

秦长海,孙华月,赵勇,等. 中国经济社会消费水量、效率及其未来极值[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(1): 76-86. QIN C H, SUN H Y, ZHAO Y, et al. Water consumption, efficiency and future extremum of accompanying China's social commodity consumption[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(1): 76-86. (in Chinese)

# 中国经济社会消费水量、效率及其未来极值

秦长海<sup>1</sup>, 孙华月<sup>1</sup>, 赵勇<sup>1,2</sup>, 李海红<sup>1,2</sup>, 曲军霖<sup>1</sup>, 王明<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

**摘要:**为客观评估消费环节的真实水量消费和用水效率,在虚拟水分析的基础上研究经济社会消费水量。基于国家和各省水资源投入产出表,构建虚拟水通量以及综合用水效率评价模型,评估 2007、2012、2017 年我国 31 个省(自治区、直辖市)虚拟水通量、经济社会消费水量及其综合效率,并对未来经济社会消费水量极值进行预测。结果表明:国内虚拟水输入区向高收入区域聚集,虚拟水输出区向水资源密集型产品生产地聚集,考虑虚拟水流通后,各省(自治区、直辖市)综合用水效率具有趋同性特征,人均综合消费水量与经济发展水平呈较好的对数关系,经济越发达、居民生活水平越高,人均综合消费水量越高;由于国际贸易商品结构变化,2012 年之前我国经济社会用水量高于经济社会水消费量,之后后者超过前者,预期在 2035—2040 年我国经济社会消费水量将达到 6 907 亿 m<sup>3</sup> 极值,比经济社会用水量高 427 亿 m<sup>3</sup>。经济社会用水量和经济社会消费水量分别反映生产端和消费端用水规模,随着经济社会生活水平提升以及生产结构和贸易结构的转变,经济社会消费水量超过经济社会用水量规模将日趋扩大,二者差额主要通过虚拟水解决,需要合理优化商品进出口结构,避免大宗进口引发经济和社会风险。

**关键词:**水资源;消费;虚拟水;用水效率;水资源压力

**中图分类号:** TV213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2023.0009

水资源是经济社会和生态环境赖以发展的基本要素,随着人口的急剧增长和经济迅速发展,经济社会用水量不断增加,给自然水系统带来巨大承载压力,对经济社会用水的科学认识关系到国家和区域的经济发展战略、水资源管理政策以及重大水利工程规划布局。

近年来相关研究和关注点集中在经济社会用水量发展及预测方面,解析用水变化规律、用水与经济社会耦合机制、预测经济社会用水总量等。2000 年贾绍凤等<sup>[1]</sup>分析未来中国用水的变化趋势,提出中国的农业用水量、工业用水量和总用水量目前已接近顶峰,可望在 10 年内达到顶峰,最大总用水量不大可能超过 6 500 亿 m<sup>3</sup>。姚建文等<sup>[2]</sup>基于宏观经济的分行业需水预测模型,对中国需水形势进行展望,2030 年前后预计将会出现缺水的高峰,2030 年后供需缺口有望减缓。柯礼丹<sup>[3]</sup>提出“人均综合用水量法”,预测我国用水极值可能达到 7 000 亿~8 000 亿 m<sup>3</sup>。沈福新等<sup>[4]</sup>等通过多种方法对我国水

资源需求极值进行预测,结果为 6 500 亿~8 000 亿 m<sup>3</sup>。彭岳津等<sup>[5]</sup>提出利用中国人均综合用水量预测中国用水总量极值的方法,预测出在 2030 年前后中国用水总量机制达 6 500 亿 m<sup>3</sup>。赵勇等<sup>[6]</sup>构建了受制于资源约束的适应性用水增长曲线和增长规律,提出中国用水总量极值时点大概率出现在 2035—2040 年,用水峰值接近 6 500 亿 m<sup>3</sup>。另外,许多学者在用水与国民经济关系<sup>[7-11]</sup>、用水效率指标影响因素分析<sup>[12-15]</sup>、用水效率指标预测<sup>[16-17]</sup>、定额标准制定<sup>[18-21]</sup>等方面也开展了广泛的探讨。现有研究注重于生产端用水,而忽略了消费端用水。以北京为代表的相对发达但水资源匮乏地区,实际上是通过水资源密集型产品的大量进口转移了水资源供需压力,只研究经济社会用水量无法客观反映区域的真实用水需求,无法真实反映其用水强度。

实际上,生产和消费是人类最基本的经济社会活动<sup>[22]</sup>;生产是经济社会运行的基础,决定了经济社会的物质水平和发展阶段;消费则是生产的最终目

收稿日期: 2022-09-03 修回日期: 2022-12-29 网络出版时间: 2023-02-03

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20230202.1751.003.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC3200204); 国家自然科学基金项目(52239004; 52025093; 71573274; 52061125101; 52109042)

作者简介: 秦长海(1976—),男,河北宣化人,正高级工程师,博士,主要从事水资源规划与管理方面研究。E-mail: [qinzh@iwhr.com](mailto:qinzh@iwhr.com)

通信作者: 孙华月(1997—),女,河北沧州人,主要从事水文水资源研究。E-mail: [3476490742@qq.com](mailto:3476490742@qq.com)

的,是拉动生产的重要需求目标之一,国民经济核算的核心指标国内生产总值(GDP),就是从有用性的角度核算国民经济生产活动产品有多少用于经济社会消费。对应地,经济社会对水的需求也可以从两个方面分析:一方面是从生产端考量的用水量,指为了满足生产所必需的用水量,加上居民生活和人工生态环境用水,即为我们通常理解的经济社会用水量<sup>[23]</sup>,这是社会初次水投入量;另一方面是从消费端考量的用水量,是站在满足消费需求的角度来分析用水规模,包括居民生活用水、人工生态环境用水、生产用水和通过水以外的其他商品以及服务实际使用的虚拟水,将其定义为“经济社会消费水量”。经济社会用水量是用水的起点,反映了区域取水规模,主要受产业发展阶段和产业结构影响<sup>[24]</sup>;经济社会消费水量是用水的终点,反映了对区内和区外终端商品消费的水量关联需求,主要受消费水平和消费结构影响。经济社会消费水量的定量核算有助于全面系统认识经济社会用水。

当前经济社会消费水量方面的研究主要集中在区域间虚拟水贸易、区域虚拟水消费量、虚拟水战略与水资源及粮食安全等方面。Chen等<sup>[25]</sup>采用区域间投入产出模型对中国各省的虚拟水进行了定量估算,并对虚拟水的省级转移进行量化。Chen等<sup>[26]</sup>运用投入产出模型对中国虚拟水进出口的具体目的地和来源地进行了深入的研究,提出中国需要调整对外贸易结构以缓解水资源短缺问题的方法。Liu等<sup>[27]</sup>估计长江三角洲对其他地区水的依赖性,并确定虚拟水贸易状态。姜珊等<sup>[28]</sup>对比分析了北京市不同生产部门虚拟水终端消费和贸易情况,以及部门间虚拟水转移量。赵勇等<sup>[29]</sup>对研究区主要粮食生产水足迹及粮食贸易伴生的虚拟水流动格局进行了量化解析,并对未来粮食生产水足迹进行了预估。韩昕雪琦等<sup>[30]</sup>对西北地区农作物生产水足迹和伴随着农产品贸易的虚拟水流动格局进行了量化分析,在此基础上评估了西北地区农产品贸易输出引发的水资源压力。可以发现,该领域工作主要关注于商品贸易带来的虚拟水流通方面,对区域虚拟水消费规模和强度研究较少。

近年来我国国际贸易和粮食进口规模、国内省际间商品贸易流通规模均持续增加,这种区域间商品贸易伴随着虚拟水流通,对缓解缺水地区水资源压力具有重要意义。在虚拟水通量解析的研究基

础上,分析经济社会消费水量规模,评估其综合效率指标,并对其未来经济社会消费水量极值进行预测,研究路径见图1。本研究的核心不是研究虚拟水问题,因为虚拟水从属于经济社会商品生产、流通和消费过程,是经济社会发展的从属要素,而是评估考虑虚拟水后的经济社会商品需求带动的水消费量。随着我国经济发展水平的提升,消费对国民经济的拉动作用更趋明显,经济社会消费水量和经济社会用水量规模的对比关系将随经济发展阶段发生变化,通过评估二者变化过程和极值的相互关系,为我国未来水安全保障提供技术支撑和政策建议,为客观制定水资源管理政策提供参考依据。

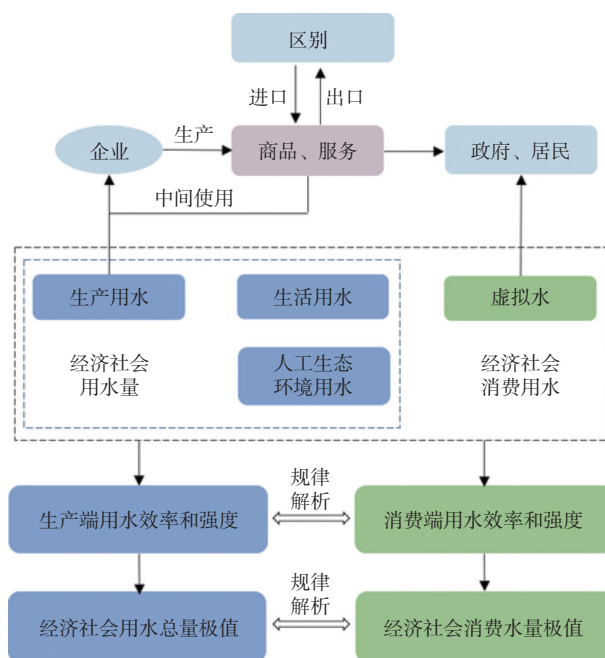


图1 研究路径

Fig. 1 Research path

## 1 经济社会消费水量核算

### 1.1 核算方法

采用投入产出法分析区域间商品贸易伴生的虚拟水流通特征、虚拟水贸易规模及分区虚拟水消费情况,评估我国省级行政区考虑虚拟水的经济社会消费水量。投入产出表反映国民经济各部门之间的投入产出关系,揭示生产过程中各部门之间相互依存和相互制约的经济技术联系,在传统的投入产出表中加入水资源模块,分别是各行业的水资源用量,二者结合起来形成我国水资源投入产出表,见表1。基于水资源投入产出表,解析直接用水系数、完全用水系数,结合省际间商品流通规模分析省际

间虚拟水通量,评估各省(自治区、直辖市)虚拟水消费规模,进一步考量居民生活用水量和人工生态

环境用水量,评估各省(自治区、直辖市)经济社会消费水量。

表 1 水资源投入产出  
Tab. 1 Input and output of water resources

产出	投入									总产出
	中间使用			最终使用						
	部门1	...	部门n	最终消费支出			资本形成总额	出口	进口	
农村居民消费				城镇居民消费	政府消费					
部门1	$X_{11}$	...	$X_{1n}$	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$V_1$	$E_1$	$I_1$	$X_1$
中间投入	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
部门n	$X_{n1}$	...	$X_{nn}$	$y_{n1}$	$y_{n2}$	$y_{n3}$	$V_n$	$E_n$	$I_n$	$X_n$
增加值	$N_1$	...	$N_n$							
总投入	$X_1$	...	$X_n$							
用水量	$W_1$	...	$W_n$							

注:我国水资源投入产出表中“进口”“出口”指从国外进口或出口到国外;各省水资源投入产出表中“进口”指从国外进口与国内其他省、自治区、直辖市流入之和,“出口”指出口到国外与流出到国内其他省、自治区、直辖市之和。

**直接用水系数** 直接用水系数表示各部门在生产单位产品的过程中所投入的自然形态的水资源量,  $m^3/万元$ 。

$$f_j = \frac{W_j}{X_j} \quad (1)$$

式中:  $f_j$  为第  $j$  部门直接用水系数;  $W_j$  为第  $j$  部门用水量,  $m^3$ ;  $X_j$  为第  $j$  部门总产出, 万元。

**完全用水系数** 完全用水系数指生产单位最终产品所消耗的整个系统的水资源量,  $m^3/万元$ 。完全用水系数  $\bar{f}_j$  与直接用水系数  $f_j$  的关系见公式 (2), 对公式 (2) 进行变换, 用矩阵形式表示, 得出完全用水系数计算公式 (3)。

$$\bar{f}_j = f_j + \sum_{i=1}^n \bar{f}_i a_{ij} \quad (2)$$

$$\bar{f}_j = f_j(I - A)^{-1} \quad (3)$$

式中:  $\bar{f}_j$  表示第  $j$  部门的完全用水系数;  $a_{ij}$  为直接消耗系数, 为第  $j$  部门生产一单位产品所需要投入的第  $i$  部门产品的数量;  $\bar{f}$  和  $f$  分别表示完全用水系数和直接用水系数行向量;  $I$  为  $n$  阶单位矩阵;  $A = \{a_{ij}\}_{n \times n}$  为直接消耗系数矩阵。

**虚拟水通量** 产品的输入和输出会产生虚拟水的流动, 地区虚拟水消费量等于最终使用与该地区完全用水系数的乘积, 虚拟水流入量等于地区产品进口量乘以产品完全用水系数的乘积, 虚拟水流出

量等于地区产品出口量乘以产品完全用水系数, 虚拟水净流入量等于流入量与流出量之差, 亿  $m^3$ 。

**虚拟水消费量**

$$W_v = (y_{i1} + y_{i2} + y_{i3} + V_i) \cdot \bar{f}_i \quad (4)$$

**虚拟水流入量**

$$W_I = \sum_{i=1}^n I_i \cdot \bar{f}_i \quad (5)$$

**虚拟水流出量**

$$W_E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot \bar{f}_i \quad (6)$$

式中:  $V_i$  为部门  $i$  资本形成总额;  $I_i$  为部门  $i$  进口总额;  $E_i$  为部门  $i$  出口总额。

**虚拟水净流入量**

$$W_{net} = W_I - W_E \quad (7)$$

**经济社会消费水量** 经济社会消费水量指最终用于消费的水量, 包括居民生活用水、人工生态环境用水、生产用水和通过水以外的其他商品以及服务实际使用的虚拟水, 即等于经济社会用水量加虚拟水净流入量。

$$W_c = W_u + W_{net} = W_r + W_{en} + W_p + W_{net} \quad (8)$$

式中:  $W_c$  表示经济社会消费水量, 亿  $m^3$ ;  $W_u$  表示经济社会用水量, 亿  $m^3$ ;  $W_r$  表示居民生活用水量, 亿  $m^3$ ;  $W_{en}$  表示人工生态环境用水量, 亿  $m^3$ ;  $W_p$  表示生产用



水量,亿  $m^3$ ;其他符号同前。

## 1.2 各省经济社会消费水量分析

经济社会数据来源于2007、2012、2017年我国31个省(自治区、直辖市)投入产出表;人口数据来源于2008、2013和2018年统计年鉴;用水量数据基于全国水资源公报数据,结合《中国经济普查年鉴—2008》进行分解。结合所获得用水数据及各部门属性将投入产出表中的42个部门合并为20个部门,分别为农业,煤炭采选业,石油和天然气开采业,金属矿采选业,其他采矿业,食品制造业,纺织业,家具制造业,造纸业,石油加工、炼焦及核燃料加工

业,化工业,非金属矿物制品业,金属冶炼和压延制品业,其他制造业,电力、热力及水的供应业,建筑业,批发和零售业,交通运输、仓储和邮政业,住宿和餐饮业,其他服务业。

受节水型社会建设以及最严格水资源管理制度的积极影响,2007—2017年部门用水系数均呈下降趋势,用水效率逐年提升。农业直接用水系数和完全用水系数由2007年的736.7  $m^3$ /万元和946.7  $m^3$ /万元,分别下降到2017年的342.0  $m^3$ /万元和428.3  $m^3$ /万元;在2007—2012年,完全用水系数下降接近一半,2012—2017年下降速度有所减缓,见图2。

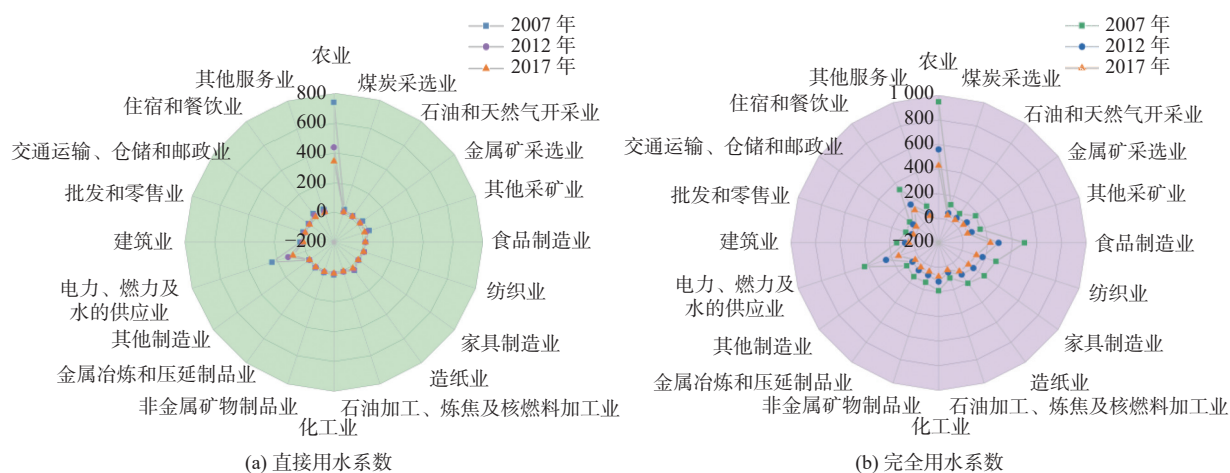


图2 2007、2012、2017年分行业用水系数

Fig. 2 Water consumption coefficient by industry in 2007, 2012 and 2017

虚拟水净输入区基本集中在经济水平较发达的地区。我国约35%的省份需依赖省际间调入商品,通过虚拟水满足其水资源最终消费需求,这种趋势多集聚在人口密度较大、工业或第三产业发达的省份:2007年以来北京、上海、天津和重庆4个直辖市一直是虚拟水净输入区,且规模呈增长趋势,2017年虚拟水净输入量分别为89.6亿、57.6亿、37.2亿和23.4亿  $m^3$ ;浙江和广东随着经济水平提升和产业结构调整,农业和食品制造业等水资源密集型产业净流入量呈增长态势,逐步从虚拟水净输出区转变为虚拟水净输入区,2017年虚拟水净流入量分别为50.8亿和62.2亿  $m^3$ 。

虚拟水净输出区基本为农业占比较大的地区或经济欠发达地区。虚拟水净输出量较大的是中国重要商品粮基地的河北、黑龙江、河南,以及畜牧业输出区内蒙古和特色瓜果基地广西、海南、新疆等地区,2017年净流出量分别为44.2亿、87.0亿、36.7亿、37.3亿、48.0亿、30.6亿、25.5亿  $m^3$ ,农业

与区域虚拟水流动方向有较强的关联,2007、2012、2017年我国农业与区域虚拟水流动方向一致的分别占71%、84%、74%。另外江苏、安徽、湖南净虚拟水输出规模也比较高,2017年净流出量分别为21.1亿、38.3亿、36.3亿  $m^3$ ,主要是因为地区第二产业多供给外区,尤其是食品制造业、纺织业和其他制造业。贵州、青海、宁夏等地的虚拟水净流量较低,虚拟水输入、输出量基本平衡。西藏由于2007年投入产出数据缺失,暂不分析该地区虚拟水通量,见图3。

经济社会消费水量基本呈增长趋势,经济社会消费水量与虚拟水消费紧密联系在一起,随着居民消费水平的提升,除农业占比较大的省区外,2007—2017年经济社会消费水量基本呈增长趋势,北京、天津是研究时段内虚拟水输入率最大的地区,分别由2007年的56%、35%增加至2017年的69%、57%,社会经济消费水量的增加速度远大于经济社会用水增加的速度。在各省(自治区、直辖市)中,北京、

天津、上海作为经济水平较发达的城市,农产品主要依赖外区供给,2007 年以来一直是虚拟水净输入区,经济社会消费水量均大于经济社会用水量,见图 4。浙江纺织业和其他制造业净输出规模缩小,而农业和食品制造业作为虚拟水密集型部门净输入规模在扩大,从 2007 年虚拟水净流出区到 2017 年成为虚拟水净流入区;广东电力、燃气及水的生产供应业和建筑业输入规模扩大,食品制造业和住

宿餐饮业由原来的向外区输出到 2017 年依赖外区供给,浙江和广东随着产业结构的调整,2017 年经济社会消费水量均超过了经济社会用水量,见图 5。山东省农业虚拟水净流入量由 2007 年的 137.1 亿  $m^3$  至 2017 年的 35.7 亿  $m^3$ ,由于农产品净输入规模的缩小,逐步由虚拟水净输入区转变为净输出区,2017 年经济社会消费水量小于经济社会用水量,见图 6。

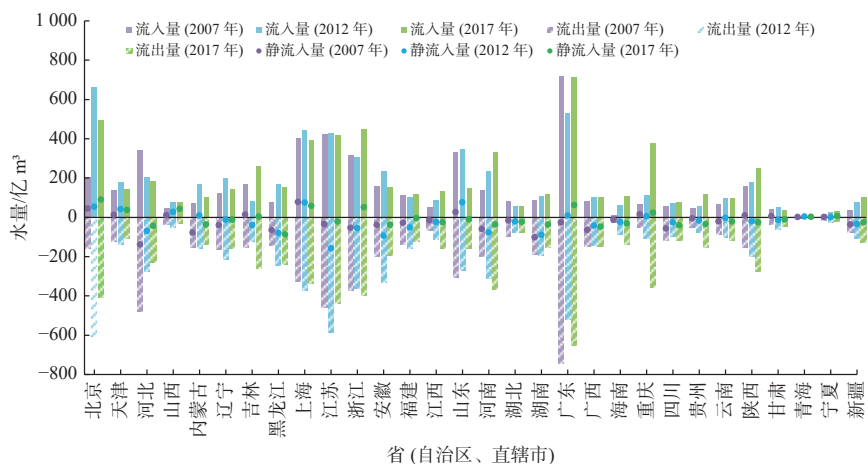


图 3 2007、2012、2017 年各省(自治区、直辖市)虚拟水通量  
Fig. 3 Virtual water flux of provinces and regions in 2007, 2012 and 2017

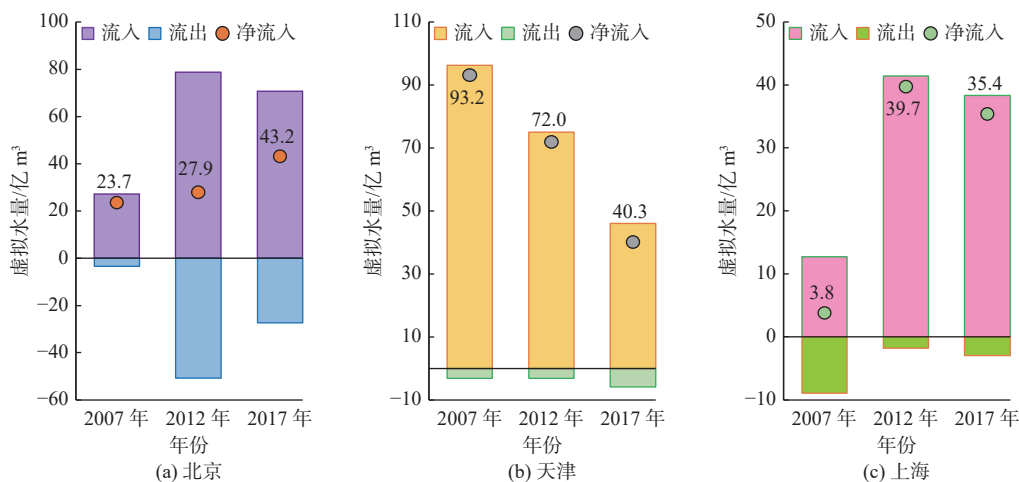


图 4 2007、2012、2017 年北京、天津、上海农业虚拟水通量  
Fig. 4 Agricultural virtual water flux in Beijing, Tianjin, and Shanghai in 2007, 2012 and 2017

## 2 经济社会消费水量强度核算

用水效率评估分为 2 个层次:首先是使用实体水的用水效率,通过常用的人均综合用水量、万元 GDP 用水量作为衡量用水效率大小的指标;其次是评估考虑虚拟水流通后的真实用水效率,通过人均综合消费水量和万元 GDP 消费水量表征。人均综合消费水量和万元 GDP 消费水量是从消费的角度来分析经济社会综合用水效率,分别用经济社会消

费水量除以人口和 GDP 计算求得。

### 2.1 人均综合用水量

人均综合用水量指标体现了显著的水资源特征,缺水地区指标值普遍偏低。2007、2012、2017 年全国人均综合用水量分别是 442、454、436  $m^3$ ,京津冀地区以及沿黄水资源较为短缺的山西、山东、河南、陕西等省区人均综合用水量指标均低于全国平均值,2017 年北京、天津人均综合用水量为 180  $m^3$

和 195 m<sup>3</sup>, 为全国最低值; 重庆、四川、贵州、云南等工程性缺水地区也低于全国平均值, 其他省区人

均综合用水量基本高于全国平均值。2007、2012 和 2017 年情况基本一致, 见图 7。

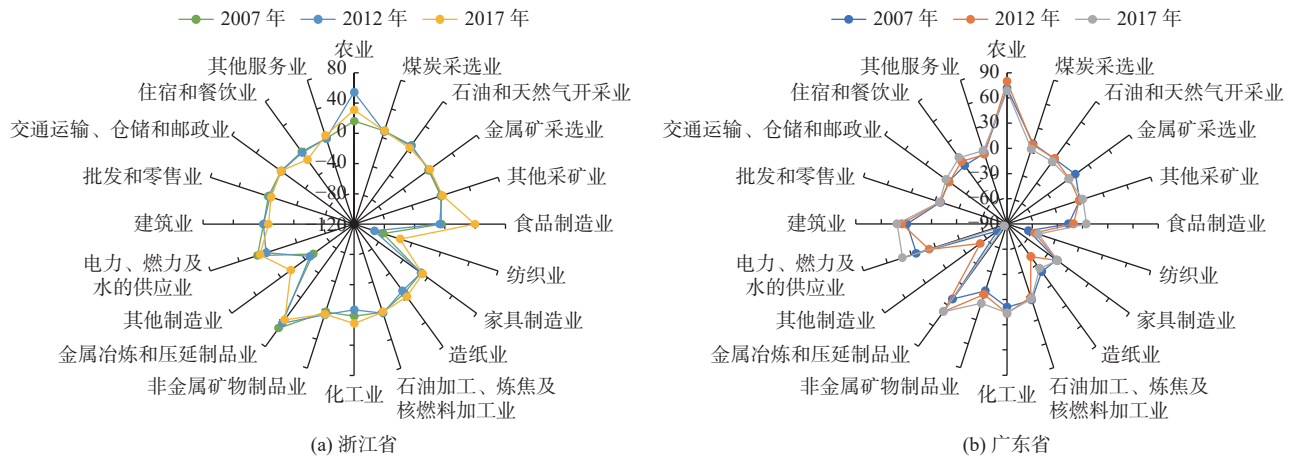


图 5 2007、2012、2017 年浙江省、广东省各部门虚拟水净流入量

Fig. 5 Virtual water net inflow of Zhejiang Province and Guangdong Province in 2007, 2012 and 2017

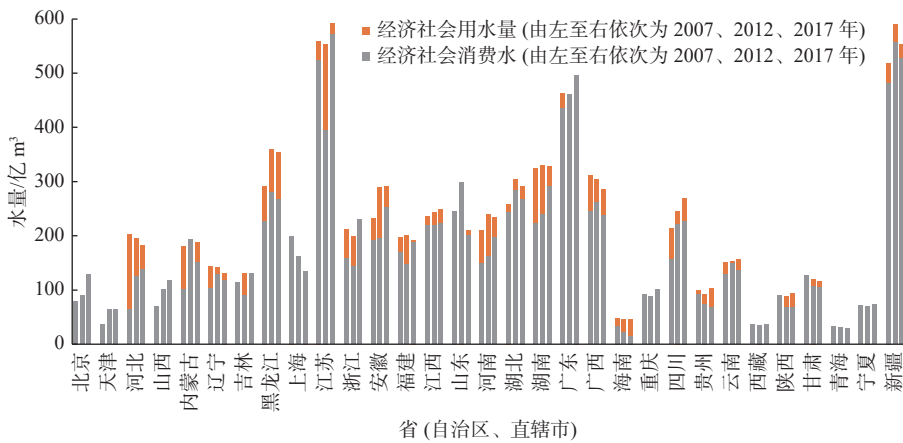


图 6 2007、2012、2017 年各省(自治区、直辖市)经济社会消费水量

Fig. 6 Water consumption accompanying social commodity consumption of provinces and regions in 2007, 2012 and 2017

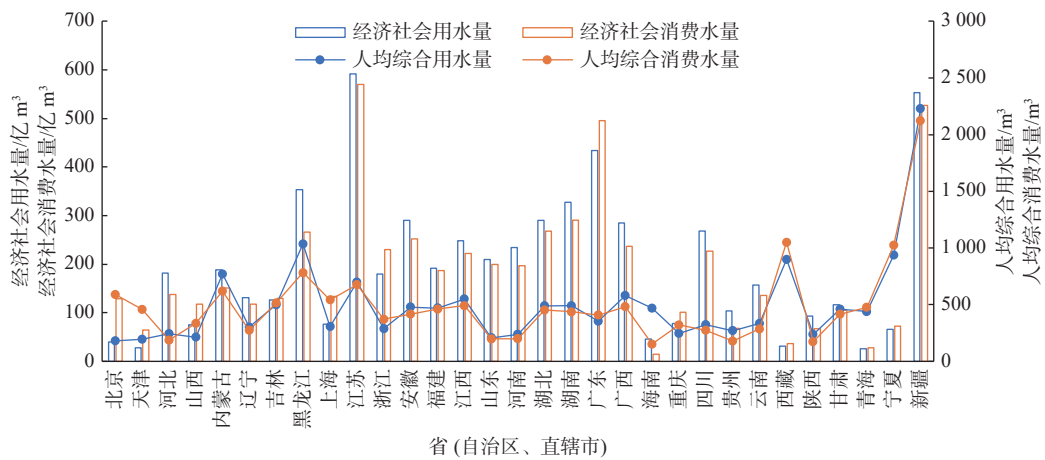


图 7 2017 年各省(自治区、直辖市)人均综合用水效率

Fig. 7 Comprehensive water use efficiency per capita in all provinces and regions in 2017

## 2.2 人均综合消费水量

考虑净虚拟水输入量后的人均综合消费水量具有显著的经济特性,与经济发展水平基本呈正相关关系。受经济结构和水资源条件影响,内蒙古、黑龙江、西藏、宁夏、新疆等省(自治区)农业用水占比较大,人均综合用水量和人均综合消费水量均显著高于其他地区,暂不分析上述省区。北京市 2017 年人均综合用水量全国最低,但考虑虚拟水消费后,人均综合消费水量达到了 588 m<sup>3</sup>,是人均综合用水量的 3 倍,与上海、江苏等人均 GDP 超过 10 万元

的省市排在第一梯队,人均综合消费水量也最高,平均值为 602 m<sup>3</sup>;天津、浙江、福建、广东人均 GDP 为 7 万~9 万元,上述 4 省市人均综合消费水量为 425 m<sup>3</sup>;重庆、湖北、安徽等 7 省市人均 GDP 为 5 万~7 万元,人均综合消费水量离散性较大,平均值为 324 m<sup>3</sup>;河北、海南、四川和河南人均 GDP 为 4 万~5 万元,人均综合消费水量为 204 m<sup>3</sup>;人均 GDP 低于 4.5 万元的省(自治区、直辖市)人均综合消费水量离散型较大,没有固定的规律,见图 8。

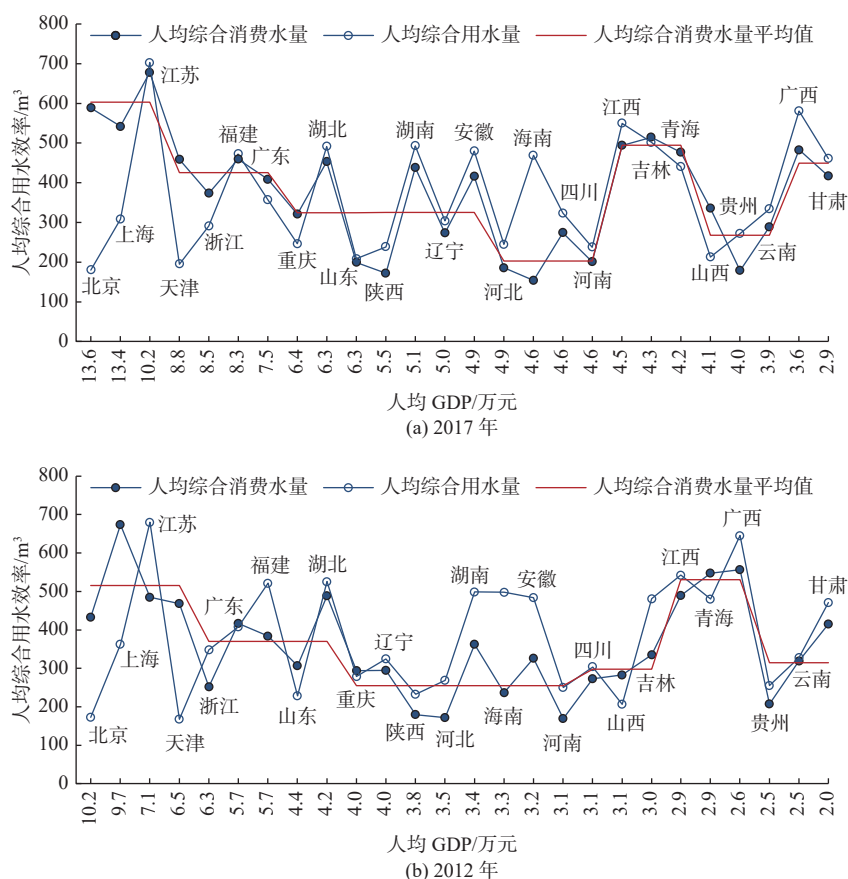


图 8 主要省(自治区、直辖市)人均综合用水效率与人均 GDP 关系

Fig. 8 Relationship between per capita comprehensive water use efficiency and per capita GDP in major provinces and regions

其他年份人均综合消费水量、人均综合用水量 and 人均 GDP 的关系与 2017 年基本一致。人均综合用水量与人均 GDP 基本呈负相关关系,经济水平越高的地区,人均综合用水量越低;考虑虚拟水消费后,人均综合消费水量则与人均 GDP 呈正相关关系,随着经济水平的提升,人均综合消费水量呈增长趋势,见图 9。

## 2.3 万元 GDP 用水量

万元 GDP 用水量同时兼具显著的水资源属性和经济属性,水资源短缺和经济发展水平较高的地区用水效率较高。水资源短缺较为严重的京津冀地区,沿黄河的山西、山东、河南和陕西万元 GDP

用水量均低于全国平均水平,经济发展水平较高的上海、江苏、浙江和福建万元 GDP 用水量也低于全国平均水平,重庆、四川、贵州和云南等工程性缺水省市万元 GDP 基本接近全国平均值,其他省(自治区、直辖市)基本高于全国平均值,见图 10。

## 2.4 万元 GDP 消费水量

各省万元 GDP 消费水量具有显著的趋同性,即各省万元 GDP 消费水量在万元 GDP 用水量的基础上,向全国平均值逼近。2017 年,北京、天津和上海万元 GDP 用水量排全国前三位,不足全国平均水平的 1/3,考虑虚拟水消费后,万元 GDP 消费水量达到



了全国平均水平的 60% 以上;另外内蒙古、黑龙江、安徽、江西、广西等万元 GDP 用水量高于全国平均

水平的省(自治区、直辖市),万元 GDP 消费水量都有所降低,见图 10。

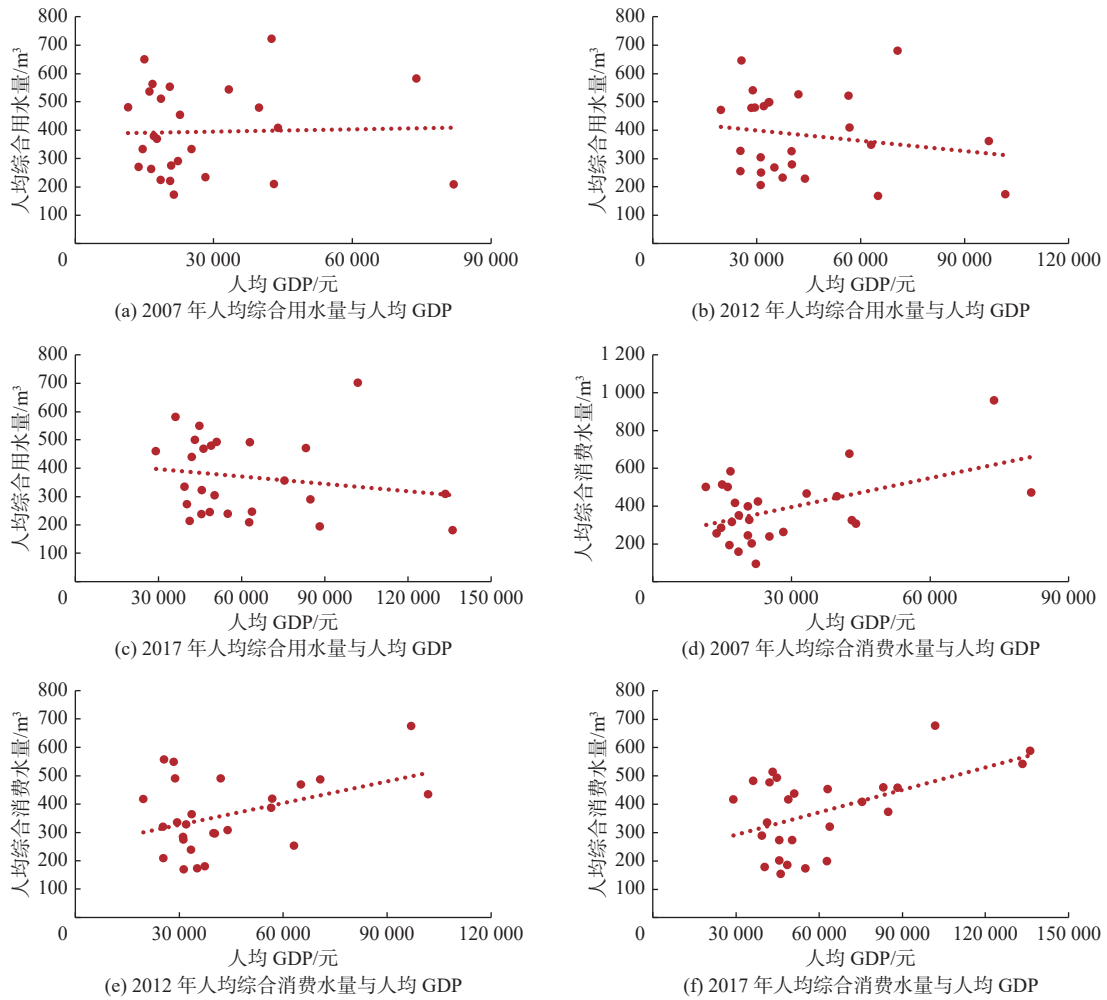


图9 典型地区人均综合用水量、人均综合消费水量与人均GDP的关系

Fig. 9 Relationship between per capita comprehensive water usage, per capita comprehensive water consumption and per capita GDP in typical areas

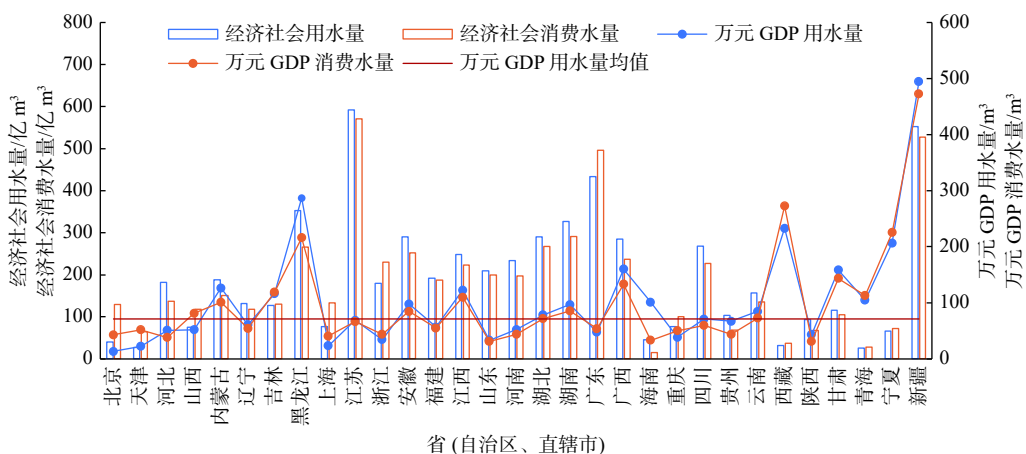


图10 2017年各省(自治区、直辖市)用水效率分析

Fig. 10 Analysis on water use efficiency of provinces and regions in China in 2017

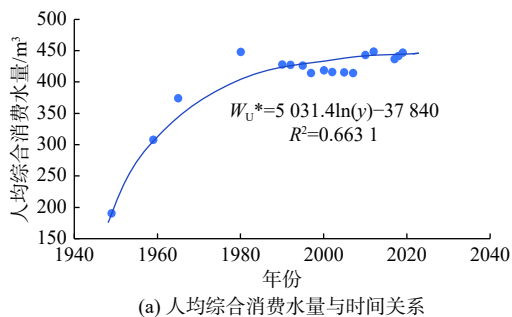
### 3 经济社会消费水量极值预测

未来经济社会消费水量通过人均经济社会消费水量和人口数量进行预测,取二者的乘积。人均综

合消费水量与人均GDP呈正相关关系,随着经济水平的提升也在逐步增加。结合1949年以来我国商品进出口量<sup>[31]</sup>以及经济社会供用水信息<sup>[32]</sup>,对典型年份经济社会消费水量进行评估,进一步结合人口



数据<sup>[31]</sup>分析人均综合消费水量的变化情势,总体来看人均综合消费水量随时间呈现对数关系[图 11(a)]。对人均综合消费水量进行外延,预期到 2035 年和 2050 年分别达到 490.5 m<sup>3</sup> 和 527 m<sup>3</sup>;结合未来人口发展研判,预期我国人口 2026 年达峰,峰值为 14.29 亿人,之后将逐步减少,到 2035 年降低到 14



亿人以下,预期到 2050 年降低到 12.5 亿人。综合人均综合消费水量和人口预测,我国经济社会消费水量预期将在 2039 年达峰,峰值为 6 907 亿 m<sup>3</sup>。赵勇等<sup>[6]</sup>近期也对我国经济社会用水极值进行了研究,全国用水总量极值时点大概率出现在 2037 年,极值为 6 480 亿 m<sup>3</sup>。

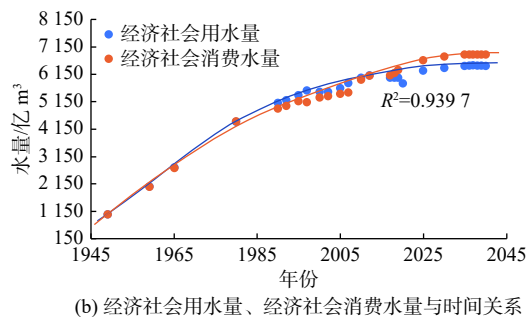


图 11 经济社会消费水量极值预测

Fig. 11 Extreme prediction of water consumption accompanying social commodity consumption

比较经济社会消费水量和经济社会用水量数据,二者的变化关系分为 3 个阶段[图 11(b)]:第 1 阶段为新中国成立至改革开放前,该阶段我国对外贸易规模较小,虚拟水流量也较低,经济社会消费水量与经济社会用水量基本一致;第 2 阶段是改革开放后到 2012 年左右,在纺织业、造纸业及各类制造业等行业出口拉动下,我国虚拟水一直处于净流出状态,经济社会消费水量低于经济社会用水量;第 3 阶段是 2012 年至今,受农业、煤炭、石油、金属矿物、食品和化工等行业进口规模增长影响,虽然对外贸易总体处于顺差,但虚拟水由净流出转变为净流入,经济社会消费水量开始高于经济社会用水量。预期二者达峰的时间基本一致,均在 2035—2040 年达到极值,经济社会消费水量极值为 6 907 亿 m<sup>3</sup>,比经济社会用水量高 427 亿 m<sup>3</sup>。

当今的世界是开放的市场,随着发展阶段的变化各个国家都要在全球市场中调整自己的生产定位和产业结构,同时随着生活水平的提升,居民的消费结构、饮食结构也在不断优化提升。经济社会消费水量和经济社会用水量反映了经济社会发展过程中消费端商品需求结构与生产端商品生产结构的差异,生产结构和需求结构不同步导致经济社会消费水量和经济社会用水量存在差异。当前我国已经在向中等发达国家的目标迈进,生活水平的提升将带动更多的消费水量需求;同时随着我国产业在国际市场定位的变化,部分资源密集型和劳动密集型产业将逐步向国外转移,促进经济社会用水量的降低,经济社会消费水量超过经济社会用水量是

必然的趋势,二者的缺口主要通过虚拟水贸易来满足。这就需要优化进出口结构,合理确定哪些商品需要自给,哪些通过进口解决,避免大宗进口引发的价格急剧变动以及生产和消费危机。

#### 4 结论与讨论

实体水主要满足生产用水需求,研究实体水的效率和需求极值对水资源管理具有重要的指导作用,而经济社会终端消费的产品具有很强的流通性,除消费本区域的产品外,还要消费区域外的产品,这就涉及虚拟水使用问题,尤其是北京、上海等城市所消耗的虚拟水要远高于区域实际用水量,虚拟水是保障区域发展的重要支撑要素。在虚拟水分析的基础上,对各省(自治区、直辖市)消费水量进行评估,比较消费水量规模及效率指标与用水指标的差异,并对未来经济社会消费水量规模进行预测,主要结论如下:

虚拟水输入区向高收入地区聚集,虚拟水输出区向水资源密集型产品生产地聚集。我国虚拟水呈现出从贫困区域向富裕区域、从经济发展水平较低地区向经济发展水平较高地区流动的格局。北京、上海等通过贸易满足水资源密集型产品的需求,通过虚拟水缓解区内用水压力,实现地区经济协调发展与水资源优化配置,北京市虚拟水净调入量是本地用水量的 2 倍多。

2012 年之前我国经济社会消费水量要低于经济社会用水量,2012 年后农业、煤炭、石油、金属矿物、食品和化工等行业产品进口规模增长,虽然对

外贸易额总体处于顺差,但虚拟水由净流出转变为净流入,经济社会消费水量开始高于经济社会用水量。

基于我国商品进出口量以及经济社会供用水信息,对典型年份经济社会消费水量进行评估,总体来看人均综合消费水量随时间呈现对数关系,对人均综合消费水量进行外延,预期到2035年和2050年分别达到493 m<sup>3</sup>和530 m<sup>3</sup>,我国经济社会消费水量预期将在2039年达峰,峰值为6 907亿 m<sup>3</sup>,经济社会消费水量极值要比经济社会用水量高427亿 m<sup>3</sup>,主要通过虚拟水来解决,限于篇幅在虚拟水进出口结构方面未做进一步分析,将在之后研究中进行探讨。

#### 参考文献:

- [1] 贾绍凤,张士锋.中国的用水何时达到顶峰[J].*水科学进展*,2000,11(4):470-477. DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2000.04.021.
- [2] 姚建文,徐子恺,王建生.21世纪中叶中国需水展望[J].*水科学进展*,1999,10(2):91-95. DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.1999.02.017.
- [3] 柯礼丹.人均综合用水量方法预测需水量:观察未来社会用水的有效途径[J].*地下水*,2004,26(1):1-5,10. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1184.2004.01.001.
- [4] 沈福新,耿雷华,曹霞莉,等.中国水资源长期需求展望[J].*水科学进展*,2005,16(4):552-555. DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2005.04.014.
- [5] 彭岳津,卞荣伟,邢玉玲,等.我国用水总量确定的方法与结果[J].*水利经济*,2018,36(2):36-43,84-85. DOI: 10.3880/j.issn.1003-9511.2018.02.008.
- [6] 赵勇,李海红,刘寒青,等.增长的规律:中国用水极值预测[J].*水利学报*,2021,52(2):129-141. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.20200457.
- [7] 李锋,马寅涵.我国水资源开发利用与经济高质量发展耦合协调时空分异研究[J].*水利经济*,2022,40(6):24-32,102-103. DOI: 10.3880/j.issn.10039511.2022.06.004.
- [8] 田泽,徐志鹏,任阳军.长江经济带新型城镇化对水资源与经济协调发展的影响[J].*水利经济*,2022,40(5):14-22,93. DOI: 10.3880/j.issn.10039511.2022.05.003.
- [9] 左其亭,张志卓,马军霞.黄河流域水资源利用水平与经济社会发展的关系[J].*中国人口·资源与环境*,2021,31(10):29-38. DOI: 10.12062/cpre.20210107.
- [10] 赵自阳,王红瑞,张力,等.长江经济带水资源、水环境、社会经济复杂系统韧性调控模型及应用[J].*水科学进展*,2022,33(5):705-717. DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2022.05.002.
- [11] SAVIN N, KOVSH N, KOSTR V, et al. Bayesian networks application to forecast the national economies development taking into account the water factor[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 915(1): .12-33. DOI: 10.1088/1755-1315/915/1/012033.
- [12] HELLE P, VAN H G. Change in water use efficiency over time: methodological flaws and suggestions for improvement[J]. *The Science of the Total Environment*, 2021, 801(6366): 149,431. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149431.
- [13] 曹士圻,胡庆芳,蒋思佳,等.1995—2016年深圳市用水量变化与节水潜力分析[J].*水资源保护*,2019,35(6):76-81. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2019.06.011.
- [14] 陈雅芬,刘艳菊,李敏,等.用水计划合理性分析的多维指标体系研究[J].*人民珠江*,2021,42(12):106-111. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9235.2021.12.014.
- [15] 耿思敏,刘定湘,夏朋.从国内外对比分析看我国用水效率水平[J].*水利发展研究*,2022,22(8):77-82. DOI: 10.13928/j.cnki.wrd.2022.08.016.
- [16] 鲁红武.陇西县农业用水效率现状分析与预测研究[J].*甘肃农业*,2021,35(9):94-96. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1104/f.2021.09.033.
- [17] 石晓晓,秦长海,汪妮,等.海南省用水效率测算及可达性分析[J].*水利经济*,2018,36(6):26-30,72. DOI: 10.3880/j.issn.1003-9511.2018.06.005.
- [18] 郑江丽,李兴拼,张康,等.贵州省农业用水定额评估[J].*人民珠江*,2022,43(3):16-22. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9235.2022.03.003.
- [19] 高远,杨帆.松辽流域相关省份用水定额执行评估及对策建议[J].*东北水利水电*,2022,40(3):31,42. DOI: 10.14124/j.cnki.dbsl.2022.03.016.
- [20] 胡梦婷,白雪,朱春雁.取水定额标准实施效果评价方法研究[J].*中国标准化*,2018,61(9):52-56. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5944.2018.09.003.
- [21] 夏丽丽,张聃,王敬斌,等.江西省生活用水定额评估分析[J].*江西水利科技*,2018,44(6):440-444,455. DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2018.06.12.
- [22] 丁俊发.“贯通生产、分配、流通、消费各环节”的战略意义[J].*全球化*,2021,8(6):19-33,44,133. DOI: 10.16845/j.cnki.ccieeqqh.2021.06.002.
- [23] 彭刚,朱莉,陈榕.SNA视角下我国数字经济生产核算问题研究[J].*统计研究*,2021,38(7):19-31. DOI: 10.19343/j.cnki.11-1302/c.2021.07.002.
- [24] 何凡,顾冰,何国华,等.中国用水量变化的驱动效应[J].*南水北调与水利科技(中英文)*,2022,20(3):417-428. DOI: 10.3476/j.cnki.nsbdk.2022.0042.
- [25] CHEN W, WU S, LEI Y, et al. China's water footprint by province, and inter-provincial transfer of vir-

- tual water[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 74(11): 321-333. DOI: [10.1016/j.ecolind.2016.11.037](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.037).
- [26] CHEN W, WU S, LEI Y, et al. Virtual water export and import in China's foreign trade: A quantification using input-output tables of China from 2000 to 2012[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 132(2): 278-290. DOI: [10.1016/j.resconrec.2017.02.017](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.017).
- [27] LIU G, ZHANG F, DENG X Z. Is virtual water trade beneficial for the water-deficient regions? New evidences from the Yellow River basin, China[J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2021, 38(12): 185-196. DOI: [10.1016/J.EJRH.2021.100964](https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2021.100964).
- [28] 姜珊, 秦长海, 朱永楠, 等. 北京市虚拟水消费与贸易分析[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(5): 853-861. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0089](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0089).
- [29] 赵勇, 黄可静, 高学睿, 等. 黄河流域粮食生产水足迹及虚拟水流动影响评价[J]. *水资源保护*, 2022, 38(4): 39-47. DOI: [10.3880/j.issn.10046933.2022.04.007](https://doi.org/10.3880/j.issn.10046933.2022.04.007).
- [30] 韩昕雪琦, 安婷莉, 高学睿, 等. 我国西北地区主要农作物贸易对区域水资源影响[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2020, 18(1): 82-97. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2020.0010](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2020.0010).
- [31] 中华人民共和国统计局. 2018年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [32] 中华人民共和国水利部. 2018年中国水资源公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019.

## Water consumption, efficiency and future extremum of accompanying China's social commodity consumption

QIN Changhai<sup>1</sup>, SUN Huayue<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>1,2</sup>, LI Haihong<sup>1,2</sup>, QU Junlin<sup>1</sup>, WANG Ming<sup>1</sup>

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China*; 2. *State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China*)

**Abstract:** To objectively evaluate the real water consumption and water efficiency link, the water consumption accompanying social commodity consumption was studied based on virtual water analysis. Based on the national and provincial water resource input-output tables. A virtual water flux and comprehensive water use efficiency evaluation model was built to evaluate the virtual water flux. Water consumption accompanying social commodity consumption and comprehensive water use efficiency of China's provinces in 2007, 2012, and 2017, and the extreme value of water consumption accompanying social commodity consumption in the future was predicted.

The results showed that the domestic virtual water input area converged to high-income areas, and the virtual water output area converged to water resources-intensive product production areas. Considering the virtual water circulation, the comprehensive water use efficiency of each province had the same characteristics, and the per capita comprehensive water consumption had a good logarithmic relationship with the level of economic development. The more developed the economy and the higher the living standard of residents, the higher the per capita comprehensive water consumption. Due to changes in the structure of international trade commodities, China's economic and social water usage was higher than that of water consumption accompanying social commodity consumption before 2012, and then the latter exceeded the former. It is expected that China's water consumption accompanying social commodity consumption will reach the extreme value of 6 907 billion cubic meters in 2035-2040, 427 billion cubic meters higher than the water usage of economic and social.

Water usage of economic and social and water consumption accompanying social commodity consumption, respectively, reflected the scale of water use at the production end and the consumption end. With the improvement of economic and social living standards and the transformation of trade structure, China's water consumption accompanying social commodity consumption has exceeded the economic and social water usage, and will still show an increasing trend in the future. The difference between the two was mainly solved through virtual water. It is necessary to reasonably optimize the commodity import and export structure to avoid economic and social risks caused by bulk imports.

**Key words:** water resources; consumption; virtual water; water use efficiency; water resource pressure