**《环境数值模拟》课程教学大纲**

**一、课程简介**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **课程中文名** | 环境数值模拟 | | | | | | |
| **课程英文名** | Environment Numerical Simulation | | | | **双语授课** | | □是▇否 |
| **课程代码** | 08122250 | **课程学分** | 2 | **总学时数** | | 32 | |
| **课程类别** | □通识教育课程  □公共基础课程  ■专业教育课程  □综合实践课程  □教师教育课程 | **课程性质** | □必修  ▇选修  □其他 | **课程形态** | | □线上  ▇线下  □线上线下混合  □社会实践  □虚拟仿真实验教学 | |
| **考核方式** | □闭卷 □开卷 □课程论文 □课程作品 ■汇报展示 □报告  ■课堂表现 □阶段性测试 ■平时作业 ■其他 | | | | | | |
| **开课学院** | 绿色智慧环境学院 | | **开课**  **系(教研室)** | 环境科学系 | | | |
| **面向专业** | 环境科学 | | **开课学期** | 第4学期 | | | |
| **课程负责人** | 章琴琴 | | **审核人** | 院教学委员会 | | | |
| **先修课程** | 环境学导论、计算机基础、高等数学 A（一）、高等数学 A（二）、生态学、遥感与地理信息系统、环境地学基础 | | | | | | |
| **后续课程** | 环境影响评价、三峡库区生态环境与污染防治 | | | | | | |
| **选用教材** | 仵彦卿. 环境污染数值模拟（第1版）[M]. 北京：科学出版社，2015. | | | | | | |
| **参考书目** | 1. 孙培德, 楼菊青. 环境系统模型及数值模拟—高等院校环境类系列教材（第1版）[M]. 北京：中国环境科学出版社. 2005.  2. 陈家军, 王烜. 环境模拟数值方法（第1版）[M].北京：北京师范大学出版社, 2010.  3. 袁益让. 环境科学数值模拟的理论和实际应用（第1版）[M]. 北京：科学出版社，2014. | | | | | | |
| **课程资源** | 1. 国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室网站（www.lem.org.cn）  2. 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室（www.lasg.ac.cn） | | | | | | |
| **课程简介** | 环境数值模拟是环境科学专业的一门专业课，内容包含：环境数值模拟的基本概念、环境污染质输移数学模型及软件、地表水、地下水污染物迁移数学模型及数值模拟、空气质量数学模型、土壤与地下水污染物迁移数学模型、环境系统污染物迁移耦合数学模等。学习本门课程后，学生能够具备用环境模拟软件来分析评估污染物在湖泊、河流、海洋、土壤、地下水以及大气中迁移转化的专业能力；同时学生获得家国情怀、社会责任、崇尚科学、探究科学的学习态度和思想意识；形成良好的环保意识与可持续发展理念。 | | | | | | |

**二、课程目标**

**表2-1 课程目标**

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **具体课程目标** |
| **课程目标 1** | 理解环境数值模拟的基本概念、基本理论，包括环境模拟的概念及意义，对象，以及应用现状；掌握主要环境模拟数值方法，环境数学模型的分类，初步具备采用科学方法和程序对湖泊、河流、海洋、土壤、地表水/地下水以及大气进行数值分析、模拟预测和评估的知识体系。掌握相关的模拟方法进行污染物的迁移转化实验设计，获取环境介质中污染质反应迁移转化的有关数据，进行机理和机制分析的知识。能够掌握环境模拟使用技能，计算技能，具备环境信息获取技能和团队沟通技能。 |
| **课程目标 2** | 能够使用环境模拟的原理与方法，取得分析和解决环境实际问题能力，初步研究污染物预测能力。 |
| **课程目标 3** | 建立良好的学习态度、环保意识；获得创新实践能力、科学研究能力和技术开发能力；培养家国情怀、社会责任、科学精神、团队合作，终身学习的意识。 |

**表2-2 课程目标与毕业要求对应关系**

| **毕业要求** | **指标点** | **课程目标** |
| --- | --- | --- |
| **毕业要求1：工程知识【H】** | 1.1 具有解决环境监测、环境治理、环保咨询、环境规划及管理所需的数学与自然科学知识，并能将其应用于解决复杂环境监测、环境治理、环保咨询、环境规划及管理工程技术问题。 | 课程目标2 |
| **毕业要求4：研究【M】** | 4.3能正确分析和解释实验数据/结果，能够对实验结果进行关联、建模、分析和解释，获得合理有效的结论。 | 课程目标2/3 |
| **毕业要求5：实用现代工具【H】** | 5.3能初步使用恰当的技术、资源和工具对环境监测、环境治理、环保咨询、环境规划及管理工程问题进行模拟和预测。 | 课程目标2 |
| **毕业要求7：环境与可持续发展【L】** | 7.2能够站在环境保护可持续发展的角度，思考和评价污染物防治方案、安全防范措施和资源综合利用对社会发展的影响；能够基于可持续发展的理念设计和管理环境工程实践方案或项目、开发环保新技术，评价产品全生命周期中可能对人类和环境造成的损害和隐患。 | 课程目标1 |

**三、课程学习内容与方法**

**（一）理论学习内容及要求**

**表3-1 课程目标、学习内容和教学方法对应关系**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **课程模块** | **学习内容** | **学习任务** | **课程目标** | **学习重点难点** | **教学方法** | **学时** |
| 1 | 绪论 | 1.本课程的学习目的、教学内容及学习方法 | 1.个人作业：  ① 为什么要学习“环境数值模拟”这门课程？  ② 如何学习这门课程？  ③ 本课程的教学内容？ | 课程目标1 | 重点：  1.环境数值模拟的基本概念  2.环境数值模拟的基本功能和作用  3.课程学习的目的、方法  难点：  环境模拟的基本功能和作用 | 课堂讲授：能够引导学生掌握本课程的学习目的、内容和学习方法。  小组讨论：引导学生理解本课程的必要性。 | 2 |
| 2.环境数值模拟的基本概念 | 课程目标2 |
| 3.模型与模拟 | 课程目标2/3 |
| 4.环境系统数值模拟研究进展与趋势 | 课程目标1 |
| 2 | 环境系统污染物迁移基本数学模型 | 1.环境系统污染物多过程迁移分析 | 拓展阅读：环境系统污染物迁移基本数学模型相关研究文献。 | 课程目标2 | 重点：  1.环境系统污染物多过程迁移分析  2.环境系统污染物迁移的基本方程  3.环境介质污染物迁移数学模型的解析  难点：  环境系统污染物迁移的基本方程 | 讲授法：能够引导学生掌握污染物迁移的基本过程。  案例教学：能够引导学生深入理解环境系统污染物多过程迁移。 | 4 |
| 2.环境系统污染物迁移的基本方程 | 课程目标2/3 |
| 3.环境介质污染物迁移数学模型的解析解 | 课程目标2/3 |
| 3 | 环境数值模拟算法及软件 | 1.环境数值模拟的算法分类 | 1.拓展阅读：基于MODFLOW软件、FEFLOW软件的环境模拟研究文献。  2.个人作业：下载MODFLOW软件、FEFLOW软件，进行试用，了解软件基本操作。 | 课程目标2 | 重点：  1.环境数值模拟的基本内容及算法分类  2.有限差分法：MODFLOW的有限差分程序求解  3.有限元法：掌握国际主流有限元求解软件FEFLOW的使用方法  难点：  环境数值模拟的基本内容及算法分类 | 讲授法：能够引导学生掌握环境数值模拟的算法分类。  视频学习：能够促进学生对环境模拟软件的掌握。 | 4 |
| 2.有限差分法；MODFLOW软件 | 课程目标2/3 |
| 3.有限元法；FEFLOW软件 | 课程目标2/3 |
| 4 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 | 1.地表水污染物迁移的多过程分析 | 1.线上学习：中国大学MOOC网《水环境数学模型》《地下水数值模拟》  2.拓展阅读：地表水污染物迁移过程环境模拟相关研究文献 | 课程目标2/3 | 重点：  1.河流污染物迁移数学模型及其应用  难点：  2.地表水经典软件MODFLOW：MODFLOW的有限差分程序求解地下水流问题，在此基础上，采用3DMS模块实现溶质运移模拟  难点：  河流污染物迁移数学模型及其应用 | 讲授法：能够促进学生掌握地表水污染物迁移的多过程分析  案例教学：能够促进学生对河流污染物迁移数学模型的理解。 | 4 |
| 2.河流污染物迁移数学模型及其应用：总体要求、预测因子、预测范围、预测时期、预测情景、预测内容、预测模型及模型概化、基础数据要求、初始条件、边界条件和参数确定与验证要求、预测点位设置及结果合理性分析要求 | 课程目标2/3 |
| 3.地表水经典软件MODFLOW | 课程目标1/2/3 |
| 5 | 地下水污染物迁移数学模型及数值模拟 | 1.地下水流运动的基本理论 | 拓展阅读：《地下水数值模拟》及相关研究文献 | 课程目标2/3 | 重点：  1.地下水流运动的基本方程；  2.地下水溶质运移的对流、离散机制；  难点：  理解地下水污染物运移模型的基本控制方程 | 讲授法：能够促进学生掌握地下水污染物迁移基本理论。  案例教学：能够促进学生对地下水污染物迁移数学模型的理解。 | 4 |
| 2.地下水溶质运移的主要机制 | 课程目标2/3 |
| 3.地下水污染物运移模型的基本控制方程 | 课程目标2/3 |
| 4.地下水经典软件FEFLOW | 课程目标2/3 |
| 6 | 空气质量数学模型及数值模拟 | 1.大气污染物迁移的物理和化学过程 | 拓展阅读：大气污染物迁移过程环境模拟相关研究文献 | 课程目标1/2 | 重点：  1.高架连续点源排放污染物迁移模型；  2.线源、面源和体积源排放污染物迁移模型的解析  难点：  1.高架连续点源排放污染物迁移模型；  2.线源、面源和体积源排放污染物迁移模型的解析解 | 讲授法：能够促进学生掌握大气污染物迁移的基本数学模型。  讨论教学法  案例教学法：能够促进学生掌握大气污染物迁移的基本数学模型。 | 6 |
| 2.空气质量数学模型的类型： 按照模拟的空间尺度分类；按污染排放源的类型分类 | 课程目标2/3 |
| 3.大气污染物迁移的基本数学模型：高架连续点源排放污染物迁移模型；线源、面源和体积源排放污染物迁移模型的解析解 | 课程目标2/3 |
| 7 | 土壤污染物迁移数学模型及数值模拟 | 1.土壤污染物迁移基本定理： 土壤污染物迁移的对流作用；土壤污染物迁移的扩散作用；土壤污染物迁移的机械弥散作用 | 拓展阅读：土壤污染物迁移过程环境模拟相关研究文献 | 课程目标1/2/3 | 重点：  土壤污染物迁移的双域模型；土壤渗流与污染物迁移方程  难点：  土壤污染物迁移的双域模型；土壤渗流与污染物迁移方程。 | 案例教学法：能够促进学生理解土壤污染物迁移数学模型及数值模拟  案例教学法：能够促进学生掌握土壤污染物迁移数学模型 | 4 |
| 2.土壤污染物迁移的对流，弥散，吸附，化学反应方程：氧化/还原反应；酸/碱过程；沉淀/溶解作用； 络合作用；水解/置换作用；生物降解或转化 | 课程目标2/3 |
| 3.土壤污染物迁移的双域模型； 土壤渗流与污染物迁移方程 | 课程目标2/3 |
| 8 | 大气-地表水-地下水污染物迁移耦合模型及模型应用 | 1.耦合地表水-下水水流-染物迁移模型 | 个人作业：对大气、地表水、土壤、地下水污染物迁移过程进行模拟。 | 课程目标1/2/3 | 重点：  大气水-地表水-地下水污染物迁移耦合模型  难点：  大气水-地表水-地下水污染物迁移耦合模型应用 | 案例教学：能够促进学生对数值模型的掌握，并熟练运用软件。 | 4 |
| 2.模型应用及案例介绍 | 课程目标1/2/3 |

## 四、课程考核

**（一）考核内容与考核方式**

**表4-1 课程目标、考核内容与考核方式对应关系**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **课程目标** | **考核内容** | **所属**  **学习模块/项目** | **考核占比** | **考核方式** |
| 课程  目标 1 | 1. 河流污染物迁移数学模型及其应用：总体要求、预测因子、预测范围、预测时期、预测情景、预测内容、预测模型及模型概化、基础数据要求、初始条件、边界条件和参数确定与验证要求、预测点位设置及结果合理性分析要求 | 地表水、地下水污染物迁移数学模型及数值模拟 | ×40% | 课堂表现  平时作业  汇报展示  小组讨论 |
| 2.地下水污染物迁移耦合模型及模型应用 | 地表水、地下水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 3.地表水污染物迁移的多过程分析 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 4.地下水污染物迁移的对流、污染物的衰减与转化作用 | 地下水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 5.大气污染物迁移的物理和化学过程 | 空气质量数学模型及数值模拟 |
| 6.有限差分法；MODFLOW软件 | 环境数值模拟算法及软件 |
| 7.有限元法；FEFLOW软件 | 环境数值模拟算法及软件 |
| 课程  目标 2 | 1.地表水污染物迁移的多过程分析 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 | ×48% | 课堂表现  上机操作  汇报展示  课堂讨论  平时作业 |
| 2.流动数学模型-流量部分 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 3.污染质输移数学模型-污染物传质部分。 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 4.环境数值模拟的基本内容及算法分类 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 5.地下水污染物迁移的对流、污染物的衰减与转化作用 | 地表水污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 6.大气污染物迁移的基本数学模型：高架连续点源排放污染物迁移模型； 线源、面源和体积源排放污染物迁移模型的解析 | 空气质量数学模型及数值模拟 |
| 7. 土壤污染物迁移基本定理： 土壤污染物迁移的对流作用； 土壤污染物迁移的扩散作用； 土壤污染物迁移的机械弥散作用 | 土壤污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 8.土壤污染物迁移的双域模型； 土壤渗流与污染物迁移方程 | 土壤污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 9. 土壤污染物迁移基本定理： 土壤污染物迁移的对流作用； 土壤污染物迁移的扩散作用； 土壤污染物迁移的机械弥散作用 | 土壤污染物迁移数学模型及数值模拟 |
| 课程目标 3 | 1.环境数值模拟的基本概念、基本功能和作用 | 绪论 | ×12% | 课堂表现  上机操作  汇报展示  课堂讨论  平时作业 |
| 2.环境系统数值模拟研究进展与趋势 | 绪论 |

**表4-2 课程目标与考核方式矩阵关系**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课程  目标 | 考核方式 | | | | 考核占比 |
| 期末考试成绩比例60% | 课堂表现12% | 作业完成情况20% | 资源学习8% |
| 课程目标1 | 40% | 40% | 40% | 40% | ×40%=60%\*40%+12%\*40%+20%\*40%+8%\*40% |
| 课程目标2 | 50% | 40% | 50% | 40% | ×48%=60%\*50%+12%\*40%+20%\*50%+8%\*40% |
| 课程目标3 | 10% | 20% | 10% | 20% | ×12%=60%\*10%+12%\*20%+20%\*10%+8%\*20% |

## （二）成绩评定

**1.平时成绩评定**

**（1）课堂表现（×30%）**：通过学生在课堂上的表现情况、发言与提问情况，来评价学生相关的能力（目标1：40%；目标2：40%；目标3：20%)。

**（2）作业完成情况（×50%）**：根据每次课程布置的作业完成情况进行评定；课程实践时能用简单的数值模拟软件来分析评估污染物在湖泊、河流、海洋、土壤、地下水以及大气中迁移转化的数学模型及数值模拟方法；能够对复杂环境系统问题进行分析，最终根据模拟预测结果提出环境管理、保护措施（目标1：40%；目标2：50%；目标3：10%)。

**（3）资源学习（×20%）**：根据学生在课外资源、拓展阅读等的学习情况进行评定（目标1：40%；目标2：40%；目标3：20%)。

**2.期末成绩评定**

期末考核的范围：包括课程所有模块

期末考核的方式：汇报展示（含上机操作）

期末考核的要求：运用具体模拟方法解决相关环境预测评估问题，提高其知识应用能力、分析问题、开展实际环境数值模拟工作能力。具体以Visual MODFlow、FEFLOW或者AERMOD软件为工具，采用数值计算实例，实例模型条件输入、模拟识别与验证、模拟效果评价、模型预测以及模型结果分析与讨论（目标1：40%；目标2：50%；目标3：10%)。

**3.总成绩评定**

总成绩由平时考核成绩和期末考核成绩构成，总成绩（100%）=平时成绩（40%）+期末成绩（60%）

## （三）评分标准

期末成绩的具体评分细则见表4-3。

**表4-3 评分标准**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **考核项目** | **评分标准** | | | | |
| **优秀**  **(100>x≥90)** | **良好**  **(90> x≥80)** | **中等**  **(80> x≥70)** | **及格**  **(70> x≥60)** | **不及格**  **(x <60)** |
| 上机操作及汇报展示 | （1）能够熟练利用环境模拟软件完成数据获取、预处理、成图、分析等操作流程。（2）模拟结果分析过程严谨，所使用的证据或材料充分，结论清晰，具有相当的说服力和解释力。（3）针对操作结果的对策或建议有针对性、创新性。（4）语言表达准确，叙述清楚，所使用的专业术语规范。（5）熟练掌握使用环境模拟的原理与方法，具备模拟分析和解决环境实际问题能力。 | （1）能较好地利用环境模拟软件完成数据获取、预处理、成图、分析等操作流程。（2）分析过程较为严谨，所使用的证据或材料较为充分，结论清晰，具有较强的说服力和解释力。（3）针对模拟结果的对策或建议具有较好的针对性、创新性。（4）语言表达较准确，叙述较为清楚，所使用的专业术语规范。（5）能够使用环境模拟的原理与方法，具备模拟分析和解决环境实际问题能力。 | （1）能够利用环境模拟软件完成数据获取、预处理、成图、分析等操作流程。（2）分析过程基本严谨，所使用的证据或材料基本充分，结论基本清晰，具有基本的说服力和解释力。（3）针对结果的对策或建议具有一般的针对性、创新性。（4）语言表达基本准确，叙述基本清楚，所使用的专业术语规范。（5）基本能够使用环境模拟的原理与方法，基本具备模拟分析和解决环境实际问题能力。 | （1）基本能完成利用环境模拟软件完成数据获取、预处理、成图、分析等操作流程。（2）分析过程基本严谨，所使用的证据或材料基本充分，结论基本清晰，具有基本的说服力和解释力。（3）针对结果的对策或建议不具备针对性、创新性。（4）语言表达基本准确，叙述基本清楚，所使用的专业术语规范。（5）勉强能够使用环境模拟的原理与方法，勉强取得模拟分析和解决环境实际问题能力。 | （1）不能利用环境模拟软件完成数据获取、预处理、成图、分析等操作流程。（2）分析过程不严谨，所使用的证据或材料不充分，结论不清晰，不具有基本的说服力和解释力。（3）针对结果的对策或建议不具备针对性、创新性。（4）语言表达不准确，叙述不清楚，所使用的专业术语不规范。（5）不能够使用环境模拟的原理与方法，未获得环境模拟分析和解决环境实际问题能力。 |

## 五、其它说明

本课程大纲依据2023版环境科学专业人才培养方案，由绿色智慧环境学院环境科学系讨论制定，绿色智慧环境学院教学工作委员会审定，教务处审核批准，自2023级开始执行。