

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水文与水资源工程

# 水环境化学

主 编 南京大学 吴吉春 张景飞  
副主编 南京大学 孙媛媛  
主 审 南京大学 王晓蓉



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水文与水资源工程

# 水环境化学

主 编 南京大学 吴吉春 张景飞  
副主编 南京大学 孙媛媛  
主 审 南京大学 王晓蓉



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书为水利学科教学指导委员会推荐教材。全书分为8章,涵盖了地球上的水资源、天然水的组成与性质、天然水的污染及其主要污染物、天然水中的化学平衡、水环境中的界面过程、水环境中的微生物化学过程、水环境中的光化学过程以及水环境化学的主要研究方法等基本内容,比较全面地介绍了水环境化学的主要理论知识,并突出了其与地学、生物学相结合的多学科交叉特色。

本书可作为高等院校水环境领域相关专业的教材或参考书,也可供从事水环境保护与治理研究的专业人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水环境化学/吴吉春,张景飞主编. —北京:中国水利水电出版社,2009

高等学校水利学科专业规范核心课程教材. 水文与水资源工程

ISBN 978-7-5084-6109-0

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第206566号

书 名	高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水文与水资源工程 <b>水环境化学</b>
作 者	主编 南京大学 吴吉春 张景飞 副主编 南京大学 孙媛媛 主审 南京大学 王晓蓉
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	175mm×245mm 16开本 17印张 392千字
版 次	2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>30.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 高等学校水利学科专业规范核心课程教材

## 编 审 委 员 会

主 任 姜弘道 (河海大学)

副主任 王国仪 (中国水利水电出版社) 谈广鸣 (武汉大学)  
李玉柱 (清华大学) 吴胜兴 (河海大学)

### 委 员

周孝德 (西安理工大学)

李建林 (三峡大学)

刘 超 (扬州大学)

朝伦巴根 (内蒙古农业大学)

任立良 (河海大学)

余锡平 (清华大学)

杨金忠 (武汉大学)

袁 鹏 (四川大学)

梅亚东 (武汉大学)

胡 明 (河海大学)

姜 峰 (大连理工大学)

郑金海 (河海大学)

王元战 (天津大学)

康海贵 (大连理工大学)

张展羽 (河海大学)

黄介生 (武汉大学)

陈建康 (四川大学)

冯 平 (天津大学)

孙明权 (华北水利水电学院)

侍克斌 (新疆农业大学)

陈 楚 (水利部人才资源开发中心)

孙春亮 (中国水利水电出版社)

秘 书 周立新 (河海大学)

丛书总策划 王国仪

# 水文与水资源工程专业教材编审分委员会

主 任 任立良（河海大学）

副主任 袁 鹏（四川大学）

梅亚东（武汉大学）

## 委 员

沈 冰（西安理工大学）

陈元芳（河海大学）

吴吉春（南京大学）

冯 平（天津大学）

刘廷玺（内蒙古农业大学）

纪昌明（华北电力大学）

方红远（扬州大学）

刘俊民（西北农林科技大学）

姜卉芳（新疆农业大学）

金菊良（合肥工业大学）

靳孟贵（中国地质大学）

郭纯青（桂林工学院）

吴泽宁（郑州大学）



# 总 前 言



随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与1999年相比,水利学科专业的办学点增加了将近一倍,每年的招生人数增加了将近两倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程,水利水电工程,港口、航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适用不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各水利学科专业点参照专业规范组织教学,经水利学科教学指导委员会与中国水利水电出版社共同策划,决定组织编写出版“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学组讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把

关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好，我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会，对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划 52 种，其中水文与水资源工程专业 17 种，水利水电工程专业 17 种，农业水利工程专业 18 种，计划在 2009 年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力，付出了许多心血，但是，由于专业规范还在修订完善之中，参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高，加之，在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验，因此，这套教材一定会有各种不足与缺点，恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材，以利于教、便于学，更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会

中国水利水电出版社

2008 年 4 月



# 前 言



水是地球环境中的基本要素和宝贵资源，它通过自然过程在海、陆、空之间不断地循环往复，并更新着自然环境和自然资源。20世纪50年代以来，世界主要发达国家的经济从恢复逐步走向高效发展，人工合成化学品的种类和数量也在迅猛增长，合成工艺产生的大量有毒有害物质随工业废水排放进入了水环境，产生了一系列水环境问题，如水质恶化、水体生境缺损、水体富营养化等，甚至导致了多起严重的突发性事故。当前，世界上继人口问题、粮食问题和能源问题之后，水资源、水灾害、水环境的问题已日益严重，成为制约人类生存和发展的严峻问题。

我国是一个水资源严重短缺的国家，占世界水资源总量的8%，却维持着占世界21.5%人口的生存。随着我国经济的快速发展，我国的水资源危机越来越严重。全国每年污水排放量超过360亿t，80%的污水未经处理直接排入江河湖库，导致江河湖库水质严重恶化，水环境问题变得极为突出。由此，我国在明确将环境保护列入全面建设小康社会总目标后，国家环境保护“十一五”计划正积极推进城市污水处理与资源化，这给水环境化学学科带来了新的挑战 and 机遇。21世纪的水环境化学将任重而道远，无论是从控制水环境污染和抑制生态恶化，还是从改善水环境质量、保护人体健康和促进国民经济的可持续发展方面，水环境化学都将发挥其他学科难以替代的作用，并在与环境科学其他分支学科的相互渗透中得到发展。

作为水文与水资源工程专业的重要基础课，《水环境化学》近年来逐渐在高等院校里被设置为专业主干课程。然而，我国一直缺乏专业性、



系统性的《水环境化学》教材。2006年，水利学科水文与水资源工程专业教学指导分委员会通过会议论证，委托南京大学水科学系承担水文与水资源工程专业规范教材《水环境化学》的编写任务，并于2007年审阅通过了编写组提交的教材编写大纲。

水环境化学是环境化学的分支学科之一，遵循于此，本书围绕化学物质在水环境中的迁移、转化和归宿来进行理论阐述，主要涵盖了天然水的组成与性质、天然水的污染及其主要污染物、天然水中的化学平衡、水环境中的界面过程、水环境中的微生物化学过程、水环境中的光化学过程以及水环境化学的主要研究方法等内容。与此同时，书中注重了与地学、生物学等其他学科的知识交叉，在内容拓展的同时又不失其相互间的有机联系。

在本书编写过程中编者注重对一些理论和原理的阐述，主要体现在天然水中的几大化学平衡及相间作用方面，并引用和吸取了有关专家的成果以及公布的权威资料。为巩固教学效果，每章均配备一些题目供学生思考与练习。

本书由吴吉春编写第1章、第2章、第3章，张景飞编写第4章、第5章、第6章、第7章，孙媛媛编写第8章，全书由吴吉春统一审校完稿。南京大学王晓蓉教授担任本书主审。

本书在编写出版过程中得到了水利学科水文与水资源工程专业教学指导分委员会、中国水利水电出版社、南京大学王晓蓉教授等的支持、关怀和帮助，编者致以衷心的感谢。南京大学水科学系的徐红霞博士、吴海燕博士、曹璐硕士绘制了本书中的大量图表，于此一并致谢！

由于水平所限，不当之处在所难免，恳请读者给予指正。

编 者

2008年6月



# 目 录

## 总前言

## 前言

<b>第 1 章 地球上的水</b> .....	1
1.1 地球上的水资源分布.....	1
1.2 水——生命之源.....	5
1.3 水循环.....	7
1.4 水环境与生态.....	9
习题.....	11
参考文献.....	11
<b>第 2 章 天然水的组成与性质</b> .....	12
2.1 水的分子结构与性质.....	12
2.2 天然水的组成与分类.....	18
2.3 天然水的演化及其特征.....	27
习题.....	41
参考文献.....	41
<b>第 3 章 天然水的污染及其主要污染物</b> .....	42
3.1 天然水的污染.....	42
3.2 天然水中的主要污染物.....	43
3.3 天然水的水质标准.....	60
习题.....	70
参考文献.....	71
<b>第 4 章 天然水中的化学平衡</b> .....	72
4.1 天然水中的气体溶解平衡.....	72
4.2 天然水中的酸碱平衡.....	79

4.3	水环境中的溶解和沉淀作用	89
4.4	水环境中的配合作用	97
4.5	天然水中的氧化还原平衡	110
	习题	124
	参考文献	127
<b>第5章</b>	<b>水环境中的界面过程</b>	<b>128</b>
5.1	水体中的固相物质	128
5.2	固液界面的吸附过程	130
5.3	水—固体体系中的分配作用	143
5.4	挥发作用	147
	习题	151
	参考文献	152
<b>第6章</b>	<b>水环境中的微生物化学过程</b>	<b>153</b>
6.1	天然水体中的微生物生境	153
6.2	天然水环境的微生态特征	154
6.3	有机污染物在水体中的生物降解过程	158
6.4	天然水体中的生物自净过程	178
6.5	水体中金属的微生物转化	180
	习题	187
	参考文献	187
<b>第7章</b>	<b>水环境中的光化学过程</b>	<b>188</b>
7.1	天然水中的光化学过程	188
7.2	天然水中阳离子的光化学反应	196
7.3	天然水中的过氧化氢及其光化学反应	202
7.4	天然水体中溶解性腐殖质的光化学反应	204
7.5	水环境中石油烃的光化学反应	209
	习题	212
	参考文献	212
<b>第8章</b>	<b>水环境化学的主要研究方法</b>	<b>213</b>
8.1	野外调查研究	213
8.2	实验模拟	226
8.3	水质模型	228
8.4	QSAR 模型预测	245
8.5	水环境遥感	249
	习题	252
	参考文献	252
<b>附录</b>		<b>253</b>

# 第 1 章

## 地球上的水

**【概要】** 本章主要介绍地球上的水资源分布及现状，水分在地球上的运动循环过程，水对于地球生命的重要性以及水环境与生态的关系。

### 1.1 地球上的水资源分布

#### 1.1.1 地球上的水分布

地球上大部分面积被水所淹没，水的覆盖率约占 71%（图 1-1）。地球上的总水量高达 13.6 亿  $\text{km}^3$ 。

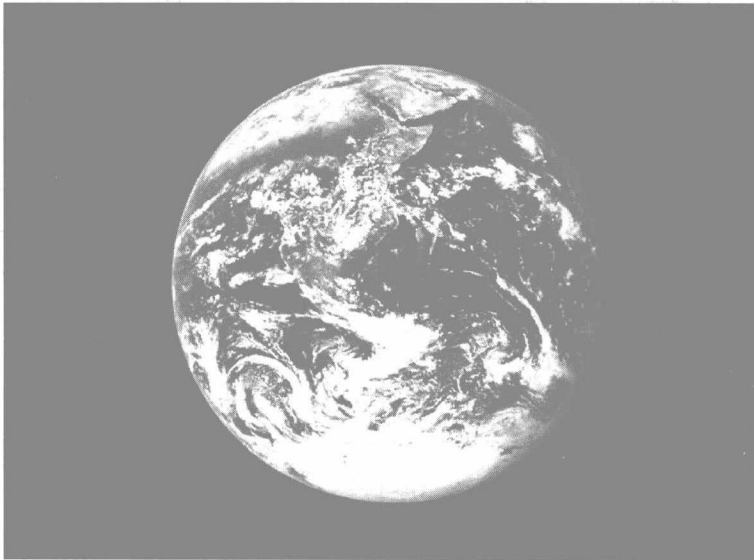


图 1-1 地球——名副其实的大“水球”

地球上的水以气态、液态和固态三种形式存在于空中、地表与地下，成为海洋水、河流水、湖泊水、沼泽水、土壤水、地下水、冰川水、大气水以及存在于动物、植物有机体内的生物水。这些水体，通过水循环组成了一个统一的相互联系的包围地球的水圈。

但是，水在地球上的分布极不均匀。其中海水约占地球总水量的 96%~97%，不能直接为人类所利用。地球上淡水总体积为 3800 万 km<sup>3</sup>，只占地球总水量的 3%。淡水中的 77.2% 又以冰帽和冰川形式存在于极地和高山上，22.4% 为地下水和土壤水，其中约 2/3 的地下水埋藏于地下深处；江河湖泊等地表水的总量为 23 万 km<sup>3</sup>，约占淡水总量的 0.36%。可供人类直接利用的淡水只占全球总水量的 0.26%，且大部分是地下水。实际上，人类可以从江河湖泊取用的淡水仅占地球水量的 0.014%。因而，在这个所谓的水球上，水资源危机却愈演愈烈。

### 1.1.2 我国的水资源现状

#### 1. 水资源总量多、人均少

我国水资源总量约为 28124 亿 m<sup>3</sup>，居世界第 6 位。年平均河川径流量为 27115 亿 m<sup>3</sup>，居世界第 6 位，但人均占有量只有 2200m<sup>3</sup>，居世界第 110 位，见表 1-1。

表 1-1 我国水资源总量统计表

分 区	计算面积 (km <sup>2</sup> )	年降水 总量 (亿 m <sup>3</sup> )	年降水深 (mm)	年河川径流 总量 (亿 m <sup>3</sup> )	年河川径 流深 (mm)	年地下水 总量 (亿 m <sup>3</sup> )	年水资源 总量 (亿 m <sup>3</sup> )
黑龙江流域片 (中国境内)	903418	4476	496	1166	129	431	1352
辽河流域片	345027	1901	551	487	141	194	577
海滦河流域片	318161	1781	560	288	91	265	421
黄河流域片	794712	3691	164	661	83	406	744
淮河流域片	329211	2803	860	741	225	393	961
长江流域片	1808500	19360	1071	9513	526	2464	9613
珠江流域片	58041	8967	1554	4685	807	1115	4708
浙闽台诸河片	2398038	4216	1758	2557	1066	613	2592
西南诸河片	851406	9346	1098	5853	688	1544	5853
内陆诸河片	3321713	5113	154	1064	32	820	1200
额尔齐斯河片	52730	208	395	100	190	43	103
全国	9545322	61889	648	27115	284	8288	28124

#### 2. 地区分布不均、水土资源组合不平衡

长江以南地区耕地面积占全国的 36%，水资源总量占全国的 81%，人均占有量为 4100m<sup>3</sup>，是全国人均占有量的 1.6 倍；而北方地区耕地面积占全国的 58.3%，水资源总量却占全国的 14.4%，人均占有量是全国人均占有量的 19%。

### 3. 年内年际变化大

我国的降水量受季风的影响,降水量、径流量往往集中在一年的3~4个月中,其占全年降水量的60%~80%,使总水量不能被充分利用,易导致旱涝灾害。

### 4. 水土流失严重、部分河流含沙量大

目前,我国的森林覆盖率只有12%,居世界第120位,水土流失严重,面积已达150万 $\text{km}^2$ ,每年被河流带走的泥沙约35亿t,年平均输沙量大于1000万t的河流有115条,其中黄河最多,年输沙量为16亿t。

## 1.1.3 水资源危机

水是人类赖以生存的特殊资源。没有水就没有生命,更谈不上文明和发展,水资源危机已被列为未来若干年内人类面临的最严峻的挑战之一。

由于全球人口每年以9000万的速度爆炸性地增加,加上经济的高速发展和生活水平的不断提高,人类对水的需求量越来越大,水的消耗成倍增长。在20世纪中,水的使用量的增长率是人口增长率的两倍多。20世纪全世界人口增长了3倍,因而,水的消耗量就得增长6~8倍。此外,盲目超量开采地下水,使可利用的淡水资源日益短缺,水危机已经成为干旱和半干旱国家普遍面临的问题。早在1973年召开的联合国水资源会议上,科学界就向全世界发出警告:水资源问题不久将成为深刻的社会危机!确实,假如水资源发生危机了,有什么能替代水吗?没有,到目前为止,没有一种物质能够替代水的作用。如果发生水危机,对人类产生的影响将是非常巨大的。现在全世界1/3的人口生活在高度缺水的地区,专家估计,到2025年对水的需求量还将增加40%以上,世界上将有2/3的人口生活在水资源紧张的环境中,波及的国家和地区主要为非洲和中东地区等,印度、秘鲁、中国等亦受其影响。

我国的水资源总量丰富,居世界第6位,仅次于巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚。但由于人口众多,人均占有水资源量仅为世界人均值的1/4,仅相当于美国的1/5,加拿大的1/48,是人均水资源贫乏的国家之一。扣除难以利用的洪水径流和散布在偏远地区的地下水资源,现实可用的淡水资源量更少。而且我国水资源的分布呈现东多西少、南多北少、夏多冬少的不均衡特征,使得本就稀少的水资源显得更加短缺。相反,我国年均用水量则位居世界前列,超过5000亿 $\text{m}^3$ ,因此,水危机已成为我国可持续发展以及和谐社会构建的一个重要瓶颈。现在,全国约有400座城市存在不同程度的缺水问题,100余座城市严重缺水。在百万人口以上的特大城市中,有30个长期受缺水困扰。全国每年因缺水造成的直接经济损失达2000亿元,粮食减产700亿~800亿kg。旱灾比较严重的地区有松辽平原、黄淮海平原、黄土高原、四川盆地东部和北部、云贵高原至广东湛江一带,其中尤以黄淮海平原地区旱灾最严重。

由于科学技术落后,水的利用效率很低,浪费十分严重。农业是我国水资源的最大用户,年均用水量达4000亿 $\text{m}^3$ ,约占全国总用水量5000亿 $\text{m}^3$ 的80%。由于灌溉技术十分落后,农民大多采用大水漫灌,水的有效利用率仅为30%~50%。中国与美国粮食产量大致接近,但美国农业用水量不到中国的50%。北京市与以色列面积相当,水资源总量和农业用水量均高出以色列2倍以上,可农业总产值却低于以色列,农业万元产值的用水量,比以色列高2.76倍,可见差距之大。如果我国把农业

用水的利用率提高 25%，就能节水 1000 亿  $\text{m}^3$ ，这并非不能办到。

在城市和工业用水方面，如工业冷却用水的重复率，先进国家已达到 90% 以上，我国除部分先进城市外，尚处于 50%~60% 的低水平。如果 21 世纪我国水资源的开发利用仍然停留在这样的落后状态，那么水危机将很难避免。

近年来，地下水的过量开采加剧了我国水资源的紧缺。由于地下水具有水质好、温差小、提取容易、费用低等特点，加上用水量增加等原因，人们常会超量抽取地下水，以致抽取的水量远远大于它的自然补给量，造成地下含水层衰竭、地面沉降以及海水入侵、地下水污染等严重后果。如我国苏州市区近 30 年内最大沉降量超过了 1m，上海、天津等城市也都发生了地面沉降问题。有些地方还造成了建筑物的严重损毁问题。地下水过量开采往往形成恶性循环，过度开采破坏地下含水层，使含水层供水能力下降，人们为了满足需要还要进一步加大开采量，从而使开采量与可供开采量之间的差距进一步加大，最终引起严重的生态退化和缺水危机，如美国德克萨斯州西部一些地区因抽水过量造成含水层衰竭，成为经常遭受干旱和沙尘暴袭击的地区。

缺乏合理规划与科学管理，是造成水危机的另一重要因素，黄河断流就是最突出的实例。我国第二大河——黄河，几千年来从未像当今这样频繁断流。黄河首次断流是在 1972 年，断流时间只有十几天。进入 20 世纪 90 年代以来，黄河的断流现象越来越严重，断流时间越来越长。1995 年，黄河断流 153d，断流的河段达 700km；1996 年黄河断流 136d；1997 年黄河断流现象最为严重，从 2 月 7 日开始断流，到年底一共断流 13 次，累计断流 226d。这条中国的母亲河，在 1997 年有 2/3 的时间处于无水状态。而且 1997 年首次出现了跨年度断流，也就是从 1997 年底断流到 1998 年。这一无情的事实宣告：黄河已经成为一条季节性的河流！黄河断流给黄河下游地区的工农业生产带来了巨大的损失。如黄河下游的胜利油田，由于黄河断流造成的缺水，1996 年原油减产 260 多万 t，经济损失高达 30 多亿元。

人口（尤其是城市人口）增长过快，同样对水资源造成威胁。为了实现我国经济的可持续发展，必须协调好水资源与人口、环境之间的关系，合理控制人口、严格防止污染；强化水资源的科学管理，以节水为本，把农业节水放在首位，依靠科技进步，大力提高水的利用率，避免水危机的发生。

#### 1.1.4 水体污染使水资源更加短缺

全世界每年有 4000 多亿 t 废水流入水体，每分钟有 8.5 万 t 废水流入江、河、湖、海。到目前为止，全球测出的有机化学污染物共有 2000 多种，有 700 多种存在于水中，其中一些污染物已确认为致癌、助癌或致突变物。

水环境污染，使中国许多本来就缺水的北方城市雪上加霜，加剧了淡水危机；许多本来不缺水的南方城市，也不得不远距离引水。目前，我国每年排放的工业废水和生活污水在 400 亿 t 以上，全国各地的江河湖泊普遍遭到污染。尤其是流经城市的河流，80% 以上受到不同程度的污染。

京杭大运河是我国引以为豪的最长的运河。20 世纪 50 年代，河边的居民还常在河边淘米洗菜，而现在仅仅过了 50 年，两岸大大小小的工厂排放的污水就已经使运河面目全非了，许多河段都散发出臭气。云贵高原上的滇池，原本是我国著名的风景旅游区，由于污染过重，其水产养殖及工农业用水功能严重丧失，滇池特产银

鱼产量下降了 90%，其他一些鱼类也都绝迹或大幅度减产了，自来水公司耗费巨资将取水口由滇池移往上游。

再如淮河，作为我国七大水系之一，淮河流域曾经非常富饶，现在却成了一条藏污纳垢的毒龙。据 2004 年的监测表明，淮河干流的水质大多数时间都处于重污染状态。淮河流域的 191 条支流，一半以上已经变黑发臭。近年来淮河流域不断发生重大的污染事故。每次上游水库开闸放水，将工业、农业及生活污水向下游倾泻，就会给沿岸工农业生产造成严重危害。每次重大污染，均造成沿河鱼类大量死亡，工厂停产。

2007 年中国水资源公报显示，对约 14 万 km 河流水质进行监测评价，Ⅰ类水河长占 4.1%，Ⅱ类水河长占 28.2%，Ⅲ类水河长占 27.2%，Ⅳ类水河长占 13.5%，Ⅴ类水河长占 5.3%，劣Ⅴ类水河长占 21.7%。更让人担忧的是，我国部分城市的饮用水安全受到威胁，在 46 个重点城市中，近半数城市水质较差，而农村约四成居民没有条件饮用卫生合格的水。

在我国，“三废”污染是破坏水环境、造成水资源紧张的主要原因之一。中国科学院发布的一份国情研究报告中指出，我国约有 1/3 的工业废水和 90% 的生活污水未经处理就排入水体，七大江河的 15 个流经主要城市的河段，有 13 个受到污染，全国内陆河流符合《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）Ⅰ类、Ⅱ类的河段仅占 25%，48% 属于Ⅳ类、Ⅴ类水质。地下水和近海海水也受到不同程度的污染。

总之，我国水资源开采过量，浪费惊人，工业污染严重则进一步加剧了水资源危机。全国 600 多个城市有 400 多个水资源短缺，为解决缺水问题，国家及当地政府需投入巨额资金。水环境污染状况如果得不到改善，长此以往，我国将面临更严峻的缺水形势。

## 1.2 水——生命之源

研究表明，最初的生命是在水中诞生的。亿万年前，在极其偶然的的情况下，一些物质在水中以一种特定的形式碰巧结合在一起，于是，地球上第一个单细胞生命诞生了。它也许就是今天我们地球上所有生命的祖先。

### 1.2.1 水的起源

打开世界地图，呈现在我们面前的大部分面积是鲜艳的蓝色。从太空中看地球，我们居住的地球是一个极为秀丽的蔚蓝色球体。水是地球表面数量最多的天然物质，它覆盖了地球 70% 以上的表面。地球是一个名副其实的大水球。

地球刚刚诞生时，没有河流，也没有海洋，更没有生命，它的表面是干燥的，大气层中也很少有水分。那么如今浩瀚的大海，奔腾不息的河流，烟波浩淼的湖泊，奇形怪状的万年冰雪，还有那地下涌动的清泉和天上的雨雪云雾，这些水是从哪儿来的呢？地球上本来就有水吗？

关于水的起源的认识仍存在很大分歧，目前大约有 32 种关于水的形成的学说。这里简述几种主要学说。

一种学说认为在地球形成之前的初始物质中存在一种  $H_2O$  分子的原始星云，类似于现在平均含水 0.5% 的陨石，地球形成后降落到地球上，从而使地球上有了水。



另一种学说认为在地球形成后才形成水的原始元素（氢和氧）。氢与氧在适宜的条件下化合，生成羟基（OH）。羟基再经过复杂的变化，形成水（H<sub>2</sub>O）。

荷兰的天文学家奥特认为，地球上水的主要来源是我们这颗行星内部岩石圈的上地幔。岩石圈的物质一半是由硅组成，主要是硅酸盐和水分。这些岩石在一定的温度和适宜的条件下（如火山爆发）脱水，从而形成了地球水。美国学者肯尼迪等认为岩石在熔化中完全混合时，含有硅酸盐 75%，含水 25%。在地球形成初期，火山爆发频繁，从而加快了地球水的形成。由于地球内部的高温，地球上的水还在增加。有资料表明，海平面近 1000 年内上升了 1.3m。不过近几十年来海平面快速升高的原因可能以全球气候变暖为主。

原来地球是由太阳星云分化出来的星际物质聚合而成的，它的基本组成有氢气和氮气以及一些尘埃。固体尘埃聚集结合形成地球的内核，外面围绕着大量气体。地球刚形成时，结构松散，质量不大，引力也小，温度很低。后来，由于地球不断收缩，内核放射性物质产生能量，致使地球温度不断升高，有些物质慢慢变暖熔化，较重的物质，如铁、镍等聚集在中心部位形成地核，最轻的物质浮于地表。随着地球表面温度逐渐降低，地表开始形成坚硬的地壳。但因地球内部温度很高，岩浆活动就非常激烈，火山爆发十分频繁，地壳也不断发生变化，有些地方隆起形成山峰，有的地方下陷形成低地与山谷，同时喷发出大量的气体。由于地球体积不断缩小，引力也随之增加，此时，这些气体已无法摆脱地球的引力，从而围绕着地球，构成了“原始地球大气”。原始大气由多种成分组成，水蒸气便是其中之一。

水蒸气又是从哪儿来的呢？组成原始地球的固体尘埃，实际上就是衰老了的星球爆炸而成的大量碎片，这些碎片多是无机盐之类的东西，在它们内部蕴藏着许多水分子，即所谓的结晶水合物。结晶水合物里面的结晶水在地球内部高温作用下离析出来就变成了水蒸气。喷到空中的水蒸气达到饱和时便冷却成云，变成雨，落到地面上，聚集在低洼处，逐渐积累成湖泊和河流，最后汇集到地表最低区域形成海洋。

地球上的水在形成初期，不论湖泊或海洋，其水量都不是很多，随着地球内部产生的水蒸气不断被送入大气层，地表水量也不断增加，经历几十亿年的地球演变过程，最后终于形成我们现在看到的江河湖海。

### 1.2.2 水是生命之源

生命起源是亘古未解之谜，关于生命起源林林总总的假说，其中较为主流的是“海洋起源说”、“化学起源说”等。无论是何种起源，水在生命起源中都起着至关重要的作用。水是万物之源、生命之源。现在地球上我们所理解的生命形式离不开水，所以寻找液态水也是非常重要的一个指标，有水就可能有生命，因此美国和俄国的航天科学家们孜孜不倦地力图在火星上寻找水的痕迹。

水无色无味，且具有良好的渗透力，是一种很好的媒介及载体。水是吸收、储存和传导自然界的能量与共生讯息（Bio-Resonant Information）给生物体的最重要的媒介物质，是生物体内一切物质交换的媒介。可以说，水是地球上一切生命的基础。

以人为例，人们咀嚼食物要唾液，消化食物要胃液、肠液、胆汁等，这些消化液绝大部分都是由水组成的。人体在整个新陈代谢过程中，所产生的有毒物质和废物需要排出体外，如大便、小便、出汗、打喷嚏、呼吸等，都需要有水才能进行。人体如