



扫描二维码  
免费课件下载

高等院校环境科学与工程类系列规划教材

# 水环境化学

张倩 李孟 主编

中国建材工业出版社

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

# 水环境化学

主编 张倩 李孟



中国建材工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

水环境化学/张倩,李孟主编.——北京:中国建材工业出版社,2018.6

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材  
ISBN 978-7-5160-2194-1

I. ①水… II. ①张… ②李… III. ①水环境—环境化学—高等学校—教材 IV. ①X131.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第053476号

## 内 容 简 介

本书针对水环境化学的研究方法和理论基础作了较全面的阐述,注重原理和概念表达的严谨性,所用资料新颖。全书包括绪论,天然水体系的组成与性质,水体污染,水中无机污染物的迁移转化,水中有机污染物的迁移转化,水中重金属的迁移转化,水中营养物质的迁移转化,水中污染物的生物化学过程和水环境修复化学共九章内容。

本书可作为高等院校市政工程、环境工程、土木工程等专业的教材,也可供从事环境科学研究与工程技术的人员学习参考。

水环境化学

主编 张倩 李孟

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市海淀区三里河路1号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18.25

字 数:450千字

版 次:2018年6月第1版

印 次:2018年6月第1次

定 价:58.80元

---

本社网址: [www.jcbs.com](http://www.jcbs.com) 微信公众号: [zgjcycbs](https://weixin.qq.com/r/zgjcycbs)

本书如出现印装质量问题,由我社市场营销部负责调换。联系电话:(010) 88386906

## 《水环境化学》编写委员会

主编：张 倩 李 孟

参编：李肇东 许入义 詹志威 范子哲 仇 玥  
万仲豪 李博远 李 尧 卢 芳 张 哲

# 前 言

水是地球上的宝贵资源，但目前在全世界范围内普遍存在着一系列的水环境问题，且日益严重，水环境问题已成为制约人类生存和发展的重要因素。作为给排水科学与工程专业的基础课，《水环境化学》近年来在高等院校里越来越受到重视。但是我国一直缺乏专业性、系统性的《水环境化学》教材。

本教材针对我国目前复杂的水环境情况，对化学物质在水环境中的迁移、转化和净化处理进行理论阐述。在教材的编写上力图体现“新”字，使教材的内容编排能够跟上目前最新的发展趋势，让读者接触到目前最新的研究思想，培养和激发读者对本专业的学习兴趣。同时，针对一些经典的原理和内容作了较深入的理论阐述，尽量做到重点突出，主题明确。

全书由张倩、李孟主编。第1章、第2章由李孟、李肇东、许入义编写，第3章~第5章由张倩、范子哲、詹志威、仇玥编写，第6章~第9章由李孟、万仲豪、李博远、李尧、卢芳编写，张哲参与了本教材的图表绘制及校对等工作。全书由李孟统一审校完稿。在本书的编写过程中，编者参考了众多文献，文献名未一一列出，谨向这些文献作者致以谢意。

最后，因时间仓促、水平有限，敬请读者对本教材的疏漏之处提出批评。

编者

2018年5月

# 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 水环境 .....	1
1.1.1 环境与地球环境 .....	1
1.1.2 水环境 .....	2
1.2 水环境问题 .....	4
1.2.1 河流 .....	4
1.2.2 湖泊水库 .....	4
1.2.3 海水 .....	6
1.2.4 地下水 .....	8
1.3 水的循环 .....	8
1.3.1 成因与分类 .....	8
1.3.2 水量平衡 .....	10
1.3.3 滞留时间 .....	10
1.3.4 影响水循环的因素 .....	12
1.3.5 作用与意义 .....	13
1.4 水环境污染 .....	14
1.4.1 来源 .....	14
1.4.2 无机污染物 .....	15
1.4.3 有机污染物 .....	15
1.4.4 重金属污染物 .....	17
习题 .....	18
第2章 天然水体系的组成与性质 .....	19
2.1 水分子结构和水的特性 .....	19
2.1.1 水分子结构 .....	19
2.1.2 水的基本性质 .....	20
2.1.3 水的分子结构与性质的关系 .....	23
2.2 天然水体系的组成与性质 .....	24
2.2.1 天然水的组成 .....	24
2.2.2 天然水体中化学物质的存在形态 .....	29
2.2.3 天然水的分类 .....	30
2.3 天然水的水质 .....	31
2.3.1 水质指标 .....	31
2.3.2 水质标准和水质分析 .....	33

2.3.3	水质类别和水质指数 .....	35
习题	.....	35
<b>第3章</b>	<b>水体污染</b> .....	<b>36</b>
3.1	天然水的污染 .....	36
3.1.1	概述 .....	36
3.1.2	水体的污染源 .....	36
3.1.3	地表水污染的现状 .....	39
3.2	水体中的主要污染物及迁移转化 .....	41
3.2.1	水体中的主要污染物种类和来源 .....	41
3.2.2	主要污染物及其迁移转化 .....	42
3.3	水中的营养元素和水体富营养化 .....	52
3.3.1	水中的营养元素 .....	52
3.3.2	水体富营养化 .....	52
3.3.3	典型的富营养化现象 .....	53
3.4	水处理方法概述 .....	59
3.4.1	水处理程度分级 .....	59
3.4.2	水处理方法 .....	59
习题	.....	68
<b>第4章</b>	<b>水中无机污染物的迁移转化</b> .....	<b>69</b>
4.1	水中颗粒物的聚集 .....	69
4.1.1	水中颗粒物的类别 .....	69
4.1.2	固液界面的吸附过程 .....	70
4.1.3	水环境中颗粒物的吸附作用 .....	75
4.1.4	氧化物表面吸附的配合模式 .....	78
4.2	气体溶解 .....	81
4.2.1	气液分配作用——亨利定律 .....	81
4.2.2	氧气在水中的溶解 .....	83
4.2.3	二氧化碳在水中的溶解 .....	84
4.2.4	二氧化硫在水中的溶解 .....	85
4.2.5	一氧化氮和二氧化氮在水中的溶解 .....	88
4.3	酸碱平衡 .....	89
4.3.1	酸与碱的性质 .....	90
4.3.2	酸和碱的强度 .....	91
4.3.3	亨德森-哈塞尔巴尔赫方程与缓冲剂 .....	94
4.3.4	酸、碱、电解质的电离作用 .....	94
4.3.5	碳酸平衡 .....	95
4.3.6	酸度和碱度 .....	98
4.4	溶解和沉淀作用 .....	101
4.4.1	溶解-沉淀动力学过程 .....	101
4.4.2	各类无机物的溶解度 .....	102

4.4.3	水溶液中不同固相的分级沉淀	107
4.4.4	影响溶解度的因素	109
4.4.5	水环境中物质的沉积过程	109
4.5	氧化还原	109
4.5.1	电子活度和氧化还原电位	109
4.5.2	氧化还原图示法	112
4.6	配合作用	122
4.6.1	络合类型与结构	122
4.6.2	金属离子的水解	125
4.6.3	金属与配体作用的影响因素	133
4.6.4	腐殖质的配合作用	136
4.6.5	有机配位体对重金属迁移的影响	141
	习题	142
<b>第5章</b>	<b>水中有机污染物的迁移转化</b>	<b>146</b>
5.1	分配作用	146
5.1.1	分配作用	146
5.1.2	分配定律	147
5.1.3	分配系数及标化分配系数	148
5.1.4	辛醇-水分配系数	149
5.1.5	生物浓缩因子	151
5.2	挥发作用	152
5.2.1	Henry 定律	153
5.2.2	挥发作用的双膜理论	154
5.3	水解作用	157
5.4	光解作用	160
5.4.1	直接光解	160
5.4.2	敏化光解(间接光解)	163
5.4.3	氧化反应	164
5.4.4	光催化剂	165
5.4.5	光催化氧化的原理	167
5.4.6	光催化氧化的应用	168
5.4.7	光电耦合作用	170
5.5	典型有机污染物的去除	171
5.5.1	酚类污染物	171
5.5.2	芳烃类污染物	174
5.5.3	三卤代甲烷类污染物	178
5.5.4	合成洗涤剂类污染物	180
5.5.5	石油类污染物	181
5.5.6	持久性有机污染物	183
	习题	187



第6章 水中重金属的迁移转化 .....	188
6.1 水中重金属 .....	188
6.2 典型重金属在水中的积累和迁移转化 .....	188
6.2.1 重金属 .....	188
6.2.2 重金属的存在形态 .....	189
6.2.3 典型重金属在水中的转化规律 .....	190
6.3 重金属在水体中的迁移转化规律 .....	201
6.3.1 重金属的吸附过程 .....	202
6.3.2 水体中重金属的释放过程 .....	204
6.3.3 影响重金属迁移转化的主要因素 .....	205
习题 .....	206
第7章 水中营养物质的迁移转化 .....	207
7.1 氮元素的迁移和转化 .....	207
7.1.1 背景 .....	207
7.1.2 氮循环 .....	207
7.1.3 氨/铵盐 .....	208
7.1.4 亚硝酸盐与硝酸盐 .....	210
7.1.5 凯氏氮 .....	210
7.1.6 废水脱氮工艺 .....	210
7.2 磷元素的迁移和转化 .....	214
7.2.1 背景 .....	214
7.2.2 磷的主要用途 .....	214
7.2.3 磷循环 .....	215
7.2.4 磷化物的命名 .....	216
7.2.5 磷在环境中的迁移 .....	218
7.2.6 溶解磷酸盐的去除方法 .....	220
7.2.7 不同环境中的磷循环 .....	223
7.3 同步脱氮除磷工艺 .....	225
7.3.1 A <sup>2</sup> /O 法同步脱氮除磷工艺 .....	225
7.3.2 生物转盘同步脱氮除磷工艺 .....	226
7.3.3 人工湿地与生物浮岛 .....	227
习题 .....	229
第8章 水中污染物的生物化学过程 .....	230
8.1 天然水体中的生物自净过程 .....	230
8.1.1 天然水体中的生物降解作用 .....	230
8.1.2 污染物通过生物膜的方式 .....	233
8.1.3 污染物质的生物富集、放大和积累 .....	235
8.2 有机污染物的生物降解 .....	239
8.2.1 有机污染物的生物降解 .....	239
8.2.2 微生物降解污染物的方式 .....	243

8.2.3	典型有机污染物的生化降解途径	245
8.2.4	水体中耗氧有机物分解与溶解氧平衡	246
8.3	氮、磷及硫的生物转化	250
8.3.1	无机氮污染物的生物转化	250
8.3.2	硫的微生物转化	251
8.3.3	含磷化合物	253
8.4	重金属的生物转化	254
8.4.1	铁的氧化和还原	255
8.4.2	锰的氧化与还原	256
8.4.3	汞的氧化、还原和甲基化	256
8.4.4	砷的氧化、还原和甲基化	257
8.4.5	硒的氧化和还原	258
8.4.6	其他重金属的微生物转化	259
	习题	259
<b>第9章 水环境修复化学</b>		260
9.1	化学氧化技术	260
9.1.1	概述	260
9.1.2	高锰酸钾氧化法	261
9.1.3	臭氧氧化技术	262
9.1.4	过氧化氢及 Fenton 氧化技术	264
9.2	植物修复技术	266
9.2.1	概述	266
9.2.2	植物修复污染源机理	267
9.2.3	水生植物的净化作用	268
9.2.4	植物修复技术方法	270
9.2.5	水生植物的资源化利用	272
9.3	微生物修复技术	273
9.3.1	概述	273
9.3.2	水体微生物生态	273
9.3.3	微生物修复的主要类型	274
9.3.4	影响微生物修复效率的因素	275
9.3.5	微生物修复技术的优缺点	275
	习题	276
	参考文献	277

# 第 1 章 绪论

## 1.1 水环境

### 1.1.1 环境与地球环境

对某一生物主体而言,环境原是与遗传相对的名称,指的是那些影响该主体生存、发展和演化的外来原因和后天性的因素。在此,我们将围绕着某一有生命主体的外部世界称为环境。例如相对于人这一主体而言的外部世界,就是人类的生存环境。广而言之,人类的生存环境指的是围绕着人群的、充满各种有生命和无生命物质的空间,是人类赖以生存并直接或间接影响人类生产、生活和发展的各种外界事物及力量的总和。也可以说,人类的生存环境包容了人类以外的自然界中的一切事物。由此看来,它是一个有序的、广度可及至宇宙的无比巨大的系统。对于如此巨大的系统,人们是无从下手研究的。目前环境科学所研究的环境范围局限于包括自然环境和生态环境在内的地球环境系统。地球环境是人类活动的最基本范围,人和环境间的交互作用也主要发生在这一范围之内。

作为太阳系中八大行星之一的地球是目前唯一已知的适合于人类和各种生物生息繁衍的星球。其平均半径约 6371km,质量约  $5.977 \times 10^{24}$  kg,其所有构成物质皆由 92 种化学元素组成。如图 1-1 所示,所谓地球环境在地球中所占的空间范围包括地球大气圈(主要是对流层和平流层下部)、水圈、岩石圈(主要是其附属层土壤圈)及生物圈(相当于人类面对的生态环境)。

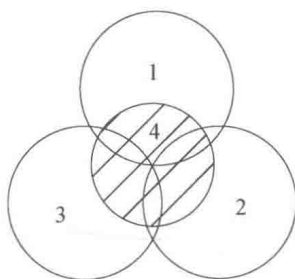


图 1-1 构成地球环境的圈层

1—大气圈; 2—水圈; 3—岩石圈; 4—生物圈

所谓环境要素包括水、大气、岩石、土壤、生物、地磁、太阳辐射等。这些要素是组成环境的结构单元,即由此组成环境系统或环境整体。在这些要素间存在着互相联系和互相作用的基本关系,而地球环境也正是通过这些要素来显示出它对环境生物主体的各种功能,显示出它对进入环境的各种污染物的影响,以推动它们发生迁移和转化。

## 1.1.2 水环境

水环境是指自然界中水的形成、分布和转化所处空间的环境，是指围绕人群空间及可直接或间接影响人类生活和发展的水体，其正常功能的各种自然因素和有关的社会因素的总称。也有的指相对稳定的、以陆地为边界的天然水域所处空间的环境。在地球表面，水体面积约占地球表面积的 71%。水是由海洋水和陆地水两部分组成，分别占总水量的 97.28% 和 2.72%。后者所占总量比例很小，且所处空间的环境十分复杂。水在地球上处于不断循环的动态平衡状态。天然水的基本化学成分和含量，反映了它在不同自然环境循环过程中的原始物理化学性质，是研究水环境中元素存在、迁移及转化和环境质量（或污染程度）与水质评价的基本依据。

水环境主要由地表水环境和地下水环境两部分组成。地表水环境，包括各种液态的和固态的水体，主要有河流、湖泊、沼泽、冰川、冰盖等。它是人类生活用水的重要来源之一，也是各国水资源的主要组成部分。

河流分布较广，水量更新快，便于取用，历来就是人类开发利用的主要水源。一个地区的地表水资源条件，通常用河流径流量表示。河流径流量除了直接受降水的影响外，地形、地质、土壤、植被等下垫面因素对径流也有明显的影响。雨水、冰雪融水通过地表或地下补给河流。地下水补给河流部分叫做基流，水量较为稳定，水质一般良好，对供水有重要价值。中国大小河流的总长度约为 42 万 km，径流总量达 27115 亿  $\text{m}^3$ ，占全世界河流径流量的 5.8%。中国的河流数量虽多，但地区分布却很不均匀，全国河流径流总量的 96% 都集中在外流流域，面积占全国总面积的 64%，内陆流域仅占 4%，面积占全国总面积的 36%。冬季是中国河川径流枯水季节，夏季则为丰水季节。这部分水量是比较容易开发利用的地表水资源。汛期洪水难以直接利用，需要修建水库调节。

冰川是指极地或高山地区地表上多年存在并具有沿地面运动状态的天然冰体。冰川是多年积雪经过压实、重新结晶、再冻结等成冰作用而形成的。它具有一定的形态和层次，并有可塑性，在重力和压力下产生塑性流动和块状滑动，是地表重要的淡水资源。

湖泊包括湖盆及其承纳的水体。湖盆是地表相对封闭可蓄水的天然洼地。湖泊按成因可分为构造湖、火山口湖、冰川湖、堰塞湖、喀斯特湖、河成湖、风成湖、海成湖和人工湖（水库）等。按泄水情况可分为外流湖（吞吐湖）和内陆湖；按湖水含盐度可分为淡水湖（含盐度小于  $1\text{g/L}$ ）、咸水湖（含盐度为  $1\sim 35\text{g/L}$ ）和盐湖（含盐度大于  $35\text{g/L}$ ）。湖水的来源是降水、地面径流、地下水，有的则来自冰雪融水。湖水的消耗主要是蒸发、渗漏、排泄和开发利用。

沼泽是一种独特的水体，是一些生长喜湿植物的过湿地区。中国沼泽的分布很广，仅泥炭沼泽和潜育沼泽两类面积即达 11.3 万  $\text{km}^2$ ，主要分布在东北三江平原、嫩江平原的低洼处以及黄河上游和沿海的一些地带。中国大部分沼泽分布于低平而丰水的地段，土壤潜在肥力高，是中国进一步扩大耕地面积的重要对象。沼泽实景如图 1-2 所示。

地下水是指赋存于地面以下岩石空隙中的水，狭义上是指地下水面以下饱和含水层中的水。在国家标准《水文地质术语》（GB/T 14157—1993）中，地下水是指埋藏在地表以下各种形式的重力水。地下水环境包括泉水、浅层地下水、深层地下水等。其具体如图 1-3 所示。

泉是地下水天然出露至地表的地点，或者地下含水层露出地表的地点。根据水流状况的



图 1-2 沼泽

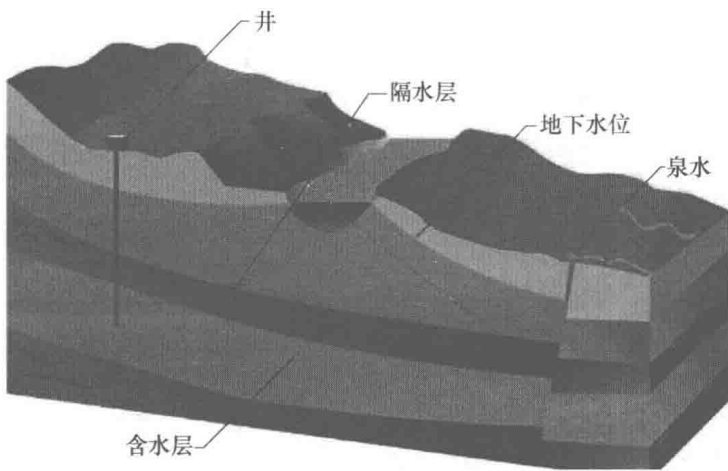


图 1-3 地下水

不同，可以分为间歇泉和常流泉。如果地下水露出地表后没有形成明显水流，称为渗水。根据水流温度，泉可以分为温泉和冷泉。泉可以按照其流量大小分为八级，一级泉的流量超过 2800L/s，二级泉的流量在 280~2800L/s 之间，八级泉流量则小于 8mL/s。

浅层地下水是指地表以下 60m 内的含水层，是地质结构中位于第一透水层中、第一隔水层之上的地下水，由大气降水、地表径流透水形成，埋深浅，更新较快，水质较差，水质与水量均受降水和径流影响，典型代表为井水（非机井）。由于其埋深浅，未经深层岩石过滤，水体极易被工厂排放的污水和农田残留的农药污染，饮用浅层受污染的地下水会危害健康。

深层地下蓄水层是指深度在地表之下 1km 左右的蓄水层，其蓄水量要比地表河湖总蓄水量大得多，目前探明的蓄水量已是地表水量的 100 倍。某些地下蓄水层甚至还存在着被封闭了几百万年的“化石”水。

水环境是构成环境的基本要素之一，是人类社会赖以生存和发展的重要场所，也是受人类干扰和破坏最严重的领域。

## 1.2 水环境问题

### 1.2.1 河流

水污染是我国最严重的河流水环境问题。水利部 1993~1995 年期间组织开展了中国水资源质量评价,结果表明:在评价的七十余条河流中,水质良好的只占评价河长的 32.2%,受污染的河长已占评价河长的 46.5%。在全部评价河长中,有 2.5 万 km 的河段水质不符合渔业水质标准,90%以上城市水域污染严重。而在 1984 年完成的第一次全国水资源质量评价中,在 8501km 评价河长中,受污染河长为 1853.2km,占 21.8%。十年间,污染河长增加了 1 倍以上。在全国七大流域中,太湖、淮河、黄河水质最差,均有 70%以上的河段受到污染;海河、松辽流域污染也相当严重,污染河段占 60%以上。河流污染形势严峻,其发展趋势也令人担忧。从全国情况看,污染正从支流向干流延伸,从城市向农村蔓延,从地表向地下渗透,从区域向流域扩散。河流污染现状如图 1-4 所示。

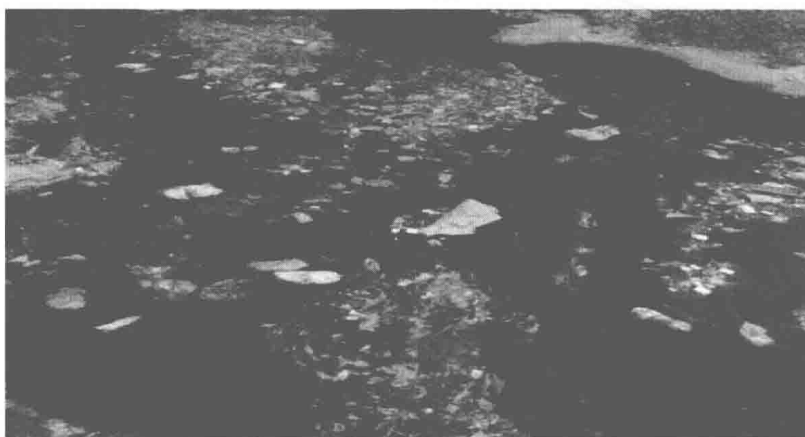


图 1-4 河流污染

河道功能退化、河流枯竭成为又一个严重的水环境问题。从 1972 年到 1997 年的 26 年间,黄河下游共有 20 年发生断流,其中 1997 年断流时间最长,累计断流已近 8 个月。海河流域由于水资源缺乏,中下游平原地区的河流基本干涸,河口淤积加剧。由于无天然径流,城镇排出的污水形成污水河。

水土流失面广量大,后果堪忧。全国水土流失面积 357 万  $\text{km}^2$ , 占国土面积的 38%。每年流失泥沙 50 亿 t,严重影响土壤肥力。仅黄土高原每年水土流失带走的氮、磷、钾就有 4 万 t,相当于全国一年的化肥产量。黄河平均年输沙量 16 亿 t,其中 4 亿 t 淤积在下游河床中,使下游河床以每年 10cm 的速度抬升,黄河已成为世界著名的地上悬河。

### 1.2.2 湖泊水库

富营养化问题在湖泊中尤为突出。由于排入湖库的氮、磷等营养物质不断增加,近年来水体富营养化程度加快。我国 131 个主要湖泊中,已达富营养程度的湖泊有 67 个,占 51.2%。在 39 座代表性水库中,达富营养程度的有 12 座,占 30%。在五大淡水湖中,太

湖、洪泽湖、巢湖已达富营养程度，鄱阳湖、洞庭湖正处于向富营养化过渡阶段。城市近郊区的湖泊水库富营养化程度普遍较高，如杭州西湖、南京玄武湖以及北京的官厅水库等均达富营养化程度。太湖中富营养化面积占全湖面积70%以上，富营养化及重营养化面积占10%。

湖泊和水库的水质状况不断恶化。在131个主要湖泊中，已被污染的湖泊有89个，占67.9%。其中被严重污染的有28个，占21.4%。受到不同程度污染的水库占调查总数的34%。小型湖库的污染较大型湖库严重，城郊湖库和东北地区湖库有机物污染突出，西北地区湖库盐碱化现象严重。

湖泊面积缩小，部分湖泊咸化趋势明显。近30年来，我国湖泊水面面积已缩小了30%。洞庭湖在1949年到1983年的34年间，湖区面积减少1459km<sup>2</sup>，平均每年减少42.9km<sup>2</sup>；容量共减少115亿m<sup>3</sup>，平均每年减少3.4亿m<sup>3</sup>。如果按此速率发展，50年内洞庭湖就会消失。调查结果显示，我国西北干旱半干旱地区湖泊干涸现象十分严重，部分现存湖泊含盐量和矿化度显著升高，咸化趋势明显。近30年中，内蒙古的乌梁素海矿化度增加4.5倍，新疆的博斯腾湖从20世纪60年代到80年代矿化度增加5倍，已变成咸水湖。其他如青海湖、岱海、布伦托海等处于咸化过程中。

### 1. 富营养化的概念

富营养化一词源于希腊，指湖泊、水库和海湾等封闭、半封闭性水体及某些滞留河流（水流速度小于1m/min）水体由于氮和磷等营养素的富集，导致某些特征藻类（如蓝绿藻）和其他水生植物异常繁殖、异养微生物代谢频繁、水体透明度下降、溶解氧含量降低、水生生物大量死亡、水质恶化、水发腥变臭，最终破坏湖泊生态系统。

### 2. 富营养化的危害

富营养化的水体属于劣质水，危害较大，严重影响我国可持续发展战略，给当下及后代子孙造成严重的影响。自来水管的取水源如果遭受富营养化，就会影响水管的正常运转。给水处理的成本明显上涨，产水率降低，处理后水的效果也大打折扣。在水体富营养化的过程中，有厌氧细菌的厌氧作用，厌氧作用产生CH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S等有毒有害气体，增加了水处理过程的难度。水体在发生富营养化的过程中，生物链的生态平衡将被打破，水生生物数量和种类均降低，严重影响大型群落的生存状况。同时，异常增殖的藻类分泌大量生物毒素，不仅威胁水生生物的生存，而且对人体健康也构成威胁，如缺氧条件下NO<sub>3</sub><sup>-</sup>被还原成NO<sub>2</sub><sup>-</sup>，具有致癌性；一些赤潮生物（微原甲藻、裸甲藻等）能产生对人体毒性很大的麻痹性贝毒，当人误饮误食后，会引起病变甚至死亡。藻类的大量繁殖在富营养化的水体中常见，水体在这些藻类的影响下，水质很浑浊，透明度下降，水体的色度也增加，并散发出腥臭味，影响环境，使水体丧失在城市生态系统中的重要作用，降低其观赏价值，严重影响人们的生活。

### 3. 富营养化的治理

水体的富营养化在其治理中显得很复杂、难度较大、耗费人力物力较多，究其原因主要有两点：

(1) 导致水体富营养化的营养元素来源复杂，有自然地理本身的来源，也有外界的来源，有内源也有外源。

(2) 营养物去除难，至今无单一的生物、化学和物理措施能彻底去除污水中的氮和磷，通常较高级别的常规二级生化处理法只能去除30%~50%的氮和磷。



治理水体富营养化有如下方法：

### (1) 外源的控制

确定某一水体的主要功能后，制定相应的营养物质（如氮、磷等）的允许排放浓度，限制排入水体的物质种类及数量，重点对水体周围的点源进行控制。严格按照相关的法律法规执行，相关部门应加强对企业的管理，尤其是那些污染严重、经济效益又不高的企业，该关闭的关闭，该整顿的进行整顿，对新建项目必须严格把关。在水环境磷的容量测算的基础上制定总量控制办法：磷排放量的逐年削减和磷排放量的分配。必须执行严格的行政管理措施：就目前普遍使用的洗涤剂而言，除少数几个国家洗涤剂中的磷含量低于2%，一般洗涤剂都含有5%~12%的磷酸盐成分，洗涤排水成为湖泊磷外源的重要部分，因此，需采取严格的行政措施控制洗涤剂中的磷含量，推广使用无磷洗衣粉。合理地规划土地，进行科学的施肥，最大限度地防止水土流失及肥料的流失，对于养殖业中的动物排泄物应统一管理，不要随意堆放，可以进行堆肥、发酵等，避免流失。在水体周围的环境设置监测点，进行科学有效的检测。采用多级的处理工艺处理水中的营养物质。工业污水采用多级处理工艺，普通的二级处理工艺过后，若氮和磷的含量还是偏高，再采用人工湿地工艺、生物处理方法和物化处理等方法进行处理。农业污水较为分散，可采用人工湿地技术、土壤净化槽等技术加以处理。修建防污工程，彻底截断水体中的外源污染，并恢复湖滨地带植物的多样性，使湖滨地带有用地地拦截水体中的污染物，避免污水直接入湖。

### (2) 内源的控制

①生物方法。种植莲藕、芦苇等植物，这些植物能将水体中的氮和磷吸收，使营养元素脱离水体，同时能与藻类共同竞争生态资源，恢复生态平衡，并且具有可观的经济价值。放养以浮游藻类为食的鱼种，间接去除氮和磷，并投放田螺、贝壳等小动物，同时喂养以浮游动物为食的鱼类。

②物理方法。将含营养物质较少的水注入湖泊，稀释其浓度，有利于提高水体的透明度。经常对富含营养物质的底泥进行挖掘，应先调查清楚底泥中营养物质的纵向分布，避免挖掘过程中释放更多的氮和磷。人工进行收藻行动，利用船只直接把藻类从湖中带出水体。

③化学方法。对溶解性营养物如正磷酸盐等采用钝化技术，即往湖中投加化学物质使其生成沉淀而沉降。对富营养化严重的水体施用杀藻剂杀死藻类，并及时打捞被杀死的藻类，避免藻类腐烂对水体造成污染。

## 1.2.3 海水

海水环境状况见表 1-1。

表 1-1 海水环境状况

年份	2010	2011	2012	2013
符合Ⅰ类水海域面积比率 (%)	94	94	94	95
符合Ⅱ类水海域 (km <sup>2</sup> )	—	47840	46910	47160
符合Ⅲ类水海域 (km <sup>2</sup> )	—	34310	30030	36490
符合Ⅳ类水海域 (km <sup>2</sup> )	—	18340	24700	15630
劣于Ⅳ类水海域 (km <sup>2</sup> )	48000	43800	67880	44340



我国海水总体质量较好,且近几年状况稳定;绝大部分海域符合Ⅰ类水质要求,每年均达到94%左右,Ⅱ类、Ⅲ类和Ⅳ类水质近几年较稳定,受污染程度不大,但是劣于Ⅳ类水质面积能占到一定比例,说明海水受到一定程度的污染,而且近几年污染面积有变大的趋势,亟需采取措施进行控制和治理;渤海、黄海、东海海域劣于Ⅳ类水质的面积逐年减小,但南海劣于Ⅳ类水质的面积有增加的趋势。劣于Ⅳ类水质主要分布在辽东湾、渤海湾、莱州湾、长江口、杭州湾、珠江口等近岸海域。

从表1-2数据可以看出,2011年到2014年我国近海海面漂浮垃圾的数量有小程度增加的趋势;其中,海面上大块、特大块和塑料类垃圾的数量逐年增加,塑料类增加的幅度大,只有小块和中块的数量有减少的趋势。我国海洋垃圾主要分布在旅游休闲区、海水渔业区、港口航运区及其邻近海域,旅游休闲区海洋垃圾多为塑料袋、塑料瓶等常见生活垃圾;海水渔业区内塑料类、聚苯乙烯泡沫类等生产垃圾数量较多。

表1-2 海面漂浮垃圾

类型 \ 年份	2011	2012	2013	2014
大块和特大块 (个/km <sup>2</sup> )	22	17	27	30
小块和中块 (个/km <sup>2</sup> )	1662	5482	2819	2206
塑料类 (个/km <sup>2</sup> )	57	74	83	84

由表1-3可知,2011年到2014年我国四大海域重金属污染情况稳中向好,锌是最主要的金属污染物,汞的污染量最小,但汞的危害最大;锌、铅、镉的污染程度有减小的趋势,但是铜、汞、砷和化学需氧量的污染程度有加重的趋势,总污染量逐年小幅度减少;重金属的污染主要分布在长江口、闽江、珠江口、南海等近岸海域。

表1-3 主要河流污染物排海状况

类别 \ 年份	2011	2012	2013	2014
Zn (t)	3485	40417	20743	14620
Cu (t)	1850	3710	3703	4026
Pb (t)	1935	2062	2004	1830
Cr (t)	150	226	138	120
Hg (t)	35	77	40	44
As (t)	3137	3758	2976	3275
总量 (t)	25000	46000	27000	21000
COD <sub>Cr</sub> (万 t)	1582	1385	1382	1453

石油污染是指在开采、炼制、贮运、使用的过程中,原油和各种石油制品进入环境而造成的污染。当前主要是石油对海洋的污染,已成为世界性的严重问题。由表1-4可知,从2011年到2013年我国海水石油含量逐渐增加,这也符合我国海洋石油开采力度逐年增大的情况;相对来说,渤海海域海水石油含量最大,还有逐渐增加的态势且增加的幅度最大,南海石油污染情况次之,每年污染面积都有增加且增加的幅度也很明显,东海和黄海含量最少,也有逐年增加的趋势;石油的污染主要分布在大连近岸、辽东湾、渤海湾、莱州湾、珠