

生态环境科学与技术应用丛书

环境污染 与植物修复

李雪梅 主 编

韩 阳 邵 双 副主编

Environmental
Pollution

and
Phytoremediation



化学工业出版社

生态环境科学与技术应用丛书

环境污染 与植物修复



Environmental
Pollution
and
Phytoremediation



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了环境污染与植物的相互作用，着重阐述了植物对污染环境的修复功能。本书共分6章，分别阐述了环境污染物的种类、性质、来源及其迁移转化规律；典型污染物质对植物形态、生理代谢的影响和危害以及植物对环境污染的响应；植物对污染环境的净化功能；植物对污染环境的修复潜力及植物修复技术的应用实例；植物对环境污染的监测等内容。

本书可供环境科学与工程、生物技术与工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也供高等学校相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境污染与植物修复/李雪梅主编. —北京：化学工业出版社，2017.1
(生态环境科学与技术应用丛书)
ISBN 978-7-122-26525-8

I. ①环… II. ①李… III. ①植物-作物-环境污
染-污染防治 IV. ①X506

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 051510 号

责任编辑：刘兴春 刘 婧
责任校对：宋 玮

文字编辑：林 丹
装帧设计：史利平

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印 刷：北京云浩印刷有限责任公司
装 订：三河市瞰发装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张17½ 字数430千字 2017年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）
售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：85.00 元

版权所有 违者必究

《环境污染与植物修复》

编写人员

主 编：李雪梅

副 主 编：韩 阳 邵 双

编写人员：李雪梅 韩 阳 邵 双 逢守杰

姜凤英 朱延姝

前言

FOREWORD

16~17世纪以来,特别是工业革命以后,人类的生产得到了巨大的发展,出现了现代化大工业,大大提高了人类利用自然、改造自然的能力。人类在创造出高度物质文明的同时,也给自己的生存环境带来了巨大危害,近代工业的高速发展使地球环境面貌发生了很大的改变,大气质量下降,二氧化硫、氟化物、一氧化碳、氮氧化物增多;流入江河的化学物质、废热和病原微生物,正破坏着水生生态系统;水污染和水枯竭使地球面临严重的水荒;固体废物、有毒物质和放射性废物日益堆积;二氧化碳等温室气体所引起的全球变暖将影响地球生物的生态分布。来自海、陆、空三方面的环境污染使得全球生物的生存受到严峻的挑战。

环境污染是指主要源于人类活动引起环境质量下降而有害于人类(以及其他生物)正常生存和发展的现象。环境污染按环境要素可分为大气污染、水污染、土壤污染和生物污染;按污染物性质分为物理污染、化学污染、生物污染;按污染物的分布范围分为局部性污染、区域性污染、全球性污染;按污染方式分为直接污染、间接污染。

植物作为生物圈生态系统的重要成员,既是环境的感受者,又是环境的改造者。环境的变化必然影响到植物的生长发育乃至生存,同时植物的生活又改变了它周围的环境。由于植物在维系生态平衡中的特殊地位,人们对于植物与环境的关系格外关注,试图充分认识环境对植物的影响及植物对环境变化的反应,以达到利用植物修复受污染的生态系统,改善生存条件的目的。

本书系统介绍了环境污染与植物的相互作用,着重阐述了植物对污染环境的修复功能。本书共分6章,分别阐述了环境污染物的种类、性质、来源及其迁移转化规律;典型污染物对植物形态、生理代谢的影响和危害以及植物对环境污染的响应;植物对污染环境的净化功能;植物对污染环境的修复潜力及植物修复技术的应用实例;植物对环境污染的监测等内容。本书的编写注重知识的系统性、可读性,同时力求反映相关领域的最新研究成果,可供环境科学、环境工程、生物科学、生物技术、生物工程等相关专业的师生参考,也可供关注环保事业的人士阅读。

本书编者均长期从事环境生物学方面的研究,对该领域的研究成果有着自己独到的见解,在编写本书的过程中又对不同的观点进行了归纳总结。

本书为《环境科学与技术应用丛书》中的一分册,由李雪梅(沈阳师范大学)主编,第

1章由逢守杰（沈阳市于洪区环境保护局）、姜凤英（沈阳农业大学）编写，第2章、第5章由李雪梅编写，第3章由朱延姝（沈阳农业大学）、李雪梅编写，第4章由邵双（沈阳化工学院）编写，第6章由韩阳（辽宁大学）编写；最后全书由李雪梅统稿、定稿。

本书的编写得到国家自然科学基金面上项目（31270369，31470398）以及辽宁省高等学校优秀科技人才支持计划（LR2015061）的资助。参编者期望本书对读者有所帮助，并为此做出了努力，但由于编者水平和编写时间所限，书中不足和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2016年6月于沈阳

目录

CONTENTS

第1章 环境污染物及其迁移规律

1

1.1 大气中的污染物质	1
1.1.1 大气污染定义	1
1.1.2 大气污染分类	1
1.1.3 主要大气污染物	2
1.1.4 大气污染物主要来源	5
1.1.5 大气污染的危害	5
1.2 水体污染类型及其典型污染物	6
1.2.1 水体污染的定义	6
1.2.2 水体污染的类别	6
1.2.3 水体污染物及其危害	8
1.2.4 海洋污染	11
1.3 土壤污染及其典型污染物	14
1.3.1 土壤污染	14
1.3.2 土壤污染类型	19
1.3.3 土壤污染物来源	20
1.3.4 土壤污染物种类、性质	20
1.3.5 土壤污染的防治	23
1.4 固体废弃物	23
1.4.1 固体废弃物的定义	23
1.4.2 固体废弃物的种类	24
1.4.3 工业有害废渣	26
1.5 光、热、噪声污染	30
1.5.1 光污染	30
1.5.2 热污染	32

1.5.3 噪声污染	37
1.6 污染物的迁移、转化	38
1.6.1 污染物的迁移与循环	38
1.6.2 污染物的转化	42

第2章 植物对环境污染的响应与反馈

44

2.1 植物对环境污染响应与反馈通论	44
2.1.1 植物对环境污染响应与反馈的形态机制	44
2.1.2 植物对环境污染响应与反馈的生理机制	47
2.1.3 植物对环境污染响应与反馈的分子机制	54
2.2 水生植物对环境污染的响应及反馈	58
2.2.1 环境污染对水生植物生理生化的影响	58
2.2.2 沉水植物对水体污染的响应及反馈	59
2.2.3 浮水植物对水体污染的响应及反馈	63
2.2.4 挺水植物对水体污染的响应及反馈	65
2.3 陆生植物对环境污染的响应及反馈	67
2.3.1 陆生植物对土壤污染的响应及反馈	67
2.3.2 陆生植物对大气污染的响应及反馈	86
2.4 植物对环境污染的适应与植物的进化	104
2.4.1 环境污染与生物多样性的丧失	104
2.4.2 植物对环境污染的适应与植物的进化	105

第3章 植物对污染环境的净化功能

109

3.1 植物对大气污染物的净化	110
3.1.1 绿色植物防治二氧化碳污染	110
3.1.2 绿色植物对有害气体的吸收作用	111
3.1.3 绿色植物的减尘滞尘作用	116
3.1.4 绿色植物的杀菌作用	117
3.1.5 植物对大气中放辐射性物质污染的净化作用	118
3.1.6 植物对室内空气净化	118
3.1.7 树木精油和树皮对大气污染的净化作用	119
3.2 植物对水体污染物的净化	120
3.2.1 森林生态系统对污水的净化	120
3.2.2 水生植物对污水的净化	121
3.2.3 木炭及植物的皮、壳等对污水的净化	131
3.2.4 藻类植物对污水的净化	132

3.2.5	植物对水中细菌的杀灭作用	133
3.3	植物对土壤中污染物的净化	133
3.3.1	植物对土壤中重金属污染的净化	134
3.3.2	植物对污染土壤中有机污染物的净化	144
3.3.3	植物对土壤盐渍化的改良	147
3.3.4	影响植物净化污染土壤的因素	148
3.4	植物对热、噪声污染的净化	148
3.4.1	植物对热污染的净化	148
3.4.2	植物对噪声污染的净化	149

第4章 植物修复工程

151

4.1	植物修复的机理	153
4.1.1	植物修复的概念、特点	153
4.1.2	植物修复的机理	155
4.2	植物修复的影响因素	175
4.2.1	植物特性	175
4.2.2	土壤性质	177
4.2.3	水环境条件	179
4.2.4	气象条件的影响	180
4.2.5	耕作方式	180
4.2.6	植物损伤因子和机械阻力	180
4.2.7	微生物的影响	180
4.2.8	污染物特性	181
4.2.9	添加剂的影响	182
4.2.10	复合型人才的需求	183
4.3	提高植物修复能力的途径	183
4.3.1	修复植物品种的自然变异体筛选	183
4.3.2	人工诱变修复植物变异体的筛选	186
4.3.3	基因工程技术改良修复植物的遗传特性	187
4.3.4	调节重金属污染物的生物有效性	190
4.3.5	提高植物-微生物协同修复效果	193
4.3.6	土壤环境的调控措施	194
4.3.7	增施营养元素	195
4.3.8	栽培措施	196
4.4	环境修复工程中植物资源的合理配置	196
4.4.1	物理治理方法及适用范围	197
4.4.2	化学治理方法及适用范围	198

4.4.3	微生物修复方法	199
4.4.4	植物治理方法及适用范围	200
4.4.5	不同修复技术的联合	202
4.5	植物修复工程的可行性分析	203
4.5.1	植物修复工程方案的简述	204
4.5.2	植物修复工程的技术可行性研究	205
4.5.3	植物修复工程方案的环境可行性分析	206
4.5.4	植物修复工程方案的经济可行性分析	208
4.5.5	管理可行性分析	210

第5章 植物修复技术的应用 211

5.1	水生植物修复体系	211
5.1.1	大型水生植物对污染水体的修复	211
5.1.2	富氧化水体修复的优化设计	214
5.1.3	新疆芦苇湿地污水处理绿色生态工程	216
5.2	陆生植物修复体系	217
5.2.1	植物对土壤重金属的修复	217
5.2.2	植物对土壤有机污染的修复	220
5.2.3	植物对固体废物的修复	222
5.2.4	植物对大气污染物的净化作用	226
5.3	植物修复技术的发展前景及存在的问题	231
5.3.1	植物修复技术的发展前景	231
5.3.2	植物修复技术存在的问题	234

第6章 植物对环境污染的监测作用 236

6.1	植物监测及其应用	236
6.1.1	植物监测的定义及特点	236
6.1.2	植物监测的任务	238
6.1.3	分子标志物在植物监测中的应用	238
6.2	植物在大气污染监测中的作用	239
6.2.1	植物监测大气污染的有关方法与技术	240
6.2.2	大气污染植物主动监测	244
6.2.3	大气中几种主要污染物的植物监测	246
6.3	植物在水体污染监测中的作用	247
6.3.1	水体污染植物监测的方法	248

6.3.2	水体污染植物监测举例	254
6.4	植物在土壤污染监测中的作用	255
6.4.1	利用植物监测与评价土壤环境质量的方法	255
6.4.2	指示植物的选择	257

参考文献

259

第1章

环境污染物及其迁移规律

随着社会生产力水平的不断提高和科学技术的不断进步,人类在开发环境、利用环境创造和丰富物质文明的同时,也在污染和破坏着自身的生存环境。按环境要素划分,环境污染可分为大气污染、水体污染、土壤污染、固体废弃物污染及光、热、噪声污染等。本章就环境污染的种类、性质、来源、危害及其迁移转化规律分别阐述。

1.1 大气中的污染物质

1.1.1 大气污染定义

大气污染是指由于人类的生产和生活活动所产生的各种污染物排放到大气中,当污染物积聚超过了空气稀释自净能力,持续一定时间,从而对人体健康或对动植物以及建筑、物品等造成直接或间接危害和影响的现象。大气污染的形成有自然原因,如火山爆发、森林火灾、岩石风化等;也有人为原因,如各类燃烧物释放的废气和工业排放的废气等。目前,世界各地的大气污染主要是人为因素造成的,尤其是在人口稠密的城市和工业区域,这种影响更大。

1.1.2 大气污染分类

大气污染可以从不同角度进行类型的划分。

(1) 按大气污染影响范围分类

按大气污染影响范围分为以下4种类型

- ① 局部地区大气污染 如某工厂烟囱造成污染。
- ② 区域性大气污染 指工业区、城市污染。
- ③ 广域性大气污染 指大工业地带。
- ④ 全球性大气污染 跨国、波及整个地球大气,如酸雨、温室效应、臭氧层破坏。

上述分类方法中所涉及的范围只能是相对的,没有具体的标准。

(2) 按污染物的化学性质及其存在的大气环境状况分类

以污染物的化学性质及其存在的大气环境状况为依据,大气污染可分为3种类型。

① 还原型(煤炭型)污染 这种大气污染常发生在以使用煤炭为主,同时也使用石油的地区。这类污染的主要污染物是 SO_2 、 CO 和颗粒物。在风速很小、低温、高湿度的阴天,若伴有逆温存在,一次污染物扩散受阻,容易在低空聚积,生成还原型烟雾。伦敦烟雾事件就是这类还原型污染的典型代表,故这类污染又称伦敦烟雾型。

② 氧化型(石油型)污染 这种类型的污染多发生在以使用石油燃料为主的地区,污

染物的主要来源是汽车尾气、燃油锅炉以及石油化工企业。主要的一次污染物是 CO 、 NO_x 、烃类化合物等。这些污染物在太阳光的照射下能够引起光化学反应，生成二次污染物— O_3 、醛类、过氧乙酰硝酸酯等物质。这类物质具有极强的氧化性，对人的眼睛等黏膜有强刺激作用。洛杉矶光化学烟雾就属于此型污染。

③ 全球型大气污染，CFCs 破坏臭氧、 CO_2 温室效应。

(3) 按照燃料的性质和大气污染物的组成及反应分类

根据燃料的性质和大气污染物的组成和反应，大气污染划分以下 4 种类型。

① 煤炭型 煤炭型污染的代表性污染物是由煤炭燃烧时放出的烟气、粉尘、 SO_2 等构成一次污染物，以及由这些污染物质发生化学反应而产生的硫酸、硫酸盐类气溶胶等二次污染物。造成这类污染的污染源主要是工业企业烟气排放物，其次是家庭炉灶等取暖设备的烟气排放。

② 石油型 石油型污染的主要污染物来自汽车排放、石油冶炼及石油化工厂的排放，主要包括 NO_2 、烯烃、链烷、醇、烃类化合物，以及他们在大气中形成的 O_3 、各种自由基及反应生成的一系列中间产物与最终产物。

③ 混合型 此种污染类型包括以煤炭为燃料的污染源排放的污染物，以及从各类工业企业排出的各种化学物质等。在混合型工业城市，如日本的横滨、川崎等地所发生的污染事件，就属于该污染类型。

④ 特殊型 这类污染是指由工厂排出特有的污染物，造成的污染常限于局部范围之内。如氯碱工厂周围形成的氯气污染等。

前 3 种污染类型造成的污染范围较大，而第 4 种污染所涉及的范围较小，主要发生在污染源附近的局部地区。

1.1.3 主要大气污染物

大气污染是人类当前面临的主要环境污染问题之一。目前已经被人们注意到的或已经对环境 and 人类产生危害的大气污染物约有 100 多种。

大气污染物的分类有很多方式，可以从不同角度进行类型的划分。

1.1.3.1 依污染物形成过程的不同分类

(1) 一次污染物

指直接从各种排放源进入大气的各种气体、蒸汽和颗粒物，如 SO_2 、碳氧化物、氮氧化物、烃类化合物和颗粒物等都是主要的一次污染物。一次污染物又可分为反应物质和非反应物质，前者不稳定，在大气中常与某些其他物质发生化学反应，或者作为催化剂，促进其他污染物之间的反应，如 SO_2 和 NO_2 等；后者不发生反应，或反应极为缓慢，是较稳定的物质，如 CO 等。

(2) 二次污染物

指由一次污染物在大气中互相作用或与大气中正常组分作用，经化学反应或光化学反应形成的与一次污染物的物理、化学性质完全不同的新的大气污染物，其毒性往往比一次污染物更强。如大气中的烃类化合物和 NO_x 等一次污染物，在阳光作用下发生光化学反应，生成臭氧、醛、酮、过氧乙酸硝酸酯 (PAN) 等二次污染物。这类光化学反应的反应物 (一次污染物) 与生成物 (二次污染物) 形成特殊混合物即被称为“光化学烟雾”。产生光化学

烟雾污染是二次污染物作用的结果。

1.1.3.2 依污染物存在状态的不同分类

(1) 颗粒状污染物

指除气体之外的包含于大气中的物质,包括各种各样的固体、液体和气溶胶。其中有固体的灰尘、烟尘、烟雾,以及液体的云雾和雾滴,其粒径范围主要在 $200\sim 0.1\mu\text{m}$ 之间。按粒径的差异,可以分为降尘和飘尘两种。

① 降尘 指粒径大于 $10\mu\text{m}$,在重力作用下可以降落的颗粒状物质。一般产生于固体破碎、燃烧残余物的结块及研磨粉碎的细碎物质。自然界刮风及沙尘暴也可以产生降尘。

② 飘尘 指粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的煤烟、烟气和雾在内的颗粒状物质。由于粒径小、质量轻,在大气中呈悬浮状态,且分布极为广泛,可以通过呼吸道被人吸入体内,对人体健康危害极大,故又称可吸入尘。由于粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物还具有胶体的一些特性,所以又称气溶胶。它通常包括所说的烟、雾、尘等。

烟是指燃煤时所生成的煤烟和高温熔炼时产生的烟气,是固态凝集型气溶胶。产生这种气溶胶的物质,在通常情况下是固体,但在高温下由于蒸发或升华作用变成气体逸散于大气中,低温后又凝集成微小的固体颗粒,悬浮在大气中构成烟。其粒径一般为 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 。

雾是液态分散型气溶胶和液态凝集型气溶胶的统称。形成前者的物质,在常温下是液体。当它们因飞溅、喷射等原因被雾化后,即可形成微小的液滴分散在大气中。而后者则是由于加热使液体变为蒸气散发在大气中,遇冷后形成微小的液滴悬浮在大气中。雾的粒径一般在 $10\mu\text{m}$ 以下。

通常说的烟雾,是固、液混合的气溶胶,具有烟和雾的二重性,即当烟和雾同时形成时就构成烟雾。烟雾中又有硫酸烟雾和硝酸烟雾。

霾也称灰霾,是空气中的灰尘、硫酸、硝酸、有机烃类化合物等粒子使大气混浊,视野模糊并导致能见度降低,如果水平能见度 $< 10000\text{m}$ 时,将这种非水成物组成的气溶胶系统造成的视程障碍称为霾或灰霾。霾粒子的分布比较均匀,而且灰霾粒子的尺度比较小,粒径范围为 $0.001\sim 10\mu\text{m}$,平均直径大约在 $1\sim 2\mu\text{m}$,含有肉眼看不到的有害颗粒物。霾是一种自然现象,多发生于污染较重的工业城市。霾与雾相似,较难区分。雾和霾相同之处都是视程障碍物。但雾与霾的形成原因和条件却有很大的差别。霾与雾的区别在于发生霾时相对湿度不大,而雾中的相对湿度较大。一般相对湿度小于 80% 时的大气混浊视野模糊导致的能见度恶化是霾造成的,相对湿度大于 90% 的大气混浊视野模糊导致的能见度降低是雾造成的。霾的日变化一般不明显。当气团没有大的变化,空气团较稳定时,持续出现时间较长,有时可持续 10 天以上。而雾一般持续时间较短,多是早晚出现,白天散去。雾的厚度小,一般只有几十米到 200m ,霾的厚度较大,有 $1\sim 3\text{km}$ 。雾的颜色是乳白色或青白色,霾则是黄色或橙灰色。雾的边界很清晰,过了雾区就是晴空万里,但是霾与周围的边界不明显。由于阴霾、轻雾、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟雾等天气现象,都是因浮游在空中大量极微小的尘粒或烟粒等影响,致使有效水平能见度小于 10km ,有时使气象专业人员都难于区分。必须结合天气背景、天空状况、空气湿度、颜色气味及卫星监测等因素来综合分析判断。灰霾作为一种自然现象,其成因有三方面因素:一是水平方向静风现象的增多;二是垂直方向的逆温现象出现;三是大气中悬浮颗粒物的增加。由灰尘、硫酸、硝酸等粒子组成的霾,其散射波长较长的光比较多,因而霾看起来呈黄色或橙灰色,故称灰霾。随着空气质量的恶化,

阴霾天气现象出现增多,危害加重,中国已把阴霾天气现象作为灾害性天气做出黄色、橙色、红色预警。

尘是固体分散型微粒,它包括交通车辆行驶时所带起的扬尘,粉碎和混合固体物时所产生的粉尘。

(2) 气态污染物

① 硫化物 硫常以二氧化硫和硫化氢的形态进入大气,也有一部分以亚硫酸及硫酸(盐)微粒形式进入大气。大气中的硫约 $2/3$ 来自天然源,其中以细菌活动产生的硫化氢最为重要。人为源产生的硫排放的主要形式是 SO_2 ,主要来自含硫煤和石油的燃烧、石油炼制以及有色金属冶炼和硫酸制造等。一般来说,煤的含硫量在 $0.5\% \sim 5\%$ 之间,其中约 80% 属于可燃性的硫,在燃烧过程中生成 SO_2 而排放到大气中。石油中含硫量一般在 1% 左右,各种石油燃烧时产生 SO_2 的数量取决于石油的质量。我国主要是以煤为燃料, SO_2 排放量最大,是主要的大气污染物。

SO_2 是一种无色、具有刺激性气味的不可燃气体,是一种分布广、危害大的主要大气污染物。 SO_2 和飘尘具有协同效应,两者结合起来对人体危害更大。

SO_2 在大气中极不稳定,最多只能存在 $1 \sim 2$ 天。在相对湿度比较大,以及有催化剂存在时,可发生催化氧化反应,生成 SO_3 ,进而生成 H_2SO_4 或硫酸盐,所以, SO_2 是形成酸雨的主要因素。硫酸盐在大气中可存留 1 周以上,能飘移至 1000km 以外,造成远离污染源以外的区域性污染。 SO_2 也可以在太阳紫外光的照射下,发生光化学反应,生成 SO_3 和硫酸雾,从而降低大气的能见度。

由天然源排入大气的硫化氢,会被氧化为 SO_2 ,这是大气中 SO_2 的另一主要来源。

② 碳氧化物 碳氧化物主要包括 CO 和 CO_2 ,其中 CO_2 是大气的正常组分, CO 则是排放量极大的大气污染物。 CO 主要是由含碳物质不完全燃烧产生的,而天然源较少。主要排放源有汽车尾气、工业锅炉、家庭炉灶、煤气加工业等,其中城市中汽车尾气排放的 CO 占总排放量的 80% 。可见, CO 主要是由汽车等交通车辆造成的。

CO 是无色、无臭的有毒气体。其化学性质稳定,在大气中不易与其他物质发生化学反应,可以在大气中停留较长时间。 CO 在一定条件下,可以转变为 CO_2 ,然而其转变速率很低。人为排放大量的 CO ,对植物等会造成危害;高浓度的 CO 可以破坏血液中的血红蛋白吸收,而对人体造成致命伤害。

CO_2 是大气中一种“正常”成分,它主要来源于生物的呼吸作用和化石燃料等的燃烧。 CO_2 参与地球上的碳平衡,有重大的意义。然而,由于当今世界上人口急剧增加,化石燃料的大量使用,使大气中的 CO_2 浓度逐渐增高,这将对整个地-气系统中的长波辐射收支平衡产生影响,并可能导致温室效应,从而造成全球性的气候变化。

③ 氮氧化物 氮氧化物 (NO_x) 种类很多,包括一氧化二氮 (N_2O)、一氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO_2)、三氧化二氮 (N_2O_3)、四氧化二氮 (N_2O_4) 和五氧化二氮 (N_2O_5) 等多种化合物,但主要是 NO 和 NO_2 ,它们是常见的大气污染物。

天然排放的 NO_x ,主要来自土壤和海洋中有机物的分解,属于自然界的氮循环过程。人力活动排放的 NO_x 大部分来自化石燃料的燃烧过程,如汽车、飞机、内燃机及工业窑炉的燃烧过程;也来自生产、使用硝酸的过程,如氮肥厂、有机中间体厂、有色及黑色金属冶炼厂等。在高温燃烧条件下, NO_x 主要以 NO 的形式存在,最初排放的 NO_x 中 NO 约占 95% 。 NO 本身并没有高的毒性,但是 NO 在大气中极易与空气中的氧发生反应,生成

NO_2 ，在温度较大或有云雾存在时， NO_2 进一步与水分子作用形成硝酸而沉降，是酸雨的重要来源。在有催化剂存在时，如加上合适的气象条件， NO_2 转变成硝酸的速率会加快。特别是当 NO_2 与 SO_2 同时存在时，可以相互催化，形成硝酸的速率更快。另外， NO 和 NO_2 也是形成光化学烟雾的重要成分。

此外， NO_x 还可以因飞行器在平流层中排放废气，逐渐积累，而使其浓度增大。 NO_x 再与平流层内的臭氧发生反应生成 NO_2 与 O_2 ， NO_2 与 O_2 进一步反应生成 NO 和 O_2 ，从而打破臭氧平衡，使臭氧浓度降低，导致臭氧层的耗损。

④ 烃类化合物 烃类化合物是由烷烃、烯烃和芳烃等复杂多样的物质组成。大气中大部分的烃类化合物来源于植物的分解，人类排放的量虽然少，却非常重要。

烃类化合物的人为来源主要是石油燃料的不充分燃烧和石油类的蒸发过程。在石油炼制、石油化工生产中也产生多种烃类化合物。燃油的机动车亦是主要的烃类化合物污染源，交通线上的烃类化合物浓度与交通密度密切相关。

烃类化合物是形成光化学烟雾的主要成分。在活泼的氧化物如原子氧、臭氧、氢氧基等自由基的作用下，烃类化合物将发生一系列链式反应，生成一系列的化合物，如醛、酮、烷、烯以及重要的中间产物——自由基。自由基进一步促进 NO 向 NO_2 转化，造成光化学烟雾的重要二次污染物——臭氧、醛、过氧乙酰硝酸酯（PAN）。

烃类化合物中的多环芳烃化合物，如3,4-苯并芘，具有明显的致癌作用，已引起人们的密切关注。

1.1.4 大气污染物主要来源

人类活动是产生大气污染的主要来源。

① 工业污染源 燃料燃烧是大气污染的重要来源。如钢铁厂、炼焦厂、火力发电厂等，主要污染物为 CO 、 SO_2 、 NO_x 和有机化合物。

② 农业污染源 指农业机械运行时排放的尾气，施用农药和化肥，农作物田地释放 CH_4 气。

③ 交通污染源 指汽车、火车、飞机、摩托车等交通工具产生 CO 、氮氧化物、含铅污染物、苯并芘等。尤其在大城市汽车数量较多，是市区的主要污染源。

④ 生活污染源 指家庭炉灶、取暖设备等，一般是燃烧化石燃料。另外，城市垃圾的堆放和焚烧也向大气排放污燃料。

有资料报道，我国主要大城市的大气污染物中有50%以上来自汽车尾气排放。值得一提的是，室内空气污染日益被人们所重视，除了炊事、家具建筑装饰材料等释放的无机物、有机物和放射性物质外，还有生物污染物，如生物孢子、霉菌、细菌、螨虫、过敏原等。

1.1.5 大气污染的危害

① 对植物的危害 植物对许多大气污染物有一定的吸收作用，是降低大气污染影响的重要途径之一。但超过一定的阈值，大气污染物会对城市园林绿化植物和花卉、果树等经济作物以及森林植被造成重大影响。尤对植物的叶片、花及生殖器官危害较大。

② 对人体的危害 大气污染物侵入人体主要有3条途径，即人体暴露在污染物中，经表面接触；通过饮食，食入含污染的食物和水；通过呼吸，吸入被污染的空气。其中以第3

条途径最为重要。大气污染物对人体健康的危害主要表现为引起呼吸道疾病。在突然的高浓度污染物作用下可造成急性中毒，甚至在短时间内死亡。长期接触低浓度污染物，会引起支气管炎、哮喘、肺气肿和肺癌等病症。

③ 对建筑和材料的危害 大气污染物会对建筑物、纺织品、皮革、金属和橡胶等产生损害。以气态污染物的损害较为严重。因为在湿度较高时，气态污染物可形成酸雾和酸雨，不仅腐蚀建筑材料，而且对钢铁、纺织品、橡胶等也有较强的腐蚀作用。

1.2 水体污染类型及其典型污染物

1.2.1 水体污染的定义

水体污染是指某种物质进入水体，而导致水体的化学、物理、生物或者放射性等方面特性的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康或者破坏生态环境，造成水质恶化的现象。水体污染有多种含义，但其基本要点是指在一定时期内引入水体中的某种污染物所造成的不良效应。有些效应是影响人类健康方面的，例如致病菌的引入，有毒化学品或元素的引入等；另有一些效应是影响感官性状方面，例如颜色、臭味等。引入水环境的污染物中较常见的有四类，即持久性污染物、非持久性污染物、酸和碱（以 pH 值表征）、热污染物（以温度表征）。持久性污染物是指在地面水中不能或很难由物理、化学、生物作用而分解、沉淀或挥发的污染物，例如在悬浮物甚少、沉降作用不明显水体中的无机盐类、重金属等。在水环境中难溶解、毒性大、易长期积累的有毒化学品亦属于此类。非持久性污染物是指地面水中由于物理、化学或生物作用而逐渐减少的污染物，例如耗氧有机物。

1.2.2 水体污染的类别

水体污染源是指造成水体污染的污染物的发生源。通常是指向水体排入污染物或对水体产生有害影响的场所、设备和装置。根据污染源、污染成因以及污染的性质可以对水体污染类别进行划分。

1.2.2.1 根据污染源划分

(1) 点源

点源指以点状形式排放而使水体造成污染的发生源。一般工业污染源和生活污染源产生的工业废水、生活污水等通过管道、沟渠集中排入水体。这种点源含污染物多，成分复杂，其排放特点一般具有连续性，水量的变化规律取决于工矿的生产特点和居民的生活习惯，一般既有季节性又有随机性。有一些废水、污水经过处理后再排入水体。

(2) 面源

面源指以面积形式分布和排放污染物而造成水体污染的发生源。如农田排水、矿山排水、城市和工矿区的路面排水等。这些排水有时由地面直接汇入水体，有时通过管道或沟渠汇入水体。其特点是发生时间都在降雨形成径流之时，具有间歇性，其变化遵从降雨和形成径流的规律，并受地面状况（植被、铺装情况、坡度）的影响。

1.2.2.2 根据污染成因划分

(1) 自然污染