分布式城市需水预测模型

栾勇¹, 刘家宏^{1,2*}

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

* 联系人, E-mail: liujh@iwhr.com

2017-01-05 收稿, 2017-01-26 修回, 2017-02-06 接受, 2017-04-28 网络版发表

国家自然科学基金委员会优秀青年科学基金(51522907)和国家自然科学基金(51279208)资助

摘要 城市需水过程和城市土地利用单元的类型密切相关, 不同建设用地类型对水资源的需求强度具有显著差异. 本研究基于8类城市建设用地与3类主要城市需水过程的空间关系建立了分布式城市需水预测模型. 以厦门市为对象进行模型的应用研究, 通过PEST软件(parameter estimation)率定了建设用地单元上的需水参数, 分析了参数的合理性, 预测了厦门市2020年城市的需水总量及其空间分布. 结果表明厦门市2020年的城市需水总量将达到36657万吨, 比2014年增长24.17%; 居民用地和工业用地的需水强度大于其他建设用地类型, 厦门岛内居民用地的需水强度远大于厦门市其他行政区居民用地的需水强度. 厦门市城市建成区需水量的空间分布与人口密度具有很好的相关性, 不同用地类型上需水强度差异明显.

关键词 分布式城市需水预测模型, 城市建设用地, 土地利用单元, PEST, 需水强度

城市需水量预测在城市供排水系统规划及城市综合发展规划中具有重要意义^[1]. 城市需水量的预测受到诸多不确定性因素的影响^[2], 根据不同的预测模型得到的预测结果相差较大. 目前, 国内常用的需水预测方法较多^[3], 主要可以分为水量指标法、概率统计法及系统工程模型等方法, 其中系统工程模型预测城市需水量时, 根据模型结构主要分为神经网络模型和灰色预测模型及系统动力学模型.

水量指标法应用较早, 左其亭^[4]研究提出了人均生活用水量预测的区间S型模型, 认为人均生活用水量与当地社会经济发展水平有一定联系, 呈现S型曲线关系. 刘家宏等人^[5]研究提出了考虑气候和收入水平差异的城市生活用水指标计算模型. 人均需水量指标具有时空差异性, 需水量的预测结果差异性较大^[6].

概率统计法与系统工程模型方法理论基础较为成熟, 应用也较为广泛, 相关学者已做了大量的研究

工作. 张志果等人^[7]建立了基于恩格尔系数的生活用水量预测模型和基于霍夫曼系数的工业用水量预测模型; 张雪花等人^[8]在社会-经济-环境复杂系统的基础上应用系统动力学模型对秦皇岛市城市需水量进行了预测; 傅金祥等人^[9]在传统灰色模型的基础上构建了灰色系统残差模型进行城市需水量预测, 提高了灰色模型方法的模拟精度; 魏雪梅等人^[10]将BP神经网络模型和模糊神经网络模型应用于天津市城市需水量的预测中, 结果显示在相关因素数据比较齐全时, 模糊神经网络模型能得到更好的模拟结果.

传统的城市供排水和综合发展规划通常采用水量指标法进行城市需水预测. 采用的用水指标包括人均用水定额、建设用地用水定额及万元GDP用水定额, 其中人均用水定额法及万元GDP用水定额得到的是总需水量数据, 通常只能达到区级尺度; 建设用地用水定额考虑到了城市需水的空间分布不均匀性

引用格式: 栾勇, 刘家宏. 分布式城市需水预测模型. 科学通报, 2017, 62: 2770–2779

Luan Y, Liu J H. A distributed model for urban water demand prediction (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 2770–2779, doi: 10.1360/N972016-01154

问题,能够得到各类建设用地的需水量数据.用水定额通常通过查询当地用水标准或者参考周围经济发展相似的城市的用水标准并结合社会发展因素确定.采用的用水定额具有较多主观性,可能无法反映城市各用水单元的真实用水水平.

概率统计方法是基于概率统计分布、回归分析、相关分析及因子分析等的统计学方法^[11],系统工程模型方法的本质是基于时间序列模型和模型结构参数的方法,两种方法进行城市需水量预测时,相对缺乏实质的空间物理参数,得到的需水量结果形式较为单一,缺乏基于空间分布的城市需水量结果,限制了城市需水预测结果在城市供排水系统规划中的应用.

本文在对城市用水单元与城市用水类型间的空间关系分析的基础上,建立了城市建设用地与城市基本用水类型间的空间耦合,并根据城市用水量空间分布规律,通过合理假设,建立基于土地利用参数、人口参数及需水参数的土地利用单元尺度的分布式的城市需水预测模型.

建立的分布式城市需水预测模型通过建立基于土地利用及人口的需水参数并对其进行率定验证,解决了传统水量指标法的主观性缺点.该模型建立了城市建设用地与城市基本用水类型间的空间耦合,改进了传统需水预测模型的结构模糊及需水量结果缺乏空间分布的缺陷,获得基于空间分布的城市需水量预测结果及需水强度预测结果,能够为城市供排水系统规划及城市综合发展规划提供更为全面的需水信息.

1 模型与方法

1.1 模型原理

城市需水根据水资源使用功能可以分为4类,分

别为生产运营用水、公共服务用水、居民家庭用水、消防及其他用水^[12].城市建设用地按照土地用途分为8类,分别为工业用地、公共管理与公共服务用地、居住用地、物流仓储用地、商业服务与设施用地、道路交通设施用地、公共设施用地、绿地与广场用地^[13].城市需水过程和发生该需水过程的城市建设用地间具有明显的空间相关性,不同建设用地类型上发生的需水过程间存在显著差异,相同建设用地类型上发生的需水过程间存在相似性.由于公共管理与公共服务用地、公共设施用地上发生的需用水过程之间有很大的相似性,将建设用地类型中的公共管理与公共服务用地、公共设施用地合并,列入新增的公共用地.合并后的7类城市建设用地与4类城市需水过程间的空间关系如表1所示.

城市发展过程中,逐渐形成了人口与用地类型间的空间关系,以及需水特征与用地类型间的空间分布规律.综合考虑人口、用地类型、需水特征的空间分布规律及其相关性,模型构建时做以下3个假设:(1)工业中主导支柱产业集中的城市中,工业用地单元用水过程相似、厂房建筑的容积率差异较小,公共服务用水特征土地利用单元上,用水过程相似、用水建筑的容积率差异较小,假设城市单元上生产运营用水及公共服务用水与相应的土地利用面积存在线性关系;(2)忽略城市居民间生活用水的差异,假定居民家庭用水与居民用地单元上的常住人口存在线性关系;(3)城市消防及其他用水的需水过程和城市人口密度、建筑密度、环境因子及高危产业分布相关^[14],发生城市消防及其他用水过程的建设用地具有偶然性,难以建立消防及其他用水的需水过程于建设用地单元的空间关系,无法通过分布式的城市需水预测模型进行计算,考虑消防及其他用水的时

表1 基于土地利用的城市需水过程类型划分

Table 1 Classification of urban water demand process based on land use

建设用地类型	生产运营用水	公共服务用水	居民家庭用水	消防及其他用水
工业用地	√			√
公共用地		√		√
居住用地			√	√
物流仓储用地	√			√
道路交通设施用地		√		√
绿地与广场用地		√		√
商业服务与设施用地		√		√

空随机性建模时暂时忽略. 在满足假设的前提下, 根据城市总体规划中土地利用单元建立分布式城市需水量预测模型的基本方程如下:

$$V_{ri} = Q_{1i}S_{1i} + Q_{2i}S_{2i}, \quad (1)$$

$$V_{ui} = Q_{3i}S_{3i} + Q_{4i}S_{4i} + Q_{5i}S_{5i} + Q_{6i}S_{6i}, \quad (2)$$

$$V_{li} = Q_{DW}M_{7i} = Q_{DW}S_{7i}\rho_i r_i, \quad (3)$$

式(1)中, V_{ri} 为土地利用单元的生产运营用水, Q_{1i} 与 Q_{2i} 分别为土地利用单元上的工业用地与物流仓储用地的需水参数, S_{1i} 与 S_{2i} 分别为土地利用单元上的工业用地与物流仓储用地的面积; 式(2)中, V_{ui} 为土地利用单元的公共服务用水, Q_{3i} , Q_{4i} , Q_{5i} 及 Q_{6i} 分别为土地利用单元上的公共用地、道路交通设施用地、绿地广场用地、商业服务与设施用地的需水参数, S_{3i} , S_{4i} , S_{5i} 及 S_{6i} 分别为土地利用单元上公共用地、道路交通设施用地、绿地广场用地、商业服务与设施用地的面积; 式(3)中, V_{li} 为土地利用单元上的居民生活用水, M_{7i} 为土地利用单元上的人数, S_{7i} 为土地利用单元上的居住用地, ρ_i 为单位建筑面积的人数, r_i 为居住用地的容积率, Q_{DW} 为人均生活需水量参数. 人均生活需水量参数采用左其亭^[4]提出的区间S型模型的方法进行计算, 其计算方程如下:

$$Q_{DM} = a \arctg(GDP - b) + c, \quad (4)$$

式中, GDP 为城市人均生产总值, a , b , c 为区间S型模型的基本参数, 参数可以利用历年生活需水量及

GDP 确定.

1.2 模型结构

根据模型的本构关系, 基于城市建设用地的土地利用单元, 设计模型的结构框图如图1所示.

分布式城市需水预测模型包含3层, 即参数层、结构层和结果层. 在参数层内设置土地利用单元的土地利用参数、人口参数和需水参数, 并将参数层的参数输入到模型的结构层; 在结构层内经过模型计算得到城市需水量结果, 包括城市总需水量(不包括消防及其他用水)及空间分布, 将结果存入模型的结果层, 在结果层内进行模型验证.

1.3 参数率定

模型参数中, 土地利用参数和人口参数可以通过城市统计年鉴获得, 不同用地类型的需水参数通过参数率定得到. 具体操作时使用PEST软件^[15,16]确定优选参数组, 将率定后的参数输入分布式城市需水预测模型, 用于预测未来城市的需水量及其分布.

2 实例分析

2.1 数据来源与分析

模型采用通过统计年鉴获得的厦门市2004~2014年共11年的城市用水量数据、土地利用数据及人口数

图1 分布式城市需水预测模型结构框图

Figure 1 Structure diagram of distributed model for urban water demand prediction

据作为构建模型的基础数据,并通过参数率定获得各土地利用单元的需水参数,用于预测厦门市2020年的城市需水量。用于预测厦门市2020年需水量的人口数据及土地利用单元数据来源于厦门市的总体规划。鉴于城市用水的高保证性,本研究认为城市用水量即为其合理的需水量。由于城市消防及其他用水的总量有很大的随机性,难以通过分布式城市需水预测模型进行模拟,因此本研究暂不考虑该项用水需求。将城市生产经营用水、公共服务用水、居民家庭用水3种城市用水数据作为模型参数率定与验证的基础数据。

为验证模型的合理性,选取2004~2013年作为模型的率定期,并选取2014年作为需水预测模型的验证期。

2.2 参数率定分析与验证

在需水预测模型应用前,利用PEST软件率定了需水预测模型在2004~2013年的需水参数,率定后的需水参数如表2所示。

工业用地与商业服务设施用地上发生的水资源需求强度高,物流仓储用地、绿地与广场用地及道路交通设施用地水资源需求强度相对较低。率定后的需水参数中,工业用地与商业服务设施用地的需水参数远大于物流仓储用地、绿地与广场用地及道路交通设施用地的需水参数,率定的参数结果符合实际情况。利用率定后的需水参数构建需水预测模型对

厦门市2004~2014年的需水量进行模拟,模拟结果如图2所示。

率定期内(2004~2013年),利用分布式需水预测模型模拟得到的各分类需水量的相对误差都在8%以内,模拟的总需水量数据的误差都在10%以内,模拟精度满足城市需求预测的要求。将率定的参数应用于验证期内(2014年),模拟得到各分类需水量结果的相对误差也都在8%以内,模型计算得到的人均生活用水量数据及工业万元GDP用水量数据的相对误差也在8%以内。率定期及验证期内各类需水量结果的相对误差如图3所示。

由于缺乏2015~2019年的需水量数据,需要利用2004~2014年的需水量数率定的参数预测2020年的城市需水量数据,时间跨度6年。为验证参数的时变性,选取了2009~2013年的需水量数据对2014年的需水量

表2 率定后的需水参数

Table 2 Water demand parameters

城市需水类型	土地利用类型	需水参数(cm)
生产运营用水	工业用地	122.00
	物流仓储用地	5.10
公共服务用水	公共用地	27.00
	道路交通设施用地	1.00
	绿地与广场用地	2.86
	商业服务设施用地	100.00

图2 率定期(2004~2013年)与验证期(2014年)3种需水类型的实际值与模拟值

Figure 2 Actual values and simulated values of three types of water demand in the calibration period (2004–2013) and a validation period (2014)

图3 率定期及验证期内模拟结果的相对误差

Figure 3 The relative error of simulation results in calibration and validation

数据进行预测, 其结果与利用2004~2013年的需水量数据预测相比: 两种数据模式率定得到的各类需水参数的差异相差均在5%以内, 前者的预测结果更优, 通过两种数据模式预测得到的各分类需水量预测结果与实际值的相对误差均在3%以内. 结果表明, 需水参数客观上具有一定的时变性, 但这种时变性的影响相对其他预测方式较小, 利用2004~2013年的需水量数据率定得到的参数对厦门市2020年城市需水量进行预测, 其预测结果是可靠的.

2.3 城市需水量预测

利用2004~2013年的需水量数据对分布式城市需水预测模型进行率定得到一组优选参数, 用于厦门市2020年城市需水量预测. 其中, 居民家庭生活用水的需水参数和建设用地面积无直接空间关系, 其他6类建设用地的需水量参数的空间分布如图4所示.

将2020年厦门市规划建设用地的土地利用参数、需水参数及人口参数输入到分布式城市需水预测模型, 获得厦门市2020年各分类需水量. 其结果如表3所示.

居住用地单元的居民家庭生活用水量数据除了和单元的面积有关外, 还和居住用地单元的容积率有关. 容积率为建筑面积与建设用地单元面积的比值. 为获得厦门市2020年城市需水量的分布式结果, 需要获得厦门市2020年建成区内居住用地的建筑面

积数据. (1) 现有居民用地单元: 主要位于厦门岛内及海沧区, 利用SPOT-6卫星影像数据^[17]获得居民用地单元居民楼单层建筑面积, 实地测量居民用地单元居民楼的层数, 二者相乘获得居民用地单元的建筑面积; (2) 规划居民用地单元: 主要位于厦门市集美区、同安区及翔安区, 建筑面积按照规划居住用地单元的容积率乘以居住单元面积计算. 获得厦门市2020年规划建成区内居住单元的建筑面积分布如图5所示.

利用获得的厦门市2020年居住用地单元的建筑面积数据, 可以获得基于居民用地单元的居民家庭生活用水量数据, 与模型模拟得到的其他用水类型数据叠加得到厦门市2020年城市需水量的空间分布如图6所示.

根据土地利用单元的需水量数据, 绘制厦门市2020年土地利用单元的需水量-建设用地面积级配曲线及需水强度分布图, 结果分别如图7和8所示.

2.4 预测结果分析

通过分布式城市需水预测模型预测得到了基于土地利用单元的厦门市2020年城市需水量数据及土地利用单元的需水强度数据.

(i) 需水量结果. 预测得到的厦门市2020年的生产运营用水相比2014年减少了17.4%, 公共服务用水相比2014年增加了133.6%, 居民家庭生活用水相比2014年增加了36.2%, 总的用水增加了24.2%. 生

图4 分布式城市需水预测模型建设用地(居民用地除外)需水参数

Figure 4 Water demand parameters of construction land (excluding residential land) in distributed urban water demand prediction model

表3 厦门市 2020 年各类需水量预测值

Table 3 Predication value of water demand of Xiamen in 2020

用水类型	2020年预测值(万吨)	2014年统计值(万吨)	变化百分比(%)
生产运营用水	9893	11979	-17.4
公共服务用水	6883	2947	+133.6
居民家庭生活用水	19883	14596	+36.2
总需水量	36657	29522	+24.2

产运营用水的减少可能是因为2020年工业用地的减少；公共服务用水的增长可能是因为2020年公共用地增长迅速；居民家庭用水的增长主要受到城市常住人口增加及GDP增长带来的人均生活用水量的增长。同时2020年生产运营用水及公共服务用水的比例相由2014年的59.4%增长到73.0%。由于公共服务用水及居民家庭生活用水的水质要求要高于生产运营用水，2020年厦门市城市供水系统将同时面临水量及水质保障的挑战。

(ii) 需水强度结果。预测得到的厦门市2020年土地利用单元的需水强度差异明显，呈现厦门岛内远高于岛外的空间分布特征，其可能的原因是岛内

的人口密度要远高于岛外。此外，土地利用单元中居民用地、工业用地、商业服务设施用地的需水强度也远高于其他建设用地类型，高强度需水的建设用地单元呈现集中的分布，需水强度的分布差异增加厦门市局部地区供水负荷及相应的供水难度，为城市供水的科学调度带来调整。

3 结果与展望

本文利用城市需水过程和城市土地利用单元的空间联系建立了基于土地利用单元的分布式城市需水预测模型，通过土地利用单元需水参数的率定，实现了城市需水量的分布式预测。模型预测的需水量

图 5 厦门市 2020 年居住用地单元建筑面积分布图
Figure 5 The distribution of residential area of Xiamen in 2020

图 6 厦门市 2020 年预测城市需水量分布图
Figure 6 The distribution of urban water demand of Xiamen in 2020

图7 厦门市2020年预测城市需水量-建设单元面积级配曲线
Figure 7 The grading curve of simulated urban water demand unit area of Xiamen in 2020

结果表明到2020年,厦门市城市总需水量的增加及公共服务用水、居民家庭生活用水比例的增加将对厦门市城市供水系统水量水质的保障带来严峻挑战,需水强度的预测结果表明到2020年,城市需水强度的差异将可能增加厦门市的供水难度。

本文建立的分布式城市需水预测模型的需水参

数具有空间分布特征,模型验证的结果表明该模型需水参数的时变性较小,能够稳定提供基于土地利用单元的城市需水预测结果,结果精度较高,能够反映城市人口及城市功能区的空间分布对城市需水量的影响;根据分布式的城市需水预测结果,能够计算得到土地利用单元尺度下的城市需水强度分布图,可以为城市供排水管网的规划改造提供更为全面的需水量和需水强度信息。

然而,理想的分布式模型对模型数据及参数的尺度要求严格^[18,19],需要基于土地利用单元尺度的土地利用参数及人口参数,目前可以获得的参数的空间分辨率有限,只能获得7类建设用地的土地利用参数,未来仍需要更多的研究以获取土地利用单元尺度下的土地利用参数和人口参数,提高分布式城市需水预测模型的预测精度。此外,本文建立的分布式需水预测模型的线性结构较为简单,虽然反映出了城市需水过程和城市土地利用单元的空间联系并获得了较为理想的预测结果,但是这并不能表明城

图8 厦门市2020年预测城市需水强度分布图
Figure 8 The distribution of simulated urban water demand intensity of Xiamen in 2020

市需水过程和城市土地利用单元的空间联系一定为线性关系,未来仍需要对城市各建设用地类型进行更多的机理研究,以改进和优化分布式需水预测模型的结构,获得更为准确的城市需水量数据。

参考文献

- 1 Bao C, Fang C L. Quantitative research of water resources constraint on urbanization in arid area of northwest China: Taking Wuwei and Zhangye cities in Gansu Province as a case (in Chinese). *J Desert Res*, 2007, 27: 704–710 [鲍超, 方创琳. 西北干旱区水资源约束城市化进程的定量辨识——以甘肃省武威、张掖市为例. *中国沙漠*, 2007, 27: 704–710]
- 2 Sanders T G, Yevjevich V. Urban water demand. In: *Water Supply Systems*. Berlin: Springer, 1996. 15: 7–17
- 3 Yin X K. Urban Water Demand Forecasting (in Chinese). Beijing: China Architecture & Building Press, 2006 [尹学康. 城市需水量预测. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006]
- 4 Zuo Q T. Interval S-model for forecasting per capita domestic water consumption (in Chinese). *J Hydraul Eng*, 2008, 39: 351–354 [左其亭. 人均生活用水量预测的区间 S 型模型. *水利学报*, 2008, 39: 351–354]
- 5 Liu J H, Wang J H, Li H H, et al. A mathematic model for rational domestic water demand considering climate and economic development factors (in Chinese). *J Hydraul Eng*, 2013, 44: 1158–1164 [刘家宏, 王建华, 李海红, 等. 城市生活用水指标计算模型. *水利学报*, 2013, 44: 1158–1164]
- 6 Parandvash G H, Chang H. Analysis of long-term climate change on per capita water demand in urban versus suburban areas in the Portland metropolitan area, USA. *J Hydrol*, 2016, 538: 574–586
- 7 Zhang Z G, Shao Y S, Xu Z X. Prediction of urban water demand based on Engel index and Hoffmann coefficient (in Chinese). *J Hydraul Eng*, 2010, 41: 1304–1309 [张志果, 邵益生, 徐宗学. 基于恩格尔系数与霍夫曼系数的城市需水量预测. *水利学报*, 2010, 41: 1304–1309]
- 8 Zhang X H, Zhang H W, Zhang B A. Application of system dynamics approach to urban water demand forecasting and water resources planning (in Chinese). *China Water Wastewater*, 2008, 24: 42–46 [张雪花, 张宏伟, 张宝安. SD 法在城市需水量预测和水资源规划中的应用研究. *中国给水排水*, 2008, 24: 42–46]
- 9 Fu J X, Pan H B, Ma X G. Comparison and application of grey residual model and filling model in water demand prediction (in Chinese). *Water Wastewater Eng*, 2008, 34: 111–113 [傅金祥, 潘海滨, 马兴冠. 灰色残差模型与递补模型对比及在城市需水量预测中的应用. *给水排水*, 2008, 34: 111–113]
- 10 Wei X M, Zhang S Y. The study on the urban water demand forecasting methods (in Chinese). *J Hebei Univ Tech*, 2003, 32: 75–79 [魏雪梅, 张世英. 城市需水预测方法研究. *河北工业大学学报*, 2003, 32: 75–79]
- 11 Zhang X F. Study on forecasting method of city demand for water (in Chinese). *J Taiyuan Univ Tech*, 2015, 31: 159–161 [张兴芳. 城市需水量预测方法的研究. *太原理工大学学报*, 2015, 31: 159–161]
- 12 Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Chinese National Standard: Urban Water Supply Engineering Planning (in Chinese). Beijing: China Architecture Building Press, 1999 [中华人民共和国住房和城乡建设部. 中华人民共和国国家标准: 城市给水工程规划规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999]
- 13 Wang K, Zhao M, Lin J, et al. The standard of urban land classification and construction land planning (in Chinese). *Constr Sci Tech*, 2015, 10: 43–45 [王凯, 赵民, 林坚, 等. 城市用地分类与规划建设用地标准. *建设科技*, 2015, 10: 43–45]
- 14 Fan J, Du K, Zhou M, et al. Calculation of municipal fire water consumption considering environmental factors (in Chinese). *Low Temp Archit Tech*, 2016, 38: 32–34 [范江, 杜坤, 周明, 等. 考虑环境因子的市政消防用水量计算. *低温建筑技术*, 2016, 38: 32–34]
- 15 Shu X J, Chen Y B, Huang F H, et al. Application of PEST in the parameter calibration of WetSpa distributed hydrological model (in Chinese). *J China Hydrol*, 2010, 29: 45–49 [舒晓娟, 陈洋波, 黄锋华, 等. PEST 在 Wet Spa 分布式水文模型参数率定中的应用. *水文*, 2010, 29: 45–49]
- 16 Cheng X G, Zhang J, Gong H L. HSPE hydrologic simulation and parameter uncertainty in a semi-arid and semi-humid area (in Chinese). *Acta Sci Circumstant*, 2014, 34: 3179–3187 [程晓光, 张静, 宫辉力. 半干旱半湿润地区 HSPF 模型水文模拟及参数不确定性研究. *环境科学学报*, 2014, 34: 3179–3187]
- 17 Yang J H, Guo L, Sun J B, et al. Extraction method for increasing construction land with SPOT-6 image (in Chinese). *Geomat World*, 2014, 21: 54–58 [杨冀红, 郭蕾, 孙家波, 等. 利用 SPOT-6 影像提取新增建设用地的方法研究. *地理信息世界*, 2014, 21: 54–58]
- 18 Cao W H, Qi W, Guo Q C, et al. Distributed model for simulating runoff yield in small watershed (in Chinese). *J Hydraul Eng*, 2003, 9: 48–54 [曹文洪, 祁伟, 郭庆超, 等. 小流域产汇流分布式模型. *水利学报*, 2003, 9: 48–54]
- 19 Niu Z G, Li B G, Zhang F R, et al. A distributed model of reference evapotranspiration based on the DEM (in Chinese). *Adv Water Sci*, 2002, 13: 303–307 [牛振国, 李保国, 张凤荣, 等. 参考作物蒸散量的分布式模型. *水科学进展*, 2002, 13: 303–307]

Summary for “分布式城市需水预测模型”

A distributed model for urban water demand prediction

LUAN Yong¹ & LIU JiaHong^{1,2*}

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 Engineering and Technology Research Center for Water Resources and Hydroecology of the Ministry of Water Resources, Beijing 100044, China

* Corresponding author, E-mail: liujh@iwhr.com

The prediction of urban water demand is likely to play a significant role in the planning of urban water supply and drainage pipe network. The traditional water demand forecasting methods, including the water index method and the fuzzy water demand prediction model, are widely used with some deficiencies. The water demand prediction results varied among different water quantity indexes with subjectivity. The prediction results by fuzzy water demand prediction model, with fuzzy model structure, are lack of spatial distribution. Meanwhile, the process of urban water demand is closely related to the land use of urban unit. The difference of intensity and characteristic of water demand is obvious among different land use types. In this paper, a distributed urban water demand prediction model was established based on the relationship of water demand process, considering of the eight types of urban construction land use data and three types of major water demand data. In this model, we assumed the linear relationship between water demand and land use unit, ignored the fire water demand because with more randomness than other water demand process. The distributed model for urban water demand prediction was applied in Xiamen. We obtained the land use data and water demand data in 2004–2014 of Xiamen from official statistics. The monolayer construction area and the number of building stories in the residential units obtained by the high definition satellite image and the actual measurement were used to calculated the area of residential land unit, while the area of other land unit was obtained from official land planning in 2020 of Xiamen. The water demand parameters of every urban construction land unit were calibrated by PEST, and the rationality of parameters was analyzed. We observed the stability of the water demand parameters in the model while the results showed great similarity with different calibration period in the same validation period. The water demand of Xiamen and its spatial distribution in 2020 were predicted by the distributed water demand prediction model. The results showed that the water demand of Xiamen in 2020 will reach to 366.57 million tons, which will increase by 24.2% than that in 2014; the water demand intensity of residential land and industrial land will be greater than other types of construction land; the water demand intensity of residential land in Xiamen Island will be greater than the other residential land. The simulation results proved that the spatial distribution of water demand has positive correlation with population density in urban area. We observed the great difference of water demand intensity among different types land use with great difference in the process of urban water demand. The results also showed the excellent performance of the distributed model for urban water demand prediction both in calibration and validation when applied in Xiamen urban water demand prediction. Compared with the traditional urban water demand prediction model, the distributed water demand prediction model, with bright application prospect, can obtain the distributed urban water demand data with relatively stable parameters which can be determined by water demand data and land use data in the past years.

distributed model for urban water demand prediction, urban area, land use, parameter estimation, water demand intensity

doi: 10.1360/N972016-01154