

# 河北大学课程教学大纲

|       |            |       |
|-------|------------|-------|
| 课程编号: | 112032     |       |
| 课程名称: | 大气污染控制工程实验 |       |
| 学分学时: | 1 学分       | 34 学时 |
| 开课单位: | 化学与环境科学学院  |       |
| 撰稿人:  | 于泊藻, 路达    |       |
| 审核人:  | 赵春霞        |       |

2015 年 5 月 20 日制 (修) 订

# 《大气污染控制工程实验》实验教学大纲

## (实验课程)

◆课程编号：112032

◆课程英文名称：Air Pollution Control Engineering Experiments

◆学分/学时：1 学分/34 学时

◆课程类型： 通识通修课程  通识通选课程

学科基础必修课程  学科(跨学科)选修课程

专业发展核心课程  专业发展拓展课程  集中实践课程

◆适用专业(专业类)：环境工程专业

◆先修课程：大气污染控制工程、环境工程、环境监测

### 一、课程简介与教学目标

大气污染控制工程实验是环境工程专业的专业发展核心课程，通过大气污染控制工程理论课基本理论、控制设备以及净化系统工艺设计的学习，结合本课程的实验和课程设计等其他教学环节，培养学生分析和解决大气污染工程控制的实际能力，为学生将来从事大气污染控制工程的设计、科研和技术管理等相关工作打下基础。

### 二、教学方式与方法

1. 开课后，任课教师需向学生讲清课程的性质、任务、要求、课程安排和进度、平时考核内容、期末考试办法、实验守则及实验室安全制度等。

2. 实验前，实验指导教师布置相关内容的预习和资料查阅，讲解实验程序和注意事项，设计性实验前学生必须进行预习，设计报告经教师批阅后，方可进入实验室进行实验。

3. 实验在规定的时间内，由学生独立完成。实验过程中，教师进行相应的指导和管理，及时纠正错误。如果出现问题，教师要引导学生独立分析、解决。

4. 实验完成后，教师验收实验数据指导学生进行数据处理、结果分析，批改实验报告。

### 三、教学重点与难点

#### (一) 教学重点

典型大气颗粒污染物和气态污染物的净化措施、装置及影响因素。

#### (二) 教学难点

实验设备的正确使用，实验流程的清楚认识，实验数据的正确处理。

### 四、学时分配计划

| 序号 | 实验项目名称 | 实验要求 | 实验类型 | 学时 |
|----|--------|------|------|----|
| 一  | 湿法脱硫实验 | 必修   | 综合性  | 6  |

|    |                        |    |       |    |
|----|------------------------|----|-------|----|
| 二  | 催化脱销实验                 | 必修 | 综合性   | 6  |
| 三  | 大气中 TSP/PM10/PM2.5 的测定 | 必修 | 综合性   | 5  |
| 四  | 氨吸收净化实验                | 必修 | 综合性   | 4  |
| 五  | 粉尘粒径分布测量               | 必修 | 设计研究性 | 4  |
| 六  | 室内空气中甲醛的测定             | 必修 | 验证性   | 5  |
| 七  | 真密度和堆积密度测定             | 选修 | 验证性   | 4  |
| 八  | 活性炭吸附气体中的二氧化硫          | 选修 | 综合性   | 6  |
| 九  | 油烟净化器性能测定              | 选修 | 设计研究性 | 4  |
| 十  | 仿真实验-焚烧炉系统             | 必修 | 综合性   | 2  |
| 十一 | 仿真实验-石灰浆供应系统           | 选修 | 综合性   | 2  |
| 十二 | 仿真实验-半干式洗烟塔            | 选修 | 综合性   | 2  |
| 十三 | 仿真实验-活性炭喷射系统           | 选修 | 综合性   | 2  |
| 十四 | 仿真实验-除尘器               | 必修 | 综合性   | 2  |
| 合计 |                        |    |       | 54 |

- 注：1. “实验要求”填写“必修”或“选修”；  
 2. “实验类型”填写“演示性”“验证性”“综合性”“设计研究性”或“其它”；  
 3. 学时“合计”数应大于或等于该实验课程总学时数。

## 五、教材与教学参考书

### (一) 教材

《大气污染控制工程实验》，自编。

### (二) 教学参考书

1. 《大气污染控制工程实验》，郝吉明，段雷主编，高等教育出版社，2004，第一版
2. 《大气污染控制工程实践教程》，黄学敏，张承中主编，化学工业出版社，2007，第一版

## 六、课程考核与成绩评定

【考核类型】 考试       考查

【考核方式】 开卷       闭卷       项目报告/论文

其它：平时成绩 70%=预习 5%+实验与数据处理技能 30%+考勤 10%+实验报告 25%；期末成绩 30%=操作成绩 15%+实验原理问答 15%（填写具体考核方式）

【成绩评定】平时实验占 70%，期末考试占 30%。

## 七、课程内容概述

### 实验一 湿法脱硫实验

#### (一) 教学要求

烟气脱硫是控制燃煤产生的二氧化硫污染的重要手段，石灰石石膏法湿法脱硫工艺简单，脱硫效率高，应用广泛。通过本实验，掌握石灰石石膏法脱硫的原理及工艺流程，并对影响脱硫系统效率的因素有明确认知。

## （二）知识点提示

本实验的重点和难点一是脱硫装置的熟悉，二是通过调节运行参数，使得石灰石脱硫系统稳定运行。

## （三）教学内容

烟气通过石灰石吸收液，其中的二氧化硫溶解于水，并与吸收剂和氧气反应生成石膏，从而降低烟气中二氧化硫的浓度。通过调节石灰石浆液浓度、pH 值、添加剂、液气比等，观察脱硫效率的变化。

## （四）思考题

影响石灰石石膏法脱硫系统效率及稳定性的因素有哪些？

### 实验二 催化脱销实验

## （一）教学要求

烟气脱硝 SCR 法(选择性催化还原 Selective Catalytic Reduction)是一种利用催化剂使烟气中的  $\text{NO}_x$  与还原剂（一般是  $\text{NH}_3$ ）反应生成对环境无污染的  $\text{N}_2$  和水，以降低  $\text{NO}_x$  排放的方法。通过本实验，加深对 SCR 原理的认识，确定影响催化剂性能的主要因素。

## （二）知识点提示

本实验的重点和难点在于影响催化剂性能的最佳工艺参数的确定。

## （三）教学内容

SCR 系统中的重要组成部分就是催化剂，考察反应温度、催化剂量、氨的注入量等对催化剂性能的影响，确定最佳反应条件，计算转化率。

## （四）思考题

温度、氨注入量、催化剂量是如何影响催化脱销效率的？

### 实验三 大气中 TSP/PM10/PM2.5 的测定

## （一）教学要求

- 1、了解颗粒物采样器的结构及其工作原理，熟练掌握颗粒物采样器的使用。
- 2、分析了解大气气象参数（风向、风速、温度、压力）对尘源浓度分布的影响。

## （二）知识点提示

本实验的重点和难点是颗粒物分级采样器的使用。

## （三）教学内容

应用具有一定切割特性的采样头，以恒定速度抽取一定体积的空气，空气中的悬浮颗粒被截留在已称量好的恒重的清洁滤膜上。记录采样时间，并同时测量采样时的风速、温度和压力，计算出空气流量。对采样后的滤膜在与采样前相同的条件下进行称量。采样前后滤膜的质量差除以采样体积，即可以得到空气中悬浮颗粒物的质量浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )。

## （四）思考题

- 1、分析影响颗粒物浓度测试精度的因素。
- 2、安装滤膜时，为什么一定要绒面朝上？

### 实验四 氨吸收实验

### （一）教学要求

了解填料吸收塔的结构，加深理解气体吸收理论和气液传质过程，掌握测定水吸收氨的传质单元数、传质单元高度和总体积吸收系数。

### （二）知识点提示

填料塔中气液逆流接触吸收过程影响吸收效率的因素有：填料高度、填料润湿表面积、液体分布情况、气流速度等。

### （三）教学内容

填料塔是气体吸收净化的主要设备。通过测定进气、排放气体浓度及吸收液的进出口浓度，可反算出吸收传质系数，从而判断吸收塔的净化性能。

### （四）思考题

影响吸收效率的因素都有什么？

## 实验五 粉尘粒径分布测量

### （一）教学要求

- 1、掌握与图像法粒度测量有关的粒径、粒径分布、特征粒径等概念。
- 2、了解颗粒图像处理仪（PIP8.0型）的结构和工作原理。
- 3、熟练掌握制样、分析过程，学会颗粒图像处理仪的使用方法。

### （二）知识点提示

本章节的重点、难点是颗粒图像处理仪的使用及数据处理。

### （三）教学内容

样品颗粒（高岭土或土样）的显微镜图像经过一组镜片最终成像在摄像机的光靶上，光学图像通过摄像机转换成数字图像信号经 USB 接口输入计算机，应用专门的软件对其进行处理，声称颗粒图像和用户报告（包括粒径分布图、粒径分布曲线、特征粒径统计等）。

### （四）思考题

- 1、粒径分布在除尘技术中多用质量分布表示，而软件中使用体积分布和个数分布，他们之间有什么差别和关联？
- 2、如果样品的颗粒分布较广，为了得到较为准确的数据，应当如何处理？

## 实验六 室内空气中甲醛的测定

### （一）教学要求

- 1、了解室内空气采样的布点和采样方法；
- 2、掌握室内空气甲醛测定的方法和原理；
- 3、了解室内空气中甲醛来源和污染程度。

### （二）知识点提示

本章节的重点、难点是乙酰丙酮分光光度法测定甲醛及吸收液的预处理

### （三）教学内容

甲醛的测定方法有乙酰丙酮分光光度法、变色酸分光光度法、酚试剂分光光度法、离子色谱法等。其中乙酰丙酮分光光度法灵敏度略低，但选择性较好，操作简便，重现性好，误差小；

变色酸分光光度法显色稳定，但使用很浓的强酸，使操作不便，且共存的酚干扰测定；酚试剂分光光度法灵敏度高，在室温下即可显色，但选择性较差，该法是目前测定甲醛较好的方法；离子色谱法是新方法，建议试用。近年来随着室内污染监测的开展，相继出现了无动力取样分析方法，该法简单、易行，是一种较理想的室内测定方法。

采用乙酰丙酮分光光度法进行测定。甲醛气体经水吸收后，在 pH=6 的乙酸-乙酸铵缓冲溶液中，与乙酰丙酮作用，在沸水浴条件下，迅速生成稳定的黄色化合物，在波长 423 nm 处测定。

#### (四) 思考题

- 1、实验中所用吸收液是在普通蒸馏水中加少量高锰酸钾的碱性溶液，再行蒸馏所得到的。若不对蒸馏水进行这样的预处理，会对测定结果有什么影响？
- 2、室内空气中甲醛的来源是什么？对人体有什么危害？

### 实验七 粉尘真密度和堆积密度测定

#### (一) 教学要求

通过本实验加深对粉尘真密度和堆积密度的基本概念的理解，掌握测定真密度和堆积密度的实验方法和数据处理方法。

#### (二) 知识点提示

真密度和堆积密度的主要区别是空隙率。真密度是完全压实情况下的密度，测定过程要确保颗粒间的空气完全赶出。

#### (三) 教学内容

- 1、真密度的测定
- 2、堆积密度的测定

#### (四) 思考题

- 1、真密度测定实验，平行试验数据差异产生的原因。
- 2、真密度和堆积密度分别应用于何种场合？

### 实验八 活性炭吸附气体中的二氧化硫

#### (一) 教学要求

活性炭吸附广泛用于大气污染控制，特别是有毒气体的净化。用吸附法净化低浓度的二氧化硫是一种简便、有效的方法。通过本实验应达到以下目的：深入了解吸附法净化有害废气的原理和特点；了解用活性炭吸附法净化废气中二氧化硫的效果。

#### (二) 知识点提示

吸附和吸附剂再生是可逆的过程，吸附操作影响因素较多，如温度、时间、吸附剂种类和用量、吸附剂的比表面积等。

#### (三) 教学内容

活性炭由于具有较大的比表面和较高的物理吸附性能，能够将气体中的二氧化硫浓集于其表面而分离出来。活性炭吸附二氧化硫的过程是可逆过程：在一定温度和气体压力下达到吸附平衡；而在高温、减压条件下，被吸附的二氧化硫又被解吸出来，使活性炭得到再生。在工业应用上，活性炭吸附的操作条件依活性炭的种类（特别是吸附细孔的比表面、孔径分布）以及填充高度、

装填方法、原气条件不同而异。所以通过实验应该明确吸附净化系统的影响因素较多，操作条件还直接关系到方法的技术经济性。本实验中的采样分析采用甲醛缓冲溶液吸收盐酸副玫瑰苯胺比色法。

#### (四) 思考题

- 1、活性炭吸附二氧化硫随时间的增加吸附净化效率逐渐降低，试从吸附原理出发分析活性炭的吸附容量及操作时间。
- 2、随吸附温度的变化，吸附量也发生变化，根据等温吸附原理，简单分析温度对吸附效率的影响。
- 3、本实验实际采用的空速为多少？通常吸附操作空速为多少？

### 实验九 油烟净化器性能测定

#### (一) 教学要求

随着《饮食业油烟排放标准》的正式颁布和实施，越来越多的饮食业单位已经采用或者将会采用各种类型的油烟净化器，静电型油烟净化器是其中比较有优势的一种。通过本实验，初步了解影响油烟净化器性能的主要因素；掌握测定油含量的红外分光光度法；通过研究油烟净化器的流量与油烟净化效率的关系，了解油烟净化器性能测定的主要内容和方法。

#### (二) 知识点提示

由通过抽油烟机前后的油烟浓度确定净化效率。

#### (三) 教学内容

用等速采样法抽取油烟排气筒内的气体，将油烟吸附在油烟采集头内；然后，将收集了油烟的采集滤筒置于带盖的聚四氟乙烯套筒中，用四氯化碳作溶剂进行超声清洗，移入比色管中定容，用红外分光法测定油烟的含量。油烟的含量由波数分别为 2930 (CH<sub>2</sub> 基团中 C—H 键的伸缩振动)、2960 (CH<sub>3</sub> 基团中 C—H 键的伸缩振动) 和 3030 (芳香环中 C—H 键的伸缩振动) 谱带处的吸光度进行计算。

#### (四) 思考题

在本实验中，随着烟气流量变化，静电型油烟净化器净化效率将会发生怎样的变化？

### 实验十 仿真实验-焚烧炉系统

#### (一) 教学要求

垃圾的焚烧是垃圾处理的一个重要途径，垃圾焚烧法已成为城市垃圾处理的主要方法之一。将垃圾用焚烧法处理后，垃圾能减量化，节省用地，还可消灭各种病原体，将有毒有害物质转化为无害物。通过模拟仿真实验，掌握垃圾焚烧炉的工艺流程，控制节点及工艺条件。

#### (二) 知识点提示

包含工艺原理、主要指标控制措施、燃烧设备简介三部分。

#### (三) 教学内容

工艺原理：燃烧机燃烧产物，污染物（硫氧化物、氮氧化物、颗粒污染物）的形成机制。

主要控制指标：硫氧化物、氮氧化物的控制措施。

燃烧设备简介：根据燃烧方式不同分四种：火床燃烧、火室燃烧、沸腾燃烧、旋风燃烧。

操作时，切换到应用知识点界面，点击进入按钮，便可详细了解上述内容。

#### (四) 思考题

- 1、炉温对尾气中二噁英的含量有何影响？
- 2、焚烧炉负荷较低时，采用何处理措施？

### 实验十一 仿真实验-石灰浆供应系统

#### (一) 教学要求

石灰浆供应系统是垃圾焚烧炉的尾气处理系统，生活垃圾焚烧过程中产生的污染物主要包括四大类：颗粒物（烟尘）、酸性气体（CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HCl 等）、重金属（Hg、Cr、Pb 等）及有机污染物（主要因子为二噁英类）。其中尾气中的 HCl、SO<sub>2</sub> 与 15% 的石灰浆在半干洗烟塔中逆流接触发生酸碱反应生产盐类，掉落至底部，然后经输送机送至飞灰贮仓，气体进入后续工段除去其他污染物，经烟囱排放。

本工段主要任务就是制成 15% 的石灰浆，供应半干洗烟塔使用。

#### (二) 知识点提示

包含破拱、旋转阀、管路加热简介三部分。

破拱：包括结拱定义、产生原理、常见破拱措施及特点等内容。

旋转阀：包括旋转阀的作用及结构原理。

管路加热：介绍了采用管路加热的作用。

#### (三) 教学内容

- 1、冷态开车
  - (1)石灰浆制备
  - (2) 启动供浆泵
- 2、石灰浆供应泵电源故障
- 3、长时间停电故障

#### (四) 思考题

长时间停电时，应采取哪些措施，为什么？

### 实验十二 仿真实验-半干式洗烟塔

#### (一) 教学要求

半干式洗烟塔是垃圾的焚烧尾气的处理系统，半干式喷淋由于雾化效果佳(液滴的直径可低至 30 μm 左右)，气、液接触面大，不仅可以有效降低气体的温度，中和气体中的酸气，并且喷入的消石灰泥浆中水分可在喷雾干燥塔内完全蒸发，不产生废水。通过实验，掌握洗烟塔的操作流程和工艺。

#### (二) 知识点提示

半干塔工艺原理、主要指标控制措施。

#### (三) 教学内容

- 1、冷态开车
  - (1) 通烟气
  - (2) 投用冷却水
  - (3) 启动冷却风机
  - (4) 供应石灰浆
- 2、正常停车
  - (1) 布袋除尘器切至旁通
  - (2) 切断石灰浆供应



- (3) 停冷却水
- (4) 停雾化器
- 3、石灰浆泵的更换
- 4、烟气负荷高调节

#### (四) 思考题

- 1、事故处理的程序？
- 2、半干式洗烟塔的工作原理。

### 实验十三 仿真实验-活性炭喷射系统

#### (一) 教学要求

为满足重金属及有机物污染的排放要求，烟气在进入袋式除尘器前，喷入活性炭。活性炭作为吸附剂可吸附汞等重金属及二恶英、呋喃等污染物。吸附后的活性炭在袋式除尘器中和其它粉尘一起被捕集下来，这样烟气中的有害物浓度就可得到更严格的控制。通过模拟仿真实验，掌握活性炭喷射系统的工艺流程，控制节点及工艺条件。

#### (二) 知识点提示

包含工艺原理、主要指标控制措施、吸附设备组成。

#### (三) 教学内容

- 1、冷态开车
- 2、正常停车

#### (四) 思考题

活性炭喷射的流程及工作原理。

### 实验十四 仿真实验-除尘器

#### (一) 教学要求

除尘器是垃圾焚烧的烟尘设计处理系统，从半干洗烟塔出来的烟气，经活性炭喷射系统进行除酸和吸附后，再进入袋式除尘器，从隔仓顶部排出；焚烧产生的烟尘、消石灰反应剂和生成物、凝结的重金属、喷入的活性炭等各种颗粒物均附着于滤袋表面，形成一层滤饼；烟气中的酸性气体在此与过量的反应剂进一步起反应，使酸性气体的去除效率进一步提高；活性炭也在滤袋表面进一步起吸附作用。附着于滤袋外表面的飞灰经压缩空气反吹排入除尘器灰斗，飞灰经输灰系统排出。通过模拟仿真实验，掌握除尘器的工艺流程，控制节点及工艺条件。

#### (二) 知识点提示

包含工艺原理、主要指标控制措施、袋式除尘器结构。

#### (三) 教学内容

- 1、预喷涂
  - (1) 布袋预涂操作
  - (2) 预喷涂完成
- 2、启动运行
  - (1) 投用除尘器
  - (2) 投用定阻清灰模式
- 3、停机操作
- 4、除尘器清灰

#### (四) 思考题

- 1、袋式除尘器的工作原理。
- 2、控制袋式除尘器自动除尘的注意事项。