

SHUILI GAILUN

# 水利概论

主编 杨文利

主审 王双银



黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书内容包括水循环与水危机、中国的水资源与水利发展、水旱灾害及防治、水污染及其防治、水土流失及其防治、水利法规、水利工程、水文化与水利精神等 8 章。

本书主要为非水利类专业开设水利概论课程使用,也可供社会上关心水利的人士了解水利使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

水利概论/杨文利主编. —郑州:黄河水利出版社,  
2012. 2

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0204 - 6

I. ①水… II. ①杨… III. ①水利工程 IV. ①TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 012077 号

策划编辑:李洪良 电话:0371 - 66024331 E-mail:hongliang0013@163. com

---

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail:hhsclbbs@126. com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:10

字数:230 千字

印数:1—6 100

版次:2012 年 2 月第 1 版

印次:2012 年 2 月第 1 次印刷

---

定价:25. 00 元

# 前 言

2011 年中央一号文件明确指出:“水是生命之源、生产之要、生态之基。兴水利、除水害,事关人类生存、经济发展、社会进步,历来是治国安邦的大事。促进经济长期平稳较快发展和社会和谐稳定,夺取全面建设小康社会新胜利,必须下决心加快水利发展,切实增强水利支撑保障能力,实现水资源可持续利用。”“人多水少、水资源时空分布不均是我国的基本国情水情。洪涝灾害频繁仍然是中华民族的心腹大患,水资源供需矛盾突出仍然是可持续发展的主要瓶颈,农田水利建设滞后仍然是影响农业稳定发展和国家粮食安全的最大硬伤,水利设施薄弱仍然是国家基础设施的明显短板。随着工业化、城镇化深入发展,全球气候变化影响加大,我国水利面临的形势更趋严峻,增强防灾减灾能力要求越来越迫切,强化水资源节约保护工作越来越繁重,加快扭转农业主要‘靠天吃饭’局面任务越来越艰巨。”

“加快水利改革发展,不仅事关农业农村发展,而且事关经济社会发展全局;不仅关系到防洪安全、供水安全、粮食安全,而且关系到经济安全、生态安全、国家安全。”“要把水利工作摆上党和国家事业发展更加突出的位置,着力加快农田水利建设,推动水利实现跨越式发展。”

为了在广大青年学生中普及水利知识,使他们更好地了解我国的基本国情和水情,在非水利类专业中开设水利概论必修课非常有必要。本书就是基于此而编写的。

全书共分 8 章,主要介绍了自然界的水循环、全球水危机,中国水资源的状况,中国的水问题(洪涝灾害、干旱缺水、水污染和水土流失)及其防治,水利法规,以及水文化与水利精神等内容。

本书编写分工为:大纲由杨文利确定;第一章、第二章、第五章由杨文利编写;第三章、第四章、第七章由刘惠英编写;第六章、第八章由鲁向晖编写;全书由杨文利、鲁向晖统稿;杨文利对全书作了修改。

本书由西北农林科技大学王双银教授主审。王双银教授不仅在水利学科的各个方面有宽广而深厚的造诣,而且具有丰富的教学经验和教材编审经验。他认真而仔细地审阅了全书,提出了许多宝贵的修改意见,为全书增色不少。在此谨向他表示衷心的感谢。

由于编写水平有限,书中存在的缺点与不足在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2011 年 11 月

# 目 录

## 前 言

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 第一章 水循环与水危机 .....     | (1)   |
| 第一节 自然界的水循环 .....     | (1)   |
| 第二节 自然界的水资源 .....     | (6)   |
| 第三节 全球水危机 .....       | (8)   |
| 第二章 中国的水资源与水利发展 ..... | (14)  |
| 第一节 中国自然环境基本特征 .....  | (14)  |
| 第二节 中国水资源及分布状况 .....  | (15)  |
| 第三节 中国水利的发展与成就 .....  | (23)  |
| 第三章 水旱灾害及其防治 .....    | (27)  |
| 第一节 水旱灾害概述 .....      | (27)  |
| 第二节 中国的水旱灾害 .....     | (29)  |
| 第四章 水污染及其防治 .....     | (36)  |
| 第一节 水污染概述 .....       | (36)  |
| 第二节 中国水污染状况 .....     | (42)  |
| 第五章 水土流失及其防治 .....    | (52)  |
| 第一节 土壤侵蚀基本概念 .....    | (52)  |
| 第二节 中国土壤侵蚀概况 .....    | (55)  |
| 第三节 中国的水土保持 .....     | (61)  |
| 第六章 水利法规 .....        | (69)  |
| 第一节 水利法制体系 .....      | (69)  |
| 第二节 《水法》概述 .....      | (71)  |
| 第三节 《水污染防治法》概述 .....  | (75)  |
| 第四节 《水土保持法》概述 .....   | (80)  |
| 第五节 《防洪法》概述 .....     | (85)  |
| 第七章 水利工程 .....        | (92)  |
| 第一节 中国古代水利工程 .....    | (92)  |
| 第二节 中国现代水利工程 .....    | (103) |
| 第三节 国外著名的水利工程 .....   | (127) |
| 第八章 水文化与水利精神 .....    | (137) |
| 第一节 水文化 .....         | (137) |
| 第二节 水利精神 .....        | (147) |
| 参考文献 .....            | (153) |

# 第一章 水循环与水危机

## 第一节 自然界的水循环

水循环(water cycle)是地球上一个重要的自然过程,它通过降水、蒸散发、下渗、地表径流与地下径流等环节,将大气圈、水圈、岩石圈与生物圈联系起来,并在它们之间进行着水量和能量的交换。正是由于水循环,大气水、地表水、土壤水和地下水之间才能进行互相转化,形成不断更新的统一系统。也正是由于水循环作用,水资源才能够成为可再生资源,才能被人类及其他一切生物持续利用。

### 一、水循环现象

地球上的水以液态、固态和气态的形式分布于海洋、陆地、大气及生物体内,这些水体构成了地球的水圈。水圈中的水主要受太阳辐射和地心引力的作用而不停地运动,其主要的表现形式可以概括为降水、蒸发、径流和下渗四大类型,统称为水文现象。降水的形式有雨、雪、雾、霰、雹等,大气中的水汽凝结后以液态或固态的形式降落到地面的现象称为降水。蒸发则是水分子以水汽的形式从蒸发面逸出现象,根据蒸发面的不同可分为植物蒸腾、土壤蒸发、水面蒸发、植物散发、冰雪蒸发等。径流是指由降水形成的,在重力作用下能够沿着一定的方向和路径流动的水流,一般分为地表径流和地下径流。下渗是指地表水经过土壤表面渗入土壤的过程,是地下径流形成的关键环节。

水循环现象如图 1-1 所示。水圈中的各种水体在太阳能和大气运动的驱动下,不断地从水面(江、河、湖、海等)、陆面(土壤、岩石等)和植物的茎叶表面,通过蒸发或散发以水汽形式进入大气圈。在适当的条件下,大气圈中的水汽可以凝结成小水滴,小水滴相互碰撞合并成大水滴,当凝结的水滴大到其重力能克服空气阻力时,就在地球引力的作用下,以降水的形式降落到地球表面。到达地球表面的降水,一部分在分子力、毛细力和重力的作用下通过地面渗入地下;一部分则形成地表径流,主要在重力作用下流入江河、湖泊,再汇入海洋;还有一部分通过蒸发和散发重新逸散到大气圈。渗入地下的那部分降水,或者被土壤颗粒吸收变成土壤水,再经蒸发或散发回到大气中,或者以地下水形式排入江河、湖泊,再汇入海洋。水圈中的各种水体在太阳辐射和地心引力作用下通过这种不断蒸发、水汽输送、凝结、降落、入渗、地表径流和地下径流的往复循环过程,称为水循环,又称水文循环或水分循环。太阳向宇宙空间辐射大量热能,在达到地球的总热量中约有 23% 消耗于海洋和陆地表面的水分蒸发。平均每年有  $57.7 \text{ 万 km}^3$  的水通过蒸发进入大气,通过降水又回到海洋和陆地。水循环的空间范围上达地面以上平均约 11 km 的对流层顶,下至地面以下平均约 1 km 深处。水以各种形式往返于大气、陆地和海洋之间。

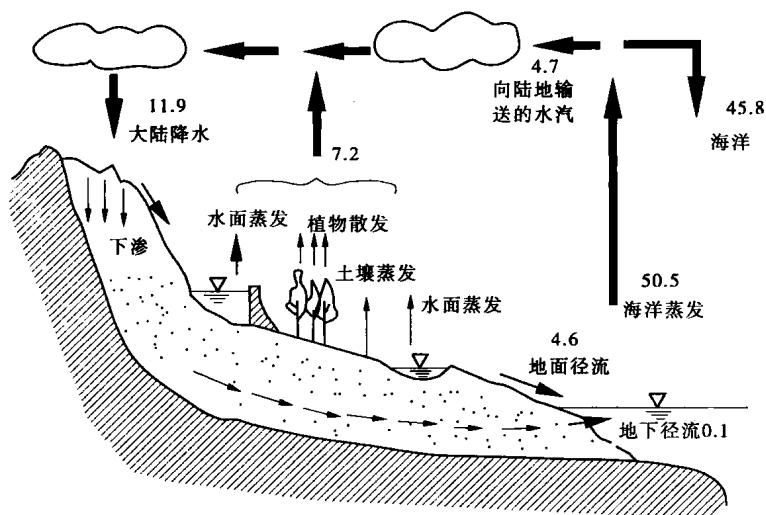


图 1-1 水循环示意图(图中数字的单位为万  $\text{km}^3$ )

全球发生水循环的主要原因有二:一是水的“三态”变化,为内因,即水在常温下就能实现固态、液态和气态之间的相互转化而不发生化学变化;二是地心引力和太阳辐射,为外因。内因是根据,外因是条件,内因通过外因起作用。水循环的发生,以上两者缺一不可。

## 二、水循环的分类

按水循环过程的整体性与局部性,可把水循环分为大循环和小循环。从海洋蒸发的水汽,被气流输送到大陆上空形成降水,其中一部分以地表径流和地下径流的形式通过河流汇入海洋;另一部分重新蒸发返回大气。这种在海洋与陆地之间的水分交换过程,称为大循环或外循环。在大循环运动中,水分一方面在地面和大气中通过降水与蒸发进行纵向交换,另一方面通过河流与地下径流在海洋和陆地之间进行横向交换。海洋从空中向陆地输送大量水汽,陆地则通过河流与地下径流把水输送到海洋里。陆地也向海洋输送水汽,但与海洋向陆地输送的水汽相比,其量很少,约占海洋蒸发量的 8%。所以,海洋是陆地降水的主要水汽来源。海洋上蒸发的水汽在海洋上空凝结后,以降水的形式降落到海洋里,或陆地上的水经过蒸发或散发凝结后又落到陆地上,这种局部的水循环称为小循环或内循环。前者称为海洋小循环,后者称为陆地小循环。小循环主要是水分通过降水与蒸发进行纵向交换。此外,在陆地小循环中还有一类特殊的小循环,称为内陆水循环,它对内陆地区的降水有着重要的作用。因为内陆地区远离海洋,从海洋直接输送至内陆的水汽量有限,通过内陆局部地区的水循环,使水汽逐步向内陆输送,这是内陆地区主要的水汽来源。由于水汽在向内陆输送的过程中,沿途会逐渐损耗,故而内陆距离海洋越远,输送的水汽量越少,降水量越小。我国比较典型的内陆水循环有塔里木河流域、甘肃黑河流域以及青海格尔木河流域。

按水循环研究尺度的不同,又可以把水循环分为全球水循环、流域或区域水循环和

水-土壤-植物系统水循环三种。全球水循环,即大循环,它是空间尺度最大的水循环,也是最完整的水循环,它涉及海洋、大气、陆地之间的相互作用,与全球气候变化关系密切。流域或区域水循环等同于流域降雨径流形成过程,以蓄满产流为例,降落到流域上的雨水,首先满足植物截留、填洼和下渗,剩余雨水形成地表径流、地下径流,汇入河网,再流至流域出口断面。流域或区域水循环的空间尺度一般在 $1 \sim 1\,000\text{ km}^2$ ,相对于全球水循环而言,它是一类开放式的水循环。水-土壤-植物系统是由水分、土壤和植物构成的三者之间相互作用的系统,其特殊意义在于将水循环与植物系统联系起来。渗入土壤的降水会被植物根系吸收,在植物生理作用下通过茎、叶等输送维持植物的生命过程,并通过叶面散发到大气中;水-土壤-植物系统水循环也是一个开放式的循环系统。

### 三、水循环的作用与意义

水循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一,它对自然环境的形成、演化和人类的生存产生巨大的影响:①直接影响气候变化。通过蒸散发进入大气的水汽,是产生云、雨和闪电等现象的主要物质基础。蒸发产生水汽,水汽凝结成雨(冰、雪),吸收或放出大量潜能。空气中的水汽含量直接影响气候的干湿冷暖,调节地面气候。②改变地表形态。降水形成的径流,冲刷和侵蚀地表,形成沟壑;水流搬运大量泥沙,可淤积成冲积平原;渗入地下的水,溶解岩层中的物质,富集盐分,输入大海;易溶解的岩石受到水流强烈侵蚀和溶解作用,可形成岩溶地貌。③形成再生资源。水循环形成巨大的、可以重复使用的水资源,使人类获得永不枯竭的水源和能量,为一切生物提供不可缺少的水分;大气降水把天空游离的氮素带到地表,滋养植物;陆地上的径流又把大量的有机质送入海洋,供养海洋生物;而海洋生物又是人类的食物和制造肥料的重要来源。同时,由水循环带来的旱涝灾害,也会给人类和生物造成威胁。

自然界水循环的存在,不仅是水资源和水能资源可再生的根本原因,而且是地球上生命生生不息、能千秋万代延续下去的重要原因之一。由于太阳能在地球上分布不均匀,而且时间上也有变化,因此主要由太阳能驱动的水文循环导致了地球上降水量和蒸发量的时空分布不均匀,这不仅是地球上湿润地区和干旱地区的区别,而且是有多水季节和少水季节、多水年和少水年的区别,甚至是地球上发生洪、涝、旱灾害的根本原因,同时也是地球上具有千姿百态自然景观的重要条件之一。水文循环是自然界众多物质循环中最重要物质循环。水是良好的溶剂,水流具有挟带物质的能力,因此自然界有许多物质,如泥沙、有机质和无机质均会以水作为载体,参与各种物质循环。可以设想,如果自然界不存在水文循环,则许多物质的循环,例如碳循环、磷循环等是不可能发生的。

### 四、我国的水循回路径

受自身地理位置及与海洋的相对位置关系、大气环流和季风的影响,我国水汽来源主要有太平洋、印度洋、大西洋、北冰洋和鄂霍次克海。基于此形成了我国特有的水文循环系统。

#### (一)太平洋水文循环

我国沿太平洋有相对长的海岸线。太平洋的黑潮暖流,流经我国东南沿海,暖流洋面



温度较高,蒸发量大,洋面上的暖湿空气受到东南季风和台风的影响,大量向内陆输送。暖湿空气到达大陆后,又与西伯利亚冷气团相遇,成为华东、华北地区的主要降水。降水分布从东南向西北逐渐递减。我国的主要流域,如松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、钱塘江、闽江、珠江以及台湾的河流,其水源主要来自该水循环的降水,所形成的径流最后又汇入太平洋。

### (二) 印度洋水文循环

印度洋是我国大陆降水的主要水汽来源之一。冬季有明显湿舌从孟加拉湾伸向我国的西南部,形成这一地区的冬季降水;夏季,由于印度洋低压的发展,盛行西南季风,把大量的水汽输送到我国西南、中南、华北以及河套以北地区,成为我国夏季的主要降水水汽来源。所形成的降水,一部分经西南地区的河流汇入印度洋,如雅鲁藏布江、怒江等;另一部分降水还参与太平洋的水循环。

### (三) 内陆水文循环

我国西北内陆地区的水循环主要为内陆水循环系统,虽然距离海洋较远,但由于高空西风盛行,地势平坦,仍有少量大西洋水汽于春季随气旋向东运行,参与内陆水循环。

### (四) 北冰洋水文循环

北冰洋水汽借助强盛的西北风随西伯利亚气团进入我国西北地区,当西伯利亚冷气团强盛时,也可深入我国腹地,因其水汽含量较少,引起的降水量不多。我国新疆北部的降水转变为额尔吉斯河径流汇入北冰洋,构成北冰洋水循环的一部分。

### (五) 鄂霍茨克海水文循环

鄂霍次克海与日本海的冷湿气团,在春夏之间由东北季风进入我国东北北部地区,降水后形成径流,经黑龙江注入鄂霍次克海。

此外,我国华南地区受热带辐合带的影响,可把南海的水汽输送到华南地区,形成降水后经珠江流入南海。

我国水循环的一个特征就是降水在空间分布上的不均匀性,表现为东多西少、南多北少,进而决定了我国水资源在空间分布上存在较大的差异。我国东南沿海地区年降水量在 1 500 mm 以上,长江流域年降水量约 1 200 mm,华北地区年降水量在 600 ~ 800 mm,而新疆的塔里木盆地年降水量在 50 mm 以下,甚至有些地方终年无雨。

## 五、人类活动对水循环的影响

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,人类对水资源的需求不断增长。虽然水文循环提供的水资源是可以再生的,但其数量毕竟有限。在工农业生产用水激增而水体污染日趋严重的情况下,水的供需矛盾日益尖锐,对水的改造活动也愈感迫切,采取的措施也就多种多样。在水利方面有水库、塘坝等蓄水工程,跨流域的调水、引水工程以及地下水开发等,农林牧方面有扩大灌溉面积,坡地改梯田,封山育林,植树造林,种植牧草等,其他还有城市化问题等。所有这些人类活动对水文循环和生态平衡都具有不同程度的影响,我们应发挥其积极有利的一面,预先估计到它的副作用,及早采取措施克服其消极的一面,以便更有效、合理地利用水资源。

由于人类活动,使得自然地理条件发生变化,从而导致水循环要素、过程、强度、水文



情势等发生变化,进而使水量平衡也发生变化。人类活动对水文循环的影响归结为两大类:①与土地有关的人类活动。这类活动多属于对水文循环的直接影响,例如森林采伐、开荒耕种、放牧、兴修堤坝和水库、拦河引水、农田灌溉、工矿交通建筑、城市化等。这些活动均会改变陆地水文循环与水量平衡过程,其影响范围多是局地性的,但随时间逐渐扩展。②与影响气候变化有关的人类活动。土地利用的改变也常常会影响局地气候,如地表反射率的改变、大面积的水库和引水灌溉会改变地区的水分与热量条件。

### (一) 人类生产生活用水对水文循环的影响

人类为了满足生活和工农业生产的需要,把水从河流或地下含水层中直接取出。其中,一部分通过排水或下渗重新回到河流或地下含水层中,一部分通过蒸发和散发成为大气水,只有一小部分返回到当地水文循环系统,从而使该区域水循环各要素的量或质的时空分布直接发生变化,这种影响在旱区尤为突出。例如,我国新疆地区气候干旱,农作物需水迫切,农田灌溉大量引水,致使许多河流季节性断流。在黄河流域,因内蒙古河套地区大量引水灌溉,出现了河套流量比上游兰州流量小的反常现象。由于大量引水灌溉,河水大量引入农田,增大了陆面蒸发,减少了河川径流,造成黄河年径流量有逐年下降的趋势。同时,随着人口的增长,城市与工业的发展,生活与工业引水量日益加大,这些因素使用水量急剧增大,以致到 20 世纪末黄河这样的大河也发生了连续数年的断流现象。城市化进程改造了自然界的陆面性质,使水文循环条件发生改变,研究表明,城市化后降水量有所增加,降暴雨的概率增大,蒸发量减少,地表径流量显著增加。这些改变给城市带来了巨大影响,尤其对城市防洪提出了更严峻的考验。

### (二) 水利措施对水文循环的影响

#### 1. 蓄水工程对水文循环的影响

为了满足人类的用水需求,人们在河流上兴建了大量的水库等蓄水工程,这些蓄水工程起到了拦蓄洪水、提高枯水径流的作用,还可改善河川径流的分配过程,使径流年内变化甚至年际变化趋向均匀,做到充分地利用河川水资源,这是有利的一面。另外,由于建库蓄水扩大了水面面积,总蒸发量增大,在一定程度上增强了陆地水文循环。由于这些工程在蓄水过程中改变了径流的运动条件,改变了水的温度状况以及水中微生物等生物的生存条件,也相应会引起水质的变化。

#### 2. 引水、调水工程对水文循环的影响

跨流域调水改变了水循环的路径,同时也改变了水循环各要素之间的平衡关系,而对水循环产生很大影响。它不仅对调出区有影响,对调入区也有不可忽视的影响。例如,我国的南水北调工程,使长江流域水量减少,使黄河、淮河、海河流域水量增加,长江流域水量减少量相对有限,而黄河、淮河、海河流域水量增加比例相对较大。因此,南水北调工程对长江的影响,如是否会产生入海口区淡水退缩及咸水的入侵、河口侵蚀量增加等负面影响都亟待研究;对黄淮海调入区而言,调入水量将缓解调入区用水紧张程度,在一定程度上补充长期超采的地下水等方面都是有利的,但是否会显著改变调入区水循环状况还有待进一步论证。

## 第二节 自然界的水资源

水资源(water resources)是自然资源的一种,广义的水资源是指地球上水的总体,包括大气中的降水、河湖中的地表水、浅层和深层的地下水、冰川、海水等。狭义的水资源是指与环境保护和人类生存与发展密切相关的、可以利用而又逐年能够得到恢复和更新的淡水,其补给来源为大气降水。

地球是一个由岩石圈、水圈、大气圈和生物圈构成的巨大系统。水在这个系统中起着重要作用,有了水,地球各圈层之间的相互关系就变得十分密切。

存在于地球各圈层中的水可以分为地表水、地下水、大气水和生物水等四部分。地表水主要指存储于海洋、湖泊(水库)、河流、冰川、沼泽等水体中的水。地下水指存储于土壤和岩石孔隙、裂隙、洞穴、溶穴中的水。大气水主要指悬浮于大气中的水汽,也包括以液态和固态形式悬浮于大气中的水。生物水是指地球上一切生物体内的水。

### 一、地球上水的储量

根据联合国教科文组织 1978 年公布的资料(见表 1-1),地球上水的总储量为 13.86 亿  $\text{km}^3$ 。其中,地表水为 136 225.4 万  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 98.288 9%;地下水为 2 340 万  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 1.69%;生物水为 0.112 万  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 0.000 1%;大气水为 1.29 万  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 0.001%,其量虽小,却是各种水体中最活跃的,大气水因降水而减少,却又通过各种水体的蒸发而得到补充,保持着动态平衡。

全球地表水主要分海洋和陆地两大部分。其中,储存在海洋中的总水量为 13.38 亿  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 96.54%;而海洋面积占地球表面面积的 71%,所以从太空看地球是蓝色的,且地球有“水的行星”之称。储存在陆地的总水量达 2 425.4 万  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 1.75%。陆地水中储存在湖泊、河流、沼泽、冰川及积雪中的淡水总量为 2 416.869 万  $\text{km}^3$ ,占全球总水量的 1.74%;其中分布在两极不能被人类直接开发利用的冰川积雪为 2 406.41 万  $\text{km}^3$ ,占地球淡水总量的 68.69%。由此可知,可被人类开发利用的淡水仅占地球总水量的 0.007 5%。

从表 1-1 可知,分布在陆地上的水量为 0.48 亿  $\text{km}^3$ ,占全球总水量的 3.46%,其中淡水占 2.53%。而分布在河流、湖泊及沼泽、地下水等水体中可被人类利用的淡水只占地球总水量的 0.014%,且主要分布在地下水中。因此可知,地球是一个水量丰富的星球,同时对人类来说又是一个资源短缺的星球。可开发利用水资源的紧缺必然制约经济社会的发展和人类文明的进步,水资源的可持续开发利用已成为人类社会可持续发展的必要前提。

### 二、地球上水的分布

世界各大洲的自然条件不同,降水和径流的差异也较大。以年降水和年径流的深度计,大洋洲各岛(除澳大利亚外)水量最丰富,多年平均年降水深达 2 170 mm,年径流深达 1 500 mm 以上。但大洋洲的澳大利亚大陆却是水量最少的地区,其年降水深只有 460

表 1-1 地球上各种水体的储量

| 序号    | 水体总类    |    | 储量(万 km <sup>3</sup> ) | 占总量的百分比(%) | 占淡水的百分比(%) |
|-------|---------|----|------------------------|------------|------------|
| 1     | 海洋水     |    | 133 800                | 96.54      |            |
| 2     | 地下水     |    | 2 340                  | 1.69       |            |
|       | 其中      | 咸水 | 1 287                  | 0.93       |            |
|       |         | 淡水 | 1 053                  | 0.76       | 30.1       |
| 3     | 土壤水     |    | 1.65                   | 0.001      | 0.05       |
| 4     | 冰川及永久积雪 |    | 2 406.41               | 1.74       | 68.69      |
| 5     | 永久冻土层   |    | 30.0                   | 0.022      | 0.86       |
| 6     | 湖泊水     |    | 17.64                  | 0.013      |            |
|       | 其中      | 咸水 | 8.54                   | 0.006      |            |
|       |         | 淡水 | 9.10                   | 0.007      | 0.26       |
| 7     | 沼泽水     |    | 1.147                  | 0.000 8    | 0.003      |
| 8     | 河网水     |    | 0.212                  | 0.000 2    | 0.006      |
| 9     | 生物水     |    | 0.112                  | 0.000 1    | 0.003      |
| 10    | 大气水     |    | 1.29                   | 0.001      | 0.04       |
| 总计    |         |    | 138 598.461            | 100        |            |
| 其中 淡水 |         |    | 3 502.921              | 2.53       | 100        |

mm,年径流深只有 40 mm,有 2/3 的面积为荒漠和半荒漠。南美洲水量也较丰富,年降水深和年径流深均为全球陆面平均值的 2 倍。欧洲、亚洲和北美洲的年降水深和年径流深都接近全球陆面平均值,而非洲大陆则有大面积的大沙漠,气候炎热,虽年降水深接近全球陆面平均值,但年径流深却不及全球陆面平均值的 1/2。南极洲降水深虽然不多,只有全球陆面平均值的 20%,但全部降水以冰川的形态存储,总存储量相当于全球淡水总量的 62%。总体而言,世界上水资源量是够用的,但全球淡水资源分布极不平衡,约 65% 的水资源集中在不到 10 个国家。世界上年径流总量超过 1 万亿 m<sup>3</sup> 的国家有巴西(6.95 万亿 m<sup>3</sup>)、俄罗斯(4.27 万亿 m<sup>3</sup>)、加拿大(3.12 万亿 m<sup>3</sup>)、美国(3.06 万亿 m<sup>3</sup>)、印度尼西亚(2.81 万亿 m<sup>3</sup>)、中国(2.81 万亿 m<sup>3</sup>)、印度(2.09 万亿 m<sup>3</sup>)等 10 个国家。而约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区却严重缺水,其中有近 30 个国家为严重缺水国,非洲占有 19 个,其中卡塔尔人均占有水量仅有 91 m<sup>3</sup>,科威特为 95m<sup>3</sup>,利比亚为 111 m<sup>3</sup>,马耳他为 82 m<sup>3</sup>,成为世界上四大缺水国。世界各大洲年降水及年径流分布如表 1-2 所示。

表 1-2 世界各大洲年降水及年径流分布

| 洲名      | 面积<br>(万 km <sup>2</sup> ) | 年降水   |                                   | 年径流   |                                   |
|---------|----------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|
|         |                            | mm    | × 10 <sup>3</sup> km <sup>3</sup> | mm    | × 10 <sup>3</sup> km <sup>3</sup> |
| 亚洲      | 4 347.5                    | 741   | 32.2                              | 332   | 14.41                             |
| 非洲      | 3 012.0                    | 740   | 22.3                              | 151   | 4.57                              |
| 北美洲     | 2 420.0                    | 756   | 18.3                              | 339   | 8.20                              |
| 南美洲     | 1 780.0                    | 1 596 | 28.4                              | 661   | 11.76                             |
| 南极洲     | 1 398.0                    | 165   | 2.31                              | 165   | 2.31                              |
| 欧洲      | 1 050.0                    | 790   | 8.29                              | 306   | 3.21                              |
| 澳大利亚    | 761.5                      | 456   | 3.47                              | 39    | 0.30                              |
| 大洋洲(各岛) | 133.5                      | 2 704 | 3.61                              | 1 566 | 2.09                              |
| 全球内陆    | 14 902.5                   | 798   | 118.88                            | 314   | 46.85                             |

注:资料来源于《中国大百科全书》(水利卷),1992。

第三节 全球水危机

一、全球水危机概况

水资源缺乏、水生态环境恶化和因缺水引发的冲突是构成当代严重威胁人类生存与发展的水危机的三大方面。

(一) 水资源缺乏

据联合国公布的数据,全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍,其增长速度是人口增速的 2 倍。联合国教科文组织认为,目前地球上淡水资源总体充足,但分布不均,约 65% 的淡水资源集中在不到 10 个国家,而约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区严重缺水。另外,由于管理不善、环境变化及基础设施投入不足等,全球约有 1/5 的人无法获得安全的饮用水,40% 的人缺乏基本卫生设施。据统计,全世界有 100 多个国家和地区缺水,严重缺水的已达 40 多个。

《国际人口行动》提出的“可持续利用的水”(sustaining water)报告中,采用瑞典水文学者 Mailin Falkenmark 提出的水紧缺指标(water stress index,其中提出并为国际上一般承认的标准是人均水资源小于 1 700 m<sup>3</sup> 为用水紧张的国家),对全球人均水资源量变化趋势作了预测:如果人口不稳定下来,大多数用水紧张的国家将进入缺水国家的行列。水紧缺指标不是精确的界限。水的紧缺受到气候、经济发展水平、人口及其他因素影响,地区差别较大,并与节水和用水效率有关。据统计和预测,用水紧张或缺水国家及人口数为:

1990 年 28 个国家,3.35 亿人;2025 年 46~52 个国家,27.8 亿~32.9 亿人。

水也是造成大批“生态难民”的头号因素,已超过战争因素。伴随着河流流域水资源的危机而出现的“环境难民”在 1998 年达到 2 500 万人,第一次超过“战争难民”的人数。据预测,在 2025 年之前,因为水的原因而成为难民者将多达 1 亿人。另据专家估计,到 2025 年约有 30 亿人,即全球 1/3 的人没有足够的、干净的饮用水,他们中的很多人不得不挨饿,甚至有可能出现新的民族大迁移。

## (二) 水生态环境恶化

在人口增加、经济社会发展以及水资源消耗量剧增的同时,有限的水资源受到严重污染,水资源可利用量越来越少。

世界水资源委员会发表的报告指出,全世界有一半以上的大河已被污染,目前世界上只有两条大河可以被归入健康河流之列,这两条河流是南美洲的亚马孙河和位于非洲撒哈拉南部的刚果河。不仅地表水,地下水的污染也十分严重。地下水资源污染严重,而全球的液态淡水有 97% 是储存在地下水层中的,地下水是液态淡水最重要的形态,其遭受的污染通常不可逆转,不易发现且难以自净,因为地下水的循环周期为 1 400 年,与之相对应的是河水只需 16 天就能循环一次。

由于水生态环境恶化,世界的淡水系统退化非常严重,其支持人类、植物和动物生存的能力处于危险中,结果使许多淡水物种面临着数量迅速减少或灭绝的命运,而不断增加的人口也将面临水短缺问题。世界上已知的 1 万种淡水鱼中,在最近的几十年来已有 20% 的鱼种消失或处于将要灭绝的危险之中。

## (三) 缺水引发国际冲突

20 世纪是石油的世纪,大国一直在围绕石油展开争夺,而 21 世纪将是水的世纪,因为随着人口的增长,水资源将严重不足,“水之争”也将愈演愈烈。联合国的一份报告指出,50 年后水将比金子还贵,比石油更具有战略意义。如果邻国盗用本国的水资源,有关国家将不惜动用武力。北约和美国安全机构多年来已把水看做是影响安全风险因素。所以,世界水资源委员会主席萨拉杰丁说,水土资源状况严重恶化不能仅仅看做是一个环境问题,而更应看做是一个关系各国能否持续发展的关键问题。这些结论的得出都是基于这样一个基本事实,即世界水荒愈演愈烈,人类面临生存危机。

在世界军事史上,曾经有过“以水为兵”、“水攻”的许多战例,也有过为争夺水源而发生的战争。近现代水资源矛盾日益加剧,为水而战的情况时有发生。世界有 300 多条河流穿越一些国家的边界,世界人口的 40% 生活在那里。由供水而引起的纠纷使 140 个地区出现紧张局势,国际社会对此十分关心。联合国有关组织根据世界水资源情况发出警告:21 世纪的战争,很可能是以争夺水资源为主的战争。

在过去 50 年中,世界由水而引发的冲突共 507 起,其中 37 起是跨国境的暴力纷争,21 起演变为军事冲突,因水而起的用水条约共签署了 200 个。

争夺水资源已经并继续成为许多国际冲突的焦点,未来的许多战争将因水而起,“战争难民”也将增加。

## 二、全球水危机的主要原因

### (一) 用水量急剧增加是导致全球水危机的主要原因

1949 ~ 1990 年,全球人口从 23 亿人增长到 53 亿人,增长了 1 倍多,但人均用水量从  $400 \text{ m}^3/\text{a}$  增加到  $800 \text{ m}^3/\text{a}$ ,也增加了 1 倍,因此全球用水量增加了 4 倍。据估算,到 2050 年,世界人口可能超过 100 亿人,鉴于全世界每年实际可重复利用的水资源仅为  $1\,400 \sim 9\,000 \text{ km}^3$ ,这就意味着全世界的用水量要想再翻两番是不可能的。

### (二) 水质污染和用水浪费

世界人口增长、城市化和工农业生产规模的扩大,在大量消耗淡水的同时,又污染了有限的淡水资源,恶化了人类的生存环境。据联合国有关机构统计,全世界每年有多达上千万吨的  $\text{Se}_2\text{O}_3$  等有害物质污染着全球的江河湖海。全球 1/10 的河流受到不同程度的污染。发展中国家的城市所产生的工业和人类废弃物,仅有 5% 左右得到处理,其余的废物(包括工业产生的有毒和危险的副产品)大多随处弃置,从而对土壤、河流和地下水造成了严重污染,使大量淡水无法利用。另外,农业灌溉用水的有效利用率不到 50%、工业用水重复利用率低、城市供水系统渗漏等问题也造成了淡水资源的很大浪费,加剧了水资源的短缺。

### (三) 城市用水集中,水资源供给由农村不断向城市集中

人口城市化是现代社会发展的重要趋势之一。据联合国预测,世界城市人口占总人口的比例,将从 1950 年的 25% 增加到 2050 年的 60%。城市生活用水量比农村大很多,城市化的结果使水资源消耗不断向城市集中,改变了水资源供需的区域布局,导致某些地区的供水和卫生状况更加恶化。

### (四) 森林植被减少

世界许多地区都存在对森林的乱砍滥伐现象,据世界观察研究所 1998 年 4 月估算,全世界每年至少有  $1\,600 \text{ 万 hm}^2$  天然林被夷为平地。目前,赤道圈内的雨林已减少了 32% 以上,西欧自罗马帝国时代以来 2/3 的天然森林已经消失,非洲在过去 100 年间森林减少一半以上,而“地球之肺”亚马孙地区,仅仅在过去 10 多年就毁掉了  $40 \text{ 万 hm}^2$  的森林。大片森林丧失,使得自然界气候调节能力降低,引起土壤侵蚀,削弱了涵养水源的功能,加重了水旱灾害,对生态和水环境造成灾难性影响。

### (五) 水资源管理分割

一些国家已经认识到在国际河流、湖泊和地下水的管理上必须通力合作,但仍有很多国家不接受国际社会制定的各种约束和规定,造成水资源管理的分割。这些国家以本国的利益为目的,不计后果地过度开发、利用和污染地表水与地下水,加剧了另外一些地区的水危机。

联合国教科文组织在最新公布的《世界水资源开发报告》中认为,导致目前全球水危机的主要原因是管理不善。主要存在的问题有以下几个方面。

#### 1. 水资源浪费严重

世界许多地方因管道和渠沟泄漏及非法连接,有多达 30% ~ 40% 甚至更多的水被白白浪费掉了。

## 2. 发展中国家水资源开发能力不足

水是创造能源的重要资源。欧洲开发利用了 75% 的水力资源。然而在非洲,水力资源开发率很低,60% 的人还用上不了电。

## 3. 用于水资源的财政投入滞后

近年来用于水务部门的官方发展援助平均每年约为 30 亿美元,世界银行等金融机构还会提供 15 亿美元的非减让性贷款,但只有 12% 的资金用在了最需要帮助的人身上,用于制定水资源政策、规划和方案的援助资金仅占 10%。

联合国教科文组织在《世界水资源开发报告》(第 2 版)中指出,全球水资源危机基本上可以说是一场公共管理体系的危机,这个体系“决定了哪些人、在什么时候、通过何种方式、能够得到什么样的水,并且决定了哪些人有权得到水资源以及相关服务”。

# 三、国际社会关注全球水危机

全球水危机已经引起了国际社会的广泛关注,国际社会也开始采取行动。早在 1972 年,联合国第一次环境与发展大会就指出:“继石油危机之后,下一个危机是水”。

1977 年,联合国召开世界水会议,要求把解决水资源短缺问题提到全球战略高度考虑。大会通过的《世界淡水资源综合评价报告》中提出警告:若不采取适当措施,2050 年全球 2/3 的人口将缺乏淡水资源,并将危害经济、农业、生态环境,造成公共卫生和粮食供应危机。

1988 年,世界环境与发展委员会(WCED)提出的一份报告中指出:“水资源正在取代石油而成为全世界引起危机的主要问题。”1998 年,联合国教科文组织总部召开“水与可持续发展”国际会议,围绕全球淡水资源开发及管理存在的问题,提出 2000~2010 年的“优先行动计划”。该计划主要包括三个部分:①改善淡水资源使用情况信息的收集,促进淡水资源信息的国际合作,以便进行持久管理;②强调淡水资源管理立法,提高水资源管理机构和管理人员的能力;③制定淡水资源可持续管理战略及财务计划。

为了水资源的可持续利用,必须维护流域生态系统的健康运行,国际上提出社会经济用水量不得超过河流总水量的 40%。

1991 年,国际水资源协会(IWRA)召开的第七届世界水资源大会提出“在干旱或半干旱地区国际河流和其他水源地的使用权可能成为两国间战争的导火线”的警告。

1992 年,联合国在爱尔兰首都都柏林召开“水与环境”国际会议,提出水资源综合开发和管理的四大原则:①要把发展人类社会和经济,以及保护人类赖以生存的自然生态系统视为一个整体,而水则是维持一切生命的基础,应当遵循现在的生态系统;②水资源的开发和管理及其工作安排应该重视公众参与;③确认妇女在管理水和保护水方面的关键作用;④水资源应该作为有经济价值的商品来管理。同年,联合国在巴西里约热内卢召开“环境与发展”大会,通过并签署了《21 世纪议程》,其中水资源开发、管理和利用的综合办法中提到:“淡水是一种有限资源,不仅为维持地球上的一切生命所必需,且对一切社会经济部门都具有生死攸关的重要意义。”

2000 年 3 月在荷兰海牙召开了第二届世界水论坛部长级会议,来自 165 个国家和地



区的代表承诺,在 2015 年以前将无法得到洁净水的、没有适当卫生条件的人数减少一半。与会代表签字承诺,要推进在使用边界水资源方面的和平合作,并努力建立起既能反映全部成本又考虑穷人需要的用水收费制度,并表示支持联合国制定的一套方法来衡量在实现上述目标方面取得的进展。会议通过了《海牙宣言》,并确定了今后数年国际水理事会的行动目标。

2001 年 7 月,在荷兰阿姆斯特丹由国际地圈生物圈计划(IGBP)、国际人文计划(IHDP)和世界气候研究计划(WCRP)联合举办的“全球变化科学大会”,以及 2001 年在荷兰马斯特里举办的第六届国际水文科学大会,均提出“变化环境下的水资源形成与演化规律”和“变化环境下水文循环”观点,并成为 21 世纪水科学研究的热点。

2002 年 9 月在中国北京召开了“变化环境下水资源脆弱性国际学术研讨会”,会上就“变化环境下的水循环、水资源的可再生性、水资源脆弱性评价的理论和方法”等方面进行了讨论和交流。

#### 四、各国对水危机的主要对策

##### (一)控制人口增长

20 世纪末,全球人口 60 亿时,许多地区出现了水危机,2050 年全球人口达 100 亿时,人类将面临全球性水资源短缺的灾害。控制人口增长可缓解对水资源的需求压力。

##### (二)重新评价水的经济价值

把水资源视做具有经济价值的稀缺资源来管理,实现以“水价制量”的水价政策,促进社会节约用水。

合理的用水价格有利于鼓励保护水资源、制止浪费,有助于鼓励采取合适的技术措施和水的再利用,鼓励按科学方法用水。水的价格在很多国家,特别是在一些发展中国家被定得很低,有的甚至是免费使用,这是造成水资源浪费严重的重要根源。所以,要通过合理的价格让人们知道水是一种商品,而且将成为一种珍贵商品,而不是像空气一样的“免费物品”。确定合理的用水价格还意味着取消各种用水补贴,补贴也是各种浪费水行为的根源之一。世界水事委员会建议,致使浪费的普遍用水补贴应该取消,代之以能使投资取得可观收益的水费,而以个别补贴帮助穷人。坚持“污染者缴费,使用者缴费”的原则。对贫困人口的帮助应该明确目标,而不是向所有人都发补贴。

##### (三)大力推广节水技术

发展节水和合理用水科技,全面改进传统的工农业用水方式,调整产业结构,提高用水效率,这是世界水资源管理的重要发展趋势。

技术开发对合理用水具有至关重要的意义。生产 1 kg 纸张就需要用水 200 L,但先进的系统能使这一数字降至 40 L。在灌溉时 60% 的水是通过喷灌设备蒸发掉了,但地下滴灌的做法却可以使水的利用率提高到 95% 以上。人类亟待改进的用水技术很多,例如,在农业灌溉方面,可以通过改进灌溉技术、强制缩减用于灌溉的水量等措施来减少灌溉方面的浪费。

##### (四)废污水资源化,洪水资源化

城市处理废污水,用于工业循环用水,既可减少淡水的消耗,又可保护环境,逐步做到

工业用水零增长。此外,对高浓度污水进行处理,用于农业灌溉,成为各国农业灌溉的又一发展趋势。

洪水资源化,就是要利用洪水自身有利的一面,通过综合治理手段,依靠对洪水资源的科学分配调度,实现洪水向资源的转化;通过洪水从水资源丰沛地区或相对过剩地区向水资源缺少地区的转移,提高洪水的经济价值,促进社会经济的持续发展。

#### (五) 开辟水源,海水淡化

海水淡化是开拓人类新水源的重要途径。在地球上,97%的水来自海洋,而全球人口的70%居住在离大海不到80 km的地方,所以海水淡化如今已被看做未来解决水问题的途径。技术上的一些改进已使海水淡化显示出光明的前景。

目前全球已有1.5万余座海水淡化厂,其中中东国家的海水利用发展最快,已能满足当地居民近2/3的生活用水需要。

#### (六) 加强水资源管理的国际合作

大多数与水量和水质有关的问题特别是国际河流和国界河流,需要各国政府加强对话,广泛考虑社会生态和经济因素以及各种需要,达成共识,采取一些国家和地区之间的联合行动,保证水资源更为合理地分配。

世界水事委员会建议,通过建立用户委员会,使水资源使用者同政府一样拥有发言权,并设立水资源创新基金,以鼓励人们为水资源的利用提供建设性意见,彻底改革解决水资源拥有权和使用权纠纷的机制,从法律和制度方面加强对全球水资源的保护。各国都应遵守有关水资源利用方面的国际公约,对水资源统筹利用,从生态角度考虑使用水资源的问题,遵循“有偿使用”的原则,以此促进经济发展。