

# 《大气探测与大气污染》虚拟仿真实验的设计与实践

曾胜兰, 韩琳, 郑一静

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年1月21日; 录用日期: 2025年3月18日; 发布日期: 2025年3月28日

## 摘要

为了解决大气探测与大气污染实验教学中存在的实验设备昂贵、实验对象特殊性、实验过程微观不可视等问题, 建立了大气探测与大气污染虚拟仿真实验。文章以大气探测与大气污染虚拟仿真实验为例, 阐述了虚拟仿真实验教学的必要性, 实验运用三维建模、动画等技术既创建第一视角使得学生沉浸式参与大气污染调查和观测, 又设计开放性拓展实验引导学生“自主式”创新探索, 激发学生的学习兴趣和潜能, 考察了学生问题分析和创新能力, 有效提升了学生解决实际问题的综合能力和高阶思维。该实验拓展了实验教学的广度和深度, 提升了实验教学的质量和水平。

## 关键词

大气探测与大气污染, 虚拟仿真, 实验教学

# Design and Practice of Virtual Simulation Experiments in “Atmospheric Detection and Atmospheric Pollution”

Shenglan Zeng, Lin Han, Yijing Zheng

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jan. 21<sup>st</sup>, 2025; accepted: Mar. 18<sup>th</sup>, 2025; published: Mar. 28<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

To address issues in experimental teaching of atmospheric detection and atmospheric pollution, such as the high cost of experimental equipment, the specificity of experimental subjects, and the

文章引用: 曾胜兰, 韩琳, 郑一静. 《大气探测与大气污染》虚拟仿真实验的设计与实践[J]. 创新教育研究, 2025, 13(3): 420-426. DOI: 10.12677/ces.2025.133204

invisibility of microscopic experimental processes, a virtual simulation experiment for atmospheric detection and atmospheric pollution has been established. Taking the virtual simulation experiment in atmospheric detection and atmospheric pollution as an example, this paper elucidates the necessity of virtual simulation experimental teaching. The experiment employs three-dimensional modeling, animation, and other technologies to create a first-person perspective, enabling students to immerse themselves in atmospheric pollution investigation and observation. Additionally, open-ended exploratory experiments are designed to guide students in "autonomous" innovative exploration, stimulate their learning interests and potential, and assess their problem-solving and innovative abilities. This effectively enhances students' comprehensive ability to solve practical problems and their high-level thinking. The experiment expands the scope and depth of experimental teaching, and improves the quality and standard of experimental teaching.

## Keywords

Atmospheric Detection and Atmospheric Pollution, Virtual Simulation, Experimental Teaching

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

实践和实验教学环节作为高校专业人才培养的重要环节，往往因为实践教学资源不足，实训实习场所有限，设备昂贵且不适合多人多任务教学、现场教学存在较大安全风险且耗时较长等问题而无法有效实施[1]。随着信息工业革命的到来，大数据、人工智能、虚拟仿真等技术飞速发展，以电子信息技术应用为特征的实验教学模式成为教育教学改革的发展潮流[2][3]。虚拟仿真实验教学是适应新时代高校教学要求的产物[4]。教育部 2013 年 8 月印发了《关于开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知》(教高司函〔2013〕94 号)；2019 年教育部发布《教育部关于一流本科课程建设的实施意见》(教高〔2019〕8 号)，将国家虚拟仿真实验教学项目纳入一流本科课程建设，充分体现了虚拟仿真教学资源已经成为高校实践教学的重要组成部分。

大气探测、大气污染实验涉及大气探测学、污染气象学、边界层气象学、大气化学等多个学科知识内容，是高校大气科学和应用气象学专业开设的专业综合实验。然而由于实验设备昂贵、实验对象特殊性、实验过程微观不可视等特点，使得该实验项目开展具有一定的局限性。为了满足行业对人才的迫切需求并有效提升实验教学的效果，依据教育部出台的关于虚拟仿真实验教学项目建设的相关文件精神[5][6]，本文在课程理论教学和实体实验的基础上，探索实验教学信息化的新模式[7][8]，建立虚拟仿真实验平台，以《大气探测与大气污染》虚拟仿真实验教学设计和实践为例，充分拓展实验教学的内容、时间、空间和资源，提高实验的趣味性，激发了学生的学习热情，促进了实验教学质量的提高。

## 2. 虚拟仿真实验的必要性

### (1) 气象强国建设急需高层次、复合型、创新应用型气象科技人才

在全球变化背景下，气候变化、气象灾害、环境污染等问题已经成为人类社会面临的共同挑战，推进气象现代化建设，关键在于打造一支素质过硬、结构优化的高素质气象人才队伍。但气象高等教育人才培养与气象行业实际需求存在明显脱节现象，急需高层次、复合型、创新应用型气象科技人才有力支撑国家气象事业发展。

大气科学类专业(大气科学和应用气象学专业)旨在培养运用大气科学基本理论和专业知识为气象、农业、生态、环保、航空、能源、国防等行业提供管理及技术服务的高级专门人才,本实验包含《污染气象学》《大气探测学》和《大气化学基础》等多门交叉专业课程的基础知识、基本理论和基本技能,既有行业实景、又富有开放性拓展实验引导学生“自主式”创新探索,实验的开放和应用有利于培养学生的创新意识和实践能力,为投身“气象强国”建设情怀的人才培养提供强大智力支持。

#### (2) 虚拟仿真技术突破难以开展污染物扩散和气象响应实验的制约

第一,实验对象特殊性。大气科学类专业实验对象是看不见摸不着、无色无味的大气,大气污染过程、大气运动过程在真实环境中无法展示。具体来讲,大气污染过程、污染物扩散和积累是若干复杂的分子、原子水平光化学过程综合作用的结果,其反应的原理及机理存在于微观尺度无法可视化;气象元素(温度、气象、风向风速)状态和大气运动实时发展,其过程不可见且无法完全复制,因而不论是气象条件变化还是大气污染物的扩散都具有唯一性和不可逆性,无法完全复制。该实验项目将大气运动的抽象变化形象化,能有效解决因实验对象的特殊性而造成的实验开展和实施的困难。

第二,实验对象有害性。工业园区排放的大气污染物质绝大多数对人体的危害较大,长期实地考察和观测对人体健康影响较大,虚拟仿真技术能够突破地域的限制,能够有效解决实验对象有害性而造成的实验安全性问题。

第三,实验设备昂贵。业务上,大气污染物监测和气象观测设备价格不菲,成本均在数十、数百万以上,可观测大气污染物扩散的风洞实验设备场地及耗费巨大。因此,开展真实实验所需的设备和耗材成本昂贵,该实验项目将大气运动、污染物的扩散形象化,能有效解决因实验设备昂贵带来的困难。

### 3. 虚拟仿真实验教学目标

《大气探测与大气污染》实验坚持“面向行业-聚焦业务、分类指导-特色发展、科教融合-激发创新”的实验教学理念,通过虚拟仿真营造行业情景体验式的教学环境,使学生身临其境地依次完成“基本原理知识学习、真实案例分析研究、创新思维能力提升”的学习实践过程,完成“基础认知、剖析讨论、应用探索”三个层次的训练,实现以下具体教学目标:

(1) AQI 的等级预报模拟模块:以大气污染现状作为切入点引起学生兴趣,帮助学生了解大气污染现状及现今常用空气质量标准、评价指标及其应用情况,使得学生从整体上了解大气污染及其预测标准。

(2) 混合层对污染物的影响模块:学生掌握混合层相关定义、特征、观测及其污染效应,引导学生熟练运用所学知识处理实际大气污染问题,激发学生专业认同感和社会责任感,提升创新思维能力。

(3) 污染物对湿度变化的响应特征模块:帮助学生了解空气湿度变化对污染物浓度的影响机制,使学生掌握气象和环境学科最新研究成果及其相关知识,学生通过学习,尝试判断不同空气湿度条件下污染物的浓度变化,锻炼学生通过学习具备应用基本理论和专业知识分析判断实际污染问题的能力;

(4) 不同等级降水对污染物的影响模块:帮助学生掌握降水强度对污染物浓度的影响机制,学生通过学习后尝试判断不同等级降水条件下污染物的浓度变化,使学生具备气象数据分析、气象知识综合应用的基本技能。

(5) 污染物对局地风场的响应特征模块:通过深入综合剖析不同大气稳定度、不同气象条件、不同下垫面下的区域污染物扩散气象条件、风场特性、污染源烟流扩散特征并对区域空气质量进行潜势预报,锻炼学生应用大气科学、污染气象学基本理论和专业知识,为气象、农业、生态、环保、航空、能源、国防等行业提供管理及技术服务的能力。

上述实验教学目标达成有助于学生系统掌握污染气象学和大气污染基础知识、基本理论和基本技能,富有创新意识和实践能力,能够在大气科学、农业、生态、环保、航空、能源、国防等相关领域从事教

育、科研、技术研发及相关管理工作，成长为能够服务于我国大气科学相关事业、为中国特色社会主义新时代做出贡献的大气科学高级专门人才奠定了重要基础。

## 4. 虚拟仿真实验设计

### 4.1. 实验简介

《大气探测与大气污染》实验适应于我国大气科学类专业人才培养的需要，以培养具有专业胜任能力和社会适应力的创新应用型大气科学类高级专门人才为目标，实验坚持“面向行业-聚焦业务、分类指导-特色发展、科教融合-激发创新”实验教学理念，按照“虚实结合、以虚补实”的原则，运用三维建模、动画等技术既创建第一视角使得学生沉浸式参与大气污染调查和观测，又设计开放性拓展实验引导学生“自主式”创新探索，激发学生的学习兴趣和潜能，考察学生问题分析和创新能力，有效提升学生解决实际问题的综合能力和高阶思维。实验以全球大气污染问题为切入点，提供 AQI 的等级预报模拟、混合层对污染物的影响、污染物对湿度变化的响应特征、不同等级降水对污染物的影响、污染物对局地风场的响应特征等多个实验模块引导学生深入剖析大气污染气象成因并对区域空气质量开展潜势预测，以解决大气科学类人才培养中应用性和创新性的瓶颈。学生在学习《污染气象学》理论知识的同时，又能相应锻炼气象和环境交叉学科技能和能力并应用到实际，实现理论学习、实际应用和课程思政的完美结合。

### 4.2. 实验内容设计

为达成以上实验教学目标，《大气探测与大气污染》实验设置了五个模块实验内容，实验内容与能力培养的对应关系如图 1 所示，实验方法与实验目的、教学进程思路如图 2 所示。

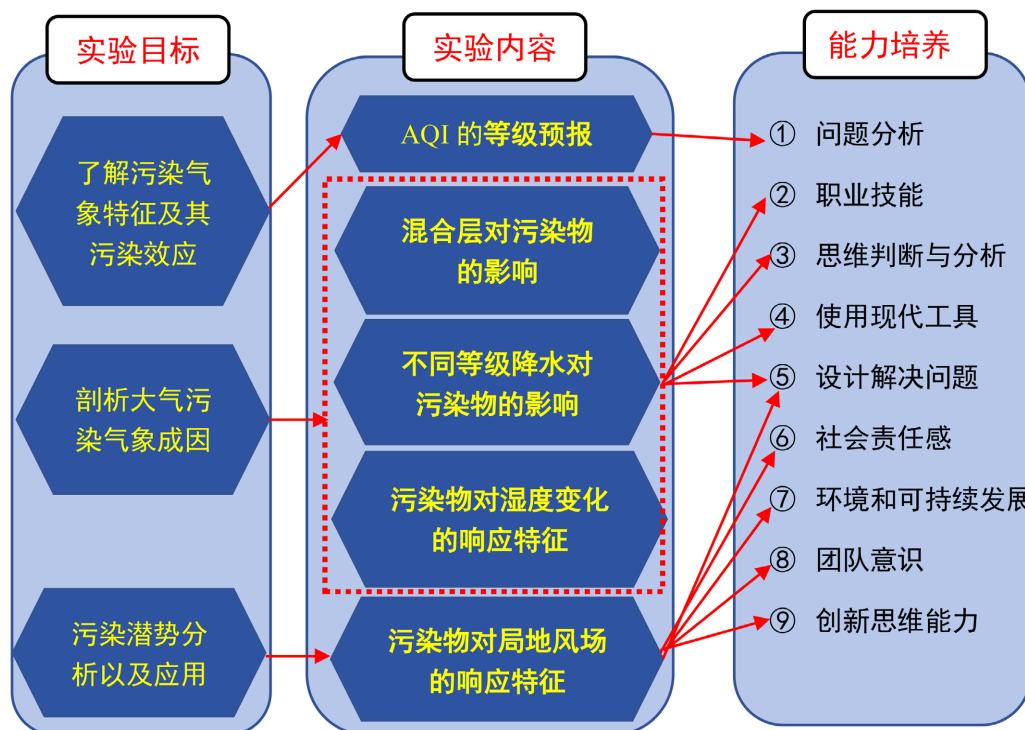
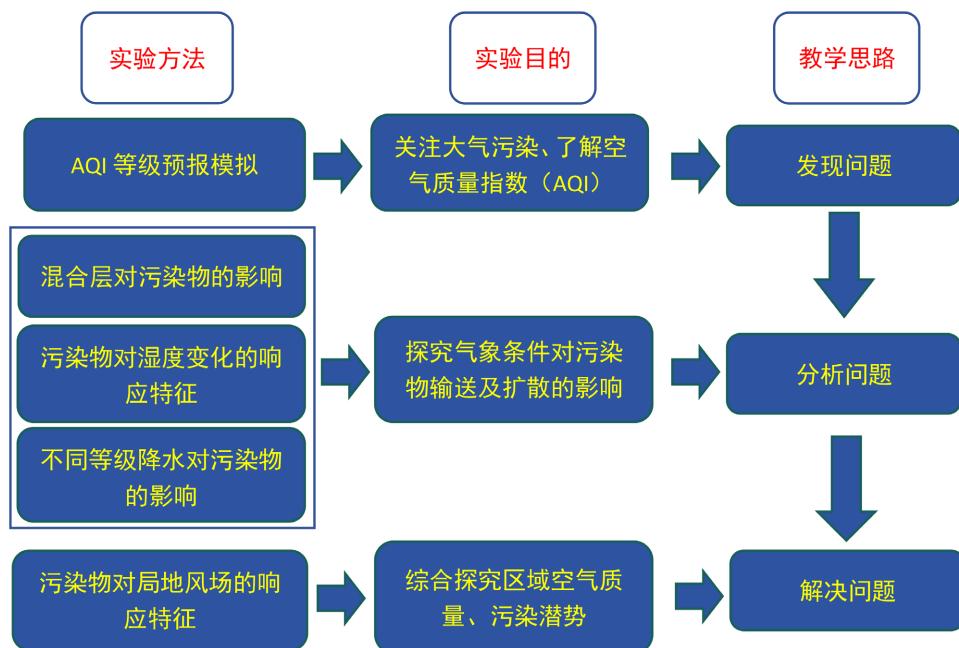


Figure 1. Correspondence between experimental content and competency cultivation  
图 1. 实验内容与能力培养的对应关系



**Figure 2. Experimental content design**  
**图 2. 实验内容设计**

模块一：AQI 的等级预报模拟实验，运用问题导入式等方法帮助学生了解国际、国内普遍使用的空气质量指数(AQI)的含义及其评价标准，由此引出现今科学界和社会广泛关注的大气污染、空气质量等热点问题；

模块二：混合层对污染物的影响实验，通过丰富的数据资料介绍混合层的定义、空间分布、日变化过程及其污染效应，学生可使用鼠标对其进行科学观察，并结合理论知识的详细介绍，形成对污染层对污染物影响机制的认知，掌握混合层相关定义、特征、观测及演变，理解混合层厚度分布及日变化过程及其污染效应；

模块三：污染物对湿度变化的响应特征实验，实验运用学习 + 考核的模式，通过图片资料介绍相对湿度、不同等级降水对污染物变化的影响机制，学习后，学生通过案例分析判断不同气象条件下颗粒物、臭氧等污染物的浓度状态，引导学生尝试运用所学知识对污染物浓度展开讨论，锻炼学生的问题分析探索能力，从而理解空气湿度变化对污染物浓度变化的影响机制，理解雾霾形成的原因；

模块四：不同等级降水对污染物的影响实验，掌握不同等级降水对污染物的影响机制，了解降水对污染物的清除作用；

模块五：污染物对局地风场的响应特征实验，运用案例分析法帮助学生开展不同气象条件、不同下垫面对污染物扩散的探究，通过人机交互分析特殊气象条件下、不同下垫面情况下以及局域风场特征对污染物扩散的影响并对区域空气质量展开讨论，综合判断区域污染物烟流扩散特征并判断区域空气质量，锻炼了学生对实际问题的综合讨论和创新思维能力。

#### 4.3. 实验教学过程实施

《大气探测与大气污染》实验共 2 学时，实验教学过程以问题引导和驱动下的探究式教学模式为基础，具体过程如下：

课程教学首先提出问题：现今城市面临的主要环境问题是什么？大气污染是如何形成的？大气条件

如何影响大气污染的形成和发展？如何开展污染潜势预报？在课程教学中让学生带着问题开展课程学习并在实验课中寻找答案。

实验课前，学生通过教材、参考书、实验指导书等资源自主学习相关理论，针对实验内容进行自主学习和准备。

以实验系统为依托，以学生为主体，以教师为主导，引导学生根据前期实验前的预习情况进行在线实验操作；学生发现理论知识的不足及实验新问题，老师通过线上或线下方式引导学生尝试寻求解决问题的方法和途径；学生完成实验，提交实验报告(图 3)。

#### (1) 实验前自主预习

实验前学生可通过教材、参考书、线上课程资源等自主预习污染气象学、大气污染物的扩散、AQI 及其潜势预报等相关理论知识。本虚拟仿真实验项目提供实验指导书，包含实验简介、内容、实验操作步骤等供学生提前预习。

#### (2) 在线实验操作(2 学时)

学生了解熟悉实验方法和步骤，按要求进行线上虚拟仿真实验。为充分调动学生的自主性，部分实验设置开放式操作。实验结果有两种可能：一是实验操作正确，系统提示下一步操作；二是实验操作或结果错误，实验暂时终止，学生可及时发现问题所在，思考问题寻求改进方式并可反复实验。

#### (3) 线上线下讨论

引导学生思考在实验操作中发现的问题，通过 QQ、微信等线上线下交流途径，引导学生进行学习交流，分享各自学习理解和体会，确定正确的实验方法和步骤。

#### (4) 完成实验提交报告

依靠线上平台的便利性，学生可自主选择课下时间和地点登录虚拟仿真实验平台开展虚拟实验操作，并可多次重复实验操作，直至完全掌握相关知识。虚拟仿真实验可弥补课程课堂时间的不足，给予学生充分的学习自由，有利于个性发挥。

学生完成实验相关操作，熟练掌握相关理论和实践知识，可在线完成实验或报告，提交至虚拟仿真实验平台。

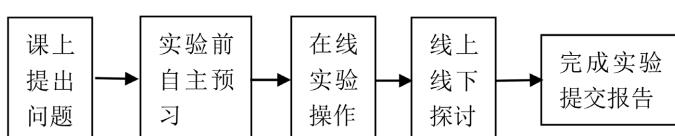


Figure 3. Flowchart of the experimental teaching process

图 3. 实验教学过程流程图

## 4.4. 实验评价体系设计

《大气探测与大气污染》实验采用各模块得分 + 综合评分，依据实验内容及要求分类型开展科学成绩评定。具体而言，依据实验内容，实验模块可划分为理论基础型以及自由探索型实验，依据实验内容及要求分类型系统开展科学成绩评定。针对理论基础型实验项目，实验结果具有唯一性，学生回答正确方可获得相应分数，如混合层对污染物的影响模块中，学生需按照实验流程依次完成学习和考核，由系统根据学生答案的正确性对学生的学情进行评定，从而公平客观地评价学生对基础知识的掌握程度。针对自由探索型实验，学生可进行反复训练和探索，系统将结合学生探索过程、实验设计、实验结果等综合给出成绩评定以客观评价学生所展现的创新实践能力，在此过程中，学生可及时反思实验操作及选择，激发探索激情，提升解决问题的创新思维能力。最终系统结合各模块学生评分情况综合给出实验评分。

《大气探测与大气污染》虚拟仿真实验自 2022 年在我校虚拟仿真实验平台上线, 已在我校大气科学和应用气象学专业本科生《大气探测学》和《污染气象学》课程中使用。目前《大气探测与大气污染》虚拟仿真实验课程已获批省级一流课程, 实验室已对外开放, 全国高校相关专业均可应用。

## 5. 结语

《大气探测与大气污染》虚拟仿真实验有效克服了真实实验教学过程不可视、不可逆、成本高等弊端。学生运用《大气探测学》《污染气象学》基础理论, 通过虚拟仿真实验使学生能够突破时空限制, 带着理论问题, “身临其境”地开展探索性实验, 拓展解决现实问题的能力, 其既丰富了实验教学内容, 加深对课堂教学知识点的理解和教学深度, 是课堂教学的有力补充, 提高了实验教学质量和水平。

## 基金项目

四川省高等教育人才培养质量和教学改革项目(分类筑基固本、交叉育才强能: 新高考背景下多学科融合“气象+”人才分类培养模式研究与实践), 成都信息工程大学本科教育教学研究与改革项目暨本科教学工程项目(JYJG2024061, JYJG2024062, 2021YLZY09, 2021YLZY21)。

## 参考文献

- [1] 朱志辉, 刘丽丽, 徐磊, 等. 钢弹簧浮置板减振轨道虚拟仿真实验开发与实践[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(12): 112-116.
- [2] 晋银峰. 虚拟仿真“金课”建设: 路径、问题与对策[J]. 河北师范大学学报(教育科学版), 2021, 23(5): 115-121.
- [3] 王进仕, 赵媛媛, 种道彤. 火电机组虚拟仿真实验教学的建设与实践[J]. 高等工程教育研究, 2019(s1): 201-203, 2010.
- [4] 李红, 马壮, 石素君, 等. 金丝球焊引线键合虚拟仿真实验的设计与实践[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(S01): 1-5.
- [5] 教育部. 关于 2017-2020 年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知: 教高厅〔2017〕4 号[EB/OL]. 2017. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/20170721\\_309819.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/20170721_309819.html), 2017-07-13.
- [6] 教育部. 关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知: 教高函〔2018〕5 号[EB/OL]. 2018. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/20180607\\_338713.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/20180607_338713.html), 2018-06-05.
- [7] 刘麦, 张琦, 杜向军. 高职院校虚拟仿真实验信息化教学模式研究[J]. 科教导刊(下旬), 2018(7): 112-113, 167.
- [8] 李卓, 刘开华. 基本单元电路故障诊断虚拟仿真实验的建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(4): 136-140.