

燃烧与污染控制

庄永茂 施惠邦 编著



同济大学出版社

燃烧与污染控制

庄永茂 施惠邦 编著
姜正侯 主审



同济大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了燃料燃烧基本理论、燃烧时污染物的生成机理和控制技术。主要内容有固体燃料、液体燃料、气体燃料的燃烧;燃烧过程中碳烟、CO、SO_x、NO_x等污染物的生成和控制;除尘设备的工作原理、计算和选用;应用吸收、吸附和催化等过程、原理,处理气态污染物的方法和工艺流程;稀释扩散法控制地面污染物浓度以及大气污染控制途径。

本书可作为高等工科院校供热供燃气及空调、热能工程、热能动力专业的教材和参考书,也可供从事燃烧和环保技术的工程技术人员和大专院校教师参考。

责任编辑 缪临平

封面设计 李志云

燃 烧 与 污 染 控 制

庄永茂 施惠邦 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编 200092)

新华书店上海发行所发行

常熟市文化照相制版彩印厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张 11 字数 280 千字

1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

印数:1-1500 定价:11.00 元

ISBN 7-5608-1876-5/X·17

前 言

本教科书阐述了燃料燃烧过程有关的基本概念、基本理论、燃烧技术和燃烧过程污染物的生成机理以及大气污染控制工程的基本原理、基本方法及有关设计计算问题。

当代世界的能源供应主要依靠燃用石油、煤炭、天然气等大量化石矿物燃料,这些化石燃料燃烧时污染物生成数量与燃烧过程组织得合理与否有很大关系。鉴于我国的现实情况,各种燃烧设备的燃烧效率与热能利用率普遍较低,燃料消耗量较大,燃烧过程的污染物生成量较多,严重污染环境,尤其是城市,因而迫切需要加强燃烧理论研究和大气污染控制研究。

同济大学自 1987 年为燃气工程专业开设“燃烧与污染控制”课程以来,经过多年的教学实践,曾编写过 3 次讲义稿,本书是在前讲义基础上修改、补充编写而成的。

全书共分十二章。第一章主要讲述了燃烧在节能和污染控制中的作用、国内外大气污染概况和治理、大气环境质量标准的知识;第二、三、四章中讲述了化石燃料燃烧过程的基本理论和燃烧技术;第五、六、七章主要讲述燃料燃烧过程中碳烟、 CO 、 SO_x 、 NO_x 等污染物生成机理和控制,并介绍利用燃烧技术来降低污染物生成量的多种方法;第八、九章讲述了烟尘的物理特性和净化,以较大篇幅讲述了常用的除尘器的除尘原理、计算和选用;第十章讲述了应用吸收、吸附、催化过程原理来净化烟气中无形有害物;第十一章讲述了气象条件、地理条件对污染扩散的影响以及大气污染浓度的估算,还简要论述了烟囱高度的设计;第十二章讲述了烟气污染控制途径。

本书由庄永茂和施惠邦合编。庄永茂编写第一、二、三、四、五、六、七章,施惠邦编写第八、九、十、十一、十二章。全书由同济大学姜正侯教授主审。

本书编写过程中,承蒙同济大学徐吉浣教授的大力支持,提供了宝贵的资料和意见,特此致谢。

编写本书时,引用了国内外许多论文资料,在此对文献的作者谨致谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬望专家、同行和读者提出宝贵意见。

编 者

1997.8

目 录

前言	(I)
第一章 绪论	(1)
第一节 燃烧在污染控制和节能中的作用	(1)
第二节 大气污染概况	(2)
第三节 大气污染的治理	(4)
第四节 大气环境质量标准	(9)
第二章 气体燃料燃烧	(11)
第一节 层流预混合火焰	(11)
第二节 紊流预混合火焰	(17)
第三节 扩散火焰	(21)
第三章 液体燃料的燃烧	(24)
第一节 液体燃料的雾化	(24)
第二节 雾化特性的表示方法	(27)
第三节 高温气流中液滴的蒸发	(29)
第四节 油滴的燃烧	(31)
第五节 油雾燃烧	(34)
第六节 油渗水乳化燃烧技术	(35)
第四章 固体燃料的燃烧	(38)
第一节 燃烧过程的一般概念	(38)
第二节 燃烧反应动力学	(41)
第三节 单个煤粒的燃烧	(47)
第五章 CO 和碳烟的生成和控制	(53)
第一节 尘的分类及危害	(53)
第二节 烟尘的生成	(54)
第三节 影响烟尘生成的因素	(58)
第四节 烟尘的控制	(60)
第五节 一氧化碳的生成	(65)

第六章 硫氧化物的生成和控制	(66)
第一节 硫氧化物的种类和性质	(66)
第二节 硫氧化物的生成机理	(68)
第三节 硫酸的生成	(71)
第四节 燃料脱硫	(73)
第五节 燃烧脱硫	(75)
第六节 低氧燃烧	(76)
第七章 氮氧化物的生成和控制	(78)
第一节 NO_x 的形成、分类和危害	(78)
第二节 温度型 NO_x 的生成机理和控制	(80)
第三节 快速温度型 NO_x 的生成	(85)
第四节 燃料型 NO 的生成	(87)
第五节 降低 NO_x 生成的燃烧技术	(89)
第八章 粉尘及其物理特性	(98)
第一节 粉尘的分类、粒径、粒径分布	(98)
第二节 粉尘的物理特性	(105)
第九章 烟尘的净化	(110)
第一节 除尘装置的性能	(110)
第二节 旋风除尘器	(112)
第三节 袋式除尘器	(117)
第四节 电除尘器	(121)
第五节 湿式除尘器	(124)
第六节 静电强化复合式除尘器	(129)
第七节 除尘器的选择	(131)
第十章 烟气中 SO_x 和 NO_x 的净化	(133)
第一节 硫氧化物的净化	(133)
第二节 氮氧化物的净化	(142)
第十一章 稀释扩散法控制地面污染物浓度	(150)
第一节 气象条件对污染物扩散的影响	(150)
第二节 地理条件对污染物扩散的影响	(152)
第三节 大气污染浓度的估算	(155)
第四节 烟囱高度的设计	(160)

第十二章 烟气污染控制途径	(163)
第一节 减少污染物的排放量	(163)
第二节 城市烟气污染综合整治途径	(166)
第三节 利用大气自然净化能力	(166)
参考文献	(168)

第一章 绪论

第一节 燃烧在污染控制和节能中的作用

石油、煤炭和天然气等矿物燃料是工业、运输和民用系统的主要能量。矿物燃料的能量是通过燃烧以热能的形式释放的,可供汽车、火车、轮船等交通运输的发动机、火力发电站的锅炉、各种工业加热设备、人民日常生活和其他行业的炉子以及取暖用。也就是说,现代社会所需要的能量,几乎都与燃烧有关。随着科学技术的进步、矿业中能量消耗的增加及现代社会中汽车的普及,矿物燃料的消耗量急剧增长。近年来我国各行各业的高速发展,都赖于燃用大量的矿物燃料。由于燃料供应上的有限性及社会发展对能源的依赖性,促使人们以极大的努力来研究各种代用能源。核动力已经在电力生产中起着重要作用,太阳能、地热、风能和潮汐能的利用正在大规模研究开发之中。与此同时,矿物燃料则变得越来越宝贵,而且按长远观点看,工业界将不得不以节能作为一种自我保护措施。能源利用效率也成为工程设计中的一个重要评价标准。

然而,矿物燃料的大量燃用,又带来了燃烧产物对人和动植物生态平衡的影响。当燃烧温度不太高且燃料完全燃烧时,燃烧产物为 H_2O 和 CO_2 。但在实际燃烧过程中,由于种种原因,要达到燃料完全燃烧是不大可能,结果就会产生 CO 、燃料中 C_mH_n 未燃成份及碳烟微粒等排放物污染环境。此外,随着燃烧温度的提高,空气中的氧和氮会发生反应而生成 NO 、 NO_2 等氮的氧化物(NO_x),燃料中所含的氮化物、硫与硫化物,也会因反应而生成 NO_x 和 SO 、 SO_2 、 SO_3 等硫的氧化物(SO_x)。燃烧科学家和工程师正面临着一个既要获得最高的能量利用效率又要使污染物的排放量降到最低的问题。为了解决这一问题,必须对燃烧系统的传统概念和设计从根本上重新进行检验。

一、热效率

所谓热效率指的是物料(受热体)得到的热量与燃料燃烧后所放出的化学热之比。一台绝热良好的锅炉,其燃烧效率若能接近 100%,则热效率可高达 90%。由烟气、高温废气和冷却系统所产生的热损失是影响热效率高低的因素。所以改善绝热条件和回收高温废气及冷却剂可以提高热效率。同时燃烧室中火焰对燃烧室壁的热传导速率也是影响热效率的一个因素,提高对燃烧室中气流温度分布的控制能力,能使综合热效率得到改善。

在燃烧室设计中,首先考虑的问题是如何获得较高的燃烧效率,为此应考虑使送往该燃烧系统中的所有燃料都得到完全燃烧。由于不完全燃烧产物通常也是一种污染物质,因此保证燃料的完全燃烧就具有双重意义,既能降低污染物质的排放量,又能提高燃烧效率。只要使燃料保证足够高的温度和有氧化剂存在的条件下,保持足够长的停留时间,以使燃料得到完全燃烧,就可使燃烧装置的燃烧效率接近 100%。

火焰的结构也是影响热效率的一个重要因素,所以人们的注意力已从单纯考虑燃烧效

率转向同时考虑火焰的结构。因火焰传给受热体的热量是通过传导、对流和辐射传热来实现的。火焰的亮度以及固体和液体质点的存在能显著提高辐射传热,受热体表面附近的传导传热可以通过提高表面附近气体的紊流强度和降低气体边界层厚度的办法来加强。对流传热可以靠火焰对受热体表面的直接冲击来加强。

二、节能和控制污染的相互作用

一般说来,燃料的完全燃烧和充分氧化能提高燃烧效率并同时降低污染物质的排放数量。但其中的各种氮的氧化物却是一个难题,这是因为降低氧化氮的生成量与提高燃烧效率所需要的条件是相互矛盾的。绝大多数混合良好的高效燃烧系统都是按化学计量混合比例进行操作的,因而可以获得最高的燃烧温度。燃烧温度越高,氧化氮的生成量越高。因此,在实际情况下,很多燃烧系统不得不被迫在较低的燃烧效率下进行操作,以控制氧化氮的生成量,然后再在不太适于氧化氮生成的低温条件下,使尚未烧完的燃料继续完成燃烧反应。氧化氮是一种非常难以处理的污染物质,因此必须注意限制它的初始生成量。在燃烧过程中硫是不稳定的。从控制污染的角度考虑,既需要在燃烧之前将硫除掉,又需要从排出的烟气中将它除掉。

控制污染的途径有:

- (1) 在燃烧前先将燃料加以净化;
- (2) 减少燃烧过程中污染物的生成量;
- (3) 对排出的烟气进行净化。

上述任何一种方法都必须进行全面分析,以保证在总的能量支出中取得最大的经济效益。燃料的预处理过程,需要消费相当大的能量。进行分段燃烧,使废气(高温烟气)再循环以及降低温度水平,都可以减少和破坏燃烧过程中污染物的生成。上述方法中,有的需要额外消耗较多的能量,在工厂的总成本和设备运行费用中占了相当大的部分。所以,不能单纯地、孤立地来看待燃烧系统,而应当将燃烧系统看成是整个能量平衡系统中的一个组成部分。过程所消耗的所有能量都必须从燃料燃烧的化学反应热中扣除。

第二节 大气污染概况

人类真正认识大气污染是在 18 世纪中叶产业革命之后。蒸汽机的发明与广泛使用,使社会生产力得到飞速发展。随着生产力的迅速发展,矿物燃料逐渐上升为主要能源,燃料燃烧造成的大气污染也随之日益加剧,严重的大气污染事件接连发生。英国的伦敦在手工业时期就曾出现过燃煤造成的大气污染,从那时起至 50 年代初先后发生多起由于燃煤造成的烟雾中毒事件。最严重的一次毒雾(光化学烟雾)事件是发生在 1952 年 12 月 5 日早晨,伦敦上空受高压的影响,地面处于无风状态,浓雾笼罩整个城市。由于在 50~150m 高空出现逆温层,使得大量烟尘和二氧化硫等污染物被封闭在逆温层下,污染物不能得到扩散,造成了迅速地积累,烟尘浓度高达 $4.5\text{mg}/\text{m}^3$,二氧化硫浓度高达 $3.8\text{mg}/\text{m}^3$,均超过平时的 5 倍以上。这次污染事件造成 4000 多人死亡,有更多市民患病。19 世纪后期日本足尾铜矿发生了一起震惊世界的大气污染事件;1961 年日本四日市(石油、化工、冶金工业较集中)发生“四日市公害病”——哮喘病,到 1970 年止,受害者达 2000 人以上。世界各工业国家也相继

发生数起大气污染事件,如 1930 年 12 月,比利时马斯河谷工业区,由于工业生产排放废气,在逆温天气下发生大气污染事件。又如 1934 年 5 月美国发生过一次席卷半个国家的风暴,卷起大量尘土。美国由于汽车尾气的排放,特别是大城市,大气污染日益加重,造成心血管、呼吸道等疾病患者增多,病情加重,甚至死亡。欧洲地区由于燃煤造成大气污染,使北欧许多国家降酸雨,多次引起国际争端。

当前世界各国主要能源来源于矿物燃料,矿物燃料燃烧过程中向大气排出大量的有害物质。据估计,每燃烧一吨煤要排放 4~11kg 煤粉尘。世界上燃烧的烟尘排出量为 1 亿吨左右,下面讨论燃烧过程生成的 SO_2 , NO_x , 烟尘等的排放量情况。

SO_2 排放量:

美国对 SO_2 排放源曾作过估算,煤的燃烧造成的 SO_2 占总排放量的 60%,石油燃烧造成的 SO_2 占总排放量的 21%,其他如炼油厂、冶炼厂等占 19%。日本 1972 年排放的 SO_2 为 670 万吨,其中由于燃烧生成的 SO_2 占 86.4%(燃油占 75%为 500 多万吨,燃煤占 11.4%为 78 万吨)。

NO_x 排放量:

NO_x 是氮氧化物的总称,其主要来源也是燃料燃烧。1968 年,美国统计表明燃烧生成的 NO_x 为 1800 万吨,占总排量的 86%;如果按固定发生源和移动发生源分开计算,则固定发生源的排放总量为 1137 万吨(其中燃油、燃煤设备为 1030 万吨,占 90%左右)。

表 1-1 给出几个国家的氮氧化物排放量,由表可见,燃烧的排放量(固定源 + 移动源)均占总排放量的 80%以上。

表 1-1 某些国家氮氧化物的排放量(以 NO_2 表示) (kt/年)

污 染 源	加拿大 (1972 年)	原联邦德国 (1971 年)	意大利 (1972 年)	荷兰 (1970 年)	挪威 (1970 年)	英国 (1970 年)
面积(km^2)	9976	248	301	36	324	244
移动源(运输)	1092	414	314	108	46	360
固定燃烧设备	445	1296	432	140	19	1602
工业生产	63	41	118	35	15	—
其 他	63	—	—	—	—	—
合 计	1663	1750	864	284	80	1962

烟尘排放量:

烟尘是燃料和其他物质燃烧的产物。燃烧产物中,通常含有由于燃烧不完全所生成的碳黑、结构复杂的多环芳烃有机化合物和飞灰等。当燃烧条件较为理想时,生成的碳黑及大分子多环芳烃致癌物,可能就会少一些,从烟囱排出的烟气呈淡淡的白烟。当燃烧条件不好,燃烧不够充分时,排出的烟气多为滚滚的黑烟。以美国 1972 年统计资料,总的尘排放量为 1800 万吨,其中燃料燃烧过程排放的尘就有 600 万吨。

我国是世界上大气污染最严重的国家之一,大气污染是我国环境问题中的一个主要问题。

根据历年统计资料估算,全国每年由于燃煤排放的总粉尘量大约为 2300 万吨, SO_2 约

为 1460 万吨。这两种污染物全国平均污染负荷分别为 $2.35\text{t/a}\cdot\text{km}^2$ 和 $1.9\text{t/a}\cdot\text{km}^2$, 分别超过了全球陆地平均污染负荷 $0.7\text{t/a}\cdot\text{km}^2$ 和 $1.0\text{t/a}\cdot\text{km}^2$ 。

由于燃料燃烧向大气排放的污染物占的比重很大, 尘、 SO_2 、 NO_x 和 CO 四种污染物大约占总污染物排放量的 70% 以上, 而燃煤排放的污染物占整个燃料燃烧排放量的 96%。其中, 由燃煤排放的 SO_2 占各类污染源排放 SO_2 总量的 87%, 占燃料燃烧排放 SO_2 量的 93%; 由燃煤排放的尘占总排放尘量的 60%, 占燃料燃烧排放尘量的 99%; 燃煤排放的 NO_x 占总排放 NO_x 量的 67%, 占燃料燃烧排放 NO_x 量的 87%。

由此可见, 煤烟型污染是我国大气污染的主要特点。

表 1-2 列出我国 1981 年 76 个城市四项例行监测项目的监视结果, 表中监测数据是按我国南、北方城市以年日(月)平均浓度来表示的。

表 1-2 我国部分城市大气中主要污染物的监测数据

污 染 物	城市	年日(月) 平均浓度值	浓度范围	超标城市 占的百分率 (%)	污染最严 重城市超 标倍数	标准浓度
总悬浮微粒 (mg/m^3)	北方	0.93	0.37~2.77	100	吉林 8.2	国家二级标准
	南方	0.41	0.16~0.85	71.4	黄石 1.8	0.3
SO_2 (mg/m^3)	北方	0.12	0.02~0.38	30.0	太原 1.5	国家二级标准
	南方	0.11	0.02~0.45	19.2	贵阳 2.0	0.15
NO_x (mg/m^3)	北方	0.06	0.02~0.09	0	—	国家二级标准
	南方	0.04	0.01~0.08	0	—	0.10
除尘 ($\text{t/a}\cdot\text{km}^2$)	北方	50.67	21.42~103.75	100	包头、唐山、	≈ 8
	南方	18.76	10.79~46.50	100	黄山	

从表中数据可知, 大气中总悬浮物浓度和降尘量都超标。除尘和总悬浮物微粒的污染已成为我国大气污染的普遍性问题。大气中 SO_2 的浓度有许多城市超过国家二级标准。一般来说, 北方城市冬季 SO_2 的污染程度重于南方城市。在我国有些地区经常降下酸度较高的酸雨, 对动、植物生长影响较大, 污染环境。

当前我国大气污染状况是多数城市大气污染严重, 危害严重的主要污染物是燃煤排放的尘和 SO_2 。尘污染是全年性和全国性的, SO_2 污染主要发生在烧高硫煤地区和北方城市的冬季采暖期。近几年发现的酸雨污染, 主要分布在长江以南, 特别是西南烧高硫煤地区。除上述由于燃烧产生的粉尘、悬浮物微粒和 SO_2 三种主要污染物外, 还有在工业生产过程, 交通运输特别是汽车等行业排放的工业污染及废气排放物, 如炭黑、氟化物、氮氧化物、硫化物、一氧化碳、苯并(a)蒽、碳氢化合物等, 构成大气污染。据美国自然资源防护委员会发表的报告, 全美每年有 6.4 万人死于空气污染造成的心脏病和肺病。

第三节 大气污染的治理

城市大气污染的主要来源是燃料燃烧所生成的废气, 本节着重介绍燃烧污染的治理。

一、污染物质治理概况

认识燃烧污染的目的是为了降低大气污染物的含量,保护环境,其手段是对污染物质进行治理。

1. 治理工作进展情况

随着科学技术的发展,世界各国对污染物质的治理工作也有很大发展。从 30 年代到 60 年代,当时面临着污染的现实,迫切需要治理,这一时期,处于以治为主的治理阶段。虽然单项技术方面取得一些成效,但总体上治理效率不高,工业仍在不断地发展,环境的改善仍得不到根本好转,污染还在加剧。从 60 年代末开始从以治为主转入防治结合,并发展到以防为主的阶段。这一阶段除单项治理进一步取得进展外,还进行了一系列的工艺改革,研制了无害化工艺,加强了管理,发展了闭路循环,各国政府颁布了一系列政策法规,建立了环境预断评价制度等。使大气污染得到控制,环境质量有了明显的改善。从 70 年代开始,环境保护开始从被动转入主动。

2. 环境的预断评价

所谓预断评价是指对某一地区任何重大企业新建或扩建之后可能造成的污染进行预先判断性的评价。

预断评价制度是 1969 年由美国首先试用的一项制度,是改善环境质量的重要措施。当前美国、瑞典、澳大利亚等国已将制度法律化。日本、法国、德国等国也大力推广。在决定新建或扩建某一重大企业时,必须在规划中包括预断评价的内容。然后中央或地方环办机构根据预断评价报告书来考虑批准与否,实行这一制度,有利于扭转环保工作的被动局面。

为了进行预断评价,首先要了解该地区的环境基数,即建厂以前的污染状况,气象特征(包括风向、风速等等)的基本参数,进行污染源对空气污染程度的计算,绘出污染分布图,以此来评价对环境的影响,并进一步制定防治措施。

为了做好预断评价,必须进行系列实验,进行模拟、分析、判断、设计出多种比较方案,择优选用。预断评价制度本身也促进了环境科学的发展。

我国也已实行这一制度,如宝钢工程就进行了预断评价。

二、影响燃烧污染物质生成量的因素

燃烧污染物质是在燃烧过程中生成的,因此治理燃烧污染的措施是控制烟气中有害物质的生成量,所以,首先要掌握、了解污染物生成规律,才能对症下药,制定控制污染物质生成的措施。

影响燃烧污染物质生成量的因素主要有:燃料消耗量、燃料种类、燃料性质、燃烧条件等。

1. 燃料消耗量

燃料消耗量可分总燃料消耗量和单位产品燃料消耗量。

总燃料消耗量表示设备单位时间所消耗的燃料量。单位:(标准燃料/h)或(kJ/h)

单位产品燃料消耗量指生产单位产品所消耗的燃料量,如焦耳、加热炉吨钢燃耗等。单位:(kJ 标准燃料/kg 产品)或(kJ/kg)。

总燃料耗量反应热设备规模大小,单位产品燃耗表示能耗水平。如同一产品单位燃耗

越低,则同一规模工厂的总燃料消耗量就越少,污染物质的排放量也越少。

我国是个能源消费大国,仅次于美国、俄罗斯,居世界第三。1978年,我国工业能耗占总能耗的65.1%,而全国民用能耗仅占总能耗的12.5%。所以有人说:中国,工业生产方面是能源的消费国,而生活方面是能源最节约的国家。

我国工业不论从单位产值的能耗或产品的单耗都比西方发达国家高。按我们的产值,如果在日本则只要1/3的能源即可,而英国则只要1/2的能源就可实现。我们多用了许多的燃料,其结果不仅是浪费,而且要多排出几倍的污染物质,要多处理2~3倍的废气。因此,无论从能源或环保的角度出发,都要求我们提高热能的利用率。

造成我国能耗高的原因很多,如:

- (1) 技术落后,设备陈旧;
- (2) 工艺流程不合理;
- (3) 能源管理、生产管理工作差;
- (4) 农、轻、重比例不协调。

我国要实现四个现代化,就需要大量能源,但今后我国的国民经济增长率必定大于能源增长率。不足的能源只能靠节约能源来实现,而节能又能解决环境危机。

2. 燃料种类与燃料转换

燃料种类主要是指固体、液体、气体三种燃料。一般说来,燃料燃烧生成的污染程度顺序为

固体燃料 > 液体燃料 > 气体燃料

而液体燃料,其油质越重污染程度越大,如重油 > 柴油 > 汽油。

从我国能源和世界能源结构看,都是以煤为主的。但煤燃烧会产生大量硫化物、灰尘等有害物质,是一种不清洁燃料。所以各国都在研究如何进一步开发利用煤,力图寻找在技术上可靠、经济上可行、能大规模地由煤制造气体和液体燃料的方法。这种由煤转换来的液体、气体燃料具有热值高、运输方便、污染少的特点。

我国煤大多数是含硫量较高的,把煤转换成气体燃料或液体燃料更具有重要意义。

3. 燃料性质与燃料改质

同一类燃料,由于产地不同,往往其性质也不同。我国的煤,含硫量有的低于1%,有的高达10%以上。燃料性质不同,燃烧后所生成的有害物质量也有差别。含硫量高的煤,燃烧后的烟气中,SO₂含量也越高;燃料中含氮量越多,烟气中NO_x浓度也越高。

燃料改质是指在不改变燃料状态的条件下,改变燃料的性质,如高硫煤改质为低硫煤;重油脱硫、脱氮等均属于燃料改质。

我国的石油含硫量较低,一般含量均<0.5%,而中东的油含硫量多在1%以上,有的竟达到2%以上。

煤的含氮量一般为0.5%~2%。油的含氮量一般与含硫量成正比。

除了燃料的化学组成外,燃料的使用性能不同,污染物的生成量也不同。例如成分相同或非常接近的油,粘度却有差别,粘度越大,越不利于控制烟尘的生成量。要改变粘度可借助提高油温或加添加剂等措施。

4. 燃烧条件

不同的燃烧条件,其污染物的生成量也不同。如果燃料与空气混合条件好,空气又充

足,则烟尘的生成量就少;在温度高,空气充足情况,生成 NO_x 则容易。所以通过调节、控制燃烧条件来降低污染物质的生成量。

污染物质是在燃烧过程中生成的。因此,我们要了解污染物质的生成机理,了解燃烧条件与污染物生成量的定性与定量关系,寻找在燃烧过程中控制污染物的途径。

三、燃烧污染的治理

1. 降低燃耗

降低燃耗就是要提高燃料热能的利用率即节能。节能就是应用技术上现实可靠、经济上可行合理以及环境和社会均可接受的方法来有效地利用能源资源。

节能途径主要有:结构节能、管理节能和技术节能。结构节能主要是从宏观角度通过经济结构的调整向节能型工业体系发展;管理节能主要是加强检测计量、优化能源分配、强化管理维护来实现节约,如能源按质合理分配和使用,安装节能检测仪表,杜绝“跑、冒、滴、漏”等等。技术节能是通过新技术、新工艺、新材料、新器材的开发应用来取得节能的。

能源的节约和利用是一个系统工程,一项节能技术措施的实现对整个工艺过程都会产生影响。因此,考虑节能技术措施时,必须作系统分析,一般节能方案思考顺序是“先工艺、继工序、再设备、后余能”。即首先从系统角度考虑整个工艺流程的简化和优化,改善和调整生产布局、作业线路和作业制度。第二,从工序角度考虑工序过程控制和维护的改进,在工序范围内,采用节能新工艺取代传统的耗能型旧工艺;强化和健全检测、计量手段,实行动态控制;加强设备的维护和保养,提高其效率等。第三,从设备角度考虑节能新装置、新器件,改造各种耗能的机构,加强绝热以减少散热损失。第四,从余能角度考虑余热回收利用的可行性及措施,回收产品生产过程中各种形态的余能余热资源。当然,这些步骤的思考与决策都应建立在技术可靠、经济合理的基础上。

2. 高烟囱排放

高烟囱排放是利用排烟在大气中的扩散现象和规律,烟囱越高,同样排放量的情况下,经过扩散作用,排放源周围的污染程度则少。以图 1-1 为例说明。

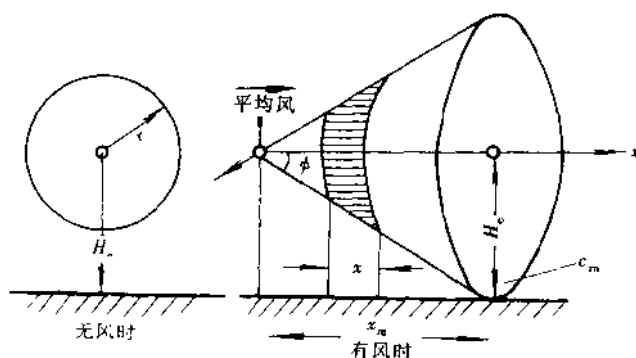


图 1-1 烟的扩散模型

($x=1s$ 间放出的烟生成的长度; c_m , x_m 分别为最大着地浓度和它出现的距离)

当理想状态(无风时),烟为球形扩散,如图 1-1 所示,图中, H_e 为烟囱高度, r 为扩散半

径,其扩散规律为球状扩散。

有风时,假设为理想状态,排出的烟气和该处的风速以同一速度向前延长,由于扩散作用,排出物的地点即烟囱排出口以圆锥体形向下风口扩散,烟尘的浓度在离源点越远的地方浓度越小,我们可以建立这样一个关系,就是着地的污染物浓度与烟囱高度平方成反比。因此,在其他条件相同时,增高烟囱后,由于扩散作用的结果,污染物降到地面后的浓度降低,从而可以减少污染程度,保护环境。但因烟囱高,排烟范围就要扩大,所以采用高烟囱排放方式,尚不能根本解决污染问题。

除高烟囱排放外,还有一种方法,称集合烟囱排放法,这种方法是将几个(一般是2~4个)排烟设备集中到一个烟囱排出,以使排放的烟气温度增加,提高烟气出口速度。这种高温、高速的烟尘气流以环状吹向天空,扩散效果良好,从而使矮烟囱起到高烟囱的作用。

3. 煤烟型污染防治

煤烟型是由燃煤所放出的烟气、粉尘、 SO_x 、 NO_x 等一次污染物,以及由这些污染物发生化学反应而生成的硫酸、硫酸盐类气溶胶等二次污染物所构成的对环境的污染。

我国能源以燃煤为主,在总能源消费构成中,煤占70%以上,而且80%以上是一次能源直接燃烧,能源利用率较低,除尘脱硫率也很低,在这样的条件下大量燃煤就使我国大气环境质量下降。

煤烟型污染控制的重点应该是合理利用和节约能源。目前主要是转换、改质以及合理利用煤炭资源。

转换、改质可由劣质变为优质,用二次能源取代一次能源,如将煤变成二次能源,制成煤气或液化煤气,就可将一次能源煤的直接燃烧产生的污染,消灭在燃料的制备过程中。这是一种“治本”的措施。

(1) 发展城市煤气

城市煤气是建设现代化城市的组成部分,它是节约能源、保护环境和方便人民生活的一项重要措施。民用气体燃料在国外发展较早、较快,工业发达国家的气化率已达到85%以上。我国近十余年来发展也较快,全国几个大城市的气化率都在50%以上,有的高达85%以上,中、小城镇因地制宜地发展低热值煤气、液化气等作民用燃料,替代煤球炉,大大减少有害污染物的排放量。

(2) 发展热电结合和集中供热

用高效的较大型锅炉取代一批中、小型锅炉,可以提高锅炉热效率约30%,节约大量燃料。集中供热便于烟气的深度处理,可采用先进的大型消烟除尘设备,达到无污染、少污染排放,是克服烟囱林立,分散排放,分散使用治理资金而治理效果差的关键性措施。为提高集中供热的经济效益,必须走联电和余热利用的道路。

4. 排烟治理

在燃烧过程中,有的采取一些措施控制有害物质生成量,但效果不佳,有的根本没有采取任何措施,就直接将含有大量有害物质排入大气,造成大气严重污染。如果我们把产生的烟气在未排放到大气之前,先采取措施,像脱硫、脱氮和除尘,把烟气中有害物质的浓度降下来,然后再排到大气中去,这种方法称为排烟治理。

排烟治理的成本较高,降低成本的途径之一是合理地回收副产品,采用成本低、效率高的工艺等。

由于有害气体是以分子的形式存在于混合气中,故不能用除尘的方法来净化,而是根据有害物质的物理、化学性质不同而采取化学作用等方法去除。

对有害气体排烟治理主要方法有以下几种:

(1) 吸收法

利用有害气体的溶解性和化学反应性能,用适当的液体来吸收废气中的有害气体或与有害气体起化学反应。

(2) 吸附法

吸附法是利用多孔的固体(比表面积大)吸附剂来吸附废气中的有害物质,从而净化废气。常用的吸附剂有活性炭、分子筛、氧化铝及硅胶等。吸附剂工作一定时间后就会失去吸附能力,故此要进行吸附剂再生,方可重复使用。

吸附能力还与许多因素有关。主要有:

① 吸附剂性质:吸附发生在吸附剂表面,因此吸附剂比表面越大,吸附能力就越强。同时还与吸附剂性质有关。

② 温度:吸附过程系放热过程,因此吸附一般在 50℃ 以下进行。温度升高,吸附能力下降。

③ 气流速度:气流速度太大,则气体与吸附剂吸收时间减少,净化效率降低。一般以 0.2~0.5m/s 为宜。

(3) 催化法

催化法是利用催化剂的催化作用,将废气中的有害气体转化成各种无害的化合物,或转化为更容易被去除的化合物,故催化法也称催化转化法。

催化转化法分催化氧化法和催化还原法。

催化氧化法是指在催化剂的作用下,废气中的有害物质能够被氧化为无害物质或氧化为更易处理的其他化合物。如 SO_2 的治理中,利用催化剂使 SO_2 转化为硫酸。

催化还原法是指一些还原性气体在催化剂作用下可将废气中的有害物质还原为无害物质。

上述四种治理途径中,除高烟囱排放外,均可以认为是较积极的方法。其中燃料转换、改质进行净化是在燃烧前就进行控制,排烟治理是已生成较高浓度后,再对烟气进行治理。在实际工作中采用什么方法,要因地制宜,找出最经济、有最效的办法。

第四节 大气环境质量标准

为了保持一个良好的环境,也为了对已污染的环境加以改造,必须对环境质量作出评价,必须制订各种环境质量标准。

我国的大气环境质量标准是依据《中华人民共和国环境保护法》及我国大气污染的状况和特性,并参照世界卫生组织(WHO)1963年10月所提出的判断大气质量的四级水平而制定的。标准是1982年颁布的,全称是《中华人民共和国大气环境质量标准》GB3095—82。标准中列入了符合我国污染状况特点的6种主要污染物的质量标准,见表1-3所示。

表 1-3

大气环境质量标准

污染物名称	浓度限值		单位:mg/m ³	
	取值时间	一级	二级	三级
总悬浮微粒	日平均 ^①	0.15	0.30	0.50
	任何一次 ^②	0.30	1.00	1.50
飘尘	日平均	0.05	0.15	0.25
	任何一次	0.15	0.50	0.70
二氧化硫	年日平均 ^③	0.02	0.06	0.10
	日平均	0.05	0.15	0.25
	任何一次	0.15	0.50	0.70
氮氧化物	日平均	0.05	0.10	0.15
	任何一次	0.10	0.15	0.30
一氧化碳	日平均	4.00	4.00	6.00
	任何一次	10.00	10.00	20.00
光化学氧化剂(O ₃)	一小时平均	0.12	0.16	0.20

注:①“日平均”为任何一日的平均浓度不许超过的限值。

②“任何一次”为任何一次采样测定不许超过的浓度限值。不同污染物“任何一次”采样时间见有关规定。

③“年日平均”为任何一年的日平均浓度均值不许超过的限值。

我国根据环境卫生标准,各地大气污染状况、国家科技经济发展规划和大气环境的规划目标,按照分级分区管理的原则,将大气环境质量标准划分为三级。

一级标准:为保护人群健康,在长期接触的情况下,不发生任何危害性影响的空气质量要求。

二级标准:为保护人群健康和城市、乡村的动植物,在长期和短期的接触情况下,不发生伤害的空气质量要求。

三级标准:为保护人群不发生急、慢性中毒和城市一般动植物(敏感者除外)正常生长的空气质量要求。

标准还根据各地区的地理、气候、生态、政治、经济和大气污染程度,把大气环境质量分为三个类区。

一类区:为国家规定的自然保护区、风景游览区、名胜古迹和疗养地等。

二类区:为城市规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区、名胜古迹和广大农村等。

三类区:为大气污染程度比较重的城镇和工业区以及城市交通枢纽、干线等。