

水平衡模型及其在水价政策的应用

马 中*,周 芳 (中国人民大学环境学院,北京 100872)

摘要: 基于物质平衡模型,构建了经济系统水平衡模型及部门的水平衡模型,并利用水平衡模型核算 A 市工业和居民用水、排水的真实状况,评估水价政策的执行效果,以期为我国水价政策的制定、实施和完善提供参考。结果表明,循环用水具有节水和减排的双重效果:工业的用水排比和无处理排水量远高于居民,A 市工业用水排比是居民的 2.9 倍,工业无处理排水量是居民的 3.6 倍;对用水和排水监管不严,导致实际水费收入远低于应征水费收入。在 2009 年的水价标准下,A 市少征收水费 11802 万元,有效的水价政策必须建立在严格监管的基础之上。

关键词: 物质平衡模型; 水平衡模型; 水价政策

中图分类号: X703.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2012)09-1722-07

Water balance model and its application in water price policies. MA Zhong*, ZHOU Fang (School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2012,32(9): 1722~1728

Abstract: On the basis of material balance approach, the water balance models for the economic system and three sectors were constructed separately. Taking A City as a case, the amounts of water use and sewage emissions were computed, by using the water balance model, and the implementation effects of the water price policies were assessed, which waste provide a reference for formulation, implementation and improvement of the water price policies. The results demonstrated that water recycling had dual effects of water conservation and pollution abatement. The ratio of water consumption and discharge and the amount of untreated waste water in industry were much higher than that of residents, which were 2.9 and 3.6 times in A City respectively. Poor management of water use and waste water could lead to the revenues of water pricing much lower than the proposed ones. In A City 118.02 million RMB were uncollected with the standard of water price in 2009. In conclusion, effective water pricing policies should be established on the basis of strict supervision.

Key words: material balance model; water balance model; water pricing policies

取自自然环境的水进入社会经济系统后,经过生产、消费,在足够长时间后,最终全部排入自然环境。根据物质守恒定律,取水量必然大致等于排水量。但是,2009 年,我国工业用水量与排水量的差额为 1156.5 亿 m^3 ,生活用水量与排水量的差额为 393.5 亿 m^3 ^[1]。即使扣除中间过程的耗、损水量,工业和居民生活都存在巨大的用排水差距,工业尤为巨大,是居民的 2.94 倍。

我国现行综合水价分为居民生活、工业、行政事业、经营服务和特种行业 5 类^[2]。水价由水资源费、自来水费、排污费和污水处理费构成。取水量、城镇用水量、工业排水量和城镇排水量分别是综合水价 4 个构成部分的计征依据。水价政策具有控制水污染、节约水资源、筹集资金和提

供服务的功能。

现有水量平衡研究多为质量守恒原理在水文学上的应用,用于评价不同水文条件下每个水文参数的重要性^[3-4],集中于工业^[5-6]、流域^[7-8]和地区^[9-11]的水量模型研究,对城市水平衡模型的研究较少^[12],尚未有文章将其用于水价政策研究。已有水价政策文献主要论述水价的特征^[13-14]、构成^[15-16]、定价方法^[17-19]、存在问题^[20-21]及改革建议^[22-23]等方面,缺少用水平衡评估水价政策的研究。

我国工业和生活用、排水的巨额差距表明有

收稿日期: 2012-02-14

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX07633-02)

* 责任作者,教授, zhongma@vip.sina.com

必要使用水平衡模型定量核算水资源使用过程和污水排放的真实状况.运用水平衡模型,还可以评价水价政策的有效性,为改革和完善水价政策提供依据.本文在物质平衡模型的基础上,提出了水平衡模型,进一步分解为 3 部门(工业、居民和废水处理)水平衡模型,并以 A 市为例,使用水平衡模型进行实证研究,以期为我国水价政策的制定、实施和完善提供参考.

1 水平衡模型

1.1 总量水平衡模型

现代经济系统包含能量转换、物质加工、最

终消费和废水处理 4 个部门,系统内部以及经济系统与自然环境之间,存在着水的流动关系^[24] (图 1).

自然环境中的水进入经济系统,经过加工、消费,一部分水成为废水直接进入自然环境;另一部分水进入含水产品,经过消费之后,排放进入环境.加工和消费过程产生的废水也可以循环利用(图 2).在一个封闭的(没有含水产品流入和流出)、没有水量净积累的经济系统中,在足够长的时间内,从自然环境进入经济系统的水量(取水量)必然大致等于从经济系统排入自然环境的水量(排水量).

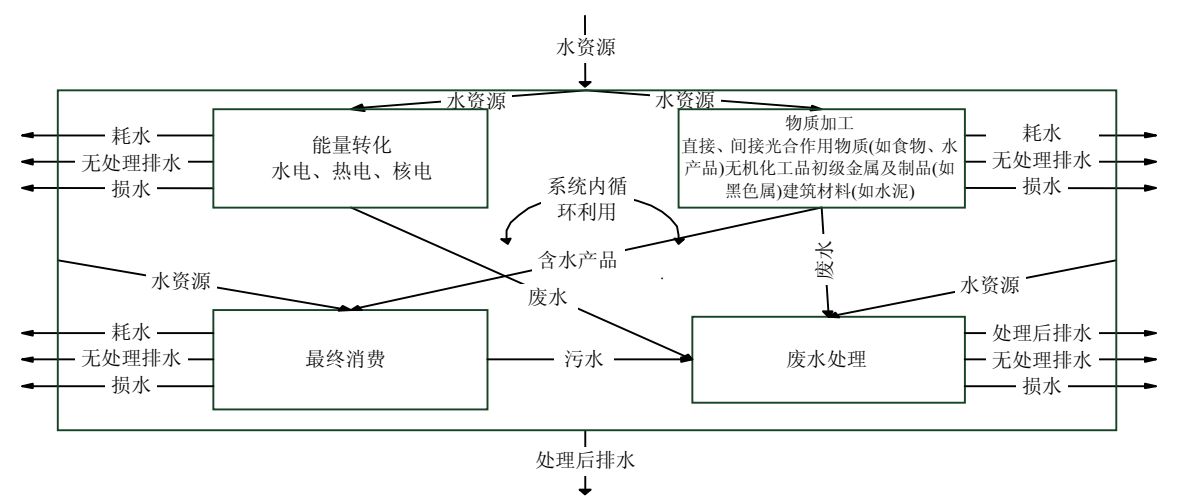


图 1 水平衡概念模型

Fig.1 Conceptual model of water balance

耗水、损水、无处理排水和处理后排水最终都由经济系统排入自然环境之中

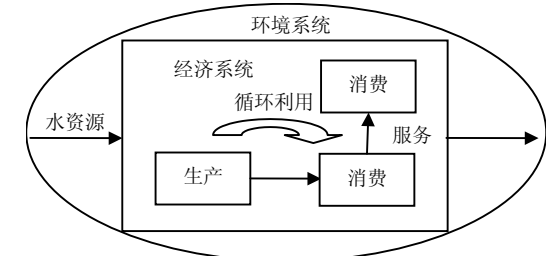


图 2 环境与经济系统的水流动关系

Fig.2 Water flows between environment and economy

如果经济系统的取水量和排水量超过自然环境水的可再生能力和环境容量,就会造成水资

源枯竭、环境污染和生态退化;提高水的循环水平和利用效率,可以减少经济系统对新水的需求量以及排入环境的废水量.然而,只有当水价高于循环、节约和治污的成本时,生产者和消费者才会循环、节约和治污.水价政策的有效性必须以严格监管为前提和基础.

具体而言,水平衡模型存在如下等量关系:

(1)排入环境的水可以分为耗水、损水、处理后排水和无处理排水(公式 1).

$$Q_s(t) = Q_o(t) = Q_h(t) + Q_l(t) + Q_d(t) + Q_u(t) \quad (1)$$

式中, Q_s 为取水量; Q_o 为排水量; Q_h 为耗水量,是

在输水、用水过程中,通过蒸腾蒸发、土壤吸收、产品带走、居民和牲畜饮用等多种途径消耗掉的水量; Q_1 为损水量,是在输水、供水、排水环节,由于管网跑水、冒水、漏水、滴水、渗水等造成的水量流失; Q_d 为处理后排水量,指经过废水处理系统处理后排入环境的废水; Q_u 为无处理排水量,指未经处理排入环境的废水。

(2) 一个开放的经济系统包括含水产品的流入与流出.在生产、消费、循环、储存水平不变的开放经济系统中,经过一段时间之后,取水量加上流入产品的含水量必然大致等于排水量与流出产品的含水量之和(公式 2)。

$$Q_s(t)+Q_1(t)=Q_o(t)+Q_2(t)=Q_h(t)+Q_1(t)+Q_d(t)+Q_u(t)+Q_2(t)$$

式中, Q_1 为流入产品的含水量; Q_2 为流出产品的

含水量。
如果含水产品在用水量中占的比重小,而经济系统规模较大,就可以忽略含水产品流入和流出对水量的影响.此时,公式(1)依然成立。

1.2 部门水平衡模型

根据经济系统的部门划分,可以分别建立工业、居民和废水处理部门的水平衡模型。

1.2.1 工业水平衡模型 假设生产、循环、储存水平不变,经过足够长的时间,工业部门的用水量必然大致等于排水量.工业部门用水来自两方面:天然水体和自来水厂;排入环境的水包括耗水、损水、处理后排水和无处理排水(图 3)。

工业水循环平衡模型的公式如式(3):

$$Q_{s-i}(t)=Q_{3-i}(t)+Q_{4-i}(t)=Q_{o-i}(t)=Q_{h-i}(t)+Q_{1-i}(t)+Q_{d-i}(t)+Q_{u-i}(t)$$

(3)

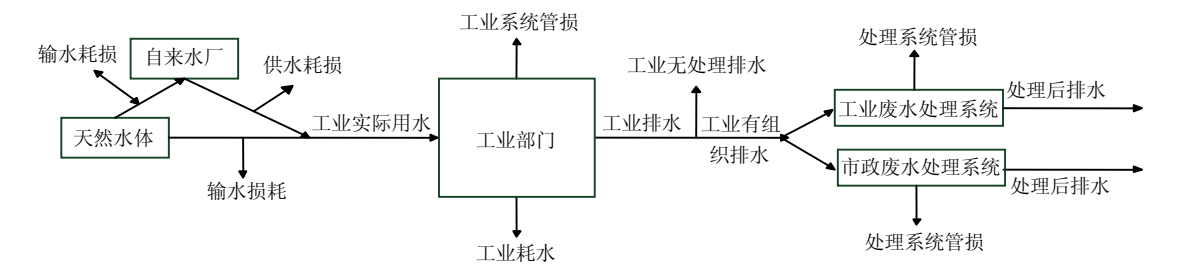


图 3 工业水循环平衡模型
Fig.3 Industrial water balance model

有组织排水指进入废水处理系统将要被处理的废水;处理后排水指废水处理系统处理后排放的废水

式中, Q_{s-i} 为工业用水量; Q_{3-i} 为取自天然水体的工业用水量; Q_{4-i} 为自来水厂提供的工业用水量; Q_{o-i} 为工业排水量; Q_{h-i} 为工业耗水量; Q_{1-i} 为工业损水量,在输水、供水环节,工业系统及废水处理系统中,由于管网跑水、冒水、漏水、滴水、渗水造成的水量流失; Q_{d-i} 为工业处理后排水量,包括经过工业内部与市政废水处理系统处理后排放的水量; Q_{u-i} 为工业无处理排水量。

根据上述工业水平衡模型,可以得到如下推论:
(1) 在生产、储存水平不变的情况下,提高水循环水平,既可以减少工业对新水的需求量(节水),又可以减少工业部门的废水排放量(减排)。

(2) 在生产、循环、储存水平不变的情况下,提高用水效率或降低损水率,可以减少工业对新

水的需求量,达到节水和减排的效果。
(3) 合理的工业水价具有节水和减排双重正向激励.当包含水资源费和排污费的工业水价高于循环利用和污染治理成本时,可以激励工业企业循环用水,减少新水取用量;可以激励企业治理污染,减少废水排放量。

(4) 严格监管可以减少工业无处理排水量,增加处理后排水量,有利于水环境的改善.否则,则是工业水价不仅无法起到正向激励作用,反而会产生负向激励,刺激企业增加无处理排水。

1.2.2 消费(居民)水平衡模型 对消费(居民)部门来说,假设消费、循环、储存水平不变,经过足够长的时间,居民的用水量必然大致等于排水量.消费用水由两部分构成:天然水体和自来水厂;消

费部门排入环境的水包括耗水、损水、处理后排水和无处理排水(图 4).

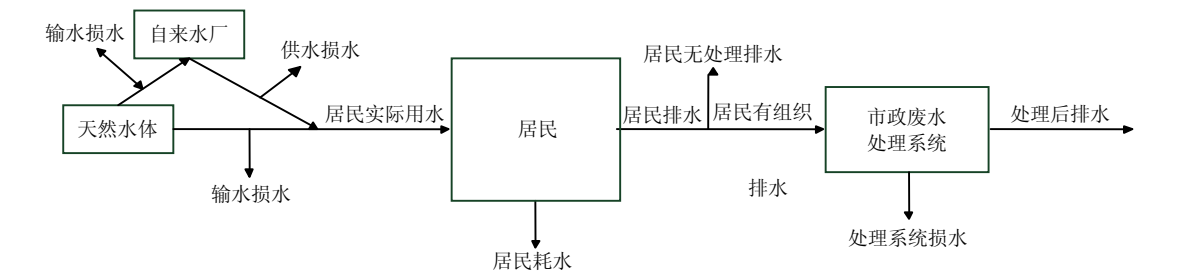


图 4 居民水平衡模型

Fig.4 Residential water balance model

消费(居民)水平衡模型的公式如式(4):
$$Q_{s-c}(t) = Q_{3-c}(t) + Q_{4-c}(t) = Q_{o-c}(t) = Q_{h-c}(t) + Q_{l-c}(t) + Q_{d-c}(t) + Q_{u-c}(t) \tag{4}$$
式中, Q_{s-c} 为居民用水量; Q_{3-c} 为取自天然水体的居民用水量; Q_{4-c} 为自来水厂提供的居民用水量; Q_{o-c} 为居民排水量; Q_{h-c} 为居民耗水量; Q_{l-c} 为居民损水量,在输水、供水环节及市政废水处理系统中,由于管网跑水、冒水、漏水、滴水、渗水等造成的水量流失; Q_{d-c} 为居民处理后排水量; Q_{u-c} 为居民无处理排水量.

根据上述消费(居民)水平衡模型,可以得到如下推论:

- (1)在消费、储存水平不变的情况下,提高水循环水平,可以减少新水使用量,达到节水效果,同时可以减少排放量,达到减排效果.
- (2)在消费、循环、储存水平不变的情况下,提高用水效率或降低损耗率,可以减少新水使用量,同时达到节水和减排的效果.
- (3)合理的居民水价具有节水和减排的正向激励.但与工业不同,居民基本生活用水量具有需求刚性,不会随着水价发生明显的变动.通过合理制定阶梯水价,能够减少居民奢侈用水和控制居民用水用于工商业.

(4)加强监管能够减少居民无处理排水量,增加处理后排水量,有利于水环境改善.

1.2.3 废水处理部门水平衡模型 在一段时间内,废水处理部门的进水量必然大致等于排水量.其中,废水处理部门的进水包括两部分:工业处理后排水和居民有组织排水,排水包括处理系统损水、再生水、处理后排水和无处理排水(图 5).

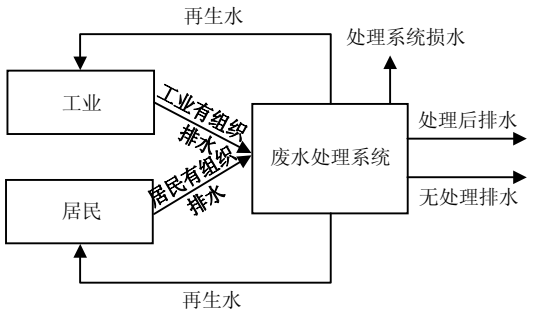


图 5 废水处理系统水平衡模型

Fig.5 Water balance model of sewage treatment

废水处理系统的水平衡模型公式如式(5):
$$Q_{s-t}(t) = Q_{5-i}(t) + Q_{5-c}(t) = Q_{o-t}(t) = Q_{r-i}(t) + Q_{r-c}(t) + Q_{l-t}(t) + Q_{d-t}(t) + Q_{u-t}(t) \tag{5}$$

式中, Q_{s-t} 为废水处理系统进水量; Q_{5-i} 为工业有组织排水量; Q_{5-c} 为居民有组织排水量; Q_{o-t} 为废水处理系统排水量; Q_{r-i} 为废水处理系统再生水量,包括供给工业的再生水(Q_{r-i})和供给居民的再生水(Q_{r-c}); Q_{l-t} 为废水处理系统损水量,处理系统管损造成; Q_{d-t} 为废水处理系统处理后排水量; Q_{u-t} 为废水处理系统无处理排水量

根据上述废水处理系统的水平衡模型,可以得到如下结论:

- (1)提高废水处理系统排水的再利用水平,可以同时减少经济系统从环境取水量和向环境排水量.
- (2)降低处理系统管损率,可以降低对环境的影响.
- (3)当且仅当再生水价格低于综合水价时,工业和居民才会购买使用再生水.

(4)对污水处理厂排放收费或者征税,不仅能激励污水处理厂达标排放,而且能够促使其对上游排放者即工业和居民的来水水质进行控制,或者通过价格传导机制将税费转嫁给企业或居民,提高其排放成本,实现达标排放.同时会激励居民和企业减少用水量,降低废水排放量.

(5)加强监管可以降低废水处理系统的无处理排水量,保证水价政策发挥收入和调节功能.

2 A 市水平衡模型的案例应用

2.1 A 市概况

A 市是一个区域中心城市,总面积 7029.48km²,总人口 486.74 万人,城镇化率 62.4%. 2009 年,A 市地区生产总值 2102.12 亿元,城镇居民人均可支配收入为 17158 元,农民人均纯收入 6065 元,财政收入 341.91 亿元.三次产业结构为 5.2:52.6:42.2.A 市是以制造加工业为主的新兴工业城市,也是全国重点缺水城市,随着经济发展,

用水量逐年增加,水资源量总体呈下降趋势.2009 年 A 市水资源总量为 17.6 亿 t,比 2005 年减少了 23.5%;人均水资源量 361.7t,为全国人均水资源量的 20%;用水量为 21.7 亿 t,其中工业用水量为 7.76 亿 t,居民生活用水量为 2.29 亿 t;用水缺口 4.1 亿 t.跨流域调水量为 3.99 亿 t,占地表水供水量的 19.4%.2009 年,A 市废水排放总量 2.15 亿 t,其中工业废水排放量 0.91 亿 t(含 0.71 亿 t 经过城镇污水处理厂处理排放的污水),生活污水排放量 1.45 亿 t^[25-27].

2.2 A 市水平衡模型

2.2.1 A 市工业水平衡模型 2009 年,A 市工业用水量 7.76 亿 t,其中 0.29 亿 t 来自自来水厂,其余 7.47 亿 t 直接取自天然水体.工业耗水量 3.17 亿 t,工业处理后排水量(包含火电厂废水)0.35 亿 t,工业废水进入城市污水处理厂处理后排水量 0.71 亿 t.计算得到,A 市工业损水量 2.7 亿 t,无处理排水量 0.83 亿 t(图 6).

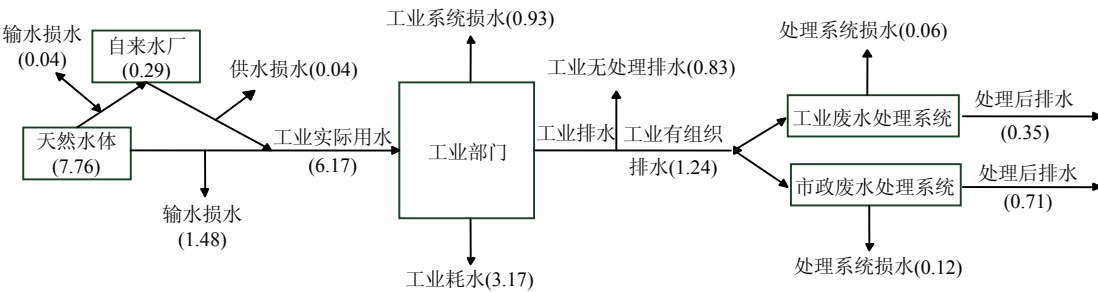


图 6 A 市工业水平衡模型

Fig.6 Industrial water balance model of city A

单位:亿 t;火电厂废水排放量根据 1.59t/MW 计算得到^[28];输水损耗率为 20%,供水管损率为 15%,工业系统管损率为 15%,处理系统管损率为 15%;工业无处理排水量=工业排水量-工业有组织排水量

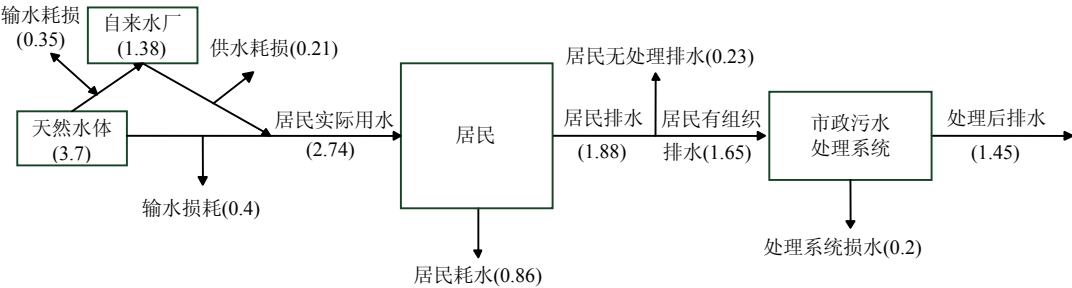


图 7 A 市居民水平衡模型

Fig.7 Residential water balance model of city A

单位:亿 t;输水损耗率为 20%,供水管损率为 15%,处理系统管损率为 15%;居民无处理排水量=居民排水量-居民有组织排水量

2.2.2 A 市居民(消费)水平衡模型 2009 年,A 市居民用水量 3.7 亿 t,其中 1.38 亿 t 取自自来水厂,其余 2.32 亿 t 直接取自天然水体.居民耗水量 0.86 亿 t,污水处理厂处理后排水量 1.45 亿 t.计算得到,A 市居民损水量 1.16 亿 t,无处理排水量 0.23 亿 t(图 7).

2.3 A 市水价政策

A 市自 2000 年以来调整了 5 次水价,分别是 2000 年、2002 年、2005 年、2007 年及 2010 年,其中 2002 年、2007 年均属单纯的污水处理费的调整,2010 年则是自来水费的调整,同时对居民生活用水实行阶梯水价制度.2010 年水价调整后,A 市的各类水价标准见表 1.

表 1 2010 年 A 市水价(元)
Table 1 Water price of city A in 2010 (yuan)

项目	自来水费	水资源费	污水处理费	到户价
居民生活	1.49	0.06	0.76	2.31
行政事业	1.705	0.06	0.80	2.60
工业用水	1.705	0.06	0.845	2.65
经营服务	1.705	0.06	1.30	3.03
特种用水	7.115	0.06	1.765	9.00

注:根据A市供水集团提供数据整理得到.居民生活用水只列了第 1 级阶梯

对工业企业来说,除了上述费用之外,还需缴纳排污费.根据国家的相关规定,A 市污水排污收费标准为 0.7 元/污染当量,对每一污水排污口的污染当量统计范围为前 3 项污染物的污染当量数之和.2009 年,A 市工业废水排放量为 0.2 亿 t,共计征收排污费 205 万元.污水处理厂处理废水 2.16 亿 t,征收污水处理费 2.2 亿元.工业和居民用水 11.46 亿 t,征收水资源费 1500 万元.

2.4 讨论

本部分利用水平衡模型核算 A 市工业和居民用、排水状况,评估水价政策的执行效果,表明: A 市工业用水量 7.76 亿 t,工业废水总排放量达到 1.89 亿 t,其中处理后排水量 1.06 亿 t,用水量与处理后排水量的比值(用排比)7.32:1;无处理排水量 0.83 亿 t,无处理排水在废水排放总量所占比重(无处理排水占比)43.9%.

A 市居民用水 3.7 亿 t,居民污水总排放量达

到 1.68 亿 t,其中处理后排水量 1.45 亿 t,用排比 2.55:1,无处理排水量 0.23 亿 t,无处理排水占比 13.7%.由此可见,工业用排比是居民的 2.9 倍,工业无处理排水量是居民的 3.6 倍,工业废水总排放量超过了居民生活污水总排放量.这表明 A 市工业无处理排水量大,违法排放严重.

根据 A 市水价标准,假定征收率为 80%.2009 年,A 市工业和居民用水量 11.46 亿 t,应征收水资源费 5501 万元,实际征收 1500 万元,少征收 4001 万元;工业废水排放总量 1.89 亿 t,扣除 0.71 亿吨污水处理厂处理后排水,应征收排污费 6608 万元,实际征收 205 万元,少征收 6403 万元;居民污水排放总量 1.68 亿 t,应征收污水处理费 10214 万元,实际征收 8816 万元,少征收 1398 万元.3 项合计,在现行水价标准下,2009 年,A 市少征收水费 11802 万元.

工业和居民损水量均较高,节水潜力大.A 市工业和居民用水在输水、供水和处理环节,损水量分别为 2.7 亿 t 和 1.16 亿 t,占工业和居民用水量的 34.8%和 31.4%.降低损水量将大幅度减少用水量,达到节水和减排的效果.

加强用水和排水监管是水价政策有效实施的基础和前提.监管不严导致 A 市不仅工业废水偷排严重,而且造成水费收入远低于应收水平,无法实现水价政策的收入和调节功能.

3 结论

3.1 提高水循环利用水平可以达到节水和减排的双重效果.但是,当水价水平低于循环利用成本时,除非有财政补贴,循环利用不可能自动实现.因此,水价政策要实现激励节水和减排的功能,必须达到一定的刺激力度,确保用水(包括排水)成本高于循环利用成本.

3.2 我国废水无处理排放量很高,而且工业的用排比和无处理排水量远高于居民.A 市的实证结果表明,工业用排比是居民的 2.9 倍,工业无处理排水量是居民的 3.6 倍.如果考虑工业的无处理排水,工业废水排放量(1.89 亿 t)将超过居民污水排放量(1.68 亿 t).这也表明工业废水排放监管亟待加强.

3.3 我国水价政策是基于水量征收的.对用水量和排水量监管不严,必然造成实际水费收入远低于应征水费收入,进而导致水价政策的调节和收入功能无法实现.A 市的案例分析表明,监管不严导致 A 市少征收水费 11802 万元.因此,有效的水价政策是建立在严格监管基础之上的.否则会适得其反,水价政策非但不能实现收入和调节功能,反而会由于违法收益提高,刺激偷采偷排,产生负向激励.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴(2011) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [2] 城市供水价格管理办法 [S].
- [3] Thanh N C , Biswas A K . Environmentally-sound Water Management [M]. Bombay Calcutta Madras: Oxford University, 1990:1-30.
- [4] 周乃晟,贺宝根.城市水文学概论 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1995:22-35.
- [5] CJ 41-1999 工业企业水量平衡测试方法 [S].
- [6] 常明旺等.工业企业水平衡测试、计算、分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007:25-40.
- [7] 郭生练,王国庆.半干旱地区月水量平衡模型 [J]. 人民黄河, 1994,(12):13-16.
- [8] 秦克景,李敏强.城市供水系统管网调度决策模型的研究 [J]. 自动化与仪表, 2006,(4):15-18.
- [9] 黄显峰,邵东国,魏小华.基于水量平衡的城市雨水利用潜力分析模型 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2007,40(2):17-20.
- [10] 赵风伟.宝鸡峡灌区耗水量变化对水量平衡要素的影响研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2006:41-45.
- [11] Mitchell V G, Mein R G, McMahon T A. Modelling the urban water cycle [J]. Environmental Modeling and Software, 2001, (16):615-629.
- [12] 李树平,余蔚茗.城市水量平衡模型分析与计算 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010,38(12):1767-1771.
- [13] 刘 妍,郑丕谔,李 磊.我国可持续发展水价制定的方法研究 [J]. 价格理论与实践, 2006,(1):35-36.
- [14] 傅 涛.城市水价是最为复杂的公共服务价格 [J]. 城乡建设, 2010,(1):69-70.
- [15] 周望军.中国水资源及水价现状调研报告 [J]. 中国物价, 2010,(3):19-23.
- [16] 傅 涛,张丽珍,常 杪,等.城市水价的定价目标、构成和原则 [J]. 中国给水排水, 2006,(6):15-18.
- [17] 李 怡,王莉芳,庄 宇.二部制水价定价模式研究 [J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2007,(5):553-556.
- [18] 李裕科.论水价构成中的成本因素问题 [J]. 价格理论与实践, 2010,(1):51-52.
- [19] 司 昱,李玉萍.基于 Ramsey 模型的城镇水价定价方法研究 [J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2010,(4):107-110.
- [20] 郑 昕.当前我国水资源费征收存在的问题及对策建议-基于福建省的分析 [J]. 价格理论与实践, 2009(5):40-41.
- [21] 汤嵘嵘.对我国城市水价定价问题的思考 [J]. 企业家天地, 2010,(2):109-110.
- [22] 张 波.建立合理的水价形成机制,促进水资源保护与合理利用 [J]. 国土与自然资源研究, 2008,(2):69-70.
- [23] 刘世庆,许英明.我国城市水价机制与改革路径研究综述 [J]. 经济学动态, 2012(1):91-95.
- [24] Ayres R U, Kneese A V. Production, consumption, and externalities [J]. American Economic Review, 1969,(3):282-297.
- [25] A 市水务局. 2009A 市水资源公报 [R]. A 市:A 市水务局与水文水资源局, 2010.
- [26] A 市统计局,国家统计局 A 市调查队.A 市统计年鉴-2010 [M]. A 市:安徽省政协印刷厂, 2010.
- [27] A 市环境保护局. 2009A 市环境统计公报 [R]. A 市:A 市环境保护局, 2010.
- [28] 孙 震.火电厂实施废水零排放的可行性探讨 [J]. 安徽化工, 2003,(2):33-34.

作者简介: 马 中(1954-),北京人,中国人民大学环境学院院长,教授,研究方向为环境经济与环境管理.发表论文 60 余篇.