

城市生活用水指标计算模型

刘家宏^{1,2}, 王建华^{1,2}, 李海红^{1,2}, 李悦³

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044;

3. 河海大学 水文水资源与水利工程国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 随着城市化的发展和居民生活水平的提高, 城市生活用水量持续增加。遏制城市生活用水的过快增长成为经济社会用水调控的关键, 城市合理用水控制指标是开展城市节水的重要依据。本文通过分析城市生活用水的主要影响因子, 剖析了城市生活用水指标的演变机理, 建立了考虑气候、经济发展水平等因素的城市生活用水指标计算模型。基于我国南北不同气候带和不同经济发展水平的12个城镇的人均GDP、气温及现状用水定额等数据, 采用分组寻优的办法, 率定了4个主要参数的数值。率定的模型通过了全国31个主要城市用水指标的计算检验。结果显示, 本文所建立的模型能够较好地反映不同气候背景下、不同经济发展阶段的城市生活用水差异性, 可以作为城市生活用水指标的计算工具。

关键词: 水资源; 生活用水; 城市节水; 用水指标计算; 模型率定

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

1 研究背景

21世纪以来, 中国城市生活用水年均增长5%, 在所有用水类型中增长最快。2010年中国城市生活用水量达到462亿 m^3 , 占全国总用水量的7.7%, 未来随着城市化的发展和居民生活水平的提高, 城市生活用水量还将增加。城市生活及国民经济其他产业的用水量增加, 加速了水循环的二元演化历程^[1], 带来一系列生态、环境等负向效应。为此, 2011年中国实施了最严格的水资源管理, 要求在2015年将总用水量控制在6350亿 m^3 , 遏制城市生活用水的过快增长成为经济社会用水调控的关键。城市合理用水控制指标也是开展流域水资源配置, 确定跨流域调水量的重要依据^[2]。为了控制城市生活用水量, 我国在北京、天津等地开展了近300个城市的节水型社会建设试点, 试点经验表明, 居民生活的阶梯水价制度是促进城市节水的重要手段。阶梯水价制定中, 如何确定城市生活用水指标是关键。城市的生活用水指标与当地的气候条件、经济发展水平等有密切关系, 水资源管理领域的许多专家和学者对城市生活用水指标进行过深入的研究。Friedman^[3]调研了世界各地的居民生活用水量及组成(冲厕、洗澡、洗衣、做饭), 指出当前居民生活用水量从5.4~575L/d不等, 用水组成大致是冲厕45%、洗澡30%、洗衣20%和烹饪5%。居民生活用水量的差别如此巨大, 其关键影响因素为居民的收入水平和气候因素。Thomas^[4]认为一个人一天的合理用水量应该是100L/d左右。在不同的气候区, 由于气温不一样, 居民对洗澡、洗衣用水的需求量不一样, 因此居民的合理用水定额也会有所浮动。Angela等^[5]研究了西班牙马洛卡旅游度假区的用水量, 指出高端旅游度假区人均用水量最高, 其原因之一就是其私家花园的用水量占到了夏天总用水量的70%, 大众旅游度假区的花园用水量占30%, 城市居住区约占20%。除了气候和收入水平之外, 居民的节水意识也是影响用水量的一个重要方面。Rachelle等^[6]通过澳大利亚金海岸城132个家庭的用水观测和行为分析, 研究了

收稿日期: 2013-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51279208、51021066); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2006CB403401)

作者简介: 刘家宏(1977-), 男, 湖北钟祥人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: Liujh@iwhr.com

有无节水意识对最终生活用水量的影响。Peter 等^[7]对澳大利亚布里斯班城市资源消耗(水资源、能源、住房)的决定因素的半定量分析表明,用水量的决定因素主要取决于收入水平,个人节水意识对片区用水量的影响较小。

基于以上研究成果和认识,本文建立中国城市合理生活用水指标的定量计算模型,并收集中国主要城市的气温、人均GDP和节水方面的数据,对模型进行率定和验证。

2 城市生活用水指标计算模型

城市生活用水指标计算模型是确定一个城市、特定经济发展阶段居民合理用水指标的工具,是进行城市供水规划、开展节水型社会建设^[8]的重要依据。以往对生活用水的预测模型有分项预测法^[9]、区间S-模型^[10]、多元线性回归模型^[11]和ARIMA模型^[12]等。这些模型主要反映了经济发展水平对居民生活用水量的影响,没有体现气候差异的影响。本文建立的城市生活用水指标计算模型增加了气候因子的输入。对已开展节水型社会建设的试点城市,还分析了节水意识的影响。

2.1 气候因子 气候因子对城市生活用水的影响主要体现在两个方面:一是天气炎热,人容易出汗,增加了洗澡的用水量;二是天气炎热,衣服容易被汗湿,增加了洗衣用水量。除此之外,天气炎热的地区,居民的饮用水量也会增加,但由于饮用水量所占的比例极小,这种影响可以忽略不计。根据徐大海等人^[13]的研究成果:人体感觉舒适的环境温度为22~24℃,具体数值随着风速和湿度有所波动;人体感觉热的起始温度为24~27℃,不同湿度和风速下略有差异;在35℃以上的高温时段,受热中暑人数与风速并无很大关系,而与温、湿度相关较大。基于此研究成果,本文确定25℃为热感的起始温度。一般日最高气温超过25℃,洗澡用水量就会急剧增加,甚至每天都会洗一次澡。洗一次澡的用水在中国约为40~120L,在西方发达国家可达到140L^[3]。在低于25℃的日子里,洗澡的频率会大大降低,假设 n 天会洗一次澡,这样低于25℃的时段,洗澡用水量平均为炎热天气的 $1/n$ 。洗衣的频率与洗澡的频率大体一致,一般洗澡之后都会换洗衣服。于是可以简化得出洗澡、洗衣用水随气温变化的计算公式为:

$$W_{\text{Bath}} + W_{\text{Laundry}} = \frac{T_{\text{hot}}}{365}(B+L) + \frac{1}{n}\left(1 - \frac{T_{\text{hot}}}{365}\right)(B+L) \quad (1)$$

式中: W_{Bath} 为人均洗澡用水量; W_{Laundry} 为人均洗衣用水量; T_{hot} 为当地一年中超过25℃的天数; B 为一次洗澡的用水量; L 为一次洗衣的用水量; B 和 L 随着经济发展水平变化,是人均GDP的函数。

式(1)是一个简化后的公式,认为气温高于25℃时,洗衣和洗澡用水每天发生一次;气温低于25℃时,洗衣和洗澡用水平均每 n 天发生一次。实际情况与假定可能有些出入,但在计算全年的人均生活用水量时,按照上述两段函数做简化处理,不会有太大偏差。此外,由于南北方的湿度和风速有差异,同样是25℃,湿度小、风速大的地方热感低,湿度大、风速小的地方热感高,全国采用一个阈值计算,可能出现北方合理洗衣、洗澡用水量系统偏大,南方系统性偏小的问题。将来具体操作时需要根据区域的风速和湿度情况,上下调整,以确定热天的日数(即 T_{hot})。

2.2 经济发展因子 随着经济社会发展水平的提高,居民的生活水平也相应提高,居民人均生活用水也会相应增加。英国的人均生活用水指标为278L/d,美国的人均生活用水指标更是高达575L/d^[3]。我国经济发展水平的地区差异较大,各城市的人均生活用水指标随着经济发展水平而不同。针对全国主要城市的调研显示,城市的人均生活用水指标随着人均GDP的增加而增加,当人均GDP在5 000~25 000元/(人·年)时,增速尤为明显,当人均GDP超过40 000元/(人·年)时,人均生活用水指标增长变得较为缓慢。左其亨^[10]提出了人均生活用水量随经济发展水平的增长曲线区间S-模型。采用反正切函数来描述人均生活用水量随人均GDP的增长曲线。本文沿用这一思路,构建人均生活用水指标随人均GDP的变化函数,即:

$$f(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{x-3}{\alpha}\right) \quad (2)$$

式中： x 为自变量，代表人均GDP，万元/(人·年)； $f(x) \in (0, 1)$ ，代表了不同经济发展水平下，城市人均生活用水的变异系数； α 为常量，为伸缩系数， α 越大，表示人均生活用水随人均GDP的变化越缓慢，反之亦然。

参照式(2)模式，构建洗澡、洗衣用水随人均GDP变化的函数如下：

$$B = B_0 + \Delta B \cdot f(x) \quad (3)$$

$$L = L_0 + \Delta L \cdot f(x) \quad (4)$$

式中： B_0 为一次洗澡的基本用水需求； ΔB 为随经济发展水平波动的洗澡用水需求； $f(x)$ 为人均生活用水指标随人均GDP的变化函数； L_0 为一次洗衣的基本用水需求； ΔL 为随经济发展水平波动的洗衣用水需求。

2.3 节水意识 在城市生活用水方面，节水意识和节水措施主要影响的是冲厕用水。安装6L或9L的抽水马桶，对冲厕用水量的影响较大。在家庭内部将洗衣、洗菜、洗脸的灰水收集起来冲厕，也可以节省很多水资源。对人均水资源丰富的国家来说，不习惯用家庭的灰水替代冲厕用水，所以Peter等^[7]认为在澳大利亚个人节水意识对居民用水量的影响较小。我国人均水资源短缺，节水意识对城市生活用水的影响比较显著，节水比例在0%~40%范围内波动，在下面的计算过程中引入节水水平因子 γ 来表征公众节水意识和节水型社会对城市生活用水定额的影响。考虑到节水水平因子 γ 直接计算困难，在实际应用中，用现状用水定额除以没考虑节水的理论用水定额来反算因子 γ 值。按照上述方法计算的 γ 值越小，说明节水潜力越小，节水水平越高，反之亦然。

2.4 计算方程 城市生活用水定额主要包括冲厕用水 W_{Toilet} 、洗澡用水 W_{Bath} 、洗衣用水 $W_{Laundry}$ 和烹饪用水 $W_{Kitchen}$ 4个部分。城市人均生活用水定额 W_L 的计算公式如下：

$$W_L = W_{Toilet} + W_{Bath} + W_{Laundry} + W_{Kitchen} \quad (5)$$

考虑到城市家庭的抽水马桶普及率达到100%，马桶的型号和次用水量基本确定，不随气候因子和经济发展因子而改变，在不考虑家庭灰水冲厕的情况下， W_{Toilet} 可以视为一个常量。烹饪用水占城市生活用水的比例低，且对气候和经济发展水平不敏感，也可以视为常量。即上式可简化为：

$$W_L = W_{Toilet} + W_{Bath} + W_{Laundry} + C \quad (6)$$

式中， $C = W_{Toilet} + W_{Kitchen}$ ，是一个常量。根据Friedman等^[3]人的研究成果，现状冲厕用水约占45%，烹饪用水约占5%，因此 C 值约为当前中国城市平均用水定额的一半，即为70L/d。

综合式(1)，式(6)有：

$$W_L = 70 + \left[\frac{T_{hot}}{365} + \frac{1}{n} \left(1 - \frac{T_{hot}}{365} \right) \right] (B + L) \quad (7)$$

将式(3)、式(4)代入式(7)，可得：

$$W_L = 70 + \left[\frac{T_{hot}}{365} + \frac{1}{n} \left(1 - \frac{T_{hot}}{365} \right) \right] (B_0 + L_0) + \left[\frac{T_{hot}}{365} + \frac{1}{n} \left(1 - \frac{T_{hot}}{365} \right) \right] \cdot f(x) \cdot (\Delta B + \Delta L) \quad (8)$$

式中，令 $BL_0 = B_0 + L_0$ ， $\Delta BL = \Delta B + \Delta L$ ，并将式(2)代入整理可得：

$$W_L = 70 + \left[\frac{T_{hot}}{365} + \frac{1}{n} \left(1 - \frac{T_{hot}}{365} \right) \right] \times \left[BL_0 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{x-3}{\alpha} \right) \right) \cdot \Delta BL \right] \quad (9)$$

式(9)即为本文建立的城市生活用水指标计算模型，模型参数 BL_0 、 ΔBL 、 α 、 n 通过模型的率定来确定。

3 模型的率定

模型率定问题一般可转化为参数寻优问题，大型复杂参数优化问题常用的算法是遗传算法^[14-15]，本文模型需要率定的参数较少，仅有 BL_0 、 ΔBL 、 α 、 n 等4个主要参数，物理意义和取值范围明确，

因此采用更加简便易操作的分组寻优方法。为率定模型，本文调研了我国南北不同气候带、不同经济发展水平的12个城镇的人均GDP(城镇人均可支配收入)、气温和现状用水定额等数据。其中，现状用水定额来自水资源公报或水资源统计年报；小城镇的人均可支配收入摘自当地的政府工作报告；地级以上城市的人均GDP查自百度文库(<http://wenku.baidu.com/view/af3043da7f1922791688e82a.html>)；气温数据查自天气网(<http://lishi.tianqi.com/>)。

表1列出了12个调研城镇的相关数据及五5种主要参数取值组合下的模型计算值。率定结果显示， $BL_0=70$ 、 $\Delta BL=100$ 、 $\alpha=3$ 、 $n=5$ 是5组参数中最佳的参数组合，率定计算的平均相对误差为6.5%，基本满足用水定额计算的需要。率定模型的模拟值与调研值的差异见图1。从图1和表1中可以看出率定模型的计算值与调研值符合较好，其中7个城镇的模拟误差在5%以内，3个城镇的模拟误差在5%~10%之间，只有2个城镇的模拟误差在10%以上。误差最大的是仪陇县，模拟值偏小14.9%，这主要是因为仪陇县处于富水区，用水方式较为粗放，与其说是模拟值偏小，不如说是仪陇县现状人均生活用水量偏高，要抓紧开展节水型社会建设。另一个计算误差超过10%的城市是上海，计算值比实际值偏高12.1%。主要原因是上海市一直十分重视城镇生活节水，现状用水定额低于计算的合理用水定额，节水水平较高。

表1 调研的12个城镇的人均GDP、气温、现状用水定额数据及模型率定结果

调研城镇	人均GDP/元	气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数/(d/a)	现状用水定额/(L/d)	不同参数组合下模型计算的理论用水定额/(L/d)				
				$BL_0=80$	$BL_0=70$	$BL_0=70$	$BL_0=70$	$BL_0=80$
				$\Delta BL=120$	$\Delta BL=100$	$\Delta BL=100$	$\Delta BL=100$	$\Delta BL=120$
				$a=2$ $n=5$	$a=2$ $n=5$	$a=3$ $n=5$	$a=4$ $n=3$	$a=4$ $n=5$
河北承德平泉县	5 298*	112	90	85	84	93	105	103
江西省会昌县	5 840*	201	110	92	91	103	116	118
重庆开县汉丰区	6 856*	138	100	89	87	97	110	109
四川南充仪陇县	8 953*	115	111	89	88	97	109	107
安徽阜阳	9 497*	145	100	93	91	101	113	113
湖南永州冷水滩区	13 153*	175	120	103	99	110	122	124
浙江舟山普陀区	32 570†	138	140	148	137	135	144	144
浙江慈溪	47 964†	150	173	190	172	162	169	171
武汉	56 367†	148	170	201	181	171	178	180
上海	73 297†	133	155	206	185	176	187	187
广州	83 495†	228	225	270	239	228	230	246
苏州	87 607†	132	180	211	189	182	194	195
残差的方均根值				26	16	9	12	14
平均相对误差				18.8%	11.3%	6.5%	8.9%	10.0%

*代表2007年城镇人均可支配收入，摘自当地政府工作报告；†代表2010年城市人均GDP，来自百度文库<http://wenku.baidu.com/view/af3043da7f1922791688e82a.html>。

4 模型的验证和讨论

本文收集了全国31个主要城市2010年的水资源公报和各省公布的生活用水定额等数据；从百度文库(<http://wenku.baidu.com/view/af3043da7f1922791688e82a.html>)中摘录了地级以上城市的人均GDP；从天气网(<http://lishi.tianqi.com/>)查询了各个城市2010年的历史气温信息，统计了当年高于25℃的天数。用率定的模型计算了各个城市的理论用水指标，将现状用水定额除以理论模拟值得到了本文2.3节提出的节水因子 γ 。模拟值和调研值的对比结果见图2和表2。

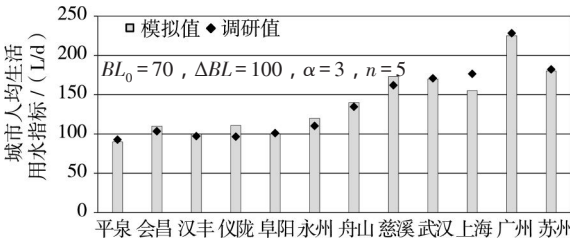


图1 模型参数率定结果

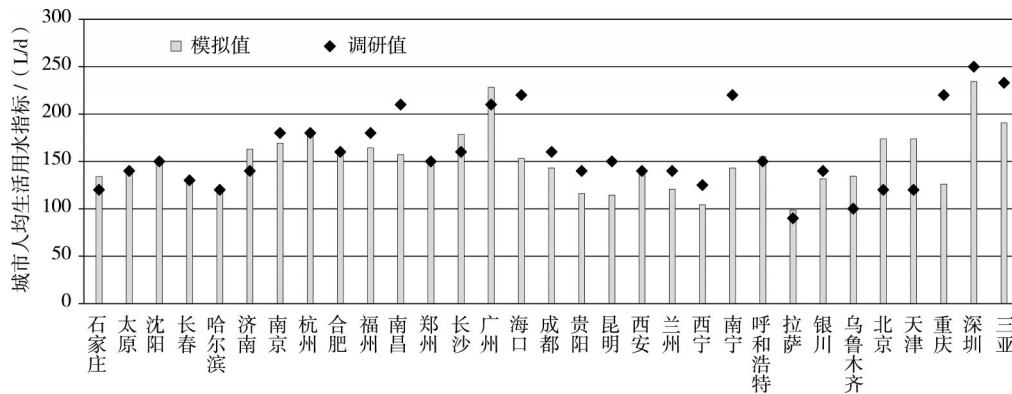


图2 模型验证时的模拟值和调研值对比

表2 全国31个主要城市的人均GDP、气温、现状用水定额数据及模型验证结果

城市	2010年人均GDP/万元	气温高于25℃的天数/(d/a)	现状用水定额/(L/d)	理论模拟值/(L/d)	节水因子 $\gamma = \frac{\text{现状用水定额}}{\text{理论模拟值}}$
石家庄	33 462	131	120	134	0.90
太原	42 318	105	140	138	1.01
沈阳	61 891	98	150	154	0.98
长春	43 363	83	130	132	0.99
哈尔滨	34 467	86	120	122	0.98
济南	57 394	127	140	163	0.86
南京	62 593	132	180	169	1.06
杭州	68 340	141	180	177	1.02
合肥	47 396	146	160	160	1.00
福州	43 121	176	180	164	1.09
南昌	43 770	153	210	157	1.34
郑州	46 402	127	150	151	0.99
长沙	64 551	150	160	179	0.90
广州	83 495	228	210	228	0.92
海口	28 861	235	220	153	1.44
成都	39 518	130	160	143	1.12
贵阳	25 941	107	140	116	1.20
昆明	32 965	65	150	114	1.31
西安	38 280	117	140	137	1.02
兰州	30 430	99	140	121	1.16
西宁	28 446	45	125	104	1.20
南宁	27 027	212	220	143	1.54
呼和浩特	65 084	97	150	155	0.97
拉萨	31 981	12	90	99	0.91
银川	38 295	100	140	132	1.06
乌鲁木齐	42 151	94	100	134	0.74
北京	70 253	131	120	174	0.69
天津	70 403	131	120	174	0.69
重庆	27 367	139	220	126	1.74
深圳	91 823	232	250	234	1.07
三亚	33 672	325	233	191	1.22

从图2和表2中可以看出：在不考虑节水因子的情况下，有17个城市的模拟值和实测值的差别在10%以内，占有城市样本数的55%。差别较大的城市有济南、南昌、海口、成都、贵阳、昆明、

兰州、西宁、南宁、乌鲁木齐、北京、天津、重庆和三亚 14 个城市；其中调研值大于实测值($\gamma > 1$)的有南昌、海口、成都、贵阳、昆明、兰州、西宁、南宁、重庆和三亚 10 个城市，尤其是重庆、南宁、海口、南昌、昆明和三亚偏高较多，在 20% 以上，重庆偏高达 74%。调研值小于实测值($\gamma < 1$)的有济南、乌鲁木齐、北京和天津 4 个城市，北京、天津偏小的比例最大，达 31%。从上面的分类分析可以看出，现状人均用水指标偏高的城市大多位于南方丰水区或靠近大江大河等水源获取比较便利的地区，这些城市由于传统用水方式的惯性和水资源供给压力较小，用水较为粗放，人均用水指标偏高。换一个角度看，就是这些城市的节水潜力较大，今后在减污减排的压力推动下，节水潜力将逐步释放为现实的节水效果。现状用水指标低于模拟值的 4 个城市(济南、乌鲁木齐、北京、天津)都是节水型社会建设的试点城市，全部位于严重缺水的地区，在强化节水的背景下，城市人均生活用水指标明显低于模型计算值，这也说明这些城市的节水水平较高，进一步开展生活节水的潜力有限。本文建立的模型看似只正确模拟了 55% 的城市生活用水指标，但它揭示了另外 45% 的城市的节水潜力和节水水平。模型的模拟结果反映了气候、经济发展水平对城市人均生活用水指标的影响，模型计算值可以理解为特定气候、经济背景下的城市合理生活用水指标，可作为城市阶梯水价制定的标准。通过与现状用水定额对比反演出来的节水因子 γ 揭示了城市的节水水平和节水潜力，可以作为节水型社会建设进一步推进的依据和考核的指标。

5 结论

城市生活用水是未来国民经济用水增长中最活跃的因素，本文在分析城市生活用水指标及其影响因子的基础上，建立了考虑气候、经济发展等因子的城市生活用水指标计算模型。并收集了我国南北不同气候带、不同经济发展水平的 12 个城镇的人均 GDP、气温和现状用水定额等数据，采用分组寻优的办法，率定了 4 个主要参数的数值。率定的模型通过了全国 31 个主要城市用水指标计算的检验，计算结果和调研值的差别在 10% 以内的城市占 55%，其余 45% 中，有 32% 是现状用水定额高于模拟值，13% 是现状用水定额低于模拟值。现状用水定额高于模拟值的城市大多处于富水地区，用水粗放，节水潜力较大。现状用水定额低于模拟值的城市全部位于严重缺水地区，节水水平高，进一步节水的潜力有限。从模拟偏差较大的城市的具体情况分析可知，本文计算的城市生活用水指标考虑了经济发展水平和地域气候差异的合理用水指标，可作为城市阶梯水价制定的定额标准。模型虽然在与现实的拟合程度上并不完美，但是对比其调研值和模拟值得到的比例因子 γ 揭示了城市的节水水平和节水潜力，可以作为节水型社会建设进一步推进的依据和考核的指标。

参 考 文 献：

- [1] 贺华翔,周祖昊,牛存稳,等. 基于二元水循环的流域分布式水质模型构建与应用[J]. 水利学报, 2013, 44(3): 284-294.
- [2] 彭少明,王浩,王煜,等. 泛流域水资源系统优化研究[J]. 水利学报, 2013, 44(1): 10-17.
- [3] Friedman A. Water Efficiency[M]//Fundamentals of Sustainable Dwellings, Island Press, Washington, USA, 2012: 169-182.
- [4] Thomas V C. Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy[M]. John Wiley & Sons, England, U K., 2009.
- [5] Angela H, Thomas S. Urban and tourist land use patterns and water consumption: Evidence from mallorca, balearic islands[J]. Land Use Policy, 2011(28): 792-804.
- [6] Rachelle M W, Rodney A S, Kriengsak P, et al. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption[J]. Journal of Environmental Management, 2011(92): 1996-2009.
- [7] Peter N, Denny M. The determinants of urban resource consumption[J]. Environment and Behavior, 2012, 44

(1):107-135.

- [8] Chen J F , Wang H M , Yang W . Research on water-saving society construction evaluation based on grey incidence model[Z]//In Yu Y , Yu Z , and Zhao J (Eds .) :CSEEE 2011 ,Part I ,CCIS 158 ,2011 :397-402 .
- [9] 王大哲 . 城市生活用水量预测方法探讨[J] . 西安建筑科技大学学报 ,1995 ,27(4) :360-364 .
- [10] 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 ,39(3) :351-354 .
- [11] 孙勇 . 我国城市人均综合用水量预测方法研究[D] . 上海 :同济大学博士学位论文 ,2008 .
- [12] 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 ,31(10) :97-101 .
- [13] 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 ,11(4) :430-439 .
- [14] 武新宇 , 程春田 , 赵鸣雁 . 基于并行遗传算法的新安江模型参数优化率定方法[J] . 水利学报 ,2004 ,35(11) :1-8 .
- [15] 王旭 , 雷晓辉 , 蒋云钟 , 等 . 基于可行空间搜索遗传算法的水库调度图优化[J] . 水利学报 ,2013 ,44(1) :226-34 .
- [16] 刘本希 , 廖胜利 , 程春田 , 等 . 库群长期优化调度的多核并行禁忌遗传算法[J] . 水利学报 ,2012 ,43(11) :1279-1286 .

A mathematic model for rational domestic water demand considering climate and economic development factors

LIU Jia-hong^{1,2} , WANG Jian-hua^{1,2} , LI Hai-hong^{1,2} , LI Yue³

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin ,

China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100038 , China ;

2. Research Center for Water Resources and Hydro-ecological Engineering , Ministry of Water Resources , Beijing 100044 , China ;

3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The urban domestic water consumption has grown by 5% a year on average in China since 2000 , which is the fastest growth compared with other water demands. The domestic water demand will continually increase with the development of economy , urbanization and the improvement of living standards. To curb the excessive growth of water demand for human beings , it is of importance to control the water demands in households. Implementation of the price ladder system based on the water use quota is a main measure to promote the water saving in household. The key issue is how to calculate the rational domestic water demand for cities with different economic development level. This paper describes the development of a mathematic model for calculating the rational domestic water demand. The model considers climate factors , economic development factors , and water-saving awareness. Four main parameters of the model were calibrated by grouping optimization approach based on datasets from 12 cities located in the north and the south of China. The basic data for calibration includes gross domestic product (GDP) per capita , daily temperature , quota of domestic water demand , etc. The model has been verified in 31 main cities , which are distributed throughout the main climatic zones of China. The results show that this model can reflect the differences of domestic water demands under different climate conditions and different stages of economic development. It also reveals the difference of water-saving awareness in different cities. The developed model can be used as a computing tool to determine the rational domestic water demand in cities.

Key words : water resources ; domestic water ; water-saving ; water use quota ; model calibration

(责任编辑 : 王成丽)