



世纪高等教育给水排水工程系列规划教材

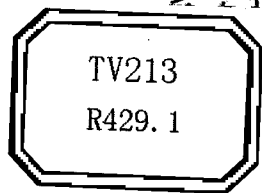
SHUI ZI YUAN LI YONG YU BAO HU

# 水资源利用 与保护

任伯帆 熊正为 主编  
龙腾锐 主审



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



8

21 世纪高等教育给水排水工程系列规划教材

# 水资源利用与保护

主 编 任伯帜 熊正为  
参 编 毛艳丽 吴方同 唐万春 肖晓存  
主 审 龙腾锐



机械工业出版社

本教材着重阐述基本概念、基本理论,注重理论性与实用性的统一,内容完整,叙述清楚透彻,通俗易懂;较为全面、系统地介绍了水的自然和社会循环过程中,水资源开发利用与保护的工程技术原理与方法。主要内容包括水的储存、循环与水量平衡,水资源的形成和开发利用状况,水资源量的计算与评价,水资源水质评价,水资源供需平衡,地表水取水工程,地下水取水工程,节水理论与技术,水资源保护等。

本教材为普通高等教育给水排水工程专业的教学用书,也可供环境工程等相关专业师生以及业内工程技术与管理参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水资源利用与保护/任伯帜,熊正为主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 1

(21世纪高等教育给水排水工程系列规划教材)

ISBN 978-7-111-20708-5

I. 水... II. ①任... ②熊... III. ①水资料-资源利用-高等学校-教材 ②水资源-资源保护-高等学校-教材 IV. TV213

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第001968号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘涛 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:王伟光 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2007年2月第1版第1次印刷

169mm×239mm·11.5印张·325千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-20708-5

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379720

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

水是生命的源泉,是重要的自然资源和环境要素。水资源在社会、经济、生存环境中占有十分重要的地位,它是促进城市经济可持续发展,确保人民安居乐业,建设社会物质文明和精神文明的重要条件,是社会赖以存在和发展的物质基础。

长期以来,水资源的不合理开发、利用所造成的严重的水资源短缺和区域性的生态、环境灾害受到了国际水资源与环境领域的广泛关注。现代水资源开发利用已从传统的仅对水资源量的评价与无序开发转变为更加重视水资源量与质的综合评价、合理开发与利用;更加注重节水技术的开发与应用;更加关注水资源的天然循环与人为循环之间的协调;更加强调污水再生回用技术和污染水源的水质修复技术的应用与推广,实现水资源的有效保护。强调水资源合理开发与利用,加强水资源的管理和保护已成为当今人类为维持社会进步、经济可持续发展所必须采取的重要手段和保证措施。因此,结合我国国情,编写充分反映现代水资源理论与技术发展,适应现代水资源利用与保护的发展趋势,全面、系统地讨论水资源开发利用的基本原理、方法和原则的教材具有重要意义。

本教材是在调研国内外有关水资源开发、利用与管理著作和教材的基础上编写的。本教材全面介绍了水资源的形成和开发利用、水资源量的计算与评价、水资源水质评价、水资源供需平衡分析理论、地表水及地下水取水工程、节水理论与再生水回用,以及水资源保护的概念与现代理论和方法。作者在编写过程中,着重阐明基本概念、基本理论,注重理论性与实用性的统一,内容完整,叙述清楚透彻,能使学生较为全面、系统地获得水资源利用与保护的相关知识。

本教材由湖南科技大学任伯帜、南华大学熊正为主编,重庆大学龙腾锐教授主审,长沙理工大学吴方同、唐万春和平顶山工学院毛艳丽、

肖晓存参加编写。其中,第1、6章由任伯帜、熊正为编写,第2、7章由吴方同编写,第3、4章由肖晓存编写,第5、8章由毛艳丽编写,第9章由唐万春编写。

在编写本教材过程中,有关院校的领导、专家和教授给予了极大支持和帮助,重庆大学龙腾锐教授审阅了本书,并对主要章节的内容提出了许多宝贵意见和建议,在此一并致以诚挚的谢意。教材中引用了许多相关文献及资料,在参考文献中可能因疏漏未能全部列出,对此表示深深的歉意。

由于教材涉及众多学科,内容十分广泛,且限于编者水平,本教材中的错误与欠妥之处在所难免,敬请专家、读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 水资源的涵义及特性 .....	1
1.2 水资源状况 .....	4
1.3 水资源利用与保护的任务和内容 .....	17
复习思考题 .....	18
<b>第 2 章 水循环及水资源形成</b> .....	19
2.1 水的储存、循环与水量平衡 .....	19
2.2 水资源的形成 .....	24
复习思考题 .....	47
<b>第 3 章 水资源量的计算与评价</b> .....	48
3.1 水资源量的计算 .....	48
3.2 水资源量的评价 .....	62
3.3 区域水资源评价实例 .....	99
复习思考题 .....	103
<b>第 4 章 水资源水质评价</b> .....	104
4.1 水质评价的定义、步骤及方法 .....	104
4.2 水质评价的指标 .....	109
4.3 依水环境本底值的天然标准评价水质 .....	110
4.4 地表水及地下水水质标准与评价 .....	111
4.5 生活饮用水和水源水质标准与评价 .....	117
4.6 工业和农业用水水质标准与评价 .....	128
复习思考题 .....	141
<b>第 5 章 水资源供需平衡</b> .....	142
5.1 水资源供需平衡分析的目的和意义 .....	142
5.2 水资源供需平衡分析的原则 .....	142
5.3 水资源供需平衡分析方法 .....	146
复习思考题 .....	166
<b>第 6 章 地表水取水工程</b> .....	167
6.1 地表水取水工程概述 .....	167
6.2 固定式取水构筑物 .....	176

6.3 移动式取水构筑物 .....	195
6.4 其他地表水取水构筑物 .....	202
复习思考题 .....	210
<b>第7章 地下水取水工程</b> .....	<b>211</b>
7.1 地下水取水工程概述 .....	211
7.2 管井 .....	214
7.3 大口井 .....	237
7.4 复合井和辐射井 .....	241
7.5 渗渠 .....	247
复习思考题 .....	253
<b>第8章 节水理论与再生水回用</b> .....	<b>254</b>
8.1 节约用水的内涵和潜力分析 .....	254
8.2 城市节水 .....	257
8.3 工业节水 .....	270
8.4 再生水回用 .....	277
8.5 海咸水的利用 .....	298
复习思考题 .....	308
<b>第9章 水资源保护</b> .....	<b>310</b>
9.1 水资源保护的概念、任务和内容 .....	310
9.2 水体的污染和污水排放 .....	312
9.3 水环境质量监测和评价 .....	327
9.4 水资源保护措施 .....	340
复习思考题 .....	359
<b>参考文献</b> .....	<b>360</b>



# 第 1 章

## 绪 论

水资源是人类不可缺少且无法替代的重要自然资源和环境资源，是维持社会进步、国民经济可持续发展的关键所在。尽管水资源能够循环、恢复，但就某地、某时而言，能供人类使用的水量是有限的。当今世界，水资源不足和污染构成的水源危机已成为任何一个国家在政策、经济和技术上所面临的复杂问题和社会经济发展的主要制约因素。因此，合理有效地利用水资源，充分发挥其最大的经济和社会效益是当务之急。

### 1.1 水资源的涵义及特性

#### 1.1.1 水资源的涵义与分类

##### 1. 水资源的涵义

水资源一词很久以前就已经出现了，并随着时代的进步不断地丰富和发展。综合国内外文献水资源有以下几种定义：

在《大不列颠大百科全书》中，将水资源解释为全部自然界任何形态的水，包括气态水、液态水和固态水的总量。1963年英国通过《水资源法》，把水资源定义为“（地球上）具有足够数量的可用水”。

联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）共同制定的《水资源评价活动——国家评价手册》中，将水资源定义为：“可以利用或有可能被利用的水源，具有足够数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用”。有“量”无“质”，或有“质”无“量”均不能称之为水资源。

《中国农业百科全书》中，将水资源称为“可恢复和更新的淡水量”。

目前，能被世界上多数科学家及学者所接受的普遍提法是：水资源为可以逐年恢复，且较容易被人类利用的地表、地下的淡水水源。

1988年8月1日施行的《中华人民共和国水法》第二条规定：“水资源是指



地表水和地下水”。《环境科学词典》(1994)定义水资源为“特定时空下可利用的水,是可再利用资源,不论其质与量,水的可利用性是有限制条件的”。

《中国大百科全书》在不同的卷册中对水资源也给予了不同的解释。如在大气科学、海洋科学、水文科学卷中,水资源被定义为“地球表层可供人类利用的水,包括水量(水质)、水域和水能资源,一般指每年可更新的水量资源”;在水利卷中,水资源被定义为“自然界各种形态(气态、固态或液态)的天然水,并将可供人类利用的水资源作为供评价的水资源”。

引起对水资源的概念及其内涵有不尽一致的认识与理解的主要原因是:①不同部门、不同行业对水资源的理解有差异,甚至相反;②水的表现形式多种多样,如地表水、地下水、降水、土壤水等,且可以相互转化;③水的物理、化学性质具有较强的地域性,它至少包含水量和水质两方面,这两方面在自然因素或社会因素影响下是可变的;④水资源的开发利用,受自然因素、社会因素、经济因素、环境因素等多种因素的影响和限制;⑤水资源系统是一个复杂的耦合系统,它涉及到众多的学科,如数学、物理学、化学、生物学、地学、气象学、水文学、地质学等,并且与人类社会发展和生存环境相结合。正因为如此,人们从不同的侧面认识水资源,造成对水资源一词理解的不一致性及认识的差异性。

但是,应当指出水资源的涵义是与人类社会的发展水平紧密相联的,随着时间的推移,人类社会对天然水的需求越大,获得天然水的技术也会越高,水资源的范畴也将越广泛,水资源的涵义逐渐体现出以下三个显著的特征:

1) 将经济、技术因素隐含在水资源中,强调水资源相对动态的经济属性和社会属性。一些暂时无法利用的水,如南极的冰山,尽管暂时对国民经济没有影响,但当经济技术发展到一定阶段可以开发利用时,它就是水资源。

2) 将失去使用价值的污水划归到水资源行列中。在以往的水资源概念中,污水没有相应的地位,很少论及。世界各国每年向环境排放大量的污水,它们对国民经济和社会发展产生了巨大影响。

3) 强调水资源是环境资源,因为水资源的开发利用必须限制在环境可承受的范围之内,在研究水资源时,立足于水量、水质兼顾,避免两者的分离出现偏差的同时,必须考虑水资源环境的制约因素,否则,在理论上是不完善的,在实践上是要付出代价的。

综上所述,本书提到的水资源包含水量与水质两个方面,它是人类生产、生活及生命生存不可替代的自然资源和环境资源,是在一定的经济技术条件下能够为社会直接利用或待利用,参与自然界水分循环,影响国民经济的淡水。

## 2. 水资源的分类

为了适应用水部门以及社会经济各方面的需要,常常将水资源进行分类。

水资源的分类有以下几种:

(1) 地表水资源与地下水资源 在水资源总量的计算中往往按形成条件分为地表和地下水资源,它们共同接受大气降水的补给并相互转化和影响。

(2) 天然水资源和调节水资源 在水资源的供需分析中往往按工程措施分为天然水资源和调节水资源,后者是指天然水资源中通过工程措施被控制利用的部分。

(3) 消耗性和非消耗性水资源 按用水部门的用水情况,将水资源分为消耗性和非消耗性水资源。如航运、发电用水,并不消耗水资源,是非消耗性水资源。灌溉、给水都消耗水量,是消耗性水资源。

### 1.1.2 水资源特性

水资源的基本特性表现为:一是水资源本身的水文和气象本质,既有一定的因果性、周期性,也有一定的随机性;二是水资源本身的两重性,既能给人类带来灾难,又可为人类所利用。具体叙述如下:

(1) 水资源的循环性 水资源与其他固体资源的本质区别在于其具有流动性,它是在循环中形成的一种动态的可恢复资源。水循环系统是一个庞大的天然水资源动态循环系统,水资源在开采利用后,能够得到大气降水的补给,处在不断地开采、补给和消耗、恢复的循环之中,如合理利用,可不断供给人类利用和满足生态平衡需要。

(2) 储量的有限性 在一定时间、空间范围内,大气降水对水资源的补给量是有限的,这就决定了区域水资源的有限性。从水量动态平衡的观点来看,某一期间的水量消耗量应接近于该期间的水量补给量,否则将破坏水平衡,造成一系列不良的环境问题。可见水循环过程是无限的,水资源量是有限的,并非取之不尽、用之不竭。

(3) 时空分布的不均匀性 水资源时间变化不均匀,主要表现在水资源在年际和年内变化幅度大。在年际之间,丰、枯水年水资源量相差悬殊。丰年内,汛期水量集中,有多余用水;枯水期水量减少,满足不了需水要求。水资源空间变化的不均匀性,表现为地区分布的不均匀性。这是水资源的主要补给源——大气降水和融雪水的地带性引起的。例如我国水资源总的来讲,东南多,西北少;沿海多,内陆少;山区多,平原少。

(4) 用途的广泛性 水资源是人类生活和生产中广泛利用的资源,不仅应用于农业、工业和生活,还用于发电、水运、水产、旅游和环境改造等各个方面。

(5) 不可替代性 水是一切生命的命脉。如成人体内的含水量占体重的66%,哺乳动物含水量为60%~68%,植物含水量为75%~90%。由此可见,

水资源在维持人类生存和生态环境方面的作用是任何其他资源所不能代替的。

(6) 利、害两重性 水量过多容易造成洪水泛滥，形成内涝；水量过少容易形成干旱等自然灾害。由于水资源具有双重性，因此在水资源的开采过程中，尤其应强调合理利用、有序开采，以达到兴利除害的目的。

(7) 水量的相互转化性 水量的转化包括液态、固态水的汽化，水汽凝结降水的反复过程；地表水、土壤水、地下水的相互转化；各种自成体系但边界为非封闭的水体在重力、分子力的作用下，发生的渗流、越流，使这些水体之间相互转化。

## 1.2 水资源状况

### 1.2.1 全球水资源状况

#### 1. 全球水资源分布

地球上的水尽管数量巨大，但能直接被人们生产和生活利用的，却少得可怜。首先，海水又咸又苦，不能饮用，不能浇地，也难以用于工业。其次，地球的淡水资源仅占总水量的2.5%，而在这极少的淡水资源中，又有70%以上被冻结在南极和北极的冰盖中，加上难以利用的高山冰川和永冻积雪，有87%的淡水资源难以利用。人类真正能够利用的淡水资源是江河湖泊和地下水中的一部分，约占地球总水量的0.26%。全球淡水资源不仅短缺而且地区分布极不平衡，世界各大洲淡水资源分布见表1-1。

表 1-1 世界各大洲淡水资源分布

名称	面积 ( $10^4 \text{ km}^2$ )	年降水量		年径流量		径流系数	径流模数 [ $\text{L}/(\text{S} \cdot \text{km}^2)$ ]
		mm	$\text{km}^3$	mm	$\text{km}^3$		
欧洲	1050	789	8290	306	3210	0.39	9.7
亚洲	4347.5	742	32240	332	14410	0.45	10.5
非洲	3012	742	22350	151	4750	0.2	4.8
北美洲	2420	756	18300	339	8200	0.45	10.7
南美洲	1780	1600	28400	660	11760	0.41	21.0
大洋洲 <sup>①</sup>	133.5	2700	36100	1560	2090	0.58	51.0
澳大利亚	761.5	456	3470	40	300	0.09	1.3
南极洲	1398	165	2310	165	2310	1.0	5.2
全部陆地	14900	800	119000	315	46800	0.39	10.0

① 不包括澳大利亚，但包括塔斯马尼亚岛、新西兰岛和伊里安岛等岛屿。

(1) 非洲地区 包括北非、西非、中非、东非、南非和印度洋岛屿等。非



洲是目前世界上面临严重缺水的两个地区之一。非洲的江河湖泊中有丰富的淡水资源，然而由于水资源分布极不平衡，在非洲国家，国与国之间存在着水资源获取和使用的巨大差异。目前，非洲已有 14 个国家面临供水不足或缺水，非洲北部国家前景最不容乐观。到 2025 年，将有 25 个非洲国家面临用水压力和缺水。2025 年供水量人均不足  $1000\text{m}^3$ ，非洲将有高达 16% 的人口（2.3 亿人）生活在缺水的国家，32% 的人口（4.6 亿人）生活在供水紧张的国家。

水资源日益匮乏而需求却不断加大，使人们对水的供应更加忧虑，尤其在水资源有两个或更多国家共同分享的地方。非洲大约有 50 条河流是由两个或两个以上国家共有的。从这些共有的河流中取水将会引起冲突。

(2) 亚洲和太平洋地区 包括南亚、东南亚、大湄公河区域、西北太平洋和东亚、澳大利亚和太平洋等。在过去的 100 年中，亚洲从河流、湖泊、水库的地下含水层和其他水源汲取的淡水量的增加比世界上其他地区都多，其中农业灌溉占汲取水量的主要部分。在某些工业化程度高的国家，农业占汲取水量的 50% 左右。在所有南亚国家，除不丹外，农业占汲取水量的比例增长到 90% 以上，阿富汗达到 99%。

该地区用水量平均每年约  $4200\text{m}^3$ /人，而世界平均每年  $7000\text{m}^3$ /人，水的获取量差别很大。仅在东南亚，年人均可再生水资源从新加坡的约  $172\text{m}^3$  到马来西亚的  $2.1$  万  $\text{m}^3$  不等。印度、伊朗、韩国、巴基斯坦和泰国的供水量相当低，每年在  $1400 \sim 1900\text{m}^3$ /人之间。不丹和老挝人均约  $5$  万  $\text{m}^3$ ，而巴布亚新几内亚则每年人均高达  $17.4$  万  $\text{m}^3$ 。

该地区水资源的压力日益增大。一些干旱国家，如阿富汗和伊朗长期存在着严重缺水、水质恶化和用水部门间水分配冲突等问题。水资源使用不当和过度开发对水循环造成较大破坏，如为修建水电站以及满足民用和工业需要而进行的水开发项目，在重要的流域砍伐森林等，已造成河流水位下降并使湿地枯竭。此外，水资源管理不善和增加灌溉所使用的地下水储藏量比其补给量要大，使含水层逐渐枯竭并使地下水位不断下降。城镇生活污水、工业废水和农业径流以及盐碱入侵等因素结合，使水质逐渐恶化。亚洲至少有 1/3 的人得不到安全的饮用水，至少 1/2 的人没有卫生设施。

21 世纪整个地区水的需求量将增加，到 2025 年，预计印度将面临水的压力，人均水供应量将减少到约  $800\text{m}^3$ ；2025 年前，中国将跨入供水紧张的行列；东南亚仍然有足够的水供应，能满足今后 10 年的需求量。

(3) 欧洲和中亚地区 包括西欧、中欧、东欧、中亚等。东欧的可再生淡水资源人均拥有最大，中欧的最小。地区平均数略高于世界平均数。虽然欧洲的大多数人口和中亚的一些人口享有足够的淡水供应，但水资源的分布不均。北欧和俄罗斯联邦遥远的亚洲地区供水最为丰富；地中海地区，以人均计算供

水相对不足，这里的农业和不断增长的旅游业与工业争夺用水；在中亚的旱地，因灌溉系统设计不当，在天然水源充足的地区造成供水问题。

欧洲和北美洲是全球工业用水（欧洲平均 55%）多于农业用水（31%）或生活用水（14%）的仅有的两个地区。然而，农业用水在大多数地中海国家和中亚是主要用水，地中海国家农业用水（平均占近 60%），中亚农业用水占 90% 以上。

在整个欧洲和中亚，对洁净水的需求预计还会增加。随着越来越严格的法律和规章的实施，欧洲联盟的水质将逐渐改善。在中欧，经济增长的恢复也会加重水污染。东欧的形势取决于经济增长和工业发展。由于工业企业不强调预防措施，政府实施减少污染战略的措施不力，随着经济复苏，水污染问题也会持续恶化。中亚未来的主要问题是解决上游和下游使用者之间的分配权和价格问题。

(4) 拉丁美洲和加勒比海地区 包括加勒比、中美洲、南美等。拉美地区的水资源极为丰富。然而，该地区 2/3 的领土被定为干旱或半干旱地区，包括墨西哥中北部、巴西东北部、阿根廷、智利、玻利维亚和秘鲁的大部分地区。

(5) 北美洲地区 包括加拿大、美国、墨西哥等。北美洲地区淡水资源非常丰富，但分布不均。地表和地下水源每年向美国和加拿大提供  $5308\text{km}^3$  的可再生水和原生水，占世界总量的 13%。按人均拥有量计算，加拿大的水资源是美国的 10 倍。然而在北美的许多地区都存在着缺水现象，包括加拿大大草原省份的某些地方和美国的西南部。加拿大和美国仍然属于世界上耗水量最大的国家。北美地区年人均取水量约为  $1800\text{m}^3$ ，而世界平均用水量约为  $700\text{m}^3$ 。

北美最大的用水部门是农业和能源业。美国的农业用水量远远高于加拿大，两国的能源生产用水量都很高。在美国，这两个行业各占总用水量的约 40%，在加拿大能源业用水量为 58%，农业用水量为 7%。近年来，这些行业的用水量有所减少，但城市用水却在增加。

(6) 西亚地区 包括阿拉伯半岛、马什里克。西亚每年的可再生水资源为  $1137.59\text{亿 m}^3$ ，虽然整个地区的年人均可再生水量相对较高，但分布不均，阿拉伯半岛的可再生水资源非常少，1995 年人均仅为  $381\text{m}^3$ ，大大低于年人均  $1000\text{m}^3$  的用以表示匮乏程度的基准；马什里克的可再生水资源非常充足，年人均  $2181\text{m}^3$ ；从约旦的  $191\text{m}^3$  到伊拉克的  $3089\text{m}^3$ ；西亚 90% 以上的水资源用于农业生产，7% 作为生活用水，1% 用于工业。

整个西亚地区的地下水资源处于十分危急的状况，尤以阿拉伯半岛最严重，原因是汲取量大大超过自然补给速度，地下水的抽取量远远大于  $170\text{亿 m}^3$  的再生量，其结果是造成浅层含水层水位持续下降。地下水的水质也由于过度抽取受到影响，并导致了海水入侵海岸地带，造成沿海农田的盐碱化。为了加速水

资源的补给速度,减少开采量,人们在许多方面做出了巨大努力:利用非常规水资源(如脱盐水和废水再循环)、改善灌溉节水技术、降低水补贴、新的立法和开展宣传活动等。利用经过处理的废水,预计将会在一定程度上减缓一些国家地下水资源的压力。尽管污水的再循环利用率并不高,但许多国家已经把扩大利用再循环废水的计划作为满足进一步需求的一项战略选择。

西亚地区水资源的发展速度远不能满足人口增长对水资源的需求,导致人均供应量下降。在这一地区的11个国家中,8个国家的人均用水量低于每年 $1000\text{m}^3$ ,其中4个国家(约旦、科威特、黎巴嫩和也门)用水量不足 $500\text{m}^3$ ;只有伊拉克和叙利亚两国可以持续保持在 $1000\text{m}^3$ 这一基准点上;另外两个国家,沙特阿拉伯和阿联酋通过开发地下水储量来维持这一基本供应量。利用太阳能、核能进行海水淡化和发电的研究,加上农业研究和节水灌溉用水技术的发展可能有助于缓解这些问题的影响。

(7) 极地地区 包括北极和南极。北冰洋集水区地域广泛,北极河流域贯穿遥远的南部。北极淡水系统的质量曾经接近原始状态。第二次世界大战结束后,该地区工业活动的发展和对自然资源的开采,开始对环境造成重要的影响。影响最严重的地区包括科拉半岛和诺利尔斯克冶炼厂周围地区。在加拿大、芬兰、俄罗斯联邦和阿拉斯加所属的部分北极地区,河流中的铅含量超过了较低纬度地区设定的淡水质量标准。金属、污水、石油、碳氢化合物、酸性物质和其他化学物质的混合体一起向生态系统发起进攻。

南极洲的淡水湖和盐湖主要分布在沿海地区和无冰区,这样的地区在南极洲不多见,同时这里也往往是人类活动的中心。这些湖泊由冰川融化的溪流汇集而成,许多湖泊受人类在湖泊流域的活动的活动的影响已造成污染。

## 2. 全球水资源开发利用趋势

未来全球水资源供需情况主要取决于六个因素:经济增长、人口压力、技术革新、社会状况、环境质量和管理制度。据有关专家预测,2025年世界人均水资源将由1990年的 $7800\text{m}^3$ 下降到 $4800\text{m}^3$ 。到2025年,非洲、南亚、东亚以及中东地区的国家将面临着水资源缺乏的巨大压力。全球80亿人口中,将有30亿人生活在人均水资源不足 $1700\text{m}^3$ 的条件下,这表明水资源将严重匮乏。

全球水资源开发利用的趋势主要取决于以下几方面:

1) 全球农业用水经30年剧增后呈平稳状态,但农业用水量基数大,仍然是今后相当长一段时间内的水资源开发利用的大户。尤为重要的是,农业用水不可复原水量的比例又远远大于工业用水和城镇生活用水的不可复原水量的比例(如我国2002年全国平均城镇生活耗水率为24%,工业耗水率为24%,农业耗水率则高达64%)。因此,在未来水资源的开发利用过程中,只要加强农业用水管理,提倡科学用水,随着各国经济的发展,不断采取节水灌溉技术,世界农

业灌溉用水量基本可稳定在现有水平上，不会有大量的增加。只要农业用水量得到有效控制，世界总用水量的增长势头就能得以抑制。

2) 全球工业用水发达国家稳中有降，发展中国家急剧增长。发达国家由于资金雄厚、管理水平高，技术设备先进、工业结构不断高技术化，今后其工业用水量不大可能有明显的增加，可望出现稳中有降的局面。而在发展中国家则不然，尤其是一些新兴的工业地区，如亚洲的东南亚、东北亚及南亚次大陆地区，在工业迅速发展过程中，因资金短缺，设备更新缓慢，生产工艺落后，水资源管理水平差，在一定时期内，其工业用水量将随着工业增长而增加。

3) 全球城镇生活用水有增无减。城市生活用水量主要取决于城市人口数量、城市规模与功能、自然条件、城市设施与居民生活水平以及生活习俗等。城市生活用水量占总用水量比例很小，但对水质标准和保证率要求极高。不论发达国家还是欠发达国家，随着城市人口的进一步增加，经济的持续发展，居民生活水平的提高，城市生活用水量将迅速增加，占总用水量比例也将进一步提高，因此解决城乡居民生活供水的任务是非常艰巨的。

4) 水资源的开发利用更为重视经济、环境与生态的良性协调发展，由于过去只单一强调最大限度获取天然水资源，忽视了水资源开发过程中可能引起的环境和生态灾难。今后，各国将重视水资源的合理分配与调度，大力开展农业、工业节水生产，优先发展污水回用，实现水资源的可持续利用。

### 3. 全球水资源面临的问题

随着社会经济的发展，人们越来越感受到水资源匮乏带来的影响。地球水资源在时间和空间上分布的不均匀，水资源利用效率的低下，世界人口的迅猛增长，人类活动对水资源数量和质量的破坏都是水资源日益匮乏的原因。

1) 人口增长对水资源的压力。全球的富水区域分布在年径流量较大的热带赤道附近，以及亚洲的东南部、欧洲的西北部沿海和北美洲的西北部沿海，贫水区域则分布在受副热带高压控制的地区和大陆内部，特别是亚洲大陆内部。1980年全球人均占有水资源量为每年 $1\text{万 m}^3$ ，但分布并不均匀，亚洲的河川径流量是北美洲的2.2倍，而人口是其12.6倍，人均占有水资源量是北美洲的17.5%。水资源地域分布的不均匀及其不稳定性是世界上许多国家水资源短缺的根本原因。人口的增长不仅使人均占有水量减少，还带来其他相关的问题，如粮食问题、经济发展问题等，这些又使人均需水量大大增加。估计不久的将来，全球大约有80个国家将面临水资源短缺的问题。

2) 城市与工业区集中发展，工农业用水急剧增加。200多年来，世界人口趋向于集中在占全球较小部分的城镇和城市，20世纪中期以来这种城市化进程明显加快。我国在改革开放的20多年中，城市的数量增加了好几倍，城市的规模也越来越大。目前世界上城市居民约占世界人口的41.6%，而城市占地面

积只占地球上总面积的 0.3%。在城市和城市周围又大量建设了工业区，因此集中用水量很大，超过当地水资源的供水能力。工农业用水急剧增加，1900 年以来全球淡水用水量增加了 8 倍，其中农业用水量增加了 7 倍，城市生活用水量增加了 12 倍，工业用水量增加了 20 倍，而且每年仍以 5% 左右的速度增长。工业用水占城市用水的 2/3 以上。

3) 用水浪费，水的利用效率不高，城市生活和工农业用水都存在大量的浪费。由于管理不善，工程配套差和工艺技术落后，城市管网和卫生设施的漏水很普遍，这是城市生活用水中浪费最大的一项。据统计，美国城市管网漏水量平均达每人每天 60L，占全部用水量的 10% ~ 15%。北京漏水量占总用水量的 10% ~ 40%，甚至可达 70%。工业上从水源取用的水量远远超过其实际耗水量。例如，美国 1970 年统计表明，占全国工业用水量 78% 的热电站用水，其实际耗水量仅为其取水量的 1%。农村大水漫灌，利用率很低，而且渠道渗漏很大，不仅浪费水资源，而且引起土壤的次生盐渍化和潜育化，降低了土壤质量。

4) 水体污染，严重破坏了水环境。水体有两个含义：一般是河流、湖泊、沼泽、水库、地下水、海洋的总称，在环境学领域中则把水体当作包括水中的悬浮物、溶解物质、底泥和水生生物等的完整生态系统或自然综合体。由于污染物的入侵，使许多水体受到污染，致使其可利用性下降或丧失。因此，水体污染是破坏水资源、造成可利用水资源缺乏的重要原因之一。主要的水体污染包括各种有机物、酸污染、悬浮物、有毒重金属和农药以及氮磷等营养物质。

5) 全球气候变化使地球水资源失去稳定性。气候变化将导致降水更趋极端化，高纬度地区气候变得干热，沙漠化扩大，冰川雪线进一步北退和缩小，暴雨洪水经常发生，这些气候异常变化造成地球水资源的分布失去了稳定性，使得地区水资源问题更加突出。

## 1.2.2 中国水资源状况

### 1. 中国的水系湖泊

中国江河众多，河流总长达 43 万 km。流域面积在 100km<sup>2</sup> 以上的河流约有 5 万多条；1000km<sup>2</sup> 以上的有 1580 条；超过 1 万 km<sup>2</sup> 的大江河有 79 条；长度在 1000km 以上的河流有 20 多条。因受地形、气候的影响，河流在地区上分布很不均匀，绝大多数河流分布在东部气候湿润多雨的季风区，西北部气候干燥少雨，河流稀少。按河川径流循环的形式，可以分为直接流入海洋的外流河和与海洋沟通的内陆河两大类。从大兴安岭西麓起，沿东北至西南向，经阴山、贺兰山、祁连山、巴颜喀拉山、念青唐古拉山、冈底斯山，直至中国西端的国境，为中国外流河和内陆河的大致分水界。此线以东以南为外流河区，此线以西以北，除额尔齐斯河流入北冰洋外，均属内陆河区。



中国的地表水分为四个流区，即太平洋流区、印度洋流区、北冰洋流区和内陆河流区。太平洋流区的流域面积最大，占全国总面积的 58.3%，主要有长江、黄河、黑龙江、珠江、辽河、海河、淮河、钱塘江、澜沧江等河流；印度洋流区面积占全国总面积的 6.4%，有怒江、雅鲁藏布江；北冰洋流区只有额尔齐斯河，流区面积最小，仅占 0.6%；内陆河流区面积占 34.7%。

中国的内陆河大致可分为内蒙古、河西、准噶尔、中亚细亚、塔里木、青海、羌塘等七个区域。内蒙古内陆河区地势平缓，河流短小，多为时令河，有大面积的无流区。河西、准噶尔、中亚细亚、塔里木等内陆河区，地形起伏较大，有冰雪融水和雨水的补给，发育了一些比较长的内陆河流，如塔里木河、伊犁河等。青海柴达木盆地，四周分布着许多向中部汇集的小河流，盆地中广泛分布着盐湖和沼泽。羌塘内陆河区湖泊众多，许多小河流以湖泊为汇集中心。

中国是一个多湖泊的国家，共约有天然湖泊 2.49 万个。面积在 100 公顷以上的湖泊有 2300 多个，10 万公顷以上的大湖有 13 个。湖泊总面积 7.2 万  $\text{km}^2$ ，约占国土总面积的 0.8%。湖泊储水总量 7088 亿  $\text{m}^3$ ，其中淡水储量 2260 亿  $\text{m}^3$ ，占湖泊储水总量的 31.9%。中国外流区湖泊以淡水湖为主，湖泊面积 3.7 万  $\text{km}^2$ ，储水量 2145 亿  $\text{m}^3$ ，其中淡水储量约 1805 亿  $\text{m}^3$ ；在内陆河区，湖泊面积约 4.11 万  $\text{km}^2$ ，储水量 4943 亿  $\text{m}^3$ ，其中淡水储量 455 亿  $\text{m}^3$ 。内陆水区除青藏高原尚分布一些淡水湖泊外，其他多为咸水湖或盐湖。

中国的湖泊主要分布在长江中下游平原和青藏高原，按湖泊的地理分布，可分为五个主要湖区：青藏高原湖区、东部平原湖区、蒙新高原湖区、东北平原及山地湖区、云贵高原湖区。东部多淡水湖，其面积约占湖泊总面积 45% 左右，著名的有鄱阳湖、洞庭湖、洪泽湖、太湖、巢湖。西部多咸水湖，著名的有青海湖等。中国虽是一个多湖国家，但我国部分湖泊面积出现萎缩现象，如洞庭湖水面比 1949 年缩小约 1700 万  $\text{km}^2$ ，江汉平原面积大于 50 $\text{km}^2$  的湖泊数量，20 世纪 80 年代比 50 年代减少 49.4%，总面积减少 43.7%。干旱、半干旱区湖泊水面日益缩小的趋势更为严重。我国最大的高原湖泊青海湖自成湖至今，水位已下降了 100 多米，有的湖泊甚至已经消失，如罗布泊、台特马湖等。中国主要湖泊基本情况见表 1-2。

## 2. 中国水资源时空分布特征

(1) 中国水资源的空间分布 由于我国地形、地貌、气候条件的差异，导致了我国水资源的空间分布的差异性。综合考虑地表水和地下水，用每平方公里拥有水资源量（多年平均年产水模数）来划分，可将全国 77 个流域划分为以下五种类型：

1) 产水十分丰富的流域。多年平均年产水模数  $\geq 1.2 \times 10^6 \text{m}^3/\text{km}^2$ ，有粤东沿海、台湾诸河、藏南诸河、滇西诸河等四个流域。