

# 《等离子体降解 VOCs 废气系统设计虚拟仿真实验》

## 教学指导书

### 一、课程简介

“等离子体降解 VOCs 废气系统设计虚拟仿真实验”是环境工程专业的必修专业核心课《大气污染控制工程》的实验教学内容。本课程是在虚拟的某工厂废气处理系统中，再现等离子体降解 VOCs 废气的完整过程，采用交互式体验的教学方式，引导学生通过演示和观察，学生直观参与到降解实验及系统设计的各个环节，从而掌握等离子体降解 VOCs 原理、VOCs 标准气体配置、操作变量对 VOCs 降解的影响规律、等离子体反应器设计、废气处理系统搭建等关键知识点。

### 二、课程目标

本虚拟仿真实验课程主要针对《大气污染控制工程》课程中的“气态污染物控制”部分而开设，通过对等离子体技术降解 VOCs 废气工艺开展虚拟仿真实验，对净化系统构成、等离子体结构及降解废气工艺、废气检测分析、废气处理系统搭建等进行高度仿真，使学生在虚拟环境中完成废气处理过程操作，全面、真实地了解等离子体降解 VOCs 废气工艺，更加深刻地理解和掌握相关知识点，切实提高学生的工程实践能力。

### 三、教学内容

本虚拟仿真实验旨在培养学生掌握等离子体技术降解 VOCs 废气的工艺和原理、结构设计等内容，让学生掌握“净化系统构成、等离子体结构及降解废气工艺、废气检测分析、废气治理影响因素分析、废气处理系统的设计和搭建”的综合知识，具体的教学内容如下：

(1) 理论知识认知。实验操作过程中的基本规范及知识，VOCs 的来源、VOCs 的危害、VOCs 的控制技术及常见工艺的优缺点，等离子体的概念、分类、介质阻挡放电 (DBD) 处理 VOCs 的原理及工艺，等离子体降解 VOCs 的净化系统的管道、集气罩、风机、净化设备、烟囱、辅助装置等组成，了解常见气体检测工具的原理及性能。

(2) 标准气体配置。进入实验室前，学生必须穿戴好防护眼镜、口罩、面

罩、手套和实验服等防护用品。进入实验室配置 VOCs（以甲苯为例）标准气体，通过质量流量计调节惰性气体氮气和标气的流量比例大小，配置浓度梯度为 100、500、1000、1500、2000 ppm 的 5 个甲苯标准气体。将配置的标准气体用气相色谱分析测试，根据配置的标气浓度和峰面积，获得标准曲线。

（3）等离子体降解 VOCs 参数优化。利用 DBD 等离子体降解 VOCs，探究外施电压、管道内气体流速、氧气体积分数、水汽体积分数（湿度）、VOCs 的初始浓度对 VOCs 降解效率的影响规律。

（4）事故处理。等离子体放电电压过高，产生火花放电，立刻将电源电压调整至 0，防止短路烧掉电源。在线监测系统显示，进气口浓度突然升高，超过系统爆炸极限，系统报警灯点亮，蜂鸣器触发，应立刻关掉等离子体电源，降低废气浓度再做实验。

（5）废气监测采样布点。学习废气采样时管道测点位置选择方法，并完成相应练习。学习矩形管道断面和圆形管道断面上采样点的布置方法，并完成相应练习。

（6）风压风量及风机选型。学习风管中全压、静压的测量方法，计算相应的动压，并完成相应练习。根据测定的动压结果，完成管道流速和风量的计算。学习系统总压力损失和管网压力损失的计算方法，根据净化系统的参数，计算相关管段的沿程压损、局部压损和总压损。学习风机的设计计算方法，根据总压损数据，进行风机的风压、风量、功率的计算，选择合适的风机。

（7）等离子体反应器综合设计。系统给出废气流量、VOCs 浓度、氧气含量、相对湿度、气体流速等已知条件，学生需要对等离子体设备进行设计计算。选择合适的管径、管长、中通道面积等参数，根据废气总处理量，计算出放电管数量，将计算结果填入系统。

（8）净化系统搭建。在二维界面上，学生通过法兰、二通阀等连接部件完成集气罩、等离子设备、风机和烟囱的连接和安装。净化系统搭建完成后，系统生成净化系统的三维仿真效果图，学生可利用方向键控制视角，查看自己的设计成果。

（9）净化效果评估。系统模拟废气治理工程现场采集排气筒的 VOCs 浓度，将测定的浓度值换算成标准状态下的浓度值，根据喷涂废气相关的 VOCs 排放标

准，对排放浓度是否达标进行判定，从而评估净化系统的效果。

综上，本虚拟仿真课程的教学重点与难点主要体现在以下五个方面，包括：等离子体结构及降解废气的原理；净化系统构成、废气检测分析方法；VOCs 废气处理影响因素分析；风压风量、压力损失计算及风机选型和等离子体反应器综合设计。

#### 四、教学组织

以等离子体降解 VOCs 废气系统设计为虚拟仿真对象，将仿真实验的知识点和操作技能要点穿插到实验各个模块中进行学习，采用任务驱动式、情景体验式、容错纠错式等教学方法，围绕等离子体技术降解 VOCs 废气实验任务开展教学活动。通过虚拟仿真工程实践，引导学生自主学习探索。综合应用观察法、控制变量法、模型法、图像法等实验方法，完成本虚拟仿真实验的操作，课程教学组织如下：

##### 第一阶段：理论知识讲解

首先介绍等离子降解 VOCs 废气系统的基本原理、工艺流程和关键技术。对该系统的运行机制有一个清晰的认识，并了解与虚拟仿真实验相关的知识点。

##### 第二阶段：虚拟仿真实验操作

进入虚拟仿真环境，通过实验模块逐步进行操作。在每个实验模块中，引导探索和应用相关的知识点和操作技能要点，例如设置反应条件、调整参数以及观察实验结果等。

##### 第三阶段：实验总结与答疑

回顾整个课程内容，并为大家提供答疑环节，解答学生在学习过程中遇到的问题。同时，对虚拟仿真实验进行总结，帮助学生巩固所学知识和技能。

通过本课程的学习，学生可以全面了解等离子降解 VOCs 废气系统的设计过程，并掌握相关的实验技能。学生通过虚拟仿真工程实践，不断自主学习和探索，提升自己的能力和素质。

#### 五、实验考核方法

系统对学生的实验操作实时记录和评分，以确保实验过程的准确性和规范性。在完成所有的交互实验步骤后，点击提交“生成实验报告”，该实验报告将包含实验各个环节的评分和实验操作总成绩。通过评分系统，学生可以清楚地了解自己

在每个环节上的得分表现，并从评分结果中获取反馈信息，以便进一步提升实验技能和知识掌握水平。在实验报告的最后，设置了课程质量评价选项，学生可对课程进行评价和反馈。虚拟仿真实验总成绩=实验报告成绩×70%+实验平时成绩×30%。

## 六、课程教授方法说明

本课程教学方法包括任务驱动式、情景体验式和容错探究式三种教学方法，应用观察法、控制变量法、图像法、模型法和图像法等实验方法。

教学过程中结合当前 VOCs 治理的现状以及最新进展，向学生介绍 VOCs 治理在环境保护和可持续发展中的重要性。特别是可以引导学生了解 VOCs 对大气污染和人类健康的影响，以及相关法律法规和政策的演变，从而唤起学生的社会责任感和环保意识。结合教学团队在等离子体技术方面的多年的科研成果，展示该领域的前沿技术应用和研究成果，激发学生对科学研究和工程技术的兴趣。通过介绍具体案例和实验成果，加深学生对低温等离子体原理及其在 VOCs 治理中的应用的理理解，引导他们理解科学原理与实际应用的结合。项目中融入了标准气体配置、废气降解参数优化等科研理念，可以培养学生系统思维和科学研究能力，帮助他们理解科学实验的设计与实施过程。同时，加入系统风速风压测定、管道压力计算及废气处理系统搭建等工程思想，有助于培养学生的工程实践能力和问题解决能力，为他们未来参加设计类竞赛、节能减排大赛等学科竞赛打下坚实基础。

## 七、参考书目

1. 郝吉明，马广大，王书肖主编. 大气污染控制工程（第4版）. 北京：高等教育出版社，2021.
2. 梁文俊，李晶欣，竹涛主编. 低温等离子体大气污染控制技术及应用. 北京：化学工业出版社，2016.
3. 杜长明主编. 低温等离子体净化有机废气技术. 北京：化学工业出版社，2017.