

除尘·收尘

理论与实践

科学技术文献出版社

除尘、收尘理论与实践

〔日〕大野长太郎 著

单文昌 译 闻洪 校

科学技术文献出版社

内 容 简 介

本书是日本有关收尘技术的论著，对粉尘的性质、收尘原理、收尘装置的维护管理和测试技术均作了详尽的阐述。

可供各厂矿企业、环保单位的科技工作者及管理人员，有关工业院校的师生参考。

正值本书即将出版之际，获悉中国建筑工业出版社也组织了天津水泥工业设计院刘后启同志翻译此书，即将发排，为了避免重复，中国建筑工业出版社决定不再出版此书，特在此说明。

除尘、收尘理论与实践

〔日〕大野长太郎 著

单文昌 译 闻 洪 校

科学技术文献出版社出版

北 京 印 刷 三 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 印张：9 字数：195 千字

1982年7月北京第一版第一次印刷

印数：1—12,720册

科技新书目：28—93

统一书号：15176·556 定价：1.15元

译 者 的 话

粉尘在污染物中占可观的比重。据美国统计，一九六八年所发生的二亿吨污染物中，粉尘就占二千三百万吨。因此在工业废弃物造成的大气污染公害中，最先暴露出来的第一代污染问题也就是粉尘污染。众所周知，1952年12月的伦敦烟雾事件，在最高粉尘浓度为4500 微克/米³的烟尘持续一周之后，曾造成震惊一时的数千人死亡的严重后果。日本环境保护学术界认为，大气中的粉尘浓度达到 150 微克/米³时，视程只能达到 8 公里，对飞行的能见度有影响；浓度达到 600 微克/米³时，视程将降到二公里以下，居民呼吸将感到明显的不舒适。另外，长期在24小时平均浓度为100微克/米³环境下居住的学龄儿童的支气管呼吸道阻力约为呼吸新鲜空气的儿童的二倍。小时平均浓度达到 300 微克/米³时，病弱者和老年人的死亡率将有所增加。据此，日本将大气中粉尘浓度的环境标准定为：24小时平均浓度应低于100 微克/米³，小时平均浓度应低于 200 微克/米³。

以往，国内一些厂矿的环境粉尘浓度控制标准暂定 500 微克/米³，而且据实测，超过这一控制极限 3—4 倍的情况并不罕见。这就说明我们在收尘技术方面还有待于提高，环境控制标准也有待于逐步严格化。

国外的工业国家，特别是工厂和人口高度密集的日本，在60年代和70年代初期曾致力于降低工业设备的粉尘排放

量。普遍地采用静电收尘及袋式收尘等高效能收尘装置，而将旧式的离心收尘装置作为其前置级收尘。据东京-横滨工业区的经验，70年代初期普及高效收尘装置后，大气中的“降尘”可减少到60年代初期的 $1/3-1/4$ ，浮游尘也可降低 $1/2$ 左右。

但是，应当看到，目前在收尘技术方面，与其他工程学科相比，其学术基础还是比较薄弱的。虽然规定了一些设计规范，但是往往不能准确预测所选用的收尘装置的最终性能。因此在国外迄今仍很重视设计前的模型试验和安装后的维护管理和定期测试监督，并加强收尘装置制造厂商与使用单位的配合，以求设备达到最理想的收尘效率。近来，我国的一些采用高效收尘装置的先行单位，在运行中未能达到预期的效果，想来就是由于对收尘技术的特有规律认识不足，同时对错综复杂的因素考虑和掌握得不充分的缘故。

近年来，我国规定了粉尘的排放标准，并且各地对超过排放标准的企业开始实行经济制裁，因此采用高效收尘设备的企业日益增多。与此有关的科技人员迫切地希望了解最新收尘技术理论与实践经验。本书是日本有关收尘技术的1978年新版书，对粉尘的性质、收尘原理、收尘装置的维护管理和测试技术均作了详尽的阐述。译者在防止企业大气污染的工作中曾参考本书并从中受到有益的启示。由于水平有限，鲁鱼之误在所难免，希望国内从事防止大气污染的科技人员对译本提出批评指正。

一九八一年八月八日

序 言

明治、大正时代的排烟公害问题还是一个局部的问题，可是到了昭和35年（1960），由于实行了以地区开发和产业的重工业化为中心的增产发展规划，排烟的排放量显著增大。以人口密集地区为中心的大气污染导致了广泛的公害，成为重大的社会问题。因为排尘是以大气为媒介而发生影响的，所以即使单个发生源的排尘量不大，但要是发生源的数目很多，也会在有限的空间里由于地理条件和气象条件而累积起来，特别是在有害气体共存的情况下，将会吸收或吸附这种气体而扩大其影响。

日本公害问题的背景是经济的急速发展、人口向城市集中、消费生活的高度发展、国土狭窄以及居民对于公害问题的高度关心。我们不得不在三十七万平方公里只有18%可能利用的狭窄的土地上建立工厂、确保农田和保证一亿多居民的高度文化生活，不论从以上那一点来看都是一个致命的问题。

由于排尘而引起的公害问题就其特点和背景而言是关系到整个社会的，所以必须寻求一个综合的有计划的管理对策。因而在1962年实施了排烟排放量的限制，1967年实行了“公害对策基本法”，1971年实行了“大气污染防治法”，1972年实施了“浮游粒状物质的环境标准”以及“企业家无过失责任”等法律。

通过这些措施，显著地改善了排尘对大气的污染，可是还未能对微细的浮游状粒子排除得很彻底。因此考虑到今后产业的发展 and 人口的增加，为要根本防止排尘引起的公害，还必须在努力分散发生源的同时，进一步削减各发生源的排尘量。

为此，就要采用能捕集微细尘粒的高性能收尘装置，并努力加强运行管理，使之经常发挥高的收尘效率。而排烟的性状是因排尘发生装置的种类、构造和燃料、原材料以及燃烧与其他操作条件的不同而显著变化的，所以即使是具有一定性能的收尘装置，在排尘性状改变时也会在很大程度上影响收尘性能。因而，在设计收尘装置和运行管理当中，首先要充分地对粉尘的性状和变化进行事先调查并加以充分的掌握。但收尘装置的收尘效率有很多难于预测的因素，很难在理论上求得解决。这就要在实际上分别对于各种排尘发生装置，根据过去的实际经验，考虑包括各种未知因素在内的综合因素的影响，用经验和概率的方法来提高收尘效率。

本书就是从上述观点出发，为参加排烟性状和收尘性能测试、各种收尘装置的运行维护的防止公害的管理人员以及从事收尘装置设计的技术人员提供参考资料着眼，不仅在理论上，而且在实践方面提供了大量的必要数据并加以解释。一切以实用为宗旨，希读者提出宝贵意见和批评。

此外，在编写过程中参考了各种研究成果和文献，在此表示衷心的感谢。并对给本书的编辑和出版以多方协助的欧姆出版公司致以深切的谢意。

作者 1978年1月

目 录

序 言	i
第一章 除尘与收尘的基本知识	1
烟雾体的定义	1
粒子的大小与形状	6
粒径分布的表示法	15
固体粒子的比重	18
粒子的附着与凝聚	21
粉尘的比电阻	25
燃烧所需的空气量与燃烧烟气量	30
排烟的分析与空气比	34
第二章 各种排烟发生装置的排烟性状	39
锅炉的排烟	39
炼钢炉的排烟	46
铸造化铁炉的排烟	52
水泥生产的排烟	53
骨料干燥炉的排烟	57
黑液回收锅炉的排烟	59
精炼有色金属的排烟	60
有色金属熔化炉的排烟	65
垃圾焚烧炉的排烟	67
制造硫酸的原料气	70

第三章 收尘装置的原理、构造与性能	75
收尘装置的定义	75
重力收尘装置的原理	76
重力收尘装置的构造与性能	78
惯性力收尘装置的原理	80
惯性力收尘装置的种类与构造	81
惯性力收尘装置的性能	84
离心力收尘装置的原理	85
离心力收尘装置的种类与构造	88
离心力收尘装置的性能	91
洗涤式收尘装置的捕尘机理	92
洗涤式收尘装置的种类与构造	95
洗涤式收尘装置的性能	105
过滤式收尘装置的捕尘原理	106
过滤式收尘装置的种类与构造	108
过滤式收尘装置的性能	117
电收尘装置的捕尘机理	119
电收尘装置的种类与构造	125
电收尘装置的性能	133
电收尘的电源装置与控制装置	136
第四章 排烟性状与收尘性能	142
粒径分布的影响	143
粉尘浓度的影响	147
真比重和容积比重的影响	148
附着与凝聚的影响	149
比电阻的影响	150

处理烟气量的影响·····	151
排烟的移动能度的影响·····	153
处理烟气温度的影响·····	155
选定收尘装置的要领·····	158
组合式收尘装置·····	163
各种排烟发生设备的收尘装置·····	167
第五章 收尘装置的维护管理 ·····	175
各种收尘装置的一般维护管理·····	176
运行记录的重要性·····	177
旋风分离器的运行要领·····	179
旋风分离器的维护管理·····	181
洗涤式收尘装置的运行要领·····	183
文丘里洗涤收尘器的维护与管理·····	186
袋式收尘器的运行要领·····	188
袋式收尘器的维护管理·····	190
电收尘装置的运行要领·····	192
电收尘装置的维护管理·····	195
第六章 收尘装置的性能与粉尘浓度的测定 ·····	203
收尘装置性能测定概述·····	203
收尘效率的测定与计算方法·····	204
压力损失的测定与计算方法·····	207
液气比的计算方法·····	208
排烟有周期性变化时的测定·····	209
收尘效率测定值的允许误差·····	212
粉尘浓度测定概要·····	214
测定位置与测定孔·····	215

排烟中水份的测定·····	217
排烟的流速和流量的测定·····	219
粉尘试样的采取·····	225
等速取样与非等速取样·····	228
粉尘捕集器的种类与性能·····	232
用捕尘管时的测定方法·····	235
采用滤纸时的测定方法·····	238
粉尘浓度的计算·····	243
第七章 收尘装置的附属设备·····	246
粉尘发生源的集烟·····	246
厂房内的集烟·····	253
烟风道与烟囱·····	256
风机的设计与选择·····	263
泵的设计与选择·····	266
粉尘的输送·····	271
参考文献·····	278

第一章 除尘与收尘的基本知识

为了把固体或液体微粒从含尘气体和含尘空气之类的烟雾体中分离出来，主要是利用重力、惯性力、离心力、热力、扩散附着力与静电力。微粒和气体的性状，特别是微粒的大小和粒径分布对于这些收尘作用力有很大影响。

就是说，重力、惯性力和离心力对较粗的粒子起支配作用；热力、扩散附着力对细小的超微粒子起支配作用。另外，静电作用力受比电阻的影响很大。

在很多情况下，收尘是以燃烧烟气为对象的。由于燃烧状态的不同，排烟性状发生大幅度的变化，从而在很大程度上左右收尘的性能。

因此，粒子的性状和有关燃烧的概念是收尘技术的基础知识中极为重要的内容。

烟雾体的定义

通常，在气体中含有固体或液体的细微浮游粒子的共存浮游物系称为烟雾体或烟雾质。可如表 1.1 所示，将烟雾体根据尘粒的性质和粒径来分类。但也有总括地把固体粒子统称为“粉尘”，把液体粒子概称为“雾”的分类法。

1. 浮游粒状物质

在“大气污染防治法”中，把由于燃料等物质燃烧或者当把电力作为热源使用时所产生的固体粒子和液体粒子叫做

“排尘”，而把由于物料的破碎、分选、堆放和其他机械处理时发生的固体粒子叫做“粉尘”。

另外，在作为环境污染的改善目标的“环境标准”中，则把粒径为10微米以下的固体和液体粒子看作浮游状物质而制定大气污染的限度。

从工厂、事业单位或汽车等排出的排尘中，粒径在10微米以上的较粗的粒子容易发生重力自然沉降而降落到地面，所以也叫做“降尘”。另一方面，粒径小于10微米的“浮游尘”，即使在微弱的大气气流的作用下也会发生浮游，不容易降落到地面。浮游尘将长时间地污染大气，在一定的气象条件下还是形成大气中的烟雾(Smog)的原因。

“烟雾”(Smog)一词是“烟”(Smoke)和“雾”(fog)的合成词。通常，把由于烟雾和雾之类的存在而引起视觉障碍的现象叫做“发生烟雾”。

2. 烟雾体的大气扩散

从烟囱中排出的烟雾体，首先由于其排出速度而在大气中上升。随后，如果是高温气体，则由于排气对于大气的密度差而产生“热浮升”。然后，借风力而在大气中扩散。

但是，当排出速度比风速为低时，则烟雾体将如图 1.1 所示，被卷入烟囱背后的涡流或建筑物后的涡流中，从而急速地降落到地面上来。这种现象分别叫“下冲气流”(down wash)和“下卷气流”(down draught)，这将导致烟囱周围地面上污染浓度的增大，因此必须避免这种现象。

为避免此现象，排出速度尽可能要高于5—6米/秒。另外，附近的建筑物越高，烟囱也要相应加高。最好保持在建筑物高度的2.5倍以上。

表 1.1

烟雾体的分类

分散物质	名称	粒 径	实 例
固体粒子	粉尘	1 微米以上	在破碎、筛选时产生的尘粒及排烟中较粗的粒子
	微尘	1 微米以下	排烟中含有碳黑和氧化金属之类的尘粒
液体粒子	喷发雾	10 微米以上	通过喷嘴喷雾而产生的水滴和油滴沸腾时发生的水滴
	雾	10 微米以下	由于蒸气凝结而产生的水、硫酸、油之类的细小粒子

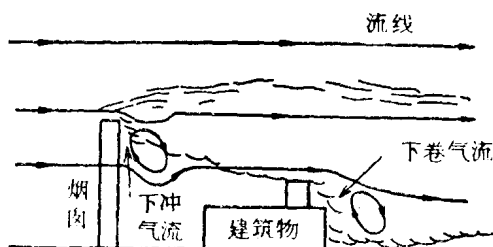


图 1.1 从烟囱排出的烟雾体的卷吸现象

从烟囱排出的烟雾体的尘粒的粒径如在 10 微米以下，也就是环境标准中所说的浮游状粒子的情况下，通常同样看作是排烟的扩散，进行大气污染的计算。

(1) 烟囱的有效高度 如图 1.2 所示，烟囱的有效高度 H ，是烟囱高度 H_0 、由烟气速度引起的上升高度 H_u 和浮力引起的上升高度 H_b 之和。在烟囱的下风向的地上所呈现的污染浓度，基本上是与在烟囱有效高度下发生水平扩散时的浓度相等的。

计算烟囱有效高度的最广泛使用的公式是波生克第一公式：

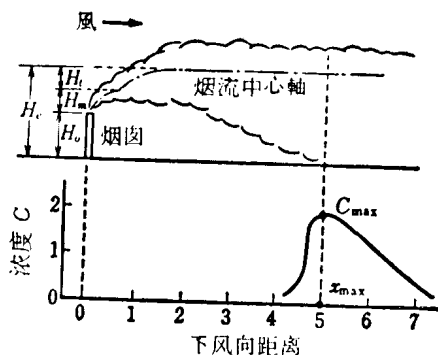


图1.2 烟囱有效高度与排烟浓度分布

$$H_m = \frac{4.77}{1 + \frac{0.43}{V_g}} \cdot \frac{\sqrt{Q_{v1} \cdot V_g}}{U} \quad (1.1)$$

$$H_t = 6.37g \frac{Q_{v1}}{U^3} \frac{\Delta T}{T_1} \left(\log_e J^2 + \frac{2}{J} - 2 \right) \quad (1.2)$$

$$J = \frac{U^2}{\sqrt{Q_{v1} V_g}} \left(0.43 \sqrt{\frac{T_1}{g(d\theta/dZ)}} - 0.28 \right. \\ \left. + \frac{V_v}{g} \frac{T_1}{\Delta T} \right) + 1 \quad (1.3)$$

式中， U ：风速（米/秒）， Q_{v1} ：温度为 T_1 时的排气量（米³/秒）； V_g ：排气速度（米/秒）； T_1 ：排气密度与大气密度相等时的温度（K），（一般可看成是大气温度）； ΔT ：排气温度与 T_1 之差（℃）； g ：重力加速度（=9.81米/秒²）； $d\theta/dZ$ ：大气温度的梯度（℃/米）。

在“大气污染防治法”中，用于硫的氧化物排放标准的

有效烟囱高度 H_e 是假定 $T_1 = 288^\circ \text{K}$, $d\theta/dZ = 0.0033^\circ \text{C/米}$, $U = 6$ 米/秒的条件下按下式求得的:

$$H_e = H_0 + 0.65(H_m + H_f) \quad (1.4)$$

式中, H_0 : 烟囱高度 [米], H_m : 动量上升高度 (米), H_f : 浮力上升高度 (米)。

(2) 下风向的最大着地浓度 烟囱下风向的地面污染浓度如图 1.2 所示。在烟囱附近, 由于烟雾还没有降落到地表面, 污染浓度是较低的, 随着距离的增大而逐渐增大。达到最大着地浓度以后, 在更远的地区则由于扩散而渐渐减小。

烟囱下风向的地面最大着地浓度 C_{max} 以及到该地点的距离 X_{max} 一般是用塞顿(Sutton)公式计算的:

$$C_{max} = \frac{2Q}{\pi C U H_e^2} \left(\frac{C_z}{C_y} \right) = \frac{0.23Q}{U H_e^2} \left(\frac{C_z}{C_y} \right) \quad [\text{克/米}^3] \quad (1.5)$$

$$X_{max} = \left(\frac{H_0}{C_z} \right)^{2/(2-n)} \quad [\text{米}] \quad (1.6)$$

式中, Q : 烟雾体的排放量 (克/秒); U : 平均风速 (米/秒); H_e : 烟囱有效高度 (米); C_y, C_z : 水平、垂直方向的扩散系数, n : 依变于大气安定度的塞顿扩散系数。

以上都是针对烟雾体内所含的粒子极细, 而且粒子不发生凝聚, 各种粒子均不从排气中分离出来而发生扩散的情形而说的。

粒子的大小与形状

用空气或水蒸汽将水在二流体喷嘴中进行雾化时所产生的水滴的平均粒径通常是20微米左右。而燃烧重油用的油喷嘴(burner)将重油雾化时所生成的油滴的平均粒径是200微米左右。可是由水蒸汽凝结而生成的粒子是很细的，其平均粒径是1微米左右的雾。

这些在气体中以微粒状态而存在的液体粒子由于表面张力的作用，其粒子形状是呈球形的。

另一方面，由于烧煤粉而生成的固体粒子大体上是44微米以下的球形飞灰(fly ash)；44微米以上的“灰烬”(cinder)或者由于不完全燃烧引起的颗粒，其粒子呈不规则形状。

在金属熔解时产生的金属氧化物和伴随着化学反应而发生的固体粒子往往具有特定的结晶形态。它们通常都很细，是粒径在1微米以下的微粒。燃油炉排烟和重油气化炉排烟中所含的碳黑，粒径约为0.02微米左右，粒子呈球形。

图1.3是固体粒子的大小和形状的一些实例。

粒子的大小对于收尘装置的设计和性能研究是一个很重要的数据，但是粒子在气体中往往不是以单体的形式存在，有不少是粒子互相凝聚起来而形成较大的二次粒子。

在测定粒子的大小时，如果其形状是球形的，可以取其直径，可是大部分粒子呈不规则形状，这时用什么尺寸来度量其大小就是个问题了。根据不同的测定方法，其大小的定义也必然不同。

在烟雾体中并非只含有大小相同的粒子，而是从极细到很粗的各种不同大小的粒子以不同的比例混合起来的。这种