

晋中市环境保护 与污染防治

◎张爱华 编著

山西出版集团
山西人民出版社

晋中市环境保护

与污染防治

◎张爱华 编著



山西出版集团
山西人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

晋中市环境保护与污染防治 / 张爱华编著. —太原: 山西人民出版社, 2007. 8

ISBN 978 - 7 - 203 - 05888 - 5

I. 晋... II. 张... III. ①环境保护—研究—晋中市②环境污染—污染防治③研究—晋中市 IV. X322.253 X508.253

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 130019 号

晋中市环境保护与污染防治

编 著: 张爱华

责任编辑: 莫晓东

出 版 者: 山西出版集团·山西人民出版社

地 址: 太原市建设南路 21 号

邮 编: 030012

电 话: 0351 - 4922220 (发行中心)

0351 - 4922208 (综合办)

E - mail: fxzx@sxskcb.com

web@sxskcb.com

Renmshb@sxskcb.com

网 址: www.sxskcb.com

经 销 者: 山西出版集团·山西人民出版社

承 印 者: 山西出版集团·山西新华印业有限公司美术印刷分公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/32

印 张: 6.25

字 数: 140 千字

印 数: 1 - 1000 册

版 次: 2007 年 8 月 第 1 版

印 次: 2007 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 203 - 05888 - 5

定 价: 12.00 元

前 言

近年来，虽然我国大气污染防治工作取得了很大的成效，但由于各种原因，我国大气环境面临的形势仍然非常严峻。大气污染物排放总量居高不下。现在，全国二氧化硫年排放量高达 1857 万吨，烟尘 1159 万吨，工业粉尘 1175 万吨，大气污染仍然十分严重。全国大多数城市的大气环境质量超过国家规定的标准。全国 47 个重点城市中，约 70% 以上的城市大气环境质量达不到国家规定的二级标准；参加环境统计的 338 个城市中，137 个城市空气环境质量超过国家三级标准，占统计城市的 40%，属于严重污染型城市。酸雨区污染日益突出。酸雨区由 20 世纪 80 年代的西南局部地区发展到现在的西南、华南、华中和华东 4 个大面积区，酸雨覆盖面积已占国土面积的 30% 以上。我国已成为继欧洲、北美之后的世界第三大重酸雨区。

据预算，21 世纪上半叶，我国能源开发、利用和消费将会有个较大幅度的增长，而我国能源资源的特点和经济发展水平，决定了以煤为主的能源结构将长期存在。因此，控制煤烟型大气污染将会长期成为我国大气污染控制领域的主要任务。

晋中市位于山西省中部，东依太行山，西傍汾河水，北与省会太原市毗邻。全市总面积约 1.64 万平方公里，总人口 302 万，其中农业人口 205 万。晋中市地下资源丰富，尤其是煤的储量大、分布广、种类全、质量优。已探明的煤储量为 200 亿吨，约占全省的 1/10。品种有气煤、焦煤、无烟

煤、肥煤、瘦煤、贫煤 6 种，且煤层厚，埋藏浅，是全国十大能源基地之一。由于晋中市能源以煤炭为主，因而煤炭燃烧产生的污染比较严重。我们对晋中市尤其是榆次区大气中主要污染物、地表水、地下水污染及水资源情况进行了分析，旨在为当地政府防治污染提供一些依据。因此，在参阅了大量相关书刊和论文，并结合作者部分研究成果的基础上，撰写了本书。

全书共分七章：第一章介绍了我国大气污染的现状；第二章对晋中市（榆次区） SO_2 污染进行了分析；第三章、第四章是晋中市（榆次区）总悬浮颗粒污染物及氮氧化物污染物的分析研究；第五章介绍了水污染及其防治的方法；第六章对晋中市水污染情况进行了分析；第七章介绍了晋中市的蓝天碧水工程。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免有错误和不足之处，欢迎大家批评指正。

作 者

2007 年 6 月

目 录

第一章 我国大气污染现状·····	(1)
1.1 大气的成份·····	(1)
1.2 大气中的主要污染物·····	(2)
1.3 我国大气污染状况·····	(11)
1.4 我国大气污染严重的原因·····	(18)
1.5 采取的对策措施·····	(22)
第二章 晋中市(榆次区)SO ₂ 污染分析·····	(26)
2.1 榆次区概况·····	(26)
2.2 榆次区SO ₂ 污染的研究·····	(31)
2.3 SO ₂ 污染的危害·····	(45)
2.4 SO ₂ 污染的治理及防治对策·····	(56)
第三章 晋中市(榆次区)总悬浮颗粒物污染·····	(65)
3.1 榆次区空气中颗粒污染物状况及污染现状 ·····	(66)
3.2 总悬浮颗粒污染物的危害·····	(70)
3.3 总悬浮颗粒污染物的治理及防治对策·····	(74)
第四章 晋中市(榆次区)氮氧化污染物的分析·····	(83)
4.1 氮氧化污染物的产生·····	(83)
4.2 榆次区氮氧化污染物污染现状·····	(86)
4.3 氮氧化污染物的危害·····	(88)

4.4	氮氧化污染物的治理及防治对策	(93)
第五章	水污染及其防治	(99)
5.1	自然界的水体及其溶解物质	(100)
5.2	水体的主要污染源	(105)
5.3	水体中主要污染物	(113)
5.4	水体中污染物的危害	(119)
5.5	水污染的治理	(125)
第六章	晋中市水污染分析	(139)
6.1	晋中市城区(榆次区)水资源现状	(139)
6.2	晋中市地表水污染现状	(154)
6.3	晋中市地表水污染严重的原因	(159)
6.4	晋中市水污染防治对策	(161)
第七章	晋中市蓝天碧水工程	(164)
7.1	什么是蓝天碧水工程	(164)
7.2	晋中市蓝天碧水工程的背景	(166)
7.3	晋中市蓝天碧水工程的目标	(171)
7.4	晋中市实现蓝天碧水工程的保障措施	(185)
附录1	晋中各县(区、市)二氧化硫总量控制分年度 计划表	(188)
附录2	晋中各县(区、市)化学需氧量总量控制分年度计 划表	(189)
参考文献		(190)

第一章 我国大气污染现状

1.1 大气的成分

地球的大气由地面向上扩展至高空。按大气垂直方向有各种分层方法，通常根据大气中温度随高度垂直分布的特征划分为对流层、平流层、中间层、热成层和外大气层等（如图 1-1），主要天气现象多发生在对流层内。

在 120 公里以下的高空中，大气的主要成分为：氮分子占 78.00% (N_2) 和氧分子占 (O_2) 20.25% 的均匀混合体，占 0.93% 的氩 (Ar) 与 0.03% 的二氧化碳 (CO_2)。其次的组成元素（按含量的递减而排列）为氦、氖、氫、氫、氫、氯、氧化亚氮、臭氧、二氧化硫、二氧化氮、氨、一氧化氮及碘。二氧化碳及臭氧在大气中的含量虽然很少，但它们却是大气中之重要成分，因

为二氧化碳可保持环境温度，臭氧则可防止太阳的紫外线辐射至地面。大气中的水蒸气及微尘的含量，则是随高度的增

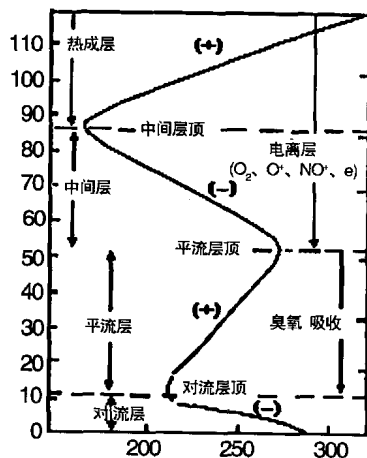


图 1-1 大气的垂直分布情况

加而降低，它们对于大气的变化，都有重要的作用。它们可使天气有雨、云、雾等的变化。

在高度距地面约 120 公里以下的高空中，大气是一个均匀且稳定的混合气体层，其中氮分子与氧分子为 4:1。在 120 公里以上，扩散作用的因素胜过混合作用，所以大气组成中的不同元素则以原子形式分别集中在不同的高度层上。原子量最重的氧位于较低的高度，原子量较氧稍轻的原子，位于氧之上，如此类推，最轻的氢气位于最上层。120 公里以上的大气，由于太阳的辐射而引起的分解和电离作用，使大气更加复杂。大气的密度，由于受其发光强度、电离层的反射能力，以及作用于人造卫星上的大气阻力等各因素的影响，100 公里以上密度的降低速度，远比 100 公里以下缓慢。原因是由于大气温度随大气层厚度的增加而增加，即包围地球大气层的温度愈高，则该大气层愈膨胀，其压力随厚度的降低也愈加缓慢。当高度至 100 公里以上时，大气的组成改变，愈向高空，其组成元素的重量愈轻，则大气的密度平均值亦因之降低。气体密度愈小，则其密度与压力随高度的下降也愈加缓慢。在 200 公里以下的高空，对于密度可用火箭升高直接测量。但超过此高度后，直接测量就很困难，可通过作用在人造卫星上的大气阻力来分析，间接推算出密度。

1.2 大气中的主要污染物

自然环境中，由于火山爆发、森林大火、海浪飞沫、陨星破碎所产生的宇宙尘以及自然尘等向大气排放出各种物质同于自然界的自净作用，它们的产生和消失基本上是相同

的。但随着科学技术的进步，人类在开发和利用自然的同时，不断向自然界排放各种污染物，当这些物质的含量超过自然的自净能力时，就会对人体、动植物产生直接或间接的不良影响和危害，这就是大气污染。

形成大气污染的三大要素是：污染源、大气媒介和污染接受体。污染源是向环境排放有害气体的场所和设备，大气污染的程度与污染物的性质、污染源的排放、气象条件和地理条件有关。其中污染源按其性质和排入方式可以分为生活污染源、工业污染源和交通污染源等。以人为主排放的污染源又可分为移动源和静止源。移动源是指汽车、火车、飞机等以化石燃料为主的交通工具。静止源则包括工厂焚化炉、发电厂燃煤等。通常移动源较为分散，难以控制和治理，而静止源面积大，污染集中，但易于控制和治理。石油和煤等燃料的燃烧是主要的污染源。在迄今为止的 11 次世界重大污染事件中，有 7 起是由大气污染造成的。如马斯河谷烟雾事件、多诺拉烟雾事件、伦敦烟雾事件、洛杉矶光化学烟雾事件、四日市哮喘事件、博帕尔农药泄漏事件和切尔诺贝利核电站事件，这些污染事故均造成大量人口的中毒与死亡。

与其他的工业化国家一样，我国的环境污染也是与工业发展伴随而生的。20 世纪 50 至 70 年代，随着工业化的大规模迅速发展，环境问题初见端倪。但这时候污染仍局限于城市区域。80 年代以后，随着改革开放和经济的迅速发展，我国的环境污染呈加剧趋势。特别是乡镇企业的异军突起，使环境污染向农村急剧蔓延。同时环境破坏的范围也在不断扩大，给我国经济造成巨大的损失。

大气污染物的种类很多，按其存在状态可概括为两大

类：气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

1.2.1 气溶胶状态污染物

在大气污染中，气溶胶是指固体、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体。其粒径约为 0.002 至 $100\mu\text{m}$ 大小的液滴或固态粒子。气溶胶按照粒子的粒径大小，可分为总悬浮颗粒物、飘尘和降尘；按气溶胶的来源和物理性质，可分为粉尘、烟、飞灰、黑烟和雾。

1. 总悬浮颗粒物 (TSP)

是分散在大气中的各种粒子的总称，是指用标准大容量颗粒采样器（流量在 $1.1\text{—}1.7\text{m}^3/\text{min}$ ）在滤膜上所收集到的颗粒物的总质量。其粒径大小，绝大多数在 $100\mu\text{m}$ 以下，其中多数在 $10\mu\text{m}$ 以下。也是目前大气质量评价中的一个通用的重要污染指标。

2. 飘尘

能在大气中长期飘浮的悬浮物质称为飘尘。其粒径主要是小于 $10\mu\text{m}$ 的微粒。由于飘尘粒径小，能被人直接吸入呼吸道内造成危害；又由于它能在大气中长期飘浮，易将污染物带到很远的地方，导致污染范围扩大，同时在大气中还可以为化学反应提供反应载体。因此，飘尘是从事环境科学工作者所注目的研究对象之一。

3. 降尘

用降尘罐采集到的大气颗粒物称为降尘。在总悬浮颗粒物中一般直径大于 $10\mu\text{m}$ 的粒子，由于其自身的重力作用会很快沉降下来，所以将这部分的微粒称为降尘。单位面积的降尘量可作为评价大气污染程度的指标之一。

4. 粉尘 (dust)

粉尘是指悬浮于气体介质中的小固体粒子，能因重力作用发生沉降。粉尘的粒子尺寸范围在气体除尘技术中，一般为 1 至 $200\mu\text{m}$ 左右。

5. 烟 (fume)

烟一般指由冶金过程中形成的固体粒子的气溶胶。烟的粒子尺寸很小，一般为 0.01 至 $1\mu\text{m}$ 左右。

6. 飞灰 (flyash)

飞灰是指燃料燃烧产生的烟气飞出的分散较细的灰分。

7. 黑烟 (smoke)

黑烟一般指由燃料产生的能见气溶胶。

8. 雾 (fog): 雾是气体中液滴悬浮体的总称。在工程中，雾一般泛指小液体粒子。

1.2.2 气体状态污染物

1. 含硫化合物

大多数含硫化合物对环境都有直接或间接的危害。大气中的硫化物包括 H_2S 、 SO_2 、 SO_3 、 H_2SO_4 、亚硫酸盐、硫酸盐和有机硫化合物等。但对环境影响最大的是 H_2S 、 SO_2 和硫酸盐。

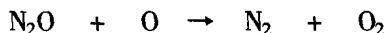
燃煤和火力发电厂是硫化物的重要人为来源。我们知道，一般煤含硫量为 $2\% \sim 4\%$ ，低硫煤含硫量为 1% ，因而在燃煤时便会放出大量的 SO_2 。据统计， 70% 的 SO_2 来自发电厂，其他的石油加工、金属冶炼、木材造纸等也会产生大量的 SO_2 和硫化物。据 1984 年统计，全世界每年人为排入大气中的 SO_2 为 7.2×10^8 吨，其中 70% 来自燃煤， 16% 来自石油产品燃烧，其余的来自石油精炼和有色金属冶炼。

SO_2 能被大气中的氧化剂氧化成酸，这是酸雨形成的重

要来源之一。

2. 含氮化合物

含氮化合物主要有 NO、NO₂。此外还含有 N₂O、N₂O₅、NH₃ 以及它们经过各种反应生成的硝酸盐和亚硝酸盐、铵盐和过氧己辛基硝酸酯 (PAN)。闪电、微生物固氮、氨的氧化以及煤、石油、天然气、机动车燃料燃烧等都可以产生 NO、NO₂。无色的 NO 和红棕色的 NO₂ 均是大气中的主要污染物。N₂O 是无色气体，又名“笑气”，它也是目前已知的温室气体之一。这种气体在低气层中虽然含量较多，但由于它不溶于水，危害性相对较小。但它可以进入平流层，在平流层中，可发生如下反应：



上述反应是 N₂O 的催化循环反应，原子氧是由 O₃ 提供的，反应的结果导致了臭氧的不断损耗。而 N₂O 宛如催化剂的作用，它本身没有被破坏。产生 N₂O 的天然源主要由海洋、土壤、淡水和雷电所产生。人为源主要有生产和使用氮肥、化石燃料的燃烧及工业排放等。其中尤以汽车燃料排出的尾气造成的污染最为严重，硝酸盐和亚硝酸盐同样也是形成酸雨的重要原因之一，而 PAN 则是导致光化学烟雾的重要二次污染物。

3. 含碳化合物

大气中含碳化合物主要包括一氧化碳、二氧化碳、各种碳氧化合物及含氧烃等。在这类污染物中大多数为有机化合物，它们可与多种物质发生大气化学反应。

CO 是由含碳原料的不完全燃烧而产生的，或者是在内

燃机的高温、高压的燃烧条件下产生的。大气中的 CO 主要来自人为因素，估计约 80% 的 CO 来自汽车。大气中的 CO 水平与车辆交通的密度相关，其背景值大约 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，在交通繁忙时可达 80 至 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。城市空气中 95% ~ 98% 的 CO 来自于人为源。而在远离市区的地方，CO 的平均水平约为 1×10^{-6} ，有的地方仅为 0.09×10^{-6} 。

CO 的天然源主要来自甲烷氧化、沼泽地腐烂物质、海洋中生物的作用、植物叶绿素的分解、森林中放出萜烃的氧化、火山喷发、森林草原大火以及大气中甲烷的光化学氧化和二氧化碳的光解等。此外，高层大气的化学反应，二氧化碳的轻微解离等作用，及动物新陈代谢过程中都会产生 CO。

作为大气污染物，CO 会使人类视力受损、头痛，高浓度的 CO 可以被人类血液吸收，引起心脏紧搐，供氧能力下降。同时 CO 能参与光化学烟雾的形成以及转化，造成全球气候的变化。

CO_2 是一种无色、无味、无毒的气体，它在碳循环中起着很重要的作用。动植物呼吸产生 CO_2 ，植物体废弃物作为燃料燃烧或腐败而自然氧化时也产生 CO_2 。甲烷在平流层与 $\text{OH}\cdot$ 自由基反应的最终产物也为 CO_2 。同时 CO_2 还来自于糖、食物的氧化发酵。海洋是 CO_2 最大的储库，其中 CO_2 的含量比空气中高出 60 倍。海洋通过 CO_2 溶解交换和生物生长交换作用，对大气中 CO_2 浓度起着调节作用。 CO_2 本身对大气没有危害作用，但是随着 CO_2 的增加，引起对全球气候变暖。

4. 碳氢化合物

碳氢化合物大都是具有挥发性的有机化合物，包括烷

烃、烯烃、炔烃、脂肪烃和芳香烃等，是形成光化学污染的前体物。其中甲烷是主要的碳氢化合物，约占碳氢化合物总量的 80% ~ 85%。

碳氢化合物主要来自天然源，其中甲烷为 5.5×10^8 吨，其次是植物排出的萜烯化合物，约为 1.7×10^8 吨。人为排放的碳氢化合物主要来自汽油不完全燃烧、焚烧、溶剂蒸发、石油蒸发、氮肥的使用和运输损耗等。汽车排出的碳氢化合物类型很多，但主要可分为两类：一是烃类，如甲烷、乙烯、乙炔、丙烯和丁烷等。二是醛类，如甲醛、乙醛、丙醛、丙烯醛和苯甲醛等。此外还有少量的多环芳烃和芳烃。在大气污染研究中通常将碳氢化合物分为甲烷和非甲烷烃两大类。甲烷主要是由厌氧细菌的发酵过程、自然界的淹水体（如沼泽、泥塘、湿冻土带、水稻田底部、原油和天然气泄漏）、牲畜反刍等产生的。其中牲畜反刍、水稻田是很大的排放源。非甲烷主要来自汽油燃烧、焚烧和溶剂蒸发等。

甲烷是重要的温室气体，其温室效应比二氧化碳大 20 倍。甲烷的浓度在大气中仅次于二氧化碳，在过去的 10 年中，每年增加 1.1%。目前甲烷的浓度比工业革命前增加一倍。每年释放到大气中的甲烷约为 4.25×10^8 吨。甲烷在大气中的滞留时间较长，大约为 10 年。有时它也会迅速氧化成其他化合物。但由于甲烷增加浓度与人口增加相平行，如不加以控制，对全球的气候将产生直接影响。碳氢化合物从大气中去除的主要途径是土壤、微生物的活动吸收、植物的吸收和消化、对流层平流层化学反应及颗粒物转化等。

5. 含卤素化合物

大气中以气态存在的含卤素化合物大致可分为以下三

类：卤代烃、其他含氯化合物、氟化物。

卤代烃：大气中卤代烃包括卤代脂肪烃和卤代芳烃。其中一些高级的卤代烃，如有机氯农药 DDT、六六六，以及多氯联苯 (PCB) 等以气溶胶形式存在，2 个碳原子或 2 个碳原子以下的卤代烃呈气态。卤代烃的主要人为源如三氯甲烷 (CHCl_3)、二氯乙烷 (CH_3CHCl_2)、四氯化碳 (CCl_4)、氯乙烯 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$)、氯氟甲烷 (CFM) 等是重要的化学溶剂，也是有机合成工业的重要原料和中间体，在生产和使用过程中因挥发而进入大气。海洋也排放相当的三氯甲烷。

其他含氯化合物主要是氯气 (Cl_2) 和氯化氢 (HCl)。

氯气 (Cl_2) 主要由化工厂、塑料厂、自来水净化厂等产生，火山活动也排放一定量的 Cl_2 。氯化氢主要来自盐酸制造、废水焚烧等。其环境本底为 1.3 至 5ppb (太平洋上空)。氯化氢在空气中可形成盐酸雾，除硫酸和硝酸外，盐酸也是构成酸雨的成分。

含氟废气：主要是指含 HF 和 SiF_4 的废气。主要来源于炼铝工业、钢铁工业以及黄磷、磷肥和氟塑料生产等化工过程。

氟化氢是无色有强烈刺激性和腐蚀性的有毒气体，密度为 0.921，极易溶于水，还能溶于醇和醚。四氟化硅是无色的窒息性气体，密度 3.57，遇水分解为硅酸和氟硅酸。

氟化氢对人的呼吸器官和眼结膜有强烈的刺激性，长期吸入低浓度的 HF 会引起慢性中毒。目前，在氟污染地区，氟对人体健康的危害通常以植物为中间介质，即植物吸收大气中的氟并在体内积累，然后通过食物链进入人体而产生危害，最典型的是引起牙齿酸蚀的“斑釉齿症”和使骨骼中钙

的代谢紊乱的“氟沉着症”。

6. 光化学氧化物

在大气中还存在着另一类物质。它们在高能光波作用下能较容易地从其他化合物中获得电子。例如臭氧，我们把这一类在光化学反应中产生的氧化剂称为光化学氧化剂。对流层中进行的光化学反应须具备两个条件，一是以穿过平流层的太阳辐射所产生的光化学反应为原动力，二是光化学氧化物的参与。大气中常见的光化学氧化剂有氧气、臭氧、二氧化氮、二氧化硫、酮、醛类化合物、硝基化合物、酰基氮氧化物、酰基过氧化物等。

7. 酸雨

酸雨也是一种大气污染物，由于人类的影响，大气中含有的大量的二氧化硫和氮氧化物，通过一系列化学反应转化成了硫酸和硝酸，随着雨水的降落而沉降到地面，固称酸雨。我国酸雨的特点为：

(1) 以长江为界，南方酸雨多于北方。我国南方酸雨现象十分普遍，而且有自北向南逐渐加重的趋势。我国北方酸雨现象很少，即使是有二氧化硫和氮氧化物大量排放的地方也几乎没有酸雨出现。主要的原因是：

北方土壤多属碱性，这些碱性尘粒被风带入空中，与降水中的酸性物质中和，使降水 pH 值升高。

南方多雨，土壤长期被雨水冲刷，石灰质减少，对酸的中和能力差，土地成为对酸雨耐酸性的土壤，因此南方酸雨的危害容易暴露出来。

北方天气干燥，雨水少，沙漠面积大，沙尘飞扬，使酸雨现象受到抑制。