

引用格式:左其亭,张志卓,马军霞.水资源分类方案及学科体系[J].资源科学,2021,43(11):2215-2223. [Zuo Q T, Zhang Z Z, Ma J X. Classification scheme of water resources and its disciplinary system[J]. Resources Science, 2021, 43(11): 2215-2223.] DOI: 10.18402/resci.2021.11.06

# 水资源分类方案及学科体系

左其亭<sup>1,2,3</sup>, 张志卓<sup>1,2</sup>, 马军霞<sup>1,2</sup>

(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; 3. 郑州市水资源与水环境重点实验室, 郑州 450001)

**摘要:** 水资源的界定和分类是开展水资源研究和管理工作的基础, 水资源学学科体系建设对学科未来发展具有重要意义。水资源的分类进一步明确了水资源学的研究对象, 是构建水资源学学科体系的基础内容, 在梳理现有水资源分类方案的基础上, 按照多原则-多维度-多类别的分类思路, 提出了水资源分类新方案, 包含9个维度26种类别; 在总结水资源学发展历程基础上, 构建了水资源学学科体系框架, 明确了水资源学的研究对象, 梳理了包含水量平衡原理、水资源价值理论、水资源可持续利用理论和人水和谐论等代表性理论体系, 总结了涵盖监测与模拟方法、水资源模型等方法的方法论和一系列应用实践; 考虑水资源分类, 从不同角度探讨了水资源学衍生出的分支学科, 并对水资源学研究方向进行了展望。为水资源研究和管理以及水资源学学科建设提供参考。

**关键词:** 水资源; 水资源分类; 水资源学; 学科体系; 发展布局

DOI: 10.18402/resci.2021.11.06

## 1 引言

水资源是21世纪三大战略性资源之一, 是保障人类福祉、维护生态健康、促进经济发展的基础性资源, 是可持续发展的核心资源, 但目前全球水资源供需矛盾并未得到缓解<sup>[1]</sup>, 对水资源的基础性研究仍需不断开展。水资源类别的科学划分是中国水资源管理实践中的基础性问题, 也是开展水资源相关研究需要首先明确的问题, 但目前国内对水资源的分类并无明确统一的论调。2020年全国水利工作会议明确指出, 坚持水利改革发展的总基调向纵深发展<sup>[2]</sup>; 《十四五规划和2035年远景目标纲要》明确提出, 要推动建立水资源刚性约束制度<sup>[3]</sup>, “水利工程补短板, 水利行业强监管”, 对什么类型的水资源进行监管? “水资源刚性约束”, 又约束什么类型的水资源? 上述问题均需要在水资源科学分类的基础上进行解答。因此, 探究水资源分类方法、探讨水资源分类方案对中国水资源研究以及水利工作

的开展均具有重要意义。此外, 水资源学作为以水资源为主要研究对象的学科<sup>[4]</sup>, 20世纪末21世纪初, 就有学者对水资源学开展专门论述, 陈家琦辨析了水资源学和水文学的关系<sup>[5]</sup>; 王浩等从基础学科、应用学科、综合学科三方面对水资源学学科体系进行探讨<sup>[6]</sup>; 陈传友等从水资源分类、水资源学内涵及主要研究内容等方面对水资源学进行论述<sup>[7]</sup>; 夏军等总结了水资源研究的发展沿革<sup>[8]</sup>, 对水资源学科的发展趋势进行了分析, 并展望了未来研究趋势。21世纪以来, 水资源学研究成果的年发表数量有明显增长趋势, 涉及的领域也在不断扩展<sup>[9]</sup>, 水资源学发展至今, 已经基本形成了完善的理论和方法体系, 但近年来对水资源学学科体系的系统阐述较少, 文献不多。

在上述背景下, 本文在总结现有水资源分类方法的基础上, 按照新的水资源分类思路, 讨论水资源分类新方案, 以期对自然资源分类研究以及水资

收稿日期: 2021-05-03; 修订日期: 2021-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51279183); 国家社会科学基金重大项目(12&ZD215)。

作者简介: 左其亭, 男, 河南固始人, 博士, 教授, 主要研究方向为水文学及水资源。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

通讯作者: 马军霞, 女, 河北邯郸人, 硕士, 高级实验师, 主要研究方向为地下水文学。E-mail: majx@zzu.edu.cn

源管理工作提供参考;基于对水资源学科的理解,梳理水资源学发展历程,构建水资源学学科体系,划分水资源学的分支学科,探讨水资源学科的未来发展方向,以期为水资源研究和水资源学科建设提供参考。

## 2 现有水资源分类方案综述

### 2.1 一般水资源分类方案

至目前,国内外对水资源的定义依然众说纷纭,《大英百科全书》对水资源的定义是:“自然界一切形态的水,包括液态水、固态水、气态水”;《中国水利百科全书》将水资源定义为“地球上各种形态的天然水”<sup>[10]</sup>;联合国教科文组织(UNESCO)将具备一定质量和数量的、可以利用和可能被利用的、可以长期满足某地利用需求的水源定义为水资源<sup>[11]</sup>。为了将水资源的定义更具象化,笔者曾在水资源学教材中将水资源定义为:地球上水的总体,包括大气中的降水、河湖中的地表水、浅层和深层的地下水、冰川、海水等,具有可以利用、可以得到恢复和更新的特性<sup>[12]</sup>。

国内外对水资源的分类也正如对水资源的定义一样不尽相同。不同国家对水资源的划分标准不同,各个统计机构、国际组织发布的水资源的分类方案也有较大差异。目前国外比较权威的自然资源分类方案是由联合国、欧洲联盟委员会、经济合作与发展组织等6个权威组织共同发布的环境经济核算体系(System of Environmental-Economic Accounting 2012: Central Framework, SEEA2012)中给出的自然资源分类方案<sup>[13]</sup>,该方案将水资源归属于七大类自然资源之一,在此基础上又将水资源进一步划分为地表水、地下水和土壤水;《Natural resource Conservation》<sup>[14]</sup>中采用三级分类方案,将自然资源分为不可更新资源和可更新资源,其中将水资源归类为可更新资源,包括地表水和地下水;联合国国际粮农组织(FAO)<sup>[15]</sup>根据分布特征将水资源划分为:地表水资源、地下水资源、天然降水资源。

中国作为农业古国,很早就对水资源有深刻的实践认识,据记载,中国古代就对水资源按照形态和大小进行过划分<sup>[16]</sup>,将陆地水资源划分为河流类(包括渎、沟、谷、川)、湖泊类(包括池、沼、泽、浸)、泉类(包括泉、肥泉)和沼泽类(淖);20世纪末,中国自然资源学会组织撰写的《中国资源科学百科全

书》利用多级综合分类方法,首次全面系统地对自然资源进行了学理上的三级分类<sup>[17]</sup>,该分类方案中水资源(二级分类)属于陆地自然资源(一级分类),被细分为地表水资源、地下水资源、冰雪资源(三级分类),至今仍被广泛采用。国内学者也不断对水资源分类提出新的见解和方案,王浩等<sup>[6]</sup>按照有效性准则、可控性准则、可再生性准则将水资源分为广义水资源、狭义水资源、国民经济水资源和生态需水量;陈传友等<sup>[7]</sup>从量算要求、形成条件、存在形式、利用方式4个不同分类角度对水资源进行了划分;左其亭<sup>[12]</sup>结合水资源的定义,从广义和狭义两个角度将水资源分为降水、地表水、地下水、冰川、海水,以及地表径流、壤中流、地下径流;陈国光等<sup>[18]</sup>将水资源作为一级分类,地表水和地下水作为水资源的二级分类,在此基础上延伸出三级分类,其中地表水包括:饮用水、灌溉用水、生态用水,地下水包括:饮用地下水、灌溉用地下水、补充地表水;郝爱兵等<sup>[19]</sup>把水资源作为一级分类,将其细分为降水与蒸发、空气水、陆域地表水、地下水、冰川与积雪、土壤水、海水共7个二级分类;孙兴丽<sup>[20]</sup>构建了面向统一管理的自然资源分类体系,将陆表水资源、地下水资源和固体水作为陆地资源的二级分类,在此基础上将其细分成河水、湖水、特殊地下水资源、一般地下水资源、冰川、永久积雪等多个三级分类,不同的是,该研究将大气降水作为气候资源的三级分类。此外,水资源公报<sup>[21]</sup>和某些国家和行业性标准<sup>[22-24]</sup>也基于不同用途对水资源进行了多角度的分类。

### 2.2 其他水资源分类方案

水资源分类是一个由浅至深、由简到繁的过程,从最开始的单一分类发展到多级分类,随着人们对水资源认识的不断深化,水资源分类方案也愈发细致和复杂。

除了上面介绍的一般水资源分类方案外,部分学者对地下水资源、矿水资源、灌溉水资源等不同类别的水资源也专门进行了细化分类。苏超<sup>[25]</sup>结合地下水不同形态间的转化关系,将地下水资源分为天然资源和开采资源;李世忠等<sup>[26]</sup>将矿水资源分为:工业矿水(包括卤水、热水)、农业矿水(包括肥水、热水)、医疗保健矿水(包括医疗矿水、营养矿水);李佩成等<sup>[27]</sup>从成因、存在空间、利用功能多个角度对

2021年11月

景观水资源进行了分类;周维博等<sup>[28]</sup>按水源存在空间、取水工程类型、水源水质类型、利用功能、利用次数共5种标准对灌溉水资源进行了分类。

总的来说,目前水资源分类方案众多,没有严格的划分标准,这样的好处是,最大程度上发挥了广大学者的智慧,从尽可能多的角度对水资源进行多级划分,形成多套分类方案,各分类方案之间虽有交叉但各具特色,基本形成了对水资源全面、完善的划分。但过于分散的分类方案难以形成有效的分类系统,会导致数据统计口径不一致等问题,且水资源系统是不断发展的,部分分类方案存在时间局限性,需要及时更新新的分类方案。

### 3 水资源分类新方案的提出

#### 3.1 分类原则

划分水资源分类方案应遵循以下原则。

(1)尊重客观自然规律和水资源自身特征。水资源有着多种天然属性,人们对水资源系统各种机理的认识仍不充分,制定水资源分类方案要充分尊重水资源的客观存在特征,结合正确原理和现有认知,不能脱离自然规律去分类。

(2)立足于水资源利用与保护的实际需要。水资源分类方案不能仅仅是停留在书面上的方案,要以解决实际问题为导向,形成系统全面、衔接有效、口径统一的分类方案,让每一项分类都实实在在地服务于水资源开发利用与保护,发挥水资源分类方案的实际作用。

(3)适应于多行业多领域的时代发展需求。水资源分类涉及多行业多领域,不能仅从单一、片面的角度去分类,要尽可能多地适应于新兴行业和部门的发展需求,综合考虑水资源的经济社会属性,进行系统、全面的分类。

(4)服务于水资源学学科发展及管理实践。水资源学学科体系正在不断发展完善,水资源分类方案要服务于水资源学学科体系的发展,且不能脱离现行的水资源管理实践,要在现有方案的基础上,与时俱进、不断更新,打破分类方案的时间局限。

#### 3.2 分类思路及方案

综合考虑水资源的自然属性、经济属性、生态属性和社会属性,参考已有研究成果,采用“多原则约束-多维度协同-多类别集成”的系统分类思路,对水资源进行分类。

首先,在水资源分类4个原则约束下,确定水资源分类的不同维度。本方案在系统梳理现有划分角度的基础上,综合考虑水资源在不同领域的分类,共确定了9个划分维度,分别是空间属性、地理分布、物理特性、载体形式、形成条件、功能用途、供水类别、消耗状况、利用方式,实现水资源分类方案的多维度协同。

然后,在保证学理、管理相结合的前提下,梳理每个维度的水资源类别。既要尽可能全面地概括该维度下的水资源类别,又要充分衔接已有分类方案,允许不同维度下的水资源类别有适当交叉,对多个维度的多个水资源类别进行集成,最终形成水资源分类新方案(表1)。

对表1中的部分水资源类别进行展开说明。表1中,空间属性维度下的“空中水”指的是存在于空

表1 水资源分类方案一览表

Table 1 A list of water resources classification schemes

划分纬度	水资源类别
按空间属性分	地表水
	地下水
	空中水
按地理分布分	陆域水
	海洋水
	液态水
按物理特性分	气态水
	固态水
	江河水
按载体形式分	湿地水
	湖库水
	冰川水
按形成条件分	土壤水
	井泉水
	生物水
按功能用途分	当地水
	入境水
	生产用水
按供水类别分	生活用水
	生态用水
	非常规水
按消耗状况分	消耗性用水
	非消耗性用水
按利用方式分	河道外用水
	河道内用水



气中的水汽,在空间属性上区别于地表水和地下水,天上的云、悬浮在空中的颗粒状水珠、冰晶都属于空中水。载体形式维度下,江河水包括江、河、沟、渠等承载的水;湿地水包括天然湿地和人工湿地中的水;湖库水包括湖泊、水库所承载的水;冰川水包括冰川、永久积雪等承载的水;土壤水是指土壤颗粒表面承载的水分,可以被植物吸收利用;井泉水是指井水、泉水和渗水,多属于地下水;生物水是指存在于生物体内的水,水是构成生命的重要元素,因此生物水也是水资源的存在形式。形成条件维度下,当地水是当地产生并能够持续供应的水,包括由大气降水产生的地表、地下径流,也称为“主水”,入境水是指非当地产生,但流经当地或被当地利用的水,包括自然入境的水和人工调入的水<sup>[7]</sup>,也称为“客水”。功能用途维度下,生产用水是指工业、制造业、农林牧渔业等生产发展所用的水资源,生活用水是满足人类日常生活和活动的水资源,生态用水是维持生态系统运转需要的水资源,也包括人工湖泊等景观所用的水。供水类别维度下,非常规水是指再生水、雨水等水资源,在水源性质上区别于常规水资源。消耗状况维度下,消耗性用水是指在运输和利用水资源过程中,通过产品吸附、土壤吸收、蒸发蒸腾等多种方式被消耗掉的水资源,无法回归到地表水和地下水,与利用后能够回归的非消耗性用水有所区分<sup>[21]</sup>。利用方式维度下,河道内用水包括航运、水力发电、渔业养殖、水生生态、水上旅游等方式利用的水资源,河道外用水是指城镇和农村用水,包括农业、工业、城乡生活、植被生态所用的水资源<sup>[22]</sup>。

需要说明的是,本文并不是要提出一种严格的、统一的分类标准,资源分类也不可能有完全正确、绝对标准的方案,而是提供一种水资源分类的思路,探讨一种水资源分类方法。本文提出的水资源分类新方案基本涵盖了水资源的多维属性,符合现行水资源管理实践和经济社会发展实际,对水资源开发利用和管理具有一定参考价值。例如在完善水资源监管、强化水资源约束时,就可针对不同的维度下(如载体形式、功能用途、供水类别)的多种水资源类别,结合其实际开发利用强度,各有侧重地采取不同监管方式和约束强度,实现“分类施策,精细管理”,最大限度发挥水资源系统的综合效

益。但水资源学科仍处于不断发展阶段,人类对水资源的认识仍存在很大不足,因此,表1中方案对水资源的划分维度一定是不全面、不充分的,不同维度下的水资源类别划分也可能是不完善的,该水资源分类方案仍需要随着人们对水资源认识的逐渐深入而不断更新。

## 4 水资源学学科体系的形成与发展布局

### 4.1 水资源学的形成历程

中国早在商代时期,就有对引水灌溉的记载,在长期的生产生活实践中,劳动人民与水事活动联系紧密,不断对水资源进行认识和探索,积累了与水资源相关的丰富知识和经验,后来逐渐发展形成了一门自成体系的学科——水资源学。

笔者曾在《水资源学教程》教材中给出水资源学的概念:水资源学是在认识水资源特性、研究和解决日益突出的水资源问题的基础上,逐步形成的一门研究水资源形成、转化、运动规律及水资源合理开发利用基础理论并指导水资源业务(如水资源开发、利用、保护、规划、管理)的知识体系<sup>[12]</sup>。

在不断探索和积累水资源知识的基础上,吸收融合水文学、地理学、环境学、生态学、自然资源学等其他基础科学的思想、理论、方法,水资源学开始形成并逐步发展完善,其发展历程大致划分为萌芽、形成、兴起3个阶段<sup>[12]</sup>。

(1)萌芽阶段:20世纪中期之前。人类在漫长的生存发展过程中,不断从事与水相关的活动,经过长期的观察和认识,能够对部分水资源规律进行定性描述,以满足当时的生产和生活需求。但受到当时客观条件的制约,人们对水资源规律的理解仍处于较浅水平,更不可能在学科的高度上总结出水资源学理论,因此,这一漫长时期只能作为水资源学发展的萌芽阶段。

(2)形成阶段:20世纪中期至20世纪末。随着人类对水资源的认知水平愈发成熟,对水资源知识的积累也越来越多,相关经验和知识开始融入到一些与水资源学相近的已建设学科中,如自然资源学、水文学等。在该时期,各种水资源问题在全世界范围内开始凸显,水资源逐渐受到人们的关注,丰富了水资源的研究内容,水资源学体系逐渐形

2021年11月

成。1995年,陈家琦等<sup>[29]</sup>撰写的《水资源学概论》出版,作为国内第一本水资源学相关专著,标志着中国水资源学的形成。

(3)兴起阶段:20世纪末至今。20世纪90年代以来,水资源学进入繁荣发展期。一方面是由于经济社会发展过快,人口压力剧增,水资源短缺、水生态环境恶化等问题愈发突出,这对水资源学的发展提供了机遇和挑战,也在一定程度上促进了水资源学的蓬勃发展。另一方面,随着新理论、新技术在水资源领域的应用越来越成熟,一些新兴学科的不断渗透,极大地推动了水资源学的繁荣发展。

## 4.2 水资源学学科体系框架及主要内容

在梳理水资源学概念及其形成历程的基础上,系统总结已有研究成果,结合水资源分类新方案,提出新的水资源学学科体系框架。

### 4.2.1 水资源学学科体系框架

一个成熟的学科体系往往包含明确的研究对象、完善的理论体系、系统的方法论和丰富的应用实践。水资源学经过多年的发展,已具备了上述4个条件,其学科体系框架如图1所示。图1明确了水资源学的研究对象,列出了水资源学的部分基础

理论和成熟的方法论,探讨了水资源学的众多分支学科,并展现了水资源学理论、方法在多个重要领域的应用实践。

### 4.2.2 水资源学研究对象

水资源学的研究对象非常明确,就是各种类型的水资源。既包括不同类型水资源本身,表1分类方案中的所有分类均属于水资源学的研究对象;也包括水资源系统与其他系统组成的系统,比如,水资源与经济社会、水资源与生态系统之间的关系研究等。

### 4.2.3 水资源学理论体系

水资源学自形成以来,其理论体系不断丰富和发展,已产生大量宏观、微观的重要理论,列举代表性理论如下:

(1)水量平衡原理。水量平衡原理作为研究所有水资源转化关系和水文现象的基础性原理,以水量平衡基本方程为核心,已经延伸发展出全球水量平衡方程、流域水量平衡方程、区域水量平衡方程等重要方程,是解决一系列水资源问题的重要方法和工具,也是水资源学的奠基性理论之一。

(2)水资源价值理论。针对水资源是否有价

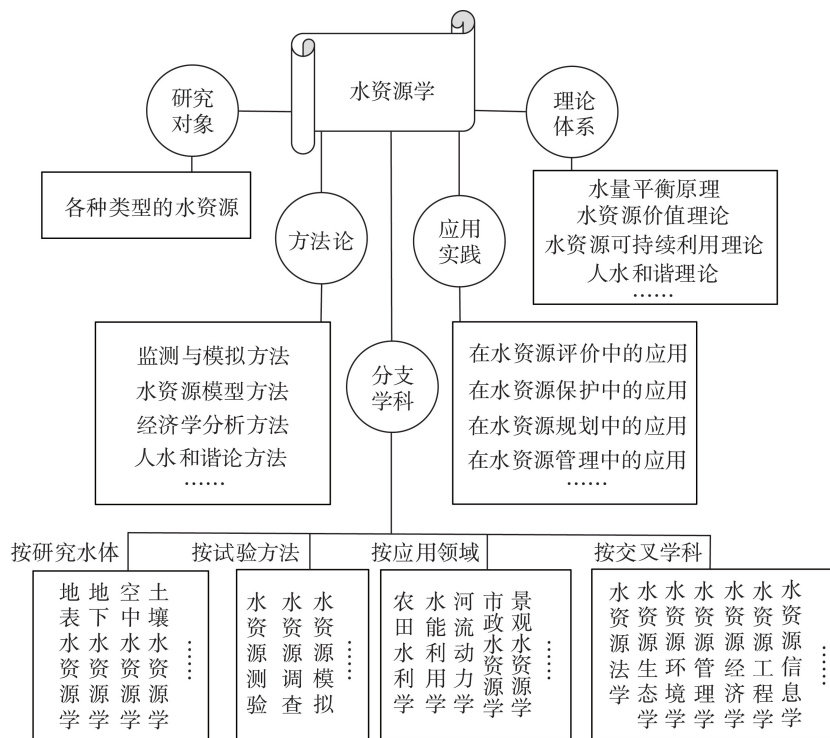


图1 水资源学学科体系

Figure 1 Framework of water resources science

值、水资源价值形态与价值观的确定等问题,水资源价值理论应运而生,以劳动价值论、效用价值论等为理论基础,阐述了水资源价值的内涵,厘清了水资源价值流和水资源耦合价值,是解决水资源经济调控和管理制度制定等一系列问题的重要理论依据。

(3)水资源可持续利用理论。水资源作为可持续发展的重要支撑,如何指导水资源开发利用实践,实现水资源可持续利用,成为水资源学的重要议题,水资源可持续性理论已发展成为水资源学的基本理论之一。

(4)人水和谐理论。人水和谐思想强调人水系统的和谐平衡,是新时期处理人水关系的重要指导思想,随着人水和谐思想的发展和应用,人水和谐理论成为水资源学的重要基础理论。

除上述理论外,水资源综合管理理论、水质迁移转化原理、水资源优化配置理论等也是构成水资源学理论体系的重要基础性理论。

#### 4.2.4 水资源学方法论

水资源学研究内容广泛,为解决各种复杂的水资源问题,逐渐形成一套系统的方法论,包括但不限于以下方法:

(1)监测与模拟方法。对水循环过程的监测、分析、模拟是水资源学的基本研究任务,在水文监测完善的硬件条件支持下,水资源监测技术方法发展迅速,既能满足对地表水地下水水位、海洋和陆面蒸发、大气含水量等宏观过程的监测和模拟,也能够对作物生长水分传输过程、水体不同要素变化等微观过程的监测和模拟,深化了人类对多种水资源循环过程的理解和认知。

(2)水资源模型方法。水资源学中有很多常规方法无法解决的问题,就需要构建水资源模型,利用计算机强大的运算功能,找到可行解决方案。例如水资源优化配置模型可以解决不同用水部门之间的矛盾,优化调度模型可以保障水库群、灌区等调水工程的高效运行,分水模型能够协调跨界河流地区的用水争端,水资源转化模型能够厘清地区水资源的复杂转化关系,水质模型能够预测水体水质变化。众多水资源模型为复杂水资源问题的解决提供了良好的思路。

(3)经济学分析方法。水资源学中有大量的研究内容需要借助经济学的分析方法。例如研究水

资源价值需要用到劳动经济学,研究水权、水价、水市场需要涉及国民经济学、区域经济学的方法,研究不同产业的水资源可持续利用涉及产业经济学,研究宏观微观下水资源利用效率的研究又要用到计量经济学的方法,因此,经济学分析方法也是水资源学方法论的重要组成部分。

(4)人水和谐论方法。水资源学的研究任务,很大程度上是在处理人水关系,因此人水和谐论方法在水资源学中有十分广泛的应用,包括和谐辨识、和谐评估、和谐调控3类方法体系和其中包含的众多量化方法<sup>[30]</sup>。

#### 4.2.5 水资源学应用实践

水资源学具有广泛的应用价值,已在多个领域得到成熟应用,包括但不限于以下领域:

(1)在水资源评价中的应用。水资源评价是开展水资源工作的基础,也是制定水资源决策的参考依据,包括不同尺度下的水资源数量评价、水资源质量评价以及水资源开发利用及其影响评价。

(2)在水资源保护中的应用。水资源保护是指通过经济、工程、法律等多种途径保障水资源的供给质量,以实现水资源的可持续利用,水资源学在其中的应用主要包括水功能区划定、污染源调查和预测、生态需水量的测算、水功能区纳污能力的计算和分配等。

(3)在水资源规划中的应用。水资源规划对水资源开发利用具有重要指导意义,水资源规划编制过程中需要充分应用水资源学知识,开展水资源供需平衡分析、地区供需预测、规划方案优选等一系列工作。

(4)在水资源管理中的应用。水资源管理是通过一系列具体实施过程,比如水权分配、水市场构建、水法规制定等对水资源进行科学管理,以达到水资源-经济社会-生态环境复杂系统和谐平衡的目的,也是水资源学的重要应用领域。

#### 4.2.6 水资源学分支学科

在相关研究成果基础上<sup>[67]</sup>,按照不同的划分依据,对水资源学的分支学科进行梳理:①按水资源分类划分,包括地表水资源学、地下水资源学、空中水资源学、土壤水资源学等;②按试验方法划分,包括水资源测验、水资源调查、水资源模拟等;③按应用领域划分,包括农田水利学、水能利用学、河流动力学、市政水资源学、景观水资源学等;④按交叉学



2021年11月

科划分,包括水资源经济学、水资源生态学、水资源环境学、水资源管理学、水资源法学、水资源工程学、水资源信息学等。

丰富的分支学科也说明水资源学是一个动态发展、应用广泛的大学科,具有饱满的生命力和发展前景。在多学科交叉融合发展的大趋势下,未来水资源学会吸纳不同学科的新理论、新方法、新技术,派生出更多的分支学科。

#### 4.3 水资源学研究展望及发展布局

结合水资源学发展面临的系列挑战,分析水资源学学科建设需突破的关键问题,考虑水资源学学科体系未来发展需求,提出水资源学研究展望。

(1)继续探索水资源学基础性重难点问题。水资源学发展至今,其重难点问题均取得一定研究进展,但部分基础性问题并未得到解决,仍需继续研究,例如不同尺度下水资源转化规律、自然-社会二元水资源循环过程机理、水资源系统不确定性、特殊地质区(如喀斯特岩溶地区、冻土区等)水资源转化过程、气候变化和人类活动双重影响下水资源系统演变态势及模拟等,对上述问题的深入探索是水资源学学科发展的坚实基础。

(2)加强新理论、新技术、新方法在水资源学中的融合应用。一方面,新理论是促进水资源学发展的新鲜血液,比如最严格水资源管理理论、河湖水系连通理论等,应积极融入水资源学理论体系;另一方面,新技术是推动学科发展的有力工具,应加强如3S技术、同位素跟踪技术、大数据、云计算等学科前沿技术在水资源学中的应用;再一方面,新方法是解决传统问题的有效途径,应不断发展如嵌入式系统动力学模型、跨界河流分水方法<sup>[31]</sup>等,为传统的水资源问题提供更好的解决方案。

(3)推动水资源学与其他多学科的交叉研究。水资源学是水科学的重要组成部分,与水文学、水环境、水信息、水经济、水法律等水科学的其他学科有着千丝万缕的联系,一些复杂的水资源问题涉及多学科的理论基础和方法体系,如水权水市场建设、水生态文明标准制定、流域保护法制定等问题均需要多学科交叉研究、联合攻关,因此,与其他学科的交叉融合研究,是水资源学未来发展的必然趋势,也是丰富水资源学科体系的重要渠道。

## 5 结论

水资源分类为水资源学明确了研究对象,是构建水资源学学科体系的基础内容。本文围绕水资源分类与学科发展主题,做了两部分工作:

(1)对国内外现有水资源分类方案进行了概括性描述,从4方面提出了水资源分类方案应遵循的基本原则,基于“多原则约束-多维度协同-多类别集成”的分类思路提出了水资源分类新方案,共包含9个分类维度下26个水资源类别。

(2)给出了水资源学的概念,梳理了水资源学的发展历程,构建了水资源学学科体系,明确了水资源学研究对象,论述了包含水量平衡原理、水资源价值理论、水资源可持续利用理论和人水和谐论等重要理论的水资源学理论体系,选取监测与模拟方法、水资源模型方法、经济学分析方法和人水和谐论方法4种代表性方法探讨了水资源学的方法论,并从水资源的评价、保护、规划、管理4个方面阐述了水资源学的应用实践价值,根据不同标准划分了水资源学的分支学科,最后探讨了水资源学的未来发展展望。

本文的水资源分类新方案是笔者基于自身对水资源的理解,结合相关研究成果进一步凝炼形成的,分类方案仍存在不足,例如并未对灌溉水资源、矿井水资源等其他类别水资源进行专门划分。本文提出的水资源学学科体系也可能存在不完善之处,有待进一步改进。

#### 参考文献(References):

- [1] Connor R. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2015.
- [2] 鄂竟平. 坚定不移践行水利改革发展总基调 加快推进水利治理体系和治理能力现代化: 在2020年全国水利工作会议上的讲话[J]. 中国水利, 2020, (2): 1-15. [E J P. Implement the key-note for water development and reform unswervingly and consolidate water governance system and capacity building for modernization: Speech at 2020 National Water Conservancy Working Conference[J]. China Water Resources, 2020, (2): 1-15.]
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[N]. 人民日报, 2021-03-13(01). [National Development and Reform Commission. The Fourteenth Five-Year Plan for the National Economic and Social Development of the People's Republic of

- China and the Outline of the Vision Goals in 2035[N]. People's Daily, 2021-03-13(01).]
- [4] 夏军, 左其享. 水资源学发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2012. [Xia J, Zuo Q T. Water Resources Research and Development Report[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2012.]
- [5] 陈家琦. 论水资源学和水文学的关系[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 215-218. [Chen J Q. On the relation between hydrology and science of water resources[J]. Advances in Water Science, 1999, 10(3): 215-218.]
- [6] 王浩, 王建华, 秦大庸, 等. 现代水资源评价及水资源学学科体系研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 12-17. [Wang H, Wang J H, Qin D Y, et al. The study on water resources assessment and subject system of water resources study on modern times[J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(1): 12-17.]
- [7] 陈传友, 王春元, 高迎春. 论水资源学[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(2): 1-6. [Chen C Y, Wang C Y, Gao Y C. On water resources science[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2002, 22(2): 1-6.]
- [8] 夏军, 左其享. 我国水资源学术交流十年总结与展望[J]. 自然资源学报, 2013, 28(9): 1488-1497. [Xia J, Zuo Q T. China's decade summary and prospect of water resources academic exchange[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(9): 1488-1497.]
- [9] 韩宇平, 贾冬冬, 王春颖. 基于文献计量的水资源学发展研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(5): 54-62. [Han Y P, Jia D D, Wang C Y. Development Research of Water Resources Science Based on Bibliometric Method[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2017, 38(5): 54-62.]
- [10] 陈志恺. 中国水利百科全书: 水文与水资源分册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004. [Chen Z K. Encyclopedia of Water Resources in China: Hydrology and Water Resources[M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2004.]
- [11] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). International Glossary of Hydrology[R/OL]. (2012-09-01) [2021-05-01]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862?1=null&queryId=ab3a0199-a818-4f03-84b1-c21f290f8033>.
- [12] 左其享, 窦明, 马军霞. 水资源学教程. 2版[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016. [Zuo Q T, Dou M, Ma J X. Water Resources Research. 2nd Ed.[M]. China Water & Power Press, 2016.]
- [13] United Nations, European Commission, Food and Agriculture Organization, International Monetary Fund, Organization for Economic Cooperation and Development, The World Bank. System of Environmental-economic Accounting 2012: Central Framework[R/OL]. (2014-02-01) [2021-05-01]. [https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaRev/SEEA\\_CF\\_Final\\_en.pdf](https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaRev/SEEA_CF_Final_en.pdf).
- [14] Chiras D D, Reganold J P, Owen O S. Natural Resource Conservation[M]. Charlottesville: Pearson Press, 2009.
- [15] Food and Agriculture Organization. Towards a Water and Food Secure Future[R/OL]. (2015-06-15) [2021-05-01]. <https://www.fao.org/3/i4560e/i4560e.pdf>.
- [16] 中国科学院自然科学史研究所地学史组. 中国古代地理学史[M]. 北京: 科学出版社, 1984. [Institute of the History of Natural Science, Chinese Academy of Sciences. The History of Chinese Ancient Geography[M]. Beijing: Science Press, 1984.]
- [17] 中国资源科学百科全书编辑委员会. 中国资源科学百科全书[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2000. [Editorial Board of Encyclopedia of Resources Science in China. Encyclopedia of Resources Science in China[M]. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 2000.]
- [18] 陈国光, 张晓东, 张洁, 等. 自然资源分类体系探讨[J]. 华东地质, 2020, 41(3): 209-214. [Chen G G, Zhang X D, Zhang J, et al. Discussion on natural resources classification system[J]. East China Geology, 2020, 41(3): 209-214.]
- [19] 郝爱兵, 殷志强, 彭令, 等. 学理与法理和管理相结合的自然资源分类刍议[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(6): 1-7. [Hao A B, Yin Z Q, Peng L, et al. A discussion of the classification of natural resources based on the combination of academic-legal principles and management[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(6): 1-7.]
- [20] 孙兴丽, 刘晓煌, 刘晓洁, 等. 面向统一管理的自然资源分类体系研究[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1860-1869. [Sun X L, Liu X H, Liu X J, et al. Classification system of natural resources for integrated management[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1860-1869.]
- [21] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报-2019[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020. [Ministry of Water Resources, PRC. Water Resources and Environment in China, 2019[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2020.]
- [22] 中华人民共和国水利部. 建设项目水资源论证导则: SL 322-2013[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014. [Ministry of Water Resources, PRC. The Guidelines for Water Resources Assessment of Construction Projects: SL 322-2013[S]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2014.]
- [23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市水系规划规范: GB 50513-2009[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development, PRC. Code for Urban Water System: GB 50513-2009[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.]
- [24] 中华人民共和国国家技术监督局. 地下水资源分类分级标准: GB 15218-1994[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995. [State Bureau of Technical Supervision, PRC. Standards of Classification for Groundwater Resources: GB 15218-1994[S]. Beijing: Standards Press of China, 1995.]
- [25] 苏超. 对地下水资源分类法的探讨[J]. 地下水, 1989, 11(2): 65-68. [Su C. Discussion on classification of groundwater resources[J]. Ground Water, 1989, 11(2): 65-68.]
- [26] 李世忠, 王宏义. 我国矿水资源的分类及其利用[J]. 资源开发与保护, 1992, 8(1): 60-62. [Li S Z, Wang H Y. Study on the classification of mineral water resources in China[J]. Resource Development and Protection, 1992, 8(1): 60-62.]



- cation and utilization of mineral resources in China[J]. Resources Development and Protection, 1992, 8(1): 60–62.]
- [27] 李佩成, 寸待贵, 岳亮, 等. 再论景观水资源及其分类[J]. 水科学进展, 1998, 9(2): 71–75. [Li P C, Cun D G, Yue L, et al. Second remark on scenic water resources[J]. Advances in Water Science, 1998, 9(2): 71–75.]
- [28] 周维博, 李佩成. 灌溉水资源的分类与功能分析[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(1): 62–66. [Zhou W B, Li P C. Study on the classification and function of irrigation water resources[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003, 22(1): 62–66.]
- [29] 陈家琦, 王浩. 水资源学概论[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. [Chen J Q, Wang H. An Introduction to Water Resources Science[M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 1996.]
- [30] 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 Q T, Zhao H, Ma J X. Study on harmony equilibrium between water resources and economic society development[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(7): 785–792.]
- [31] 左其亭, 吴滨滨, 张伟, 等. 跨界河流分水理论方法及黄河分水新方案计算[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 37–45. [Zuo Q T, Wu B B, Zhang W, et al. A method of water distribution in transboundary rivers and the new calculation scheme of the Yellow River water distribution[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 37–45.]

## Classification scheme of water resources and its disciplinary system

ZUO Qiting<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Zhizhuo<sup>1,2</sup>, MA Junxia<sup>1,2</sup>

(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; 3. Zhengzhou Key Laboratory of Water Resource and Environment, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The definition and classification of water resources are the basis of conducting water resources research and management. The construction of the disciplinary system of water resources science is of great significance to the future development of the discipline. The classification of water resources further clarifies the research objects of water resources and is the basic content of constructing the disciplinary system of water resources science. Based on a framework of multi-principle, multi-dimension, and multi-category, a new classification scheme of water resources was put forward, which includes 26 categories in 9 dimensions. On the basis of summarizing the development history of water resources science, this study constructed the disciplinary system framework of water resources science, clarified the research objects of water resources science, and identified representative theoretical systems including the principle of water balance, the theory of water resources value, the theory of sustainable use of water resources, and the theory of human-water harmony. It also summarized the methodology covering monitoring and simulation methods, water resources models and other methods, and a series of applications. Considering the classification of water resources, the branches of water resources school are discussed from different perspectives, as well as the prospect and development directions of the research of water resources science. This study provides a reference for the research and management of water resources and the disciplinary development of water resources science.

**Key words:** water resources; water resources classification; water resources science; disciplinary system; development layout