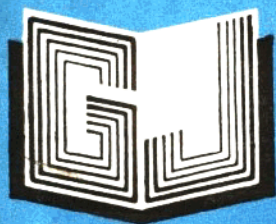


974519

TH
2753



高等学校教材



电力工业环境经济

武汉水利电力大学 倪书洪 编



974519

TH
2753

高等学校教材

电力工业环境经济

武汉水利电力大学 倪书洪 编

水利电力出版社

(京)新登字115号

高等学校教材

电力工业环境经济

武汉水利电力大学 倪书洪 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京浪花印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.5印张 301千字

1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数0001—1090册

ISBN 7-120-01963-5/TM·521

定价6.25元

内 容 提 要

本书从环境经济学观点出发,着重探讨效益费用分析及其他优化理论在电力工业中的应用问题。全书共九章,内容包括:电力工业环境污染与控制、社会效益费用分析、投资项目的经济评价、决策分析理论、电力工业活动分析、环境质量影响分析与评价、环境控制的经济决策、火电厂交叉一介质的环境污染研究及环境管理标准。

本书为高等学校技术经济、工业管理专业的教材,也可供电力环境管理部门、规划设计部门、生产和建设部门的环境科技人员及有关技术人员参考,还可作为大专院校环境工程专业、经济管理专业高年级学生及研究生的参考教材。

前 言

电力工业环境决策问题属于环境经济学范畴。从环境经济学角度出发,防治环境污染应该做到技术上可行、经济上合理,力求以最小的劳动耗费取得最大的经济效果。一般说来,研究控制环境污染的经济效果问题大致分为三个方面:环境污染的直接经济损失和间接经济损失的估价;防治环境污染途径的选择及其经济效果的分析;研究控制有害物排放标准的经济依据。这三个方面的内容是彼此相关,密切相连的。

本书从环境经济学观点出发,着重探讨效益费用分析及其他优化理论在电力工业环境经济中的应用问题。为此,首先要研究由于电力工业的活动所产生的环境问题,并对其活动进行分析。分析电力工业的有关活动,这些活动会产生气体、液体及固体废弃物,从而影响自然系统和周围的环境质量,直到对受纳体的影响。最后,只有确定了这些物理影响之后,才能应用效益费用分析方法及其他方法进行环境影响评价,对减少或消除不利影响所设计的环境质量管理措施进行经济分析和决策。

任何科学都有它特定的范畴。电力工业环境经济决策的研究范畴,主要是发展电力工业与保护环境的关系如何正确地统一起来,并实现最佳的经济效果,即实现社会效益、经济效益、环境效益的相统一。电力工业环境经济是一般环境经济学在电力工业环境问题上的应用。重点是研究以煤为主的电力工业的环境经济问题;在环境保护的计划和决策层次上,重点是在项目级层次上展开讨论,并兼顾部门一级和区域一级的问题;在经济评价方面,重点放在为了减少和防治电力工业对环境的不利影响而采取的环境质量管理措施及其投资的经济评价上面,即在环境质量和排放标准的约束下,电力工程项目的环保投资决策问题。

环境经济学是一门由技术科学、经济科学、管理科学、数学等学科交叉渗透构成的综合性学科。因此,研究电力工业环境经济问题时,必须采用系统工程的方法,而现代系统论、控制论、信息论是其最基本的方法论。

由于环境问题的复杂性,并且环境经济学尚处于发展阶段,因此,编者编写本书的目的仅在于引起电力行业学术界和技术界对环境经济问题的重视,起个抛砖引玉的作用,缺点和错误在所难免,希望专家们批评指正。

本书由原能源部安环司舒惠芬审阅,得到了她的热情指导和大力支持。同时得到了安环司环保处同志们的具体帮助,得到了中国环境科学院、原能源部电力环境保护研究所等领导和专家的关心和支持。在此一并表示感谢。

本书为高等学校技术经济、工业管理专业的教材,也可供电力环境管理部门、规划设计部门、生产和建设部门的环境科技人员及有关技术人员参考,还可作为大专院校环境工程、经济管理专业高年级学生及研究生的参考教材。

编 者

1990年12月

目 录

前言

第一章 电力工业环境污染与控制	1
第一节 概述	1
第二节 环境污染的机制	5
第三节 火力发电厂环境污染控制	19
第四节 水力发电厂环境污染控制	29
第五节 核电站的环境污染控制	35
第二章 社会效益费用分析	37
第一节 效益费用分析基础	37
第二节 效益费用分析方法	42
第三节 效益费用的经济评价	47
第四节 效益费用分析的实例	50
第三章 投资项目的经济评价	62
第一节 投资项目评价原理	62
第二节 投资项目的财务评价	70
第三节 投资项目的经济评价	81
第四节 工程项目环境影响评价	90
第四章 决策分析原理	96
第一节 概论	96
第二节 风险型决策	103
第三节 敏感度分析	115
第五章 电力工业的活动分析	120
第一节 活动分析的范围	120
第二节 活动分析的内容和方法	123
第三节 活动分析的实施	126
第六章 环境影响分析与评价	134
第一节 环境影响分析概述	134
第二节 环境影响分析的基本方法	138
第三节 受纳体影响的估计方法	144
第四节 环境影响评价	146
第五节 火力发电厂环境评价实例	153
第七章 环境控制的经济决策	160
第一节 概述	160
第二节 环境控制影响的分析方法	164
第三节 费用效果分析方法(寻优法)	167

第四节 数学规划方法	171
第八章 火力发电厂交叉—介质的环境污染研究	181
第一节 污染的交叉—介质转移	181
第二节 交叉—介质影响下的环境模型	186
第三节 环境控制的指数评价方法	190
第四节 环境指数法应用实例	192
第九章 环境管理标准	197
第一节 环境管理的经济学原理	197
第二节 环境管理的基本手段——环境标准	200
第三节 两种控制标准的分析	204
参考文献	207

第一章 电力工业环境污染与控制

为了进行合理的环境决策,经济分析和科学信息都是必不可少的,因此必须对污染问题的科学和工艺背景有一个基本了解。本章的目的就是对环境污染的基本概念、污染的机制、污染的控制原则等做一些基本介绍,在此基础上重点讨论电力工业的污染与控制问题。

第一节 概 述

环境污染作为一个问题引起人们的注意,起始于人类对能源的利用。随着燃料动力的变迁、新工业部门的增加、新工业基地的建立和新应用技术的出现,公害污染的发展大体上可分为三个历史阶段:

(1) 18世纪末到20世纪初的产业革命时期,即污染发生期。其主要特点以烧煤产生的烟尘、二氧化硫造成的大气污染和以矿冶、制碱造成的水质污染为主。

(2) 20世纪20年代至40年代的污染发展期。其特点是燃煤造成的污染又有发展,同时增加了石油和石油产品带来的污染,有机合成化学工业[如塑料、化学纤维、合成橡胶、某些药品和农药(滴滴涕、六六六)等]的发展,使含酸、汞、氯等化合物的废气、废水逐年增多。

(3) 20世纪50年代至70年代的污染泛滥期。其主要特点是污染物数量多,污染范围广,污染危害严重。石油加工生产出现的污染物大量增加,而且又出现了新的污染物,如农药等有机合成物质和放射性物质。除了空气和水质受到严重污染外,其它污染(如噪声、振动、电磁辐射、垃圾、恶臭、地面沉降、固体废物、热和光等)也不断出现。

在环境污染治理方面,由于西方发达国家的生产力发展水平高,环境污染问题出现的时间也比我们早,有很多经验与教训值得我们吸取。过去他们总是跟在生产的后面,被动地与“结果斗”,越治理污染越严重,后来总结了经验教训,转向主动地与形成污染环境的“原因斗”。如大力改革生产工艺,发展闭路循环系统,提出“三废资源化”的奋斗目标。越来越注意全面地、综合地、整体地去解决环境污染问题,从点源治理发展到区域性的综合防治。早在60年代中后期就大规模地开展了环境的预评价工作;预测科学进步、生产技术革新对环境所带来的全部后果,不仅是直接的后果,还要研究长远的二次后果;评价资源、能源的开发利用对环境的影响及其经济效果;结合区域的综合开发或地区经济的远景发展对区域环境质量进行预评价等。

纵观发达国家污染的发生、发展和治理情况,经历了一个“先污染后治理”的过程,其主要原因有:人类对环境问题的认识有个过程,也受到生产力和科学技术发展水平的制约;另外,还有阶级根源,即资本家为了追逐最大限度的利润,无代价地占用公共的环境

资源，将其外部不经济性转嫁给公众，当生产力发展水平较高时，由于资本增加了，尤其在民众的压力下，对环境保护事业才重视起来。

我国是社会主义国家，我国目前的情况与发达国家工业化时期的情况相比有明显不同。首先，人类已经渡过了对环境问题愚昧无知的阶段，认识到了环境问题的重要性，并找到了解决环境问题的途径。我国明确地提出了经济与环境协调发展的战略方针，并且在发展经济的同时，减缓了环境污染的发展趋势。其次，科学技术的发展使得人类具备了更充分地利用资源和能源的技术，减少了废物的排放，发展了先进的治理技术；社会主义发展生产目的是为了满足人民日益增长的物质和文化需求，其中包括对优美、舒适环境的需求，为此提出了保护环境是我国的基本国策，并建立了从中央到地方的环境保护机构，颁布实行了一系列环境保护的法律和法规。这些条件对我国实现发展经济、保护环境提供了可能，保证了我国决不会再走资本主义发展阶段走过的“先污染后治理”的老路。

一、环境污染的基本概念

（一）污染的定义

环境污染主要是由于人类对资源的浪费和不合理使用造成的。当大量的废弃物进入环境，环境接纳废弃物的功能（即环境的自净能力）遭到破坏时，环境质量便受到危害，形成了环境污染。

因此污染可以定义为：人类的生产活动和生活中，排放到环境的废弃物在环境中扩散、迁移、转化，使环境质量超过了相应标准的现象。

在把环境当作人类生存的基本资料时，环境具有生命支持功能、舒适性功能、对各种经济活动物质输入功能以及废弃物接纳功能。所谓废弃物接纳功能，就是环境转变废弃物为无害物质和输送或稀释废弃物的能力，即环境的自净能力。因此，又可以把污染定义为：环境的废弃物接受器功能对另一种或其它几种环境功能的有害影响。根据这个定义，废弃物排放到环境中有可能并不产生污染，即当废弃物排放量小于环境对废弃物的承载力时，即使排放了废弃物，环境也不会被污染。

（二）污染的原因

自然环境遭到污染和破坏，有时是由于自然现象造成的，如火山爆发、强烈地震等，但是主要的原因还是人为造成的。由于人类在征服自然过程中进行大规模生产活动，尤其是现代工业高速度发展，能源和资源的消耗急剧地增长，在矿山开发、产品加工生产过程中，产生了大量废气、废水、废渣。这些工业废弃物被排入自然环境中，形成了对环境的污染，如工业生产排放的大量烟尘和有害气体，形成了大气污染；工业生产排放的大量有害废水，排入江河湖海或渗入地下，败坏水质，形成了水体污染；大量使用化学农药、化肥和污水灌溉，使土壤和农作物成分发生了变化，形成了农业污染；工业交通等产生的嘈杂声，形成了噪声污染；核能的利用产生的核辐射，形成了辐射污染。此外，工业废渣越来越多，占用大片农田；滥用地下水源，造成了水位下降，地面下沉；破坏植被，造成水土流失；物种的繁衍遭到阻塞以及造成高空、海洋环境的变异；对自然资源的滥采滥伐，造成资源的浪费以及生态平衡的破坏等，都是对环境的污染。而环境污染，不仅给生物生存和人类健康造成危害，还使工、农、林、牧、副、渔业生产受到破坏。

（三）污染的类型

环境污染有不同的类型。按环境要素来分,可分为大气污染、水体污染和土壤污染等;按污染物的性质分为生物污染、化学污染和物理污染;按污染物的形态可分为废气污染、废水污染、固体物污染以及噪声污染和辐射污染等;按污染产生的原因可分为生产污染和生活污染,生产污染可分为工业污染、农业污染、交通污染等;按污染物的分布范围又可分为全球性污染、区域性污染、局部性污染等。

二、环境污染的危害特征

目前,对人类影响范围较广、危害较大的有害物质主要是:一氧化碳、二氧化硫、高浓度飘尘、氮氧化物、挥发性碳氢化合物、氧化剂(包括臭氧)、氟化物、氰化物、酚、汞、铅、镉、有机氯、苯并芘、致病菌、真菌毒素等,还有磷酸盐、硫酸盐、硝酸盐及亚硝酸盐、多氯联苯、放射性辐射等。当这些有害因素进入大气、水、土壤中,并且种类和数量超过了正常变动范围,在一定条件下就会对人体产生危害。

从对人类的危害来看,环境污染有以下基本特征:

（一）扩散性

环境污染涉及的地区广、人口多,如燃烧排放的二氧化硫和一氧化碳,工业排放的铅尘等,它们或以分子状态,或以气溶胶状态,分散在大气中,能够扩散很远。

（二）活性和持久性

污染物进入环境后,受到大气、水体等的稀释,一般浓度都已降低,但由于环境中存在的污染物种类繁多,它们不但可通过生物或理化作用发生转化、代谢、降解和富集,从而改变其原有的性状和浓度,产生不同的危害作用,而且多种污染物可同时作用于人体,往往产生复杂的联合作用。

有些污染物的活性很强(如硫化氢在有臭氧存在的空气中能很快变为二氧化硫)有些半衰期很长的污染物(如放射性尘埃和金属铅等)在环境中能无限期保持其毒性。

（三）生物可分解性和积累性

有的污染物能被生物利用并分解成无害的稳定化合物,如粪便的无害化处理。有的污染物被生态系统接受后,在某一部分中的含量水平大大高于另一部分,这一现象称为生物积累性。这一特性在食物链中表现十分明显。

三、环境污染控制的基本原则

污染物是在错误的地点和错误的时间的错误的东西。一物质在一特定的时间和一特定的地点是一污染物质,但在其它情况下却可能具有经济价值。

（一）污染控制的第一个原则

由于污染是无用甚至有害的,如果不产生污染,也就无需防治。显然,一般在“生产线内”如果通过改变原料或工艺过程可以避免污染,就比已造成了污染再去治理要好。这是污染控制的第一个原则,根据这个原则,应该首先对“生产线内”污染控制的可能性进行全面的分析研究,以后才应考虑传统的“生产线终端”的污染控制技术,例如安装净化装置、建立排污处理厂等。对于新建厂来说,“生产线内”污染控制问题实际上在设计阶段就要加以考虑。

当考虑采用“生产线终端”的处理办法时，必须注意以下问题：不同的污染物质要尽可能相互分离，而且要使它们尽可能浓缩，这样便于处理。当存在着废料再生以用于再周转的可能性时，可以考虑进行产品的替换，即将生产设备转用于生产另一种不同的产品（它的污染较少）。有些产品按其最终用途的性质，就是要在环境中到处散布的，例如除草剂和农药，对于这些产品来说，唯一有效的控制方法就是采用代用品，少用或者停用。

另外，为了减轻污染，还可以使污染活动的时间和地理分布有所变化。有时使污染物质集中在特定的地区，可能使损失变为最小；反之，在某些情况下，污染物质如果易于被环境吸收，那就应该使之分散于广阔的领域内。依同理，在排污时间的选择上，有时是集一个时间排污有利，有时反而应将排污的时间分散更有利。

（二）污染控制的第二个原则

污染控制中，应该考虑的是污染物质的最终结局，而不是它的最初结果，这是污染控制的第二个原则。

在工业污染控制中，经常有这样的情况，即对污染物质的控制只是依靠分散污染物质（例如火力发电厂中用较高的烟囱排放各种有毒气体，或者将核废料倾入海中），而不是将它们从环境中完全消除。在某些条件下，这种作法是可行的，因为可以充分利用环境的自净能力。但在另一些条件下，采用分散的办法只不过是把问题掩盖起来。根据物质不灭定律，和其它物质一样，废弃物是不能创造或消灭的，只能转化成危害较小的形式。危害最小的废弃物的形式乃是当它不再是废弃物，而是作为有用的商品保留在周转中的形式。废弃物或者直接加以利用，或者需要通过某种加工，将它们转化为有用物质，然后再进行再周转。

（三）污染控制的第三个原则

一般来说，降低污染的成本常常是随污染控制程度按指数关系增长的。百分之百地控制污染在技术上也是不可行的，然而提高控制效率的限制，主要来自于经济方面，而不是技术方面。因此，污染控制的第三个原则应该是污染控制应做到技术与经济相统一。

显然在控制效率较高时，污染控制的边际成本的确很高，但从排放的污染总量来看，控制效率的边际增长也可能很高。例如英国火电站收集煤灰的平均效率是全部排放的烧剩煤灰的97.5%，每年尚有25万t煤灰排入大气，如果控制效率能提高1%，则排入大气的煤灰量将能减少一半。所以提高控制效率是减轻环境污染的重要途径。

然而控制效率的不断改进和提高，将会带来与改进了的控制技术相应的高成本。因此必须从国情出发，力求做到技术上先进，经济上合理，在选择控制方案时，应进行技术经济分析，合理地进行最优的经济决策。但是在处理控制效率和控制成本这对矛盾时，关键还是依靠科学和技术的进步。否则随着社会经济的高速发展，如果控制效率低于100%，那就意味着环境仍然受到污染，只不过是时间上延长了而已。从长远看，环境依然受到污染，把污染的后果，留给了子孙后代。

第二节 环境污染的机制

一、大气污染

大气污染从总体来看可以认为是由自然界中所发生的自然灾害和人类的生产、生活活动所造成的，自然灾害所造成的大气污染多为暂时的、局部的。我们通常所研究的大气污染问题，多数情况下是指人为造成的大气污染问题。

(一) 概述

大气污染是指大气污染物或由它转化成的二次污染物的浓度和数量达到了有害程度的现象。

由于人类活动从各种污染源向大气、土壤或水域中排放有害物质，受这些有害物的性质、浓度及逗留时间等影响，在环境中产生直接污染称为一次污染。由污染源直接排入环境，其物理和化学性质未发生变化的污染物，称为一次污染物，如电厂排放的烟尘、废水、废渣、生活污水等。相应地，原来的污染源中所没有的有毒有害物质，在生物的、化学的、物理的作用下，变成毒性更大、对生物危害更严重的物质，由这些物质对环境造成的污染称为二次污染。并且把由一次污染物转变成的新污染物称为二次污染物，如美国洛杉矶光化学烟雾就属于二次污染物，它是由于排入大气的烃类及其他化合物，在阳光作用下发生光化学反应，生成以臭氧为主的多种强氧化剂，从而引起大气污染。

但是并非有污染存在或释放污染物，都形成污染。造成环境污染与否，还要看扩散因子的传递和在一定范围内的积聚量及持续时间。扩散因子是指污染物的扩散动力和载体，如水力迁移、风力迁移、重力迁移和生物迁移等。对大气污染而言，影响大气扩散因子的主要因素有二个方面：气象的动力因子、气象的热力因子。

造成大气污染的污染源，从产生来源来看，主要有三种：

- (1) 由城市中千家万户燃烧化石燃料排出的煤烟所造成的大气污染。
- (2) 由火力发电厂、钢铁厂以及各种类型的工矿企业排放出的烟气（含有烟尘、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳及碳黑等有害物质）所造成的大气污染。
- (3) 从经过城市的汽车、飞机、火车等各类交通工具中排放出的含有一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物、铅等污染物所造成的大气污染（这类污染源叫移动污染源，而前两种污染源叫固定污染源）。

(二) 大气污染物的发生机制

1. 粉尘（粒状物质）的发生

粉尘并不是由燃烧引起的，而是对煤、矿石等物料进行筛选或机械处理时产生的；或者是在固体物料堆积场，由于风吹而扬起的灰尘等。

2. 煤尘的发生

煤尘是煤在燃烧时排出的烟气中含有的烟、炭黑、燃烧后的灰分、粒状浮游物质的混合物。从烟囱排出来的煤尘，颗粒直径在 $10\mu\text{m}$ 以上，其中易于降落至地面上的称之为降尘；颗粒直径在 $10\mu\text{m}$ 以下的称之为飘尘。

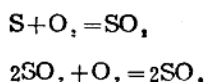
排出含有 SO_x 的煤尘的设施叫做煤烟发生设施。这类煤烟发生设施排放的煤烟中，除了有煤尘和硫氧化物外，还有氮氧化物及其他有害物质。

煤烟发生设施有很多种类，如发生蒸汽（包括热风）用的锅炉、金属冶炼用的焙烧及烧结炉、金属精炼用的熔矿炉及转炉和平炉、生产石油制品的加热炉等。

3. 硫氧化物（ SO_x ）的发生

硫氧化物是指二氧化硫（ SO_2 ）和三氧化硫（ SO_3 ）。硫氧化物主要是由燃烧含硫的煤和石油等燃料时产生的。1t煤中含有5~50kg的硫，1t石油中含有5~30kg的硫。燃料中的硫不完全是以单质硫存在，主要是以有机或无机的硫化物的形态存在。燃料中的有机硫化物经过燃烧后生成 SO_x ，而无机的硫酸盐是不能燃烧分解的。因此，燃料中的硫分，可分为可燃性硫和不可燃性硫两种，这两种硫分总称为全硫分。不可燃性的硫酸盐主要存在于固体燃料中。

燃料中的可燃性硫在燃烧时大部分生成二氧化硫（ SO_2 ），其中有5%的 SO_2 在空气中又被氧化成三氧化硫（ SO_3 ）。其化学反应式为



二氧化硫是一种无色有臭味的窒息性气体，对人的呼吸道有强烈的刺激性，它不仅对人的健康产生危害，而且还会对植物、建筑物以及名胜古迹等造成严重的危害及腐蚀。

在能源工业中，燃煤和燃油的火力发电厂排放出的 SO_2 的数量是相当可观的。我国陕西略阳电厂装机容量是10万kW，燃用铜川低发热量粉煤，全硫含量为3%，每小时耗煤粉480t，每小时排放烟气量为56万 m^3 。部分烟气经过文丘里管洗涤净化，二氧化硫的总排放量约为4400kg/h，一年向大气排放 SO_2 量大约可达35000t。

除了民用、电力燃煤向大气排放大量 SO_2 之外，化工、黑色及有色金属冶炼生产过程中向大气排放的 SO_2 也不可忽视。

全世界每年排入大气中的 SO_2 大约有1.5亿t。英国在1966年向大气排放3000万t的 SO_2 ，其中火力发电排放的 SO_2 占总量的46%；美国在1970年仅四年即增长到3500万t；前苏联每年大约排放2000万t；日本仅炼油工业每年就排放1200万t。

我国当前和今后一段时期内的能源政策还是以煤为主，随着经济的迅速发展，能源的消耗必将要有很大的增加。能源工业是污染大户，必须重视电站的脱硫工作以及 SO_2 的回收利用工作。

4. 氮氧化物的发生

氮的氧化物（ NO_x ）种类很多，如 NO 、 NO_2 、 N_2O 、 NO_3 、 N_2O_5 等。但作为排放于大气的污染物主要是 NO 和 NO_2 。大气中的氮氧化物，大部分来源于化石燃料的燃烧过程（包括汽车排放的 NO_x ）。

浓厚的氮氧化物气体是蛋黄色的。燃烧装置所发生的 NO_x 是燃料燃烧用的空气中的氮和氧在高温下，按下面的化学反应式生成的





燃烧温度越高,氧的浓度越大,反应时间越长,NO的生成量就越大。按式(1)生成的NO叫做热解型NO。因此为了减少在燃烧过程中生成的NO,就需要降低燃烧温度,减少过剩空气及反应停留时间。此外,还有燃料中含有的各种氮化物在燃烧时分解出的氮与氧按式(2)、(3)反应。而由式(2)、(3)反应所生成的NO叫做燃料型NO。煤中含氮化物在0.7%~1.6%左右,而在重油燃料中一般含有0.1%~0.4%的氮化物。燃料型NO可以在温度比较低时发生,因此要控制燃料NO的发生量,只有降低燃烧时氧的浓度(即降低过剩空气量)和缩短停留时间。

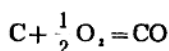
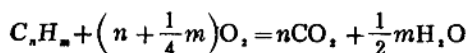
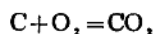
按上面四式生成的NO和NO₂的总和,统称为NO_x。

NO的生成速度是随着燃烧温度增高而加大的。在300℃以下产生的NO是很少的。燃烧温度高于1500℃时,NO生成量就显著增加。在锅炉内NO的生成主要发生在喷燃器附近的高温区,并且燃料在高温区停留时间越长,NO生成量就越大。因此为了降低NO生成量,应该采用分级燃烧装置。

NO在空气中氧化成NO₂的速度很小,通常在大型锅炉的排烟中NO₂的浓度小于NO_x的10%。而NO_x的排放量与燃料种类有关,一般是按煤——重油——天然气的顺序而减少。

5. 一氧化碳的发生

燃料在足够氧气下进行燃烧(即完全燃烧)可使燃料中的碳转换成CO₂,但在空气不足情况下进行燃烧(即不完全燃烧),就产生一定量的CO,见下列化学反应式



一般从固定发生源排出来的一氧化碳在1%以下时,可认为对大气没有造成污染,但从汽车尾气排出的一氧化碳大于1%,在空挡时一氧化碳排放量最大。

6. 氧化剂(O₃等)和光化学烟雾的发生

一次污染物可分为反应性污染物和非反应性污染物。反应性污染物是不稳定的,在一定条件下,它可在大气中进行反应,产生新的污染物,即二次污染物。非反应性污染物一般在大气中不再与其它物质进行反应,这种污染物叫做稳定性污染物。

污染物分别以固态、液态和气态存在于大气中,反应性的污染物进行反应的类型主要有:

(1) 气体污染物与其它气体之间的反应。

(2) 在催化剂作用下,气体与气体之间的反应。

(3) 气体污染物被吸附在固体表面上的吸附作用。

(4) 气体污染物与颗粒物表面上某种化学物质发生的反应。

(5) 气体污染物和液体或气溶胶的反应。

(6) 污染物在光化学作用下发生的反应。

经过上述各种类型反应生成的二次污染物，常见的有臭氧、过氧乙酰硝酸酯、硝酸及硝酸盐气溶胶等，以及反应过程中出现的活性中间物质。

从1873年以来，资本主义世界曾先后发生过19次大气污染事件，每次事件造成大量患病与死亡，引起人们的恐慌。这些事件中，最严重的要算英国伦敦烟雾事件、日本四日市的二氧化硫污染事件以及美国洛杉矶的光化学烟雾事件。

(三) 气象条件与大气污染的关系

大气污染可看作是污染源所排放出的污染物、对污染物起着扩散稀释作用的大气以及承受污染物的物体三者相互关联所产生的一种效应。一个地区的大气污染情况与该地区的污染源所排出的污染物总量有关，但是排放出的污染物的浓度，在时空分布上却受到气象条件的控制。由于气象条件不同，污染物作用于承受者的污染程度也不一样。一般来说，自然界气象条件形成的原因是比较复杂的。随着科学的进步，人们有可能逐步认识和掌握气象变化规律，从而在大气污染防治方面能充分利用气象条件来避免或减小由污染所造成的社会性的危害以及经济上的损失。

影响大气扩散能力的主要因素有二个，即气象的动力因子和气象的热力因子，现分别予以介绍。

1. 气象的动力因子的影响

气象的动力因子主要是指风和湍流，风和湍流对污染物在大气中的扩散和稀释起着决定性作用。

(1) 空气的水平运动称为风，风在不同时刻有着相应的风向和风速。污染物排入大气后，就顺着风向运动。风不断对污染物起着输送的作用，而且还起着扩散和稀释作用。风向决定污染物迁移运动方向，所以污染区总是在污染源的下风向。风速的大小决定污染物的扩散和稀释状况。一般来说，污染物在大气中的浓度与污染物的总排放量成正比，而与平均风速成反比，若风速增加一倍，则下风侧污染物的浓度将减少一半。这是因为风速加大，可使单位时间通过烟团断面的空气量加大，增加了大气的湍流扩散稀释作用。

(2) 大气的湍流是指大气以不同的尺度作无规则运动的流体状态，这种无规则的运动称为大气湍流。大气污染物的扩散，主要依靠大气湍流的作用。由于湍流运动的结果使烟团的各部分得以充分混合，所以进入大气的污染物逐渐分散稀释，这种现象即为大气扩散。

2. 气象的热力因子的影响

气象的热力因子的影响主要指大气的温度层结、气温的绝热变化及大气的稳定度等对大气扩散能力的影响。

(1) 温度层结逆温。温度层结就是指在地球表面上方，大气的温度随高度而变化的情况，或者说是指气温在垂直方向的分布。气温的垂直分布决定着大气的稳定程度，而大

气的稳定程度又影响着湍流的强度，因此温度层结与大气污染状况有着十分密切的联系。

在大气圈的对流层内，气温垂直变化的总趋势是随高度的增加而逐渐降低，通常以气温垂直递减率 r 表示。气温垂直递减率是指在垂直方向上，每升高100m气温的变化值。对于标准大气来说，整个对流层的气温垂直递减率平均值为 $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。但在实际情况下，近地面的低层大气的气温垂直递减率要比标准大气情况复杂得多，有时某些大气层的垂直递减率在不同的气象条件下可能是大于零、等于零或小于零；

1) $r > 0$ ，表示气温随高度增加而降低；

2) $r = 0$ ，表示气温不随高度而变化（等温层）；

3) $r < 0$ ，表示气温随高度增加而增加，称为温度递增，这样的气层称为逆温层。

由于逆温层出现高度不同，分为接地逆温层与上层逆温层。理论和实践都证明，在逆温条件下，大气处于稳定状态，湍流被抑制，因而污染物不容易被扩散。

(2) 气温的干绝热减温率 r_a 。某一系统进行与外界没有热量交换的状态变化称为绝热变化。在绝热过程中系统的状态变化及向外做功靠系统的内能。大气中作垂直运动的空气块，因向外膨胀或受外界压力所引起的温度变化，要比与外界交换热量所引起的温度变化大得多。一个干燥或未饱和的湿气团，在大气中绝热上升100m，其温度降低 0.98°C ，反之如果气团在大气中下降100m，则其温度升高 0.98°C ，通常近似取为 1°C ，而这个温度的变化与周围温度无关。此气团在垂直运动方向上做绝热上升（或下降）每100m，其温度降低（或升高） 1°C ，此数值被称为干绝热减温率，常用 $r_a = 1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 表示。

(3) 大气的稳定度。大气的稳定度与气温垂直递减率 r 和干绝热减温率 r_a 有着密切关系。

下面用图1-1所示的例子来讨论大气稳定度的判别。

首先， $r < r_a$ 时的大气稳定度如图1-1(a)所示，距地面100m高度处的大气温为

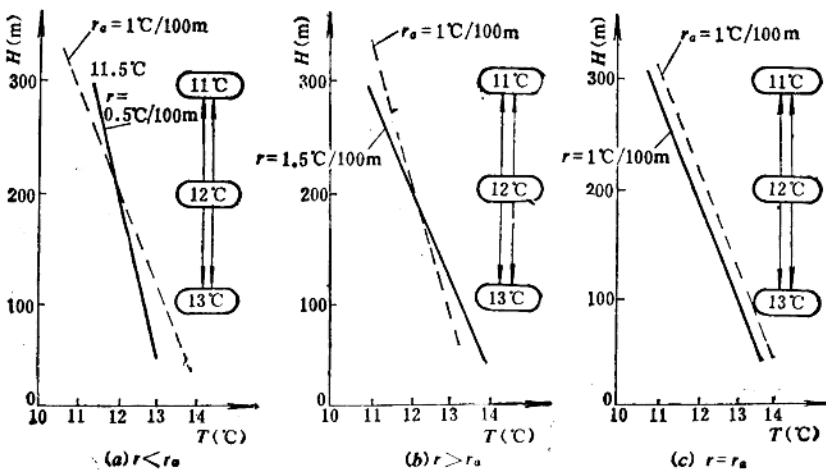


图 1-1 大气稳定度判别

12.5℃, 200m处的气温为12℃, 300m处的气温为11.5℃, 显然气温的垂直递减率为0.5℃/100m, 即 $r = 0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。如果在200m处取一气团(气团温度为12℃), 由于气象某种因素的作用, 使气团受一外力, 上升到300m高度处, 由于该气团的周围压强比气团内的压强低, 所以气团开始膨胀, 气团内部的温度将按 $r_s = 1^\circ\text{C}/100\text{m}$ 减温率降到11℃。这时气团的温度比同高度的周围大气温度低, 也就是说气团比周围大气重。这时气团就要下降, 力争恢复原来的位置。同理, 一旦气团受力下降到距地100m处, 由于气团受周围外界压力进行绝热压缩, 气团增温到13℃, 此时气团温度比周围大气温度(12.5℃)高, 气团受周围大气的浮力, 力争上升恢复它原来的位置。总之, 当 $r < r_s$ 时, 不论气团由某种因素上、下运动, 它都是力争恢复原来的状态, 大气的这种状态称为稳定状态。

其次, 当 $r > r_s$ 时, 如图1-1(b)所示, 这时如果气团受外力, 从200m上升到300m时, 气团比周围大气轻, 因而要继续上升。反之, 当受外力使其下降到100m高度时, 由于气团温度低于周围大气温度, 气团要继续下沉。总之, 在 $r > r_s$ 时, 不论气团由某种因素使其上、下运动, 它们的运动趋势总是远离平衡位置, 这时的大气状态称为不稳定状态。

最后, 当 $r = r_s$ 时, 如图1-1(c)所示, 气团因受外力作用上升或下降时, 气团的温度与周围大气的温度始终保持相等, 气团被推到哪里就停在哪里, 这时的大气状态称为中性状态。

由上述 r 与 r_s 的关系可知, 当 $r < r_s$ 时, 大气处于稳定状态, 湍流受到抑制, 大气对污染物的稀释扩散能力弱, 尤其是垂直方向上。但当 $r > r_s$ 时, 大气处于不稳定状态时, 由于湍流充分发展, 大气对污染物的扩散稀释能力强。

以上讨论的是一般大气稳定度的判别方法。当问题仅涉及近地层大气稳定度的判别时, 可用简化方法判别, 即主要用垂直递减率 r 判别。

- 1) 当 $r > 0$ 时, 即大气的垂直温度随高度而降低, 大气不稳定。
- 2) 当 $r < 0$ 时, 即大气温度随高度增加, 呈逆温, 大气稳定。
- 3) 当 $r = 0$ 时, 气温随高度变化不大, 可以认为大气处于中性状态。

综上所述, 可以看出, 大气污染状况与大气的稳定有着密切关系。

(4) 大气稳定度对污染物扩散的影响分析实例。为了说明问题, 现以火力发电厂排烟云为例作一介绍。

火力发电厂属于高架排烟的烟云, 一般可有五种类型: 波浪型、锥型、扇型、屋脊型、熏烟型, 如图1-2所示。

1) 波浪型, 又叫蛇行型。烟云在上下左右方向扩大, 并不规则地弯曲, 比较快地扩散。大气的状况是气温的垂直分布呈强烈的递减, 并超过绝热递减状态, 即 $r > r_s$, 大气处于不稳定状态。波浪型烟云多发生于太阳光较强的晴朗天气。与动力因子的关系是: 此时伴随有较强的对流, 处于微风状态。这种情况下污染物扩散速度快, 污染物基本上靠近污染源地区, 并且污染物落地浓度较高。

2) 锥型。水平方向呈圆锥形, 比波浪形规则, 烟气沿主导风向呈锥形流动, 但扩散较波浪形弱, 在横方向和垂直方向扩散几乎相同。大气的状况是气温呈弱递减, 并随高度变化不大, 大气基本上处于弱稳定状态。锥型烟云一般多在多云的白天或有强风的夜晚容