

DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2024.01.001

关于中国水达峰几个问题的讨论

张建云¹, 王建华², 何国华², 赵勇², 金君良¹, 刘翠善¹, 贺瑞敏¹

(1. 南京水利科学研究院水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 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, 北京 100038)

摘要: 用水演变态势与需求峰值事关经济社会发展、生态环境保护大局, 直接影响国家水网规划布局和重大水利工程建设。本文在水达峰内涵解析的基础上, 总结了水达峰的自然社会特征和内涵, 阐明了水达峰与需水、用水、缺水之间的关系, 深入分析了中国统计用水量出现拐点的现象以及造成这种现象的6种可能原因, 指出目前尚不能得出中国用水需求已达峰的结论。通过与国际上发达国家水达峰时人均GDP、产业结构、城镇化率等主要指标对比分析, 认为中国现阶段也不具备水达峰的经济社会基础。最后指出, 目前中国水资源保障安全的压力仍然较大, 未来用水演变态势存在一定的不确定性, 中国用水何时达峰、达峰水量是多少等结论需要进一步深入研究。需要做好国家水网工程的顶层设计, 提升不同尺度的水资源优化配置能力, 为国家高质量发展提供水资源保障。

关键词: 水达峰; 自然社会基础; 演变态势; 缺水识别; 用水需求

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-6791(2024)01-0001-10

经济社会关键要素发展趋势和峰值研判, 是决定经济发展路径、社会治理模式和国家安全保障的重要课题。中国已经完成的人口达峰和力争2030年实现的碳达峰, 均已对中国经济社会系统产生了深刻影响。水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源, 是人类生存、经济发展和社会进步的重要物质基础, 对用水峰值的规模和时点进行科学判断, 关系到国家经济社会发展、生态文明建设和重大水利工程规划布局。

近年来, 许多机构和学者围绕中国用水发展趋势开展了大量研究, 取得了一系列研究成果。总体而言, 现有成果对于中国用水态势有2种认识, 一部分机构和学者认为中国工业化进程尚未完成, 经济发展仍将处于较快水平, 用水需求在未来一个时期仍将保持一定速度的增长, 随着水资源配置工程的不断完善, 用水量也将进一步增长。2010年国务院批复的《全国水资源综合规划》^[1]中提出到2030年需水量约7 000亿m³; 姚建文等^[2]预测中国2050年用水需求会达到8 500亿~9 000亿m³; 沈福新等^[3]综合考虑供水条件、科技进步、节水水平等因素影响, 预测2050年中国需水量将达到7 863亿m³。还有一部分研究认为, 随着中国用水效率的快速提升, 用水规模正在向零增长过渡, 并将很快达峰, 甚至有少数学者认为目前中国的用水总量已经达到峰值。钱正英等^[4]通过对不同行业发展态势进行研判, 预测2030年中国会达到7 000亿m³左右的用水极值; 易信^[5]采用生产函数法对中国经济增长趋势进行预测, 判断中国用水总量将在2035年左右达到峰值6 470亿m³; 何希吾等^[6]在分析发达国家用水发展规律与产业结构关系的基础上, 预测中国用水极值的时间区间为2026—2030年, 峰值规模约为6 300亿m³; 彭岳津等^[7]采用人均综合用水量法预测中国用水总量会在2030年前后达到峰值6 500亿m³; 贾绍凤等^[8]、赵勇等^[9]也认为中国用水峰值规模不会超过6 500亿m³; 姜富华等^[10]认为目前全国生产生活用水量已达峰。

用水峰值预测是否合理取决于对关键驱动和影响因素的解析认识, 在此方面国内也开展了大量研究。孙才志等^[11]认为经济水平的提高是中国近年用水变化的直接原因, 而人口规模的扩大是用水量增长的原始驱

收稿日期: 2023-11-01; 网络出版日期: 2024-01-30

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/32.1309.P.20240131.1506.004>

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2021YFC3200204); 国家自然科学基金资助项目(52121006)

作者简介: 张建云(1957—), 男, 江苏沛县人, 中国工程院院士, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: jyzhang@nhri.cn

通信作者: 王建华, E-mail: wjh@iwhr.com

动;刘秀丽等^[12]认为人口、粮食产量和产业结构变动是影响中国用水总量的主要因素;杨中文等^[13-14]将用水量的变化分解为节水技术水平、经济系统效率、人口规模、消费水平和最终需求结构 5 类驱动因子,并认为人口规模对中国用水增加的影响较弱。在抑制用水总量的归因分析中,普遍认为用水结构调整和节水效率提升是主要影响因素,例如,Zhou 等^[15]通过归因模型发现节水灌溉和工业循环用水技术推广是导致中国用水增速减缓的最主要原因;阚得源等^[16]对中国 2005—2020 年用水量变化特征及原因进行分析,认为产业结构调整 and 节水技术进步是导致用水量减少的主导因素。此外,相关学者^[17-19]通过分析虚拟水对各地区用水变化的贡献,认为贸易结构调整对用水态势有着直接影响。

本文围绕着中国水达峰的相关问题,重点就水达峰定义及其内涵、中国统计用水量平稳缓减的原因、水达峰的社会经济基础和中国现阶段用水量是否已达峰等问题深入探讨。

1 水达峰的定义与内涵

水达峰是指一定时段内某个地区或行业用水总量达到峰值后不再增加的过程和状态,是用水总量由增转降的历史拐点。参考国外发达国家用水达峰前后的发展历程,水达峰可以分为自然型达峰、约束型达峰和破坏型达峰 3 种类型。

(1) 自然型达峰是指用水总量在经济社会发展过程中自然而然达到峰值的现象,主要与人口规模、经济体量、城镇化水平、产业结构等经济社会发展因素有关。美国是自然型水达峰的代表,其人均水资源量为 1.38 万 m^3 ,是中国现状人均水资源量的 6.6 倍,1980 年美国水达峰时人均用水量为 2 680 m^3 ,近年来随着节水新科技的应用和水资源保护措施的落实,人均用水量有显著下降,但依然支撑了人口和经济规模的持续增长。

(2) 约束型达峰可分为水承载能力约束达峰和政策约束达峰 2 种情况。水承载能力达峰是指区域用水总量未达到自然发展峰值,但由于区域水资源禀赋限制,不得不通过优化结构、提升效率等方式降低用水需求,使其人为达到用水拐点。政策约束达峰需要政府充分发挥其行政强制性,通过制定约束型用水方案或措施推进用水总量下降目标的实现。在实际过程中,缺水地区水承载能力约束和政策约束往往同时出现,共同作用和相互影响。日本的水达峰总体可看作为约束型达峰,尽管日本降水丰富,但由于人口众多,加之国土面积较小,日本的人均水资源量仅为全球平均水平的一半。为保障供水安全,20 世纪 60 年代日本政府开始大规模推广使用节水器具,开展再生水利用,1992 年日本用水达峰时的人均用水量为 720 m^3 ,仅为美国达峰时的 1/4。

(3) 破坏型达峰是指由于经济衰退或者战争、疫情等重大因素影响,导致区域正常发展路径被破坏而形成的用水总量下降。相关研究发现,新冠疫情期期间意大利的巴里、莫尔费塔,波兰的彼得哥什,中国的上海等城市都出现了部分时段用水量下降的现象^[20-21]。以上海市为例^[21],在剔除气候、节假日用水等因素影响后,2022 年 3—4 月疫情封控期间,由于生产经营停滞,全市工业和服务业用水量分别比 2021 年同期下降了 25% 和 35%。

2 水达峰与需水、用水和缺水的关系

水达峰是一个受多种因素影响的复杂过程。从本质上看,一个地区或行业何时实现水达峰、达峰时用水量多少与这个地区或行业的需水规模、用水条件、缺水耐受程度(或脆弱性)等密切相关。

需水是经济社会可持续发展和生态环境健康维持所需要的理想水量,正常合理范围内的需水应该得到保障。

用水不同于需水,用水是指经济社会和生态环境实际使用的水量。实际用水量受多重因素影响,不仅和用户需求有关,还和区域水资源条件、工程保障能力和用水政策等密切相关。用水量的大小一是取决于经济

社会发展程度,经济社会发展程度决定着一个区域的生产生活水平,在不考虑科技进步因素影响的条件下,经济生产规模的扩大和生活水平的提升必然导致生产用水和生活用水规模的增加,因此,经济社会发展程度对实际用水量是正向驱动。以食物消费用水为例,He等^[22]研究发现由于更多的肉类和油类消耗,1981—2016年中国城市居民年均食物消费用水量比农村居民多 $229\text{ m}^3/\text{a}$ 。二是取决于用水节水科技水平,用水节水效率的提升意味着同等条件下生产用水规模的下降,对实际用水量是逆向的驱动。当区域生产水平处于较低阶段时,经济社会发展带来的正向驱动往往处于优势地位,此时区域用水量呈增加态势;当经济社会发展到一定程度时,用水节水效率提升带来的逆向驱动作用逐渐增强,可能成为用水量变化的主要影响因素。三是供用水条件,如水资源丰沛程度,水资源丰沛程度与气候条件、工程能力、承载规模等因素有关。水资源越丰沛,经济社会发展受到的水胁迫就越小,越有希望实现自然型水达峰。用水条件还包括用水政策等约束,对用水规模和过程进行强制性管控是缺水国家和地区为减缓供用水矛盾采用的普遍手段。用水约束越严格,各行业提升用水效率的动力也就越大,用水峰值就会越早出现。

缺水是需水和供用水的差值。缺水程度与经济社会和生态环境可承受的损失有关。如果缺水会对经济社会发展和生态保护修复带来严重制约,这种缺水损失往往是不可承受的,可称之为刚性缺水。面临刚性缺水的地区往往会通过挤占河湖生态用水、超采地下水或外流域调水的方式解决刚性缺水问题,这会导致用水规模增加,并延缓峰值到达的时间。与刚性缺水相对应,弹性缺水是指对经济社会发展和生态保护修复影响较为轻微的水量缺口。面临弹性缺水问题,不同地区会采取不同的解决方式,从而对水达峰产生不同的影响。若采用增加供水能力等强载的方式缓解弹性缺水,用水规模则会增加;若采用压缩产业规模、增加高耗水产品进口等卸荷的方式缓解弹性缺水,用水规模则会下降。应对缺水问题的路径选择会对用水过程产生直接影响。整体来看,需水规模、用水条件和缺水特征可作为水达峰的三大边界条件。

3 中国统计用水量平稳缓降的原因分析

3.1 中国用水演变过程

中国统计用水过程大致可以分为3个阶段,用水快速增长期(1980年之前)、稳定增长期(1980—2013年)和平稳缓降期(2013年之后)。1949年以来中国用水变化过程如图1所示。从图1中可见,经历了长时间的用水快速增长,中国统计用水总量于2013年达到峰值 $6\ 183\text{ 亿 m}^3$,之后缓慢下降,表现出水达峰的特征。从不同行业看,农业是中国用水量最大的行业,在1985年达到峰值 $4\ 240\text{ 亿 m}^3$ 后,用水量开始持续下降,这与农业节水技术的应用密切相关。2021年中国农业用水量为 $3\ 644\text{ 亿 m}^3$,占用水总量的61%。工业是中国第二大用水行业,2011年出现用水最大值 $1\ 462\text{ 亿 m}^3$,2021年中国工业用水量为 $1\ 050\text{ 亿 m}^3$,比最高值下降了 412 亿 m^3 。工业用水量的下降主要是因为2012年起国家实行了最严格的水资源管理制度,实行业用水总量、用水效率和水功能区达标等三条红线的控制,其中也不排除前期工业用水统计精度的影响。生活用水呈持续增加的趋势,2000—2021年中国人口总量的年均增幅为0.5%,但同一时期生活用水的年均增幅为2.2%,远高于人口增长速度,目前中国生活用水量为 909 亿 m^3 ,占用水总量的15%。人工生态环境用水是近年来用水增幅最快的行业,于2003年被纳入用水统计口径,目前中国生态环境用水量已经增加至 317 亿 m^3 ,比2003年增长了近4倍。

3.2 中国统计用水量平稳缓降的原因分析

初步分析,中国统计用水量呈现平稳缓降态势的原因,主要为以下6个方面:

(1) 需求侧严格管理对用水量的减少起到了积极作用。2000年,中国开始全国范围的节水型社会建设;2012年,国家实施了最严格水资源管理制度;2016年,在各行各业开展了水效领跑者行动。需求侧严格管控有效提升了中国的用水效率,降低了用水需求。如万元GDP耗水量从2000年的 600 m^3 下降到2020年的 57.2 m^3 (图2),农田灌溉水有效利用系数也从2000年的0.400提升到2020年0.565(图3)。

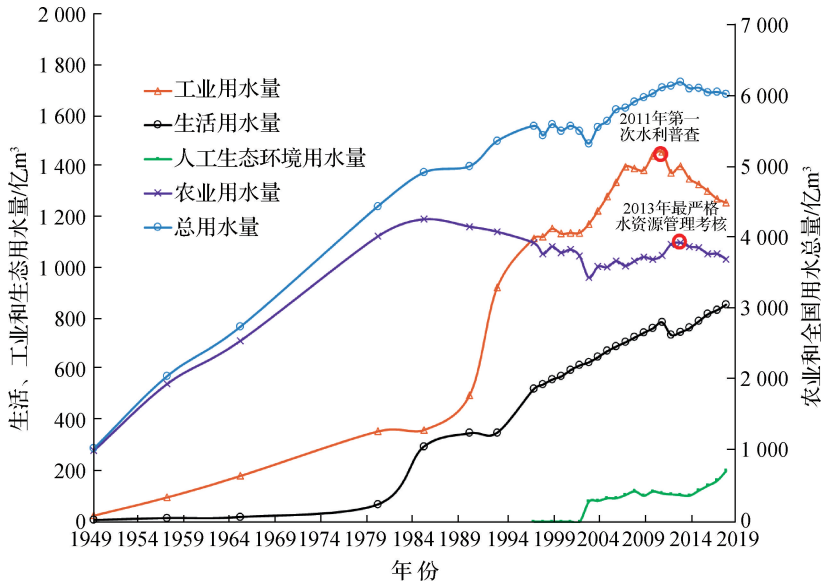


图1 1949年以来中国统计用水量变化

Fig. 1 Changes in China's statistical water-use since 1949

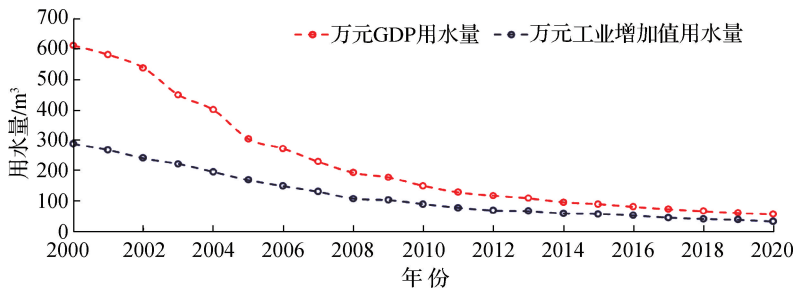


图2 2000年以来中国工业用水量变化

Fig. 2 Changes in industrial water-use in China since 2000

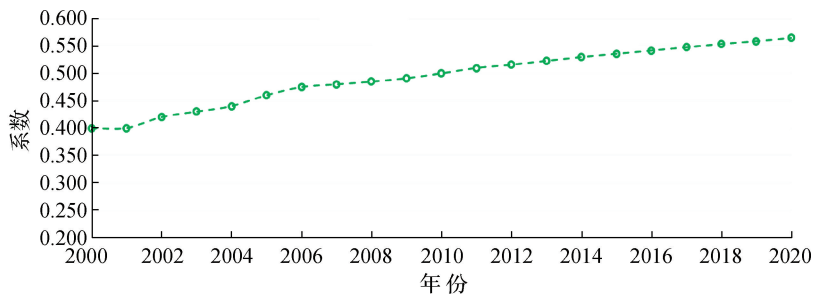


图3 2000年以来中国农田灌溉水有效利用系数变化

Fig. 3 Changes in effective utilization of coefficient of irrigation water in China since 2000

(2) 用水量统计存在导向性调整。2010—2012年开展了第一次全国水利普查,普查结果发现,2011年的普查用水量比2011年《水资源公报》的用水量明显偏小。在最严格水资源管理的考核下,各地公报用水量均参照普查成果进行了修正调整,2013年统计农业、工业、生活用水量和用水总量均明显下调,非技术性干预明显(图1)。

(3) 在最严格的水资源管理制度的严格考核下, 统计用水量存在缩水现象。为保障中国水资源可持续利用, 2012 年国家实施了最严格的水资源管理制度^[23], 明确了各地区用水总量和用水效率控制红线, 并制定了年度考核办法和明确的奖惩规则。该管理制度的实施, 一方面在一定程度上提升了各地区的用水效率, 促进全社会有效建立了用水刚性约束的机制; 另一方面也导致部分地区以批准的用水总量为控制, 导向性调整统计数据。如西部的某省份, 2021 年(水网规划基准年)统计水量为 573.9 亿 m^3 , 但根据实际监测数据计算分析的实际用水量为 634 亿 m^3 , 少报了 10.5%。

(4) 用水计量可能存在系统性误差。用水计量是实现水资源高效开发利用的基础, 现阶段中国生活和工业用水计量系统较为完善, 但农业和生态用水计量受多种因素影响仍存在较大误差。以地下水计量为例, 目前地下水用水量测算普遍采用定额、电折水系数、电耗水量等间接方式获取, 易受到人为因素干扰。姚丽利等^[24]利用模拟模型与地下水监测数据对北京市地下水开采量进行了反演, 认为 2012—2014 年北京市平均地下水开采量应为 22.8 亿 m^3 , 该数据比公报数据偏大了 14%。

(5) 供给侧“无水可用”是导致北方地区没有出现“统计增长”的现实因素。黄河、辽河、海河等流域地表水资源开发利用率均超过 70%, 淮河流域超过 50%, 多数内陆河地表水开发利用率超过 80%, 超过了正常开发利用极限。近年来, 北方地区水资源量显著衰减(图 4), 进一步加剧了供给侧约束。水资源的天花板作用十分突出, 许多地区有时是“无水可用”, 并非不需水, 这是导致北方地区没有出现“统计增长”的现实因素。

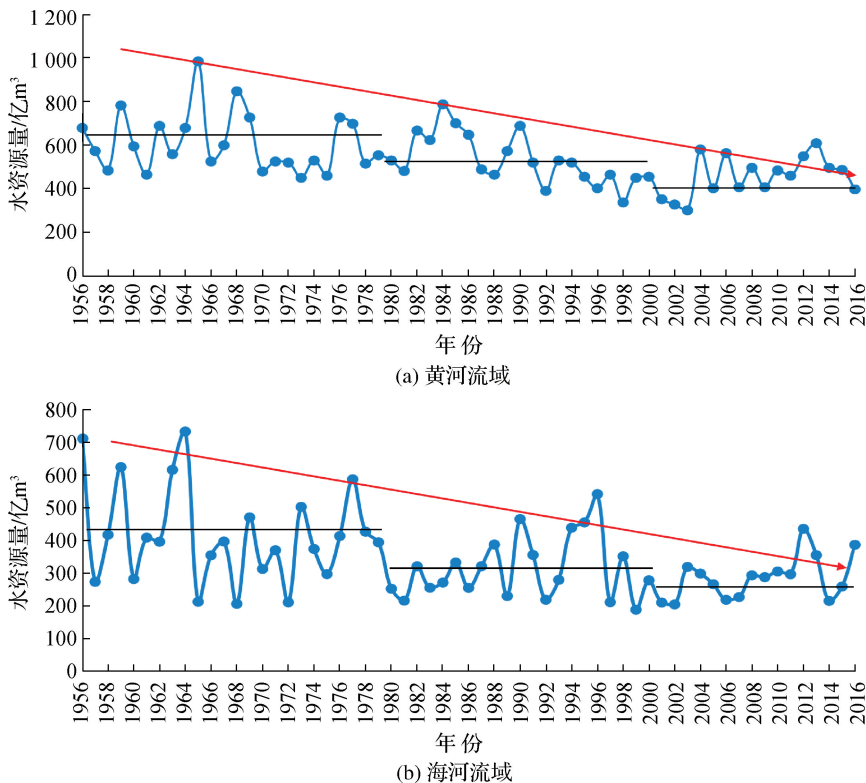


图4 黄河流域及海河流域水资源变化

Fig. 4 Changes in water resource in Yellow River basin and Haihe River basin

(6) 大规模虚拟水进口也是导致中国统计用水减少的重要因素。在水资源管理中, 虚拟水被视为一种重要的资源, 具有实用价值和战略意义, 缺水地区可以通过产品贸易和服务中寻求有效的虚拟水战略以缓解本地区的水资源短缺危机。中国每年有大量的生产生活用品从国外进口, 如粮食进口量约占中国粮食产量的 1/4。因此, 中国也是全球最大的虚拟水进口国。Li 等^[25]分析认为, 2018 年中国虚拟水净进口量为 440 亿 m^3 ; 张建

云^[26]分析认为2018年中国虚拟水进口量约为470亿 m^3 ，占全球虚拟水贸易量的1/4左右，并且2016年以来均维持在400亿 m^3 以上。

4 水达峰的经济社会基础分析

一个国家或地区用水达峰的量值和时间与其经济社会发展水平紧密相关，世界主要发达国家用水总量大都已经历了拐点，进入了用水稳定或下降阶段。为了研究自然发展峰值与区域水资源承载能力的相互关系，对15个已经出现峰值的发达国家进行统计分析，发现20世纪70—90年代是发达国家用水总量达到峰值的集中时段，出现用水峰值时存在3个方面的基本特征。

(1) 经济发展水平。从人均GDP(2020年不变价)看，发达国家水达峰时的人均GDP全部超过2万美元，大部分国家处于2.5万~3.5万美元之间(图5)。而2022年中国人均GDP为85 698元，约合11 657美元，经济发展水平尚未具备水达峰时的基本特征。

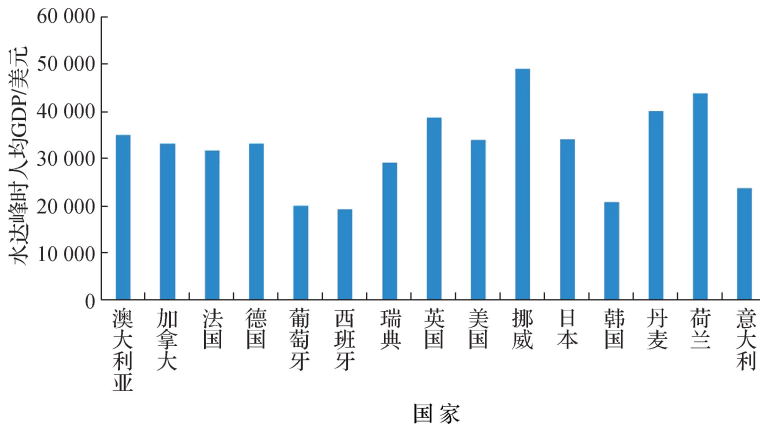


图5 发达国家用水达峰时的人均GDP

Fig. 5 GDP per capita at peak water-use in developed countries

(2) 产业结构。从产业结构占比来看，用水峰值出现时，发达国家的第一产业比重普遍小于5%，第二产业比重为30%~40%，第三产业比重全部在60%以上(图6)。而2022年，中国3个产业的占比分别为7.3%、39.9%和52.8%，仍处于第一产业偏高、第三产业偏低的状态。

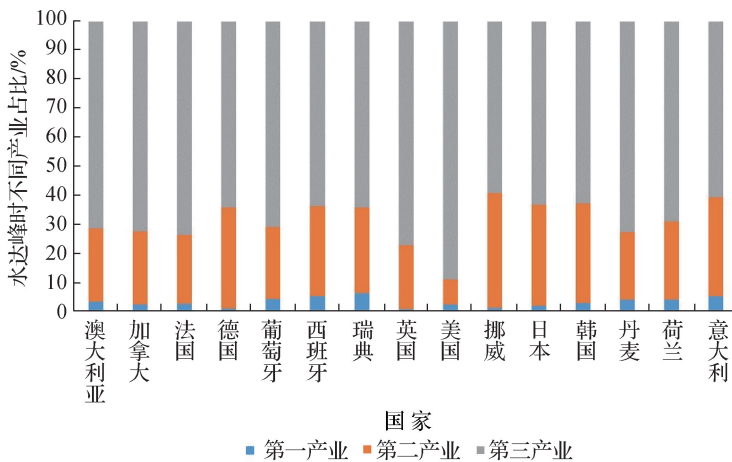


图6 发达国家用水达峰时的产业结构比例

Fig. 6 Industrial structure at peak water-use in developed countries

(3) 城镇化率。从城镇化率看,除葡萄牙达峰时城镇化率(51%)较低外,其他国家达峰时的城镇化率普遍在70%以上(图7)。而2022年中国户籍城市化水平只有45%,即使加上19%城镇常住流动人口,中国城镇化率才为65%,随着城市化率的进一步提升,城市用水仍会进一步增加。

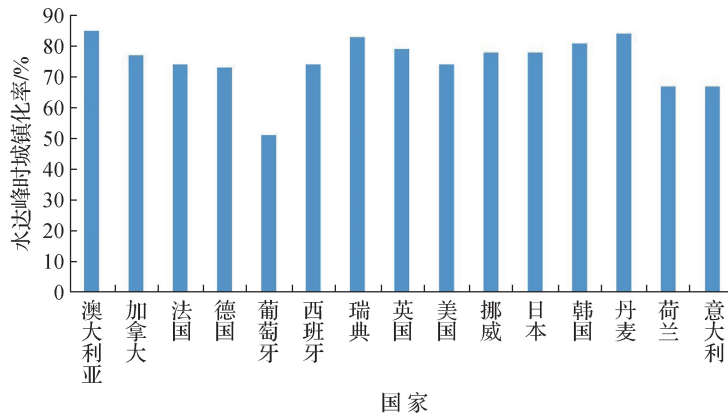


图7 发达国家用水达峰时的城镇化率

Fig. 7 Urbanization rate at peak water use in developed countries

综合发达国家经济发展与用水规律,以及中国供用水特征,本研究认为中国现阶段尚不具备水达峰的经济社会基础。

5 中国缺水有关问题分析

由于特殊的地理和气候条件,中国的水资源具有时空分布十分不均、人均水资源总量偏少、水资源空间分布与国家生产力分布极不匹配,以及变化环境下北方河流径流减少、水资源短缺问题进一步加剧等特点,加上水资源配置工程尚不能完全满足经济社会发展的需要,因此不可避免地存在不同程度的缺水问题,也导致了经济社会与生态环境用水之间以及不同用水部门之间的竞争和互馈影响。

(1) 农业缺水。农业用水处于行业用水竞争的底端,在水资源和供水总量不足情境下,其正常用水需求易于被生活、工业挤占。中国现状农业缺水主要表现在2个方面,一是大量农田无水可灌,二是现有灌溉定额无法满足作物正常生长需求。目前中国的有效灌溉面积为10.4亿亩(1亩=666.7 m²),但实际灌溉面积仅为8.8亿亩,这意味着1.6亿亩的高产农田缺乏灌溉水源。中国北方农业种植普遍采用非充分灌溉模式,但现有灌溉定额与非充分灌溉适宜定额仍有较大差距。以黄河流域为例,在正常来水频率下黄河流域平均非充分灌溉定额应保持在397 m³/亩才能保证作物稳产,但目前黄河流域现状灌溉定额仅为291 m³/亩,两者相差15%^[27]以上。

(2) 工业缺水。近年来,中国工业由东向西转移趋势明显,但目前西部地区工业发展用水增量已经必须通过存量节约和水权转化获得,使得很多地区规划的产业无法落地。根据《黄河流域极限节水潜力与缺水识别》研究成果,由于供水无法保障,“十三五”期间鄂尔多斯多个能源化工项目无法开工投产,直接经济损失超千亿元^[28]。随着西部地区社会经济发展与生态建设,水资源约束问题会进一步凸显,水将成为制约西部地区工业发展的主要因素。

(3) 生活缺水。生活用水需求可以分为基本需求、发展需求和高标准需求等不同层次,作为供水保障率最高的部门,生活用水的基本需求会优先得到满足,但发展需求和高标准需求往往会由于水资源短缺而受到一定程度破坏。天津市是中国乃至全球水资源供需矛盾最突出的城市,南水北调中线工程通水前的2013年(人口为1410万人),天津市生活用水为5亿m³;南水北调中线工程通水后,天津市供水压力得到一定程

度缓解,2017年人口规模同样为1 410万人,但生活用水量增加至6.1亿 m^3 。这说明天津市以往较低的生活用水不仅与其节水效率有关,供给的“天花板”约束也是一个重要原因。

(4)生态环境缺水。根据《中国水资源公报》,近年来中国生态环境用水规模以13%的年均增长率迅速增加,但目前中国生态环境缺水问题仍较为突出,缺水总量达317亿 m^3 ,主要体现在城乡人居环境用水保障不足、地下水超采、河湖生态水量短缺等方面。以永定河为例,通过近年来持续补水和生态综合治理,永定河于2021年首次实现全线通水,2022年累计通水时长达到123 d,尽管生态环境显著改善,但现有补水规模尚无法实现永定河的全年全线流动,生态用水仍存在一定缺口。

6 结 论

本文围绕着中国水达峰的相关问题,深入探讨了水达峰定义及其内涵,水达峰与需水、用水、缺水的关系,中国统计用水量平稳缓减的原因,水达峰的社会经济基础等问题。主要结论如下:

(1)水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是人类生存、经济发展和社会进步的重要物质基础,对用水峰值的规模和时点进行科学判断关系到国家经济社会发展、生态文明建设和国家水网工程的规划布局,研究意义重大。

(2)水达峰是一个受多种因素影响的复杂过程。一个地区或行业何时实现水达峰、达峰时用水量是多少等,与该地区或行业的需水规模、用水条件、缺水耐受程度密切相关,用水与需水是2个既有内在关系、又有明显区别的概念。用水不等于需水。

(3)2013年全国统计用水总量已经表现出的拐点现象,既有最严格的水资源管理制度实施和节水措施应用等带来的用水效益提高、需求侧刚性需求减少的因素,也有统计口径调整、最严格水资源管理制度考核机制下的上报数据偏差和监测数据误差,以及国际贸易导致的净进口虚拟水量增加等多因素造成的统计现象。如果消除上述因素的影响,尚不能认为中国的用水量已达到峰值。

(4)从经济社会发展水平(人均GDP)、产业结构占比和城镇化率等经济社会主要特征指标看,中国目前尚不具备主要发达国家水达峰时的经济产业基础。

从中国的缺水现状来看,目前中国水资源安全保障的压力仍然较大,水资源安全保障和供给标准仍有一定提升空间。因此,面对中国供需水态势的不断变化,需要做好国家水网工程的顶层设计,加快水网工程的建设实施,提升水资源优化配置能力和综合管理水平,同时加强水资源集约节约利用,为新时期国家现代化建设与高质量发展提供更加有力的水安全保障。

参考文献:

- [1] 水利部. 全国水资源综合规划[R]. 北京:水利部,2010. (Ministry of Water Resources. Comprehensive plan of water resources in China[R] Beijing: Ministry of Water Resources, 2010. (in Chinese))
- [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):190-194. (YAO J W, XU Z K, WANG J S. Perspective of the water demand of China by the mid 21th century[J]. Advances in Water Science, 1999, 10(2): 190-194. (in Chinese))
- [3] 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. (SHEN F X, GENG L H, CAO X L, et al. Prospects for the long-term water resources demand in China[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(4): 552-555. (in Chinese))
- [4] 钱正英,张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[C]//中国水利学会2001学术年会论文集. 北京:中国水利水电出版社,2001:16. (QIAN Z Y, ZHANG G D. The comprehensive report of China's water resources strategy for sustainable development[C]//2001 Annual Conference of Chinese Hydraulic Engineering Society. Beijing: China Water&Power Press, 2001: 16. (in Chinese))
- [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. (YI X. Research on economic growth trend in medium and long term of our country and the water resources demand influences[J]. China Water Resources,

- 2020(19): 37-39. (in Chinese))
- [6] 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. (HE X W, GU D F, TANG Q W. Study on zero growth problem in total water demand of China[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(6): 901-909. (in Chinese))
- [7] 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. (PENG Y J, BIAN R W, XING Y L, et al. Method for determining total water consumption in China and discussion about its results[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(2): 36-43. (in Chinese))
- [8] 贾绍凤, 张士锋, 杨红, 等. 工业用水与经济发展的关系: 用水库兹涅茨曲线[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 279-284. (JIA S F, ZHANG S F, YANG H, et al. Relation of industrial water use and economic development: water use Kuznets curve[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(3): 279-284. (in Chinese))
- [9] 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. (ZHAO Y, LI H H, LIU H Q, et al. The law of growth: prediction of peak water consumption in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2021, 52(2): 129-141. (in Chinese))
- [10] 姜富华, 邢智慧. 做好新时期水资源需求的研判[Z]. 中咨研究, (2023-10-15)[2023-07-31]. <https://mp.weixin.qq.com/s/SGha0Fi9AuatXbJLROMjVA>. (JIANG F H, XING Z H. Reinforce the research and analysis of water resources demand in the new era[Z]. Zhongzi Research, (2023-10-15)[2023-07-31]. <https://mp.weixin.qq.com/s/SGha0Fi9AuatXbJLROMjVA>. (in Chinese))
- [11] 孙才志, 谢巍. 中国产业用水变化驱动效应测度及空间分异[J]. 经济地理, 2011, 31(4): 666-672. (SUN C Z, XIE W. Measurement of the driving effects on industrial water utilization change and its spatial difference analysis in China[J]. Economic Geography, 2011, 31(4): 666-672. (in Chinese))
- [12] 刘秀丽, 邹庆荣. 我国用水总量预测研究[J]. 系统科学与数学, 2016, 36(10): 1643-1651. (LIU X L, ZOU Q R. Forecast on total water demand in China[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2016, 36(10): 1643-1651. (in Chinese))
- [13] 杨中文, 许新宜, 王红瑞, 等. 用水变化动态结构分解分析模型研究: I: 建模[J]. 水利学报, 2015, 46(6): 658-667. (YANG Z W, XU X Y, WANG H R, et al. Dynamic structural decomposition analysis model of water use evolution: I: modeling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(6): 658-667. (in Chinese))
- [14] 杨中文, 许新宜, 陈午, 等. 用水变化动态结构分解分析模型研究: II: 应用[J]. 水利学报, 2015, 46(7): 802-810. (YANG Z W, XU X Y, CHEN W, et al. Dynamic structural decomposition analysis model of water use Evolution: II: application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(7): 802-810. (in Chinese))
- [15] ZHOU F, BO Y, CIAIS P, et al. Deceleration of China's human water use and its key drivers[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020, 117(14): 7702-7711.
- [16] 阚得源, 孔珂, 徐晶. 中国近期用水量变化特征及趋势[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2022, 36(5): 497-503. (KAN D Y, KONG K, XU J. Characteristics and trends of recent water consumption in China[J]. Journal of University of Jinan (Science and Technology), 2022, 36(5): 497-503. (in Chinese))
- [17] ZHAO X, YANG H, YANG Z F, et al. Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River basin in China[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(23): 9150-9156.
- [18] DONG H J, GENG Y, SARKIS J, et al. Regional water footprint evaluation in China: a case of Liaoning[J]. Science of the Total Environment, 2013, 442: 215-224.
- [19] 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))
- [20] KALBUSCH A, HENNING E, BRIKALSKI M P, et al. Impact of coronavirus (COVID-19) spread-prevention actions on urban water consumption[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2020, 163: 105098.
- [21] 周骅. 新冠疫情封控管理期间特大型城市用水量影响分析[J]. 净水技术, 2022, 41(9): 137-142. (ZHOU H. Influence analysis of lockdown measure during COVID-19 epidemic on water consumption for a mega city[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(9): 137-142. (in Chinese))

- [22] 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.
- [23] 国务院. 国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见[EB/OL]. (2023-10-15)[2012-01-12]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2076102.htm. (The State Council of the PRC. Opinions of the State Council on Implementing the strictest water resource management system[EB/OL]. (2023-10-15)[2012-01-12]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2076102.htm. (in Chinese))
- [24] 姚丽利, 胡立堂, 龚芳芳, 等. 北京市平原区地下水开采量反演的数值模拟方法[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(4): 436-442. (YAO L L, HU L T, GONG F F, et al. Numerical simulations for groundwater withdrawal inversion in Beijing Plain[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2017, 53(4): 436-442. (in Chinese))
- [25] LI B, ZHOU M F, BAI Y M. The relationships and trends of interregional virtual water trade based on an MRIO model[J]. *Water Supply*, 2022, 22(3): 2395-2406.
- [26] 张建云. 中国用水量并未达峰, 北方受限严重[N]. *中国科学报*, 2023-09-19(3). (ZHANG J Y. China's water consumption has not reached its peak, with severe restrictions in the north[N]. *China Science Daily*, 2023-09-19(3). (in Chinese))
- [27] 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. (ZHAO Y, HE F, HE G H, et al. Review the phenomenon of Yellow River cutoff from a whole perspective and identification of current water shortage[J]. *Yellow River*, 2020, 42(4): 42-46. (in Chinese))
- [28] 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. (ZHAO Y, HE F, LI H H, et al. Identification of limiting water-saving potential and water shortage in the Yellow River basin[M]. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese))

Discussion on issues related to water peaking in China*

ZHANG Jianyun¹, WANG Jianhua², HE Guohua², ZHAO Yong², JIN Junliang¹, LIU Cuishan¹, HE Ruimin¹

(1. *The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;*

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

Abstract: The evolution trend and the peak of water use are related to the overall situation of economic and social development and ecological environmental protection, and directly affect the overall pattern of major water conservancy projects, such as the national water grid design and construction. In this study, the definition and connotation of water-use peaking were discussed, and the natural social characteristics, including of GDP per capita, industrial structure, and the level of urbanization, when the national water-use peaking have been reached are summarized for 15 developed countries. Especially, the possible reasons for water-use amounts since 2013 presented a slowly come-down trend were identified and discussed, and then give a important conclusion that it is early to say the water-use peak has been reached in China. Finally, it is pointed out that the pressure of water resources security in China is still seriously, and there is a certain uncertainty about the evolution of water-use in the future. What is the peak water volume? and when should be the peak? The conclusion needs further deeply study. At the same time, a nice top-level design of the national water-grid project is necessary, to improve the ability to optimize the allocation of water resources at different scales, and provide water resources security for the high-quality development of the country.

Key words: water peaks; social basis of nature; evolutionary dynamics; water shortage identification; water demand

* The study is financially supported by the National Key R&D Program of China (No. 2021YFC3200204) and the National Natural Science Foundation of China(No.52121006).