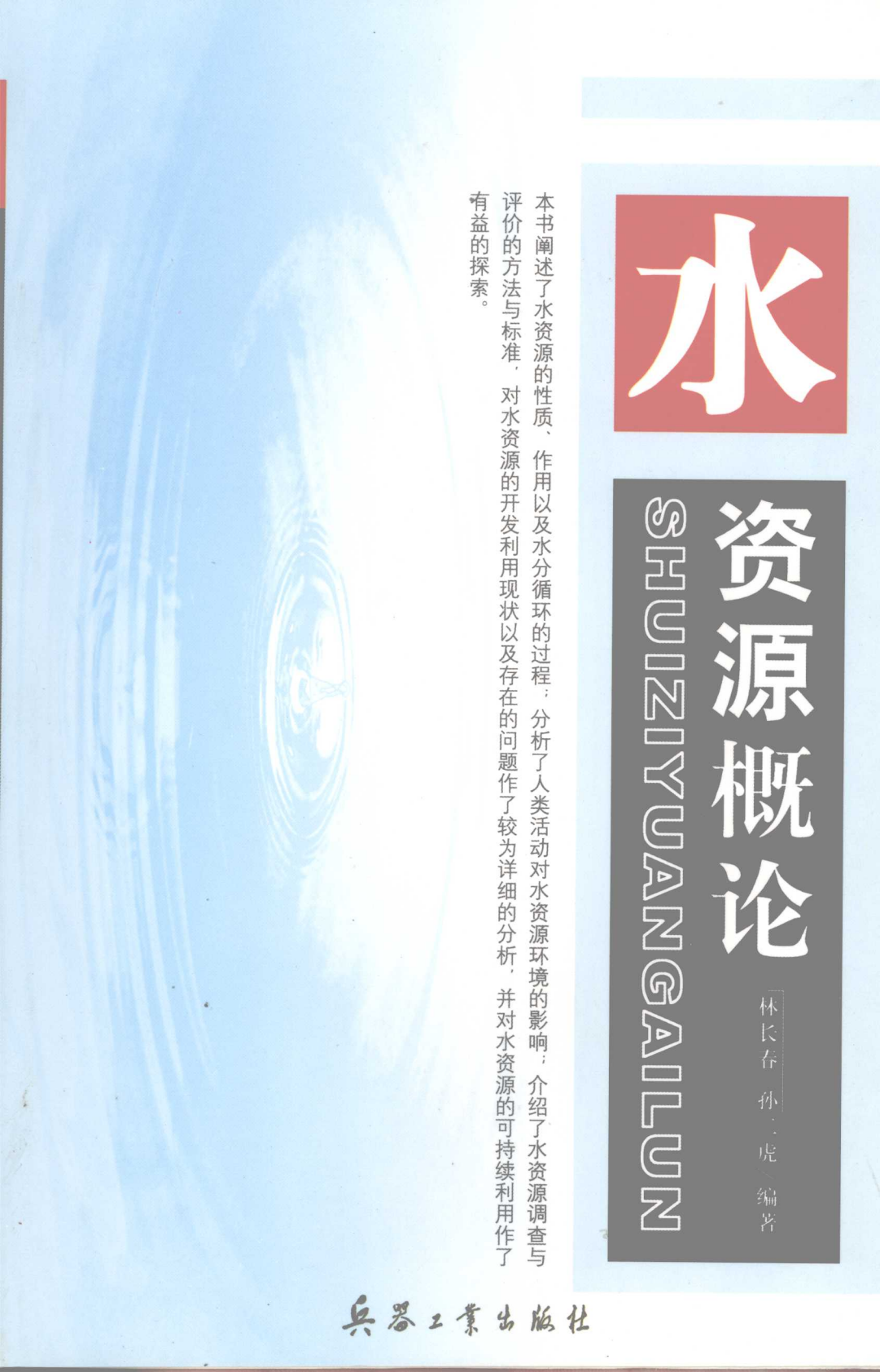




水

资源概论

SHUIZIYUANGAILUN

林长春 孙二虎 编著

本书阐述了水资源的性质、作用以及水分循环的过程；分析了人类活动对水资源环境的影响；介绍了水资源调查与评价的方法与标准；对水资源的开发利用现状以及存在的问题作了较为详细的分析；并对水资源的可持续利用作了有益的探索。

兵器工业出版社

水资源概论

林长春 孙二虎 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书阐述了水资源的性质、作用以及水分循环的过程;分析了人类活动对水资源环境的影响;介绍了水资源调查与评价的方法与标准,对水资源的开发利用现状以及存在的问题作了较为详细的分析,并对水资源的可持续利用作了有益的探索。

图书在版编目 (CIP) 数据

水资源概论/林长春, 孙二虎编著. —北京:
兵器工业出版社, 2007.11

ISBN 978-7-80172-905-7

I. 水… II. ①林…②孙… III. 水资源—概论
IV. TV211

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113433 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京业和印务有限公司

版 次: 2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

责任编辑: 周宜今

封面设计: 揽胜视觉

责任校对: 郭 芳

责任印制: 赵春云

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16

字 数: 300 千字

定 价: 36.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

水是自然环境中最活跃的因子之一，又是生命活动的物质基础，是人类赖以生存发展的最宝贵的自然资源。水资源概论着重阐述地球表面水资源的性质、特征、分布、运动变化规律、调查评价、开发利用及其可持续发展规律的科学。自然界的水总是以一定的水体形态存在，如江河，湖泊，海洋、地下水等，各种水体均通过蒸发、水汽输送、降水、地面和地下径流等方式紧密联系，相互转化、不断更新，并渗透到地球的各个自然圈层，成为四大圈层联系的纽带，组成一个庞大的水循环动态系统。水在地理环境中的作用，就是通过水循环实现的。水分循环是一切水体存在的前提和保证，是物质与能量储存、流通、转化的载体，是水资源概论研究的重要内容。

水是生命的基础，“水利是农业的命脉”，水是工业的食粮，这说明水的作用很大。“人可三日无粮，不可一日无水。”早已为人类实践所证实；一切农作物的生长都离不开水，要想保证农业高产稳产，农田中必须经常保持农作物生长所必需的水分；工业在生产过程中也都离不开水。所以水是人类不可缺少的宝贵自然资源，在人类生活和生产活动中水具有非常重要的作用。但是，水能载舟，亦能覆舟，人若掌握了它的规律，利用它，就可造

福人类。反之,就会给人类带来严重的灾难。所以,水资源的分布、运动和变化深刻地影响着城乡生活供水,农业生产建设、工矿和港口建设,交通运输建设以及人民生命财产的安全。因此,大力开展水文水资源的研究,对我国经济建设具有重大的促进作用。随着水资源开发利用的规模日益扩大,人类活动对水环境的影响明显增强,大规模的人类活动干扰了自然界的水循环过程,改变着各个水体的性质,因此,人类活动对水环境的反馈效应、水资源开发利用的研究以及水资源的可持续发展,自然成为当今水资源学科研究的重要内容。

由于计算机技术的进步与普及,使水资源研究出现了许多新的理论与方法,使水资源问题的研究深度与广度不断拓展。可以说,在20世纪水资源学经历了由发展到成熟的过程,人们对水资源问题的理解和认识不断加深,并从一个点、一个工程所控制的流域上的局部问题,向面上扩展,向水资源整体扩展。从只是为适应具体工程的需要而被动地提供水量,转向要从水资源的整体情况出发,按照社会和经济的条件和可能,合理配置水资源,以约束工程的布局 and 规模。但是由于社会快速发展、人口急剧增加、资源开发和环境保护的矛盾仍未有效解决。21世纪的今天,人类还在面临更加严峻的水资源形势,水资源问题仍将是一个十分核心的社会甚至是政治问题,摆在我们面前的水资源工作任重道远,需要随时总结过去,面对未来,使水资源的合理开发利用和可持续发展理论,成为人类社会和经济可持续发展的保障。

为此,长时间以来我们一直构思,在不断积累资料的基础上,经过初步整理,写出了《水资源概论》一书,作为尝试和探索。但是水资源学是当前发展较快的新科学,在实践中新的问题不断涌现,人们也为此不断提出新的解决办法,因而在写作过程中,无论对水资源的内容还是体系结构或方法,都作了比较大的补充和改进。

水资源科学不是简单的技术科学,在研究中,努力将自然科

学、社会科学和技术科学有机结合,加强管理、加大宣传力度、力求广大的群众参与进来,增强全民的节水、保水意识,将是今后的工作方向。中国具有悠久的用水和治水经验,在 21 世纪又面临着水资源对我们国家的发展和人民生活安定的最大挑战,水资源研究应当在这块土地上结出更加丰硕的果实。

本书的目的实际上只是抛砖引玉,希望能引起更多的关心水资源学成长和壮大的学者同仁积极参与研究队伍中来,在大家的共同努力下,通过大量的实践检验,去粗取精、去伪存真,不断丰富、完善水资源学科理论。以期在解决水资源问题和指导实践中起到更大的作用。由于作者的水平有限,书中谬误难免,望广大读者特别是同行给以批评指正。

特此致谢。

作者

2007 年 5 月

目 录

MULU

第一章 水资源概述	1
第一节 水资源的概念和特点	1
第二节 水资源的性质和作用	5
第三节 海洋水资源	10
第四节 陆地水资源	35
第二章 水资源的更新——水分循环	78
第一节 水分循环	78
第二节 水量平衡	81
第三节 降水、蒸发、输送、下渗、径流	84
第三章 人类活动对水资源环境的影响	114
第一节 人类活动的水文效应	114
第二节 人类活动对水体水质的影响	127
第四章 水资源的调查与评价	140
第一节 水资源调查与评价概述	140

● 水资源概论

第二节 水资源基础评价	146
第三节 水资源利用评价	159
第四节 水环境评价	165
第五章 水资源的开发利用	180
第一节 水资源开发利用现状	180
第二节 未来水资源需求分析	199
第三节 水资源开发利用中存在的问题	221
参考材料一	239
参考材料二	246
第六章 水资源的可持续发展	251
第一节 可持续发展概述	251
第二节 水资源的可持续发展	253
附录一 与水资源有关的活动	264
附录二 附表	266
附录三 附图	271
参考文献	272
后记	273

第一章 水资源概述

自从人类在地球上出现，就为了其自身的生存和发展而不断地和水打交道，认识到人和水的关系具有两重性：一方面要与水引起的灾害作斗争，另一方面则不断发现和利用水的各种功能，开发利用各种水体。长期以来，人们一直以为水是上天所赐，取之不尽、用之不竭。20 世纪以来，随着人口的快速增长，给水、灌溉、发电、航运都在发展，各类用水量大增。在科学技术不断进步的推动下，人类开始大规模地利用各类工程措施来控制水流、蓄水兴利，采用先进的钻探技术大范围开采地下水，各类水利工程大量兴建，一些本来水资源条件比较脆弱的地区，相继出现水供需紧张或水危机，直到这时，人类才开始从资源的角度来审视水。随着人类对水资源的滥采滥用和过度开发带来对环境和生态的危害，大量用后排放的废污水进一步污染水环境，并威胁到水源的安全，危及人类的生存等，水资源问题日益突出，人类开始觉醒。水是全球环境中十分重要且十分活跃的因素，通过全球水文循环赋予物质和能量活动的动力，水是有关国计民生的重要资源。

第一节 水资源的概念和特点

一、水资源概念

水资源名词最早出现于正式的机构名称，是 1894 年美国地质调查局（USGS）内设立水资源处（WRD）并一直延续到现在，在这里水资源是和其他自然资源一道作为陆面地表水和地下水的总

称，而水资源处的业务范围主要是地表河川径流和地下水的观测以及其资料的整编和分析等，但其业务并未包括覆盖地球表面面积约71%的、总量占全球水储量约96%的海洋水。从《不列颠百科全书》中由原苏联加里宁（K.P.Kalinin）撰写的条目“水资源”了解到，加里宁解释水资源的定义是“自然界一切形态（液态、固态和气态）的水”。由于《不列颠百科全书》的权威性，这个解释曾在许多地方被引用。但在1963年英国国会通过的“水资源法”中，却定义水资源是“具有足够数量的可用水源”，即自然界中水的特定部分。而联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）在1988年则定义水资源是：“作为资源的水应当是可供利用或有可能被利用，具有足够数量和可用质量，并可适合某地对水的需求而能长期供应的水源”。在中国对水资源一词的理解也各有不同。

具有一定权威性的《中国大百科全书》的不同卷中出现了不同解释，如在“大气科学·海洋科学·水文科学”卷中对水资源的定义是：“地球表层可供人类利用的水”，而在“水利”卷中则依照《不列颠百科全书》中的提法，定义水资源为“自然界各种形态（气态、液态或固态）的天然水”，并把可供人类利用的水作为“供评价的水资源”，但多数人都认为可被利用这一点，应当是水资源具有的特征，而不是泛指地球上一切形态的水。可供利用就意味着水源应当是可靠的，具有一定数量的，且可通过自然界水文循环不断更新补充的水，因此其补给来源是大气降水。

综合而言，作为维持人类社会存在并发展的重要自然资源之一的水资源，广义是指水圈的水量总体、水域和水能资源。水资源以大气水、海洋水、河流水、湖泊水、水库水、冰川积雪、冻土水、地下水、生物体含水等各种形态存在。由于目前海水和其他咸水体能被直接利用的数量很小，两极冰盖和永久冻土中的水、岩石中的结晶水等也极少被利用，因此，狭义的水资源主要指目前能够被人类开发利用的淡水资源。联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）把水资源定义为：可供利用或有可能被利用，具有足够数量和可用质量，并可适合某地对水的需求而能长期供应的水

源。其中，河流水因其易于开发利用，又能在短期内得到更新交替而最为重要。所以一般来说，河流径流总量是一个地区水资源多寡的重要标志。

二、水资源的特点

与自然界其他资源相比，水资源具有显著的四个特点。

1. 循环再生性和有限性

水资源与其他资源不同，在水文循环过程中使水不断的恢复和更新，属可再生资源。水循环过程具有无限性的特点，但在其循环过程中，又受太阳辐射、地表下垫面，人类活动等条件的制约，每年更新的水量又是有限的，而且自然界中各种水体的循环周期不同，水资源恢复量也不同，反映了水资源属动态资源的特点。所以水循环过程的无限性和再生之补给水量的有限性，决定了水资源在一定限度内才是“取之不尽，用之不竭”的。在开发利用水资源的过程中，不能破坏生态环境及水资源的再生能力。

水资源通过水循环可不断更新，这是水资源区别于其他资源的重要标志，因此水资源的储量可以从动、静两方面来看。

2. 时空分布的不均匀性

在生物圈内，水呈气态、液态和固态分布在海洋、陆地的表面、地表以下的岩石和大气层内。全球降水呈现出明显的区域性差异，而许多地区在较长的时期内降水又明显的具有季节性变化，这使得世界上水资源的时空分布很不均匀，如图 1-1 所示。

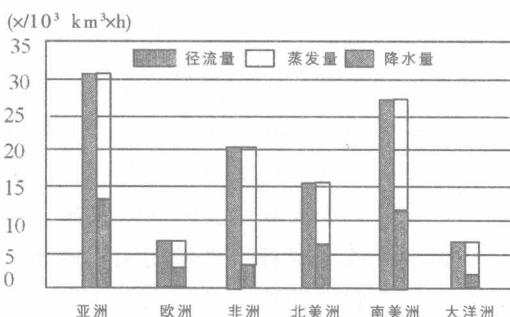


图 1-1 世界各大洲径流量、蒸发量、降水量对照

一些国家和地区较丰富，而另一些国家和地区则比较贫乏；在一个地区，某个季节可能径流丰富，另一个季节则径流很少。水资源的时空分布规律一般是：降水量大、水循环活跃的地区，水资源丰富；降水量小、水循环不活跃的地区，水资源缺乏。

全球河川径流总量为 468 000 亿 m^3 ，陆地平均径流深为 314mm。我国是水资源较为丰富的国家，多年平均径流量为 2 638 万亿 m^3 ，居世界第六位；平均径流深为 276mm，低于世界陆地平均数；但人均占有水量尚不足 2.400 m^3 ，约为世界平均数的 1/4，俄罗斯的 1/7，美国的 1/5，因此我国又是水资源相对贫乏的国家。受降水等各种自然因素的影响，我国水资源的时空分布也是很不均匀的。我国年径流量的空间分布大致与年降水量的分布趋势相似，自东南向西北逐渐递减。南方水量丰沛，西北及华北干旱缺水，东南沿海地区年径流深大于 900mm，而在西北部的沙漠边缘年径流深小于 10mm。长江及其以南地区的河流径流量占全国总量的 82%，而黄、淮、海三大流域的径流量仅占全国总量的 6.6%。在时间分布上，我国夏季降水丰沛，径流多，冬季降水少，径流少，尤其是华北等地，冬春径流贫乏，常引起干旱。此外，径流量的年际变化也较大，且越是干旱的地区变化越大。华北地区的一些河流，丰、枯年的水量相差达十倍或数十倍。

时空分布的不均匀性，使我国成为洪涝干旱频繁发生的国家。为了解决这一问题，多年来，我国进行了各种类型和规模的水利建设，如拦河筑坝建库，设置排洪渠道，进行跨流域调水，开发地下水等。这些措施在一定程度上减轻和消除了洪涝、干旱的威胁，缓解了用水矛盾，在国民经济中发挥了巨大效益。但问题远没有根本解决，仍需进一步采取切实可行的措施，合理开发利用水资源。

作为水资源主要补给来源的大气降水、地表径流和地下径流等都具有随机性和周期性，其年内与年际变化都很小，它们在地区分布上也很不均衡，有些地方干旱水量很少，但有些地方水量又很多而形成灾害，这给水资源的合理开发利用带来很大的困难。

3. 利用的广泛性和不可代替性

水资源是生活资料又是生产资料，在国计民生中用途广泛，各行各业都离不开它。从水资源利用方式看，可分为耗用水量和借用水体两种。生活用水、农业灌溉、工业生产用水等都属于消耗性用水，其中一部分回归到水体中，但量已减少，而且水质也发生了变化；另一种使用形式为非消耗性的，例如，养鱼、航运、水力发电等。水资源这种综合效益是其他任何自然资源无法替代的。此外，水还有很大的非经济性价值，自然界中各种水体是环境的重要组成部分，有着巨大的生态环境效益，水是一切生物的命脉，不考虑这一点，就不能真正认识水资源的重要性。随着人口的不断增长，人民生活水平的逐步提高，以及工农业生产的日益发展，用水量将不断增加，这是必然的趋势。所以，水资源已成为当今世界普遍关注的重大问题。

4. 利与害的两重性

由于降水和径流的地区分布不平衡和时程分配的不均匀，往往会出现洪涝、旱碱等自然灾害。开发利用水资源目的是兴利除害，造福人民。如果开发利用不当也会引起人为灾害，例如，垮坝事故、水土流失、次生盐渍化，水质污染、地下水枯竭、地面沉降、诱发地震等，也是时有发生。水的可供开发利用和可能引起的灾害，说明水资源具有利与害的两重性。因此，开发利用水资源必须重视其两重性这一特点，严格按自然和社会经济规律办事，达到兴利除害的双重目的。水资源不只是自然之物，而且有商品属性。一些国家都建立了有偿使用制度，在开发利用中受经济规律制约，体现了水资源的社会性与经济性。

第二节 水资源的性质和作用

一、水资源的性质

1. 水是一种自然资源

水是许许多多的自然资源之一，但是，它所具有的与众不同的

特性值得考虑。这些特性会确定怎样利用这种资源，同时也将影响对这种资源进行管理的性质和对它的应用进行监测的方式。

水是少数几种可再生资源之一。“水循环”意味着重新开始，不过，循环一次历时多长，不同地区变化很大。水与大多数矿产资源不同，在历史的时间框架范围内，矿产资源一经开采，就不能再生。水是流动的。从大气层到地球，周而复始地不断循环，成为再生资源。水可以流动这一事实意味着它可从一个政治管辖区移动到另一个政治管辖区。因为上游用与不用水将影响下游河段的水量 and 水质，所以水可流动的特性是产生对水这种资源的管辖权的许多问题的根源。液相水和固相水的流动限于流域的范围内，一个流域的水流情况如何，通常与另一个流域的水流情况如何没有直接关系，除非跨流域调水。因此，一块陆地上水的管理与另一块陆地上水的管理没有直接关系。这与空气的流动不同，一个地方排放到大气中的污染气体相当快地与大气混合影响广大地区，且不久影响全球。污染物的大气输送和污染物的干湿成分可能影响广大地区的水质。酸雨现象及有关污染的转移机制是人所共知的，特别是在工业化的世界。

矿物资源是固定的，分布在一些特定的地方或地区。矿物资源的所有权和开采权，通常远没有水的所有权和利用权那么复杂。

2. 水资源具有人文属性

水资源的定义是把水资源作为一种地球自然资源的属性而言的。但随着水资源问题的日益重要，水资源的人文属性逐渐显现出来，从一种单纯的自然资源，又扩展成为具有人文属性的事业。如美国于1965年通过“水资源规划法案”，同时成立了水资源理事会(Water Resources Council)，负责协调联邦政府各部门有关水资源的规划、管理和开发的工作，并定期进行全美国范围的水资源评价活动。在这里水资源就不仅仅是自然资源的一种，而是具有了一定的行业意义。于1972年由美籍华裔学者周文德倡办的国际水资源协会(IWRA)，其活动范围涉及水资源的规划、开发、管理和保护等各方面的科学技术问题，包括有关水资源的基础工作、评价、规

划、设计、施工和水资源工程的管理运行,以及防治水旱灾害、河流整治等,这和我国历来习用的“水利”业务范围基本一致。我国台湾地区于1972年出版的《中国工程师手册》中列有由冯仲豫、徐世大主写的条目“水资源规划”,提出:“以水之控制及利用为主要对象之活动,统称水资源事业,包括水害防治、增加水源和用水。”在这里完全把“水资源”作为“水利”的同义语。

从20世纪中期以来,一些管理、研究机构以水资源作为机构的定语,许多高等院校开始设立水资源专业或水资源系。围绕水资源的评价、规划、开发、利用和保护举行一系列的学术活动或业务工作,形成了以水资源为中心的行业,也为水资源学科的建立奠定了基础。

二、水资源的作用

1. 水资源在地理环境中的地位和作用

水是地理环境中分布最广泛、最重要的物质之一。水不但以各种形态遍布于地表,而且它还弥漫于空间,埋藏于地下。水又是生物有机体的重要组成部分,并参与生物的新陈代谢。人类的生命就起源于海洋,没有水,生物就不可能存在,更没有人类的出现。

天然水具有固体、液体、气体三种形态,并在一定温压条件下互相转化。同时,它又是一种很好的溶剂,能溶解多种物质。水的这种特性使其成为自然界中非常活跃的物质,它参与和促进自然界中各种物质和能量的交换,沟通和联系自然地理环境的各个圈层,使之成为整体。水广泛分布于地球表层,构成自然地理环境最基本圈层之一——水圈。

水对地表形态起着重要的塑造作用。水对地表进行侵蚀、溶蚀、搬运和堆积,塑造了多种多样的地貌形态,使地表面貌显得丰富多彩。水中还蕴藏着巨大的能量,为人类提供了永不枯竭的动力资源。

水在人类生活、生产中起着重要的作用,是人类利用最多、最广泛的资源,为工农业生产所必需。水资源的分布,常常对工农业

生产的布局起决定性作用，特别对农业生产的影响更是直接的、决定性的。

2. 水资源是生命和发展的基础

(1) 水是生命的基础

在生物圈内（包围地球的大气层，穿过海洋从地球表面向下几公里），水总是存在的。在大气层内，水以水蒸气、液滴和小冰粒的形态存在。在地球表面，它以雪、冰和液体的形态出现，而且主要以液体的形态出现。在土壤中，三种形态都有，而在较深的含水层，通常只有承压的液体。

在太阳能的驱动下，水穿过生物圈传递热量和重新分布热量，而且，因为许多化学物质能溶解于水，所以水也传递化学物质。几乎所有的生命形式依靠水，生命开始于海洋，没有水生命就会灭亡。水是把营养物质从生命系统的这一部分输送到另一部分的输送媒体。它已被比作胶浆，把生物圈的所有成员粘在一起。

生命随水量的丰缺而兴衰，因而，各种生命形式变得适应于变化着的水量。因此，不管是植物还是动物，对于可获水量的一定的变化性，都有一个生长的耐受度。在干旱时期，不能耐旱的物种可能灭亡，而在洪水时期，即水量过多的时期，生命也可能死亡。物种也变得能耐受一定的化学物品混合物的浓度。如果化学物品的混合比改变（往往在水媒质内，而且通常是由于人类的活动），那么，耐受极限可能再一次被超过，生命也将消亡。因此，所有生态系统，都是在总环境的某一具体部位各种生命形式的群集，在维持生命上都依靠具有一定速度和规律性的、保持特有的化学物质的混合物流过该系统的特定水量。当这种化学物质混合物发生改变时，那么淡水生态系统、河边系统、湖泊、湿地、河口等地区的生产能力和生物多样性都将要受到威胁。

由于水充满各个角落，而且在许多方面又是如此重要，所以在许多文化中水受到精神上的敬重。例如印度教中，弓腿蟹属是水的君主，所有河流是仁慈的体现。许多文化都认为水对于精神幸福是必不可少的，而且往往是许多旅游胜地的基础。许多河流和湖泊以

及像维多利亚瀑布或尼亚加拉瀑布壮观的风景所提供的自然美，是无价的自然遗产。另外，有许多矿泉和温泉浴场可用来减轻疾苦和治疗疾病。

(2) 水资源是发展的基础

水资源是维持自然环境的基础，同时也是维持人类活动的基础。因此，对于社会经济发展来说，它是至关重要的。

人类的各種基本需要，都非常密切地依靠具有一定质量的、足够数量的水的供应。所有食物的生产，不管是取自植物还是动物，都需要水。基本卫生标准的维持是同质量合格、数量充足的供水相联系的。据统计，发展中国家 80% 的疾病和 1/3 以上的死亡是由于消费了受污染的水造成的。防止疾病的良好环境卫生需要有充足的水。

干旱在许多亚热带地区经常出现，在许多其他地区也日益发生。干旱使得饮水供应混乱，使得环境卫生系统更难维持，也影响着农业和食物生产。缺水是第三世界发展的根本限制条件。水太多(洪水)可能破坏住房和人们赖以维持经济的各种建筑物，并造成突然的死亡和毁灭。所以，人造的最大建筑物中，许多是水坝，大部分水坝是用来调节变化很大的流量，以减轻洪水的破坏和干旱对生命的威胁的。

水是各种经济活动的基础。人类从自然系统——江河、湖泊、地下的含水层取水，所取水的约 80% 用于灌溉，工业和城市用水，数量很大。大部分从自然系统取得的水最终又回到自然系统，但是，它可能已经被污染，其理化性质也可能被改变，这就使得沿着自然途径重复利用水成为不可能或者很困难。

大量的水用于发电。水电工程不消耗水，只改变河流的水流情势，但这可能对其他经济部门造成影响。火力发电和核发电也依靠充足而可靠的水源，主要用于冷却，因而通常火电厂和核电站位于大河和大湖之滨。

(3) 水·环境·发展必须有机结合，统筹兼顾

在最近的几十年中，人们日益认识到与环境和发展有关的一切