



Rational Allocation and Management
of River Basin Water Resources

流域水资源合理配置 与管理研究

© 柳长顺 刘昌明 杨 红 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Rational Allocation and Management
of River Basin Water Resources

流域水资源合理配置 与管理研究

◎ 柳长顺 刘昌明

杨红 著
江苏工业学院图书馆
藏书章



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地总结了流域水资源配置的基础理论,建立了流域水资源配置模型技术体系,开发了流域水资源配置系统。主要内容包括:流域管理配置理论基础,流域水资源配置模型体系与配置系统,海河流域应用实例。

本书具有系统性、综合性和创新性,可供从事水文、水资源、水环境等专业的科研、教学、管理人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

流域水资源合理配置与管理研究/柳长顺, 刘昌明,
杨红著. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4356-0

I. 流… II. ①柳…②刘…③杨… III. 流域—水资源—
资源管理—研究 IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 163950 号

书 名	流域水资源合理配置与管理研究
作 者	柳长顺 刘昌明 杨红 著
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 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (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	北京市兴怀印刷厂
规 格	880mm×1230mm 32 开本 8.625 印张 216 千字
版 次	2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	27.00 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

项目资助

中国与瑞士合作项目:

Water, Environment and Food
Security-A Case Study of the
Haihe River Basin

国家重点基础研究发展规划项目

(G1999043600):

黄河流域水资源演化规律与可再生
性维持机理



柳长顺 1997年参加工作, 2004年毕业于北京师范大学, 获工学博士学位, 现在水利部发展研究中心工作。主要研究领域为水资源配置与管理、水利政策等, 发表学术论文30余篇。近年来主要完成与参加的项目包括: 水、环境与粮食安全研究、黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究、强化水资源管理对策研究、水资源战略储备体系研究、绿色GDP下的用水审计研究、松辽流域流域管理与行政区域管理相结合的水资源管理体制研究等。



刘昌明 中国科学院院士，北京师范大学水科学研究院名誉院长。在径流模式、水文实验和环境水资源等方面均有理论与方法论的新开拓，主持过多项国家与中科院重大研究项目，获国家、中科院及省部级奖励12项，发表论著200余篇(部)。现任地理学会副理事长，水文专业委员会主任，IGU二级组织主席，IAHS国家委员会副主席。



杨红 1994年获澳大利亚阿德雷德大学博士学位，同年在香港大学任副教授，1999年进入瑞士联邦环境科学技术研究所(EAWAG)任高级研究员，现任该系统分析、评估与模拟系(SIAM)水、粮食与环境研究组组长，主要研究领域为水土资源综合管理、水危机及其对粮食安全、全球粮食贸易、区域发展、贫困缓解和水资源与农业政策的影响。

前言

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是生态与环境的控制性要素。水资源的可持续利用是经济社会可持续发展的重要保证。水利部提出治水新思路：以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展。在科学发展观和新时期水利工作方针的指引下，随着可持续发展水利工作的深入实践，水资源合理配置已经成为缓解水资源短缺的关键举措。因此，如何管理与合理配置水资源成为亟待解决的新课题。

海河流域属于资源型缺水地区，多年平均水资源总量为 372 亿 m^3 ，人均水资源量为 305m^3 ，仅为全国平均水平的 $1/7$ 、世界平均水平的 $1/27$ ，远低于国际公认的人均 500m^3 的水资源绝对紧缺（Absolute Stress）标准。亩均水资源量仅为 225m^3 ，约为全国平均水平的 $1/8$ 。随着海河流域经济的发展，该地区对水资源的需求越来越大，超过了流域水资源的承载能力，水资源的过度开发利用和不合理管理必然会造成严重的社会和生态环境问题。长期以来，海河流域水资源开发利用多强调满足经济发展的需求，对生态与环境保护和改善问题重视不够，致使流域的生态与环境出现退化，随着城市化进程的加快和社会经济的长足发展，农业和生态用水被无情

地挤占，可能影响流域乃至全国的粮食安全。

南水北调工程是解决我国北方（包括海河流域部分区域）水资源严重短缺问题的特大型基础设施项目。但是，南水北调工程是建立在受水区节水、治污和生态环境保护的基础上。因此，受水区本身水资源（现状供水条件）必须合理配置与管理。所以，研究海河流域的水资源合理配置与管理，对于发挥南水北调工程的巨大作用、促进水资源的可持续利用、保障国家粮食安全具有重大理论和实践意义。

《流域水资源合理配置与管理研究》是中国与瑞士合作项目：Water, Environment and Food Security—A Case Study of the Haihe River Basin 和国家重点基础研究发展规划项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”（G1999043600）研究成果的重要组成部分。本书在全面总结流域水资源配置的理论基础上，系统分析了流域水资源合理配置目标、用户、决策层次和决策网络，提出了流域水资源配置评价的方法，建立了面向可持续发展的流域水资源配置理论体系；建立了流域水资源配置模型、流域水资源配置评价模型，提出多目标、多用户、多层次、群决策的流域水资源配置模型解法，构建了完整的海河流域水资源配置模型技术体系；开发了基于 GIS 的海河流域水资源配置系统（WRAS），为流域水资源合理配置与管理提供了科学依据、理论指导与决策工具。本书具有系统性、综合性和创新性，可供从事水文、水资源、水环境等专业的科研、教学、管

理人员参考使用，本书配套程序及光盘将随后出版。由于流域水资源配置与管理是一个复杂的系统工程，没有成熟的理论和方法可供借鉴，加之作者水平有限，本书难免有不足之处，恳请读者和专家指正。

本书在写作过程中得到了北京师范大学、瑞士联邦环科院（EAWAG）、水利部发展研究中心、水利部海河水利委员会、中科院地理科学与资源研究所、天津市环境保护局、德国 Osnabrück 大学等单位有关领导、专家与学者的无私帮助，在此表示衷心感谢。本书的出版也得到了广大专家、学者、出版人员的大力支持，谨在此一并表示感谢。同时感谢所引用参考文献的作者。特别感谢中国水利水电出版社王志媛主任、王若明编辑对本书出版给予的帮助。

衷心希望本书的出版能为水资源的可持续利用理论发展贡献一份力量。

作 者

2006 年 10 月

目录

前言

第一部分 理论篇	1
第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 流域水资源管理研究综述	3
1.2.1 水资源的概念及其内涵	3
1.2.2 流域水资源管理研究	7
1.2.3 国内水资源管理研究的热点问题	14
1.2.4 发展趋势	21
1.3 流域水资源配置研究综述	24
1.3.1 配置机制研究进展	24
1.3.2 流域水资源配置模型研究进展	26
第2章 理论基础	35
2.1 流域水资源配置定义与内涵	35
2.1.1 水资源天然分配	35
2.1.2 流域水资源合理配置	35
2.2 流域水资源合理配置理论	37
2.2.1 水文学原理	38
2.2.2 生态经济学原理	41
2.2.3 系统论	45
2.2.4 生态需水理论	50
2.2.5 可持续发展准则	54

2.2.6	粮食生产与安全准则	55
2.2.7	博弈论	58
2.3	流域水资源合理配置目标识别	60
2.3.1	总目标识别	60
2.3.2	水资源合理配置原则	61
2.3.3	水资源合理配置具体目标	65
2.4	流域水资源合理配置用户识别	66
2.5	流域水资源合理配置决策层次分析	66
2.5.1	层次辨识	68
2.5.2	合理配置层次分析	68
2.6	流域水资源合理配置决策网络分析	74
2.7	流域水资源配置评价	75
第3章	流域水资源配置模型研究	78
3.1	流域水资源合理配置技术	78
3.2	流域水资源配置模型 (WRAM)	79
3.2.1	建模思想	79
3.2.2	主要决策变量及参量的选取与定义	80
3.2.3	数学描述	84
3.2.4	模型求解技术	88
3.2.5	流域水资源配置满意度计算	98
3.3	流域水资源模拟模型	103
3.3.1	SWAT 模型简介	104
3.3.2	SWAT 模型运行过程	105
3.4	流域水资源配置模糊评价模型 (FAM)	106
3.5	模型数据接口	108
3.5.1	BSB 文件定义	108
3.5.2	RCH 文件定义	109
3.5.3	WUS 文件定义	109
3.5.4	GC 文件定义	109

3.5.5	SHR 文件定义	110
3.6	流域水资源配置系统研究	110
3.6.1	WRAS 与 GIS 集成方式	110
3.6.2	GIS 平台选择	111
3.6.3	系统集成	113
3.6.4	系统介绍	115
第二部分	实践篇	122
第4章	研究区概况	122
4.1	研究区基本情况	123
4.2	水资源基本情况	123
4.3	水资源配置与管理需要解决的问题	127
4.3.1	主要问题分析	127
4.3.2	结论	137
4.4	水资源配置与管理研究综述	138
第5章	海河流域水资源配置与管理研究	140
5.1	海河流域生态用水分析	140
5.1.1	研究方法	140
5.1.2	结果分析与讨论	142
5.1.3	结论与建议	147
5.2	居民水费承受能力分析	148
5.2.1	数据收集与整理	149
5.2.2	结果分析与讨论	151
5.2.3	结论与建议	161
5.3	水资源配置模型	161
5.3.1	配置单元的划分	161
5.3.2	数据引用	163
5.3.3	参数分析	164
5.4	现状水平年水资源配置评价	186

5.5	现状水平年水资源配置研究	187
5.5.1	无约束方案(方案0)	187
5.5.2	合理方案(方案1)	191
5.5.3	方案0与方案1对比分析	198
5.5.4	实现水资源合理配置的途径	200
5.5.5	水资源配置情景分析	200
5.5.6	情景分析结论	218
5.6	规划水平年水资源配置研究	218
5.6.1	合理方案(方案2)	219
5.6.2	水资源配置方案分析与探讨	222
5.6.3	水资源配置情景分析	230
5.6.4	情景分析结论	240
第6章	海河流域水资源管理分区研究	242
6.1	研究方法	243
6.1.1	分区基本原则	243
6.1.2	划分计算单元	243
6.1.3	建立指标体系	245
6.1.4	数据来源及引用	248
6.1.5	综合评判方法	248
6.2	结果分析	249
6.2.1	确定分区方案	249
6.2.2	分区主要特征分析	252
6.3	结论与建议	253
第7章	结论与展望	255
7.1	结论	255
7.2	进展	258
7.3	展望	259
	参考文献	260

第一部分 理论篇

第1章 绪论

1.1 研究背景

水资源是基础性的自然资源 and 战略性的经济资源，是生态与环境的控制性要素。水资源的可持续利用，是经济社会可持续发展的重要保证。21 世纪，水资源问题是人类面临的重大问题。

水是一种循环的、部分可更新的、时空分布不均匀的、储量有限的资源。水的需求在不断增长，但水的供应在一定时期内是相对不变的，要实现水资源的供需平衡，只能通过水资源的合理配置与科学管理。许多国家的水资源脆弱易损，大多是因为资源管理不善而不是实际缺水^①。除非采取有效的管理措施，到 2025 年，高达 2/3 的世界人口可能面临水资源不足的局面^②。《21 世纪议程》第 18 章明确强调，必须把水资源当作有限的和易受污染的资源来进行综合管理；该书第 18 章第 9 条指出，水资源应按流域进行综合管理。以流域为单元对水资源进行管理，已被许多国家和国际组织所接受和推荐，并形成一股潮流。

长期以来，我国洪涝灾害、干旱缺水、水土流失等水问题十分严重，随着经济社会的快速发展，又出现了水污染这一新问

① 可持续发展问题世界首脑会议《饮用水，能源，健康，农业和生物多样性（2002）》。

② 联合国经济及社会理事会（ECOSOC）秘书长《关于 19 世纪 90 年代向人人提供安全饮用水和卫生设施的进度报告（2000）》。

题，这些都严重影响了我国生态环境的保护和经济社会的可持续发展。水资源问题已经成为我国经济社会可持续发展的一大隐患。搞好流域水资源综合管理，对实现经济社会可持续发展这一战略目标，具有十分重要的意义。流域水资源综合管理的核心内容就是水资源合理配置。目前，开展流域水资源合理配置研究具有以下有利条件。

(1) 随着人口增长、社会经济发展，出现了有限水资源与不断增加的需水量之间的尖锐矛盾。在很多国家或地区，水资源短缺已成为制约社会经济发展的主要因素。这就迫使人们寻找水资源的最佳分配，以实现有限水资源发挥最大效益的愿望。这是开展水资源合理配置研究的前提条件和原动力。

(2) 正是因为水资源短缺，使得水资源在部门、行业、地区、时间上存在客观的竞争现象，而对于这种现象的不同解决方案（即配水方案）将导致不同的社会效益、经济效益以及生态效益。这就为选择最佳效益配水方案提供了可能。这是开展水资源合理配置研究的基础条件。

(3) 随着系统工程理论和“3S”技术的出现及不断发展完善，为复杂水资源系统合理配置提供了技术支撑。

虽然，流域水资源配置具有上述的有利条件，并在实践中不断深化。但是，面向可持续发展的流域水资源配置是一个亟待解决的新问题。以海河流域为例，海河流域属于资源型缺水地区，多年平均水资源总量为 372 亿 m^3 ，人均水资源量为 305 m^3 ，仅为全国平均水平的 1/7，世界平均水平的 1/27，远低于国际公认的人均 500 m^3 的水资源绝对紧缺（Absolute Stress）标准。亩均水资源量仅为 225 m^3 ，约为全国平均水平的 1/8。随着海河流域经济的发展，该地区对水资源的需求越来越大，超过了流域水资源与水环境的承载能力，水资源的过度开发利用和不合理管理必然会造成严重的社会、生态与环境问题。长期以来，海河流域水

资源开发利用仅强调满足经济发展的需求，没有考虑和重视生态与环境的保护和改善问题，致使流域的生态与环境出现退化，随着城市化进程加快和工业经济的长足发展，农业用水被无情地挤占，可能影响流域乃至全国的粮食安全。

南水北调工程是解决我国北方水资源严重短缺的特大型基础设施项目。但是，南水北调工程是建立在受水区节水、治污和生态环境保护的基础上。因此，受水区本身水资源（现状供水条件）必须合理配置与管理。由此可见，海河流域本身水资源管理与合理配置是亟待解决的问题。以海河流域为例，探讨流域本身水资源合理配置与管理的基础理论、配置方法和评价手段，从理论上和实践上都具有深远意义。

1.2 流域水资源管理研究综述

1.2.1 水资源的概念及其内涵

水资源一词很久以前已经出现，并随着时代前进不断丰富和发展。美国内务部在1879年设立了地质调查局（USGS），1894年设立了水资源处（WRD），主要任务是测量和记录地表水和地下水；1965年成立水资源理事会（WRC），协调各部门进行有关水资源的规划、管理和开发工作，定期进行水资源评价活动；1972年成立国际水资源协会（IWRA），主要活动内容是解决水资源规划、开发、管理等方面的科学技术问题，包括水资源工程建设和运行管理，防治水旱灾害等。

1977年，联合国教科文组织（UNESCO）定义“水资源应指可资利用或有可能被利用的水源，这个水源应具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”

1988年，《简明大英百科全书》把水资源定义为“地球上所有的（气态、液态或固态）天然水”。

1999年，《不列颠百科全书》定义水资源为：“地球上存在

的不论属于哪种状态（液态、固态或气态）的，对人类有潜在用途的天然水体。”

国内对“水资源”也有不同见解。《中国大百科全书》在《大气科学、海洋科学、水文学》卷中对水资源的定义是“地球表层可供人类利用的水。包括水量（质量）、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源。”1987年出版的《中国农业百科全书》“水利卷”定义水资源为可恢复的和可更新的淡水量。并根据水资源的更新周期把其分为两类，一类是永久储量，它的更新周期长，更新极缓慢，在利用这类水时，水的利用消耗不应大于它的恢复能力；另一类是年内可恢复储量，它是参与全球水循环最为活跃的那一部分动态水量，并可逐年更新，在较长时间内可以保持动态平衡，即为人们通常所说的水资源。《辞海》的水资源条目解释为能得到恢复和更新的淡水量。但1992年出版的《中国大百科全书》《水利卷》则仿照《不列颠百科全书》的提法，定义水资源为自然界各种形态的天然水；供评价的水资源是指可供利用的水资源，即具有一定的数量和可用的质量，并在某一地点能够长期满足某种用途的水资源。《中国水利百科全书》的水资源的定义与《中国大百科全书》《水利卷》相似。

为了对水资源的内涵有全面深刻的认识，并尽可能达到统一，《水科学进展》编辑部曾在1991年组织国内著名专家对“水资源”的定义及内涵进行了一次笔谈，各位专家的观点如下：①降水是大陆上一切水分的来源，但降水只是一种潜在的水资源，只有降水量中可被利用的那一部分才是真正的水资源。降水转变为水资源的部分包括水文部门计算的水资源（河川径流量与地下水补给量之和扣除重复计算量）、土壤含水量、蒸发量、区界径流交换量4种。②从自然资源的观念出发，水资源可定义为与人类生产和生活有关的天然水源。广义的水资源应为一切可被人类利用的天然水。狭义的水资源是指被人类所利用的那部分

水。③水资源是指可供国民经济利用的淡水资源，它来源于大气降水，数量为扣除降水期蒸发量的总降水量。④一切有利用价值，包括各种不同来源和形式的水，均属水资源范畴。狭义的水资源一般是指生活用水、工业用水和农业用水；广义的水资源还包括航运用水、能源用水、渔业用水以及工矿水资源与热水资源。⑤水资源主要指与人类社会用水密切相关而又能不断更新的淡水，包括地表水、地下水和土壤水，其补给来源为大气降水。⑥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应当具有下列特性：可以按照社会的需要提供或有可能提供的水量；有可靠的来源且可以通过自然界水文循环不断得到更新或补偿；这个水量可以由人工加以控制；这个水量及其水质能够适应人类用水的要求。

从以上对水资源的不同定义及内涵的解释可以看出，对水资源范围的认识主要有广义和狭义的差别，广义的概念和定义一般忽略水资源的时间、空间和数量质量的差别，如《不列颠百科全书》、《中国大百科全书》、刘昌明、曲耀光、陈梦熊等观点；狭义的概念和定义则考虑了水资源的时间、空间和数量质量的限制，强调在现有人类社会经济和技术条件下能被人类利用和对人类有价值的水，如 UNESCO、张家诚、贺伟程、陈家琦等的观点。1998 年，沈大军根据自然资源的定义、综合以上各家的观点认为：水资源是能够被人类开发利用并给人类带来福利、舒适或价值的各种形态的天然水体，从人类社会发展的过程看，不同时代和不同地点的水资源的范围、种类、数量、质量等不同；广义上，地球上一切形态的水都有可能被人类利用；狭义上，在现有社会经济技术水平的限制下，主要是指赋存于地球陆地的淡水水体。

不同行业需水的性质不同，对水资源的定义与内涵认识不尽一致，但在行业内部，水资源的定义与内涵都比较明确。如从水