

中国主要省会城市水资源生态足迹与 适宜承载人口规模

罗爽, 张兴奇, 许有鹏

(南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210023)

摘要: [目的] 评估中国主要省会城市的水资源承载情况与适宜人口规模, 为“以水定人”政策的落实和城市可持续发展战略的实施提供参考。[方法] 基于水资源和人口数据, 采用生态足迹方法分析了2010—2020年中国省会城市的水资源生态足迹及其水资源承载力, 结合生活用水现状以定额法估算了各省会城市的适宜承载人口规模。[结果] ①超过半数省会城市年人均水资源占有量不足 500 m^3 , 多数城市生活用水占总用水量的两成, 而北京市和郑州市的生活用水比例达到45%, 高比例的生活用水使城市供水压力巨大; ②人均水资源量较高的省会城市呈现水资源生态盈余状态, 但约2/3的城市呈现水资源生态赤字状态; 2010—2020年平均人均盈余最高者为南京市($2.20\text{ hm}^2/\text{人}$), 赤字最高者为银川市($-1.66\text{ hm}^2/\text{人}$); 水资源生态盈亏分布呈现“南方盈余, 北方亏损”的格局, 但是长江中下游地区部分省会城市也呈现赤字状态; ③以“粗放”与“节约”两种用水情形评估省会城市适宜承载人口数量。各地适宜承载人口数量与现状人口数量存在较大差异。[结论] 为促进经济社会可持续发展, 水资源浪费严重的城市应当加强节水城市建设, 而居民生活用水标准较低的城市应考虑减小其人口规模以提升居民用水体验与生活质量。

关键词: 水资源; 省会城市; 生态足迹; 生态承载力; 以水定人

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)03-0196-07

中图分类号: TV213.4

文献参数: 罗爽, 张兴奇, 许有鹏. 中国主要省会城市水资源生态足迹与适宜承载人口规模[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 196-202. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.03.024; Luo Shuang, Zhang Xingqi, Xu Youpeng. Water resource ecological footprint and suitable carrying population size in provincial capitals of China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 196-202.

Water Resource Ecological Footprint and Suitable Carrying Population Size in Provincial Capitals of China

Luo Shuang, Zhang Xingqi, Xu Youpeng

(School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

Abstract: [Objective] The water resource carrying capacity and appropriate population size of main provincial capitals in China were analyzed in order to provide a reference for implementing the policy of “determining population by water resources” and the strategy of urban sustainable development. [Methods] Based on water resources and population data, we used the ecological footprint method to analyze the ecological footprint of water resources and their water resource carrying capacity in the provincial capital cities of China from 2010 to 2020. The quota method was used with current domestic water consumption data to estimate the suitable carrying population scale for each provincial capital. [Results] ① More than half of the provincial capitals had less than 500 m^3 of water per capita per year, and the domestic water consumption of most cities accounted for 20% of the total water consumption, while the domestic water use of Beijing City and Zhengzhou City accounted for 45% of the total water consumption. This high proportion of domestic water use put the urban water supply under great pressure. ② Cities with high per capita water resources have an ecological

收稿日期: 2022-08-11

修回日期: 2022-10-13

资助项目: 国家自然科学基金联合项目“长江中下游大型城市洪涝灾害成因与防洪对策”(U2240203); 国家自然科学基金青年基金“基于对比观测试验与模拟的城市化下暴雨洪水演变机理分析”(42101020); 江苏水利科技项目“江苏太湖地区洪涝特征演变机制及防洪特征水位优化研究”(2021010)

第一作者: 罗爽(1998—), 男(汉族), 四川省南充人, 硕士研究生, 研究方向为水文水资源。Email: ls_nju@163.com。

通信作者: 张兴奇(1964—), 男(汉族), 贵州省仁怀市人, 博士, 副教授, 主要从事水资源与水土保持研究。Email: zxqrh@nju.edu.cn。

surplus of water resources. However, about two-thirds of the provincial capitals were in a state of ecological deficit. The highest per capita surplus from 2010 to 2020 was found for Nanning City ($2.20 \text{ hm}^2/\text{person}$). The greatest per capita deficit was found for Yinchuan City ($-1.66 \text{ hm}^2/\text{person}$). The distribution of ecological surplus and deficit of water resources showed a pattern of “surplus in the south, deficit in the north”, but some provincial capitals in the middle and lower reaches of the Yangtze River also showed deficits. ③ The suitable population in provincial capitals was evaluated based on the two water consumption scenarios of “extensive consumption” and “conservative consumption”. There was a large difference between the suitable population and the current population. [Conclusion] In order to promote sustainable economic and social development, cities with serious waste of water resources should strengthen the construction of water-saving cities, while cities with low domestic water standards should consider reducing their population in order to improve the water using experience and the quality of life of residents.

Keywords: water resources; provincial capital; ecological footprint; ecological carrying capacity; determining population by water resources

水资源作为人类生存与发展的必需资源,是社会持续发展的物质基础和支持条件之一^[1]。中国虽然水资源总量丰富,但人均水资源占有量仅为世界平均值的约四分之一^[2]。随着中国城镇化与工业化的不断推进,水资源供需矛盾越发突出^[3]。同时,用水效率低下,水污染严重,水资源管理落后等问题严重限制了经济和社会的发展^[4],尤其在中国的城市地区,资源环境约束趋紧,生态环境问题日益严重^[5]。

水资源承载力是水资源对区域工农业生产和社会经济发展支撑能力的重要表征,对其进行综合评价能为促进区域经济社会可持续发展提供理论支撑和现实依据^[6],相关的研究从最开始的“资源数量”到现在对于“生态承载”以及“虚拟水资源”的关注^[7]。在研究方法上,水资源生态足迹法可以运用土地面积的大小直观反映人类在资源消费过程中对生态环境的占用程度并与生态承载力相结合进行测算^[8],因此是一种成熟有效的衡量水资源承载力水平的方法^[9]。中国学者利用该方法开展了大量研究并取得了丰硕成果。孙才志等^[10]探究了中国31个省市1997—2014年的水生态足迹广度与深度,发现中国水资源生态足迹呈现波动上升趋势;王文国等^[11]研究发现四川省2001—2009年的人均水资源生态足迹呈增加趋势;邵骏等^[12]则发现长江流域水资源生态足迹呈小幅增加的态势;谭秀娟等^[13]对1949年以来中国的水资源展开评价得到中国人均水资源生态赤字逐渐增大的结论。由此可见,中国水资源生态足迹存在一定的时空变化规律,但是以往具有较大空间尺度的研究多着眼于比较省域之间水资源生态足迹的差异^[10],或者聚焦于某一特定区域内的城市^[11],鲜有针对中国不同地区典型城市之间的水资源生态承载情况的对比研究。与此同时,现有研究关注了水资源

承载力的丰富内涵^[7],但是在水资源约束情形下城市适宜承载人口规模的量化研究却较为缺乏。

近几年来,中国制定的“以水四定”原则提倡以区域水资源量来控制人口、用地、产业及城市的规模来实现区域可持续发展^[14],而中国不少城市地区因人口的过度集聚致使水资源供求关系紧张、生态环境问题突出^[5],因此科学地评估城市的水资源承载能力,落实“以水定人”政策刻不容缓。与此同时,省会城市作为各个省的经济、文化及行政中心,它们往往是各省经济社会发展的首位城市,同时具有人口分布稠密、资源消耗巨大的特征,在环境资源开发利用上具有典型性^[15],因而省会城市的用水状况可作为经济高速发展情况下中国城市用水现状代表。基于以上认识,本文利用2010—2020年中国主要省会城市(不包含港、澳、台)地区水资源数据和人口数据,分析各城市水资源生态足迹和生态承载力,依据用水定额法尝试计算各城市在两种不同水资源约束情形下的人口数量,评估省会城市的适宜人口规模从而为“以水定人”政策的落实和城市可持续发展战略的实施提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

中国省会城市水资源总量、供水和用水总量及生活用水量等数据来源于各省市2010—2020年的《水资源公报》,常住人口数据来源于各省市2010—2020年相应的《统计年鉴》。考虑到数据的完整性及可获取性,本研究暂缺海南省海口市和西藏自治区拉萨市的水资源开发利用数据资料。此外,本研究不包含中国港澳台地区。

1.2 研究方法

1.2.1 年人均水资源量与生活用水占比 为了直观反映不同省会城市水资源与人口数量的关系,可根据

各城市 2010—2020 年水资源总量和常住人口数据得到人均水资源占有量,公式如下:

$$q=Q/N \quad (1)$$

式中: q 为年人均水资源量($\text{m}^3/\text{人}$); Q 为区域水资源总量(m^3); N 为区域常住人口总数,涉及直辖市时为了满足与水资源统计指标的对应性则其范围为整个辖域。由于水资源存在较大年际波动,为此利用多年平均值作为相应指标值。

另一方面,生活用水总量可以清晰直观地反映人口数量对于城市供水压力,因此计算生活用水占比可比较不同地区城市居民的生活用水情况,公式如下:

$$r=(W_{\text{生活}}/W) \times 100\% \quad (2)$$

式中: r 为生活用水比例(%); $W_{\text{生活}}$ 为生活用水总量(m^3); W 为区域用水总量(m^3)。此处结果以各省会城市 2010—2020 年历年生活用水比例的平均值来表征。

1.2.2 水资源生态足迹 生态足迹法最初由 Willam 在 1992 年提出^[16], 1996 年 Wackernage 将其完善^[17], 该方法基于区域资源可持续利用理论将资源量折算为土地面积,从而提高各区域之间分析比较的准确性^[18]。后续包括中国学者黄林楠在内的其他学者对该方法进一步改进,使其成为衡量资源可持续利用的综合核算的工具^[19]。水资源生态足迹,就是将利用的水资源量转化为相应账户的水资源用地面积,然后对其进行均衡化,最终得到可用于全球范围内不同地区可以相互比较的均衡值^[1]。公式如下:

$$EF_w=N \times ef_w=\gamma_w \times (W/P_w) \quad (3)$$

式中: EF_w 为某区域水资源生态足迹(hm^2); N 为区域总人口数; ef_w 为人均水资源生态足迹($\text{hm}^2/\text{人}$); γ_w 为全球水资源均衡因子,本文取用 5.19^[19]; W 为区域用水总量(m^3); P_w 为水资源全球平均生产能力(m^3/hm^2),本文取用 3 140 m^3/hm^2 ^[19]。

1.2.3 水资源生态承载力 基于生态足迹理论的内涵,水资源生态承载力可理解为某区域在特定历史发展阶段,水资源的最大供给量可支持该区域资源、环境和社会(生产、生活和生态)可持续发展的能力,即水资源对生态系统和经济系统良性发展的支撑能力^[20],可用以下公式进行度量:

$$EC_w=N \times ec_w=0.4 \times \psi \times \gamma_w \times (Q/P_w) \quad (4)$$

式中: EC_w 为区域水资源承载力(hm^2); N 为区域总人口数; ec_w 为人均水资源承载力($\text{hm}^2/\text{人}$); ψ 为区域水资源的产量因子,各地区取值不同^[19]; γ_w 为全球水资源均衡因子; Q 为区域水资源总量(m^3); P_w 为水资源全球平均生产能力(m^3/hm^2);基于可持续发展的考虑,一个地区应至少有 60%的水资源用于维持生态系统良性发展,因此在水资源承载力的测算

时需乘以系数 0.4^[21]。

1.2.4 水资源生态赤字与盈余 根据区域水资源生态足迹和生态承载力(hm^2),结合区域人口数量计算人均水资源生态足迹和水资源承载力($\text{hm}^2/\text{人}$),比较人均生态足迹和水资源承载力可以判断该区域对水资源的利用是否在可持续利用范围之内^[1],计算公式如下:

$$e=ec_w-ef_w \quad (5)$$

式中: e 为人均水资源盈亏值($\text{hm}^2/\text{人}$); ec_w 为人均水资源承载力($\text{hm}^2/\text{人}$); ef_w 为人均水资源生态足迹($\text{hm}^2/\text{人}$)。若 e 为负值则说明水资源生态处于赤字状态,面临水资源短缺问题;若 e 为 0 则说明水资源生态处于临界状态;若 e 为正值则说明水资源生态处于盈余状态,水资源利用状况较好。

1.2.5 “以水定人”的计算 用水定额是在水资源约束条件下为遏制过快的用水需求所制定的用水标准,它与区域的气候、经济和社会节水意识等因素密切相关。21 世纪以来,中国的城市生活用水是增长最快的用水类型,因此居民生活用水定额是经济社会用水调控的关键^[22]。参照相关研究^[22-23],本文依据区域生活用水总量和居民用水标准计算中国省会城市适宜承载人口数量,实现“以水定人”的计算。公式如下:

$$N=W_L/Z \quad (6)$$

式中: N 为城市适宜承载人口数量; W_L 为可用生活用水总量(m^3); Z 为居民用水定额($\text{m}^3/\text{人}$)。本研究当中,可用生活用水总量由生活用水变化情况确定,当 2010—2020 年某城市生活用水比例的变幅低于 10% 取其 2020 年的生活用水量值,比例变幅超过 10% 则取历年的平均值。居民用水定额来自于《室外给水设计标准(GB50013-2018)》,该标准具有梯度性取值,综合考虑了中国的自然地理分区和城市规模等级,因此能客观反映用水标准的区域差异。以标准中的“最高”和“平均”两种指标分别划定“粗放”和“节约”两种用水情形。由于参考定额为区间范围,为了更准确地选取居民用水定额以真实反映各地水资源承载情况,本研究结合各城市水资源生态盈亏,规定赤字时定额取区间低值而盈余时则取区间高值。

2 结果与分析

2.1 中国主要省会城市水资源承载情况评估

2.1.1 年人均水资源量与生活用水比例 根据 29 个省会城市 2010—2020 年水资源总量及常住人口数据得到各省会城市人均水资源占有量的平均值(m^3),结果见图 1。从图 1 可知,各城市的人均水资源量差异较大,最高者是最低者的近 30 倍,表明了中

国水资源总量空间分布的不均匀性。29个城市当中,7个城市的年人均水资源量在 $1\ 000\sim 2\ 000\ \text{m}^3$ 之间,6个城市在 $500\sim 1\ 000\ \text{m}^3$ 之间,另外还有16个城市低于 $500\ \text{m}^3$ 。杭州市的年人均水资源量最多,达到 $1\ 967\ \text{m}^3$,这与该地区河流众多,水系发达密不可分^[24]。兰州的年人均水资源量最低,仅为 $70\ \text{m}^3$,该地区干旱的大陆性气候使得水资源较为匮乏而自身人口规模较大,所以人均水资源远低于其他城市。此外,南方城市人均水资源量较多而西北、华北地区城市的人均水资源量相对较低,表明了人均水资源量的空间分布与中国气候、人口的基本分布格局是紧密关联的。

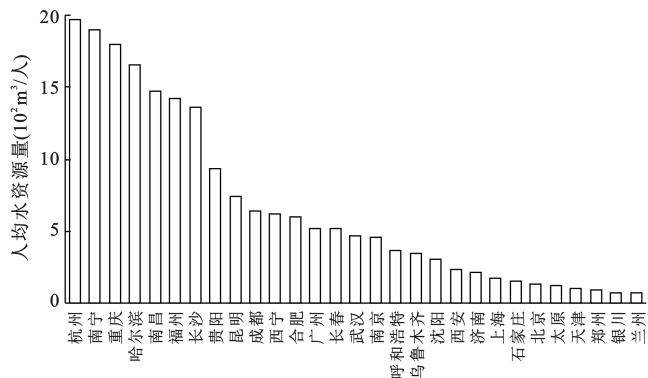


图1 中国主要省会城市2010—2020年平均人均水资源量

Fig.1 Average of per capita water resources of main provincial capitals in China from 2010 to 2020

为了进一步分析人口对于城市供用水的压力,计算各省会城市2010—2020年平均生活用水比例,结果见图2。近年来,随着城市人口的增加,生活用水的占比显著提升^[25],由图2可知,大部分省会城市生活用水占20%左右,这表明中国多数省会城市约20%的供水用于维持居民的日常生活,另有约80%用于农业、工业的生产以及维持生态环境的需求,这样的用水结构与相关研究所得中国目前的平均水平相当^[25]。但是,北京和郑州两市的平均生活用水占比明显高于其他城市,均为45%左右,表明这两个城市的人口规模对于生活用水的需求压力过大,近50%的供水量提供以维系居民的日常生活。此外,银川的平均生活用水比例最低,仅为4%,相关研究表明该地区灌溉取用水可占总用水的90%^[26],所以其主要用水部门为农业,导致生活用水比例偏低。

2.1.2 水资源盈亏概况 根据各省会城市2010—2020年水资源生态足迹与水资源生态承载力,绘制得到人均水资源生态盈亏状况结果(图3),其中柱状图为各城市人均水资源生态足迹与承载力占两项之和的比例,折线图代表城市水资源的人均盈余或亏损

值。哈尔滨、重庆及福州的人均水资源生态足迹占两项之和比例小于20%,这些城市受气候和地形条件的影响具有较为充沛的水资源总量,因而水资源的开发利用处于较为健康的水平。杭州、成都、合肥及武汉市的人均水资源生态足迹与承载力比例基本相当,人均盈亏值接近于零,表明这几个城市的水资源生态处于或靠近临界状态,需要注意减轻水资源利用存在的风险,避免进一步赤字。与此同时,北京、天津、太原、郑州、呼和浩特、乌鲁木齐、兰州及银川市的人均水资源生态足迹占两项之和比例大于80%,其中,除去一些位于干旱或半干旱区的城市因气候原因而缺水严重外,华北地区的城市水资源生态承载力非常低,这些城市过高的人口密度对此有重要影响^[27]。根据有关学者对城市水资源综合评价的结果^[28],重庆、福州等显著盈余的城市水资源价值较低,需求程度弱,而北京、郑州和银川等城市水资源价值高因而水资源约束则十分严重。结合图1可知,除了西宁与合肥市,人均水资源量位于前十三的城市其水资源生态承载力均大于生态足迹,表明水资源丰富程度制约着区域生态承载力。从2010—2020年水资源生态实际的盈亏值来看,南宁市盈余最多,达 $2.20\ \text{hm}^2/\text{人}$;银川市赤字最多,达 $1.66\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。整体上,水资源生态盈余的城市比例为37.9%,赤字的城市比例则为62.1%,即接近三分之二的省会城市处于水资源生态赤字状态,其水资源开发利用情况较为严峻。

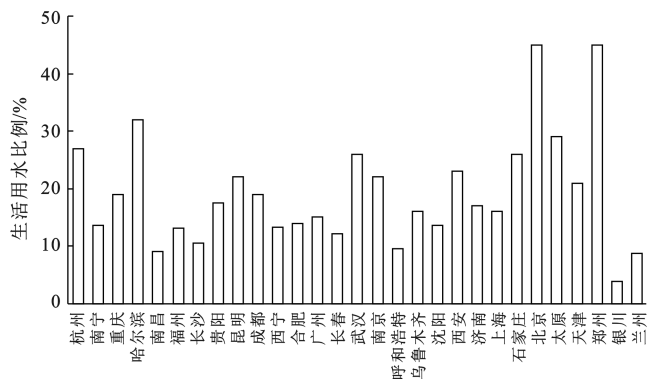


图2 中国主要省会城市2010—2020年平均生活用水比例
Fig.2 Average proportion of domestic water consumption in main provincial capitals of China from 2010 to 2020

2010—2020年各省会城市水资源生态盈亏空间格局见图4。从图4中可以清晰地看出,各省会城市的水资源生态盈亏分布格局呈现明显的区域性差异,赤字和盈余的城市存在空间集聚的现象。该结果与李雨欣等^[1]针对2003—2018年中国全国水资源生态盈亏的测算相一致,另一方面也充分反映了省会城市水资源盈亏是各省现状的集中表征。从集聚结果来

看,除去人均水资源拥有量丰富的哈尔滨市,中国的西北、华北和东北地区省会城市均为赤字状态,尤其京津冀城市群水资源呈现规模性的“人不敷出”特征,而南方各地城市的水资源基本呈现盈余态势,这与有研究发现南方地区的水生态足迹深度小而北方地区则相对较高的结论类似^[10]。同时,该种分布与中国的“南多北少”年降水量分布格局相吻合,表明了降水

对于水资源量的主导作用^[29]。然而,在长江流域中下游一带,武汉、合肥、南京和上海等几个城市尽管年降水量充足且有丰富的河流湖泊等地表水资源,但是其仍然呈水资源生态赤字状态。结合图 3 可知,其生态赤字值均在 $0.5 \text{ hm}^2/\text{人}$ 左右,这意味着城市化的发展、人口的大规模聚集对水资源消耗的压力显著超过了区域水资源承载能力。

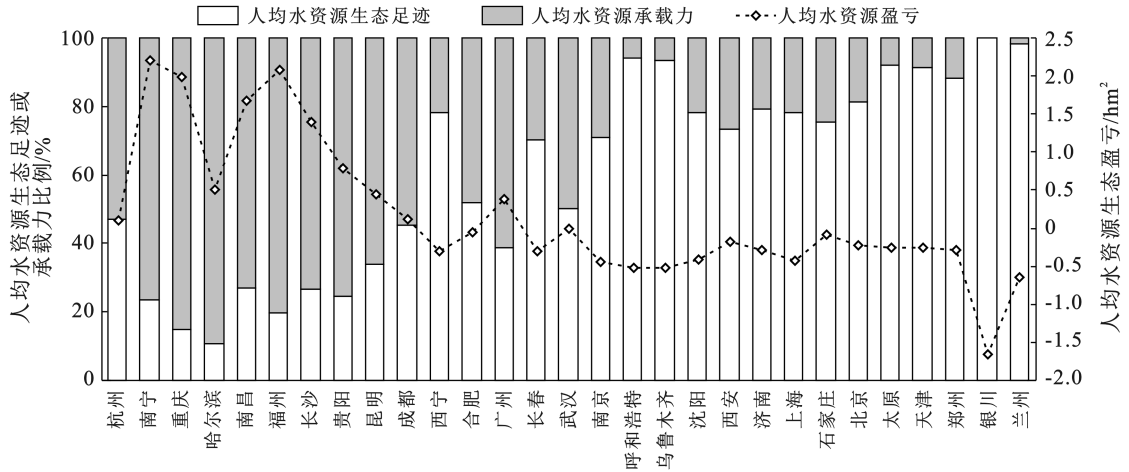
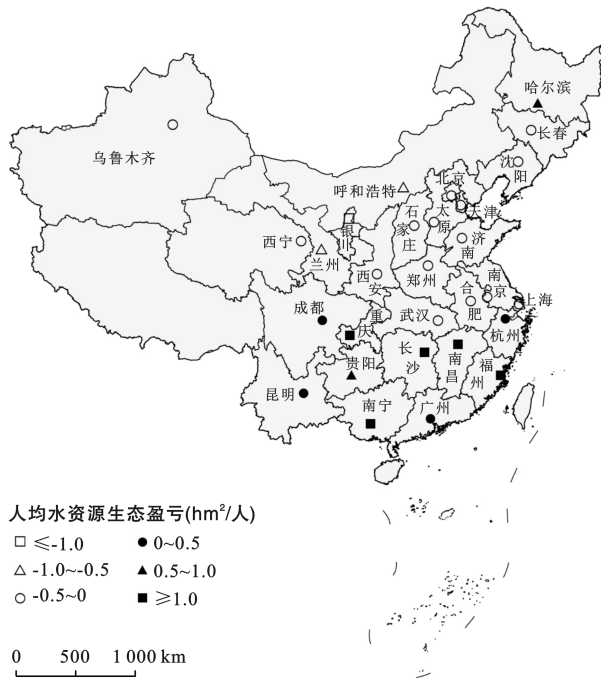


图 3 中国主要省会城市人均水资源生态足迹与承载力、人均生态盈余(赤字)

Fig.3 Per capita ecological footprint and carrying capacity of water resources, per capita ecological surplus (deficit) in main provincial capitals of China



注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号为GS(2019)1825号标准地图制作,底图无修改。

图 4 中国主要省会城市水资源生态盈余(赤字)空间格局
Fig.4 Spatial pattern of ecological surplus (deficit) of water resource in main provincial capitals of China

2.2 省会城市水资源适宜承载人口估算

依照城市生活用水总量和生活用水定额计算得

到各地适宜承载人口计算结果(见表 1)。在“粗放”用水情形下,居民用水定额选用高值标准,较大程度上降低了水资源的利用率,因而城市可供适宜生存人口偏低。在“节约”用水情形下,用水定额选用低值标准,水资源利用率提升因而城市适宜承载人口规模较大。若不考虑各城市的实际人口基数差异,则在两种情形下适宜承载人口最多和最少的城市分别为重庆和银川。以各城市 2010—2020 年常住人口的平均值代表现状人口,则多数省会城市现状人口均超过本文所设置的两种不同用水情形下的适宜承载人口,因此水资源的约束作用十分明显。具体来看,重庆等 18 个城市不论在哪种情形下其现状人口均大于估算人口,意味着即使在节约用水情形下其居民实际平均用水量仍低于居民用水定额的区间低值。南宁等 5 个城市则相反,现状人口均小于估算人口,即不论在哪种情形下实际人均用水量均大于居民用水定额,表明这些城市水资源利用效率低下。杭州等 6 个城市在粗放型用水情形下人口处于超载状态而在节约情形下处于盈余状态,说明这些城市居民实际人均用水量处于适中程度,既有缺水的风险也有节约的空间。从各省会城市现状人口数量的差异可对城市进行等级划分^[30]。中国人口最少的省会城市属于 II 型大城市(300~500 万),人口超过 1 000 万的属于最高级的超大型城市,其中人口数量逾 1 500 万的城市面

临极为严峻的人口压力,这带来了巨大的水资源开发利用挑战。一般而言,城市规模越大,尤其是对于特

大型与超大型城市,就越需要合理进行水资源的配置以满足社会的有序运行与可持续发展^[31]。

表1 两种用水情形下中国主要省会城市适宜承载人口

Table 1 Suitable population carrying capacity in main provincial capitals of China under two water consumption scenarios 10⁴ 人

城市	粗放情形人口	节约情形人口	2010—2020年平均人口	城市	粗放情形人口	节约情形人口	2010—2020年平均人口
杭州	875.14	1 069.21	928.88	南京	719.11	862.93	826.86
南宁	737.98	860.97	700.90	呼和浩特	156.00	204.00	302.94
重庆	2 084.37	2 709.52	3 053.26	乌鲁木齐	379.28	505.71	332.42
哈尔滨	802.55	921.43	956.11	沈阳	594.52	764.38	826.32
南昌	337.46	408.51	532.57	西安	598.46	758.04	1 032.49
福州	669.52	824.03	749.32	济南	411.26	528.77	742.58
长沙	677.13	833.39	761.39	上海	1 398.14	1 664.45	2 422.80
贵阳	302.82	396.00	465.43	石家庄	485.53	606.91	1 066.71
昆明	588.89	757.14	669.10	北京	2 028.59	2 592.09	2 117.43
成都	1 605.68	1 819.77	1 519.39	太原	331.03	432.89	433.28
西宁	141.38	192.79	230.79	天津	763.74	967.41	1 491.39
合肥	402.84	487.65	765.43	郑州	1 045.57	1 265.70	957.56
广州	1 113.86	1 326.03	1 592.20	银川	132.51	193.28	215.50
长春	446.53	574.11	755.30	兰州	248.61	293.81	325.04
武汉	1 230.14	1 435.16	1 056.79				

以上结果揭示了中国省会城市居民生活用水和经济社会发展存在的不少问题。①人口规模和水资源配置明显不协调。例如,南方地区上海、广州等拥有充沛水资源的城市却面临水资源生态赤字、现状人口偏多的问题。华北地区自身供水能力不足,虽然调水补水工程缓解了当地用水压力,但大量的用水需求制约了水资源生态承载力的改善^[32]。当以低于现状人均用水量的用水定额来进行评估时,表面上北京和郑州等城市可实现承载人口数量的提升,但是结合其人均水资源状况(图1)和生活用水比例(图2)可知,这两市应存在较严重的水资源浪费现象,导致现状人均用水量要高于合理的用水定额区间。②水资源利用的管理措施有待进一步完善。以天津为例,使用较高定额时的适宜承载人口约为现状平均人口的一半,这反映了该地居民实际用水量远低于生活用水标准的事实,因此该地区居民用水体验较差。用水定额标准的制定可以有效限制城市适宜承载人口的规模,但是现状人口的多少又显著影响到城市的供用水需求,所以在两者之间需进一步权衡。此外,中国城镇供水管网漏损现象也严重制约着用水标准的划定与节水政策的落地。有研究指出中国城市平均管网漏损率为18%而部分地区则高达35%以上^[33],管网漏损控制与国际先进水平相比仍存在较大差距,漏水耗水的减少可显著提升居民生活用水量,因而亟待加强城市供水设施的升级改造。综合来看,本研究认为各地开发利用水资源时需要因地制宜、因城施策,现状生活用水量较低的城市其节水水平较高,所以进一步节水

的潜力有限,应充分考虑分散疏解其人口规模以提升居民的用水体验与生活质量,但是现状生活用水量偏高的城市需要加强节水城市建设以提高水资源利用效率。

3 结论

本文基于2010—2020年中国主要省会城市水资源数据和常住人口数据,分析了其人均水资源占有量和生活用水现状,对其水资源生态足迹和生态承载力进行了评估,选用不同的居民用水定额进行各省会城市适宜承载人口的估算,探讨了省会城市“以水定人”的途径。

(1)总体上,中国北方城市年人均水资源量低于南方城市,超过半数省会城市年人均水资源占有量不足500 m³;多数省会城市生活用水占总用水量的两成,但北京市和郑州市的生活用水比例达到45%,高比例的生活用水对城市供水的压力巨大。

(2)年人均水资源量较高的省会城市多表现为水资源生态盈余,但是将近2/3的省会城市处于水资源生态赤字状态;2010—2020年人均盈余最多者为南宁市(2.20 hm²/人),赤字最多者为银川市(-1.66 hm²/人);水资源生态盈亏的分布整体上与中国气候类型分布相关而呈现“南方盈余,北方亏损”的格局,但是长江中下游地区经济发达、人口稠密的部分省会城市水资源也呈现生态赤字状态。

(3)以“粗放”与“节约”两种用水情形评估各省会城市适宜承载人口数量。不论在何种情形下,重庆

等 18 个城市适宜人口均低于现状人口, 南宁等 5 个城市适宜人口均高于现状人口; 而杭州等 6 个城市适宜人口数量则在不同用水情形下高于或低于现状人口数量。结果表明, 目前中国省会城市居民生活用水存在较大问题, 如郑州和北京等城市因水资源利用效率低下应当加强节水城市建设, 而天津等城市居民生活用水标准过低则应考虑减小其人口规模以提升居民用水体验与生活质量。

本研究设定在各城市维持稳定供用水现状的基础上进行, 揭示了中国省会城市的人均水资源占有量和承载人口规模情况, 但计算时使用的是各城市的实际水资源总量, 若考虑一些城市对于调入水资源供应的依赖, 显然其缺水形势将更为严峻。此外, 不同地区水资源利用特点仍然存在较大差异, 所以有待依据社会经济特征与相关指标对城市适宜承载人口进行深入研究。中国未来城市发展过程中对水资源开发利用该如何响应“三条红线”政策并切实执行“以水四定”方针, 需要各地因地制宜、实事求是地制定居民生活用水定额, 在提升居民生活质量的同时满足经济的发展需求, 以构建水资源可持续发展社会。

[参 考 文 献]

- [1] 李雨欣, 薛东前, 宋永永. 中国水资源承载力时空变化与趋势预警[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1574-1584.
- [2] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 258-269.
- [3] 左其亭. 水生态文明建设的几个关键问题探讨[J]. 中国水利, 2013(4): 1-3.
- [4] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 116-120.
- [5] 石忆邵, 尹昌应, 王贺封, 等. 城市综合承载力的研究进展及展望[J]. 地理研究, 2013, 32(1): 133-145.
- [6] 邓正华, 戴丽琦, 邓冰, 等. 洞庭湖流域水资源承载力时空演变分析[J]. 经济地理, 2021, 41(5): 186-192.
- [7] 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[J]. 自然资源学报, 2021, 36(2): 356-371.
- [8] 方恺. 生态足迹深度和广度: 构建三维模型的新指标[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 267-274.
- [9] 卢亚丽, 徐帅帅, 沈镭. 基于胡焕庸线波动的长江经济带水资源环境承载力动态演变特征[J]. 自然资源学报, 2021, 36(11): 2811-2824.
- [10] 孙才志, 张智雄. 中国水生态足迹广度、深度评价及空间格局[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7048-7060.
- [11] 王文国, 何明雄, 潘科, 等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9): 1555-1565.
- [12] 邵骏, 卢满生, 杜涛, 等. 长江流域水资源生态足迹及其驱动因素[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(12): 19-24.
- [13] 谭秀娟, 郑钦玉. 我国水资源生态足迹分析与预测[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3559-3568.
- [14] 谷树忠. 落实“以水四定”的症结识别与政策工具[J]. 中国水利, 2021(6): 52-54.
- [15] 季小妹, 陈田, 陈忠暖. 中国省会城市职能结构特征的比较研究[J]. 经济地理, 2009, 29(7): 1092-1096.
- [16] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [17] Wackernagel M, Rees W E. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996.
- [18] 郝帅, 孙才志, 宋强敏. 基于 ESTDA 模型的中国水生态足迹及水生态压力评价[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4651-4662.
- [19] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1279-1286.
- [20] 金菊良, 董涛, 郗建强, 等. 不同承载标准下水资源承载力评价[J]. 水科学进展, 2018, 29(1): 31-39.
- [21] 卢新海, 柯善淦. 基于生态足迹模型的区域水资源生态补偿量化模型构建: 以长江流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(2): 334-341.
- [22] 刘家宏, 王建华, 李海红, 等. 城市生活用水指标计算模型[J]. 水利学报, 2013, 44(10): 1158-1164.
- [23] 宋志, 乐琪浪, 陈绪钰, 等. 水资源承载力评价方法初探以及在“以水四定”中的运用[J]. 沉积与特提斯地质, 2021, 41(1): 106-111.
- [24] 陈敏玲, 袁懿, 周明华. 浙江省水资源评价指标体系研究[J]. 科技通报, 2009, 25(2): 167-173.
- [25] 刘晶, 鲍振鑫, 刘翠善, 等. 近 20 年中国水资源及用水量变化规律与成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 31-41.
- [26] 郑佳, 王尧. 银川平原水资源承载力的初步研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2006, 27(1): 80-83.
- [27] 张士锋, 陈俊旭. 华北地区缺水风险研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1192-1199.
- [28] 朱永彬, 史雅娟. 中国主要城市水资源价值评价与定价研究[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 1040-1050.
- [29] 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 772-779.
- [30] 戚伟, 刘盛和, 金浩然. 中国城市规模划分新标准的适用性研究[J]. 地理科学进展, 2016, 35(1): 47-56.
- [31] 李玲玲, 徐琳瑜. 特大城市水资源承载力政策响应的动态模拟[J]. 中国环境科学, 2017, 37(11): 4388-4393.
- [32] 岳晨, 刘峰, 杨柳, 等. 北京市 2010—2019 年水资源生态足迹和生态承载力[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 291-295.
- [33] 董文瑾, 梁俊卿, 孔潇潇. 一种基于双向 LSTM 的供水管网漏损定位方法[J]. 水电能源科学, 2021, 39(4): 105-108.