

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdtk.2022.0023

秦长海,曲军霖,孙华月,等.城市居民生活需水函数模型的构建与应用[J].南水北调与水利科技(中英文),2022,20(2):209-217. QIN C H, QU J L, SUN H Y, et al. Construction and application of function model for urban residents' water demand [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(2): 209-217. (in Chinese)

城市居民生活需水函数模型的构建与应用

秦长海^{1,2}, 曲军霖¹, 孙华月¹, 李海红^{1,2}, 姜珊¹

(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:通过定性分析与定量计算相结合的方式探寻生活用水强相关因素,充分考量区域气候条件及经济发展水平差异,构建全国及七大地理分区的城市居民家庭生活需水函数,各区域需水函数模型均通过了显著性检验,拟合值与实际值误差在10%以内的城市占61.5%。分区城市居民生活需水函数可客观反映经济发展阶段特性和气候背景下的用水差异,提升了模型的应用性和可操作性,为分区阶梯定额的确定提供技术支撑。应用模型对省会及重要城市的居民生活用水定额和水价进行分析预测,结果表明:在同等居民收入和水价增幅下,北方城市居民生活用水定额降幅远低于南方城市,南方城市价格增长对居民生活用水定额的抑制作用更为明显;随着收入的增长,需要适度提升水价才能使规划水平年生活用水定额维持现状水平。

关键词:阶梯水价;生活用水;生活节水;定额;弹性系数

中图分类号:TV213.9 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



21世纪以来,中国用水总量增长9.5%,而城市生活用水量增长51%^[1]。在工业、农业用水量无明显增长甚至减少的情况下,生活用水成为主要用水增长点。未来随着城市发展和居民生活水平进一步提高,城市居民生活用水仍将是拉动需水增长的重要引擎,合理控制城市生活用水的过快增长是调控经济社会用水、推进社会可持续发展的关键措施。

面对城市缺水问题,加强水资源需求管理成为应对水资源短缺的有效策略之一^[2]。国外已进行了广泛的研究:Jasper等^[3]采用计量经济学模型和元分析方法来确定解释住宅用水需求的估计价格和收入弹性变化的重要因素;Worthington等^[4]基于澳大利亚过去25年的住宅需水量调查,从资费计量结构、需求决定因素和模型评估方法等方面讨论了住宅需水量模型的研究现状。近年来,我国政府也开始探索用水需求管理,积极运用价格杠杆

等措施来降低用水需求,缓解用水的紧张趋势。《关于加快建立完善城镇居民用水阶梯价格制度的指导意见》^[5]提出的2015年底前中国设市城市原则上要全面实行居民阶梯水价制度的目标已经基本实现,但实施效果不佳,主要表现在两方面:一是定额制定科学性不足^[6],2017年26个省会城市第一阶梯覆盖率为105%^[7],定额指标过松,无法发挥约束作用,同时定额制定过程中对城市经济发展阶段和气候条件差异考量不充分;二是定额调整不及时^[8],虽然阶梯水价制度已推行多年,但阶梯水价定额的及时性、有效性亟待加强,该制度带来的节水效果并不理想。

合理用水定额的确定是推进城市居民生活阶梯水价制度的首要任务,更是支撑制度落实生效的基础,对促进水资源保护和合理利用意义重大。第一级水量基数过小、水价偏高,难以保障居民基本用水需求、有损居民福利;第一级水量基数过大、水价偏

收稿日期:2021-03-28 修回日期:2021-07-12 网络出版时间:2021-07-23

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20210722.1317.002.html

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0408105);国家自然科学基金项目(52025093;71573274)

作者简介:秦长海(1976—),男,河北宣化人,正高级工程师,博士,主要从事水资源管理研究。E-mail:qinchh@iwhr.com

通信作者:曲军霖(1996—),女,山东烟台人,主要从事水文学水资源研究。E-mail:17806283004@163.com

低,又无法发挥阶梯水价的杠杆作用,造成用水浪费。目前用水定额的确定基本参照国家和地方有关定额标准,虽具有广泛适用性,但典型性和代表性不足,如何在充分遵循地域差异性的基础上确定合理的定额标准,值得政策制定者深入考虑。

城市居民生活用水定额的制定应兼顾效率与公平,既能保障居民基本生活用水,又能促进水资源节约利用^[9]。本文通过数据挖掘技术^[10],从与城市居民生活用水相关大数据中寻找关键影响因素,分析城市生活用水规律,在掌握城市居民生活用水现状的基础上,根据经济社会发展水平、气候和水资源特点,划定研究分区,构建全国以及不同分区的城市居民家庭生活需水函数,用以确定现状和预测未来城市居民生活用水定额,为合理定额的制定、阶梯水价的推行以及政府政策的实施提供依据。

1 研究区及数据来源

基于不同地区水资源条件、气候条件、经济发展水平等因素的空间异质性,为保障研究成果的可靠性与应用性,参考我国地理分区,将研究区划分为七大分区,开展城市居民家庭生活用水定额的研究。

研究以 2017 年为基准年,以 293 个地级市为研究对象,收集各地市数据资料。城市居民家庭生活用水定额数据来自 2017 年《城市建设统计年鉴》和 2017 年各省市水资源公报;水价数据来自 2017 年《城市供水统计年鉴》以及中国水网水价统计数据;居民收入数据来自各省市 2018 年统计年鉴;气候数据来源于全国 825 个气象站点数据。

在数据的初步处理过程中,剔除了数据不完整样本,以及城市居民家庭生活人均日用水量在 30 L 以下等数据不合理样本。同时,在分区需水函数构建过程中,综合全区各参数的特点,排除明显的离心数据和边缘数据,寻求区域共性特征,有效样本数约占总数据量的 98%,详见表 1。

2 城市居民家庭生活需水函数模型

2.1 指标选取

水资源作为生活必需品,影响其需求量的因素很多,相关学者^[11-13]就城市居民生活用水定额影响因素已经做了大量研究,总体来看,影响城市居民生活用水定额的主要因素分为 4 类,包括经济指标、气候指标、水资源指标、社会指标等,主要影响指标详见表 2。

表 1 研究分区样本数量

Tab. 1 The sample size of research partition

区域	省(自治区、直辖市)	有效样本数量/个	样本数量/个
东北地区	黑龙江、吉林、辽宁	34	34
华北地区	北京、天津、河北、山西、内蒙古	31	31
华东地区	山东、江苏、浙江、安徽、上海、江西、福建	76	76
华中地区	河南、湖北、湖南	42	42
华南地区	广东、广西、海南	38	39
西南地区	云南、贵州、四川、重庆、西藏	33	38
西北地区	陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆	33	33

表 2 居民生活用水定额评价指标

Tab. 2 Evaluation indicators of residential water quota

目标层	准则层	指标层
居民生活用水定额 B	经济指标	人均国民生产总值 C
		人均可支配收入 D
		水价 E
	气候指标	温度 F
		湿度 G
	水资源指标	多年平均年降水量 H
		人均水资源量 I
	社会指标	家庭人口规模 J
		受教育程度 K

2.2 相关性分析

虽然影响城市居民生活用水定额的因素众多,但影响程度差异明显,本文结合指标可量化性开展相关性分析,具体采用 Pearson 相关分析^[14-15]。对于变量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 和 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$,相关系数公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中: \bar{x} 和 \bar{y} 为 n 个数据的平均值。相关系数 r 的取值范围为 $[-1, 1]$; $|r|$ 越接近于 1,则表明 x 和 y 的线性相关程度越高; $|r|$ 越接近于 0,则表明线性相关程度越弱。在一般情况下, $|r| \geq 0.8$ 时高度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 时中度相关, $0.3 \leq |r| < 0.5$ 低度相关, $|r| < 0.3$ 时非线性相关^[14]。

利用收集到的数据进行指标相关性分析,识别居民生活用水定额空间差异的强相关因素。通过图 1 可以看出,城市居民家庭生活用水与温度、湿度的线性相关性强,与人均 GDP、人均可支配收入线性相关性较弱,与水价、多年平均年降水量、人均水资源

量线性相关性非常弱。各因素间人均 GDP 与人均可支配收入、温度和湿度间呈强相关。

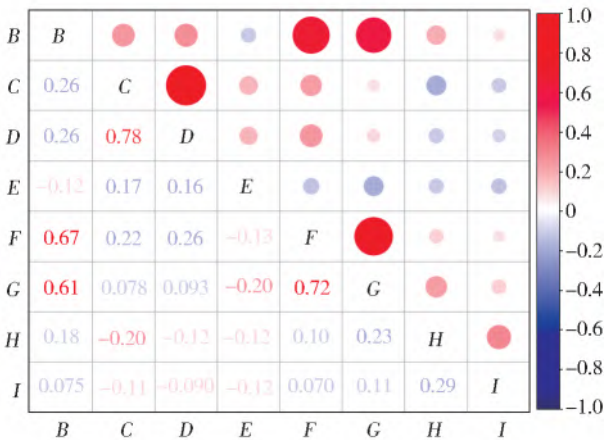


图1 Pearson 相关系数

Fig. 1 Pearson correlation coefficient diagram

在城市居民用水定额管理文献中,有学者^[16]认为从时间和空间两种维度上看用水定额与收入之间呈线形关系,也有学者^[17]认为二者呈“S”形曲线关系,另有研究^[18]显示收入水平对用水影响不显著。从本文研究结果来看,收入水平与生活用水定额间并不呈简单线性关系,用水定额与我国收入分配区域差异显著、生活用水习惯养成以及用水的刚性需求有关。虽然收入水平对生活用水定额的影响存在争议,但消费水平影响显著是普遍共识。消费水平作为生活方式的一种经济表现形式,高消费水平意味着生活方式更倾向于享受型、奢侈型而非节俭型,进而导致高用水定额。赵卫华^[16]对宏观数据的研究也证实了对用水影响显著的是家庭支出水平而非收入水平,而人均可支配收入相比于人均国民生产总值更能反映国家或地区居民收入可用于消费和储蓄的平均值,是衡量居民生活水平的重要指标,因此选择人均可支配收入作为解释变量。

国内外研究结果^[19-20]以及需求规律都表明从空间上看水价与用水定额成反比,水资源需求价格弹性很小,但从我国数据分析来看,水价与生活用水定额不呈简单线性关系;水作为生活必需品对于城市居民来说替代品有限,用水存在刚性需求;我国目前的阶梯水价制度定额、定价都过低,水价对居民心理影响较小;不连续的收费结构不适合经典的计量经济学建模技术,认为水价高的高用水户并不会因为水价高低而减少用水,导致水价与生活用水定额间关系复杂。

综上,考虑到同类指标间有明显的线性相关性,共同作为变量会造成信息重叠,影响预测结果,因此结合用水影响因素的定性分析,选择水价、人均可支

配收入、温度等因素作为城市居民家庭生活用水定额的解释变量。

2.3 城市居民家庭生活需水函数模型

目前城市居民生活需水预测的方法主要有基于国内外用水规律的区间 S 模型^[17]、基于时间序列的 ARIMA 模型^[21]、基于用水原理的指标计算模型^[22]、基于主要参数的用水机制统计模型^[23]以及基于面板数据的统计模型^[24]。本文选择简洁高效的统计模型,既能体现一定的社会用水规律,又能反映经济发展水平、气候差异对居民生活用水定额的影响。

城镇居民家庭生活需水函数能够反映用户对各影响因素的敏感度,对于定价、定额和充分发挥水价的杠杆作用具有重要意义。在全国及各分区城市居民家庭生活需水函数构建过程中,选择最典型的双对数函数作为估计形式^[11],既能给出固定的弹性系数,又比较符合消费者对某些商品需求的行为,函数形式为

$$Q=c \times X^{\alpha} \times S^{\beta} \times T^{\gamma} \quad (2)$$

式中:被解释变量 Q 为城市居民家庭生活用水定额, $L/(人 \cdot d)$; X 为第一阶梯综合水价, $元/m^3$; S 为人均可支配收入,万元; T 为温度, $^{\circ}C$; c 为常数; α 为价格需求弹性系数; β 为收入需求弹性系数; γ 为温度需求弹性系数。

3 模型验证与讨论

3.1 模型验证

分地市构建城市居民家庭生活需水函数模型并检验模型拟合精度,结果详见表 3,可以看出全国及各分区模型的拟合程度都较好,模型的确定系数 R^2 都在 0.5 以上,所对应的显著性水平远小于 0.05,通过显著性检验,模型有效。从图 2 可知,模型拟合偏差率在 10% 以内的城市占有有效样本的 61.5%,偏差率在 20% 以内的城市占 86.5%,拟合效果较好。从分区拟合效果来看,华北和西南分区偏差率主要控制在 10% 以下,华南、华东分区部分城市偏差率超过 20%。模型的 3 个解释变量 X 、 S 、 T 中,收入变量虽符合一定的变化趋势,但当前国际环境的不稳定性和不确定性明显增加,收入预测难度提升。温度变量具有较明显的区域特征,短时间内波动较小,但随着气候变化风险加剧,温度的预测方式也应随之改进。水价变量受不可预测的政策因素影响,不确定程度最高。同时,按照地理分区构建的预测模型反映的是区域共性特征,利用模型预测时部分城市偏差率较大是可以预见的,但从区域整体来看,模型仍是有效的。

表 3 需水函数拟合精度参数及参数检验值

Tab. 3 Fitting accuracy parameters and parameter test values of water demand function

分区	R^2	F 值	F 显著性	系数 T 检验值			
				α	β	γ	c
全国	0.687	116.110	7.336×10^{-40}	-4.202	6.189	11.893	-2.769
西北	0.617	10.188	3.230×10^{-4}	-1.781	3.744	1.860	-3.090
华北	0.608	7.234	4.000×10^{-3}	-0.992	2.309	2.598	-1.346
东北	0.527	3.717	5.000×10^{-2}	-0.550	2.157	0.239	-0.915
华东	0.721	32.717	1.267×10^{-10}	-3.417	5.182	2.884	-3.331
华中	0.659	14.190	2.300×10^{-5}	-0.372	4.111	2.247	-2.669
华南	0.513	7.020	2.000×10^{-3}	-1.226	2.664	1.463	-1.827
西南	0.765	10.849	2.000×10^{-3}	-2.430	1.223	1.108	-0.574

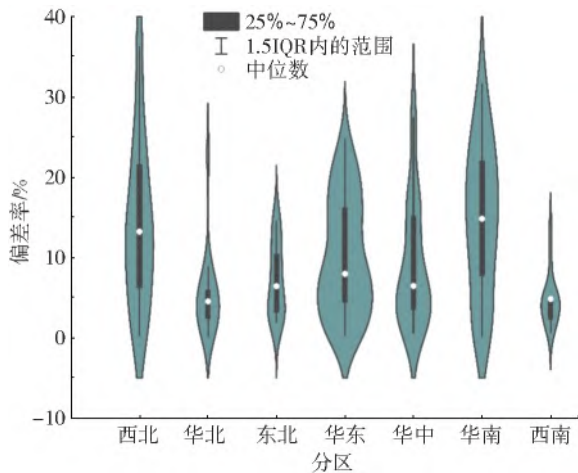


图 2 分区模型偏差率统计

Fig. 2 Partition model deviation rate statistics chart

结果显示:现状人均生活用水定额偏高的城市多位于华南、华中等南方丰水区或近水源地区,这部分城市缺乏节水意识,用水行为粗放,但存在较大的节水潜力,在节水意识引导和政策压力下,节水潜力

可以逐步释放为节水效果;现状人均生活用水定额偏低的城市多位于西北、华东等缺水地区或远水源地区,城市的节水水平较高,进一步开展生活节水的潜力有限。建立的需水函数模型看似只正确模拟了 61.5%的城市生活用水指标,但它揭示了其他 38.5%的城市节水水平和节水潜力,可为节水型社会建设深入推进提供技术支撑和考核依据,推动与水资源承载能力相适应的绿色发展。

3.2 模型结果及需求弹性分析

城市居民家庭生活用水定额主要受价格、收入和温度的影响,影响因素需求弹性系数见表 4。本文构建的生活需水函数模型中 3 个解释变量的系数即为解释变量的弹性系数,是解释变量弹性的量化表示,能够反映其他变量固定时某一解释变量与被解释变量间变化幅度的依存关系。例如,价格需求弹性系数是价格弹性的量化,反映了收入、温度不变,价格变化 1%时所引起的用水定额变化的百分比。

表 4 城市居民家庭生活需水函数模型

Tab. 4 Water demand function model of urban households

分区	需水函数	参数值			
		α	β	γ	c
全国	$Q=7.331 \times 10^{-2} \times X^{-0.319} \times S^{0.597} \times T^{0.562}$	-0.319	0.597	0.562	7.331×10^{-2}
西北	$Q=4.579 \times 10^{-6} \times X^{-0.360} \times S^{1.566} \times T^{0.461}$	-0.360	1.566	0.461	4.579×10^{-6}
华北	$Q=1.045 \times 10^{-2} \times X^{-0.143} \times S^{0.789} \times T^{0.439}$	-0.143	0.789	0.439	1.045×10^{-2}
东北	$Q=3.561 \times 10^{-2} \times X^{-0.285} \times S^{0.766} \times T^{0.030}$	-0.285	0.766	0.03	3.561×10^{-2}
华东	$Q=2.581 \times 10^{-2} \times X^{-0.385} \times S^{0.668} \times T^{0.645}$	-0.385	0.668	0.645	2.581×10^{-2}
华中	$Q=4.668 \times 10^{-3} \times X^{-0.319} \times S^{0.597} \times T^{0.562}$	-0.070	0.691	1.131	4.668×10^{-3}
华南	$Q=1.906 \times 10^{-3} \times X^{-0.750} \times S^{0.596} \times T^{1.934}$	-0.750	0.596	1.934	1.906×10^{-3}
西南	$Q=8.518 \times 10^{-2} \times X^{-0.337} \times S^{0.609} \times T^{0.457}$	-0.337	0.609	0.457	8.518×10^{-2}

供水价格水平与需求弹性存在负反馈关系,我国城市居民家庭生活需水的供水价格需求弹性系数为-0.319,即 10%水价上升将引起 3%的生活用水

定额下降。虽然用水需求的价格弹性较弱,但由于用水的刚性需求及我国水价制度的薄弱约束力,相对于其他的水资源管理措施,在抑制需求方面供水

价格仍是有效手段,而供水价格弹性系数结果也可以作为评估水价提升是否有效的工具。地区间的数据差别较大,华南地区的供水价格需求弹性最大为一0.75,华中地区最小仅为一0.07。水资源丰富的地区刚性需水以外的非必要用水偏多,水价上调带来的约束作用更明显。

收入需求弹性系数明显大于价格需求弹性系数,全国城市居民家庭生活需水的收入需求弹性系数为0.597,即工资增加10%将导致5.86%的生活用水定额的增加。在目前我国经济快速发展的时代背景下,尽管水价和收入在同步增加,但收入对需水的影响程度远大于价格。造成这一结果的原因可能是随着收入水平上升,人们卫生水平要求更高,从而导致洗衣机、洗碗机、淋浴热水器等耗水物品的拥有量和使用率增加,提升了城市生活用水的消耗量。同时,我国水价制度不完善且提价更新缓慢,收入增长速度远超水价提升速度,居民看不到节水的意义。地区间的数据显示,收入需求弹性以西北最大为1.566,华南地区最小仅为0.596。经济欠发达地区居民家庭水费支出占比相对较高,收入增长对居民生活水平拉动作用更明显,带来的用水需求增长更快。

温度需求弹性系数显示温度高低与需水增长密切相关^[25],全国城市居民家庭生活需水的温度需求弹性系数为0.562。地区间的数据显示,温度需求弹性以华南最大为1.934,东北地区最小仅为0.030。气候寒冷的地区饮水、洗浴等刚性用水需求偏低,温度变化对用水的影响较小。

3.3 预期水费支出占比下用水定额分析

《中国水资源及水价现状调研报告》指出,与发达国家水价相比,我国水费支出比例过低,在收入水

平远低于发达国家的条件下,说明我国水价设置过低^[26]。2019年第一阶梯人均水费支出占人均可支配收入的0.96%,远低于国际经验值,为了更好地发挥水价对用水的约束作用,促进节水和水资源高效利用,预计到2025年上调该占比至1.50%,即水价上涨幅度80%,推动居民开始关注节水。

选取部分省会及重要城市进行城市居民家庭生活需水预测,假定受全球疫情制约城市发展放缓,收入增长率保持5%,预测人均家庭生活用水定额及第一阶梯合理定额见图3,对比现状2019年人均家庭生活用水定额可以发现,到2025年北方缺水城市和南方丰水城市用水定额存在显著性差异,北方城市随着收入的提升,预期用水定额普遍高于现状定额或者与现状定额持平,而南方城市生活用水定额则普遍低于现状水平,但南方城市的用水定额仍然高于北方城市。南北城市生活用水定额变化差异的主要原因在于:目前北方城市生活用水定额相对较低,刚性用水比重较大,水价对用水定额的抑制作用不明显,收入弹性要高于水价弹性,收入水平增长将在一定程度上释放用水需求;南方城市生活用水定额偏高,享受性和奢侈性用水比重较大,价格弹性要高于收入弹性,在水价约束下非必要用水会减少,产生明显的节水效果。结合分析结果,建议:在居民生活用水阶梯水价管理中,考虑到北方城市生活水平提升对用水需求的增长,生活用水定额可基本维持现状或适度压减;南方城市生活用水定额中享受性和奢侈性用水占比相对较大,可在现状定额水平上适度压减,降幅控制在20%左右,但现状用水定额较少的城市,如郑州市、重庆市和昆明市则不做调整,基本维持现状。

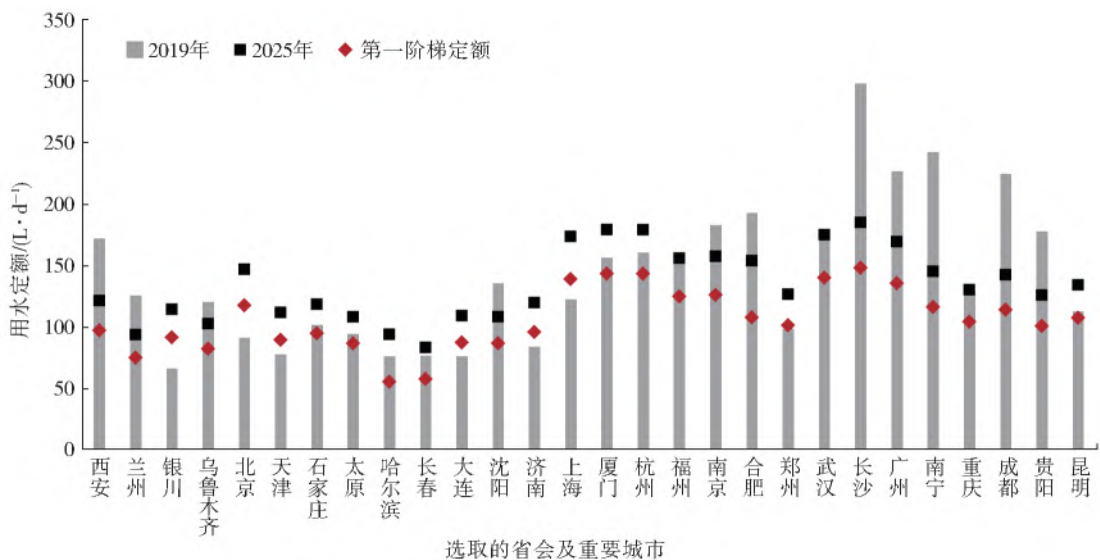


图3 模型预测2025年人均居民家庭生活用水定额^[2]

Fig. 3 The domestic water quota per capita in 2025 predicted by the model

3.4 预期定额标准下的水价分析

目前我国已经基本实现了城镇居民生活阶梯水价制度,并根据定额阶梯实行差异化终端水价。阶梯水价管理制度的核心是确定定额阶梯和各阶梯水价,上节对预期收入和水价水平下的定额进行了分析,本节进一步分析预期收入和定额水平下的水价设定。假定到 2025 年定额维持现状定额水平,居民可支配收入年均增长保持 5%,部分省会及重要城市水价变化详见图 4。分析图 3、4 可知,在居民可支配收入持续增长的情景下,为了维持现状用水定额水平不变,则现状用水定额偏低的城市需保持水价同步提升,现状用水定额偏高的城市则可以继续

施行当前水价。省会城市中乌鲁木齐市的水价增幅最小,约为 8.5%,银川市水价增幅最大,达到了 8 倍,两市均属西北干旱区,但水价变化差异如此之大,原因在于乌鲁木齐现状用水定额远高于银川市,故在居民可支配收入持续增长的情景下,银川市用水必将大幅增长,为了维持当前用水定额不变,必须通过提升水价来控制用水的过快增长。阶梯水价制度不是为了提高水价,增加居民水费支出,而是通过阶梯价格的设定,既能保障基本生活用水的低价水平,也能通过高水价抑制享受型和奢侈型用水,建议在居民生活阶梯水价管理中,第一阶梯水价维持保本微利水平,第二阶梯可借鉴本研究成果设定。

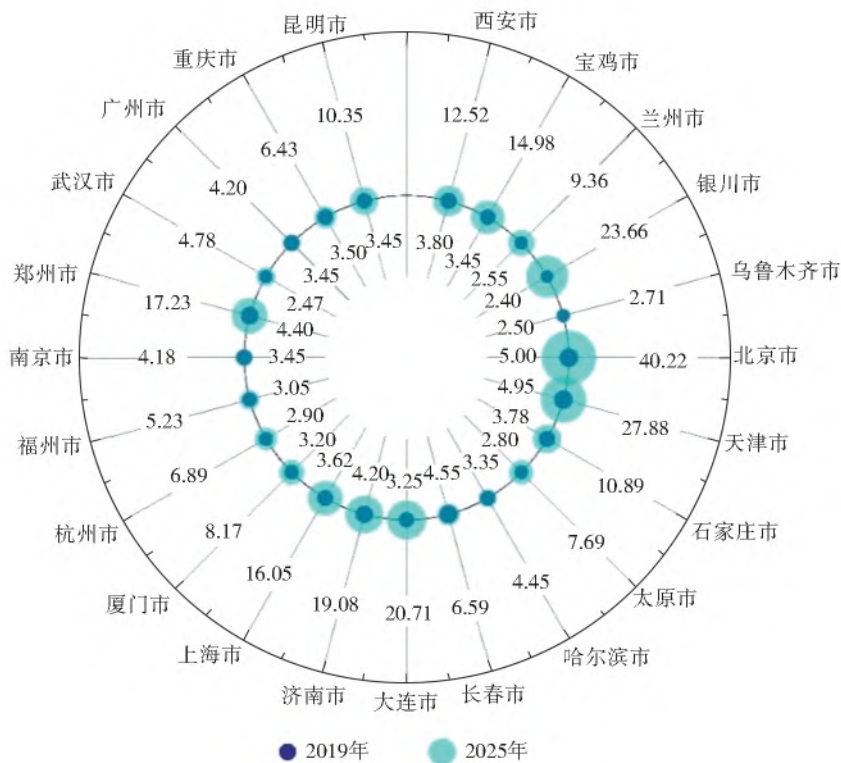


图 4 维持现状定额水平的预期水价分析

Fig. 4 Analysis of the expected water price to maintain the current quota level

4 结论与展望

4.1 结论

在我国水资源供需矛盾突出、城市生活用水快速增长的背景下,针对城市居民家庭生活用水定额偏高、无法有效指导阶梯水价制度落实的现实问题,本文通过定性分析与定量计算相结合的方式探寻影响生活用水定额的强相关因素,并以 2017 年全国地级市数据为样本,充分考量区域气候条件及经济发展水平,构建全国及七大分区的城市居民家庭生活需水函数模型。模型重点在于量化用水定额与强相关影响因素间的作用规律,进而为通过模型合理预

测用水定额提供依据。

全国及七大分区模型均通过有效性检验,拟合值与实际值误差在 10% 以内的城市占 61.5%,模型拟合效果较好。通过拟合值与实际值的比对分析城市的节水潜力,为节水型社会建设深入推进提供技术支撑和考核依据。通过对价格、收入和温度需求弹性的研究,预估水价改革的效果,虽然区域间价格弹性存在差异,但仍是抑制用水需求的有效手段。

针对居民生活阶梯水价管理中阶梯定额和阶梯水价制定需求,分别分析预期水费支出占比下的用水定额和预期定额标准下的用水水价,两种情景下的模拟结果显示,2025 年北方缺水城市居民生活用

水定额基本维持现状水平或略有下降,但南方丰水城市居民生活用水定额呈显著下降趋势,南方城市价格增长对居民生活用水定额的抑制作用更为明显,这在一定程度上说明,北方城市居民生活用水中刚性用水占比较高,南方城市享受型和奢侈型用水占比较大。

4.2 展望

本研究还存在几个问题值得进一步讨论。鉴于基础数据限制,模型选择了城市居民可支配收入、水价、温度 3 个关键指标进行居民生活用水定额分析,但用水行为和节水意识也是影响居民生活用水的重要因素,有必要在统计数据支撑的基础上进一步探讨。此外,生活用水定额与影响因素间可能存在非线性的复杂关系,需要进一步探寻既反映内部联系又反映输入输出关系的综合模型。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报(2000—2019) [M]. 北京:中国水利水电出版社,2000—2019. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China water resources bulletin (2000-2019) [M]. Beijing: China Water Power Press,2000-2019. (in Chinese))
- [2] 陈晓光,徐晋涛,季永杰. 华北地区城市居民用水需求影响因素分析[J]. 自然资源学报,2007(2):275-280. (CHEN X G, XU J T, JI Y J. Residential water demand analysis in north China [J]. Journal of Natural Resources, 2007(2): 275-280. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1000-3037. 2007. 02. 015.
- [3] JASPER M D, RAYMOND J G, HENRI L F, et al. Price and income elasticities of residential water demand: A meta-analysis[J]. Land Economics, 2003, 79(2): 292-308. DOI: 10. 2307/314 6872.
- [4] WORTHINGTON A C, HOFFMAN M. A state of the art review of residential water demand modelling[D]. Wollongong, Australia, University of Wollongong, 2006.
- [5] 国家发展和改革委员会,住房和城乡建设部. 关于加快建立完善城镇居民用水阶梯价格制度的指导意见[EB/OL]. (20140318)[20151123]. (National Development and Reform Commission, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the P. R. of China. Guiding opinions on speeding up the establishment and improvement of a tiered price system for urban residents[EB/OL]. (20140318)[20151123]. (in Chinese))
- [6] 唐要家,李增喜. 居民递增型阶梯水价政策有效性研究[J]. 产经评论,2015,6(1): 103-113. (TANG Y J, LI Z X. A study on the effectiveness of the increasing block water tariffs [J]. Industrial Economic Review, 2015, 6(1): 103-113. (in Chinese)) DOI: 10. 14007/j. cnki. cj-pl. 2015. 01. 010.
- [7] 国家统计局. 中国城市统计年鉴 2017[M]. 北京:中国统计出版社,2018. (National Bureau of Statistics. China city statistical yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018. (in Chinese))
- [8] 井书光. 打基础划红线加快构建节水标准定额体系[J]. 中国水利, 2020(7): 11-13. (JING S G. Laying a foundation, drawing a red line, and speeding up the establishment of a water-saving standard quota system [J]. China Water Resources, 2020(7): 11-13. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; SLZG. 0. 2020-07-011.
- [9] 付健,李培蕾,刘洪先. 关于稳步推行城市居民生活用水阶梯式水价制度的思考[J]. 水利发展研究, 2012, 12(3): 6-10. (FU J, LI P L, LIU H X. Thoughts on the steady implementation of a tiered water price system for urban residents [J]. Water Resources Development Research, 2012, 12(3): 6-10. (in Chinese)) DOI: 10. 13928/j. cnki. wrdr. 2012. 03. 008.
- [10] 蒋云钟,冶运涛,赵红莉,等. 水利大数据研究现状与展望[J]. 水力发电学报, 2020, 39(10): 1-32. (JIANG Y Z, YE Y T, ZHAO H L, et al. Research status and prospects on water conservancy big data [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2020, 39(10): 1-32. (in Chinese)) DOI: 10. 11660/slf dx. 20201001.
- [11] 沈大军,杨小柳,王浩,等. 我国城镇居民家庭生活需水函数的推求及分析[J]. 水利学报, 1999(12): 6-10. (SHEN D J, YANG X L, WANG H, et al. Analysis of urban residential water demand functions in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999(12): 6-10. (in Chinese)) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 1999. 12. 002.
- [12] 周景博. 中国城市居民生活用水影响因素分析[J]. 统计与决策, 2005(11): 75-76. (ZHOU J B. Analysis of influencing factors of urban residents' domestic water [J]. Statistics and Decision, 2005(11): 75-76. (in Chinese)) DOI: 10. 13546/j. cnki. tjyc. 2005. 11. 040.
- [13] 金巍,章恒全,王惠,等. 城镇化、水资源消耗的动态演进与门槛效应[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2018, 20(2): 42-50. (JIN W, ZHANG H Q, WANG H, et al. Dynamic evolution of urbanization and water consumption and their threshold effect [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2018, 20(2): 42-50. (in Chinese)) DOI: 10. 15918/j. jbitss1009-3370. 2018. 3813.
- [14] 赵海龙,张丹丹,黄松,等. 基于皮尔逊相关系数的海南省地闪密度与雷击故障关系分析[J]. 高压电器, 2019, 55(8): 186-192. (ZHAO H L, ZHANG D D,

- HUANG S, et al. Analysis on the relation between cloud-to-ground lightning density and lightning trip rate in Hainan Province based on Pearson correlation coefficient [J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55 (8): 186-192. (in Chinese) DOI: 10. 13296/j. 1001-1609. hva. 2019. 08. 026.
- [15] 毛秀珍, 章璐杰, 毛天翔, 等. 基于 Pearson 相关分析和回归分析方法的基金影响力研究[J]. 浙江理工大学学报(社会科学版), 2017, 38(4): 306-311. (MAO X Z, ZHANG L J, MAO T X, et al. Study of fund influence based on Pearson correlation analysis and regression analysis method [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Social Sciences Edition), 2017, 38 (4): 306-311. (in Chinese) DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-3851. 2017. 08. 004.
- [16] 赵卫华. 居民家庭用水量影响因素的实证分析: 基于北京市居民用水行为的调查数据考察[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 137-142. (ZHAO W H. Empirical study on the water consumption behavior and its influences on the domestic water use; Based on the data collected in Beijing [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(4): 137-142. (in Chinese) DOI: 10. 13448/j. cnki. jalre. 2015. 130.
- [17] 左其亭. 人均生活用水量预测的区间 S 型模型[J]. 水利学报, 2008(3): 351-354. (ZUO Q T. Interval S-type model for forecasting per capita domestic water consumption [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008 (3): 351-354. (in Chinese) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2008. 03. 014.
- [18] ZHANG H H, BOWN D F. Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China [J]. Habitat International, 2005, 29(3), 469-491. DOI: 10. 1016/j. habitatint. 2004. 04. 002.
- [19] FERNANDO A, RAMON B, INMACULADA V. Price impact on urban residential water demand; A dynamic panel data approach [J]. Water Resources Research, 2004, 40, w11402. DOI: 10. 1029/2004WR003092.
- [20] 郑新业, 李芳华, 李夕璐, 等. 水价提升是有效的政策工具吗? [J]. 管理世界, 2012 (4): 47-59, 69. (ZHENG X Y, LI F H, LI X L, et al. Is the increase in the water price an effective policy instrument? [J]. Management World, 2012 (4): 47-59, 69. (in Chinese) DOI: 10. 19744/j. cnki. 11-1235/f. 2012. 04. 005.
- [21] 陆志波, 陆雍森, 王娟. ARIMA 模型在人均生活用水量预测中的应用 [J]. 给水排水, 2005 (10): 97-101. (LU Z B, LU Y S, WANG J. Application of ARIMA model in the prediction of per capita domestic water consumption [J]. Water & Wastewater Engineering, 2005 (10): 97-101. (in Chinese) DOI: 10. 13789/j. cnki. wwe1964. 2005. 10. 027.
- [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. (LIU J H, WANG J H, LI H H. A mathematic model for rational domestic water demand considering climate and economic development factors [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44 (10): 1158-1164. (in Chinese) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2013. 10. 017.
- [23] 张志果, 邵益生, 徐宗学. 基于恩格尔系数与霍夫曼系数的城市需水量预测 [J]. 水利学报, 2010, 41(11): 1304-1309. (ZHANG Z G, SHAO Y S, XU Z X. Prediction of urban water demand based on Engel coefficient and Hoffman coefficient [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41 (11): 1304-1309. (in Chinese) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2010. 11. 011.
- [24] 沈大军, 陈雯, 罗健萍. 城镇居民生活用水的计量经济学分析与应用实例 [J]. 水利学报, 2006(5): 593-597. (SHEN D J, CHEN W, LUO J P. Econometric analysis and application on urban household water use [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006(5): 593-597. (in Chinese) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2006. 05. 013.
- [25] 徐大海, 朱蓉. 人对温度、湿度、风速的感觉与着衣指数的分析研究 [J]. 应用气象学报, 2000(4): 430-439. (XU D H, ZHU R. The sensation of human temperature & humidity & wind speed and the clothing [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2000(4): 430-439. (in Chinese) DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-7313. 2000. 04. 006.
- [26] 蓝楠. 日本饮用水源保护法律调控的经验及启示 [J]. 环境保护, 2007(2): 72-74. (LAN N. Experience and enlightenment of legal regulation and control of drinking water source protection in Japan [J]. Environmental Protection, 2007(2): 72-74. (in Chinese) DOI: 10. 14026/j. cnki. 0253-9705. 2007. 02. 024.

Construction and application of function model for urban residents' water demand

QIN Changhai^{1,2}, QU Junlin¹, SUN Huayue¹, LI Haihong^{1,2}, JIANG Shan¹

(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: In the context of the prominent contradiction between supply and demand in China and the rapid growth of urban domestic water, reasonable control of the excessive growth of urban domestic water is the key to regulating economic and social

water use and promoting sustainable social development. The tiered water pricing system can alleviate the trend of water stress through price leverage. However, the current domestic water quota standards for urban residents are generally too high, which can not effectively guide the implementation of the tiered water pricing system. The current water quota is determined concerning the relevant national and local quota standards. Although it has wide applicability, it is not typical and representative. How to determine a reasonable quota standard based on fully complying with regional differences is worthy of in-depth consideration.

Through the combination of qualitative analysis and quantitative calculation, the strong correlation factors are explored that affect the domestic water quota. Pearson correlation analysis can explore the correlation between indicators from cross-sectional data. In addition, qualitative analysis can help for in-depth study of the law of urban domestic water use. Based on the full consideration of regional climatic conditions and economic development level, the model selected factors such as water price, per capita disposable income, and temperature as explanatory variables for urban household water quotas. The 2017 data of 293 prefecture-level cities across the country are used as a sample to construct a water demand function model. To better seek regional common features, the seven geographical regions of China were modeled separately. During data processing, the obvious centrifugal data and marginal data are excluded, and the number of valid samples accounts for about 98% of the total data volume. Then, a significant test on the constructed water demand function model is conducted to predict a reasonable water quota.

The results show that the fit of the national and regional models is good, the coefficient of determination R^2 of the model is above 0.5, and the corresponding significance level is much less than 0.05. The model is effective through the significance test. The model-fitting results are good. Cities with a model fitting deviation rate of less than 10% account for 61.5% of the effective samples, and cities with a deviation rate of less than 20% account for 86.5%. From the perspective of the zoning fitting effect, the deviation rate of north China and southwest region is mainly controlled below 10%, and the deviation rate of some cities in south China and east China region exceeds 20%. Among the three explanatory variables of the model, although the income variable conforms to a certain trend of change, with the increase of instability and uncertainty in the current international environment, the difficulty of income forecasting increases. The temperature variable has obvious regional characteristics. Although the fluctuation is small in a short period, as the risk of climate change intensifies. The temperature prediction method should be improved accordingly. Water price variables are affected by unpredictable policy factors, with the highest degree of uncertainty. The prediction model constructed according to geographical divisions reflects the common characteristics of the region. It is foreseeable that some cities have a large deviation rate when using the model to predict, but the model is still effective from the perspective of the region as a whole. In addition, it is found that the cities with high current per capita domestic water quotas are mostly located in the high water areas of southern China and the middle of China or near the water source areas. This part of the city has great water-saving potential. Under the guidance of water-saving awareness and policy pressure, the water-saving potential can be gradually released as a water-saving effect. By analyzing the elasticity coefficient of the model, it is found that in the era of rapid economic development in the country, although water prices and income are increasing at the same time, the impact of income on water demand is much greater than that of prices. Income growth will have a significant effect on living standards and water demand, but the price increase policy assisted by effective policies is still an important means to restrict water use. Finally, by setting the water consumption quota under the expected water fee expenditure and the water price under the expected quota standard, it can be found that, in 2025, the domestic water quota for residents in cities lacking water in the north will maintain the current level or slightly decline. However, the domestic water quota of cities with abundant water in the south has shown a significant downward trend, which means that the increase in prices in southern cities has a more obvious inhibitory effect on the domestic water quota of residents.

To a certain extent, this shows that the rigid water consumption of residents in northern cities accounts for a relatively high proportion, while the enjoyment and luxury water consumption in southern cities accounts for a relatively large proportion.

Key words: tiered water pricing; domestic water; domestic water saving; quota; elastic coefficient