

水资源持续利用的框架^{*}

冯尚友 刘国全

(武汉水利电力大学 武汉 430072)

摘 要 根据可持续发展(Sustainable Development)理论,重点探讨了水资源可持续性存在依据、可持续利用的支持条件、发展模式、演变控制等;给出了一个水资源持续利用理论与实践框架。

关键词 水资源 可持续发展 持续利用

分类号 TV213.9

1 引 言

自二战结束以来,随着科学进步和经济高速发展,人口剧增、资源浪费、环境污染、生态退化日益突出,严重威胁着人类生存和发展。在此严峻形势下,人们经过反思并认识到:现行的社会经济发展模式已不再适应当今和未来的发展需要,必须寻找一条人口、经济、社会、环境和资源相互协调的可持续发展之路。

1980年国际自然保护联盟(IU CN)首先提出了“持续发展”的术语^[1]。1987年世界环境与发展委员会给出了公认的可持续发展的定义为:“既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”^[2]。1992年世界环境与发展大会,通过一系列决议和文件,并制定了《21世纪议程》,把可持续发展的提出、形成、演化的概念推向了行动。1994年我国政府发表了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》^[3],作为制定国民经济与社会发展的重要指导文件。当前,可持续发展概念已成为各国制定国民发展战略的中心议题和理论基点。

可持续发展是人类生存与发展的自身需要和必然选择。它的根本目的是改善提高人类(包括当代人和后代人)生活水平,维持整个社会的持续发展。实现目标的物质基础是地球上的资源供给,实现目标的基本手段是发展经济与保护环境相协调发展。可持续发展概念的重要意义在于:它是对现行经济发展模式的改革和对环境保护、资源利用永远持续下去的保障。

水是生物圈内生命系统和非生命系统的组成要素,是国民经济和社会发展的基础资源。水资源持续利用的目标是根据可持续发展理论、依托于生态、经济系统之中,支持和维护自然—社会的持续发展,其中心任务是开发利用水资源、保护环境、发展经济,永续地满足当代人和后代人发展用水的需要。

。 本文于1996年5月27日收到,1996年7月23日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目(No. 59279382)。

本文在笔者前期研究工作的基础上^①, 试图对水资源持续利用的基本原理、条件和模式进行研讨, 并给出一个理论和实践的框架, 以期对有关自然资源开发利用的后继研究起到一定的作用。

2 水资源可持续性存在的依据

持续发展的一个重要含义是可持续性 (Sustainability) 的存在。任何事物的可持续性是指它在时空上能够永远的连续下去。人类社会的可持续性包括三个相互联系不可分割的部分, 即生态可持续性, 经济可持续性和社会可持续性。水资源是生态经济系统的组成部分, 服从生态和经济规律的支配, 并为生态环境和社会经济服务。水资源可持续性的存在, 主要是由自然界生态可持续性法则和水循环过程决定的。

2.1 生态可持续性法则

它是地球生物圈存在的一个基本的生态法则, 对一切再生资源: 生物资源和非生物资源 (光、热、气、水、土等) 都是普遍适用的。生态可持续性法则指出, 只要对生物和非生物资源的使用, 在数量和速度上不超过它们自身的恢复再生能力, 再生资源便可持续不断的永存, 其永续供给的最大量, 应以最大持续产量 (Maximum Sustained yield) 为限度^[5]。例如, 地面水的最大持续产量是指水文循环中多年平均的地表水最大水量; 对地下水而言, 是指地下水能长久供给、而不使地下水位下降或水量减少的最大可供水量。同样, 物种的衰减不能超过物种的进化; 土壤的侵蚀不能超过土壤的形成; 一个渔场的捕鱼量不能超过它的恢复能力等。否则, 生态可持续性就要受到损害, 甚至瓦解。

可持续性同样要求人类生活生产活动的废弃物, 不能超过环境容量或自净能力; 否则, 环境系统必被改变和损害。以空气受到污染为例, 若二氧化碳的排放量超过环境的固碳能力, 就意味着大气中二氧化碳的积聚和热量平衡的改变; 硫的释放量超标, 就意味着酸雨对森林、湖泊和农作物的施虐。同样, 人类废弃物超过水域、土地和动植物等的环境容量, 必将受到污染, 影响再生资源的可持续性。

2.2 水文循环

水文循环是生物圈内生物地质化学总循环 (Biogeochemical Cycle) 中的重要一环, 是自然界中物质再生的一种过程。水资源的更新再生和可持续性存在的能力, 就是靠水文循环过程, 年复一年、周而复始的补给。水文循环过程不仅提供源源不断的新鲜水, 而且还起着美化自然净化环境的作用。然而, 人类不合理的生活生产活动, 污染水域和海洋、超采地下水、盲目围垦造田、滥伐乱垦等, 日益影响水循环过程的正常运转。因此, 为了维持水的可持续性, 保护水文循环过程正常运行, 将成为自然—社会可持续发展中一项重要的任务。

^① 冯尚友. 生态经济系统理论研究报告和自然资源持续利用研究报告(国家自然科学基金资助项目 No. 58973887 及 No. 59279382). 1993, 1995 年

3 水资源持续利用的支持条件

持续利用 (Sustaining Utilization) 是可持续发展的另一含义, 是对再生资源使用的专门术语, 对非再生资源的利用是无“持续”可言的, 只能尽量地降低其消耗、提高其使用率, 或使用代用品, 延长它的使用“寿命”。水资源持续利用的实施, 除水具有天然的可持续性外, 还要精心保护、科学管理, 协调自然—社会关系并取得支撑。下面仅就自然和社会对水资源持续利用的必要关系与支撑能力谈谈我们的观点和认识。

3.1 水资源的承载能力

它是一个国家或地区人口、环境与经济可持续发展的一种基础支柱或支撑能力。所谓承载力是指一定区域、在一定物质生活水平下, 资源能够持续供给当代人和后代人需求的规模与能力。各地区水资源的承载力是有限的, 且因水的时空分布特性不同而有很大的差异。例如, 我国南方水多北方水少, 汛期水多枯水期水少; 长江、珠江和浙闽地区是水资源相对比较丰裕的地区; 黄淮海、松辽地区, 是水资源严重不足地区; 广大西北内陆地区, 则属于水资源极为贫乏地区。

若水资源开发利用程度不超过水的承载能力, 能够满足当代人的发展需要, 就具备了持续发展条件。若一时满足不了发展需要, 可借助科技进步、挖掘潜力、节约用水, 多方设法提高用水效率, 增强水的承载能力, 以满足用水需要。据此, 地区人口、环境与发展的目标应落实在基础资源的承载能力之内; 不然, 发展的目标在物质上得不到保障, 经济的发展也是不可能的, 即使经济上可行, 也不会持久地发展下去。

3.2 区域的生产力水平

它是一个国家或地区在资源、人力、技术和资本总体水平上可能转化为产品和服务的能力。人类的生活生产活动, 特别是社会经济活动, 都是在一定地域空间内进行的; 这样的区域均表现为一个自然生态系统、经济系统和社会系统紧密耦合的综合体。在这样的综合体内, 水资源的持续利用和发展必须有地区的一定生产力水平的支持, 才有条件做到人口、环境与经济协调的持续发展。

显然, 地区经济和科技落后, 人民生活贫困, 哪有能力保护环境、保护资源和支持水资源的持续利用? 因此, 在不发达的国家或地区, 首先发展经济乃是持续发展的前提。当然, 在快速发展经济的同时, 要做到自然资源的合理开发利用与环境保护相协调, 也是非常重要的。

3.3 环境的容量能力

它是地区社会生产、资源开发利用和同化生活生产废弃物的容纳能力。环境是维持生物和人类生命的基础, 是提供人类生活生产各种物质资源的基地; 同时, 也是人类活动废弃物的回归场所。环境是资源, 也是有限的。各地区的环境容量, 也因自然和社会的条件不同而异。

若地区的发展能够维持在环境允许的容量之内, 水资源的持续利用也就具备了环境保障条件; 否则, 水资源将受到污染, 水资源的有效利用量减少, 必将影响整个社会的持续发展。当今世界性的生态环境问题, 大部分原因是由于人类活动不顾环境容量约束造成的。

3.4 水资源工程技术能力

它是满足地区人口、生产、保护环境、合理开发利用资源的工程技术手段和能力。由于水资源的分布和流动等特性,如不采取工程技术措施进行拦蓄调控,就会时过境迁、“付诸东流”。因此,修建水利工程是水资源持续利用的必要手段;但必须在无害环境(Environmentally Sound)下实施,才能取得保护环境发展经济的功效。

诚然,水事活动总会对周围的生态环境产生这样或那样的一定负面影响。这就要求水资源复合系统的规划与管理,必须具备有保护环境、改善环境和无害环境的各种措施和能力,才能真正达到经济效益、社会效益和环境效益的三统一。

3.5 水资源管理制度的调控能力

它是人的认识、行为、决策和调节控制水资源—生态环境—社会经济复合系统的总体能力。人的认识,首要的是人与自然之间、人与人之间的和谐关系,要改变传统观念,建立新的伦理道德准则。人的行为要对自然承担义务,要主动谋求自然与社会的协调持续发展。一切行动决策要符合或适应持续发展要求,使经济、社会和环境整体结构最优。

据此,要改善和建立一切不适应可持续发展与水资源持续利用要求的管理体制、制度和机制,并不断开发人的智力,加强和提高科学管理的调控能力。重视和强调管理功能的重要意义,今天和明天都是不过分的。因为即使上述其它条件具备,管理不当或管理效率低,也会事倍功半的。

3.6 发展过程中抗干扰的稳定能力

它是水资源复合系统运行过程中抗拒自然突发灾害(如大洪水、海啸、地震等)和经济社会大波动(如决策失误和战争等引发的重大波动)所带来灾难性后果的恢复稳定能力。人们总希望一旦遭遇这种不测的干扰和振动,系统能有良好的稳定性和尽快恢复善后的能力。因此,在规划设计水资源系统的结构与功能时,要考虑到这种小频率事件的发生,加强抗干扰能力;或者对系统的设计要留有余地,增强系统的稳定性,使水的持续利用、环境保护与经济发展整体受到的风险最小。

以上六项水资源持续利用的条件(其它自然资源利用也基本如此)是相互联系相互影响的。满足这些条件就可使资源利用成为“正面的”和“有益的”持续发展^[6];否则,其中任一条得不到满足或过程受挫,都会影响整个社会持续发展的进程和水平。

4 水资源持续利用的基本模式及演变控制

从系统科学的观点看,水资源持续利用的实现,就是水资源—生态环境—社会经济复合系统持续发展功能的体现。可持续发展强调系统组成的结构合理和系统运转的动态连续,它们集中反映于系统的结构合理和运行有序之中。只要水资源复合系统中环境、经济和社会结构合理,才能取得整体功能最优;只有系统有序稳定的演变,才能取得系统持久的发展。因此,建立水资源持续利用的基本模式和演化控制,使其结构合理并不断地朝着有序的良性循环发展,是持续发展理论在再生资源利用中的必然体现或具体化。

4.1 水资源持续利用的基本模式

不论水资源还是其它再生资源的持续利用,均可用下列基本发展模式加以描述。设系统

所处的空间和时间一定时，它们的总体发展目标可以综合效益最大表示，其函数形式为^①

$$\max [E(x), S(x), -R(x)]$$

受约束于 $G(x) < 0$ (1)

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

式中 X 为 n 维向量的控制（决策）变量； E 、 S 、 R 分别表示经济效益、社会效益和环境效益； G 为对系统起制约作用的约束条件集，如水的承载力、环境容量和其它社会约束条件等； X_j 为控制向量的非负条件。

经济效益反映资源充分利用程度和生产效率的高低，可用物（能）质转化率和生产率、或经济指标表示。社会效益主要体现社会分配公平性和社区间的和谐关系，可能时也可用经济指标表示。环境效益反映保护或改善环境的花费和投资，也可用经济指标表示；如不可能时可用环境安全度或风险率表示，这时式（1）中的 $-R$ 形式不变。式（1）中各函数的构造，根据问题的实际情况，可通过费用效益分析、投入产出分析、多目标决策分析和有关数学方法等来建立。一般说各函数的量纲多是不可公度和相互矛盾的，可通过大系统多目标递阶分析求解，找出不劣方案，供决策者选择。

4.2 水资源持续利用系统演变控制

上述的持续利用基本模型，能够提供环境、经济、社会三位一体的最佳结构，并不能给出外界环境对系统影响的演变方向。为此，需在基本模型的基础上，对系统运行状态进行检验和控制。检验或判断系统演变方向的方法，建议采用熵变关系来测定。一般系统的微熵变 dS ，即热力学第二定律的数学表达式为

$$dS \geq dQ/T \quad (2)$$

式中 dQ 为系统与外界能量的交换量； T 为相应 Q 的绝对温度。根据这个基本性质，经对生态环境与社会经济的具体分析论证，可定义水资源生态经济复合系统的熵为^[7]

$$E(S) = \sum Q_i / \sum P_j = Q/P \quad (3)$$

即系统的熵为某一状态下，系统所拥有的能量与其相应的经济价值之比。单位为大卡或焦耳/元，或其它单位，如 10^8 kW/元 。式中的 $\sum Q_i$ ，吸能为正，释能为负； P 为生态环境和社会经济的物质、能量、劳力、资本、知识技术等变量转化为相应的经济指标或市场现价。

设系统 t_0 时的熵为 $E(S)_0$ ， t_n 时熵为 $E(S)_n$ ，则 t_0-t_n 时的熵差为

$$\Delta E(S) = E(S)_n - E(S)_0 \quad (4)$$

差值可大于等于或小于零。依熵变关系可判断系统的演变方向和内部结构的稳定程度：

当 $\Delta E(S) > 0$ 是，表明系统总熵增加，无序度加大，系统结构处于不稳定状态和系统演变于恶性循环过程中。

当 $\Delta E(S) < 0$ 时，表明系统总熵减少，有序度增强，系统处于良性循环状态，资源利用、生态环境和社会经济可持续发展，结构稳定，功能最佳。

当 $\Delta E(S) = 0$ 时，表明一定时间间隔内，熵无变化，系统状态与开始时一样，一般说，

① 冯尚友，生态经济系统平衡与非平衡演化及控制，生态经济复合系统理论研究报告，武汉水利电力大学，1993

系统处于稳定的定态。

根据系统熵变关系分析,评价系统运行、调整和控制主要影响因素,使系统维持和朝着有序稳定的方向运转,实是水资源持续利用和社会持续发展的必要条件。

5 水资源持续利用的框架

水资源持续利用是整个社会持续发展的组成部分,是传统水利学中的一个新概念和新问题,绝非可以轻易实现。对它的研究虽是刚刚起步,但可持续发展理论已贯彻于我国的“九五”计划和2010年远景目标纲要之中,应该引起理论界和专业领域内学者的重视和研究。

本文除对水资源持续利用一些基本问题作了一般阐述外,尚有一个文献[4]提到的实施水资源持续利用面临的挑战和问题,也是绝不可忽视的。这是因为我国的基本国情:人口多、素质差,底子薄,人均资源少,经济、技术尚不发达,对一些重要自然资源的保护与利用正面临着严峻的考验,必须正视和解决这些困难。

就以水资源本身而言,对其利用保护的重要性、面临挑战的严峻性、实施过程中的艰巨性,都是所有自然资源保护利用中最为突出、最为严重的一个。人口、经济发展需求巨大,可供淡水相对较少,且无法用其它资源替代;供水和防洪设施不足和标准低,需大力开发;水污染、水浪费严重,要大力防治和实施节水技术;现行水管理体制和制度多半不符合持续发展要求,需大力改革和重建。凡此诸项问题,都是实施水资源持续利用发展战略必须首先解决的问题。

综合考虑水资源持续利用在我国实施《21世纪议程》中的地位、目标和任务,要求我们及时地组织起来进行多学科的综合研究,探索具有我国特色的持续发展理论与实践方法。这里,我们给出了一个由三个有机部分组成的研究框架(框图略):

第一部分,可持续发展战略和水资源持续利用理论研究。包括结合我国国情的持续发展概念的延伸和具体化、水的可持续性过程的内在关系、持续利用的自然—社会支持条件与相互关系、发展的基本模式,持续演变控制和研究的方法论等。

第二部分,水资源可持续利用的规划管理技术研究。包括现行水资源工程对生态环境影响的机理、识别、评估和防治,无害环境的水资源系统规划管理的原则、程序、目标、模型和方法,以及持续利用的综合评价技术和信息管理支持系统等方法。

第三部分,社会主义市场经济体制下的水资源持续利用的管理与制度研究。重点研究水资源发展战略、政策、水资源产权关系、水的价值与价格、环境与资源的核算理论和方法、资源优化配置和改革、完善、建立其它不符合可持续发展要求的相应制度、法律法规、管理体制与有关机制等。

以上三个部分密切相关,共同构成了水资源持续利用理论与实践的基本体系。第一部分是水资源持续利用的理论基础,第二、三部分分别是实现水资源持续利用的工程手段和管理体制。它们之间的密切结合和协调一致是实现可持续发展和资源持续利用绝不可缺少的。

诚然,人的认识和事物是不断发展的,所列部分的具体内容可能发生一些变化,但总的轮廓不会大变,只能随着研究的深入,更加丰富持续发展理论和可操作性的实践内容。

参 考 文 献

1 IUCN. UNEP. WWF 合编. 保护地球——可持续生存战略. 国家环境保护局外事办公室译. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 195p

2 WECD. Our Common Future——From One Earth to One World. Oxford: Oxford University Press, 1987.

3 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.

4 冯尚友, 刘国全, 梅亚东. 水资源生态经济复合系统及其持续发展. 武汉水利电力大学学报, 1995, (6): 624~629

5 Neble B J. 环境科学 (范淑琴等译). 北京: 科学出版社, 1987. 327~329

6 牛文元著, 持续发展导论. 北京: 科学出版社, 1994. 327P

7 冯尚友, 梅亚东. 生态经济系统的演变与熵值. 复杂巨系统理论、方法、应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1994. 200~204

A Holistic Framework for Sustaining Water Resources Utilization

Feng Shangyou and Liu Guoquan

(Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan 430072)

Abstract: Fundamental issues such as basic laws, supporting conditions, development modes, and evolution control modes, which arises from sustaining water resources utilization, are focused upon in the light of sustainable development theory. Futhermore, a theoretical and practical framework is briefly outlined.

Key words: water resources; sustainable development; sustaining utilization.