

迟宝明 卢文喜 肖长来 卞建民 编著

# 水资源概论

SHUIZIYUAN  
GAILUN



吉林大学出版社

JILIN UNIVERSITY PRESS

# 水 资 源 概 论

迟宝明 卢文喜 肖长来 卞建民 编著

吉林大学出版社

## 内容提要

本书是一本关于水资源专业的入门教材。按照水资源系统的观点,较全面地论述水资源与人类生存、环境、经济的关系,水资源学的研究现状与发展趋势,主要研究内容与学科体系;以水份循环为基础,论述了水资源的形成与赋存、全球与区域水资源概况、水资源与可持续发展的关系、水资源承载力和水生态问题;运用水量平衡原理、水文学理论,阐述了水资源勘查与评价中计算分区划分、降水量计算、水资源量的计算与评价、水资源质量评价、水资源可利用量评价;论述了水资源开发利用的基本途径、环境负效应、开发利用情况调查、需水预测、供水预测、水资源可持续开发利用和水资源保护;提出了水资源规划与管理、我国面临的主要水问题与解决的对策等。本教材内容丰富,起点较高,为目前比较全面、综合和较新颖的水资源教材。适合综合性大学水文水资源系各专业用作教材;也可作为资源与环境学院、农学院、工学院有关专业和水文工作者的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

水资源概论 / 迟宝明主编. —长春: 吉林大学出版社,  
2006.6  
ISBN 7-5601-3432-7

I. 水… II. 迟… III. 水资源—概论  
IV. TV211

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 047691 号

## 水资源概论

迟宝明 卢文喜 肖长来 卞建民 编著

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| 责任编辑、责任校对: 赵洪波              | 封面设计: 孙 群                |
| 吉林大学出版社出版<br>(长春市明德路 421 号) | 吉林大学出版社发行<br>吉林农业大学印刷厂印刷 |
| 开本: 787×1092 毫米 1/16        | 2006 年 8 月第 1 版          |
| 印张: 13.25                   | 2006 年 8 月第 1 次印刷        |
| 字数: 300 千字                  | 印数: 1—600 册              |
| ISBN 7-5601-3432-7          | 定价: 20.00 元              |

## 前 言

本书是为水文与水资源工程专业编写的教材。水资源对当今自然环境、社会与经济发展的至关重要性是毋庸置疑的。水文与水资源工作者对如何利用好水资源保护好水资源具有更大的责任,更应从科学的角度审视地球上的水资源,研究水资源与保护水资源。

但是,由于水文与水资源专业是一门研究内容十分丰富、实践性较强、研究领域广泛与分支较多的专业,因此要在短短的本科教学阶段全面掌握本专业的知识内容是不现实的;另一方面,从1997年我国进行专业目录调整以来,水文与水资源工程专业覆盖了以前几个专业与专业方向,专业面大大地拓宽了。对此,各高校水文与水资源专业在本专业人才培养方面都坚持在拓宽专业面的基础上突出本校的传统优势与特色。因此,本教材的编写基于以下几个出发点:

1. 把本教材作为进入本专业的入门教材。水文与水资源专业对大多数本科生是陌生的,如何使学生较早地全面了解水文与水资源专业学科体系,激发学生学习本专业的兴趣是本教材的目的之一;通过学习本课程,使学生对水资源学涉及的内容、研究的领域、知识与能力结构以及学科的发展前景有一个全面的了解。

2. 把本教材作为学习本专业的大平台。由于本专业内容丰富,分支庞杂,而本科阶段往往要沿着一个主要专业方向为主进行培养,因而许多本专业的知识内容在本科教学期间不可能进行专门的学习。因此,在本科阶段这一课程主要是使学生了解水资源学科所覆盖的专业与专业方向的基本体系,了解所在的专业与专业方向在整个学科体系中的位置、作用与特点以及与其它相关学科专业、专业方向的关系,使学生对今后所学的课程的目的与作用更清楚,从而达到有的放矢的目的;要通过本课程的学习使本专业的学生建立大水文与水资源专业的拓展平台,构建日后向本专业其它方向进一步学习深造的出口。

3. 在以往的教学我们常常感到,由于学生对本专业不够了解,因而对许多基础课与专业课学习之间的重要性认识不足(如地学课程的学习、地学的野外实习对水文地质学的重要性),导致在进行后继的专业课学习时力不从心。因此,本教材将十分注重各门公共课程、基础课程与专业课程学习之间的关系渗透。

本教材按照教学计划的基本要求,系统地阐述了水资源的有关理论,水资源勘察、评价与开发利用的基本技术与方法,水资源开发利用过程中存在的主要问题,水资源管理、保护、规划等基础知识。

本书由吉林大学环境与资源学院迟宝明、卢文喜、肖长来、卞建民编写,其中,前

言、第一章、第八章由迟宝明编写，第二章、第三章由卞建民编写，第四章、第七章由卢文喜编写，第五章、第六章由肖长来编写。最后由肖长来统稿，迟宝明定稿。硕士研究生高淑琴、张力春、冯波、方樟和贾涛参加了部分文字校正工作。

本书为水文与水资源工程专业教材，也可以作为其它相近专业的参考书。

由于编写时间紧和水平有限，本书难免存在不足与错误，恳请读者给予批评指正。

作者

2006年6月

# 目 录

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第一章 绪论 .....               | ( 1 ) |
| 1.1 水资源与人类生存 .....         | ( 1 ) |
| 1.2 水资源与环境 .....           | ( 6 ) |
| 1.3 水资源与经济 .....           | (11)  |
| 1.4 水资源学的研究现状与发展趋势 .....   | (17)  |
| 1.5 水资源学的主要研究内容与学科体系 ..... | (18)  |
| 第二章 水资源的形成与赋存 .....        | (23)  |
| 2.1 水资源的基本含义 .....         | (23)  |
| 2.2 天然水的起源与形成 .....        | (28)  |
| 2.3 自然界水的循环 .....          | (30)  |
| 2.4 地球上水的存在与分布 .....       | (32)  |
| 2.5 地表水、地下水的形成与三水转化 .....  | (33)  |
| 2.6 水量平衡原理 .....           | (34)  |
| 第三章 全球与我国水资源概况 .....       | (37)  |
| 3.1 地球水圈及全球水文循环 .....      | (37)  |
| 3.2 我国水资源形成与分布的总体特征 .....  | (41)  |
| 3.3 我国水资源总量 .....          | (57)  |
| 3.4 我国水能资源 .....           | (60)  |
| 第四章 水资源与可持续发展 .....        | (63)  |
| 4.1 水与人类社会发展 .....         | (63)  |
| 4.2 水资源的承载能力 .....         | (67)  |
| 4.3 水生态问题 .....            | (72)  |
| 第五章 水资源调查、评价与计算 .....      | (76)  |
| 5.1 水资源调查 .....            | (76)  |
| 5.2 水资源评价的内容与原则 .....      | (79)  |
| 5.3 降水量计算 .....            | (81)  |
| 5.4 地表水资源量评价 .....         | (86)  |
| 5.5 地下水资源量评价 .....         | (91)  |
| 5.6 水资源质量评价 .....          | (99)  |
| 5.7 流域水资源与可利用率评价 .....     | (111) |

---

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 第六章 水资源开发利用 .....            | (122) |
| 6.1 地表水资源开发利用途径 .....        | (122) |
| 6.2 地下水开发利用途径 .....          | (129) |
| 6.3 水资源需求与供水量预测 .....        | (140) |
| 6.4 水资源可持续开发利用 .....         | (148) |
| 6.5 水资源保护 .....              | (169) |
| 第七章 水资源规划与管理 .....           | (174) |
| 7.1 水资源规划与合理配置 .....         | (174) |
| 7.2 水资源管理 .....              | (184) |
| 第八章 我国面临的主要水资源问题与解决的对策 ..... | (195) |
| 8.1 我国面临的主要水资源问题 .....       | (195) |
| 8.2 我国水资源问题的解决对策 .....       | (201) |
| 参考文献 .....                   | (205) |

# 第一章 绪 论

水是生命之源，水是地球上所有生物的生存之源，是关系社会发展和人类进步的重要物质，是生态环境中最活跃和影响最广泛的因素，是经济社会发展无法替代的资源。自古以来，地球上能生存着高度智慧和文明的人类，就是因为地球上有人类赖以生存和发展的得天独厚的自然条件。从生命的起源与进化来说，没有水就没有生命，一切生物离开了水都不能生存。地球上的水无处不在，无处不有。正是由于这个水圈的存在才繁衍养育着几十亿人类和数百万种生物，并形成了生物圈。因此，水与人类关系密切，它不仅要满足人口日益增长的需要，而且要维护人类赖以生存的自然生态系统。水是人类生存发展和可持续发展的最重要的物质基础，是不可替代的资源。

## 1.1 水资源与人类生存

水是人类生存与发展的生命线。当今世界之所以关注水资源问题，其中最重要的一个因素就是人口的快速增长，鉴于人口的数量决定了每个人可用水量的多少，因此，影响水资源有效供给的第一因素就是人口。由于世界人口数量的不断增加，近 40 年来，世界人均占有的淡水资源量几乎下降了一半，特别是进入 21 世纪，人口增长与社会经济发展对水资源形成了巨大的压力。据有关国际组织对 149 个国家进行的预测，1990 年缺水国家的人口为 1.32 亿，到 2025 年，根据人口增长（低人口增长和高人口增长）的预测，届时缺水国家人口将增加到 10.6 亿~24.3 亿（实际上，面临水资源短缺的人口比预测数还要多），占世界总人口的 13%~20%。到 2050 年人口增加到 100 亿，届时缺水国家和缺水人口还会增加，因此，水资源的有效供给问题就成为当代人类最关注的焦点。

### 1.1.1 有限和短缺的水资源问题

#### 1.1.1.1 水资源的循环性

人类可以利用的淡水资源主要来源于降水。陆地上的降水一部分被植物截留，另一部分或沿地面流动形成地表径流，或渗入地下补给土壤水和地下水，形成壤中流或地下径流。地表径流、壤中流和地下水径流汇入河流，注入海洋或内陆湖泊，完成水资源的循环。在水资源循环过程中，淡水资源对地球上的生态系统的良性循环起着重要作用。人类和其它陆生生物赖以生存的就是这一部分淡水。正是由于降水的作用，地球上的淡水可以永不停息地进行循环，并不断得到更新。从这个意义上来说，地球上的淡水资源

具有可持续利用而不会枯竭的自然特性。

#### 1.1.1.2 水资源的有限性

地球被称为“水的行星”，主要是由于它有 71% 的面积被蓝色的海洋所覆盖，所以也可以把地球比喻为“蓝色星球”。据估算，地球上水的总储量有  $14.6 \times 10^{17} \text{ m}^3$ ，但在地球水体总量中，有 97.5% 都是咸水，含盐量低于  $1\text{g/L}$  的淡水仅有  $35 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ，仅占全球水体总储量的 2.5%，在这仅仅 2.5% 的全球淡水储量中，又有 70% 冻结在南极和格陵兰的冰川冰盖中，其余的大部分是土壤中的水分，或者是地下深处蓄水层中的地下水，不易供人类开采使用。事实上易于开采供人类直接使用的淡水资源还不足全球淡水资源的 1%，确切地说，地球上水的总储量中只有 0.007% 可以供人类直接使用。这就是江河、湖泊以及可以开采取用的地下水的水源。据世界资源研究所的资料，世界每年再生性水资源总量约为  $42 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。但专家们认为，其中稳定径流量只有  $14 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，但有  $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$  流经沙漠而无法利用，实际可利用的河川径流量为  $9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全球再生性水资源总量的 22%。从这个意义上说，地球上的淡水资源可利用量是“有限”的。当然从哲学的观点来看，“有限”用在自然资源上未必妥当，因为人类对自然的认识和对资源的探索可以说是无限的。比如，地球上 71% 的面积被水所覆盖，人类生活的大陆面积不到 30%，浩瀚的海洋所蕴藏的各种资源的数量，无疑会使人类迄今为止在陆地上所发现的任何矿藏相形见绌。事实上海洋是各种资源的巨大宝库，它同样可以为我们提供食物、矿物、能源等丰富的资源。据有关资料，海洋提供的海洋生物、石油、钛、镁、锡等各种矿物资源的经济价值已高达几千亿美元。现在人类又开始对月球等星体进行探索，未来人类利用资源的界限是否会扩大和延伸，现在尚难定论。但可以肯定的是，人类在认识客观世界的同时也会改变自己的主观世界，就目前的人类认识和科学水平而言，“有限”应当是相对的，对它的利用将是无限的。

#### 1.1.1.3 水资源的区域性

如前所述，地球上的水资源虽然具有循环和可更新的特性，就其总量而言似乎可以满足人类的基本需求，但淡水丰富一词往往掩盖了它在地区上分布的不均匀性，并且常常和人口的地区分布不相协调。如果考虑到降雨的时空分布和年内分配的不均匀，淡水资源的地区分布也带有明显的地区性差异。人类易于开采使用的淡水资源每年约为  $9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，其中还必须要充足的水量留在江河中以保持健康的生态系统。同样，由于地球上淡水资源的分布极不均匀，世界上许多国家和地区，有的降水稀少，有的人口密度很大，有的两者兼有，这样就使得可以利用的淡水资源很少能满足需求，或只能有限地满足人类的需要。总之，如果供水量是有限的，而用水量是不断增加的，那么水资源短缺问题的实质就是可供人类利用的有限的水资源是否能满足人类的基本生活需求。如果一个国家人口众多，而可利用的淡水资源又十分短缺，那么水荒必然威胁这个国家的生存与发展，甚至影响到国家的稳定。根据国际上在干旱地区中等发达国家所总结的经验，以每人每年  $1000 \text{ m}^3$  可重复使用的淡水资源为标准，低于这个标准的国家，就可能曾经受足以阻碍社会发展和有害人们健康的长期水荒。按照这个标准，目前至少有 20 个国家已经遭受水荒。但是水资源短缺又往往带有区域性的特征，因此，虽然有些国家人均占有水资源高于这个标准，但由于地区性的差异，往往掩盖了一些地区的水荒。当

然一个国家的地区性差异可以通过更大区域性的平衡,比如跨流域调水来实现区域性的平衡;另外,随着科技水平的提高,人类对水资源的利用效率也会提高。保护地球,保护水资源,保持水资源的高效持续利用,应当作为全世界各国人民在经济生活中共同遵守的指导原则。

#### 1.1.1.4 中国的淡水资源状况

中国河流众多,号称河川之国。流域面积在  $100\text{km}^2$  以上的河流有 50000 条,流域面积在  $1000\text{km}^2$  以上的河流有 1500 条。全国多年平均河川年径流总量为  $2.7115 \times 10^{12} \text{m}^3$ , 位居世界第四位,但人均占有量只有约  $2200\text{m}^3$ , 人均水量只占世界人均水量的  $1/4$ ; 按最新土地利用现状调查,全国耕地面积为 1.3 亿  $\text{hm}^2$ , 耕地平均占有水量约  $21260\text{m}^3/\text{hm}^2$ , 只有世界耕地平均水量的  $1/2$  左右。到本世纪中叶,中国人口将达到 16 亿~17 亿,人均占有的水资源量还要下降,届时人均占有水量将在  $1600 \sim 1700\text{m}^3$  左右。从人均占有水量来看,似乎不存在水荒。但中国的地区性差异很大,如果按国际上确定的人均占有水量  $1000\text{m}^3$  为人类生存起码需求标准,目前我国就有 10 个省、自治区、直辖市, 11% 的国土面积,  $1/3$  以上的人口其人均水资源在起码需求线以下,其中有 9 个省、自治区、直辖市人均水资源在  $500\text{m}^3$  以下。按照人均占有水量  $2000\text{m}^3$  即处在严重缺水边缘这一标准来衡量,我国就有 16 个省、自治区、直辖市人均水资源在  $2000\text{m}^3$  以下,国土面积的 30%, 全国总人口的 60% 处于缺水状态。如果按国际上以用水量与可用水量的比率来衡量用水紧张的程度,那么用水量不到可用淡水量的 10% 为用水低度紧张, 10%~20% 为中度紧张, 20%~40% 为中高度紧张, 超过 40% 为高度紧张。根据目前国外对可利用水量的概念和我国有关专家对全国水资源可利用水量的分析,中国可利用水量大约在  $10^{12}\text{m}^3 \sim 1.1 \times 10^{12}\text{m}^3$  之间,按目前已利用的水量推算,已经超过可用水总量的 40%, 属于用水高度紧张, 也表明了中国水资源的紧缺程度。从地区来看,我国水资源的地区分布与人口、耕地的分布极不匹配。长江流域及其以南地区的面积只占国土总面积的 36.5%, 水资源量却占全国水资源总量的 81%; 淮河及其以北地区的面积占国土总面积的 63.5%, 而水资源量只占全国水资源总量的 19%, 这就充分表明了北方地区水资源的紧缺要远远大于南方。目前我国北方地区水资源的开发利用率已经很高, 松辽流域、海滦河流域、黄河流域、淮河流域和内陆河流域的水资源开发利用率平均已达 50% 以上, 其中海滦河的水资源的开发利用率已高达 80% 以上, 这种严峻的现实表明了我国北方地区水资源短缺的形势十分严峻。就全国而言,我们要用占世界 6% 的淡水资源去养活占世界 22% 的人口。到本世纪中叶,由于人口增加,缺水的地区和缺水的人口还会扩大增多,水资源紧缺的形势就会更加严峻。水资源总量多,人均、公顷均水量少;南方水多,北方水少;夏秋季多,冬春季少。人多,地少,水少,水土资源不相匹配,这是我国最基本的国情。但是中国水资源利用的浪费与水资源紧缺并存,故提高水资源的利用率具有极大的潜力。

#### 1.1.2 人口问题

##### 1.1.2.1 世界人口的急剧增长

当代人口增长、资源匮乏、环境污染已成为人类世纪性的三大难题。在这三大难题

中, 人口问题位于难题之首。从人类悠久的历史来看, 地球上的人口一直处于缓慢增长阶段。但自 20 世纪 50 年代初以来, 全球人口几乎一直在呈直线快速增长。尽管近年来全球人口的膨胀趋势得到抑制, 总的人口增长率有所下降, 但世界人口问题仍然十分严峻。从最近 40 年的增长速度来看, 1960 年世界总人口为 30 亿, 1987 年为 50 亿, 到 1999 年已突破 60 亿大关, 总人口几乎增加了一倍, 平均每年以 8000 万的速度增长。到本世纪中叶, 即使按照目前已经有所控制的增长速度发展下去, 全球总人口也会接近甚至超过 100 亿。人口膨胀必然增加对自然资源的需求, 特别是对水和食物等生活必需品的需求。所以人口问题的实质是自然资源难以满足人口增长的需求, 而人类赖以生存的两类资源: 一是水 (饮用和生活用水), 二是土 (耕地和粮食), 将首先面临沉重的负担。这两类资源能否满足未来 100 亿人口的需求, 是矛盾的焦点。目前不少国家和地区饮用水短缺和粮食短缺问题已很严重, 尤其是水资源短缺已经很严重的国家, 本世纪将面临可怕的水资源危机。这种危机, 一旦处理不好将直接危及社会的安定和政局的稳定。据有关国际组织的研究报告估计, 在未来 50 年里, 全世界至少有 1/5, 甚至 1/4 的人口将会面临水资源短缺。联合国人口基金会和世界观察协会分别发出警告, 从某种程度上讲, 人口危机对国际社会构成的潜在威胁比其它危机更为严重。由此将带来诸如水、粮食、环境、资源等一系列问题。但有些专家认为, 人口的增长会带动需求的增长, 包括对资源的需求不断增长, 需求的增长会推动科学技术的进步, 促使农民增加对农业生产的投入, 通过灌溉农业和改良土壤、增施肥力等手段提高土地的生产力。现代的科学技术还会增强人类抗御自然灾害的能力, 大大减少粮食生产和供应受自然因素干扰的可能性, 并相应提高水资源使用的潜力。国内外有些专家认为, 本世纪将是生物学的世纪, 科技进步将是粮食增产的最重要的因素。依靠生物技术和遗传工程, 同时依靠现代的节水技术提高农业用水效率, 粮食生产可望有大幅度的增长。但是人口和自然之间的关系, 以及人口与资源和经济的关系是很复杂的问题, 经济发展和技术进步可以提高自然资源对人口的承载能力, 人口规模和增长速度会受到政治、经济和文化的影响。从长远观点看, 人口的规模可以与生产力相适应。但是, 经济、社会发展要适应人口的增长, 其任务的艰巨性, 必须引起我们高度重视。

#### 1.1.2.2 中国人口的增长与有效控制

中国是一个世界上人口最多的大国, 又是发展中的大国。近 40 年世界人口的急剧增加, 中国就占有很大的比重, 约占 1/4 左右。从人口的分布来看, 世界总人口中大约有 80% 居住在发展中国家, 据预测, 在今后的 5 年里, 世界人口的净增长主要在发展中国家。亚洲的人口将从目前的 34 亿多增加到 55 亿。目前中国的人口占世界总人口的 1/5 强, 占亚洲人口的 1/3 强。因此, 中国的人口增长在世界和亚洲都有举足轻重的影响。自 20 世纪 70 年代以来, 中国政府就十分重视人口增长问题, 由于全国推行计划生育, 中国人口控制已取得了巨大的成就。按 20 世纪 70 年代生育率计算, 中国实行计划生育 20 年来共少出生 3 亿人。中国人口计划生育政策的成功得到了世界的公认, 但中国人口数量仍将继续增长, 总人口增长仍处在高峰期。目前全国每年净增人口在 1200 万左右。据专家们推算, 到本世纪 30~40 年代人口增长将达到稳定状况, 届时人口总数将达到 16 亿~17 亿。总之, 我国人口增长虽然会得到严格的控制, 但面对本世纪庞

大的人口增长量, 不仅会制约社会经济的发展 and 人民生活水平的提高, 而且必然给自然资源, 首先是水资源带来巨大的压力。随着人口的不断增长, 资源的承载能力和资源紧缺的矛盾将越来越尖锐, 这是严峻的现实。众多的中国人口对水资源形成的压力和带来的危机, 势必会对中国实现现代化的进程构成最大的障碍。因此, 人类在生存与发展过程中都面临着淡水资源持续利用的艰巨任务。

### 1.1.3 水资源对人口增长的保证作用

如前所述, 资源与人口是一个非常复杂的问题, 解决问题的关键是如何寻求两者之间的适应与协调。水是地球上所有生命赖以生存的基础。水资源短缺严重威胁着人类的生存与发展, 但人口的膨胀又是造成水资源短缺的根本原因。所以, 人口的增长必须保持在水资源的承载能力之内。人类的生活方式也必须与水资源的承受力相适应。中国是一个资源大国, 就资源绝对量而言, 中国水土两大资源均位居世界前列。水资源位居世界第4位, 耕地资源位居世界第4位, 但庞大的人口基数, 使中国的人均占有资源量却位于最低水平。特别是水资源与耕地资源的相互关系极为密切, 同时, 水资源短缺又是和耕地资源紧缺紧密联系在一起的。因此, 必须根据耕地资源, 来研究水资源和人口问题。

#### 1.1.3.1 中国的耕地资源

目前全球土地面积约 130.78 亿  $\text{hm}^2$ , 其中耕地 14.75 亿  $\text{hm}^2$ , 人均耕地约 0.25  $\text{hm}^2$ 。中国幅员辽阔, 国土面积约为 960 万  $\text{km}^2$ , 合 9.6 亿  $\text{hm}^2$  (144 亿亩), 约占世界陆地面积的 7%, 人均土地已不足 0.8  $\text{hm}^2$  (12 亩)。其中山地、高原和丘陵占国土面积的 69.3%, 平地 (包括盆地) 只占国土面积的 30% ~ 32%, 建设用地面积为 0.35 亿  $\text{hm}^2$  (5.29 亿亩), 占国土面积的 3.65%; 未利用土地面积为 2.60 亿  $\text{hm}^2$  (39 亿亩), 占国土面积的 27.08%。农用地中, 耕地面积为 1.30 亿  $\text{hm}^2$  (19.5 亿亩, 不包括台湾省), 占国土面积的 13.54%; 园地面积为 0.1 亿  $\text{hm}^2$  (1.5 亿亩), 占国土面积的 1.04%; 林地面积为 2.28 亿  $\text{hm}^2$  (34.2 亿亩), 占国土面积的 23.75%; 牧草地面积为 2.66 亿  $\text{hm}^2$  (39.9 亿亩), 占国土面积的 27.7%; 水面面积为 0.22 亿  $\text{hm}^2$  (3.3 亿亩), 占国土面积的 2.29%。从总体来看, 中国土地总面积位居世界第三位, 但从人均来看, 土地面积只有 0.78  $\text{hm}^2$  (11.65 亩), 相当于世界平均数的 30%; 林地只有 0.186  $\text{hm}^2$  (2.79 亩), 相当于世界平均数的 18%; 牧草地面积只有 0.217  $\text{hm}^2$  (3.26 亩), 相当于世界平均数的 35%; 耕地面积约占世界耕地面积的 9%, 按人口平均, 我国人均耕地只有 0.106  $\text{hm}^2$  (1.59 亩), 只有世界人均耕地面积 0.25  $\text{hm}^2$  的 42.4%, 是世界上人均耕地面积最少的国家之一。到本世纪中叶中国人口将达到 16 亿 ~ 17 亿, 人均占有的耕地资源量还要减少, 届时人均耕地只有 0.08  $\text{hm}^2$  (1.2 亩)。人多水少加上人多地少, 这是中国最基本的国情。

#### 1.1.3.2 中国人均水土资源十分短缺

综上所述, 水土两大资源, 不仅现在短缺, 而且未来的 50 年内会更加短缺, 这是中国国情最重要的特征。在我国实施可持续发展战略, 迈向现代化进程中, 人口问题已经是一个不可避免的重大问题。不仅要控制人口数量, 而且要提高人口的素质, 这一点

至关重要。到 21 世纪中叶, 中国人口增长已不可逆转, 因此, 自然资源问题就成为人们关注的焦点。水土资源是人类生存与发展的基础, 这两大资源与人口的适应与协调是目前人类最关心的一个问题, 当前尤其是水资源已成为制约人类生存与发展的瓶颈, 人类不合理的开发利用和浪费是当前资源短缺的一个重要原因。当然水土资源和人类需求之间的关系是非常复杂的一个问题, 经济发展和技术进步, 以及人类对资源的保护和合理利用可以提高水土资源的承载能力, 但鉴于目前的科学技术水平, 水土资源的利用仍然是有限的, 特别是目前中国人均水土资源已十分短缺, 因此, 控制人口与保护水土资源至关重要。

总之, 人类在改造和建设世界的同时, 也会产生巨大的破坏和毁灭力量。我们的任务和目标, 就是在人口的增长对水资源利用带来巨大压力时, 通过需求的增长去推动人们寻求新的技术来保护水资源, 并提高水资源的利用效率。

## 1.2 水资源与环境

水是人类和一切生物赖以生存与发展的最重要的物质基础, 而环境是人类活动的空间, 也是人类生存和发展的条件。水环境是环境的一个子系统, 虽然它是一个子系统, 但水是地球上的一种基本系统。水经过整个生物圈的循环, 它协助创造、联结并推动发生在陆地上、海洋中和空气中的种种进程。水资源和环境不仅是紧密相联并互为因果的, 而且水对大自然的健康运行十分关键。水在环境系统中是最活跃的因子, 水的量变和质变对环境的影响都十分敏感。事实上, 没有水, 人类就失去生存的条件; 没有水, 也不可能有良好的生态环境; 没有水, 更谈不上发展。因此, 水在整个生态系统中起着不可替代的决定性的作用。可以毫不夸张地说, 没有良好的水环境就没有良好的生态环境。

水资源是维持人类的生存与发展, 提高人类生活质量所必需的物质, 是维护生命赖以生存的自然生态系统和良好生态环境的条件。事实上, 世界上没有不受人类活动影响的自然生态系统。人类有史以来, 就是逐水而居, 水在地球上无处不在, 人类对水无时不需。水系联结了人类社区的彼此活动, 并与各种动植物群落联结。因此, 水资源在人类生存与发展、维护良好生态环境中具有特殊的地位和不可替代的作用。

环境问题是在人类发展经济的过程中产生的, 一切环境问题, 包括环境污染和生态破坏, 不仅涉及到水的自然条件, 而且还与水资源不合理的开发利用密切相关。例如: 工业污染物排入大气、水和土壤中, 将带来水环境恶化并危及人类的健康; 在半干旱地区由于干旱缺水 and 人类各种活动引起土地退化和沙漠化; 由于自然界外营力的侵蚀和人类对森林过度砍伐引起水土严重流失及土壤肥力减退等。总之, 要保护地球的生命力和生物圈的生产力、恢复力及多样性, 要保护各种生命的支持系统, 就必须确保水资源的可持续利用。保护环境首先是保护水环境, 并在经济发展的同时通过改善水环境解决环境的恶化问题。

### 1.2.1 水圈是环境的命脉

环境是一个复杂而庞大的系统。从科学的角度来看,全球的环境问题的产生是地球的大气圈、水圈、岩石圈、生物圈相互作用,并与人类活动相互结合影响的结果。有人将人类作为一个圈组成五元圈的结构系统,认为人类圈的迅猛成长是导致当代全球系统功能失调和结构变异的主要因素。按照中国人的传统习惯,可以统称为“天、地、人”三个圈系,提倡“天地人合一”,这是东方人对人与自然和谐态度在哲学上凝练的表达。“天”主要指大气与气候;“地”主要是地质地理,包括岩石土壤与矿产资源;“人”主要指生活在地球上的人类,广义上也包括一切生命体。水贯穿于三者之中,也是三个圈系的主要组成因子。水在地球上的存在形式,有气态、液态和固态三种,它包括地壳表面的海洋、湖泊、河流、冰川,地壳表面以下的地下水、土壤水,生物水和大气中水等等,这些水构成了地球上一个完整的水系统,从而被人们称为地球的水圈。在整个自然生态系统中,水圈最关键,它是生物圈的“血液”和“淋巴液”,对环境的持久能力起着命脉的作用。如果水圈遭到破坏,或者其中有一部分受到干扰,不仅将直接威胁人类的生存条件,而且整个生物圈和自然生态系统都会被破坏,甚至丧失。因此,保护好水圈,就是保护了生命的支持系统;保护好水圈,才有可能保持生物圈的生产力、恢复力以及多样性。

### 1.2.2 环境与发展

水是自然资源,是可持续发展的基础与条件,是环境与发展核心。当前环境与发展问题也成为国际社会关注的一个敏感问题,也是世界性的共同问题。保护环境和发展经济,关系到人类的前途和命运,影响着世界上每一个国家,每一个民族,甚至每一个人。衡量环境好坏的标准,一是要看供人类生存与发展的资源是否能满足世代延续发展的需求,二是要看人类在利用自然和改造自然的历史进程中是否对人类未来的生存空间和健康水平构成严重的威胁。因此,水环境与气候水文现象密切相关,水环境的好坏取决于对水资源的保护和合理开发利用程度,而水资源的合理利用又取决于人类的生产和生活方式。人类是创造世界历史的主人。马克思、恩格斯认为:“人和自然以及人与人之间在历史上形成的关系,都遇到有前一代传给后一代的大量生产力、资金和环境,尽管一方面这些生产力、资金和环境为新一代所改变,但另一方面,它们也预先规定新一代的生活条件,使它得到一定的发展和具有特殊的性质。”这种观点表明:人创造环境,同样环境也创造人。目前专家们对资源和环境的看法大体上有三种观点:一种是乐观派,一种是悲观派,另一种介于两者之间。不论乐观派也好,悲观派也好,其判断的标准主要依赖于人们目前的认识水平和所持的不同价值观,以及人类对资源的有效利用程度。当今世界提出把可持续发展战略作为一种价值观和发展模式,具有三重涵义:一是和谐性,即在国家和区域范围内要实现其社会、经济 and 环境的协调发展,在追求经济目标的同时,对生产活动的社会效益和环境效益予以更高层次的重视;二是公平性,即不但要注重代际公平,也要注重当代人之间的社会分配相对公平,还要注重不同区域间发展水平的相对公平;三是可持续性,即通过提高资源利用效率和清洁生产的

方式来实现增长, 始终将发展需求控制在资源与环境的承载力限度之内。

### 1.2.3 环境的全球性与区域性

环境问题是一个复杂而庞大的系统, 但它有两类不同的层次, 一类是全球性的问题, 另一类是区域性和各个国家自身的环境问题。区域性和每个国家的环境问题, 虽然是全球性环境问题的一个组成部分, 但有些环境问题, 影响范围只局限于一个国家和一个地区, 比如水质恶化、水土流失、土地沙化、耕地退化等问题就属于这一类。从历史上看, 全球环境问题主要是发达国家在工业化过程中过度消耗自然资源和大量排放污染物造成的。目前发达国家不论是从总量还是从人均水平来讲, 资源的消耗和污染物的排放仍然大大超过发展中国家。据国际能源机构调查结果表明, 1995 年全球的  $\text{CO}_2$  总排放量为 220 亿 t, 其中美国的  $\text{CO}_2$  排放量占全球总量的 23.7%, 在世界排行榜首, 其年人均  $\text{CO}_2$  排放量约为 20t。人均  $\text{CO}_2$  排放量在 15t 以下的国家有: 加拿大、澳大利亚。中国人均  $\text{CO}_2$  排放量只有 2.5t。厄尔尼诺和拉尼娜现象就是全球气候异常的表现。大气污染、气候变化、温室效应等问题都属于全球性的环境问题。这类环境问题, 影响和危害最大的是全球气候的变化, 这种变化有可能打乱天气系统, 由于大气中气体比例的失调, 地球表面气温可能急剧升高, 将改变降水在地区和时空上的分布, 最直接受影响的还是水资源的问题。无论全球性的还是区域性的环境问题都有可能影响气候的变化和降水的分布, 进而影响人类对水资源的可持续利用。

### 1.2.4 水是环境与发展的核心

水旱灾害、水资源短缺、水域污染、水土流失和土地荒漠化, 不仅是人类生存与发展的制约因素, 而且也是影响环境的主要因素。这些因素的核心是水。水多为患, 水少成灾, 水脏贻害, 可见, 水环境恶化是影响整个环境的关键因素。

#### 1.2.4.1 水旱灾害频繁

从水旱灾害来看, 主要是水多和水少的问题。从人类文明史开始, 水旱灾害始终给人类带来问题, 古代国家的兴衰, 在很大程度上取决于他们解决洪水和干旱问题的成败。中国自古就是水旱灾害频繁的国家。从中国的历史资料来看, 自公元前 206 年到 1949 年的 2155 年间, 我国发生较大的水灾 1092 次, 较大的旱灾 1056 次, 平均几乎每年都有一次较大的水灾或旱灾。每遇特大的水旱灾害都会给国家和人民带来严重的灾难, 也会对环境带来严重的破坏

我国大部分地区处于东南亚季风气候区域, 其主要特点就是干旱与潮湿季节极为分明。从降水的年内分布来看, 全国各地的年降水量, 几乎有  $1/2 \sim 2/3$  集中在夏季; 从降水的年际变化来看, 连续多雨年和连续干旱年相互交替的规律比较明显。因此, 降水高度集中, 年际变化也大, 这是我国水旱灾害频繁并多于欧洲国家的一个重要原因。从地区分布来看, 水灾严重的区域主要是黄河、淮河、海河、长江、珠江、辽河和松花江等七大江河的中下游地区, 尤以黄河、淮河、海河和长江中下游最为严重。旱灾严重的地区也主要在黄河、淮河、海河和长江中下游地区, 其次是东北和西南地区。在新中国成立以来的半个世纪中, 虽然兴修了数以万计的大中小型水利工程, 抗御水旱灾害的能

力有了很大的提高,但由于自然因素和客观条件的变化,自20世纪80年代以来,我国水旱灾害受灾面积却呈上升趋势。根据统计资料分析,新中国成立后的50年间,全国比较严重的水旱灾害平均每三年发生一次,平均每年受灾面积2667万 $\text{hm}^2$ (4.0亿亩),占全国总耕地面积1.30亿 $\text{hm}^2$ (19.5亿亩)的20%,成灾面积1200万 $\text{hm}^2$ (1.8亿亩),占全国总耕地面积的9%。进入20世纪90年代,水旱受灾面积上升到4000万 $\text{hm}^2$ (6亿多亩),成灾面积2000万 $\text{hm}^2$ (3亿多亩),受灾面积增加,成灾率也在上升。统计资料分析表明,20世纪90年代比20世纪80年代受灾的总面积增长了24%,成灾率都在50%以上,其中旱灾的面积占总受灾面积的比重在60%以上。进入20世纪90年代,每年的受旱面积都在2666万 $\text{hm}^2$ (4亿亩)左右。每年受干旱缺水影响的粮食产量为100亿~250亿kg,受影响的工业产值高达2300亿元。据统计资料分析,1991~1998年之间发生了五次严重的洪涝灾害,每次直接经济损失高达1000多亿~2000多亿元。特别是1998年我国南方的长江与北方的嫩江、松花江发生的特大洪水,全国有2.23亿人受灾,受灾面积2120万 $\text{hm}^2$ (3.18亿亩),成灾面积1307万 $\text{hm}^2$ (1.96亿亩),直接经济损失估计达2500多亿元。中国水旱灾情在地区上最显著的特点就是南方多洪涝,北方多春旱。从统计资料分析来看,黄河、淮河、海河和长江中下游地区的国土面积只占全国总国土面积的16%,而黄河、淮河、海河地区受旱、受洪涝的面积和成灾面积都分别占全国受旱、受洪涝和成灾面积的50%左右;长江中下游地区受旱和受洪涝的面积则分别占20%和30%左右。目前中国抗御水旱灾害的能力仍然较低,一般只能防御常遇洪水。水旱灾害频繁仍然是中国生存与发展、国家安定和可持续发展的制约因素,也是影响生态环境的主要因素。

#### 1.2.4.2 水资源严重短缺

中国是一个人均淡水资源严重短缺的国家。新中国成立半个世纪以来,兴修了数以万计的水利基础设施,1997年全国总供水能力已达到5623亿 $\text{m}^3$ ,同年实际用水总量为5566亿 $\text{m}^3$ ,其中农业用水量占70.4%左右,全国人均用水量只有458 $\text{m}^3$ 。根据用水的现状分析,全国实际总缺水量在300亿 $\text{m}^3$ 左右,其中农业缺水占80%。不少地区由于超采地下水,已造成地下水位逐年下降、地面沉降。北方干旱、半干旱地区和许多城市严重缺水,缺水城市主要集中在华北和沿海地区。

黄河断流是北方地区水资源短缺的集中表现。由于黄河来水量的减少,两岸工农业用水增长加快,用水浪费和缺乏统一管理等原因,黄河于20世纪70年代初开始出现了断流现象,进入20世纪90年代以来,黄河断流越来越频繁,几乎每年都出现断流,而且断流时间越来越长,断流河段也不断上延。1997年断流时间最长已达226d,断流河段已上延至开封,断流河段长达704km。黄河流域是举世闻名的严重水土流失地区,生态环境十分脆弱,黄河断流将使这些地区的生态环境更加脆弱。

#### 1.2.4.3 水污染严重

我国水域污染严重,据1997年中国环境状况公报:我国七大水系、湖泊、水库、部分地区地下水和近岸海域均受到不同程度的污染。1997年全国废水排放总量高达584亿t(不包括火电直流冷却水)。总体来看,七大江河水系,长江、珠江和黄河干流水质尚可,淮河干流和松花江水质较1996年有所好转,但污染仍很严重,海河、滦河和辽

河水质较差。湖泊水库的污染相对较轻,大淡水湖泊和城市湖泊均为中度污染。全国90%以上的城市水域受到不同程度的污染,城市河流受污染程度北方重于南方。工业较发达的城镇附近的水域污染突出。污染型缺水城市的数量呈上升趋势。近岸海域的污染在东海、渤海、黄海和南海四大海区中,东海污染较重。目前由于天然水质不良,我国国民生活饮用水的状况令人十分担忧。据有关方面调查,全国有近1/4的人口饮用的水质不良;有2/3的人口饮用的是受次生污染的水。水量减少、水源短缺、水质污染不仅对环境造成危害,而且直接危害人民的身心健康。

#### 1.2.4.4 水土流失和荒漠化严重

从水土流失来看,干旱缺水是自然因素的一个关键因素。中国是世界上水土流失最严重的国家之一,每年流失的土壤在50亿t以上,损失的土地在6.67万 $\text{hm}^2$ 以上,全国每年因水土流失而造成的经济损失在100亿元以上。水土流失按侵蚀营力的不同,可以分为水力侵蚀、风力侵蚀、融冻侵蚀。据水利部20世纪90年代初遥感普查结果,水力和风力侵蚀面积为367万 $\text{km}^2$ ,占国土总面积的38.2%,其中水力侵蚀面积179万 $\text{km}^2$ ,风力侵蚀面积188万 $\text{km}^2$ ,以水蚀面积分布最广。在山丘区,主要是土壤侵蚀带来的危害,称之为侵蚀区;在平原区,主要是泥沙淤积带来的危害,称之为沉积区。对侵蚀区来说,它可以使人类赖以生存的土地资源不断遭到严重破坏,侵吞农田,导致土地沙化,降低土壤肥力,加剧干旱发生,造成农作物减产。对沉积区来说,由于侵蚀区大量泥沙下泻,并淤积在江河、水库、湖泊、沟渠里,给江河治理、防洪、发电、供水、灌溉、排涝、航运、渔业甚至旅游等基础设施都会带来严重的破坏和影响,并加剧了下游地区的洪涝灾害。

引起荒漠化的自然因素主要是干旱缺水。根据联合国1994年6月通过的《防治荒漠化公约》所采用的定义,所谓荒漠化包括气候变化和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和半湿润地区的土地退化。据联合国的统计资料,全球陆地受到荒漠化影响的面积已达3618万 $\text{km}^2$ ,有10亿人生活在荒漠化地区,其中有1.35亿人口面临着失去耕地和生存条件的威胁。

从荒漠化危害来看,我国是世界上受荒漠化危害最严重的国家之一。据林业部门资料统计,中国荒漠化面积已经达到262.2 $\text{km}^2$ ,占国土总面积的27.3%,每年造成的直接经济损失在540亿元以上。1997年春季,我国西北地区沙尘暴频繁发生,特别是4月15~21日发生了一场席卷全国干旱、半干旱和半湿润地区的范围广大的强沙尘暴,新疆、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古、河北、山西西部都深受其害。

中国的水土流失和荒漠化严重地区占国土面积的一半以上。我国水土流失和荒漠化严重地区大都集中在北方。水土流失、荒漠化严重、生态环境较差、农业基础薄弱是经济落后、农民贫困的主要根源。

新中国成立半个世纪来,水土保持通过水利工程、生物和耕作措施建立了以小流域为单元,并且形成了集中连片、规模治理、综合治理、以防为主、防治结合的体系;荒漠化治理建立了以防为主、围绕“防、治、用”结合的荒漠化防治体系,水土保持和防止荒漠化工作取得了巨大成绩。1991年中国政府颁布了《中华人民共和国水土保持法》,并确定了“预防为主,全面规划,综合防治,因地制宜,加强管理,注重效益”