, 吴晓芙译.北京: 中国林业出版社.2005

[2] 崔保山, 杨志峰.湿地学.北京师范大学出版社.2006

[3] 安树青.湿地生态工程: 湿地资源利用与保护的优化模式.北京:化学工业出版社.2003

[4] 吴树彪, 董仁杰. 人工湿地生态水污染控制理论与技术. 北京:中国林业出版社.2017

[5] 张良均, 王路, 谭立云, 苏剑林 等. Python 数据分析与挖掘实战. 北京: 机械工业出版社, 2015.

(4) 是否面向社会提供服务: 是 否

(5) 社会开放时间 : 2018 年 11 月, 已服务人数: 1427 人

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://119.23.40.38:14800/>

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）

带宽要求：上下行带宽 50M 以上。

网络硬件条件：如下表所示。

表 7 网络硬件条件

机器类型	CPU	内存	硬盘	备注
客户端	酷睿 i5 2.4Hz	8G	1T	
应用服务器	Xeon E5-2600 V3	32G	2Tx4	DELLR730 2U 机架服务器
数据库服务器	Xeon E5-2600 V3	32G	2Tx4	DELLR730 2U 机架服务器
硬盘柜	-	-	10 x 1TB 15k	
网络交换机	-	-	-	

网络软件环境：如下表所示。

表 8 网络软件环境

机器类型	操作系统	软件要求	备注
测试客户端	Windows 2000 Server	SQL SERVER 2000	
功能服务器	Windows 2000 Server	Microsoft.net Framework	
客户端	Windows10	Microsoft.net Framework	

(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）

并发相应数量：

非在线仿真并发响应数量：单台服务器支持 200 用户；

在线仿真并发数量：100-200 用户。

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 server 2008 R2 以上。

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

Windows7、8、10、Android 5、IOS。

(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）

Windows 平台：浏览器 64 位 Firefox 56 以上，64 位 Chrome 61 以上；

Android 平台：浏览器 Firefox 58 以上，Chrome 61 以上；

iOS 平台：iOS 7.0 以上。

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

CPU：酷睿 i5 以上

主频：2.4GHz 及以上

内存：8G 以上，推荐 16G

网卡：千兆网卡

(2) 其他计算终端硬件配置要求

Android 平台：CPU 高通骁龙 820 以上。

iOS 平台：CPU A7 以上。

3-6 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

3-7 网络安全

(1) 项目系统是否完成国家信息安全等级保护 是 否

(勾选“是”，请填写) 二 级

4. 实验教学项目技术架构及主要研发技术

指标	内容
<p>系统架构图及简要说明</p>	<p>依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台的支撑。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。</p> <p>总体架构图如下：</p> <p>The diagram illustrates a four-layer architecture:</p> <ul style="list-style-type: none"> 仿真层 (Simulation Layer): Includes 可视化 (Visualization) with sub-components like 虚拟仪器 (Virtual Instruments) and 图形绘制 (Graphic Drawing); 建模与装配 (Modeling and Assembly) with 场景构建 (Scene Construction) and 构件装配 (Component Assembly); and 仿真分析器 (Simulation Analyzer). 通用服务层 (General Service Layer): The core platform, 开放式虚拟仿真实验教学管理平台, containing modules for 实验教学管理 (Experiment Teaching Management), 理论知识学习 (Theoretical Knowledge Learning), 实验资源管理 (Experiment Resource Management), 智能指导 (Intelligent Guidance), 互动交流 (Interactive Communication), 实验结果自动批改 (Automatic Grading of Experiment Results), 实验报告管理 (Experiment Report Management), 教学效果评估 (Teaching Effect Evaluation), 项目开放共享 (Project Open Sharing), and 集成接口工具 (Integrated Interface Tools). 支撑层 (Support Layer): Divided into 安全管理 (Security Management) and 服务容器 (Service Container). 安全管理 includes 身份认证 (Identity Authentication), 认证中心 (Authentication Center), 容器和服务安全 (Container and Service Security), and 访问控制 (Access Control). 服务容器 includes 服务部署 (Service Deployment), 服务监控 (Service Monitoring), 服务批处理 (Service Batch Processing), and 服务通知 (Service Notification). Other modules include 数据管理 (Data Management), 资源管理与监控 (Resource Management and Monitoring), 域管理 (Domain Management), 域间信息服务 (Inter-domain Information Service), and 监控分析 (Monitoring and Analysis). 数据层 (Data Layer): The foundation, represented by databases for 用户信息 (User Information), 课程库 (Course Library), 典型实验库 (Typical Experiment Library), 基础元件库 (Basic Component Library), 规则库 (Rule Library), 标准答案库 (Standard Answer Library), and 实验数据 (Experiment Data). <p>图 32 系统总体架构图</p> <p>互联网下的虚拟仿真实验教学平台： WebLearn 虚拟仿真教学实验平台基于实验资源管理和实验教学管理，将多种形式的实验教学软件资源利用互联网形式管理起来，包括视频、动画、PPT、PDF 以及各专业仿真实验系统。</p> <p>仿真机理数学模型软件：</p>

		<p>WebLearn 虚拟仿真教学实验平台是基于实验资源管理和实验教学管理，将多种形式的实验教学软件集成起来，底层数据采用面向多领域的建模工具 AlgDesigner V3.0，包含控制算法模型库、电气算法模型库、机械设备算法模型库、能动设备算法模型库、化工设备算法模型库、环境设备算法模型库、经济管理算法模型库等多领域跨学科的虚拟仿真建模平台。</p> <p>我们将整个实验过程抽象为统一的虚拟实验构件、底层数学模型、逻辑机制等共性关键性技术，形成可扩展的虚拟实验构件库，为虚拟实验平台提供后台逻辑支撑运算，在前台利用虚拟现实技术搭建可视化的实验场景、实验物品、实验逻辑，达到支持演示、交互、计算、设计的一体化实验环境。</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 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 checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>PyCharm</u>

	<p style="text-align: center;">运行环境</p>	<p>服务器 CPU <u>8</u>核、内存 <u>64</u> GB、磁盘 <u>2048</u> GB、 显存 <u>8</u> GB、GPU 型号 <u>Quadro K5200</u> 操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本 <u>2008 R2</u> 数据库 <input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input checked="" type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle 其他 <u>Redis</u> 备注说明 <u>（需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明）</u></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>软件中场景设备三维模型贴图分辨率采用 <u>2048*2048</u> 的高精细度标准，Unity 纹理格式采用 TRUECOLOR，模型总面数达到近 <u>300000</u>。软件采用 GPU 实时渲染技术，画面可以设置窗口模式和全屏模式，屏幕分辨率可以设置多种模式。软件对电脑无任何分辨率的要求和限制，软件运行时，画面的平均 FPS（帧数）都在 <u>60</u> 帧以上。分辨率达到 <u>1920*1080</u>，动作反馈时间小于 <u>0.5s</u>。</p>

5.实验教学项目特色

(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。)

(1) 实验方案设计思路:

《人工湿地污水处理与技术》是给排水科学与工程、环境工程、环境生态工程等专业重要且鲜明特色的专业课程,其中人工湿地污水生态处理技术是该课程的重点和难点,也是具有广阔应用前景的生态工程技术,但上述专业的学生实习主要以参观为主,无法进行实际操作与深入了解,学习效果非常有限。

为了全面系统掌握人工湿地污水处理工艺设计的知识原理,促进知识结构的融会贯通,提升学生工程应用及综合设计能力,本虚拟仿真实验教学项目在课程要求理论与实践联系紧密的特点下,教学内容不仅突破了传统理论讲授单一章节知识点的局限,而且以虚补实进行工程情景模拟实验教学,推进现代信息技术与实验教学的深度融合,拓展了学生综合设计与创新思维能力培养实验教学的广度和深度。

将人工湿地污水生态处理工艺和设备分解成一个个独立的模块单元,然后多个单元模块积木化组合并赋予科学逻辑关系和恰当参数配置即实现了不同类型污水人工湿地处理的整个工艺流程设计。自由拖拽单元模块、自由搭建积木化组合,逼真内部结构可视化 3D 体验,能吸引学生反复在线操作、反复训练、反复实验设计,从而增强了实验的设计性、探索性、多样性和趣味性。促使实验设计教学自己控制实验过程(自行调整实验设计参数)、自主分析实验结果、自主优化组合、解决这些操作在工程实践中的风险和成本高的问题,最终完成的实验报告并能应用到实践工程设计中。

(2) 教学方法创新:

始终坚持以学生为中心、以问题和设计目标为导向、利用虚拟仿真技术和数字模拟技术,辅助不同类型污水人工湿地处理工艺流程设计,并可进行人工湿地污水生态处理全工艺流程仿真实验,采用案例式、研讨式、启发式、讨论式、等探究式教学方式,让学生感受到体验式的学习,锻炼学生工程模拟、工程设计、工程放大等工程技能;通过 3D 虚拟现实设计,强烈的体验能贯通学生对人工湿地污水生态处理理论与工程实践的深刻理解,从而最终实现学生熟

污水、吃透规范标准、精通工艺、熟练操作，全面提升学生工程应用及综合设计能力，仿真实验弥补了无法进行实体工程实验的遗憾，为灵活多样性的教学方法改革和探索提供了可能，是深化教育教学改革的产物。

(3) 评价体系创新：

将人工湿地污水生态处理工艺设计仿真教学项目纳入到给排水科学与工程、环境工程、环境生态工程专业的培养方案和实践教学课程，制定相关实践教学效果评价方法，根据学生和教师反馈，持续地改进相关教学评价机制。

构建高度仿真的虚拟操作环境，使学生能够在虚拟环境中将知识原理结构串联起来优化工艺设计和处理错误的教学活动。构建容错式评价体系即使诊断性评价、形成性评价、终结性评价相结合的评价体系。诊断性评价是学生对自身是否具备实验所需要的背景知识和技能储备进行的自我评估，以便自主补足。在实验开始之前让学生自主利用仿真实验平台进行预习，对自己所具有的认知、技能方面的条件进行自我诊断、评价，并允许学生根据预习结果进行自我反省、自我纠错、自行提高。形成性评价是在实验进展过程中进行的评价，具有提示、反馈的功能，其目的是监督和引导实验进程，对实验进程进行调整或修正，这类评价将原来预定的各步实验目标作为评价依据。总结性评价在实验结束之后所进行，所关注的是整个实验阶段所产生的结果，目的是了解整体的实验效果。仿真实验评价设计成把教学评价体系作为一个统一的整体来加以运用，特别重视“诊断性评价”和“形成性评价”，体现了素质教育理念的评价观。允许学生反复实验，自我纠错，不断提高实验质量，直到自我满足为止，着重的是学生能力和素质的增值，不是简单的分等排序。承认学生的努力和进步，从而激励学生的学习热情、求知欲望、促进学生能力快速提高。从污水特性分析到工艺方案提出，每个环节都纳入专家库系统评价范畴，涵盖所有的知识点，强调设计与实验尝试过程，允许部分不合理的选择不存在，允许更正和纠错，鼓励学生大胆创新，针对综合评价结果进行潜力挖掘和自我完善。同时采用客观题与主观题相结合的评价考核，工艺流程搭建、人工湿地类型的结合、工程设计计算、总平面布置、参数的选择等实践环节包括客观题和主观题，客观题部分系统根据学生的操作行为智能识别操作步骤和操作质量，客观题部分如参数选择、人工湿地类型的结合、总平面布置等由教师给出评阅意见并评分。

(4) 对传统教学的延伸与拓展:

本项目是在传统理论教学的基础上,以提高学生实践能力和创新精神为核心,以现代信息技术为依托,以人工湿地污水生态处理工艺设计为实验教学内容,通过构想、设计、实施和运行四个实验环节,虚实结合进行工程情景模拟实验教学,推进了现代信息技术与实验教学的深度融合,拓展了学生综合设计与创新思维能力培养实验教学的广度和深度,增强了学生解决实际问题的工程应用能力,同时延生了实验教学时间和空间,使人工湿地污水生态处理工艺设计实验教学的质量和水平有一个飞跃式的提升。

①拓展了人工湿地水污染生态控制工程实验教学的深度和广度。利用虚拟仿真的优势,实现了实验室中难以实现的教学内容,拓展了实验内容的深度和广度;开辟了多途径、多方案、设计性实验途径,凸显学生综合设计与创新思维能力培养的深度和广度;使互动式、案例式、研究型、团队式教学方法得以实施,使自主式、合作式、探究式学习成为可能,推进了探究式教学方法的普遍运用,激发了学生探究未知的热情,提高了学生解决实际问题的工程应用能力。

②以提高教学质量为根本,实现知识体系理解的“理性-感性-理性”螺旋提升。虚拟仿真实验教学项目以学生为中心,平台全天候开放,以线上线下、课内课外交互学习的模式,将人工湿地污水生态处理相关理论课、实验课、课程设计和污水处理厂生产实习等环节,与仿真实验互通交叉进行。在传统课堂教学中,学生学习的知识理论性强,理解扁平化,通过在直观、可视的虚拟仿真实验项目中实施设计实践、构思实现、运行操作、问题解决过程,增加学习的趣味性,学生对理论知识的感性认识不断增强,对设计理念的掌握运用逐步熟练,对知识结构的建立形成持续完善,实现对专业知识体系理解的“理性—感性—理性”螺旋提升,强化了学生问题分析解决能力、综合设计能力、实践创新能力。

③服务教学,融汇贯通分散知识点的联结。本项目包含工程设计、水质检测、运行操作,可实现服务理论教学,使抽象的理论具象化,使二维构造图立体化,辅助学生进行课程设计及毕业设计多种功能;构筑物可视化,使学生在认知实习和专业综合实习中更好地理解处理单元的构造和运行;水质检测操

作，可以帮助学生对测定实验进行虚拟操作预习。以上功能将给排水科学与工程专业的多门课程紧密联结，可以将分散的知识点有机连接、融会贯通，解决了课程设置中不可避免的脱节情况。通过本项目，使专业课程间互联互通、更加系统化、网络化。

④校企合作，逐步形成产学研一体化创新的虚拟仿真实验教学体系。长沙洋湖再生污水处理场是我院合作的实习基地企业，该基地的人工湿地污水生态处理实体可与本虚拟实验有机结合，不断进行实验教学内容更新与技术、工艺更新，与工程实践无缝对接，拉近实验教学与工程实践的距离，逐步形成产学研一体化创新的虚拟仿真实验教学体系，使学生尽早接触行业发展前沿与先进技术成为现实；依托虚拟仿真技术研发公司提供的虚拟仿真产品及相关技术支持，项目用于学校虚拟仿真实验教学，并持续开发拓展项目内容及功能；充分发挥工程技术企业和信息技术企业在虚拟仿真实验项目中的积极作用，创新人才培养模式和教学方法，强化大学生综合能力训练，培养适合创新性国家建设的应用型创新人才。

⑤创新训练。项目包含有大量的虚拟仿真实验内容，可以逐步用在了创新实践训练、学科竞赛、课程设计等教学过程中。

⑥开放与共享。利用本项目的处理工艺实验平台的开放性和延伸性促进学生自主学习、研究性学习、无纸化学习。

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:

在已有项目的基础上,将继续秉承拓展性、创新性、前瞻性原则,争取更多针对该平台的实验经费。继续扩充废水类型,目前项目涉及到的废水主要以城镇生活污水为主,后续将不断增加废水种类及水质指标与分析。继续拓展工艺元件库及案例,纳入更多市场应用较广的工艺设施,优化工艺运行控制条件,保障搭建不同处理工艺流程的技术单元的先进性,对技术经济合理性进行对比判断,持续跟进相关领域取得的最新成果,并应用到本项目的开发,进一步提升虚拟仿真设计实验的内涵。

(2) 面向高校的教学推广应用计划:

将仿真实验项目纳入新的实验教学大纲,并拟定详细的教学计划,在本校给排水科学与工程专业的基础上扩展到环境工程、环境生态工程等专业。并与其他高校的虚拟仿真实验中心建立沟通联系,建立该领域的建设合作关系,在教学教材等方面实现资源共享。并向全国范围内高校、高职高专的相关专业师生开放,提供教学服务及技能考核,对具有该专业的高校开放网上实验教学与培训。项目被认定后的一年内免费开放并提供教学服务,一至三年内免费开放服务内容,三年后免费开放内容不少于50%。

(3) 面向社会的推广应用计划:

积极组织专业研讨会,教学成果展示会,高校学生体验教学等多种形式,将虚拟仿真的教学经验、教学成果在环境保护部门,企业用户及高校学生中进行推广。与相关企业在数据、仪器设备、技术人员、软件开发等方面进行交叉合作,形成多方位的资源共享。项目提供面向环保从业者的培训服务,项目涉及到的水质检测、工艺设计、运行操作、故障排除等内容可用于检测机构和污水处理厂员工培训及考核,以及用于环境水处理相关企事业单位员工岗前培训及考核。其他相关从业人员可以随时登陆平台进行在线学习、巩固、留言、提问,在线教师可实时查看学员学习情况,进行在线或离线问题回答、指导并帮助自学。通过以上措施进一步扩大项目的受众面,提高项目的影响力。

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	人工湿地污水生态处理工艺设计虚拟仿真软件
是否与项目名称一致	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
著作权人	中南林业科技大学
权利范围	全部
登记号	2019SR0908732

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）：

年 月 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。）

《人工湿地污水生态处理工艺虚拟仿真综合实验》立足于教学，旨在通过多元化表达形式让教学内容更直观和被学生所接受，进而提高教学质量。并且内容趣味性强，可有效提高学生学习效率。该项目政治方向和价值取向正确。

该项目负责人陈传胜，以及主要成员:陈永华、付新喜、杜露、陈明利、王平、李科林、胡新将、朱健、汤春芳等同志未参加任何不良活动,在思想上和行动上积极向党中央靠拢,无政治历史问题。

综上，《人工湿地污水生态处理工艺虚拟仿真综合实验》项目政治导向正确，项目组成员政治审查合格。

中南林业科技大学环境科学与工程学院
党总支委员会

中南林业科技大学
党委委员会

年 月 日

年 月 日

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。）

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。

（其他需要说明的意见。）

主管校领导（签字）：

（学校公章）

年 月 日