

# 我国用水基本规律与战略研判的认识思考

赵 勇, 何国华, 王建华, 何 凡, 李雯晴

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

**摘 要:**用水演变态势事关经济社会发展、生态文明建设大局, 直接影响重大水利工程总体格局。自2013年我国用水统计达到峰值以来, 用水需求增长的动力是否存在、未来用水发展态势如何演变等问题, 逐渐成为争论的焦点, 迫切需要系统回答。通过梳理总结近年研究成果, 围绕用水需求是否达峰、如何演变、峰值何时到来等重大问题, 集中梳理十点认识思考。研究认为: 用水不同于需水, 现阶段实际用水受供给侧约束等多重因素影响, 表现出零增长特征; 但随着消费结构升级、城镇化推进、国际贸易不稳定性加剧等形势变化, 我国用水需求仍存在增长空间, 通过持续强化节水、国家水网工程建设等手段提升供水保障能力十分必要。在考虑最严格水资源管理制度、经济发展需求和既有工程规划体系条件下, 预测我国用水需求峰值约为6400亿~6500亿 $m^3$ , 峰值大概率在2035—2040年到来, 仍有10年增长长期。

**关键词:**用水规律; 用水达峰; 用水需求; 供给侧

**Insights and reflections on basic laws and strategic assessment of water use in China//ZHAO Yong, HE Guohua, WANG Jianhua, HE Fan, LI Wenqing**

**Abstract:** The evolution of water use trends is closely related to the overall landscape of economic and social development and ecological civilization construction, directly impacting the overarching pattern of major water resources projects. Since China's water consumption statistics peaked in 2013, debates have emerged regarding the existence of driving forces behind water demand growth and the future trajectory of water use, necessitating systematic responses. By summarizing recent research findings, this study presents ten understandings and reflections on critical issues such as whether water demand has peaked, how it will evolve, and when the peak will occur. The study suggests that water use differs from water demand; current actual water consumption is influenced by multiple factors, including supply-side constraints, exhibiting characteristics of zero growth. However, with changes in consumption structure upgrades, urbanization advancement, and increasing instability in international trade, China's water demand still has room for growth. It is essential to enhance water supply security through measures such as continuously promoting water conservation and constructing national water network projects. Considering the most stringent water resource management system, economic development needs, and existing project planning system, it is predicted that China's water demand peak will be approximately 640 billion to 650 billion cubic meters, with the extreme point likely to occur between 2035 and 2040, indicating a growth period of about ten years.

**Keywords:** water use pattern; water use peak; water demand; supply side

中图分类号: TV213.4 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2025)09-0001-13

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2025.09.001

收稿日期: 2025-03-24 修回日期: 2025-04-29

作者简介: 赵勇, 水资源所所长, 正高级工程师, 主要从事水循环演变、水资源高效利用与国家水网研究。E-mail: zhaoyong@iwhr.com

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC3200204); 国家自然科学基金(52025093、52109042、52394230)。

## 一、我国用水演变态势

我国的用水需求是否已经达峰？这一问题对国家水资源宏观管理策略及重大水利设施规划布局具有重要影响。研究认为，近年来我国统计用水量逐渐减少是多种因素共同作用的结果，但未来用水格局仍存在变数，现在就认为用水需求已经达峰还为时尚早，需谨慎对待。

根据我国用水统计数据，1949年以来，我国用水大致可以分为3个变化阶段，分别是1949—1980年的用水高速增长期、1980—2013年的用水稳定增长期和2013年以来的平稳下降期（见图1）。新中国成立初期，随着工农业生产和城市工商业迅速发展，全国用水量呈现快速增长态势，从1949年的1015亿 $m^3$ 快速增加到1980年的4416亿 $m^3$ ，年均增长率达到4.7%。1980—2013年，我国用水增长趋势放缓，年均增长率下降到1.0%，并于2013年达到用水峰值6183亿 $m^3$ 。2013年后我国用水开始缓慢下降，表现出拐点的现象。2023年，全国用水总量为5906亿 $m^3$ ，比2013年峰值下降了4.5%。

未来我国用水需求将如何演变已经成为水资源规划管理迫切需要回答的重大问题。近年来，学术和工程领域针对该问题开展了系统研究，形成了一系列颇具价值的科研成果。学者们对于我国用水态势的认知呈现出两种主要观点。一种观点认为我国工业化仍在持续推进，加之某些地区生活用水标准尚待提升，随着经济发展与水资源优化配置体系逐步健全，我国用水需求将维持渐进式增长态势。例如，《全国水资源综合规划》预测2030年全国用水总量将达到7000亿 $m^3$ ；沈福新等基于人口、经济指标与用水量的相互关系，分析得出2030年和2050年我国需水量将分别达到7277亿 $m^3$ 和7863亿 $m^3$ ；姚建文等测算认为2050年我国用水需求可能为8500亿~9000亿 $m^3$ 。另一种观点认为我国人口总量已进入负增长阶段，低耗水的绿色智能工业和更节水的现代集约农业将成为未来工农业的主要发展模式，随着用水效率的进一步提高，我国的用

水总量正在向零增长过渡并很快达峰。例如，何希吾等系统梳理了发达国家产业转型过程中的用水演变规律，推断我国用水极值出现的时间节点为2026—2030年，规模为6300亿 $m^3$ ；易信通过构建生产函数模型模拟我国中长期经济增长趋势，预测2030年和2050年用水总量将分别达到6375亿 $m^3$ 和6047亿 $m^3$ ；姜富华等认为目前全国生产生活用水量已经达峰。

研究认为，用水量与需水量的概念存在本质差异。需水量指某个地区为维系经济社会系统正常运转、保障基本民生需求及实现生态系统服务功能所需要的理想水量规模。相较而言，用水量反映特定时空条件下区域经济社会活动及生态环境实际消耗的水资源量，该指标受到水资源禀赋、水利设施供水能力、水需求强度、政策调控模式等多重驱动因素的影响。根据调水工程“十四五”专项规划研究成果，受水源不足、工程制约等因素影响，全国现状缺水量为491亿 $m^3$ ，仅供水能力不足导致的缺水已达到174亿 $m^3$ 。因此，仅关注某一时段用水变化而不分析背后的需求态势与工程条件，难以科学判断真实的用水规律。研究认为，未来一个时期我国用水变化仍存在较大的不确定性，根据过去10年用水统计变化趋势就提出我国生产生活用水需求已经达峰的结论还为时尚早。

## 二、用水变化遵循客观规律

任何事物发展变化都有其内在规律，用水变化也是如此。研究表明，区域用水演变受社会经济驱动与水资源供给约束的共同影响。经济规模扩张的正向驱动、生产效率优化的逆向调节以及水资源的约束机制，共同构成了区域用水量变化的三大核心动力。

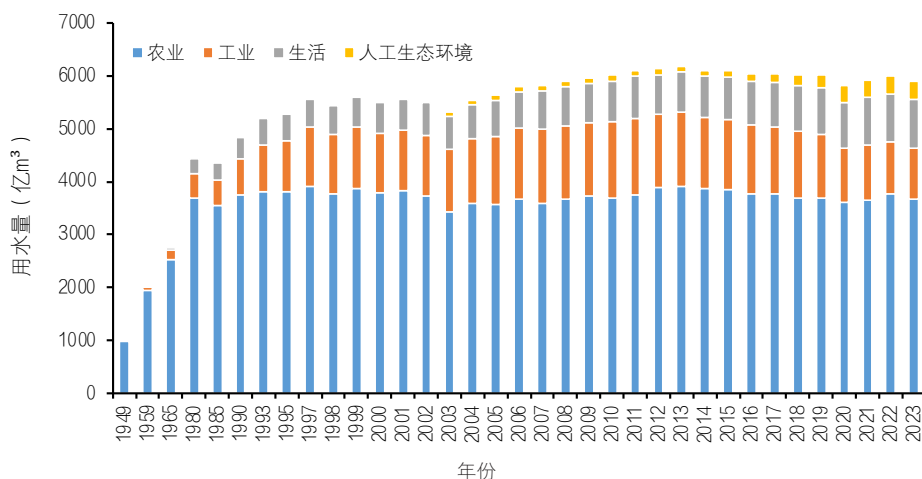


图1 我国1949年以来用水总量变化

研究发现用水演化呈现受资源承载能力约束的适应性增长规律(见图2)。基于水资源约束程度的梯度差异,用水总量的适应性增长曲线可分为3种类型:自然增长型、发展约束型和严重胁迫型。

### 1. 自然增长型(曲线ABDEH)

区域水资源充足、社会经济活动基本不受水资源制约的情况下,用水量随着经济发展和社会进步自然增长。其用水变化曲线类似于经济学中的库兹涅茨曲线,顶点E标志着在自然增长条件下的用水峰值。美国可看作是自然增长型,美国用水峰值出现在1980年,当年用水总量达6164亿 $m^3$ ,相应的人均年用水量为2680 $m^3$ ,是当年我国人均用水量的6.2倍。在经历1980年峰值后,尽管人口总量和经济规模呈现持续扩张态势,但美国用水总量在此后的20多年间始终维持在较平稳水平。近年来,受火电用水需求减少的影响,其用水总量开始显著下降。

### 2. 发展约束型(曲线ABDFG)

当区域水资源接近其可持续利用上限时,为避免对生态系统造成不可逆损害,需提前介入并实施用水约束策略,以引导用水增长轨迹向水资源承载能力( $W_2$ )靠拢。这一过程导致用水增长不再遵循原有的自然轨迹,而是在调控作用下形成新的增长路径,峰值F体现了在资源承载能力约束下的实际发展上限。日本是发展约束型的典型国家,尽管其年降水量充沛,但受制于人口密度高、河川径流短小急促以及水资源调蓄能力有限等因素,人均水资源占有量不足全球均值

的1/2。自20世纪60年代城市化进程加速引发用水需求激增,叠加生态环境承载压力持续加剧,日本开始大力推行节水措施和推广再生水利用,显著提升了用水效率。至1992年,其用水总量触及历史峰值,人均约为720 $m^3$ ,相当于美国1980年峰值的1/4。

### 3. 严重胁迫型(曲线ABJK)

当区域水系统遭遇超载压力,即用水需求突破自然环境承载能力( $W_3$ )时,即便在经济社会发展水平相对较低的阶段,也需要采取极端措施,如严格限制发展规模、优化产业结构,甚至不惜牺牲部分生态用水或依赖高成本外调水源来维持水资源安全。这种情境下的用水增长曲线急剧偏离自然状态,呈现出一种在极限约束下的发展态势。海河、黄河流域是这种类型的代表,以北京市为例,其人均水资源量仅有150 $m^3$ ,不足全国平均水平的1/10。20世纪80年代,由于区域经济高速增长与人口集聚扩张效应共同驱动,北京全市用水总量于1992年达到46.4亿 $m^3$ ,突破水资源承载极限。自20世纪90年代末起,北京市通过实施耕地面积缩减与高耗水行业外迁等调控措施,促使用水量连续10年保持下降趋势,至2002年缩减到34.6亿 $m^3$ 。但随着城镇化进程加速,21世纪初用水需求再度进入上升轨道。为应对这一挑战,北京市不得不依赖高成本的外调水提升区域承载能力,以支撑区域经济社会的可持续发展。

总体来看,我国南方丰水地区用水变化大体属于自然增长型,经济社会发展规模与生产效益水平是决

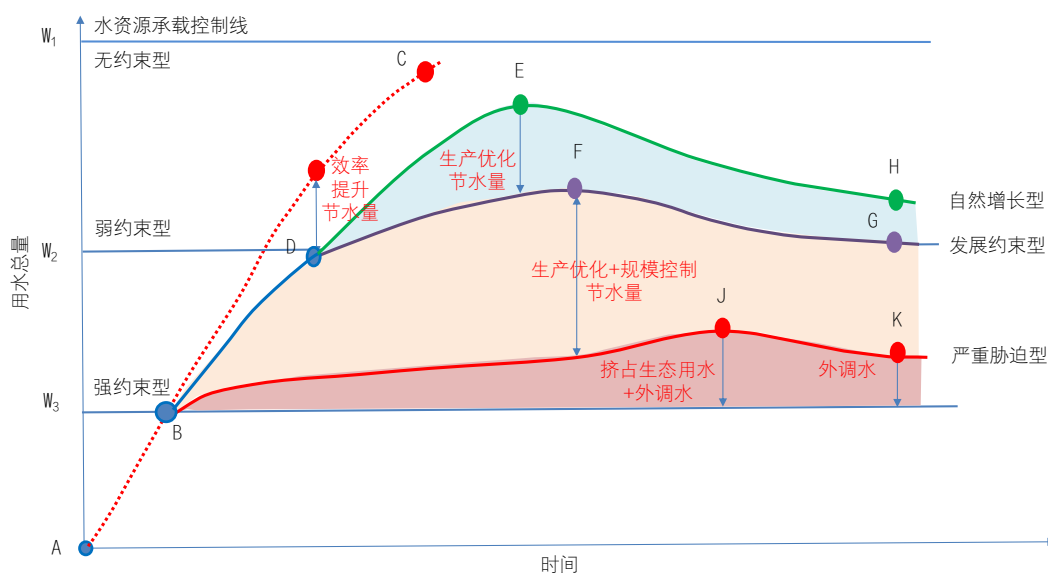


图2 受资源承载能力约束的适应性增长曲线

定其用水变化的主要因素。北方多数缺水区域可归类于发展约束型,其中部分区域已演变为严重胁迫型。这种现象的本质并非经济社会用水需求缺失,而是源于水资源供给侧的强约束机制,表征为用水微增长或零增长现象。

### 三、用水达峰出现的共性特征

研究发现,全球主要发达国家的用水总量普遍经历了拐点,已进入稳态化或负增长阶段。对15个已经出现峰值的发达国家进行统计分析,发现用水达峰出现时各个国家的经济水平、产业结构、城市

结构三大指标具有显著的趋同特征,识别发达国家用水达峰的特征指标,能够为我国水资源需求预测提供参考借鉴。

分析已出现用水峰值的发达国家用水总量与其经济社会发展轨迹关联关系,发现20世纪70至90年代是这些国家普遍达到用水高峰的时段,并且用水达峰时伴随着3个显著的社会经济特征:①以2020年不变价核算,人均GDP普遍超过2万美元;②城镇化率高,普遍跨越70%门槛;③第三产业在经济结构中的占比显著较高,达到60%以上(见图3)。进一步分析发现,用水峰值出现的时间越晚,伴随的经济社会发展水平

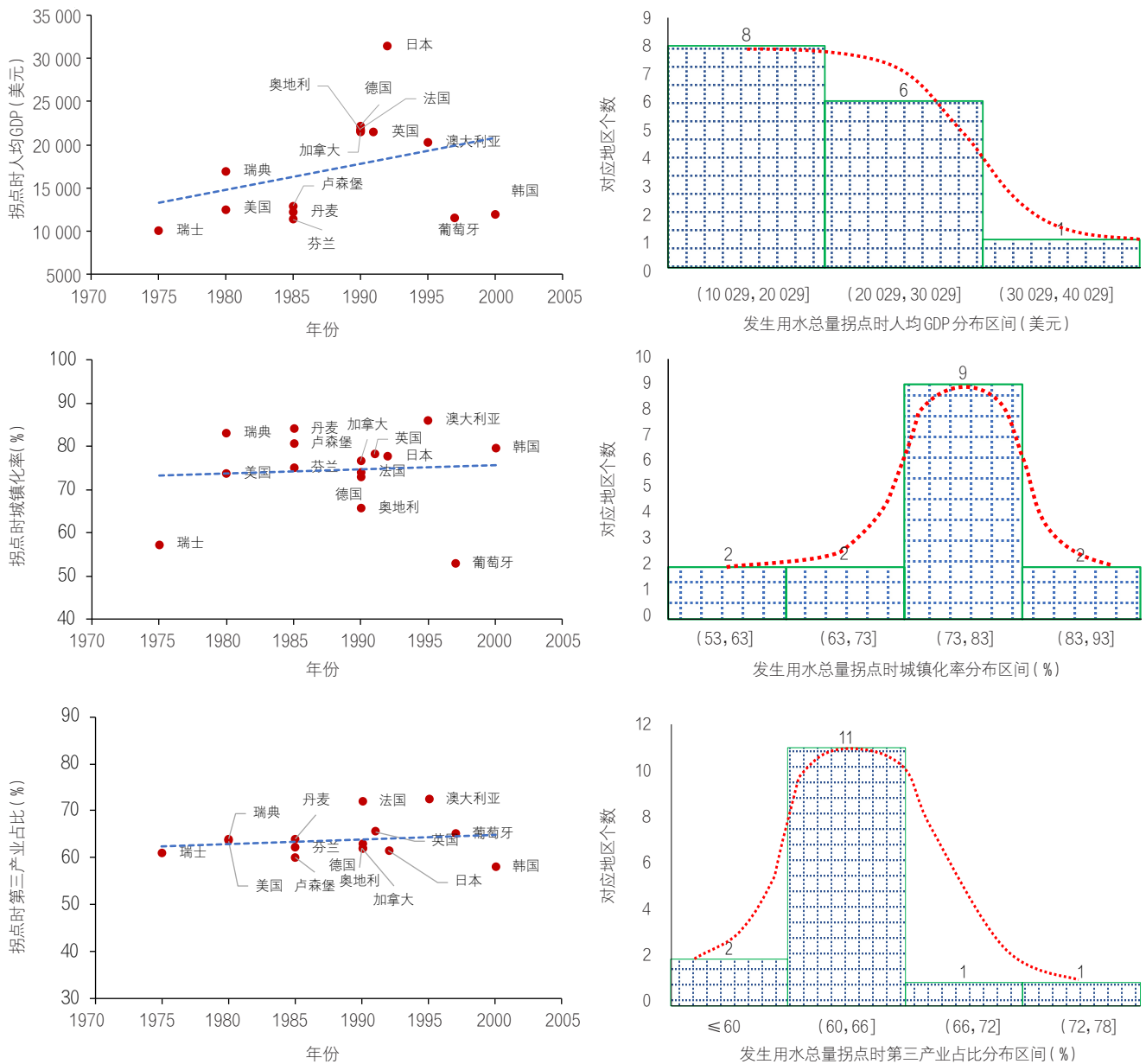


图3 主要发达国家用水总量发生拐点时间及其对应的经济社会指标

就越高;而水资源条件较为匮乏的地区,其用水峰值会更早到来,并且达峰时的经济社会指标值比其他国家明显较低。

基于2022年国家统计局数据,我国人均GDP为8.57万元(约1.17万美元),城镇化率为65.2%,第三产业占GDP比重为52.8%。对照发达国家用水拐点出现的经济社会条件,三项指标尚未达到所需阈值。与除港澳台以外的31个省(自治区、直辖市)进行对比分析显示,北京和上海已基本满足相关标准,江苏、浙江、广东和福建接近达标,其他省份与这些条件仍存在显著差距。需要说明的是,由于产业结构、人口规模、发展路径的巨大差异,发达国家用水达峰的经济社会条件并不能作为我国需求达峰的严格判别标准,但对于我们科学认识用水变化过程与驱动因素仍具有参考意义。

进一步梳理用水拐点出现后各个国家的用水演变态势,发现即便首个用水拐点出现,未来用水规模也不一定持续下降(见图4)。国际经验表明,发达国家跨越首个用水拐点后,呈现出3种差异化演化路径。澳大利亚和加拿大等国家在用水量达到峰值后呈现快速下降特征,形成典型的“倒V形”回落趋势。相比之下,美国、挪威、日本等国家则经历了相对平稳的用水平台期。例如,美国在1980年达到用水峰值后,其总用水

量长期维持在5500亿~5800亿 $m^3$ ,这一平台期持续了20余年。直到近年,用水量才开始呈现显著下降趋势。而丹麦、爱尔兰等国家,虽然初期用水量有所减少,但随后又经历了波动性回升。这些经验提示我们,即便我国用水拐点已经出现,未来用水趋势也可能存在多种变化态势,需要在深化水资源节约集约利用、提升管理效能的同时,构建更加灵活的供水保障体系,以确保水安全与经济社会可持续发展。

#### 四、节水对用水需求的影响

国情水情决定了我国经济社会发展必须走“节水优先”之路。理论上讲,节水潜力可以无限挖掘,但节水是有成本的社会活动,实现节水潜力需要经济、资源和科技的持续投入,是一个缓慢渐进的过程。研究认为,平衡好水量节约与经济投入、生态保护、产业发展之间的关系,是未来一个时期我国节水工作的重要课题。

我国是世界主要经济体中水胁迫程度最深的国家,积极推动“节水优先”是应对水风险的重要手段。21世纪以来,我国围绕节水谋划了一系列重大举措:2001年启动节水型社会建设,2013年启动最严格水资源管理制度考核,2014年提出“节水优先”方针,2016年开展水

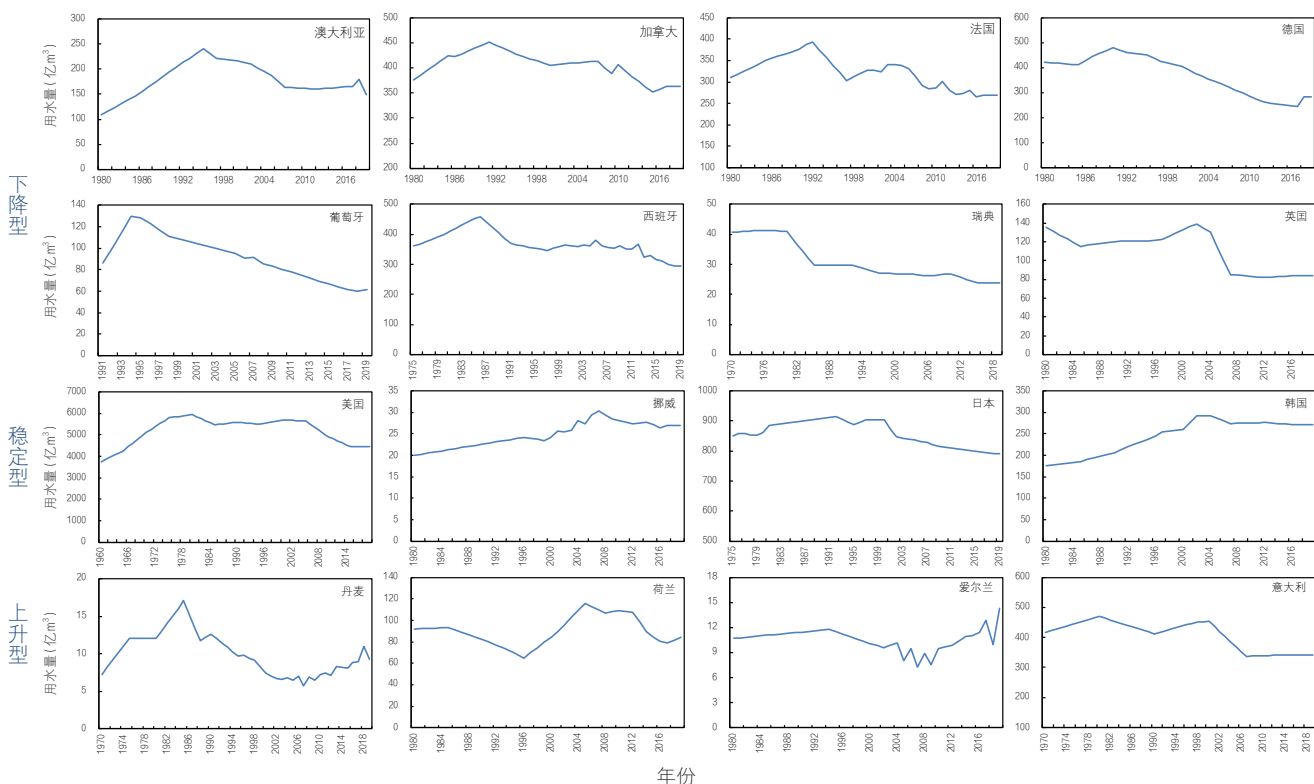


图4 出现用水拐点国家的用水演化历程

效领跑者行动,2019年印发《国家节水行动方案》。通过需求端的持续管控,各行业用水效率大幅提升。2022年,全国万元工业增加值用水量为 $24.1\text{ m}^3$ ,万元GDP用水量为 $49.6\text{ m}^3$ ,亩均灌溉用水量为 $364\text{ m}^3$ ,用水效率分别较2000年提升92.0%、92.6%和13%。对比来看,目前我国万元工业增加值用水量、万元GDP用水量分别为中高收入国家平均值的87%和85%,亩均灌溉用水量仅为金砖国家均值的75%。

通过数十年发展,我国节水工作在宏观、中观、微观3个尺度均取得了显著成效。在宏观层面,坚持把水资源作为最大的刚性约束,通过在全国范围实施用水总量控制,进行全国省市县三级用水指标分解并逐级考核,切实将经济活动限定在水资源承载能力范围之内,解决了水资源过度开发利用问题。在中观层面,建立完善了水资源优化配置体系,将非常规水源纳入水资源统一配置,全面推动各领域污水资源化利用,对各地区提出了明确的再生水利用指标要求,以新水用量的微增长支撑了经济社会的快速发展。在微观层面,大力推动先进节水技术、工艺和设备的研发与应用,先后发布了主要行业用水定额、节水技术标准和强制性水效标准,节水型生产生活方式已基本形成,水资源利用效率效益大幅提高。

目前,我国节水已先后跨越以“工程节水”为特征的1.0时代和以“工程节水+制度节水”为特征的2.0时代,进入了“数字节水”3.0时代,随着节水投入逐渐加大,进一步挖掘节水潜力的边际成本持续增长,并对经济、生态和产业发展产生了深刻影响。

### 1. 经济的比较性方面

研究以河北省衡水市地下水压采为案例,测算发现衡水市通过种植结构调整、冬小麦节水灌溉、保护性耕作、水肥一体化、地下水置换等措施,以32.9亿元的成本投入实现了 $2.1\text{ 亿 m}^3$ 的地下水压采规模。平均来看,衡水市地下水压采成本为 $3.5\text{ 元/m}^3$ ,已经远高于南水北调中线的调水成本( $0.97\text{ 元/m}^3$ )。地下水压采对于财政经费投入的严重依赖,已经成为制约区域地下水可持续管理的重要因素。再以内蒙古河套灌区为例,2023年河套灌区投入4.487亿元进行渠系衬砌与配套建筑物改造,工程实施后实现节水 $0.41\text{ 亿 m}^3$ 。平均来看,现阶段河套灌区节水成本已达 $10.9\text{ 元/m}^3$ ,远高于 $0.153\text{ 元/m}^3$ 的水费收入。

### 2. 节水的生态负外部性方面

我国西北大中型灌区依赖灌溉所形成的人工生态

绿洲系统,近年也由于高强度节水受到了一定影响。以宁夏青铜峡灌区为例,随着农业节水的推进,灌溉用水量由20世纪90年代的 $70\text{ 亿 m}^3$ 左右下降到2020年的 $40\text{ 亿 m}^3$ 左右,对应8月份地下水平均埋藏深度从1.0 m下降到1.9 m,2月份地下水平均埋藏深度从2.2 m下降到2.7 m,已经接近生态埋深阈值。为了弥补地下水水位下降导致的河湖生态水量缺口,宁夏每年不得不消耗2亿~3亿 $\text{m}^3$ 的水量专门用于河湖补水,造成恶性循环。

### 3. 水效的比较性方面

节水的目的是为了抑制不合理的用水需求,以节水扩大发展空间,但在实际操作过程中,部分地区产业的正常发展路径受到影响。以河北传统支柱产业纺织业为例,由于环保政策倒逼和资源约束,河北省2017年开始整治印染产业,纺织业、纺织服装制造业总产值分别由2016年的1731亿元和438亿元下降到2020年521亿元和160亿元。但从用水效率看,目前河北规模以上纺织业的万元工业增加值用水量仅为 $7.5\text{ m}^3$ ,远低于全省 $12.5\text{ m}^3$ 的万元工业增加值用水量平均水平,并且部分造纸企业的再生水利用效率已经达到96%,新水用量并不高。

综上,随着节水进入新阶段,高耗水行业的用水特征是动态变化的,不能再单纯以降低水量消耗作为主要管控目标,而是要将经济投入、生态保护、产业发展协同考虑,尽可能通过产业升级和新技术应用提升用水效率效益,以实现资源环境保护和高质量发展相互协调。

## 五、供给侧约束对用水的影响

研究认为,供水的天花板效应是北方缺水地区用水规模没有增长的重要原因,并产生约束型缺水、转嫁型缺水两方面影响,导致部分行业正常用水需求无法满足,或依靠掠夺农业和生态用水来维持经济社会的正常发展。

国际通行的地表水合理开发利用率标准为40%,而我国北方河流水资源开发利用程度明显偏高,超过了水资源正常开发利用的安全阈值,逼近甚至触及了水资源承载能力极限。目前淮河流域地表水开发利用率已超过50%,黄河、海河及辽河流域高达70%以上,多数内陆河流域普遍超过80%。此外,近年北方主要河流如黄河、海河、辽河等流域水资源量显著衰减,进一步加剧了供给侧约束(见图5)。“无水可用”已成为

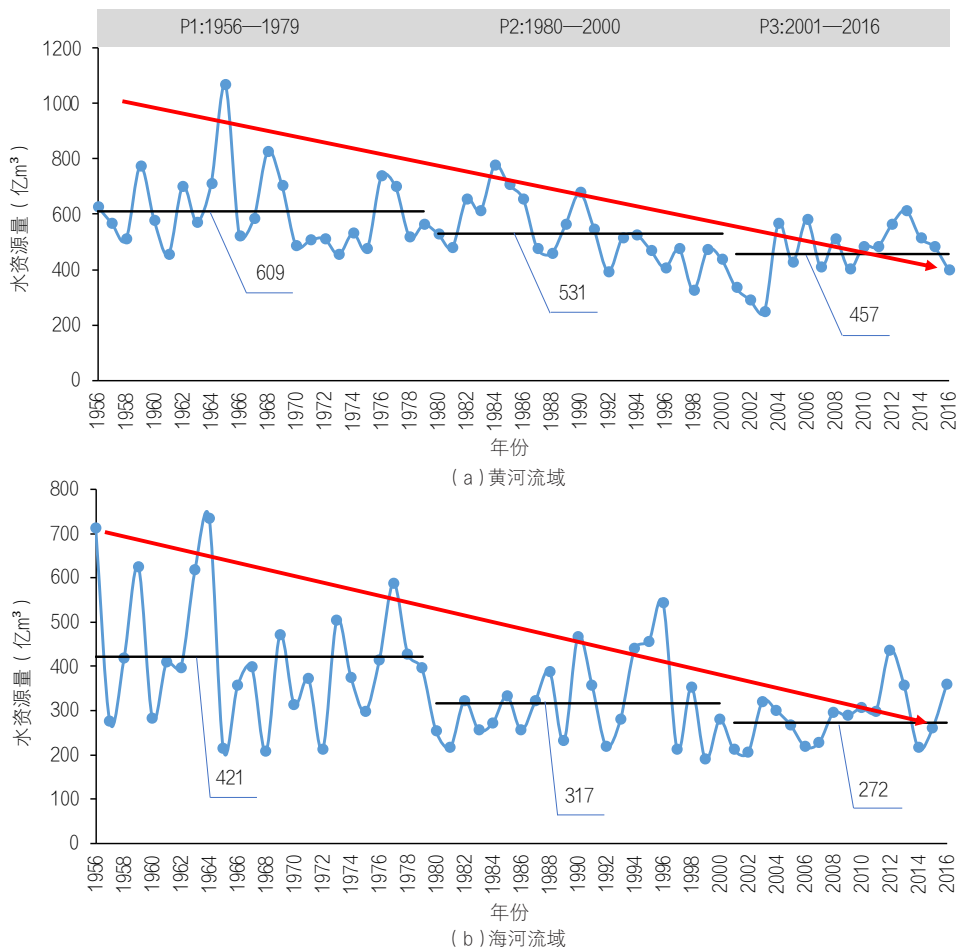


图5 黄河、海河流域水资源量衰减态势

制约我国特别是北方地区用水规模增长的现实瓶颈。

以黄河流域为例,尽管黄河干流连续25年未出现断流现象,但从水资源实际状况来看,缺水态势并未得到有效缓解。在供给侧,水资源呈现出显著的衰减趋势。统计数据显示,黄河多年平均天然径流量从早期的609亿 $\text{m}^3$ (1956—1979年)逐步下降至531亿 $\text{m}^3$ (1980—2000年),并在2001—2016年间进一步缩减至457亿 $\text{m}^3$ 。在需求侧,伴随区域经济持续增长与社会发展进程,黄河流域用水需求呈现持续攀升特征,其年均耗水量由1990—1999年的282亿 $\text{m}^3$ 增长至2000—2017年的300亿 $\text{m}^3$ 。在供水总量缩减与耗水需求扩张的双重压力下,流域水资源供需矛盾必然呈现加剧态势。

水资源供给“天花板”的制约作用体现在两个方面。首先是约束型缺水,即经济社会尚处于快速发展阶段,但由于水资源匮乏或取水成本过高,正常的发展用水需求难以满足。例如黄河流域中上游地区,其人均GDP低于全国均值,工业化势头强劲,但水资源不足迫

使部分地区不得不放弃一些高利润项目,或依赖高成本的水权交易来勉强维持发展。其次是转嫁型缺水,即通过牺牲农业与生态环境用水来保障经济社会的基本运作。例如海河流域发展用水长期依赖超采地下水和占用河湖生态用水,这种不可持续的水资源配置方式导致平原区主要河流长年大范围断流干涸,已造成一系列严重的生态危机。

## 六、消费结构快速升级对用水的影响

研究认为,随着收入水平提升,消费升级是必然趋势,但更高级的消费往往意味着更多的水资源需求,在不影响生活质量的前提下,保障正常合理用水需求、抑制无效损耗是应对消费升级的可行方式。

随着经济社会发展,我国居民消费结构已由生存型向舒适型转变,消费水平提升对我国用水需求产生了直接影响,其中食物消费结构升级的影响最为显著。过去40年间,我国水稻与小麦的人均消费量显著下滑,分别从1981年的124 kg和135 kg快速下降到2022年的53 kg和67 kg。与此同时,动物性食物消费量则快速增加,其中人均消费猪肉的量从1981年的11 kg上涨到2022年的23 kg,禽肉、鸡蛋和牛奶的人均消费量则分别增加了1100%、729%和298%。目前,生产1 kg小麦平均需要消耗1.1  $\text{m}^3$ 水量,而生产1 kg牛肉消耗的水量是小麦的12倍。随着我国居民膳食结构逐渐由低耗水的植物主导型向高耗水的动物蛋白驱动型产品转变,过去40年满足一个中国人食物消费所需要的水量(包括蓝水和绿水)由672  $\text{m}^3$ 增长至797  $\text{m}^3$ ,增幅接近1/5。同时,由于更多的肉类消耗,城镇居民每年人均食物消费需水量比农村居民多229  $\text{m}^3$ ,这导致城镇化率每增加1%,我国食物消费的蓝水足迹就会增加27亿 $\text{m}^3$ 。

对工业需水而言,生活水平提升意味着更多的工业产品消耗,但由于工业产品的用水定额相对较小,生活水平提升对工业用水的影响并不显著。研究对比分析了交通产品、家用电器、电子产品、能源产品的消费差异。交通产品消费方面,城乡消费结构呈现显著差异,农村居民的汽车消费数量显著低于城镇居民,但电动助力车和摩托车消费数量高于城镇居民;家用电器方面,城乡居民电冰箱(柜)、洗衣机、彩色电视机的消费量基本一致,但城镇居民空调、微波炉、排油烟机和热水器等现代化家电的消费量更高;电子产品方面,农村居民平均每百人手机消费量(96.3台)略高于城镇居民(91.6台),但城镇居民的计算机拥有量是农村居民的2.6倍;能源产品消费方面,城镇居民的汽油和天然气消费量远高于农村居民,但二者电力消费量基本持平。基于不同工业品消费特征分析与用水定额,测算结果显示我国城乡居民工业品消费需水量分别为 $12.4\text{ m}^3/\text{a}$ 和 $11.3\text{ m}^3/\text{a}$ ,城镇高于农村,但两者相差较小。

消费结构升级对生活用水的影响主要体现在用水设备升级和用水频次变化。在用水设备升级方面,调查发现,20世纪70至80年代,大多数家庭居住在平房,水龙头是最主要的用水终端,而如厕、洗衣和洗浴多依赖公共卫生间和浴室,居民生活用水量约为 $40\sim 70\text{ L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 。1990年以来,城市公寓建设规模的扩大促使更多家庭配置独立厨房设施、淋浴设备及卫生间,直接推动家庭洗浴与冲厕用水量持续上升。目前,城镇和农村居民的生活用水量分别为 $90\sim 190\text{ L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 和 $60\sim 140\text{ L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ,过去50年人均用水量增长约2.5倍。在用水频次方面,调查了31个省(自治区、直辖市)上万个家庭的用水情况,发现居民用水频次与收入水平呈现正相关关系,高收入家庭在个人清洁、洗衣和洗浴方面的频次分别为8.4次/d、3.4次/周和5.1次/周,而低收入家庭则分别为7.9次/d、2.8次/周和4.2次/周,导致高收入家庭人均用水量比低收入家庭约偏大 $18\text{ L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 。

研究认为,消费结构升级是经济社会发展的必然趋势,保障正常合理用水需求,通过积极利用节水新技术、新产品抑制无效损耗,是应对消费升级影响的可行举措。具体而言,生活节水需要通过采用节水器具、增强节水意识、降低管网漏损等方式压缩无效损耗;工业节水需要通过生产工艺优化、生产设备升级及行业水循环效率提升等技术措施减少无效需求;农业节水则需要在收获、储藏、加工、消费等各个环节提高效率,

减少损失浪费。

## 七、国内贸易对用水空间格局的影响

研究认为,我国资源分布与经济发展格局存在显著的区域性错配,由此形成的北粮南运、西气东输、西电东送、“东数西算”、西煤东运等跨区域资源配置体系,实质上构建了水资源虚拟转移通道。这种基于商品贸易的虚拟水流动,导致缺水区域的水资源通过产品贸易向丰水区域转移,造成水资源的空间不均衡性加剧。

我国水资源禀赋呈现夏汛冬枯、北缺南丰的基本特征,加之水与土地、矿产资源分布极不均衡,驱动了南水北调与北粮南运、西气东输、西电东送、“东数西算”、西煤东运等跨区域资源配置体系的形成。借助资源与产品的大规模跨区域调配,北方和西部地区实现了将其资源优势向产业和经济优势转化,有效推动了南北方及东西部的高质量发展。但伴随资源跨区域流动规模扩大,加之水资源与其他资源的错位分布加剧,北方和西部的水资源供需矛盾日益突出,现有资源开发模式给区域水资源有效供给带来了严峻挑战。

以粮食贸易为例,自20世纪90年代起,我国粮食生产布局发生根本性转变,贸易模式由“南粮北运”逐渐转向“北粮南运”。当前数据显示,北粮南运的规模约为 $5000\text{ 万 t/a}$ ,占北方粮食总产量的25%,主要输出省份包括吉林、黑龙江、河南、山东、内蒙古、新疆等粮食主产省(自治区)。随着北粮南运规模的持续增长,南方地区通过粮食贸易获取的灌溉虚拟水量呈显著增长态势,蓝水规模从20世纪90年代的 $162\text{ 亿 m}^3$ 攀升至2018年的 $436\text{ 亿 m}^3$ ,该数值已显著超越南水北调东中线一期工程的实际调水量(见图6)。

能源贸易格局同样反映出类似的趋势。西部地区作为我国主要能源供给区,现状产业用水需通过存量节约或用水权转化才能得到保障。以“西电东送”工程为例,2018年西北向东部地区输送电力 $4470\text{ 亿 kW}\cdot\text{h}$ ,伴随产生的虚拟水转移量达 $4.8\text{ 亿 m}^3$ ,占该地区能源生产总耗水量的20%左右(见图7)。作为西北地区经济发展的核心引擎,能源产业在推动区域高质量发展进程中发挥着决定性作用。依据相关规划,西北地区未来外送电量仍将持续增长,水资源约束性短缺已成为制约西北地区能源发展的主要因素。

作为唯一具备大规模流动特性的自然资源,水资源与土地、能源等资源的开发利用存在系统关联性。在当

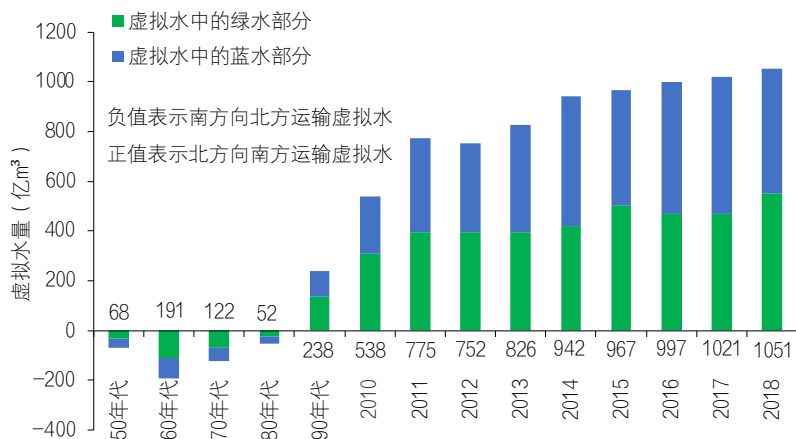


图6 我国粮食贸易虚拟水格局变化

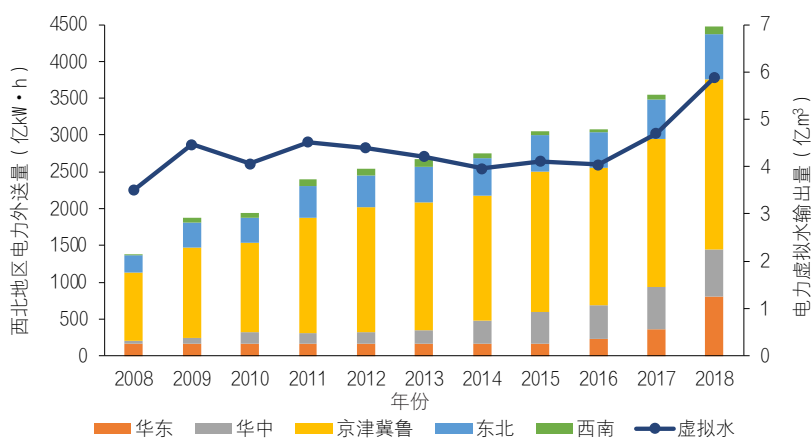


图7 2008—2018年西北地区外送电量及电力虚拟水输出量

前构建新发展格局、推动高质量发展关键阶段，依托水资源纽带作用统筹推进国土空间开发保护、构建现代国家水网工程体系已成为优化资源要素配置的战略选择。实现水资源配置与重大资源布局的协调统一，保障水资源与农业、城镇和生态空间的合理匹配，从而有效支撑国土空间开发保护、生产力布局优化及国家重大战略的实施，是突破资源瓶颈约束难题的必由之路。

## 八、国际贸易对我国用水安全的影响

研究认为，随着2014年我国虚拟水贸易格局由净出口转为净进口，国际贸易对我国水安全保障作用愈发显著，目前我国虚拟水净进口量达到443亿m<sup>3</sup>，相当于5个南水北调中线一期工程年调水量。在国际贸易格局动荡加剧的背景下，通过国家水网建设等手段提升我国自身的供水保障能力十分必要。

随着国际贸易往来日益频繁，我国水安全由国内、

国际两个区域共同保障的特性愈发显著，大量虚拟水进口有效缓解了我国的用水压力。依托“十四五”重点研发计划项目“区域水平衡机制与国家水网布局优化研究”，以1990—2021年全球189个经济体的投入产出表为基础，研究了我国与其他国家虚拟水转移规模。过去30年我国虚拟水进出口特征发生了显著改变。1990—2014年我国处于虚拟水净出口状态，轻工业和机械设备制造业产品出口是这一时期虚拟水出口的主要途径。2014年后我国虚拟水由净出口转为净进口，且进口规模逐年加大。农产品的大量进口是虚拟水进出口态势反转的主导因素。1990—2021年农业对我国虚拟水进口的贡献率为52%，远大于其他行业（见图8）。

将历年虚拟水净进口量与实际用水量相累加，可得到全口径的经济社会消费水量。研究发现，自2013年实际用水达到峰值6183亿m<sup>3</sup>后，我国用水总量已经持续多年保持下降趋势，但如果考虑国际贸易伴随的虚拟水进口，我国消费水量规模仍在稳

定增加，且年均增幅达到60.5亿m<sup>3</sup>。2021年，我国经济社会真实消费水量为6363.2亿m<sup>3</sup>，超过实际统计用水443亿m<sup>3</sup>（见图9）。从人均变化看，2021年我国满足一个人生产生活平均需要450.5 m<sup>3</sup>的水量供给，比人均用水量多31.3 m<sup>3</sup>，这意味着我国满足一个人生产生活水量消费的国内供给贡献率为92.7%，国际贸易贡献率达到7.3%。农业是我国虚拟水贸易的主体，20世纪90年代我国农业基本处于自给自足态势，农业供给、消费水量均维持在4000亿m<sup>3</sup>左右。自2002年中国加入世贸组织并逐步降低农产品关税后，我国农业用水、消费水量变化趋势逐渐分离，用水规模随着节水技术推广逐渐下降，而消费水量规模则持续上涨，目前我国农业用水量和消费水量相差575.1亿m<sup>3</sup>，若完全立足国内满足农业用水需求，农业用水量将比现状多16%。

目前，国际虚拟水贸易已成为我国水安全保障的重要支撑。但国际贸易容易受到疫情、战争、贸易政

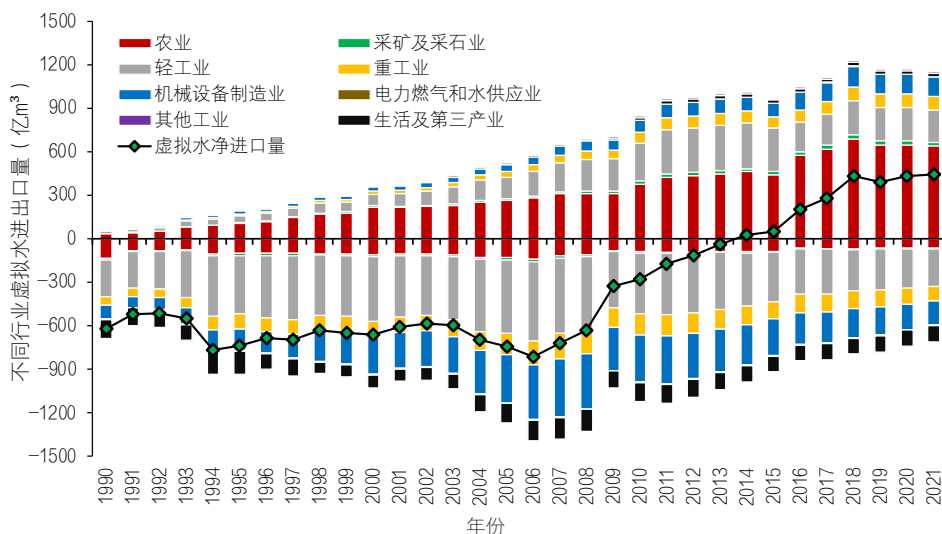


图8 1990—2021年我国不同行业国际虚拟水贸易转移情况

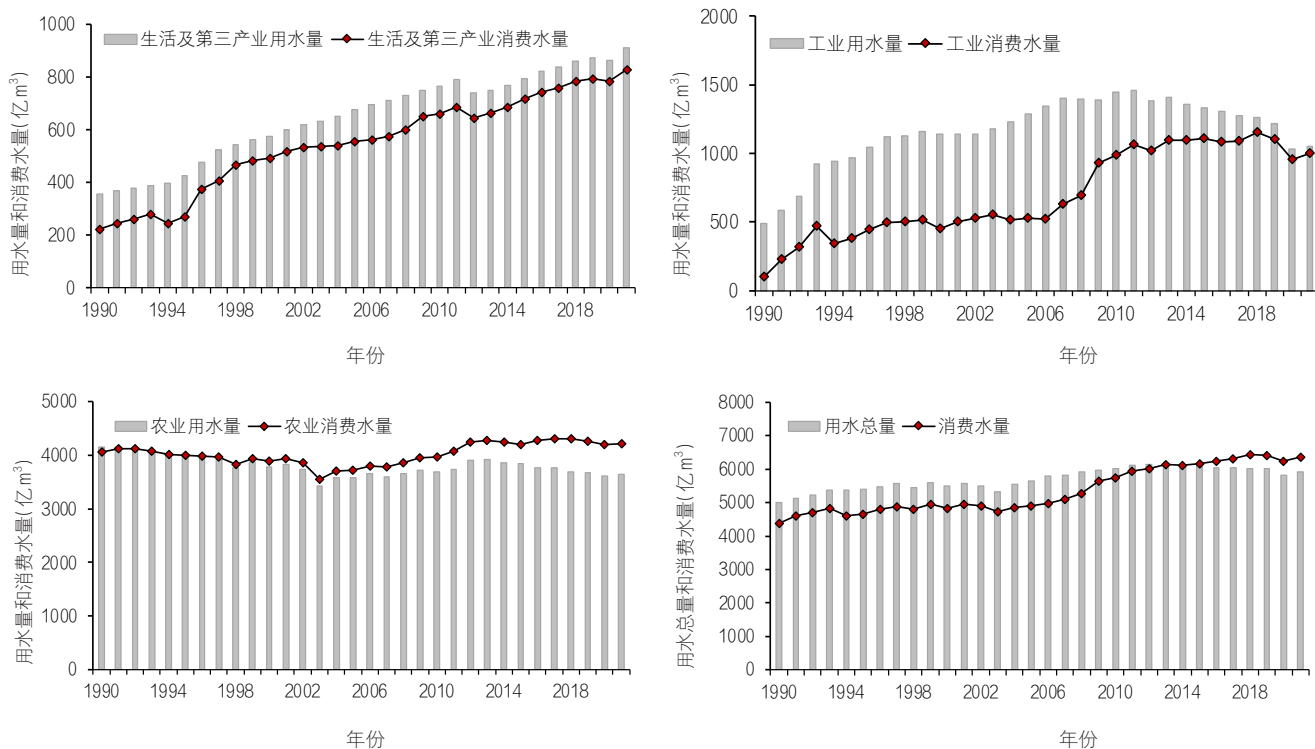


图9 1990—2021年我国用水量与消费水量对比

治环境等变化的冲击，是一个不稳定变量。考虑到近年国际贸易不稳定性持续增加的现实情况，研究认为，通过国际贸易保障我国水安全既需要有市场思维，也需要有底线思维。一方面，我国水资源禀赋相对较差，保障水安全必须要用好用国际市场，通过高耗水产品的适度进口确保日益增长的水消费需求得到满足；另一方面，在国际贸易动荡加剧背景下，通过国家水网建设等手段提升自身的供水保障能力十分必

要。此外在制定相关用水政策时也需要对贸易突发事件导致的用水规模大幅增长风险予以充分考虑，做到有备无患。

### 九、人口达峰与用水需求达峰的关联性

人口达峰会对用水态势产生何种影响已成为我国水安全保障的焦点问题。研究认为，人口数量达峰意味着我国用水需求未来一定会达峰，但人口特

征包括总量、结构等多个维度,由于城乡结构、消费结构持续变化,我国用水达峰时间将会明显滞后于人口达峰时间,保障水资源有效供给仍是未来一个时期水资源管理的重要任务。

作为水资源需求格局的关键驱动因子,人口的规模效应与结构变化深刻影响着用水需求的演进路径。2022年我国总人口较上年下降85万人,自1961年以来首度出现负增长趋势;同期65岁及以上人口占比突破14%的老龄化社会标准,标志着人口结构进入深度转型期。在此背景下,人口达峰对用水态势的影响已成为我国水安全保障的焦点议题。

通过研究我国1万多个家庭用水行为调查问卷、数百份产业发展白皮书、消费调查报告以及相关统计年鉴等数据,对我国人口特征与用水需求关系进行分析。研究发现,人口特征中的总量规模、城乡分布、年龄构成是经济社会用水需求的主要决定因素。基于这些要素的动态变化,构建了基于人口特征的经济社会需水变化曲线(简称WDP曲线,见图10),该曲线遵循逻辑斯蒂增长模型,呈现S形发展趋势。

WDP曲线将需水过程细分为4个阶段。首先是快速增长期,即P(A)至P(B)。由于人口数量的激增、城镇化进程的加速以及相对合理的人口年龄结构,此阶段需水量会迅速上升。印度目前正处于需水快速增长时期,过去20年印度人口自然增长率始终维持在全球平均值以上,目前城镇化率不足35%,人口老龄化率也未达到7%的警戒水平。在这样的人口特征下,印

度用水总量从2000年的6104亿 $m^3$ 迅速增长到2020年的7610亿 $m^3$ ,增幅高达25%。其次是稳定增长期,即P(B)到P(C)。人口老龄化将导致用水需求下降效应逐步显化,当达到临界点F时,需水总量将由快速增长期转入稳定增长期。进一步来看,随着城镇化的推进和老龄化程度的加深,人口规模的增速将逐渐放缓,当总人口达到峰值点G时,人口规模扩张对需水增长的拉动效应消失,此时需水总量进入缓慢增长阶段,即P(C)至P(D)。在此时期,需水增长主要受城镇化进程推动的生活水平提升驱动。日本目前正处于需水缓慢增长时期,2008年日本人口总量达到峰值1.28亿人,达峰时老龄化率处于21.2%的超高阶段,2020年日本人口下降到1.26亿人,老龄化率则增长到28.6%;与此同时,日本城镇化率从2008年的88.9%持续上升到2020年的92.3%。在城镇化率增长的带动下,日本需水总量总体缓慢上涨,其中用水量从2008年的337.5亿 $m^3$ 缓慢增长到2020年的341.9亿 $m^3$ ,而虚拟水净流入量则从2008年的220亿 $m^3$ 上升到目前约380亿 $m^3$ 。最终,当城镇化带来的需水增长达到饱和点H时,经济社会需水将进入下降阶段,即P(D)至P(E),此时总量规模、城乡结构及人口结构对需水增长的贡献将会全部消失。

人口结构和总量规模是决定用水需求的关键因子。研究认为,我国已处于深度老龄化社会,人口总量已达峰,随着人口要素对用水需求贡献的逐渐减弱,未来用水需求一定会达峰。但从现阶段看,我国城镇化进程的持续推进及居民生活品质的不断提升仍为需

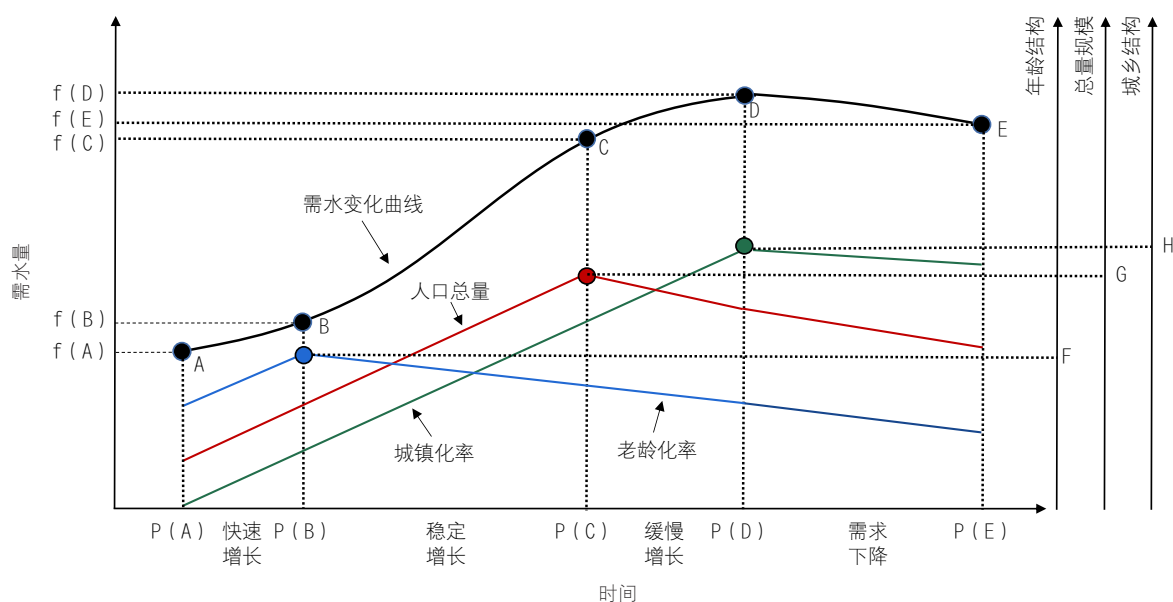


图10 基于人口特征的经济社会需水变化曲线示意

水增长提供了驱动力。依据WDP曲线,我国现处于水缓慢增长阶段的中后期,用水仍有增长需求,保障水资源的有效供给仍是未来一个时期水资源宏观管理的重要任务。

## 十、我国用水需求峰值预测

研究认为,现阶段我国用水统计达峰是由于供给侧约束、统计口径调整等因素带来的假象。在考虑最严格水资源管理制度、经济发展需求和既有工程规划体系的条件下,预测我国用水需求峰值约为6400亿~6500亿 $m^3$ ,极值时点大概率在2035—2040年,仍有10年长周期。

用水发展变化是多种因素作用的结果,一个地区或行业何时实现用水达峰、达峰时用水量是多少,与该地区或行业的需水规模、用水条件密切相关。近10年我国统计用水规模有所下降,这一现象既源于需求端管理措施的有效实施,也与2011年全国水利普查数据修正、2013年最严格水资源管理制度考核实施以及供给端水资源约束加强等综合因素相关。因此判断我国的用水需求还没有达峰。

研究采用地级行政区作为基本分析单元,结合规划水利工程措施实施效果,通过分析各单元用水需求增长趋势,预测区域用水峰值及其发生时序,最终整合形成全国层面的用水峰值预测结果。研究显示,在现行国家水利工程规划框架下,我国经济社会用水需求预计将在2035—2040年达到峰值,需求水量峰值将达到6400亿~6500亿 $m^3$ 。由于区域间水资源禀赋、开发利用水平及经济发展阶段差异,各省份用水峰值的出现时间将具有明显区别。具体而言,经济发达的北京、广东、天津、重庆等地区,用水需求峰值出现时间可能会提前于全国平均水平。相反,在黑龙江、陕西、甘肃、青海、宁夏等水资源相对匮乏省份,由于供水工程建设的驱动作用,其用水需求峰值预计将较晚出现。

由于不同行业用水格局差异显著,本研究认为各行业未来用水态势也有明显区别。

①农业用水增长受到水土资源空间分布不均的显著制约,预计将保持平稳。我国农业生产面临的核心挑战是水土资源在地理空间上的不匹配。北方地区承载着全国约60%的耕地和粮食产量,但其水资源储量仅占20%,受限于水资源的稀缺性,北方农业用水的增长潜力较为有限。南方地区水资源相对丰富,但由于耕地面积的限制和农业机械化应用的局限性,农业用

水预计难以大幅度增长。此外,农业节水技术的广泛推广和应用也将进一步抑制农业用水的增加。

②工业用水总量预期保持平稳,但地域间的差异性将趋于显著。我国东部地区已步入以高科技产业与高端制造业为主导的工业化后期阶段,随着产业结构持续优化和工业再生水进一步利用,工业新鲜水的用水需求预计呈现递减态势。在工业化进程持续推进的背景下,中西部地区部分产业进入高速发展期,工业用水需求可能会加速增长。然而,考虑到西部地区水资源短缺的实际情况,未来用水规模预计不会显著增加。

③生活用水需求预计将持续攀升,且增长重心逐步向城市区域偏移。尽管我国人口总量已步入负增长阶段,但城镇化进程的加速与生活品质的提升,仍构成了推动生活用水增长的主要动力。考虑到我国人口持续向城市地区转移的现实情况,未来一段时间生活用水的增长重心会向城市偏移,人口分布集中且持续流入的大城市可能会出现更大用水增幅。

④河湖生态用水约束显著,生态恢复目标将决定用水增量。河湖生态用水满足程度已成为经济社会用水的前置条件。当前,我国特别是北方地区生态用水短缺问题仍然突出。未来生态用水增量预计会依据生态恢复目标动态变动,若以满足当前生态系统的基本需水为目标,生态用水的增量或将温和增长;若着眼长远,全面补偿生态水量的历史欠账,那么生态用水的增幅可能会显著提升。

本文提出了我国用水需求的峰值时点,但未来我国用水需求的演变态势及分区格局仍受多重不确定性因素影响,主要体现在3个方面。①技术革新的不确定性。新一轮科技革命和产业变革正在加速演进,重塑了全球经济格局,未来经济和社会的发展方式及规模难以准确预测。同时,用水问题涉及无数家庭和环节,难以预见是否会出现某种革命性用水措施,从而大幅减少用水量。②食物安全保障的不确定性。近年,我国粮食产量持续上升,但部分农产品仍高度依赖进口,一旦遭遇国际贸易变化等突发状况,我国食品供应将主要依靠国内农业生产。为确保国家粮食安全,必然需要扩大农业灌溉用地规模,进而导致灌溉用水量显著增加。③重大工程的不确定性。供给侧水源条件和工程能力是我国北方地区用水量的主要约束因素,随着全国水利基础设施网络的系统性优化升级,未来水资源供给保障能力有望显著增强,可能导致我国用水规模的扩大。

## 参考文献:

- [1] 水利部.全国水资源综合规划[A].2010.
- [2] 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(4):552-555.
- [3] 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(2):91-95.
- [4] 何希吾,顾定法,唐青蔚.我国需水总量零增长问题研究[J].自然资源学报,2011,26(6):901-909.
- [5] 易信.中长期我国经济增长趋势及对水资源需求影响的研究[J].中国水利,2020(19):37-39.
- [6] 赵勇,何凡,何国华,等.国家水网规划建设十点认识与思考[J].中国水利,2023(14):24-33.
- [7] 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.
- [8] 王建华,何国华,师林蕊,等.中国用水演变态势研判——读《做好新时期水资源需求的研判》并与之商榷[J].中国水利,2023(18):29-33.
- [9] 张建云,王建华,何国华,等.关于中国水达峰几个问题的讨论[J].水科学进展,2024,35(1):1-10.
- [10] SHI L, WANG L, LI H, et al. Impact of residential water saving devices on urban water security: the case of Beijing, China[J].Environmental Science: Water Research & Technology, 2022, 8(2):326-342.
- [11] 赵勇,翟家齐,张鹏程,等.宁蒙河套引黄灌区节水与生态安全十点认识与判断[J].中国水利,2024,(23):26-35.
- [12] 詹力炜,朱永楠,赵勇,等.南水北调受水区生活用水影响因素与节水潜力[J].南水北调与水利科技(中英文),2023,21(1):56-64.
- [13] 董义阳,翟家齐,赵勇,等.宁夏引黄灌溉绿洲农业节水的水平衡效应及其生态影响模拟分析[J].应用基础与工程科学学报,2024,32(6):1720-1739.
- [14] 翟家齐,赵勇,刘宽,等.干旱区灌溉绿洲农业节水潜力形成机制与评估方法[J].水利学报,2023,54(12):1440-1451.
- [15] 何国华,杨艳,赵勇,等.打通制约黄淮海流域高质量发展“水堵点”[J].中国水利,2023(13):5-8.
- [16] 赵勇,王庆明,王浩,等.京津冀地区水安全挑战与应对战略研究[J].中国工程科学,2022,24(5):8-18.
- [17] 赵勇,何凡,何国华,等.全域视角下黄河断流再审视与现状缺水识别[J].人民黄河,2020,42(4):42-46.
- [18] 赵勇,何凡,李海红,等.黄河流域极限节水潜力与缺水识别[M].北京:科学出版社,2021.
- [19] 王庆明,赵勇,王浩,等.海河流域地表水资源衰减归因与规律[J].中国科学:地球科学,2024,54(5):1573-1587.
- [20] HE G H, GENG C F, ZHAI J Q, et al. Impact of food consumption patterns change on agricultural water requirements: An urban-rural comparison in China[J].Agricultural Water Management, 2021, 243: 106504.
- [21] 何国华,赵勇,王浩,等.人口特征对中国经济社会需水影响及峰值预测[J].水科学进展,2024,35(2):220-231.
- [22] 赵勇,朱永楠,师林蕊,等.中国居民家庭生活用水十点规律与认识[J].中国水利,2024(4):27-33.
- [23] 詹力炜,李海红,赵勇,等.城镇居民生活弹性用水测算与节水潜力分析[J].干旱区资源与环境,2023,37(2):69-75.
- [24] 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.
- [25] 秦长海,王明,赵勇,等.新中国成立以来中国粮食生产多元要素驱动定量研究[J].清华大学学报(自然科学版),2024,64(10):1746-1758.
- [26] 朱永楠,王建华,刘合,等.西北地区跨区跨省电力交易水足迹时空演变特征解析[J].水电能源科学,2021,39(11):69-71+162.

责任编辑 刘磊宁