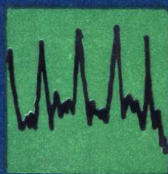


环境污染控制

柴振洪 姜海涛 李冰戈 邓雅莲
徐洪斌 尤月斌 张小萍 编著

中国环境科学出版社



环 境 污 染 控 制

柴振洪 姜海涛 李冰戈 邓雅莲 编著
徐洪斌 尤月斌 张小萍

中国环境科学出版社

1993

(京) 新登字089号

内 容 简 介

本书系统地论述环境污染及其控制方法,包括大气污染的防治、污水的处理、工业噪声的控制技术、固体废弃物的处理和利用,以及电磁辐射、放射性、热、光等物理性污染及其防治技术。

本书可供从事环境保护、劳动保护、市政工程以及卫生防疫等部门的教学、科研、设计和工矿企业工作者以及有关的高等院校师生、工程技术人员使用和参考。

环 境 污 染 控 制

柴 振 洪 姜 海 涛 李 冰 戈 邓 雅 莲 编 著
徐 洪 斌 尤 月 斌 张 小 萍
责 任 编 辑 李 静 华

*

中国环境科学出版社出版
北京崇文区北岗子街8号
北京昌平兴华印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

*

1993年8月第一版 开本 850×1168 1/32
1993年8月第一次印刷 印张 12 1/8
印数 1—3000 字数 326千字

ISBN 7-80093-381-4/X·719

定 价 10.50元

序

包括环境污染控制技术和防治设备在内的我国环境保护产业，在80年代得到了成倍地发展。目前的总产值达到了近四十亿元的规模。环境保护产业的发展，为我国的环境建设、污染防治、环境监测和环境管理与监督，提供了大量的技术手段和物质基础；建成了数以万计的污染防治装置和大批的环境工程，对控制和防治我国的环境污染、改善环境质量起到了重要作用。

十几年的实践证明，我国有能力依靠自己的科技力量，研究、开发、设计并生产防治和控制污染所需要的各种技术与装备，借鉴和吸收国外的先进污染防治技术，设计出成套的污染治理工程。不仅基本上满足了国内的需要，而且有一些污染防治技术和设备已向国外出口，其数量每年都在增加，其中上百种的技术、设备和仪器已达到或接近世界先进水平。虽然就整体水平而言，技术水平尚不够高，在品种、质量、能耗和成本方面还存在着不少问题需要认真地加以解决。

现在，迫切需要对众多的环境工程和污染防治技术的开发成果和丰富的实践经验加以推广总结，使之完善、提高，向更高水平发展，以达到系列化、标准化、成套化的目标。与我国在环境污染防治与控制、环境工程方面的发明创造、专利技术、适用技术、优良设备与仪器等方面丰富多彩的实践相比，我们的经验总结、理论概括和学术著作实在是太少了，很不适应我国整治环境的步伐，满足不了开发、设计、生产、施工以及教学和科研人员的需要。

近些年来，虽然也有些国外关于环境污染防治和控制技术、环境工程一类的著作翻译出版，这是十分需要的，为我国的环境建设、污染防治与控制起到了很好的借鉴和参考作用。但是，国

内的学者和工程技术人员总结我国自己的实践经验，系统地论述污染防治与控制的著作，数量却不多。《环境污染控制》一书的撰写和出版，无疑能推动这方面工作的开展，它将对我国的污染防治技术的发展起到良好作用。

我国的环境污染防治与控制，要走自己的路。研究、开发和总结并逐步形成一套技术先进、质量高超、品种多样、简易轻便、成本低廉，适合经济与社会发展水平的具有中国特点的适用技术，为期将不会很远。

孙嘉绵

1991年11月10日

目 录

第一章 大气污染的防治	(1)
§1.1 规划及工艺改革措施	(1)
§1.2 除尘原理及设备	(6)
§1.3 有害气体的净化	(42)
§1.4 汽车废气的污染控制	(73)
第二章 污水的处理	(89)
§2.1 概述	(89)
§2.2 物理处理法	(103)
§2.3 化学处理法	(123)
§2.4 物理化学处理法	(140)
§2.5 生物处理法	(153)
§2.6 污泥的处理和利用	(189)
第三章 工业噪声的控制技术	(202)
§3.1 噪声控制设计程序和方法	(202)
§3.2 吸声	(204)
§3.3 隔声	(216)
§3.4 隔振与阻尼	(248)
§3.5 消声技术	(261)
第四章 固体废弃物的处理和利用	(298)
§4.1 概述	(298)
§4.2 主要固体废弃物及其用途	(303)
§4.3 固体废弃物的主要处置方法	(308)
§4.4 生活废渣的处理和利用	(313)
第五章 其它物理污染及其防治	(325)
§5.1 电磁辐射污染及其防治	(325)

§5.2	放射性污染及其防治	(337)
§5.3	热污染及其防治	(345)
§5.4	光污染及其防治	(354)
附 录		(355)
1.	工业“三废”排放试行标准(GB J4-73)	(355)
2.	锅炉烟尘排放标准(GB 3841-83)	(358)
3.	汽油车怠速污染物排放标准(GB 3842-83)	(359)
4.	柴油车自由加速烟度排放标准(GB 3843-83)	(359)
5.	污水综合排放标准(GB 8978-88)	(359)
6.	城市区域环境噪声标准(GB 3096-82)	(376)
7.	机动车辆允许噪声标准(GB 1495-79)	(376)
8.	城市区域环境振动标准(GB 10070-88)	(377)
9.	电磁辐射防护规定(GB 8702-88)	(377)
10.	辐射防护规定(GB 8703-88)	(378)

第一章 大气污染的防治

§1.1 规划及工艺改革措施

一、规划措施

1. 全面规划, 合理布局

工业布局的适当与否对大气污染的关系很大。工业基地选址和规划, 要贯彻全面规划, 合理布局, 使工业布局做到“大分散, 小集中”城乡结合, 有利生产, 方便生活。

在城乡规划和选择厂址时, 应充分分析、研究当地地形及气象条件对大气污染物扩散能力的影响, 并综合考虑工厂生产规模和性质, 回收利用技术及净化处理设备的效率等因素, 以作出合理的规划布局。在厂址地形不利时(如两山之间的谷地等), 更应加强对废气的回收利用和净化处理, 尽一切可能减少污染物的排放量; 并在选择居住区用地时, 应尽可能利用一切有利的自然条件(如主导风向), 以保证居住区符合环境卫生要求。

2. 城镇功能分区

根据国家经济建设发展的需要, 在所在地政府的领导下, 统一规划、合理安排、合理布置功能分区。对产生有害气或烟、雾、粉尘、噪声、振动的工业企业, 不得修建在居住区内。居住区内只能修建不污染大气、不产生噪声的工业企业。对旧城镇的改造, 应根据工业生产性质和危害程度, 区别对待, 作出规划, 或改变生产性质, 改革工艺过程, 或加强污染物的回收、综合利用和净化处理, 或搬迁出居住区。

3. 合理布置工业区和居住区的相互位置

在布置城镇工业区与居住区的相互位置时，应考虑当地长期的风向风速观测资料。为减少居住区大气受工业废气的污染，工业区应配置在当地最小频率的风向的上风侧，以减少居住区大气受污染的机会。目前废气的回收和净化处理水平还不能完全消除有害物质，而且在生产过程中还可能由于故障等因素而造成跑、冒、滴、漏，从而使大气受到污染，因此在有可能排放污染物质的工业企业与居住区之间，应有一定的防护距离。

如同时有几个工厂连在一起，或一个工厂同时有几个污染源时，可先根据每个污染源划出卫生防护距离，尔后将各防护距离的外缘连接起来，构成应有的卫生防护地段（缓冲地段）。但这样做往往会遇到一些技术上和经济上的困难，如用地较多、城建费用较高等等。因此，不能孤立地单纯依靠用卫生防护距离的方法来解决居住区的大气污染问题，而是应该结合当地的实际情况，通过工艺改革、采用适宜的烟气净化装置及设置一定宽度的卫生防护距离等手段，因地制宜，使居住区不受污染。

4. 开展绿化

植树造林，绿化祖国，是环境保护的一项重要措施。从大气卫生防护来说，绿化可以增强大气的净化作用和吸声降噪，在一定程度上可以减轻大气污染对人体健康和农业、畜牧业的危害。

绿化布置方法应根据大气受到污染的具体情况不同而异。对有组织地从工厂烟囱排出的污染物，常常在工厂附近上空飘散一段距离，尔后开始下降，所以卫生防护地带的绿化应按图1-1(1)布置。但当工厂主要以无组织排放的形式排放污染物时，污染物沿地面扩散，此时防护地带的绿化应按图1-1(2)布置。但树木的密度不宜过大，以免妨碍气体的扩散。

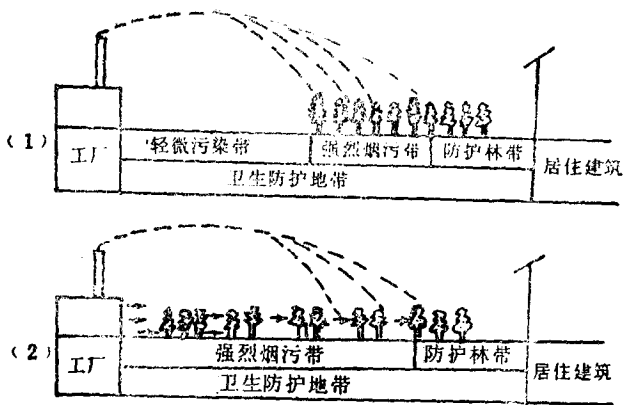


图1-1 卫生防护地带的绿化布置

5. 适当分散设置工业企业

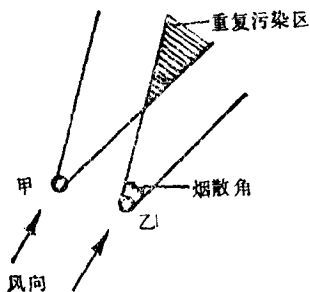


图1-2 烟气的重复污染

适当分散设置工业企业，对降低大气中污染物的浓度有一定的效果。有时单个工厂对大气的污染虽未达到对人有害的浓度，但如将这些工厂集中布置时，由于排放烟气的重叠而使污染浓度增高。由图1-2可以看出：烟气重叠污染与烟散角有关，当烟囱出口处的风速不同时，烟散角也相应地发生改变，如表1-1所示。

表1-1 烟散角与风速的关系

烟囱排出口风速 (米/秒)	1	2	3	4	5
烟散角 (°)	6	14	20	25	30

因此在配置工业区时，要注意防止或减少各工业企业对大气的重复污染。

二、工艺改革措施

改革工艺、减少排污，是防止和消除大气污染的根本性措施。它主要包括以下六个方面。

1. 改革生产工艺

在设计中采用无毒或毒性较小的原料取代毒性大的原料；选用不产生或少产生污染物的生产方法和工艺设备；以污染较少或无污染的产品代替污染严重的产品等等，这是比较积极的防治污染措施。如氯乙烯生产，过去多采用乙炔和氯化氢在氯化汞催化剂条件下，加成反应，改成大量发展乙烯为原料的氧氯化法，从而避免了汞污染，也减少了氯化氢的污染；以甲烷为原料的氯化法制卤化烃，其副产物氯化氢造成污染，而用氧氯化法代替，减少氯化氢污染等等。其它如改进生产过程，改革内燃机的设计等，也可从根本上消除或减轻大气污染源。

2. 生产过程密闭化

有些工业企业在生产过程中，其各种污染物不是经过烟囱或管道排出，而是直接从设备上逸散，无组织排放（无组织排放的废气，有的可达全部排出废气的60%以上），这种无组织散出的污染物，不易被风迅速吹散，而是沿地面缓慢扩散，对工厂附近地区影响很大。因此，生产过程密闭化是减少大气污染的一项重要措施，不仅解决或减轻由此而产生的大气污染，而且还能为从事生产的工人创造较好的劳动条件和工作环境。

3. 燃料的选择和处理

在可能条件下，城市地区应选用含灰分和含硫较少的燃料，

可以明显地减轻煤烟和二氧化硫对大气污染的程度。燃烧前对煤进行筛选，也可除掉一定的灰分和矿渣。尽可能加强洗煤环节除能大大降低灰分外，还可除掉部分无机硫。燃料的形态对大气污染程度有一定的影响，粉煤比块煤散发飞灰多，而块煤灰烬大，多散落在工厂附近，污染范围较小。然而粉煤燃烧效率较高，因此应设法清除燃料的灰分，提高燃烧效率和烟气净化设备的效率。

除使用固体燃料煤之外，还应提倡使用液化石油气等气体燃料，即使家用也能做到不冒黑烟，把液化石油气通过工业化装置使之大量采用，可以有效地防治大气污染。对于重油等液体燃料，国外已广泛使用，但不少重油含硫较高，燃烧时产生的二氧化硫含量较高，将成为主要危害，需加以认真考虑。

4. 改进燃烧过程

合理设计和使用锅炉，加强操作管理，改进燃烧过程，是减少煤烟污染的重要环节；对交通工具而言，改进内燃机的设计，提高燃烧效率，更是减轻大气污染的重要措施。

要作到燃料充分燃烧，必须保证一定的空气量。通常用理论空气量（根据对燃料元素分析、各成分含量，从氧的反应式求得的必需的空气量）使燃料完全燃烧是理想的。若实际空气量少于理论值（即送入炉内空气量不足）或进入炉内的空气温度过低，则火焰不旺，燃烧不充分，产生黑烟或黄褐色烟和由于不完全燃烧的细小煤粒等大量排入大气，造成污染。实际上，按现有燃烧装置和运用的燃烧技术，必须要有大于理论空气量的过剩空气量，才能保证充分燃烧。对于各种不同的燃烧方法和装置，需要不同的多余空气量。“低氧燃烧”是指把烟气中过剩的氧控制在1%以下的燃烧，即以1.01~1.05程度的空气比进行燃烧的方式。这样，空气过剩量很少，火焰温度就会上升，传热效率较高，烟气量少，热损失也小，并可减少烟气的污染。目前大型锅炉烟气中的含氧浓度在1%以下的运转均已普遍，实现了接近理论空气量的

燃烧。当然燃烧过剩的重要因素是促使空气和燃料的充分混合。由于混合不良，有些场合即使空气量足够，也不能充分燃烧而导致黑烟的产生。

5. 增加烟囱高度

烟囱越高，烟气上升力越强，燃料燃烧也较好，污染气体和飞灰可以在离地面较高的大气中扩散，又由于高空风速较大，稀释能力强，因此可使大气污染程度减轻。

国外已使用300米以上的超高烟囱。在超高烟囱排气的情况下，由于烟气上升到较为稳定的高空，可以认为几乎不受逆温层影响，这对烟气扩散、降低着地浓度十分有利。

6. 其它

除上述方法外，开辟新能源，逐步推广水力发电，太阳能发电、潮汐发电以及原子能发电，也是今后改善大气污染的重要途径。

§1.2 除尘原理及设备

一、概 述

悬浮在大气中的粉尘颗粒超过一定含量就会毒化环境。大气被飘尘和煤烟严重污染时，透明度降低，能见度缩小，而煤烟中含有的致癌剂苯并（a）芘，二氧化硅粉尘会引起肺部病变等，说明粉尘对人体有直接的危害作用。因此，对于从污染源排放出来的粉尘的控制与防治，是大气环境工程的重要内容之一。

对粉尘的控制与防治，除加强规划管理，开展绿化；改革生产工艺、使生产过程密闭化、自动化；以及改进通风技术，采取防护罩等具体措施外，各工业企业还必须用适当的除尘技术，对悬浮在气体中的粉尘进行捕集分离。

1. 粉尘的定义

粉尘是一个通俗、笼统的称呼，严格地说应称为粒状物质。在标准状态下，它可包括固体和液体的粒子，具体分为以下三类：

(1) 粉尘 (dust) —— 是固体物质在破碎、研磨、爆破等机械过程中产生的粉粒。其形状不规则，粒度范围广，多在 1 微米以上，大的可达 100~200 微米。

(2) 烟尘 (fume) —— 是由物体燃烧、蒸馏过程或化学反应等化工过程中产生的固体微粒。一般在 1 微米以下，在煤烟中也可能含有超过 1 微米的飞灰或烟炱薄片。

(3) 烟雾、水雾 (mist) —— 是由液体机械分裂、蒸气凝结或化学反应产生的液体粒子。大小约 1~10 微米，均呈球形。

本节讨论的除尘处理主要是指烟囱排放废气中的煤尘、烟尘等，为简便起见，仍通称为粉尘。

2. 粉尘粒子和气体的性质

(1) 粉尘粒子的特性参数，如粒子大小、形状、粒径分布等。

(2) 比重和容重

粉尘有固体的比重和作为集合体、堆集填充时的容重。比重对重力、惯性力、离心力除尘的除尘效率有很大影响；容重则与粉尘在除尘器内的再飞散有关。

粉尘空隙的空间体积与包括粒子在内的总体积之比，称为空隙率，用 ε 表示，则密度 γ_p 与容重 γ_b 之间有如下关系：

$$\gamma_b = (1 - \varepsilon)\gamma_p \quad (1-1)$$

(3) 物理化学性质

粘附性—— 粒子附着在固体表面上或尘粉之间彼此相互附着（又称自附）的性能。前者往往会造成除尘设备的机能故障或管路闭塞；后者由于尘粒逐渐粗大，有利于沉降，可提高除尘效率。粘附现象是由各种不同性质的力引起的，如范德华力、静电力以及在粒子和物体表面之间空隙内存在弯液面时出现的毛细力综合

作用的结果，其中水分的影响很大。

比表面积——每单位质量粉尘的表面积（简称比面）。微细尘粒的重要特性之一是比面大。当微粒粒度减小时，比面迅速增加。物料的物理、化学性质实质上多与其表面积有很大关系，细粒子常常表现出显著的物理化学活性，如氧化、溶解、蒸发、吸附、催化以及生理效应等均因细粒子的比面大而被加速。有些灰尘的爆炸危险性和毒性随其粒度的减小而增加，其原因即在于此。

比电阻——一平方厘米的圆盘自然堆至一厘米高，沿高度方向测得的电阻值，单位为欧姆·厘米。电除尘器的性能，在很大程度上取决于粉尘的比电阻值的大小。而各种物质的电阻与其长度成正比，与其横截面积成反比，且和温度有关。

其它粒子性质，如吸湿性（包括结合成块趋势）、可燃性、毒性、腐蚀性等等，对除尘操作均各有一定的影响。

除尘操作的对象是含尘气体。对于携尘粒子的气体（又称运载介质）的特性，如温度、压力、流量、成分、密度、粘度、湿度（含水量）、可凝结合化合物的露点、电导率、腐蚀性、可燃性、毒性等特性必须有所了解。如测定粉尘浓度时，一定要测定气体的温度、压力、流量、比重和含水量。气体温度对除尘操作影响较大。由于温度提高，气体粘度系数变大，重力、惯性力、离心力除尘设备的效率降低；过滤除尘器也因滤布材质的限制，最高的温度使用极限为300℃；气体温度对煤尘的比电阻影响很大，对电除尘操作密切相关。另外露点对干式除尘时的粉尘粘附、堵灰等带来不少问题，对袋式除尘器的清灰操作带来困难，故有必要使除尘设备在露点以上进行运转。

3. 除尘器性能

- ①处理气体的流量；
- ②除尘器的压力损失；
- ③除尘效率；
- ④设备基建投资与运转管理费用；

⑤使用寿命；

⑥占地面积或占用空间体积。

前三项属于技术性能，加上粉尘粒子浓度(用重量浓度“克/米³(标)”表示)净化后产品质量等项，为除尘过程的工艺参数；后三项属于经济指标，加上操作温度、压力、必要的防护措施等项，为除尘过程的操作因素。

一般认为，压力损失(阻力)和除尘效率，则是除尘器的最主要性能。

(1) 除尘器的压力损失

除尘器的压力损失 ΔP (又称阻力)，是指在除尘设备内失去的压力，即流体流经除尘器消耗掉的机械能。在除尘设备内运送处理气体所具有的机械能，由于受到靠近装置内壁的摩擦、折流、合流、扩散时产生涡流作用而转换成热能。由于这些因素的作用引起的压力损失，一般在几十至几百个毫米水柱*。

(2) 除尘效率

除尘器的除尘效率，又称除尘器的捕集分离效率(集尘率)，用除尘器的捕集分离的污染量与进入除尘器的污染量之比来表示。最普通而简单的是用粉尘的质量流量为基准计算除尘效率。 m_0 表示经除尘器所捕集分离出来的粉尘质量流量(克/米³(标))， m_1 、 m_2 分别为入口及出口的全断面平均粉尘浓度(克/米³(标))，则除尘器的质量除尘效率 η_m ：

$$\eta_m = \frac{m_0}{m_1} \times 100(\%) \quad (1-2)$$

$$\text{因 } m_1 = m_0 + m_2,$$

$$\eta_m = \frac{m_0}{m_0 + m_2} \times 100(\%) \quad (1-3)$$

$$\text{或 } \eta_m = \left(1 - \frac{m_2}{m_1} \right) \times 100(\%) \quad (1-4)$$

上述效率又称为除尘器的总除尘率，通常可以说明除尘器的

* 1毫米水柱=1mmH₂O=9.8Pa(以下同)。

捕集分离性能。但在粉尘颗粒密度一定的情况下，除尘效率的高低与颗粒大小的分散度有密切的关系。一般，粒径愈大，除尘效率也愈高。因此，单独用总除尘率来描述某一除尘器的捕集分离性能是十分不够的，还必须对不同大小的颗粒的除尘效率进行了解。这种不同大小颗粒的除尘效率称为分级除尘效率，或粒级除尘效率。

分级除尘效率常用各种粒径的粉尘代入式(1-4)所得到的效率 $\Delta\eta(d_r)$ 来表示，即

$$\Delta\eta(d_r) = \left(1 - \frac{m'_2}{m'_1}\right) \times 100(\%) \quad (1-5)$$

式中 m'_1 、 m'_2 为入口和出口处的全部断面粒径为 d_r 的粉尘的平均浓度(克/米³(标))。

有时需要把除尘器组装在一起进行含尘气体的除尘操作。若相同类型结构尺寸相同的除尘器并联以满足大的气体处理量时，其总除尘效率及分级除尘效率的计算与单个除尘器工作并没有不同，只要把处理气体流量 Q 被并联数目 n 去除，得出 Q/n 作为单个除尘器的处理气体流量就行，但要考虑气体流量的均匀分配问题。若需要把不同类型的除尘器串联在一起工作，则就有把串联起来的除尘器作为整个除尘器的除尘效率问题，这种除尘效率称综合除尘效率，并以 η_z 表示，则

$$\eta_z = \eta_1 + \eta_2(1 - \eta_1) \quad (1-6)$$

式中 η_z ——综合除尘效率；

η_1 ——第一级除尘器的除尘效率；

η_2 ——第二级除尘器的除尘效率。

4. 除尘设备的分类及比较

捕集分离气体中粉尘的方法称为除尘，其装置则称除尘设备。

除尘设备按照捕集粉尘方式中无液体参加作用，可分为干式和湿式两大类。按作用于除尘设备的外力或作用机理，又可分为以下六类：