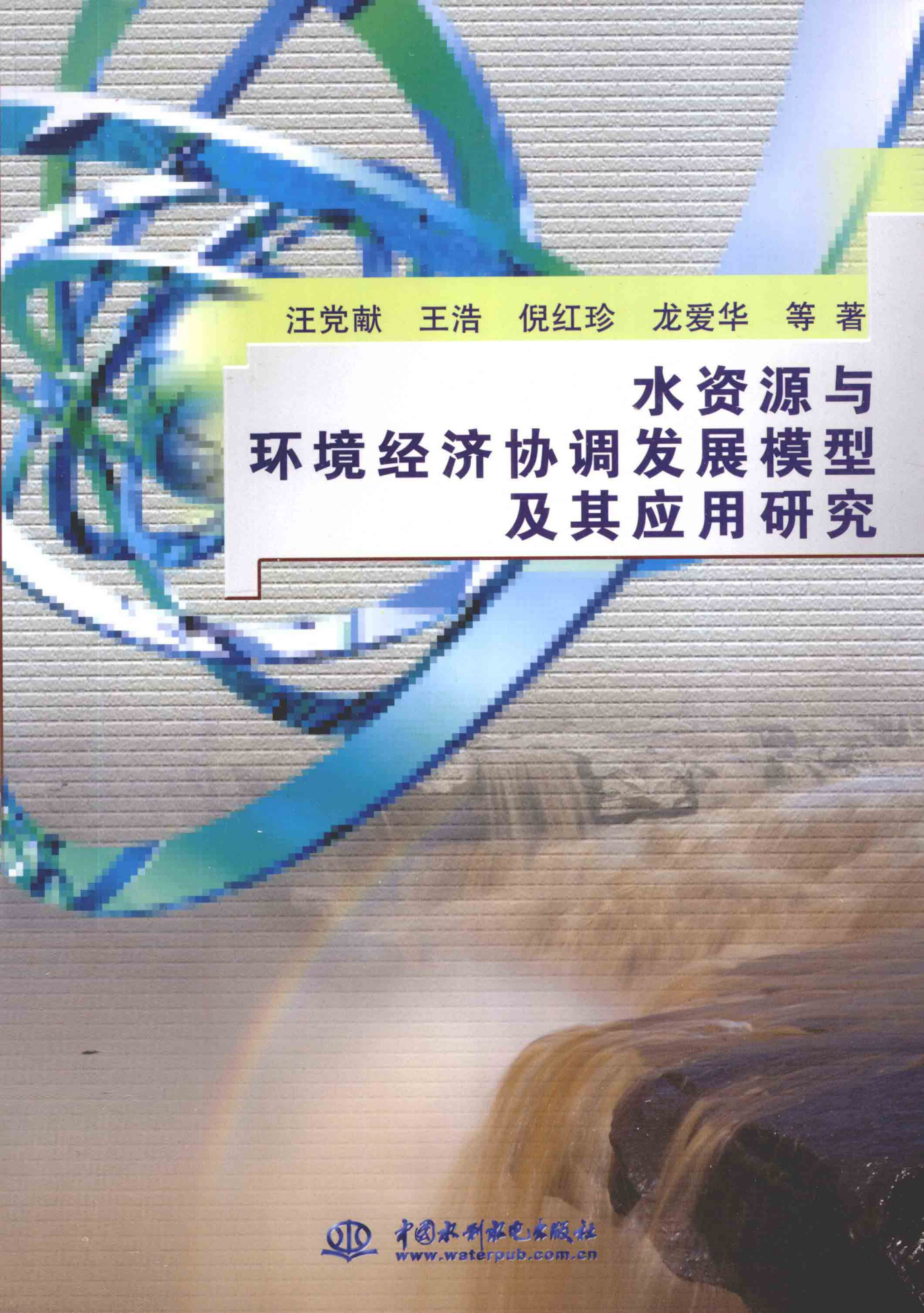




汪党献 王浩 倪红珍 龙爱华 等 著

水资源与 环境经济协调发展模型 及其应用研究



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水资源与 环境经济协调发展模型 及其应用研究

汪党献 王浩 倪红珍 龙爱华 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共设十章, 针对流域层面上最严格水资源管理的要求, 基于面向人类—自然耦合的水资源系统分析理论与方法体系, 利用多学科综合技术和复杂系统整体论观点, 提出了能够完整地描述经济社会系统、水资源系统、生态环境系统之间的相互作用、复杂关系的数学模拟模型体系, 并以黄河流域为例, 针对黄河水资源问题与特点进行了应用研究, 回答了黄河流域水资源与经济、社会、生态、环境的协调发展的一系列重大问题。

本书可作为水利科学、水资源规划与管理等领域及管理及规划设计人员参考用书, 也可供科研机构、大专院校以及关心水资源问题的读者参考使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

水资源与环境经济协调发展模型及其应用研究 / 汪党献等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011. 5
ISBN 978-7-5084-8645-1

I. ①水… II. ①汪… III. ①水资源管理—关系—环境经济—发展模型—研究—中国 IV. ①TV213.4②X196

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第100199号

书 名	水资源与环境经济协调发展模型及其应用研究
作 者	汪党献 王浩 倪红珍 龙爱华 等 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15.5印张 358千字
版 次	2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	35.00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

我国水资源总量约占世界水资源总量的 6%，人口占世界总人口的 21%，人均水资源量为世界人均值的 30%，且时空分布不均，干旱、半干旱地区约占国土总面积的 40%，受资源型缺水危机困扰的人口占全国总人口的 1/3 以上。目前，我国正处于城市化与工业化的快速发展期，与水相关的资源环境压力不断加大，水资源短缺与用水效率不高、水污染严重与水生态环境退化、水资源开发利用不当与河流健康状况恶化等问题都不同程度地存在。受全球气候变化影响，我国水资源时空分布不均问题更加明显，水资源问题愈加复杂和严峻，这些都对可持续发展构成了严重威胁。要解决上述水资源问题，必须全面贯彻落实科学发展观，转变发展模式，创新治水思路，坚持人水和谐，把水资源的合理配置、全面节约、高效利用、有效保护和科学管理放在突出位置，以水资源可持续利用支撑自然—社会—经济系统的可持续发展。

水资源的可持续利用，就是要求以科学发展观为指导，正确认识当前及未来水资源开发利用的问题，准确把握社会经济和生态环境发展的需水规律，破解经济社会发展与水资源之间的矛盾，统筹考虑经济发展与保护环境的双重效益，进行水资源的科学规划和合理配置，最终达到水利建设的良性发展。

水资源的开发利用涉及经济、社会、生态和环境等多方面的因素，这些因素相互作用、相互联系便形成了具有特定结构和功能的、开放的、动态的水资源—社会经济—生态环境的复杂大系统。水资源是经济、社会、生态、环境复杂作用系统中最敏感的控制性因素，任何水资源规划，特别是流域水资源规划，都不能脱离经济、社会、生态、环境耦合系统的发展背景。立足于大系统进行水资源规划和水资源问题研究是必由之路，这应成为流域水资源规划和水资源问题研究的基本思路和主攻方向。

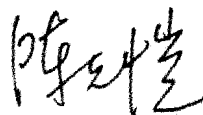
《水资源与环境经济协调发展模型及其应用研究》这一部著作，针对流域层面上最严格水资源管理的要求，基于面向人类—自然耦合的水资源系统分析

理论与方法体系，立足大系统观点，利用多学科综合技术和整体论观点完整地描述流域水资源系统的复杂性，构建了描述经济社会系统、水资源系统、生态环境系统之间的相互作用、复杂关系的数学模拟场景的模型体系，能够进行水资源与经济、社会、生态、环境的协调问题识别、水资源利用效率与效益评价、水资源承载能力评估、水资源需求预测、水资源利用演变趋势判断，以及水资源与经济、社会、生态、环境复杂系统协调发展的模式优选，为流域经济社会长远发展规划和水资源综合规划提供了新的思路与研究技术。该书以黄河流域为例，针对黄河水资源问题与特点，进行了应用研究，回答了黄河流域水资源与经济、社会、生态、环境的协调发展的一系列重大问题。无疑，这对黄河流域水资源综合规划与未来沿黄地区社会经济发展规划具有重要的参考作用。

本人认为，该书不仅可以作为大专院校、科研机构以及规划设计部门进行水资源规划和水资源问题研究的技术参考，而且还可以为水文水资源及相关领域的研究提供一个学术交流平台。本人殷切地期望，该书的出版能够对流域及区域水资源规划利用与可持续发展战略研究水平的提高和技术创新，起到一定的推动作用。

是为序。

中国工程院院士



2011年4月

于北京



前言

我国水资源不仅存在总量不足和时空分布不均的先天缺陷,而且受人类不合理开发利用和全球气候变化的影响,面临着严峻的供水保障风险与污染防治压力,这已成为制约国民经济可持续快速发展的重要因素。如何正确认识当前及未来水资源开发利用中的问题,准确把握社会经济和生态环境发展的需水规律,破解经济社会发展与水资源之间的矛盾,调整水资源管理策略,合理配置水资源,制定可持续的发展规划和战略,是当前亟待研究的重大课题。

经过自然演变和长期人类活动的干扰,水资源与经济、社会、生态、环境构成了一个极其复杂与交互变化的复杂大系统,水资源是其中最为敏感的控制性因素。随着时间的推移,该系统变化的随机性和复杂程度将不断增加,这对流域与区域中长期的水资源合理配置和科学规划提出了极大的挑战。本书根据水资源复杂系统的作用机理与特点,提出了立足人类—自然耦合复杂大系统全局,构建了一套可清晰动态诊断水资源问题并利于快速作出水资源科学管理决策的水资源与环境经济协调发展模拟模型,以满足现代水资源规划和水资源复杂问题的研究需求,满足我国流域和区域适应性水资源管理的迫切要求,有利于更好地辨识问题、找准目标、科学决策,落实最严格水资源管理制度,提高新形势下科学管理水资源的效率和水平。

本书基于面向人类—自然耦合的水资源系统分析理论与方法体系,立足大系统观点,综合应用宏观/计量/资源/产业经济学、水文及水资源学、水环境学、复杂适应系统理论、水资源规划与合理配置等理论方法,运用现代统计、宏观经济预测、投入产出分析、人口及城市化预测分析、节水定额分析及预测、水资源合理配置、水量平衡分析、流域水污染参数估算、多目标群决策方法、水资源统一调度、复杂适应系统分析等现代建模与分析技术,在充分认识经济社会生态环境发展与水资源的供求关系及相互影响的基础上,从流域水资源系统涉及的人类子系统(如人类的日常生活、工农业生产、城市化建设等经

经济社会发展活动)和自然子系统(如气候、降雨、径流、地表地下水交互、生态环境演变等),选择足够的时序断面、区域空间尺度,以细分空间单元格、水循环节点和主客体元素等作用点小尺寸的基础连续函数方程组,既对人类和自然子系统单个体包含经济社会运营过程、生态环境的演变过程及水资源的循环和利用过程采用变量进行多过程的直接和动态描述,又对各个子系统之间的复杂交互和反馈的作用过程通过变量信息传递进行动态耦合模拟,根据整体论观点构建了能够完整地描述流域水资源系统复杂性的水资源与环境经济协调发展研究整体模型。

本书坚持理论研究与实际应用相结合的原则,以黄河流域为研究实例,针对落实最严格水资源管理机制的要求,研究了黄河流域亟待解决的若干重大问题。通过模型研究,揭示了黄河水资源与环境经济协调发展存在的问题,评价了黄河流域水资源及其价值对黄河地区可持续发展的作用,对黄河水资源承载力及基于承载力之下的黄河经济社会发展与水资源利用演变趋势进行了科学的评估和判断,预测了不同经济社会发展模式下黄河流域的水资源需求,并提出优选发展模式(包括粮食安全和能源基地的开发等重大热点和焦点问题的水资源论证),分析节水、治污(回用)、调水等宏观调控措施对流域发展的敏感度,评价了水资源统一调度对黄河流域水资源及社会经济的宏观效果、外流域调水对黄河流域经济社会发展和生态环境保护的宏观效果等,提出了黄河流域未来水资源与环境经济协调发展的战略措施与对策。

本书共分十章,主要内容包括:水资源与环境经济协调发展国内外研究进展与意义,水资源服务功能识别,水资源与环境经济协调发展研究的重大问题,水资源与环境经济协调发展研究框架,水资源与环境经济协调发展模型系统构建,黄河经济与水资源利用现状评价,黄河流域水资源—环境经济投入产出分析模型,黄河流域水资源系统模拟模型的设置与实现,黄河水资源与环境经济协调发展情景方案研究,黄河水资源与环境经济协调发展对策与建议等。

本书由汪党献与倪红珍组织撰写,其中,第一章由汪党献、回晓莹、刘金华执笔;第二章由刘戈力、罗尧增和倪红珍执笔;第三章由罗尧增、汪党献、王浩、刘戈力执笔;第四章由汪党献、李云玲、倪红珍和刘金华执笔;第五章由汪党献、刘金华和龙爱华执笔;第六章由倪红珍、张春玲、汪党献执笔;第七章由倪红珍、汪党献、王茵、刘金华执笔;第八章由汪党献、赵建世和刘金华执笔;第九章由汪党献、龙爱华、刘金华执笔;第十章由倪红珍、汪党献、王浩、罗尧增和刘戈力执笔。全书由汪党献、倪红珍统稿。

本书得到了水利部黄河水利委员会领导与专家的大力支持,在此表示衷心

的感谢。

本书借鉴国内外新兴发展学科的思想和经验，结合水资源管理领域的问题与特点，进行了水文水资源及相关学科的新技术创新和尝试，希望能对促进学科发展起到抛砖引玉的作用。书中难免存在不足和错误之处，需要进一步地深化和完善，敬请读者批评指正。

作者

2011 年 1 月

于北京玉渊潭湖畔

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
1.1 问题提出	1
1.2 水资源及其利用概况	5
1.3 国内外研究进展综述	15
1.4 技术路线与研究内容	20
第二章 水资源属性与服务功能	24
2.1 水资源基本属性	24
2.2 水资源与饮水	25
2.3 水资源与粮食生产	28
2.4 水资源与城市化	35
2.5 水资源与工业化	37
2.6 水资源与生态环境	39
第三章 水资源与环境经济协调发展研究的重大问题	44
3.1 水资源与可持续发展	44
3.2 生态用水与经济社会用水的合理配置	46
3.3 经济社会发展与水资源承载能力的关系	49
3.4 水资源开发利用与维护河流健康生命	54
3.5 自然水循环与社会水循环的关系	58
第四章 水资源与环境经济协调发展研究框架	63
4.1 水资源—社会经济—生态环境复合系统分析	63
4.2 水资源—社会经济—生态环境复合系统交互作用与调控	65
4.3 水资源与环境经济协调发展研究科学基础	72
4.4 水资源与环境经济协调发展研究理论体系	73
4.5 水资源与环境经济协调发展研究技术方法	82
第五章 水资源与环境经济协调发展模型系统	85
5.1 模型系统功能	85

5.2	模型构建	87
5.3	模型机制与求解	99
第六章	黄河经济与水资源利用现状评价	103
6.1	黄河基本概况	103
6.2	黄河经济发展评价	106
6.3	黄河流域水资源开发利用状况评价	115
6.4	黄河水资源的保障作用与面临的挑战	118
第七章	黄河流域水资源—环境经济投入产出分析模型	121
7.1	投入产出表的编制方法	121
7.2	黄河流域投入产出表的编制	125
7.3	黄河流域宏观经济投入产出的分析	129
7.4	黄河流域水资源—环境经济投入产出模型	132
7.5	黄河流域水资源利用宏观经济效果的评价	147
第八章	黄河流域水资源系统模拟模型的设置与实现	153
8.1	模型基本设置	153
8.2	模型重要边界设定	157
8.3	参数率定与设定	160
8.4	模型的验证	169
8.5	协调发展情景方案的设置	171
第九章	黄河水资源与环境经济协调发展情景方案研究	172
9.1	经济社会发展驱动下的需水量预测	172
9.2	水量统一调度宏观经济模拟评估	188
9.3	黄河水资源承载力情景分析	201
9.4	外流域调水量配置方案宏观效果情景评估	207
第十章	黄河水资源与环境经济协调发展对策与建议	212
10.1	黄河流域水资源和环境经济协调发展的对策	212
10.2	黄河流域水资源和环境经济协调发展的相关工作建议	214
10.3	黄河流域水资源与经济社会协调发展研究前景的展望	215
附表		217
参考文献		230
结语		235

第一章 绪 论

水资源与环境经济协调发展是目前国内外热点问题之一。本书以问题为导向,通过理论方法创新研究,试图探讨提出一套面向科学发展观、基于人水和谐理念的定量研究流域尺度的水资源与环境经济协调理论、方法及实践应用成果。

1.1 问题提出

水资源是人类社会生存与发展的重要物质基础,是生态环境的控制性要素,同时又是战略性经济资源。水资源系统和社会经济系统、生态环境系统之间存在着相互制约、相互依存的关系。在影响区域经济发展的外部因素中,资源与环境条件正在起愈来愈大的作用,由于存在着自然资源在不同经济部门之间、不同经济区之间、近期与长期之间的开发利用模式的不同及其竞争性,导致自然资源利用所产生的经济社会和生态环境效益也有所不同。

1.1.1 变化环境下的水资源问题

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是生态环境的控制性要素,更是社会经济持续稳定发展的核心因子。但是,随着经济的快速增长,水资源需求量大幅度增加,促使人类对水资源的开发利用程度不断提高,水资源的过度开发与水污染,导致了可利用水资源量减少、生态环境恶化等问题,产生了严峻的水危机。

一方面,自然地质循环与大气循环使得降雨径流下垫面条件发生改变,水资源量处于动态变化中;另一方面,受人类的干扰,全球气候变暖,水资源时空分布发生较大改变,开发利用手段、用水对象、用水结构均发生了较大变化,产生了极为复杂的水资源问题。

全球气候变化是指在全球范围内气候平均状态统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间(典型的为10年或更长)的气候变动。近年来,由于全球气候变化的影响,世界各地极端天气频发,造成了巨大的影响与危害。它主要表现在以下几个方面。

(1) 海平面上升。全球气候变暖导致的海洋水体膨胀和两极冰雪融化,使海平面不断上升,危及全球沿海地区。

(2) 影响农业和自然生态系统。全球气温和降雨形态的迅速变化可能会使一些地区的农业和自然生态系统无法适应或很快适应,进而遭受很大的破坏性影响。

(3) 加剧洪涝、干旱及其他气象灾害。全球平均气温略有上升,就可能带来频繁的气候灾害——过多的降雨、大范围的干旱和持续的高温,造成大规模的灾害损失。



(4) 影响人类健康。气候变暖有可能加大疾病危险和死亡率,增加传染病。高温会给人类的循环系统增加负担,热浪会引起死亡率的增加。

受全球气候变化影响,近年来中国水资源时空分布不均问题更加明显,局部地区的强降雨、高温干旱以及超强台风等极端天气灾害出现的频率和强度显著上升,水旱灾害的突发性、异常性、不可预见性日渐突出。2009年入秋开始到2010年春节后,中国西南地区云南、贵州、广西、重庆、四川等省(自治区、直辖市)遭遇历史罕见的持续特大干旱,2010年5月下旬强降雨突袭南方九省,总共14次的强降雨持续到7月,引发了严重的洪涝灾害,导致1000多万人受灾。7月中旬,长江上游的强降雨又引发大洪水,洪峰流量一度超过1998年。同期北方高温,6月1日到7月5日,东北、华北、新疆、长江流域和华南等地共有162个气象观测站日最高气温达极端事件标准。7月底,北方高温转为洪水,南方洪水转向高温。甘肃、新疆洪水泛滥,吉林松花江流域全线遭灾。黄淮、华南一带,7月30日开始持续 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的高温。

2006年3月16日,第四届世界水资源论坛在墨西哥开幕。联合国在向大会提交的《世界水资源发展报告》中说,我们已严重改变了全球河流的自然规律。这充分说明强烈的人类活动正日益影响着水资源的自然循环,并且随着时间的推移,这种影响将日趋严重。同样出自联合国的一项名为《综合评估世界淡水资源》的研究报告说,如果人们继续像现在这样不加节制地用水,30年后世界贫水人口数将可能达到总人口数的 $2/3$ 。所以,人类对水资源的过度开发、浪费和破坏造成的首要水问题便是全球水危机的出现。它主要表现在以下几个方面。

(1) 需水量急剧增加。这主要源于人口增长带来的人类生产和生活用水量的猛增。20世纪以来世界的城市用水量增长了12倍,农业用水增长了7倍,工业用水增长了20倍,远远超过了人口增长速度。

(2) 水质污染严重。城市化发展与工业生产规模的扩大以及生产结构的不断调整使得污染物的排放总量大、种类多、结构复杂,且被污染水源已从单一的地表水转向了地表、地下水等多种水源。伴随水污染而来的最严峻的问题便是饮水安全。第四届世界水论坛提供的联合国水资源世界评估报告显示,全世界每天约有数百万吨垃圾倒进河流、湖泊和小溪,每升废水会污染8L淡水;所有流经亚洲城市的河流均被污染;美国40%的水资源流域被加工食品废料、金属、肥料和杀虫剂污染;欧洲55条河流中仅有5条水质勉强能用。

(3) 生态环境恶化,森林植被减少,水土流失严重,生物物种加速灭绝,动植物资源急剧减少。据世界观察研究所1998年4月估算,全世界每年至少有1600万 hm^2 天然森林被夷为平地。大片森林丧失影响了自然界的气候调节,削弱了涵养水源的功能,加快了土壤流失的速度,加重了水旱灾害,对生态和水环境保护造成了灾难性影响。自人类大规模农业生产以来,其行为一直在推进物种灭绝。

(4) 用水浪费严重。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造成了淡水资源的很大浪费。

1.1.2 科学发展观下的水资源利用

水资源开发,是通过各种水工程和水管理等措施对水资源进行调节控制和再分配,改



变水资源自然时空的分布不均和随机性，满足人类生活、生产和环境对水资源的竞争性需求。水资源利用，是通过水资源开发为各类用户提供符合质量要求的可用地表和地下水源。水资源开发利用，是通过人工侧支循环“取用耗排”的全过程，对自然水循环和水的自然资源属性产生扰动，并进而对以水为载体的生态系统产生影响。随着社会经济的发展对水的需求不断增长，有限水资源的开发管理涉及国民经济很多部门的利益和发展要求，水多、水少、水脏、水浑都将给人类造成困境与不同程度的灾难，事关国计民生，影响社会环境甚至安全稳定，历来都是全社会共同关注的问题。水资源分布的地域范围有时与行政区划界线不一致，往往跨区、跨省甚至跨国，存在管理权限、效益得失等矛盾，也必须从政治、政策上加以协调。

科学发展观是有关改革与发展的一种方法论，它的第一要义是发展，核心是以人为本，基本要求是全面协调可持续性，根本方法是统筹兼顾。科学发展观下的水资源利用就要求人们在开发利用水资源时以科学发展观为指导，统筹考虑经济发展与保护环境的双重效益，坚持以实现人类社会可持续为最终目的，协调资源、环境与经济发展间的矛盾，最终达到水利建设的良性发展。保障水资源的可持续利用是科学发展观在水利工作中的具体体现，是解决我国复杂水问题的必由之路。

水资源可持续利用（Sustainable water resources utilization）概念体现了科学发展的思想。《中国水利百科全书·水文与水资源分册》指出水资源可持续利用为保障人类生存环境和经济社会可持续发展的水资源开发利用方式。其主要原则为：在水资源的开发利用中，首先应当注意使预期得到的社会和环境效益和因开发利用所致的不利于环境的副作用相平衡，并力求前者稍大后者，以利人类社会的不断完善与进步。实现水资源可持续利用的前提，是要在适应当地客观经济发展水平的基础上，制定合理的水资源配置规划，并遵守供饮用的水源与土地生产力得到保护的原则，保护生物多样性不受干扰和生态系统平衡发展的原则，对水源不可过量开采和污染的原则。为求水资源的可持续利用能保障环境和经济的可持续发展，应当注意近期效益与远景效益的兼顾，从而使水资源的开发利用在时间尺度上是可持续的；应当注意水在有利于各区域发展的平衡性，从而在区域尺度上是可持续的；要有助于促进该地区的社会经济发展与环境、生态保护的协调性，从而在发展目标间是可持续的；要有助于促进总收益分配的社会公平性，从而在不同团体间是可持续的。为达到上述目的，在具体的水资源开发利用中要对由水源地取水适当留有余地；要在保护利用好现有水源工程的基础上开发新水源工程，并在开发中注意当地水资源的可开发限度；要加强需水管理，使用水定额不断改进；要努力开拓高效清洁的水利用模式，加大污水处理的力度，以维持水资源的可持续利用功能。

以科学发展观为指导的我国水资源利用主要包括以下内容。

（1）加强水利基础设施建设，最大程度减轻洪涝灾害的同时，满足经济社会发展的用水需求。将减轻洪涝灾害放在满足经济发展用水之前，正是水资源利用过程中以人为本的具体体现。发展固然重要，但人民的生命财产安全是首位的，经济发展必须在这个前提下进行才有意义、才是可持续的。

（2）进行合理的水资源配置，实现水资源利用效率最大化。在我国，以南水北调工程



为首的调水工程为水资源短缺地区带来了巨大的经济效益和社会效益，实现了水资源的合理配置。南水北调中线工程可缓解京、津、华北地区水资源危机，为京、津及河南、河北沿线城市生活、工业增加供水 64 亿 m^3 ，增供农业 30 亿 m^3 。

(3) 推动农村水利基础设施建设，保障粮食安全，改善农民生活。把节水灌溉作为农业增产和农民增收的革命性措施来抓，通过实施灌区节水改造和管理体制改革，提高水资源利用效率，增强农业综合生产能力。

(4) 保护和修复水生态系统，对生态脆弱河流实施综合治理并加强水资源统一管理和调度。黄河水资源实现统一调度后，已实现连续十年不断流，支撑了流域及相关地区经济可持续发展，取得了显著的经济效益、社会效益和生态效益。

(5) 加快水土流失防治速度，控制水污染趋势，保障流域生态安全和饮水安全。水土流失导致耕地破坏、草原退化、河流湖库淤积、生态环境破坏、沙尘暴危害加剧，对社会、经济生态都造成重大损失，所以应加快治理，同时积极预防。水污染对生活、生产、生态系统都带来严重危害，威胁人类健康、污染农田，影响作物产量，增加水处理成本，导致水质恶化，应积极治理。

(6) 推进节水型社会建设，完善水价机制，明确初始水权分配。建立以需水管理为核心、以水权水市场为基础的制度体系，形成有利于节水的体制机制，建立自律式发展模式，大力推行节约用水。综合运用法律手段、经济手段、行政手段和科技手段转变，注重依法治水、科学管水，提高水利社会管理和公共服务水平。通过价格杠杆调节水资源的供求关系，充分运用经济手段调节各方面的经济利益关系，引导人们自觉调整用水数量、用水结构和产业结构，促进节约用水，实现全社会优化配置水资源，提高用水效率，促进水资源的合理利用。加强水权管理，杜绝浪费水资源，建立水权交易市场，完善水权交易制度，促进水资源从低效用水领域向高效用水部门转移，提高水的利用效率与效益。

(7) 完善水资源管理体制，提高水资源管理效率。水资源管理模式由分散管理向涉水事务统一管理转变，实行流域管理与行政区域管理相结合的管理体制，同时，水资源管理还应由注重自然水循环向自然水循环、社会水循环并重转变。从社会属性看，水作为战略性经济资源，必须通过统一管理来保证对其进行优化配置、节约使用和高效使用，以谋求水系统平衡，维持区域内社会经济和生态的良性健康发展。由于人类活动的强烈干预，水循环系统已具备“二元”循环特征，因此加强对社会水循环的调控与管理是必要的，亦是紧迫的。

(8) 把握国家区域发展战略，统筹考虑区域自然资源、经济社会资源与水资源的合理配置，统筹流域区域水利协调发展。加大相对落后地区水利发展的扶持力度，统筹区域、城乡水利协调发展，既要重视区域发展的基本用水需求，又要从国家层面统筹调配，保障区域协调可持续协调发展的战略需要。

1.1.3 人水和谐理念下的协调发展

和谐是对立事物之间在一定的条件下、具体、动态、相对、辩证的统一，是不同事物之间相同相成、相辅相成、相反相成、互助合作、互利互惠、互促互补、共同发展的关系。协调是两种或两种以上系统或系统要素之间配合得当、和谐一致、良性循环的关系。



发展指系统或系统组成要素本身从简单到复杂、从低级到高级、从无序到有序的变化过程。协调发展则是协调与发展的交集，是系统及其要素之间在和谐一致的基础上由低级到高级、简单到复杂、无序到有序的总体演化过程。所以，人水和谐理念下的协调发展应包括以下三层含义。

(1) 和谐（协调）发展。水资源与经济社会系统内部的子系统之间、诸元素之间都相互和谐（协调）。消除过度和不合理用水，防止水资源枯竭、供应不足，控制环境污染等现象，避免出现各种问题。

(2) 趋优发展。水资源与经济社会生态系统的结构、内部关系趋优，越来越好；发展的经济、社会、生态综合效益趋优，越来越高。这包含了以往所说的良性循环。

(3) 可持续发展。水资源经济社会生态系统和谐（协调）发展，既包括了可持续发展，又高于、优于可持续发展，是永恒的、越来越好的、最优的发展，是发展的最高目标，目前人类经济社会已经达到了较高的水平，应该走向这种高级的发展。

在可持续发展理论出现以前，协调与协调发展思想最早以哲学形式出现，而形成于经济学领域。我国古代“天人合一”、“中庸之道，兼容并包”的哲学思想，西方“以人为本”，“物竞天择，适者生存”的哲学逻辑，虽没有明确的协调与协调发展的概念，但都在一定程度上蕴涵了协调理念。

经济发展理论的进步带动了协调发展理论体系的形成与完善。政治经济学开创者 William petty 认为协调意味着等价交换；重农学派代表人物 Fquesnay 在其提出的“以商品生产商品”的均衡模型中表达了“平衡”就是协调的意思，为协调与协调发展理论的前进做出了探索性的贡献。马歇尔开辟了以边际分析为特征的新古典经济学后，均衡价值论成为了协调与协调发展的主流理论，协调意味着资源配置最优。

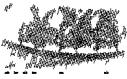
现代的协调与协调发展理论是人类在其文明进程中对“人与自然”关系及其发展模式思考的产物。1987 年 G. H. Brundland 代表联合国世界环境与发展委员会（WECD）在《Our Common Future》中将“可持续发展”定义为“既满足当代人的需求又不危及后代人满足其需求的发展”，其核心是人口、社会、经济、科技、环境和资源相互协调。这一概念的提出，标志着现代协调和协调发展理念的形成，且“可持续发展”意义上的协调并没有改变“协调”与“均衡”本质和原则，所以，它与古典的协调发展理念是统一的、一致的。

系统科学理论中的协调与协调发展理论更多的是侧重于协调方法论。一般系统论认为虽然系统是由要素或子系统组成的，但是系统的整体性能可以大于各要素的性能之和；系统与其子系统之间、系统内部各子系统之间和系统与环境之间是相互作用、相互依存和相互关联的；系统存在层次性与统一性，所以，系统协调问题将归结为系统与要素、要素与要素、系统与环境间的均衡与发展演化问题。

1.2 水资源及其利用概况

1.2.1 世界水资源及其利用概况

全球淡水总量约 34700 万亿 m^3 ，69% 位于两极的冰川和冰帽中，位于地下的淡水约占



第一章 绪 论

30%，其余的淡水分别位于湖泊、河流、土壤和大气中。据联合国粮农组织（FAO，2003）的统计，全世界水资源约为 47.43 万亿 m^3 。世界水资源及其分布见表 1-1。

表 1-1 世界水资源及其分布

洲名	水 资 源		2000 年 人 口		人均水资源量 (m^3)
	总量 (亿 m^3)	占总量比例 (%)	人口 (万人)	占总人口比例 (%)	
亚洲	153412	32.35	367234	60.63	4178
非洲	39502	8.33	79363	13.10	4977
欧洲	66035	13.92	72730	12.01	9079
中北美洲	74615	15.73	48718	8.04	15316
南美洲	123800	26.10	34574	5.71	35807
大洋洲	16933	3.57	3052	0.51	55480
合计	474296	100.0	605671	100.0	7831

据测算，全球海洋每年有 43 万 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% 随气流携带，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，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，18% 的水量是在陆地—大气系统中进行。全球水文循环系统水量平衡如图 1-1 所示。

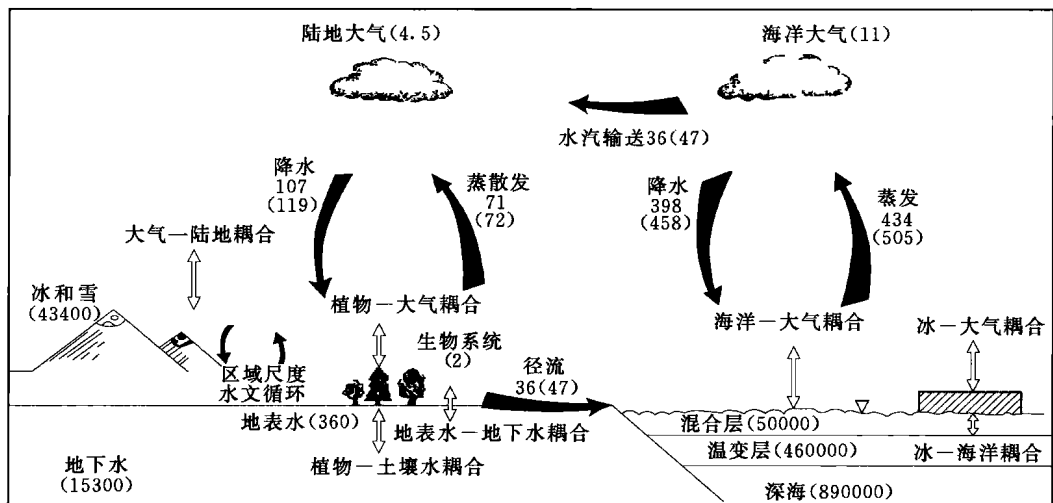


图 1-1 全球水文循环系统水量平衡 (单位: 水量, 10km^3 ; 通量, $10\text{km}^3/\text{a}$)

根据有关机构的研究估算，1950 年全球取水总量 13707 亿 m^3 ，2000 年增加到 38113 亿 m^3 ，年均增长率 2.1%。人均取水量由 1950 年的 539 m^3 上升到 1980 年的 687 m^3 ，随后下降到 2000 年的 629 m^3 。万美元 GDP 取水量下降明显，由 1970 年的 7658 m^3 下降到 2000 年的 1218 m^3 。世界取水情况统计表见表 1-2。全球用水增长趋势如图 1-2 所示。



表 1-2 世界取水情况统计表

年份	取水量 (亿 m ³)				取水量占总量的比重 (%)			人均取水量 (m ³)				万美元 GDP 取水量 (m ³)
	农业	生活	工业	合计	农业	生活	工业	农业	生活	工业	合计	
1950 ^①	10800	867	2040	13707	78.8	6.3	14.9	425	34	80	539	
1960 ^①	14810	1180	3390	19380	76.4	6.1	17.5	489	39	112	640	
1970 ^①	17430	1600	5470	24500	71.2	6.5	22.3	472	43	148	663	7658
1980 ^①	21120	2190	7130	30440	69.4	7.2	23.4	477	49	161	687	2546
1990 ^①	24250	3050	7350	34650	70.0	8.8	21.2	462	58	140	660	1529
2000 ^②	26521	3762	7830	38113	69.6	9.9	20.5	438	62	129	629	1218

注 工业取水量包括火电冷却用水。
① 资料来源于 Shiklomanov 的估算 (1999 年)。
② 资料来源于联合国粮农组织 (FAO) 水资源数据库。

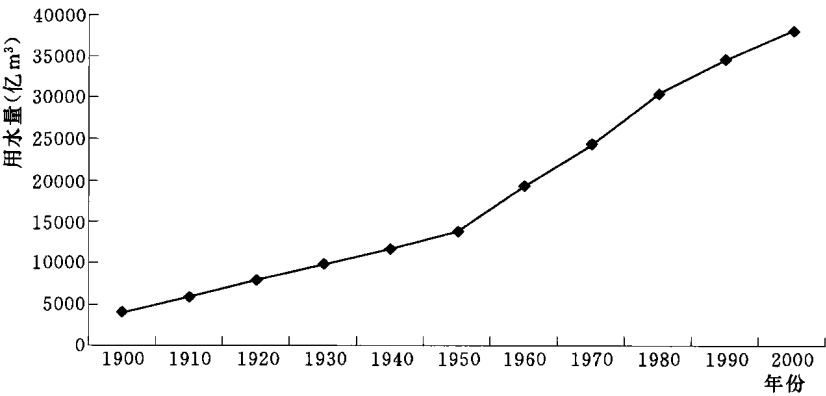


图 1-2 全球用水增长趋势

从行业取水量变化看，农业取水量从 1950 年的 10800 亿 m³ 增加到 2000 年的 26521 亿 m³，占总取水量的比重从 78.8% 下降到 69.6%；工业取水量从 1950 年的 2040 亿 m³ 增加到 2000 年的 7830 亿 m³，年均增长率 2.7%。生活用水从 1950 年的 867 亿 m³ 增加到 2000 年的 3762 亿 m³，年均增长 3%，占总取水量的比重从 6% 提高到 10%。

由于各洲经济社会发展水平和水资源条件不同，取水量差别也较大。1950~2000 年的 50 年间，亚洲取水量最多，其次是中北美洲，大洋洲的取水量最少。从各洲取水量的变化来看，亚洲、非洲、南美洲和大洋洲的取水量保持逐步增加，而中北美洲、欧洲分别于 20 世纪 80 年代和 90 年代逐步进入用水稳定阶段，用水总量甚至呈稳中有降趋势。世界各洲取水量变化情况统计表见表 1-3。

表 1-3 世界各洲取水量变化情况统计表

年份	亚洲		非洲		欧洲		中北美洲		南美洲		大洋洲	
	取水量 (亿 m ³)	年均增速 (%)	取水量 (亿 m ³)	年均增速 (%)	取水量 (亿 m ³)	年均增速 (%)	取水量 (亿 m ³)	年均增速 (%)	取水量 (亿 m ³)	年均增速 (%)	取水量 (亿 m ³)	年均增速 (%)
1950	8431		558		1344		2785		492		101	
1960	11555	3.2	882	4.7	2195	5.0	3962	3.6	649	2.8	138	3.2