

# 环境科学虚拟仿真实验教学体系设计及其应用

王祥荣，谢玉静

(复旦大学环境科学与工程系，上海 200438)

**摘要：**本文结合环境科学本科课程教学特点，以复旦大学环境科学教学实践为例，分析了虚拟现实技术（VR）在环境科学仿真实验教学中的重要作用，设计了包括环境科学、环境工程、环境生态（城市生态）和环境管理四大子类为一体的实验教学框架，通过“重大环境突发事故应急虚拟仿真平台”、“区域生态风险累积效应虚拟仿真平台”和“大学校园生态环境监测虚拟仿真与教学系统”三个教学平台的研发案例，分析了虚拟仿真实验教学平台的结构特点与功能需求，并提出了未来发展的对策建议。

**关键词：**环境科学实验教学、虚拟仿真技术

## 一、环境科学虚拟仿真实验教学的重要意义

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》指出，“信息技术对教育发展具有革命性影响，必须予以高度重视”，并把“加快教育信息化进程”单独作为一部分进行了专门的阐述。国家发改委、工信部等部门也在“宽带中国2013年专项行动计划”、“信息惠民工程”等一系列国家重大工程中，都把教育信息化列为重点建设内容。《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》（2012）也明确提出，要强化实践育人环节，提升实验教学水平。在大数据和信息技术快速发展的今天，虚拟仿真（VR）实验教学体系的设计日益成为高等教育信息化的重要组成部分。

## 二、环境科学的教学特点及其与VR技术结合的必要性

环境科学是一门理论与实践并重的学科，大量的实验由于具有危险性、时空限制性、投入大等原因无法在现实的实验中完成，单纯依靠其课堂教学和培训来开展实验教学是远远不够的，如全球变化的环境胁迫、危险品的爆炸过程、流域水环境污染扩散、大气环境的污染过程、城市生态群落的演替等过程。虚拟仿真技术的发展和实验教学平台的建立，可以解决环境科学教学中许多无法实地考察研究和实地考察不完全的问题，以“虚”补“实”、达到“不用身临其境，胜似身临其境”的教学效果，替代以物力、人力、财力投入方式为主的传统实验，达到缩短实验周期、节约开支、减少人力和物资消耗的目的。

VR虚拟现实技术是环境演变动态模拟和预测的有力工具，可以将演变计量模型、空间分析模型、数字高程模型、预测预警模型与虚拟现实技术的相结合，生动直观地模拟出环境演变的发生与发展过程，并预测和预警未来的演变趋势和结果，为环境演变和生态安全的预测预报提供科学依据。能使学

生更加全面而深入的了解环境要素及其演变机制、学习和模拟全球气候变化、生态系统的结构与功能以及生态系统的演替等等。通过建立三维环境空间、环境演变模拟以及环境规划与治理交互的虚拟实验项目，使师生在多维信息环境中身临其境，更易互动。同时，学生可以多次进行 3D 野外场景虚拟实习，加深印象、巩固知识，突破传统实验对“时、空”的限制，进一步提高实验教学质量。

### 三、环境科学虚拟仿真实验教学体系设计

根据环境科学学科框架及实验教学需求，其虚拟仿真实验教学体系（以复旦大学为例）主要包括了环境科学、环境工程、环境生态（城市生态）和环境管理四大子类，其教学体系设计如图 1 所示。

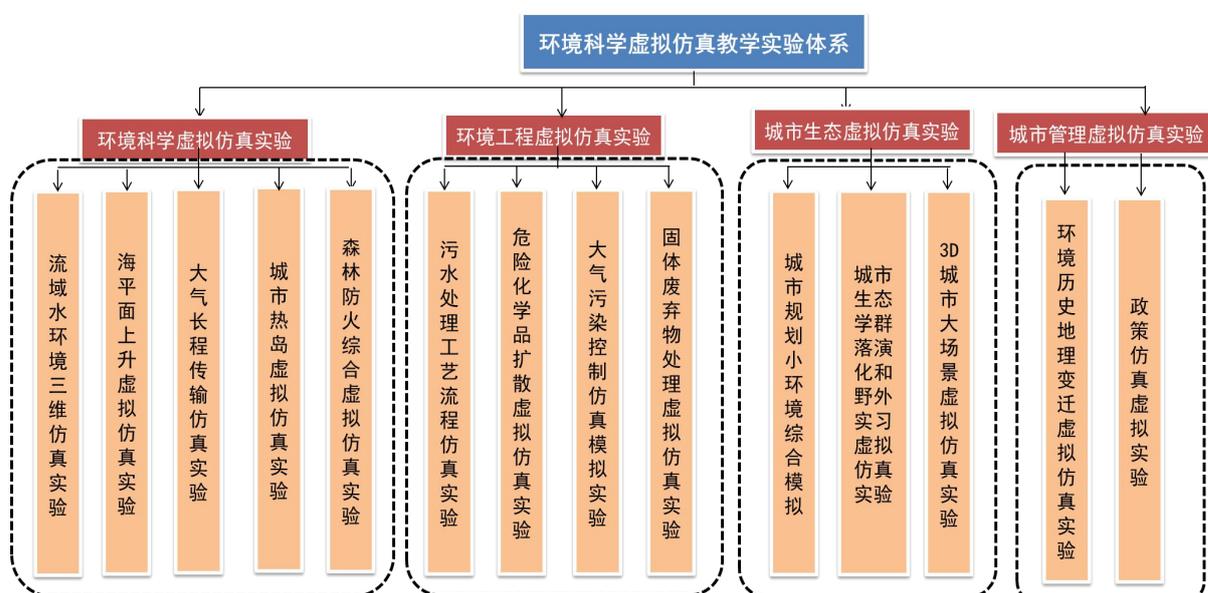


图 1 环境科学虚拟仿真实验教学体系设计框架图

该教学体系整合了复旦大学相关学科的整体优势，包括环境科学与工程、环境生态学、城市生态学、环境管理、生物学、历史地理、人口学等相关学科的教学与部分科研成果资源，突出了以全球变化研究平台、流域污染控制研究平台和城市生态与环境研究平台为支撑点，整合和凝练现有研究方向及其学术发展领域，进一步凸现复旦大学环境学科的理工文管交叉融合的学科优势，在注重培养学生“基本知识、基本理论和基本技能”的同时，在实验教学中结合 VR 技术加强对学生综合知识应用能力的培养。

虚拟仿真实验教学将通过建立环境科学教学与科研的虚拟实验空间，使学生从不同的方向和角度

来亲身感受和认知复杂的地质、地貌、水文、气象、气候、土壤、动植物、灾害等生态环境数据、资源数据和社会经济等人文数据的时空关系和物理关系，深化对它们内在关系和内部机理的理解，获得实体环境无法达到的教学效果；在交叉学科融合发展与互联网+的大背景下，为师生提供环境科学虚拟实验资源共享和软件教学资源共享。

#### 四、环境科学虚拟仿真实验教学平台设计及其应用

目前，复旦大学国家级环境科学虚拟仿真实验教学中心已自主开发 3 个平台和多个教学软件，并已应用在本科公选课及研究生选修课的教学实践中。

##### 1、三个教学平台的研发（图 2）

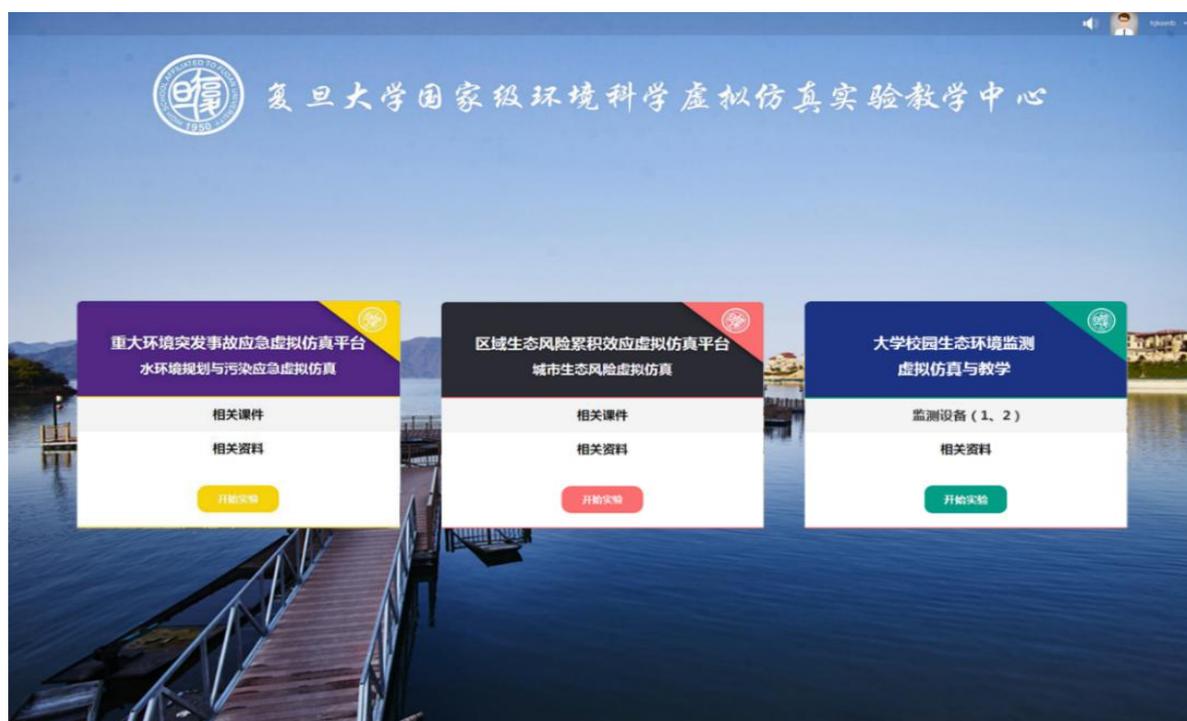


图 2 复旦大学环境科学虚拟仿真实验教学平台设计图

##### (1) 子平台一：《重大环境突发事件应急虚拟仿真平台》

子平台一（图 3）要求能实现地表水水质常规管理和应急管理的模拟（以湖泊和流域为例）；在真实水质监测数据模型的基础上，以真实的污染案例为背景，结合水环境的相关基础理论（水质模型、水质动力学过程等），综合实现数据分析、水力模拟、态势推演、应急预警与响应等功能，同时开发了国家良好湖泊安徽太平湖 3D 数字模拟系统用于教学实验。



图3 重大环境突发事件应急虚拟仿真平台（以流域为例）

(2) 子平台二：《区域生态风险累积效应虚拟仿真平台》

子平台二（图4）要求运用城市复合生态系统的系统动力学模型，对影响区域生态风险累积效应的人口-经济-资源-环境-生态五大要素构成的系统现状进行仿真和模拟比较。实现在既定情景设定下，运用SD模型对如咸水入侵、风暴潮、交通状况改变、产业布局等威胁城市生态安全的主要风险因子进行模拟仿真与防控的功能。



图4 区域生态风险累积效应虚拟仿真平台

### (3) 子平台三：《大学校园生态环境监测虚拟仿真与教学系统》

子平台三分为感知层、网络层、数据层、应用层、接入层（图 5）。

感知层是整个架构的基础，是数据信息获取和传输的主要途径，通过生态监测设备实现空气、土壤、噪声等环境要素的实时在线监测；网络层是信息通道，承担着传输采集到的数据的重要任务；数据层能够存储并分析海量的数据，做出智能决策，实现数据高度整合与实时共享；应用层是海量数据的价值体现，是生态系统建设的最终目标；接入层是数据展示的形式表现。

要求通过对校园环境监测数据查询、环境质量评价、校园与鸟类、生态效益评估、预警推送及交互式教学等功能，实现大学校园生态环境监测虚拟仿真与教学系统平台的功能（图 6）。



图 5 大学校园生态环境监测虚拟仿真与教学系统结构



图 6 大学校园生态环境监测虚拟仿真与教学平台

## 2、已开展的其他相关教学实验

### (1) 城市热岛效应虚拟仿真实验

#### 【功能】

模拟城市热岛分布情况。通过系统仿真模拟常规的温、压、湿、风等数据，在 3D 空间内展示地表特征的感热通量、潜热通量、向上长波辐射、反照率以及地表蒸发率等对城市热岛形成发展有明显影响的因子。

#### 【效果】

相较常规的城市热岛教学,可视化的热岛虚拟仿真平台可以直观地反应出城市中的温度分布差异。同时,在模拟热岛效应的同时,还能对当前环境的状况及空间分布进行分析,发散学生的思维和综合运用多领域知识的能力。

### (2) 森林防火综合模拟仿真实验

#### 【功能】

森林火灾是一种突发性强、破坏性大、处置救助较为困难的自然灾害。在森林火灾发生时正确的应对和预测分析对减小火灾的影响范围,保护自然和社会财产意义极大。学生可以在平台上模拟森林火灾的发生和发展过程,同时在过程中组织应对预防和灭火工作。

### **【效果】**

通过对森林火灾的模拟和演替分析，学生对森林火灾的产生原因，扩散规律和防范措施等方面认识更为深入。

### **(3) 海平面上升模拟实验**

#### **【功能】**

根据数字高程模型和高分辨率遥感影像图，在 3D 视图下模拟海平面与陆地的相对关系。当海平面上升时，显示淹没范围和未淹没范围。还可设置动态的水位上升或下降过程。此平台还可用于模拟强降雨时期的水涝情况。

#### **【效果】**

海平面上升是一个极其缓慢的过程，通过计算机模拟海平面上升可以快速认识到海平面上升的后果，陆地范围的减少程度。同时，利用该平台进行雨水洪涝的模拟分析可以清晰而准确的获得灾害范围，较大幅度地提高了教师教学和学生学习的效率。

### **(5) 大气污染控制虚拟仿真**

#### **【功能】**

学生可以在该平台实现对大气污染控制的仿真模拟，通过改变参数值和各种操作，系统会根据不同的参数和实际情况反馈出不同的结果。系统可以结合大气污染虚拟设备进行试验，模拟空气净化、通风系统和不同型号的风机的特性。

### **(6) 污水处理工艺流程仿真实验**

#### **【功能】**

包括大量模型，实际污水处理厂中所能遇到的单元过程几乎都被包括在内，甚至包括高级的脱氮模型、固定化生物膜工艺、厌氧反应器、初沉池模型、二沉池模型，以及污泥处理的几个单元过程。通过对图表的操作就可以完成自己的污水处理厂的配置和输出，并且可以为各个单元选择适当的过程模型和参数值。

### **(7) 城市生态学群落演化和野外实习虚拟仿真**

#### **【功能】**

基于计算机三维虚拟仿真平台结合 3S 技术与种群时空动态的研究成果，构建城市生态学群落演化虚拟仿真科研实验环境。结合城市生态学中对种群时、空动态的监测和研究，集成大量的数据的采集，存储和处理。应用空间精确性种群模型将种群的模拟和具有景观特点的空间分布要素结合起来。基于

此仿真科研实验环境，将栖息地的小生境、个体的数量、和其他的地理地貌特征都明确地结合到模型里去，研究种群对栖息地在不同时、空尺度下变化的响应。基于此仿真科研实验环境，把空间精确性种群模型和植被模型连接在一起，直观探索不同地理范围城市绿地空间中群落组成结构、物种分布及栖息地的变化对种群时空动态的影响。

结合计算机仿真实现复杂的动力学分析和数量巨大的参数筛选与城市生态学动态过程的模拟相结合，将研究结果转变为学生易于接受的数值序列和动态图形演示。

#### (8)环境规划与治理交互平台：

可以综合考虑分析区域环境现状中的各种要素，建立相应的多源信息数据库，在虚拟现实技术系统交互，三维可视化的实景中，进行科学的规划和方案筛选，也可以让学生参与到现实的规划中，从多角度考虑方案的可行性和优缺点，最终得到最优的方案。

### 五、未来发展建议

■**界定功能作用：**进一步明确与界定虚拟仿真实验教学的功能作用，明确其建设重点，实现真实实验不具备或难以完成的教学功能；

■**研发新技术：**进一步依托虚拟现实、多媒体、人机交互、无人机技术、数据库和网络通讯、人工智能（AI）等技术，构建高度仿真的虚拟实验环境和实验对象，为学生在虚拟环境中开展实验提供条件，力争引入全息投影系统、互动虚拟教学平台、360度弧形仿真教学演示平台、液晶演示系统，电子沙盘、虚拟现实交互系统和虚拟现实集成系统等为本科教学服务，同时建设虚拟仿真的专用实验教学场地，实现教学手段的网络化和信息化。

■**完善管理体系：**在学校教务处和院系的支持与领导下，建立健全人员队伍、组织、制度与经费保障，推进虚拟仿真实验教学中心的规范化、制度化建设，更好地为高校环境科学与工程的教学服务。

### 主要参考文献

- 1、中华人民共和国教育部，2010. 国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）。  
[http://old.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/info\\_list/201407/xxgk\\_171904.html](http://old.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/info_list/201407/xxgk_171904.html)
- 2、中华人民共和国教育部，2012. 教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见。  
<http://old.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/s7056/201301/146673.html>
- 3、赵经成,2008.虚拟仿真训练系统设计与实践. 国防工业出版社。
- 4、蔡红霞、俞涛. 2010. 虚拟仿真原理与应用,上海大学出版社。