

环境监测

杨若明 金 军 主 编

王 英 张经华 副主编

HUANJIANG
JIANCE



化学工业出版社

环境监测

杨若明 金 军 主 编

王 英 张经华 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以环境监测介质对象分类为主线,依据国家环境保护部和国家环境监测总站颁布的最新标准和方法,全面介绍了各种环境监测介质主要污染物的布点、采样、分析检测、数据处理和质量保证技术。对自动连续监测、生态监测、遥感监测等环境监测的新技术、新方法,对最新的法规、标准等进行了重点介绍。对生物样品中的痕量有机污染物的预处理技术与测定方法等当前的热点问题也进行了较深入的介绍。

本书可作为高等院校环境工程、环境科学专业本科生的教材,也可作为相关专业科研人员、技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

环境监测/杨若明,金军主编. —北京:化学工业出版社, 2008.12

ISBN 978-7-122-03732-9

I. 环… II. ①杨…②金… III. 环境监测 IV. X83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 147135 号

责任编辑:刘兴春 汲永臻
责任校对:周梦华

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:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 21½ 字数 559 千字 2009 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

环境监测是高等院校环境科学、环境工程以及相关专业的—门基础主干课程。近年来,环境监测的内容与理念不断更新,对环境监测的课程与教材也不断提出了新的要求,为此,编写了这部教材。

本书在编写中注意了以下几点。

1. 突出了环境监测的根本属性。即环境监测是政府授权的行为,强调环境监测的法律内涵,以政府制定的环境监测的法律、规范,特别是以国家标准或环境保护行业标准为依据,介绍环境监测的基本内容。

2. 突出了环境监测的实践性。对监测项目、监测方法的选择,均从我国环境监测的实际出发,一些实际工作中已经不再采用的方法不再编选,而选编了一些监测站实际工作中卓有成效的方法。

3. 突出了环境监测的规范性。我国已经出台了各种环境要素环境监测的技术路线,这是环境监测的基本依据,本书各类环境要素的监测均以环境监测的技术路线为主线而展开。

4. 突出了环境监测的科学性和环境监测知识的系统性。全书共分10章,包括环境监测的基本概念、环境监测的质量保证和质量控制、大气环境监测、水环境监测、土壤环境监测、固体废物监测、生物与生态监测、环境辐射监测、环境噪声监测和环境监测新技术等内容。每一部分又都系统介绍了监测技术路线、监测方案的制定、采样、保存与运输、预处理、分析测定、数据处理与结果报告、质量控制等环境监测的基本理论、基本体系,使读者既有对环境监测全貌的了解,又有对其重点内容的掌握。

5. 突出环境监测的时代性与前瞻性。本书对自动连续监测、生态监测、遥感监测等环境监测的新技术、新方法,对最新的法规、标准等进行了重点介绍;对生物样品中的痕量有机污染物例如 POPs 的预处理技术与测定方法等当前的热点问题也进行了较深入的介绍,以使读者了解现代环境监测的新技术、新方法和新动向。

本书由杨若明、金军担任主编,王英、张经华、刘洋担任副主编。参加本书编写的有杨若明(第1章1.1、1.2、1.4;第4章4.1、4.4、4.7~4.9;第8章8.1、8.2、8.4、8.5),王英(第2章、第3章、第10章),金军(第5章~第7章、第9章),张经华(第4章4.5、4.6;第8章8.3),刘洋(第1章1.3、1.5;第4章4.2、4.3)。全书由杨若明、金军、王英共同修改并定稿;在本书编写工作中,田旸、张玉华、胡吉成等帮助制作了部分表格,在此表示感谢。编写过程中参考和引用了部分教材和文献资料,特在此表示衷心感谢。

本书获得了中央民族大学教材立项的经费支持,特在此表示感谢。

本书的作者长期从事环境监测方面的教学和科研工作,在前期教学与科研优秀成果的基础上编写了本书。但是由于参编作者较多、风格各异,本书难免存在不足,恳请读者提出宝贵意见和修改建议。

编者

2008年8月

目 录

第 1 章 环境监测概述	1	2.1.2 环境监测质量保证与质量 控制 (QA/QC)	37
1.1 环境和环境污染	1	2.1.3 环境监测质量保证体系及程序	37
1.1.1 环境和环境质量	1	2.2 环境监测的数据处理	38
1.1.2 环境污染	2	2.2.1 监测数据的基本概念	38
1.1.3 环境污染的类型	3	2.2.2 监测数据的统计处理	39
1.2 环境污染物特点	4	2.2.3 数据修约规则	42
1.2.1 污染物的毒性与阈值	4	2.2.4 可疑数据的取舍	44
1.2.2 污染物的空间分布	5	2.2.5 t 分布与 t 检验	46
1.2.3 污染物的时间分布	6	2.2.6 F 检验法	48
1.2.4 污染因素的综合效应	7	2.2.7 方差分析	48
1.2.5 二次污染物的形成	7	2.2.8 回归分析法	49
1.2.6 污染物的形态、迁移和转化	8	2.2.9 Spearman 秩相关系数检验	50
1.2.7 优先控制污染物与持久性 有机污染物	10	2.3 监测数据的结果表述	51
1.3 污染源	13	2.3.1 监测数据的成果表述	51
1.3.1 污染源的分类	13	2.3.2 监测数据的解析	51
1.3.2 工业污染源	14	2.3.3 环境质量图	52
1.3.3 农业污染源	15	2.4 环境监测质量控制	52
1.3.4 生活污染源	15	2.4.1 实验室内部质量控制	52
1.3.5 交通运输污染源	15	2.4.2 实验室间质量控制	55
1.3.6 其他污染源	15	2.4.3 实验室质控指标	57
1.4 环境监测的基本概念	15	2.5 标准分析方法和环境标准物质	58
1.4.1 环境监测的目的和任务	15	2.5.1 标准分析方法	58
1.4.2 环境监测的分类	17	2.5.2 分析方法标准化	58
1.4.3 环境监测的特点	19	2.5.3 环境标准物质	59
1.4.4 环境监测的技术路线、程序和 方法	20	2.5.4 环境监测的质量控制样品	61
1.4.5 环境监测技术的发展	21	思考题	61
1.5 环境标准	23	参考文献	63
1.5.1 环境标准的地位与作用	23	第 3 章 大气环境监测	64
1.5.2 环境标准的体系	24	3.1 概述	64
1.5.3 环境标准的制定原则	25	3.1.1 大气污染源	65
1.5.4 水质标准	26	3.1.2 大气污染物及其存在状态	66
1.5.5 空气质量标准	31	3.1.3 大气污染物的时空分布	67
1.5.6 土壤和固体废物及其他标准	32	3.1.4 空气中污染物的浓度表示方法	67
思考题	33	3.2 大气环境监测方案	68
参考文献	34	3.2.1 环境空气监测方案	68
第 2 章 环境监测质量保证与质量控制	35	3.2.2 室内空气监测方案	74
2.1 概述	35	3.3 空气采样方法和采样仪器	76
2.1.1 监测数据的五性	36	3.3.1 直接采样法	76
		3.3.2 浓缩采样法	77

3.3.3 采样仪器	81	4.5.1 水温的测定	163
3.3.4 采样效率	86	4.5.2 色度的测定	164
3.3.5 采样记录	87	4.5.3 残渣的测定	164
3.4 空气环境质量监测	87	4.5.4 臭的测定	165
3.4.1 颗粒物的测定	87	4.5.5 电导率的测定	165
3.4.2 气态和蒸气态污染物质的测定	89	4.5.6 浊度的测定	166
3.4.3 环境空气质量日报和预报	99	4.5.7 透明度的测定	166
3.4.4 降水监测	101	4.5.8 矿化度的测定	166
3.5 大气污染源监测	103	4.5.9 氧化还原电位的测定	167
3.5.1 固定源排气监测	103	4.6 金属污染物的测定	167
3.5.2 移动源监测	112	4.6.1 汞的测定	167
3.6 室内环境监测	115	4.6.2 镉的测定	169
3.6.1 室内空气质量监测	115	4.6.3 铅的测定	172
3.6.2 室内空气污染源监测	125	4.6.4 铬的测定	172
3.7 空气监测技术路线	134	4.6.5 砷的测定	173
3.7.1 技术路线	134	4.6.6 锌的测定	174
3.7.2 项目与频次	135	4.6.7 铜的测定	174
3.7.3 监测分析方法	135	4.6.8 其他金属的测定	175
思考题	135	4.7 非金属污染物的测定	176
参考文献	136	4.7.1 pH值的测定	176
第4章 水环境监测	137	4.7.2 酸度和碱度的测定	176
4.1 概述	138	4.7.3 溶解氧 (DO) 的测定	176
4.1.1 水体和水质污染	138	4.7.4 氯化物的测定	177
4.1.2 水质监测的目的和原则	138	4.7.5 氰化物的测定	179
4.1.3 水质监测的内容和分析方法的特点	139	4.7.6 硫化物的测定	181
4.1.4 水污染物排放总量监测	140	4.7.7 含氮化合物的测定	182
4.1.5 水质监测的基本程序	141	4.7.8 其他非金属化合物的测定	185
4.2 水质监测技术路线	142	4.8 有机污染物的测定	185
4.2.1 地表水监测技术路线	142	4.8.1 化学需氧量 (COD) 的测定	186
4.2.2 水污染源监测技术路线	142	4.8.2 高锰酸钾指数的测定	187
4.3 水质监测方案的设计	143	4.8.3 生化需氧量 (BOD) 的测定	188
4.3.1 基础资料的收集与调查	143	4.8.4 总有机碳 (TOC) 的测定	191
4.3.2 水质监测项目的确定	143	4.8.5 总需氧量 (TOD) 的测定	192
4.3.3 水质监测分析方法的选择	146	4.8.6 挥发酚类的测定	192
4.3.4 水质监测的布点	146	4.8.7 石油类的测定	193
4.3.5 采样时间和采样频次的确定	151	4.8.8 其他有机污染物的测定	193
4.3.6 采集水样的类型	152	4.9 底质监测	194
4.3.7 采样方法及监测技术的选择	153	4.9.1 底质定义和监测意义	194
4.3.8 结果表达、质量保证与计划的实施	153	4.9.2 底质样品的制备与分解	194
4.4 水样的采集、保存和预处理	153	4.9.3 底质中污染物质的测定	195
4.4.1 水样的采集	153	思考题	196
4.4.2 水样的运输与保存	158	参考文献	197
4.4.3 水样的预处理	160	第5章 土壤环境监测	199
4.5 水样物理性质的测定	163	5.1 概述	199
		5.1.1 土壤的机械组成	200
		5.1.2 土壤的化学组成	201

5.1.3 土壤背景值	201	6.5.2 监测分析方法	234
5.1.4 土壤污染	201	6.5.3 固体废物处理处置过程中的污染 控制分析	235
5.1.5 土壤环境容量	203	思考题	235
5.2 土壤样品采集	204	参考文献	235
5.2.1 采样准备	204	第7章 生物与生态监测	237
5.2.2 采样点布设	205	7.1 概述	237
5.2.3 基础样品数量	205	7.1.1 生物监测的原理与特点	237
5.2.4 布点数量	206	7.1.2 生物污染的途径	238
5.2.5 采样深度	206	7.1.3 污染物在生物体内的分布与 蓄积	239
5.2.6 采样方法	207	7.2 水质污染的生物监测	240
5.3 土壤样品制备与保存	208	7.2.1 生物群落法	240
5.3.1 土样的风干	209	7.2.2 水污染生物监测新技术	244
5.3.2 磨碎与过筛	209	7.3 大气污染的生物监测	245
5.3.3 土样保存原则	209	7.3.1 利用植物监测	245
5.4 土壤污染物的测定	210	7.3.2 利用动物监测	247
5.4.1 土壤污染监测项目及测定方法	210	7.4 生物材料检测法	247
5.4.2 土壤样品消解	211	7.4.1 生物样品的采集与制备	247
5.4.3 土壤污染物的分析测定	211	7.4.2 生物样品的预处理	250
5.4.4 质量保证和质量控制	216	7.4.3 常用的分析方法	253
5.4.5 土壤监测实例	216	7.5 生态监测	253
5.5 土壤监测技术路线	218	7.5.1 生态监测的概念	253
思考题	219	7.5.2 生态监测的类型	254
参考文献	219	7.5.3 生态监测的内容	254
第6章 固体废物监测	220	7.5.4 生态监测技术方法	255
6.1 概述	220	7.5.5 生态监测技术路线	255
6.1.1 固体废物的定义与分类	220	思考题	256
6.1.2 危险废物的定义与鉴别	221	参考文献	256
6.2 固体废物样品的采集和制备	222	第8章 环境辐射监测	257
6.2.1 样品的采集	222	8.1 放射性的基本概念	257
6.2.2 样品的制备	225	8.1.1 核衰变与放射线	257
6.2.3 样品水分的测定	225	8.1.2 放射性度量的物理量	258
6.2.4 样品的保存	226	8.1.3 放射线与物质的相互作用	259
6.3 有害特性的监测方法	226	8.2 放射性污染	260
6.3.1 急性毒性试验	226	8.2.1 放射性污染源	260
6.3.2 腐蚀性	226	8.2.2 放射性污染的特点	263
6.3.3 易燃性	227	8.2.3 放射性污染的途径和对人体的 危害	264
6.3.4 反应性试验	227	8.3 放射性污染防治法规与标准	265
6.3.5 浸出毒性试验	228	8.3.1 放射性污染防治法	265
6.4 生活垃圾	229	8.3.2 放射性辐射标准	266
6.4.1 生活垃圾处理方法	229	8.4 放射性污染的监测	269
6.4.2 生活垃圾采集与物理分析	229	8.4.1 放射性污染监测的目的与特点	269
6.4.3 渗滤水分析	232	8.4.2 放射性污染监测的对象与范围	270
6.4.4 甲烷监测	233	8.4.3 核辐射探测仪器的监测原理	272
6.4.5 恶臭污染物监测	234		
6.5 固体废物监测技术路线	234		
6.5.1 固体废物监测内容	234		

8.4.4 放射性样品的采集与前处理	277	9.4 环境噪声监测技术路线	299
8.4.5 放射性污染的监测	280	9.4.1 技术路线	299
8.5 环境辐射监测的技术路线	282	9.4.2 监测项目与频次	299
8.5.1 技术路线	282	9.4.3 监测方法	300
8.5.2 监测对象、项目与频次	282	思考题	300
思考题	283	参考文献	300
参考文献	283	第 10 章 环境监测新技术	301
第 9 章 环境噪声监测	284	10.1 环境自动监测系统	301
9.1 声音的物理特征和量度	284	10.1.1 自动监测系统概述	302
9.1.1 描述声波的基本物理量	284	10.1.2 水质自动监测系统	303
9.1.2 计量声音的物理量	285	10.1.3 空气质量自动监测系统	308
9.2 噪声的物理量和主观听觉的关系	287	10.1.4 烟气排放连续监测系统	314
9.2.1 响度和响度级	287	10.1.5 环境噪声自动监测系统	316
9.2.2 计权声级	288	10.2 环境遥感监测	319
9.2.3 等效连续声级、噪声污染级、 昼夜等效声级和噪声的频谱 分析	288	10.2.1 地基大气遥感	320
9.3 噪声的测量	290	10.2.2 大气卫星遥感	328
9.3.1 噪声测量仪器	291	10.3 便携式现场监测仪	331
9.3.2 噪声测量应注意的问题	294	10.3.1 水质便携式现场监测仪	331
9.3.3 噪声的测量方法	294	10.3.2 气体便携式现场监测仪	331
		思考题	333
		参考文献	333

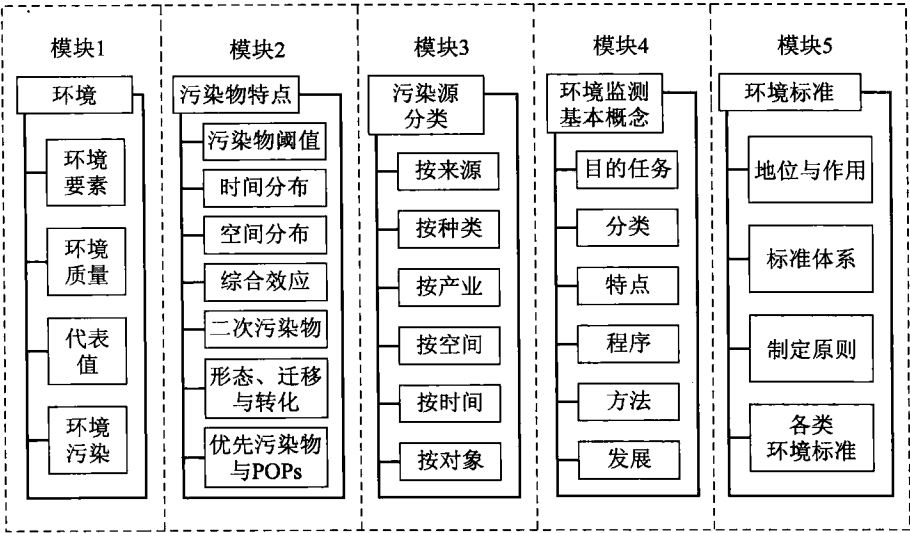
第1章 环境监测概述

>>> 开篇导读

环境监测与环境公报

国务院环境保护行政主管部门建立监测制度，制定监测规范，会同有关部门组织监测网络，加强对环境监测的管理。

国务院和省、自治区、直辖市人民政府的环境保护行政主管部门，应当定期发布环境状况公报。



1.1 环境和环境污染

环境中出现的不利于人类生存和发展的现象，统称为环境问题。环境问题涉及很多方面，包括环境污染、生态破坏、人口剧增和资源破坏与枯竭等，其中环境污染是一类十分重要的环境问题。由于环境污染的出现，导致了最初的环境监测的产生。

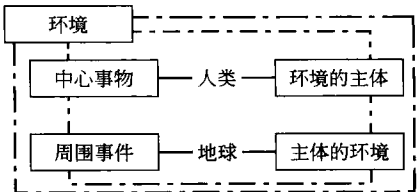
1.1.1 环境和环境质量

(1) 环境

所谓环境是相对于中心事物而言的。与某一中心事物有关的周围事件，称为这个事物的环境，而称中心事物为环境的主体。

以人类为主体，其赖以生存和发展的外部世界，具体地讲，就是我们生存的地球，则构成了人类的地球环境。

本法所称环境，是指影响人类生存和发展的各



种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜、城市和乡村等。

——中华人民共和国环境保护法，第二条

(2) 环境要素

所谓环境要素是指人类环境整体中各个独立的，性质不同但又服从整体演化规律的基本物质组分。环境要素分为自然环境要素和社会环境要素。环境科学研究中通常指自然环境要素。环境要素包括大气、水、岩石-土壤和生物四大要素。地球表面各种环境要素及其相互关系的总和构成了地球环境系统，地球环境系统是一个不可分割的整体。为了研究的方便，通常将其分为大气圈、水圈、岩石-土壤圈和生物圈。这四个圈层在太阳能和地壳内部积蓄能量作用下，进行着永恒的能量流动和物质循环，处于动态稳定状态。例如，太阳能使水从海面蒸发，在陆地区域的广大范围降雨，相等的水量经河流、地下水等流回海中，形成全球规模的水循环。

(3) 环境质量

所谓环境质量是指在一个具体的环境内，环境的总体或某些要素，对人群的生存和繁衍以及社会经济发展的适宜程度。按层次划分，环境质量包括各种环境要素的质量和综合环境质量。按影响环境质量的因素划分，包括物质因素及能量因素；物质因素包括化学物质、生物和微生物等，而能量因素包括噪声、光、热、振动、放射性和电磁辐射等。描述这些因素的定量数据称为环境质量的代表值（简称代表值），例如化学物质的浓度、噪声的声级、放射性的强度等。用环境质量的好坏来表示环境遭到污染或破坏的程度。

1.1.2 环境污染

(1) 环境污染与环境问题的产生

人类是地球环境演变到一定阶段的产物。人类自产生之日起，便开始了对地球环境的利用和改造。人类从环境获取资源以维持生存和发展，又将改造和使用过的自然物及废弃物还给环境，人类以这种方式参与了地球环境的能量流动和物质循环，同时不断改变着地球环境。地球环境却仍以其固有规律运动着，不断反作用于人类，由此而产生了一系列各种各样的环境问题。

早期的环境问题应当说主要是环境污染。环境污染是指主要源于人类活动引起的环境质量下降而有害于人类及其他生物正常生存和发展的现象。人们对环境污染的注意可以追溯到古代：早在 1080 年，中国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中写过“石烟多似洛阳尘”就描述了炭黑生产造成的烟尘污染。

(2) 重大环境污染事件

工业革命后，机器广泛使用，工业生产迅速发展，人类排放的废弃物大量增加，造成环境污染日益加剧。20 世纪中期，在比利时、美国、英国和日本曾发生了震惊当时世界的“八大公害事件”。

随着人类社会的发展，工业化的加速进展以及各种新能源的开发和利用，近年来全世界每年都有大量的环境污染事件发生。有些是跨国家、跨地区的，甚至引起全世界的强烈震动。20 世纪后期世界上发生了一系列重大突发环境污染典型事件。例如，1976 年意大利塞维索农药厂爆炸，造成二噁英污染；1984 年，印度博帕尔农药厂液态异腈酸甲酯储气罐泄漏，造成 2500 人死亡，10 万人终生残废，生态环境受害达 0.4 万公顷；此外，1986 年苏联切尔诺贝利核电站泄漏事件以及瑞士巴塞尔化学公司仓库起火，30 吨含 S、P、Hg 剧毒物造成莱茵河污染等。

20 世纪以来，世界范围的近海石油开发和频繁的海上石油运输带来了巨大的经济利益，同时，也对海洋环境造成了极大威胁。海洋石油泄漏事件年有发生。仅在 1970~1990 年间，泄油事故多达 1000 起。每年排入海洋的石油达 1000~1500 万吨，其中包括通过河流排入废油、船舶排入和事故溢油、海底油田泄漏和井喷事故等。世界上最大的原油泄漏事件发生在 1991 年海湾战争造成的石油倾泄，多达 100 多万吨的原油因油港油库破坏而流入海湾，波斯湾的海鸟身上沾满石油，无法飞行，只能待以毙命，鲸、海豚、海龟、虾蟹以及各种鱼类被毒死或窒息而死。

一系列严重灾难性的公害事件，终于使人们警醒，面对环境质量的下降，对环境污染再也不能掉以轻心了！

我国环境污染的现状也不容乐观。在大气、水体、固体废物以及农业面源污染等方面均存在急需解决的环境污染问题。例如，大气污染方面，煤炭在我国能源构成中超过 70%，燃煤造成了大量烟尘、二氧化硫等污染。近年来，大城市机动车保有量急剧上升，空气污染由单一煤烟型污染转化为混合型污染。例如北京市大气污染源解析研究表明，北京市大气污染源除煤烟型外，还包括机动车尾气污染、地面扬尘污染、混合排放污染及工业污染等。

水体污染监测表明，在城市沿岸排污口附近的污染带很是明显。城市周边地表水和地下水污染严重。近年来，国家环保部门调查了 42 个城市的 44 条河流，其中 93% 的河流受到污染，甚至出现了在某些河流几十里河段无大型水生生物的严重情况。

固体废物污染方面，随着城市规模加大、人口增加，城市垃圾迅速增加。我国的 688 个城市中，2000 年城市垃圾产量达 1.9 亿吨，且以 10% 的年增长率递增。城市垃圾侵占土地、污染大气和地下水，而且垃圾处理不当会造成二次污染，例如某地垃圾渗滤液中检出的有机污染物 10 类 91 种（表 1-1）。

表 1-1 垃圾渗滤液中检出的有机污染物

污染物类别	数 目	污染物类别	数 目
多环芳烃	24	醛酮	2
单环芳烃	5	醇酚	8
杂环化合物	8	羧酸和酯	13
烷烃、烯烃类	15	胺、酰胺	7
卤代烃类	9	总计	91

注：此表引自：张兰英等，中国环境科学，1998，18（2）。

1.1.3 环境污染的类型

环境污染类型的划分，因研究角度和目的不同而异。各类环境污染中，危害非常严重的化学污染物概括起来可分为以下 9 类。

- ① 单质 包括铅、镉、铬、汞、砷等重金属元素，卤素，臭氧，类金属磷等。
- ② 无机物 包括氰化物、一氧化碳、氮氧化物、卤化氢、卤素化合物（如 ClF、BrF、IFS、B、Cl、IBr 等）、次氯酸及其盐、硅的无机化合物、无机磷化合物（如 PH₃、PX₃、PX）、硫的无机化合物（如 H₂S、SO₂、H₂SO₃、H₂SO₄）等。
- ③ 有机烃化合物 包括烷烃、不饱和烃、芳烃、多环芳烃（PAH）等。
- ④ 金属有机化合物和准金属有机化合物 如四乙基铅、羰基镍、二苯铬、三丁基锡、单甲基或二甲基胂酸、三苯基锡等。
- ⑤ 含氧有机物 包括环氧乙烷、醚、醇、酮、醛、有机酸、酯、酐和酚类化合物。
- ⑥ 有机氮化合物 包括胺、腈、硝基甲烷、硝基苯、三硝基甲苯（TNT）和亚硝酸胺等。

⑦ 有机卤化物 包括四氯化碳、脂肪烃和饱和与不饱和卤化物（如氯乙烯）、卤代芳烃（如氯代苯）、氯代苯酚、多氯联苯（PCBs）和氯代二噁英类等。

⑧ 有机硫化合物 如烷基硫化物、硫醇、巯基甲烷、二甲砷、硫酸二甲酯等。

⑨ 有机磷化合物 主要是磷酸酯类化合物，如磷酸三甲酯、磷酸三乙酯、磷酸三邻甲苯酯、焦磷酸四乙酯、有机磷农药、有机磷军用毒气等。

环境污染的类型如图 1-1 所示。

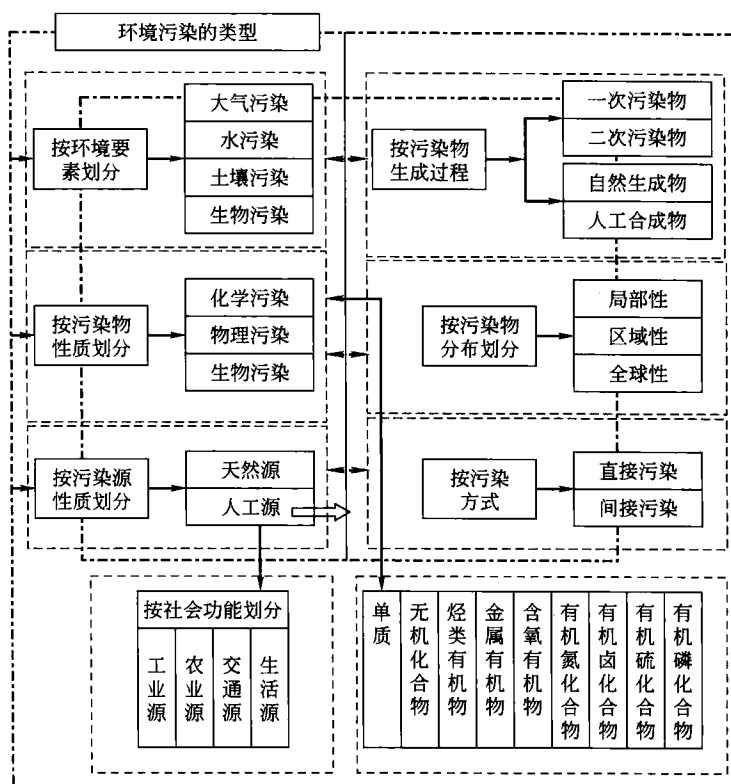


图 1-1 环境污染的类型

1.2 环境污染物的特点

环境污染有不同的类型。环境污染是各种污染因素之间相互作用及其与环境因素相作用的结果。同时，环境污染还受社会评价的影响而具有社会性。然而无论哪种类型的污染，均表现出一些共同特点。污染物的特点可以归纳为以下几方面：污染物的毒性与阈值、污染物的时间分布特点、污染物的空间分布特点、污染因素的多种综合效应、二次污染物的形成与性质、污染物的形态、迁移和转化规律以及对人类和环境特别有毒有害的持久性有机污染物的特点。

1.2.1 污染物的毒性与阈值

污染物的毒性与阈值是环境污染物最重要、最基本的性质。

按污染方式划分的直接污染物均具有毒性，例如氰化物、重金属及其化合物、有机磷和有机氯等污染物的毒性都是非常强的。污染物毒性的强弱取决于污染物的性质、存在形式及其在环境中的含量等因素。有些污染物具有剧毒性，处于痕量级就能危及人类和生物的生

存。例如简单氰化物的毒性强于络合氰化物，有机锡的毒性强于无机锡化合物。

污染因素的浓度或强度对环境的危害有一个从量变到质变的过程。环境中有害物质引起毒害的量以及环境中能量分布异常引起危害的程度与无害的自然本底值（环境背景值）之间存在着一个界限，称其为污染物的阈值，亦即污染因素对环境造成的危害浓度或强度有一个阈值。通常污染物的阈值是一个浓度或强度的范围。阈值随污染物、环境介质及作用对象的不同而异。确定阈值的工作与环境监测中的环境本底值测定有很大关系；阈值的研究是判断环境是否遭到污染及污染程度如何的重要依据，是制定环境标准的科学依据。阈值的有关概念见图 1-2。

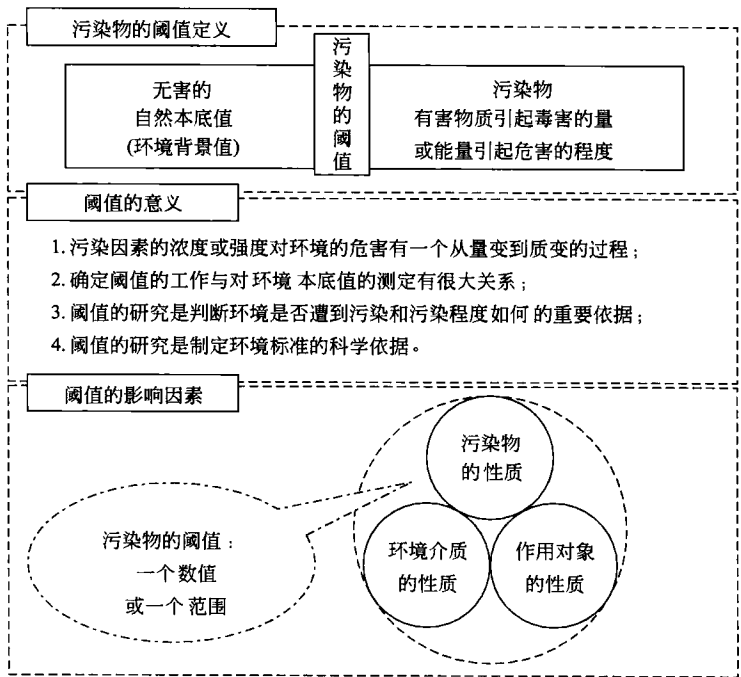


图 1-2 污染物的阈值定义及其有关因素

1.2.2 污染物的空间分布

污染物的空间分布是指进入环境的污染物浓度或污染因素的强度在空间的不同位置上的分布情况。污染物的空间分布是不均衡的。污染物的空间分布与以下因素有关。

(1) 污染源

污染源的空间分布及类型直接影响污染物的空间分布状况。例如，污染源有固定源与流动源之分，显然，这两类污染源造成的环境中污染物的空间分布规律就有很大不同；环境中污染物的空间分布与距污染源位置有关，通常距污染源越近，环境中污染物浓度或污染因素的强度就越高。

(2) 环境介质的性质

环境介质的性质，特别是其流动性对污染物在环境中的积累、迁移与转化有很大影响，因此对污染物在环境中的空间分布有很大影响。大气污染的空间分布与大气气象条件有关。通常在污染源下风方向比上风方向的污染物浓度要高。水体污染时，与水体流动状况及河流的流动方向、流速等因素有关，另外还与污染物排入水体的位置有关，显然，污染物浓度在污染源的下风方向高于其上游方向。然而在水库、湖泊中，由于流动性相对较小，污染物在

其中扩散、稀释程度与河流不同，因而其分布规律就与河流不同，通常是距污染源近的水或底泥中的浓度相对要高。

(3) 污染物的性质

污染物的溶解性、酸碱性、氧化还原性、络合能力、胶体性质、吸附性、稳定性等物理和化学性质对污染物在环境中的形态、迁移、转化、降解与积累有很大影响，影响污染物的空间分布。

在大气污染物中的稳定性较强、分子量较小的分子状化学物质或粒度较小的飘尘可以随大气流扩散到很远，甚至出现越境大气污染，就是由于污染物在大范围空间扩散造成的。1986年，苏联切尔诺贝利核电站发生核泄漏事故，带有放射性物质的云团随风飘到丹麦、挪威、瑞典和芬兰等国，瑞典东部沿海地区的辐射剂量超过正常值100倍。

1991年5月爆发的海湾战争导致了科威特油田大火，引起酸性气体向大气中大量排放，油田燃烧产生的热量使污染空气上升至数千千米高空，扩散到很远，即使在离科威特1000公里的地方，也监测到了烟羽气团的流动。

在水体污染中，进入水体的污染物中的分子量较小、水溶性较强、化学稳定性较强的污染物则容易被水流带到较远位置，造成下游长距离污染；而易被有机物或悬浮颗粒吸附的污染物，往往容易因被吸附而沉入水底泥中，不再向河流下游扩散，例如，砷、铬等离子在水中扩散距离远大于汞，原因在于汞比砷、铬离子易被吸附而沉入水底泥中。这是由污染物的扩散性和环境因素所决定的。

上述多种原因造成同一污染物对不同地区造成的污染程度可能相差很大，在环境中污染物浓度随空间分布不是均匀的。

由于污染物浓度或污染因素强度的空间分布不均匀性，因此，在环境监测时，要科学地确定监测的空间范围，要合理地进行采样区域的选择和采样点的布设，以保证采样具有代表性和科学性。

1.2.3 污染物的时间分布

污染物的时间分布是指进入环境的污染物浓度或污染因素的强度在时间上的分布情况。污染物的时间分布是不均衡的，即在环境中的污染物浓度或污染因素的强度，呈现出随时间变化而变化的情况。污染物的时间分布与以下因素有关。

(1) 污染源排放量随时间的变化

例如工厂、车间在不同时间的生产过程不同，因而在不同时间排放污染物的种类和数量就有可能不同；在农业生产中因作物生长阶段的需求，施用化肥、农药以及施用数量也有可能不同，因此造成的污染可以随作物生长阶段的不同而异；在某些地区，SO₂对大气的污染如果主要是由于燃煤造成的，则与是否处于取暖期有关，因此该地区一年内大气中SO₂的污染浓度对时间的分布就是很不均衡的；即使在同一天的不同时间或时段，因道路交通机动车流量的不同，也可以呈现出交通噪声和尾气污染程度的不均衡。

(2) 环境条件随时间的变化

环境条件因素较为复杂。例如，进入大气的污染物受气象条件包括风向、风速和大气湍流变化的影响而产生不同的扩散和稀释，而上述气象条件与季节、昼夜等时间因素密切相关。在水质污染的情况中，污染物的时间分布与季节造成的河流丰水期、枯水期有关。

(3) 污染物在环境中的性质

例如，大气中的SO₂一部分被降雨冲洗或被大气中的海盐粒子和土壤粒子等粗大粒子捕获而浓度随时间很快削减，还可以被氧化为硫酸雾和硫酸盐气溶胶，使其浓度随时间很快削减，故

SO₂ 在大气中的滞留时间仅为 1 天至几天，而硫酸盐却可以在大气中滞留 3~10 天左右。

(4) 其他情况

有些污染物或污染因素在环境中相当长时间保持较高浓度或强度，例如半衰期较长的放射性污染物及持久性污染物。持久性有机污染物（POPs）和重金属等都在自然界难以降解和迁移转化，因此可以于相当长时间内在环境中保持较高浓度。

上述多种原因造成同一污染物在不同时间对同一地区造成的污染程度可能相差很大，在环境中污染物浓度随时间分布不是均衡的。

由于污染物浓度或强度随时间分布不均衡，因此，在环境监测时要科学地确定监测和采样的时间与频率。不仅要测定在一定时间内污染物浓度或强度的平均值，而且要测定污染物峰值浓度及与其相对应的出现时间。

污染物的时空分布特性是环境监测采样时间设计和采样点布设的主要依据。判断环境质量必须科学制定监测计划，对各种有关污染因素和环境因素在一定范围、时间、空间内进行测定，分析其综合测定的数据，并对监测数据进行统计分析，才能对环境质量做出全面而客观的评价。

1.2.4 污染因素的综合效应

环境是一个复杂的系统，在环境中只存在一种污染因素的情况很少，多种污染因素同时存在时对环境、人体和生物体的影响也是复杂的。根据毒理学的观点，混合污染因素对生物体的作用有以下情况。

(1) 单独作用

混合污染物中只是由于某组分对机体中某些器官发生危害，没有因为污染物共同作用而加深危害的，称为污染物的单独作用。

(2) 相加作用

混合污染物中各组分对机体的同一器官的毒害作用彼此相似，且偏向同一方向，混合污染物对机体的毒害相当于各种污染物单独毒害作用的总和，称为污染物的相加作用。例如大气中 SO₂ 和硫酸气溶胶、低浓度时 Cl₂ 和 HCl 的混合物等。

(3) 协同作用

混合污染物对环境的危害比各污染物质对环境危害作用的简单相加更为严重，称其为协同作用，形象地也称为污染物的相乘作用。例如，锌和镉存在时，污染物氰化物的毒性增强，这是由于混合污染物中的锌、镉和氰化物产生协同作用的结果；大气中共同存在 SO₂ 和颗粒物、NO_x 和 CO 混合污染物时，就存在毒性增强的协同作用，伦敦烟雾事件的严重危害就是由于 SO₂ 与烟尘颗粒物之间的协同作用所造成的。

(4) 拮抗作用

混合污染物中有两种或两种以上物质对机体的毒害作用有不同程度的相互抵消，即污染物共存时反而使危害互相削弱，这类相互作用称为拮抗作用。例如，铜和镍对氰化物能产生拮抗作用，使氰化物毒性作用减弱；适量的硒能抑制甲基汞的毒性。

1.2.5 二次污染物的形成

按污染物的生成过程的不同，可将污染物划分为一次污染物和二次污染物。一次污染物是指由污染源直接排入环境，其物理和化学性状未发生变化的污染物。而一次污染物在物理、化学或生物因素的作用下，或是与环境中其他物质之间发生反应而形成的新污染物称为二次污染物（继发污染物）。二次污染物在物理性质与化学性质方面与一次污染物不同，多数二次污染物毒性更强，垃圾焚烧过程中产生的二噁英就是典型的例子。

在环境中稳定性不高，亦即活性较强的一次污染物较易形成二次污染物。排入大气、水体及土壤中的某些一次污染物在适当的条件下均有可能生成二次污染物。例如大气光化学烟雾和酸雨就是典型的二次污染物。光化学烟雾是汽车尾气中的碳氢有机化合物、氮氧化物等污染物在阳光紫外线的作用下发生光化学反应，生成环境毒性更强的光化学氧化物如臭氧、过氧乙酰硝酸酯、甲醛和酮类等二次污染物。水体底泥中的无机汞通过微生物的作用或化学作用能够转化成毒性更强的甲基汞、二甲基汞等短链烷基汞。

由于二次污染物对环境和人体的危害往往比一次污染物更严重，而且二次污染物的形成机制也比较复杂，因此，对二次污染物以及二次污染物与一次污染物形成的混合污染物的监测和研究是非常重要的。

1.2.6 污染物的形态、迁移和转化

(1) 污染物的形态

污染物的形态是指环境中污染物的外部形状、化学组成和内部结构的表现形式。污染物的形态可以按化学组成和结构分为有机物与无机物，各种价态的化合态与单质；按物理性状

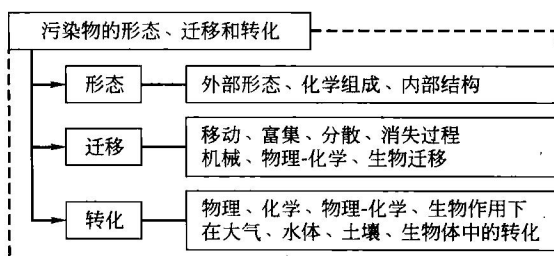


图 1-3 污染物的形态、迁移和转化

和结构分为固体、流体、粒子流等；按外形和功能分为离子态、代换态、胶体有机结合态和难溶态等。同种污染物的不同形态具有不同的环境毒性效应和不同的迁移、转化、富集的规律。例如，离子态的污染物大多具有活性高、毒性强、易于迁移的特点。同种污染元素不同形态的毒性也不同，如多数情况下，三价砷毒性大于五价砷，六价铬毒性大

于三价铬，有机汞毒性大于无机汞，四乙基锡毒性大于无机锡。需要说明的是，污染物的形态在环境中不是一成不变的，随环境条件的变化污染物形态可以发生多种变化（图 1-3）。

(2) 污染物的迁移

污染物的迁移是指污染物在环境中所发生的空间位置移动及其伴随的富集、分散和消失的过程。污染物在环境中的迁移常常伴随着形态的转化。迁移的方式可分为机械迁移、物理-化学迁移及生物迁移。物理-化学迁移是污染物在环境中最重要的迁移形式，这种迁移的结果决定了污染物在环境中的存在形式、富集程度和潜在危害情况。

污染物的生物迁移是一种极其复杂的迁移形式，是污染物通过生物体的吸收、代谢、生长、死亡等过程所实现的迁移，可以表现为生物浓缩（生物富集）、生物积累与生物放大，其程度与生物种属、污染物及环境介质有关。

生物通过食物链对重金属、有机污染物和放射性核素的生物放大作用就是生物迁移的一种重要表现形式，通过这种迁移形式，污染物可在人类或生物体内逐渐积累、富集，尤其在内脏器官中长期积累，由量变到质变引起病变发生，危及人类和生物健康。例如由于甲基汞在人体内的蓄积引起的水俣病事件和由于镉在人体内蓄积引起的痛痛病事件。图 1-4 示意了放射性¹³⁷Cs 在北极地衣—北美驯鹿—北极狼食物链中的

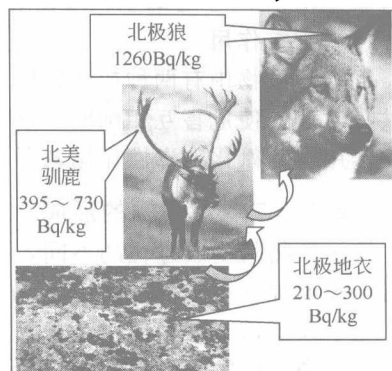


图 1-4 ¹³⁷Cs 的生物放大

生物放大情况。图 1-5 示意了污染物在环境中迁移的方式及主要影响因素。

(3) 污染物的转化

污染物的转化是指污染物在环境中通过物理、化学或生物作用改变形态或转变成另一种物质的过程，转化产物如果继续具有环境毒性甚至环境毒性增强时，则称为二次污染物生成。污染物的转化往往相伴迁移而发生。其转化过程取决于污染物自身的理化性质和外部的环境条件。

多数情况下污染物以化学转化为主，其中以光化学氧化、氧化-还原、络合-解离、酸碱反应等最常见；物理转化常表现为沉淀-溶解、胶体形成等形式；在有些特定的情况下，会发生生物转化。

根据所处环境介质的不同，转化类型可分为污染物在大气、水体、土壤和生物体中的转化形式。污染物在大气中以光化学反应和催化氧化为主，大气中的碳氢化合物、氮氧化物等污染物可以通过光化学氧化生成光化学氧化物，二氧化硫可以经过光化学反应或催化反应生成硫酸或硫酸盐。污染物在水体中常发生氧化-还原、络合-解离、酸碱反应和生物转化等作用，从而改变了污染物的化学性质、物理性质和生物毒性。污染物在土壤中的转化受污染物和土壤的理化性质（包括土壤 pH 值、湿度、温度、氧化电位、通气性、离子交换能力和微生物种类等）影响，机制比较复杂。例如土壤中极其活跃的微生物，对有机污染物发生的降解作用。污染物在生物体中的转化则更为复杂，有些污染物可被生物吸收、利用并分解，最后生成无害的稳定物质。环境中污染物的转化类型与影响因素如图 1-6 所示。

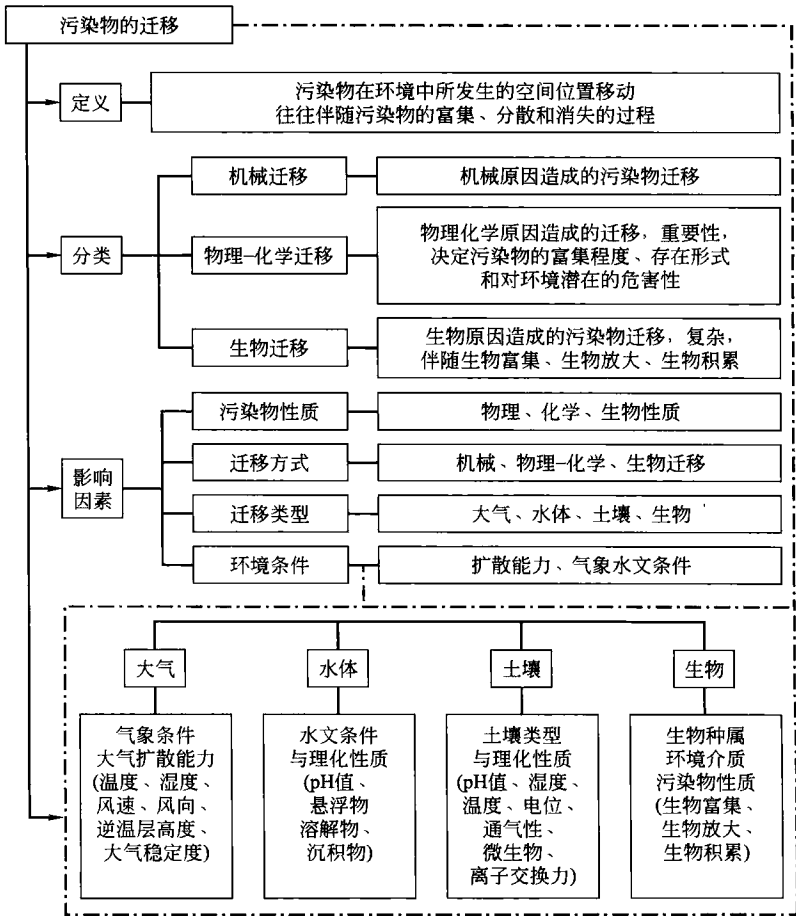


图 1-5 污染物迁移的方式及主要影响因素