

文章编号:1672-3961(2026)01-0189-08

DOI:10.6040/j.issn.1672-3961.0.2024.239

# 南水北调东线山东段13市居民层次化用水研究

张祎珂<sup>1</sup>, 代晨洋<sup>1</sup>, 王好芳<sup>1\*</sup>, 王明栋<sup>2</sup>, 李典基<sup>3</sup>

(1.山东大学土建与水利学院, 山东 济南 250061; 2.中电建(山东)勘测设计有限公司, 山东 济南 250098; 3.南水北调东线山东干线有限责任公司, 山东 济南 250109)

**摘要:**针对南水北调东线山东段13市水资源短缺、水价未能有效指导居民层次化节水的问题,基于这13市居民生活用水的调查数据,采用概率密度区间统计法,建立居民生活分层用水评价模型测算刚性、弹性用水量,揭示水价变动对居民刚性、弹性用水量的影响。结果表明:山东省弹性用水量占比为29.92%,在满足居民生活刚性用水前提下,节水重点可放在压缩弹性用水上;山东省经济发达城市弹性用水占比高于经济落后城市,说明经济发展程度越高的城市,弹性用水占比越高;水价变化对弹性用水量影响较为显著,表明水价在一定程度上能起到调控居民生活层次化用水量的作用。研究成果可为居民分层用水预测及水价改革政策实施提供数据支持。

**关键词:**居民生活用水;刚性、弹性用水;层次评价;水价;山东省

**中图分类号:**TV213.4

**文献标志码:**A

**引用格式:**张祎珂,代晨洋,王好芳,等.南水北调东线山东段13市居民层次化用水研究[J].山东大学学报(工学版),2026,56(1):189-196.

ZHANG Yike, DAI Chenyang, WANG Haofang, et al. Research on hierarchical water use of residents in 13 cities of the eastern route of the South-to-North Water Diversion Project in Shandong Province[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2026, 56(1):189-196.

## Research on hierarchical water use of residents in 13 cities of the eastern route of the South-to-North Water Diversion Project in Shandong Province

ZHANG Yike<sup>1</sup>, DAI Chenyang<sup>1</sup>, WANG Haofang<sup>1\*</sup>, WANG Mingdong<sup>2</sup>, LI Dianji<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, Shandong, China; 2. Power China Shandong Engineering Corporation Limited, Jinan 250098, Shandong, China; 3. South-to-North Water Diversion Eastern Route Shandong Mainline Corporation, Jinan 250109, Shandong, China)

**Abstract:** In response to the water shortage in 13 cities along the eastern route of the South-to-North Water Diversion Project in Shandong Province and the issue that water prices have failed to effectively guide hierarchical water conservation among residents, based on the survey data of domestic water consumption of residents in these 13 cities, the probability density interval statistical method was adopted to establish a hierarchical domestic water consumption evaluation model to calculate the rigid and elastic water consumption, and to reveal the influence mechanism of water price changes on the rigid and elastic water consumption of residents. The results showed that the proportion of elastic water consumption in Shandong Province was 29.92%. Under the premise of meeting the rigid water consumption of residents, the focus of water conservation can be placed on reducing the elastic water consumption. The proportion of elastic water consumption in economically developed cities in Shandong Province was higher than that in economically backward cities, indicating that the higher the degree of economic development of a city, the higher the proportion of elastic water consumption. Changes in water prices had a significant impact on elastic water consumption, suggesting that water prices could play a certain role in regulating the hierarchical water consumption of residents to a certain extent. The research results could provide data support for the prediction of hierarchical water consumption of residents and the implementation of water price reform policies.

**Keywords:** domestic water for residents; rigid and flexible water; hierarchical evaluation; water price; Shandong Province

收稿日期:2024-09-13

基金项目:国家重点研发计划重点专项资助项目(2022YFC3204601-02)

第一作者简介:张祎珂(2001—),女,河南新乡人,硕士研究生,主要研究方向为水资源规划与管理。E-mail:202335143@mail.sdu.edu.cn

\*通信作者简介:王好芳(1970—),女,山东新泰人,副教授,硕士生导师,博士,主要研究方向为水资源规划与管理。

E-mail:whf29@sdu.edu.cn

## 0 引言

随着城市建设快速发展,水资源供需矛盾愈发突出,缺水已成为影响居民生活质量和制约经济快速增长的关键因素<sup>[1]</sup>。调整水价、改变居民生活刚性用水占比等水资源供需管理研究,成为解决这一矛盾的重要途径。受水资源短缺、供水成本增加等因素影响,水资源供需管理重点由供给侧转向需求侧管理,水价成为研究热点。居民层次化用水研究是需求侧管理的重要手段,其成效与居民对水价的敏感程度密切相关。因此,测算居民生活刚、弹性用水以发挥水价杠杆作用尤为重要。

马斯洛需求层次理论将居民需求分为生理、安全、社交、尊重和自我实现5个需求层次。马斯洛认为这些需求呈逐层递进的<sup>[2]</sup>。文献<sup>[3]</sup>将马斯洛需求层次理论引入水资源开发利用,将水利全过程划分为工程水利、资源水利及人水和谐水利,分别对应不同层次的水利。文献<sup>[4]</sup>将用水需求界定为基本、发展和和谐需求。文献<sup>[5]</sup>建立家庭用水需求层次和等级理论,提出不同家庭用水水平的水量计算方法。文献<sup>[6]</sup>分析人类在生活、生产和生态建设过程中水资源需求的机理和特征,认为不同层次的需水特征、驱动机制和演化规律不同。文献<sup>[7]</sup>基于居民层次化用水研究理论提出刚性、弹性和奢侈用水的概念,认为在满足居民生活刚性用水的前提下,应尽量压缩非必要消耗的弹性和奢侈用水。目前,国内针对居民生活刚、弹性用水研究尚处于起步阶段,以往研究多集中于定性分析和总结归纳,缺乏定量分析,且未充分探讨水价对居民层次化用水的影响。因此,本文采用定量法分析居民生活刚、弹性用水,并进一步探究水价变动对其的影响趋势,为水价政策制定提供科学依据。

山东省水资源严重短缺,人均水资源占有量仅为 $298\text{ m}^3$ 。南水北调东线工程是缓解山东省水资源短缺的战略性工程,形成东西、南北两条输水线路,供水范围涉及济南、青岛、烟台、威海、潍坊、淄博、东营、滨州、聊城、德州、泰安、济宁和菏泽13市。然而,由于各受水区涉及多水源,且各水源水价差较大,特别是南水北调东线供水水价较高,导致水量分配方案落实难、工程达效难等问题。因此,本研究选取南水北调东线山东段13市为研究区,基于居民生活用水问卷调查数据,构建居民家庭生活分层用水评价模型,探究水价变动对居民层次化用

水量的影响机制,为水价政策制定和水资源管理机制改革提供更为有效的参考。

## 1 居民家庭生活用水层次评价模型

### 1.1 居民家庭生活用水调查问卷统计分析

调查问卷包括用水结构和家庭基本情况调查。家庭基本情况调查包括家庭常住人口数、家庭成员组成、家庭月收入、家庭居住面积和家庭成员受教育程度。用水结构调查包括用水设施及方式(洗碗方式、洗衣方式、马桶类型等)、居民用水行为(饮用、洗澡、烹饪、拖地、洗澡、洗衣、冲厕以及弹性用水行为的频次及用水量等)、水价变化影响(水价上调或下调对用水行为频次和用水量的影响)。调查以家庭为单位,通过问卷星线上及线下方式开展,共收集有效问卷3 822份。问卷发放地区集中于南水北调东线山东段13市,依据各地市人口分布情况设定问卷发放数量,以减少调查人员主观因素对数据的影响。问卷回收率为95%,有效率超87%,可作为有效研究样本。

基于上述13市居民生活用水的调查数据,统计得出不同用水行为占比情况,如表1所示。由表1可知,山东省居民用水行为占比最高的为洗浴用水(23.60%),其次为洗衣用水(21.63%),拖地用水占比最低(6.28%)。因此,居民生活节水工作重点方向应在压缩洗浴与洗衣用水上。

表1 居民家庭生活各用水行为比例  
Table 1 The proportion of water consumption behavior in household life 单位:%

用水比例						
饮用	洗漱	烹饪	洗浴	洗衣	拖地	冲厕
10.47	12.91	9.88	23.60	21.63	6.28	15.23

### 1.2 居民家庭生活层次化用水概念

基于居民生理需求和发展动机,居民家庭生活用水分为刚性用水和弹性用水两类<sup>[8]</sup>。刚性用水是满足人类生存发展最基本需求的用水,不受水价和市场因素影响,在水资源优化配置时必须优先保障。弹性用水则是居民在满足基本生理需求后,为追求优质生活质量而额外消耗的用水量。它包含两方面:一是可通过提高节水器具使用率、污水回用率等措施减少的用水;二是因居民用水行为不规范,在生产生活中所消耗的用水,也可认为是弹性用水<sup>[9]</sup>。由于节水措施及经济杠杆调节,弹性用水在水资源优化管理中可进一步压缩。

### 1.3 居民家庭生活用水刚性、弹性区间界定

参考文献<sup>[10]</sup>,并结合调查问卷中居民用水行

为习惯,对南水北调东线山东段 13 市居民家庭生活用水进行刚性、弹性的界定,如表 2 所示。居民生活用水层次概率区间划分的主要依据有用水频次、居民用水习惯、用水器具的耗水量等<sup>[11]</sup>。(1) 饮用:饮用水是用于满足人类基本生理需求,全部划分为刚性用水;(2) 洗漱:采用每日洗漱频次作为界定层次用水的依据;(3) 烹饪:采用每日烹饪次数作为界定层次用水的依据;(4) 洗浴:采用每周洗浴频次作为界定层次用水的依据;(5) 洗衣:基于日常用水习惯,手洗衣物比机洗更节水,选取完全手洗和手洗为主、机洗为主和完全机洗作为界定层次用水的依据;(6) 拖地:采用每周拖地频次作为界定层次用水的依据;(7) 冲厕:根据马桶的运行原理,蹲式马桶节水效果最高,其次是坐式节水马桶,坐式一般马桶节水效果最低,因此选取马桶类型作为界定层次用水的依据。

表 2 居民家庭生活用水刚性、弹性区间界定  
Table 2 Definition table of probability interval of residential water consumption level

用水行为	刚性区间	弹性区间
饮用	全部为刚性用水	无
洗漱	[1,2]	[3,4]
烹饪	[1,2]	≥3
洗浴	[1,4]	>4
洗衣	完全手洗和手洗为主	机洗为主和完全机洗
拖地	[1,2]	>2
冲厕	蹲式马桶	坐式节水马桶和坐式一般马桶

1.4 模型构建

根据问卷中居民家庭生活用水情况,采用概率密度法区间统计法界定刚性、弹性用水区间。其中,刚性用水分配比例<sup>[12]</sup>

$$s = \frac{\int_{Q_a}^{Q_m} f(Q) d(Q)}{\int_{Q_a}^{Q_b} f(Q) d(Q)} \times 100\%, \quad (1)$$

弹性用水分配比例<sup>[12]</sup>

$$e = \frac{\int_{Q_m}^{Q_b} f(Q) d(Q)}{\int_{Q_a}^{Q_b} f(Q) d(Q)} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:  $f(Q)$  为居民生活用水的概率密度分布函数;  $Q_a$  和  $Q_b$  分别为用水量最小值和最大值,  $Q_m$  为层次化用水量分界点,  $[Q_a, Q_m]$  即为刚性用水区间,  $[Q_m, Q_b]$  即为弹性用水区间<sup>[13]</sup>。

某一用水行为的用水总量<sup>[7]</sup>

$$w_i = W_{\text{总}} \cdot a_i, \quad (3)$$

式中,  $i$  为居民生活用水行为,  $W_{\text{总}}$  为居民家庭生活用水总量,  $a_i$  为某一用水行为  $i$  所占比例。

某一用水行为  $i$  的刚性用水量<sup>[7]</sup>

$$A_i = W_{\text{总}} \cdot \alpha_i \frac{X_i + Q_{mi} e_i}{D_i}, \quad (4)$$

某一用水行为  $i$  的弹性用水量<sup>[7]</sup>

$$B_i = W_{\text{总}} \cdot \alpha_i \frac{Y_i - Q_{mi} e_i}{D_i}, \quad (5)$$

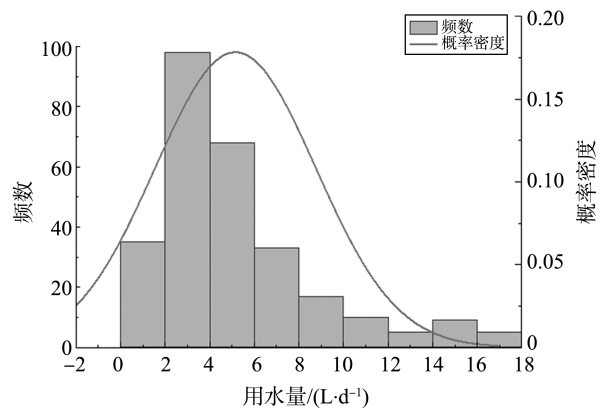
式中:  $X_i$ 、 $Y_i$  分别为统计数据落入刚、弹性区间的数值之和;  $Q_{mi}$  为某一用水行为  $i$  的层次化用水量的分界点;  $e_i$  为统计数据落入弹性区间的数量;  $D_i$  为第  $i$  个用水行为的样本值之和,  $D_i = X_i + Y_i$ 。

2 居民家庭生活用水层次评价分析

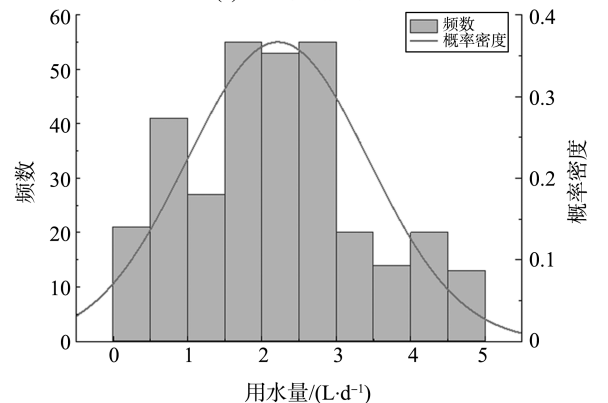
2.1 山东省居民家庭生活用水层次评价

2.1.1 居民家庭生活用水概率区间统计分析

基于对饮用、洗澡、烹饪、拖地、洗澡、洗衣、冲厕 7 种不同用水行为开展问卷调查所统计的样本值与样本量,绘制不同用水行为的概率密度曲线图,如图 1 所示。



(a) 居民饮用用水



(b) 居民洗漱用水

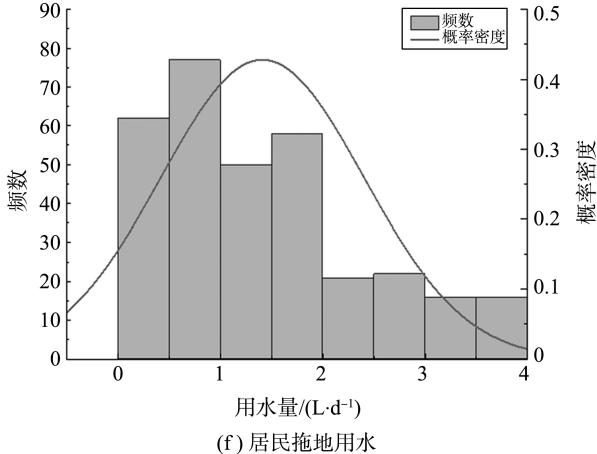
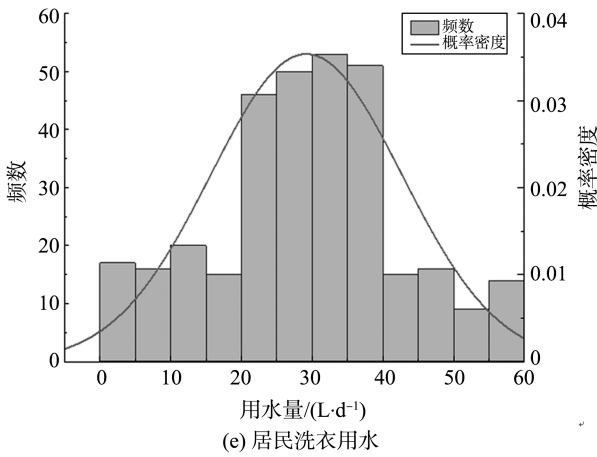
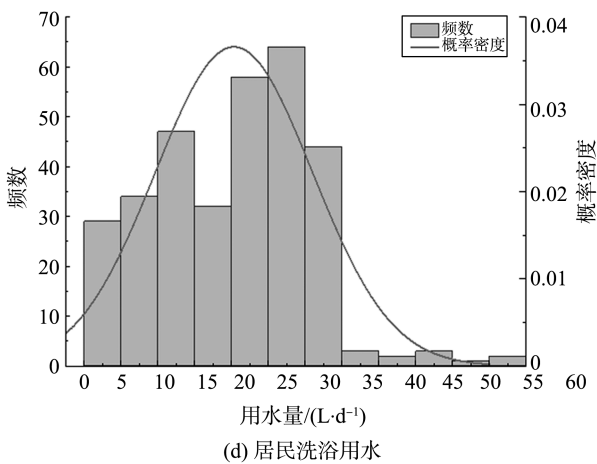
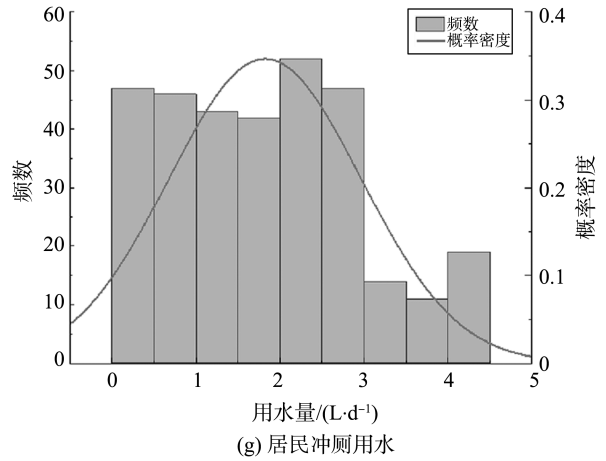
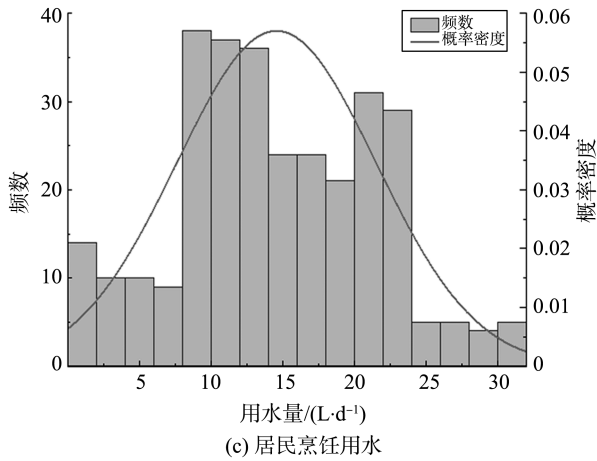


图1 居民用水行为概率密度曲线图  
Fig.1 Probability density curve of residential water use behavior

根据居民用水行为概率密度曲线图统计得居民生活用水量最大值  $Q_b$  和最小值  $Q_a$ , 由表2确定不同用水行为用水刚、弹性用水量分界点  $Q_m$ , 通过式(1)、(2)可得山东省居民家庭生活用水层次评价参数, 如表3所示。由表3可知, 洗衣、冲厕用水行为样本值落在弹性区间较多, 表明洗衣及冲厕用水中大部分属于弹性需求。随着经济快速发展, 未来各城市弹性用水占比将大幅提高, 居民洗衣和冲厕用水行为存在较大节水潜力。

表3 居民家庭生活用水层次评价参数  
Table 3 Household water level evaluation parameters  
单位: %

用水行为	$s$	$e$
饮用	100.00	0
洗漱	82.30	17.70
烹饪	41.62	58.38
洗浴	37.27	62.73
洗衣	21.12	78.88
拖地	43.79	56.21
冲厕	14.15	85.85

2.1.2 居民家庭生活用水刚性、弹性用水量

2022年, 南水北调东线山东段13市的居民家庭生活用水总量为9.56亿  $m^3$ 。基于上述用水层次模型, 分别计算居民家庭生活刚性、弹性用水量及不同层次用水行为占比, 如表4所示。由表4可知, 山东省的弹性用水量占比共为29.92%, 表明调查地区居民生活弹性用水具有一定调控空间。在满足刚性用水消耗充足前提下, 可进一步压缩弹性用水, 杜绝弹性用水浪费。

表 4 山东省居民家庭生活用水刚性、弹性用水量  
 Table 4 Rigid and elastic consumption of household water in Shandong Province

用水行为	刚性用水量/ 亿 m <sup>3</sup>	弹性用水量/ 亿 m <sup>3</sup>
饮用	1.00	0.00
洗漱	1.19	0.05
烹饪	0.60	0.34
洗浴	1.77	0.48
洗衣	1.26	0.81
拖地	0.46	0.14
冲厕	0.41	1.04
总计	6.70	2.86
占比/%	70.08	29.92

### 2.2 山东省 13 市居民家庭生活用水的层次评价

为深入分析南水北调东线山东段 13 市居民生活刚、弹性用水情况,根据 13 市居民用水行为概率密度曲线图并采用式(1)、(2)计算方法,进一步测算山东段 13 市居民生活用水层次评价参数和层次化生活用水量,得到 13 市层次化用水占比分布图如图 2 所示。

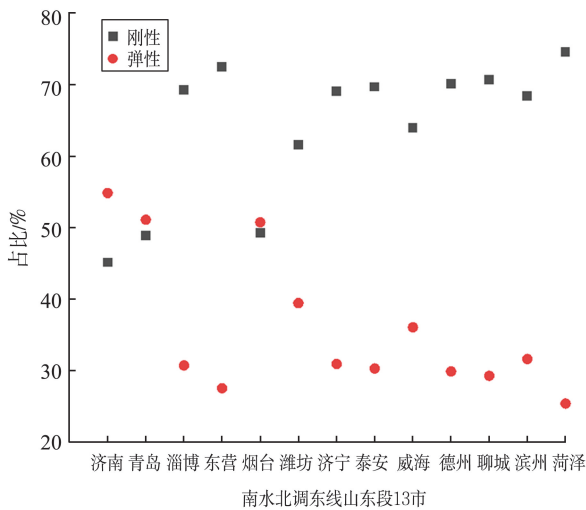


图 2 13 市生活用水层次化用水占比分布图  
 Fig.2 Distribution map of water consumption in 13 prefectures and cities

由图 2 可知,济南市弹性用水占比最高,达 54.83%,其次为青岛市和烟台市,分别达 51.12%和 50.75%,其他城市弹性用水占比相对较低,介于 20%~40%。从整体上看,经济发展水平越高的城市,弹性用水占比越高,这是因为经济发展往往伴随居民生活质量提升,居民家庭用水总量增加,弹性用水占比随之增加。

### 2.3 水价变动对刚性、弹性用水影响分析

调查问卷中设置水价不同幅度的上调(10%~20%、30%~40%)和下调(10%~20%、30%~40%)。

分析问卷结果发现:当水价下调 10%~20% 时,约 72.33% 的居民用水习惯保持不变;当水价下调 30%~40% 时,约 33.54% 的居民洗衣、洗澡弹性用水频次改变或增加;当水价上调 10%~20% 时,约有 56.73% 的居民用水习惯保持不变;当水价上调 30%~40% 时,约 51.77% 的居民弹性用水频次减少。结果表明,水价小幅调整对居民用水习惯影响较小,大幅度调整时,居民用水行为发生明显变化。因此,本文重点分析水价上调和下调 30%~40% 两种情况下居民的用水行为,绘制 13 市居民用水行为概率密度分布图,通过概率密度区间统计法,算出刚性、弹性区间的样本值和样本量,得出南水北调山东段 13 市刚性、弹性用水占比,结果如图 3 和图 4 所示。

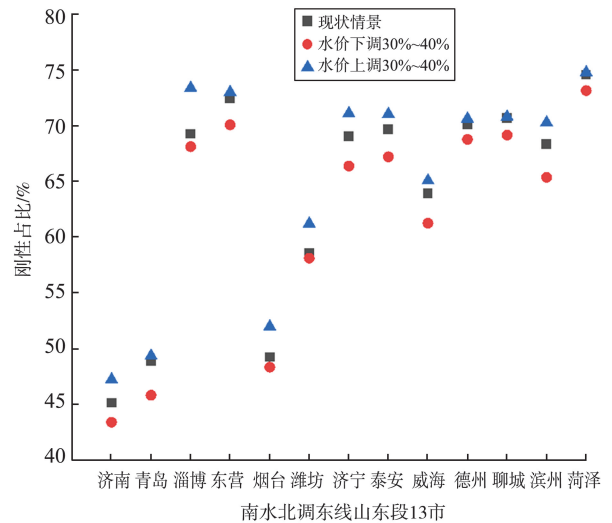


图 3 不同情境下居民家庭生活用水刚性用水占比  
 Fig.3 Proportion of inelastic water consumption for domestic use in households under different scenarios

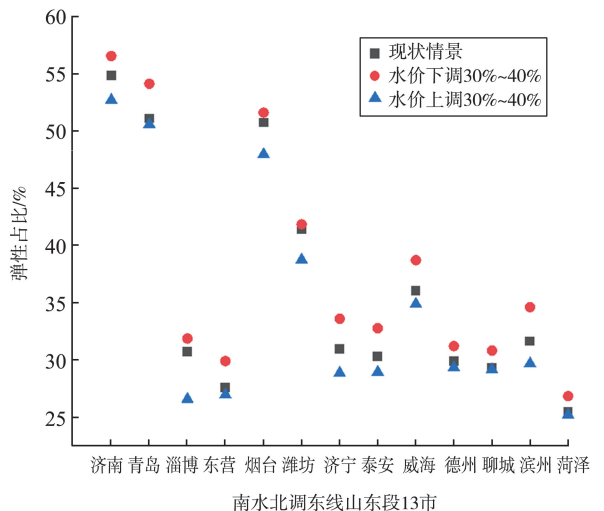


图 4 不同情境下居民家庭生活用水弹性用水占比  
 Fig.4 Proportion of elastic water consumption in household domestic water use under different scenarios

由图3和图4可以看出,水价变动对各城市分层用水影响趋势大致相同。随着水价下调,各地市刚性用水占比与现状情景相比呈下降趋势,弹性用水占比呈上升趋势,反之亦然。这是因为:水价下调后,人们节水意识降低,除饮用水等刚性用水频次基本不变,洗衣、洗浴和冲厕用水频次明显增加,这导致概率密度曲线图中弹性区间的样本量和样本值增加,算出的弹性用水量也随之增长;水价上涨导致居民节水意识提升,洗衣、拖地用水频次明显减少,弹性用水量被压缩。

综上所述,弹性用水对水价变动较为敏感。这表明水价在一定程度上起到调控居民层次化用水量作用,即水价的提高能有效抑制人均弹性用水量增长。因此,在城市水资源精细化管理中,应继续使用水价作为居民生活层次化用水调控手段。

### 3 讨论

研究表明<sup>[13-21]</sup>,节水水平、经济发展程度和水价变动等对居民家庭生活刚、弹性用水量具有显著影响。在居民层次化用水中,洗浴、冲厕等用水行为的弹性用水所占比重较高,可通过提高节水器具使用率、优化居民用水习惯等措施减少弹性用水的消耗。文献[22]认为应将洗澡、烹饪、冲厕、洗衣四类用水作为节水重点,节水器具使用率对提升弹性用水占比起反向约束作用结论类似。文献[23]通过横向对比河北省11市层次化用水量,得出河北省经济欠发达的北部城市人均刚性用水量较大,中东部发达城市的弹性和奢侈用水量较低,与本研究中经济发展程度越高的城市,刚性用水占比越低,弹性用水占比越高的结论一致。文献[24]以国内8座典型城市为例,基于脉冲响应函数和方差分解建立VAR模型,探究水价与用户用水行为和用水需求的互馈关系。结果表明高水价对用水量起到反向抑制作用,水价较低无法体现水资源的稀缺状况,难以高效调控用户用水行为的变化;文献[25]以西安市为研究对象,通过供求关系定价模型测算水价与用水量的相关性和弹性系数,得出提升水价对于压缩居民生活非必要用水具有重要指导意义,与本文结论类似。随着用水层次的提升,水价对刚性、弹性用水影响逐渐呈现增强趋势,因此,提高水价对层次化用水的约束效力是当前节水环节重点。

### 4 结论

在水资源供需矛盾日渐凸显、居民生活用水快速增长的背景下,针对山东省水资源逐步短缺、居民家庭弹性用水占比偏高等现实问题。本研究利用概率密度区间统计的研究方法,将居民家庭用水界定为刚性和弹性两个层级,细分为饮用、洗漱、烹饪、洗浴、洗衣、拖地和冲厕7类用水行为,并基于物理机制界定居民生活用水层次概率区间,测算不同水价变动情境下的南水北调东线山东段13市的刚、弹性用水占比情况。结果表明:

(1)山东省居民生活用水弹性占比为29.92%,存在较大的调控空间,在优先保证刚性用水充足前提下,建议将节水重点放在压缩弹性用水方面。从用水行为来看,冲厕、洗浴等用水行为的弹性用水占据比重较大,主要原因是受居民用水行为、节水技术水平等因素制约,是未来节水工作重点方向。

(2)在空间分布上,山东省经济较发达城市弹性用水占比高于经济欠发达城市,说明经济发展水平越高的城市,居民对生活品质追求越高,弹性用水所占比重相应越高。

(3)由于刚性用水不受市场和经济的影响,水价变化对刚性用水量影响较小。而弹性用水是居民为追求优质的生活质量所消耗的水资源,水价变化直接影响居民对于可控制用水部分即弹性用水的消耗和节约程度。因此,未来如何高效使用水价调控层次化用水是节水环节亟需解决的问题。

(4)本研究建立的基于概率密度区间的居民用水层次评价模型,通过水价杠杆作用将居民生活节水重点转移到弹性用水上,达到精准调控的目的,为需求侧管理研究提供科学可靠的参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 董丕业,郭艳芹,张巨磊. 浅谈总量控制在建设节水型社会中的作用[J]. 水利建设与管理, 2009, 29(12): 80.  
DONG Piye, GUO Yanqin, ZHANG Julei. On the role of total amount control in building a water-saving society [J]. Water Resources Development & Management, 2009, 29(12): 80.
- [2] 孔繁来. 需求层次理论的发展与应用[J]. 北京商学院

- 学报, 1999, 14(2): 37.
- KONG Fanlai. Development and application of hierarchy of needs theory [J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences), 1999, 14(2): 37.
- [3] 张雷, 邹进, 胡吉敏, 等. 马斯洛需求层次理论在水资源开发利用进程中的应用 [J]. 水电能源科学, 2011, 29(9): 28-29.
- ZHANG Lei, ZOU Jin, HU Jimin, et al. Application of maslow's hierarchy of needs theory to utilization of water resources [J]. Water Resources and Power, 2011, 29(9): 28-29.
- [4] 侯保灯, 高而坤, 吴永祥, 等. 水资源需求层次理论和初步实践 [J]. 水科学进展, 2014, 25(6): 901-902.
- HOU Baodeng, GAO Erkun, WU Yongxiang, et al. Water resources demand hierarchy theory and preliminary practice [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(6): 901-902.
- [5] PAN W X, HOU B D, YANG R X, et al. Conceptual framework and computational research of hierarchical residential household water demand [J]. Water, 2018, 10(6): 696.
- [6] HOU B D, YANG R X, WANG J H, et al. Conceptual framework of hierarchical water demand [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 344(1): 012074.
- [7] 赵勇, 王丽珍, 王浩, 等. 城镇居民生活刚性、弹性、奢侈用水层次评价方法与应用 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2020, 28(6): 1318-1319.
- ZHAO Yong, WANG Lizhen, WANG Hao, et al. Evaluation method and application of urban residential water use on the level of rigidity, flexibility and luxury [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2020, 28(6): 1318-1319.
- [8] 田文凯, 侯保灯, 陈海涛, 等. 居民生活需水精细化管理必要性分析与对策建议 [J]. 水电能源科学, 2018, 36(10): 51.
- TIAN Wenkai, HOU Baodeng, CHEN Haitao, et al. Necessity analysis and countermeasures of refined management of residents' living water demand [J]. Water Resources and Power, 2018, 36(10): 51.
- [9] 王小双. 黄河中游地区城市居民生活层次化需水预测 [D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2022: 25.
- WANG Xiaoshuang. Prediction of hierarchical water demand for urban residents in the middle reaches of the Yellow River [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2022: 25.
- [10] 陈梓田. 河北省城市居民层次化生活需水预测研究 [D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019: 32.
- CHEN Zitian. Research on Hierarchical water demand prediction of urban residents in Hebei Province [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2019: 32.
- [11] DOMENE E, SAURÍ D. Urbanisation and water consumption: influencing factors in the metropolitan region of Barcelona [J]. Urban Studies, 2006, 43(9): 1611-1613.
- [12] 师林蕊, 朱永楠, 李海红, 等. 北京居民用水调查及节水潜力 [J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(5): 853-854.
- SHI Linrui, ZHU Yongnan, LI Haihong, et al. Simulation of residential water consumption and analysis of water-saving potential in Beijing [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(5): 853-854.
- [13] 石红旺, 赵勇, 屈吉鸿, 等. 天津市城市居民用水行为调查及影响因素识别 [J]. 水电能源科学, 2015, 33(6): 145-146.
- SHI Hongwang, ZHAO Yong, QU Jihong, et al. Behavior survey and influencing factors recognition of urban residential water in Tianjin City [J]. Water Resources and Power, 2015, 33(6): 145-146.
- [14] 寇嘉玮, 刘永刚, 苟耀峰, 等. 陕西省黄河流域深度节水水平及潜力评估 [J]. 人民黄河, 2024, 46(6): 54-59.
- KOU Jiawei, LIU Yonggang, GOU Yaofeng, et al. Deep water-saving level and potential assessment of the Yellow River Basin in Shaanxi Province [J]. Yellow River, 2024, 46(6): 54-59.
- [15] 秦明慧, 刘秀丽. 海河流域产业用水量变化驱动因素分析 [J]. 资源科学, 2024, 46(3): 621-634.
- QIN Minghui, LIU Xiuli. Driving factors for changes in sectoral water consumption change in the Haihe River Basin [J]. Resources Science, 2024, 46(3): 621-634.
- [16] 张陈俊, 周雨雯. 黄河流域用水量与经济增长脱钩及驱动机制研究 [J]. 人民黄河, 2023, 45(7): 79-85.
- ZHANG Chenjun, ZHOU Yuwen. Research on the decoupling of water consumption and economic growth in the Yellow River Basin and its driving mechanism [J]. Yellow River, 2023, 45(7): 79-85.
- [17] 韩宝丽. 黄河流域水资源利用与产业结构协调发展及驱动因素研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2023: 26-27.
- HAN Baoli. Research on Coordinated development and Driving Factors of Water resources Utilization and Industrial Structure in Yellow River Basin [D]. Xi'an:

- Xi'an University of Technology, 2023: 26-27.
- [18] 李梦婷. 阶梯水价的梯度结构设置及对用水量影响的探讨[D]. 上海: 华东师范大学, 2022: 39-40.
- LI Mengting. Discussion on the gradient structure of ladder water price and its influence on water consumption [D]. Shanghai: East China Normal University, 2022: 39-40.
- [19] 王国泰. 耦合水价因素的水资源配置模型研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019: 57-60.
- WANG Guotai. Research on water resource allocation model coupled with water price factors[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2019: 57-60.
- [20] 黄鑫, 黄智峰, 张立尖, 等. 阶梯水价实施对居民用水量时间序列的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(增刊2): 103-106.
- HUANG Xin, HUANG Zhifeng, ZHANG Lijian, et al. Influence of ladder water price implementation on time series of residential water consumption [J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27 (Suppl. 2): 103-106.
- [21] 李翠梅, 张绍广, 郜阔, 等. 居民生活用水最低保障量研究[J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(3): 139-142.
- LI Cuimei, ZHANG Shaoguang, GAO Kuo, et al. Study of guaranteed minimum of domestic water consumption [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2014, 40(3): 139-142.
- [22] 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.
- ZHAN Liwei, LI Haihong, ZHAO Yong, et al. Calculation of flexible water consumption and analysis of water-saving potential of urban residents[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(2): 69-75.
- [23] 刁子乘, 赵晶, 韩宇平, 等. 河北省城镇居民层次化需水研究[J]. 中国农村水利水电, 2023(1): 78-79.
- DIAO Zicheng, ZHAO Jing, HAN Yuping, et al. Research on the hierarchical water demand of urban residents in Hebei Province [J]. China Rural Water Resources and Hydropower, 2023(1): 78-79.
- [24] 许萍, 宋宜林, 陈梓豪. 基于VAR模型的城市居民用水需求同水价和收入的动态关系研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(6): 95-103.
- XU Ping, SONG Yilin, CHEN Zihao. Research on VAR model and dynamic relationship between urban residents' water demand and water price [J]. China Rural Water Resources and Hydropower, 2022(6): 95-103.
- [25] 郝有茹, 杨柳, 朱记伟, 等. 西安市城镇居民阶梯水价优化及节水效果研究[J]. 水资源与水工程学报, 2023, 34(6): 35-43.
- HAO Youru, YANG Liu, ZHU Jiwei, et al. Optimized tiered water pricing and water saving effect of residential water use of urban Xi'an[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2023, 34(6): 35-43.

(编辑:管昕昉)