

环境生物技术与工程

 陈欢林 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

环境生物技术与工程

陈欢林 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境生物技术与工程/陈欢林主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.6

ISBN 7-5025-4489-5

I. 环… II. 陈… III. 环境生物学 IV. X17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 042572 号

环境生物技术与工程

陈欢林 主编

责任编辑: 陈 丽 刘兴春

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 28½ 字数 750 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4489-5/X·297

定 价: 60.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

一直以来,组成森林和湿地的生物通过参与自然界元素循环与物质转化,默默地保护着地球的生态环境。自20世纪70年代以来,人们开始逐渐认识到,人类对环境资源的过度利用严重地破坏了地球的生态平衡,仅靠自然界的生物作用再也不能保持地球环境的生态平衡;而利用和强化自然界的生物作用,在局部范围内来实现并加速元素循环与物质转化是降低环境污染、保持生态平衡,尤其是应对不可避免的突发性事件的一种有效方法。利用生物技术与工程的手段来治理环境污染具有处理效率高、运行成本低、不存在二次污染等优势,因此,深受环保领域专家、学者及技术人员的关注。

传统的活性污泥法处理污水是利用生物技术改善环境污染的典范,通过优势生物的参与可大大促进污染物的降解速率,使高浓度污水在短时间内处理并达到排放标准成为可能;用生物技术处理废气其效果十分显著,可以采用生物膜法实现有机废气转化或臭气脱除;将某些藻类生物放入密闭的空间载入舱内,可将航天员呼出的 CO_2 转化为 O_2 ,以维持舱内空气组成适合航天员的长期居住;利用微生物处理固态废弃物同样引人注目,不但可以大大减少废弃物量,还能藉此获得能量和有机肥料;污染环境的快速恢复是人们的美好愿望,而生物修复就是实现这一愿望的最安全、最有效的方法,利用生物修复技术可使被污染的土壤、地面和地下水资源,特别是由于油轮或加油站泄漏所引起的突发性局部环境破坏得以恢复。

近几年来,在我国政府对环境污染治理和疾病预防方面逐年增大投入力度的基础上,环境质量已有明显的改善,人们的环保意识有所增强;尤其是我国经历了突发性“非典”事件,使我们对环境保护意义与重要性的认识更为深刻。然而,环境污染问题依然十分严重,污染状况更趋复杂化的现象仍不能忽视。为进一步提高全民的环保意识,需要更科学地了解生物与环境间的协调关系,研究生物与污染物的相互作用,包括合适生物物种、适宜方法或手段的选用以及过程、装备的设计,并通过一定的条件去改造被污染的环境。因此,为生物工程环境工程以及化学、化工等专业的学生开设一门有关环境生物技术与工程的课程,对于促进学科交叉、推动环保事业的发展均具有十分重要的意义,这也是编写本书的主要目的与任务。

本书共分14章,第1章为概论,主要介绍国内外环境污染历史与现状;第2~4章为本书的基础部分,主要介绍环境微生物、环境生物检测技术以及有关污染物的生物转化与降解机理;第5~9章为传统和新型的废、污水生物处理工艺与工程设计;第10~11章为大气污染的生物净化技术;第12章介绍以吸附为主的毒物富集检测和脱除;第13章为污染环境的生物修复;第14章介绍有关环境友好生物农药。根据教学或自学的需要,我们在各章中编排了适量例题,供不同的学科的读者有选择性地学习,从而进一步理解相关原理与掌握设计方法。每章后还附有习题和参考文献,有兴趣的读者可进一步练习和查阅。

本书各章节分别由陈欢林(第1章)、周志军(第2章中第1、2、3节)、张林(第3章中第1、2节)、何奕(第3章中第3节)、沈江南(第2章中第4节、第4章、第13章)、杨岳平、郑连英(第5章)、杨岳平(第6章)、程丽华(第7、8章、附录)、何奕、颜晓莉(第9章)、曹黎明(第10章、第11章中第1节)、宋明宇(第11章中第2、3节)、虞骥

(第 12 章)、吴坚平(第 14 章)编写。全书由陈欢林统稿并做部分修改。

本书的初稿及其简易讲义曾分别作为生物工程专业学生和全校非生物、化工类学生教材,在此基础上,我们采纳了不少建议、意见,经过较大的修改编写此稿。但由于环境生物工程是一门涉及面甚广,且尚在发展之中的新兴学科,加上我们自身的专业知识、学术水平以及研究实践经验有限,书中难免有不足之处,我们真诚希望相关专家、学者和同学们提出宝贵的意见与建议,以便在再版中进一步修正和完善。

本书可作为生物工程、环境科学与工程、化学工程与技术及相关领域研究人员,工程技术人员的参考用书,也可供相关专业大专院校师生参考。

编 者

2003 年 5 月

于浙江大学求是园

目 录

第一章 概论	1
第一节 环境污染及其现状.....	1
一、环境污染.....	1
二、环境污染的分类.....	1
三、环境污染的特征.....	3
四、环境污染的危害.....	4
五、我国环境污染现状.....	6
第二节 环境污染源及优先污染物.....	10
一、环境污染源.....	10
二、优先污染物.....	11
三、持久性污染物.....	11
第三节 环境生物技术的基础.....	12
一、污染物在环境中的迁移与转化.....	12
二、污染物在生物体内吸收与转化.....	13
三、污染物的生物富集与放大.....	13
四、污染物的生物降解.....	14
五、污染物在环境中的自净作用.....	15
六、废水水质指标与排放标准.....	16
第四节 环境生物技术的研究对象与目标.....	16
一、主要研究对象与目的.....	17
二、主要研究内容.....	17
三、主要研究目标.....	17
主要参考书目.....	18
第二章 环境微生物	19
第一节 环境中微生物的主要类群.....	19
一、原核微生物.....	19
二、真核微生物.....	29
三、非细胞型微生物.....	36
第二节 微生物的生理特征.....	38
一、微生物的营养.....	38
二、微生物的代谢.....	40
三、微生物的生长.....	42
第三节 微生物的生态.....	48
一、生态系统与生态平衡.....	48
二、微生物生态系统.....	50

三、微生物之间的相互关系	51
第四节 污染环境 与微生物的相互作用	52
一、污染环境对微生物的影响	52
二、微生物对环境污染的影响	54
习题及思考题	60
主要参考书目	60
参考文献	60
第三章 环境生物检测技术	62
第一节 环境生物分析	62
一、水体污染及生物检测方法	62
二、大气污染及生物检测方法	66
第二节 生物标记物法	72
一、生物标记法基本概念	72
二、生物标记物	73
三、生物标记法在环境污染监测中的应用	74
第三节 生物传感器	76
一、概述	76
二、生物传感器的分类	78
三、典型生物传感器响应过程的理论分析	79
四、酶生物传感器的应用	80
五、微生物传感器的应用	82
六、DNA 生物传感器的应用	85
第四节 环境生物检测技术新进展	86
一、DNA 重组及基因芯片技术	86
二、核酸探针与 PCR 技术	89
习题	97
主要参考书目	98
参考文献	98
第四章 污染物的生物降解与转化	101
第一节 污染物降解微生物	101
第二节 微生物对污染物的作用	103
一、微生物的共代谢作用	103
二、微生物的解毒作用	105
三、微生物的激活作用	105
四、微生物的吸着作用	106
五、有机污染物的阈值	107
第三节 影响生物降解的因素	108
一、污染物种类对降解性影响	108
二、化学结构对生物降解的影响	109
三、环境条件对生物降解的影响	110

第四节 污染物降解动力学模型	111
第五节 污染物的生物降解反应及其中间产物	112
一、水解 (hydrolysis)	112
二、氧化 (oxidation)	113
三、碳羟基化 (carbon hydroxylation)	113
四、还原 (reduction)	114
五、裂解 (cleavage)	114
六、酰化 (acylation)	117
七、甲基化 (methylation)	117
八、转化 (conversion)	117
九、二聚 (dimerization)	117
十、其他 [如加成 (addition)]	118
第六节 典型有机污染物的生物降解	118
一、卤代有机物的生物降解	118
二、石油烃类的降解	122
三、芳香族化合物生物降解	122
四、多环芳烃的降解	124
五、合成高分子聚合物的降解	124
六、邻苯二甲酸酯类的生物降解	126
七、表面活性剂的生物降解	127
第七节 污染物的真菌降解	128
习题	129
主要参考书目	129
参考文献	130
第五章 废水好氧生物处理	132
第一节 传统活性污泥法	132
一、基本原理	132
二、活性污泥指标	132
三、活性污泥法基本流程	134
四、活性污泥法的分类	134
五、活性污泥法参数	135
六、活性污泥系统的设计	138
第二节 活性污泥系统运行方式	156
一、传统活性污泥法	156
二、完全混合活性污泥法	157
三、阶段曝气活性污泥法	157
四、吸附-再生活性污泥法	157
五、延时曝气活性污泥法	158
六、纯氧曝气活性污泥法	158
七、深井曝气活性污泥法	158

第三节 活性污泥法进展	159
一、AB 法	159
二、间歇式活性污泥法	159
三、氧化沟	162
符号说明	165
习题	166
参考文献	167
第六章 废水厌氧生物处理	168
第一节 厌氧生物处理原理	168
一、厌氧处理的基本原理	168
二、厌氧生物处理的主要影响因素	168
三、废水厌氧处理技术的优点和不足	170
第二节 厌氧生物处理工艺及设备	171
一、普通厌氧消化池	172
二、厌氧接触工艺	174
三、两相厌氧消化工艺	176
四、厌氧生物滤池	177
五、厌氧膨胀床及流化床反应器	179
六、上流式厌氧流化床反应器	181
第三节 厌氧水解酸化处理工艺	190
一、厌氧水解工艺原理	190
二、厌氧水解反应器设计	191
符号说明	195
习题	195
参考文献	196
第七章 废水的生物脱氮除磷	197
第一节 废水中氮、磷及其危害性	197
第二节 废水微生物脱氮技术	197
一、微生物脱氮原理及动力学模型	198
二、脱氮工艺	199
三、工艺选择及其设计计算	202
四、影响脱氮的因素	207
第三节 废水微生物除磷技术	209
一、微生物除磷原理及动力学模型	209
二、典型的除磷工艺	213
三、工艺选择及设计计算	215
四、影响除磷的因素	217
第四节 废水的同步脱氮除磷技术及其应用	219
一、废水的同步脱氮除磷工艺	219
二、废水同步脱氮除磷技术的应用	221

符号说明	223
习题	223
主要参考书目	224
参考文献	224
第八章 生物膜及其反应器处理技术	226
第一节 生物膜及其形成	226
一、生物膜的定义	226
二、生物膜载体	226
三、微生物的附着固定	227
四、生物膜的形成	228
第二节 生物膜结构与特性	228
一、生物膜结构	228
二、生物膜质量	229
三、生物膜厚度	229
四、生物膜活性	229
五、生物膜的废水净化作用	229
第三节 生物膜动力学模型	230
一、生物膜附着动力学模型	230
二、生物膜增长动力学模型	231
三、生物膜底物去除动力学模型	233
四、稳态生物膜动力学模型	234
第四节 生物膜反应器	237
一、生物膜反应器分类	237
二、生物滤池	238
三、生物转盘	240
四、生物接触氧化池	241
五、生物流化床	242
第五节 典型生物膜反应器工艺设计模型及计算	245
一、生物滤池的设计计算	245
二、生物转盘的设计	250
三、生物接触氧化池的设计计算	252
四、两相生物流化床设计计算	253
第六节 其他新型生物膜反应器及其工艺	256
一、三相生物流化床	256
二、厌氧生物膜膨胀床	257
三、移动床生物膜反应器	258
四、生物膜/悬浮生长级联工艺	258
符号说明	259
习题	261
主要参考书目	261

参考文献	261
第九章 膜生物反应器技术	263
第一节 膜与膜技术基础	263
一、膜过滤过程	263
二、膜的种类	263
三、常用膜材料	264
四、膜组件	264
第二节 膜生物反应器	265
一、膜生物反应器基本特征	265
二、膜生物反应器的种类	267
第三节 膜生物反应器动力学	268
一、膜生物反应器中污泥浓度的动力学模型	268
二、膜生物反应器中有机物的降解动力学	270
第四节 膜生物反应器的设计	271
第五节 各种膜生物反应器特性比较	274
第六节 典型的膜生物反应器组合工艺	275
一、活性污泥 MBR 工艺	275
二、无泡曝气 MBR 工艺	275
三、萃取 MBR 工艺	275
第七节 影响膜过滤过程的因素	276
一、膜材料性质与孔径对通量的影响	276
二、被处理料液对通量的影响	276
三、操作条件的影响	277
第八节 膜污染的防治	277
一、形成膜表面凝胶层的主要物质	277
二、防治膜污染的主要途径	278
第九节 膜生物反应器处理废水应用实例	279
一、城市污水的处理	279
二、工业有机废水的处理	280
符号说明	282
习题	283
主要参考书目	283
参考文献	283
第十章 生物脱硫技术	285
第一节 概述	285
第二节 化石燃料中硫的存在形式	286
一、煤中硫的存在形式	286
二、石油中硫的存在形式	287
第三节 脱硫微生物	287
一、煤脱硫微生物	287

二、石油脱硫微生物·····	288
第四节 微生物脱硫途径及机理·····	289
一、无机硫脱除途径·····	289
二、有机硫脱除途径·····	290
三、生物降解有机硫的机理·····	291
第五节 生物脱硫的动力学研究·····	293
一、生物脱硫的动力学模型·····	294
二、影响参数的确定·····	295
第六节 生物脱硫反应器及其工艺·····	296
一、生物脱硫反应器·····	296
二、生物脱硫反应工艺流程·····	296
第七节 生物脱硫的工业应用·····	297
一、工业废气的生物脱硫·····	297
二、烟道气微生物脱硫·····	297
三、煤炭的生物脱硫·····	298
四、高硫石油的生物脱硫·····	298
五、柴油生物脱硫·····	299
符号说明·····	299
习题·····	300
参考文献·····	300
第十一章 大气生物净化技术 ·····	302
第一节 CO_2 的生物脱除与转化·····	302
一、 CO_2 的光合作用·····	302
二、 CO_2 (微) 生物固定生物·····	303
三、 CO_2 的生物转化产物·····	309
四、 CO_2 光生物反应器·····	309
第二节 VOCs 废气的生物净化·····	312
一、VOCs 的生物净化特点·····	312
二、生物净化方法·····	313
三、生物反应器的设计参数·····	316
四、影响生物反应器的因素·····	317
第三节 氮氧化物的生物净化·····	317
一、氮氧化物的来源及其危害·····	317
二、处理 NO_x 的微生物和装置·····	318
三、国内外去除 NO_x 的研究进展·····	318
符号说明·····	320
主要参考书目·····	320
参考文献·····	320
第十二章 污染物的生物富集与转化 ·····	322
第一节 有机污染物的生物富集·····	322

一、生物富集系数·····	322
二、有机物的生物富集机理及模型·····	323
三、有机污染物的富集·····	326
第二节 有机污染物的仿生富集·····	327
一、半透膜富集·····	327
二、分子印迹高分子和亲和膜·····	329
第三节 金属离子的生物富集·····	330
一、金属离子的生物富集机理·····	331
二、金属离子的生物富集工艺·····	333
三、重金属的生物富集·····	334
第四节 其他有害物质的生物富集·····	337
一、放射性物质的生物富集·····	337
二、微量元素的生物富集·····	337
第五节 污染物的生物转化·····	337
一、有机污染物的生物转化·····	337
二、重金属的生物转化·····	338
三、微量元素的生物转化·····	339
符号说明·····	340
主要参考书目·····	340
参考文献·····	340
第十三章 污染环境的生物修复·····	343
第一节 生物修复的基本概念·····	343
一、生物修复的对象与生物修复剂·····	343
二、生物修复的方式·····	347
三、生物修复特点·····	348
四、影响生物修复的因素·····	348
第二节 原位生物修复·····	349
一、原位修复的特点·····	349
二、原位生物修复的方法·····	350
三、原位生物修复设计的工程问题·····	351
四、原位生物修复过程的物料平衡计算·····	353
第三节 异位生物修复及其生物反应器·····	354
第四节 土壤污染的生物修复·····	357
一、土壤污染的种类及修复基础·····	357
二、有机物污染的微生物修复·····	357
三、难降解有机毒物的真菌修复·····	359
四、污染物的植物修复·····	359
第五节 水体污染的生物修复·····	360
一、水体污染的种类及修复基础·····	360
二、海洋石油污染的生物修复·····	361

三、地下水污染生物修复·····	364
第六节 地表水体污染的生态工程修复·····	364
一、地表水的富营养化及修复方法·····	364
二、稳定塘法·····	364
三、人工湿地·····	366
第七节 生物修复技术的发展前景·····	368
习题·····	369
主要参考书目·····	369
参考文献·····	370
第十四章 环境友好生物农药·····	372
第一节 生物农药概况·····	372
第二节 微生物农药·····	373
第三节 抗生素农药·····	387
一、农用抗生素及其研究历史·····	387
二、杀真菌剂·····	388
三、杀细菌剂·····	391
四、杀病毒剂·····	392
五、除草抗生素·····	392
六、杀虫剂·····	393
第四节 微胶囊农药制剂·····	394
一、微胶囊及其制备技术·····	394
二、生物胶囊·····	395
三、农药微胶囊·····	395
四、微胶囊的释放机制·····	396
五、微胶囊农药中毒的危险性和特点·····	397
第五节 生物农药展望·····	398
主要参考书目·····	398
参考文献·····	399
附录·····	401
一、国家危险废物名录·····	401
二、环境质量及有关污染物综合排放标准·····	408
三、美国 127 种优先污染物中英文对照·····	429
四、有关环境微生物的中英文对照·····	430
五、有机化合物的环境性质·····	434

第一章 概 论

第一节 环境污染及其现状

一、环境污染

人类对环境污染问题的认识和重视是通过一系列的灾难性事故发生后提高的, 20 世纪 30~40 年代发生的几例烟雾事件, 是导致 1948 年英国公共卫生法颁布的直接原因, 这部卫生法可认为是历史上对环境污染及环境保护的第一个立法文件。随后是 1957 年的罗马条约 (Treaty of Rome), 提出了维护、保护和改善环境, 致力于保护公民健康, 谨慎并理性地利用资源以及完善处理环境问题等。到了 20 世纪 50~60 年代, 由于工业发展速度加快, 除了频繁发生的烟雾事件外, 在日本又发生了更为严重的水俣病、哮喘病、骨痛病以及米糠油污染等公害事件, 震惊了世界。

工业化国家强烈意识到, 在世界范围内严格控制废物排放、预防环境污染、减少公害事件发生以及保护生态环境平衡的重要性和必要性。1969 年, 美国首先颁布了国家环境政策条例 (US National Environmental Policy Act), 并于 1970 年建立美国环境保护署 (EPA); 1972 年的斯德哥尔摩宣言 (Stockholm Declaration)、在 1977~1982 年期间, 美国通过了关于清洁空气 (Clean Air Act)、清洁水以及有害废弃物等方面的法令; 1987 年的蒙特利尔草案 (Montreal Protocol) 会议以后, 又颁布了一系列有关污染控制 (Control of Pollution Act)、水资源利用 (Water Resources Act)、水产业 (Water Industries Act)、水污染 (Federal Water Pollution Act)、生物多样性 (Convention on biodiversity) 等方面一系列法规或条例; 1991 年的荷兰马斯特里赫特义务条约 (Treaty of Maastricht Obligation) 进一步补充了罗马条约的内容; 1994 年则签署了海上污染条约 (Maritime Pollution Treaty)。

在 1990 年和 1995 年, 英格兰、威尔士和苏格兰等国家先后制定了环境保护法令, 明确提出了环境与污染的定义。所谓环境指的是“存在的空气、水和土壤, 以及包括建筑物在内的空气和另外地面或地下的自然或人工结构中的空气及其组成要素”; 而污染则是“任何对环境中生存的人或其他生命有机体产生危害的物质释放到环境中的行为”。由此可以进一步定义环境污染是“由于自然的或人为的活动引起某些物理、化学和生物等有毒因素或有害因素进入环境, 在数量或强度上超出了环境的自净能力, 并在环境中扩散、迁移、转化, 使环境和它的组成要素如大气、水体、土壤等发生改变, 扰乱和破坏了环境生态平衡, 进而使环境系统状态与功能变差, 最终影响人类及其他生物正常生存和发展的环境不协调现象”。

在通常情况下, 环境污染主要指人类活动所导致的环境质量下降并影响人类正常生存和发展的现象。因此, 在实际的环境管理工作中, 通常以环境质量标准为尺度来衡量环境是否发生污染以及所受污染的程度。由于世界范围内不同国家或地区在社会、经济、技术等方面的差异, 所制定和使用的环境质量标准也有所差别, 因而在环境污染的评定方面也有所不同。

二、环境污染的分类

如表 1-1 所列, 环境污染大致可按环境要素、污染产生原因、污染物性质、污染物形态以及污染分布范围等 6 种类型来分类。

表 1-1 环境污染的类型和形式

污染类型	污 染 形 式
污染物性质	生理性污染、物理性污染、化学性污染和生物性污染
污染物形态	废气污染、废水污染、固体废物污染、噪声污染和辐射污染
被污染的客体	大气污染、水体污染、土壤污染、食品污染等或多个客体同时被污染
污染原因	生产污染、生活污染、农业污染和交通污染
污染程度	轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染
污染影响范围	室内污染、点源污染、面源污染、区域污染和全球污染

污染物是多种多样的，按照以上不同方法分类，对污染物的形式可进一步细分。例如，生物性污染可包括病原微生物、寄生虫和各种有害动植物、鼠类、有害昆虫等；化学性污染可分为有害气体（二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、硫化氢、氟化氢等）、重金属（汞、镉、铅等）、有机化合物和无机化合物、农药及高分子化合物等几大类；物理性污染则包括噪声、电磁辐射、电离辐射及热污染等；混合性污染指的是多种污染物同时进入环境，造成污染物组分复杂、处理难度极大的污染。

在 30 年前及更早，生物性污染是主要的。近 20 年来，随着工业生产和科技的发展，化学性、物理性和放射性污染已成为重要的污染源。

1. 大气污染

大气污染是指有害、有毒气体和悬浮物质介入大气中，其浓度超过了大气环境的容许量，致使大气质量恶化，对人类及动、植物产生直接或间接危害的现象。大气污染物主要来源于工业、厂矿、交通运输、火山爆发和核爆炸等新排出的有害、有毒废气，以及过度使用农药，致使农药飘入大气所造成的。现已知大气污染物约有 1500 种以上，其中排放量大的有烟尘、粉尘、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、挥发性有机物、碳氢化合物、铅蒸汽等近 200 种，对人类和环境影响较大。根据污染源的性质和能源结构不同，可将大气污染物分成以下四种类型。

(1) 煤炭型 由燃烧煤炭产生的污染物污染大气，主要有烟气、灰尘、硫化物、氧化物等，是我国主要的大气污染源。

(2) 石油型 由使用、生产石油和石油化工产品中各类油燃烧后排放的大量废气造成的污染。污染物主要有氮氧化物、碳氢化合物及其进一步反应所生成的化合物等。目前汽车尾气排放已成为主要污染源。

(3) 混合型 由燃烧煤炭和石油加工过程中产生的废气以及各种工业、工艺生产和加工过程中产生的有害、有毒的混合污染物造成的污染。

(4) 特殊型 由于生产中的事故性泄漏或人为排出有毒害气体，造成局部区域的大气污染。主要污染物有易挥发有机物（VOC）、氯气、酸雾、硫化氢、汞及其他金属蒸汽等。

2. 水体污染

人类在生产、生活过程中产生的有害、有毒物质进入水体，其量超过了水体的自净能力，引起水质恶化，降低了水的使用价值，造成对环境、人体和其他生物的危害现象。按照污染物的性质，可把污染水体分成生理性污染、物理性污染、化学性污染和生物性污染等四类。

(1) 生理性污染 指污染物排入天然水体后引起感官性状的恶化，也称感官性污染，常

以嗅觉、味觉、外观、透明度等感官性质为衡量指标。

(2) 物理性污染 指污染物水体后其物理特性发生变化，如油、泡沫浑浊度、悬浮物的变化、水泡沫和油膜的产生、颜色、水温的变化等。衡量指标为浑浊度、色度、悬浮物质量、导电率、温度等物性参数。

(3) 化学性污染 指污染后水体化学性质的改变，如有机物分解、酸碱度变化、水体硬度增高、有毒物质浓度超标等。衡量指标有生化需氧量、化学耗氧量、溶解氧量、pH 值、硬度以及某些毒物含量。

(4) 生物性污染 指水体被有害微生物、寄生虫等病原体或能引起人类过敏反应的变应原等污染，造成水体恶化，并会使人及动物感染或传染，导致直接或间接危害人类健康的一种污染。主要以大肠杆菌及细菌数等为衡量指标。

表 1-2 给出水体污染种类及典型污染物。

表 1-2 水体污染种类及典型污染物

污染种类	典型污染物	原因及危害
悬浮固体物质	烟尘、粉尘等	
无机物	汞、铬、镉、铅等，氰化物、氮、磷、酸、碱、盐类等	重金属易被水生生物富集，由食物链途径放大进入人体
有机物	苯类、酚类、多氯联苯、农药及杀虫剂、生活污水等	不易降解
水体富营养化	工业废水、农田排水以及生活污水中所含的氮、磷、钾等	促使水草、藻类等植物过度繁殖，降低水体中溶解氧含量，恶化水质
热污染	核、电工业用冷却水	将大量热能带入水体，使水温升高，水生动植物繁殖加快、耗氧量增大
油污染	原油	采油与运输过程中的事故性泄漏和扩散、炼化厂废油水排入形成油膜
放射性污染	核爆炸裂变或衰变产物	核试验等散落的放射性物质进入水体
生物性污染	病毒、细菌、真菌、寄生虫等	病原体污染

3. 土壤污染

土壤污染是指污染物在土壤中的累积浓度超过土壤环境容量，引起土壤质量恶化的现象。土壤污染源主要来自化肥与农药的使用、污水灌溉、废渣侵蚀以及大气、水质污染的间接影响等污染。为了防治病、虫、草害，大量使用化学农药，效果显著，但由于长期滥用某些残留量较高的农药而造成严重的土壤污染。

污染土壤会使植物生理功能失调，农作物生长发育不良，还会通过食物链的不断积累和浓缩，危害人体健康。如长期施用氮肥，会造成土壤板结，破坏土壤结构，同时会使作物积累大量硝酸盐，放出有毒的二氧化氮和四氧化氮气体；如施用过磷肥，会引起土壤中缺铁、锌等元素，磷却被固定成非有效状态。由于农药的大量施入，还直接破坏土壤微生态的平衡，农药在抑制病虫害同时也导致土壤生物的死亡，如污染严重时，土壤中蚯蚓的死亡率可高达 90%，同时也降低土壤微生物群落数和土壤酶活性，从而降低土壤肥力。土壤污染物还可从森林、农田、草原等流入水域，污染水体。

三、环境污染的特征

造成环境污染的有毒、有害污染物主要来自于工农业生产过程中形成的废水、废气、废渣、人类生活垃圾、人畜粪尿，以及空气中各种致病的细菌、病毒和能引起人们呼吸道、消