



普通高等教育“十一五”国家级规划教材(专科适用)

工程水文及水资源

主编 崔振才 杜守建 张维圈 刁 锋

主审 沈 冰

Higher Education



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，可作为高职高专水务管理、水利工程、水利水电建筑工程、城市水利、灌溉与排水技术、农业水土工程等专业的教材。全书共分14章，主要讲述工程水文分析及水资源的基本理论和应用，并且叙述了近年来在工程水文及水资源中的某些新思想、新技术与新方法。

本书也可供其他相关专业的师生和工程技术人员使用、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程水文及水资源/崔振才等主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 专科适用
ISBN 978-7-5084-6087-1

I. 工… II. 崔… III. 工程水文学—高等学校—教材
IV. TV12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 186418 号

书 名	普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (专科适用) 工程水文及水资源
作 者	主编 崔振才 杜守建 张维圈 刁锋 主审 沈冰
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
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.25 印张 385 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	29.80 元

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

前言

水资源不足、用水紧张已成了制约地区经济发展、影响人民生活的重大社会问题。同时，地区及地区间大规模的蓄水、引水，又极大地改变了水的自然循环路径，而工业废水的大量排放更造成水质污染，形成严重的环境问题。在这种情况下，人们不仅需要了解江河水文情势的一般规律，研究开发利用水资源工程措施与非工程措施中的工程水文问题，而且还必须对各地区、各流域可利用的水资源数量、质量进行分析评价，在此基础上，进行水资源供需平衡分析与长期用水预测，并从战略高度研究水资源与社会经济的协调发展，以及如何综合开发和合理保护水资源。因此，人们不仅要研究水在自然界中的循环、平衡和变化，而且还要扩展到人类社会，去研究水资源在开发利用过程中的循环、平衡和变化以及供、需、排的综合关系。所以，工程水文与水资源密不可分，水资源水文学是工程水文学发展的历史必然。

为了适应从工程水利向资源水利转变，传统水利向现代水利、可持续发展水利转变的要求，水务管理、水利工程、水利水电建筑工程、城市水利、灌溉与排水技术、农业水土工程等专业不仅要具有为工程提供设计水文条件和一系列“参变数”的能力，而且更重要的是要针对高职高专学生的特点，如何培养其对工程的运用、管理以及水资源的合理开发利用进而充分发挥工程效益的能力。这是目前乃至今后一个较长时期内水利工程与管理需要重新考虑、重新认识的问题。正是因为如此，为适应工程水文学科发展及水利发展的新要求，编写了本教材《工程水文及水资源》。

全书共分十四章，包括：绪论，水文循环与径流形成，水文观测与资料收集，水文统计，径流分析计算及水生态环境修复，由流量资料推求设计洪水，由暴雨资料推求设计洪水，小流域设计洪水分析计算，地表水资源估算与评价，地下水资源计算与评价，水资源总量计算，水资源持续利用规划，地表水资源调控及水资源管理等内容。为了加强学生技能与能力的培养，崔振才、杜守建、王启田于2007年编写出版了《工程水文及水资源学习指导与技能训练》一书，与本教材《工程水文及水资源》可互相补充，相得益彰。

全书由崔振才、杜守建、张维圉、刁锋主编。第一、九、十、十一、十二、十四章及第二章的第二节、第五章的第四节，由山东水利职业学院崔振才编写；第五（除第四节外）、六、七、八章由山东水利职业学院杜守建编写；第二（除第二节外）、三章及第十三章的第八节由河北工程技术高等专科学校张维圉编写；第十三章（除第八节外）由山东省东营水利勘测设计院刁锋编写；第四章由安徽水利水电职业技术学院赵吴静编写。全书由崔振才、杜守建统稿。西安理工大学博士生导师沈冰教授为全书主审。

沈冰教授不仅任全书的主审，而且还在编写过程中给予了热忱的帮助和指教，在此我们谨向他表示诚挚的感谢。本教材在编写过程中还参考、引用了一些已有的教材和生产、研究单位的技术资料，除部分已经列出外，余恕未能一一注明，在此一并谨向他们致谢。

诚然，工程水文及水资源的内容十分丰富，并在不断发展。鉴于本教材“服务”的对象，有不少内容特别是水资源方面的未能写进本教材。囿于我们的水平和成书的仓促，对书中存在的不足和差错，诚望读者和专家予以批评指正。

编 者

2008年8月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 工程水文学的任务与内容	1
第二节 工程水文学的基本方法	2
第三节 水资源的含义、分类及特点	3
第四节 我国水资源概况	5
第五节 面向可持续发展水资源开发利用中的问题及对策	8
第六节 水资源估算与评价的任务及内容	11
第二章 水文循环与径流形成	14
第一节 自然界的水文循环	14
第二节 河流的自然功能与特征	15
第三节 流域及其特征	19
第四节 降水	21
第五节 蒸发与下渗	25
第六节 径流	27
第七节 水量平衡	31
第三章 水文观测与资料收集	33
第一节 水文测站	33
第二节 降水与蒸发的观测	35
第三节 水位与流量的测算	38
第四节 水文自动测报系统	46
第五节 水文调查	50
第六节 水文资料的收集	52
第四章 水文统计	54
第一节 概述	54
第二节 概率、频率与重现期	55
第三节 随机变量及其概率分布	59
第四节 频率计算	67

第五节 相关分析	78
第五章 径流分析计算及水生态环境修复	86
第一节 概述	86
第二节 资料可靠性审查和代表性分析	87
第三节 径流量“还原”计算	89
第四节 水生态环境修复	91
第五节 有长期实测径流资料时设计年径流的计算	94
第六节 有短期实测径流资料时设计年径流的计算	98
第七节 缺乏实测径流资料时设计年径流的计算	100
第八节 枯水径流的分析计算	104
第六章 由流量资料推求设计洪水	108
第一节 概述	108
第二节 洪水资料的分析处理	112
第三节 历史特大洪水的调查和考证	114
第四节 历史特大洪水加入系列后的峰量频率计算	118
第五节 设计成果的合理性分析和安全保证值	121
第六节 设计洪水过程线	122
第七章 由暴雨资料推求设计洪水	125
第一节 概述	125
第二节 暴雨量的统计分析	125
第三节 暴雨的时面深关系	127
第四节 设计暴雨计算	132
第五节 设计净雨计算	136
第六节 设计洪水计算	137
第八章 小流域设计洪水分析计算	144
第一节 概述	144
第二节 地区经验公式	144
第三节 暴雨强度公式	145
第四节 推理公式	147
第五节 设计洪水过程线的推求	151
第九章 地表水资源估算与评价	152
第一节 降水量评价	152
第二节 蒸发量评价	153
第三节 地表水资源评价	156
第十章 地下水资源计算与评价	160
第一节 概述	160

第二节	平原区地下水资源量的计算	160
第三节	山丘区地下水资源量的计算	166
第十一章	水资源总量计算	170
第一节	概述	170
第二节	多年平均水资源总量的计算	170
第三节	不同代表年水资源总量的计算	173
第四节	地下水开采条件下水资源总量的计算	173
第十二章	水资源持续利用规划	175
第一节	水资源规划与水资源持续利用规划概念	175
第二节	供水现状调查分析	176
第三节	需(用)水现状调查分析及生态环境需水量计算	179
第四节	现状供需(用)水平衡分析	182
第五节	水资源持续利用规划	185
第十三章	地表水资源调控	188
第一节	概述	188
第二节	水库特性资料	189
第三节	设计保证率的概念与选择	193
第四节	水库死水位的初步确定	194
第五节	年调节水库的兴利调节计算	195
第六节	多年调节水库兴利调节计算的数理统计法	200
第七节	年调节灌溉水库兴利调度的基本概念	203
第八节	水库防洪调节计算及防洪调度	205
第十四章	水资源管理	215
第一节	水资源管理概述	215
第二节	水资源的监管	218
第三节	水资源的节约与保护	220
第四节	水资源费的征收管理	221
第五节	水权	226
第六节	水资源管理中的新理论、新技术	228
附录		233
附表 1	皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数 Φ_P 值表	233
附表 2	皮尔逊Ⅲ型曲线的模比系数 K_P 值表	235
附表 3	三点法用表—— S 与 C_s 关系表	237
附表 4	三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值的关系表	238
附表 5	瞬时单位线 S 曲线查用表	239
参考文献		251

第一章 绪 论

第一节 工程水文学的任务与内容

水文，就是泛指自然界中水的分布、运动和变化规律，以及水与环境的相互作用等规律。研究水文规律的水文学是属于地球物理科学范畴的一门学科。它通过模拟和预报自然界中水量和水质的变化及发展动态，为有关开发水资源、控制洪水和保护水环境等方面的水利建设提供科学依据。根据研究水体的不同，水文学可分为水文气象学、陆地水文学、海洋水文学和地下水文学。但是，与人类关系最为密切的是陆地水文学，它又可分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学等。河流水文学发展最早、最快，内容也最丰富。本教材中是讲述河流水文学的内容。

工程水文是结合工程建设的需要，逐渐形成和发展的一门应用技术，即应用水文知识于工程建设的一门学科。它不受研究对象的限制，但主要是研究陆地上的水体，尤其是河流，也包括海洋和大气。它研究所有与工程（如水利水电工程）的规划、设计、施工和运行有关的水文问题。工程水文的应用范围很广，除为水利、水电建设服务外，还为农业灌溉、城乡建设、航运、铁路、公路交通等部门的工程建设服务。

每一项工程建设在实施过程中，都可以划分为规划设计、施工及管理运用三个阶段，每一阶段都需要提供关于未来水文情势的报告。但由于各阶段的任务不同，对于水情报告的要求有着不同的内容和特点。

规划设计阶段水文分析的主要任务，是合理地确定工程措施的规模。倘使规模定得过大，将会造成投资上的浪费；如果定得过低，又会使水资源不能得到充分的利用。对于防洪措施，还可能造成工程失事，甚至对人民的生命财产酿成巨大的损失。由于水利工程的使用为几十年甚至百年以上，因此在规划设计时，必须知道工程所控制的水体在未来整个使用期间可能出现的水文情势。工程水文正是为解决这一类问题而服务的学科。

施工阶段的任务是将规划设计好的建筑物建成，将各项非工程措施付诸实施。因此必须对施工和实施期间的水文情势有所了解。为了预估整个施工期间可能出现的来水情势，也需要通过工程水文学的途径来解决。

管理运用阶段的主要任务在于发挥已建成水利措施的作用。为此就需要知道未来一定时期内的来水情况，以便确定最经济合理的调度运用方案。这一阶段需要通过工程水文计算来获得未来长期可能出现的平均水文情势。

随着工程水利向资源水利，传统水利向现代水利及可持续发展水利的转变，非工程措施在水资源开发利用、洪涝干旱治理中的地位愈加重要。例如，一个区域（或流域）的洪水预报预警系统和防洪抗旱管理信息系统，都离不开水文分析的基础性工作。



综上所述,工程水文学的任务主要是为水资源开发利用的工程措施和非工程措施提供水文情势和近期的确切水情,进而为确定工程的开发方式、规模和效益,以及拟定合理运用方式等服务。

工程水文学的主要内容包括:

(1) 为了工程的水文分析计算所需的降雨径流物理机制,水文资料的勘测、整理以及水文统计的基本知识。

(2) 为在天然河流上修建供水工程提供未来各种情况下可供利用的年径流和枯水径流。

(3) 为兴建防洪除涝工程和过水建筑物,以暴雨和洪水为依据进行设计洪水的分析与计算。

(4) 为水资源开发利用的非工程措施提供所需的水文分析。

第二节 工程水文学的基本方法

一、统计分析法

统计分析法是依据当地的水文气象资料,分析确定水文特征变量 X 超过给定数值 x 的概率分布函数 $F(x)$:

$$F(x) = p\{X \geq x\}$$

并用来进行“概率预估”。概率预估只能预估某事件出现的概率即可能性,而无法预报该事件实际出现的时刻。如能对水文特征值作出正确的“概率预估”,就可作为工程规划设计、施工和管理工作的客观依据。目前我国水工设计中,就是由规范统一规定工程的设计标准,即规定设计采用相应概率的水文变量作为设计条件。

二、水文气象法

这种方法是根据气象原理求得可能最大降水(简称 PMP)及其时空分布,然后合理地考虑流域的下垫面情况,进行产汇流分析计算,求得可能最大洪水(简称 PMF)供工程设计之用。

三、成因分析法

某一水文现象的发生是众多因素综合作用的结果。也就是说水文现象与其影响因素之间存在着内在联系。通过观测资料和实验资料的研究分析,我们有可能建立水文现象与其影响因素之间的数学物理方程。这种解决问题的方法在工程水文学中称为成因分析法。

四、地理综合法

根据水文现象的地区性特点,气候和地理因素相似的地区,水文要素(如多年平均年径流量、多年平均年陆面蒸发量等)的分布也应有一定的地区分布规律。因此,依据地区已有的水文资料进行分析计算,可找出水文要素的地区分布规律,并常以等值线图、地区经验公式的形式来表示。

五、模糊分析法

这种分析方法是综合运用成因分析、数理统计分析与模糊集分析相结合的新的分析方



法，称为模糊水文水资源学法。这种方法与传统水文学方法的主要区别在于：既考虑了水文现象的必然性、随机性，又计及其在划分、识别与判决过程中的模糊性。目前，这种方法还在发展。

需要指出的是，在实际运用中应结合工程特点、重要性以及流域水文资料等情况，遵循“多种方法、综合分析、合理选用”的原则，以便为水资源开发利用的工程措施和非工程措施提供水文情势和近期的确切水情。

第三节 水资源的含义、分类及特点

一、水资源的含义

水资源是人类赖以生存、社会经济得以发展的重要物质资源。广义的水资源，指自然界所有的以气态、固态和液态等各种形式存在的天然水。自然界中的天然水体包括海洋、河流、湖泊、沼泽、土壤水、地下水以及冰川水、大气水等。这些水形成了包围着地球的水圈。在太阳辐射能的作用下，地球大气圈中的气态水、地球表面的地表水以及岩土中的地下水之间不断地以降水、蒸发、下渗、径流形式运动和转化，以至形成了自然界的水循环过程。

水作为资源，应具有经济价值和使用价值，同时，满足社会需水包括“质”和“量”两个方面的要求。因此，水资源是指地球上目前和近期可供人类直接或间接取用的水。目前所讲的水资源多半是一种狭义的概念，是指水循环周期内可以恢复再生的、能为一般生态和人类直接利用的动态淡水资源。这部分资源是由大气降水补给，由江河湖泊、地表径流和逐年可恢复的浅层地下水所组成，并受水循环过程所支配。

随着科学技术的不断发展，水的可利用部分不断增加。例如南极的冰块、深层地下水、高山上的冰川积雪甚至部分海水淡化等逐渐被开发利用。可将暂时难以利用的水体作为后备（或称储备）水源。

对一个特定区域，大气降水是地表水、土壤水和地下水的总补给来源，因此，大气降水反映了特定区域总水资源条件的好坏。

如图 1-1 所示，降水除去植物截留等部分形成地表径流、壤中流和地下径流并构成河川径流，通过水平方向的流动排泄到区外；另一部分以蒸散发的形式通过垂直方向回归大气。地表水资源就是地表水体的动态淡水量，即地表径流量，包括河流水、湖泊水、渠道水、冰川水和沼泽水。依靠降水补给、埋藏于饱和带中的浅层动态淡水水量称为地下水资源。

二、水资源的分类

为了适应各用水部门以及社会经济

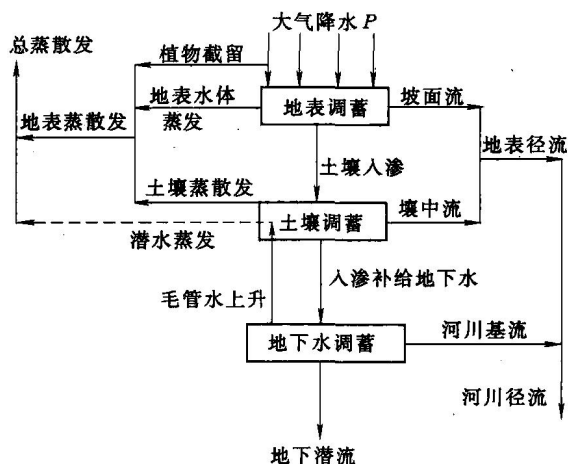


图 1-1 大气降水示意图



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. 地表水资源和地下水资源

在水资源总量的计算中往往按形成条件分为地表水资源和地下水资源，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. 消耗性水资源和非消耗性水资源

按用水部门的用水情况，将水资源分为消耗性水资源和非消耗性水资源两类。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。

三、水资源的特点

水资源的基本特点表现为：①水资源本身的水文和气象本质，既有一定的因果性、周期性，又带有一定的随机性；②水资源本身的二重性，既能给人类带来灾难，又可为人类所利用以有益于人类。具体特点如下。

1. 循环性

水资源与其他固体资源的本质区别在于其所具有的流动性，它是在循环中形成的一种动态资源。水资源在开采利用以后，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，如果合理利用，可以不断地供给人类利用和满足生态平衡的需要。

2. 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. 分布的不均匀性

水资源时间分配的不均匀性，主要表现在水资源年际、年内变化幅度大。在年际之间，丰、枯水年水资源量相差悬殊。水资源的年内变化也很不均匀，汛期水量集中，有多余水量；枯期水量锐减，又满足不了需水要求。

水资源空间变化的不均匀性，表现为水资源地区分布的不均匀性。这是由于水资源的主要补给源——大气降水和融雪水的地带性而引起的。例如，我国水资源总的来说，东南多，西北少；沿海多，内陆少；山区多，平原少。

4. 因果性和随机性

水资源主要来源于大气降水和融雪水，所以说水资源的循环运移是有因果关系的。由于大气降水和融雪水在时空上存在着随机性，有着因果关系的水资源在循环运移过程中也具有随机性。

5. 用途的广泛性

水资源是被人类在生产和生活中广泛利用的资源，不仅广泛应用于农业、工业和生



活，还用于发电、水运、水产、旅游和环境改造等。

6. 不可替代性

水是一切生命的命脉。例如，成人体内含水量占体重的 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是任何其他资源不可替代的。

7. 利害的两重性

水量过多容易造成洪水泛滥，内涝渍水；水量过少容易形成干旱等自然灾害。正是水资源的这种双重性质，在水资源的开发利用过程中尤其应强调合理利用、有序开发，以达到兴利除害的目的。

8. 水量的相互转化特性

水量转化包括液态、固态水的汽化，水汽凝结降水的反复的过程；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。

第四节 我国水资源概况

一、水资源量

(一) 地表水资源

我国位于北半球欧亚大陆的东南部，气候特点是季风显著、大陆性强、复杂多变。受气候控制的降水分布很不均匀。据统计，全国多年平均年河川径流量为 27115 亿 m^3 ，折合年径流深为 284mm。降水对径流的直接补给约占全部径流量的 71%，降水渗入到地下含水层后又由地下水渗出补给占 27%，高山冰川和积雪融水补给约占 2%。多年平均年河川径流深与降水及下垫面等因素有关，其分布由东南向西北逐步递减，由东南高值区的 1000mm 以上减至西北低值的 10mm 以下，在内陆河区甚至还有大面积的无流区，地区间的差异十分显著。

年河川径流深的地区变化大致分为五个地带：

(1) 干旱—干涸带。年降水深在 200mm 以下、年径流深在 10mm 以下的地区，其范围大致包括内蒙古、宁夏、甘肃的荒漠和沙漠，青海的柴达木盆地，新疆的塔里木盆地和准噶尔盆地，以及藏北高原的大部分地区。

(2) 半干旱—少水带。年降水深 200~400mm、年径流深 10~50mm 的地区，包括东北西部，内蒙古、宁夏、甘肃的大部，青海、新疆部分山地和西藏部分地区。

(3) 半湿润—过渡带。年降水深 400~800mm、年径流深 50~300mm 的地区，即由干旱向湿润的过渡带。这一地带包括华北平原，东北、山西、陕西的大部，甘肃、青海东南部，新疆西北部山区，四川西北部和西藏东部。

(4) 湿润—多水带。年降水深 800~1600mm、年径流深 300~1000mm 的地区，大致包括沂沭河下游，淮河两岸至秦岭以南，长江中下游，云南、贵州、广西和四川的大部分地区。

(5) 多雨—丰水带。该地带年降水深大于 1600mm、年径流深大于 1000mm，包括浙



江、福建、广东等省的大部和广西东部、云南西南部、西藏东南隅以及江西、湖南、四川西部的山地。

我国河川径流的年际变化很大。长江以南各河的年径流极值比一般在 5 以下，而北方河流的年径流极值比可高达 10 以上。河川年径流量的变差系数 C_v 值的变化及其地区分布大体与极值比的分布规律一致，极值比大的地区其 C_v 值也大。西北干旱地区的 C_v 值均在 0.20~0.50 之间；云南中部和四川盆地、淮河流域大部、东北大部、西北盆地的 C_v 值为 0.50~1.00；华北平原、内蒙古高原西部一般河流的年径流 C_v 值均大于 1.00，个别河流可高达 1.20~1.30。

河川径流的年内分配比较集中。长江以南、云贵高原以东大部分地区，连续 4 个月最大径流量占全年径流量的 60% 左右，一般出现在每年的 4~7 月；长江以北河流径流的年内集中程度明显增高，如华北平原和辽宁沿海地区，以及羌塘高原诸河的最大连续 4 个月径流量可占全年径流量的 80% 以上，出现时间大部分地区为 6~9 月。西南地区河流最大 4 个月径流量占全年的 60%~70%，出现时间为 6~9 月或 7~10 月。

地表径流量的地区分布不均，北方五片地表径流量不足全国的 20%，而长江及其以南地区则占全国的 80% 以上。

各流域片的多年平均径流深和地表径流量见表 1-1。

表 1-1 流域片多年平均河川径流量

流域片	径流深 (mm)	径流量 (亿 m^3)	径流量占全国径流量 (%)	流域片	径流深 (mm)	径流量 (亿 m^3)	径流量占全国径流量 (%)
全 国	284	27115	100.0	长 江	526	9513	35.1
松 辽 河	132	1653	6.1	珠 江	807	4685	17.3
海 河	90	288	1.1	东南诸河	1066	2557	9.4
淮 河	225	741	2.7	西南诸河	687	5853	21.6
黄 河	83	661	2.4	内 陆 河	35	1164	4.3

注 该表摘自水利部南京水文水资源研究所、中国水利水电科学研究院水资源研究所：《21 世纪中国水供求》（中国水利水电出版社，1999）。

（二）地下水资源

由降水形成的径流，除大部分汇入河川径流外，还有一部分潜入地下，形成地下水。地下水的形成，除受气候、水文、地形等自然地理条件影响外，还受地质构造、地层、岩性等条件的影响，使不同地区地下水的补给、径流、储存和排泄有较大差别。人类活动也可在一定程度上改变地下水的补排关系。

地下水资源量通常用地下水的补给量来表示。据《中国水资源评价》统计，全国多年平均地下水资源量约为 8288 亿 m^3 ，其中山丘区地下水资源量为 6762 亿 m^3 ，平原区约为 1874 亿 m^3 ，山丘区与平原区地下水的重复计算量为 348 亿 m^3 。

地下水资源和地表水资源分布情况一样，南方多、北方少。南方四个流域片的地下水资源量占全国的 67.5%，北方五片的地下水资源量占全国的 32.5%。平原区地下水资源量主要分布在北方，山丘区地下水资源量主要分布在南方。各流域片多年平均地下水资源量见表 1-2。



表 1-2

流域片多年平均年地下水资源量

单位: 亿 m^3

流域片	山丘区	平原区	重复计算量	地下水资源量
全 国	6762	1874	348	8288
松 辽 河	319	330	24	625
海 河	125	178	38	265
淮 河	104	297	11	393
黄 河	292	157	43	406
长 江	2218	261	15	2464
珠 江	1028	93	5	1116
东南诸河	562	52	1	613
西南诸河	1544			1544
内 陆 河	567	506	211	862

注 该表摘自水利部南京水文水资源研究所、中国水利水电科学研究院水资源研究所:《21 世纪中国水供求》(中国水利水电出版社, 1999)。

(三) 水资源总量

区域水资源总量, 为当地降水形成的地表和地下的产水总量。由于地表水和地下水相联系又相互转化, 河川径流量中的基流部分是由地下水补给的, 而地下水补给量中又有一部分来源于地表水入渗, 因此计算水资源总量时, 应扣除两者之间相互转化的重复计算部分。

我国多年平均年河川径流量为 27115 亿 m^3 , 多年平均年地下水资源量为 8288 亿 m^3 , 两者之间的重复计算水量为 7279 亿 m^3 , 扣除重复水量后, 全国多年平均水资源总量为 28124 亿 m^3 。各流域片的水资源总量见表 1-3。

表 1-3

流域片多年平均年水资源量

流域片	地表水资源 (亿 m^3)	地下水资源 (亿 m^3)	水资源总量 (亿 m^3)	产水模数 (万 m^3/km^2)
全 国	27115	8288	28124	29.46
松 辽 河	1653	625	1928	15.56
海 河	288	265	421	13.24
淮 河	741	393	961	28.95
黄 河	661	406	744	9.30
长 江	9513	2464	9613	53.44
珠 江	4685	1116	4708	81.60
东南诸河	2557	613	2592	108.08
西南诸河	5853	1544	5853	68.75
内 陆 河	1164	862	1304	3.86

注 该表摘自水利电力部水文局:《中国水资源评价》(水利电力出版社, 1987)。

二、我国水资源特点

我国水资源的特点如下。

(一) 水资源时空分布变幅大, 水土差异突出

1. 时间上分布不均, 年内年际变幅大

我国大部分地区冬春少雨, 多春旱; 夏秋多雨, 多洪涝。东南部各省雨季早, 雨季



长, 6~9 月降水量占全年降水量的 60%~70%。北方黄、淮、海、松辽流域 6~9 月的降水量一般占全年降水总量的 85%, 有的年份一天暴雨量可超过多年平均年降水量。降水量的年内分配不均, 势必径流变化也大。例如, 黄河和松花江在近 70 年内出现过 11~13 年的连续枯水年, 也出现过 7~9 年的连续丰水年, 造成水旱灾害频繁, 影响农业稳定生产; 长江宜昌站的最大流量为 11 万 m^3/s , 而实测最小流量仅为 $2770\text{m}^3/\text{s}$, 洪枯径流相差 40 倍; 黄河三门峡的最大流量为 $36000\text{m}^3/\text{s}$, 而实测最小流量仅为 $145\text{m}^3/\text{s}$, 洪枯径流相差 248 倍。再如, 滏阳河临洺关站年径流最大与最小的比值为 72.3。

2. 地区分布不均, 水土之间矛盾突出

降水不均匀造成全国水土资源严重不平衡的现象, 如长江及其以南耕地面积占全国耕地的 36%, 而水资源却占全国总量的 80%; 黄、淮海流域水资源仅占全国的 8%, 而耕地却占全国的 40%。水土资源相差悬殊, 造成我国水资源配置的难度和天然水环境的不利状况。

我国西北地区中有 3.09 万 km^2 , 储有冰川约 3 万亿 m^3 , 平均年融水量 250 亿 m^3 , 是西北内陆河流的主要径流补给源。由于全球生态环境恶化, 近年来西北地区气温升高, 冰川融水速度加快, 冰川储量以每年 1.25% 的速度衰减, 更加剧了西北地区地表水资源的紧缺。

(二) 河流天然水质差异明显, 含沙量大

由于地质条件不同, 河流的水化学性质差异明显。我国河川径流矿化度分布与降水分布相反, 由东南向西北递增。西北大部分河流矿化度在 300mg/L 左右, 东南湿润带最小, 在 50mg/L 以下。我国水流的总硬度分布与矿化度分布相同, 淮河、秦岭以南硬度普遍小于 3, 以北大部分地区总硬度为 3~6, 高原盆地超过 9。我国河流年总离子径流量为 4.19 亿 t, 相当于每平方公里面积上流失盐类 43.6t。

河流泥沙是反映一个流域或地区的植被和水土流失状况的重要环境指标。我国每年被河流输送的泥沙约 34 亿 t。其中外流直接入海的泥沙约 18.3 亿 t, 外流出境泥沙 2.5 亿 t, 内陆诸河输沙量 1.8 亿 t。全国外流区平均每年有 1/3 左右的泥沙淤积在下游河道、湖泊、水库、灌区和分洪区内。黄河陕县平均每年输沙量 16.0 亿 t, 年平均含沙量 $36.9\text{kg}/\text{m}^3$, 是世界之最。长江宜昌年平均输沙量 5.14 亿 t, 含沙量 $1.18\text{kg}/\text{m}^3$ 。海河、淮河和珠江多年平均输沙量分别为 1.7 亿 t、0.27 亿 t 和 0.86 亿 t。水中含沙量大, 淤积量大, 且淤积易吸收其他污染物, 加重水的污染, 增加了水资源开发利用和水环境防治的难度。

第五节 面向可持续发展水资源开发利用中的问题及对策

一、面向可持续发展水资源开发利用中的问题

(一) 人口、经济增长, 水资源供需矛盾突出

随着人口增长、经济发展和生活水平的提高, 对水的需求量大大增加。目前我国人口 13 亿, 1996 年 GDP 达 67700 多亿元, 1995 年底实际供水能力 5200 亿 m^3 , 人均用水量约 433.3 m^3 , 用水水平只相当于美国 1975 年人均用水量的 18.5%, 相当于意大利 1970



年人均用水量的一半、日本 1965 年的 63%。

据统计, 目前全国水资源已经出现了严重赤字, 城市缺水 60 亿 m^3 , 农业缺水 300 亿 m^3 , 农村还有 6500 万人、6000 万牲畜饮水困难。随着城市工业和人口继续增加, 缺水量将继续加大。目前, 水资源供不应求的矛盾已构成了国民经济和社会发展的制约瓶颈, 尤其在北方地区, 水资源紧缺已成为当地经济社会发展的最大制约因素。

(二) 水环境污染严重, 水资源有效利用量减弱

在水资源供需矛盾日趋尖锐的情况下, 江河湖泊水环境又遭污染, 犹如雪上加霜, 供水形式更为严峻。目前七大江河、湖泊、水库均遭到不同程度的污染, 并呈加重趋势, 工业较发达城镇和经济较发达地区附近水域污染程度尤为突出。据监测资料表明, 1995 年七大水系污染明显加重, 松、辽河流域水质 IV 类、V 类标准的占 67%, 黄河流域占 60%, 淮河流域占 51%, 海河流域占 41%, 长江流域占 24%, 珠江流域占 22%。

由于人口增长, 经济发展迅速, 生活污水和工业废水排放量增加, 使地表水和地下水也受到不同程度的污染。据统计, 1991 年全国污水排放总量 336 亿 t, 其中工业废水占 70%, 约有一半达不到排放标准; 生活污水占 30%, 处理率不到 10%。

(三) 水资源浪费巨大, 加重供水矛盾

我国目前水资源的紧缺, 除与水资源本身特性、水污染严重有关外, 还与水资源的浪费有关。

首先, 农业用水浪费巨大。据估计, 按 1995 年供水能力 5200 亿 m^3 计, 灌溉用水约占 82%, 共用水 4200 亿 m^3 , 当年灌溉面积约 7 亿亩, 折合亩均灌溉用水 600 m^3 , 比小麦、玉米、水稻等需水量高出 100~300 m^3 /亩, 以平均每亩多用 200 m^3 计, 则浪费用水 1400 亿 m^3 , 约占当年总供水能力的 27%。

其次, 工业工艺水平低, 水的重复利用率低, 单位产品的耗水量高等也是水资源浪费的原因。例如, 我国平均每吨钢耗水量为 70~100 m^3 , 就是比较先进的首钢和宝钢, 其吨钢耗水量也分别为 25 m^3 和 7 m^3 , 而法、美、日本每吨钢耗水量分别为 3.75 m^3 、4.0 m^3 和 2.1 m^3 , 仅为我国平均吨钢耗电量的 1/18~1/50。

(四) 洪涝灾害威胁着持续发展进程

洪涝灾害的发生一般需要具备灾害源、灾害载体和受灾体三个条件, 包括自然和人为两方面因素。我国的洪水灾害, 除受自然条件决定外, 不合理的人为活动的影响也很重要。目前我国的防洪标准低, 洪灾隐患依然存在; 河湖行洪蓄洪区泥沙淤积和人为设障严重, 防洪能力普遍下降; 工程老化失修, 经费不足, 活力减弱; 防洪抗洪的管理不够协调。不尽快解决这些问题, 我们已经取得的经济社会发展成果和继续发展下去的前景就没有可靠的安全保证。

二、增强水资源支撑持续发展能力的对策

(一) 节约用水, 建立节水型社会

从我国水资源的特点来看, 不实行保护性和持续性的开源节流措施, 是无论如何也解决和满足不了水资源的供需矛盾和日益增长的用水需求的。节约用水不是权宜之计, 而是根本对策。节约用水, 并不等同于限制用水, 而是当用则用, 高效节流, 杜绝浪费。节约用水要个人、集体、各行各业和全民都节约用水, 从而形成一个节水型的社会, 这是解决



水资源供需矛盾和持续利用水资源最根本最重要的途径之一。

(二) 开发水资源, 增强供水能力

1995 年底我国的供水能力为 5200 亿 m^3 , 只占水资源总量 28000 亿 m^3 的 19.0%, 开发率并不算高, 还大有潜力提高供水能力。但是, 由于我国水资源的时空分布和利用情况极不均衡, 需要大力增加供水能力的北方缺水地区, 当地水资源开发利用已经较高, 其地表水的利用率已达 43%~68%, 地下水的开发程度达 40%~81%, 再增加当地供水量是相当困难的。例如, 目前华北地区人均水资源量小于 500 m^3 , 按水资源开发控制现状已属于水资源超载区, 再加大供水量, 必将造成严重的社会与生态问题。

现在的水资源开发必须与保护水资源、防治水环境污染、改善生态环境和地区经济发展同步规划, 有计划的实施, 以维持地区人口、资源、环境与发展的协调关系。因此, 必须做好综合规划, 以最小的代价取得水资源对持续发展的最大支持和效益。

(三) 保护水环境, 防治水污染, 改善生态环境

我国当前的水环境污染是相当严重的, 必须予以正视。要采取各种技术措施保护水环境质量, 彻底解决已经污染了的水资源, 使污水资源化。

工业是我国水环境的最大污染源, 对工业污染源的治理应作为水污染防治的重点。防治水污染的最好途径一是加速建立用于防治环境污染、改善生态环境、保护自然资源等方面的产业部门, 二是大力推行将污染尽量消灭于生产过程之中的生产方式与技术。

除了积极预防水污染外, 对已经污染了的水资源的治理也是决不可缺少的。治理的目的是使污水的水质改善, 保护水体环境不受污染, 或使污水资源化而被重新利用。

要管好保护好水环境, 应明确水资源产权, 理顺管理机构, 由目前条块分割的管理方式逐步过渡到集开发、利用和保护于一体的企业化管理体制。

(四) 综合治理洪涝灾害, 保障生产与社会安全

为了提高现有防洪能力, 尽量减少洪灾损失, 需要采取工程和非工程相结合的防洪措施。用工程手段控制一定防洪标准的洪水, 用非工程措施减缓工程措施不能防御的洪水带来的洪灾损失。洪水是自然系统的一个组成部分, 过分控制或万保一失, 经济上和技术上未必可行, 而且可能影响自然生态平衡和物质循环。因此, 需要制定有关防洪政策、防洪法、洪水保险和防洪基金等制度, 把工程的和非工程的措施结合起来, 共同对付洪水灾害和保障社会发展与安全。

(五) 加强水资源管理, 保证水资源持续利用

目前, 我国水资源管理, 随着国家经济体制和经济增长方式的转变, 正在进行管理体制的改革。但总的来说, 还跟不上经济社会发展形势的步伐, 显得有些滞后。譬如, 水资源管理部门要求节约用水、保护水质、减少污染, 而有些行业的生产部门为追求产值不惜浪费水和污染水体。因此, 加强水资源管理不但现在要强调、要行动, 就是将来随着情况变化、科技进步, 管理制度的安排等也总是需要的。

当前水资源的开发利用必须严格执行取水许可制度、缴纳水资源费制度和污水排放许可及限制排水总量的制度。要认真贯彻《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国水污染防治法》等各项规定, 依法管水、用水和治水。