

国家自然科学基金重点项目——城市用水与流域水生态环境保护协同发展研究 (13AZD011)

中国博士后科学基金特别资助——柔性水系统的基本理论与基本框架研究 (201003297)

中国博士后科学基金——三元水价值及理论模型研究 (20090460689)



合作博弈视角下的 绿色用水与供水系统柔性化

GREENING WATER AND FLEXIBILITY OF WATER

SUPPLY SYSTEM UNDER THE VIEW OF COOPERATION GAME

张宏伟 张雪花 著

国家社科基金重点项目——城市用水与流域水生态环境保护协同发展研究(13AZD011)
中国博士后科学基金特别资助——柔性水系统的基本理论与基本框架研究(201003297)
中国博士后科学基金——三元水价值及理论模型研究(20090460689)

合作博弈视角下的绿色用水 与供水系统柔性化

张宏伟 张雪花 著

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书从合作博弈的新视角对绿色用水与供水系统柔性化的理论、方法和可行技术进行研究与介绍。本书具体内容如下:以复杂系统论和三种生产论为理论指导,明确界定绿色用水的内涵,分析绿色用水系统的结构和功能特征;以合作博弈为基本方法,进行涉水主体之间关于水价值的博弈均衡分析和用水模式的博弈均衡分析;以用水系统绿色化和供水系统柔性化为目标,通过水资源优化配置、水价格和水补贴策略的合理制定、多水源开发与循序利用以及平战结合的替代品开发和储备等措施的研究与实践,使供水系统能够高质量地满足人类经济社会的发展需求,同时用水模式环境友好。

本书可以作为广大民众理解绿色用水并培养绿色用水理念的参考用书,也可以作为政府部门水资源综合管理与决策的参考用书,还可以作为科学技术人员研究、保护、开发利用水资源和解决当前经济社会发展所面临的水资源及水环境问题的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

合作博弈视角下的绿色用水与供水系统柔性化/张宏伟,
张雪花著. —天津:天津大学出版社,2013. 8

ISBN 978-7-5618-4791-6

I. ①合… II. ①张… ②张… III. ①饮用水—用水管
理—研究 ②饮用水—供水管理—研究 IV. ①TU991. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 210067 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 10.5
字 数 270 千
版 次 2013 年 8 月第 1 版
印 次 2013 年 8 月第 1 次
定 价 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序

我国对水生态环境保护和水资源的利用已经研究和实践了多年,但人类发展用水紧缺、用水社会成本巨大等问题依然存在,同时水生态环境形势依然严峻,人水矛盾愈演愈烈,这就迫使我们不得不从另外一个新的视角重新思考、研究和解决这个问题。

2012年罗伊德·沙普利(Lloyd Shapley)和埃尔文·罗斯(Alvin Roth)获得了诺贝尔经济学奖,由于他们的贡献,合作博弈已成功应用于不同社会利益群体,指导他们了解如何在博弈过程中通过合作实现自身利益及社会整体效益的最大化。水资源开发及持续利用也是一种社会行为,由人来决策和实施,因此我们需要给参与决策的公众、政府、供水部门及其他相关者提供一种合作博弈的成功范例。此项研究目前还处于探索之中,尚鲜见报道。

本书在系统整体观视野下,以合作博弈为核心,试图从改变人类不可持续的用水方式入手,开展绿色用水与供水系统柔性化研究,寻找化解人水矛盾的新方法,以期获得不同主体包括自然的合作博弈的理念体系、方法体系和知识体系,这是对我国城市供水与社会用水系统建设与管理的新的理论尝试。

人类依水而生,傍水而居,水是人类幸福生存和经济发展的基础。遗憾的是,在人水博弈中,人类习惯性地把自己预设为一征服和战胜自然的主宰,忽视了自然作为主体的存在,为了满足人类自身的发展需求,人们采用过量取用、无度排放、破坏水生态环境、破坏人类社会生存基础的途径来发展。这种做法在破坏水生态环境的同时也伤及了人类自身,导致水资源短缺、水环境质量恶化,使供水安全面临严峻挑战。

理论是行动的先导,理清才能路明,解决问题的方法才能行之有效。人水冲突所导致的水危机的加剧,反映出水资源开发利用理论的不足。水是社会-经济-环境(Social-Economic-Environmental, SEE)复杂系统的一个重要组成部分,只有对SEE复杂系统有了充分了解,才能从中获得关于水资源的正确信息,加之水资源本身也具有复杂多变性,因此关于水资源研究需要以复杂系统理论为指导,在SEE复杂系统背景下进行。

由复杂系统论和三种生产论可知,人口生产、物资生产和环境生产之间存在着普遍联系,其中环境生产是人口生产和物资生产的基础。环境生产力受三种要素的影响,即自然力、人类对环境建设的投入、人类耗用自然资源的数量及排向环境中废弃物的量,前两者是正反馈力,最后一种是负反馈力。

伴随着社会经济的快速发展,人类对资源环境的需求量相应增加。自然力在短期内难以改变,要想提高资源环境对人类发展的持续支撑能力,可行方法只有两种:一是增加对环境建设的投入,提高环境的再生产能力;二是改变资源环境的利用方式,提高资源环境利用效率和循环利用量,减少人类活动对自然的索取和对环境的干扰。于水而言,就是构建绿色用水系统,节水减排、防污治污、开发多种水源并循序利用,而这些都需要人、财、物的投入,难免与经济社会建设投入产生矛盾,这就引发了不同主体关于水价值、水配置、水投入和水效益之间的博弈。

水价值具有三元性,即经济价值、环境价值和存在价值。水的存在价值利于水自身,属

于内在价值,依赖于水的自然生产能力;水的经济价值和环境价值是利他的,有利于人类,属于水的服务价值,以水的存在价值为载体。水的三元价值之间也存在着普遍联系,如果水的存在价值被破坏,水的服务价值也将受到损害。人类增加对水环境建设的投入,有利于水自然生产能力的修复和维护,利于水的存在,也利于提高水的服务价值。

本书以复杂系统理论为指导,从水价值的三元性分析入手,探索通过引导不同主体包括自然之间的合作来促成博弈均衡的有效方法。各主体之间的博弈主要围绕两个方面展开:一是关于水价值取向的博弈,体现于对水价格及相关水政策的反应;二是关于不同用水模式的博弈,体现于对多水源开发的需求和供水系统的柔性化建设的需求。

任何博弈最终都将归结为参与主体对自身所追求利益的诉求,合作博弈均衡体现的是参与主体对整体利益最大化策略的妥协、认同和服从,即个体理性对集体理性的服从,这种服从需要制度的约束和调控。制度由政府来制定,是一种博弈规则,有效的制度必须满足博弈的内生规则。

本书以不同主体关于水价值的综合博弈分析为基础,构建水价值综合博弈模型,分析刚性和弹性两种需求条件下的单因素变动博弈过程,从合作博弈均衡的视角探讨投入方与收益方的利益关系,并从污水资源化产品的特殊性、水作为一种基本生产要素的普通性和水的准公共物品属性三个方面进行最佳投入分析。上述分析,为水价格、水政策、水配置、多水源开发利用及供水系统柔性化的具体的博弈均衡策略和博弈规则研究奠定了基础,而这些策略和规则,正是构建绿色科学用水系统需要解决的关键问题。

本书的出版为我国城市水系统建设和管理提供了一种新视角,对于正确理解经济社会发展用水与生态环境保护用水之间的冲突与合作问题、构建科学绿色用水系统和柔性化供水系统起到一定的启示作用。



中国工程院院士 王浩
2013 年于北京

前言

本书源于中国博士后科学基金面上资助——“三元水价值及理论模型研究”(20090460689)、中国博士后科学基金特别资助——“柔性水系统的基本理论与基本框架研究”(201003297)和国家社科基金重点——“城市用水与流域水生态环境保护协同发展研究”(13AZD011)三个项目的研究成果。从合作博弈的新视角,进行绿色用水与供水系统柔性化的理论、方法和可行技术与介绍。

中国博士后科学基金面上“三元水价值及理论模型研究”的研究成果,对应本书的第二、三、四章,其主要涉及:①提出并分析水价值的三元结构——水的经济价值、水的环境价值和水的内在价值,开发三元水价值的量化评估方法;②构建三元水价值综合博弈模型,并从单因素变动和系统均衡的两种视角,分别进行涉水主体的博弈过程分析;③以水的三元价值研究为基础,分析水价格构成机理及合理水价的确定方法,探讨水价格对用水的影响。

中国博士后科学基金特别资助项目“柔性水系统的基本理论与基本框架研究”的研究成果,对应本书的第五和第六章,其主要涉及:①平常时期供水系统柔性化方法——从水价格合理制定、水资源优化配置和多水源开发利用三个方面开展研究;②非常时期供水系统柔性化方法,从替代品开发和供水能力冗余储备方面开展研究;③以最极端的危机情况为预设背景,分析一种平战结合的饮用水处理设施应对危机的技术经济可行性,并进行工艺优选及设施布点方法研究。

国家社科基金重点项目“城市用水与流域水生态环境保护协同发展研究”的成果贯穿本书始终,具体如下:①回答什么是绿色用水——环境友好(即绿色),高质量满足人类用水需求(即用水);②应用绿色用水的理论及方法学基础研究解决关于绿色用水的关键问题——三种生产论和复杂系统论是绿色用水的理论基础,合作博弈和系统柔性化建设是绿色用水的方法学基础;③探寻绿色用水的实施途径——节水减排、多水源开发、循序利用;④评析绿色用水的两个促进作用——对高质量满足人类发展用水需求的促进作用,对“水生态环境健康”的促进作用。

还有一些同志也参与了本书的整理工作,张宝安撰写了第一章和结语,马凯和毛国柱参与了第二章的整理,胥然然、李磊和李佳帅参与了第三章的整理,明立敏和赵金霞参与了第四章的整理,王小双和邢雯娇参与了第五章和附录一的整理,朱玥琦和吴云参与了第六章和附录二的整理。本书的出版,与其说推导出一些结论,不如说提出了一种新的思考方法,旨在启发我们更为理性的思考人与水的关系,共同寻找一种合作博弈的成功范例,化解人与水的矛盾,实现水的永续利用。

由于作者能力和水平有限,书中难免存在疏漏、不足甚至错误,恳请读者批评、指正并通过邮箱交流。张雪花, xuehua671231@163.com; 张宏伟, hwzhang@tju.edu.cn。

感谢王浩院士为本书作序,感谢叶文虎先生的指点与帮助,感谢中国博士后基金的支持,感谢天津大学出版社王志勇总编和陈柄岐编辑为本书出版所作的工作,感谢本书的所有引文作者。

本书作者 2013 年于天津

目 录

第一章 绿色用水理论与分析	(1)
第一节 什么是绿色用水	(1)
第二节 绿色用水理论与方法学基础	(6)
第二章 水的三元价值分析	(15)
第一节 水资源价值基础理论	(15)
第二节 水价值组成及其影响因素	(18)
第三节 三元水价值评估方法	(26)
第三章 三元水价值综合博弈分析	(35)
第一节 博弈论简介	(35)
第二节 水资源特性及其对博弈的影响	(38)
第三节 三元水价值综合博弈模型	(40)
第四节 单因素变动博弈过程分析	(43)
第五节 系统均衡视角下的合作博弈分析	(47)
第四章 水价格对用水量的博弈影响分析	(54)
第一节 水价理论研究与实践	(54)
第二节 城镇居民水价承受能力分析模型	(59)
第三节 城镇居民水价承受能力分析实例	(64)
第四节 农业用水水价承受能力分析	(77)
第五章 城市供水系统柔性化——水价格、水配置与多水源开发利用	(82)
第一节 多水源开发利用现状	(82)
第二节 非常规水的合理定价	(92)
第三节 城市水资源优化配置	(96)
第四节 经济新区多水源开发利用规划	(111)
第六章 非常时期供水系统柔性化	
——一种平战结合的饮用水处理设施技术经济分析与布点方法研究	(118)
第一节 研究意义与研究背景	(118)
第二节 平战结合的膜法水处理技术工艺优选	(122)
第三节 平战结合的膜法水处理设施经济可行性分析	(134)
第四节 平战结合的膜法水处理设施布点方法	(141)
附录一 TJSD 变量参数表	(147)
附录二 平战结合的膜法饮用水处理工艺优选——“预处理+膜过滤”工艺实验验证	(151)
结语	(158)

第一章 绿色用水理论与分析

城市水系统有别于纯粹的自然水系统,是自然水循环和社会水循环的耦合。水资源可持续利用是实现城市社会经济又好又快发展的重要保障。

绿色用水是实现水资源可持续利用的有效途径之一。什么是绿色用水?绿色用水的理论基础有哪些?绿色用水系统应该如何构建?明确了以上问题,绿色用水才能真正被理解、认识、接受和实施。

本章以上述问题的研究为切入点。首先,在绿色用水功能分析的基础上,研究绿色用水的结构特征,界定绿色用水内涵;然后,阐述绿色用水的理论基础,包括三种生产理论和复杂系统理论;最后从效率、均衡及危机应对三个方面,介绍绿色用水系统构建的方法学基础,包括博弈与合作博弈及柔性供水系统柔性化。

第一节 什么是绿色用水

一、“绿色用水”一词的由来

“绿色用水”一词最早出现在联合国环境规划署 2010 年发布的关于《绿色用水法》(The Greening of Water Law: Managing Freshwater Resources for People and the Environment)的报告中。该报告指出^[1],人类不可持续的淡水使用模式 and 无序排放已经成为全球生物多样性减少和全球河流、湖泊及湿地生态体系日渐枯竭的最主要原因。目前全球水资源保护面临的巨大挑战就是如何在保持淡水生态系统及环境可持续发展的前提下,满足人类社会日渐增大的用水需求。为同时保障人类社会经济发展用水和生态系统保护用水,各国应尽快将“绿色用水”纳入法制体系,通过立法规范人类对水资源的利用,促进可持续的开发方式的形成,使人类与自然环境达到用水平衡。该报告涉及水资源的公平和合理利用、无显著危害、污染防治、环境影响评价、生态系统保护、最小生态基流、跨界含水层等多个方面,从理论和实践两个层面同时开展淡水资源有效配置与科学管理的法制研究,但对绿色科学用水功能未作清晰表述,对绿色用水系统的结构未作深入分析,对绿色用水的内涵与外延也未作明确界定。而弄清这些问题恰恰是认识绿色用水功效、树立绿色用水理念、构建绿色用水系统、制定并实施绿色用水相关规制的基础。我们从分析绿色用水的功能入手来解析以上问题。

二、绿色用水功能解析

从字面来看,绿色用水至少包含两项基本功能,一是用水,二是绿色。我们就从这两个基本功能出发来认识绿色用水的功效。

1. 用水

绿色用水模式能够高质量地满足社会经济发展用水(以下简称社会用水)的需求。

所谓高质量地满足,不是指供水水质越高越好,而是指不论是平时时期还是危机之时都能保证民众的基本用水需求,并且使用水户最大限度地享有消费者剩余。

多水源开发、分质供水、循序利用、以质定价是平时时期高质量满足社会用水需求的基础。多水源供给有利于增加水需求的价格弹性,人们可以根据自己的需要,有选择地使用不同质量、不同价位的水,在满足用水需求的前提下,最大限度地减少生产、生活用水费用支出,降低生产成本和生活成本,享有更多的消费者剩余。以生活用水为例,直饮水可供居民餐饮使用,自来水可供居民洗浴使用,再生水可供居民冲厕使用。

供水系统柔性化是非常时期高质量满足社会用水需求的基础。供水系统柔性化可以降低供水系统的脆弱性,提高供水系统的可靠性和回弹性,增强供水系统的安全性,使其具有应对危机和不确定性的能力,保障危机时刻的用水需求。

2. 绿色

绿色用水是一种对环境有益的用水方式,能够在满足、生产生活用水需求的前提下,通过梯级开发、循序利用、有序排放,从水量和水质两个方面最大限度地减少社会用水对生态环境的影响。

就水量而言,是指通过非常规水源开发和利用,尽量减少社会用水对淡水资源的取用及消耗量,留有足够的生态环境保护用水(以下简称生态用水),这是保持和维护水的自然再生产能力的基础;就水质而言,是指通过污染治理和污水资源化,减少排污,最大限度地降低人类活动对水环境质量的影响,不突破水环境对污染物的消纳和降解能力,这也是保持和维护水的自然再生产能力的基础。

综上所述,绿色用水模式下,自然生态系统的合理性、经济系统的利润性以及社会系统的平稳性都得以保障,实现社会经济与水生态环境协调发展,人类福利将得以全面提升。

三、绿色用水系统结构分析

1. 绿色用水系统组成

基于以上对绿色用水功效的基本认识,我们认为绿色用水涉及水供给和水消费两个方面,由水管理将二者联系起来。因此绿色用水系统由绿色水供给、绿色水消费和绿色水管理三个子系统构成。

绿色水供给是一种科学高效的供水方式。绿色水供给模式下,供水部门能够根据用户对水质的不同需求,进行高质高供(高品质、高价位供给)、低质低供(低品质、低价位供给)的一种新的供水模式。绿色水供给可以促进新鲜淡水消耗量的减少和治污成本的降低。

绿色水消费是一种环境友好型水消费行为。认识绿色用水功效、树立绿色用水理念、自觉遵守绿色用水规范是绿色水消费的基础。绿色水消费模式下,人们在用水过程中,能够自觉遵从循序利用和有序排放,尽量减少淡水取用量和污水排放量,在满足自身用水需求的同时,减少人类行为对水生态环境的影响。

绿色水管理是指通过对人类行为、水资源和水环境的科学管理,有效协调社会经济发展用水(社会用水)与生态环境保护用水(生态用水)之间的关系以及水供给与水消费之间的

关系,合理配置有限的资源,维护和保持水的自然再生产能力,使得水资源得以永续利用,社会经济得以永续发展。

2. 绿色用水系统结构

绿色用水系统与传统的城市用水系统有所不同,系统要素构成及各子系统之间的相互作用关系如图 1-1 所示。

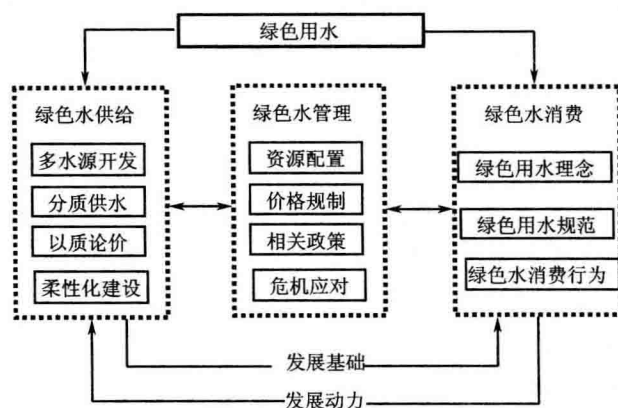


图 1-1 绿色用水系统结构

(1) 各子系统之间的相互关系

绿色水供给是绿色水消费的基础,绿色水消费是绿色水供给发展的动力。绿色水管理是连接绿色水供给和绿色水消费的桥梁,是绿色水供给和绿色水消费得以实现的保障。

(2) 系统构成要素

绿色用水系统由绿色水供给、绿色水消费和绿色水管理三个子系统构成。接下来我们以各子系统的主要任务和为完成任务而采取的主要行为作为导向,对子系统内部各构成要素进行分析。

绿色水供给子系统由多水源开发、分质供水、以质论价及供水系统柔性化建设等关键要素构成;绿色水消费子系统由绿色用水理念树立、绿色用水规范制定和绿色水消费行为养成等关键要素构成;绿色水管理子系统由水资源与水环境优化配置、水价格规制的制定、相关水政策的制定与实施以及非常时期供水危机的应对等关键要素构成。

四、绿色用水系统特征分析

1. 水供给子系统

水供给系统主要负责向城市供水,满足城市生产、生活用水需求。水供给系统通常由原水、输水管渠、水厂和配水管网组成。

(1) 传统水供给系统特征分析

传统的水供给系统有两个重大缺陷:一是水的利用效率低,二是应对危机能力较差。

混同单一的供水模式使得水的利用效率低。城市水供给系统习惯上又被称为自来水工程,由此可见,传统的城市水供给系统以自来水供应为主,供水采用等质单一的混同供水方式,即不管什么用途,都按生活饮用水标准供给。截至目前,我国非常规水(包括再生水、资

源化雨水和海水淡化水)供给量所占比重非常小,全国非常规水供给量所占比重仍未超过1%。等质单一的混同给水方式在过去经济不发达时期及用途单一、用水量不大时比较简单方便;但在如今优质水资源十分紧张、用水量不断增加、水用途多样化的情况下,这种单一供水方式会造成用水效率低、经济效益差、水污染排放量大等问题,严重影响了水生态环境质量,降低了水资源对社会经济发展的可持续支撑能力。这类单一的供水,水质也难以满足人们对优质饮用水的需求。

混同单一的供水方式,加之对非常时期的饮用水替代品开发储备不足,使传统供水系统缺乏柔性,应对供水危机的能力较差。近几年,大地震、大洪水、水源污染事件多次导致城市供水系统瘫痪,发生了大面积自来水停供事件,严重影响了民众的生活质量。

(2) 绿色水供给系统特征分析

以上两个缺陷正是绿色水供给系统要解决的问题。绿色用水的水供给系统除了能够满足自来水的供应外,还具备较强的非常规水和直饮水的供应能力,水供给不再是等质单一的混同给水方式,而是采用“绿色水供给”方式。

构建绿色水供给系统的主要工作包括:①开发多种水源,包括自来水、直饮水、再生水、污水资源化、雨水资源化和海水淡化;②按需分质供水,按照用户对水的不同品质的需求进行分质供给;③按照市场规律以质论价,高品质水高价格供给,低品质水低价格供给;④通过开发和储备替代品,增强供水系统的柔性化,使供水系统既能满足平时的生产、生活用水需求,又能满足战时的基本生产、生活用水需求。

绿色水供给系统具有以下两个重要特征:①绿色水供给模式下,城市水供给系统能够最大限度地满足人的生产、生活用水需求,饮用水高品质供给,生产用水按需供应,生态用水得到满足,水的循环利用率高,污废水排放量小,水的自然再生产能力得到充分发挥;②绿色水供给模式下,城市水供给系统还具有较强的抗冲击能力和柔性,不论是平时还是特殊时期,民众基本生活用水需求都能够得到保障。

2. 水消费子系统

(1) 传统水消费系统特征分析

城市水消费涉及民众生活生产的各个方面,主要由生活用水、生产用水、生态用水和其他方面用水(消防、管网漏失和深井回灌用水等)四个部分组成。

在传统用水习惯中,受混同供水模式的影响,用水水质单一,存在着高质低用的现象,比如以达到生活饮用标准的自来水供给低水质需求的生产用水;与此同时,生活区及特殊公建(如机场、车站)对高品质饮用水的需求得不到充分满足。

节水也仅局限于节水器具的推广和水的绝对使用量的减少。事实上,通过多水源的开发利用,在不减少绝对用水量的情况下,也可以实现新鲜水资源取用量的降低,这也是一种节水,而且这种节水不影响生产和生活水平。

生态用水长期得不到满足,目前生态用水量仍不足用水总量的2%;生活用水在总用水量中所占比重不断上升,目前已达到用水总量的12.9%;生产用水所占比重一直较高。

(2) 绿色水消费系统特征分析

绿色用水模式下,水消费可以按照市场规律以质论价、循序利用,即高品质水需求(如

饮用水)高价位取用,低品质水需求(如工业冷却水)低价位取用。相比传统的用水方式,这种用水方式可以使生产、生活用水需求得到最大限度的满足,并在水的利用过程中获得较多的消费者剩余。

从用水意识来看,人们珍视水源的意识增强;从用水规范来看,循序开发、梯级开发、循序利用、按质论价、定额管理(阶段水价)、有限补贴(只对弱势群体进行基本生活用水补贴和农业生产定额内用水补贴)的政策能够被人们理解并自觉遵守;从用水行为来看,按需取水(按所需水的品质和数量购买适宜的水使用),使节约用水成为一种时尚,人们对再生水不歧视、不拒绝;从生态用水来看,生态用水所占比重有所提高,生态基流得以保障,水的自然再生产能力得以保持和维护;从用水效果来看,实现了经济系统的利润性、社会系统的稳定性和水生态环境系统的合理性。

3. 水管理子系统

(1) 传统水管理系统特征分析

传统的水管理在水配置方面,基本是以供定需,根据社会经济发展的需求,进行水资源的规划、开发、利用和管理;在水价格规制方面,单一混同的供水方式,使得水价格只能依据用水性质的差异来制定,无法以质论价,没有充分体现市场规律,水价格的经济杠杆作用不明显;在水政策方面,水补贴向低收入群体的倾斜不够,不能很好体现基本公共服务均等化的要求;在水危机应对方面,非常时期供水替代品的开发和储备不足,供水系统缺乏柔性,极端危机情况下的停水事件时有发生。

(2) 绿色水管理系统特征分析

绿色水管理不同于传统水管理,需要摆脱供应方管理、转向需求管理,强调多种措施的结合,来保证不同时期不同用户对不同品质水的需求。

从水资源的配置来看,绿色水管理不是简单地从对社会经济发展的需求出发进行水资源配置,而是关注多主体(包括水环境本身)的用水需求,从合作博弈的新视角寻求水资源永续利用和社会经济可持续发展的新方法,追求人与自然之间的用水平衡。

从水价格的制定与实施方法来看,绿色水管理以多水源开发、分质供水和循序利用为基础,在满足弱势群体基本水需求的前提下,引进市场机制,实行以质论价,同时并行定额管理和阶梯水价,通过水价格的经济杠杆作用来促进节水。

从相关水政策的制定来看,绿色水管理改变以供为主的补贴方式,补贴向弱势群体倾斜,促进社会公平及基本公共服务均等化,满足保护弱势群体的基本用水需求;通过法律、行政、经济、技术和宣教手段,促进绿色水供给的发展,培育、引导和规范绿色水消费行为,实现水质的“供需匹配”。

从危机的应对来看,绿色水管理注重供水系统的柔性化建设以及应对危机的替代品的开发和储备,能够综合考虑平时与危机之时的用水需求及社会效益,合理安排有限资源,保障平时与战时的供水安全,追求社会整体效益的最大化。

综上所述,在绿色用水模式下,水资源利用效率和水管理水平明显提高,社会用水与生态用水相协调。

五、绿色用水内涵

以上述分析为基础,总结绿色用水内涵如下:绿色用水是一种高质量的满足人类发展用

水需求并且环境友好的用水方式。它旨在通过新技术的开发利用,降低(单位产出及人均生活)用水量,促进节水;通过提高用水循环率,降低(单位产出及人均生活)污水产生量,减轻治污压力;通过制定并执行新标准,加大污水治理力度,减少污水排放量,促进减排;通过多水源开发利用,最大限度地发挥多种品质水(包括再生水)的效用,减少淡水取用量,降低社会经济发展用水对水环境的压力。

绿色用水模式下,水资源利用效率和水管理水平明显提高,社会用水与生态用水相协调。较之传统用水模式,这种新的用水模式能够使自然生态环境得到改善,人民生活水平得到提高,经济生产得到发展。

第二节 绿色用水理论与方法学基础

三种生产理论和复杂系统理论是绿色用水的理论基础,合作博弈、优化配置及供水系统柔性化是绿色用水的方法学基础。优化配置是传统的、为大家所认可的研究水配置与水资源开发利用的方法,因此本书虽有应用,但不再赘述其缘由。

一、三种生产理论

人类由水而生,傍水而居,水是人类幸福生活和经济发展的基础。随着人类对自然的索取不断增加,改造自然能力不断增强,对自然的干扰也不断增大,人与水的矛盾越来越突出,水环境质量恶化、水资源短缺、供水安全等方面面临严峻挑战。造成以上问题的原因是在人水博弈中,人类习惯性地把自己预设为主宰和战胜自然的主宰,忽视了自然作为主体的存在。采用了破坏水环境以及人类社会生存基础的途径来发展,这等于以破坏经济发展基础的方式来发展经济、以破坏人类幸福生活基础的方式来追求人类的幸福生活,其结果导致了人与水的不和谐,在破坏水生态环境的同时也伤及了人类自身。我们需要站在三生共赢的高度重新审视人类与自然的关系,走出人水失衡的困局。

三种生产理论是由北京大学叶文虎教授首先提出的。三种生产指人口生产、物资生产和自然环境生产。三种生产之间的相互关系如图 1-2 所示。

在三种生产理论基础上,又衍生出三生共赢的三种供需关系。三生共赢之“共赢”,是指将人类社会的发展目标定位于生活、生产与生态的协调发展,即生活提高、生产发展与生态改善。

三种供需关系是指商品供需关系、自然资源供需关系和环境消纳力供需关系。任何一种供需关系的失衡,都会导致人类社会发展的不平衡,甚至不可持续。

目前我们所面临的水量短缺、水质恶化的发展困境,正是由水资源供不应求和环境消纳力供不应求所导致的,这些都是水的环境生产能力不足的表现。

由图 1-2 可以看出,环境生产能力受自然力、废弃物质资源化水平、人类对环境重建(包括生产资料的投入和人力的投入)的投入量、排入环境中的废弃物量等四项因素的影响。

对水而言,水的环境生产能力受水生态环境的自然再生产能力、污水资源化率、人类对水生态环境重建(包括水生态修复和水污染治理)的投入量、污水排放量等四项因素的影响。四项因素之间相互关联,污水资源化率提高会促进污水排放量的减少,人类对水生态环境重建的投入量增加会促进水的自然再生产能力的提高。它们对水环境生产力的影响具体

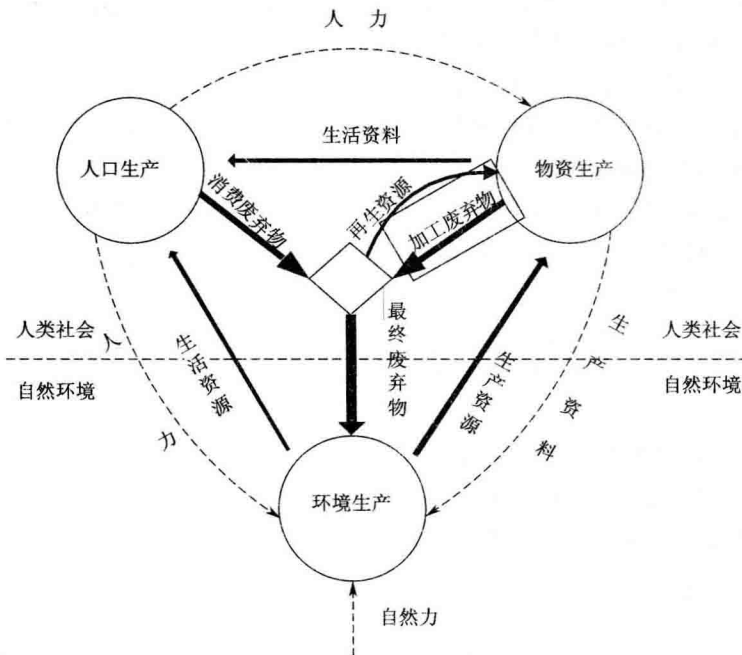


图 1-2 三种生产的关系(原图作者:叶文虎。选自叶文虎先生的生态文明讲座。)

表现如下。

①生态基流得到满足是水的自然再生产能力得以保持和维护的基础,这就要求我们在人水博弈中,看到水作为主体的存在,尊重水的存在价值,认识到水的存在价值是水的服务价值(水对于人类经济发展的服务价值)的载体,正确处理社会用水与生态用水之间的博弈均衡关系。

②人类对水生态环境重建的投入量越大,对水生态修复和水污染治理的效果就越显著,也就越有利于水生态环境的自然再生产能力的恢复;污水资源化需要资金、技术、人力的投入,投入越大,污水资源化率越高,社会经济发展的淡水取用量就越少,对水环境的压力就越小;污水治理需要资金、技术、人力的投入,投入越大,排入水环境的污染物量就越少,对水环境的压力就越小。以上三项都需要投入,但投入过多,可能会影响社会经济自身的发展,这就要求我们正确处理社会经济建设投入与水环境保护投入之间的博弈均衡关系。

二、复杂系统理论

水资源是社会—经济—环境(Social-Economic-Environmental, SEE)复杂系统的一个重要组成部分,了解 SEE 复杂系统的发展演变规律是进行水资源研究的基础;而且水资源本身也具有复杂多变性,对于复杂多变的事物需要以复杂系统理论为指导来进行研究。

1. 社会—经济—环境系统复杂性分析

社会—经济—环境(SEE)复合系统是一个包含多个子系统、具有多层次结构、多目标性和开放性的复杂复合系统。

(1)SEE 复合系统的多层次结构性^[2]

图 1-3 为 SEE 复合系统层次结构示意图。SEE 复合系统包含了社会子系统、经济子系

统和资源环境子系统。经济子系统由第一产业、第二产业和第三产业子系统组成;社会子系统以人口为核心,还包含科技与教育以及基础设施子系统;资源环境子系统由资源和环境容量两个子系统组成。

图 1-3 只列出了总系统、子系统和亚子系统三个层次,并在资源和环境容量亚子系统下列出了更下一层子系统。事实上,在其他亚子系统内部也还包含有其子系统,甚至亚子系统。如经济子系统下的第一产业亚子系统内部就包含了农、林、牧、渔业和农林牧渔服务业;第二产业子系统由建筑业和工业组成,工业又分为多种行业。

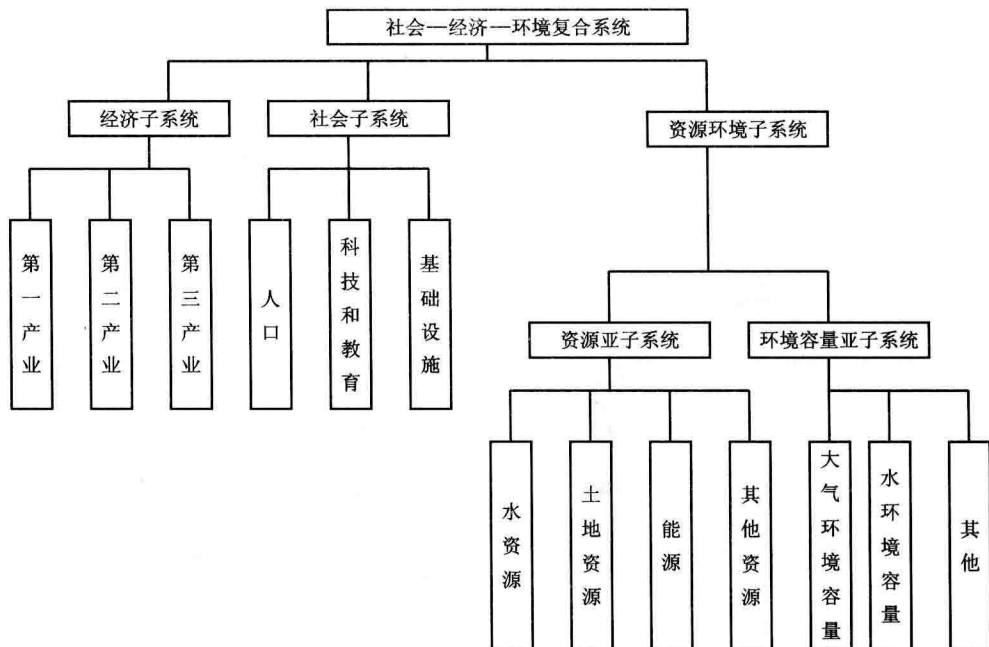


图 1-3 SEE 复合系统层次结构

(2)SEE 复合系统的多目标性

图 1.4 是社会子系统、经济子系统、环境子系统之间相互关系的简单示意图。

社会、经济、环境三个相互作用、相互依赖的子系统共同构成一个庞大的复合生态系统。环境子系统以生物结构及物理结构为主线,以生物环境的协同共生及环境对人类生活的支持、缓冲及净化为特征,它是复合生态系统的物质基础;社会子系统以人口为中心,包括年龄结构、智力结构和职业结构等,通过产业系统把它们组成高效的社会组织;经济子系统是促进社会进步与环境保护的必要条件。这种各个子系统之间相互联系、相互制约的关系,即构成了复合生态系统的结构,它决定着复合生态系统的运行机构和发展规律。同时,社会、经济和环境又是三个不同性质的系统,但其各自的生存和发展都受到其他系统结构和功能的制约,共同构成 SEE 复合生态系统。

显然这是一个子系统种类繁多的复合生态系统,正是这一特点使不同的子系统具有不同的目标,比如资源环境自然系统追求的是存在的合理性,经济系统追求的是利润性,社会

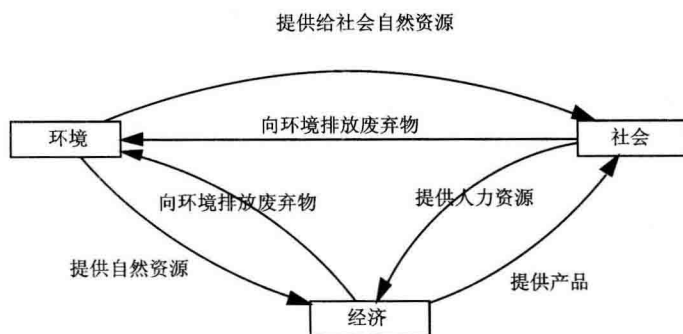


图 1-4 SEE 复合系统内子系统间相互作用关系图

系统追求的是人类福利的提高,这三个不同方向的目标有时是矛盾的,甚至是不可共存的。

(3) SEE 复合系统的复杂性

SEE 复合系统是个多要素且要素间相互作用关系复杂的复合系统。经济子系统内要素间的相互作用关系如图 1-5 所示,社会子系统内要素间的相互作用关系如图 1-6 所示,资源环境子系统(亦称为自然子系统)内要素间的相互作用关系如图 1-7 所示。如果将社会、经济、环境子系统各要素综合在一起,其中包含成百上千个要素和众多的相互作用关系,其中单个的状态指标间的相互作用关系就难以穷其所及,因此也只能进行简单示意,如图 1-8 所示(图中资源需供指数 = 资源需求量/资源可供量)。

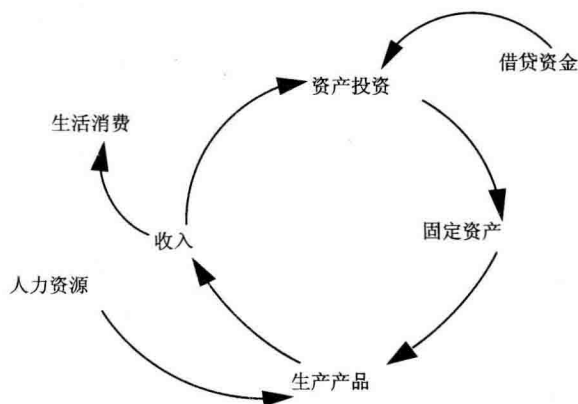


图 1-5 经济子系统各要素相互作用关系图

图 1-8 中只包括了 17 个状态指标,即便如此,SEE 复合系统内的相互作用关系仍然非常复杂。图 1-9 为影响资源需求量因素的树枝图(图中括号内的部分为重复项)。

由图 1-9 可知,影响资源需求量的因素涉及 9 个,资源需供平衡指数的影响因素涉及 7 个。由经验判断可知,教育水平越高、生育规划工作越好,人口出生率就越低,人口规模扩展速度相对减慢,人口规模小,资源需求量就小。资源供需平衡时,资源因素对人口增长不会产生影响;但资源供不应求时,人口机械增长将随着资源供不应求程度的加深而减少,人口增长速度将降低,人口规模小,生活对水资源的需求量就少。

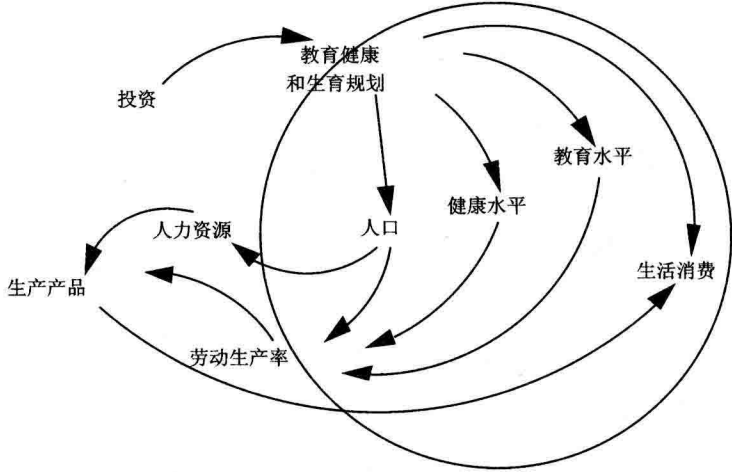


图 1-6 社会子系统各要素相互作用关系图

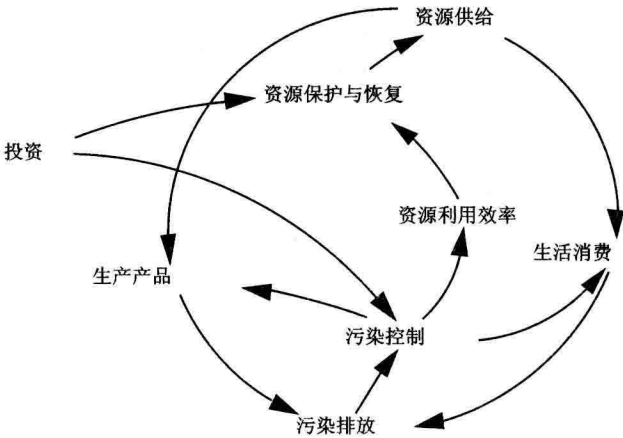


图 1-7 资源环境子系统各要素相互作用关系图

(4)SEE 复合系统的开放性

在进行 SEE 复合系统研究时,当确定了具体的研究对象后,就会发现任何一个有一定区域边界的 SEE 复合系统都在一个更大的环境背景下生存和发展,与区域外的大环境进行着物质、能量和信息的交换。如住宅小区更大的环境背景是街区;诸多街区构成了城镇;诸多城镇又构成了县市;诸多县市又构成了省;几个经济相关联或水资源相关联的县市还可能形成经济协作区域或流域协作区;一个主权国家内可能还会包含若干个省、经济协作区和流域;目前世界上大多数国家的资源和经济都与其他国家有交互,这就又形成了跨国区域合作和共同发展。显然,SEE 复合系统是一类开放的复杂系统。

由以上分析可知:SEE 复合系统具备了复杂系统的所有特征,在结构、功能、行为和演化方面都很复杂,它是个远离平衡态的、非线性的、开放的复杂系统;水资源是 SEE 复合系统的重要组成部分。