

文章编号:0559-9350(2011)04-0379-09

社会水循环理论基础探析 I: 定义内涵与动力机制

王浩¹, 龙爱华^{1,2}, 于福亮¹, 汪党献¹

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038; 2. 新疆水利厅, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 从社会水循环的概念演变入手, 探讨社会水循环的科学定义及其内涵, 系统辨析社会水循环的基本特征, 初步分析社会水循环的影响因素及相互的耦合作用。在此基础上, 提出驱动社会水循环的经济学动力机制、水环境代谢机制、区域开发与规划机制、公平效率与决策博弈机制, 为深入开展社会水循环提供理论分析基础。

关键词: 社会水循环; 定义内涵; 基本特征; 影响因素; 动力机制

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

1 研究背景

水是生态与环境系统的核心要素, 水资源是关键性自然资源和战略性经济资源, 自人类社会开始利用水资源以来, 以“降水-坡面-河道-地下”为基本过程的自然水循环结构和进程被打破, 以“供水-用水-排水”为基本过程的社会经济系统水循环的流量、路径和结构不断成长演变, 形成了“自然-人工”二元驱动力及结构的复合水循环系统^[1]。工业革命以来, 全球经济总量迅速增加, 人类用水规模和干扰自然水系统的深度得到前所未有的提高, 不合理的水资源利用引发了一系列以水短缺、水污染和水生态系统退化、并日益成为人类持续发展“瓶颈”的诸多水问题; 在很多地区, 人类社会经济系统已成为影响水系统演化的主导力量。

随着开发新淡水资源成本的不断攀升和资源环境形势的不断恶化, 以供水管理为主的传统水资源利用模式亟待转向以需水管理为主的自律式发展道路中来。我国从20世纪70年代开始推行需水管理, 围绕节约用水、水价杠杆、定额管理、总量控制、水权分配和节水型社会(城市)建设等基本内容, 取得了一定的效果。但总的来看, 水短缺、水污染和水生态系统退化趋势并未从根本上得到遏制。其根本原因, 仍是人类对水在社会经济系统中的运移(本文将水在社会经济系统中的运移演化简称为社会水循环)规律和演化机理缺乏科学的认知。作为与自然水循环系统并存、耦合且发挥重要经济和社会服务功能的另一分支, 社会水循环系统有着自身的科学原理和发展规律。要实现对社会水循环系统有效科学的调控, 维护自然水循环系统稳定, 减少水资源开发利用的生态与环境外部性, 提高社会水循环的效率和产出, 增进社会水循环系统的健康度与可持续性, 必须科学深入认知社会水循环系统的基本结构、循环过程、驱动机制和演进规律, 研究水资源随人类社会经济系统发展而演化的科学机理。系统开展社会水循环研究, 建立社会水循环研究科学体系, 已成为解决水资源问题, 实现以水资源可持续利用保障社会经济可持续发展的基础性关键科学命题之一。

尽管国内外许多学者已开始意识到开展社会水循环研究的必要及紧迫, 也已在部分知识点上取得了进步, 但迄今为止, 社会水循环研究学科的理论体系仍远未建立。本文拟在阐述社会水循环科学研究背景的基础上, 辨析提出社会水循环的科学定义与内涵, 分析凝练社会水循环的关键特性,

收稿日期: 2010-03-02

资助项目: 国家自然科学基金创新研究群体基金(50721006); 国家自然科学基金(50709042、51079160); 国家基础发展研究973项目(2006CB40340703); 中国博士后科学基金(20070410090); 中国水利水电科学研究院创新基金(ZJQN0701)

作者简介: 王浩(1953-), 男, 北京人, 博士, 中国工程院院士, 主要从事水资源评价与规划研究。E-mail: wanghao@iwhr.com

识别社会水循环的影响因素及各因素之间的耦合关系,提出社会水循环演变发展的动力机制及其耦合关系,为构建社会水循环科学框架体系及问题研究提供理论基础。

2 社会水循环的概念演变与定义内涵

2.1 社会水循环的概念演变 社会水循环的提出最早可追溯到“人工侧支循环”^[2]概念,即发展进程中的人类活动,从循环路径和循环特性两方面明显改变了天然状态下的流域水循环过程,在自然水循环的大框架内形成并发展了由取水-输水-用水-排水-回归五个基本环节构成的人工侧支循环路径,并使天然状态下地表径流和地下径流量逐步减少。1997年,英国学者 Merrett 提出了与“Hydrological-Cycle”相对应的术语“Hydrosocial-Cycle(社会水循环)”,并参照城市水循环模型勾勒出了社会水循环的简要模型。陈庆秋认为,水在社会经济系统的活动状况正成为控制社会系统与自然水系统相互作用过程的主导力量,社会水循环就是水在人类社会经济系统的运动过程^[3]。张杰等^[4]认为,水的社会循环是指在水的自然循环当中,人类不断地利用其中的地下或地表径流满足生活与生产活动之需而产生的人为水循环。李奎白等^[5]以城市为例,认为城市社会水循环就是水在城市的供-用-排过程。2003年,程国栋等^[6]引入了虚拟水概念,指出水在社会经济系统的运动除实体水外,还有大量“蕴含”在产品中并通过贸易体现的虚拟水。

社会是由一定的经济基础和上层建筑构成、相互协作的同种群居动物。将社会水循环单纯理解为水在社会经济系统中的运动过程,不能充分反映水对人类社会经济的重要性及该运动过程的复杂性,也未能充分表明人类在社会水循环中的主观能动性和影响良性循环中的消极作用。同时,将社会水循环定义为自然水循环之内的人工侧支水循环,虽然看到人类的用水行为脱离不了自然水文循环的大框架,但它一定程度上忽略了人类活动对自然水文循环的干扰和改变,而事实是——高强度的人类活动已对自然水系统产生了巨大影响,社会水循环已成为与自然水循环并列的循环过程。另一方面,理解为人工水循环均易忽略一些“间接”的水事活动,如产品贸易所蕴含的“水”贸易、旱作农业的土壤水利用甚至干旱地区的“凝结水”问题,而这部分“水事”活动在社会经济系统中具有重要的作用。因此,通常意义下的“供-用-排”过程很大程度上只是社会水循环的外在表现形式或伴随过程,受人类调控下的社会水循环更多的是人类社会经济发展的反映。

2.2 社会水循环的定义内涵 社会水循环系统包括或可类似地概化成供(取)水、用(耗)水、排水(处理)与回用四个子系统。供(取)水系统是社会水循环的始端和将自然水循环引入社会经济系统的“牵引机”;用(耗)水系统是社会水循环的核心,是社会经济系统“同化”攫取水各种价值及使水资源价值流不断耗散的一整套流程^[6];污水处理与回用系统是伴随社会经济系统水循环通量和人类环境卫生需求而产生的循环环节,如同社会水循环系统的“静脉”和“肝脏”,也成为构建健康良性的社会水循环的关键;排水系统是社会水循环的“汇”及与自然水循环的联节点,发挥“肾”功能和“异化”社会经济系统废污水重要作用。总体而言,社会水循环是由发挥不同功能的过程和环节组成的有机体,具有明显的同化过程和异化过程,即人类从自然水循环系统中将水“提取”到社会经济系统中,“同化”水的经济属性、社会属性、环境属性甚至生态属性,利用水的可再生属性(水处理和再生回用),为人类谋福利;同时,“异化”社会经济系统的“垃圾”,排出废污水到自然水循环系统;整个社会水循环的过程,具有典型的生命体的新陈代谢特征^[7]。“新陈代谢”形象化地概括了水在人类社会的基本运动过程及与人类赖以生存的自然界尤其是水系统之间的关系。

从一定空间范围的社会水循环演变历程和现代社会用水的时空发展过程看,绝大部分用水单元的水利用均是一个从无到有、从初步到成熟甚至衰退消亡、从低效到高效(甚至再到消亡,如楼兰古城的兴起、消亡)的生命过程,由于社会环境条件和人为干预(包括调控)机制的不断变化,以及受社会经济系统中土地利用的自组织机制的影响,各用水单元的状态一直处于渐进式突变中(即非稳定状态)。伴随用水单元的变化,一个用水单元的诞生、成长、成熟、衰退和消亡(通常是转化为另一种用水类型单元),实质也是水在该社会单元上的生命过程,折射出在水支撑下的社会经济系统的自组

织过程。

在市场机制的资源配置作用下,任何区域的社会经济系统均通过贸易与其他区域的社会经济系统存在联系,本地水循环的影响因素已不再仅受本地因素的影响,而是拓展得更宽更广,如虚拟水贸易。事实上,通过产品交换来满足和影响不同区域的水需求,已经成为社会水循环的重要途径之一。例如,城市化地区人口对食物的巨大需求,就是通过农产品由农村转移到城市的,这其中隐含着城市地区对农村用水的“无形”的影响;另一方面,城市地区不断增加的工业与生活污水,也日益向城市地理空间之外的区域蔓延。因此,在社会水循环的研究中,尽管很难囊括所有对本地水循环有影响的区域,但决不能忽略主要相关区域对本地水循环的影响。

综上所述,本文将社会水循环定义为“受人类影响的水在社会经济系统及其相关区域的生命和新陈代谢过程”。“受人类影响”反映人类对自然水运动的干预及能动性,“新陈代谢”过程反映了水对人类社会经济的重要性及其运动的复杂性,“生命”过程反映人类干预调控下社会水循环的积极(成长)和消极(水质恶化及用水区域演变)的特征。

3 社会水循环的基本特征与影响因素

水资源具有自然、环境、生态、社会和经济等五大属性功能。社会水循环以水为出发点,在众多影响因素的综合作用下,紧密融合于社会经济系统发展的全过程,衍生出鲜明的循环特性。

3.1 社会水循环的基本特性

3.1.1 广泛性 当今人类足迹几乎已无处不至,有人类活动的地方,社会水循环就会或多或少地产生,水与人类及其活动时刻相伴并发生作用。随着人类活动范围的不断扩大和强度的不断增加,社会水循环已成为水运动的一个基本过程,具有最宽的广泛性。

3.1.2 复杂巨系统之开放性 社会水循环复杂性的根源在于人类社会经济系统的高度复杂性。水资源系统的组成部分种类繁多,各组成部分之间的关联方式非常复杂,具有非线性、动态性和模糊性等复杂巨系统的特点。同时,社会水循环系统与外界环境(包括自然水循环系统)之间具有物质、能量和信息的交换,社会水循环系统的个体或子系统具有学习能力和适应性,具有开放性特点^[8]。

3.1.3 驱动机制二元性 社会水循环演变驱动机制包括自然驱动机制和社会驱动机制两大类。自然驱动力是水循环产生和得以持续存在的自然基础,社会驱动力是水资源功能及价值通过水循环过程得以发挥和体现的社会基础。自然驱动力本质上是重力势能和太阳能,社会驱动力包括转化太阳能并按人类意志发挥作用的生物质能和二次能源等经济势能,因此社会水循环驱动机制具有二元性,即“自然-社会”二元性。

3.1.4 循环方向不确定性 自然水循环在重力势能和太阳能的驱动下,循环过程在地理空间上总体上按“水往低处流”的垂直方向运动,循环方向相对确定。而社会水循环运动方向受人类主观意志和价值判据的影响和制约,运动方向具有强烈的不确定性。“理性经济人”的趋利本质驱使人类让水流向更“高效”的用水单元,但对什么是“高效”的水资源利用,难以取得普遍共识。另外,高效用单元随人类生产、生活布局演变而变,而人类社会系统的高度复杂性和变化的不可完全预知性,使社会水循环方向具有极大的不确定性。

3.1.5 路径依赖性 人类社会中的技术演进或制度变迁均有类似于物理学中的惯性,即一旦进入某一路径(无论是“好”还是“坏”)就可能对这种路径产生依赖^[9]。正如前述,受人类意识形态和价值判据(如水开发利用政策和水管理制度)的影响与制约,社会水循环和社会制度变迁一样,其演化和进步表现为一个循序渐进的过程,具有较大的路径依赖性。

3.1.6 增值性 社会水循环的增值性与水资源的经济属性密切相关。社会水循环的过程,也是人类创造、积累财富的过程。随着人口增加和科技进步,社会水循环过程逐渐延长,循环频率加快,效率效益不断提高,社会经济发展水平不断上升,社会水循环过程具有明显的增值性。

3.1.7 传递性 社会水循环的传递特性源于水的流动性和经济服务功能。从上游到下游、从源头到

末端, 水资源的价值随着开发利用被不断挖掘释放, 出流的水资源价值不断减小, 入流源头的水资源价值得到充分发挥和体现, 即具有连续的逆向传递特性^[10]。社会水循环过程在空间和时间上不断将水资源的价值传递并凝结在新的产品(服务)中, 同时将(暂时)失去价值的水代谢(排泄, 也是传递)到自然水系统中。由于这一特性, 社会水循环的水平衡分析必须考虑看不见的“虚拟水”, 否则将出现不平衡。如近10年来北京市在人口大量增加的情况下, 当地统计的总用水量却不断下降, 很大一部分原因是北京通过粮食产品贸易的“虚拟水”途径将食物的水需求转移到其他地方, 因此科学分析社会水循环必须考虑“虚拟水”问题, 这也是社会水循环传递特性的必然要求。

3.1.8 外部性 水资源是水量和水质的统一体。社会水循环的水耗散过程, 使其多数时候伴随着负外部性; 人类调控自然水循环的演替方向为社会经济系统所用, 因此对于人类而言, 健康的社会水循环以正外部性居多。从社会水循环的时空性分析, 时间上社会水循环对后代既有正的外部性, 也有负的外部性, 其关键是看净效益; 在空间上, 上游地区的社会水循环一般会给下游带来不同程度的负外部性。

3.2 社会水循环的影响因素及其耦合作用 社会水循环是自然和社会二元双重驱动的水循环过程, 从全球水系统角度看, 自然水循环系统是社会水循环的终极边界, 因此, 社会水循环极大地受到自然因素的制约; 另一方面, 驱动社会水循环发展演变的最根本因子是人及其社会经济系统, 因此影响社会水循环的因素包括自然和社会两大类。

3.2.1 自然因素 影响社会水循环的自然因素主要包括区域位置、水资源禀赋和气候变化等。

首先, 不同区域位置的地表组成物质和形态各不相同, 因而不同区域人类的生产和生活的水资源利用也会差异较大; 其次, 水资源禀赋对社会水循环具有决定性的影响, 水资源总量对一个地区的总用水量具有一定的正向作用^[9], 水资源丰裕程度的不同相应会形成不同的经济结构、产业布局、水量分配制度、用水结构、用水习惯乃至节水文化; 最后, 水气相互作用是气候系统的基本特征之一, 气候变化影响区域降水量、降水分布和产汇流, 最终影响水资源的社会循环。

3.2.2 社会因素 影响社会水循环的社会因素主要包括人口、经济水平、科技水平、制度与管理水平、水价值与水文化等。

社会水循环因人类而产生, 人口是影响生态与环境、主导社会水循环演变的第一要素, 人口数量是所有影响用水总量中相关关系最大的因素^[11]。人口增加直接引致用水需求增加, 加大社会水循环的通量, 加快其循环频率, 加重水体代谢负荷(水污染), 最终导致水短缺和水污染。控制人口是解决全球水问题的关键措施之一, 这已取得全世界的共识。

经济水平是影响社会水循环的另一个社会因素。随着经济水平的提高, 很多区域的总取水量或人均取水量变化已总体上呈现出倒“U”型曲线态势。从反映经济水平的产业结构看, 第一产业是耗水密集型产业, 具有需水量与节水潜力大、单位用水产出相对较低的特点; 第二产业需水量一般比第一产业小, 而单位用水产出较高; 第三产业则一般耗水较少, 但单位用水产出较大。若以第三产业比衡量经济发达程度, 英、美、德、法、日等国社会经济用水总量之所以呈倒“U”型曲线演变态势, 与其增长最快的服务业尤其是生产性服务业的发展密切相关, 第三产业比重增加是驱动用水总量从上升过渡到下降的主要驱动力之一。

科技是推动生产力进步的重要因素, 研究表明, 现代经济增长的主要源泉并不是资本投入, 而是技术进步和效率提高。一方面, 科技对水分生产效率效益、节水、水污染治理等社会水循环过程和环节具有极大的积极推动作用, 可不断提高区域水资源承载能力; 另一方面, 科技进步使人类调控自然水循环的能力日益强大, 使社会水循环的涉水(地理)空间逐步扩大, 循环路径不断延展, 循环结构日趋复杂, 对自然水循环的干扰也越来越强烈。

制度是人类适应变化的外界环境而形成的规程, 人们的偏好及与此有关的目标以及实现目标的手段均受制度的左右, 不同的制度安排产生的结果不同。制度(如总量控制制度)是控制社会水循环演化方向的基本规则之一, 影响其社会水循环的过程、结构、通量和调控。管理是制度实施的载体, 水资源及其与水有关的规划、开发、利用和保护等工作的管理水平, 直接影响社会水循环演替

的方向、速度、效率、效益以及水环境安全。

水价值观及水文化是从根本上影响水资源可持续利用的思想观。“取之不尽,用之不竭”、“公共免费品”等传统水价值观以及对水资源价值认知的片面性,是导致当前水及生态与环境问题的重要原因。水文化作为人类对水利工作和事业总结与评价其效果、效益及其价值的准则,以及其思想观念、思维模式、指导原则和行为方式^[12],对水资源可持续利用具有战略指导作用。如长期以来对高效水资源利用的判别准则偏重纯粹的经济效益,而忽视其生态价值、世代交替与遗产继承价值,导致了许地区水及其生态与环境的快速衰败^[13]。

3.2.3 社会水循环影响因素的耦合分析 社会水循环各影响因子之间不仅彼此相关,而且还有极为紧密的耦合关联作用(如图1所示)。区域位置从总体上框定了社会水循环的范畴,水资源禀赋也基本决定了社会水循环的产业发展类别,如是否可以发展耗水密集型产业,是否适合布局高污染产业,等等;气候变化改变地理环境和自然主循环,增加社会经济系统的脆弱性,同时人类也相应采取适应性对策来应对或减缓区域本身及全球气候变化新增的脆弱性,如改变取水、用水和排水行为,将科技全方面全过程地推广到社会水循环中。

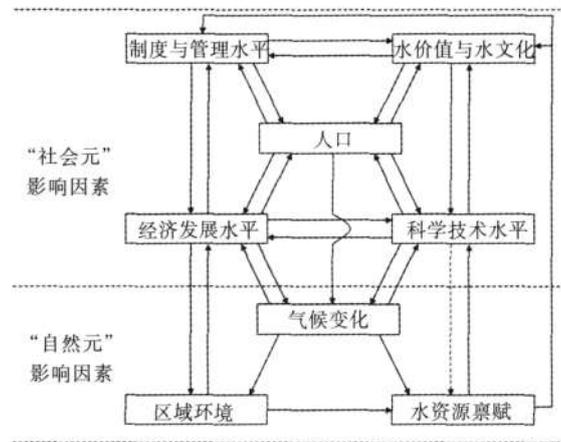


图1 社会水循环影响因素耦合作用

社会水循环与人类生存和社会经济持续发展演变过程相生相伴。人口作为社会水循环最根本性的影响因子,其满足生存和为提高生活质量而进行的生产活动,均促使社会水循环通量的增加,如随着中国人口由建国初期的4亿多人口增长到目前的13亿多,全社会用水量也从1 000多亿 m^3 增长到5 700亿 m^3 左右。人口增长、人类个体提高其自身消费水平(生活质量)的永久性愿望和实际行动,不断推动经济(或财富)规模的扩张^[14];财富积累为技术进步和效率提高贮备了必要条件,而科技进步和效率提高又进一步推动经济增长。科技进步使人类对自然水系统的需求和干预控制能力越来越大,最终导致迄今为止无法想象的经济增长以及日渐突出的水问题^[14],尤其是水短缺日益严重和水环境不断恶化。但随着人们对水价值和水文化的日益丰富完善,人类主动应用了一系列的制度和措施,调控水资源利用的无序增长。如总量控制制度及措施一定程度上提出了社会水循环通量上限,而节水型社会主要是通过制度完善和管理水平提升,实现节水减排和效率效益提高。图1简要揭示了各因素的综合影响关系,从中可见社会水循环研究中人口、气候变化将是今后深入研究的核心内容,也是“自然-社会”二元水循环耦合研究的关键联结点。

因此,社会水循环研究是一门涉及面广、影响因素多、作用机理复杂多变和区域特色突出的交叉学科,是涵盖社会水循环过程、结构、通量及其调控的复杂巨系统科学问题。

4 社会水循环的动力机制

社会水循环受“自然-社会”二元动力的驱动,其动力机制包括自然属性的动力机制和社会属性的动力机制。自然驱动机制在自然水循环研究已得到较深入系统的分析,因此从社会水循环的特性出

发, 本文重点分析社会水循环的社会动力机制, 包括: 经济优化动力机制、水环境代谢约束机制、区域发展与规划干预机制、公平与效率及其决策博弈机制四大类。

4.1 经济优化动力机制 水和空气都是人类和其他生物生存的基本要素, 但迄今为止只有水被人类真正地视为资源, 其根本原因在于水的经济属性和稀缺性。人类社会的“逐利”本质及其衍生的经济优化机制, 是驱动社会水循环的主要动力机制。这种机制从根本上使社会水循环与自然水循环区别开来, 即在重力势能和热力势能之外, 产生了另外一种势能——经济势能, 使水在社会经济系统的运移过程经常偏离“水往低处流”的循环方向, 甚至呈现“从低处向高处流”的水效益运动和演化方向。社会水循环的经济学动力机制包括水权与水市场机制、水资源需求的收入与价格弹性机制和水资源价值流转移机制3个方面。

4.1.1 水权与水市场机制 清晰的水权制度可以避免“公地悲剧”, 保证水权(仅指使用权)主体按需配置水资源, 决定用水方向和数量。水市场是水权制度的具体实践, 它以水资源供给与需求的动态平衡为核心, 实现水资源的合理配置和高效利用。

4.1.2 水资源需求的收入与价格弹性机制 水资源需求(受人口、经济、制度等影响)是影响社会水循环的重要参量, 它依赖于价格(影响消费者用水数量)和收入(决定消费者的支付能力)。对微观主体而言, 收入增加一般会提高水需求, 而价格提高会抑制水需求增长甚至降低水需求。美国的经验表明, 水价提高5倍使工业企业用水量减少到原来的1/50; 我国的有关研究表明, 水价提高10%可使工业需水量下降1.5%~7.0%^[15]。

4.1.3 水资源价值流转移机制 水资源价值流转移是单位水资源量因时间空间、自然环境、社会环境、经济环境因素的差异或变化而导致的价值传递过程^[16]。水资源价值的传递具有连续性与方向性, 其方向与水文循环方向相反, 即水资源价值由循环的下一阶段向上一阶段传递^[10]。根据水资源价值流转移理论, 水资源价值由低向高流动是可行的, 由高向低变化是不经济的, 让有限的水资源得到充分合理的运用, 使之产生更大的经济、社会和环境效益, 是社会水循环的基本准则, 也是水资源决策部门非常关注的问题。水资源在不同产业结构下的价值变化不同, 产业结构调整一定程度上就是水资源价值流转移机制作用的必然结果。

4.2 水环境代谢约束机制 社会水循环主要包括在人类从自然水系统中取水、用水的同化过程(即新陈机制)和向自然水系统排泄废污水的异化过程(即代谢机制)。代谢约束机制对社会水循环的驱动主要表现为社会经济系统废污水排放对自然水系统的影响及自然水环境容量的上限制约, 主要包括以下三方面。

4.2.1 水质劣变机制 水和大气是多种污染物的媒介, 但水体的扩散条件和自净能力较差, 易于富集和迁移转化, 水质劣变是水在社会经济系统中运动的必然结果, 社会水循环代谢机制的核心是人类从自然水系统提取水, 并最终将其中的一部分以污水形式返回给“环境洼地”。废污水是现代城市最大的废弃排泄物, 城市及其周围水体大多实际上已成为污水的接纳地, 大量地排入自然水系统中导致水文生态环境遭到严重破坏。

4.2.2 水环境容量的约束机制 水环境容量(或纳污能力)是满足水功能区划确定的水环境质量标准要求的最大允许污染负荷量^[17]。水环境容量上限是水资源可持续利用最低的水环境门槛, 也是总量控制和定额管理的基本目标之一。因此, 水环境容量约束机制要求社会水循环的“汇”要严格控制在自然水环境的可持续承载能力之内, 否则将加速社会水循环的非可持续进程。

4.2.3 废污水社会再生机制 根据物质守恒定律, 社会水循环过程一般不会使水量发生太大的变化, 多数情况下只是水质发生了不同程度的劣变。水资源短缺以及水环境容量约束使废污水的社会再生成为社会水循环的必然要求。事实上, 水的社会再生已经有近200年的历史^[18]。应用水处理方法改变水质, 使之无害化、资源化、特别是再生回用, 既可减少对新鲜水的取用需求, 又可减少水的排放及水环境污染, 因此废污水社会再生机制是驱动社会水循环的重要机制之一。

4.3 区域发展与规划干预机制 社会水循环伴随人类区域开发的始终, 受区域开发与规划干预机制的强烈影响, 具备明显的区域时空演变特征。以城市为例, 城市空间演化也是城市社会水循环在地

理空间的生长或衰退过程,即非城市用水不断向城市用水转换,城市内部用水类型不断演替,“混凝土、马达和城市水管网更新和前进”的过程。结合城市空间演变的向心力、离心力、摩擦力和宏观规划等相互作用关系^[19],城市社会水循环空间扩展的动力机制也包括向心力、离心力和规划干预三个方面。

4.3.1 向心力作用机制 由于需考虑节省交易费用、规模经济垄断竞争下高效益、制度变迁等原因,用水户(主要包括商业服务设施、政府部门、企事业公司总部、银行、报社等脑力劳动机关)产生向城市中心或交通干线或新城(开发)区集聚,构成社会水循环演替的向心力机制。

4.3.2 离心力作用机制 由于自身需要(如宽敞的用地,或大型自来水厂,或防止灾害和污染,或安静的环境等),用水户(如煤气厂、垃圾处理厂、精神病院、疗养院、兵营、监狱、火葬场)自城市中心向外缘移动扩散,形成城市社会水循环区域扩展的离心力。

4.3.3 规划干预作用机制 向心力、离心力作用机制属于“自底向上”的动力,但很多时候城市发展受到人为规划的干预,如城市圈层的划分及环形绿化带的控制,集中式的卫星城及新城建设,城市外部空间的轴向扩展等。城市规划的干预力则属于“自顶向下”驱动力。

总的来说,城市社会水循环的空间扩展就是在上述各种因素的合力下不断演替。本质上,它是自然地理环境系统和人文社会经济系统“二元”作用力的综合结果。

4.4 公平、效率及其决策博弈机制 公平与效率是经济学中一对非常重要的基本范畴,而各级决策主体间的博弈及决策结果,则引导着社会水循环的演变。水资源是一切生命、生产活动的基础,生产率的提高是经济发展的主要源泉之一,水资源的有限性和经济属性决定了公平与效率(包括有效利用率和利用效益)及决策主体博弈机制,是社会水循环调控的重要决策判据。该机制主要包括公平、效率和决策主体间的博弈三部分。

4.4.1 公平机制 包括时间上的公平和空间上的公平。时间上的公平(即代际公平),要求社会水循环的过程必须保持水资源系统的更新能力不随时间而减弱;空间上的公平(代内公平)要求在水资源的开发利用中,要维护区间间、流域间(上、中、下游之间)的公平,同一流域内的各级用户拥有平等享用水资源的机会,对社会弱势群体的用水权益应进行充分保护(如水价补贴),水资源受益用户应对受损用户(如水源地)进行适当的补偿等等。因此,公平机制既是水资源自然属性的必然要求,又是人类社会持续利用水资源、实现共同发展的基本准则,并成为社会水循环演变的重要驱动机制。

4.4.2 效率机制 在社会人文系统和生态与环境系统之间、一、二、三产业之间、上中下游之间、城乡之间、不同水源之间的水资源分配中,提高水资源利用效率是其核心法则。实践证明,过于注重水资源利用的经济性收益,将导致严重的生态与环境问题。在效率机制中,遵循水资源边际效益递减与边际成本递增规律尤其重要。边际量是水资源配置决策的重要判据,在宏观经济层次,可根据社会净福利最大和边际成本替代两个准则确定合理的供需平衡水平,在微观经济层次,则以各项水资源配置措施的边际成本相等或大体相当为准则。

4.4.3 决策主体间的博弈机制 效率认知是社会水循环调控决策的第一步(也是最重要的一步),但在不同的水资源管理阶段,由于对管理的目标和视点不同,不同类型决策者的策略偏好差异明显(表1),调控社会水循环的决策过程实质是具有不同认知背景的利益相关体代言人之间的决策博弈。通常,供给管理调控阶段的强势决策者主要是工程师、水利学家和政治家;随着水资源缺乏程度的加剧和资源环境压力的不断增加,生态学家逐步参与到决策过程;当需求管理成为主流选择后,经济学家和社会科学家开始影响决策过程。

4.5 社会水循环动力耦合分析 上述四种动力机制并非彼此独立而是紧密耦合形成合力,共同促成社会水循环的演变与发展。社会水循环耦合动力的形成可表达为:

$$P_d = f(A_o, C_q, D_p, E_d) \quad (1)$$

式中: P_d 为耦合的演变动力; A_o 为经济优化动力; C_q 为水环境代谢约束力; D_p 为区域发展与干预作用力; E_d 为公平与效率及其决策博弈动力; f 为耦合机制(可以是各动力机制的函数表达形式,也可

理解为类似元胞自动机的演变规则)。

需要说明的是, 各大类动力机制的内部机制之间也基本相互影响, 互为促进或制约(图2所示); 在具体问题分析中, 各内部机制之间并不是平均作用, 在不同的社会水循环阶段(或社会经济发展阶段), 不同机制的重要性不同, 因此可类似上式分别将各类机制进行细分表达。

表1 不同水资源管理阶段的决策机制对策偏好

管理阶段	管理目标	视点	参与决策者的群体主体或决策者背景	对策偏好	
供给管理	提供更多的水资源	集中于水本身, 即供水	工程师、水利学家, 部分考虑政治因素	利用工程措施增加新水源供应	
技术性节水	对每滴水进行更多利用	集中于水本身, 即用水	工程师、水利学家、政治家、生态学家	推广先进用水技术和生产工艺, 定额管理	
需求管理	结构性节水	每滴水产生更多的价值, 强调区域内部分配效益	从水转向区域内部的水-经济-生态系统, 供-用效益最优、人水和谐	工程师、水利学家、政治家、生态学家、经济学家	总量控制制度、经济激励手段、水权分配与水市场管理
社会化管理	社会化节水	每滴水产生更多的价值, 强调区域外部分配效益	从水转向区域外部的水-经济-生态与环境系统, 综合效益最优、人与自然和谐	工程师、水利学家、政治家、生态及环境学家、经济学家、社会学家	总量控制制度、经济激励手段、水权分配与水市场管理、虚拟水策略

*注: 参考文献[20-21]修改。

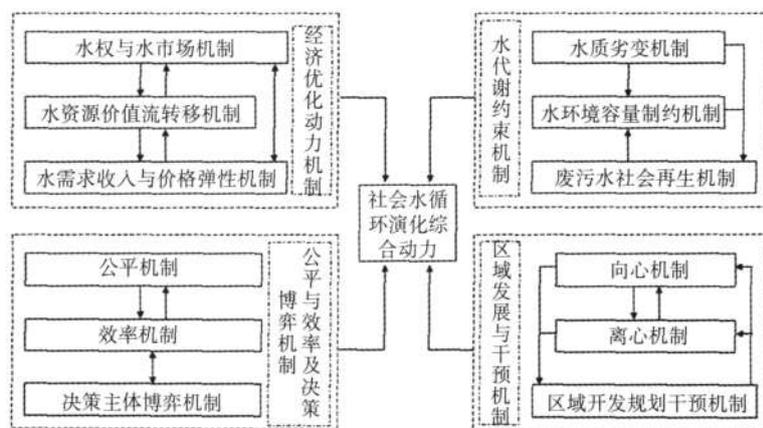


图2 社会水循环动力机制的耦合

5 结语

系统开展社会水循环研究, 建立社会水循环研究科学体系, 是解决水资源问题, 实现以水资源可持续利用保障社会经济可持续发展的基础性关键科学命题。本文阐述了社会水循环科学研究的背景, 辨析提出了社会水循环的科学定义与内涵, 对其关键特性和影响因素进行了识别, 提出社会水循环演变发展的动力机制及其耦合关系, 为进一步探索构建社会水循环科学框架体系及问题研究提供理论基础。主要结论如下: (1)社会水循环是受人类影响的水在社会经济系统及其相关区域的生命和新陈代谢过程; (2)社会水循环具有广泛性、循环动力的二元性、循环方向的不确定性、路径依赖性、增值性、传递性和外部性等特性。它受自然因素和社会因素, 尤其是人口、经济水平、科技水平、制度与管理水平、水价值和水文化等社会因素的综合影响; (3)各种影响因素的耦合作用, 构成了社会水循环的基本动力机制, 即, 经济优化动力机制、水环境代谢约束机制、区域发展与规划干预机制、公平与效率及决策主体博弈机制。这些机制紧密耦合, 推动社会水循环的演变发展。

参 考 文 献:

- [1] 王浩, 陈敏建, 秦大庸, 等. 西北地区水资源合理配置与承载能力研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [2] 陈家琦, 王浩, 杨小柳. 水资源学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 陈庆秋. 珠江三角洲城市节水减污研究[D]. 广州: 中山大学, 2004: 149-152.
- [4] 张杰, 熊必永. 城市水系统健康循环的实施策略[J]. 北京工业大学学报, 2004, 30(2): 185-189.
- [5] 李奎白, 李星. 水的良性社会循环与城市水资源[J]. 中国工程科学, 2001, 3(6): 37-40.
- [6] 程国栋. 虚拟水——中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003(4): 260-265.
- [7] 龙爱华. 社会水循环理论方法与应用初步研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2008.
- [8] 赵建世. 基于复杂适应理论的水资源优化配置整体模型研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.
- [9] Arthur W Brian. Competing technologies, Increasing returns and lock-in by historical events[J]. *Economic Journal*, 1989, 99(3): 116-125.
- [10] 阮本清, 张春玲. 水资源价值流的运移传递过程[J]. 水利学报, 2003, 34(9): 1-6.
- [11] 陈志恺. 人口、经济与水资源的关系[J]. 海河水利, 2002(2): 1-4.
- [12] 程冬玲, 林性粹, 杨斌. 水利、水文化的内涵与演变[J]. 中国水利, 2004(5): 66-68.
- [13] 李菲, 惠泱河. 试论水资源可持续利用的价值伦理观[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1999, 29(4): 353-356.
- [14] 弗里德希·亨特布尔格, 弗莱德·路克斯, 玛尔库斯·史蒂文. 生态经济政策: 在生态专制和环境灾难之间[M]. (葛竞天, 丛明才, 姚力 等译) 辽宁: 东北财经大学出版社, 2005.
- [15] 刘昌明, 陈志恺. 中国水资源现状评价与供需平衡趋势分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [16] 姜文来. 水资源价值论[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [17] 叶碎高, 郑世宗, 刘红. 山区性河道水环境容量及合理配置研究[J]. 水利学报, 2007, 10(增刊): 573-576.
- [18] 丹保究仁. 水文大循环与城市水环境代谢[J]. 给水排水, 2002, 28(6): 1-5.
- [19] 罗平. 地理特征元胞自动机及城市土地利用演化研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [20] 龙爱华. 水资源账户与社会化管理研究——以黑河流域张掖市为例[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004.
- [21] Allan J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible [R]//ODA, *Priorities for Water Resources Allocation and Management*, ODA, London, 1993: 13-26.

Study on theoretical method of social water cycle I: Definition and dynamical mechanism

WANG Hao¹, LONG Ai-hua^{1, 2}, YU Fu-liang¹, WANG Dang-xian¹

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;*

2. Xinjing Water Resource Bureau, Wulumuqi 830000, China)

Abstract: Starting from the evolvement in conception of social water cycle, this paper explored its scientific definition and connotation, differentiated its essential characteristics, and analyzed its impact factors and their reciprocities between each other. On this basis, the paper put forward the dynamical mechanisms of the social water cycle, including economics development, metabolism of water environment, regional exploitation and planning, equitableness, efficiency and decision-making, which are necessary for making up a base of academic analysis for further research on social water cycle.

Key words: social water cycle; definition and connotation; essential characters; impact factors; dynamical mechanisms

(责任编辑: 王成丽)