

利学科学学术著作丛书

# 现代水资源规划

——理论、方法和技术

翁文斌 王忠静 赵建世 主编

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书阐述了水资源规划的理论、方法和技术,全书共分8章。前三章主要论述有关现代水资源规划的基础知识,包括水资源的概念与可持续利用、现代水资源规划的基本思想与方法、水资源系统分析基础等三部分。第4至第8章是专题部分,包括地面地下水联合调度动态模拟分析、宏观经济水资源系统多目标分析、区域水资源承载能力分析、决策支持系统在水资源规划中的应用、数字流域与水资源规划等五部分。

本书在内容上力求浅显易懂,实用易学,在每章中都尽量结合一些实例进行讲述,但不追求严密的数学推导和论证。

本书可作为高等院校水利、环境等相关专业的教材,同时可作为相关领域的研究者、国家相关管理机构的工作人员参考用书。

版权所有,翻印必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代水资源规划——理论、方法和技术/翁文斌,王忠静,赵建世编著. —北京:清华大学出版社,2004

(水利学科学术著作丛书)

ISBN 7-302-07850-5

. 现... . 翁... 王... 赵... . 水资源管理 . TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第120197号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 徐晓飞

文稿编辑: 汪亚丁

封面设计:

版式设计: 刘祎淼

印 刷 者:

装 订 者:

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 165 × 241 印张: 27.25 字数: 487千字

版 次: 2004年4月第1版 2004年4月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-07850-5/TV·39

印 数: 1~3000

定 价: 0.00元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

# 言

水是人类生存的物质基础,是经济发展和社会进步的生命线。从人口、资源、环境与经济社会协调发展的战略高度出发,采取综合措施,对流域、区域水资源进行统一的规划、统一的调度、统一的管理,是实现水资源的可持续利用,保障经济社会可持续发展的必由之路。而现代水资源规划的理论、方法和技术是开展这些工作的重要基础和工具。为此,我们编写了这本书,希望能在推动水资源规划现代化方面对读者有所裨益。

本书主要在我们过去工作成果的基础之上,重新加以整编而成。全书共分八章。第1、2、3章主要论述有关现代水资源规划的基础知识,包括水资源的概念与可持续利用、现代水资源规划的基本思想与方法、水资源系统分析基础等三部分。第4至8章是专题部分,包括地面地下水联合调度动态模拟分析、宏观经济水资源系统多目标分析、区域水资源承载能力分析、决策支持系统在水资源规划中的应用、数字流域与水资源规划等五部分。本书在内容上力求浅显易懂,实用易学,在每章中都尽量结合一些实例进行讲述,但不追求严密的数学推导和论证。

本书为清华大学研究生课程“现代水资源规划”的参考教材,也可作为有关专业大学生和短期培训班的教学参考书。对从事水资源规划和管理的工程技术人员和研究生人员都有参考的价值。

本书第1、3、4、5、7章由翁文斌、赵建世执笔,第2章由王忠静、赵建世执笔,第6、8章由王忠静执笔,4.2节由潘世兵执笔,全书由翁文斌修改定稿。本书在编写出版过程中,得到了许多同仁的关心和帮助,在此致以衷心的感谢。限于编者的水平,书中不妥及错误之处,请读者批评指正。

作者

2003年7月于清华园

# 1 章 可持续发展与 水资源可持续利用

## 1.1 区域可持续发展

### 1.1.1 可持续发展的基本概念

可持续发展作为一个全球关注的问题,最早被提出可上溯到 1972 年联合国第一次环境大会,在“罗马俱乐部”当年发表的报告中提及了这一概念。20 世纪 80 年代初,为了解决当代人类面临的南北问题、裁军与安全、环境与发展“三大挑战”问题,联合国大会 1987 年成立了由当时的联邦德国总理勃兰特、瑞典首相帕尔梅、挪威首相布伦特兰夫人为首的三个高级专家委员会进行了研究,并分别发表了“我们共同的危机”、“我们共同的安全”和“我们共同的未来”三个纲领性文件。文件中不约而同地得出为了克服危机、保障安全和实现未来必须实施可持续发展(sustainable development)战略的结论,并提出“可持续发展”是 21 世纪世界各国正确协调人口、资源、环境与经济间相互关系的共同发展战略,是人类求得生存与发展的惟一途径。

两年后,联合国环境署在第 15 届理事会期间发表了《关于“可持续发展”的声明》,声明说:“可持续发展系指满足当代人的需要而又不削弱子孙后代满足其需要的能力的发展。”并规定了这一发展涉及国内合作及跨越国界的合作,意味着世界走向国际间的公平,发达国家向发展中国家提供援助。1992 年召开的第二次世界环发大会通过了《里约环境与发展宣言》以及《21 世纪议程》等一系列纲领性文件,使可持续发展观念深入人心。

当前,可持续发展已涵盖了经济、社会、生态几方面,它包括:经济的可持续发展,即要经济发展而不是经济增长;代间公平,即实现代与代之间的公平,不牺牲后代子孙利益满足当今需要;代内公平,即实现当代人之间的公平,即在穷国与富国之间、穷人与富人之间实现公平。这三方面紧密相连的基

本前提则为生态环境的稳定。没有环境的承载,人类文明的构建不啻于沙地上的摩天大厦,倾覆只在旦夕之间。

可持续发展观念既包含着古代文明的哲理精华,又富蕴着现代人类活动的实践总结:

“只有当人类向自然的索取,能够同人类向自然的回馈相平衡时;

只有当人类为当代的努力,能够同人类为后代的努力相平衡时;

只有当人类为本地区发展的努力,能够同为其他地区共建共享的努力相平衡时,全球的可持续发展才能真正实现!”

同时,可持续发展还充分蕴含着人类活动的实践映象,是对人与自然、人与人两大关系正确认识的整体综合,它始终贯穿着“人与自然的平衡、人与人的和谐”这两大主线,并由此出发,去进一步探寻“人类活动的理性规则,人与自然的协同进化,发展轨迹的时空耦合,人类需求的自控能力,社会约束的自律程度,以及人类活动的整体效益准则和普遍认同的道德规范”等,通过平衡、自制、优化、协调,最终达到人与自然之间的协同以及人与人之间的公正。

可持续发展应遵循以下四个基本原则:

发展性原则——人均财富不因世代更迭而下降;

公平性原则——代际公平、人际公平和区际公平;

持续性原则——“人口、资源、环境、发展”的动态平衡;

共同性原则——体现全球尺度的整体性、统一性和共享性。

就可持续发展的最终目的而言,可以作如下表述:其一,不断满足当代和后代人的生产和生活对于物质、能量和信息的需求,既从物质或能量等硬件的角度予以不断的支持,也从信息、文化等软件的角度予以不断的满足;其二,代际之间应本着公正、合理的原则去使用和管理属于全体人类的资源和环境,同时每代人也要以公正、合理的原则去负担各自的责任,当代人的发展不能以牺牲后代人的发展为代价;其三,区际之间应体现均富、合作、互补、平等的原则,去促成空间范围内同代人之间差距的缩短,不应造成物质上、能量上、信息上甚至心理上的鸿沟,共同实现“资源—生产—市场”之间的内部协调和统一环圈;其四,创造“自然—社会—经济”支持系统的外部适宜条件,使人类生活在一种更严格、更有序、更健康、更愉悦的内外环境之中,因此应当不断地优化系统的组织结构和运行机制。

可持续发展的基本特征:(1)可持续发展鼓励经济增长,因为它是国家实力和社会财富的体现。但经济的增长不应仅限于数量的增加,更着重于质量的改善和效益的提高,提倡清洁生产和文明消费。(2)可持续发展强调以保护自然为基础,与资源和环境的承载能力相协调。因此,要求在发展的同

时必须注重生态环境的保护,这里包括控制环境污染、改善环境质量、保护生物多样性等,使人类的发展保持在地球承载能力之内。(3)可持续发展要以改善和提高人类生活质量为目标,并与社会进步相适应。贫困与不发达是造成资源与环境恶化的基本原因之一。因此,只有消除贫困,改善人类生活质量,提高知识水平和社会文明程度,才有可能实现可持续发展。(4)可持续发展不仅要实现当代人之间的公平,而且要实现当代人与未来各代人之间的公平,向所有的人提供实现美好生活愿望的机会。也就是说,未来各代人应与当代人有同样的权利来保障他们对资源与环境的需求。为此,可持续发展要求当代人在考虑自己的需求与消费的同时,也要对后代人的需求与消费担负起历史与道义的责任。

可持续发展问题是 21 世纪世界面临的中心问题之一。它直接关系到人类文明的延续,并成为政府最高决策不可缺少的基本要素。可持续发展概念一经提出,就被迅速地引入到计划制定、区域治理与全球合作等行动中:美国国家科学院专门组织科学家探讨可持续发展战略思想的全球价值;联合国可持续发展委员会正在努力促进全球范围内对于可持续发展的全面行动;在我国,从国家到地方,可持续发展更是被作为发展的基本战略之一。江泽民同志在党的十四届五中全会上精辟地指出:“在现代化建设中,必须把实现可持续发展作为一个重大战略。要把控制人口、节约资源、保护环境放到重要位置,使人口增长与社会生产力的发展相适应,使经济建设与资源、环境相协调,实现良性循环。”中国科学院可持续发展研究组于 1999、2000、2001 和 2002 年相继出版了《1999 中国可持续发展战略报告》、《2000 中国可持续发展战略报告》、《2001 中国可持续发展战略报告》和《2002 中国可持续发展战略报告》。报告系统地、持续地对中国人口、资源、环境等进行了研究,并设计了中国可持续发展战略的实施方案。

## 1.1.2 21 世纪的中国可持续发展

### 1. 中国可持续发展的背景

在人类发展史中,人口的增加和发展无疑对经济、社会的发展有着举足轻重的影响。人既是社会财富的生产者,又是社会财富的消费者。在中国古代文明发展史中,中国人口之众(表 1-1)使中国在世界各国大家庭中占有辉煌的地位。表 1-1 表明,在世界发展史上中国人口一直占全球总人口的 21% 以上。人口众多,地大物博奠定了中国在世界发展史上举足轻重的大国地位。

表 1-1 全球人口与中国人口发展状况

年 代	全球人口/ 万人	中国人口/ 万人	中国/ 全球/ %
公元元年	23000	5800	21
1500 年	44000	9300	21
1850 年	124700	43600	35
1950 年	250000	55000	22
1990 年	520000	114300	21.9
1995 年	571600	121100	21.2
2001 年	613700	126583	20.6

但是随着人口迅速的增长,消费增加,人类对地球影响的规模空前加大,我国在人口、资源、环境与经济发展的关系上出现了一系列的尖锐矛盾,遭受了沉重的压力。表 1-2 为《1999 年中国可持续发展战略报告》提供的数据。该报告选择了国土面积超过 750 万平方公里的世界大国的人口、经济、资源和环境条件进行比较,以便更好地了解我国的现状,同时了解我国可持续发展的基础条件。

表 1-2 表明,在各项指标的人均数量上中国并不居于前列,而是处于相对较弱的地位,这是中国制定发展战略时必须面对的严峻现实。

#### (1) 人口压力

新中国成立以来,中国人口平均每年以 1.8% 的速度增长,每 40 年将翻一番。人口密度从 1949 年的 56 人/ km<sup>2</sup> 上升为 127 人/ km<sup>2</sup>。每年新增国民总收入中约 22.3% 为新增的人口消费所抵消,而且人口素质较低,受过高等教育的人数不到美国的 1/10、日本的 1/4、菲律宾的 1/2。根据有关方面预测,如果中国计划生育能顺利实施,到 2030 年中国总人口数量将达到 16 亿,将增加人口 4.0 亿,这对中国可持续发展的实施将带来巨大的压力。

#### (2) 资源紧缺

新中国资源的数量和品种,从总体上看处于世界前列,但人均资源量却居于世界之后。按 16 亿人口计算,届时中国人均耕地面积为 1.21 亩,人均水资源量为 1735m<sup>3</sup>/ 人。按照世界粮农组织的一般标准,人均耕地面积小于 1.2 亩,即处于土地资源出现压力的临界值。依据世界资源研究所的指标,将每人每年拥有的可重复使用的淡水总量 1000m<sup>3</sup>,作为水资源数量压力指数的临界值。虽然我国在上述两个资源指标均不很乐观,再加上我国在水土资源匹配上的缺欠——南方水多地少、北方水少地多,更加重了水土资源开

1 亩 = 666.6m<sup>2</sup>。



发利用的难度和成本。

### (3) 生态环境不断恶化

随着工业化的进展,人类活动的规模和强度对生态环境的影响越来越强烈。如以每年搬动和运移岩石和土壤的数量为标志,全世界总量达 1360 亿  $t/a$ ,而中国为 382 亿  $t/a$ ,占总量的 28.1%,远高于国土面积 7% 和人口 22% 的比例。中国每年人均搬动土石方的数量达 31.8 $t$ 。总运移数量约等于自然状态下,每年从河川径流中搬运泥沙的 17 倍,这种高强度地对地球表面物质的破坏,给中国的可持续发展带来了重大威胁。此外,废水、废气、固体废弃物的排放对江河湖海和区域环境的污染也严重威胁着中国可持续发展的进程。

### (4) 经济基础的薄弱

经济发展是可持续发展的重要标志之一。良好的经济基础给经济发展提供了重要的发展条件。当前,衡量经济增长的指标一般用国民生产总值(gross national product,简称 GNP)或人均 GNP 作为尺度。由于能够把国民经济的全部活动概括在极为简明的统计数字之中,并表明各国经济的增长水平,人均 GNP 成为衡量各国经济水平的一个综合指数。表 1-3 给出了世界各大洲与中国的人均 GNP 及城市人口的统计。它表明中国还是处于一个较低的水平。

表 1-3 中国与世界部分地区经济发展状况

地区	中国	非洲	亚洲	拉丁美洲	欧洲	大洋洲	北美洲
人均 GNP/ 美元	380	650	1820	2710	11990	13040	22840
城市人口/ %	28	31	32	71	73	70	75

资料来源:1994 年世界人口数据表,美国人口咨询局出版

综上所述,在人口占全球首位的中国,如不能有效克服人口增长与物质增长的矛盾,加速经济发展;如不能有效克服贪婪地、无节制地掠夺自然资源,破坏生态环境;如不能处理好经济增长效率与保障社会发展公平之间的协调关系,中国可持续发展目标的实现将成为泡影。

## 2. 中国可持续发展的总体目标与战略任务

为了实现中国的可持续发展,必须从整体目标高度制定符合中国实际的战略目标。《1999 中国可持续发展战略研究报告》提出中国可持续发展战略的总体目标为:

(1) 用 50 年的时间,全面达到世界中等发达国家的可持续发展水平,进入世界总体可持续发展能力前 20 名的国家行列;

- (2) 在整个国民经济中科技进步的贡献率达到 70% 以上;
- (3) 单位能量消耗和资源消耗所创造的价值在 2000 年基础上提高 10 ~ 12 倍;
- (4) 人均预期寿命达到 85 岁(每 10 年提高 3 岁);
- (5) 人文发展指数进入世界前 50 名(平均提高 1 个序位);
- (6) 全国平均受教育年限在 12 年以上(每 10 年平均提高 1.2 年);
- (7) 能有效地克服人口、粮食、能源、生态环境等制约可持续发展的瓶颈;
- (8) 确保中国的食物安全、经济安全、健康安全、环境安全和社会安全;
- (9) 2030 年实现人口数量的“零增长”;
- (10) 2040 年实现能源资源消耗的“零增长”;
- (11) 2050 年实现生态环境退化的“零增长”,全面进入可持续发展的良性循环。

上述目标的实现,将有望在我国实现人与自然之间的平衡、人与人之间的和谐,营造一个合理、优化、循环、有序的自然环境、经济环境、社会环境,既满足当代人不断增长的需求,又不危及后代,并为他们提供更多的发展机会。

在中国实施可持续发展战略,既是长期以来国家发展战略的必然选择,也是在与世界各国发展模式对比中完善自己的必然结论。它的出发点和归宿点,都是为了在中国这样一个大国中,能够完成以下 7 条标准所规定的战略任务:

- (1) 实现“人与自然”之间的平衡和“人与人”之间的和谐;
- (2) 营造“治理、优化、有序、文明”的自然环境、经济环境和社会环境;
- (3) 完成“发展度、协调度、持续度”的逻辑自恰和多维临界阈值匹配;
- (4) 寻求“自然资本、人力资本、生产资本、社会资本”的科学组合;
- (5) 有序地控制并达到“人口的自然增长率、资源能源的消耗速率、生态环境的退化速率”3 个“零增长”;
- (6) 既满足当代人不断增长的需求,又泽及后代并为他们提供更多的发展机会;
- (7) 既满足一个地区不断增长的需求,又不损害其他地区不断增长的需求,消除贫困和不合理的区域差异。

中国推行可持续发展战略,有着比世界其他国家更加严峻的压力,存在着必须克服的基本瓶颈,这不仅仅是由于中国的开发历史久远、生产活动的强度过大、人口数量的负担过重、资源的承载负荷过高、生态环境抵抗外界干扰的基础水平脆弱等,还由于地理空间的分布过于不平衡、自然条件严酷,加上科教实力 and 创新能力还比较弱,管理水平和区域开发能力比较低等。这些

使得中国在实现可持续发展战略目标时,面临着很大的困难。如何突破这些压力,达到协调发展和优化配置,是新世纪中国实施可持续发展战略所面临的重大挑战。

### 3. 中国 21 世纪可持续发展必须解决的基本矛盾

可持续发展战略的推行,一方面建立在它的宏伟目标与符合理性思维的庞大体系之上;另一方面也建立在它必须克服现实世界中新产生的和不断积累的矛盾上,人类要积极寻求有效的对策和措施,使得限制可持续发展的各项因素逐渐缓解、降低、受控乃至消除。

人类自农业文明开始(距今约 1 万年以前),所具有的危及自身生存的内在因素,随着人口的增加和经济的发展也在同步地增长。只是由于这些矛盾所产生的负面作用,在早期还不足以威胁其缓慢发展的势头,故而它们虽已存在并积累,但尚未形成人类继续发展的瓶颈。

随着工业革命的到来和进入到高度发展的后工业社会,原先所存在的矛盾无论在规模上,还是在强度上,都达到了某种不可忽视的程度;同时,随着新的生产形态的不断涌现,所产生的矛盾在原有矛盾的基础上,起着“放大”和“共振”的作用,它们在抵消着、腐蚀着人类文明的积极成果,以至于达到了毁灭人类自身的能力,成为发展的重大制约。如不选择新的发展战略,如不寻求新的打破“作茧自缚”的发展思路,人类的前途必然会呈现出一片黯淡的景象,甚至整个人类都将消失在宇宙的星空之中。

中国在制定和实施可持续发展战略的基本思路中,以有意识地克服以下几个基本矛盾为首要前提,把这个宏大的战略实施自始至终地维系在健康的内核之中。这几个基本矛盾或瓶颈表现在如下几个方面。

#### 1) 人口再生产与物质再生产之间的自由分离

自人类出现以来,人口种群的增长处于某种纯自然的状态之中,人类的文明显然对于人口的增长速度、人口的数量与质量、人口的结构和空间分布等有过多次的调节,但始终未能达到自控自律的地步,尤其是不能与物质再生产的能力、速度、规模等有机地统一起来,像马尔萨斯指出的那样,这最终将危及人类自身的发展,达到某种终极的悲惨结果。对中国这种人口占全球首位的国家,这种瓶颈尤为突出,如不能有效克服人口再生产与物质再生产之间的矛盾,可持续发展战略目标的实现将成为泡影。

#### 2) 自然资源的生产价值与生态价值的急剧背离

越是到近代,当人口增长的压力和人类欲望的非理性诉求达到某种临界阈值时,人类会无情地掠夺自然资源去满足自己的要求,越是近乎自杀式地毁坏养育自己的自然生态基础,越是接近把自身推向万劫不复的墓园。目前,已经达到了一种危险的边缘,如不加以调整和克服,人类到底在地球上能

延续多久的疑问已经不是一种夸大其辞的说法,它已经变成了现实的警告。中国的现实状况也能清楚地证明,人们如果贪婪地、无节制地掠夺自然资源,将会扩大资源的稀缺性,使自然资源与生态价值的背离越来越大,人类的发展将不能为继。

### 3) 对环境容量的无偿占有与对环境质量的自觉养护之间的严重失衡

当今世界,各个国家或多或少地都在“环境赤字”状态下运行自己的经济。环境质量的保持与建设基本上处于非自觉状态,或者只能在强制状态下去演示“猫鼠战略”的游戏。人类(当然是指组织化生产和管理的体系下)至少尚未自觉地、主动地、自动互助式地投入到养护环境和保持自己家园的行动之中。中国在经济超常规发展的进程中,一些区域和地方不择手段地去占用环境这个“公共财富”也到了骇人听闻的地步,如不从根本上加以扭转,中国的可持续发展是无望的。

### 4) 追求经济增长的效率与保障社会发展公平之间的矛盾

经济学家们一致认为,地理区域之间的非均衡是客观存在的,经济的社会分工和空间扩散是区域发展的基本规律。任何一个区域,既然存在着发展的梯度,就必须使此种梯度约束在可以被允许、被接受的范围之内。经济增长的效率越高,往往对应着区域之间的差异越大;而社会公平程度的过分的、绝对的保持,又必然会妨害经济效率的提高,二者之间存在着某种深层次的联系。一个发展的,同时又是稳定的国家,如不有效地克服效率与公平之间的矛盾,将会陷入一种非健康的状态之中。目前中国社会中的效率与公平的协调始终是一个值得警惕的宏观指标。

### 5) 成本外部化所导致的“制度失灵”和“政府失灵”

该瓶颈涉及到对生存与发展长期关系的再认识。它必须要注重培育生存能力同时要引入类似“绿色 GDP(gross domestic product,国内生产总值)”的新型国民经济体系核算。对于可持续发展的实质性度量,各类学者都提出了自己的思考。他们从理论上都希望把不属于真正财富积累的虚假部分,从传统意义上所统计的 GDP 中扣除,从而再现一个真实的、可行的、科学的指标,去衡量国家和区域的实质性进步。在众多的度量中,绿色 GDP 应当是其中一个较为容易理解、较为方便计算的指标。一些国家或地区曾试图用它去代替 GDP 的计算,例如美国经济学家 Daly 和 Cobb 就曾经系统地比较了传统 GDP 与绿色 GDP 之间的差异。随着人类认识的进展,随着世界各国之间取得更广泛的共识,一种新的统计制度肯定会应运而生,它对于更加深刻地去认识可持续发展的实质,并且从中进行监测、调控和预警,都将是必不可少的基础手段。

所谓绿色 GDP,从最简要的图式出发,它是将现行统计下的 GDP,扣除

两大基本部分的“虚数”。简单地表达为：

$$\text{绿色 GDP} = (\text{现行 GDP}) - (\text{自然部分的虚数}) - (\text{人文部分的虚数})$$

其中,自然部分的“虚数”,应从以下所列因素中扣除,即:

- (1) 环境污染所造成的环境质量下降;
- (2) 自然资源的退化与配比的不均衡;
- (3) 长期生态质量退化所造成的损失;
- (4) 自然灾害所引起的经济损失;
- (5) 资源稀缺性所引发的成本;
- (6) 物质、能量的不合理利用所导致的损失。

而人文部分的“虚数”,亦应从以下所列的因素中扣除,它大致包括:

- (1) 由于疾病和公共卫生条件改善所发生的支出;
- (2) 由于失业所造成的损失;
- (3) 由于犯罪所造成的损失;
- (4) 由于教育水平低下和文盲比例高导致的损失;
- (5) 由于人口数量失控所导致的损失;
- (6) 由于管理不善(包括决策失误)所造成的损失。

绿色 GDP 比较合理地扣除了现实中的外部化成本,并从内部反映出可持续发展的质量和进程,因此它应逐渐地被认同,并且纳入到国民经济核算体系之中。

## 1 2 水资源与水资源危机

### 1 2 1 水资源定义

淡水资源是地球水圈的基本构成部分,是所有陆地生态系统不可缺少的自然资源,是人类社会发展的重要物质基础。淡水资源的特点在于循环,是一种可更新的自然资源。

水资源一词由来已久,如何理解其内在涵义,却尚无公认的定论。究其原因,主要有以下几个方面:(1)水的表现形式多种多样,如地表水、地下水、降水、土壤水等,且相互之间可以转化;(2)水具有流动性、侵蚀性和许多化学特性,因此我们在谈到水资源时应包括水量和水质两方面;(3)水对社会发展形成许多基本的约束,如对土壤生产力、工业生产因子、能源资源以及人类健康的影响;(4)水与大多数社会部门有关——或是部门必需的物质基础,或对部门造成破坏,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;(5)水作为研究对象,常涉及到数学、物理学、

化学、生物学、地学、气象学、水文学、地质学、环境学、经济学、社会学等众多的学科。以下是对水资源几种较为权威的说法。

第一种：一百多年以前，即 1894 年，美国地质调查局(USGS)设立了水资源处，其主要业务范围是观测地表河川径流和地下水。显然，这里所指的水资源主要是陆面地表水和地下水的总称。

第二种：K.P.Kalinin 为英国大百科全书撰写的条目“水资源”解释为“水资源是自然界一切形态的水，包括气态水、液态水和固态水”。

第三种：1977 年联合国教科文组织(UNESCO)建议“水资源应指可资利用或有可能被利用的水源”。

第四种：《中国大百科全书》在不同卷册中对水资源给予了不同的解释。在大气科学、海洋科学、水文科学卷，1987 年由叶永毅撰写的条目中，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”。而在水利卷，1992 年由陈志恺撰写的条目中，水资源则被定义为“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”。

从上述几种定义中我们可以看出，水资源定义是随着社会经济的发展而发生变化的，具有一定的时代特征。从可持续发展观点来看，淡水是维持陆地社会、经济、生态、环境发展不可缺少的物质基础，是人类生存的重要自然资源之一。因此，作者认为一切具有利用价值，包括各种不同来源或不同形式的淡水，均属水资源范畴。它不仅指可被人们开发利用的那部分水，还有供生态环境使用的，以及暂时无法利用，但具有潜在使用价值的那部分水。由于时代不同、出发点不同，人们对水资源含意的认识也有所不同，但各种定义都具有其合理的因素。

近二三十年来水资源成为人们谈论的活跃话题，其原因是世界不少地区为相继出现的水资源危机而感到不安，许多人对这一关系到国计民生的重要资源的紧缺十分关心，对其前景感到担忧。人们在热衷谈论、研究水资源时，并非着重于对它的定义的探讨，而是力图探索一条使人类得以自律和理性发展的途径，以保护人们赖以生存的宝贵资源，使人类的生存环境、社会经济得到可持续发展。

上世纪 70 年代以来，国内外一些高等院校开始设立水资源专业，一些研究所和管理机构也以“水资源”作为机构的定语。它表明随着水资源问题的日益显著，人们对水资源的认识已从一种单纯的自然资源扩展到一种行业或一种学科的代称。其主要任务是围绕水资源的评价、规划、开发、利用、管理和保护等开展相关的业务活动和人才培养。

## 1 2 2 世界水资源概况

1992年联合国环境和发展大会上通过的《二十一世纪议程》指出：“淡水是一种有限资源，它不仅为维持地球陆上一切生命所必需，而且对一切社会经济部门都具有生死攸关的重要意义。”虽然地球上的大海看起来一望无际，深不可测，但供给人类生存所需的淡水量却是有限的。

我们的家园——地球——是由岩石圈、水圈、大气圈和生物圈组成的，而水圈又是这四个圈层中最活跃的一个圈层。水圈是由地球地壳表层、表面和围绕地球的大气层中的液态、气态和固态的水组成的圈层。在地球水圈中现有约13.86亿 $\text{km}^3$ 水，它以液态、固态和气态形式分布于海洋、陆地、大气和生物机体中，其中海洋总储水量约为13.38亿 $\text{km}^3$ ，占全球总水量的96.54%；南极、北极和高山地区冰川积雪的储水量约0.24亿 $\text{km}^3$ ，占1.74%；全球地下水约0.23亿 $\text{km}^3$ ，占1.69%；存于陆地河流、湖泊、沼泽等地表水体中的水约50.6万 $\text{km}^3$ ，占0.037%。表1-4给出了地球水圈水储量分布。值得我们注意的是，在地球水圈中淡水仅占总水量的2.53%，且主要分布在冰川与永久积雪和地下水中。如果考虑到现有的经济、技术能力，扣除目前暂时无法取用的冰川积雪及深层地下水，理论上可以开发利用的淡水不到地球总水量的1%。实际上，人类可以利用的淡水量远低于此理论值，因为还有许多淡水，人们尚无法利用。由此可见，尽管地球水圈中水的储量是可观的，但可被人们利用的淡水资源是十分有限的。

表1-4 地球水圈水储量分布

水 体	水 储 量		咸 水		淡 水	
	$10^3 \text{ km}^3$	占总量的百分比	$10^3 \text{ km}^3$	占总量的百分比	$10^3 \text{ km}^3$	占总量的百分比
海洋	1338000.0	96.54	1338000	99.04		
冰川与永久积雪	24064.1	1.74			24064.1	68.7697
地下水	23400.0	1.69	12870	0.95	10530.0	30.0606
水冻层中冰	300.0	0.022			300	0.8564
湖泊水	176.4	0.013	85.4	0.006	91	0.2598
土壤水	16.5	0.0012			16.5	0.0171
大气水	12.9	0.0009			12.9	0.0378
沼泽水	11.5	0.0008			11.47	0.0337
河流水	2.12	0.0002			2.12	0.0061
生物水	1.12	0.0001			1.12	0.0032
总 计	1385984.6	100			35029.21	100

水圈中的水并不是静止不变的,而是处于不断的运动之中,这给地球的生命系统带来了无限的生机。水圈中的各种水体通过蒸发、水气输送、降水、下渗、地表与地下径流等水文循环过程,不断进行交换、转移,使水圈的各种水体处于永无停息的运动状态(图 1-1)。水文循环可分为大循环和小循环两种基本形式。大循环是水在陆地、海洋、大气中的相互转化,即海洋中的水经过蒸发转化为大气水,大气水在一定条件下凝结,以降水的形式回到陆地和海洋,降落在陆地上的降水又以不同的形式回到海洋,完成一个循环过程。据测算,全球海洋每年有 43 万  $\text{km}^3$  的水被蒸发进入大气中,其中有 91.7% 在海洋上空形成降水,直接降落在海洋上,占全球总降水量的 79%,剩余的 8.3% 随气流进入各洲陆地上空形成降水。在陆地的降水中,约 66% 通过水面蒸发、陆面蒸发、植物蒸腾重返大气,其余的 34% 以地面径流和地下径流的形式汇入海洋。因此,在全球尺度的水文循环过程中,约有 82% 的水量是完全在海洋—大气系统中完成的,剩余约 18% 的水量在陆地—大气系统中进行。

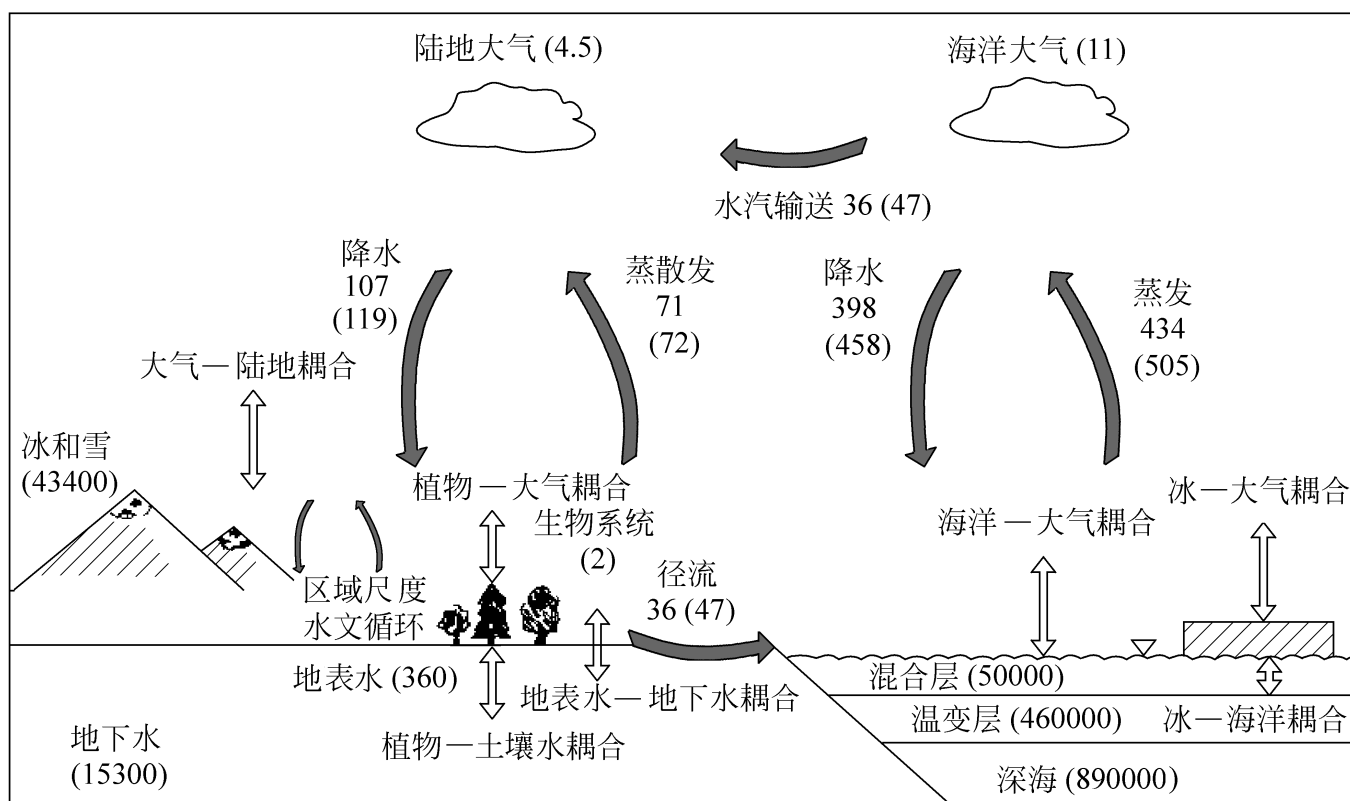


图 1-1 水文循环系统(水量:  $10^3 \text{ km}^3$ , 通量:  $10^3 \text{ km}^3/\text{a}$ )

水文循环的陆面过程是发生在陆地上的水文过程的总和。降水到达地面以后,一部分渗入地下,形成土壤水和地下水;一部分补给沼泽、湖泊与河流,成为地表水。土壤水是植物的主要水源,维持着全球陆地生态系统所需的水量;地表水和地下水在部分人工侧支循环后,主要通过河流汇入海洋。无论地表水、土壤水、地下水还是生态系统中的水,都在内陆河地区通过蒸发

全部返回大气,成为大气中水汽的组成部分。其中一部分再次成为降水落到陆地,形成各种尺度的水文小循环过程。

各种尺度的水文循环是地球上最重要的物质循环。它向人类不断提供可再生的淡水资源,使全球各种水体间的水量实现了连续转换和更新,但其更新周期可相差数十万倍(表 1-5):大气中的水只需 8 天时间就可更新一次,而永久积雪需要 9700 年,地下水需要 1400 年。由此可见,当我们把水资源划入可更新资源范畴时,主要是指更新周期较短的那一部分水量。对更新周期较长的那一部分水,在开发利用时必须慎而又慎,它近乎属于不可更新的资源范畴。以下本书讨论的水资源主要指更新周期较短的那一部分水资源。

表 1-5 淡水更新周期

水 体	更新周期/ a	水 体	更新周期/ a
永久积雪	9700	沼泽水	5
海水	2500	土壤水	1
地下水	1400	河流	16 天
湖泊水	17	大气水	8 天

资料来源:姜文来.水资源价值论.北京:科学出版社,1999

在全球水文循环中,大气过程是整个循环最活跃的部分,平均只需 8 天即可更新一次,每年大气中的水汽可更新 45 次。全球大气中的水汽纬向输送平均速度为 220km/d,如果取平均纬圈长为 2400km,则大气中的水汽每年可完成 33 次环球纬向输送。水文循环的大气过程是在诸多因素的控制和影响下形成和变化的。大气环流决定于全球尺度水汽输送的基本格局,海陆分布、地球纬度和大地势是各洲大陆上空水汽含量的控制因子,地形和不同尺度的大气运动系统则往往决定了某一地区上空水汽输送和水分平衡的主要特征,人类活动对水文循环大气过程的影响也不可忽视。由于其复杂性和不确定性,水文循环大气过程常给人们带来灾难性后果,使地球的某些地区不断发生水旱灾害。它一方面为人类提供不断再生的淡水资源,使我们的星球生机勃勃,另一方面又给人类带来干旱和洪涝灾害,使一些地区的人们陷入困苦之中。但是不管地球上的水如何运动和更新,从大的时间尺度上观察,地球上的水量总体上是平衡的,它遵循着质量守恒定律。表 1-6 是全球年水量的多年均衡表。它表明,不管地球上的水如何在海洋与陆地之间进行不断的循环,它的径流与蒸发的代数和等于降水量。从全球角度来看,降水量等于蒸发量。这暗示我们,地球上可更新的淡水数量在现状条件下基本上是恒定的,是无法改变的客观存在,我们所能做到的是,在开发利用水资源时,应采取谨慎的态度,不要超过其限度,珍惜这宝贵的淡水资源。