

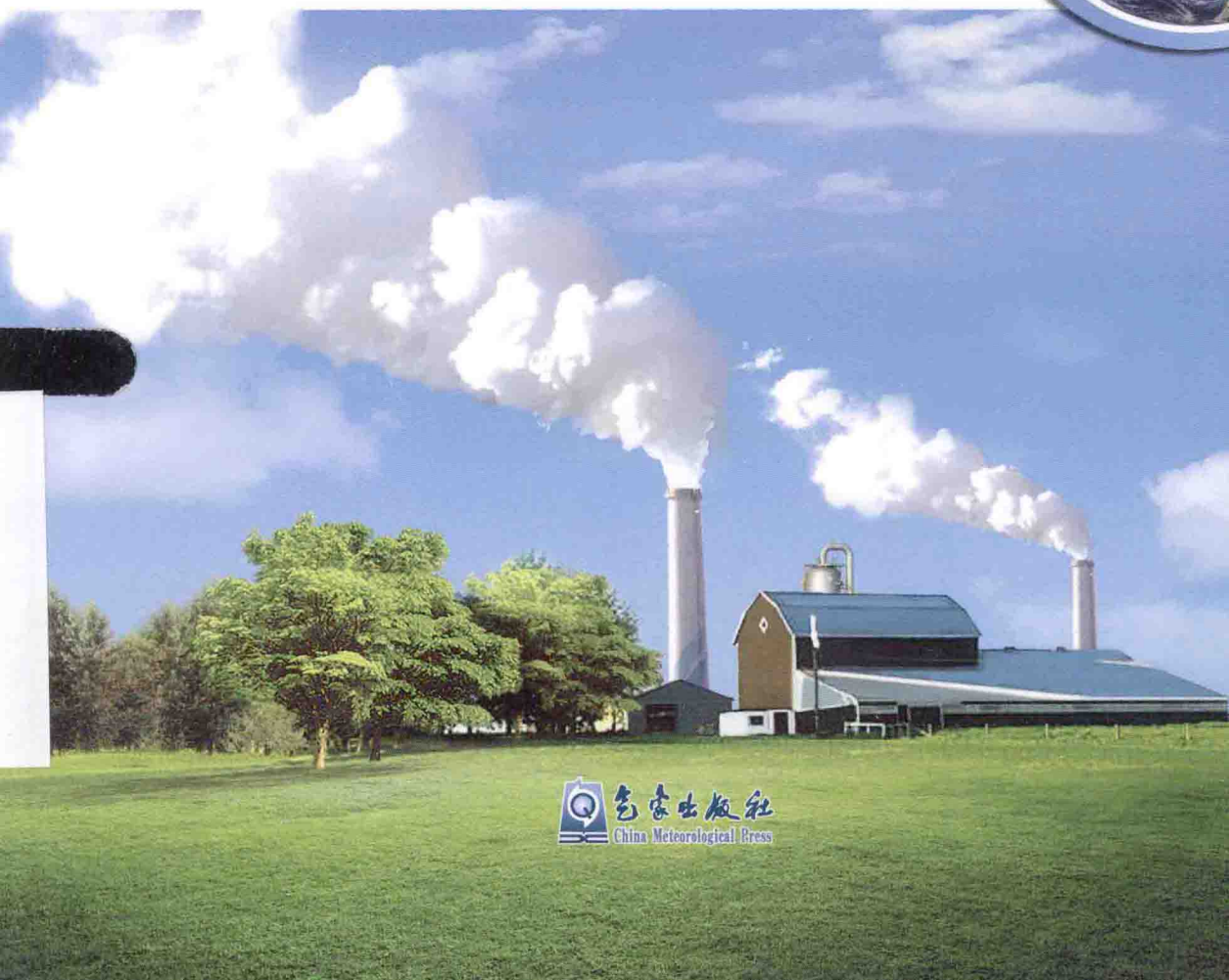
DAQI WURAN KONGZHI GONGCHENG SHEJI JIAOCHENG

大气污染控制工程

主 编 张 慧

副主编 陈敏东 陆建刚

设计教程



 气象出版社
China Meteorological Press

大气污染控制工程 设计教程

主 编：张 慧

副主编：陈敏东 陆建刚



内 容 简 介

本书共分三编,第一编为课程指南与净化系统概述,第二编为课程设计指导,第三编为设计实例与题库,共十章。本书以处理流程的设计过程为主线,对污染源的确定、流程的工艺设计、设备与管道及烟卤等的设计与计算、净化系统工程图的绘制等内容进行了全面系统的介绍,并选编了有关除尘系统和气态污染物控制系统的课程设计实例及若干备选设计题目。本书根据环境工程专业培养目标和教学大纲的要求进行编写,针对性强,内容翔实,数表完整,查找方便,具有较强的理论性、实践性和可操作性。

本书为高等院校环境类专业实践教材,亦可供从事相关专业教学、科研、技术等方面的人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制工程设计教程/张慧主编. —北京:
气象出版社,2014.7

ISBN 978-7-5029-5961-6

I. ①大… ①张… III. ①空气污染控制—课程设
计—高等学校—教材 IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 142437 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:黄红丽

责任校对:华 鲁

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京京华虎彩印刷有限公司

开 本:720 mm×960 mm 1/16

字 数:350 千字

版 次:2014 年 10 月第 1 版

定 价:48.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:17

印 次:2014 年 10 月第 1 次印刷

前 言

大气污染控制工程课程设计是环境工程专业最重要的专业实践课程之一,是环境工程专业核心课程——大气污染控制工程的重要实践性环节。现有的优秀教材和专著主要侧重于大气污染控制理论方面,而大气污染控制相关的专业设计手册相对于本科学生或初学者而言又过于繁复。因此,编写《大气污染控制工程设计教程》的初衷是将教师的课程指导与学生的实践设计结合在一起,帮助学生或初学者系统全面地了解大气污染控制系统的设计计算过程,为日后的进一步学习或深造奠定基础。

编者在多年讲授大气污染控制工程课程、指导大气污染控制工程设计的基础上,广泛参考国内外优秀教材和设计手册,以及相关行业的应用实例,编写了此书。本书共分三编。第一编为课程指南与净化系统概述;第二编对大气污染控制的原理与方法、处理系统的设计计算、工程图纸的绘制等内容进行全面系统的介绍;第三编主要精选若干大气污染控制系统设计实例以及备选设计题目。本书以大气污染控制系统的设计过程为主线,将教师的课程指导与学生的实践设计有机结合,帮助学生或初学者在详细了解设计过程的基础上,系统复习大气污染控制工程的原理与方法、熟悉工程技术资料的查询、掌握处理系统的设计计算与工程图纸的绘制等过程。本书思路清晰,内容翔实全面,理论部分系统精炼,实践部分典型实用、可操作性强。本书可作为高等院校环境类专业实践教材,参考学时 32~48 学时,亦可供从事相关专业的技术人员或管理干部使用和参考。

本书由张慧主编,陈敏东、陆建刚为副主编,参加编写的人员有张慧(第四、五、六、八、九、十章)、陈敏东(第一、二章)、陆建刚(第二、三章)、陈雯(第七、十章)。

本书在编写过程中,参考了大量的文献资料及图表,编者在此对所有被引用文献的作者表示真挚的谢意!

《大气污染控制工程设计教程》的编写是一项复杂的工作。由于作者水平所限,实践经验不够,书中的缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 4 月

目 录

前言

第一编 课程指南与净化系统概述

第一章 课程指南	(3)
一、课程设计的目的与要求	(3)
二、课程设计的内容与过程	(3)
第二章 大气污染与净化系统概述	(6)
第一节 大气污染及其防治策略	(6)
一、大气与大气污染	(6)
二、我国大气污染防治策略	(8)
第二节 局部排气净化系统	(10)
一、局部排气净化系统的组成	(10)
二、局部排气净化系统的分类	(11)
三、局部排气净化系统设计的基本内容	(15)

第二编 课程设计指导

第三章 污染源的确定	(19)
第一节 燃料燃烧过程的计算	(19)
一、燃料燃烧过程排烟量的计算	(19)
二、燃料燃烧过程污染物排放量的计算	(23)
第二节 集气罩的设计	(26)
一、概述	(26)

二、密闭集气罩	(29)
三、柜式集气罩	(34)
四、外部集气罩	(35)
五、接受式集气罩	(41)
第四章 净化流程的工艺设计	(45)
第一节 处理方法及工艺路线的比选	(45)
第二节 净化流程的布设与计算	(49)
第五章 净化设备的设计计算	(54)
第一节 除尘器的选型及设计计算	(54)
一、除尘器概述	(54)
二、重力沉降室	(58)
三、旋风除尘器	(62)
四、袋式除尘器	(76)
五、静电除尘器	(96)
六、湿式除尘器	(113)
第二节 气态污染物控制设备的选型及设计计算	(126)
一、吸收净化设备	(127)
二、吸附净化设备	(150)
第六章 管道及通风系统	(163)
第一节 管道系统的配置	(163)
一、管道系统配置的一般原则	(163)
二、管道系统配置的方式	(165)
三、管道和部件	(166)
四、管道热补偿	(170)
第二节 管道系统的设计计算	(171)
一、管道系统设计的过程与步骤	(171)
二、管道内流体流速的选择	(172)
三、管道直径的确定	(172)
四、管道内流体的压力损失	(175)
五、通风机与电动机	(195)
六、管道系统设计计算实例	(207)

第三节 管道系统的保护	(209)
一、管道系统的保温	(209)
二、管道系统的防爆	(210)
三、管道系统的防腐	(211)
第七章 烟囱的设计计算	(212)
第一节 烟囱设计的一般原则	(212)
第二节 烟囱排烟能力的计算	(213)
第三节 烟囱尺寸的计算	(214)
一、烟囱出口内径的计算	(214)
二、烟囱有效高度的计算	(215)
第四节 有关烟囱构造的规定	(217)
一、砖烟囱	(217)
二、钢板烟囱	(218)
第五节 烟 道	(218)
第八章 净化系统工程图的绘制	(219)
第一节 工艺流程图的绘制	(219)
一、工艺方案流程图	(219)
二、工艺安装流程图	(220)
第二节 总平面布置图	(226)
一、总平面图的内容	(227)
二、总图布置的原则与技术要求	(227)
第三节 设备工艺图	(228)
第四节 管道系统图	(228)

第三编 设计实例与题库

第九章 课程设计实例	(233)
实例一	(233)
某焦化厂焦炭破碎筛分储运工段除尘系统设计任务书	(233)
某焦化厂焦炭破碎筛分储运工段除尘系统设计计算说明书	(235)
实例二	(240)
火电厂静电除尘系统设计任务书	(240)

火电厂静电除尘器设计计算说明书	(243)
实例三	(247)
填料塔清水脱氨废气净化系统设计任务书	(247)
清水脱氨填料塔设计计算说明书	(249)
第十章 课程设计题库	(255)
备选题一 备料车间除尘系统工艺设计	(255)
备选题二 预分解窑窑尾废气除尘系统工艺设计	(256)
备选题三 燃煤锅炉烟气除尘系统工艺设计	(257)
备选题四 燃煤锅炉烟气除尘脱硫系统工艺设计(一)	(257)
备选题五 燃煤锅炉烟气除尘脱硫系统工艺设计(二)	(258)
备选题六 碳酸丙烯酯脱碳系统工艺设计	(259)
备选题七 清水脱氨系统工艺设计	(260)
备选题八 清水吸收丙酮净化系统工艺设计	(261)
备选题九 酸洗废气净化系统工艺设计	(261)
参考文献	(263)

第一编

课程指南与净化系统概述

第一章 课程指南

一、课程设计的目的与要求

大气污染控制工程课程设计是环境工程专业本科学生必修的实践课,属环境工程课程设计体系。它是学生通过进行某一大气污染治理项目的相关设计、计算及工程图纸的绘制来完成的一种课程后综合性实践训练,是大气污染控制工程课程教学的重要组成部分,是培养环境专业学生工程设计能力和创新能力的重要教学环节之一,为学生完成毕业论文以及毕业后开展设计工作奠定基础。

在该课程的教学实施过程中,负责课程设计的指导教师应向学生明确提出具体要求,以便顺利完成教学任务,保证教学质量,使学生在以下几个方面得到较好的培养和训练:

- ①培养严肃、认真和细致的科学态度和工作作风;
- ②综合运用大气污染控制工程及相关课程(如设计基础、制图等)中所学的理论知识,掌握和提升独立解决实际工程问题的能力;
- ③掌握查阅、使用技术资料(如相关标准、手册、图册、规范等)的方法与途径,养成积极思考和主动求解的习惯,以完成作为一名合格工程技术人员所必备的基本设计训练;
- ④树立正确的设计思想,熟悉工程设计的基本方法和步骤,综合考虑技术、经济与环境等方面的要求,认真比选处理方法与工艺,初步培养起独立的工程设计能力;
- ⑤强化工程基本计算和绘图能力的训练;
- ⑥认真编写设计计算说明书,准确绘制工程图纸,并按照要求装订成册。

二、课程设计的内容与过程

大气污染控制工程课程设计是针对某一大气污染净化系统进行的设计、计算及相关工程图纸的绘制工作。此类净化系统主要处理生产过程中产生的污染气流,以改善局部环境质量,保障安全生产和人体健康,又称局部排气净化系统。根据净化系统的主要处理对象,大气污染控制工程课程设计可分为除尘系统设计和气态污染物净化系统设计两种。

大气污染控制工程课程设计涉及的内容广泛而丰富,需要一定的专业基础知

识。因此,该课程一般设置在大气污染控制工程等相关理论及基础课程结束后的学期(第五或第六学期)中,安排 32~48 学时。根据各校具体情况决定是否停课集中完成。如果停课,课程设计为期 1~2 周;如与其他课程同步进行,可适当延长至 2~4 周。

课程设计是系统培养学生工程应用能力的过程,涉及文献查阅、方法筛选、技术资料应用、工程制图及说明书编写等能力的训练与提高。在此过程中,教学方法、教学内容、课时安排、教材选编、考核方式等均是影响实际教学效果的重要因素。总的来说,指导教师应对设计全过程的各环节有明确的组织与安排,帮助学生正确理解课程设计的目的与要求,详细了解课程设计的完成步骤与方法,充分复习课程相关的理论知识,针对自选或指导教师指定的具体题目有条不紊地进行课程设计,完成相关学习任务。

具体而言,我们将课程设计的全过程分成七大阶段,各阶段的教学内容及完成方式等如表 1-1 所示。

表 1-1 课程设计的全过程

阶段	教学内容	学时	地点
(1) 复习准备阶段	指导教师帮助学生复习大气污染控制工程课程中的主要内容(包括颗粒、气态污染物的处理方法、技术与设备等),并针对性地补充净化设备的设计计算、管道布置、阻力计算、风机选型等相关知识	6~8	设计室
(2) 任务下达阶段	由指导教师编写设计任务书分发给学生,尽量做到一人一题。任务书应包含设计题目、设计目的、设计任务与原始资料、设计内容与要求等	2~4	设计室
(3) 方案比选阶段	学生在深入理解课题任务、要求和原始条件的基础上,综合考虑技术经济水平与环境要求,选定适宜的流程方案和设备类型,初步确定工艺流程,绘制流程简图,并进行简单论述	4~6	图书馆、设计室
(4) 设计与计算阶段	借助设计手册和资料完成处理流程中主要设备关键结构和运行参数的设计与计算、管道的布置、系统阻力的计算、风机和电动机的选型等	6~8	图书馆、设计室
(5) 图纸绘制阶段	根据设计计算结果绘制处理系统的工艺流程图、平面布置图、剖面图、管道系统图以及若干重要设备的结构详图等	6~8	设计室
(6) 设计计算说明书撰写阶段	根据规定格式编写设计计算说明书,要求内容完整,叙述简明,层次清楚,计算过程详细、准确,书写工整,装订成册	4~6	图书馆、设计室

续表

阶段	教学内容	学时	地点
(7)考核评定阶段	学生可以小组答辩的形式介绍课程设计的完成情况,或以小组讨论的形式对课程设计进行互评互改。指导教师可根据学生提交的设计成果(含计算说明书和图纸等)的质量,并结合学生的出勤与平时表现对课程进行综合评定	2~4	设计室

课程设计的任务书须给出课程设计的题目,说明设计目的,详细提供设计任务及原始设计资料,明确设计内容与要求,并指定部分参考书目。设计任务书可由教师提供,也可由学生自己编写,再由教师审核确定。课程设计的选题应符合教学大纲的要求,根据学生的知识和能力水平决定课题的深度、广度和难度,尽量缩短实践训练与实际工程的差距,提升学生综合应用所学知识解决实际问题的能力,使之得到全面而综合的实践训练。

课程设计计算说明书包括封面、目录、正文、小结、参考文献及主要符号说明等主要部分。其中,正文应包括:设计背景及资料的陈述,净化方案的比选与确定,净化设备的选型及计算,设备与管道的总体布置,系统及管网的阻力平衡计算,风机及配用电机的选择及确定,需要说明的其他问题等几个部分。其中,方案确定、设备选型、管网布置及计算是设计的核心部分,在本书中第二编“课程设计指导”将详细阐述。小结主要记录设计者对设计过程的总结、评价以及改进建议等内容。设计计算说明书中的计算公式应首先列出通式,注明符号的意义与单位,然后再将数据一代入式中,最后得出计算结果。必要时还需注明计算公式、物理常量及参考数据的来源。全部计算结果应当采用国际单位制[SI]。

课程设计结束时,需要将课程设计任务书、设计计算说明书连同设计图纸装订成册,交指导教师评阅。指导教师根据学生任务完成情况及平时表现进行综合评定,具体评分比例可参考表 1-2。课程设计的业绩评定可采用百分制或等级制的方式。百分制中的各分段 100~90、89~80、79~70、69~60、<60 分别对应等级制中的优秀、良好、中等、及格、不及格。

表 1-2 成绩评定建议

评定项目	工程设计与计算	工程图纸的绘制	设计计算说明书	考核答辩	设计期间表现
评分比例	40%	30%	10%	10%	10%

第二章 大气污染与净化系统概述

第一节 大气污染及其防治策略

一、大气与大气污染

1. 大气及其组成

按照国际标准化组织(ISO)的定义,大气是指地球环境周围所有空气的总和。环境空气是指人类、植物、动物和建筑物暴露于其中的室外空气,相对“大气”而言,其范围较小。大气污染控制工程的研究内容和范围基本上都是环境空气的污染与防治,而且更侧重于和人类关系最密切的近地层空气。

通常认为,大气是多种成分的混合物,由干洁空气、水蒸气和各种杂质三部分组成。干洁空气的主要成分是 N_2 、 O_2 、Ar 和 CO_2 , 占干洁空气总容积的 99.9% 以上; He、Ne、Kr、 H_2 、 O_3 、 CH_4 等次要成分的总和只占 0.01% 左右。大气中水蒸气的含量是变化的,主要取决于时间、地点和气象条件等因素,其变化范围可达 0.01%~4%。大气中的各种杂质是指由于自然过程和人类活动排放到大气中的各种悬浮微粒和气态物质,其无论是含量还是化学成分都是变化的。

2. 大气污染

大气污染,通常是指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到足够的时间,并因此危害了人体的舒适、健康和福利或危害了生态环境。

人类活动包括人类的各种生产、生活活动,如取暖、交通、炊事等。自然过程包括火山活动、森林火灾、海啸、土壤和岩石的风化及大气圈中的空气运动等。一般而言,由于自然环境所具有的物理、化学、生物机能(即自然环境的自净作用)会使自然过程造成的大气污染经一段时间后得以自动消除,生态平衡得以恢复。因此,日常所说的大气污染主要是人为因素引起的。这种污染通常延续时间长、范围广,主要有三大来源:燃料燃烧、工业生产过程和交通运输。

燃料燃烧除了 CO_2 、水蒸气等主要产物外,还会产生大量飞灰、 SO_2 、氮氧化物以

及CO、碳氢化合物等不完全燃烧产物。这些物质对人和动物都可能造成危害。生活引起的大气污染也主要与燃料有关。民用灶炉和小型锅炉数量多,分布广,燃烧条件差,烟气在低空排放,对局部地区的大气污染影响很大。

工业生产中除燃料外,固体物质的加工与运输、气体的泄漏、液体的蒸发、化学反应等过程,都会产生各种污染物。在众多的工业生产部门中,火力发电、冶金、石油化工、水泥等工厂排放的污染物较多。采矿、建筑施工以及一些农业活动都会产生大量扬尘,可能成为局部大气污染的重要原因。

交通工具排放的废气是造成城市大气污染的重要原因。内燃机排气中含有的氮氧化物、碳氢化合物等是引起光化学烟雾污染的重要物质条件。汽车尾气中还存在一氧化碳、铅的化合物等污染物。此外,汽车运动过程中的扬尘和轮胎、刹车片等的磨损,都会增加大气中颗粒物的含量。

3. 大气污染物

随着人类经济活动和生产的迅速发展,在消耗大量能源的同时,也将大量废气、烟尘排入大气。这些由人类活动或自然过程排入大气,并对人或环境产生有害影响的物质,称为大气污染物。大气污染物的种类很多,按其存在状态可概括为两大类:气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

气溶胶是指由气体及悬浮于其中的分散粒子所组成的系统。气溶胶粒子是指沉降速度可以忽略,粒径为 $0.002\sim 100\ \mu\text{m}$ 大小的固体粒子、液体粒子或固液混合粒子,主要来源于燃料燃烧和工业过程。根据我国的习惯,一般将冶金过程和化学过程形成的固体颗粒称为烟尘;燃料燃烧过程产生的飞灰和黑烟在不需要仔细区分时,也称为烟尘;其他情况或泛指小固体颗粒时,则通称为粉尘;雾一般泛指小液体粒子悬浮体,可能是由于液体蒸气凝结、液体雾化及化学反应等过程形成。

气体状态污染物是以气体状态存在的污染物,简称气态污染物。又可分为一次污染物和二次污染物。其中,一次污染物是指直接从污染源排放的原始物质,主要有粉尘、硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物以及有机化合物等;二次污染物是指由一次污染物与大气原有成分或几种一次污染物之间经过一系列化学或光化学反应而生成的,与一次污染物性质不同的新污染物,受到普遍重视的有硫酸烟雾和光化学烟雾。

硫氧化物中主要是 SO_2 。它是目前大气污染物中数量较大、影响范围较广的一种气态污染物。大气中 SO_2 主要来自化石燃料的燃烧以及硫化物矿石的焙烧、冶炼等热过程。因此,几乎所有工业企业,如火力发电厂、有色金属冶炼厂、硫酸厂、炼油厂以及所有燃煤或燃油的工业炉窑等都可能排放 SO_2 烟气。

氮氧化物(NO_x)是一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)、三氧化二氮(N_2O_3)、四氧化二氮(N_2O_4)等多种化合物的总称。人类活动产生的 NO_x ,主要来自火力发电厂、各种窑炉、机动车和采油机的排气,其次是硝酸生产、硝化过程、炸

药生产及金属表面处理等过程。其中,由燃料燃烧产生的 NO_x 约占 83%。造成大气污染的 NO_x 主要是 NO 、 NO_2 ,也就是通常所说的氮氧化物。 NO 由燃料燃烧直接生成,进入大气后可以被缓慢地氧化成 NO_2 ,当大气中有 O_3 存在或有催化剂的作用时,其氧化过程会加速。当 NO_2 参与大气中的光化学反应形成光化学烟雾后,其毒性更强。

碳氧化物主要指 CO 和 CO_2 。它们是各种大气污染物中发生量最大的一类污染物,主要来自燃烧和机动车排气。 CO 是一种窒息性气体,进入大气后,由于大气的扩散稀释作用和氧化作用,一般不会造成危害。但在城市冬季采暖季节或在交通繁忙的十字路口,当气象条件不利于排气扩散稀释时, CO 的浓度也有可能达到危害人体健康的水平。 CO_2 本身是无毒气体,但其在大气中浓度的逐渐升高会对人类产生不良的影响,也会加剧地球表面的“温室效应”,这就迫使各国政府开始对其实施排放控制。

有机化合物,包括碳氢化合物、含氧有机物以及含有卤素的有机物。其中,常压下沸点在 $260\text{ }^\circ\text{C}$ 以内的化合物,又称为挥发性有机化合物(VOCs),按其化学结构可分为烷烃类、芳烃类、烯烃类、卤烃类、酯类、醛类、酮类和其他有机物等。VOCs 主要来自石油化工、涂料、喷漆、印刷、制鞋、橡胶、农药等各种化工生产过程。它们在大气中的浓度虽低,却影响着大气的氧化性、二次气溶胶的形成和大气辐射平衡等,并对一些区域或全球气候环境问题有着重要影响。此外,一些 VOCs 还具有毒性和致畸致癌性,严重危害人体健康。

硫酸烟雾是大气中的 SO_2 等硫氧化物,在有水雾、含有重金属的悬浮颗粒物或氮氧化物等存在时,发生一系列化学或光化学反应而生成的硫酸烟雾或硫酸盐气溶胶。光化学烟雾是在阳光照射下,大气中氮氧化物、碳氢化合物和臭氧等氧化剂之间发生一系列光化学反应而生成的蓝色烟雾(有时带有紫色或黄褐色),其主要成分是臭氧、过氧乙酰基硝酸酯(PAN)、酮类及醛类。这些二次污染物引起的刺激作用和危害性要比一次污染物强烈得多。

二、我国大气污染防治策略

大气污染防治是指为了达到区域环境空气质量控制目标,从技术可行性、经济合理性、区域适应性和实施可能性等方面对各种大气污染控制方案进行比选和评价,从而得出最优控制方案和工程措施。城市或工业区的大气污染控制是综合技术、经济和社会的复杂问题。要想有效控制城市或工业区的大气污染,必须实行“防”与“治”的结合,与经济、社会发展规划同步进行环境规划,严格环境管理,推行控制污染的产业、经济政策,实施控制和治理污染的技术措施等。

2011年12月,国务院印发了《国家环境保护“十二五”规划》。该规划明确我国环

环境保护“十二五”规划目标是：到 2015 年，主要污染物排放总量显著减少；城乡饮用水水源地环境安全得到有效保障，水质大幅提高；重金属污染得到有效控制，持久性有机污染物、危险化学品、危险废物等污染防治成效明显；城镇环境基础设施建设和运行水平得到提升；生态环境恶化趋势得到扭转；核与辐射安全监管能力明显增强，核与辐射安全水平进一步提高；环境监管体系得到健全。

大气污染控制的主要措施是扩大空气质量评价范围，由 113 个重点城市增加到 333 个全国地级以上城市，有效改善城市和区域空气质量；持续推进电力行业污染减排，加大二氧化硫和氮氧化物减排力度；实施多种大气污染物综合控制，包括深化颗粒物污染控制、加强挥发性有机污染物和有毒废气控制、推进城市大气污染防治。

2013 年 9 月，国务院发布了《大气污染防治行动计划》（以下简称《行动计划》），并以此作为当前和今后一个时期全国大气污染防治工作的行动指南。《行动计划》按照政府调控与市场调节相结合、全面推进与重点突破相配合、区域协作与属地管理相协调、总量减排与质量改善相同步的总体要求，提出要加快形成政府统领、企业施治、市场驱动、公众参与的大气污染防治新机制，本着“谁污染、谁负责，多排放、多负担，节能减排得收益、获补偿”的原则，实施分区域、分阶段治理。

《行动计划》提出，经过五年努力，使全国空气质量总体改善，重污染天气较大幅度减少；京津冀、长三角、珠三角等区域空气质量明显好转。力争再用五年或更长时间，逐步消除重污染天气，全国空气质量明显改善。具体指标是：到 2017 年，全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比 2012 年下降 10% 以上，优良天数逐年提高；京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别下降 25%、20%、15% 左右，其中北京市细颗粒物年均浓度控制在 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。

为实现以上目标，《行动计划》确定了十项具体措施：

① 加大综合治理力度，减少多污染物排放。全面整治燃煤小锅炉，加快重点行业脱硫、脱硝、除尘改造工程建设，推进挥发性有机物污染治理，综合整治城市扬尘和餐饮油烟污染。加强交通管理，加快提升燃油品质，加快淘汰黄标车和老旧车辆，大力发展公共交通，推广新能源汽车。

② 调整优化产业结构，推动经济转型升级。严控高耗能、高排放行业新增产能，加快淘汰落后产能，压缩过剩产能，坚决停建产能严重过剩行业违规在建项目。

③ 加快企业技术改造，提高科技创新能力。强化科技研发和推广；全面推行清洁生产；大力发展循环经济；大力培育壮大节能环保产业；促进重大环保技术装备、产品的创新开发与产业化应用。

④ 加快调整能源结构，增加清洁能源供应。控制煤炭消费总量，到 2017 年，煤炭占能源消费总量比重降到 65% 以下。京津冀、长三角、珠三角等区域力争实现煤炭消