济南大学绿色发展研究院

工作论文

2017年第2期

阶梯水价对城市居民用水量及低收入家庭福利的影响

廖显春¹, 夏恩龙², 王自锋³

(1. 济南大学商学院与绿色发展研究院, 济南 250022; 2. 国家林业局国际竹藤中心, 北京 100102; 3. 南开大学经济学院, 天津 300071)

摘要: 城市水资源短缺已然成为中国最严重的环境问题之一。在气候变化及社会经济的快速发展的背景下, 水资源短缺问题加剧。本文采用 2002~2012 年 285 个地级市的面板数据, 实证分析了递进阶梯水价对中国城市居民生活用水影响。计量结果表明, 在统一水价制度框架下, 水价的提高确实能减缓用水短缺, 但由于水价缺乏弹性, 统一水价调节用水的功能有限。此外, 进一步实证研究显示, 已实施阶梯水价的城市比统一水价的城市能减少 17% 水消耗。除价格因素之外, 实证发现, 居民家庭人均可支配收入、家庭总人口数、从业人员数占比、年均降雨量以及年平均气温导致了家庭水消耗增加, 而受教育程度和人口的聚集导致家庭水使用量减少。以此为基础, 本文设计了四级阶梯水价。通过构建非线性预算约束的家庭经济模型以及家庭福利分析, 结果发现, 采用四级阶梯水价比国家发改委 (NDRC) 的三级阶梯水价不仅能提高水资源使用效率, 而且预测得知可提高低收入家庭福利为 107.6 元。

关键词: 递进阶梯水价; 居民水消耗; 计量模型; 福利分析; 水短缺

1 引言

长期以来我国水资源严重稀缺、生态系统脆弱。尽管改革开放以来经济持续快速增长, 但“粗放式”经济发展模式导致了水资源浪费严重, 成为制约我国经济发展的瓶颈。在供给侧, 中国人均水拥有量不及世界人均水平的 25%。据水利部统计, 全国 655 个城市中有 400 多个城市缺水达到 0.16 亿 m³/d。其中, 有 40 个百万人以上大城市严重缺水, 特别是北京和天津。频发干旱、极端气候变化、加上 50% 以上河流与湖泊受到污染, 进一步导致了水供给缺乏。我国政府作出了不懈的努力, 积极增加水的供给能力^[1]。2003 年, “南水北调”工程正式启动, 分别从长江上、中、下游调水, 即东线、中线、西线三线, 建成投产的规模将达到 1.86 亿 m³/d, 预计总投资 2.54 亿

元,有望在2020年投入使用。但即使2030年全部投入使用,仍难以满足北方用水需求。虽然城市公共供水综合生产能力由1978年的 0.25亿 m^3/d 上升到2010年的 3.85亿 m^3/d ,但在中国经济高速发展的背景下,水供给能力增加速度已无法满足城市居民对水需求的增长速度,加强需求侧管理势在必行。

从需求侧遏制水消耗过快增长的主要措施就是提高水价。我国水资源的一个突出问题是水资源使用长期处于“廉价”状态。对比经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development,简称经合组织(OECD)),与中国的生活用水价格,结果发现我国城镇居民用水价格极低,只占生活水平平均价格最高的国家如法国的6%。与水价格相对较低的韩国相比,其水价格是我国平均生活用水价格的3.6倍。但在统一水价制度框架下,提高水价对水消耗的抑制作用并不大。大量国内外学者分析了统一水价对居民水需求的影响,结果表明,提高水价格能减少城市居民水消耗,但水需求价格弹性偏低,变动在-0.05~-0.75之间^[2-6]。2006年来至今,我国许多城市提高居民用水价格的实践表明,在统一水价制度下水价提高对水需求的抑制效果并不明显。此外,提高水价就意味着低收入家庭对高收入家庭形成补贴,将直接损害低收入家庭的福利。

为了实现各经济水平家庭福利最大化,阶梯式计量水价方式应运而生,它表示为对居民用水实行分类计量收费和超定额累进加价制,简单解释就是多用水多付费。阶梯水价充分发挥市场、价格因素在水资源配置、水需求调节等方面的作用,拓展了水价上调的空间,增强了居民的节水意识,避免了水资源的浪费。实施阶梯水价制度不仅能提升水资源使用效率,而且兼顾弱势群体的福利。实施阶梯水价比统一水价更能减少居民水消耗的事实不仅存在于美国^{①,②}[7-9],同时在欧洲及非洲个别国家同样存在^[10-16]。发展中国家对阶梯水价的实证研究还较少。

近几年来,我国各个地区开始分别施行阶梯水价,如广州、太原、呼和浩特、沈阳、大连、南京、宁波、福州等城市。到目前为止,我国已有约40%的设市城市逐步建立了阶梯水价制度。国家发展和改革委员会(National Development and Reform Commission,简称为NDRC)要求2015年底前我国设市城市原则上要全面实行居民阶梯水价制度^[17]。已实行阶梯水价的城市实践表明,推行用水阶梯价格对节约用水效果显著,但存在诸多问题,主要包括基本水量核定过量,三级水量水价极差过小,且没有考虑各个城市经济发展差异。相对来说,我国在阶梯水价方面研究文献还很少,大致可以分为三类:一是对发达国家的阶梯定价纷争和成果进行梳理,得出阶梯定价比统一定价综合绩效要优越,能实现“不增加弱势群体消费成本和有效减少总需求”双赢的一致结论^[18];二是采用定性描述方法研究指出,全面实施阶梯水价制度是必然的,通过价格杠杆作用,可以强化市民的节水意识^[19];三是采用定量模拟方法,研究某一城市如北京市的阶梯水价对水消耗影响,得出与发达国家基本一致的结论,即阶梯水价实施会导致人均用水量减少^[20-24]。只有少数研究利用模型模拟,探讨阶梯定价机制^[25]。

综上所述,现有国内外阶梯水价对水需求的研究以及定价优化机制研究都为本研究打下了坚实基础,然而现有研究也存在下述问题:

(1) 发达国家现有文献全面探讨了影响居民水需求的因素,但国内现有文献往往忽略其他因素如家庭人口对城市居民水消耗的影响;

(2) 在方法上,国内现有文献大多以某一城市为例采用模拟测算方法探索阶梯水价对节约用水的影响,而采用多变量统计回归方法来控制收入水平等多要素,探讨不同类型城市的阶梯水价对水消耗的影响的文献较少;

(3) 在研究视角上,国内现有文献大多注重研究阶梯式水价对城市居民水消耗的影响,而往往忽视了阶梯水价制度的实施对低收入家庭福利的影响;

(4) 前期研究的结论均是在发达国家制度比较完善、社会体制比较健全的默认假设下得到的,对于处在经济转型期的中国并不适用,对中国阶梯式水价制度对城市居民节约用水,同时兼顾低收入家庭福利的全景式、系统性研究还很缺乏。本研究以中国众多城市为研究对象,探讨一般性规律问题,丰富现有文献。

基于此,本文利用2002~2012年285个地级市的面板数据,计量研究了阶梯水价制度对中国城

①) Cavanagh, S.M., W.M. Hanemann, and R.N. Stavins, 2002. Muffled Price Signals: Household Water Demand Under Increasing-Block Prices. FEEM Working Paper No. 40.2002, Milan, Italy.[2015-11-1].<http://www.feem.it/web/activ/activ.html>.

②) Ito K. How do Consumers Respond to Nonlinear Pricing? Evidence from Household Water Demand. 2013, Working paper, pp41. Stanford Institute for Economic Policy Research Stanford University.[2015-11-1].https://www.hks.harvard.edu/m-rcbg/research/stavins_ksg_muffled.price_signals.pdf.

市居民水消耗及低收入家庭福利的影响。本文创新之处在于：(1) 从福利分析视角，探讨了阶梯水价制度对城市低收入家庭福利的影响，并优化设计四级阶梯水价，实现兼顾效率与公平；(2) 在方法上，采用多变量统计回归方法来控制收入水平等多个要素，探讨285个不同类型城市的阶梯水价对水消耗的影响，并将多变量统计回归的水价弹性与福利分析有机结合；(3) 在理论上，构建分线段预算约束的家庭经济模型，深入诠释了阶梯水价对城市居民生活用水需求的影响；(4) 利用多种计量模型获得稳健的估计结果，且多变量选择具有经济学意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据资料与来源

本文选取2002~2012年来自国内285个地级及以上城市构成的面板数据估计计量模型方程，主要考虑已有研究从我国2008年222地级城市截面进行统一水价实证考察^[6]。此外，我们也考虑政策的实施具有时间滞后性采用动态面板模型进行估计。最后，我国阶梯水价制度的实施还处于尝试阶段，研究文献较少，与跨国层面和省级层面相比，城市发展路径与体制特征更相似，可以减少不同截面间的差异，具有一定的实践探索价值。本研究所用数据及其来源见表1。

表1 数据及其来源
Table 1 Data sources

数据名称	来源
水价	国家发展和改革委员会价格监测中心下属的《中国价格信息网》并参考《中国水网》 ^③ 、 ^④
各城市实行阶梯水价的时间节点	查阅政府发布文件以及截图显示信息*
家庭城镇居民人均可支配收入	《中国区域统计年鉴》 ^[26]
家庭人口数据、家庭受教育程度、人口密度和从业人员占比	《中国城市统计年鉴》 ^[27]
降雨量和平均气温	《中国气象科学数据共享服务网》 ^⑤

注：* 通过百度，搜索各直辖市、省级城市及地级市实行阶梯水价的时间节点，如在百度输入北京市何时开始实施阶梯水价，截图显示北京市居民阶梯水价实施细则，2014年4月29日发布，<http://zhengwu.beijing.gov.cn/gzdt/gggs/t1351889.htm>。有的城市显示召开听证会时间等等。由于空间限制，不可能将285个地级及以上城市的所有信息作为285个条目列入参考文献，有需要者，可向本文作者索取。

以上指标用货币计量的变量如水价、人均可支配收入均按每年的分城市消费者物价指数进行名义—实际平减后，最终以2000年的物价水平计量。由于拉萨城市的统计数据缺失较多，本文删除了该样本。各变量的定义与统计描述详见表2。

表2 变量的定义与统计描述
Table 2 Variable definition and statistical description

变量符号	变量定义	单位	均值	标准差	最小值	最大值
water	城市公共供水居民用户 人均日用水量	L/p. d	176.19	78.32	28.60	803.97
price	市辖区居民用公共供水单价与污水处理费之和	元/m ³	1.69	0.48	0.50	4.50
block	1=实施阶梯水价，否则为0		0.14	0.35	0.00	1.00
income	居民家庭人均可支配收入	元/p	11 227.06	4 628.36	3 280.05	35 461.60
size	市辖区平均每户人口数	p	3.31	0.41	1.92	4.93
education	中学人数占人口比例	%	6.05	1.55	2.75	14.56
density	人口密度	万 p/km ²	414.71	314.98	4.70	2 581.78
employment	从业人员数占人口比例	%	10.30	8.92	2.35	97.36
rainfall	年均降雨量	mm	959.18	508.19	64.10	2 967.30
temperature	年均气温	℃	15.07	5.04	1.40	25.40

注：由于许多地级城市受大专及以上教育人数占人口比重较低，选择普通中学在校学生人数占人口比重这一指标更能反映受教育程度

2.2 非线性预算约束的家庭经济模型

本文通过非线性预算约束的家庭经济模型描述我国城市居民生活用水的行为，从而揭示阶梯

③) 国家发展改革委价格监测中心. 中国价格信息网. [2015-11-1]. www.chinaprice.gov.cn.

④) 中国水网. 水价. [2015-11-1]. <http://www.h2o-china.com>.

⑤) 国家气象信息中心. 中国气象科学数据共享服务网. [2015-11-1]. <http://www.escience.gov.cn/metdata>.

水价对水需求的影响。根据新古典经济学理论，阶梯水价条件下家庭水需求分析框架需要在分段预算约束下使得家庭效用最大化^[28]。假设 w 为水需求， p_i 表示第 i 级水价， G 为其他商品，为简化起见，假设其单位价格为1，是由家庭社会经济特征所决定 (Z)。假设实施三级水价，一个家庭在如下收入分段预算约束下 (I)，对效用函数进行优化：

$$u(w, G) = \alpha_i \left(\sum_{i=1}^{m=3} w_i + G \right) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} p_1 w + G &\leq I & w &\leq w_1 \\ p_1 w_1 + p_2 (w - w_1) + G &\leq I & w_1 < w &\leq w_2 \\ p_1 w_1 + p_2 w_2 + p_3 (w - w_2) + G &\leq I & w_2 < w & \end{aligned} \quad (2)$$

式中 i 为第几级阶梯； m 为总阶梯级数； α 为家庭效用系数。当 $p_1 < p_2 < p_3$ ，就是递增阶梯定价 (IBWT)。如果一个家庭面对统一水价 (UP)，此时， $i = 0$ ，水需求方程可以通过优化效用函数直接推导。但对于 $m = 3$ 级水价，一种求解的思路是采用拉格朗日乘数法的线性支出系统，一阶条件满足：

$$\frac{\partial u(w, G)}{\partial w_i} = \frac{\partial u(w, G)}{\partial w_j} = \lambda, i \neq j \quad (3)$$

$$\text{即：} \frac{\alpha_i}{p_i w_i} = \frac{\alpha_j}{p_j w_j} \quad (4)$$

式中 j 也代表第几级阶梯。两边对 j 求和，将预算约束代入，即可获得各个梯度上的需水量：

$$w_i = \frac{\alpha_i (I - G)}{\sum_{j=1}^{m=3} \alpha_j p_j} \quad (5)$$

总用水量等于各个梯度上需水总量相加 (W)，即：

$$W = \sum_{i=1}^{m=3} w_i = \sum_{i=1}^{m=3} \frac{\alpha_i (I - G)}{\sum_{j=1}^{m=3} \alpha_j p_j} \quad (6)$$

由于消费者在不同阶梯内面对边际水价的上升，其消费行为表现为非线性。线性支出系统方法值得商榷。解决非线性问题的方案就是将预算约束分成几段，然后对每一梯度的效用函数分别进行优化，即：

$$\begin{aligned} \text{Max } U(w, G), \text{ subject to } p_1 w + G &\leq I & w &\leq w_1 \\ \text{Max } U(w, G), \text{ subject to } p_1 w_1 + p_2 (w - w_1) + G &\leq I & w_1 < w &\leq w_2 \\ \text{Max } U(w, G), \text{ subject to } p_1 w_1 + p_2 w_2 + p_3 (w - w_2) + G &\leq I & w_2 < w & \end{aligned} \quad (7)$$

依次类推，可以从 $m = 3$ 级扩展到级阶梯。在实证检验中，如果能够获得城市居民家庭微观数据，学者们一般采用离散—连续两步选择法：第一步选择梯度，第二步在给定的阶梯内通过最优化原则探讨消费者所在阶梯内的消费行为。在无法获得家庭微观数据情况下，一是采用模拟方法，二是采用宏观数据计量实证。计量模型的主要优点就是其结论可以根据概率原理进行统计推断。因此，本文采用虚拟变量方法来捕获实施阶梯水价城市与统一水价城市的区别以及同一城市实施阶梯水价前后对比，并计量实证阶梯水价对城市居民用水需求影响。考虑到已实施阶梯水价的城市大多数使用三阶水价，本文对实施阶梯水价级数不同的城市不再细分。

2.3 计量模型设定

采用城市层面的面板数据，参照理论与实证已有共识的成果，考虑中国转型背景下的特定因素，设定统一水价的计量模型如下：

$$\begin{aligned} \text{water}_{it} = &\alpha + \beta_1 \text{price}_{it} + \beta_2 \text{income}_{it} + \beta_3 \text{size}_{it} + \beta_4 \text{education}_{it} + \beta_5 \text{density}_{it} \\ &+ \beta_6 \text{employment}_{it} + \beta_7 \text{rainful}_{it} + \beta_8 \text{temperature}_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

式中 *water* 代表家庭用水量，以城镇公共供水用户人均日用水量 (L/p.d) 作为被解释变量。有些文献在衡量用水量时，以家庭为观察单位采用家庭用水量指标，但该方法主要缺点就是同一城市水价存在同质性，大多数家庭面对相同的水价，这样就需要各城市大样本抽样，受到实际操作限制；其次，选取代表性家庭这一过程本身就遗漏了很多信息。因此，采用宏观面板数据更符合马歇尔需求函数的假定。式中 *i* 为 285 个城市中的某个城市；*t* 为时间维度，从 2002~2012； β 为影响水需求因素的系数。假定随机扰动项 ε 服从独立和同一分布 (i.i.d)。

采用虚拟变量方法来捕获实施阶梯水价城市 (block)，设定阶梯水价的计量模型如下：

$$water_{it} = \alpha + \beta_1 price_{it} + \lambda block_{it} + \beta_2 income_{it} + \beta_3 size_{it} + \beta_4 education_{it} + \beta_5 density_{it} + \beta_6 employment_{it} + \beta_7 rainfall_{it} + \beta_8 temperature_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

考虑到任何制度变迁，都有时间滞后效应，构建动态面板模型如下：

$$water_{it} = \alpha + \delta water_{it-1} + \beta_1 price_{it} + \lambda block_{it} + \beta_2 income_{it} + \beta_3 size_{it} + \beta_4 education_{it} + \beta_5 density_{it} + \beta_6 employment_{it} + \beta_7 rainfall_{it} + \beta_8 temperature_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

通过对文献梳理，确定 9 个影响水需求的决定因素。首先，我们关注的核心解释变量为统一水价 (price)。根据新古典经济学 (Neoclassical Economics) 的需求理论，统一水价的提高会引起需求减少。但城镇家庭居民用水是复合需求，价格弹性取决于水是必需品 (大量水用于做饭) 还是非必需品 (大量水用于汽车清洁或花草养护)。本文统一水价是在公共供水体系下居民用水的实际收费，包括自来水单价和污水处理费 (元/m³)，预期符号为负。另一考虑的核心解释变量为阶梯水价制度 (block)。依据理论分析，阶梯水价更能减少水需求，采用虚拟变量来刻画阶梯水价制度的实施为 1，否则为 0，预期符号为负。

本文选取如下控制变量：

(1) 家庭收入 (income)，现有研究表明，随着家庭收入增加水需求扩大^[2-6]，用城镇居民家庭人均可支配收入进行度量 (元/p)，预期符号为正。

(2) 家庭人口数 (size)，用来考察居民家庭水消耗的规模作用。现有研究表明，家庭人口数增加促进水需求^[12,29-30]，用城镇居民家庭人口数 (p)，预期符号为正。

(3) 家庭受教育程度 (education)，来检验居民的环保意识对用水影响。直接研究受教育程度对水消耗的影响文献还很少见，但有些研究表明受教育程度越高，节水意识越强，家庭水消耗越少^[31]。也有研究表明，受教育程度较高者，文明与卫生程度越高，家庭水消耗越大^[32]。家庭受教育程度对总用水量的影响不确定，取决于二者相对大小。选择普通中学在校学生人数占人口比重这一指标来反映受教育程度 (%)，预期符号不确定。

(4) 人口密度 (density)，用来反映人口的密集程度对居民用水的影响，用每平方公里万人来表示 (万p/km²)。一般来说，随着人口密集增加，虽然总用水量增加，但人均用水量下降^[12]，预期符号为负。

(5) 从业人员占比 (employment)，用来反映就业对家庭用水的影响 (%)。从文明与卫生程度来讲，从业人员消耗水量要比失业人员大一些，预期符号为正。

(6) 降雨量 (rainfall)，用来反映气候变化对居民用水影响。现有实证结果表明，降雨量越大，水供给越大，导致供给曲线向右移动，城市用水需求越旺盛水需求增加^[33]，本文用年平均毫米数来表示 (mm)，预期符号为正。

(7) 平均气温 (temperature) 来反映气候变化对居民用水影响 (°C)。经验研究表明，气温越高，居民饮水越多，换洗衣服量越大，家庭用水总需求越大^[12,31]。本文用年平均温度来表示，预期符号为正。

3 影响居民水消耗的计量结果与分析

3.1 不分居民收入的全样本回归结果与解释

(1) 统一水价对居民水消耗的影响。表 3 中第一列报告了采用混合普通最小平方法 (Pooled OLS) 对统一水价计量模型 (6) 的回归结果。结果显示统一水价格系数显著为负，表明随着水价提高 100%，家庭水消耗量将减少 13%。由于采用广义最小二乘法 (GLS) 可以解决误差项的异方差和自相关的问题，表 3 中第二列报告了采用 GLS 估计的回归结果，研究表明，其显著性与混合 OLS 估计一样，但系数要大一些，导致家庭水消耗量减少 29%。有趣的是估计的价格弹性均在现有文献范围^[2,4]。本研究结论表明，水价提升显著减少家庭用水，符合新古典经济学的需求理论。

(2) 阶梯水价对居民水消耗的影响。在对阶梯水价模型 (7) 的混合 OLS 回归结果发现, 阶梯水价系数显著为负, 且影响因子大于统一水价视屏下影响因子, 这表明实施阶梯水价的城市比实施单一水价的城市能减少 17% 的水消耗。采用 GLS 进行回归估计, 其显著性与混合 OLS 估计一样, 但系数要小一些, 家庭水消耗量减少只有 6%。估计的阶梯水价的价格弹性与发达国家结论接近^{1),2),[7-9]}。

(3) 控制变量对居民水消耗的影响。本文采用两步回归的 GMM 估计结果显示, 家庭收入对家庭水消耗的影响呈现出显著的正向关系, 人均收入增加 100%, 导致家庭水消耗增加 6%, 估计结果与文献接近^[2-5, 34]。GLS 估计结果显示家庭人口数增加导致家庭人均用水量提高 29%, 与文献接近^[14]。受教育程度显著为负, 这反映出随着城市居民受教育程度提高, 节水意识强于讲卫生用水消耗, 导致家庭人均水消耗减少 11%。人口的聚集会显著导致家庭人均用水减少, 变动范围在 7%~12% 之间。从业人数占比的所有系数都显著为正, 表明从业人数占比越高的城市, 文明与卫生程度越高, 从而导致城市居民家庭用水增加, 变动范围在 6%~19% 之间。降雨量的系数大多都显著为正, 估计结果符合预期, 与文献接近^[31]。反映出降雨量越高的城市, 消费者节约用水的意识越薄弱, 导致家庭人均用水越高, 变动范围在 5%~15% 之间。最后, 平均气温的系数都显著为正, 表明气温越高, 居民需要更多的水进行浇灌、洗浴或饮用, 导致人均水消耗越大, 变动范围在 6%~66% 之间。

3.2 稳健性与内生性问题

考虑到使用城市居民家庭是否实施阶梯水价的虚拟变量作为反映阶梯水价实施效果, 我们担心这可能掩盖城市居民家庭节水行为与动机差异的基本信息。本文采用不同计量模型方法 (Pooled OLS、GLS), 研究结果显示大多数系数和显著性一致, 表明了研究结果的稳定性。

实证模型中有一些变量可能由于存在逆向因果关系而导致内生性问题, 即居民用水需求越高, 水价越高。可以采用工具变量法解决内生性, 但工具变量法对选择的工具变量要求极高^[35]。以 Arellano & Bond 为代表的学者提出广义矩估计 (GMM) 来处理动态面板数据, 这种方法不仅可以利用样本中更多的信息, 而且也可以剔除内生性, 由于使用更大的矩条件, 模型估计的有效性得到改善。本文所采取的处理方法是两步回归的 GMM-SYSTEM 方法对模型 (8) 进行回归。Sargan 检验是对工具变量过度识别的检验, 其原假设为模型不存在过度识别。此处 Sargan 检验未能拒绝原假设, 表明 GMM 估计的工具变量选择有效。统一水价的显著性与 Pooled OLS、GLS 一样, 但系数介于两者之间, 导致家庭水消耗量减少 18%。阶梯水价的显著性与 Pooled OLS、GLS 一样, 但系数比 GLS 略小, 导致家庭水消耗量减少只有 5%。其他控制变量的回归结果均相近。

3.3 阶梯水价对不同收入居民家庭用水的影响

根据描述性数据, 家庭之间耗水量差异巨大, 即使在同一城市内, 家庭收入不同, 水使用量也差异很大。目前我国对人均年收入高低的划分还没有统一标准, 本文将城市居民家庭人均年收入简单划分为两级: 人均年收入 ≤ 15 000 元为低收入家庭, 人均年收入 > 15 000 元为高收入家庭。

表 3 水价对城市居民家庭用水的影响

Table 3 The impact of water price on residential water consumption in Chinese cities

变量	预期符号	统一水价			阶梯水价		
		(1) Pooled OLS	(2) GLS	(3) 2-step SYS-GMM	(4) Pooled OLS	(5) GLS	(6) 2-step SYS-GMM
water_l	+			0.8043 (17.48)***			0.5690 (5.40)***
price	-	-0.1253 (-5.00)***	-0.2859 (-8.94)***	-0.1763 (-3.16)***	-0.3009 (-6.69)***	-0.1952 (-5.35)***	-0.2802 (-3.33)***
block	-				-0.1658 (-7.20)***	-0.0562 (-3.61)***	-0.0491 (-2.59)***
income	+	-0.1548 (-0.90)	-0.1053 (-0.85)	0.0358 (1.75)*	0.0348 (0.94)	-0.0107 (-0.32)	0.0567 (2.08)**
size	+	-0.0473 (-0.84)	-0.0823 (-0.99)	-0.0026 (-0.05)	-0.0372 (-0.40)	0.2869 (3.75)***	-0.1049 (-1.16)

education	-	0.0046 (0.32)	0.0441 (1.32)	0.0340 (1.58)	-0.1117 (-3.02)***	-0.0147 (-0.71)	0.0047 (0.17)
density	-	0.0024 (0.23)	-0.0115 (-1.15)	-0.0034 (-0.48)	-0.1212 (-6.95)***	-0.0741 (-3.56)***	-0.0004 (-0.02)
employment	+	0.1305 (5.68)***	0.2540 (10.38)***	0.0290 (1.69)*	0.1891 (7.18)***	0.1346 (4.17)***	0.0564 (1.85)*
rainfall	+	0.0539 (5.51)***	0.1519 (9.46)***	0.0006 (0.05)	0.1423 (5.55)***	0.0471 (3.24)***	0.0322 (1.23)
temperature	+	0.4031 (16.09)***	0.3801 (13.86)***	0.0561 (1.89)*	0.6564 (13.32)***	0.6610 (14.50)***	0.2266 (2.87)***
constant		4.7268 (20.88)***	3.6695 (12.75)	0.4204 (1.66)*	2.2709 (7.04)***	2.5767 (8.40)***	0.7753 (1.92)*
Wald-chi2				2872.02			4235.46
Prob > chi2				0.0000			0.0000
Sargan-test(χ^2)				26.28			30.46
Prob > chi2				0.448			0.118
AR(1) z-statistic				-7.18***			-3.77***
AR(2) z-statistic				0.22			-0.32
N		2073	2073	1882	1053	1053	957

注：圆括号中显示的是系数的值或值。***、**、和* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著；GMM 模型报告了 Sargan 检验 和 AR(1) 及 AR(2) 检验。

表 4 第七至十列分别报告了使用两步回归的 GMM-SYSTEM 方法对低收入家庭和高收入家庭的回归估计。结果表明，阶梯水价的实施对低收入家庭的节水行为产生显著节约机制，导致家庭水消耗量减少 8%。主要原因就是低收入家庭的用水开支占比较大，阶梯水价实施对水消耗影响较大。反之，阶梯水价的实施对高收入家庭水消耗并没有显著影响，反映出高收入家庭的用水开支占比较小。其他变量与前面几节的结果近似，进一步验证了研究结论的稳定性。

表 4 阶梯水价对不同收入居民家庭的影响

Table 4 The impact of water price on different income families 变量	相对低收入家庭 (人均年收入 ≤ 15 000 元)		相对高收入家庭 (人均年收入 > 15 000 元)	
	(7)	(8)	(9)	(10)
	统一水价 SYS-GMM	阶梯水价 SYS-GMM	统一水价 SYS-GMM	阶梯水价 SYS-GMM
water_l	0.7543 (15.89)***	0.6081 (11.09)***	0.8482 (7.81)***	0.7141 (54.65)***
price	-0.2768 (-3.47)***	0.0248 (0.34)	-0.2049 (-1.84)**	-0.2011 (-5.74)***
block		-0.0779 (-5.24)***		-0.0054 (-0.85)
income	0.0624 (2.03)**	-0.0060 (-0.19)	-0.0654 (-1.16)	0.0937 (4.70)***
size	0.0204 (0.34)	0.0721 (0.98)	-0.2111 (-2.29)**	-0.1406 (-2.88)***
education	0.0261 (1.10)	-0.0058 (-0.26)	-0.0028 (-0.06)	0.0212 (2.61)***
density	-0.0020 (-0.23)	-0.0594 (-3.18)***	-0.0044 (-0.41)	0.0408 (3.09)***

employment	0.0285 (1.28)	0.0820 (2.84)***	0.0139 (0.38)	-0.0397 (-5.81)***
rainfall	0.0041 (0.30)	0.0535 (2.46)**	0.0108 (0.37)	0.0222 (2.36)**
temperature	0.0477 (1.45)	0.2555 (4.79)***	0.0588 (1.28)	0.1685 (4.94)***
constant	0.4472 (1.50)	0.9138 (2.80)***	1.3142 (1.68)*	-0.1303 (-0.76)
Wald-chi2	2024.06	1480.82	1325.95	1136.93
Prob > chi2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sargan-test (χ^2)	28.74	30.80	18.57	25.97
Prob > chi2	0.323	0.236	0.672	0.465
AR(1) z-statistic	-6.70***	-4.31***	-3.48***	-1.87*
AR(2) z-statistic	0.57	0.95	-0.95	-2.01**
N	1633	677	249	280

注：圆括号中显示的是系数的值或值。***、**和* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著。GMM 模型报告了 Sargan 检验 和 AR(1) 及 AR(2) 检验。

4 阶梯水价的设计与福利分析

4.1 阶梯水价的设计

主要包括：阶梯水价的级数、各级水量及各级水价。国内外对阶梯水价的级数、用水定额也没有统一界定和标准。到目前为止，实行一户一表改造的合表用户，基本执行用水阶梯价格政策。现实中 285 个地级市基本按照 NDRC 规定，实现三级阶梯，但现行水价、现状定额差异很大，例如，北京按月用水量计算，15m³以内水价为 5.0 元/m³；16~30 m³之间为 7.0 元/m³；31m³以上为 9.0 元/m³。深圳按月计算，22m³以内为 2.3 元/m³；23~30m³之间为 3.5 元/m³，31m³以上部分 4.6 元/m³。

(1) 确定级数

理论上讲，收入差异越大，级数越多，越可以确保收入分配的有效性^[36]。现有文献显示，一般级数变化在 3~6 级。中国国家发展和改革委员会（NDRC）确定为 3 级，但 NDRC 本身并没有给出他们所规定的级数与定额的依据。Chen 等将北京设计为 5 级^[4]。本部分设计的依据是：（1）中国电力行业的文献^[36]；（2）考虑节水效率；（3）考虑贫困家庭福利；（4）结合 285 个城市家庭可支配收入状况。最终确定级数为 4 级。

(2) 决定各级水量

国内外对城市家庭收入划分为几个组还没有统一界定和标准，本文依据参考文献^[36]，结合 285 个城市家庭可支配收入状况，以及福利计算方便，根据 2012 年《中国城市统计年鉴》收入数据^[27]，将城市居民家庭分成 4 组：贫穷组（家庭人均可支配收入≤15 000 元）、低收入组（家庭人均可支配收入>15 000 但收入≤20 000 元）、中收入组（人均可支配收入>20 000，但收入≤25 000 元）、高收入组（人均可支配收入>25 000 元）。表 5 报告了各组人口数、人口占比、户均人数及户数。研究发现，贫穷组（家庭人均可支配收入≤15 000 元）占比为 38.5%。

表 5 根据居民收入划分的组数

Table 5 Number of groups according to family income

	城市居民家庭人均可支配收入/元/p	人口/万 p	人口占比/%	平均每户人口数/p	户数/万 h
贫穷组	≤15 000	48 517	0.385	3.24	14 968
低收入组	15 000~20 000	48 971	0.389	3.21	15 237
中收入组	20 000~25 000	13 869	0.110	3.07	4 516
高收入组	>25 000	14 593	0.116	2.96	4 934

数据来源：《中国城市统计年鉴》2012 年，采用排序方法进行整理获得^[27]。

基准水量过大会导致阶梯水价实施效率低下。本文以贫穷组的平均水量作为第一级水量，以低收入组的平均水量作为第二级水使用限额。本文假定第三级和第四级水量较低级水量略大些。采用排序方法对数据进行整理。表 6 第一列显示相对应各级的水量，第二列为覆盖人群占总人口比例，结果发现，四级阶梯定价设计的基准水量覆盖人群只有 38.5%，远小于 NDRC《意见》设计的基准水量覆盖 80.0%人群^[17]。现有研究显示第一级较高的覆盖率会导致阶梯水价的实施效

果差，收入较高的家庭会从低水价中获得更多好处^[36]。

(3) 确定各级水价

为了提高阶梯水价实施的有效性，在各级之间采用比较大的差价。在考虑贫穷组与低收入组福利背景下，第一级和第二级采用较低水价，甚至低于自来水公司平均边际成本，而第三级和第四级水价较高，原则是中高收入家庭补偿低收入和贫困家庭。因此，本文以贫穷组的平均水价作为第一级水价，低收入组的平均水价作为第二级水价。Hall 等建议用边际成本对较高级水价进行定价^[41]，即第三级和第四级水价高于自来水公司平均边际成本。由于中国自来水公司平均边际成本的数据无法获得，借鉴文献^[36-37]，假定第三级水价为第二级三倍，第四级水价为第二级五倍（1:1.2:3.5:5.9）。NDRC 的《意见》将第一级、第二级、第三级水价之比确定为 1:1.5:3，并没有给出依据。表 6 第三列报告了相应各级的水价。

表 6 四级阶梯水价的设计

Table 6 The design of IBT system with four-tier structure

	本文设计的四级阶梯定价			NDRC 的三级阶梯定价		
	水量/L/d	覆盖率/%	水价/元/m ³	水量/L/d	覆盖率/%	水价/元/m ³
第一级	<80	38	1.7	<200	80	1.6
第二级	80~180	77	2.0	200~260	95	2.5
第三级	180~300	88	6.0	>260	100	7.4
第四级	>300	100	10.0			

数据来源：《中国城市统计年鉴》2012 年，采用排序等方法进行整理获得^[27]。

4.2 福利影响分析

实施阶梯水价后，水价逐级提高导致居民福利变化。本节借鉴消费者剩余公式^[36-37]，第一级的水价保持不变，福利变化为 0，即福利没有损失；第二级的福利变化如下：

$$CS = W_1(p_2 - p_1)[1 + \beta(p_2 - p_1)/2p_1] - W_2(p_2 - p_1) \quad (11)$$

第三级的福利变化如下：

$$CS = W_1(p_3 - p_1)[1 + \beta(p_3 - p_1)/2p_1] - W_2(p_2 - p_1) - W_3(p_3 - p_2) \quad (12)$$

依次类推，高于三级的福利变化如下：

$$CS = W_1(p_i - p_1)[1 + \beta(p_i - p_1)/2p_1] - \sum_{i=2}^m W_{i-1}(p_i - p_{i-1}) \quad (13)$$

式中 CS 为消费者剩余； W 是水量； β 为水价格弹性； p 代表水价； i 为相对应的级数； W_1 为第一级水量； W_2 为第二级水量； W_3 为第三级水量；相应地， p_1 为第一级水价； p_2 为第二级水价； p_3 为第三级水价。在计算福利之前，需要确定各级价格弹性（ β_i ）。第一级的价格弹性（ β_1 ）以统一水价计量模型的估计结果为依据。第二级的价格弹性以阶梯水价计量模型的估计结果为依据。结合文献^[36]，本文假定第三级水价格弹性为-0.13；第四级价格弹性为-0.10。表 7 第二至第三列报告了相对应各级的消费者剩余变化，结果发现，级数越高，福利损失越大，并且四阶水价福利变化比 NDRC 福利变化要小一些，但较接近第四列文献中对中国电力行业的福利估算^[36]。当然供水与电力行业存在差异，价格弹性不尽相同，福利结果仅供参考。预测得知实施四级阶梯水价比国家发改委（NDRC）的三级阶梯水价（1:1.5:3）可提高低收入家庭福利为 107.6 元（NDRC 的 120.2 元福利减去二级的 12.6 元福利），而对中高收入家庭福利提高仅为 17.8 元（NDRC 的 414.43 元减去三级的 190.98 元以及四级的 205.66 元，见表 7）。

表 7 实施阶梯水价制度导致福利变化

Table 7 Welfare change after implementing IBT system

	价格弹性/ α	本文设计减少福利/元	NDRC 的减少福利/元	中国电力行业福利估算/元*
第一级	-0.28	0.00	0.00	0.00
第二级	-0.16	12.59	120.16	23.62

⑥ Ruijs A. Welfare and Distribution Effects of Water Pricing Policies[M].Tech.rep, Mansholt Working Paper Series - MWP18,

Wageningen University, The Netherlands. 2007.

[2015-11-1].Access:http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm.

第三级	-0.13	190.98	414.43	87.48
第四级	-0.10	205.66	0.00	228.95
总计		409.23	534.59	340.05

注：价格弹性来自上一节计量模型结果与文献假定，福利损失由福利方程组(6)~(8)计算所得；*中国电力行业的福利估算数据来源于文献^[36]。

5 结论与政策建议

5.1 主要结论

通过构建分线段预算约束的家庭经济理论模型及福利分析，来揭示阶梯水价对水需求及低收入家庭福利的影响。采用混合普通最小二乘法（pooled OLS）、广义最小二乘法（GLS）、广义矩估计法（GMM）等计量模型进行实证分析，在解决了内生性问题的基础上获得了估计结果的稳健有效性估计，验证了阶梯水价比统一水价对城市居民水消耗的影响更大，得出以下结论：

(1) 在统一水价制度框架下，水价的提高确实能减缓用水短缺。由于统一水价缺乏弹性，它调节用水的功能有限。

(2) 已实施阶梯水价的城市比统一水价的城市能减少 17% 水消耗。

(3) 除价格因素之外，实证发现，居民家庭人均可支配收入、家庭总人口数、从业人员数占比、年均降雨量以及年平均气温导致了家庭水消耗增加，而受教育程度和人口的聚集导致家庭水使用量减少。

(4) 通过优化设计四级阶梯水价（第一级水价为 1.7 元；第二级水价为 2.0 元；第三级水价为 6.0 元；第四级水价为 10.0 元，即 1:1.2:3.5:5.9），结合福利计算，预测得知实施四级阶梯水价比国家发改委（NDRC）的三级阶梯水价（1:1.5:3）可提高低收入家庭福利为 107.6 元，而提高中高收入家庭福利仅为 17.8 元。

5.2 政策建议

基于上述的研究结果，针对阶梯水价的制定提出以下几点建议：

(1) 水价提高能减少我国城市居民水消耗，这完全符合新古典经济学需求理论。但水价格弹性小，这与近年来水价节节攀升，但节水收效甚微现实相符。在另一方面，水作为中国城市居民普通家庭的生活必需品，水价提升会危及低收入家庭的利益，提价不可持续。中国的现实是 60% 以上的城市仍实行统一水价制度，其结果就是低收入者补贴高收入家庭。因此，需要科学判断水定价与水消耗的内在关系以及定价的福利影响，作为政策制定的基本依据。

(2) 阶梯水价比统一水价的节水作用更显著。因此，2015 年底前我国设市城市全面实行居民阶梯水价制度既符合国际上大多数国家做法，又有科学依据，是完全有必要继续施行的和可行的。

(3) 实施优化的四级阶梯水价制度更适合中国，既节约水资源，提高水使用效率，又改善社会福利，有利于社会公平。值得注意的是：由于经济学方法的局限性，依据多变量统计回归方法所设计的四级阶梯水价制度只是一个平均方案，对中等发达城市较适用。因此在制定阶梯水价制度时，需要因地制宜，结合各城市家庭收入状况，采用听证会形式，综合考虑级数、各级水量及各级水价。政府仍应该在保障人民基本生活需要的前提下，争取实现效率与公平兼顾以及福利经济学原则：高收入者补贴低收入家庭。

(4) 今后的研究方向是将福利分析法与模拟测算法相结合，分析具体某一城市阶梯水价制度对城市居民家庭水消耗及低收入家庭福利的影响。

参考文献 (References):

[1] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定

[EB/OL].(2011-01-30)[2015-11-23].

http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/2014/20140321/xgzc30632/Document/1366941/1366941_1.htm. [The Central Committee of the Communist Party of China and State Council.

The Decision on Accelerating the Development of Water Conservancy Reform [EB/OL].

(2011-01-30)[2015-11-23].

<http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/2014/20140321/xgzc30632/Document/1366941/>

1366941_1.htm.]

- [2] Arbués F M, Garc'ia-Valiñas A, Mart'inez-Espiñeira R. Estimation of residential water demand: A state-of-the-art review[J]. *Journal of Socio-Economics*, 2003, 32(1): 81-102.
- [3] Dalhuisen J R, Florax R J G M, Groot H L, *et al.* Price and income elasticities of residential water demand: A meta-analysis[J]. *Land Economics*, 2003, 79(2): 292-308.
- [4] Worthington A, Hoffman M. An empirical survey of residential water demand modeling[J]. *Journal of Economic Surveys*, 2008, 22: 842-871.
- [5] Sebrí M. A meta-analysis of residential water demand studies[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2014, 16(1): 1-22.
- [6] 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): 47-69.[Zheng X, Li F H, Li X L, *et al.* Is the increase in the water price an effective policy instrument?[J]. *Management World*, 2012, (4): 47-69.]
- [7] Olmstead S M, Hanemann W M, Stavins R N. Water demand under alternative price structures[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2007, 54(2): 181-198.
- [8] Nataraj S, Hanemann W M. Does marginal price matter? A regression discontinuity approach to estimating water demand[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2011, 61(2): 198-212.
- [9] Klaiber H A, Smith V K, Kaminsky M, *et al.* Measuring price elasticities for residential water demand with limited information[J]. *Land Economics*, 2014, 90(1): 100-113.
- [10] Arbués F, Barberán R, Villanúa I. Price impact on urban residential water demand: A dynamic panel data approach[J]. *Water Resources Research*, 2004, 40(11):151-175.
- [11] Martínez-Espiñeira R. Estimating Demand under Increasing Block Tariffs Using Aggregate Data and Proportions of Users Per Block [A]. Pashardes P, Swanson T, Xepapadeas A. Current Issues in the Economics of Water Resource Management[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [12] Schleich J, Hillenbrand T. Determinants of residential water demand in Germany[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1756-1769.
- [13] Mazzanti M, Montini A. The determinants of residential water demand empirical evidence for a panel of Italian municipalities[J]. *Applied Economics Letters*, 2006, 13(2): 107-111.
- [14] Martins R, Fortunato A. Residential water demand under block rates-a Portuguese case study[J]. *Water Policy*, 2007, 9(2): 217-230.
- [15] Worthington A C, Higgs H, Hoffman M. Residential water demand modeling in Queensland, Australia: A comparative panel data approach [J]. *Water Policy*, 2009, 11(4): 27-441.
- [16] Jansen A, Schulz C E. Water demand and the urban poor: a study of the factors influencing water consumption among households in Cape Town, South Africa[J]. *South African Journal of Economics*, 2006, 74(3):593-609.
- [17] 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].(2014-03-18) [2015-11-23].

- <http://bj.bendibao.com/zffw/2014318/140155.shtm>. [National Development and Reform Commission and Ministry of Housing and Urban and Rural Construction. The Guidance on Accelerating the Establishment of Water Price System with Block for Urban Residents[EB/OL].(2014-03-18) [2015-11-23].
<http://bj.bendibao.com/zffw/2014318/140155.shtm>.]
- [18] 方燕, 张昕竹. 递增阶梯定价: 一个综述[J]. 经济评论, 2011, (5): 130-138. [Fang Y, Zhang X. Increasing block pricing: A survey[J]. *Economic Review*, 2011, (5): 130-138.]
- [19] 孙露卉. 水资源价格改革: 阶梯水价的全面实施[J]. 生态经济, 2014, 30(3): 12-15. [Sun L. Water resource price reform: The full implementation of increasing block price[J]. *Ecological Economy*, 2014, 30(3): 12-15.]
- [20] 周芳, 马中, 郭清斌. 中国水价政策实证研究-以合肥市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 885-894. [Zhou F, Ma Z, Guo Q. Empirical research on water pricing policies in China: A case study in Hefei[J]. *Resources Science*, 2014, 36(5): 885-894.]
- [21] 李翠梅, 陶涛, 刘遂庆. 城市水价预测的长期边际成本方法理论与案例研究[J]. 资源科学, 2010, 32(7): 1356-1361. [Li C, Tao T, Liu S. A study on prediction of Urban water prices based on the marginal cost methodology[J]. *Resources Science*, 2010, 32(7): 1356-1361.]
- [22] 陈贺, 杨志峰. 基于效用函数的阶梯式自来水水价模型[J]. 资源科学, 2006, 28(1): 109-112. [Chen H, Yang Z. Scalar Urban water pricing model based on utility function[J]. *Resources Science*, 2006, 28(1): 109-112.]
- [23] 周春应. 基于 ELES 模型的生活水价与城镇居民承受能力研究[J]. 资源科学, 2010, 32(2): 296-302. [Zhou C. Quantitative analysis of the relationship between domestic water price and the affordability of Urban households: A case study on Jiangsu Province[J]. *Resources Science*, 2010, 32(2): 296-302.]
- [24] 贾国宁, 黄平. 居民用水阶梯式水价及其节水效果测算模型研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1788-1796. [Jia G, Huang P. Staged water price and the water-saving effect calculation mode for domestic water[J]. *Journal of Natural Resource*, 2013, 28(10): 1788-1796.]
- [25] 马训舟, 张世秋. 成都城市居民累进阶梯式水价结构与政策效果分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 168-175. [Ma X, Zhang S. Study on structure and policy effects of increasing block tariffs of Chengdu residential water[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(11): 168-175.]
- [26] 国家统计局. 中国区域经济统计年鉴(2002-2012)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002-2012. [National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook for Regional Economy(2000-2012)[M]. Beijing: China Statistic Press, 2000-2012.]
- [27] 国家统计局. 中国城市统计年鉴(2000-2012)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000-2012. [National Bureau of Statistics of China. China City Statistical Yearbook(2002-2012)[M]. Beijing: China Statistic Press, 2000-2012.]
- [28] Hewitt J A, Hanemann W M. A discrete/continuous choice approach to residential water

- demand under block rate pricing[J]. *Land Economics*, 1995, 71(2): 173-192.
- [29] Brennan D, Tapsuwan S, Ingram, G. The welfare costs of Urban outdoor water restrictions[J]. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2007, 51(3): 243-261.
- [30] Arbués F, Villanúa I, Barberán R. Household size and residential water demand: An empirical approach[J]. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2010, 54(1): 61-80.
- [31] Martínez-Espiñeira R, García-Valiñas M A, Nauges C. Households' pro-environmental habits and investments in water and energy consumption: Determinants and relationships[J]. *Journal of environmental management*, 2014, 133: 174-183.
- [32] 宋贵伦, 冯虹, 唐军. 2014年北京社会建设分析报告[M].北京: 社会科学文献出版社, 2014. [Song G, Hong H, Tang J. Analysis Report on Social Construction in Beijing in 2014 [M]. Beijing: Social Science Literature Press, 2014].
- [33] Panagopoulos G P. Assessing the impacts of socio-economic and hydrological factors on urban water demand: A multivariate statistical approach[J]. *Journal of Hydrology*, 2014, 518(2): 42-48.
- [34] Chen H, Yang Z F. Residential water demand model under block rate pricing: A case study of Beijing[J]. *China Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(5):2462-2468.
- [35] Wooldrige J M. Introductory Econometrics: A Modern Approach[M].Mason: South-Western College Publishing, 2001.
- [36] Lin B, Jiang Z. Designation and influence of household increasing block electricity tariffs in China[J]. *Energy Policy*, 2012, 42(2): 164-173.
- [37] Hall D C, Hanemann W M. Urban Water Rate Design Based on Marginal Cos[A]. Hall D C. Marginal Cost Rate Design and Wholesale Water Markets[M]. Greenwich: JAI Press, 1996.

主编：张伟

责任编辑：芦清水

地址：济南市南辛庄西路 336 号济南大学； 邮政编码：250022； 联系电话：0531—82767650； 联系人：芦清水； 电子信箱:cfy0610@163.com。

二〇一七年二月二十五日