

城镇化进程中成都市水资源利用的分析及预测

潘雪倩, 赵璐, 孙菊英, 孙林博, 李玲, 雷孝章

(四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘 要:根据水量平衡理论,计算出研究区可利用水资源总量为 $91.04 \times 10^8 \text{m}^3$ 。对用水量、水资源利用效率及影响因素进行研究。结果表明:成都市 2000~2014 年水资源利用效率整体呈 型分布,2009 年水资源利用效率达到最低值。城镇化的发展对水资源利用效率具有明显的负相关性,而工业水平及经济水平的发展能明显提高水资源利用效率。通过对用水结构的分析发现,城镇化的发展对农业用水影响不大,主要由于成都市水资源充沛,城市和工业的发展对农业用水的挤占不明显。采用 BP 神经网络模型预测 2020 年成都市需水量为 $40.02 \times 10^8 \text{m}^3$,研究区水资源总量满足要求。

关键词:水资源;小波分析;利用效率;城镇化;用水结构;IPAT 模型

中图分类号:F301,F224

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)04-0045-07

对于水资源利用效率,国外学者通过研究植物在特定时间对 CO_2 的吸收与蒸散比分析农业用水效率^[1],从工业节水及循环角度评价工业用水^[2],研究主要从微观角度出发;对于需水量预测,国内外主要采用的方法有定额法、常规趋势法、人工神经网络法和灰色模型法等^[3]。但是,关于综合评价城市用水的文献还很少,且研究区域主要集中在北方相对缺水地区。本文运用小波分析、IPAT 模型、数据包络分析及 BP 神经网络模型对成都市水资源量、用水效率、用水结构及需水量进行了综合分析和评价。

1 研究区界定

研究区域界定在岷江流域的成都地区,考虑到流域封闭性以及水量平衡计算的方便,将成都市东部、东北部的沱江流域部分去除,大致范围为金堂县和彭州市;西部玉溪河流域,虽然其为岷江的支流,但考虑到彭山水文站的位置,将玉溪河流域部分去除,大致范围为大邑县西部黑水河和黄牛河流域。因此研究区域总面积为 $9\,220 \text{km}^2$,占成都市总面积的 76.07%。研究区范围示意图见图 1。

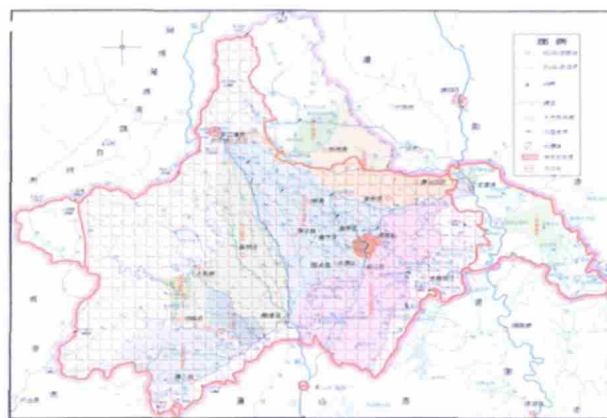


图 1 研究区范围示意图

Fig.1 The study area

2 研究区水资源量统计与分析

根据水量平衡原理,成都市水资源主要由岷江紫坪铺水文站断面以上天然来水和研究区内降水组成,且需扣除彭山水文站断面下泄量和岷江调往沱江的水量,即为研究区内的水资源总量。

2.1 岷江上游来水资源量分析

岷江上游来水是成都市的主要水源,依据紫坪铺

水文站 1937~2003 年 67a 的径流实测数据,用多年平均径流来计算水平年的紫坪铺上游来水量。首先分析径流系列的丰枯年份,然后取近期的两个丰枯周期的平均径流量作为岷江上游来水量。

2.1.1 平均径流量选择

从紫坪铺水文站历年流量趋势图(见图 2)来看,径流量呈丰枯交替出现,计算岷江上游来水量以紫坪铺水文站多年平均来水量为准,并且以最近 1~2 个丰枯水期作为计算时段,推求多年平均来水量。本文通过小波分析法对紫坪铺水文站径流量分析,推求相应的丰枯年份。小波分析具有多分辨率分析^[4-5]的能力,可以通过平移和伸缩等运算功能对水文时间序列进行多尺度的细化分析,研究不同尺度的时间演变规律和径流序列的突变点^[6-7]。

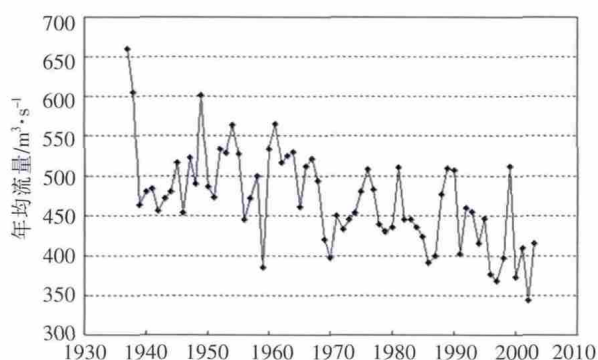


图 2 紫坪铺水文站历年流量趋势图(1937~2003)

Fig.2 The annual discharge at the Zipingpu station during 1937~2003

紫坪铺水文站年径流变化呈现出逐年减少趋势(见图 2),径流序列获得的小波变换实部图像(见图 3)可以看出不同尺度下的丰枯相位结构,大尺度下的丰枯变化中嵌套着较小尺度下的丰枯变化,呈现出较为时空有序的丰枯结构^[4]。

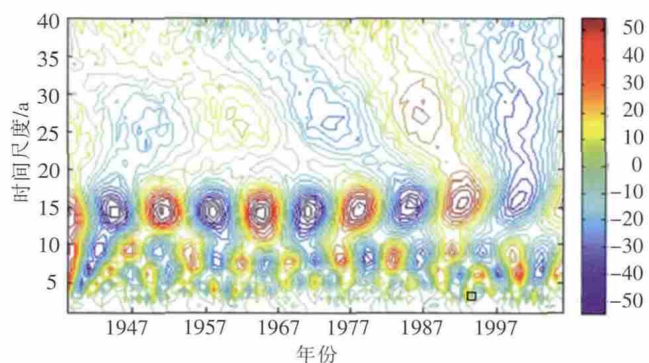


图 3 紫坪铺水文站径流小波变换实部图

Fig.3 The image of the runoff wavelet transform at the Zipingpu station

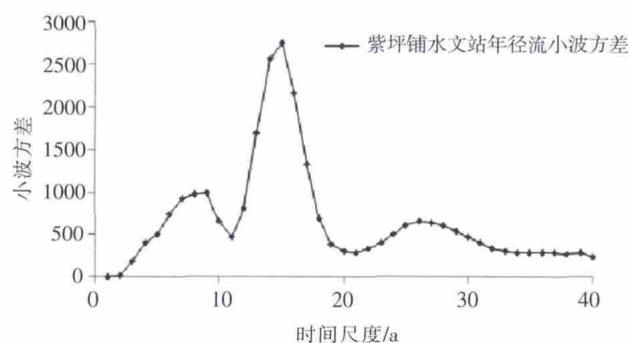


图 4 紫坪铺水文站径流小波变换方差曲线

Fig.4 The variance curve of the runoff wavelet transform at the Zipingpu station

根据图 3、图 4 可知,序列存在 9a、15a 和 25a 的主周期,其中 15a 的峰值最高,其震动最强,作为第一周期。依据峰值高低,9a、25a 分别为第二周期、第三周期。

因此,据此取 15a 作为岷江紫坪铺段径流的丰枯变化主周期,在研究区岷江上游近期来水量的计算中,考虑岷江上游流域用水和降水情况与现状尽量一致,取序列最近的两个主周期 30 年水量来进行平均,即得到多年平均径流量。这两个主周期对应的年限为 1973~2002 年。

2.1.2 岷江上游水资源量计算

根据紫坪铺水文站 1973~2002 年径流序列计算出研究区进口断面多年平均径流量(来水量)为 $137.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,各月经流量见表 1。

2.2 区域降水与流域出口水资源量分析

2.2.1 区域降水

研究区降水主要以降雨为主,为了使计算成果更具有代表性,并与岷江上游来水取值保持一致,本文对区域降水采用多年平均值。折算出水资源量为 $97.34 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。各月降水径流情况见表 1、图 5。

2.2.2 岷江彭山水文站出水断面下泄水量

对于流域出口断面的径流量采用 1973~2002 年的实测数据做平均值,经计算年均下泄流量为 $114.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,按月统计径流量见表 1、图 5。

2.2.3 岷江调入沱江水量

根据岷江上游及供水区水资源规划,岷江通过都江堰灌区渠系,如毗河、青白江等向流域东北部沱江供水,有资料表明岷江补充水量占其总水量约 33.4%^[8],年均调入沱江的水量为 $30.05 \times 10^8 \text{ m}^3$,按月统计径流量见表 1、图 5。

表1 研究区水资源量统计表 (10⁸m³)

Table1 The Statistics of the water resources in the study area

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
岷江上游来水	3.38	2.69	3.29	6.29	14.87	22.42	22.50	18.00	18.52	14.00	7.29	4.64	137.88
彭山站泄水	1.04	0.63	0.67	2.89	9.39	17.49	24.63	21.32	16.54	11.65	5.21	2.67	114.13
研究区间降水	0.75	1.26	2.32	5.13	9.07	12.38	23.14	24.14	12.31	4.50	1.71	0.61	97.34
沱江调水	0.15	0.08	0.17	0.56	3.45	4.57	6.43	6.56	4.72	2.30	0.85	0.21	30.05
水资源总量	2.94	3.24	4.77	7.97	11.10	12.74	14.58	14.26	9.57	4.54	2.94	2.38	91.04

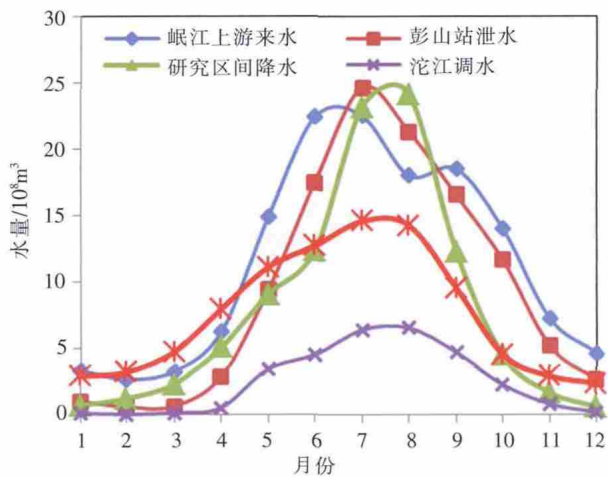


图5 研究区水资源量统计趋势图

Fig.5 The statistics of the water resources in the study area

根据表1和图5可知,通过水量平衡计算,研究区计算水平年可利用的水资源总量为91.04×10⁸m³。

3 用水量及用水效率影响因素分析

3.1 数据来源及分析模型

数据来源于2000~2014年《成都统计年鉴》、《成都市水资源公报》、《成都市总体规划(2011~2020)说明书》等。

IPAT模型由美国经济学家Holdren和Ehrlich于20世纪70年代提出。该模型把人口因素、经济情况和科技发展水平作为影响生态环境的主要因素。 I 表示环境指标,如资源、能源消耗、废物排放等,即 $I=PAT^{[9]}$,其中, P 、 A 、 T 分别代表人口因素、经济情况以及科技发展水平。Dieta和Rosa之后提出了环境影响随机模型,即 $I_i=aP_i b A_i c T_i d \varepsilon^{[10]}$ 。

3.2 用水量及其影响因素分析

根据马海良^[11]、宋国君^[12]、高媛媛^[13]等人的研究发现,影响水资源用量及利用效率的主要因素有人口城镇化率、人均GDP、万元工业增加值等因素。因此,就IPAT对模型中等式两边取对数,得到如下线性模型:

$$\ln I=\alpha+\beta_1 \ln P+\beta_2 \ln A+\beta_3 \ln T+\varepsilon \quad (1)$$

式中: I 为水资源利用总量; P 为城镇化率(本文中的城镇化率均指人口城镇化率,即居住在城镇内的人口占总人口的比重); A 为人均地区生产总值; T 为万元工业增加值能耗; α 为常数项; β 为估计参数; ε 为随机扰动项^[9]。为了客观反映经济情况,利用GDP平减系数对人均地区生产总值进行平减,再借助SPSS Statistics 17.0软件对其进行相关分析,结果如表2所示。

表2 用水量及其影响因素模型回归结果

Table2 The results of the regression model of water consumption and its influence factors

模型检验	模型系数					
		B	标准误差	试用版	t	sig
R^2	0.959	(常量)	-18.511	2.338	-7.917	0.000
调整 R^2	0.948	城镇化率	1.331	0.585	0.796	2.274 0.044
F	86.597	人均地区生产总值	1.114	0.193	4.196	5.781 0.000
Sig	0.000	万元工业增加值能耗	1.104	0.147	4.182	7.526 0.000

由表2可知,调整 $R^2=0.948$,说明方程拟合程度很高,满足F检验,sig.值为0.000小于0.005,说明具有显著性。从表2中,可得该回归方程的表达式,即:

$$\ln I=-18.511+1.331 \ln P+1.114 \ln A+1.104 \ln T+\varepsilon \quad (2)$$

结果表明,城镇化率、人均地区生产总值、万元工业增加值能耗每增加1%,研究区用水量分别提高1.331%、1.114%及1.104%,说明随着城镇化及工业化的不断推进,水资源需求不断提升,城镇化的发展与水资源供给的矛盾将日益突出。

3.3 用水效率及其影响因素分析

3.3.1 用水效率的计算

数据包络分析(Data Envelopment Analysis,DEA)是一个对多投入\多产出的多个决策单元的效率评价

方法,该方法以相对效率概念为基础,利用观察到的数据样本,以投入和产出指标的权重为变量进行评价运算^[14]。指标的产出是由劳动力、资本以及自然资源这三个生产要素结合投入带来的^[14]。根据国内外研究以及成都市水资源公报等统计数据,将水资源消耗量作为自然资源的投入构造 DEA 模型,即:

$$F(G)=f(A,L,W) \tag{3}$$

式中: A 为固定资产投资; L 为研究区从业人员总数; W 为研究区逐年用水量; G 为逐年地区生产总值。

利用 GDP 平减系数对地区生产总值、固定资产投资进行平减。运用 DEAP 2.1 软件,对以上数据进行评价,得出研究区水资源利用效率的 DEA 评价结果(见图 6)。

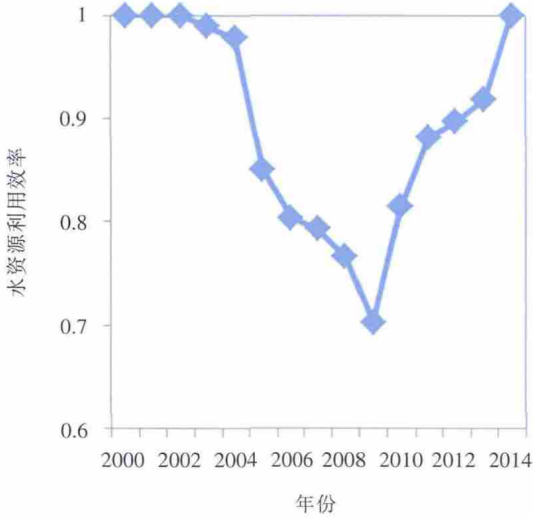


图 6 研究区 2000~2014 年水资源综合利用效率折线图
Fig.6 The utilization efficiency of the water resource in the study area during 2000~2014

由图 6 可以看出,DEA 有效的年份为 2000 年、2001 年、2002 年以及 2014 年。其他年份均为 DEA 无效年份,说明资本或劳动力可能存在投入冗余或产出不足的情况。另外,研究区 2000~2014 年水资源综合利用效率整体呈 V 型分布,即在 2003~2009 年,水资源利用效率呈下降趋势。自 2010 年,水资源利用效率逐步提高。

3.3.2 用水效率影响因素分析

运用 IPAT 模型探究用水效率与人口、经济、技术之间的定量关系。对模型中等式两边取对数,得到如下线性模型:

$$\ln I=\alpha+\beta_1 \ln P+\beta_2 \ln A+\beta_3 \ln T+\varepsilon \tag{4}$$

式中: I 为水资源利用效率;其余变量与式(1)相同。回归结果如表 3 所示。

表3 用水效率及其影响因素模型回归结果

Table3 The results of the regression model of utilization efficiency of water resource and its influence factors

模型检验	模型系数					
			B	标准误差	试用版	t sig
R^2	0.873	(常量)	22.994	3.207		7.170 0.000
调整 R^2	0.839	城镇化率	-5.493	0.803	-4.229	-6.843 0.000
F	25.274	人均地区生产总值	0.233	0.264	1.129	0.880 0.038
Sig	0.000	万元工业增加值能耗	-0.572	0.201	-2.790	-2.843 0.016

由表 3 可见,调整 $R^2=0.839$,说明方程拟合程度很高,满足 F 检验,sig.值为 0.000 小于 0.005,说明具有显著性。该回归方程的表达式为:

$$\ln I=22.994-5.493 \ln P+0.233 \ln A-0.572 \ln T+\varepsilon \tag{5}$$

由式(5)可以看出,城镇化率、万元工业增加值能耗每增加 1%,研究区用水效率分别降低 5.493%、0.572%,而人均地区生产总值每增加 1%,用水效率增加 0.233%。

由以上分析可以看出,随着城镇化的发展,年用水量明显增加,而用水效率却明显降低。

4 用水结构与城镇化关系的分析

利用回归分析法研究成都市用水结构与城镇化的关系(受“5.12”汶川地震影响,2008 和 2009 年农业用水和工业用水变化较大,因此在做回归分析时,不考虑在分析范围内)。如图 7、图 8 所示,农业用水量、农业用水占比与城镇化的关系满足二次项模型,回归模型见表 4,模型拟合度较好。农业用水量、农业用水占比在 2000~2014 年期间呈现先下降后上升的趋势,

表4 城镇化率与用水结构模型回归结果

Table4 The results of the regression model of urbanization and water consumption structure

项目	函数表达式	模型拟合度
农业用水量与城镇化	$Y_1=0.106X^2-12.826X+409.480$	$R_2=0.644$
工业用水量与城镇化	$Y_2=-0.055X^2+6.861X-200.772$	$R_2=0.654$
农业用水量占比与城镇化	$Z_1=0.00265X^2-0.3343X+10.9594$	$R_2=0.868$
工业用水量占比与城镇化	$Z_2=-0.0009X^2+0.1127X-3.1026$	$R_2=0.749$

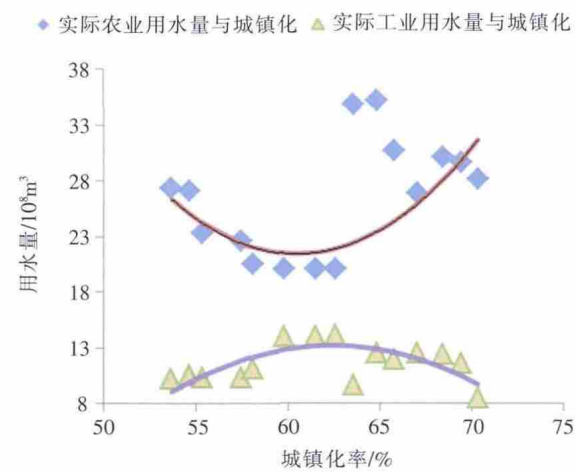


图7 用水量变化情况

Fig.7 The variation tendency of the water consumption

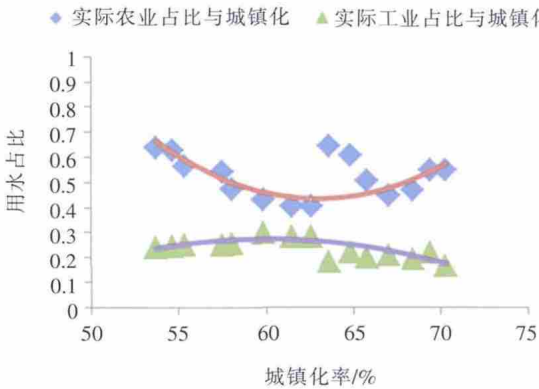


图8 用水占比变化情况

Fig.8 The variation tendency of the water consumption structure

农业用水效率变化不大, 总体维持在农田灌溉亩均用水量为 450m^3 (见图9), 说明农业用水效率较低且近年来无明显提高, 不利于成都市城镇化水平的发展。

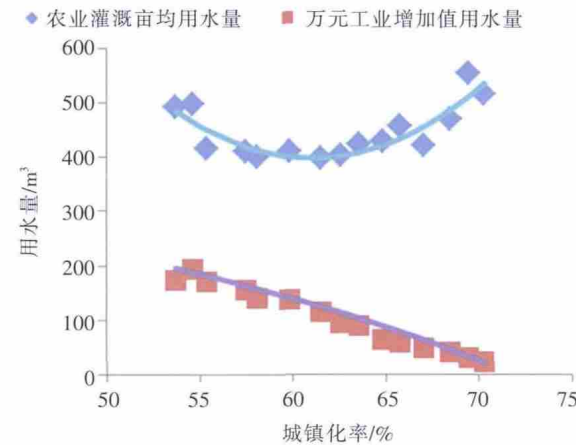


图9 用水效率变化情况

Fig.9 The variation tendency of the utilization efficiency of the water resources

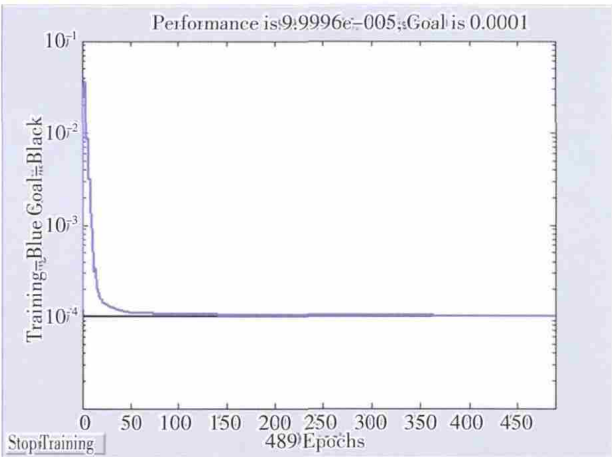


图10 神经网络运行4000次时预测误差变化曲线

Fig.10 Graph of error under the 4000 operation times with the BP neural network

工业用水量与城镇化的关系满足表4的二次项模型,随着城镇化水平的提高,工业用水量呈现先上升后下降的变化趋势,2007年达到最大值。万元工业增加值用水量呈递减趋势(见图9),说明城镇化的发展带来了工业技术的革新,工业用水效率不断提高。

从农业用水和工业用水占总用水量的比重来看,城镇化的发展提高了工业水平的发展,降低了工业用水占比,但对农业用水量影响较小,农业用水占总用水量比重较大,主要是由于成都市雨量充沛,城市和工业的发展对农业用水的挤占不明显。

5 应用BP神经网络预测研究区需水量

BP神经网络模型(Back-Propagation Neural Network)是模仿大脑机制的信息分析处理技术,属于 matlab 的范畴,预测结果较准确。

本文以成都市人均地区生产总值、万元工业增加值能耗、城镇化作为输入向量,历年供水量数据作为目标向量,指定精度 $\varepsilon=10^{-4}$,根据 Kolmogorv 定理^[15],通过试算法,建立3个输入节点、1个输出节点和5个隐含节点的三层神经网络模型,取表5中的前12个样本(即2000~2011年)作为BP网络建模的学习样本,后3个样本(即2012~2014年)作为模型建立后的预留检验样本,进行需水量预测。预测结果见表5。

由图10和表5可以看出,当神经网络运行次数为4000次时,2012年、2013年及2014年的预测值与原始数据的相对误差分别为0.15%、0.02%、1.25%,均小于指定的预测精度($\varepsilon=10^{-4}$),说明神经网络方法具

表5 BP神经网络运行4 000次时城市需水量拟合数据和原始数据误差比较表
Table5 Comparison between the predicted results and originated data under the 4 000 operation times

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
城市实际需水量/ 10^8m^3	42.96	43.06	41.47	41.7	43.3	46.68	49.92	50.14
城市计算需水量/ 10^8m^3	43.03	42.8	41.72	41.81	42.94	47.1	49.68	50.35
相对误差/%	0.16	0.61	0.59	0.25	0.83	0.88	0.49	0.41
年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
城市实际需水量/ 10^8m^3	54.03	57.72	61.03	60.19	64.43	54.02	51.47	
城市计算需水量/ 10^8m^3	53.65	57.94	60.92	60.37	64.33	54.01	52.12	
相对误差/%	0.71	0.37	0.18	0.29	0.15	0.02	1.25	

有较强的预测能力和很高的可信度。因此采用运行 4 000 次的 BP 神经网络模型进行规划水平年需水量预测。

根据《成都市总体规划(2011~2020)说明书》、《成都市十三五规划》的相关数据,到规划水平年 2020 年,成都市城镇化将达到 77%,人均地区生产总值预计达到 129 345 元,万元工业增加值能耗预计达到 40m^3 。采用运行 4 000 次的 BP 神经网络模型对 2020 年的需水量预测值为 $47.37\times 10^8\text{m}^3$ 。

6 结论

(1) 根据水量平衡原理,分别计算出研究区来水量、泄水量、调水量及区域降水量,计算出研究区可供给水资源总量为 $91.04\times 10^8\text{m}^3$ 。

(2)成都市近年来水资源利用效率整体呈 V 型趋势,在 2003~2009 年,水资源利用效率呈下降趋势,自 2010 年,水资源利用效率逐步提高。

(3)随着城镇化及工业化的不断推进,水资源需求不断提升,如果不能进一步提高水资源利用效率,城镇化的发展与水资源供给的矛盾将日益突出。

(4)城镇化的发展带动了工业用水效率的发展,但对农业用水影响不大,主要是由于成都市水资源充沛,城市和工业的发展对农业用水的挤占不明显。成都市农业用水效率有待进一步提高,农业技术水平需要进一步发展。

(5)采用 BP 神经网络模型对 2020 年的需水量预测值为 $47.37\times 10^8\text{m}^3$ 。研究区可利用的水资源总量为 $91.04\times 10^8\text{m}^3$,满足用水需求。另外,根据 2014 年 10 月出台的《成都市实行最严格水资源管理制度考核办法》规定,2020 年成都市用水量需控制在 $65.10\times 10^8\text{m}^3$,预测值控制在红线范围内。

参考文献:

[1] Condon A G, Richards R A, Rebetzke G J, et al. Improving

Intrinsic Water-Use Efficiency and Crop Yield [J]. Crop Science, 2002,42(1):122.

[2] Thompson S A. Hydrology for Water Management [M]. Balkema, 1999.

[3] 张雅君,刘全胜.城市需水量灰色预测的探讨[J].中国给水排水,2002,18(3):79-81. (ZHANG Yajun, LIU Quansheng. The discussion of grey forecasting of metropolis water demand [J]. China Water & Wastewater, 2002,18(3):79-81. (in Chinese))

[4] Mallats S.A. Theory for multi resolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Tran on PAMI, 1989,11(7):674-693.

[5] Fei Pei-yan, Liu Shu-guang. Advances and prospect of wavelet analysis and its application [J]. Basic Sciences Journal of Textile Universities, 2000,14(1):72-78.

[6] 刘刚,刘纪平,赵荣,等.小波方法在澜沧江降水量周期变化分析中的应用[J].计算机工程与应用,2008,44(8):236-237. (LIU Gang, LIU Jiping, ZHAO Rong, et al. Analysis of periodical of Lancang river based on wavelet transform [J]. Computer Engineering and Application, 2008,44(8):236-237. (in Chinese))

[7] 李彦彬,尤凤,徐建新,等.黄河径流变化规律的小波分析[J].水利水电技术,2012,43(1):17-26. (LI Yanbin, YOU Feng, XU Jianxin, et al. A wavelet analysis on Yellow River runoff variation law [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012,43(1):17-26. (in Chinese))

[8] 罗汉卿.论岷江及盆周河流水资源科可解决涪沱长地区用水[J].四川水利,1994,15(1):53-57. (LUO Hanqing. The discussion the water resource of Minjiang River and Penzhou River can solve the water consumption in Peijiang -Tuojiang -Changjiang area [J]. Sichuan Water Resources, 1994,15(1):53-57. (in Chinese))

[9] 马远.干旱区域城镇化进程对水资源利用效率影响的实证研究——基于 DEA 模型与 IPAT 模型[J].技术经济,2016,35(4):85-90. (MA Yuan. Empirical Study on Impact of Urbanization on Utilization Efficiency of water Resource in the Area: Based on DEA Model and IPAT Model [J]. Technology Economics, 2016,35(4):85-90. (in Chinese))

[10] Dietz T, Rosa E A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1997,94(1):175-179.

[11] 马海良,徐佳,王普查.中国城镇化进程中的水资源利用研究[J].资

- 源科学, 2014,36(2):334-341. (MA Hailiang, XU Jia, WANG Pucha. Resource utilization and China's urbanization [J]. Resources Science, 2014,36(2):334-341. (in Chinese))
- [12]宋国君,何伟. 中国城市水资源利用效率标杆研究[J]. 资源科学, 2014,36(12):2569-2577. (SONG Guojun, HE Wei. Benchmarking of city water resource utilization efficiency in China [J]. Resources Science, 2014,36(12):2569-2577. (in Chinese))
- [13]高媛媛,许新宜,王红瑞,等. 中国水资源利用效率评估模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2013,33(3):776-784. (GAO Yuanyuan, XU Xinyi, WANG Hongrui, et al. New model for water use efficiency evaluation of China and its application [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2013,33(3):776-784. (in Chinese))
- [14]韩雅清,苏时鹏. 福建省水资源利用效率的静态与动态分析—基于 DEA-BCC 和 DEA-Malmquist 两步法[J]. 资源开发与市场, 2015,31(5):578-583. (HAN Yaqing, SU Shipeng. Static and dynamic analysis on water use Efficiency of Fujian Province - based on DEA-BCC and DEA-Malmquist model [J]. Resource Development & Market, 2015,31(5):578-583. (in Chinese))
- [15]张德丰. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2009. (ZHANG Defeng. MATLAB Neural Network Design [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2009. (in Chinese))

Water Resources Utilization in Urbanization Progress of Chengdu City

PAN Xueqian, ZHAO Lu, SUN Juying, SUN Linbo, LI Ling, LEI Xiaozhang

(State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: According to the water balance analysis, the available total local water resources quantity is $91.04 \times 10^8 \text{ m}^3$. The study was made on water consumption, utilization efficiency of water resources and its influence factors. The results show that the cumulative distribution curve of the utilization efficiency of water resources was V-shape from 2000 to 2014 in Chengdu, Sichuan Province and the utilization efficiency reached the lowest in 2009. Urbanization has obvious negative correlation on the utilization efficiency of water resources, while the development of industrialization and economic level can contribute to the utilization efficiency. By the analysis of water consumption structure, it can be concluded that urbanization has little effect on agricultural water consumption, mainly because Chengdu is rich of water resources. It is not obvious to occupy agricultural water consumption with the development of urbanization and industrialization. The water requirements in Chengdu was predicted to be $40.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ applying BP neural network, and the total local water resources quantity can meet the requirements in the study area.

Key words: water resources; wavelet analysis; utilization efficiency; urbanization; water consumption structure; IPAT Model

(上接第 61 页)

Analysis of Water Resources Ecological Footprint in Henan Based on Index Factorizing Method

ZHAO Ziyang¹, LI Wangcheng^{1,2,3}, WANG Xia¹, CUI Tingting¹, CHENG Zaiheng¹, LIU Xuezhi¹, WANG Shuai¹

(1. Department of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Ningxia Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation and Control Engineering Technology Research Center, Yinchuan 750021, China; 3. Engineering Research Center for Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture, Ministry of Education, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Water resources ecological footprint model offers a new method for evaluating the sustainable utilization of water resources. This study firstly analyzed the water resources ecological footprint and the ecological carrying capacity of water resources in the years from 2005 to 2014. And then used LMDI method to analyze that impact the water resources ecological footprint. The result show that The total water resources ecological footprint increased and the contribution size could be ranked as agricultural water > industrial water > domestic water > ecological water during 2005-2014. The water resources ecological footprint of ten thousand Yuan GDP is decreased year by year, which indicates that the water resources efficiency is increasing. But there is different levels of ecological deficit in the past 10 years, the water resources utilization prospect is still not optimistic. The contribution order of four index factorizes for water ecological footprint is as follows: water footprint structure effect > economic effect > population effect > technical effect, and the economic effect has a tendency to catch up the structure effect.

Key words: Henan Province; water resources ecological footprint; ecological capacity; LMDI; factor decomposition