

基于循环耦合视角的区域水资源资产核算

张丹丹¹, 沈菊琴²

(1. 南京师范大学金陵女子学院, 南京 210097; 2. 河海大学农业科学与工程学院, 南京 211100)

摘要: 为实现区域水资源平衡与社会经济高质量协同发展, 提高水资源资产化管理水平, 在系统分析多元水循环模式下水资源系统演变规律与水资源要素远程耦合的基础上, 提出水资源资产核算边界的多种分类方法; 从循环耦合视角出发, 利用水足迹分析方法, 构建考虑实体水与虚拟水相结合的水资源资产核算模型, 核算并分析中国各省(市、自治区)水资源资产情况。研究结果有助于厘清双循环新格局下水资源资产动态耦合的内在机理, 拓展水资源核算的理论体系, 为国家和区域开展水资源资产核算提供有益的科学参考。

关键词: 水资源资产核算; 虚拟水资源资产; 多元水循环模式; 核算边界

随着探索编制自然资源资产负债表的提出及自然资源确权登记的实施, 资产的范围延伸至自然资源与环境^[1-3]。水资源是无法替代的自然资源, 更是生产生活不可或缺的元素。从资产层面而言, 水资源资产具备了资产的特征: 所有的水资源资产都存在所有权主体; 通过开发利用产生了可观的经济利益, 且正在产生更大的经济利益; 不同于阳光、空气、微生物等自然资源, 水资源资产在被利用的过程中能够控制未来可预期的经济利益^[4]。随着国民经济不断发展, 对水资源的刚性需求快速增长, 在用水竞争愈演愈烈、水环境质量每况愈下的情况下, 探索如何核算国家和地区社会经济活动对水资源的实际占用情况以客观反映经济发展与资源环境之间的关系, 成为推动社会经济系统良性运行的关键环节。

开展水资源资产核算作为编制水资源资产负债表及推动生态文明制度建设的重要内容, 关系到整个生态文明的发展进程。尽管国内外学者对水资源核算的研究层出不穷, 但在水资源资产核算环节并未真实反映出水资源资产要素的特点, 且具有一定的模糊性^[5]。关于水资源资产的内涵, 沈菊琴等^[6,7]基于水利工程管理角度, 认为水资源资产是通过现代技术获得的、可以被控制的、已经在生产生活中使用且为用水主体带来效益的水资源; 甘泓等^[8]、贾玲等^[9]、周普等^[10]、秦长海等^[11]以水权益实体涉水活动为核算对象, 指出水资源资产是水权益实体拥有或管理的, 预期会给水权益实体带来经济利益的水资源。宋晓谕等^[12]借鉴 SEAW 和 AWAS 核算体系, 将水资源资产界定为具有稀缺性、有用性以及产权明确的水资源。在实践层面, 主要基于统计和会计两种思路对水资源的核算进行研究。各政府的水资源管理统计年报和水资源公报中所涉及的水资源核算以供用水统计为主, 并对降水、蒸发、渗漏等水量变动信息进行披露^[13]。在水资源资产负债表的编制中, 类似于其他自然资源, 对于水资源实物量的核算主要是量化在某一核算期间内

收稿日期: 2023-04-03; 修订日期: 2023-09-19

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (23YJC910010); 江苏省社会科学基金后期资助项目 (22HQB14)

作者简介: 张丹丹 (1991-), 女, 江苏南通人, 博士, 讲师, 研究方向为环境会计、自然资源资产核算。

E-mail: zhangdandan@nnu.edu.cn

水资源的期初、期末总量及存量变化情况,反映水量平衡状况^[14-16]。

学者们在展开水资源核算的过程中往往忽略了一个事实,在一定区域内社会经济发展对水资源的需求在潜在意义上可能已经突破该区域所能提供的上限,在水资源商品化与资源配置全球化的背景下,区域以及全球的水资源面临严峻的挑战^[17]。有别于国民经济核算体系下的水资源核算方法,水足迹可以用来核算特定时空尺度下消费的服务和产品所需的水资源量,成为反映水资源经济学意义的重要工具^[18]。水足迹作为一种衡量用水的指标,将虚拟水与人类消费相联系,为解决水资源安全问题提供了新的方向,拓宽了水资源资产研究的视角^[19,20]。随着对水资源资产内涵的理解不断丰富,将虚拟水纳入水资源资产核算范畴,既可以反映实体水资源的稀缺性,体现水资源的价值,同时在产业间用水需求膨胀、用水竞争加剧的情况下,反映用水产生的经济效益。基于上述背景,本文分析多元水循环过程中水资源资产系统演变规律,构建循环耦合视角下区域水资源资产核算框架,以省区为空间尺度,对中国31个省(市、自治区)的水资源资产进行核算并展开多层面评价,旨在为提升中国水资源可持续利用水平、实现社会经济与水资源系统协调发展提供科学合理的依据,同时也是将水资源资产实物量核算结果转向为水资源管理和生产实践服务的创新尝试。

1 多元水循环模式下水资源系统近远程耦合分析

在国际国内双循环加速要素和资源流动的影响下,水循环理论与系统耦合理论为探索水资源资产的确认及明确水资源资产空间转移路径提供了理论支撑^[21]。自人类对水资源进行开发利用以来,几乎已经不存在纯粹的自然水循环过程。自然水循环下的水资源被当地提取作为社会再生产的关键要素,出现在生产的各个环节并处于持续流动过程,形成水资源在社会经济系统的运动,即社会水循环过程^[22,23]。水资源的公共性和经济特征使得水资源资产与水资源有所区分^[24]。相比于水资源,水资源资产是可以反映水资源经济属性的那部分水资源,并且与水循环理论中的社会水循环通量重合。

从地理学视角来看,水资源系统近远程耦合的本质是水资源开发利用蕴含的人地耦合关系从邻近扩展到更远距离的过程。贸易是推动经济快速发展的内在驱动,在贸易环节各生产要素在各地区各部门之间流动,成为联结区域间社会经济联系的重要纽带。随着地区间贸易往来日益频繁,水资源循环过程除了自然状态下的运动以及参与社会再生产外还存在着其他的形式,即在贸易全球化趋势下所形成的“贸易水循环”^[25,26]。贸易水循环是指水资源在区域间以产品和服务贸易流通方式而形成的水循环,其本质是在产品贸易过程中因虚拟水的流通而引起的水循环过程。区域间的产品贸易使得各区域围绕水资源构建起紧密的关系,并在确保重点地区安全用水的基础上使得区域之间相互影响和作用。随着市场经济下的跨地区贸易不断加强,各地区所消费的绝大多数产品往往是由其他地区提供而不再由本地生产。在这种情况下,贸易水循环在区域社会再生产环节发挥着越来越关键的作用。区域水循环过程逐步演化成由自然水循环、社会水循环以及贸易水循环共同组成的多元水循环过程(图1)。归根究底,导致多元水循环过程形成的内在原因是人口数量快速增长下的地区经济发展对各类产品的消费需求与当地物质供给的不匹配,其推动力源自于更大区域范围内的经济发展与人口增长对物质产品的需求与资

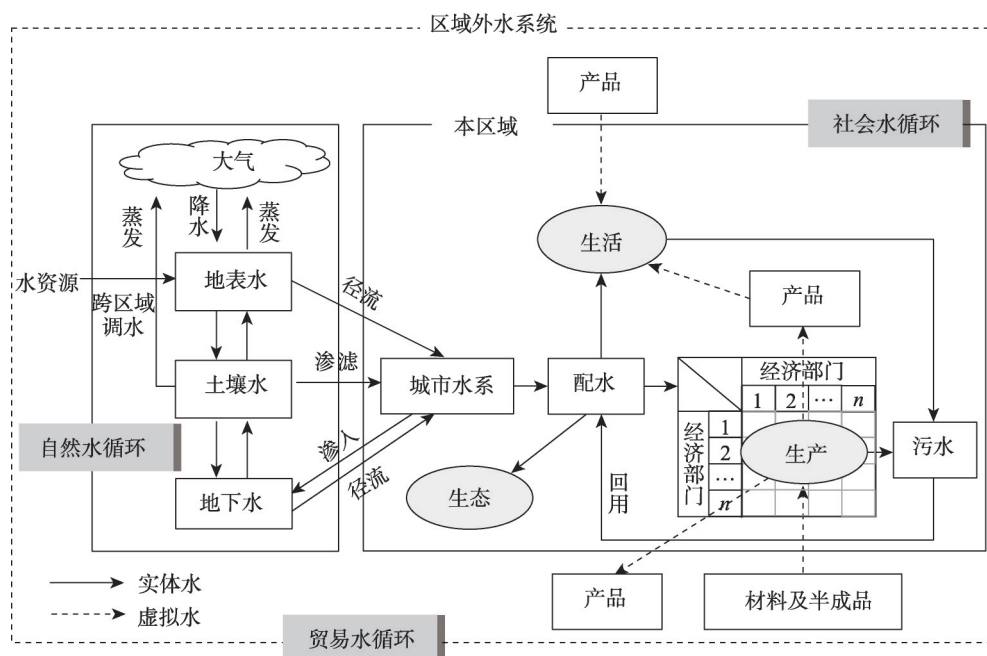


图1 多元水循环模式

Fig. 1 Multiple water circulation mode

源供给不足的综合势差。

多元水循环模式是在自然、社会及贸易等多个相关联系系统的运转过程中所产生的协同演化状态。具体体现为水资源在自然与社会系统循环以及在社会与贸易系统循环的过程中产生互相联动及反馈关系，并伴随时空演化特性。水资源在自然—社会水循环期间，其可供使用的数量和时空分布特征对地区经济生产和社会发展具有重要影响，并间接影响了区域间贸易水循环的供需关系。例如，在中国的北方地区水资源相对稀少，在农业方面以抗旱作物种植为主并大力发展节水农业，同时采取空冷发电等技术措施以节约水资源。相对北方地区而言，南方地区水资源较多，高耗水企业规模较大，在农业方面主要是推广水稻种植，在产业方面采取直流水冷发电技术，这些均会消耗较多的水资源。在南北方水资源分布差异极其显著的情况下，嵌入虚拟水产品的流通和消费结构对实体水资源的需求及传输过程带来反馈效果^[27]。随着北方地区经济发展速度的逐步提升，水资源的使用量也与日俱增。以粮食生产为例，在北方粮食种植区所生产的粮食除了提供给本地区的居民使用以外，也会被大量输送至南方地区，在这种情况下隐含在粮食中的大量的虚拟水资源流向南方地区，使得北方地区水资源更加稀缺。

在自然—社会—贸易多元水循环模式中，水资源资产系统的演变规律是水资源通过物理流、效用流以及价值流的形式在所处的时空范围进行流动^[28]。水资源的空间转移包括三个环节：（1）水资源在运送过程中的物理流过程，即实体水资源的流动。具体表现为大气中的水汽通过降雨在地表形成径流，通过人为的引水和调水工程对水资源进行提取，同时土壤水和地表水通过蒸散发作用回到大气中，形成实体水循环流动回路。（2）水资源被投入生产活动中并形成嵌入产品的虚拟水过程，即实体水向虚拟水

的转化。具体表现为生产活动中的取水、用水、耗水并最终虚拟水嵌入产品的形式实现水资源的价值。(3) 产品的流通和消费过程,表现为在产品贸易和消费下,形成以产品贸易、产品消费、产品残值回收为路径的虚拟水利用耗散过程。这三个环节均形成闭环回路,并且相互交织耦合,构成水资源资产在自然—社会—贸易中的循环交互作用。在人类生产生活范围不断增强的情况下,社会经济发展空间也得到延伸,并且受影响范围逐步扩展至省域、国家之间,水资源资产在多元水循环模式下的动态耦合现象越发显著(图2)。

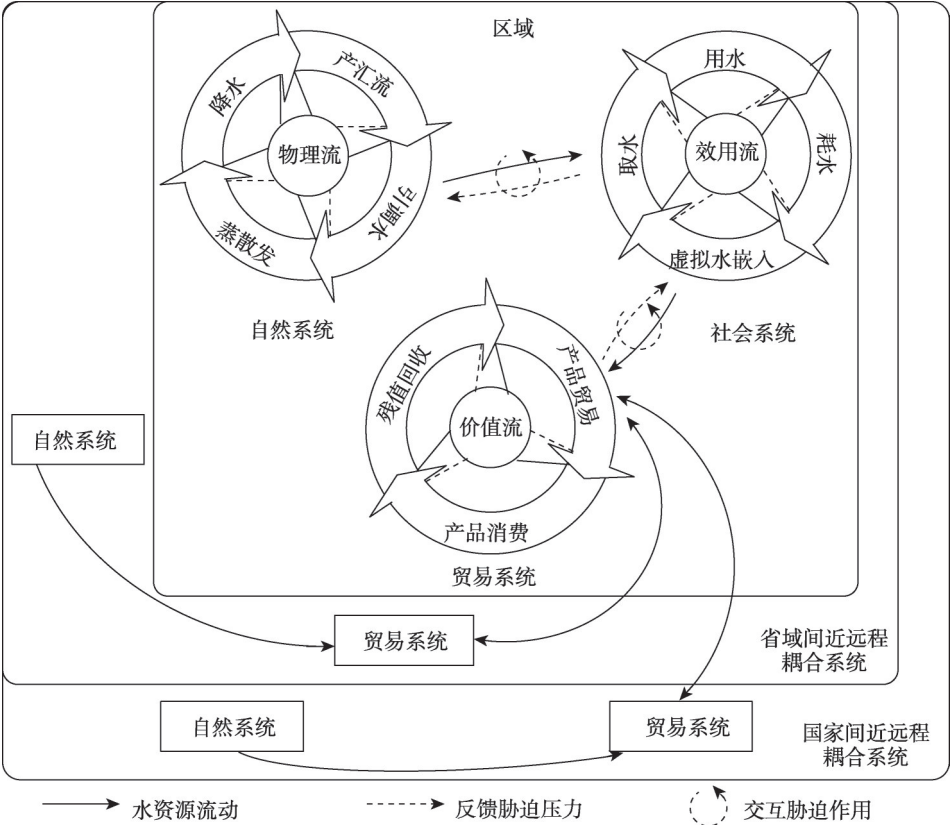


图2 水资源系统近远程耦合理论框架

Fig. 2 Theoretical framework of near-remote coupling of water resources system

水量平衡是诠释社会经济系统和生态系统联结的主要方面。多元水循环模式源于流域水循环,它遵循客观的水量平衡规律但又具备自身的特殊性,在多元水循环过程中水量平衡被应用到更为广泛的社会再生产范畴之中,从单一地区延伸至多个地区的相对平衡,因而可以在不同尺度上实现水资源系统与社会经济系统的有效耦合。

2 水资源资产核算边界

水资源资产仅为水资源的一部分,其边界要小于水资源的边界^[24]。按照不同的依据,水资源资产的核算边界有多种分类方法。

(1) 根据地理边界,划分为区域内部水资源资产与区域外部水资源资产。地理边界

是从地理维度层面进行考虑,如以行政区域为边界或以其他地理特征范围为边界,但需以边界范围清晰为前提条件。区域内部水资源资产包括了区域地理范围内所有水资源资产的使用,具体涉及区域内部生产生活使用的水资源、最终消费的水资源和出口的水资源。区域外部水资源资产是指对区域地理边界外的水资源的利用,包括利用跨区域调水资源、以贸易方式消耗的区域外水资源。这种分类方式是严格根据水资源所处的地理位置进行划分的,广泛适用于国家、省域及企业主体层面水资源资产的核算。

(2) 根据水资源的利用过程或流程,划分为上游过程、内部过程以及下游过程水资源资产。结合产品和服务生命周期理论,上游过程水资源资产是指用于区域内消费的产品在生产、加工、运输等供应链上游过程的水资源利用,包括进口的产品和服务;内部过程水资源资产是指在区域范围内生产生活对水资源的直接利用;下游过程水资源资产指产品在消费之后处理过程中被耗费的水,如废水处理流程中消耗的水资源,另外还包括在区域内部生产但用于出口的产品和服务所消耗的水资源。通过从上游过程、内部过程和下游过程对水资源资产核算边界进行分类,体现出水资源作为不可或缺的物质资料在社会经济系统的流动,并最终以废水的形式回归到自然界中的完整流程,客观反映涉水产业活动、产品供求以及资本形成等情况。

(3) 根据水资源利用的主体,划分为生产维度水资源资产与消费维度水资源资产。生产维度水资源资产是在区域范围内生产产品和提供服务所使用的水资源,与外部经济无关,仅与本区域的经济发展和最终消费量和出口量相关。消费维度水资源资产是区域范围内所有企业及公众消费产品或服务而消耗的水资源,这些水资源可能来源于区域地理边界内,也可能是地理边界外。从生产维度对水资源资产进行核算的理论及方法较为完善,各地区可以采取适用于自身情况的核算方法开展核算,并进行区域之间的横向比较。但生产维度核算水资源资产并没有将区域间水资源的运移纳入核算范畴,无法展现出水资源资产的全貌。基于消费维度核算水资源资产也存在其局限性,如用于出口的产品所包含的水资源并没有被核算,且其核算方法较为复杂,受数据质量影响程度较大。

(4) 根据水资源资产所处的物理状态,划分为实体水资源资产与虚拟水资源资产。在水资源的实际利用中,实体水资源资产的主要来源包括地表水和地下水等常规水资源,也包括流域外调水、污水回用等非常规水资源。由于水资源的多功能性、水生态系统的复杂性及水资源开发利用活动的多样性,虚拟水资源成为水资源的重要体现形式。虚拟水资源资产是指在生产产品及提供服务过程中所消耗的水资源量,即隐含在产品和服务中的虚拟水资源量^[29]。随着20世纪末期虚拟水资源的概念被提出后,针对虚拟水的研究被广泛运用于分析商品贸易过程中水资源的转移以及优化贸易结构研究^[30]。

四组边界界定方法中,第一组、第二组以及第四组界定方法内部各要素之间均为并列关系,将每组内的各元素加总即为总的水资源资产。但需要注意的是,由于对区域外和虚拟水的核算与计入程度不同,利用这三组方法分别进行核算所得到的水资源资产总量并不一致。对于第三组而言,由于是从两种不同的角度看待水资源资产核算边界,维度的不同导致计算方法存在较大程度不一致,因此在大多数情况下分别从生产与消费两种维度进行核算得到的水资源资产绝对量并不相同。在这两类核算维度中,关于生产维度核算方法的研究相对完善,而如何从消费维度开展核算是学者们当前研究的重点及热点问题。

3 研究方法与数据来源

3.1 循环耦合视角下水资源资产核算模型

水资源资产实物量的核算需要重点体现用水总量控制下社会经济活动对水资源的利用情况,是政府社会经济责任的体现。除了将实体水的利用作为水资源资产外,所消费的产品及服务中蕴含的虚拟水也是水资源资产的一种特殊表现形式。各区域实际耗用的水资源,既包括对本区域水资源的直接利用,也包括了隐含在省外调入及国外进口的产品及服务之中,在对其进行一系列的生产和加工流程后,这些水资源一部分留在当地被直接消费,一部分仍以产品或服务的形式输送至其他省份和国家。通过虚拟水贸易的方式可以缓解水资源压力,在本质上是增加了水资源的利用量。对于缺水省份而言,可以利用产品贸易的方式将用水压力转移至其他省份或国外^[31]。

有别于大多数研究将水资源储藏量视为水资源资产,本文将水资源资产的核算范畴界定为直接利用的实体水资源量与外部净流入的虚拟水资源量之和。需要强调的是,直接利用的实体水资源资产是从自然系统提取并被生产生活所利用的水资源,当发生区域间贸易或对外贸易时,这部分资源应计入虚拟水资源资产的核算范畴。本文构建基于循环耦合视角的水资源资产核算模型,表征在自然—社会—贸易水循环模式下区域内直接利用的实体水资源资产与贸易方式下净流入的虚拟水资源资产,计算公式为:

$$W_A = W_P + W_V = W_P + (Q_M + Q_{MF} - Q_E - Q_{EF}) \quad (1)$$

式中: W_A 为水资源资产量 (亿 m^3); W_P 为直接利用的实体水资源量 (亿 m^3); W_V 为贸易情况下虚拟水资源净流入量 (亿 m^3); Q_M 为国外进口虚拟水资源量 (亿 m^3); Q_{MF} 为国内其他地区流入虚拟水资源量 (亿 m^3); Q_E 为国外出口虚拟水资源量 (亿 m^3); Q_{EF} 为国内其他地区流出虚拟水资源量 (亿 m^3)。

3.1.1 实体水资源资产核算

关于直接利用的实体水资源资产的核算,可从实体水资源的供给方面对其核算,即参照不同的来源汇总核算所使用的地表水、地下水及其他来源水资源资产;也可从实体水资源资产的使用方面对其核算,即参照水资源用途及其用水特性汇总核算农业、工业、生活、生态用水量。根据物质平衡原理,两者的核算结果是一致的,计算公式为:

$$W_P = Q_{sur} + Q_{gro} + Q_{oth} = Q_{agr} + Q_{ind} + Q_{dom} + Q_{eco} \quad (2)$$

式中: W_P 表示实体水资源资产 (亿 m^3); Q_{sur} 表示生产生活所使用的地表水资源资产 (亿 m^3); Q_{gro} 为生产生活使用的地下水水资源资产 (亿 m^3); Q_{oth} 为其他来源的水资源资产 (亿 m^3), 包括流域外调水、污水回用、海水淡化以及微咸水等; Q_{agr} 为农业用水资源资产 (亿 m^3); Q_{ind} 为工业用水资源资产 (亿 m^3); Q_{dom} 为生活用水资源资产 (亿 m^3); Q_{eco} 为生态用水资源资产 (亿 m^3)。

3.1.2 虚拟水资源资产核算

人与自然环境之间通过中间产物进行耦合联系,投入产出是人地系统中最为基础的双向作用过程。对于虚拟水资源资产的测算,可利用投入产出分析方法,建立能够反映区域间贸易和对外贸易中虚拟水资源资产转移路径的环境投入产出模型^[32]。假设存在 R 个区域,对于任意区域 r 内的任意经济部门 i 的产品产出存在:

$$x_i^r = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^r + y_i^r + e_i^r + ef_i^r - m_i^r - mf_i^r, i=1, \dots, n \quad (3)$$

式中： x_i^r 为 r 区域中第 i 经济部门的总产出（万元）； a_{ij} 为第 j 经济部门对第 i 经济部门产品的直接消耗系数； y_i^r 为第 i 经济部门产品的最终消费及资本形成总额（万元）； e_i^r 和 m_i^r 为第 i 经济部门在对外贸易过程中产品的出口和进口（万元）； ef_i^r 和 mf_i^r 为第 i 经济部门在区域贸易过程产生的对其他 $R-1$ 个区域的产品流出及流入（万元）。

对于任意 r 区域的所有经济部门，可用矩阵代数形式表示为：

$$X = AX + Y + E + EF - M - MF \quad (4)$$

式中： X 为 r 区域的各经济部门产品总产出列向量（ $n \times 1$ ）； A 为 r 区域内的直接消耗系数矩阵（ $n \times n$ ）； Y 为 r 区域的最终消费及资本形成总额列向量（ $n \times 1$ ）； E 和 M 分别为 r 区域的出口列向量（ $n \times 1$ ）和进口列向量（ $n \times 1$ ）； EF 和 MF 分别为 r 区域的国内流出向量（ $n \times 1$ ）和国内流入向量（ $n \times 1$ ）。

对式（4）进行求解：

$$X = (I - A)^{-1} (Y + E + EF - M - MF) \quad (5)$$

式中： $(I - A)^{-1}$ 为Leontief逆矩阵。

假设 $D = \{d_i^r\}$ 表示 r 区域中经济部门直接用水系数的行向量，元素 d_i^r 为第 i 经济部门生产单位产品对该地区自然状态下水资源的直接消耗量，则 r 区域需要提供的水资源总量 Q 的计算公式为：

$$Q = DX = D(I - A)^{-1} (Y + E + EF - M - MF) \quad (6)$$

式中： $D(I - A)^{-1}$ 为区域单位部门产品产出的完全用水系数。

根据投入产出表，区域内的用水总量与以下用水量相关：因最终消费及资本形成而消耗的水资源量、国外出口以及国内流出的虚拟水资源量、国外进口以及国内流入的虚拟水资源量。考虑到各进口来源国家以及区域直接（完全）用水向量较难直接获得，本文采用本区域直接（完全）用水向量代替进口来源国家直接（完全）用水向量，采用中国整体直接（完全）用水向量代替国内流入区域直接（完全）用水向量^[33,34]。

$$\text{国外出口虚拟水资源量 } Q_E: Q_E = D(I - A)^{-1} E \quad (7)$$

$$\text{国内流出虚拟水资源量 } Q_{EF}: Q_{EF} = D(I - A)^{-1} EF \quad (8)$$

$$\text{国外进口虚拟水资源量 } Q_M: Q_M = D(I - A)^{-1} M \quad (9)$$

$$\text{国内流入虚拟水资源量 } Q_{MF}: Q_{MF} = D(I - A)^{-1} MF \quad (10)$$

在贸易情况下， r 区域的虚拟水资源的净进口量 Q_B 和净国内流入量 Q_{BF} 分别为：

$$Q_B = D(I - A)^{-1} (M - E) \quad (11)$$

$$Q_{BF} = D(I - A)^{-1} (MF - EF) \quad (12)$$

式中： Q_B 和 Q_{BF} 分别为 r 区域在对外贸易与区域间贸易中引起的虚拟水资源转移。当 $Q_B > 0$ 时，表明 r 区域在对外贸易导致的虚拟水资源资产流动中表现为净流入状态；当 $Q_{BF} > 0$ 时，表明 r 区域在区域间贸易导致的虚拟水资源资产流动中表现为净流入状态。 $W_V = Q_B + Q_{BF}$ 为虚拟水资源净流入量，反映 r 区域参与两类贸易所引起的虚拟水资源资产流动的总体情况。

3.2 水资源资产核算相关指标

(1) 资源压力指数

将资源压力指数定义为自然—社会水循环过程中从自然界提取的实体水资源量占自然状态下水资源总量的比例。资源压力指数越大,表明社会经济发展导致的水资源供需矛盾越大。计算公式为:

$$I_p = W_p / W \quad (13)$$

式中: I_p 为资源压力指数,反映社会系统对水资源的取用情况; W_p 为实体水资源资产(亿 m^3); W 为自然状态下的水资源总量(亿 m^3)。

(2) 水资源资产贸易依赖度

将水资源资产贸易依赖度定义为考虑贸易情况下净流入的虚拟水资源占水资源资产的比例。水资源资产贸易依赖度越高,意味着虚拟水贸易对解决地区水资源供需矛盾发挥的作用越大。计算公式为:

$$I_d = W_v / (W_p + W_v) \quad (14)$$

式中: I_d 为水资源资产贸易依赖度,反映贸易系统对水资源资产的支撑程度; W_v 为虚拟水资源净流入量(亿 m^3)。

综上,水资源资产可以表示为自然系统、社会用水系统以及贸易系统共同作用下的结果:

$$W_A = W \times I_p / (1 - I_d) \quad (15)$$

3.3 数据来源及处理

本文所需数据分为两类,分别为各省(市、自治区)农业、工业、生活及生态等直接用水量数据,以及各省(市、自治区)对外贸易与省际贸易的投入产出数据。

(1) 各省(市、自治区)农业用水总量、工业用水总量、生活用水总量及生态用水总量数据可从中国统计年鉴的供水用水情况表中获取。统计年鉴中的供用水数据已经包含了输水损失,即考虑存在合理损失的情况。

(2) 各省(市、自治区)对外贸易与省际贸易的投入产出数据主要来自于中国地区投入产出表。中国投入产出核算体系以五年为间隔进行数据的更新,当前最新的数据源自于2020年出版的《中国地区投入产出表——2017》,存在时间滞后问题。目前已有团队利用公开的数据进行其他年份的地区投入产出表的计算,并通过调整使得各省投入产出表之和与全国表吻合,本文仅以统计部门最新公开的直接数据为例进行水资源资产核算模型的应用。

(3) 由于官方并未对外发布各省(市、自治区)2017年工业各部门的具体用水数据,需要进行间接计算推导。工业各部门用水数据可根据当年工业用水总量数据,按照地区投入产出表中水的生产与供应业对各部门的中间投入占其用于各部门中间投入之和的比例进行分配。

(4) 第三产业各部门的具体用水数据,可查询当年水资源公报获取。部分省(市、自治区)水资源公报中未对外公布的相应数据,可将城镇公共用水量视同第三产业用水量。按照地区投入产出表中水的生产与供应业对各部门的中间投入占其用于各部门中间投入之和的百分比进行分配,可得到第三产业各部门用水数据,具体计算可参照工业各部门用水分配方法。

4 结果分析

4.1 实体水资源资产核算

通过流量的形式具体描绘各地区实体水资源资产的供给与使用情况（图3）。各省（市、自治区）所供给的地表水资源资产、地下水资源资产和其他水资源资产三项之和与本区域的农业用水资源资产、工业用水资源资产、生活用水资源资产和生态用水资源资产四项之和相等。

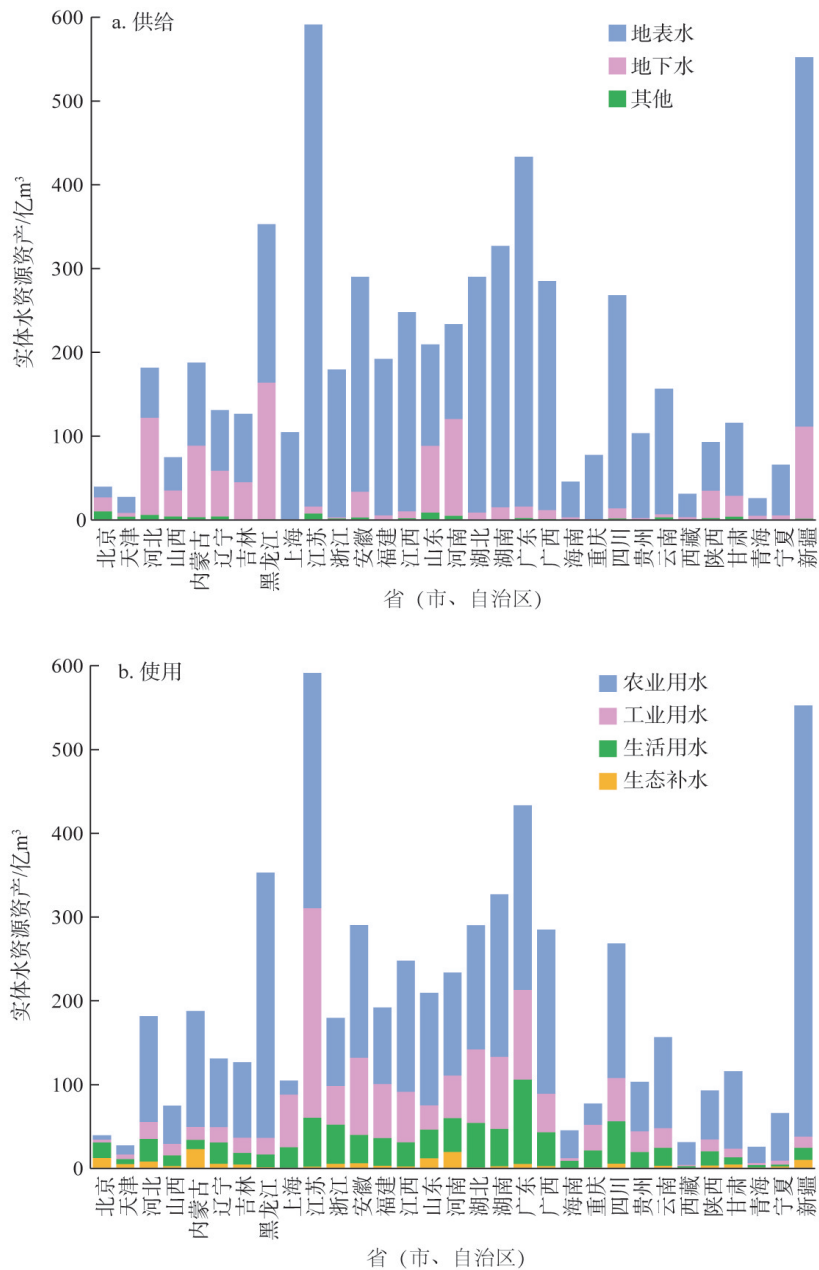


图3 实体水资源资产的供给与使用

Fig. 3 Supply and use of physical water resources assets

(1) 水资源资产的供给

在水资源资产的“来源”上，2017年全国实体水资源资产总量为6043.4亿m³。其中地表水资源资产最高，为4945.5亿m³，占实体水资源资产总量比重的81.83%；地下水资源资产和其他水资源资产分别占比16.82%和1.35%。在省域层面，江苏的地表水资源资产最高（占比11.63%），为575.3亿m³；其次是新疆（占比8.92%），为440.9亿m³；北京的地表水资源资产最低（占比0.25%），为12.4亿m³。在地下水资源资产中，黑龙江的地下水资源资产最高（占比16.04%），为163.1亿m³；其次为河北（占比11.41%），为116.0亿m³；上海的地下水资源资产为0。

(2) 水资源资产的使用

在水资源资产的“去向”上，农业用水资源资产占据较大比例，其次为工业用水资源资产、生活用水资源资产，生态用水资源资产占比最小。对于农业用水资源资产，新疆农业用水资源资产最大（514.4亿m³），高居全国首位，黑龙江次之（316.4亿m³），江苏位居第三（280.6亿m³），北京最小（5.1亿m³）。新疆、江苏以及黑龙江是中国粮食主产地，农业用水是用水大户，三地区农业用水资源资产在全国农业用水资源资产总量中占比接近30%。对于工业用水资源资产，江苏、广东、湖北三省的工业用水资源资产占比位居前三。江苏工业用水资源资产最高，为250.1亿m³，广东和湖北两省份的工业用水资源资产分别为107.0亿m³和92.2亿m³，三省工业用水资源资产占全国工业用水资源资产总量的比例为35.18%。广东、江苏、湖南生活用水资源资产产量分别为100.9亿m³、58.5亿m³、53.2亿m³，占全国生活用水资源资产总量的25.37%。

4.2 虚拟水资源资产核算

2017年中国各省（市、自治区）的虚拟水资源的净进口量、净国内流入量和净流入量的具体计算结果见图4。通过分析区域间贸易及对外贸易所展现的虚拟水资源资产流

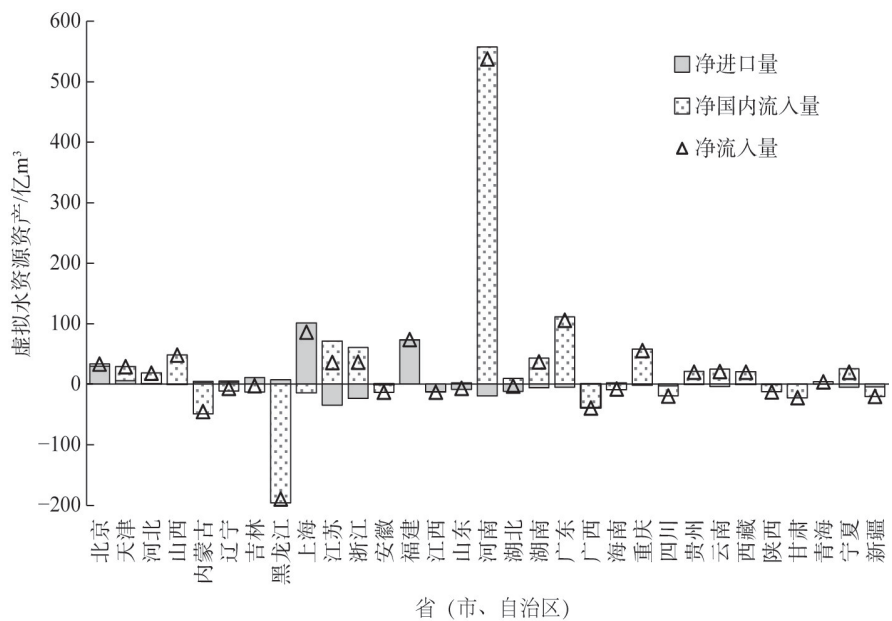


图4 贸易流入虚拟水资源情况
Fig. 4 Virtual water resources from trade inflows

动情况, 总结中国虚拟水资源资产流动的具体特征如下:

(1) 贸易导致的不同省(市、自治区)虚拟水资源的流动方向存在差异。2017年, 贸易导致的水资源资产增加的省(市、自治区)数量大于水资源资产减少的省(市、自治区)数量。根据对净流入数据的统计, 虚拟水资源资产净流入为正的省(市、自治区)数量是17个, 河南、广东、上海的净流入量位居前三; 虚拟水资源资产净流入为负的省(市、自治区)数量是14个, 黑龙江、内蒙古、广西的净流出量位居前三。

(2) 区域间贸易导致的虚拟水资源资产流动规模超过对外贸易导致的虚拟水资源资产流动规模。除北京、上海、福建、江西、山东、湖北6省市外, 其余25个省(市、自治区)因区域间贸易引起的虚拟水资源流动规模均超过对外贸易引起的虚拟水资源流动规模, 这意味着区域间贸易导致的虚拟水资源资产流动更为明显。

(3) 部分省(市、自治区)在区域间贸易及对外贸易导致虚拟水资源资产流动中的地位存在差异。以河南和黑龙江两个省份为例进行详细说明, 河南净出口虚拟水资源量为 19.82 亿 m^3 , 表明其在对外贸易导致虚拟水资源资产流动中表现为净流出的状态; 同时, 河南净国内流入量为 556.64 亿 m^3 , 意味着其在区域间贸易导致虚拟水资源资产流动中表现为净流入的状态, 且虚拟水资源量流入规模超过了流出规模, 使得其在两类贸易下处于虚拟水资源资产净流入的状态。不同于河南的情况, 黑龙江在区域间贸易以及对外贸易导致的虚拟水资源资产流动中分别表现出净流出和净流入状态, 但虚拟水资源量的流出规模超过流入规模, 使得黑龙江处于虚拟水资源资产净流出的状态。

为了探讨不同行业虚拟水资源资产的流动情况, 本文分析了各省(市、自治区)在两类贸易中虚拟水资源资产流动的分行业情况。对于对外贸易导致的虚拟水资源资产流动, 通过汇总分行业净进口虚拟水资源资产, 计算出各区域各行业净进口虚拟水资源资产量。图5a显示, 江苏、浙江、河南等21个省(市、自治区)在对外贸易中表现为虚拟水资源净出口状态。除此之外, 上海、福建、北京等10个省(市、自治区)存在对外贸易逆差的情况, 对外贸易提升了这些地区的虚拟水资源资产水平。总体而言, 中国对外贸易表现为虚拟水资源资产净进口状态, 净进口的虚拟水资源资产为 80.21 亿 m^3 , 体现了对外贸易对中国水资源短缺危机具有可观的缓解作用。结合分行业的虚拟水资源流动情况, 制造业对外贸易导致的虚拟水资源资产流动规模影响最为明显, 并且仅有这一个行业存在虚拟水资源资产净出口情况。其他行业均表现为虚拟水资源资产净进口状态, 其中农业净进口虚拟水资源资产的数量最多, 净进口量为 167.74 亿 m^3 。除宁夏、湖北、云南等省(市、自治区)外, 中国其他省(市、自治区)在农业上均处于虚拟水资源资产净进口地位, 其中净进口量排名前三的省市分别为上海(45.36 亿 m^3)、江苏(34.93 亿 m^3)和广东(27.62 亿 m^3)。总体而言, 导致中国虚拟水资源资产流出的关键因素是东部沿海、中部、西北等区域的制造业出口, 但农业、采掘业、服务业等行业进口也在一定程度上缓解了虚拟水资源资产的流动。中国对外贸易中虚拟水资源资产流动的行业特点, 与目前中国出口导向下的加工贸易模式有关。其中虚拟水资源资产的流动受到对外贸易发展模式的影响, 这在虚拟水资源资产流动的区域与行业特征等方面得以体现。

通过对各省(市、自治区)分行业虚拟水资源资产的净国内流入量进行计算, 以反映省域间贸易导致的虚拟水资源资产流动的行业特征(图5b)。由区域间贸易导致的虚拟水资源资产流动对农业、制造业以及电力、煤气及水生产和供应业影响较大。从行业

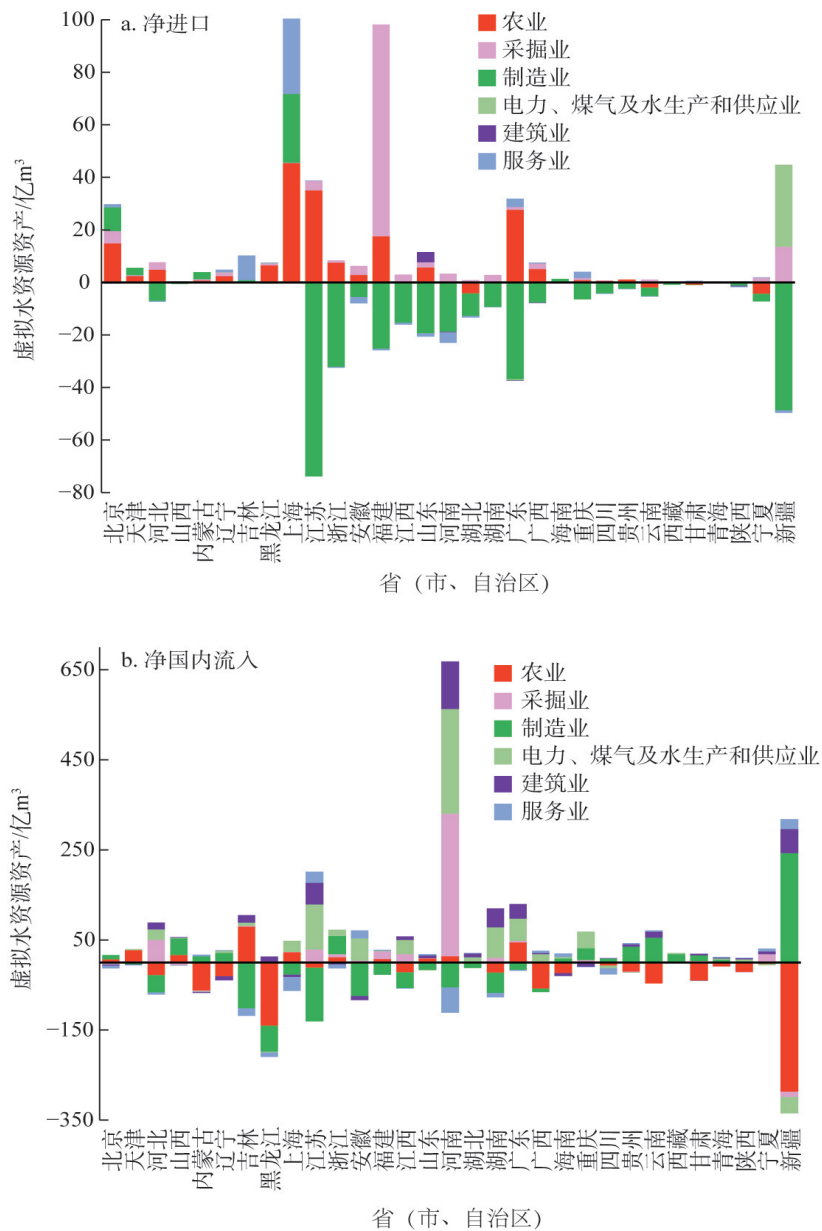


图5 分行业虚拟水资源资产
Fig. 5 Industry virtual water resources assets

来看，区域间农业贸易导致的虚拟水资源资产流动中，吉林、广东、天津、上海、山西、河南等省（市、自治区）属于虚拟水资源资产净流入区，而新疆、黑龙江、内蒙古、广西等省（市、自治区）属于虚拟水资源资产净流出区；河南、河北、江苏等省（市、自治区）是采掘业虚拟水资源资产净流入区，净流出地区为新疆、山西、北京等省（市、自治区）；对于区域间制造业贸易导致的虚拟水资源资产流动情况，新疆、云南、浙江等省（市、自治区）属于净流入区，江苏、吉林、安徽等省（市、自治区）属于净流出区；在区域间电力、煤气及水生产和供应业导致的虚拟水资源资产流动中，河南、

江苏、湖南等省（市、自治区）是虚拟水资源资产的净流入区，所流入的虚拟水资源资产来自于新疆、四川、宁夏等省（市、自治区）；河南、新疆、江苏是建筑业虚拟水资源资产净流入地区，河北、上海是服务业贸易主要的虚拟水资源资产净流出地区。

4.3 水资源资产总量核算

根据水资源资产核算模型，可计算得到中国各省（市、自治区）水资源资产数量（表1）。根据中国水资源资产空间分布情况，31个省（市、自治区）水资源资产的均值

表1 区域水资源资产情况、指标值及其排名

Table 1 Regional water resources assets, index values and rankings

区域	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江
实体水资源资产/亿m ³	39.60 (28)	27.51 (30)	181.60 (15)	74.80 (25)	187.90 (14)	131.10 (18)	126.70 (19)	353.00 (4)	104.80 (21)	591.30 (1)	179.50 (16)
虚拟水资源资产/亿m ³	32.69 (10)	28.28 (11)	17.71 (16)	47.46 (6)	-45.98 (30)	-7.45 (20)	-3.48 (18)	-190.25 (31)	85.17 (3)	35.30 (9)	35.62 (8)
水资源资产/亿m ³	72.29 (27)	55.79 (28)	199.31 (14)	122.26 (23)	141.92 (18)	123.65 (20)	123.22 (21)	162.75 (17)	189.97 (15)	626.60 (2)	215.12 (12)
资源压力指数	1.33 (5)	2.12 (3)	1.31 (6)	0.57 (10)	0.61 (9)	0.70 (8)	0.32 (16)	0.48 (14)	3.08 (2)	1.50 (4)	0.20 (20)
水资源资产贸易依赖度	0.45 (3)	0.51 (2)	0.09 (16)	0.39 (6)	-0.32 (30)	-0.06 (24)	-0.03 (19)	-1.17 (31)	0.45 (4)	0.06 (17)	0.17 (11)
区域	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆
实体水资源资产/亿m ³	290.40 (6)	192.00 (13)	248.00 (10)	209.40 (12)	233.80 (11)	290.30 (7)	327.00 (5)	433.50 (3)	285.00 (8)	45.50 (27)	77.40 (24)
虚拟水资源资产/亿m ³	-13.96 (25)	72.90 (4)	-13.69 (24)	-7.68 (21)	536.82 (1)	-3.89 (19)	36.03 (7)	105.12 (2)	-39.92 (29)	-8.71 (22)	54.63 (5)
水资源资产/亿m ³	276.44 (7)	264.90 (8)	234.31 (11)	201.72 (13)	770.62 (1)	286.41 (6)	363.03 (5)	538.62 (3)	245.08 (10)	36.79 (30)	132.03 (19)
资源压力指数	0.37 (15)	0.18 (21)	0.15 (23)	0.93 (7)	0.55 (11)	0.23 (18)	0.17 (22)	0.24 (17)	0.12 (24)	0.12 (25)	0.12 (26)
水资源资产贸易依赖度	-0.05 (22)	0.28 (8)	-0.06 (23)	-0.04 (20)	0.70 (1)	-0.01 (18)	0.10 (15)	0.20 (10)	-0.16 (26)	-0.24 (28)	0.41 (5)
区域	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆		
实体水资源资产/亿m ³	268.40 (9)	103.40 (22)	156.70 (17)	31.30 (29)	93.00 (23)	116.10 (20)	25.80 (31)	66.00 (26)	552.40 (2)		
虚拟水资源资产/亿m ³	-20.04 (26)	19.13 (15)	20.08 (12)	19.22 (14)	-13.14 (23)	-22.94 (28)	3.07 (17)	19.37 (13)	-21.04 (27)		
水资源资产/亿m ³	248.36 (9)	122.53 (22)	176.78 (16)	50.52 (29)	79.86 (26)	93.16 (24)	28.87 (31)	85.37 (25)	531.36 (4)		
资源压力指数	0.11 (27)	0.10 (28)	0.07 (29)	0.01 (31)	0.21 (19)	0.49 (13)	0.03 (30)	6.11 (1)	0.54 (12)		
水资源资产贸易依赖度	-0.08 (25)	0.16 (12)	0.11 (13)	0.38 (7)	-0.16 (27)	-0.25 (29)	0.11 (14)	0.23 (9)	-0.04 (21)		

注：括号内数字表示排名。

为219.34亿 m^3 。在数量上,河南的水资源资产数量排名第一,其次为江苏、广东,三个省份的水资源资产量分别为770.62亿 m^3 、626.60亿 m^3 、538.62亿 m^3 。河南省作为虚拟水资源资产转移的主要净流入地区,虚拟水资源资产在其水资源资产构成中占据相当大的比例;而江苏和广东作为实体水资源消耗大省,且实体水资源占水资源资产合计数的比例较大,使得其水资源资产量在各省中排名靠前。从空间层面,东部地区的水资源资产均值为229.53亿 m^3 ,但低于中部地区水资源资产均值292.38亿 m^3 ;西部地区由于经济发展和人口增长速度均明显滞后于东部和中部地区,社会经济活动对水资源的需求与利用相对较低,因而水资源资产均值最低,为161.32亿 m^3 。

由于中国不同省(市、自治区)水资源禀赋与开发利用情况存在差异,各地区间的资源压力指数差距较大。其中宁夏的资源压力指数最高,为6.11;西藏的资源压力指数最低,为0.01。在空间层面,东部地区的北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、山东,中部地区的山西以及西部地区的内蒙古、宁夏等省(市、自治区)的资源压力指数相对较高,处于第一梯队,表明上述省(市、自治区)在区域水资源平衡与社会经济高质量协同发展方面存在着较大的压力;资源压力指数相对较低的省(市、自治区)主要是东部地区的福建和海南、中部地区的江西和湖南,以及西部地区的广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、青海,这些省(市、自治区)处于第三梯队,表明上述省(市、自治区)在经济发展过程中水资源供需压力相对较低。资源压力指数的地理分布特征也是各省(市、自治区)社会经济现状在空间维度方面的体现,今后中国水资源供需管理中应重点关注第一梯队地区。

结合各省(市、自治区)水资源资产构成情况,河南、天津、北京等17个省(市、自治区)对虚拟水资源存在依赖性。在数值上,北京、天津、上海、河南和重庆的水资源资产贸易依赖度超过0.4,由贸易引起的虚拟水资源资产的增加使得该地区水资源资产水平得到较大幅度的提高。黑龙江、内蒙古等14个省(市、自治区)作为虚拟水资源净流出区,对其他地区虚拟水资源需求存在支持作用。其中黑龙江、内蒙古、甘肃以及海南的水资源资产贸易支持度超过0.2。可见,虚拟水资源的流动有效缓解区域水赤字压力,相关决策部门必须重视区域间以产品贸易为载体的水资源隐性转移效益,将虚拟水纳入传统的水资源管理体系,通过对实体水—虚拟水资源统筹配置,提升水资源利用效益,保障用水安全。

5 结论与展望

本文在系统分析多元水循环模式下水资源系统演变规律与水资源要素近远程耦合的基础上,结合水资源资产核算边界的多种分类方法,从循环耦合视角提出区域水资源资产核算框架。利用水足迹分析方法,构建考虑实体水与虚拟水资源相结合的水资源资产核算模型,核算并分析了中国各省(市、自治区)的水资源资产情况。主要结论如下:(1)根据水资源资产实物量核算结果,31个省(市、自治区)水资源资产的均值为219.34亿 m^3 ,中部地区水资源资产均值最高,其次为东部地区,西部地区水资源资产均值最低。(2)由于中国不同省(市、自治区)水资源禀赋与开发利用情况存在差异,各地区间的资源压力指数差距较大,在水资源供需管理中应重点关注资源压力指数相对较高地区。(3)结合各省(市、自治区)水资源资产构成情况,由贸易引起的虚拟水资源

资产的增加使得部分省(市、自治区)的水资源资产水平得到较大幅度的提高,虚拟水资源的流动有效缓解区域水赤字压力。

目前本文尚存在诸多不足,亟需进行更深入的研究与探讨。针对水资源资产的核算研究是从省域层面开展的,在未来的研究中可以遵循逐步推进核算原则,探究流域层面水资源资产的核算。开展水资源资产实物量核算是对其进行价值量核算的前提,当实物量核算逐步得到推广且价值量核算方法取得突破时,应以实物量核算为基础,探讨如何实现对水资源资产价值量进行科学合理的核算。

参考文献(References):

- [1] 李英,刘国强. 新中国自然资源核算的新突破: 十八届三中全会提出编制自然资源资产负债表. 会计研究, 2019, (12): 12-21, 33. [LI Y, LIU G Q. A new breakthrough of natural resources accounting in New China: The Third Plenary Session of 18th CPC Central Committee proposed preparing natural resources balance sheet. Accounting Research, 2019, (12): 12-21, 33.]
- [2] 封志明, 杨艳昭, 陈玥. 国家资产负债表研究进展及其对自然资源资产负债表编制的启示. 资源科学, 2015, 37(9): 1685-1691. [FENG Z M, YANG Y Z, CHEN Y. National balance sheets and implications for natural resources balance sheet. Resources Science, 2015, 37(9): 1685-1691.]
- [3] 沈镭, 钟帅, 何利, 等. 复式记账下的自然资源核算与资产负债表编制框架研究. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1675-1685. [SHEN L, ZHONG S, HE L, et al. Research on accounting and balance sheet of natural resources with double-entry bookkeeping. Journal of Natural Resources, 2018, 33(10): 1675-1685.]
- [4] 孙振元, 王世金, 钟方雷. 冰川水资源资产负债表编制实践. 自然资源学报, 2021, 36(8): 2038-2050. [SUN Z Q, WANG S J, ZHONG F L. Compilation of a glacier water resource balance sheet. Journal of Natural Resources, 2021, 36(8): 2038-2050.]
- [5] 贾亦真, 沈菊琴, 王晗. 区域水资源资产确认、计量及报表编制. 自然资源学报, 2022, 37(12): 3297-3312. [JIA Y Z, SHEN J Q, WANG H. Research on the confirmation, measurement and form compilation of regional water resources assets. Journal of Natural Resources, 2022, 37(12): 3297-3312.]
- [6] 沈菊琴. 水资源资产与水资源的关系探析. 会计之友, 2018, (23): 2-7. [SHEN J Q. Analysis on the relationship between water resources assets and water resources. Friends of Accounting, 2018, (23): 2-7.]
- [7] 沈菊琴, 聂勇, 孙付华, 等. 河道水资源资产确认及计量模型研究. 会计研究, 2019, (8): 12-17. [SHEN J Q, NIE Y, SUN F H, et al. Research on river water resources asset recognition and measurement model. Accounting Research, 2019, (8): 12-17.]
- [8] 甘泓, 汪林, 秦长海, 等. 对水资源资产负债表的初步认识. 中国水利, 2014, (14): 1-7. [GAN H, WANG L, QIN C H, et al. Understanding of balance sheet of water resources. China Water Resources, 2014, (14): 1-7.]
- [9] 贾玲, 甘泓, 汪林, 等. 论水资源资产负债表的核算思路. 水利学报, 2017, 48(11): 1324-1333. [JIA L, GAN H, WANG L, et al. Accounting methodology of the balance sheet for water resources. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48(11): 1324-1333.]
- [10] 周普, 贾玲, 甘泓. 水权益实体实物型水资源会计核算框架研究. 会计研究, 2017, (5): 24-31, 96. [ZHOU P, JIA L, GAN H. The framework of physical water resources accounting for water entities. Accounting Research, 2017, (5): 24-31, 96.]
- [11] 秦长海, 甘泓, 汪林, 等. 实物型水资源资产负债表表式结构设计. 自然资源学报, 2017, 32(11): 1819-1831. [QIN C H, GAN H, WANG L, et al. Designing the statement form of physical balance sheet of water resources. Journal of Natural Resources, 2017, 32(11): 1819-1831.]
- [12] 宋晓谕, 陈玥, 闫慧敏, 等. 水资源资产负债表表式结构初探. 资源科学, 2018, 40(5): 899-907. [SONG X Y, CHEN Y, YAN H M, et al. Initial research into an accounting framework for a water resource balance sheet. Resources Science, 2018, 40(5): 899-907.]
- [13] 陈波, 杨世忠, 林志军. 通用目的水核算在我国应用的潜力、障碍和路径: 以北京密云水库为例. 中国会计评论,

- 2017, 15(1): 89-110. [CHEN B, YANG S Z, LIN Z J. Potential, barrier and path for application of general purpose water accounting in China: A case study on Miyun Reservoir. *China Accounting Review*, 2017, 15(1): 89-110.]
- [14] 贾亦真, 沈菊琴. 水资源资产负债表体系构建与编制实践. *统计与决策*, 2022, 38(15): 5-9. [JIA Y Z, SHEN J Q. Construction and compiling practice of water resources balance sheet system. *Statistics & Decision*, 2022, 38(15): 5-9.]
- [15] 田金平, 姜婷婷, 施涵, 等. 区域水资源资产负债表: 北仑区水资源存量及变动表案例研究. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(9): 167-176. [TIAN J P, JIANG T T, SHI H, et al. Water resource accounting: A case study of water resources stock and change table at the Beilun district, Ningbo city. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(9): 167-176.]
- [16] 焦志倩, 王红瑞, 许新宜, 等. 自然资源资产负债表编制设计及应用 I: 设计. *自然资源学报*, 2018, 33(10): 1706-1714. [JIAO Z Q, WANG H R, XU X Y, et al. Design and application of natural resources balance sheet I: Design. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(10): 1706-1714.]
- [17] QU S, LIANG S, KONAR M, et al. Virtual water scarcity risk to the global trade system. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(2): 673-683.
- [18] 马维兢, 耿波, 杨德伟, 等. 部门水足迹及其经济效益的时空匹配特征研究. *自然资源学报*, 2020, 35(6): 1381-1391. [MA W J, GENG B, YANG D W, et al. Spatiotemporal matching characteristics and economic benefits of sectoral water footprint. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(6): 1381-1391.]
- [19] CAZCARRO I, SCHYNS J F. Nations' water footprints and virtual water trade of wood products. *Advances in Water Resources*, 2022, 164: 104188, Doi: 10.1016/j.advwatres.2022.104188.
- [20] YE Q L, LI Y, ZHUO L, et al. Optimal allocation of physical water resources integrated with virtual water trade in water scarce regions: A case study for Beijing, China. *Water Research*, 2018, 129: 264-276.
- [21] D'ODORICO P, CARR J, DALIN C, et al. Global virtual water trade and the hydrological cycle: Patterns, drivers, and socio-environmental impacts. *Environmental Research Letters*, 2019, 14(5): 053001, Doi: 10.1088/1748-9326/ab05f4.
- [22] 王喜峰. 基于二元水循环理论的水资源资产化管理框架构建. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(1): 83-88. [WANG X F. Framework of water resource capitalization management based on dualistic nature-social water cycle theory. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(1): 83-88.]
- [23] 陶建格, 沈镭, 何利, 等. 自然资源资产辨析和负债、权益账户设置与界定研究: 基于复式记账的自然资源资产负债表框架. *自然资源学报*, 2018, 33(10): 1686-1696. [TAO J G, SHEN L, HE L, et al. Analysis of natural resource assets and establishment and definition of liability and equity accounts: Based on framework of natural resources balance sheet with double-entry bookkeeping. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(10): 1686-1696.]
- [24] 石薇, 汪劲松. 水资源资产负债表的编制方法. *统计与决策*, 2021, 37(12): 24-28. [SHI W, WANG J S. Compilation method of water resources balance sheet. *Statistics & Decision*, 2021, 37(12): 24-28.]
- [25] 丁超, 胡永江, 王振华, 等. 虚拟水社会循环视域下的水资源承载力评价. *自然资源学报*, 2021, 36(2): 356-371. [DING C, HU Y J, WANG Z H, et al. Assessment of water resources carrying capacity from the perspective of virtual water social cycle. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(2): 356-371.]
- [26] 邓铭江, 龙爱华, 李江, 等. 西北内陆河流域“自然—社会—贸易”三元水循环模式解析. *地理学报*, 2020, 75(7): 1333-1345. [DENG M J, LONG A H, LI J, et al. Theoretical analysis of "natural-social-trading" ternary water cycle mode in the inland river basin of Northwest China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(7): 1333-1345.]
- [27] 陈秀莲, 郭家琦. 中国虚拟水贸易的测度、评价与影响因素的实证分析: 基于投入产出公式和SDA分解模型. *现代财经: 天津财经大学学报*, 2017, (1): 101-113. [CHEN X L, GUO J Q. Empirical analysis on the measurement, evaluation and influencing factors of virtual water trade in China: Based on the input-output formula and SDA model. *Modern Finance and Economics: Journal of Tianjin University of Finance and Economics*, 2017, (1): 101-113.]
- [28] 吴普特, 高学睿, 赵西宁, 等. 实体水—虚拟水“二维三元”耦合流动理论基本框架. *农业工程学报*, 2016, 32(12): 1-10. [WU P T, GAO X R, ZHAO X N, et al. Framework of "two-dimension three-element" coupling flow of real water and virtual water. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(12): 1-10.]
- [29] WU X J, LI Y P, LIU J, et al. Identifying optimal virtual water management strategy for Kazakhstan: A factorial ecologically-extended input-output model. *Journal of Environmental Management*, 2021, 297: 113303, Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113303.

- [30] 程国栋. 虚拟水: 中国水资源安全战略的新思路. 中国科学院院刊, 2003, (4): 260-265. [CHENG G D. Virtual water: A strategic instrument to achieve water security. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2003, (4): 260-265.]
- [31] 檀勤良, 韩健, 刘源. 基于投入产出模型的省际虚拟水流动关联分析与风险传递. 中国软科学, 2021, (6): 144-152. [TAN Q L, HAN J, LIU Y. Correlation analysis and risk transfer of provincial virtual water flow based on input-output model. China Soft Science, 2021, (6): 144-152.]
- [32] ZHANG F, JIN G, LIU G. Evaluation of virtual water trade in the Yellow River Delta, China. Science of the Total Environment, 2021, 784: 147285, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147285.
- [33] 赵丹丹. 基于投入产出和“生态网络”的京津冀水足迹演变趋势与水资源调控研究. 北京: 北京林业大学, 2020. [ZHAO D D. Studying on the evolution of water footprint and water resource regulation based on input-output analysis and ecological network in the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.]
- [34] 潘安. 对外贸易、区域间贸易与碳排放转移: 基于中国地区投入产出表的研究. 财经研究, 2017, 43(11): 57-69. [PAN A. Foreign trade, interregional trade and carbon emission transfer: Analysis based on China's regional input-output tables. Journal of Finance and Economics, 2017, 43(11): 57-69.]

Regional water resources assets accounting based on cyclic coupling perspective

ZHANG Dan-dan¹, SHEN Ju-qin²

(1. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

2. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: To achieve regional water resources balance and promote coordinated development of socio-economy, and enhance the level of water resources assets management, this study systematically analyzed the evolutionary patterns of water resources system under multiple water circulation mode and the near and remote coupling of water resources elements, and proposed multiple classification methods of water resources assets accounting boundary. From the perspective of circular coupling, the water footprint analysis method is used to construct the water resource assets accounting model considering the combination of physical water and virtual water, and the water resources assets of each province, municipality and autonomous region in China are analyzed. This study is helpful to clarify the internal mechanism of the dynamic coupling of water resource assets under the dual-cycle pattern, expand the theoretical system of water resources accounting, and provide useful scientific reference for national and regional water resources assets accounting.

Keywords: water resources assets accounting; virtual water resources assets; multiple water circulation mode; accounting boundary