

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.01.001

人水关系学的基本原理及理论体系架构

左其亭^{1,2}

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学水科学研究中心, 河南 郑州 450001)

摘要:在简述人水关系学学科体系的基础上,介绍了人水关系学的分支学科,总结提出了人水关系学的基本原理,包括人水关系交互作用原理、人水系统自适应原理、人水系统平衡转移原理、人水关系和谐演变原理;论述了人水关系学的理论体系,由理论基础和基本理论两部分组成,其中理论基础包括水文学、水资源、水环境、水安全、经济学、社会学等理论,基本理论包括人水系统论、人水控制论、人水和谐论、人水博弈论、人水协同论、水危机冲突论、人水关系辩证论、人水关系可持续发展论等理论,并分析了基本理论的应用前景。

关键词:人水关系;人水关系学;基本原理;理论体系;分支学科

中图分类号:TV1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)01-0001-06

Basic principles and theoretical system of human-water relationship discipline // ZUO Qiting^{1,2} (1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on a brief introduction of the previous theoretical system of human-water relationship, the branches of human-water relationship discipline were introduced. The basic principles of human-water relationship discipline were summarized and proposed, including the interaction principle of human-water relationship, the self-adaptive principle of human-water system, the balance transfer principle of human-water system, and the harmonious evolution principle of human-water relationship. The theoretical system of human-water relationship, including theoretical basis and basic theories, is discussed. The theoretical basis includes hydrology, water resources, water environment, water security, economics, sociology, etc. The basic theories include human-water system theory, human-water cybernetics, human-water harmony theory, human-water game theory, human-water synergy theory, water crisis and conflict theory, human-water relationship dialectic theory, human-water relationship sustainable development theory, etc. The application prospect of the basic theories was also analyzed.

Key words: human-water relationship; human-water relationship discipline; basic principle; theoretical system; branch discipline

人水关系(human-water relationship)是指“人”(人文系统)与“水”(水系统)之间复杂的相互作用关系^[1]。人文系统、水系统本身都是十分复杂的巨系统,二者耦合形成的人水系统(human-water system)更是一个复杂的巨系统^[2-3]。人类自出现就与水打交道,就存在人水关系,人水关系是人类与自然界关系中最先出现、最为重要的关系之一^[4-5]。人水关系极其复杂,涉及面非常广,如:大尺度上,全球气候变化对人类的影响及适应性应对,人类活动对气候变化的影响与响应^[6-8];中尺度上,国家重大

战略实施对水系统治理的作用或影响,退耕还林还草政策对水系统的作用或影响,跨流域特大调水工程、特大水利枢纽建设带来的水生态与环境变化^[9]及应对,自然水旱灾害对人类的影响、成因及防治;小尺度上,水库、闸坝、引水渠道等水工程建设以及城市化建设、产业布局、工农业生产等人类活动对水系统的影响评价、规划设计、科学调控等;微观尺度上,开采地下水对地下水位下降的作用,地表水开发对地下水的影响,人工回灌效果及可能的负面问题,水环境状况对人体健康的影响及预防等。为了系统

基金项目:国家自然科学基金(U1803241);河南省重大公益性科技专项(201300311500)

作者简介:左其亭(1967—),男,教授,博士,主要从事水文学水资源研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

研究此类问题,笔者^[3]于2021年首次提出人水关系学(human-water relationship discipline),并介绍了人水关系学的构建思路和学科体系,目前亟须进一步梳理其基本原理及理论体系,丰富和完善该学科体系。

如果把与水相关的内容均纳入人水关系研究范畴,涉及的内容就很多,如建坝、农垦、城市建设、调水等人类活动对水量、水质的影响作用研究^[10-12]以及模拟模型^[13]、相关规划^[14]、管理方式^[15]、政策制度^[16]等研究。专门针对人水关系的研究文献不多,主要是一些宏观思想或框架性研究,如张盛文^[17]从哲学视角对人水关系的研究,以及笔者针对人水关系概念^[1]、模拟模型^[18]、影响因素辨识^[19]、和谐关系评估^[20]以及和谐调控^[21]等的研究,并在此基础上提出了人水关系学的学科体系及发展布局^[3]。目前,还需要进一步研究人水关系学的基本原理及理论体系,丰富人水关系学内容。

1 人水关系学学科体系及分支学科

1.1 人水关系学学科体系概述

笔者在文献[3]中详细论述了人水关系学的提出背景及意义,首次给出了人水关系学的定义:人水关系学是指尊重水系统自然规律与经济社会发展规律,借鉴水科学理论和多学科方法,来研究人水系统的作用机理、变化过程、数学模拟、科学调控、政策制度等理论方法的一门交叉学科,并运用这些理论方法为人类科学认识人水关系、应对水问题、制定水策略服务的知识体系。

此外,文献[3]还提出了人水关系学的学科体系构架,包括研究对象、主要理论、研究方法、应用领域。人水关系学的研究对象是人水系统,主要理论包括水文学理论、水资源理论、水环境理论、水安全理论、经济学理论、社会学理论、人水和谐论等。研究方法包括影响因素辨识方法、系统分析方法、评估方法、调控方法、优化方法等,应用领域包括人类活动对水系统作用、水系统对人类发展制约作用、人水关系的模拟模型、各种调控以及支撑体系等研究。

1.2 人水关系学的分支学科

在前期研究成果的基础上,本文进一步提出人水关系学分支学科的5种划分方案(图1):

a. 按分区划分,分为区域人水关系学、流域人水关系学。区域人水关系学是以“区域”为对象,研究不同区域尺度上的人水关系,如全国、省级行政区、城市/城市群以及其他行政区人水关系研究等。流域人水关系学是以“流域”为对象,研究不同流域

尺度上的人水关系,如全国七大流域、二级支流流域、三级支流流域以及其他流域人水关系研究等。

b. 按专题划分,分为水工程建设人水关系、土地利用/覆被变化人水关系、其他人类活动下人水关系、气候变化/自然灾害人水关系。水工程建设人水关系是针对水库、调水工程、闸坝、水电站、灌溉引水工程等各种水工程建设带来的各种水系统和人水关系变化以及科学调控展开的研究。土地利用/覆被变化人水关系主要是针对农田开发、城镇化建设、退耕还林还草等带来的各种水系统和人水关系变化以及科学调控展开的研究。其他人类活动下人水关系是针对水工程建设、土地利用/覆被变化两大类以外的人类活动影响下的人水关系研究,如大型基建工程、矿山建设、工业企业生产等带来的各种水系统和人水关系变化以及科学调控的研究。气候变化/自然灾害人水关系是分别针对气候变化下人水系统演变及应对、洪涝和干旱等自然灾害应对等的研究。

c. 按方法划分,分为人水关系实验与监测、人水关系模拟与辨识、人水关系评估与调控。人水关系实验与监测的研究内容包括针对各种水系统、人文系统以及二者耦合系统的监测、实验、作用机理分析等的研究。人水关系模拟与辨识的研究内容包括水文、水资源、水环境模拟模型,人水系统耦合模拟模型,以及影响因素、作用关系等的系统辨识。人水关系评估与调控的研究内容包括人水关系状态、和谐水平等评估,以及水资源分配、水资源保护、水生态修复与治理等各种调控方案与措施等。

d. 按技术划分,分为人水系统优化技术、水系统治理技术。人水系统优化技术是系统优化技术在人水系统中的应用,研究较多,专门作为一类,如人水系统优化调控、水资源优化配置、水网建设优化、水库和调水工程优化运行等。水系统治理技术是针对水系统中出现的各种问题进行治理的各种技术,如水旱灾害防治、水污染治理、水生态修复、节水、水利信息化建设等技术。

e. 按视角划分,分为宏观人水关系学、微观人水关系学。宏观人水关系学是研究某一人水关系的总体问题,采用的是总量指标,反映总体情况。如研究某一区域/流域的人口、GDP、不同行业产值与水资源总量、供水量、不同行业用水量之间的关系。微观人水关系学是研究某一人水关系的单个问题,采用的是具体指标,反映个体行为的情况。如研究某一区域/流域的某一产业投入对用水效率的影响,某一行业供水量对产值的制约作用,用水量对河流、地下水水质的影响。宏观人水关系学和微观人水关系学的根本区别在于研究的视角不同、层次不同。尽

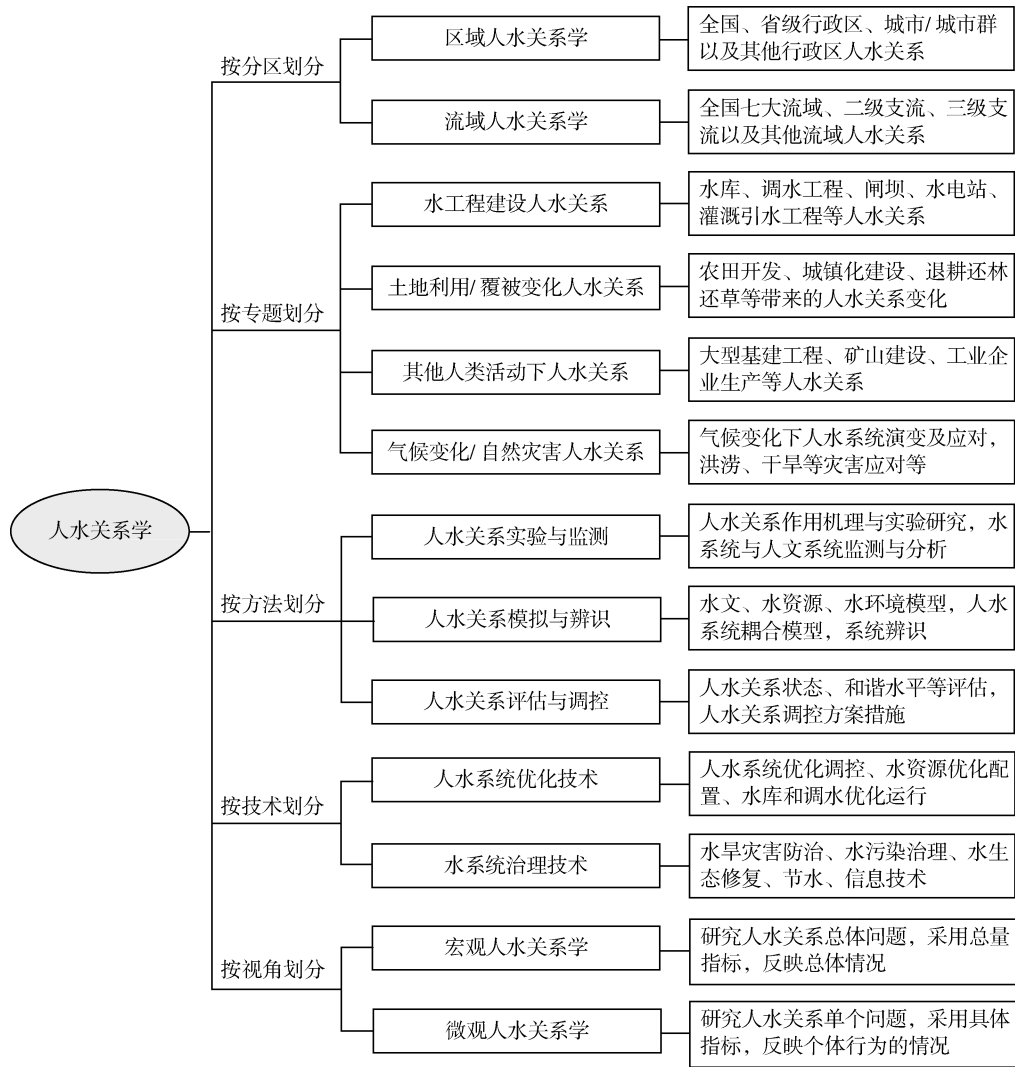


图1 人水关系学的分支学科

Fig.1 The branches of human-water relationship discipline

管本文第一次提出这样的划分并给出了二者的概念,而实际上二者涉及的内容已有很多的研究成果,只是没有把它们归类于宏观人水关系学和微观人水关系学。因此,建议通过这一学科的归类,逐渐形成更加完善的体系。

2 人水关系学的基本原理

2.1 基本原理构架

基本原理是对具有普遍意义的基本规律的诠释,是在大量观察、实践的基础上,经过归纳、概括而得出的基本规律,既能经受实践的检验,又能进一步指导实践^[22]。人水关系学的基本原理是对人水关系相互作用以及系统演变的基本规律的诠释。人水关系复杂,人水关系学需要揭示其复杂关系应该遵循的基本原理,作为人水关系分析、研究、调控以及各种相关工作的科学依据。本文基于人文系统、水系统以及二者耦合系统的特征分析,主要依据系统内部的基本规律、作用关系以及演变特性,总结了人

水关系学的基本原理,包括人水关系交互作用原理、人水系统自适应原理、人水系统平衡转移原理、人水关系和谐演变原理,其基本原理和关联结构如图2所示。

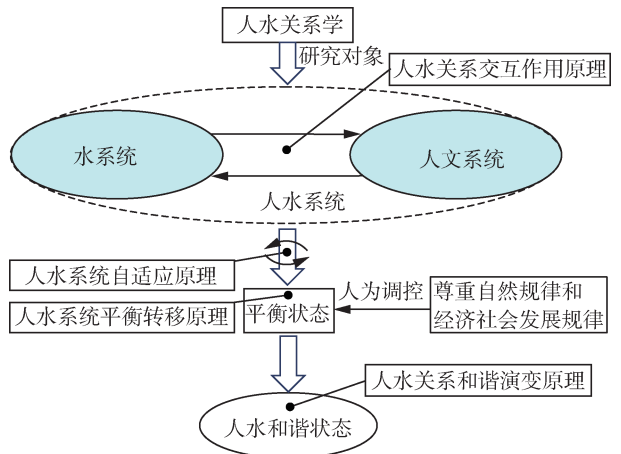


图2 人水关系学的基本原理示意图

Fig.2 The basic principle of human-water relationship discipline

2.2 人水关系交互作用原理

a. 人水关系交互作用普遍存在,是人水关系的最基本特征,可以说,所有的人类活动都或多或少影响到水系统,水系统及其变化也会影响或制约人文系统的发展。例如,闸坝建设、闸坝调度对河流水质、水量以及相关的水生态系统带来变化,至于这种变化是正面的还是负面的,需要进一步分析;城市化建设改变了地表径流和地下径流形成相关联的下垫面,影响到水系统的形成结构和特性,导致水系统变化,如暴雨形成的时间缩短、洪峰增加。再以水系统作用为例,假如气候变化导致径流量减少,自然就造成人类用水更加紧张,水资源承载力下降。因此,基于这一原理,必须承认人类活动或多或少都会对水系统带来影响。

b. 人水关系存在着作用与反作用的辩证关系,人类不能一味地追求“以我为中心”,在改造甚至破坏水系统的同时一定要意识到可能会导致水系统的反作用。例如,在进行大型跨流域调水工程论证时,既要计算调水对调入区的正面影响,也要计算对调入区的负面影响以及对调出区带来的负面影响,不能一味强调调水工程的作用和必要性,还要充分考虑带来的负面影响。这一原理符合自然辩证法,也符合系统论思维。基于这一原理,必须承认人类活动的影响作用以及水系统对人类的反作用,有些作用是正面的,也有些是负面的,可能是正面作用大于负面作用,也可能是正面作用小于负面作用。

c. 人水关系交互作用是极其复杂的,很难理清清楚有时也不必要理清其关系,需要坚持系统的思维和方法来处理人水关系问题。例如,在建立分布式水循环模型时,科学家期望把各种水循环路径搞清楚,实际上几乎不可能,只能基于有限的认知,建立缺资料或少资料模型;在开展水资源评价、水资源规划工作时,首先尽可能理清水系统结构、人水关系作用路径,其次在此基础上,采用系统分析方法,进一步辨识和分析水资源时空特征,评价水资源数量、质量及其开发利用状况,规划不同水平年水资源开发利用方案。这些都是针对极其复杂的人水关系和人水系统常常采用的研究方法。

2.3 人水系统自适应原理

a. 人水系统是一个巨系统,受到任何外界或内部营力的作用,都会按其自身的变化规律而变化,人水系统会表现出一定的“韧性”,来减小带来的影响,适应条件的变化。这就是人水系统自适应原理。

b. 人们要认识到人水系统的自适应特征。在人类活动影响的同时,系统可能会表现出一定的自适应反映。例如:①在河流上游修建大型水库,改变

了水系统,特别是对水生态系统产生比较大的影响,很多人也因此否定上游水库建设。除了肯定会带来上游水系统比较大的扰动外,实际上人们也应看到水系统在一定程度上会有自适应特性,不断适应新的环境,产生新的生态系统。当然,是否可以接受这种变化,还要看扰动和自适应的博弈结果。②应对气候变化问题,也应该看到包括水系统在内的自然界本身的适应性特性,既要防止气候灾害带来的影响,同时也要看到自然界具有的自适应能力。

c. 应重视人水关系的“相互制约”博弈与“自适应”协同的辩证关系。从宏观上看,人水关系既存在“相互制约”的博弈关系,即存在作用与反作用关系,也存在“自适应”的协同关系。例如,在水资源可利用总量有限的情况下,生态用水与经济用水是“相互制约”的博弈关系,如果经济用水多了,自然就会导致生态用水减少,可能带来生态系统退化,逐渐转变为新的状态,表现为水系统的自适应作用,当然,也可能是负面作用。如果负面作用可以接受即在允许范围内,这种系统自适应特性起到了一定的作用。根据这一原理,可以揭示水系统的“韧性”特性。

2.4 人水系统平衡转移原理

a. 由于存在人水关系交互作用原理、人水系统自适应原理,人水系统在一定时间空间范围内,就可以达到一种相对平衡状态;如果外界或内部营力发生变化,平衡状态就可能被打破,在一定条件下慢慢又形成一种新的相对平衡状态。也就是说,从一种平衡状态转移到另一种平衡状态,这就是人水系统平衡转移原理。

b. 要认识到人水系统平衡状态不是不变的,在一定条件下会从一种平衡状态转移到另一种平衡状态。例如:①在河流上游修建拦河大坝,必然改变河流水系统结构,在长期新的运行条件下会慢慢形成新的平衡状态。当然,这种平衡状态的改变可能是正面的、可接受的,也可能是负面的、具有恶化趋势的变化。②因上游用水增加导致下游用水减少,带来下游供需平衡的变化,长期运行下去就会慢慢形成新的平衡状态。当然,因可利用水量减少,所形成的状态是用水形势更加紧张的平衡状态。

c. 要充分利用好平衡转移原理,科学调控人水关系,构建新的系统平衡。例如:①应对气候变化带来的水系统变化问题,人们应主动采取行动,调整用水结构、水旱灾害应对,以适应水系统变化,慢慢形成新的、可接受的平衡状态。②上文提到的在河流上游修建拦河大坝问题,可以采取一系列的工程措施,如修建人工鱼道、划定自然保护区、人工制造洪

峰、修建生态廊道等,尽量减少对生态系统的扰动或破坏,形成可接受的新的平衡状态。

2.5 人水关系和谐演变原理

a. 人水和谐状态是人水关系追求的一种良性循环状态。在一定条件下,人水关系总会发生变化并演变到和谐状态。人水关系和谐演变原理揭示人水关系演变规律以及人水关系走向和谐状态的基本规律^[22]。也就是说,在人水关系发展过程中,在经历了人水关系恶性循环阶段之后,都希望改善人水关系,走人水和谐之路。

b. 要顺应自然规律和经济社会发展规律,坚持辩证唯物主义哲学思想,坚定认为人水系统必须走和谐发展之路。例如,在应对水旱灾害问题时,既要顺应水旱灾害形成的自然规律,又要顺应水旱灾害治理的经济社会发展规律,不能一味地追求“治”,还要学会与洪水和谐相处,干旱与洪水系统“和谐并举”治理。

c. 应积极采取一系列措施来改变人水关系,使人水关系适应条件变化而得到改善,不能因为条件变化导致人水关系变差或恶化,即人水关系演变总体趋势是提升总体和谐水平,最终实现人水和谐的目标。例如,在进行水资源规划时,应基于人水和谐目标,通过水资源规划方案的实施,不断提升和谐水平,最终实现人水和谐的目标。

3 人水关系学的理论体系及应用前景

因为人水关系学刚刚提出,其理论体系还不完善,从形成一个完善的学科体系来讲,需要构建一个相对完善的理论体系,包括人水关系学的理论基础以及其基本理论。

3.1 理论基础

人水关系学是基于水文、水资源、水环境、水安全、经济、社会等学科发展起来的一门交叉学科,这些基础学科是人水关系学的理论基础。因为这些学科都是传统的学科,其理论介绍比较多,在此不再赘述。

3.2 基本理论及应用前景

根据人水关系学的基本原理和主要研究内容,概括为8个基本理论,有些是比较成熟的理论,有些是本文新提出的,以下仅对各个理论作简要概述,并对应用前景作初步分析。

a. 人水系统论。人水系统是一个巨系统,许多问题的解决需要采用系统论方法,也是系统论非常好的“用武之地”。人水系统论就是把系统论理论方法应用于人水系统中,解决人水系统中广泛存在的系统科学问题和技术问题。人水系统论大致兴起

于20世纪80年代,研究内容有水资源系统工程、水资源系统优化等。人水系统论具有广泛的应用领域,如水资源系统分析、水资源系统优化配置、水库群优化调度、河湖水系连通方案优化、地表水-地下水联合调度、水-能源-粮食耦合分析、水系统模型参数优化、水资源开发利用综合评价等。

b. 人水控制论。20世纪30—40年代建立的控制论,是研究各类系统中共同的控制规律的一门学科,广泛应用于工程、生物、经济、社会、人口等领域。人水控制论是控制论在人水系统中的应用,大致兴起于20世纪90年代,研究内容有水资源调控、水资源优化控制、水力控制论等。人水控制论应用广泛,如多水源联合调度、调水工程自动控制系统、闸坝调度、多级水力发电站联合调度等。

c. 人水和谐论。人水和谐论是笔者于2009年提出的一门专门研究人水和谐问题的理论方法体系。到2018年,人水和谐论框架已基本形成,包括明确的研究对象、基本概念、主要理念、理论体系、方法论和应用实践^[22]。人水和谐论具有广泛的应用,如区域/流域和谐水平评价、水资源规划、水战略制定、跨界河流分水、河湖水系连通布局、调水工程运行管理、水旱灾害应对、经济与生态用水协调、经济社会供需水平衡分析、水资源开发与保护协调等。

d. 人水博弈论。博弈论是20世纪20年代创立的一门现代数学分支,是研究具有斗争或竞争性质现象的理论和方法,已广泛应用于经济学、军事、谈判、各种比赛等,在水资源、土地资源、工程建设等领域也有广泛应用。人水博弈论是博弈论在人水系统中的应用,大致兴起于20世纪90年代,已具有广泛的应用,如跨界河流分水、水资源分配、水权分配、水市场构建、生态补偿价格制定、调水工程水源区与受水区利益分析、水-风-火电收益分配、水战略制定、水资源规划、水旱灾害应对、水资源开发策略、工程项目监管、水污染治理、水资源冲突与合作等。

e. 人水协同论。协同论是20世纪70年代创立的一门新兴学科,是系统科学的分支理论,已广泛应用于物理、化学、生物、天文、经济、社会以及管理等许多领域。人水协同论是协同论在人水系统中的应用,大致兴起于20世纪90年代,具有广泛的应用,如水资源协同配置、水资源协同发展模式,水环境多部门协调治理,水污染治理协同立法、协同治理、协同保护,人水系统协同演化与调控,水-能源-粮食协同安全,用水过程协同优化调控等。

f. 水危机冲突论。冲突论是20世纪50年代形成的西方社会学的一个分支,主要研究社会冲突的本质、根源、类型和预防等内容。水危机是指在发生

自然灾害或经济社会突发事件时,对正常的水供给或水灾害防御造成威胁的状态。显然,在水危机应对中可以借鉴冲突论的思路和成果。因此,本文提出“水危机冲突论”的设想,建议学者开展这方面的研究。根据笔者的理解,至少可以开展以下研究:暴雨、山洪、城市内涝、干旱、台风、地震、泥石流等自然灾害应对,人为水污染、水工程破坏、供水设施破坏等危机应对,疾病、恐怖活动、爆炸等引发水污染、供水危机等应对,国际形势突变带来的水危机应对等。

g. 人水关系辩证论。人水关系复杂,需要运用自然辩证法的思想来分析人水关系问题,寻找解决人水关系问题的途径。因此,本文提出人水关系辩证论,就是运用自然辩证法来研究人水关系问题。根据笔者的理解,至少可以开展以下研究:水资源短缺分析与应对、洪涝灾害分析与应对、河湖水系连通分析与规划、分水制度分析与制定、水处理路径分析与选择、水资源开发利用途径选择与分析、水污染源与水环境治理辩证关系、水坝建设利弊分析、节水与用水辩证分析、经济用水与水资源保护辩证分析、水-能源-粮食辩证关系分析、治水方略制定等。

h. 人水关系可持续发展论。可持续发展是一种既满足当代人的需求又不对后代人满足其需求产生危害的发展模式,其理念得到国际社会的广泛认可。可持续发展思想是我国治水的基本指导思想,在水资源规划与管理、水污染治理、水旱灾害防治等工作中发挥着重要作用。人水关系可持续发展论,就是运用可持续发展思想和理论来研究人水关系问题。根据笔者的理解,至少可以开展以下研究:水资源可持续利用评价、规划、管理、对策,水资源承载能力与水资源配置,水污染治理,水旱灾害防治,水资源利用、保护、开发方略制定,河湖水系连通工程规划,水生态文明建设,最严格水资源管理,河长制实施等。

4 结 语

本文是在笔者提出人水关系学学科体系之后,对人水关系学的分支学科、基本原理和理论体系进一步思考的框架性总结。介绍了按照5种方法划分分支学科,其中包括本文首次提出的区域人水关系学、流域人水关系学、宏观人水关系学、微观人水关系学;总结了4个基本原理来阐释人水关系学基本特征;按照理论基础、基本理论两部分总结了人水关系学的理论体系,重点介绍了8个基本理论,其中包括本文首次提出的水危机冲突论和人水关系辩证论,并展望了各种基本理论的应用前景,可为进一步完善人水关系学内容、深入研究各种人水关系提供理论基础。

然而,本文仅仅是一个框架性的总结,多以定性论述和介绍为主,缺乏定量研究和应用实例验证,有些可能仅仅是笔者的一点不成熟思考或初步设想,欢迎广大读者交流讨论。

参考文献:

- [1] 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))
- [2] CHOI S, LEE S O, PARK J. A comprehensive index for stream depletion in coupled human-water systems[J]. Journal of Hydro-Environment Research,2017,16:58-70.
- [3] 左其亭. 人水关系学的学科体系及发展布局[J]. 水资源与水工程学报,2021,32(3):1-5. (ZUO Qiting. Discipline system of human-water relationship and its development layout[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2021,32(3):1-5. (in Chinese))
- [4] 左其亭,李佳伟,马军霞,等. 新疆水资源时空变化特征及适应性利用战略研究[J]. 水资源保护,2021,37(2):21-27. (ZUO Qiting, LI Jiawei, MA Junxia, et al. Study on spatio-temporal variation characteristics and adaptive utilization strategy of water resources in Xinjiang[J]. Water Resources Protection,2021,37(2):21-27. (in Chinese))
- [5] 王子悦,徐慧,黄丹姿,等. 基于熵权物元模型的长三角幸福河层次评价[J]. 水资源保护,2021,37(4):69-74. (WANG Ziyue, XU Hui, HUANG Danzi, et al. Hierarchy evaluation of Happy River in the Yangtze River Delta based on entropy weight and matter element model[J]. Water Resources Protection,2021,37(4):69-74. (in Chinese))
- [6] 赵娜娜,王贺年,张贝贝,等. 若尔盖湿地流域径流变化及其对气候变化的响应[J]. 水资源保护,2019,35(5):40-47. (ZHAO Nana, WANG Henian, ZHANG Beibei, et al. Runoff variation in Zoige Wetland Basin and its response to climate change[J]. Water Resources Protection,2019,35(5):40-47. (in Chinese))
- [7] 邓鹏,孙善磊,黄鹏年. 气候变化对鄱阳湖流域径流的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2020,48(1):39-45. (DENG Peng, SUN Shanlei, HUANG Pengnian. Influence of climate change on runoff in Poyang Lake Basin[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2020,48(1):39-45. (in Chinese))
- [8] 韩先明,左德鹏,李佩君,等. 雅鲁藏布江流域植被覆盖变化及其对气候变化的响应[J]. 水利水电科技进展,2021,41(1):16-23. (HAN Xianming, ZUO Depeng, LI Peijun, et al. Spatiotemporal variability of vegetation cover and its response to climate change in Yarlung Zangbo River Basin[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2021,41(1):16-23. (in Chinese))

(下转第25页)