

水资源研究中的系统思维

张学真 胡安焱

(长安大学环境科学与工程学院 陕西 西安 710054)

摘要 :以事实为依据,运用辩证的、系统的思维方式对水资源系统的整体性、复杂性、动态性、脆弱性与敏感性特征进行了较为全面的剖析和总结,得出人类活动与水资源系统的演化特征存在着必然的联系。提出正确认识人类活动对水资源系统的影响作用,保障水资源的可持续利用,需要重视对水资源系统不确定性的研究,自觉地运用系统思维,需要马克思主义哲学和现代科技理论来指导。

关键词 :水资源系统特征;不确定性;系统思维;世界观和方法论

中图分类号 :N941.4 **文献标识码** :B **文章编号** :1004-693X(2006)02-0084-04

Systemic thinking in water resources research

ZHANG Xue-zhen, HU An-yan

(Faculty of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract :Based on real facts, the dialectical and systemic thinking was used to analyze and summarize the characteristics of water resources system, including integral and dynamic character, complexity, vulnerability and sensitivity, which shows that there exists positive connection between human activity and the evolving characteristics of water resources system. It is presented that we should attach importance to the uncertainty research of water resources system, make full use of systematic thinking, Marxist philosophy, and modern science and technology theories in order to understand the influence of human activity on water resources system and guarantee the sustainable utilization of water resources.

Key words :characters of water resources system; uncertainty; systemic thinking; world view and methodology

水资源的支撑作用在生命活动的历史中居于极其重要的地位。作为理论性和实践性很强的水科学,正是在人类认识和开发利用水资源的过程中逐渐形成的,并在实践中不断获得新的内涵。如何合理解决人类社会生存发展和人类生存环境演化中的水资源问题,需要采用不同的学科知识和方法来回答。本文试图从哲学角度对水资源系统研究在有限范围内进行初步探讨。

1 水资源系统的内涵

系统是客观世界中的一种普遍现象,无论是在自然界,还是社会中,或者思维领域,系统可以确定为处于一定相互关系中并与环境发生关系的各组成部分(或要素)的总体。广义的水资源系统作为一个

系统,它首先是一个自然系统,随着人们对水的开发利用就构成一个集自然、社会经济为一体的复合系统,因为流域内自然的、经济的、社会的因素都与水有一定的联系和作用。水资源系统是由自然要素、社会经济因素相互作用、相互联系组成的有机整体^[1,2]。狭义的水资源系统就是水资源的赋存系统,它包括天上水(大气水)系统、地表水系统、地下水系统三个子系统。天上水(大气水)、地表水、地下水三个子系统之间具有密不可分的必然联系,水资源在三个子系统中不停地相互转换。地表水子系统的系统性表现在降水落到地表,汇入细小支流,逐级汇入较大的支流,并最终形成一个水系。地表水资源的规划与管理通常是按水系进行的。地下水子系统的系统性表现在存在于同一含水层系统中的水资

基金项目:国家科技部资助项目(2002BA901A43)

作者简介:张学真(1967—),男,陕西眉县人,讲师,博士,主要从事水文与水资源的教学与研究工作。E-mail:zxx2000@126.com

源是一个统一的整体,在含水系统的任一部分注入或排出水量,其影响将波及整个含水层系统。

这里,可以借助系统理论对狭义的水资源系统进行初步概化。水资源系统可以由三部分组成,它们分别是系统物理实体 $W(t)$ 、输入物质流 $I(t)$ 和输出物质流 $O(t)$ (如水量、水质及其对系统的干扰和对干扰的响应等)等。水资源系统的三个部分 $I(t)$ 、 $W(t)$ 、 $O(t)$ 之间存在卷积关系,即有

$$O(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t-\tau)W(t,\tau)d\tau = I(t)W(t,\tau) \quad (1)$$

当水资源系统处于稳定状态时,系统物理实体 $W(t)$ 不依赖时间 t 而改变,这时式(1)成为

$$O(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t-\tau)W(\tau)d\tau \quad (2)$$

研究水资源系统,首先需要通过系统输入、输出物质流的分析入手,从而确定描述系统物理实体特征的参数,无需了解物理实体的具体结构^[3]。

2 水资源系统的特征

2.1 整体性

水资源系统的整体性应包括两个基本概念,一是水资源系统的自然要素综合作用的特征,二是水资源系统在空间上和时间上的连续性。水资源系统现状是其过去状态的延续,水资源系统的现象或过程是其过去现象或过程的延续或反映,因此在时间上、空间上具有整体性的特征。

水资源系统整体性的核心问题是整体与部分以及整体中部分与部分的关系问题。水资源系统整体的各部分(要素),虽然因存在这样或那样的联系而共同存在于水资源系统整体中,但就其实质而言,彼此是相互独立的,其中每一部分(或要素)都具有其他部分不具有的质的规定性,它在整体中的地位和作用是不可能被其它部分完整代替的。该系统中任何一个部分出现“故障”,都会导致系统整体某些功能的降低或丧失。如植被破坏导致河流泥沙增多,河床抬高,水库淤积,使水资源开发利用受到影响,致使整体系统应有的功能降低或丧失。水资源系统整体与部分,以及部分与部分之间的差异、对立关系是绝对的、无条件的。而统一、同一关系是相对的、有条件的。因此,在开发利用水资源时要协调好各部分(或要素)之间的关系,使它运行成为一个系统整体。

2.2 复杂性

水资源系统的复杂性主要表现在各种相互对立、相互矛盾并存的现象的普遍性的存在。水资源

系统从宏观现象到微观现象,这种复杂性是随处可见的。水资源系统复杂性研究是当前水科学发展的前沿,其内容包括耗散结构理论、协同论、自组织理论、突变理论、混沌理论、分形理论等经典内容。以斯坦福为代表的自适应系统复杂性讨论为水资源系统分析带来了新的思路和技术途径^[4]。

水资源系统复杂性特征具体表现在以下几个方面:水资源系统可由许多同类部分或不同类部分组成,每个部分都不同程度地影响系统的发展变化;水资源系统是分层次的,每个层次的演化现象不尽相同,发展规律也可能各有差异;系统的耦合关系强,不同部分不同层次,甚至同部分不同层次之间相互作用;水资源系统的非线性特征表现在其组成部分或层次之间的相互作用是非线性的,这是复杂性和多样性产生的原因。

对水资源系统的复杂性认识,是基于系统从无序到有序转变的基础原理和规律。在水资源系统中所涉及的一些基本特征如非线性、非平衡性、突变、混沌等具有明显的普遍性。水资源系统是一个复杂的、开放的大系统,它呈现出非线性、多尺度、自组织、有序和随机性等现象^[5,6]。

例如,西北地区的水资源问题研究,几十年来取得了巨大的成就。但是,由于问题本身的复杂性,在解决西北水问题的认识和方法上也有不同看法,归纳起来有以下几点:①西北地区并不缺水,缺水是人为原因,即西北地区不是资源型缺水,而是工程管理型缺水,解决西北地区水问题的根本出路在于挖掘潜力;②如果东部地区能供养起西部(这里指人,当然也包括西北地区),就可以放弃西部(指工农业发展),水问题自然解决;③实施西北地区找水计划(指地下水),解决西北地区水问题;④南水北调是解决西北地区供水问题的出路;⑤考虑利用极地和高山冰川用于解决西北地区水资源问题。解决西北地区水资源问题的不同认识从另一方面反映了西北地区水资源系统问题本身的复杂性。

2.3 动态性特征

水资源系统是处于动态变化过程中的系统。由于受到人类与环境各种社会、经济、自然因素既相互联系、又相互作用的干预,通过各种运动形式之间的物质、能量、信息的传递交换,使系统的结构发生频繁的变化。水资源随时间演进的变化具有波动的特点,水资源系统波动性特征体现于水资源再生能力的波动和变化。一定区域内水资源再生能力与区域自然-经济-社会的承载能力相关。

水资源系统在不同时间尺度和空间尺度的表现形式有所差异,其分布是与地域分异组合特征紧密

联系的。水资源系统是个开放系统,它不断与外界环境交换物质和能量,以从外界吸入负熵流的增减情况而决定系统稳定的变化和程度。因此,需要对水资源系统的地域变化特点做具体的综合分析。水资源系统动态性的地域体现于水环境的质量关系和范围的变化。水环境质的变化指某种水环境类型被另一种类型所替代,水环境量的变化指水环境向某一个发展方向变化的速度或程度,水环境范围指某种水环境类型波动和变化范围的扩大或缩小幅度。如种草植树,治理水土流失,改善生态环境,减少泥沙,修筑水库,发展电力,灌溉农田等都体现了水资源系统的开放的、动态的特性。

2.4 脆弱性与敏感性

水资源系统是一独具特色的自然系统,这一系统内部各种因素的关系易于产生变化。往往由于一个因素的变化或扰动会触发其他多个因素的“链式”反应,进而对环境整体的质、量关系产生根本的影响。当水环境干扰因素超过了水环境整体自我维持能力承受的极限时,水环境会发生不可逆的转变。水资源再生能力的波动性在一定程度上也反映自然-经济-社会关系链的脆弱程度。

水资源系统的敏感性的突出表现形式在于主导因素的改变而使水环境整体发生了变化,且变化幅度较明显。一方面,脆弱水资源系统主导因素(或条件)常常处于临界状态,其保持稳定的临界范围也较窄;另一方面,脆弱水资源系统本身对干扰因素的抗逆性、承受能力相对较差,其自我维持能力较弱。

脆弱性与敏感性在西北地区的表现尤为突出。以新疆为例,因为水是生态环境良性发展的生命线,生态与环境是新疆地区人口-资源-环境链中最薄弱的环节,而新疆地区的大规模开发正好触动了这个环节。生态与环境发展具有隐蔽性、渐近性和积累性,其后果具有间接性和突发性,因此要高度重视西北地区水资源的特殊地位^[7]。在大多数情况下,只要系统中某一个子系统产生了变化,就会导致其他子系统产生相应的反应,而且其他变化由于积累放大作用更显著,甚至于使水资源系统整体受到破坏。

3 水资源研究应重视系统不确定性研究

在自然科学的殿堂中,确定性和不确定性始终是并存的,水科学也不例外。水资源开发利用及其系统的确定性研究在人类水事活动的历史中业已取得辉煌成就,大大促进了生产力的发展和人们生活水平的提高。但是,由于人们对水资源系统不确定性研究不够,出现了不少用常规方法或传统方法难以解决的问题,使水科学服务于人类社会一些重要

领域受到了严重影响和挫折。水资源系统的整体性、复杂性、动态性、脆弱性和敏感性,决定了这样一个事实,即在当代,应加强对水资源系统的不确定性研究。

水资源系统的不确定性来源于水资源形成和运动过程本身的随机性,观测资料的不完备性,认识判断的失误,经验理念偏离实际等。水资源系统中有些变量与自变量之间的关系无法用具体的函数来描述,或者因对水资源系统概化的数学模型和真实条件差距太大,导致水资源系统中的定量研究常不尽如人意,人们对水资源系统的定量描述常常受到质疑。以西安市地下水资源评价为例,1957年4月地矿部水文地质工程地质局提交的西安市“可利用”的地下水量是 $25.8 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,1960年6月原建工部西北勘察分院确定的“可开采储量”为 $137.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。尽管从现在的眼光判断前者偏小而后两者偏大,但是,由于缺乏足够的水文和水文地质实践与相应的研究,难有具体的其他认定。不确定成分的多少反映了人们对事物的认识程度。

4 水资源研究需要自觉运用系统思维

系统科学通过对自然科学基础理论的高层次概括,突破了自然科学的领域,正被广泛地应用于社会科学的各个领域以及社会生活的各个方面。作为系统科学的思维方式——系统思维,因为改变了人们认识世界的视角,要求把客观世界当作一个普遍联系、永恒发展的整体、一个由大量变化元素相互作用的系统来认识和研究,从而被广泛应用。系统思想与方法的核心是把所研究的对象看作是一个有机的整体(系统),并从整体的角度去考察、分析与处理事物。水科学领域也受到了系统思维的辐射,自觉地或不自觉地接受了系统思维方式,并在水资源领域业已取得丰硕的成果^[6]。

水资源学家把系统思维方式运用于其研究领域,为水资源的整体化、量化研究开辟了道路。对水资源的系统研究应从整体上和在系统与外界环境的相互联系上着重分析整体与部分之间、整体与外部环境之间的相互联系、相互制约的关系,从而找到了一个最佳的处理方案。在系统分析的基础上,运用数学模型来对系统的状态,各变量之间的关系和发展趋势等进行定量的描述。水资源系统研究以数学作为工具,以计算机作为手段,以系统论为基础,体现了整体性、综合性、模型化和最优化的特点^[7,8]。

我国农业渠灌面积占总灌溉面积的75%。一个时期在水资源开发利用上,兴渠废井,发生了土壤

次生盐碱化、兴废渠,又出现了地下水位下降、地面沉降、海水入侵等环境问题。后来,由于人们改变了认识事物的视角,调整了思维方式,把地表水地下水作为一个整体,统一管理,采用井灌井排,井渠结合的方法,使地表水地下水资源余缺相济,使旱涝盐碱得到综合治理,获得水资源最好的经济、社会和生态效益。这正好实现了对水资源的管理和规划的另一个目标——水资源的可持续利用。

5 对水资源系统研究需要马克思主义哲学和现代科技理论的指导

水科学是在理论研究、实验研究与技术方法的应用三者结合下发展起来的,实验研究与技术方法的应用是水科学不断获得新生的力量源泉。

解决水资源系统面临的一些重大问题,不应简单地凭一些有限的统计数据 and 资料,武断地给整个研究区域下一个结论,如西北地区缺水或不缺水,必须充分认识水资源系统特征和供需矛盾的特殊性和矛盾的各个方面。具体到西北地区,就是要正确地认识该地区自然环境恶化、水资源供需矛盾加剧等由量变到质变的积累过程,要善于在开发西北和再造山川秀美的世纪伟业中抓主要矛盾,下决心首先解决缺水问题,充分认识到解决水问题的艰巨性和曲折性。那些脱离实践、源于本本的认识在言论是错误的,在实践上是有害的,经不起实践的再认识。

水资源工作者几十年来对水资源开发利用及其系统研究工作总的来说成绩是巨大的。但是在我国,不能否认在此期间时而存在着一种片面强调经验事实而不重视理论研究的有害倾向,时而又存在片面重视理论研究而忽视实践的倾向。以地下水为例,20世纪50年代华北平原蓄水灌溉引起大面积次生盐渍化问题,70年代前期过高评价华北平原深层孔隙承压水资源问题等,忽视理论研究,片面重视经验事实。80年代以来,地下水的研究大多停留在

理论上,我国的地下水基础工作进展缓慢,地下水工作整体上呈萎缩趋势,这对严重缺水的我国来讲其消极影响是不可低估的^[9-11]。

水事活动的理论和实践证明,对水资源的系统研究需要马克思主义哲学和现代科技理论的指导,要注意借鉴和吸取其他科学的研究成果,特别是要把辩证法和系统论思维模式自觉地运用到水事活动中。随着人们对自然规律认识的不断深化,水科学的研究对象和领域也将不断扩大,水资源系统研究的理论和实践,在马克思主义哲学指导下必将不断取得新成就。

参考文献:

- [1] 李佩成. 论新时期地下水经营管理新使命[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(2): 1-5.
- [2] 梁吉义. 解决黄河断流问题的系统整体方略[J]. 中国软科学, 1999(9): 5-9.
- [3] 房佩贤. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 128-134.
- [4] 承继成. 数字地球导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 88-110.
- [5] 任光耀. 干旱系统演化探索[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998: 422-494.
- [6] 张明定, 杜东菊. 水文地质与工程地质的系统思维[M]. 西安: 西北大学出版社, 1993: 5-13.
- [7] 冯国章, 宋松柏, 李佩成. 水文系统复杂性的统计测度[J]. 水利学报, 1998(11): 76-80.
- [8] 王栋, 朱元生. 信息熵在水系统中的应用研究综述[J]. 水文, 2001, 21(2): 13.
- [9] 李佩成. 试论人类水事活动的新思维[J]. 中国工程科学, 2000, 2(2): 5-9.
- [10] 李佩成. 论自流灌区的节水与养水[J]. 灌溉排水, 2000, 19(1): 12-15.
- [11] LOUCKS D P, LYNN W R. Probabilistic models for predicting stream quality[J]. Water Resource Research, 1996, 32(3): 593-605.

(收稿日期 2005-03-14 编辑 高渭文)

(上接第 61 页)

- [5] NISHIKAWA H, TAKAHARA Y. Adsorption and photocatalytic decomposition of odor compounds containing sulfur using TiO₂/SiO₂ bead[J]. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2001, 172: 247-251.
- [6] NOORJAHAN M, DURGA K V, SUBRAHMANYAM M, et al. A novel and efficient photocatalyst: TiO₂-HZS M-5 combine thin film[J]. Applied Catalysis, 2004, 47: 209-213.

- [7] MATOS J, LAINE J, HERRMANN M. Effect of the type of activated carbons on the photocatalytic degradation of aqueous organic pollutants by UV-irradiated titania[J]. Journal of Catalysis, 2001, 200: 10-20.
- [8] TERUAKI H. Photocatalytic degradation of benzene on zeolite-incorporated TiO₂ film[J]. Journal of Hazardous Materials, 2002, 93: 333-336.

(收稿日期 2004-11-02 编辑 高渭文)