

基于区域水量 - 水质的水资源承载力研究

褚雅君¹, 许萍¹, 王海东², 吴俊奇¹

(1. 北京建筑大学城市雨水系统与水环境教育部重点实验室 水环境国家级实验教学示范中心, 北京 100044; 2. 北京交通大学 能源管理办公室, 北京 100044)

摘要: 目前国内外对水资源承载力的研究都存在较多关注水资源数量而忽略水质的问题, 然而在水资源的实际利用中, 最小生态需水量、水环境容量也是水资源承载能力的重要约束条件。基于此, 对水资源承载力的概念提出新的理解, 从水量和水质角度出发, 建立了以最小生态需水量、水环境最大可容纳量为约束条件的水资源承载力模型, 提出以人口和经济承载规模来表征水资源承载力。以北京市房山区为例, 选取 COD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为主要污染因子, 通过一维稳态水质模型计算研究区域内河道纳污能力, 进而推算出在水量 - 水质约束条件下的水资源可利用量对研究区域经济系统的支撑能力。结果表明: 房山区不同水功能区由于其河段长度、现状水质不同, 导致纳污能力差别较大; 河流对 COD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的纳污能力分别为 4 411.92 t/a 和 121.61 t/a, 预测 2030 年房山区水资源承载力即 GDP 规模为 3 348.43 亿元、人口数量为 243 万人。

关键词: 水资源承载力; 水质; 水量; 环境容量; 房山区

中图分类号: X24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4602(2020)03 - 0054 - 08

Water Resources Carrying Capacity Based on Regional Water Quantity and Quality

CHU Ya-jun¹, XU Ping¹, WANG Hai-dong², WU Jun-qi¹

(1. National Experimental Teaching Demonstration Center of Water Environment, Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Office of Energy Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: At present, researches on the water resources carrying capacity both at home and abroad pay more attention to the quantity of water resources but ignore the water quality. However, the minimum ecological water demand and water environmental capacity are also important constraints for the carrying capacity of water resources in the actual utilization of water resources. Based on this, a new understanding of the concept of water resources carrying capacity was put forward. From the perspective of water quantity and water quality, a water resources carrying capacity model with the constraints of minimum ecological water demand and maximum capacity of water environment was established, and the population carrying capacity and economic carrying capacity were proposed to represent the water resources carrying capacity. COD and $\text{NH}_3 - \text{N}$ were selected as the main pollution factors, the one-

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07110 - 008 - 006); 北京市属高校基本科研业务费专项资金资助项目(X18257、X18256)

通信作者: 许萍 E-mail: xuping@bucea.edu.cn

dimensional steady-state water quality model was used to calculate the carrying capacity of the rivers in Fangshan District of Beijing, and then the supporting capacity of available water resources under the constraint of water quantity-water quality was calculated. Different water functional areas in Fangshan District had different pollution-carrying capacity because of different river length and current water quality. The pollution-carrying capacities of COD and $\text{NH}_3 - \text{N}$ of the rivers were 4 411.92 t/a and 121.61 t/a, respectively. It was predicted that the water resources carrying capacity of Fangshan District in 2030 was as follows: GDP was 334.843 billion yuan, and the population was 2.43 million.

Key words: water resources carrying capacity; water quality; water quantity; environmental capacity; Fangshan District

水资源承载力作为区域可持续发展的重要指标,已经成为资源环境领域研究的重点与热点问题之一。国际上单独研究水资源承载力的成果较少,普遍将其作为城市可持续发展的一部分进行研究。国外通常采用压力指标、可持续利用水量、水资源的生态极限或水资源自然系统的限度、水资源紧缺程度等指标以表达类似的含义^[1],常用于估算城市环境承载力的方法包括 IPAT 方程^[2]、能量分析模型^[3]、生态足迹模型^[4]、空间-时间模型^[5]等。

我国首次进行水资源承载力研究是在 1985 年,新疆水资源软课题组对新疆的水资源承载力进行了研究,并提出了开发利用新疆水资源的策略,认为水资源承载力是区域内可利用水量能支撑的最大人口数量及经济规模。李玲等人^[6]采用新疆课题组对水资源的定义,并以动力学理论为基础,借助 vensim 软件,建立了基于供需水平衡的重庆水资源承载力模型。郭倩等人^[7]基于 DPSIRM 框架建立了评价水资源承载力的指标体系,指标体系中虽包含了部分环境指标(如城区绿化覆盖率),但对于水环境质量指标尚未体现,研究采用模拟退火算法求解最优投影方向,由此得到各评价指标对水资源承载力的影响程度,尚未对水资源量化指标进行研究(如水资源能承载的人口或经济规模)。近年来有学者提出从水质角度考虑水资源承载力。王晟^[8]从水质、水量角度建立评价指标体系,对杭州市的主城区及县、市、区的水资源承载力进行了评价,分析了当地水资源超载的原因,该研究仅考虑了水质不达标率,未考虑生态需水量和水环境容量对水资源的影响。段思营等人^[9]为降低水资源消耗与水环境污染,采用水质-水量优化模型,对吉林省辽源市的水资源进行优化配置,该研究的水质因素考虑了 COD 与氨氮排放量,但水量约束仅考虑了供需水量平衡,未考虑河

段生态需水量。李娟芳等人^[10]构建了基于水质、水量、水生态、社会、经济的水资源承载力评价体系,以总人口为表征指标,从供需水量平衡角度出发,定量预测了洛阳市的水资源承载力,但该研究的水质、水生态指标仅考虑了污水处理率、COD 排放量、生态需水量等,并未考虑水环境容量对水资源的影响。杨喆等人^[11]从水资源量和水环境容量角度出发,分别计算了水量、水质约束条件下的水资源承载力,但该研究仅仅是从用水量角度出发,未考虑河段生态需水量对于水资源承载力的影响。

从国内外发展现状可以看出,目前对于水资源承载力的研究大部分都是从水量角度出发,在保持供需水量平衡的条件下,分析水资源可利用量对研究区域的承载情况,虽有部分学者从水质角度出发,建立水质-水量耦合下的评价指标体系,但并未将水质条件中的水环境容量与水量条件中的河流生态需水量整体考虑。实际上,水资源承载力直接与水资源可利用量有本质联系,而水资源可利用量又受到河流生态需水量、水环境容量的限制。本研究将水资源承载力的概念描述为:一定的经济技术前提下,在保证生态系统不受破坏,且水环境可持续发展的前提下,对于人口数量及社会经济规模的最大承载能力。并提出从水量-水质双约束角度出发计算水资源承载力的方法。最后以北京市房山区为例,从水量-水质角度,综合分析房山区水资源承载力,旨在为房山区社会、经济、环境的协调发展提供依据。

1 基于水量-水质的水资源承载力研究

1.1 水资源承载力计算模型

首先以区域水量-水质为主要约束条件,分析水资源承载力。根据研究区域内河流、湖泊的具体情况,考虑环境生态需水量,保证最小生态需水量,再以水域主要污染因子为计算对象,选取合适的水

质模型,对水体纳污能力进行核算,分析可用于生产、生活的水资源可利用量,进而估算出研究区域的水资源承载力。

选取人口数量及 GDP 规模作为水资源承载力的表征指标,表征水资源的人口和经济承载能力。根据研究区域水资源可利用量、综合用水量、人均 GDP 等指标,计算出研究区域水资源可承载的 GDP 规模及人口数量。本研究提出的基于水量-水质的水资源承载力的计算模型见图 1。

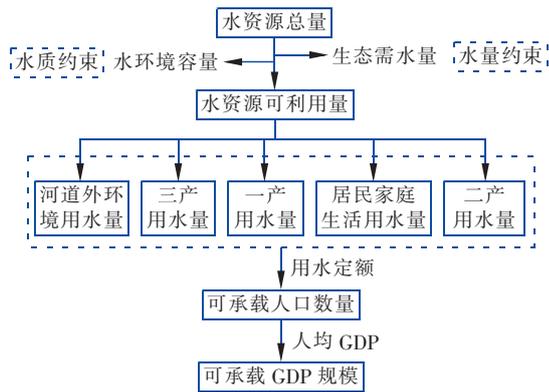


图 1 水资源承载力计算模型

Fig. 1 Calculation model of water resources carrying capacity

如图 1 所示,首先应计算出保证区域生态环境不被破坏的最小需水量,扣除此部分用水量后即为水量约束条件下的水资源可利用量,再根据水质约束计算研究区域内的水环境容量,由排放系数关系反推得到水量-水质条件下可支撑生产和生活的最大用水控制量,最后由城市综合用水定额即可算出水量约束条件下的水资源承载力。

① 水量约束

基于河流生态需水量,设置流域的水量约束条件。为保证河道的基本生态环境不受破坏,需满足河道的最小生态需水量,该值是维持河流控制断面生态环境用水需求、河道中必须予以保留的最小水量。计算生态环境需水量最小值的方法有水文综合法和分项功能算法,其中较常使用的有近 10 年最枯月平均流量法以及 Tennant 法。

a. 近 10 年最枯月平均流量法。采用近 10 年每年最枯月平均流量、月平均水位或径流量的最小值作为基本生态环境需水量的最小值。

b. Tennant 法[见式(1)]。根据 Tennant 河流生态需水标准,河流流量占年平均流量的 60% ~

100% 可保证河宽、水深及流速为水生生物提供优良的生长环境^[12],根据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z 712—2014)中规定,对于水资源短缺、用水紧张地区的河流,一般在表 1“好”的分级之下,根据节点最小生态环境流量及径流特征,选择合适的生态环境流量百分比,经验、实证表明,当河流流量占多年平均流量的百分比≥30%时,河宽、水深及流速均能达到良好状态。

$$Q \geq n \times Q_{ave} \times 3 \quad 153.6 \quad (1)$$

式中:Q 为年生态环境需水量,10⁴ m³;n 为河道内生态环境状况对应的流量百分比;Q_{ave} 为河段多年平均流量,m³/s。

表 1 不同河道内生态环境状况对应的流量百分比

Tab. 1 Percentage of discharge corresponding to ecological and environmental conditions in different rivers %

项 目	占年均天然流量百分比	
	10 月—次年 3 月	4 月—9 月
最大	200	200
最佳	60 ~ 100	60 ~ 100
极好	40	60
非常好	30	50
好	20	40
中	10	30
差	10	10
极差	0 ~ 10	0 ~ 10

② 水质约束

水质约束即每年向河道排放的污染物总量不可超过河道水环境容量(水环境容量在 1.2 节详述),由河道水环境容量推算出水质约束条件下的可用水量。计算步骤如下:首先计算河流、湖泊的主要污染物承载能力,即最大限度可排放污染物量;然后根据相应的污染物排放比例关系,计算出对应的可排放污水量;最后由排放系数得出水质约束条件下的可用水量。

1.2 河道水环境容量计算模型

《水域纳污能力计算规程》(以下简称《规程》)中规定,可采用数学模型计算河流纳污能力。根据污染物扩散特性,结合河流具体情况,可采用河流零维模型、一维模型、二维模型进行计算。《规程》规定,当污染物在河段内均匀混合时,可采用河流零维模型计算水域纳污能力;当河流流量 < 150 m³/s 时,可采用河流一维模型计算水域纳污能力;当河流流量 ≥ 150 m³/s 时,可采用河流二维模型计算水域

纳污能力。在许多研究中,为简化《规程》中一维计算模型,考虑上游污水来量、河流平均流速均保持不变,采用一维稳态水质模型^[13]计算流域的河流纳污能力,见式(2)。该简化模型运用较为广泛,杨杰军等人^[13]用该模型进行了青岛市大沽河及其一级支流小沽河和洙河的水环境容量研究,Gao等人^[14]运用该模型进行了佳木斯市区的水环境容量研究。

$$W_R = [C_s - C_0 \exp(-\frac{KL}{u})] \times \exp(\frac{KL}{2u}) \times Q \quad (2)$$

式中: W_R 为河段环境容量, g/s; C_s 为河段下游断面污染物目标浓度值, mg/L; C_0 为河段上游断面污染物浓度值, mg/L; K 为污染物综合降解系数, d^{-1} ; L 为计算河段长度, m; u 为河道断面的平均流速, m/s; Q 为河道断面设计流量, m^3/s 。

本研究中永定河与大清河流域内河流自然净流量较小,属于中小型河流,污染物在较短的时间内基本能混合均匀,横向和纵向的污染物浓度梯度可以忽略。为解决排污口分布带来的计算复杂性,本研究选取污染源概化的一维稳态水质模型来计算永定河与大清河流域内功能区河流的纳污能力。

2 基于水量-水质的房山区水资源承载力

2.1 模型主要参数及相关数据

房山区地处北京西南部,北邻北京市门头沟区

和丰台区,东界永定河,南接河北省涿州市,西邻河北省涞水县。房山区属海河流域,分为大清河水系和永定河水系,大清河水系干流细分为大石河、拒马河和小清河,主要支流有东沙河、周口店河、丁家洼河、夹括河、马刨泉河。根据《北京市房山区十三五时期水资源利用及节水型社会建设规划》,房山区人均水资源量仅为 $293 m^3$,属于极度缺水地区,因此计算和分析房山区水资源承载力对于房山区水资源的总体规划和水资源的合理开发利用具有重要意义。本研究以2017年为基准年,预测2030年房山区的水资源承载力。

① 水质约束

本研究参考《北京市房山区水资源综合规划》(以下简称《规划》)对水功能区的划分,计算除水源地以外的河流水环境容量,根据房山区政府发布的房山区水环境质量状况,COD和 NH_3-N 超标现象普遍且超标比较严重,是河流水质的主要污染因子,故采用COD和 NH_3-N 作为污染物控制指标。河流纳污能力采用一维稳态水质模型[见式(2)]进行计算。

根据《全国地表水水环境容量核定技术复合要点》中对河道水质降解系数参考值的规定,选取COD降解系数 $K=0.18 d^{-1}$ 、 NH_3-N 降解系数 $K=0.15 d^{-1}$ 。水质模型主要参数如表2所示。

表2 流域纳污能力模型主要参数

Tab. 2 Main parameters of river basin pollution acceptance capacity model

项 目	$C_0/(mg \cdot L^{-1})$		$C_s/(mg \cdot L^{-1})$		L/m	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	$u/(m \cdot s^{-1})$
	COD	NH_3-N	COD	NH_3-N			
永定河	20	1.0	20	1.0	26 000	0.018	0.014
大石河下游	40	2.0	30	1.5	37 000	0.847	0.075
拒马河(南泉水河)	15	0.5	20	1.0	18 000	0.039	0.012
拒马河(北泉水河)	15	0.5	20	1.0	11 000	0.016	0.006
小清河	40	2.0	30	1.5	35 000	0.149	0.043
东沙河	40	2.0	30	1.5	11 000	0.038	0.045
周口店河	15	0.5	30	1.5	20 000	0.047	0.008
丁家洼河	20	1.0	30	1.5	10 000	0.014	0.002
夹括河	40	2.0	20	1.0	32 000	0.158	0.092
马刨泉河	40	2.0	30	1.5	14 000	0.023	0.007

注: C_0 数据来自北京市生态环境局2017年12月河流水质状况; C_s 、 L 、 Q 数据来自《北京市房山区水资源综合规划》; u 根据《北京市房山区水资源综合规划》推算得出。

② 水量约束

由于难以获取近10年来河道最枯月平均流量数据,故本研究采用Tennant法。房山区属于极度缺水地区,故设定河流流量不小于多年平均流量的

30%[见式(3)]。房山区流域多年平均流量共计 $6.488 m^3/s$,其中永定河为 $0.065 m^3/s$ 、大石河为 $4.072 m^3/s$ 、拒马河为 $1.801 m^3/s$ 、小清河为 $0.550 m^3/s$ 。

$$Q \geq 30\% \times Q_{ave} \times 3 \quad 153.6 \quad (3)$$

③ 相关指标预测

根据北京区域统计年鉴,2011年—2017年房山区人均GDP分别为43 019.65、45 567.95、47 702.97、50 125.48、53 030.59、55 346.72、59 072.79元,分别比上一年增长9.43%、5.92%、4.69%、5.08%、5.80%、4.37%、6.73%,人均GDP增长率在近5年呈上升趋势。取2017年的增长速率6.73%,预测2030年房山区人均GDP为137 756元。刘大根^[15]分别采用趋势分析法、均值法、标准定额法对北京市人均综合用水量进行分析,并预测2030年北京市人均综合用水量为170 m³/(人·a)。

2.2 结果与分析

2.2.1 结果

① 水量约束——河道生态需水量

根据房山区流域多年平均流量和公式(3),计算得到房山区永定河、大石河、拒马河、小清河的最小生态需水量分别为61.495 2 × 10⁴、3 852.44 × 10⁴、1 703.89 × 10⁴、520.344 × 10⁴ m³,可知房山区最小生态需水量约为6 138.17 × 10⁴ m³。根据《规划》预测,2030年房山区本地水资源量为35 460 × 10⁴ m³,南水北调量为12 000 × 10⁴ m³。粗略估计在满足河道最小生态需水量的前提下,2030年房山区可利用的水资源量为41 321.83 × 10⁴ m³。

② 水质约束——河道纳污能力

河道纳污能力:根据公式(2)、表2及相关数据,计算得到现状条件下房山区各流域的纳污能力,见表3。可以看出,房山区河道多年平均流量为4 254 × 10⁴ m³/a,流域COD纳污能力为4 411.92 t/a、NH₃-N纳污能力为121.61 t/a。

可支撑生产和生活的最大用水控制量:根据北京市地方标准《水污染综合排放标准》(DB 11/307—2013)中规定,排入北京市的Ⅱ类、Ⅲ类水体及其汇水范围的污水执行A类排放限值(COD ≤ 20 mg/L、NH₃-N ≤ 1.0 mg/L),排入北京市的Ⅳ类、Ⅴ类水体及其汇水范围的污水采用B类排放限值(COD ≤ 30 mg/L、NH₃-N ≤ 1.5 mg/L),即大石河和小清河按B类排放限值,永定河、拒马河按A类排放限值。根据《规划》,流域内主要湖泊河流污染负荷来源包括生产、生活、水土流失等,其中全区生活和生产的COD污染占66%、NH₃-N污染占67%,按《城市排水工程规划规范》(GB 50318—

2017),城市污水排放系数取0.8。计算得,当河道流量为4 254 × 10⁴ m³/a时(多年平均),在不超过河道纳污能力即水质约束条件下,可支撑生产和生活的最大用水控制量为10 236 × 10⁴ m³。

表3 房山区各河流纳污能力

Tab.3 Pollution acceptance capacity of rivers in Fangshan

District		
项 目	COD	NH ₃ -N
t · a ⁻¹		
永定河	76.93	2.73
大石河下游	700.54	26.67
拒马河(南泉水河)	113.48	4.35
拒马河(北泉水河)	67.01	2.43
小清河	248.60	9.65
东沙河	9.22	0.28
周口店河	599.53	19.39
丁家洼河	2 421.02	50.81
夹括河	4.44	-0.63
马刨泉河	171.15	5.92
合计	4 411.92	121.61

考虑受社会发展、气候变化的影响,河流水量可能会降低从而影响水环境容量,最终导致水资源承载力的变化,故对2030年河道流量进行估算。1980年—2009年北京市的多年平均水资源量为28 × 10⁸ m³/a^[16]。根据2001年—2017年《北京市水资源公报》,统计了近17年来北京市水资源总量的变化情况,如图2所示。

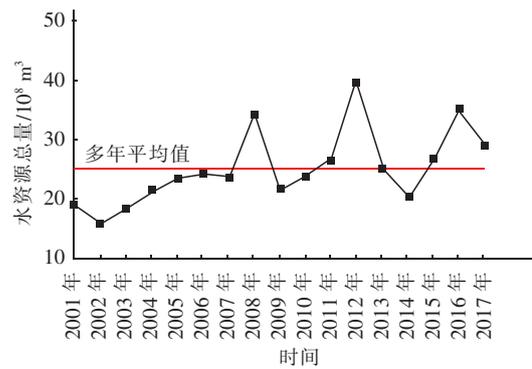


图2 2001年—2017年北京市水资源量变化趋势

Fig.2 Trend of water resources in Beijing from 2001 to 2017

过去17年平均水资源量为25.21 × 10⁸ m³/a,比多年平均值降低了约10%。考虑2017年—2030年水资源量不会发生大幅度变化,故参考北京市过去17年平均水资源量相对1980年—2004年的下降率(10%),以《规划》中多年平均水资源量(1956

年—2004年)为基准,估算得到2030年时房山区的多年平均水资源量约为 $35\,460 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。采用《水资源公报编制规程》(GB/T 23598—2009)中水资源总量计算公式[见式(4)]估算多年平均及2030年的河川径流量,如表4所示。

$$W = R + Q - R_g \quad (4)$$

式中: W 为水资源总量; R 为河川径流量; Q 为地下水资源量; R_g 为河川基流量。

表4 河川径流量计算基本参数

Tab.4 Basic parameters of river runoff calculation

项 目	水资源总量	地下水资源量	河川基流量	河川径流量
多年平均值	39 400 ^a	26 200 ^a	2 591 ^a	15 791
2030年	35 460	24 299 ^a	2 591 ^a	13 752

10^4 m^3

注:^a表示该数据来自《北京市房山区水资源综合规划》。

由于缺乏2030年河道的水流量信息,故根据上文对多年平均水资源条件下可支撑生活和生产用水需求的计算,结合对2030年河川径流量的预测结果,同比估算2030年可支撑生产和生活用水需求

表6 2030年水资源承载力预测

Tab.6 Prediction of water resources carrying capacity in 2030

项 目	河道流量/ 10^4 m^3	可支撑用水需求/ 10^4 m^3	河道供水量/ 10^4 m^3	其他水源供水量/ 10^4 m^3	承载人口/万人	承载GDP规模/亿元
2030年初始值	6 138.17	14 769.70	0	14 769.7	86.9	1 196.83
方案1	40 698.85	83 160.12	0	41 321.8	243	3 348.43
方案2	41 142.15	42 667.52	11 594.1	29 727.7	243	3 348.43
方案3	17 953.93	14 769.70	11 815.8	2 953.9	86.9	1 196.83

2.2.2 分析

① 计算结果分析

由表6可知,将排水全用作供水用途时(方案3),可承载的人口数量最少,GDP规模最小。方案1和方案2,在水质-水量约束条件下可承载的最大人口数量均为243万人,可承载GDP规模均为3 348.43亿元,但方案1不考虑将排水量作为供水水源,相比方案2而言,对地下水及南水北调等其他水源的依赖程度较大,没有形成水资源的循环利用,不利于水资源的可持续发展。方案2能在保证最小生态需水量条件下承载较多的人口,并且充分利用排水作为供水水源,有利于实现水环境的可持续发展。故本研究认为方案2满足前文中对水资源承载力的定义——在保证生态系统不受破坏,且水

量,结果如表5所示。

表5 2030年可支撑的最大生活和生产用水量

Tab.5 Maximum domestic and production water consumption supported in 2030

项 目	河川径流量	河道流量	可支撑用水需求
多年平均值	15 791	4 254	10 236
2030年	13 752	3 703	8 914

10^4 m^3

③ 水资源承载力

由表5可以看出,房山区2030年河道流量为 $3\,703 \times 10^4 \text{ m}^3$,小于最小生态需水量 $6\,138.17 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。故设定2030年的水资源承载力背景条件如下:在保证水量约束,即满足河道需水量前提下,计算水环境容量,从而得到基于水量-水质的水资源承载力。考虑3种方案下的水资源承载力,方案1:将排水全用作河道补水纳污,不作供水用途;方案2:将排水50%作为河道补水纳污,50%作为供水用途(两种方案均循环到水质条件下可支撑的生活和生产用水需求大于水量约束条件下的水资源可利用量为止);方案3:将排水全用作供水用途,即河道仅保持最小生态需水量。计算不同方案下的承载力,最终结果如表6所示。

环境可持续发展的前提下,对社会经济规模的最大承载能力,即房山区2030年可承载人口243万人、可承载GDP规模为3 348.43亿元。

② 不同功能区纳污能力差异分析

流域内不同功能区段的纳污能力差异显著,影响河流功能区纳污能力的主要因素有河段长度、水质现状、水质目标等。河段越长、水质现状越好、水质目标越低、流量越大,其纳污能力越强^[15]。房山区大清河水系河流大石河、小清河、东沙河、夹括河、马刨泉河均为V类水质。但大石河由于其河段较长、流量较大,故其可容纳污染物量也相对较高。夹括河虽然河段较长,但由于其现状水质较差且流量较小,导致其可容纳污染物量较少。由此可见,不同功能区纳污能力差异的主要原因在于现状水质、河

段长度以及流量。在各功能区中,丁家洼河现状水质优于目标水质,COD和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的纳污能力最大。考虑到不同河流纳污能力的差异,应根据河段水环境容量合理分配污染负荷,可以有效维持或改善水环境质量,使各功能区均达到目标水质。

3 结论

水量和水质是影响水资源承载力的两个重要因素,提出了基于水量-水质的流域水资源承载力模型,克服了现有水资源承载力模型只强调水资源量而忽略河道生态用水量、水环境容量的缺点,丰富了水资源承载力的内涵,提高了测算水资源承载力的科学性。

通过研究发现,水资源承载力是随时间、空间、社会发展等条件的变化而变化的,改善水环境状态、提高节水技术水平等措施均可提高水资源的质量和数量,从而提高水资源承载力。对于提高房山区流域水资源承载力,有如下建议:①严格按照各河段水环境容量控制污染物排放量,对于已无纳污能力或纳污能力较小的功能区施行更加严格的污染物排放标准 and 排污费征收标准。②加强行业用水大户节水管理,大力推广先进的节水型或无水型工艺、技术和设备,提高农业、绿化灌溉用水效率,加强生活节水器具普及率,提高水资源利用效率。

参考文献:

- [1] 何晓静. 湖州市水资源承载力评价方法研究[D]. 扬州:扬州大学,2017.
He Xiaojing. Research on the Evaluation Method of Water Resources Carrying Capacity in Huzhou [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017 (in Chinese).
- [2] Chertow M R. The IPAT equation and its variants changing views of technology and environmental impact [J]. *J Industrial Ecol*, 2000, 4: 13 - 29.
- [3] Zhao S, Li Z Z, Li W L. A modified method of ecological footprint calculation and its application [J]. *Ecological Modeling*, 2005, 185(1): 65 - 75.
- [4] Du B, Zhang K M, Song G J, et al. Methodology for an urban ecological footprint to evaluate sustainable development in China [J]. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2006, 13(4): 245 - 254.
- [5] Tehrani N A, Makhdom M F. Implementing a spatial model of Urban Carrying Capacity Load Number (UCCLN) to monitor the environmental loads of urban ecosystems. Case study: Tehran metropolis [J]. *Ecological Indicators*, 2013, 32: 197 - 211.
- [6] 李玲, 潘雪倩, 夏威夷, 等. 基于SD模型的重庆市水资源承载力模拟分析[J]. *中国农村水利水电*, 2018(5): 128 - 133.
Li Ling, Pan Xueqian, Xia Weiyi, et al. Simulation and analysis of water resources carrying capacity in Chongqing based on SD model [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2018(5): 128 - 133 (in Chinese).
- [7] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于DPSIRM框架的区域水资源承载力综合评价[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(3): 484 - 493.
Guo Qian, Wang Jiayang, Zhang Bi. Comprehensive evaluation of regional water resources carrying capacity based on DPSIRM framework [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3): 484 - 493 (in Chinese).
- [8] 王晟. 杭州市水资源承载力评价及提升路径[J]. *水土保持通报*, 2018, 38(3): 307 - 311.
Wang Sheng. Evaluation and improvement approaches of water resources carrying capacity in Hangzhou City [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(3): 307 - 311 (in Chinese).
- [9] 段思营, 金国华, 王宪恩, 等. 基于水量水质耦合多目标模型的辽源地区水资源优化配置[J]. *数学的实践与认识*, 2017, 47(7): 176 - 182.
Duan Siying, Jin Guohua, Wang Xian'en, et al. The optimal allocation of Liaoyuan water resources based on the water quantity-quality integrated multiply target model [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2017, 47(7): 176 - 182 (in Chinese).
- [10] 李娟芳, 王文川, 薛建民. 基于水质-水量-水生态-社会-经济指标体系的洛阳市水资源承载力分析[J]. *水利规划与设计*, 2019(1): 34 - 39.
Li Juanfang, Wang Wenchuan, Xue Jianmin. Analysis of water resources carrying capacity in Luoyang City based on water quality-water quantity-water ecology-society-economy index system [J]. *Water Resources Planning and Design*, 2019(1): 34 - 39 (in Chinese).
- [11] 杨喆, 程灿, 谭雪, 等. 基于水质和水量视角下的水环境承载力研究——以高淳固城湖流域为例[J]. *环境保护科学*, 2016, 42(1): 70 - 76.
Yang Zhe, Cheng Can, Tan Xue, et al. Analysis of water environment carrying capacity from the perspectives of water quality and quantity—A case study of Gucheng Lake Basin [J]. *Environmental Protection Science*,

- 2016,42(1):70-76(in Chinese).
- [12] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources [J]. Fisheries, 1976,1(4):6-10.
- [13] 杨杰军,王琳,王成见,等. 中国北方河流环境容量核算方法研究[J]. 水利学报,2009,40(2):194-200.
Yang Jiejun, Wang Lin, Wang Chengjian, et al. Environmental capacity of rivers in North China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(2):194-200(in Chinese).
- [14] Gao P, Song Y S, Yang C. Water function zoning and water environment capacity analysis on surface water in Jiamusi Urban Area [J]. Procedia Engineering, 2012, 28:458-463.
- [15] 刘大根. 特大城市水资源承载能力研究——以北京市为例[D]. 北京:清华大学,2016.
Liu Dagen. Study on Water Resources Carrying Capacity of Super Metropolises: Beijing as a Case [D]. Beijing: Tsinghua University, 2016(in Chinese).
- [16] 翟远征,王金生,郑洁琼,等. 北京市近30年用水结构演变及驱动力[J]. 自然资源学报,2011,26(4):635-643.

Zhai Yuanzheng, Wang Jinsheng, Zheng Jieqiong, et al. Evolution and driving forces of water consumed structure in Beijing during the past 30 years [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(4):635-643(in Chinese).



作者简介:褚雅君(1995-),女,贵州铜仁人,硕士研究生,研究方向为城市水资源利用。

E-mail:chuyajun1211@163.com

收稿日期:2019-09-12

· 会讯 ·

“《中国给水排水》2020年中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会” 定于3月31日—4月3日在西安召开

近年来,随着我国污水处理能力的快速提高,污泥量也同步大幅增加。“水十条”规定,地级及以上城市污泥无害化处理处置率应于2020年底前达到90%以上。而调研结果显示,我国污水处理厂的污泥有70%没有得到妥善处理,污泥污染问题凸显。为了进一步提高我国污泥处理处置技术水平,了解国内外污泥处理处置的现状、前景与发展趋势,切实达到污泥无害化、减量化、稳定化、资源化的要求,《中国给水排水》杂志社联合西安水务(集团)有限责任公司、西安水务(集团)生物质能源发展有限公司、德国施维英机械有限公司、天津创业环保集团股份有限公司、苏伊士新创建有限公司、普拉克环保系统(北京)有限公司、广东芬尼克兹节能设备有限公司、广东派沃新能源科技有限公司、中国市政工程华北设计研究总院、中国建设科技集团股份有限公司、中国市政工程中南设计研究总院、国际水协污泥专家委员会等单位决定举办“2020年中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会(第十一届)”。届时将邀请有关单位领导和专家到会作主题报告,针对污泥处理处置的标准实施、成熟工艺及设备运行经验、污泥处置政策等问题进行研讨交流,同时为相关单位搭建推介新技术、新工艺、新设备的平台。会议日程安排可通过公众号“中国给水排水”(微信号:cnww1985)获取。

时 间:2020年3月31日—4月3日(3月31日报到,4月1日—2日会场交流,4月3日参观)

地 点:西安香格里拉大酒店(陕西省西安市雁塔区科技路38号乙)

负责人:王领全,13752275003/022-27835639, wanglingquan88@163.com

(本刊编辑部)