

水科学的学科体系及研究进展与展望

左其亭^{1,2}

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 郑州 450001;

2. 河南省水循环模拟与水环境保护国际联合实验室, 郑州 450001)

摘要:水科学是研究水的交叉学科, 涉及学科门类多, 研究范畴广, 是与人类生存、经济社会发展和自然界繁衍生息密切相关的一门学科。但因其复杂性、广泛性、多学科性, 目前对“水科学”一词说得多、用得多, 但不规范。因此, 需要从宏观层面和学科综合层面进一步梳理其概念, 构建其学科体系。本文在前期大量资料分析的基础上, 总结 2011 年以来的有关论文、论著和学术交流成果, 对水科学的概念和研究范畴进行解读和界定, 阐述水科学的学科体系, 介绍《中国水科学研究进展报告》反映的我国水科学研究现状和展望, 并从 5 个方面阐述未来水科学发展趋势, 提出 5 方面的未来水科学发展特点。可为进一步规范水科学研究范畴、分析水科学学科体系、规划未来发展方向提供参考。

关键词:水科学; 概念; 研究范畴; 学科体系; 水科学研究进展

DOI:10.48014/fews.20220929001

引用格式:左其亭. 水科学的学科体系及研究进展与展望[J]. 中国水科学前沿, 2023, 1(2): 17-28.

0 引言

“水科学”(water science)是最近二十多年来出现频率很高的一个词, 内容涉及水文、气象、海洋、地理、环境、水利、管理、经济、法律等众多学科, 但其使用比较混乱^[1]。为此, 笔者曾于 2011 年在文献[1]中系统总结了水科学的研究历程, 解读了其概念内涵并给出其定义, 初步构建了水科学学科体系。但至今已时隔 11 年之久, 科学发展日新月异, 水科学也有较大进步。因此, 很有必要对水科学的学科建设问题开展更进一步的总结和讨论, 甚至是补充修订。

根据文献[1]的介绍, 在我国学术期刊中, “水科学”一词最早出现在 20 世纪 80 年代, 主要是几次新闻报道, 比如, 1980 年《工程勘察》期刊第 5 期、

1994 年《西北水资源与水工程》第 1 期。这些文献都提到“水科学”一词, 但没有详细的论述^[1]。直到 1990 年, 《水科学进展》期刊正式创刊, 在其发刊词中, 明确阐述了水科学的研究范畴^[2]。第一篇全面阐述水科学产生过程和概念内涵的文献, 是陈家琦先生于 1992 年在《水科学进展》期刊第 4 期上发表的一篇文章^[3]。1990 年到 2011 年间, 几乎没有文献专门讨论和界定“水科学”的概念和范畴。但在此期间, 这一概念已有更加广泛的应用, 导致了应用的随意性。为了进一步界定水科学概念和内涵, 笔者于 2011 年构建了水科学的学科体系及研究框架^[1], 把水科学概括为水文学、水资源、水环境、水安全、水工程、水经济、水法律、水文化、水信息、水教育十个部分的集合。随后, 笔者讨论了 2011 年中央一号文件对水科学研究的启示^[4], 分析了海绵城市

通讯作者 Corresponding author:左其亭, zuoqt@zzu.edu.cn

收稿日期:2022-09-30; **录用日期:**2022-12-21; **发表日期:**2023-06-28

基金项目:国家自然科学基金项目(52279027)、国家重点研发计划课题(2021YFC3200201)、河南省重大公益性科技专项(201300311500)资助。

建设的水科学难题及解决途径^[5],提出了水科学交叉学科群建设的设想及基本框架^[6];从2013年开始,编撰出版了5本《中国水科学研究进展报告》,每2年发布一本^[7,8],分别阐述最近2年的中国水科学研究进展。

本文是在以上文献资料的基础上,进一步探讨水科学的概念内涵、研究范畴、学科体系,介绍《中国水科学研究进展报告》总结的水科学各分支研究进展,提出笔者对未来水科学发展的粗浅思考。

1 水科学的概念及研究范畴

1.1 对水科学概念认识的代表性观点

由于所处学科背景、研究领域、研究目标等的不同,不同学者对水科学概念的认识和理解有较大差异,部分学者对水科学有比较明确的定义,部分学者只是从其所论述的具体成果中进行分析。经过归纳,代表性观点主要有如下4类。

(1)基本限定关于水的自然科学领域,即狭义的研究范畴。比如,文献[9]收集到水科学词汇中内容,主要涉及大气科学、水文科学、水利工程、地球科学、生态环境等自然科学领域,偏重于与水相关的现代科学技术。

(2)表达广义的水的科学,包括自然科学、社会科学。比如,文献[10]把水的起源、特征、规律、水利用、生命健康等与水相关的自然科学和社会科学都纳入了水科学范畴。其实,在该文献中,还是偏重于对自然科学内容的描述。

(3)介于广义和狭义之间的界定,没有太明确的分割。比如,文献[3]把一切研究水的科学都纳入水科学,但在内涵解读时没有明确指出是否属于自然科学或社会科学。从内容体系看,其主要涉及自然科学,但也可能涉及社会科学。

(4)与水文学及水资源领域比较接近的研究范畴。比如,文献[11]对水科学范畴的表述,与现在对水文学及水资源的表述非常接近。

1.2 水科学概念及研究范畴讨论

笔者在前期文献分析和多次专家讨论的基础

上,于2007年将水科学概括为由水文学、水资源、水环境、水安全、水工程、水经济、水法律、水文化、水信息、水教育十个部分组成,于2011年在文献[1]中给出水科学的广义上的定义,即:把研究与水有关的学科统称为水科学(water science)^[1]。更进一步将水科学描述为:水科学是一门研究水的物理、化学、生物等特征,分布、运动、循环等规律,开发、利用、规划、管理与保护等方法的知识体系^[1],如图1所示。

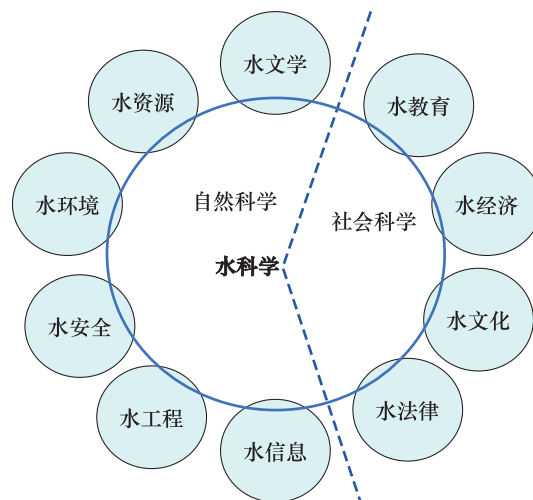


图1 水科学十个分支的关联^[1]

Fig.1 The association of the ten branches of water science^[1]

自2011年以来,经过10多年的发展和多次研讨,该定义得到了不断完善和发展。对部分重要的讨论内容及观点说明如下。

(1)到底如何界定水科学的范畴?是广泛定义好还是着眼于某领域好?对此问题,笔者在多次学术会议上表达如下观点:对水科学概念进行广义和狭义上的区分比较合理。水科学的广义概念涉及自然科学、社会科学的范畴;狭义概念可以是某一领域的研究范畴,比如,化学学科研究水的化学特征,可以界定到水化学领域作为水科学的范畴;同样,社会科学研究水的问题,其界定的水科学范畴主要涉及水的社会科学问题。

(2)水科学有没有必要包括10个方面?是否存在遗漏?笔者认为,目前划分的10个方面比较合适,该划分经历了十多年的讨论,基本被广泛认可。一方面,水科学的10个方面基本囊括了与水有关的学科,兼具全面性和科学性;另一方面,也不宜分的

太过细致。比如,有学者提出,把“水生态”单列为一个分支,笔者对此的解释是,“水环境”是关于水的生态和环境的大类分支,包括生态学相关内容,不再单独细分。

(3)水科学分为10个方面,貌似存在人为分割,如何看待交叉问题?笔者认为,随着学科分支越来越细,交叉研究必不可少,水科学就是一个交叉学科;人为把水科学分成10个分支,只是便于表达,其实水科学是相互交叉的一个整体。

2 水科学的学科体系

2.1 水科学学科体系介绍

笔者曾在文献[1]中介绍过水科学学科体系框架。在此基础上,本文对水科学学科体系进行一定的补充完善,如图2所示。水科学是关于水的交叉学科,涉及理、工、医、农、经济、法、教育、历史、管理

等学科门类。一方面,在各学科门类中研究水的相关问题。比如,理学中研究水物理、水化学、水生物等内容,农学中研究水土资源开发利用、节水灌溉等;另一方面,针对某一水问题可能需要多个学科门类的知识来合作研究。比如,研究水环境治理问题,需要理学中的水化学知识,需要工学中的水资源保护技术,也需要法学中的水法律政策制度等。

2.2 对水科学学科体系的讨论

(1)水科学的研究对象是水。包括各种形态的水、各种类型的水、各种空间上的水、各种循环阶段中的水,都是水科学的研究对象。地球上各种形态的水,在太阳辐射和地球引力等作用下,通过水循环和各种作用,形成了丰富多彩的水的世界。大到全球水循环过程研究,小到水分子特征研究,形成了内容广泛、学科门类多样的交叉学科。

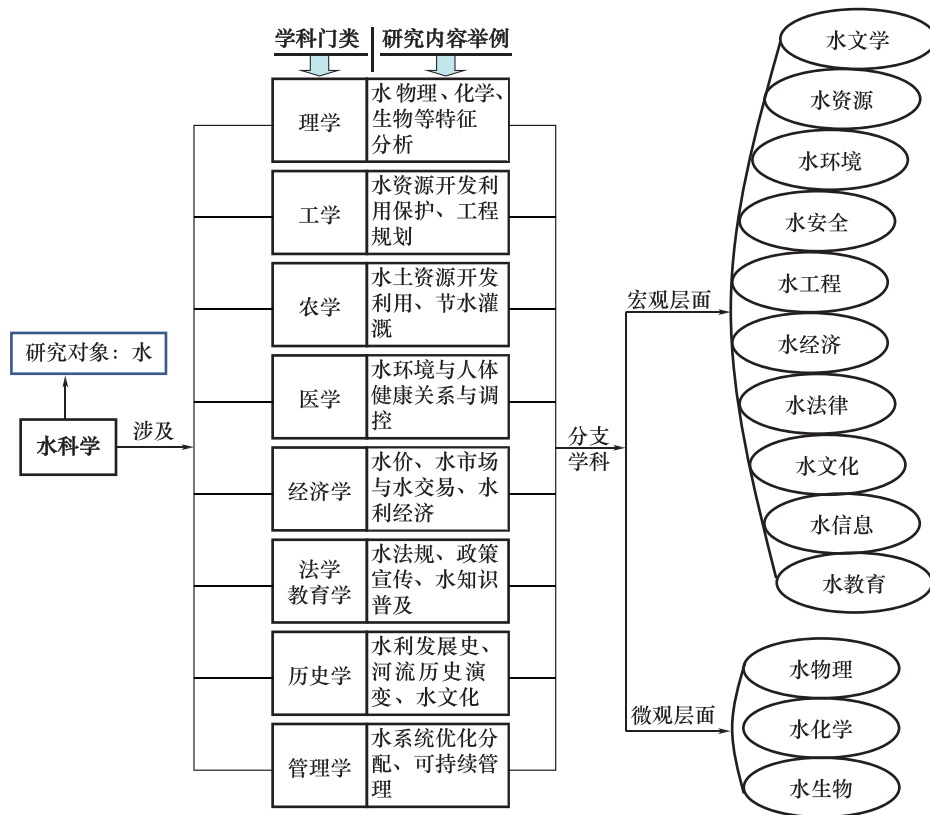


图2 水科学学科体系(在文献[1]基础上修改而成)

Fig. 2 Discipline system of water science (modified on the basis of literature [1])

(2)水科学的理论体系完善,包括理论基础部分、基本理论部分。理论基础部分是由水科学所有分支学科的理论组成,比如水文学中的水量平衡理论、水资源学中的水资源优化配置理论、水环境学中的溶质运移理论。每个分支学科都有自己的一系列理论体系,也都可列为水科学的理论基础部分。基本理论部分是超出各个分支学科、由多个学科交叉、综合运用水科学的理论。比如人水和谐论,涉及到水文学中水循环过程、水资源学中水资源管理、水环境学中水质运移、水安全分支的风险评估和保障、水工程分支的优化布局、水经济分支的效益分析、水法律分支的水法建设、水文化分支的治水精神传承、水信息分支的信息技术应用、水教育分支的宣传教育,是一个典型的跨多个分支学科的理论。这些为水科学的交叉学科提供服务的理论,列为水科学的基本理论部分。

(3)研究方法丰富,既包括常规的方法,又及时吸纳了新的方法。其中,每个分支学科都有自己的一系列研究方法,比如,水文学中径流量计算方法、序列预测方法,水资源学中水资源评价方法、水资源配置方法,水环境学中水质模拟方法、水污染治理技术方法等。一些新技术方法的应用丰富了水科学的研究方法体系,比如,遥感技术、同位素技术、超级计算技术等。此外,跨学科、多方法的综合应用,已成为解决水科学复杂问题的重要手段,比如,干旱缺水问题研究,可以综合采用水文分析、水资源评价、水循环模拟、风险评估、水资源优化配置、水资源效益分析、政策制度支撑作用分析等方法,来分析、评估、管控、整治干旱缺水问题。

(4)分支学科多,并已有一定发展基础。根据前文的介绍,水科学在宏观层面上涵盖10个部分,涉及自然科学和社会科学领域。这也是笔者早期界定的水科学研究范畴,同时也都是发展相对完善的10个分支学科,每个分支学科都有大量的学者参与研究。除这10个分支学科外,从微观层面看,水科学还包括水物理、水化学、水生物。

(5)应用广泛,对人类经济社会发展起重要作用。水是人类生存和经济社会发展不可或缺的一种资源,然而由于水资源的有限性和用水量的不断增加,带来了水资源日益短缺和水环境污染加剧,

如何破解水问题是推动人类发展的关键因素之一。因此,解决这些水问题的重要学科——水科学,就显得愈发重要。从水资源开发利用、节水、农田灌溉、工业生产、水资源配置、供水保障、洪涝灾害防御、水污染治理、人类活动影响及调控等各个方面,都有水科学工作者的参与,都用到水科学基本知识和技术方法。

3 水科学研究进展

考虑到水科学涉及面广,每年涌现出大量的理论研究和应用成果,对水问题的治理和水资源管理也不断出现新的经验,但学科之间存在“壁垒”,对其他学科了解不多,不利于跨学科水问题的综合解决;此外,很多期刊论文、学位论文、研究报告、学术专著的撰写中,往往对最近几年的文献阐述不多。因此,需要针对水科学内容进行系统的总结,以展示最新研究成果、最新应用经验,推动水科学多学科共享、多学科交叉融合,推动对中文期刊成果的重视。基于以上考虑,经过5年的准备,于2013年撰写出版第一本《中国水科学研究进展报告2011—2012》^[7],随后每2年撰写一本,相关详细内容可浏览网站:<http://www.waterscience.cn/ReportOn-WSR/index.htm>。

在《中国水科学研究进展报告2019—2020》^[8]中,系统介绍了10个方面的研究进展,本文只做简单摘录性描述如下,更详细的论述可参考文献^[7]和文献^[8]。

(1)水文学

以研究对象分类的水文学方面,重点研究了河流的冰情模拟及预报、洪水演进及风险、生态健康修复、对气候变化的响应,湖泊的水位演变规律、富营养化评价及防治,湿地的演化及驱动因子、生态系统评价,冰川对气候变化的响应,河口泥沙淤积规律,三角洲沉积演化,地下水的运动、评价及可持续开发利用等。

以应用范围分类的水文学方面,重点研究了水文模型及应用,径流及洪水预报,城市洪涝风险管理,水文分析计算新技术,水分迁移模型试验,土壤水盐运移规律,森林水文效应等。

以工作方式分类的水文学方面,重点研究了水

文监测站网选址优化,自动监测数据的分析模型,暴雨洪水调查分析,室内试验模拟,蒸发原位试验,径流流速试验等。

以研究方法分类的水文学方面,重点研究了洪水频率计算方法,水文序列预报,随机水文模拟和预测,基于同位素的地下水的补给来源及演化分析,基于DEM的水文模拟和计算,人工智能,数字流域水循环虚拟仿真,多源遥感土壤水分数据连续融合算法,流域水文遥感。

(2)水资源

在水资源理论方法及治水思想研究方面,重点研究了水资源空间均衡,水资源绿色效率,水土资源持续利用,人水和谐论学科体系,水资源承载力动态预测、预警和诊断,水生态文明建设,最严格水资源管理制度,节水社会建设模式与评价标准等。

在水资源模型研究方面,重点研究了空中水资源的输移与转化,区域健康水循环与水资源高效利用,城市水系统,流域水资源系统模拟,地表水-地下水相互转化等。

在水资源分析评价论证研究方面,重点研究了水资源-能源-粮食耦合分析及协调,水土资源可持续利用机理,水资源绿色效率驱动机理,水资源利用率和利用效率分析,水资源风险分析,水资源压力分析,人类活动对水系统的影响作用,人水关系协调等。

在水资源规划与管理研究方面,重点研究了水资源综合利用与规划管理,黄河流域水利专项规划,水资源规划模型,水资源管理模式,跨流域调水管理与立法,水资源税改革,水资源资产负债表,水权制度及水权交易,“河长制”制度体制、考核评价和管理系统等。

在水资源配置与调控研究方面,重点研究了多水源空间均衡配置,水资源优化配置,水资源合理配置理论与模式,水转化多过程耦合与高效用水调控,江河湖水资源联合调度,水资源监测、调控与决策系统研发,跨界河流分水理论与方法,竞争性用水分配与合作。

在气候变化下水资源研究方面,重点研究了径流演变及其对环境变化的响应,气候变化对水资源量的影响评估和趋势分析,气候变化对国际河流水

资源合作潜力的影响分析。

在水战略与水问题研究方面,重点研究了水资源开发利用战略,全球治水模式,良性水资源调控思路及应对策略,河湖水系连通与水资源联合调配,河湖水系连通评估与方案优化及调控,智慧流域理论方法与技术,智慧灌区,城市智慧水网,水利现代化,重大国家战略中的水问题。

(3)水环境

在水环境机理研究方面,重点研究了不同水体水化学特征和空间分布,水化学组分的成因及影响因素,水化学演变特征及演化过程,水质与环境介质的相互作用关系等。

在水环境调查、监测与分析研究方面,重点研究了水环境的污染源调查,水环境监测方法,河流微生物对水质影响,航运与水环境间关系等。

在水质模型与水环境预测研究方面,重点研究了水质水量的调控模拟,水质模型对水环境容量的分析,水质监测预警管理体系,流域氮磷负荷估算及来源解析。

在水环境评价研究方面,重点研究了地表水、地下水环境质量综合评价,重金属污染及生态风险,微生物对河流底泥性能的影响,港口建设、河道周围土地利用、景观开发对河道的影响。

在污染物总量控制研究方面,重点研究了纳污能力计算,水污染物总量控制,水环境容量和污染物总量控制方法,水污染物排放总量控制政策制度保障体系制定。

在水环境管理理论研究方面,重点研究了水环境管理模型的应用,水环境管理效率方法,农业面源污染防治政策体系,排污权分配模式及策略,水环境污染物筛选及风险评估,水环境风险评估与管理。

在生态水文学研究方面,重点研究了陆生和水生植物与水的相互作用关系,耦合陆生和水生的生态水文双向模型,生态水文特征及规律分析,生态保护阈值,水生态健康评价体系等。

在水污染治理技术研究方面,重点研究了活性污泥特性,生物膜反应器处理效果,深度处理效果,脱氮除磷性能,人工湿地系统,生物滤墙在河道治理中的应用,农村污水处理技术等。

(4) 水安全

在水安全表征与评价研究方面,重点研究了城市水安全评价,灌区水安全评价,中国水安全建设策略,以及各种水安全评价方法等。

在洪水及洪水资源化研究方面,重点研究了洪水风险识别,防洪系统优化调度模型,洪灾参数损失函数,洪灾致灾机理分析,山洪灾害预警,以及各种洪水预报方法等。

在干旱研究方面,重点研究了干旱时空演变格局,不同类型干旱发展过程和特征,基于遥感技术的干旱监测,干旱风险评估及风险管理,干旱预警预报系统等。

在水环境安全研究方面,重点研究了水环境安全评估,水污染风险评价与预警阈值分析,水污染治理等。

在冰凌、泥石流、风暴潮和饮水安全等研究方面,重点研究了黄河冰凌灾害风险预测和防凌调度技术,暴雨泥石流预测模型,泥石流风险评估,泥石流灾害防治,风暴潮洪水淹没模拟,风暴潮灾害影响分析,农村饮水安全评价等。

(5) 水工程

在水工程规划研究方面,重点研究了水生态修复规划、供水管网多目标优化设计以及城市排水系统规划等。

在水工程运行模拟与方案选择研究方面,重点研究了水电站、水库数值模拟,水库淤积形态模拟,水电站、水库运行方案与安全风险,梯级水库群联合运行,引排水调度等。

在水工程优化调度研究方面,重点研究了水库生态调度模型,水电联合优化调度模型,水库水沙调控模型,水库群多目标联合优化调度,闸坝、泵站优化调度模型等。

在水工程影响及效益研究方面,重点研究了水库及水电站对河流水动力条件、水温、水沙情势、生态环境、通航条件、江湖关系的影响,水工程对水盐运移的影响和水工程效益评价等。

在水工程管理研究方面,重点研究了水电站安全监测自动化系统,水库综合管控信息化平台,水工程运行管理系统,水利工程集成管理,农村饮水安全工程运行管理,调水工程运行管理等。

(6) 水经济

在水资源-社会-经济-生态环境整体分析研究方面,重点研究了水资源与经济社会发展关系及评价,水生态安全评估,区域水生态综合承载力,水资源利用效率等。

在水资源价值研究方面,重点研究了水资源价值评价模型,水资源资产负债表,阶梯水价政策的制定,城市水价定价机制,农业水价优化等。

在水权及水市场研究方面,重点研究了初始水权分配,水权交易及制度建设,水权交易定价模型,水资源市场化体系设计等。

在水利工程经济研究方面,重点研究了水利工程效益评价,河流生态系统服务价值评价。

在水利投融资研究方面,重点研究了水利投融资模式及应用实践,农村小型水利工程产权制度改革理论等。

在虚拟水与社会水循环研究方面,重点研究了农作物虚拟水计算分析,虚拟水贸易影响因素分析,水生态足迹、灰水足迹计算等。

(7) 水法律

在流域管理法律制度研究方面,重点研究了流域空间法治化,流域立法的模式,《长江保护法》的法理,流域政府间事权的立法配置,流域生态环境协商共治模式等。

在水权制度研究方面,重点研究了黄河流域水权制度,大保护背景下的长江水权问题,中国水权市场的可持续发展组合条件,水权交易改革的新思路等。

在水环境保护法律制度研究方面,重点研究了水污染协同治理系统构成与协同度分析,跨界河流污染治理合作模式,基于水质的排污许可管理,水污染防治模式转变机制,水污染物排放等量减量置换制度,水环境质量达标规划制度评估等。

在涉水生态补偿机制研究方面,重点研究了长三角地区省级流域生态补偿制度,跨省界流域生态补偿实践,黄河流域生态补偿机制,流域生态补偿立法,跨界流域生态补偿模式,生态补偿机制市场化建设,流域横向生态补偿制度建设等。

在河(湖)长制研究方面,重点研究了中国河湖长制政策、协作机制、功能、深层结构与机制条

件,河长制产生与发展的历史逻辑,河长制的作用等。

在对外国水法的研究方面,重点研究了国外代表国家水资源困境及改革路径,流域治理与公益诉讼司法,“一带一路”国家水资源管理体制对比,澳大利亚墨累-达令流域水改革实践等。

在国际水法研究方面,重点研究了国际水法对我国流域立法的启示,国际水道法相关国际判例,国际河流环境影响评价,澜湄国际河流分水权、水资源合作机制,湄公河干流水电开发机制等。

(8)水文化

在水文化遗产研究方面,重点研究了水文化遗产保护、开发、传承与创新,大运河、白洋淀、都江堰等水文化遗产保护与传承、开发利用、旅游与发展,水文化遗产的主要类型及其价值。

在水文化理论方面,重点研究了中国水文化建设问题、理论探讨、教育意义,黄河、大运河文化带、不同地区水文化特征、思想比较及建设途径,水文化与民族、民间信仰、礼仪、哲学思维的关系等。

在水文化传播方面,重点研究了水文化国际传播策略、信息技术、数字化传播、融媒体模式,新时代水文化传播路径,可持续传播策略等。

在旅游水文化研究方面,重点研究了水文化旅游资源开发、规划设计、风景区建设、管理体制改革,水上旅游产品开发,旅游文化建设等。

在地域水文化研究方面,重点研究了北京市、重庆市、兰州市、郑州市、扬州市、绍兴市、洛阳市等城市水文化,黄河、长江、白洋淀、鄱阳湖等众多河流、湖泊等水域水文化。

(9)水信息

在基于遥感的水信息研究方面,重点研究了基于遥感技术反演土壤含水率、土壤水分,遥感影像水体信息提取、水体图像提取以及遥感影像水体全自动提取方法等。

在基于传感器的水信息研究与系统开发方面,重点研究了基于近邻传播算法的土壤墒情传感器布局优化,基于物联网和人工智能的灌溉专家系统。

在基于GIS的水信息研究方面,重点研究了基于地理信息系统的水资源、水环境、水生态等评价,动态洪涝管理信息系统等。

在智慧水利研究方面,重点研究了智慧水利大数据内涵特征、基础架构和标准体系,基于人工智能的堤防工程大数据安全管理平台,基于物联网与三维可视化技术的大坝安全管理平台等。

(10)水教育

在水利高等教育发展史研究方面,重点研究了早期水利高等教育的发展、近代中国水利事业建制化、李仪祉等著名水利专家的教育思想等。

在水利高等教育理论研究方面,重点研究了传统水文化的教育意义,新时代水利精神与社会主义核心价值观教育融合,水利行业大学创新创业教育,办好新时代行业特色高水平本科教育等。

在水利高等教育教学研究方面,重点研究了水利工程专业课程思政教学改革、“新工科”背景下水利类专业课程体系、课堂教学和实践教学,基于工程教育专业认证的水利类专业学生素质能力培养,卓越水利人才培养等。

在水利职业教育理论研究方面,重点研究了新时代水利精神融入水利高职院校“三全育人”模式,“校企合作、产教融合、协同育人”模式下水利高职人才培养,当代水利职业教育校企合作等。

在水利职业教学研究方面,重点研究了高职水利类专业课混合式教学、教学改革,“课程思政”与思政课程交互融合,水文化教育融入职业核心能力培养等。

水利继续教育研究方面,重点研究了水利继续教育培训的管理模式,新时期水利干部教育培训工作、以及职工安全生产培训等。

在水情教育方面,重点研究了水情教育的内涵及外延,水情教育的实践,基于绿色发展目标的我国农村水情教育等。

4 未来水科学研究趋势展望

4.1 《中国水科学研究进展报告》介绍的分支学科研究展望

根据对目前水科学研究现状的分析,结合对未来学科发展走向的判断,《中国水科学研究进展报告2019—2020》^[8]分方向对水科学发展趋势进行了分析和展望,简单总结见表1。

表 1 水科学的分支学科研究展望
Table 1 Research prospects of sub-disciplines of water science

分支学科	研究展望(未来重点研究内容)
水文学	水循环机理与模型研究,水文气象站网优化提升与智慧水文系统建设,雨情、汛情、旱情预警预报方法与模型研究,气候变化和人类活动影响下的水文效应研究,适应最严格水资源管理制度的水文学研究,面向生态水利建设的水文学研究,面向智慧水利/智慧水务建设的水文学研究,海绵城市建设的水文学研究,在京津冀协同发展、粤港澳大湾区、长三角、长江经济带、黄河流域、“一带一路”热点区域的水文学专题研究
水资源	水资源形成、转化、循环运动规律研究,水资源高效利用关键技术研究,水资源优化配置理论及战略配置格局研究,水资源规划与管理方法研究,水资源承载能力和水资源可持续利用理论方法研究,人水和谐理论方法及应用研究,最严格水资源管理理论方法及应用研究,适应生态文明建设(或生态水利)的水资源保障体系研究,河湖水系连通理论方法及应用研究,支撑智慧水利(或智慧水务)发展的水利现代化和水资源技术方法研究,支撑海绵城市建设的水资源保障体系研究,支撑京津冀协同发展、粤港澳大湾区、长三角、长江经济带、黄河流域、“一带一路”建设的水资源问题研究,继续探索水资源研究的新理论、新方法
水环境	水环境机理、水质模型与水环境评价、预测研究,水资源保护和河湖健康保障体系建设关键技术研究,水生态保护与修复理论方法及应用研究,水污染总量控制理论方法及应用研究,水污染治理技术及应用研究,水环境管理理论方法及应用研究,支撑生态文明建设的水环境综合治理研究,海绵城市建设的面源污染机理及治理技术研究
水安全	防洪抗旱减灾研究,环境污染、冰凌、泥石流、风暴潮等带来的水安全研究,水安全评估指标、风险分析及调控对策研究,分类水安全保障技术及应用研究,海绵城市建设中水安全保障能力建设研究
水工程	水工程方案优化选择和规划论证研究,适应性水工程规划建设和管理制度研究,适应生态水利的工程建设技术及应用,适应智慧水利(或智慧水务)建设的水工程规划设计与建设管理研究,海绵城市建设中水工程研究
水经济	水资源与经济-社会-生态环境复合系统的耦合关系及量化研究,水资源价值理论及水价制定研究,初始水权分配与水市场研究,水利投入增长及长效机制研究,社会水循环与虚拟水研究,支撑生态文明建设和智慧水利建设的水资源经济措施及保障体系研究,海绵城市建设的水经济研究
水法律	水法规体系法律基础研究,水权体系和制度、排污权制度、流域生态补偿机制研究,有利于水利科学发展的制度体系建设研究,水资源管理制度、体制和考核制度研究,适应生态水利建设、智慧水利建设的法律政策制度研究,河(湖)长制研究
水文化	对水文化遗产资源的开发利用相关问题的研究,水文化教育和传播的实践与研究,基于水文化视野的人水和谐关系研究,水文化传承创新与生态文明建设研究
水信息	基于遥感的水信息研究,水信息数据挖掘,水利信息化建设,智慧水利研究
水教育	推进适应新时代要求的水利高等教育研究,推进构建“人人参与、人人受益”的全民水情教育体系,推进构建新时代水利科技创新体系,推进构建新时代水文化普及教育体系

4.2 未来水科学发展趋势判断与思考

根据水科学研究进展和未来经济社会发展、人民对美好生活向往的需求分析,从 5 个方面阐述未来水科学发展趋势,这 5 个方面的逻辑关系和关键点绘制如图 3 所示。

(1)服务重大国家战略,体现水科学交叉特色和重要地位

自 2012 年党的十八大以来,我国提出京津冀协同发展、长江经济带发展、长三角一体化发展、粤港澳大湾区建设、黄河流域生态保护和高质量发展共 5 个重大国家战略。水资源既是其重要支撑也是制约因素,水科学是促进重大国家战略实施的重要学科群之一。实施重大国家战略,需要广义的水科学

作支撑,既涉及自然科学,又涉及社会科学,可以从三大方面来说明水科学在重大国家战略中的作用和地位:一是,保国家水安全。水安全是国家安全的重要组成部分,是服务重大国家战略的重要基础,没有水安全保障,不可能顺利实施重大国家战略。二是,支撑战略布局。重大国家战略是国家发展的一盘棋,水资源布局需要和这盘棋的布局相匹配,通过水资源的科学配置来促进重大国家战略的实施。三是,助力社会发展。水资源是社会发展的基础性资源,但我国水资源总体短缺,是制约许多地区发展的主要瓶颈。因此,通过水科学的研究,能够更好地服务于经济社会发展,促进重大国家战略实施。

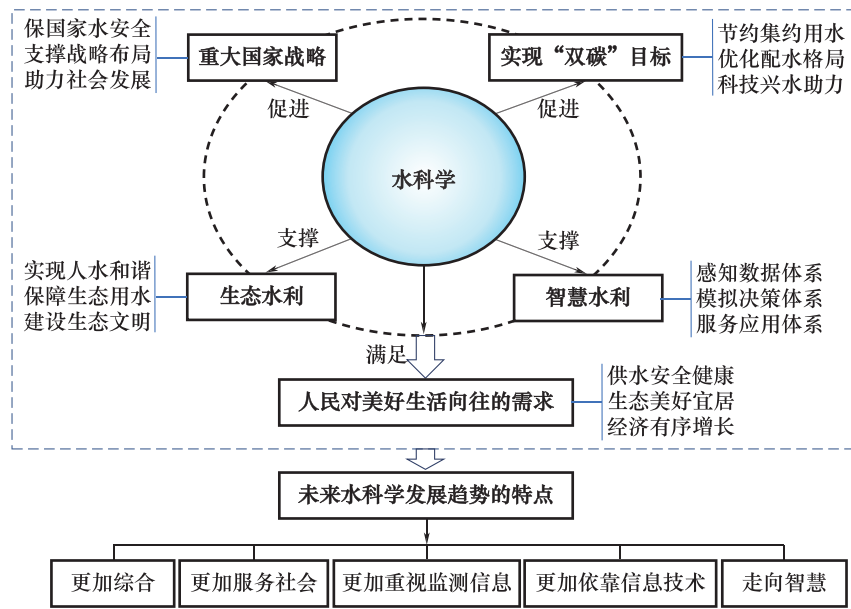


图3 未来水科学发展趋势判断

Fig. 3 Hypotheses of future trends in water science

(2) 实现“双碳”目标,水科学工作大有作为

随着经济社会的快速发展,排放的二氧化碳量越来越多,已经成为世界性气候变化、气象异常、生态环境问题的根源。中国作为一个负责任的大国,已于2020年承诺“二氧化碳排放量力争于2030年前达到峰值,并争取在2060年前实现碳中和”,这就是中国的“双碳”目标。其实,实现这一目标是非常不易的,需要全社会的共同努力。其中,水科学工作者以及十大分支学科都肩负着重要责任和担当,至少可以从三大方面为实现“双碳”目标做出贡献:一是,节约集约用水。通过节约集约用水,提高用水效率,减少用水量,在很大程度上直接或间接减少二氧化碳排放量,节水就是减碳。二是,优化配水格局。通过水资源配置格局的优化,支持低碳行业发展,优化产业结构,促进二氧化碳“减排”“增汇”。三是,科技兴水助力。通过水科学技术革新,提高水资源利用效率,优化水资源开发利用格局,将前沿水科学技术与低碳零碳负碳关键技术相结合,助力“双碳”目标的实现。

(3) 支撑生态水利,实现人与自然和谐共生

生态水利是我国继“工程水利”“资源水利”之后的第三个水利发展阶段,也是目前我国正处在的水利阶段^[12]。生态水利阶段的特点是:水利工作主要以保护生态、建设生态文明为目标和指导思

想^[12]。因此,现阶段水科学工作的重点应是支撑生态水利建设,至少可以从3大方面阐述水科学在支撑生态水利建设中的作用:一是,实现人水和谐。生态水利的要义是建设人与自然和谐共生的文化伦理形态,坚持人水和谐理念,实现人水和谐目标。“人水和谐”是一个涉及内容广泛、多学科交叉、多部门联动的行为,需要水科学的广泛支撑。二是,保障生态用水。生态水利的直观基础首先是保护生态,保护生态的基础条件是保障生态用水。在人水关系紧张的区域,经常出现挤占生态用水的状况,为了保护生态,就必须保障一定的生态用水量。三是,建设生态文明。生态文明是继原始文明、农业文明、工业文明之后的第四个文明阶段。水是生态之基,是生态文明的根本基础和重要载体,支撑生态文明建设是生态水利的目标和任务。因此,发展水科学,有助于生态文明建设,从而支撑生态水利。

(4) 以丰富的水科学知识为基础,建设智慧水利

智慧水利是笔者研判的第四个水利发展阶段,也是继生态水利之后即将到来的未来水利发展阶段^[12]。智慧水利阶段的特点是:以丰富的水利经验为基础,使传统水利向智能化转型。其中,水利经验主要是指丰富的水科学知识。水科学知识在智慧水利中的作用至少可以从三大方面来阐述:一

是,感知数据体系。通过遥感监测、水文和水环境监测、经济社会要素调查统计等手段,获得各种监测信息。这是智慧水利建设的基础,也是水科学的主要工作内容。二是,模拟决策体系。就是根据输入的信息,通过模型运算,做出模拟和决策,是水科学的主要研究内容,也是智慧水利的“大脑”中枢。三是,服务应用体系。就是为客服提供个性化订单式服务,实现服务精准投递^[13],比如,精准供水、防洪、排涝、水库调度、水资源配置等智能化服务。

(5)满足人民对美好生活向往的需求,是水科学的使命

随着经济社会的发展,“脱贫”工作已经完成,接着“奔小康”,人民生活已从单一的“吃饱肚子”走向“对美好生活的向往”。其中,保障水安全,是人民对美好生活向往的重要基础,因此,满足人民对美好生活向往的需求,水科学有着义不容辞的使命,至少可以从三大方面来阐述:一是,供水安全健康。在2010年之前,我国一些地区的供水保证率和水质情况得不到应有的保障。自2005年实施农村饮水安全工程建设以来,国家投入大量人力物力,在供水安全方面有了大幅度提升。尽管如此,供水安全健康仍是人民生活关心的问题,也是水科学工作者义不容辞的责任。二是,生态美好宜居。随着人民生活水平的提高,人们开始追求更高水平的生活环境,都希望居住在生态优美的环境中。水的保障是生态环境的主要基础。因此,水科学发展的重要职责之一是支撑生态美好宜居的环境。三是,经济有序增长。在追求美好生态环境的同时,也需要经济有序增长。水是工业、农业生产的重要基础资源,保持经济有序增长仍是水科学工作者的任务。

根据以上分析和研判,未来的水科学发展趋势将呈现以下特点:①更加综合。随着水问题复杂性增加,人水矛盾加剧,推动着水科学更加广泛、融合。这也正是加速发展水科学交叉学科的内动力。②更加服务社会。水资源是有限的,但人类的用水需求是不断增加的,人水矛盾、经济社会用水与生态用水矛盾在加剧,人类发展更加依赖于水科学的服务能力。③更加重视监测信息。随着对问题分析的深入、监测手段的提升,分析问题更加系统,获得的信息越多,需要的信息也越多,为水科学的深入发展和服务体系提供可靠信息源。④更加依靠

信息技术。水科学的监测阶段除了常规的水文气象监测、经济社会指标统计手段之外,更加看重先进的信息监测技术,比如卫星、无人机、飞艇等。水科学的分析计算和模拟模型,更加依靠超级计算机、模拟器、智能算法等方法。水科学的决策与调控,更加依靠监测-模拟-评估-预警-决策融为一体的信息系统平台。⑤走向智慧。未来水利的发展阶段是智慧水利阶段,传统水利向智能化转型。水科学的未来发展肯定要适应这一发展形势,为智慧水利提供水科学知识。

5 结语

(1)水科学是研究水的交叉学科,涉及学科门类多,研究范畴广,是最近二十多年来出现频率很高的词汇。但目前对“水科学”一词的使用大多还停留在“说”的层面,存在表述不规范,学科体系不完善现象。因此,需要从宏观层面和学科综合层面进一步梳理其概念,构建其学科体系。

(2)本文在前期大量资料分析的基础上,进一步探讨了水科学的概念内涵、研究范畴、学科体系;介绍了水科学各分支研究进展;在介绍水科学分支学科研究展望的基础上,从重大国家战略、实现“双碳”目标、生态水利、智慧水利、人民对美好生活向往的需求5个方面阐述了未来水科学发展趋势,提出了5方面的未来水科学发展特点。

(3)国家发展需要解决的水问题非常复杂和紧迫,需要多学科共同努力。这是广义水科学产生的迫切性,也是急需快速发展的国家需求。水科学学科体系是一个大学科群,应该容纳百川,加强多学科交叉融合,广泛开展关于水的多学科交叉研究。然而,亟待解决的水问题越来越复杂,需要思想创新、理论创新、方法创新、应用创新,发展水科学义不容辞。

(4)本文主要是基于前期的文献,开展一些总结工作,提出的结果多是框架性内容,没有太多的旁证,还需要进一步的验证,欢迎广大读者参与讨论。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 左其亭. 水科学的学科体系及研究框架探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(1): 113-117.
DOI:10.3724/SP.J.1201.2011.01113
- [2] 《水科学进展》编辑部. 发刊词[J]. 水科学进展, 1990, 1(1): 1.
DOI:10.14042/j.cnki.32.1309.1990.00.001
- [3] 陈家琦. 水科学的内涵及其发展动力[J]. 水科学进展, 1992, 3(4): 241-245.
DOI:10.14042/j.cnki.32.1309.1992.04.001
- [4] 左其亭, 张保祥, 王宗志, 等. 2011 年中央一号文件对水科学研究的启示与讨论[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(5): 68-73.
DOI:10.3724/SP.J.1201.2011.05068
- [5] 左其亭. 我国海绵城市建设中的水科学难题[J]. 水资源保护, 2016, 32(4): 21-26.
DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.04.003
- [6] 左其亭. 水科学交叉学科群建设的必要性及基本框架[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2021, 42(3): 1-6.
DOI:10.19760/j.ncwu.zk.2021028
- [7] 左其亭. 中国水科学研究进展报告 2011—2012[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [8] 左其亭. 中国水科学研究进展报告 2019—2020[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [9] 吴志才, 丁根宏. 汉英水科学词汇[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [10] 谭绩文, 沈永平, 张发旺, 等. 水科学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [11] 高宗军, 张兆香. 水科学概论[M]. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [12] 左其亭. 中国水利发展阶段及未来“水利 4.0”战略构想[J]. 水电能源科学, 2015, 33(4): 1-5.
- [13] 夏军, 占车生, 曾思栋, 等. 长江模拟器的理论方法与实践探索[J]. 水利学报, 2022, 53(5): 505-514.
DOI:10.13243/j.cnki.slxb.20220077

Discipline System of Water Science and Its Research Progress and Prospect

ZUO Qiting^{1,2}

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

2. Henan International Joint Laboratory of Water Cycle Simulation and Environmental Protection, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Water science is an interdisciplinary science specializing in the study of water, and it involves many disciplines and a wide range of research areas. It is a science closely related to human survival, economic and social development, and the wellbeing and reproduction of nature and its all inhabitants. However, due to its complexity, universality, and multidisciplinary nature, the term “water science” has been widely mentioned and used but not standardized. Therefore, it is necessary to further sort out its concept and build its discipline system from the macro level and the level of disciplinary synthesis. Based on a large amount of data analysis, this paper summarized the relevant articles, monographs, and academic communication results since 2011 to propose an interpretation and define the concept and research scope of water science. Then, the discipline system of water science was elaborated, and the current research status and the prospect of water science in China as reflected in the “Report on the Progress of Water Science Research in China” was introduced. In addition, the future development trend of water science was expounded from five aspects, and five future development characteristics of water were then proposed. The research results can provide a reference for further standardizing the scope of water science research, analyzing the discipline system of water science, and shedding light to future development direction.

Keywords: Water science; concept; scope of research; discipline system; advances in water science research

DOI: 10. 48014/fcws. 20220929001

Citation: ZUO Qiting. Discipline system of water science and its research progress and prospect[J]. Frontiers of Chinese Water Sciences, 2023, 1(2): 17-28.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

