



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.01.004

左其亭. 水资源适应性利用理论及其在治水实践中的应用前景[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 18-24. ZUO Qiting. Theory of adaptive utilization of water resources and its application prospect in water management practices[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 18-24. (in Chinese)

水资源适应性利用理论及其在治水实践中的应用前景

左其亭^{1,2}

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 郑州 450001; 2. 郑州大学 水科学研究中心, 郑州 450001)

摘要: 水系统受气候变化和人类活动的影响,一直在不断地变化,因此水资源的开发利用也应适应这种变化,而不能按照固定的控制阈值或约束条件来进行。当然,也不是被动的、随意的去适应。在对水系统及其与环境变化关系剖析的基础上,分析了水资源适应性利用的原理与模式;基于对环境变化下水资源适应性利用机理的认识,提出水资源适应性利用理论的框架体系,阐述了其基本理念和关键内容;基于对我国现代治水实践的分析,分析了其暗含的水资源适应性利用理论的内容,以及我国治水实践中存在的问题及应用水资源适应性利用理论解决这些问题的可能途径。研究认为,水资源适应性利用理论对水资源合理开发、综合利用、科学管理具有重要的指导作用,为环境变化下水资源利用研究与实践奠定理论基础。

关键词: 水资源适应性利用; 理论体系; 治水实践; 水资源适应性管理; 水资源适应性利用模式

中图分类号: TV 213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)01-0018-07

Theory of adaptive utilization of water resources and its application prospect in water management practices

ZUO Qiting^{1,2}

(1. School of Water Conservancy & Environment Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Water system is constantly changing under the influences of climate changes and human activities so that the development and utilization of water resources should be adapted to these changes rather than conform to a fixed control threshold or certain constraints. Certainly, it is not a passive and freewheeling adaptation. Therefore, studying the adaptive utilization and management of water resources is of great significance. In this paper, the principle and mode of adaptive utilization of water resources (AUWR) is expounded based on the analysis of water system and its relationship with environmental changes. Based on the understanding of the mechanism of AUWR under environmental changes, the theory of adaptive utilization of water resources (AUWR theory) is put forward, a framework system of the theory is constructed, and its basic concepts and key contents are expounded. Based on the analysis of modern water management practices in China, this paper elaborates on the underlying AUWR theory, and the existing problems in modern water management practices in China as well as the possible solutions to these problems using the AUWR theory. The study shows that the AUWR theory can provide significant guidance on the rational development, comprehensive utilization, and scientific management of water resources, as well as lay the theoretical foundation for the research and practice of water resources utilization under environmental changes.

Key words: adaptive utilization of water resources (AUWR); theoretical system; water management practices; adaptive management of water resources (AMWR); adaptive utilization mode of water resources (AUWR mode)

收稿日期: 2016-09-13 修回日期: 2016-11-22 网络出版时间: 2017-01-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170103.2042.009.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51279183); 郑州大学重大科技项目培育基金(015ZDPY011)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51279183); Major Science and Technology Projects of Zhengzhou University(015ZDPY011)

作者简介: 左其亭(1967-),男,河南固始人,教授,博导,主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

自然界和人类社会处在不断变化之中,也必然带动与之相关联的水系统的变化。特别是受人类活动和气候变化的影响,自然水系统或社会水系统特征会发生或大或小的变化,比如,多年平均气温、降水量的增加或减少,径流量过程和特征参数的变化(包括突变、增加或减少趋势等特征)。水资源的开发利用应适应这些变化,来应对因环境变化带来的水系统的变化。因此,研究环境变化下水资源适应性利用和管理问题具有重要的现实意义。

目前,关于气候变化和人类活动影响下水系统演变的研究成果非常多,涉及许多方面,比如,气候变化对水文水资源的影响^[1-2]以及对与水有关联的事件的影响^[3],人类活动对水资源的影响^[2]以及为了适应气候变化提出的水资源管理对策^[4]。国外对社会生态系统的适应性研究较多^[5-6],主要是从宏观层面分析,对水资源适应性利用具体应用指导还有限。国际水文科学协会(IAHS)于2013启动了未来十年水文科学计划Panta Rhei(2013-2022)计划^[7],强调自然与社会交叉研究人水关系,探索人水系统协同演化规律,积极推动人水关系适应性研究。国内文献有水资源适应性管理的提法^[8],主要从适应性管理角度进行分析。从目前情况来看,为了应对环境变化,提出水资源适应性对策、适应性管理的研究较多^[9-11],但多数是从水系统的外部因素视角来分析由于环境变化带来水系统内在因素变化的对策,很难从水系统与环境变化互馈关系整体高度提出水资源开发利用方略,还没有上升到一种水资源利用模式,更没有形成相应的理论体系。

针对以上问题,本文从剖析水系统与环境变化互馈关系入手,分析水资源适应环境变化的原理,提出水资源适应性利用模式及其理论体系,并分析其在治水实践中应用的可能性和发展方向。

1 水资源适应性利用原理与模式

1.1 水资源适应性利用原理

一方面,由于产生水资源的条件不断变化(包括气象条件变化、水文结构变化),从而带来水系统本身的变化;另一方面,由于水系统以外的环境发生变化(比如,人工筑坝、引水、排水等),影响水系统变化。把因气候变化、陆面变化(地震、火山喷发、地壳运动、地貌改变等)、人类活动等因素带来的水系统变化称为水系统的供给侧变化。把因人类生活、生产、生态对水需求的变化称为水系统的需求侧变化。为了保障水系统良性循环,水系统的供给侧与需求侧应达到一种相对平衡状态,当供给侧发生变化时

需求侧也要适当作出调整,这就是水资源适应性利用。可以把其概念定义为:水资源适应性利用(adaptive utilization of water resources,简称AUWR)是指,在水资源开发利用过程中,遵循自然规律和社会发展规律,适应人类活动、气候变化、陆面变化等环境变化带来的影响,保障水系统良性循环,所选择的水资源利用方式。简言之,水资源适应性利用是一种适应环境变化且保障水系统良性循环的水资源利用方式。水资源适应性利用原理见图1,其对应的管理模式称为水资源适应性管理(adaptive management of water resources,简称AMWR)。

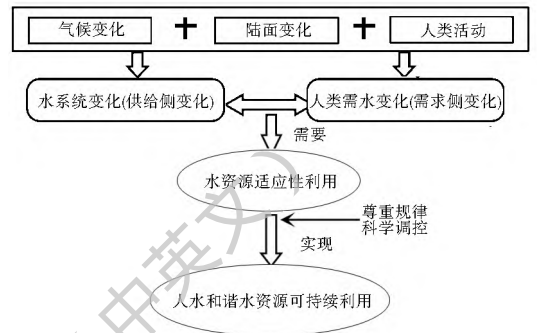


图1 水资源适应性利用原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of adaptive utilization of water resources (AUWR)

在解释水资源适应性利用原理时,需要回答以下几个问题。

(1) 为什么要适应? 一方面,因为产生水资源的条件不断变化,比如,气象因素变化、陆面变化。不顾及水系统变化的开发利用水资源是不科学的;另一方面,随着社会的发展,人类活动对水系统的需求不断变化。因此,从水系统的供给侧和人类社会对水系统的需求侧来看,都需要相互适应。否则,就可能带来水系统的破坏(包括水量、水质)或人水关系的不协调。

(2) 谁适应谁? 一方面,人类开发利用水资源要适应因环境变化带来的水系统变化和与之相关联的生态系统变化以及整个供给侧的变化,不能超出水系统的承载能力;另一方面,水系统以及相关生态系统的生态系统按照自然规律适应因不可抗力原因(如地震、河流改道、气候变化)或人类必须开发因素(如引水工程、水力发电工程)带来的环境变化。这种适应是自然界自身的调整或自适应,具有一定的适应极限。当然,如果超出某一极限,有可能带来严重负面影响甚至是灾难性后果。

(3) 怎么样适应? 一种情况,由于水系统的自我调节能力和人类社会的发展规律,使水系统变化和人类适应水系统的变化在自觉或不自觉中进行。比

如,因气候变化导致来水的增加或减少,必然带来与之相关联的水生态系统和用水系统的渐进变化;另一种情况,因自然原因或人为原因,带来水系统的破坏,导致人水矛盾突出,原本相互适应的人水关系被打破,被迫转移到一种新的平衡。通常情况下,这种适应是被迫的,可能朝向更好的平衡状态发展,也可能朝向不好的平衡状态发展,因此需要人为科学调控。比如,因地震、火山爆发等因素带来河流系统改变,导致水生态特征的改变时,在尊重自然规律和社会发展规律的情况下,通过人为科学调控,实现水资源可持续利用。这是水资源适应性利用研究的重点内容。

(4) 适应后又如何? 在内部或外部因素影响下,水系统发生变化,人水关系平衡状态从一种平衡向另一平衡转移。那么,是往好的平衡转移,还是不好的平衡转移? 首先,需要对适应前后的状态进行评估;其次,对转移到好的平衡状态,需要采取有效措施保持或维护好人水关系;如果转移到不好的平衡状态,需要采取必要的人为调控措施,使之向好的平衡状态发展。因此,在水资源适应性利用中需要有一系列保障措施配套,进行科学调控。

1.2 水资源适应性利用模式

目前,水资源利用已出现多种模式,如水资源综合利用模式、水资源可持续利用模式、水资源优化配置利用模式等。水资源适应性利用是一种新的模式,其是在气候变化、人类活动对水系统影响日益加重的情况下,提出的一种新的水资源利用模式,即水资源适应性利用模式 adaptive utilization mode of water resources (AUWR 模式)。该模式的特征和大致轮廓表述如下。

(1) 人类开发利用水资源需要考虑环境变化对水系统的影响,适应因环境变化带来水系统的变化,使水系统的承载能力在良好的、可控范围内。

(2) 正确理解因环境变化带来的人水关系从一种平衡转移到另一种平衡,但可以通过人水关系调控,避免出现人水矛盾恶化,使人水关系朝着更好的平衡转移。

(3) 水资源适应性利用同样追求水资源利用的社会效益、经济效益、环境效应的综合效益最大化,寻求水资源优化配置利用,实现水资源可持续利用。因此,水资源适应性利用模式涵盖水资源综合利用模式、水资源优化配置利用模式,并追求实现水资源可持续利用模式的目标。水资源适应性利用是实现水资源可持续利用的具体手段。

(4) 水资源适应性利用是针对“环境变化-水系

统变化-生态系统变化”以及“水系统供给侧-需求侧变化”一体化的适应,不是简单的某一方面对另一方面的适应。比如,针对气候变化提出的水资源适应性对策,这种提法不全面,应该从“导致水系统变化的总体状态”高度,系统提出调控对策。

2 水资源适应性利用理论体系及关键内容

水系统是一个十分复杂的大系统,水资源利用涉及到水系统以及与其相关联的生态系统和经济社会系统,因此水资源利用本身是一个十分复杂的问题。再加上环境变化的复杂性,水资源适应性利用就更加复杂。为了更好地应用水资源适应性利用原理,需要构建一套有指导作用的理论体系,即本文提出的水资源适应性利用理论。

2.1 理论体系框架

对水资源适应性利用理论的主体内容描述如下(见图 2)。需要补充说明的是,图 2 只是完整表达水资源适应性利用理论的主体内容,各组成部分间不是严格的并列关系,可能存在一定的交叉与因果关系。

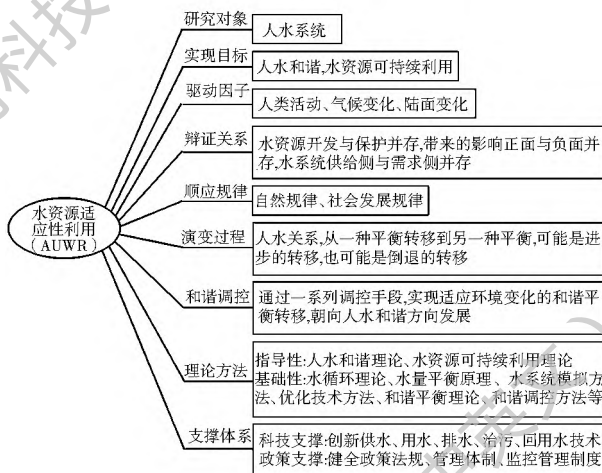


图 2 水资源适应性利用理论体系框架

Fig. 2 The theoretical system framework of adaptive utilization of water resources (AUWR)

(1) 研究对象:人水系统。人水系统是以水循环为纽带,将人文系统与水系统联系在一起,组成的一个复杂大系统。其中,人水关系是人文系统与水系统之间复杂的相互作用关系^[12]。

(2) 实现目标:通过水资源适应性利用,实现水资源可持续利用,达到人水和谐的目标。

(3) 驱动因子:人类活动、气候变化、陆面变化。针对具体的区域或流域,其驱动因子也比较具体,这是促进水资源适应性利用的源动力,也是进行科学调控的主要因子。

(4)辩证关系:水资源开发与保护并存,水资源利用带来的影响正面与负面并存,水系统供给侧与需求侧并存。水资源开发利用存在复杂的辩证关系,需要引用辩证唯物主义哲学思想来分析其中蕴藏的错综复杂的关系。

(5)顺应规律:在水资源开发利用过程中,必须遵循自然规律和社会发展规划。

(6)演变过程:正确认识人水关系的平衡转移,从一种平衡转移到另一种平衡,可能是进步的转移,也可能是倒退的转移。水资源适应性利用需要考虑人水关系的平衡转移。

(7)和谐调控:通过一系列调控手段,实现适应环境变化的和谐平衡转移,朝向人水和谐方向发展。

(8)理论方法:指应用于水资源适应性利用的已有理论方法,包括指导性理论方法、基础性理论方法。其中,指导性理论有:人水和谐理论、水资源可持续利用理论;基础性理论方法有:水循环理论、水量平衡原理、水系统模拟方法、优化技术方法、和谐平衡理论、和谐调控方法等。

2.2 基本理念

(1)客观面对因环境变化带来的水系统变化,辩证分析水资源开发与保护、影响正面与负面、供给侧(各种水源)与需求侧(生活生产生态用水)的关系,正确认识人水关系的平衡转移,水资源利用应适应水系统变化和人水关系的平衡转移。

(2)在水资源开发利用过程中,必须遵循自然规律和社会发展规划,辨识主要驱动因子,通过一系列调控手段,实现适应环境变化的和谐平衡转移,朝向人水和谐方向发展。

(3)综合运用已有的理论方法,实现水资源利用综合效益最大化,研究和谐平衡状态的水资源利用方案。在没有达到人水和谐状态的情况下可以运用和谐调控方法,选择较优的水资源利用方案。

(4)水资源适应性利用是一个巨大的复杂工程,需要有一定的科技支撑、政策支持。科技支撑包括创新供水、用水、排水、治污、回用水等技术以及水文学、水资源、水环境、水生态、系统分析等科学方法,政策支持包括健全政策法规、管理体制、监控管理制度等。

(5)水资源适应性利用理论是一个实践性很强的理论,在实践中产生,又用以指导实践。在我国治水实践中,蕴含着水资源适应性利用理论的思想,但距水资源适应性利用理论要求还存在较大差距,该理论可进一步指导治水实践。

2.3 关键内容

(1)人水关系分析及关键因子识别。

水资源适应性利用理论的研究对象—人水系统,通常情况下是一个十分复杂的系统,需要针对具体问题进行深入的分析。可以引用系统分析方法、数学方法、辨识方法等手段,分析人水关系的内在联系和关键阈值(具有变化特征),识别关键因子及指标。这是进行水资源适应性利用的重要基础和关键内容之一。

(2)人水关系演变过程分析与定量模拟。

在环境发生变化的条件下,水系统不断变化,人水关系也处于演变之中,需要对这一复杂的演变过程进行分析,特别是需要依据水循环理论、水量平衡原理、水系统模拟方法,构建人水关系演变模拟模型。这是进行水资源适应性利用优化方案选择的重要基础模型。

(3)水资源适应性利用方案优选。

水资源适应性利用的目标是,通过一系列措施,实现水资源可持续利用,达到人水和谐。因此,在水资源适应性利用方案优选中,首先要用到人水和谐理论、水资源可持续利用理论;其次基于人水关系演变模拟模型,依据和谐平衡理论^[3],建立和谐调控模型;再采用优化技术方法,优选水资源适应性利用方案。这是优选水资源适应性利用方案的重要基础,目前缺少这方面的深入研究。

(4)水资源适应性利用支撑体系。

包括科技支撑和政策支撑两大组成部分。一方面,通过科技创新,提高供水效率,降低用水成本,节约用水,减少排污,增加水回用率,提高水环境质量,改善生态环境等。另一方面,通过制度建设、政策支持,依法管水、严格管水、科学管水,保障水资源高效利用、节约利用、可持续利用。其支撑体系建设是水资源适应性利用重要保障和关键内容之一。

3 我国治水实践及存在的问题和解决途径

尽管水资源适应性利用理论刚被提出,但在治水实践中,很多地方已经表现出该理论的思想,或者说与该理论不谋而合。为了说明水资源适应性利用理论的应用前景,下文将选择我国目前4种主要的治水实践,阐述其蕴含的水资源适应性利用理论,分析其与水资源适应性利用理论要求存在的差距,并进一步说明运用该理论的可能解决途径。

3.1 和谐发展篇:贯彻人水和谐的治水思想

(1)概述。我国政府层面正式提出人水和谐治水思想始于2001年,真正在全国得到认可始于

2004 年,这一年“中国水周”的主题为“人水和谐”。自此以后,“人水和谐”一直是我国水利部门贯彻的治水思想。其基本思想是,人类在开发利用水资源的过程中,必须协调好人水关系,使水资源能为人类生存和经济社会可持续发展提供久远的支撑和保障^[12]。人水和谐的实质是要求人类适度开发利用水资源,保障人水关系处于一种协调状态。这与水资源适应性利用的思路是一致的,目标是相同的,都强调人水关系协调、水资源适度开发的思路。当然,也有较大的区别:人水和谐思想主要从宏观层面、总体思想、理论指导;水资源适应性利用理论主要从适应环境变化、具体操作层面进行指导。

(2) 存在的问题。我国新时期提出的人水和谐治水思想,是针对 20 世纪末期日益严峻的水问题所开的一副“良药”,具有重要的理论和实际指导意义。当然,因其主要从宏观层面指导,缺少具体的实施措施或工作抓手,在很多情况下感到无从下手,或不知道怎么在工作中“落地”,特别是对环境变化下水资源开发利用的指导不具体。

(3) 解决途径。水资源适应性利用理论在一定程度上能弥补人水和谐治水思想存在的不足,在贯彻人水和谐治水思想的同时,遵循自然规律和社会发展规律,注重环境变化下的和谐平衡转移,通过建立水资源适应性利用调控模型,寻求适应环境变化的水资源利用优化方案。

3.2 严格管理篇: 实行最严格水资源管理制度

(1) 概述。最严格水资源管理制度是我国政府于 2009 年提出,于 2012 年在全国推行的一种新的水资源管理模式。为了考核该项制度实施效果,于 2013 年发布了考核办法。该制度的核心内容包括“三条红线”、“四项制度”^[14],从源头上实行水资源利用总量控制,从过程上实行用水效率控制,从末端上实行排污总量控制。这与水资源适应性利用理论的某些思路是一致的,比如,将水资源利用量控制在某一程度内,都强调水资源适度开发。当然,也有较大的区别:最严格水资源管理制度是具体操作、刚性约束(即红线指标是固定的阈值);水资源适应性利用理论对适应环境变化的具体操作层面进行指导,具有适应变化的柔性约束特点。

(2) 存在的问题。无论在 2012 年发布的《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》,还是在 2013 年发布的《实行最严格水资源管理制度考核办法》中,所提到某一阶段的考核指标都是相对固定的阈值,这便于考核,但针对环境变化(包括气候变化、人类活动)的考虑显然不足。环境发生变化,考核指

标的阈值是否需要变化,如何变化,如何考核?需要另找答案。

(3) 解决途径。水资源适应性利用理论提倡适应环境变化,正好是对最严格水资源管理制度的有益补充。在最严格水资源管理制度“三条红线”刚性约束阈值制定方面,考虑环境变化带来的影响,制定特定条件下刚性约束阈值和环境变化条件下柔性约束阈值(即约束指标的阈值可随环境变化而变化),实行最严格水资源管理制度与水资源适应性管理相结合的模式。

3.3 生态文明篇: 推行水生态文明建设

(1) 概述。人类在经历原始文明(即狩猎文明)、农业文明、工业文明之后,将逐步转到生态文明阶段。因为进入工业文明后,人类改造自然界的能力迅速加大,破坏自然的事件时有发生,并逐步影响到人类赖以生存的环境,迫使人类不得不重新审视自己的行为,走可持续发展道路。面对我国日益紧张的资源问题、环境问题,2012 年 11 月中国共产党十八大报告独立成篇专门阐述“大力推进生态文明建设”,2013 年 1 月水利部印发了《关于加快推进水生态文明建设的意见》,随后在全国范围内逐步推行水生态文明建设。水生态文明是人类遵循人水和谐理念,以实现水资源可持续利用,支撑经济社会和谐发展,保障生态系统良性循环为主体的人水和谐文化伦理形态^[15]。这与水资源适应性利用的目标是一致的,不过,水资源适应性利用偏于具体措施层面,是水生态文明建设的主要抓手,也是最基本的要求。

(2) 存在的问题。水生态文明概念自 2013 年 1 月提出之后,在全国范围内进行了一些试点工作,取得一些成效,但多数仍流于表面,重“工程建设”、轻“文明内涵建设”,对如何保障人与自然和谐的理论研究和实践经验不足,对具体区域和特殊环境下、环境变化下的水资源利用方案和管理模式研究不足,甚至没有深入研究或分析。

(3) 解决途径。水资源适应性利用理论强调人水和谐、适应环境变化下水资源适度开发,可以作为水生态文明建设“落地”的措施。同时,应用水资源适应性利用理论也是水生态文明建设的重要需求,在水生态文明建设中必须要考虑水资源开发利用适应环境变化的需求。

3.4 河湖连通篇: 实施河湖水系连通战略

(1) 概述。在我国政府文件中最早提出实施河湖水系连通战略,是在 2011 中央一号文件中。关于

河湖水系连通战略的研究基本从 2011 年开始,随后一些地区进行了相关的规划和建设工作。河湖水系连通工程在国内外、古代和现代都有成功案例,比如,古埃及的尼罗河引水灌溉工程,苏伊士运河和巴拿马运河工程,美国中央河谷工程,中国古代的邗沟工程、都江堰引水工程,现代的引滦入津工程、引大入秦工程、南水北调工程等。河湖水系连通用作水资源调配、水质改善、水灾害防御的工程手段,在历史发展和现代化建设中发挥了重要作用。但也必须看到,由于大规模的人类活动,特别是对水系统的改变,可能会带来负面影响,特别是对水生态系统的影响可能是不可逆的^[16-17]。所以,很多人士对河湖水系连通战略有顾虑,也是可以理解的。

(2) 存在的问题。实施河湖水系连通战略的一个重要前提问题需要解决,那就是人类活动对水系统的影响如何? 以及如何适应这些影响? 针对河湖水系连通工程建设论证来说,需要科学回答三个具体问题:“能不能连通?”“如何连通?”“连通了又怎么样?”

(3) 解决途径。河湖水系连通的核心问题是:大规模的连通工程建设活动,改变了陆面形态,改变了水系统结构,改变了生态系统,那么人类如何适应这一系列的变化,在河湖水系连通战略中还没有良策。水资源适应性利用理论正好弥补了这一重大缺陷,为河湖水系连通工程建设带来的环境变化提供适应性开发利用水资源的理论指导。基本的观点是,河湖水系连通工程的前提是要满足水资源适应性利用的要求。

4 结语

本文在对水资源开发利用模式思考的基础上,剖析水系统与环境变化之间的互馈关系,提出了水资源适应性利用的概念,并阐述其基本原理。在对环境变化下水资源适应性利用机理分析的基础上,提出水资源适应性利用理论,并构建其框架体系,阐述其基本理念和关键内容。分析认为,水资源适应性利用是人类社会应对气候变化和人类活动环境效应的必然选择,是开发利用水资源的基本要求;水资源适应性利用理论对水资源合理开发、综合利用、科学管理具有重要的指导作用;我国现代治水思想中蕴含着水资源适应性利用理论的思想,但仍需借助该理论进一步指导和完善治水实践。

由于本文仅仅是第一次提出水资源适应性利用理论的思考,还没有深入进行研究,期待更进一步的应用实例和研究成果。根据笔者的分析,未来应加

强以下几方面的研究: (1) 加强水资源适应性利用机理研究,识别水资源适应性利用主要驱动因子; (2) 加强环境变化下的水系统演变过程研究,进一步研究复杂条件下水系统模拟模型; (3) 加强环境变化下的水系统和谐平衡研究,定量确定关键因子的可变化阈值,量化研究和谐平衡的转移条件和趋势; (4) 加强环境变化下的水系统和谐调控研究,量化研究和谐调控对策方案,使系统朝向好的平衡转移; (5) 加强水资源适应性利用理论的应用研究,通过该理论的应用进一步完善人水和谐治水思想、最严格水资源管理制度、水生态文明建设、河湖水系连通战略,丰富我国治水理论。

参考文献(References):

- [1] 刘昌明,刘小莽,郑红星. 气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J]. 科学对社会的影响, 2008, (2): 21-27. (LIU Chang ming, LIU Xiao mang, ZHENG Hong xing. Discussion on the influence of climate change on hydrology and water resources[J]. Impact of Science on Society, 2008, (2): 21-27. (in Chinese))
- [2] 谢平,陈广才,陈丽. 变化环境下基于降雨径流关系的水资源评价[J]. 资源科学, 2009, 31(1): 69-74. (XIE Ping, CHEN Guang cai, CHEN Li. Assessment of water resources based on rainfall runoff relationship in changing environments[J]. Resources Science, 2009, 31(1): 69-74. (in Chinese))
- [3] van Vliet M T H, van Beek L P H, Eisner S, et al. Multi model assessment of global hydropower and cooling water discharge potential under climate change[J]. Global Environmental Change, 2016, (40): 156-170.
- [4] Georgakakos A P, Yao H, Kistenmacher M G, et al. Value of adaptive water resources management in Northern California under climatic variability and change: reservoir management[J]. Journal of Hydrology, 2012, (412): 34-46.
- [5] Maclean K, Ross H, Cuthill M, Rist P. Healthy country, healthy people: an Australian Aboriginal organisation's adaptive governance to enhance its social ecological system[J]. Geoforum, 2013, (45): 94-105.
- [6] Westley F R, Tjornbo O, Schultz L, et al. A theory of transformative agency in linked social ecological systems[J]. Ecology and Society, 2013, 18(3): 27.
- [7] Montanari A, et al. "Panta Rhei Everything Flows": Change in hydrology and society. The IAHS Scientific Decade 2013-2022[J]. Hydrological Sciences Journal, 2013, 58(6): 1256-1275.
- [8] 曹建廷. 水资源适应性管理及其应用[J]. 中国水利, 2015(17): 28-31. (CAO Jian ting. Adaptive management of water resources and its application[J]. China Water Resources, 2015(17): 28-31. (in Chinese))
- [9] 夏军,刘春葵,刘志雨,等. 气候变化对中国东部季风区水循环及水资源影响与适应对策[J]. 自然杂志, 2016, (3): 167-176. (XIA Jun, LIU Chun kui, LIU Zhi yu, et al. Impact of climate change and adaptive strategy on terrestrial water cycle and water resources in East Monsoon Area of China[J]. Chinese Jour-

- nal of Nature, 2016, 03: 167-176. (in Chinese))
- [10] 吴绍洪, 罗勇, 王浩, 等. 中国气候变化影响与适应: 态势和展望[J]. 科学通报, 2016(10): 1042-1054. (WU Shaohong, LUO Yong, WANG Hao, et al. Climate change impacts and adaptation in China: current situation and future prospect[J]. Chinese Science Bulletin, 2016(10): 1042-1054. (in Chinese))
- [11] Herrera Pantoja M, Hiscock K M. Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi arid region of central Mexico[J]. Environmental Science & Policy, 2015, (54): 81-89.
- [12] 左其亭, 毛翠翠. 人水关系的和谐论研究[J], 中国科学院院刊, 2012, 27(4): 469-477. (ZUO Qiting, MAO Cuicui. Research on the harmony theory method of human water relationship[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(4): 469-477. (in Chinese))
- [13] 左其亭, 赵衡, 马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡研究[J]. 水利学报, 2014, 45(7): 785-792. (ZUO Qiting, ZHAO Heng, MA Junxia. Study on harmony equilibrium between water resources and economic society development[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(7): 785-792.
- [14] 左其亭, 李可任. 最严格水资源管理制度理论体系探讨[J], 南水北调与水利科技, 2013, 11(1): 13-18. (ZUO Qiting, LI Keran. Discussion on theoretical system of the strictest water resources management system[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(1): 13-18.
- [15] 左其亭. 水生态文明建设几个关键问题探讨[J], 中国水利, 2013, (4): 1-3, 6. (ZUO Qiting. Discussions on key issues of water ecological civilization construction[J]. China Water Resources, 2013, (4): 1-3, 6. (in Chinese))
- [16] 崔国韬, 左其亭, 窦明. 国内外河湖水系连通发展沿革与影响分析[J], 南水北调与水利科技, 2011, 9(4): 73-76. (CUI Guotao, ZUO Qiting, DOU Ming. Development evolution and influences of the interconnected river system network at home and abroad [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(4): 73-76.
- [17] 左其亭, 崔国韬. 河湖水系连通理论体系框架研究[J], 水电能源科学, 2012, 30(1): 1-5. (ZUO Qiting, CUI Guotao. Study on theoretical system and framework of interconnected river system network[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(1): 1-5. (in Chinese))

(上接第 17 页)

- [4] World Meteorological Organization (WMO). Manual for estimation of probable maximum precipitation[M]. Geneva. No. 1045, 2009.
- [5] 詹道江, 邹进上. 可能最大暴雨与洪水[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983. (ZHAN Daojiang, ZOU Jinshang. Probable maximum precipitation and flood[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1983. (in Chinese))
- [6] 王国安. 可能最大暴雨和洪水计算原理和方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 郑州: 黄河水利出版社, 1999. (WANG Guoan. Principles and methods of PMP/PMF calculations[M]. Beijing: China Water & Power Press, Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1999. (in Chinese))
- [7] 中华人民共和国水利部.《防洪标准》GB50201-94[M]. 北京: 中国计划出版社, 1994. (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Flood control standard GB50201-94 [M]. Beijing: China Planning Press, 1994. (in Chinese))
- [8] 国家核安全局. 滨河核电厂厂址设计基准洪水的确定 HAD101/08, 核安全导则汇编 (上册) [M]. 北京: 中国法制出版社, 2000. (National Nuclear Safety Administration. The design basis flood Determination of Riverside Nuclear Power Plant site HAD101/08, Nuclear Safety Guide compilation (Vol 1)[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2000. (in Chinese))
- [9] N Ohara, M L Kavvas, S Kure, et al. Physically based estimation of maximum precipitation over American river watershed [J]. Journal of Hydraulic Engineering. 2011, 16(4): 351-361.
- [10] K Isida, M L Kavvas, S Jiang, et al. Physically Based Estimation of Maximum Precipitation over Three Watersheds in Northern California: Relative Humidity Maximization Method [J]. Journal of Hydraulic Engineering. 2015, 10. 1061/(ASCE)HE. 1943-5584. 0001175, 04014052.
- [11] J Beauchamp, R Leconte, M Trudel, et al. Estimation of the summer-fall PMP and PMF of a northern watershed under a changed climate [J]. Water Resources Research. 2013, 49(6): 3852-3862.
- [12] 华家鹏, 杨辉, 王达雨, 等. 江坪河水电站可能最大暴雨研究 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004(5): 523-525. (HUA Jiapeng, YANG Hui, WANG Danyu, et al. Study on probable maximum storm at Jiangping River hydropower station [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004(5): 523-525. (in Chinese))
- [13] 梁忠民, 钟平安, 华家鹏. 水文水利计算 (第 2 版) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (LIANG Zhongmin, ZHONG Pinnan, Hua Jiapeng. Hydrological design and water conservancy calculation (Second Edition) [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2008. (in Chinese))
- [14] 邱大洪. 工程水文学 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999. (QIU Dahong. Engineering Hydrology [M]. Beijing: China Communications Press, 1999. (in Chinese))