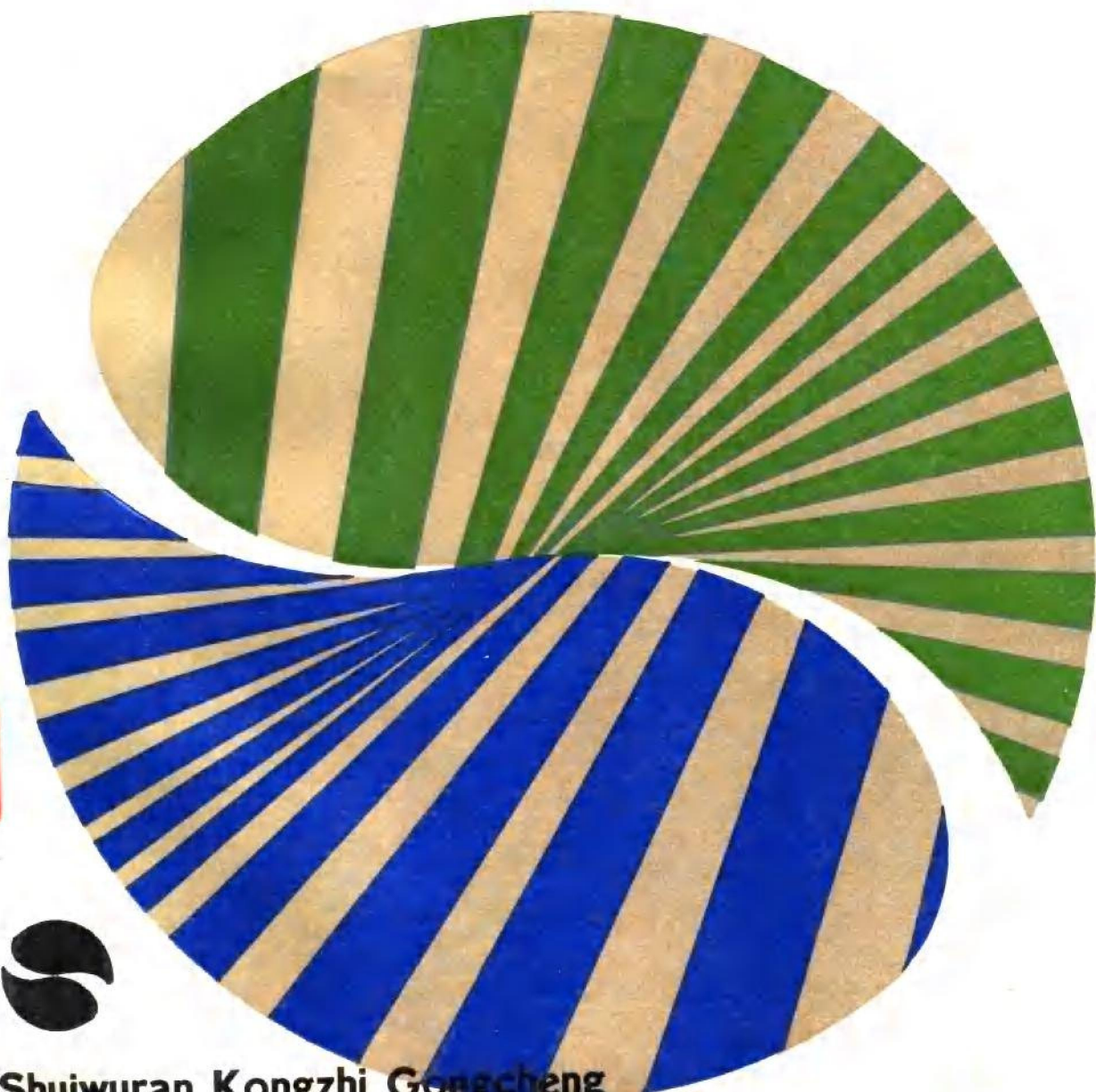


● 高等学校教材

水污染 控制工程

● 王宝贞主编



Shuiwuran Kongzhi Gongcheng

高等教育出版社

高等学校教材

水污染控制工程

王宝贞 主编

姜安玺 祁佩时 郭维华
杨铨大 聂璋义 吕炳南 刘润芬 等合编

高等教育出版社

1990年

内 容 题 要

本书根据国家教委高等工业学校环境工程专业教材委员会制定的基本要求编写。全书共十三章,介绍了国内外水污染控制的现状及发展趋势,全面、系统地分章阐述了水体污染与自净,以及城市排水系统、城市污水的预处理、一级处理、二级处理、高级处理、新革一代用处理技术、工业废水的代表性处理技术、非点污染源控制技术、饮用水除污染深度处理与水源保护、水污染区域性综合防治等水污染控制工程技术。

本书可作为高等院校环境工程本科教材。亦可作为环境保护、环境监测、环境规划与管理、给水排水,以及理、工、农、林、医等与环境有关专业本科生或研究生的参考书,也可供有关科学技术人员参考。

高等学校教材

水污染控制工程

王宝贞 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海市中华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 29.75 字数 680,000

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数 0001—2,360

ISBN 7-04-002822-0/K·129

定价 6.35 元

前 言

淡水资源的日趋亏缺及其污染的愈益加剧,是当前全世界面临的重大环境问题之一。

我国淡水资源短缺和水污染问题也是很严重的。我国人均淡水量为 2545 m^3 , 不到世界人均值的 $1/4$, 致使我国华北、西北和东北部分地区已面临严重缺水的困境。据前年对 236 个城市的调查统计, 平均每日缺水 $1200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。到本世纪末, 预计全国城市总用水量将从现在的 $360 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 增至 $850 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 现在已严重缺水的城市和地区届时将会出现水荒, 严重影响人民的正常生活和生产。另一方面, 现在在全国每年共产生 $310 \times 10^8 \text{ m}^3$ 生活污水和工业废水。由于我国的废水处理设施落后, 致使绝大部分(80%以上)废水未经任何处理便排于接纳水体, 造成严重的污染。除了这些点源污染外, 施用过量化肥和农药的大面积农田的雨水径流和污染大气的沉降、降水等非点源, 也对地表水和地下水资源造成了严重的污染。我国在经过监测的河流或河段中, 约有 70% 受到了不同程度的污染, 水产资源也因污染而大幅度下降。在近海海域和海湾也受到了明显的污染, 海产数量减少, 质量下降, 尤其是贝类污染严重, 并时有赤潮现象发生。

为了解决愈益加剧的水污染问题, 各国都在采取多种多样的措施, 包括法制、行政、经济、工程技术、宣传教育等方面, 来控制水污染, 进而减轻水污染, 乃至在部分地区消除污染。世界上一些发达国家以其雄厚的经济实力和先进的科学技术, 在水污染控制方面, 提出了一些比较理想的工程技术治理措施:

1. 基本上普及了城市污水的二级处理和工业废水必要的预处理或处理, 有效地控制了耗氧有机物和一些有毒有害污染物如酚、氰、油、重金属、放射性核素等。
2. 在普及污水二级处理的基础上研究开发了多种除氮、除磷和同时去除氮磷的过程, 并在一些污水处理厂中付诸实际应用, 以防止接纳水体, 尤其是静止型水体如湖泊水库、海湾等发生富营养化现象。
3. 研究、开发并实际应用了有关除去难降解有机化合物的技术。
4. 研究、开发和应用了饮用水去除微量污染物的深度净化技术。
5. 研究、开发和应用了非点源污染的控制措施。例如, 由点源和非点源输入湖泊、水库的营养物的生物控制技术。
6. 在严重缺水的干旱地区, 研究开发和应用了较完善的污水三级处理技术, 包括除氮、除磷, 去除难降解有机化合物, 去除无机盐和去除病原菌、病毒等。
7. 为了克服污水处理尤其是常规二级和三级处理设施, 基建和运行费用昂贵及能源、资源消耗大等缺点, 正在研究、开发和推广应用经济、节能和能实现资源化、能源化的污水处理技术, 它们被称为革新代用技术(I/A 技术), 或称为适用技术, 其中研究和应用最为广泛的有稳定塘系统, 土地处理系统, 水生植物净化系统等。

8. 实行流域或区域的水污染综合防治, 取代各自为政的分散、单独治理。前者比后者能更合理地利用受纳水体的自净容量, 更合理分配排污负荷, 从而能更经济、更有效地控制水污染以及保护、开发和利用水资源。

本书力图全面、系统地介绍上述各方面水污染控制工程技术措施, 以使读者对水污染的广泛性、多样性和严重性以及水污染控制的艰巨性、复杂性和综合性有明确的认识, 并且学习和掌握多种多样的水污染控制工程技术, 亦即综合控制工程技术。

我国是一个发展中国家, 由于资金有限、能源不足、技术力量缺乏等限制因素, 不能全盘地搬用发达国家水污染防治的技术路线和具体工程技术措施, 而应从我国和当地实际情况出发, 有分析、有选择、有针对性地学习、借鉴国内外现有的水污染控制技术, 确定正确的技术路线, 选用或者研究、开发和应用最经济、最有效的技术、设施, 以实现水污染的优化控制。

为了达到上述目的, 本书重点介绍了经济节能和能实现资源化的污水处理技术, 即革新一代用技术或适用技术, 饮用水除污染技术和水污染区域性综合防治工程技术。

本书是根据国家教委高等工业学校环境工程专业教材委员会制定的基本要求编写的。由同济大学胡家骏教授主审。在本书编写过程中, 清华大学顾夏声教授、徐鼎文副教授等同志给予了大力帮助和支持。高教出版社的张月娥副编审、陈文同志对本书的编辑加工花费了大量心血, 做了大量工作, 在此一并表示感谢。

本书因编写仓促, 加之编者知识有限, 参加编写的人员较多, 笔调不一, 难免有不妥之处, 敬请读者批评指正, 以便再版时修正改进。

编者

1989年7月于哈尔滨

目 录

第一章 水污染与控制概论 1	
§1 水污染的性质与危害..... 1	
一、溶解氧降低..... 2	
二、富营养化..... 4	
三、对水生态系统的危害..... 6	
四、细菌与病毒污染..... 8	
五、热污染..... 9	
六、地下水的污染和亏缺..... 10	
§2 水污染控制工程沿革、现状与发展趋势..... 12	
一、水污染控制工程发展的历史回顾..... 12	
二、水污染控制工程的基本内容..... 14	
§3 我国水资源的保护、开发和水污染防治..... 21	
一、我国水资源的基本概况..... 21	
二、我国水资源的开发与保护..... 22	
三、我国的水污染防治..... 23	
四、饮用水的改善..... 27	
五、水系的区域性综合防治..... 27	
六、我国水污染防治前景的展望..... 28	
第二章 水体污染与净化规律 29	
§1 水污染指标与水质标准..... 29	
一、水污染指标..... 29	
二、水质标准..... 31	
§2 水体污染源..... 33	
一、概述..... 33	
二、点污染源..... 34	
三、非点污染源..... 39	
§3 水体污染物..... 40	
一、无机无毒物..... 40	
二、无机有毒物..... 41	
三、有机无毒物..... 42	
四、有机有毒物..... 42	
五、其它污染物..... 43	
§4 水体污染源的调查与评价..... 43	
一、污染源调查..... 43	
二、污染源评价..... 45	
§5 河流污染与自净..... 46	
一、概述..... 46	
二、水体自净的数学模式..... 48	
三、河流水体中细菌的消亡..... 56	
§6 湖泊、水库的污染和稀释扩散..... 56	
一、概述..... 56	
二、湖泊、水库的“富营养化”..... 58	
三、底质污染..... 59	
四、湖泊、水库水体的自净模式..... 60	
§7 海湾污染特性..... 60	
一、概述..... 60	
二、各种污染物在海湾生态系统中的迁移转化规律..... 62	
三、赤潮..... 62	
四、海湾海水的净化..... 64	
第三章 城市给排水管道系统 69	
§1 城市给排水管道系统的功能与组成..... 69	
一、给水管道系统的功能与组成..... 69	
二、排水管道系统的功能与组成..... 70	
§2 城市给水管网的设计..... 71	
一、给水管网的布置..... 71	
二、给水管网的水力计算..... 73	
三、给水管材及管网附属设施..... 83	
§3 城市排水管网的设计..... 83	
一、城市排水系统的体制及其选择..... 83	
二、污水管渠系统的设计..... 86	
三、雨水管渠系统的设计..... 98	
四、排水管材及管渠附属构筑物..... 103	
第四章 污水处理系统 104	
§1 概述..... 104	
一、单元操作和单元过程..... 104	
二、水处理过程和处理系统..... 104	
§2 污水处理方案的优化规划与设计原则..... 105	

一、城市或区域的集中处理设施	106	一、平流式沉淀池	150
二、适合于集中处理的工业废水的类型	108	二、竖流式沉淀池	155
三、对集中处理的工业废水水质的基本要求	111	三、辐流式沉淀池	158
四、有毒有害废水的单独处理	112	四、斜板和斜管沉淀池	160
§3 污水处理的不同级别	112	五、带翼斜板沉淀池	164
一、废水在工厂内的预处理	112	§8 澄清池	165
二、污水一级处理	113	一、机械加速澄清池	165
三、污水二级处理	113	二、脉冲澄清池	167
四、污水三级处理	114	第六章 污水二级处理	168
§4 不同级别污水处理厂流程	114	§1 概述	168
一、一级处理厂流程	114	一、好氧生物处理法的发展沿革	168
二、二级处理厂(活性污泥法)流程	115	二、厌氧生物处理法的发展沿革	170
三、三级处理厂流程	116	§2 活性污泥法	170
第五章 污水预处理与一级处理	117	一、概述	170
§1 格栅与筛网	117	二、活性污泥反应动力学和米-门公式	173
一、格栅	117	三、活性污泥法处理系统的单元构筑物	176
二、格栅的各种类型	117	四、活性污泥法处理系统的计算	180
三、格栅的设计	119	五、活性污泥法的发展与变化	188
四、筛网	122	§3 生物膜法	194
§2 调节池	123	一、概述	194
一、对角线出水调节池	123	二、生物滤池	195
二、折流式调节池	124	三、生物转盘	201
§3 水的混凝	125	四、生物接触氧化法	204
一、概述	125	五、几种新型生物膜法	206
二、凝聚和絮凝	126	六、生物膜法后的二次沉淀池	207
三、混凝剂、助凝剂及作用机理	127	七、活性污泥法与生物膜法的比较	207
四、影响水混凝的主要因素	129	§4 厌氧生物处理法	208
§4 水与混凝剂的混合与絮凝反应	129	一、概述	208
一、混凝剂溶液的配制	129	二、厌氧消化机理	208
二、混凝剂溶液的投加	130	三、厌氧消化动力学	209
三、混合设备	131	四、厌氧消化过程的指标控制	210
四、反应设备	133	五、厌氧处理装置的运行管理	210
§5 水的沉淀	138	六、厌氧生物处理技术的发展	212
一、沉淀基本理论	138	第七章 污水高级处理	214
二、沉淀试验、沉淀曲线及其分析	140	§1 污水高级处理的目的是用途	214
三、对沉淀池分离效果的分析	143	一、目的	214
§6 沉砂池	145	二、二级出水的特性	214
一、平流式沉砂池	145	三、废水的回收与再用	215
二、Detritor 沉砂池	147	§2 高级处理的单元操作、单元过程与 处理流程	216
三、竖式沉砂池	148	一、单元操作和单元过程的分类	216
四、曝气沉砂池	148		
§7 沉淀池	150		

二、工艺选择及处理流程	216
三、典型工艺性能数据	216
§3 除磷	218
一、磷的形式、来源与去除方法	218
二、化学沉淀法除磷	218
三、生物法除磷	221
§4 除氮	222
一、气提法除氮	222
二、选择性离子交换法	225
三、生物法除氮	230
§5 去除难降解有机污染物	236
一、活性炭对二级出水的吸附处理的有效性	236
二、活性炭处理系统	239
三、活性炭的再活化和再生	242
四、臭氧-生物活性炭法污水处理系统	245
§6 三级废水处理厂实例	246
一、科罗拉多斯普林斯处理厂	246
二、南非达斯鲍脱示范性处理厂	246
三、南塔霍湖回收水厂	247
四、西南非威豪克水回用厂	249

第八章 污水的革新与代用

处理技术

§1 概述	251
一、革新及代用处理技术的由来和定义	251
二、革新一代用处理技术的优越性	252
三、革新和代用技术的发展趋势	253
§2 污水处理塘	254
一、兼性塘	254
二、厌氧塘	261
三、曝气塘	268
四、好氧塘与最终净化塘(熟化塘)	272
五、水生植物塘	279
六、生态系统塘	283
七、完全贮存塘(封闭式贮存塘)	284
八、水文控制排放塘	286
九、塘体设计要点	288
§3 土地处理系统	291
一、土地处理的目的和功用	291
二、土地处理技术分类	293
三、土地处理系统的净化机理和效能	298

第九章 污泥处理、利用与处置概论

§1 污泥的分类与特性	303
--------------------------	------------

一、污泥的分类与特性	303
二、污泥的组成	305
三、污泥的输送	305
四、污泥处理前的初步操作	306
§2 污泥的浓缩与稳定	307
一、污泥的浓缩	307
二、污泥的稳定	311
§3 污泥的脱水与干化	322
一、污泥脱水干化的优点	322
二、污泥脱水干化的工艺过程	322
§4 污泥的干燥与焚烧	328
一、污泥干燥	328
二、污泥焚烧	333
§5 处理后污泥的运输和贮存	336
一、运输方法	336
二、污泥贮存	337
§6 污泥的最终处置	337
一、农田利用	338
二、土地填埋	340
三、海洋排放	341
四、污泥焚烧灰渣处置	342

第十章 有毒有害废水的单独处理

或预处理

§1 化学沉淀处理	343
一、沉淀的条件	343
二、分级沉淀	343
三、氢氧化物沉淀法	344
四、硫化物沉淀法	345
五、碳酸盐沉淀法	345
六、铁氧体沉淀法	346
§2 中和处理	346
一、中和的作用及其在废水处理中的应用	346
二、投药中和法	346
三、过滤中和法	347
四、碱性污水的中和处理	349
§3 气浮法及其应用	350
一、气浮法基本原理	350
二、气浮设备的形式及其计算	351
§4 吹脱技术	357
§5 吸附及离子交换	359
一、吸附及其类型	359
二、吸附等温线	366

三、吸附速度	361
四、影响吸附的因素	361
五、吸附操作方式	361
六、吸附剂的再生	364
七、吸附法在水处理中的应用	364
八、离子交换法在水污染防治中的应用	365
§6 膜分离技术	368
一、电渗析	368
二、反渗透	371
三、超滤	375
四、隔膜电解	375
§7 高梯度磁分离	376
一、高梯度磁分离技术概述	376
二、高梯度磁分离装置	377
三、高梯度磁分离的应用	378
§8 氧化还原	378
一、概述	378
二、氧化法	379
三、还原法	381
§9 含重金属污泥的回用和无害化处理	382
一、重金属污泥的回收利用	382
二、固化处理	383
第十一章 城市污水与工业废水的回收与利用	385
§1 城市污水回收技术	385
一、概述	385
二、中水回用技术	385
§2 工业冷却水循环系统	388
一、冷却系统的类型	388
二、循环水冷却原理与冷却构筑物	389
三、冷却构筑物的选择	393
§3 循环冷却水水质处理	394
一、循环冷却水水质处理的任务	394
二、影响循环冷却水水质的因素	394
三、循环水水质稳定性的鉴别	396
四、循环水水质处理	397
五、循环冷却水的综合处理	399
§4 重金属废水的封闭循环系统	401
§5 其它废水的回用	402
一、直接重复用水	402
二、处理水回用	402

三、用废水回灌地下水库	408
第十二章 饮用水除污染及其水源保护	408
§1 饮用水净化技术的发展	405
§2 活性炭除污染净水技术	407
一、活性炭的制造及类型	407
二、活性炭除污染的效能	408
三、粉末活性炭在除污染处理中的应用	410
四、粒状活性炭在除污染处理中的应用	411
§3 臭氧氧化除污染处理	421
一、概述	421
二、水中污染物的臭氧氧化处理机理	423
§4 臭氧氧化与活性炭吸附相结合的除污染流程	427
一、概述	427
二、臭氧氧化—生物活性炭法深度净化水厂实例	428
§5 污染水源的治理	431
一、稳定型饮用水源(水库、湖泊)的保护和治理	431
二、地下水源的保护与防治	438
第十三章 水污染的区域性综合防治	441
§1 水污染区域性综合防治的内容及管理	441
一、水污染区域性综合防治的内容	441
二、水污染区域性综合防治的管理	442
§2 水系流域性污染的综合防治工程技术措施	446
一、环境污染控制目标的确定	446
二、环境容量的估算	446
三、水系流域开发的环境规则	447
四、水系污染综合防治的工程技术措施	448
§3 水系污染控制的优化规划	450
一、水域等级的划分及其水质标准的制定	450
二、水域排污总量控制及其最优治理方案的确定	452
§4 水系的污染监测与控制系统	458
一、水系污染监测的任务和内容	458
二、水系污染监测技术	459
参考文献	464

第一章 水污染与控制概论

§ 1 水污染的性质与危害

回顾历史,污染的水一直是人类致命疾病的主要起因之一。例如,伤寒和痢疾在不到 100 年前在欧美是相当普遍的,1900 年美国伤寒死亡率为每 100000 人 35.8 人,如果这一死亡率持续到今天,则伤寒死亡的人数将远远超过交通事故死亡的人数。在发展中国家,许多城市至今仍缺乏必要的供水设施,如印度在 8000 万城市居民中约有 1/3 没有必要的给水设施,结果加尔各答成了整个南亚的霍乱流行病中心。过去人们往往错误地认为,河流、湖泊、海湾等对容纳废物具有无限的容量,而不断加剧的水污染纠正了人们的这一错觉。正是十九世纪中期霍乱、伤寒病蔓延伦敦及欧洲其它一些城市,才引起对水污染危害的重视,今天在美国伤寒病几乎消失,这主要是饮用水质改善的结果。

水传染流行病在发达国家以及我国大都已成为过去的事情。今天为保障人群健康,考虑了更多、更复杂的水质的因素反影响,例如,微量有毒物质对人类和其它生物的影响。

当前污染水质的污染物可分为八类:

1. 生活污水和其它耗氧废物;
2. 传染病菌和病毒;
3. 植物营养剂,主要是氮和磷;
4. 有机化学合成剂,如杀虫剂、除莠剂和合成洗涤剂;
5. 来自工业、矿业和农业操作的其它矿物质和化学物质;
6. 来自土地侵蚀的沉淀物;
7. 放射性物质;
8. 热污染。

当前水污染问题遍及全世界,特别是在城市和工业区,其附近水体的污染尤为严重,即使发达国家也仍然未能完全解决水污染问题。这是因为新污水处理设施的建造与运行总是滞后于新增加的污染量。在发展中国家,这种滞后尤为严重。以我国为例,城市污水处理厂仅有 80 余座,其处理总量仅占城市污水总量(约 $3000 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$)的 10%;而工业废水处理设施的处理总量仅达到工业废水(包括冷却水)总量的 20%左右。

除了生活污水和工业废水这些称之为点源污染以外,水体还受到非点源的污染,例如,高空核试验放射性沉降使全球,尤其是北半球的海水和淡水以及某些生物群落中的放射性浓度有所增加;含二氧化硫和氮氧化物的废气通过高烟囱的排放,形成酸雨,使许多湖泊酸化,鱼虾绝迹;酸雨对土壤的酸化,导致其中溶出更多的铁、锰、钙、镁等离子,连同酸雨中原有的硫酸

根、硝酸根等离子进入地下水,使地下水水质恶化。我国农村地区因农药、化肥的大量施用,加之一些重污染型企业,如小型制浆造纸厂、纺织印染厂、小化肥化工厂、酿造厂、电镀厂等,造成了水环境的严重污染。此外,我国还面临着许多新的水污染问题,例如,长江中、上游的大面积毁林,造成严重的水土流失,近年来长江水中悬浮物成倍增加,有机物和营养物也相应增加,长江的水质越来越坏。此外大量火力发电厂、热电站以及城市集中供热工程的修建和运转,将向附近水体排放越来越多的废热,形成热污染,这会造成水中少氧和水生态系统的衰落;沿海油田钻探开发、原油装运所产生的油的泄漏和流失会对海洋造成严重污染;核电站和其它核设施的建造和运转,放射性同位素更加广泛和大规模的应用,以及与此相适应的铀、钍矿扩大开采和加工,将会有更多的放射性物质进入水环境。

由于地表水(包括海水和淡水)系统所受污染的规律与地下水不同。因此将在下面分别阐述。

上述八类污染物进入地表水体后会发生如下几种类型的污染:水体水中溶解氧降低、富营养化、水生物失调、以及沉积和侵蚀。

一、溶解氧降低

油、热、悬浮物有机物和某些无机废物等都能减少水体中的溶解氧。虽然最终结果,即——氧的缺少是相同的,但是导致缺氧的机理是不同的。水体中溶解氧的减少可归纳为四种起因:①水生植物光合速率减少;②水体中氧的溶解度降低;③在大气—水界面上大气氧扩散受阻;④水体中的好氧菌增加对氧的消耗,亦即增加了生物需氧量(BOD)。

(一) 光合速率减少

光合速率可以因水体水浊度的增加而减少,这是由于透射于水中光量减少所致。进入水体中的这些悬浮物可能来自雨季和作物灌溉季节的地表侵蚀,也可能来自排入的废水。这种物质进入水体后会阻碍光线透射,从而减少了可供水生植物光合作用的光量。水体中过量地增加悬浮物还将减少其中溶解氧的含量,如果持续下去就会使水生植物死亡。光合速率减少也会产生附加影响,即消除了初级消费者(如浮游动物、草食性鱼类等)的食物源,引起这些生物的死亡和分解,从而进一步增加了系统中的BOD。

当向水体中排入纺织染整或制浆造纸等高色度废水而产生大的色度时,也可能减少光的射入量,因而减少了淡水和海水环境中的水生物产量。

光合速率也可能由于直接去除产氧的植物而减少。汞通过各种来源(废弃的电池,打碎的日光灯管,含汞的农药,含汞废水等)进入水体的再生区,通过细菌的作用被转化为有机汞而溶于水。这就使其可能通过浮游植物的摄取或滤食性捕食者的直接吸收而进入食物链中。汞对浮游植物是剧毒的,研究发现,当汞浓度仅为100亿分之一(0.1 ppb),亦即我国地表水源和饮用水标准的1/10时,其光合作用便受到抑制,许多杀虫剂(除含汞的以外)也能杀死浮游植物,因而减少它们在水体系统中的光合速率和水的含氧浓度。

(二) 氧溶解度的减少

在一既定的水体中溶解氧含量随温度升高而减少。温度升高会引起水和所有溶解气体的分子运动的增强,从而导致氧的溶解度的降低。湖泊对温度的增高特别敏感,因为这会增强温度-密度的屏障,从而妨碍了上层水与下层水区的混合。因此如果上层水温增加到足以阻止或延迟正常的秋季翻层,那么在底层将会出现严重的和长期的厌氧条件。这将导致湖底层的生物种群过多的死亡。此外,较高的温度适于细菌增长,因而也增加了细菌的新陈代谢过程,这在再生区就有一个增加分解速率的净效应,因为细菌(好氧)分解需要氧,增加分解速率也将导致耗氧量的增加。

(三) 氧扩散的减少

那些在水面形成覆盖层而影响氧在空气-水界面的扩散并阻碍氧进入水体系统中的物质,也会减少可供利用的氧量。从各种系统进入环境的油就是以这种方式减少了水体中的含氧量。例如,1967年托雷峡谷(Torrey Canyon)油船事故往海中泄漏了117 000吨原油。这些漏失的油覆盖了大面积的海水,而且除了减少氧的扩散以外,还破坏了整个海鸟群体,危害了其它海洋生物。另一种油污染源是废的电机润滑油,据估计每年这种废油总量达 $130 \times 10^4 \text{m}^3$,因为这种废油再生在经济上不合算,所以一般作为废物处理,而且最后倒入城市下水道系统,倒入雨水管道中,或者直接排入附近的水体,那些被排入城市污水和雨水管道的废油,最后将进入河流、湖泊和河口。它们在水体中的影响类似于漏泄的原油。但是,应当指出,废的电机润滑油并不直接排于大的海洋中,而是排入一些小的水体中,例如我国运河中大量的机动船只排放的废机油构成的主要的油污染源。这些废油如果连续地排入小的和流动性差的水体如湖泊和水库中,则可能造成严重的污染。

秋季的落叶掉入河流中由于浮在水面上而阻碍了阳光的透射,也会减少水中的含氧量,并且影响大气-水界面上氧的交换。此外,树叶最后沉至河流的再生区并被分解,从而增加了该系统中的BOD。当这些现象发生在枯水流量的季节(如冬季或夏季),会产生重大的影响,此时水中的含氧量会显著降低,但这种影响一般是暂时的。

(四) 需氧量的增加

一般地说,原生生活污水及其处理厂的废水,各种有机废水如食品加工废水,以及家畜家禽饲养场清除的废物等,是进入水体的主要有机废物来源。当它们被排入水体后最终将进入再生区,由好氧菌进行分解,此时细菌要从系统中消耗大量的溶解氧。随着更多的有机物进入再生区,加剧了水中BOD的增加和溶解氧的减少。如果有机物长期持续地进入水中(就如同工业废水或城市污水排放口附近的水域那样),其含氧量将大幅度下降,甚至将成为长期厌氧的水域。

一些还原性无机物,如来自采矿排水的亚铁盐和来自制浆造纸废水的硫化物,也能降低淡水和海水环境的含氧量。这些还原性无机物的加入增加了水体中的COD。

目前我国大多数河流的沿岸分布着许多城镇,被上游城镇污染的河流,将成为下游城镇的水源,下游城镇从河中取出的水经适当处理供饮用和生产后,又变成污水和废水,排于河流中。这些河流在其沿岸城市之间的排放—取用—再排放—再取用的过程中,往往来不及完成充分的自然净化而恢复到原初的未污染状态,因而其中的含氧量低,并且在全部河道中都会发现令人讨厌的、不雅观的生物种群。湖泊更容易受到污染,这是因为它们的流动性不好。

二、富营养化

(一) 概述

排入水体的有机物被分解后,其中一部分变为植物的营养物,如磷酸盐、氨氮和硝酸盐。水体中,如海洋和地表淡水系统的植物营养剂增加过多,会引起水体中藻类和其它水生植物的过度繁殖,造成藻华或赤潮现象,使水中溶解氧消耗殆尽,从而导致鱼类大量死亡,这就是富营养化现象。

在地表淡水系统中通常磷酸盐是植物生长的限制因素,而在海水系统中往往是氨氮和硝酸盐限制植物的生长以及总的生产量。导致富营养化的物质,往往是在原状系统中含量有限的营养物质,例如,在正常的淡水系统中磷含量通常是有限的,因此增加磷酸盐会导致植物的过度生长,而在海水系统中磷是不缺的,而氮含量却是有限的,因而含氮污染物加入就会消除这一限制因素,从而出现植物的过度生长。

某一植物生态系统的过度肥料化是有害的,因为它迅速改变了经过许多世纪的缓慢演变才达到平衡的营养物的比例关系和植物—动物的相互关系,从而破坏了生物群落的平衡性和完整性,其最终结果会导致正常生物种群的消失,而取而代之的是少数几种能适应条件迅速改变的劣等生物种群。对任何水体系统来说,过度肥料化会消除限制因素,而导致水生植物种群发生不正常的过度 and 迅速的增殖。如果在受干扰的系统中,正常存在的植物增殖迅速,消费者生物往往不能适应,于是有越来越多的植物未能被消费者吃掉而剩余下来,它们将最终死亡,并向再生区增加过量的需要被分解的物质。这将消耗系统中更多的溶解氧而使溶解氧含量不断降低,有时甚至达到最不利的状况,即溶解氧消耗殆尽。许多种鱼,尤其是贵重的经济鱼类,对溶解氧的降低极其敏感,以致有时达到消亡的程度。此外,可沉淀有机物的加速沉积,会使水体底部迅速地覆盖上有机淤泥层,从而窒息了原来生存的底栖动物以及它们的卵和幼虫。在某些情况下,过度的施肥会促进一些新的植物种属的生长。这些新的植物种属在改变的环境中往往排挤原有的植物种属以致最后使其消亡。在许多情况下,初级消费者动物不能利用这些新种属植物作为其食物源,因而从系统中消失,并进而导致整条食物链的消失。

(二) 富营养物质的来源

水体系统中过量的肥料物质,来自原生的和处理不完全的生活污水、有机废水、有机垃圾和家畜家禽粪便等,但是最大的来源是农田上施用的大量化肥。在天然土壤中许多氮被包含在有机物含量高的腐殖质中,一般地说,土壤中无机氮约占总氮量的2%或更小些,其余的与腐殖质中大的有机分子相结合。土壤细菌缓慢地分解腐殖质以形成为植物正常生长所需要的

硝酸盐和其它营养物质。

在大量施加无机肥料的土地上腐殖质不断减少，这是由于未能把作物和动物残渣返回到田地上，而它们能滞留腐殖质。随着腐殖质含量的减少，氮由于没有有机腐殖质将其“固结”于土壤中，在土壤灌溉或降雨时将被浸出和流失。这降低了土壤的肥力，因而需要增加施肥，而通过增加施肥(不加腐殖质)的尝试将引起腐殖质含量进一步降低，这将使土壤保持更少的氮，而导致进一步施加无机肥料，于是形成恶性循环。

无机化肥的应用在过去 25 年中增加了 20 倍，这导致世界范围内土壤质量的下降。在我国这种情况尤其突出。由于无机化肥使用简便卫生，而且在短时期内能实现大幅度的增产，使我国的农民大都放弃了使用有机肥(人畜粪便、绿肥、污泥等)的传统。于是农田土壤腐殖质含量减少，土壤滞留硝酸盐氮的能力减小，因而需要大量地施用化肥以达到增产的目的。据统计真正为农作物吸收的肥料不到所施化肥的 10%，它们大都在降雨或灌溉时被从土壤中溶出而随灌溉水或降水流失于附近的水体。我国南方一些水网地区的一些水体中氨氮、硝酸盐含量高达 5~10 mg/l，引起严重的富营养化现象。

1. 氮源

农田径流挟带的大量氨氮和硝酸盐氮进入水体后，改变了其中原有的氮平衡，促进了某些适应新条件的藻类种属迅速增殖，覆盖了大面积水面。我国南方水网地区的一些湖叉河道中从农田流入的大量的氮促进了水花生、水葫芦、水浮莲、鸭草等浮水植物的大量繁殖，致使有些河段影响航运。在这些水生植物死亡后，细菌将其分解，从而使其所在水体系统中增加了 BOD，导致其进一步耗氧，使大批鱼类死亡。

此外，美国的研究发现，含有尿素、氨氮为主要氮形态的生活污水和人畜粪便，排于水体(如美国长岛南岸之外的大南湾)后会使正常的氮循环变成“短路循环”，即尿素和氨氮大量排入水体中，破坏了正常的氮、磷比例，并且导致在这一水域生存的浮游植物群落完全改变，原来正常的浮游植物群落是由硅藻、鞭毛虫和腰鞭毛虫组成的，而这些种群几乎完全被小的鞭毛虫类(Nannochloris 属和 Stichococcus 属)所取代。新的种群不能满足被该海湾的初级消费者摄食消化，从而因饥饿导致牡蛎和贝类的绝灭，尽管曾多次尝试将它们重新放养，但都遭失败。

2. 磷源

在过去 15 年内地表水中的磷酸盐含量增加了 25 倍。因为它也是植物的营养物质，所以它对其所进入的系统的影响与氮是相同的。磷酸盐主要来源于肥料、农业废物和城市污水。据计算在美国进入水体的磷酸盐有 60% 是来自城市污水。在城市污水中磷酸盐的主要来源是洗涤剂，它除了引起水体富营养化以外，还使许多水体产生大量的泡沫。

在一些因硝酸盐引起的富营养化的湖泊中，由于城市污水的排入使之更加复杂化，会使该系统迅速恶化，即使停止加入磷酸盐，问题也不会解决。这是因为多年来在底部沉积了大量的富含磷酸盐的沉淀物，它由于不溶性的铁盐保护层作用通常是不会参与混合的，但是，当底层水含氧量低而处于还原状态时(通常在夏季分层时出现)，保护层消失，从而使磷酸盐释入水中。

三、对水生态系统的危害

有些污染物对水生物有毒害作用，它们或者能直接杀死水生物，或者影响其代谢、生理活性，以及它们的遗传或生殖能力，从而威胁在一既定的水生态系统中一些正常的生物种群的接续。此外，有的物质被某些初等生物摄入和吸收后并没有明显的影响，但是它们能在其机体中富集并且在食物链中逐级传递和放大，最后使高级消费者动物中毒。

上述主要污染物有各种持久性农药、重金属(主要是汞、镉、铅和铜)、塑料工业的副产品(如聚氯乙烯类和多氯联苯类, PVC_s 和 PCB_s)和放射性物质。

这些物质最有害的影响是它们在食物链的传递过程中能逐级富集，而最后在一些高营养级生物中达到很高的浓度，这种现象称为生物放大(*biological magnification*)。生物放大对一些生物产生多种危害，诸如鱼鹰的蛋壳变薄，燕鸥的总生殖率降低，以及在人奶中 DDT 的含量过高等。

(一) 氯化烃类

DDT, 一种氯化烃。在水中是微溶的, 但在有机脂肪组织中是高度溶解的。藻类在从水中吸收溶解物质的过程中不加选择地摄取和积累 DDT, 并在其细胞脂体内富集并增加到几个 ppm 数量级, 第一级消费者如浮游动物等在其生命周期中每个单体吃掉数万至数十万个藻的个体, 从而使其体内的 DDT 富集到数十个 ppm 数量级, 以浮游动物为食的第二级消费者(小鱼)将进一步富集 DDT, 而它们再被第三级消费者(肉食性鱼类)捕食后将使其体内的 DDT 富集到相当高的水平以致中毒。

DDT 的毒效对各种生物是不同的。例如, 对海洋鱼类的主要影响, 是使其繁殖率大大降低, 因为 DDT 是集中在鱼卵的蛋黄囊中, 致使其中的胚易被毒死。DDT 对鸟类的一种影响是干扰其与钙的同化作用, 使其生产易碎的薄壳卵, 以致其中的雏难以成活, 另一种影响, 是破坏了激素平衡, 引起鸟类的异常动态及其它症状。在生物圈中 DDT 的总量据估计接近于 $2 \times 10^6 t$, 其中 $3/4$ 是在陆地环境中, $1/4$ 是在海洋环境中。

其它的氯化烃类(艾氏剂、狄氏剂、六氯苯等)对生态系统的危害被认为遵循与 DDT 相似的环境途径。最近, 另一类氯化烃——多氯联苯(PCB_s)已被发现对环境有严重的影响。这类物质被广泛地用作热交换剂和高压电设备中的绝缘流体, 此外, 它们还被加入涂料、塑料和橡胶中作为稳定剂以使这些物质耐分解。 PCB_s 通过污水、润滑剂和热交换流体的滤取, 以及从土地填埋操作进入水体, 与 DDT 相同, 它在食物链中进行生物放大。 PCB_s 的毒性因鱼种而异, 例如, 对鲑鱼的中毒浓度大于 20ppm, 对鲟鱼的致死浓度为 8 ppm, 而对虾则低至 1 ppm。在鱼鹰(以鱼为食的顶部消费者)体内的浓度为 1000 ppm。

(二) 金属

1. 汞

汞在水体中的迁移转化途径是, 金属汞或无机汞化物进入水体的再生区后转变成溶解的

甲基汞。金属汞对生物的毒性比较小,但是一旦转化为有机汞(甲基汞),其毒性显著增加。因为细菌能连续地将无机汞转化为甲基汞,所以进入水体中的无机汞将成为甲基汞的潜在贮存库。即使停止加入无机汞,情况仍会如此。甲基汞在浮游植物中的富集倍数为几十(相对于水),然后在食物链中逐级进行生物放大。例如鱼,它们既能通过鳃直接吸收汞,也能通过食物摄入汞。由于甲基汞比无机汞容易被吸收而且排泄缓慢,它能在鱼体中富集到很大的浓度,例如,我国第二松花江共接纳了吉林化工厂排放的含汞废水中的汞约 100 吨,其中各种鱼类的含汞量为 3~8 ppm(干重),汞在鱼体中的富集数千至上万倍(相对于水)。50 年代日本水俣湾因某一化肥厂排放的含汞废水的污染而使湾中的鱼、贝富集了高浓度的甲基汞,附近渔民因食用大量被汞污染的鱼、贝而患甲基汞中毒症,导致数百人死亡,数千人残废,以及一些婴儿患先天性甲基汞中毒痴呆症。

2. 铅

铅污染的来源是很多的,从工业生产到用作罐头盒的焊接剂,其中汽油中的铅添加剂是铅的主要污染源之一。迹象表明进入水系统中的铅大都是通过降雨淋洗下的颗粒状的铅。一些研究证明,铅是被浮游植物或滤食性动物吸收的,当其进入食物链后便被逐级富集。

3. 铜

远在 1898 年时就发现英国和美国海岸的牡蛎所以呈现绿色或蓝色,是由铜引起的。铜也是通过各种来源而进入水生态系统中并被浮游植物摄取,然后在食物链中逐级富集,最后在一些高营养级生物中铜的浓度高到足以使之呈现颜色的程度,并且会干扰代谢过程,甚至使多种生物死亡。例如,1 $\mu\text{g}/\text{l}$ 浓的铜就对龙虾有毒害作用。

其它一些金属如镉、钴和镍,在有色金属采矿、选矿、冶炼、电镀等工业生产过程中通过废水的排放、废气的沉降和废渣的溶出等途径而进入水体,它们也在食物链中富集,在一些水体中的蛤和牡蛎中已检出。还应指出被镉污染的河湖水一旦用于灌溉农田,它会进入水稻的籽粒中并富集到很高的含量,人食用这种“镉米”后,镉会进入人体骨骼置换其中的钙,使骨骼变形、变软以致断裂,痛苦不堪,严重者乃至死亡。如日本神通川沿岸稻田因取用被镉污染的河水灌溉而产生“镉米”,附近农民食用后出现镉中毒的骨痛病。

(三) 放射性核素

放射性核素具有与其稳定性同位素金属相同的化学性质。因此,当放射性废水排放、核试验或核事故的放射性烟云的大气沉降或随降水的沉降,以及核事故的废水、废物的直接泄漏等途径而进入水体后,它们在水生态系统中的迁移转化规律与其稳定同位素金属是基本一致的。放射性核素或微量金属在河口的水生态系统中迁移的可能途径如图 1-1 所示。由该图可见,放射性核素的迁移途径还取决于其物理性质和生物过程,如悬浮物,则可能沉于底部,被某些底栖动物滤食,或者附着在植物表面。可溶解物,则可能被吸附在有机和无机悬浮物上,或者会被植物和动物吸收。最后它们会在水生态系统中通过多条食物链进行逐营养级的富集。

一种放射性核素(或某种污染物)在生物中的浓度与其在水中的浓度之比,称为富集系数或浓缩倍数(*Concentration Factor, CF*)。在淡水中由于矿物成分浓度远低于海水,而使其中

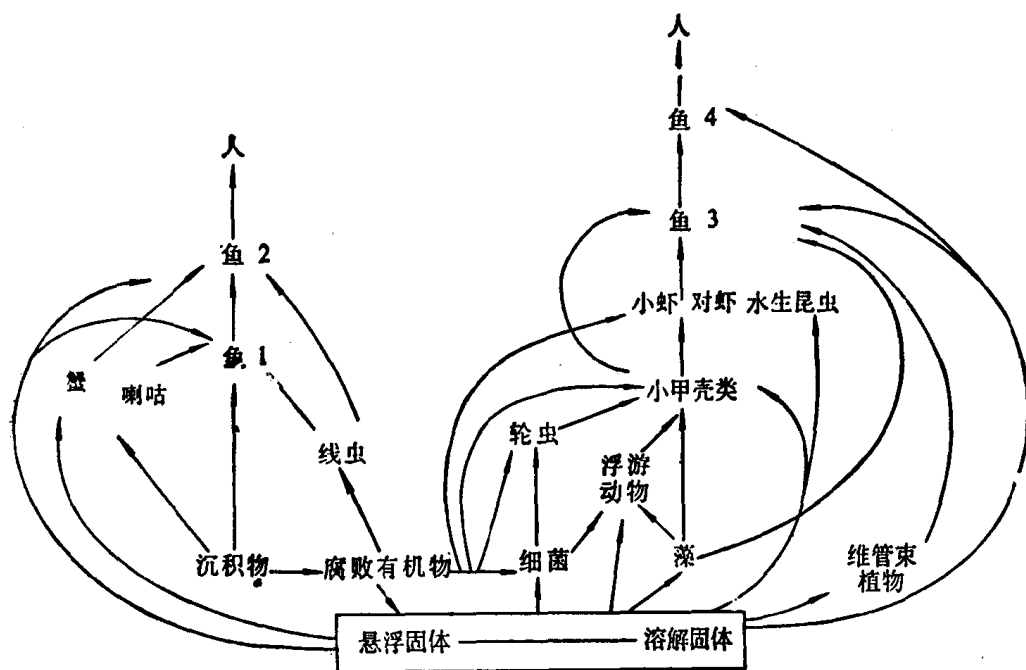


图 1-1 微量金属和放射性核素在河口生态系统中可能的迁移途径

的富集系数(CF)往往大于海水中的CF。此外,在海洋环境中的CF往往比淡水环境中的CF差异小,这是因为后者中的矿质成分浓度变化很大,不仅河与河、湖与湖之间互不相同,而且同一条河流也是逐月、逐日甚至逐时变化的,在河口和受海水潮汐影响的河段尤为如此。

淡水和海水食用生物中存在的放射性核素对人的重要性,取决于它在生物中存在的具体部位。当它富集于被人食用的器官中时,对人的危害是大的,否则危害不大。因此尽管知道蚌、牡蛎和贝能如同蟹那样富集 Sr^{90} ,但是主要是在壳中,通常不会被人食用。而其它一些放射性核素如 Cs^{137} , Zn^{65} 和 Co^{60} 却富集于生物中可食用的组织中。

四、细菌与病毒污染

细菌和病毒随同污水、废水、灌溉排水和降水径流等而进入水体,它们对人体健康造成的实际和潜在危害,要比营养物质引起的富营养化大。来源于人类、陆地哺乳动物和鸟类的细菌污染有大肠杆菌和链球菌。我国饮用水中的大肠杆菌最大允许含量为每升3个;美国规定的游泳水域的最大允许含量为每升10个。而世界上欧美一些城市的暴雨径流水中检测的大肠杆菌含量达每升数十万个。

用氯进行消毒处理能消除给水系统中的大部分细菌,但是一般不能有效地杀灭病毒,周期性的暴发胃肠炎和肝炎就是由水传染病毒引起的,这些水传染病毒还会引起脊髓灰质炎(小儿麻痹症)、柔脑膜炎、疹(如荨麻疹)和流感。病毒往往是通过处理不够的污水而进入水体中的。病毒的检验方法是非常困难的,而且目前,人们对给水中为数不多的几种病毒的了解是有限的。尽管如此,病毒污染并不认为是特别严重的,除非是它们通过下水道的破漏或排污明渠的渗漏直接进入地下水。一些研究证明,土壤、砂等,在污染水通过其中渗滤时能有效地滤除