

复杂巨系统视角下的水资源安全及其研究方法

李少华¹,董增川¹,周 毅²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098; 2. 江苏省水文水资源勘测局,江苏 南京 210029)

摘要 以复杂巨系统理论为指导,探讨了水资源复杂巨系统的概念、内涵、结构以及和谐等问题。在此基础上,对水资源复杂巨系统的核心问题——水资源安全进行了分析,指出水资源安全可通过水资源所支撑的饮水安全、粮食安全、经济安全、生态安全和环境安全而体现。提出了基于规则的水资源安全研究模式以及水资源安全研究的综合集成方法,为今后水资源安全评价指标体系、水资源管理整体模型以及水资源安全保障体系的建立奠定了基础。

关键词 水资源;复杂巨系统;水资源安全;综合集成方法

中图分类号 X143 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2007)02-0001-03

Water resources security research from perspective of complex giant system

LI Shao-hua¹, DONG Zeng-chuan¹, ZHOU Yi

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract On the basis of complex giant system theory, the concept, connotation, constitution and harmoniousness of water resources complex giant system (WRCCS) were discussed. Under the framework of WRCCS theory, water resources security was analyzed. It was pointed out that the security level can be reflected by drinking water security, foodstuff security, economy security, ecology security and environment security. A rule-based mode and a metasynthesis method were put forward for the study of water resources security, which provide a basis for further study of an integrated model of water resources management and an evaluation index system and a safeguard system of water resources security.

Key words water resources complex giant system; water security; metasynthesis

近 40 年来,世界各国都经历了一个较快的经济社会发展过程,一些国家单纯追求经济增长,导致资源过度消耗、生态环境质量下降等问题,经济社会发展与资源环境保护的矛盾日益突出。特别是水资源,由于受全球变化和社会经济快速发展的影响,水资源短缺和水污染问题日趋严重,在某些国家和地区已成为经济社会可持续发展的瓶颈。随着水危机的加剧以及可持续发展理念向水资源领域的渗透,水资源可持续利用、水资源承载能力、可持续水资源管理、水资源安全等已成为水资源研究的热点问题。其中,水资源安全已成为经济社会可持续发展的重要基础,也是饮水安全、粮食安全、经济安全、生态安

全、环境安全乃至国家安全的前提条件^[1]。本文以复杂巨系统理论为指导,从更宽广的视角剖析水资源复杂巨系统的组成、和谐层次及和谐原理,并以此为基础,探讨水资源安全问题以及水资源安全研究的综合集成方法。

1 开放的复杂巨系统及其方法论

开放的复杂巨系统理论是科学家钱学森于 20 世纪 80 年代提出的^[2]。该概念与理论的形成大致经历了巨系统、复杂巨系统、开放的复杂巨系统等几个阶段^[3]。从系统的涌现性和方法论来看,系统可分为简单系统和复杂系统,凡是能用还原论方法处

理的是简单系统,不能用还原论方法处理的是复杂系统,从系统的结构规模、复杂程度等角度出发,系统可分为一般系统和巨系统,子系统(或元素)数量数以万或亿计的系统为巨系统,其他则为一般系统。因此,复杂巨系统通常指那些子系统种类众多、具有层次结构而且关联关系又很复杂的系统^[3]。开放的复杂巨系统则强调了复杂巨系统的开放特性,从外延方面明确了其范畴包括人体系统、自然系统和社会系统。开放的复杂巨系统具有以下特征:①系统本身与系统周围的环境有物质、能量以及信息的交换,所以是“开放的”;②系统的子系统或元素数量巨大,数以万或亿计,所以是“巨系统”;③子系统的种类繁多,有数十种甚至成百上千种,所以是“复杂的”。

处理简单巨系统通常可以采用耗散结构和协同学等理论,而处理复杂巨系统目前尚无十分成熟的理论,唯一比较现实可行的方法就是定性定量相结合的综合集成方法。综合集成方法主张在思想方法上做到多学科知识结合、定性定量研究相结合、科学理论与经验知识相结合、宏观与微观性研究相结合,同时,在技术方法上做到多要素、多技术、多措施以及多信息的综合。综合集成方法的实质是把专家群体、数据信息体系以及计算机体系有机结合起来,构成一个高度智能化的人机结合系统,充分发挥系统的综合优势、整体优势和智能优势,从多方面的定性认识上升到定量认识。在实际应用中,再根据上述综合集成方法构建特定问题的综合集成研讨厅体系。综合集成方法是处理复杂性和复杂巨系统的方法论,它的理论基础是思维科学,方法基础是系统科学与数学,技术基础是以计算机为主的现代信息技术,哲学基础是马克思主义的实践论和认识论^[3]。综合集成方法和综合集成研讨厅体系必将为水资源问题研究提供有力的方法和技术手段。

2 水资源复杂巨系统理论

覆被变化和人类活动极大地影响了水循环,进而增加了水资源系统的复杂性。洪涝灾害、水资源短缺、水环境恶化等问题使得人类重新审视水资源开发利用与经济社会发展以及生态环境演化之间地关系。在可持续发展背景下,将水资源问题置于开放的复杂巨系统理论框架下,探讨水资源复杂巨系统的概念、组成及和谐关系是十分必要的。

2.1 水资源复杂巨系统的概念与内涵

从水资源的属性以及水资源问题的本质出发,将水资源复杂巨系统定义为“以水循环、涉水介质和涉水工程为物理基础,以水资源开发利用和合理配置为核心,以水资源管理制度和法律法规体系为保

障,以水资源可持续利用及经济社会可持续发展为最终目标的水资源-人口-社会-经济-生态-环境复合系统”。它区别于传统意义上的水资源系统,其内涵和特性可从下述几点来理解:

a. 传统意义的水资源系统一般指水循环、水利工程以及与之相关的蓄水、供水、用水、排水等环节,其内涵是与“工程水利”的治水思路相对应的。“开放的水资源复杂巨系统”概念是在“资源水利”和“可持续发展水利”的理念下提出的,它以复杂巨系统理论为指导,以更宽广的视角和更有效的方法来研究水资源-人口-社会-经济生态-环境复合系统。

b. 水资源复杂巨系统是以水为主体的一种特定系统,是由水循环、经济、社会、生态、环境等要素或子系统复合而成的系统,而复杂性是它的基本特征。水资源复杂巨系统是一个系统工程和跨学科课题,需要综合运用水利工程、生态学、经济学、社会学、管理学以及信息技术等多个学科进行交叉和集成研究。

c. 随着水资源系统规模和复杂性的增加,水资源通常具有供水、防洪、排涝、发电、航运、生态与环境保护、观光旅游等多目标特性,同时,这些目标之间又存在着相互关联、相互促进以及相互竞争的关系。水资源复杂巨系统的水资源配置和管理是一个非线性、多属性、多层次、多阶段、多目标决策问题。

d. 水资源复杂巨系统的核心理念是保障水资源安全,实现人水和谐,以水资源的可持续利用支撑经济社会的可持续发展。水资源是一切生命和生态环境演化所依赖的基本要素,从水资源安全角度出发,基于科学发展观和人水和谐来研究水问题,具有相当的战略意义和现实意义。

2.2 水资源复杂巨系统的组成

根据水资源复杂巨系统的概念,它实质上是由水资源、人口、社会、经济、生态、环境等子系统和要素构成的复合系统,其中,水资源及其依附的介质和工程是核心要素,它承载着社会经济和生态环境的发展和演化。随着人类对水问题复杂性认知程度的提高,刘宁提出了“水基系统”的概念,将其定义为“在一定水文尺度和空间范围内,水及与其相关的涉水介质和涉水工程构成的基础生境承载系统”,论述了水基系统的客观存在与演进特性,并探讨了水基系统的应用策略及前景^[4]。水基系统概念与理论框架为水资源可持续利用、水资源安全、人水和谐等研究提供了一个基础平台。

在水基系统理论研究基础上,从水资源复杂巨系统组成要素之间的相互关系以及水问题研究的实际需求出发,将水资源复杂巨系统分解为水基子系

统、社会经济(用水)子系统和生态环境(用水)子系统,以进一步探讨可持续发展理念下的水资源安全评价及其保障问题。三个子系统之间相互关联、相互作用、相互制约,每个子系统同时也是开放的复杂巨系统。另外,水资源复杂巨系统以水资源开发利用和合理配置为核心,相对于整个自然与社会复合系统来说,它不断与外界岩石圈、生物圈、大气圈、人类社会之间进行物质和能量交换,其本身也具有开放性。将水资源复杂巨系统的系统组成及外部环境进行概化,如图1所示。

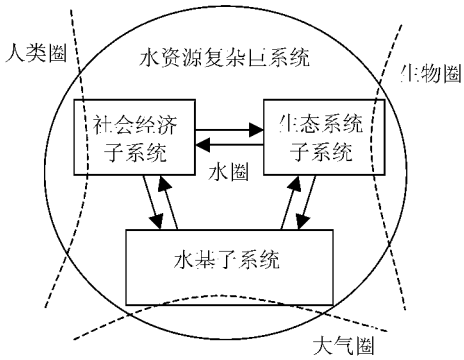


图1 水资源复杂巨系统的系统组成及外部环境

2.3 水资源复杂巨系统和谐性分析

上述对水资源复杂巨系统组成结构的剖析,有利于揭示用水矛盾、研究作用机理并提出解决方案,进而建立水资源复杂巨系统内部的和谐关系。根据系统和谐的定义以及水资源复杂巨系统的结构关系,水资源复杂巨系统和谐主要包括以下三个层次:

a. 构成各子系统的诸要素自身的和谐。各子系统内部诸要素自身的微观和谐是系统和谐的基础,是和谐发展战略中最基本的和谐。譬如,水是水基系统最基本的要素,水的气、液、固三种形态变化以及水的流域特性构成了水循环的基础,自然界的水循环是水分物质与能量的和谐。

b. 各子系统内部诸要素之间的和谐。对于水基系统,水、涉水介质和涉水工程是其组成要素,水沙平衡、水盐平衡、水体自净能力以及水文完整性则是水基系统和谐的具体表现,而水土流失、水体污染、水资源过度开发都将可能导致水基系统的不和谐,从而使系统丧失某些外部功能。

c. 复杂巨系统的整体和谐。对于水资源复杂巨系统来说,整体和谐是宏观层面的和谐,是在构成子系统的诸要素自身、诸要素之间和谐的基础上,水资源利用、生态环境保护、经济社会发展之间的和谐。我国“十一五”规划提出了“构建社会主义和谐社会的科学发展观”,其中“和谐社会”是更广义和更高层次的系统和谐。

3 复杂巨系统视角下的水资源安全问题

根据水资源复杂巨系统的定义,它是以水资源为主体的一种特定系统,以维持系统正常功能及和谐关系、实现水资源可持续利用为目标。而水资源安全研究的目的正是通过建立水资源安全的评价、调控及保障体系来提高社会经济和生态环境用水的保障程度,它是与水资源复杂巨系统的组成和目标相一致的。将水资源安全问题置于水资源复杂巨系统理论框架下进行研究是必要的,而且是可行的。

所谓“安全”是指个体或系统不受到侵害和破坏,而水资源安全则意味着水资源的使用功能不受到侵害和破坏,能够满足社会经济发展和生态环境保护对水资源的合理需求^[5]。2000年3月在荷兰海牙召开的“第二届世界水资源论坛”上,水资源安全被理解为“以可承受的价格获取足够安全的水”。从复杂巨系统理论以及安全的本质出发,这里将水资源安全定义为“现在或将来,在某一流域或特定区域范围内,通过一定的工程与非工程措施,在满足生态环境系统良性循环的前提下,使各用水者都能够以可承受的价格获取满足一定水量和水质要求的水,避免因水问题而引发人畜疾病、粮食减产、经济下滑、生态破坏、环境恶化等。”

水资源具有水量和水质双重属性,因此从水资源自身属性出发,可将水资源安全分为两个方面:水量安全和水质安全。当可供水资源量小于社会发展需水量即发生资源型缺水时,或者供水水质达不到特定用途的水质要求即水质性缺水时,水资源安全程度降低甚至是不安全。除了水量、水质双重属性,水资源还具有自然属性、社会属性和经济属性,它的自然价值、社会价值和经济价值是通过它对于生活、生产、生态等用水部门的作用和贡献而体现的。因此,水资源安全的实质是能否以合理的方式和价格满足生活、生产、生态用水需求,保障饮水安全、粮食安全(农业用水安全)、经济安全(工业等用水安全)、生态安全和水环境安全。水资源安全概念及内涵如图2所示。

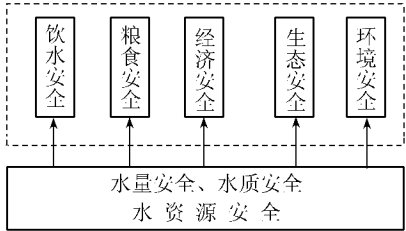


图2 水资源安全概念及内涵示意图

(下转第42页)

与评价[J]. 工程勘察, 1997(4): 22-25.

[18] 郭永海, 沈照理, 钟佐良, 等. 河北平原地下水有机氯污染及其与防污性能的关系[J]. 水文地质工程地质, 1996(1): 40-42.

[19] 刘淑芬, 郭永海. 区域地下水防污性能评价方法及其在河北平原的应用[J]. 河北地质学院学报, 1996, 19(1): 41-45.

[20] 杨庆, 栾茂田, 崇金著, 等. DRASTIC 指标体系法在大连市地下水易污性评价中的应用[J]. 大连理工大学学报, 1999, 39(5): 684-688.

[21] 姜志群, 朱元牲. 地下水污染敏感性评价中 DRASTIC 法的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(2): 100-103.

[22] 马金珠. 塔里木盆地南缘地下水脆弱性评价[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 170-174.

[23] 王焰新, 李义连, 付素蓉, 等. 武汉市第四系含水层地下水有机污染敏感性研究[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2002, 27(5): 616-620.

[24] 董亮, 朱荫渭, 胡勤海, 等. 应用 DRASTIC 模型评价西湖流域地下水污染风险[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 217-220.

[25] 雷静, 张思聪. 唐山市平原区地下水脆弱性评价研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 94-99.

[26] 秦其明, 曹五丰, 陈杉. ArcView 地理信息系统实用教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.

(收稿日期 2005-06-27 编辑: 高渭文)

(上接第 3 页)

4 水资源安全研究的综合集成方法

水资源安全是水资源复杂巨系统的核心问题, 它可以为水资源可持续利用、水资源承载能力、可持续水资源管理、水资源复杂巨系统和谐等相关研究提供基础和依据。以复杂巨系统理论及其方法论为指导开展水资源安全研究, 建立一套水资源安全评价、调控与保障的完整体系, 有利于实现水资源复杂巨系统的协调与可持续发展。本文探索建立了一种基于规则的水资源安全研究模式, 其中, 水资源安全评价的规则为指标体系, 水资源安全调控的规则是结构化水资源管理整体模型, 水资源安全保障的规则为水资源管理制度(包括体制和机制)。基于规则的水资源安全研究逻辑关系如图 3 所示。

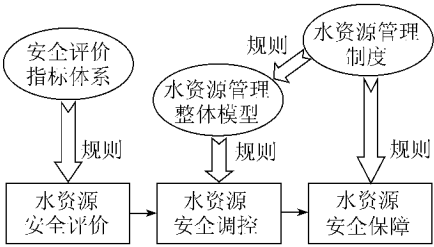


图 3 基于规则的水资源安全研究逻辑关系示意图

从水资源安全研究的内容以及规则体系可以看出, 水资源安全研究涉及水资源安全评价、水资源安全调控、水资源安全保障等环节, 其内容涵盖了自然科学和社会科学的各个领域。作为水资源复杂巨系统研究的一个核心问题, 水资源安全研究需要综合运用水利工程、经济学、社会学、生态学、系统科学、计算机网络技术等多学科知识, 采用定性定量相结合的综合集成方法。水资源安全研究的综合集成方法可用图 4 来描述。

5 结 语

在水资源承载能力范围内, 通过实施可持续水

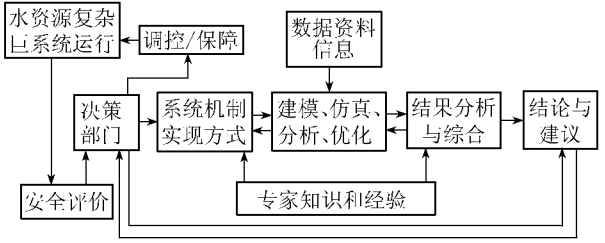


图 4 水资源安全研究的综合集成方法示意图

资源管理, 以水资源安全保障饮水安全、粮食安全、经济安全、生态安全、环境安全, 以水资源可持续利用支撑经济社会的可持续发展, 已成为水问题专家学者的共识。本文以复杂巨系统理论及其方法论为指导, 探讨了水资源复杂巨系统的内涵、组成、和谐层次等问题, 提出了基于规则的水资源安全研究模式以及水资源安全研究的综合集成方法, 为下一步水资源安全评价指标体系、水资源管理整体模型以及水资源安全保障体系的建立奠定了基础。全球变化与人类活动影响下的水循环机理以及水资源安全定量研究模型与方法是水资源安全研究进一步努力的方向。

参考文献:

[1] PETER H G. Water and conflict: fresh water resources and international security[J]. International Security, 1993, 18(1): 79-112.

[2] 钱学森, 于景元, 戴汝为, 等. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990(1): 1-9.

[3] 卢明森. 开放的复杂巨系统概念的形成[J]. 中国工程科学, 2004, 6(5): 17-23.

[4] 刘宁. 水基系统的概念内涵与演进研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 475-481.

[5] 陈家琦. 水安全保障问题浅议[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 276-279.

(收稿日期 2006-06-26 编辑: 徐娟)