

城市公共用水的节水和污水再生利用潜力分析

褚俊英^{1,2} 陈吉宁¹ 王 灿¹ 杜鹏飞¹

(1 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2 水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044)

摘要 城市公共用水的管理与需求控制是城市水资源可持续利用的必然要求。基于终端用水分析原理, 建立了公共用水部门节水与污水再生利用综合评估模型(MWUM 模型)。在此基础上, 以北京市为例, 分析了其公共用水潜力的结构、技术与经济特征。北京市公共各行业用水结构基本保持稳定, 机关用水所占比重较大; 节水率较大的宾馆和院校的单位节水成本最小, 是城市公共节水的重点领域; 污水再生利用的单位成本与节水成本具有可比性, 节水与再生水利用应统筹考虑。

关键词 节水 污水再生利用 潜力估算 公共用水 需求管理

Potential analysis on public water conservation and wastewater reclamation

Chu Junying^{1,2}, Chen Jining¹, Wang Can¹, Du Pengfei¹

(1. *Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China*; 2. *Engineering Research Center for Water Resources & Ecology, Ministry of Water Resource of P. R. China, Beijing 100044, China*)

Abstract: Management and consumption control for public water supply and wastewater reuse is essential to sustainable municipal water resources utilization. In this paper an established integrated model (MWUM model) based on end user analysis techniques to evaluate the water conservation and wastewater reclamation for public consumption is reported. Based on the model simulation, properties of those potentials for public consumption in Beijing are analyzed in details from structural, technical and economic aspects. Results show that currently the public water use structure in Beijing is stable, and among all the nine categories the water consumption for offices occupies the first. Hotels and schools have high water saving rates and low cost of conserved water. Cost of wastewater reuse lies in those of water saving of all categories, indicating that it is better to make intergrated decisions taking into account both of them.

Keywords: Water conservation; Wastewater reclamation; Potential estimation; Municipal water use; Demand management

0 概述

随着产业结构调整所带来的第三产业的迅猛发展, 城市公共用水逐渐成为城市生活用水的主要组成部分, 并直接影响到城市供排水以及污水处理等基础设施的规模^[1]。据统计, 在我国的北京和上海,

城市公共用水占生活用水比重高达 62.8% 和 63.7%^[2], 明显高于世界其他国家的主要城市。

通过与经济合作暨发展组织(OECD)国家情况的对比发现, 我国城市人均水资源量较小、人均收入较低, 而人均日大生活用水量却处于中等水平^[3], 这表明我国城市生活用水存在明显的浪费现象。随着科技进步所带来的节水高效新技术的研发与推广, 城市生活用水必然成为需水管理的重点领域, 并可

国家自然科学基金项目(70603018); 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403407)。

能导致原有的需水模式发生结构性变革。

鉴于公共用水的地位与作用,美国等发达国家开始关注公共用水节水潜力的评估,以便为其水资源管理新政策的制定与规划的实施提供必要的科学依据。潜力评估技术由传统的主观性较强、不确定性较大的用水定额指标法,逐渐转化以终端用水分析法或最终用水分析法(End Use Analysis, EUA)为主流的分析方法。该方法通过对居民家庭用水的详细调查,能够将用水量尽可能地细分到不同终端用水的层次^[4],能够对用水频率、效率与结构特征进行考察。在我国,由于数据、知识的限制,在公共用水节水潜力估算的领域中,还仅限于用水定额指标法,缺乏节水潜力估算的系统定量方法。

1 评估模型框架与结果

1.1 总体框架

为定量考察城市公共用水节水和污水再生利用的规律,弥补上述不足,本研究基于终端用水分析法,建立了城市公共用水模型,即 MWUM 模型。该模型的基本假设是:①城市各行业公共用水设施调查的数据具有代表性和准确性。这些数据主要来源于北京市节水办 1994 年对 80 家单位的调研^[7]和清华大学环境系课题组 2002 年对北京市 40 家单位水表的调查数据(调查时间 15 d,期间每隔 1 h 采集一次数据)。②各行业节水器具的最大市场渗透率为 100%。③各行业用水是经济理性的。

根据上述假设,MWUM 模型开发的基本思路是:基于终端用水分析方法,根据数据的可得性,采用多种手段将各行业的用水细分到终端用水层次上。通过这种细致的用水结构划分,从技术层次上考察不同行业的节水率、污水再生利用率及其相互作用关系,并探讨其相应的经济性特征。

在 MWUM 模型中,城市公共行业用水的细分结构如表 1 所示。城市公共用水分成宾馆、医疗、院校、餐饮、机关、科研、商业、文娱、城市建设与环境卫生(简称城建)等 9 个行业用水,各行业用水又进一步细分到大便器、小便器、水龙头、淋浴器、洗衣机、锅炉、空调等 7 个终端用水(对应不同的用水器具)。

1.2 技术特征

各行业的节水系数等于该行业所有终端的节水率之和与该行业总用水量之比,见式(1)。

表 1 MWUM 模型的基本结构

项目	宾馆 医疗 院校 餐饮 机关 科研 商业 文娱 城建											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
大便器	1	A					B					
小便器	2											
水龙头	3											
淋浴器	4	B										
洗衣机	5											
锅炉	6											
空调	7											
其他	8											

注:A代表设施统计法;B代表典型技术法;“其他”项是指绿化、路面洒水等用水,由于将在 POM 模型中单独进行处理,故 MWUM 模型没有考虑。

$$KSM_{k,t} = \frac{\sum_{h=1}^7 S_{k,h,t}}{Vm_{k,t}} \quad (k=1\sim 9, h=1\sim 7) \quad (1)$$

式中 $KSM_{k,t}$ —— k 行业第 t 年的行业节水系数;

$S_{k,h,t}$ —— k 行业 h 终端第 t 年的年节水量,亿 m^3/a ;

$Vm_{k,t}$ —— k 行业第 t 年的总用水量,亿 m^3/a ;

k, h ——分别为行业和用水终端的编号,具体参见表 1。

在已知各行业用水量的前提下,获得各行业节水量是计算节水率的关键。各行业节水量取决于该行业各器具的用水效率、使用频率特征、节水器具的用水效率和节水器具普及率等因素。依据数据的可得性和可靠性,本文主要采用设施统计法和典型技术法考察节水器具的扩散可能带来的节水量。

1.2.1 设施统计法

该方法主要基于现有器具用水效率、使用频率、节水器具的用水效率和市场渗透率的市场调研结果,考察将现有的传统器具替换为节水器具所带来的节水量。该方法适用于调研数据较多的行业及终端用水,如在本研究中,宾馆、医疗、院校、餐饮、机关和科研等 6 个行业的大便器、小便器、水龙头 3 种终端用水的节水潜力主要根据该方法计算。这些设施节水潜力计算的基准为节水型生活用水器具标准(CJ 164—2002)中所规定的用水效率,不考虑市场

上可得的最佳用水效率,见式(2)。

$$S_{k,h,t} = (\bar{U}_{k,h} - U_h^*) T_{k,h,t} \times 10^{-8} (k=1 \sim 6, h=1 \sim 3) \quad (2)$$

式中 $S_{k,h,t}$ —— k 行业 h 终端第 t 年的节水量,亿 m^3/a ;

$T_{k,h,t}$ —— k 行业 h 终端第 t 年的使用频率,亿次或亿 $\min/a$;

$\bar{U}_{k,h}$ —— k 行业 h 终端当前平均的用水效率, $m^3/次$ 或 $m^3/\min$;

U_h^* —— h 终端的理想用水效率, $m^3/次$ 或 $m^3/\min$ 。

各行业不同终端的平均用水效率 $\bar{U}_{k,h}$ 等于该终端所有类型器具用水效率 $\bar{U}_{k,h,s}$ 的加权平均值,权重为该行业不同终端各类型技术的市场渗透率 $MP_{k,h,s}$,见式(3)。

$$\bar{U}_{k,h} = \frac{\sum_{s=1}^b U_{k,h,s} MP_{k,h,s}}{\sum_{s=1}^b MP_{k,h,s}} (k=1 \sim 6, h=1 \sim 3) \quad (3)$$

式中 $MP_{k,h,s}$ —— h 终端 s 技术类型的市场渗透率;

$U_{k,h,s}$ —— k 行业 h 终端 s 技术类型的用水效率, $m^3/次$ 或 $m^3/\min$;

b —— h 终端对应的技术类型的总数。

大便器、小便器的使用频率等于职工、顾客或访问者使用该器具频率的总和。这三者的用水频率等于相应的总人数和人均使用次数的乘积,如式(4)所示。水龙头的使用频率假定等于大便器和小便器使用次数的总和,如式(5)所示。

$$T_{k,h,t} = 365 \times 10^{-8} (EA_{k,t} VA_{k,h} + EB_{k,t} VB_{k,h} + EC_{k,t} VC_{k,h}) (h=1 \sim 2) \quad (4)$$

$$T_{k,3,t} = T_{du} \sum_{h=1}^2 T_{k,h,t} \quad (5)$$

式中 $EA_{k,t}$ —— k 行业第 t 年的职工总数,亿人/ a ;

$EB_{k,t}$ —— k 行业第 t 年的访问者,亿人/ a ;

$EC_{k,t}$ —— k 行业第 t 年的顾客总数,亿人/ a ;

$VA_{k,h}$ —— k 行业 h 终端的职工用水频率,次/(人· d)或 $\min/(人 \cdot d)$;

$VB_{k,h}$ —— k 行业 h 终端的访问者用水频率,次/(人· d)或 $\min/(人 \cdot d)$;

$VC_{k,h}$ —— k 行业 h 终端的顾客用水频率,次/

(人· d)或 $\min/(人 \cdot d)$;

T_{du} ——每次洗手的水流时间, $\min/次$ 。

1.2.2 典型技术法

该方法主要根据案例或经验的用水技术(或技术组合)节水率和市场渗透率来计算节水量,适用于数据非常有限的行业。该方法计算的城市公共行业节水量等于各行业的终端节水系数、行业用水所占比例和行业用水总量的乘积,见式(6)、式(7)所示。

$$S_{k,h,t} = KSH_{k,h} KM_{k,t} Vm_t (k=1 \sim 9, h=4 \sim 7; \text{或 } k=7 \sim 9, h=1) \quad (6)$$

$$Vm_t = \sum_{k=1}^9 Vm_{k,t} \quad (7)$$

式中 $KSH_{k,h}$ —— k 行业 h 终端的节水系数;

Vm_t ——公共行业第 t 年的总用水量,亿 m^3/a ;

$KM_{k,t}$ ——第 t 年 k 行业用水占公共用水总量的比例系数。

在已知一定用水总量和行业用水结构的前提下,该方法关键在于计算各行业的终端节水系数 $KSH_{k,h}$ 。根据所选基准的不同,本文将城市公共用水中采用的典型技术法划分为三种类型:①国家标准法。与设施统计法类似,不同行业不同器具的节水率主要依据现有设施用水效率与 CJ 164—2002 中所规定的用水效率来确定,如全部行业的淋浴器及商业、文娱和城建行业的便器节水系数。②案例法。通过案例调研得到节水率水平,如各行业的洗衣和锅炉的节水系数。③行业标准法。采用国家或地方制定的用水行业标准作为基准,如所有行业的空调节水技术标准。

对于①、②类,各行业各器具的节水率为各行业节水技术的普及率、器具用水量占行业用水量的比重、技术节水系数的函数,见式(8)所示。

$$KSH_{k,h} = \frac{C_h WK_{k,h} (1 - MP_h)}{(1 - MP_h C_h)} (k=1 \sim 9, h=4 \sim 6 \text{ 或 } k=7 \sim 9, h=1) \quad (8)$$

式中 MP_h —— h 终端的节水技术普及率系数;

C_h —— h 终端节水技术的节水系数;

$WK_{k,h}$ —— k 行业 h 终端用水占该行业用水的比例系数。

对于③类,空调用水的节水率等于现状重复利

用率与标准的差距,如式(9)所示。

$$KSH_{k,7} = \frac{(100 - RR_{k,7})WK_{k,7}}{100 - RR^*} \quad (k=1 \sim 9) \quad (9)$$

式中 $WK_{k,7}$ ——空调用水占 k 行业用水的比例系数;

$RR_{k,7}$ —— k 行业空调用水的重复利用率, %;

RR^* ——空调用水重复利用率标准, %。

几乎全部的冲厕用水都可由再生水取代,因此各行业技术上可以实现的污水再生利用率等于各行业便器用水量占行业用水量的比重,如式(10)、式(11)所示。

$$KD1_{k,t} = WK_{k,t} \quad (10)$$

$$KD2_{k,t} = \frac{Vm_{k,t}WK_{k,t} - S_{k,1,t}}{Vm_{k,t}} \quad (11)$$

式中 $KD1_{k,t}$ —— k 行业第 t 年节水前便器的用水比例系数;

$KD2_{k,t}$ —— k 行业第 t 年节水后便器的用水比例系数。

1.3 经济性特征

对于节水器具的经济性,国际上通常的做法是计算单位节水成本(Cost of Conserved Water, CCW),即整个项目周期内,考虑时间价值的单位节水量或污水再生利用量所带来的成本。

在此基础上,将 CCW 按照从小到大的顺序排列,绘制单位节水成本和累计节水总量关系曲线,即节水供给曲线(Conservation Supply Curves, CSCs),以确定一定价格下经济可行的节水潜力及项目组合。该曲线产生于 20 世纪 80 年代的能源领域,是用于评估成本有效的节能措施的重要工具^[8],近些年来被扩展到节水领域的研究中。它基于费用/效益分析的基本原理建立,可用于区域节水项目的技术、经济评估。

本研究利用 CCW 方法计算节水和污水再生利用的单位成本,同时,在考虑节水和污水再生利用相互作用的基础上,绘制节水和污水再生利用的 CCW 与累计节水与和污水再生利用量相耦合的 CSCs。利用该曲线,我们可直观确定特定价格下经济可行的节水和污水再生利用潜力及其结构特征。根据费用/效益分析原理,只有行业水价(自来水与污水处

理费之和)高于节水器具更换和污水再生利用的单位增量成本时,该行业的节水和污水再生利用才具有经济可行性。

各行业节水或污水再生利用的 CCW_k 的计算见式(12)。类似地,总成本等于投资成本折旧与运行成本的总和。

$$CCW_k = \frac{AC_k}{\Delta W_k} = \frac{AS_k + \xi_k}{\Delta W_k} \quad (12)$$

式中 ΔW_k —— k 行业的节水量或污水再生利用量,亿 m^3 ;

AC_k —— k 行业节水或污水再生利用项目的总成本,亿元/a;

AS_k —— k 行业节水或污水再生利用项目投资成本的折旧,亿元/a;

ξ_k —— k 行业节水或污水再生利用项目的运行和维护费用,亿元/a;

CCW_k —— k 行业的单位节水或污水再生利用成本,元/ m^3 。

其中,投资成本的折旧采用在生命周期内等现值折旧的方法,如式(13)所示。对于污水再生利用项目,在数据可得的情况下,需要将污水处理厂和管网的投资成本在各自的生命周期内进行折旧。

$$AS_k = \frac{I_k R (1+R)^{Lf}}{(1+R)^{Lf} - 1} \quad (13)$$

式中 I_k —— k 行业节水项目的总投资,亿元;

Lf ——节水项目生命期, a;

R ——年利率。

2 北京市公共用水节水与污水再生利用的潜力分析

2.1 数据来源

MWUM 模型的数据主要来自市场调研、文献调研、专家判断、统计资料以及系统识别等,具体参见文献[9]。

2.2 公共用水的技术特征

城市公共用水的技术特征是指不考虑经济性和社会性因素的行业用水量、用水构成、节水率和污水再生利用率特征,包括:①城市公共用水不同行业用水的构成规律;②各行业节水器具替换所能实现的节水率;③各行业可能实现的污水再生利用率。

2.2.1 公共用水的构成规律

公共用水的构成规律是指公共用水不同行业的

用水构成、不同终端用水量的构成、不同行业不同终端用水量的构成规律。城市公共用水通常包括城市公共设施用水、城市建设用水和城市环境卫生用水三个部分。其中,城市公共设施用水包括宾馆、商业、餐饮、医疗、机关、学校、科研等行业用水;城市建设用水指城市建设临时施工用水;城市环境卫生用水包括绿化用水、道路用水、公共厕所用水以及消防用水等。城市公共用水在城市生活用水结构中占据较大的比重,例如北京市1999年城市公共用水量为4.45亿 m^3 ,占城市总用水量的34.5%,是城市生活用水量的63.1%,比1995年增长了9.44%。

(1) 不同行业的用水构成。统计数据表明除没有具体统计数据的其他行业外,机关、院校、宾馆、商业、科研和医疗行业用水量总量最大,它们的总用水量在1995和1999年分别为2.87和3.2亿 m^3 ,占城市公共用水总量的70.7%和72.1%,并呈现增长趋势。其中机关用水量所占比重最高、增长速度最快,1999年用水量为7879万 m^3 ,占城市公共用水的17.7%,比1995年增长了21%。其次为院校用水,1999年用水量占城市公共用水的15.5%,比1995年增加了17%。从整体上看,1995~1999年城市公共用水缓慢增加,行业的用水构成基本保持稳定,如图1所示。

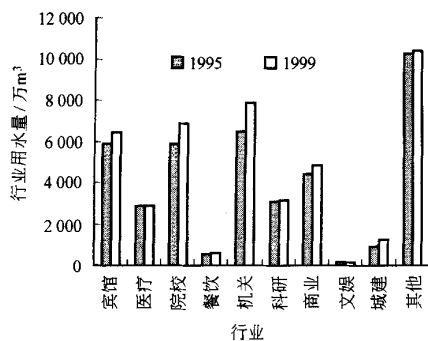


图1 北京公共用水各行业用水量

(2) 不同终端的用水量构成。根据MWUM模型终端用水分析法计算结果,除了没有具体统计数据的其他用水外,用水量最大的终端是大便器和锅炉,均为2000万 m^3 左右,占公共用水的4.6%~4.9%;其次为洗衣和水龙头用水,约占4%;淋浴器、空调和小便器用水所占比例相对较小,约3%。

(3) 不同行业各终端用水量的构成。1995和

1999年城市公共用水各行业不同终端的用水量构成差异不大。以1999年为例,院校集中了47.8%、69.8%和66.4%的大便器、小便器和水龙头用水量,机关集中了81.9%的空调用水量。淋浴用水主要分布在机关、宾馆、商业和医疗行业,洗衣用水分布在院校和宾馆行业,锅炉用水主要分布在宾馆、院校和机关。

2.2.2 行业节水器具替换的节水率

城市公共用水不同行业节水器具替换的节水率,是决定公共用水技术节水潜力的重要指标,主要受当前用水效率、节水器具的用水效率和未来市场渗透率的影响。当前用水效率取决于当前用水器具拥有情况、用水器具效率水平和器具使用频率等三方面因素。

2.2.2.1 现有器具用水效率

调研结果表明,北京市公共用水行业节水器具的市场渗透率较低,各行业用水量均高于CJ 164—2002规定限值。其中,大便器用水效率最低的行业是医疗、院校和宾馆,小便器和水龙头用水效率最低的是医疗、院校和餐饮行业。

2.2.2.2 不同行业的节水率

所谓节水率是指将现有用水器具替换为节水器具后所能带来的节水量占现有新鲜用水量的比重。MWUM模型的计算结果表明,1995年和1999年北京市将现有器具替换为满足国家用水效率标准的用水器具的节水率分别为8.9%和8%。

从行业构成上看,院校的节水率最大,1995年和1999年分别为29.6%和33.7%;其次为宾馆,分别为10.7%和11.5%;医疗、文娱和餐饮行业的节水率为9%~13%;其余行业的节水潜力较小。

从实现上述节水率的终端用水构成上看,小便器的节水率最大,为74%;其次是洗衣机,节水率为59%;水龙头和大便器的节水率为27.6%~33.5%;淋浴器节水率为15%~23.3%;空调和锅炉的节水率不足10%。以1999年为例,城市公共用水各终端的节水构成如图2。

2.2.3 行业的污水再生利用率

再生水应用于城市绿地浇灌、道路浇洒和洗车方面的情况,属于POM模型考虑范畴,本文不做讨论。本节只讨论MWUM模型再生水的主要应用途

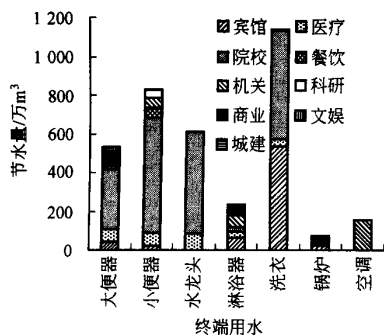
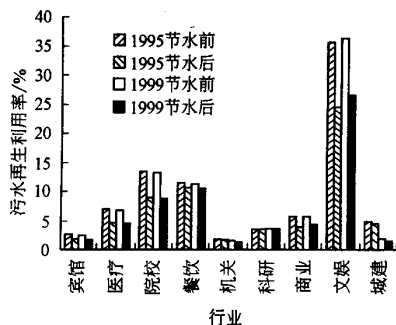


图2 1999年北京各公共行业各终端用水的节水量构成
径——应用于城市公共行业的冲厕。因此,在不考虑经济和社会因素的前提下,行业潜在的污水再生利用率等于便器用水在行业用水中所占的比重。

节水器具,特别是节水便器的使用,将降低便器用水在行业用水中的比重,也就是降低潜在的污水再生利用率。计算结果表明,在现有用水效率水平下,北京市城市公共行业1995年和1999年可实现的污水再生利用率分别为5.0%和4.3%,即2 018万m³和1 924万m³。如将现有便器全部更换为国家标准要求的节水便器,则潜在的污水再生水利用率将减少1%~2%,如图3所示。



节水前主要基于现有的用水效率水平,节水后是将现有用水器具替换为国家标准要求的节水便器

图3 北京市公共用水各行业污水可再生利用率

从行业的角度看,污水再生利用率最高的是文娱行业,1999年节水前为36.4%,节水后为26.6%。这主要是由于该行业的总用水量较小,而便器用水量所占比例相对较高。其次为院校和餐饮行业,1999年其污水再生利用率分别为10%和13%,其中由于院校总用水量较大,使得便器用水量为各行业之首;与文娱行业类似,餐饮行业的便器用水量较小。再次为商业、医疗和科研行业,污水再生利用率

约为3.5%~6.8%,其中,商业和医疗的便器用水量较大,仅次于院校。

2.3 公共用水的经济性

城市公共用水的经济性主要体现在以下两个方面:①不同行业的单位节水成本和污水再生利用成本特征;②考虑节水和污水再生利用耦合效应之后的城市公共用水的供给曲线。后者以前者为基础,它们是计算各地区节水和污水再生利用经济和社会可接受潜力的直接依据。

2.3.1 行业节水和污水再生利用的成本特征

城市公共用水不同行业单位节水成本(CCW)的计算结果如图4所示。其中,餐饮行业由于缺乏数据设定为其余行业的平均值。可以看出,节水潜力较大的宾馆和院校的单位节水成本最小;节水量中等的医疗行业单位节水成本最高;用水量最大、节水潜力中等的机关单位节水成本也为中等水平。城市公共用水不同行业单位节水成本从小到大的顺序为:宾馆<院校<科研<城建<机关<餐饮<商业<文娱<医疗。根据调研结果计算得到的再生水利用单位平均成本为2.21元/m³,大于宾馆饭店、院校、科研、城建、机关和餐饮行业的单位节水成本,小于商业、文娱和医疗行业的单位节水成本。

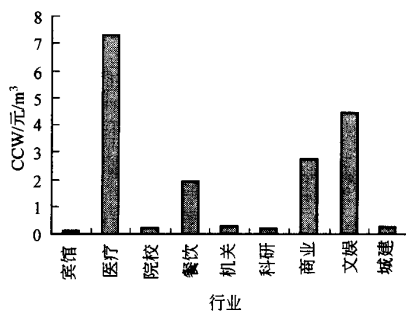
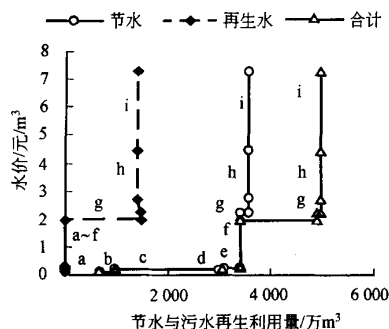


图4 北京市公共用水各行业的CCW结果

2.3.2 节水和再生水耦合的城市公共用水供给曲线

节水和污水再生利用供给曲线是评价城市公共行业节水和污水再生利用经济潜力的重要依据。由于节水器具的替换将影响便器用水量,进而影响污水再生利用量,因此,我们需要对不同情景下的节水和污水再生利用量进行计算。本研究借助情景分析方法设计了三种情景,即单纯节水器具替换情景、单纯污水再生水利用情景和同时进行节水器具替换和再生水利用情景。

在此基础上,在不同水价条件下,将节水器具更换、再生水利用单位成本低于水价的行业所对应的节水、再生水利用的潜力加总,可得到城市公共用水经济可行的节水和污水再生利用潜力,如图5所示。



a 宾馆 b 院校 c 科研 d 城建 e 机关
f 餐饮 g 商业 h 文娱 i 医疗
图5 1999年北京公共用水各行业节水和污水再生利用CSCs曲线

可以看出,城市公共用水经济可行的节水和污水再生利用潜力随着水价的变化有三个明显特征:

(1) 当水价较低时,随着水价的上涨,超过单位节水成本的行业逐渐增加,经济可行的节水潜力逐渐增大。

(2) 当水价高于再生水利用的单位成本时,再生水开始在各行业得到应用。此时,部分行业同时采取节水器具更换和再生水利用措施,例如节水成本较低的宾馆饭店和院校等;也有部分行业只采用再生水利用的方式,如节水成本较高的文娱和医药行业。

(3) 当水价高于成本最高的医药行业的单位节水成本时,所有行业的节水器具替换和再生水利用都是经济可行的。例如,当水价高于7.28元/ m^3 时,城市公共用水节水和再生水利用的潜力达到最大,1995年和1999年分别为5058万 m^3 和4966万 m^3 ,占总公共用水的12.4%和11.2%。

3 结论与建议

本文开发建立的综合评估模型(MWUM模型)基于调研数据,根据终端用水分析基本原理,可以对城市公共用水进行细致的结构分析,模拟不同行业的节水率和污水再生利用耦合作用的结果,并对结构、技术特征以及相应的成本有效性进行评估,可作为考察城市公共用水规律的重要分析工具。

基于上述综合模型,以北京市为案例,考察了其公共用水部门节水和污水再生利用的潜力。研究结论表明,北京市城市公共用水具有如下规律:

(1) 各行业用水结构基本保持稳定,机关用水所占比重较大;现有节水器具在公共用水行业中的普及率较低;节水与污水再生利用存在竞争关系。

(2) 节水率较大的宾馆和院校的单位节水成本最小;节水率居中的医疗行业单位节水成本最高;用水量最大、节水率中等的机关单位节水成本为较小。

(3) 城市公共用水污水再生水利用的单位成本大于宾馆、院校、科研、城建、机关和餐饮行业的单位节水成本,小于商业、文娱和医疗行业的单位节水成本。

参考文献

- 1 建设部综合财务司. 中国城市建设统计年报. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- 2 Chu J Y, Chen J N, Zou J. Perspectives on Urban Water Infrastructure in China for the 21st Century; SDMUWEIC Model. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2003, 12 (4): 470~480
- 3 Zhang H H. Residential water use; its implications for municipal water planning; a case study of Beijing. Sustainable Water Resources Managment in the Beijing-Tianjin Region; A Canada-China Collaborative Research Initiative project report, 2003
- 4 Maddison A. The world economy; a millennial perspective. OECD, 2001
- 5 White S. Demand management and integrated resource planning in Australia. Water Intelligence Online, 2002
- 6 Water Services Association of Australia. Urban water demand forecasting and demand management; research needs review and recommendations. Occasional paper, 2003
- 7 北京市城市规划设计研究院, 北京市城市节约用水办公室, 北京市自来水集团有限责任公司, 北京市地质工程勘察院. 北京市规划市区供水规划研究, 2001
- 8 Meier A K. Supply curves of conserved energy. Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-14686, 1982
- 9 褚俊英. 城市节水与污水再生利用的潜力分析; [学位论文]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 2004

✉ 电话: (010)68785610

E-mail: jchuoo@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2006-08-22