

工业污染治理技术丛书

• 废气卷

电力工业 废气治理

国家环境保护局

中国环境科学出版社



工业污染治理技术丛书

废 气 卷

电力工业废气治理

国家环境保护局

中国环境科学出版社

1 9 9 3

(京)新登字089号

工业污染治理技术丛书

废气卷

电力工业废气治理

国家环境保护局

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

三河宏达印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1993年3月第一版 开本 850×1168 1/32

1993年3月第一次印刷 印张 73/4

印数 1—^{500(精)}
5000(平) 字数 312千字

ISBN 7-80093-178-1/X·690

定价 6.50 元(平)

11.00 元(精)

《工业污染治理技术丛书》编辑委员会

顾问 曲格平

主任委员 陶葆楷

副主任委员 臧玉祥(责任) 鲍 强

岩 流 叶奕森 张崇华

委 员 (按姓氏笔画为序)

王文兴 王育文 井文涌

石 青 朱荣胄 刘均一

刘成琴 刘兴华 来 禄

严兴忠 李国鼎 李思宇

李学群 李献文 杨传芳

桂壁君 林尤文 苗润生

孟承嘉 张淑群 张如彦

殷德洪 郭秀兰 龚铭祖

舒惠芬 阎鸿炳 雍永智

潘文燧 魏宗华

《工业废气治理技术卷》编辑委员会

主 编 严兴忠 王文兴

编 委 (按姓氏笔画为序)

林 宏 林尤文 张淑群

殷德洪 舒惠芬 雍永智

魏宗华

《电力工业废气治理》分册编委会

主 编 胡健民
成 员 杨会谷 徐正中 毛专建
陈以理 陈国桀 李炳寰

序

我国的工业污染在环境污染中占70%。随着工业生产的迅速发展，工业污染的治理工作越来越引起人们的广泛注意。

我国对工业污染的治理十分重视，从1973年建立环境保护机构起，各级环境保护部门就积极开展工业“三废”的治理和综合利用。10几年来，国家在工业污染治理方面进行了大量投资，建设了大批治理污染的设施，也取得了比较明显的环境效益。然而，我国工业污染治理的发展远远落后于工业生产的发展。到目前为止，我国工业污染的治理率还很低，工业废水治理率仅20%，工业废气治理率为56%，工业废渣治理率为50%。因此，解决我国工业污染的任务还相当艰巨。

进行工业污染的治理，需要有一系列行之有效的治理技术。我国很多工业企业就是因为找不到比较适合的治理技术，影响到治理设施迟迟不能上马；已经上了治理设施的，也有不少企业因治理技术不过关，结果消耗了物力而见不到环境效益。因此，加强对工业污染治理技术的开发和研究，特别是加强工业污染治理技术的信息交流，让那些行之有效的治理技术尽快传播，以便发挥更大的作用，这在当前是十分重要的。

《工业污染治理技术丛书》从我国经济建设的需要出发，对我国工业生产中大量治理污染的实例进行了系统的技术性的总结，把经过实践检验证明是行之有效的各种典型的治理技术汇编于书中，其目的就在于给我国从事工业污染治理和关心工业污染治理的广大环境科技工作者提供大量的可靠的技术信息。

《工业污染治理技术丛书》对我国老工业企业进行技术改造，解决环境污染问题，对新建工业企业实行“三同时”以及蓬勃兴起的大量乡镇企业开展污染治理是一套难得的技术资料。有了

它。工业企业可以很方便地从其中所提供的大量技术信息中找到比较适合的治理技术，可以避免到处调研，浪费大量的人力和物力。

《工业污染治理技术丛书》对各级环境保护部门从事环境管理和工业污染源监督，制定环境保护技术政策、工业污染源的排放标准以及区域环境污染综合防治规划等，也有重要的参考价值，不难想象，这套丛书对我国从事环境教学和环保科研工作的科技工作者也将是十分重要的参考书。

总结我国工业污染治理的经验并使其推而广之，这是我国广大环保科技工作者多年来的愿望。《工业污染治理技术丛书》编辑委员会的同志们为这项工作做出了巨大的努力，他们的工作是卓有成效的。

我们的国家正处在一个飞跃发展的时代，科学技术是推动这个时代发展的原动力，新的科技成果层出不穷，工业污染治理技术的发展更是这样。因此，我国应该不断地总结，不断地充实，以便通过交流，让我国工业污染治理技术的发展跟上工业生产发展的要求。

曲格平

1988年6月30日

编 者 的 话

《工业污染治理技术丛书》是由工业废水治理卷、工业废气治理卷、工业固体废物治理卷、工业噪声治理卷和工业放射性污染治理卷五部分组成。各卷按行业又分若干分册。

《工业污染治理技术丛书》是一部总结性的实用技术丛书。它的内容主要是介绍我国各种工业生产中治理污染的典型实例。在丛书的每一分册中，都收集了大量的用不同工艺流程治理各种污染物的实例。这些实例，多是从连续运转时间一般在两年以上的、性质相似、治理工艺类同的若干实例中，根据技术可靠、经济合理、环境效益比较显著的原则筛选出来的。对每一实例，从污染源的情况、治理工艺、设计和运行参数、主要设备型号和构筑物的尺寸、运行情况、投资及效益情况等都比较详细的介绍。为了使读者对工业污染治理技术的状况有一个全面的了解，丛书还对工业废水、废气、固体废物、噪声和放射性污染治理概况分卷加以介绍，作为总论放在各卷每一分册的前面；并在每一分册的第一章和每一产品类型实例前，就全行业和每一产品类型的污染治理的技术现状进行了概述和评价。

《工业污染治理技术丛书》是为适应我国当前所面临的大量工业污染治理工作的需要而编写的，也可为我国各级环保管理部门实行有效的环境管理和监督提供科学依据。

《工业污染治理技术丛书》是在国家环境保护局的组织下，动员全国各工业部门的广大环保科技工作者和环境保护专家共同编写的。在编写过程中，得到了各工业主管部门和清华大学等单位的大力支持。在此，谨向为这套丛书的出版作出过贡献的单位和所有科技工作者表示衷心的感谢！

由于这类丛书的编写和出版还是第一次，经验不足，错误

之处，敬请读者指正。

《工业污染治理技术丛书》编辑委员会

1988年6月22日

工业废气治理技术总论

我国的大气环境污染是与工业生产的发展同时产生的。自70年代以来我国借鉴了工业发达国家的经验教训，加强了工业废气治理与管理，在工业高速发展的情况下，大气环境质量近几年来没有进一步严重恶化，但是我国城市大气环境质量远没有达到国家大气环境质量标准，我国面临的全球环境保护任务越来越紧迫，为了在本世纪末实现我国的现代化建设目标，使工业发展与环境保护同步前进，做到在工业高速发展的同时，创造一个清洁优美的大气环境，改革工艺，积极治理工业废气，防治大气污染是一项刻不容缓的任务。

一、工业废气的含义与分类

从各种工业生产及其有关过程中排放的含有污染物质的气体，统称为工业废气。其中包括直接从生产装置中物料经过化学、物理和生物化学过程排放的气体。也包括间接的与生产过程有关的燃料燃烧、物料储存、装卸等作业散发的含有污染物质的气体。

为了选择合理的废气治理技术路线，必须了解废气的种类、排放量、化学组成和排放特征。

通常，按工业生产行业和产品门类对工业废气进行分类。例如按行业分为钢铁工业废气、化工废气、电力工业废气和建材工业废气等，以及按产品门类分为焦炉废气、硫酸废气、火电厂废气等。本丛书废气治理卷即按此分类法编写各分册。

工业废气中含有的污染物是各种各样的，按其存在的状态可分为两大类：一类是气态物质，另一类是存在于气体中而形成气溶胶的颗粒物。在许多情况下，废气中既含有气态污染物，又含有

颗粒物，例如燃料燃烧废气。

气态污染物在化学上可分为两大类，一类是有机污染气体，另一类是无机污染气体。有机污染气体主要包括各种烃类、醇类、醛类、酸类、酮类和胺类等；无机污染气体主要包括硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、卤素及其化合物等。气态污染物也可按其化学特性分为可燃性气体，不燃性气体；水溶性气体，难溶性气体；放射性气体，非放射性气体等。

颗粒物在化学上也可分为两大类，一类是有机颗粒物，如蒽、萘等多环芳烃、油类颗粒物等。另一类是无机颗粒物，如矿物尘、金属及其氧化物粉尘等。有些颗粒物，既含有机物，又含无机物。也可以按其物理化学特性分为易燃易爆性粉尘，普通粉尘；亲水性粉尘，疏水性粉尘，放射性粉尘，非放射性粉尘；高比电阻粉尘，低比电阻粉尘等。颗粒物还可以按其形成的过程不同进行分类，第一类是固体物料经过机械性撞击、研磨、碾轧、粉碎而形成的粉尘；第二类是煤、石油等燃料燃烧产生的烟尘；第三类是物料通过各种化学或物理化学过程产生的微细颗粒物等。

颗粒物的粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的称为粗颗粒，小于 $10\mu\text{m}$ 的称为细颗粒。细颗粒能长期悬浮在大气中而不沉降，故也称为飘尘。

有一些气体，例如 CO_2 、氯氟烃类等，过去并不视为有害物质加以控制，最近的研究发现，它们在全球气候变化中产生重大影响，有的能增高大气的温度，有的对 O_3 层中的 O_3 起破坏作用，现在也作为重要的污染限制排放。

二、我国工业废气污染与治理现状

大气污染是我国目前最突出的环境问题之一。它已给人体健康带来了严重危害，对国民经济造成了巨大损失。工业废气是大气污染物的重要来源。

(一) 我国工业废气污染现状

我国大气污染物的排放量很大，以颗粒物和二氧化硫为例，

1985年以来全国每年约排放颗粒物2300万t, 二氧化硫1500万t。在颗粒物中有73%来自煤的燃烧, 达1679万t, 在燃煤中, 电厂为700万t, 工业锅炉为620万t, 工业炉窑为150万t, 铁路蒸汽机为104万t, 生活民用煤燃烧排放为120万t。在颗粒物中, 水泥和冶金工业的工业粉尘分别约为500万t和100万t。年排放二氧化硫1500万t中, 煤的燃烧占90%, 为1350万t, 其他工业过程排放150万t, 占10%。

据全国统计和监测, 1989年烟尘排放量为1398万t, 二氧化硫排放量为1564万t。全国城市总悬浮微粒年日均值的平均值为 $432\mu\text{g}/\text{m}^3$, 北方城市为 $526\mu\text{g}/\text{m}^3$, 南方城市为 $318\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 SO_2 年日均值的平均值为 $105\mu\text{g}/\text{m}^3$, 北方城市为 $93\mu\text{g}/\text{m}^3$, 南方城市为 $119\mu\text{g}/\text{m}^3$, 酸雨区面积日益扩大。

我国 CO_2 的排放量(以碳计)增长迅速, 1985年为56亿t, 1988年已达到6.1亿t, 预测2000年将9~10亿t。

由于我国工业分布不合理, 多集中在城市, 造成一些地区大气污染严重。根据1985年全国监测数据, 大气中二氧化硫, 氮氧化物、飘尘和降尘四项大气质量指标年日均值, 除氮氧化物仅在兰州、哈尔滨、重庆存在不同程度的超过国家大气质量标准外, 其余三项指标在监测的城市中都超过标准。这三项污染物超标严重的有太原、沈阳、重庆等城市。这些城市也是世界上大气污染最严重的城市。

我国城市大气污染的严重性主要表现在以下几方面。

①二氧化硫污染。这是我国城市大气污染的普遍性问题。根据国家环保局1989年中国环境状况公报, 全国城市二氧化硫年日均值的平均值为 $105\mu\text{g}/\text{m}^3$, 南方和北方城市的年日平均浓度分别为119和 $193\mu\text{g}/\text{m}^3$, 均超过国家大气质量二级标准。与国外相比, 重庆市二氧化硫浓度是国外污染严重的德黑兰、布拉格、圣地亚哥等城市的1.9~2.3倍、是巴黎、东京和纽约等城市的5~6倍。

②飘尘污染。这是我国城市大气污染的另一普遍性问题。根据国家环保局1989年中国环境状况公报, 全国城市总悬浮微粒年

日均值的平均值为 $432\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，北方和南方城市颗粒物年日平均浓度分别达到 526 和 $318\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。北方城市 100% 超标，南方城市大部分超标。

③有机物污染和光化学氧化剂污染。我国一些城市受到来自汽车尾气、石油和石油化工废气的污染。同时也可能产生光化学氧化剂污染。兰州西固地区烃类污染严重，这些烃类主要来自该地区的炼油厂和石油化工厂，非甲烷烃浓度一般达到 $3\sim 4\text{ppm}$ ，最高曾超过 10ppm 。烃类是二次污染物光化学氧化剂的前体物之一。因此在西固地区夏季常出现 O_3 超标现象，严重时就发生了光化学烟雾。

近年来对流层，特别是近地面 O_3 对农作物、森林的严重破坏作用，已引起科学家的关注。

其他不少地区还存在着与该地区工业生产相关的大气污染。如包头等城市的氟污染就很严重。

(二) 工业废气的污染危害

大量的工业废气排入大气，必然使大气环境质量下降，给人类带来健康危害和经济损失。这种危害和损失的程度决定于大气污染物的性质、浓度和滞留时间。

工业废气造成的危害表现在以下五个方面，即人体健康危害、居民生活费增加、物质材料破坏、农林水产损失以及全球环境影响。

①人体健康危害。工业废气污染对人体健康危害包括急性和慢性两方面。急性危害一般常出现在工业区及其附近地区。慢性危害是大气污染物直接或间接的长期作用下对人体健康机能造成的危害。这种危害短期表现不明显，不容易觉察。据我国十个城市统计，呼吸道疾病的患病率和检出率，工业重污染区为 $30\sim 70\%$ ，而轻污染区只有它的一半。

②居民生活费用增加。大气污染造成的居民生活费用增加，包括家庭清扫、洗涤和生活物质损坏三方面，据1985年估算，每年全国损失达16亿元。

⑤物质材料破坏。排到大气中的二氧化硫、氮氧化物、各种有机物等不仅直接腐蚀建筑物、桥梁、各种机器和设备，而且衍生的二次污染物光化学氧化剂，酸雨等污染物能对这些物质材料产生更大的破坏作用。据近年调查，南京和重庆的大气环境相似，但重庆与南京相比，大气中二氧化硫的浓度和降水的酸度重庆要高得多，所以重庆暴露在室外的金属材料 and 建筑物的腐蚀速度要快得多。南京这些材料和建筑物的维修周期要长1~5倍。

④农业森林水产损失。大气污染物对我国农业、森林、水产也造成严重的危害。其中特别是农业和森林受害最大。大气污染导致农业减产、林木衰败。据1985年估算，仅SO₂和氟污染这两项，全国每年约损失20亿元。

⑤全球大气环境影响。工业废气中的污染物不仅能污染低层大气，对人体健康、农业、森林和物质材料造成危害，而且能对上层大气产生影响，形成酸雨、破坏臭氧层、升高气温等区域性、全球性重大环境问题，可能给人类带来更严重的危害和灾难。

（三）我国工业废气治理现状

近10年来，我国工业结合技术改造、工业调整、开发综合利用，新技术、新工艺和新设备、工业废气的治理取得了显著成就。一些地区的工业废气污染受到控制或缓解。在我国工业产值和能源消耗大幅度增长的情况下，工业废气排放量基本上维持在80年代初期的水平。例如1985年与1980年相比，工业产值增长了85%，煤碳消耗量增长了34%，大气中工业粉尘的排放量由1981年的3222万t降到1985年的1282万t。与此同时，废气中烟尘的排放总量也没有明显的增加，万元产值排放量大幅度下降。

①严格执行三同时，控制新污染源。近年来工业建设中环境保护设施与主体工程同时设计、同时投产执行率逐年提高，新建企业的废气排放受到较严格的控制，根据国家“六五”期间的部分大中型443个项目检查表明，三同时执行率达到84%，而在国家“五五”期间，只达到53%。

新建企业由于执行“三同时”规定，一批大型骨干工程废气排放控制达到了国际先进水平。宝山钢铁总厂、一些大型化肥厂和石油化工厂等废气排放都达到了国际同类企业的先进水平。

②限期治理重点工业污染源。过去10年间，国家和地方对一些污染严重的企业单位采取了限期治理的措施，收到了良好的效果。1978年国家下达的167个重点污染企业限期治理项目277个，1985年已基本完成。各地区各部门自1981年至1985年共安排了限期治理项目一万多个，绝大部分都已完成，其中废气处理能力达2.7亿万米³(标)/时。

③开发一批新技术，控制废气污染。工业发展依靠科学技术进步，废气污染防治也要依靠科学技术进步。我国在开发新工艺、新技术和新设备方面取得了不少高水平的成果。冶金工业方面攻克了烧结机头机尾、平炉和电炉烟气净化等技术，化工方面完成了改进碱吸收法处理硝酸尾气的研究，取得了明显的环境效益和经济效益。已基本上掌握了硫酸尾气二氧化硫的污染控制技术，电力工业攻克了劣质煤燃烧收尘技术，大大减少了电厂烟尘对大气的污染。在煤的燃烧方面，开发了型煤燃烧等技术。

工业废气污染往往是能源和资源的浪费造成的，近年来全国开展了废气资源化研究，取得较大的进展。化工部门利用磷肥含氟尾气生产氟化铝和冰晶石的技术，既解决了氟污染，又回收了资源。

高效净化和处理设备的开发也有较大的进展。冶金、建材、电力、机械等工业部门都分别开发了高效大型板式电除尘器沸腾床颗粒层除尘器和袋式除尘器。机械工业方面开发了水平往复炉排，石油化工部门完成了轻质油密闭装车油气回收装置。对各种工业窑炉的改造进行了大量工作。这些新设备、新技术显著地提高了废气的治理效率。

④建成一批废气治理示范工程。针对我国量大面广的大气污染物颗粒物和二氧化硫，建设了一批示范性工程。如冶金工业的唐山钢铁公司烧结机头电除尘工程和上钢三厂转炉煤气回收工

程。有色金属工业建成了沈阳冶炼厂等回收硫、制造硫酸工程都取得很好效果的装置。

(四) 工业废气治理存在的问题

我国工业废气治理虽然取得了很大的进展,但由于我国工业生产技术落后,很大一部分工业企业还处于世界五六十年代的水平,同时我国经济力量小,不能提供足够的资金用于工业废气的治理,因此随着工业生产的迅速发展,我国工业废气的治理任务仍很艰巨。

①工业生产技术落后。我国工业除一小部分新建和扩建企业达到80年代世界水平外,大部分老企业的生产技术落后,设备陈旧,以致能耗大,原材料消耗多,废气排放量大。我国主要耗能工业的单位产品能耗比国外先进水平高很多,与工业能源利用率最高的日本相比,单位产品吨钢的能耗高90%,水泥高70%,电力高30%。这意味着我国要多用成倍的燃料,排出更多的废气。我国的工业锅炉平均热效率只有55%,比工业发达国家低15~20%。

②工业有害气体处理率低。据统计,1989年全国燃料燃烧废气排放量为57613亿 m^3 ,经过消烟除尘的为40378亿 m^3 ,废气中其他有害气体,如 SO_2 和 NO_x 基本上未加处理。工业生产工艺过程中排放的废气量为25452亿 m^3 ,经过净化处理的废气量为14583亿 m^3 ,只占57%。

工业粉尘回收率近几年来有很大的提高,但总的来说,也只有50%左右。

③废气治理设施运转率低、效果差。有不少废气治理设施由于各种原因不能正常运转,开工率低,甚至搁置不用。

④乡镇企业缺乏规划与管理。我国乡镇企业近年来飞速发展,给国民经济发展带来了活力。但多数乡镇企业规模小,生产技术落后,设备简陋,能源和原料消耗高,如小硫磺、小水泥、小土焦、小化肥等对周围大气污染严重。

三、我国工业废气治理的发展方向

根据国家环境保护技术政策和我国工业废气排放状况，我国工业废气治理的发展方向是：研究和推广新技术，积极改造落后的生产工艺和技术装备，扩大资源的综合利用，实现废气的资源化 and 无害化。这是有效地控制工业废气污染的根本途径。

(一) 研究和推广新技术，改造旧工艺

我国许多工业生产技术落后，设备陈旧，原料和能源消耗高，废气排放量大，必须研究和推广新技术，改造旧工艺。

研制和推广节能高效少污染的新型锅炉，改进工业窑炉的结构和燃烧技术，提高工业窑炉的热效率。分期分批地淘汰并报废现有的耗煤高、热效率低、污染严重的锅炉和工业窑炉。

我国硫酸工业排放的 SO_2 污染严重。应逐步推广两次转化、两次吸收的工艺，提高转化率，减少二氧化硫的排放。

开发和推广有机气体催化净化的方法。这种技术适用于处理含烃类、酚、醛、酮等有机废气，也可以用于处理恶臭气体。

(二) 开展综合利用，减少工业废气排放量

研究和推广资源的综合利用在我国大有前途，各行各业都应给予高度重视，如开发煤硫共生矿的分选技术，提高煤质和回收硫资源；高硫煤矸石回收硫精矿；发展和推广有色金属冶炼新工艺，提高烟气中二氧化硫的浓度，回收硫资源；改善天然气的脱硫技术，回收硫资源；研究和发展火电厂和钢铁烧结烟气的硫资源回收技术；炼焦炉、合成氨厂、城市煤气厂等以煤为原料的生产装置，应开发和完善脱硫技术，建立硫回收装置等，通过这些措施，回收硫资源解决我国的硫资源短缺、大气硫污染和酸雨危害问题。

积极推广磷肥厂含氟废气制冰晶石、氟化铝等技术。炼铝工业要优先利用回收的氟盐为原料，发展从金属矿中分离砷的技术，回收砷资源，研究含砷制品的合理利用。

(三) 采用燃煤新技术，减少污染物排放量