

水环境的金属污染

METAL POLLUTION IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

U.弗斯特纳
G.T.W.维特曼 主编

海洋出版社

X52

33

工

水环境的金属污染

U.弗斯特纳

主编

G.T.W.维特曼

王忠玉 姚重华 主译

海洋出版社

1987年·北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了水环境中的金属污染物的来源、毒性和传输途径；河流、湖泊和海洋中金属的富集作用；应用沉积物分析方法评价金属污染状况；金属在固液相间的迁移规律；金属在水生生物体内的累积效应以及水中微量金属的净化方法等。书中列举了美国、英国、联邦德国、苏联、日本和中国等国家水环境中的金属污染状况及重金属引起的典型中毒事件实例。有力地揭示了金属污染物对人体和生态系统的危害和影响，以及深入地研究和有效地防治金属污染的迫切性。

书中不仅阐述了研究水环境中金属行为的基础理论，而且提供了先进而实用的测试和评介方法。同时还介绍了管理水环境所必需的背景资料。全书结构严谨、取材新颖、资料极为丰富。可供环境保护、给水排水、国土整治等专业人员阅读，也可供有关科研单位和大专院校从事水化学研究、重金属研究、水资源保护的科研、教学和管理人员参考。

责任编辑 刘 涛

责任校对 钱晓彬

水环境的金属污染

U. 弗斯特纳 主编

G.T.W. 维特曼

王忠玉 姚重华 主译

海 洋 出 版 社 出 版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 北京星城印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 26 字数: 600千字

1988年2月第一版

1988年2月第一次印刷

印数: 2200

ISBN 7-5027-0149-4/X·4

统一书号: 13193·0911 ¥: 7.30元

序 言

水化学作为有价值的和基本的研究领域,已引起了许多杰出科学家的重视。它的文献内容已从编制各种形式的组分表转变成研究水环境中发生的化学反应。更重要的是取得了一种认识,即人类社会部分地决定着水系统的性质。由于海洋溶解态与颗粒态组分大部分来自河流,因此河水与海水的相互作用决定着沿岸水体的活力。本书不仅提供了研究水化学动力学的导引,而且对能危害海水和河水的物质也予以恰当的评价。书的标题表明本书在研究自然过程中的强调之处,但显然未表明本书的广度。

这本书对决心保持水资源可更新性的环境科学家有很大价值。由于世界人口的增长以及物质与能量消耗的相应增加,河流和海洋必然被看作接受社会废弃物的场所。这些水体及水下沉积物容纳废弃物的能力必须不断予以评价。

关键问题涉及到水系统承受一种或多种污染物的容量。水系统的容量取决于污染物对水环境的公共卫生、有机体群落、娱乐、美学以及经济学的影响。在这种影响变得不可接受之前水体所能承受的物质的总量是所关心的问题。这个总量实质上可以用污染物“滴定”水体来决定,其数值可在终点获得。环境管理的目标之一就是要确定这些终点。

也许最广泛的一套滴定终点是因核燃料循环设施中放射性核素进入海洋而发展起来的。由于食入的鱼类、水生贝壳类动物或食用性海藻中含有人工放射性物质,在海滩人体也暴露在射线之中,因而有必要考虑人体的防护。天然水体对放射性核素可接受的量与人体暴露在电离辐射中受到的潜在危害有关。终点被发现处于有机体与海滩固体物的水平上。

有时候,一场突变会引起人们对污染物的关切。水俣湾事件表明,甲基汞是海水系统的一种污染物,能危及人类健康。这种物质的终点被发现处于商品鱼的甲基汞水平上。

杀虫剂 DDT 对非目标有机体,例如食鱼鸟类的影响可能因其进入天然水体而提出了一个终点。鸟类摄取 DDT 会使蛋壳变薄,并因繁殖受阻而使种群衰退。这两种现象或许已被转换成一个终点。

在这本书里我们可以得到管理环境的背景知识。不论是想寻找金属污染物负荷的终点还是仅仅想理解自然现象,在这本书都可以找到有关的概念。

E.D. 戈德堡
斯克里普斯海洋研究所

第二版前言

当本书决定再版时,我们想借此机会,将近期的一些研究进展简单扼要地增补到本书第一版中。在引言中,增补了一张金属污染物进入环境各种途径的示意图。在第二章列出了有关毒性金属、尤其是镉的剂量-反应关系的近期述评。在第二章,还引用了 H.W. Nurnberg 教授(德意志联邦共和国 Julich 核研究中心化学研究所)最近发表的各种商用微量分析仪器方法的费用及效益的比较。洪先生(中国贵阳地球化学研究所)为本书撰写了“中华人民共和国水体中的重金属”一节(第三章)。水体沉积物中重金属的通量算法(Flux calculations)的新数据,反映了这种计算方法在确定较大区域内人类影响的研究活动中的优越性(第四章)。R.L.Thomas 博士(加拿大内陆水中心,伯林顿)提供了一张近期五大湖表层沉积物中汞的分布图(第四章)。近年来,有关河口物质相互作用的研究,已引起人们的普遍关注(第四章)。疏浚物的处置及污泥的农用等问题也同样引起了人们的关注(第七章)。根据近期研究的结果,部分地重写了逐级淋溶技术一章,该技术用于污染颗粒物的环境冲击评价(第五章)。在此,我们对 W.Salomons 博士(荷兰哈里恩 Delft 水力学实验室)的协作深表感谢。我们扼要地记述了 J.M.Wood 教授的研究小组(Minnesota 大学)关于预言金属生物甲基化作用的各种环境条件的概念(第五章),这对于有机物-金属相互作用这一重要领域的深入发展似乎是一种十分有希望的研究。

在此,我们对施普林格出版社为提供修订和校正本书某些数据的机会表示感谢。同时,我们对 D.Godfreg 先生为本书英文版所给予的帮助,也表示谢意。

U. 弗斯特纳

G.T.W. 维特曼

海德堡/比勒陀利亚

1981 年 2 月

译 者 的 话

本书译自联邦德国施普林格出版社1981年出版的Metal Pollution in the Aquatic Environment(Second Edition)一书。

作者针对当今水化学这一研究领域所发生的重要变化——从编绘各种组分图表发展到研究水环境中发生的化学反应,揭示了人类社会对水生系统性质的决定性影响。近年来,环境污染导致中毒事件不断发生,特别是汞和镉中毒事件,引起许多科学家对重金属在水环境中的作用及归宿予以极大的关注。经过多年的研究,人们对重金属污染的机制和危害有了更加深刻的认识和较为全面的理解。本书广泛收集了1981年以前世界各国重金属研究方面有代表性的文献,汇萃了许多著名科学家的研究成果,经过精心的整理和系统的编绘,从而对重金属的研究作出了令人信服的概括和科学总结。无论就本书所代表的研究水平,还是所代表的广泛区域特征,均标志着本书的权威性、综合性居于同类之首,堪称广大从事重金属研究的科学工作者的益师良友。

本书系统地介绍了金属污染物的毒性、来源和传输途径;河流、湖泊和海洋中金属的浓聚作用;应用沉积物分析方法评价金属污染;金属在固液相间的迁移规律;金属在水生生物中的累积效应以及水中微量金属的净化方法等。书中列举了美国、英国、联邦德国、苏联、日本和中国的河流、湖泊和海洋中重金属污染状况及中毒事件实例。有力地说明重金属对人体和水生生物造成的危害,以及深入地研究和有效地防治重金属污染的迫切性。

书中不仅详细地阐述了研究水环境中重金属污染的基础理论,而且提供了先进而实用的监测和评价方法,同时还介绍了管理环境所必需的环境背景资料。考虑到我国重金属污染的实际情况和现阶段我国在这一领域的研究水平,我们翻译了这部专著,希望能对我国这方面的研究起到一定的推动作用。

全书结构严谨,言简意赅,取材新颖,资料极为丰富。可供环境保护、环境化学、环境工程、给水排水、国土整治等专业人员阅读,也可供有关科研单位和大专院校从事水化学研究、重金属研究、水资源保护的科研、教学人员参考。

在翻译过程中,郑光复、毛美洲、赫颖、林大任、石洪文、栾兆坤、金全德等同志承担了部分译校工作。

全书经中国科学院环境化学研究所申葆诚先生审阅,谨此致谢。

译者水平有限,译文中错讹之处,敬请指正。

译 者

1983年10月

第一版前言

本书试图汇总和评价河流、湖泊及近岸海水重金属污染目前的状况。鉴于几起汞和镉的中毒事件,科学家和有关当局对重金属在水系统的作用和归宿表现出相当大的兴趣和深刻的理解。然而,为了判断重金属富集的程度,有必要建立必须的规范与标准。

在《河流、海洋中污染环境的重金属》一书中, Ulrich Förstner 和 German Müller 采用地球化学和沉积物学的研究方法,评价了水系统的重金属污染。分离具有化学活性的细粒级沉积物组分并分析其中的金属含量,能可靠地指示污染的程度。进一步的基础研究,以及作者们在该书及其他联名或个人发表的论文中表现出的兴趣,都促进了这本书编辑工作。

虽然对不同的分析技术——尤其是与水质分析有关的——的评价不在本书研究范围之内,但我们仍希望能促进对重金属污染的研究。本书尤其注意一些迄今为止尚未解决的问题,例如与化学品转化、不同物种的毒理学性质、有机体吸收金属的机理以及重金属从沉积物中再释放有关的那些问题。

U. 弗斯特纳

G.T.W. 维特曼

海德堡/比勒陀利亚

1979年5月

目 录

第一章 引言	(1)
1. 环境污染	(1)
2. 来源、途径和蓄积	(1)
3. 水生态系统	(1)
第二章 金属的毒性	(3)
1. 金属	(3)
1.1 元素的分类	(3)
1.2 金属的分类	(5)
1.3 水系统中微量金属的种类	(6)
2. 微量金属与有机生命	(7)
2.1 人类生命必需的微量元素	(7)
2.2 缺乏与过剩	(10)
2.3 金属的毒性	(10)
2.4 某些微量元素对健康的危害	(12)
2.5 毒性物质在水体食物链的累积	(14)
2.6 严重的金属中毒事件	(15)
2.6.1 汞中毒	(15)
2.6.2 镉中毒	(17)
2.6.3 铅中毒	(18)
2.6.4 铬中毒	(19)
2.6.5 砷中毒	(20)
2.7 金属中毒的近期研究	(20)
3. 水质指标、标准	(21)
3.1 引言	(21)
3.2 指标的发展	(21)
3.3 水质标准	(24)
4. 金属污染源	(24)
4.1 地质风化作用	(25)
4.2 采矿废水	(26)
4.3 工业废水	(31)
4.4 生活废水和城市暴雨径流	(34)
4.4.1 生活废水	(34)
4.4.2 城市暴雨径流	(35)
4.4.3 废物堆	(38)

4.5 来自农业区的金属	(38)
4.6 大气污染源	(39)
4.7 特殊污染源	(44)
4.8 污染源的综合效应	(45)
5. 金属的分析	(49)
5.1 污染介质的评价	(49)
5.2 采样和分析方法	(53)
5.2.1 采样	(53)
5.2.2 分析方法	(54)
第三章 河流、湖泊和海洋中金属的浓度	(56)
1. 主要离子的分布	(56)
1.1 自然界中盐的浓度	(56)
1.2 人为污染	(58)
2. 天然水中微量金属的化学状态	(59)
2.1 在淡水和海水中的化学形态	(59)
2.1.1 微量金属形态的分析	(59)
2.1.2 淡水-海水模型	(63)
2.2 天然水的氧化还原条件	(64)
3. 海水中的微量金属	(66)
3.1 天然分布	(67)
3.2 人为影响	(70)
3.2.1 金属的大气输入	(71)
3.2.2 来自排放污水的金属	(72)
4. 内陆水中的微量金属	(73)
4.1 天然含量	(73)
4.2 河水的金属污染: 区域实例	(76)
4.2.1 美国水系的重金属污染	(76)
4.2.2 英国内陆水体和近岸水体的金属污染	(77)
4.2.3 德意志联邦共和国河水中的重金属	(79)
4.2.4 中华人民共和国水体中的重金属	(81)
4.2.5 苏联河水中的重金属	(82)
4.2.6 日本水体中的重金属	(83)
4.3 淡水系统中金属的迁移	(84)
4.3.1 水流量与金属迁移	(84)
4.3.2 金属迁移的年循环	(86)
第四章 根据沉积物的分析评价金属的污染	(89)
1. 引言	(89)
1.1 溶解态与固态之间的平衡	(89)
1.2 沉积物表层样品与芯样	(90)
2. 关于水体沉积物中金属的研究	(91)

2.1 样品的采集与保存	(91)
2.1.1 土壤与沉积物	(91)
2.1.2 采泥器和芯样取样器	(92)
2.1.3 沙质沉积物取样器	(93)
2.1.4 悬浮物	(93)
2.1.5 孔隙水的采集	(93)
2.1.6 保存	(94)
2.2 沉积物机械组成分析	(94)
2.3 矿物学分析	(95)
2.4 营养成分(碳、氮、磷)的化学分析	(95)
2.4.1 用铬酸法测定可氧化物质(有机碳)	(95)
2.4.2 基耶达(Kjeldahl)法测定氮	(95)
2.4.3 总磷的测定	(96)
2.5 分析金属时沉积物的消化	(96)
2.5.1 氢氟酸分解	(96)
2.5.2 盐酸-硝酸(王水)分解或硝酸消解	(96)
2.5.3 偏硼酸锂熔融法(兼测硅)	(96)
2.5.4 固体悬浮液直接移入石墨管	(96)
3. 水中沉积物的地球化学探测	(97)
4. 粒度效应	(99)
4.1 微量元素含量对粒度的相依性	(99)
4.2 粒度效应的减小	(100)
4.2.1 从粒度分布外推	(100)
4.2.2 金属含量与表面积	(102)
4.2.3 用细筛分离粘土——粉砂和细砂	(102)
4.2.4 用沉淀管分离小于 2 μm 的泥质级分	(103)
4.2.5 稀酸(盐酸、硝酸)处理	(103)
4.2.6 矿物分离: 石英校正法	(104)
4.2.7 与“保守”元素比较	(104)
4.2.8 元素的相对原子变化	(105)
5. 水体沉积物中金属分布的控制因素	(106)
6. 天然金属含量与人类活动产生的沉积物	(107)
6.1 平均页岩值: 全球标准值	(108)
6.2 古湖沉积物: 关于环境数据的标准	(108)
6.3 古河流沉积物: 区域影响	(109)
6.4 近代沉积物的芯样: 工业发展的 200 年	(110)
6.5 相对未污染地区的近期湖泊沉积物	(110)
6.6 悬浮物中的金属: 雨水中的背景值	(111)
6.7 背景值和非点源	(111)
7. 湖泊沉积物——重金属污染的指示剂	(112)
7.1 干扰: 地球化学背景与人类影响	(113)

7.2 湖泊沉积物中的金属污染(实例)	(115)
7.3 表明年代的沉积物芯样里记录的金属污染	(118)
7.4 湖泊的汞中毒	(122)
7.4.1 汞污染源	(122)
7.4.2 瑞典的湖泊	(123)
7.4.3 加拿大湖泊: 克莱湖	(123)
7.4.4 劳伦先大湖系	(123)
8. 河流沉积物中的金属污染	(126)
8.1 汞的地球化学探测	(127)
8.2 河流沉积物: 环境污染的一种效应	(127)
8.3 重金属因人为影响在河流沉积物中富集	(131)
9. 通过沉积物研究评价重金属对海域的污染	(140)
9.1 汞污染——近岸沉积物金属富集的形式	(140)
9.1.1 水俣湾——日本沿海工业造成的金属污染	(140)
9.1.2 克莱德海湾——污泥处理	(142)
9.1.3 南加利福尼亚沿岸——下水道排放和大气影响	(143)
9.1.4 纽黑文——不规则污水排放	(145)
9.2 纽约城区对排入海洋的废弃物的处理	(147)
9.3 新贝德福港湾的工业排放	(149)
9.4 北海、波罗的海和地中海重金属的富集	(150)
9.4.1 地中海的金属污染	(150)
9.4.2 北海的金属污染	(152)
9.4.3 波罗的海的金属污染	(153)
9.4.4 其他海盆——峡湾	(155)
9.5 河口沉积物中的重金属	(156)
9.5.1 河口环境	(157)
9.5.2 莱茵河河口	(158)
9.5.3 易北河河口	(158)
9.5.4 混合过程	(160)
第五章 金属在固相和液相之间的迁移	(162)
1. 水系统中金属的停留时间	(162)
2. 沉积物中金属结合的类型	(165)
2.1 沉积物中化学相的分类	(165)
2.2 矿物碎屑中的重金属	(166)
2.3 重金属沉淀	(166)
2.3.1 氢氧化物	(167)
2.3.2 硫化物	(168)
2.3.3 碳酸盐	(163)
2.4 阳离子的交换与吸附	(169)
2.5 粘土矿物的吸着作用	(173)
2.6 水合铁锰氧化物和硫化铁上的吸附与共沉淀	(175)

2.6.1	水合铁锰氧化物的生成	(176)
2.6.2	重金属在铁锰氧化物上的吸附	(178)
2.6.3	微量元素与硫化铁的共沉淀	(179)
2.7	金属和有机物的结合	(185)
2.7.1	天然水中的有机物	(182)
2.7.2	腐殖质对金属的吸附与络合	(183)
2.7.3	金属-有机物的凝结与絮凝	(184)
2.7.4	金属-有机络合物与沉积物的结合	(185)
2.8	微量元素在碳酸盐和磷酸盐上的吸附	(187)
3	金属在水体沉积物中的积累——各种过程和载体的交互作用与影响	(189)
3.1	粘土矿物上的氢氧化物覆盖物	(189)
3.2	粘土矿物上的有机覆盖物	(190)
3.3	水合金属氧化物、有机物、碳酸盐和磷酸盐之间的相互作用	(191)
3.4	天然水体金属载体的作用	(192)
3.5	河口微量金属的非保守作用	(194)
4	天然的和污染的沉积物中化学相的测定	(196)
4.1	天然的和污染的水体沉积物中金属结合的方式	(196)
4.2	粒度与年变化:相浓集因子	(202)
5	沉积物中重金属的释放	(204)
5.1	咸水与沉积物的相互作用	(204)
5.1.1	解吸实验	(204)
5.1.2	河口水与沉积物的界面	(206)
5.2	氧化还原条件的变化和金属的释放	(206)
5.2.1	影响间隙水中金属分布的化学因素	(208)
5.2.2	影响金属从孔隙水释放的物理过程	(209)
5.3	酸水对金属释放的影响	(213)
5.3.1	酸性矿水	(213)
5.3.2	酸沉淀作用	(215)
5.4	金属与有机络合剂的作用	(216)
5.5	因微生物活动引起的重金属释放	(219)
5.5.1	天然环境中微生物的作用	(219)
5.5.2	金属的细菌淋溶作用	(219)
5.5.3	微生物在汞循环中的作用	(220)
5.5.4	砷、铅、硒的微生物甲基化作用	(222)
第六章	水中生物体内的重金属	(224)
1	影响生物体内重金属毒性和吸收的物理化学因素	(225)
1.1	温度和含氧量	(225)
1.2	水的硬度	(226)
1.3	有机化合物	(227)
1.4	pH 值	(230)
1.5	含盐量	(231)

2. 影响水中生物体内重金属含量的生物因素	(232)
2.1 一般生理行为	(232)
2.2 生物的生活周期和生活史	(233)
2.3 生物体内金属含量的季节性变化	(234)
2.4 特殊物种及个体变异	(234)
2.5 食物污染和肠内物	(235)
3. 淡水和海水中不同食物层次生物体内的重金属富集	(235)
3.1 自养生物体	(235)
3.1.1 浮游植物	(235)
3.1.2 海水中的大型藻类	(237)
3.1.3 淡水藻类	(238)
3.1.4 苔藓	(239)
3.1.5 高等水生植物	(239)
3.2 杂食性生物	(241)
3.2.1 浮游动物	(242)
3.2.2 双壳贝	(243)
3.2.3 海洋高等甲壳动物	(248)
3.2.4 淡水甲壳动物	(249)
3.2.5 海鱼和淡水鱼	(250)
3.3 因水中生物活动引起的重金属从沉积物中释放	(255)
3.4 水中生物体内的食物链富集	(258)
第七章 水中微量金属的净化方法	(264)
1. 饮用水生产中的重金属去除	(264)
1.1 筑堤过滤法获得的水	(264)
1.2 通过土地散发和注入所得地下水的人工回灌法	(266)
1.3 用常规的物理化学处理法(PCT)和有关的先进方法直接进行水的净化	(267)
1.3.1 用传统的预澄清、氯化、絮凝和过滤等方法去除微量金属	(270)
1.3.2 用化学沉淀法去除重金属	(271)
1.3.3 饮用水净化中的活性炭过滤	(272)
1.3.4 用离子交换法去除重金属	(274)
1.3.5 配水系统中可能的金属富集	(275)
2. 工业和生活污水中的重金属	(277)
2.1 电镀工业排出的废水	(277)
2.2 氯碱厂废水中汞的去除	(279)
2.3 防止和控制酸性废水的排放	(280)
2.4 城市排水系统中重金属——生物处理(BT)	(281)
2.4.1 从机械(初级)沉降装置中提取金属	(281)
2.4.2 在生物净化阶段水中金属的还原	(282)
2.5 废水的三级物理-化学法处理	(283)
3. 污水污泥中的重金属	(287)
3.1 污水污泥的土地利用	(287)

3.2 重金属对地下水质量的影响	(290)
3.3 污水污泥的海洋处置	(292)
3.4 污水污泥的焚化	(293)
第八章 结 语	(294)
1. 处理与再利用	(296)
2. 可替换的材料	(298)
附 录	(299)
表 A 淡水中的重金属	(299)
表 B 有机体中的重金属	(304)
参考文献	(328)

第一章 引言

1. 环境污染

自从工业革命以来,人们对从自然环境中除去人造污染物已做了很大努力,但未能抵消废弃物数量的不断增长以及人口骤增造成的环境进一步恶化,其结果是湖泊、河流、以及近岸海水变成了污水场,自然生态平衡遭受严重干扰,有时甚至被完全破坏。

随着技术的发展,有二类物质对水系统的自然平衡尤其具有持久性效应。一类是营养物质,它们能促进生物无限制的繁衍,并消耗水体中的氧;另一类是少量可降解的(不易处理的)合成化学品和其他废弃物,它们经常对水生态系构成综合的(有害的)效应。专家们估计,由于工业和生活废水的排放,进入天然水体中的污染物已达到一百万种。这些污染物包括被认为没有危险的物质,尽管其中一些对水质造成一种令人讨厌的气味和味道,以及其他一些能显著地扰乱生态系,但对人类却无直接的危害的物质。然而,另一类物质却对人体组织具有直接的或间接的影响,且能造成严重损害。诸如多环芳烃、农药、放射性物质和微量金属等,都直接危及人类生命。

这后一类污染物——即本书所讨论的——有二个方面值得注意。首先,与大多数有机物相反,微量金属一般不能借助于天然过程从水生态系中除掉;其次,大多数金属污染物都富集在矿物和有机物上。毒性金属,如汞、镉、砷、铜和其他许多金属都趋向于积累在底部沉积物中,并能通过各种方式从底部沉积物中重新释放出来;它们以改变了的形态迁移到食物链中,并进入人体,引起慢性的和急性的疾病。

2. 来源、途径和蓄积

进入水系统的金属污染物有不同的来源,图1介绍了几种来源,其中包括冶炼过程,通过燃料燃烧引起的大气散落,由于泄漏、排放污水、丢弃垃圾引起的污染,以及来自陆地系统的地表径流——那里的地表已因大气输入、污水灌溉和垃圾淋溶而发生金属的累积。另一方面,污染了的水体又通过许多途径造成陆地生态系统的金属污染,例如通过灌溉、疏浚作业和生物体的运动等方式。

3. 水生态系统

水系统对污染影响特别敏感,主要原因在于它们食物链的结构(Stumm, 1976, 1977)。与陆地系统相比较,水环境生物量比较少,但营养级却更加多样化,这增加了宾主共栖生物和有毒物质的蓄积。

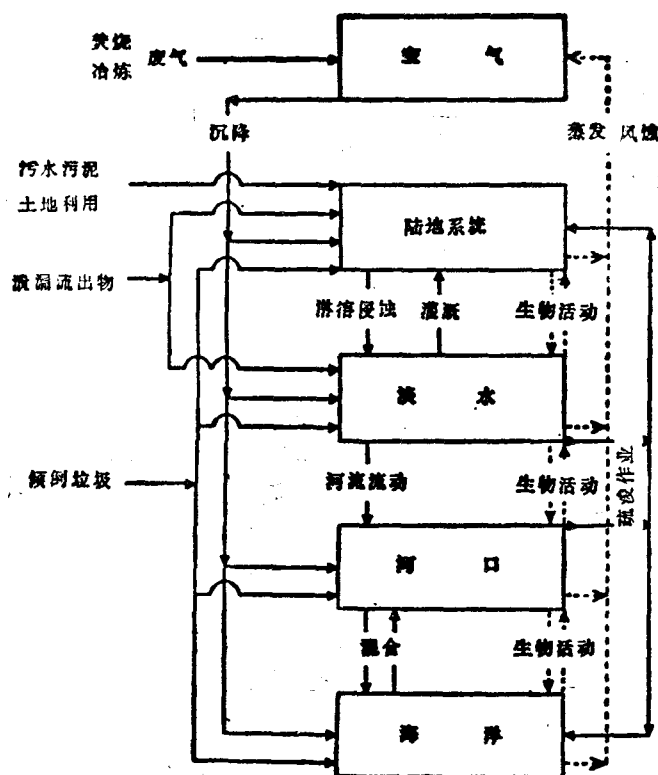


图1 金属污染物进入环境的途径
(Nisbet 和 Sarofim 绘制, 见Goldberg, 1976)

由于内陆水系统一向作为废水的接受体, 又因为地下水积蓄的不断消耗与开发新水源的困难, 有更多的区域依赖地表水作为供给水源, 所以废弃物的有害影响在内陆水系统中显得很突出。但是, 这种危险并不限于内陆水, 因为河流能将污染物以溶解态, 或以悬浮态、颗粒态输入海洋。有害物质往往能进入食物链, 在鱼体或别的可食有机体内积累, 这种情况在近岸区内尤其明显。当人们越来越将海洋看成人类未来蛋白质的供给地时, 海洋污染的发展更引起了人们的关注。

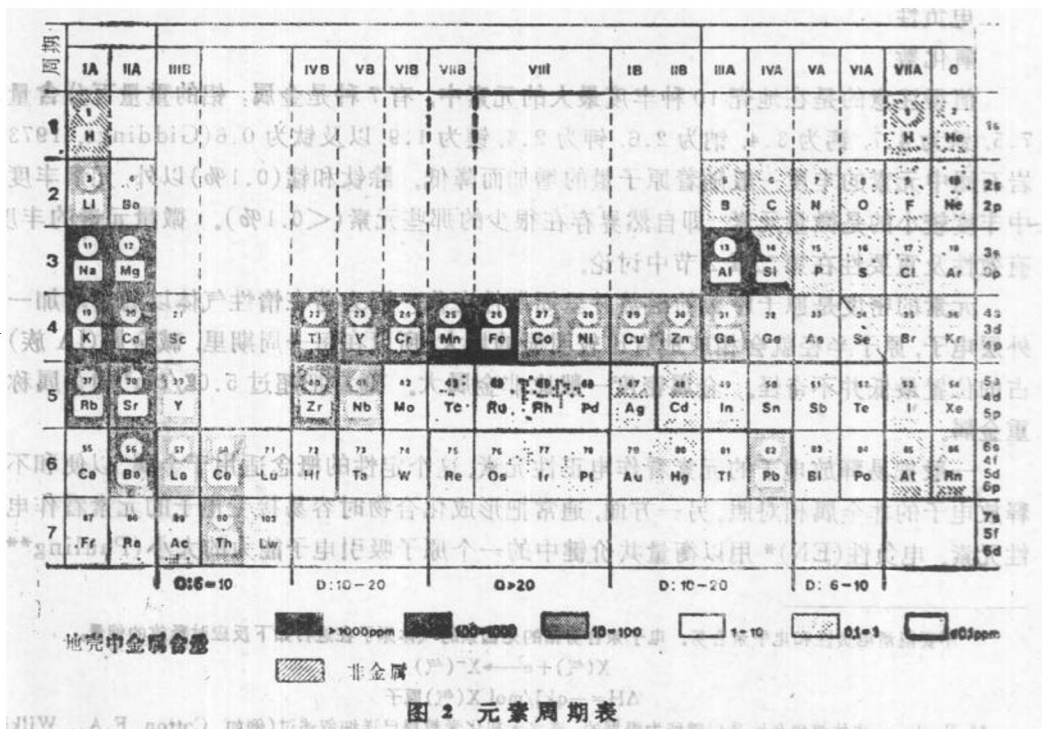
第二章 金属的毒性

1. 金属

在化学元素中, 金属的数量比非金属多。不同的金属元素在生物界所表现的特征差别很大。最近几年已经弄清, 某种金属元素对生物究竟有利还是有害, 主要不在于该种元素的总浓度, 而在于该元素在水系统中存在的具体化学形态; 正是后者对它的毒性起了决定性影响。

1.1 元素的分类

各种化学元素可方便地排列在长式周期表中。长式周期表(图2)由称为周期(或系)的7个横行和称为族(或类)的16个纵列组成。由图2可知, 周期表中有8个主族, 即IA到VIIA和由惰性气体组成的0族。由于电子占据 d 轨道, 第四周期以上在IIA和IIIA之间有一个区间, 构成一组过渡元素。电子占据 f 能级构成镧系元素($4f$ 能级)和超铀元素($5f$ 能级)。



长式周期表中具有相似电子结构的元素按原子序数增加的顺序排列, 元素的电子结