

宝鸡市用水结构及用水量预测分析

李 琴,马耀光*

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以 1996—2011 年宝鸡市用水量为基础,对其用水结构、用水趋势进行分析,并利用回归分析,得到用水的驱动力因素:人口、第一产业增加值、工业增加值、农民人均纯收入和城镇居民可支配收入 5 个因子。以该驱动力因子为输入层,以农业用水、工业用水、生活用水为输出层建立人工神经网络 BP 模型,对宝鸡市 2012—2020 年各行业用水量进行预测,结果表明:至 2020 年,农业用水、工业用水和生活用水分别为 4.43 亿 m³、0.57 亿 m³、1.31 亿 m³,预测效果良好,精度可靠。

关键词:用水结构;用水量预测;BP 模型;宝鸡市

中图分类号: TV212.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)06-0238-05

Analysis on structure and forecast of water consumption in Baoji City

LI Qin, MA Yao-guang*

(College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A & F University, Yang ling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on 1996—2011 water consumptions in Baoji City, the structure and trend of water consumption has been analyzed in this paper, obtained five influencing factors through regression analysis, namely population, the first industrial added value, industrial added value, farmer's net income per capita and net income of urban resident per capita. Taking the influencing factors as input layer, the agriculture, industrial and domestic water consumption as output layer, established the BP model and forecasted the water consumption of each industry from 2012 to 2020 in Baoji City. The results shown that: The water consumption of agriculture, industry and domestic life were 4.43, 0.57 and 1.31 hundred million m³, respectively. The effect of prediction was good with reliable accuracy.

Keywords: structure of water consumption; forecast of water consumption; BP model; Baoji City

水资源是十分重要的资源之一,人类的生存与发展都离不开水的利用。近年来随着经济的发展、人口的增长,水资源短缺日益凸显,水资源逐渐成为限制一个地区经济快速发展的重要因素。如何合理分配水资源,使其创造出最大的经济效益、社会效益和环境效益是当今社会亟待解决的问题,而用水预测是水资源配置的前提和基础,在水资源规划和管理中发挥着重要的作用。因此,用水预测的分析研究对合理配置水资源、保障区域社会经济协调发展意义重大。

国内对用水预测的研究始于 20 世纪 70 年代,日益增长的用水需求与水资源短缺的矛盾日益尖锐,用水预测工作的重要性逐渐凸显。目前较为成熟的预测方法主要有趋势分析法、时间序列法、灰色模型、模糊数学预测模型和人工神经网络预测模型

等^[1-3]。其中趋势法、时间序列法是基于时间序列外推用水量的预测方法;灰色系统是一种指数模型,与实际用水量变化不相符;传统的定额法推求用水量,结果往往偏大。针对以上预测方法的局限性,本文选用人工神经网络对用水量进行分析预测,人工神经网络能够很好地处理非线性系统,在用水预测中应用广泛并得到较好的预测结果^[4-7]。

宝鸡市地处关中西部,干旱缺水为其重要自然灾害。该地区水资源地域分布不均,供需矛盾突出。为满足社会和国民经济高速发展的需求,达到水资源合理开发、优化配置的目标,需要对宝鸡市各行业用水进行预测研究。根据宝鸡市 1996—2011 年社会发展和国民经济统计数据,对其用水结构和用水变化进行分析;在此之上,对用水驱动力因素进行分析,进而以该驱动力因素为输入因子,生活、工业、农

收稿日期:2013-06-08
基金项目:国家自然科学基金(50879071)
作者简介:李 琴(1988—),女,新疆博乐人,硕士研究生,主要从事水资源利用与保护。E-mail: muziqin88@126.com。
* 通信作者:马耀光(1957—),男,陕西武功人,教授,硕士生导师,主要从事水资源与生态环境保护方面的研究。E-mail: myg0609@yahoo.com.cn。

业用水为输出因子建立神经网络用水动态预测模型,预测该地区用水量变化。

1 用水结构变化分析

宝鸡市地处陕西省关中平原西部,辖三区九县,总面积 18 172 km²,渭河自西向东横穿,在市境内流

程长 206.1 km。宝鸡市多年平均降水量 692.3 mm,冬季降水量较少,仅占全年降水量的 3% 以下,而 6—9 月份降水量占全年的 60.2% ~ 67.2%。

根据历年《宝鸡市水资源公报》,1996—2011 年宝鸡市总用水量和用水结构的变化情况见表 1 和图 1。

表 1 宝鸡市 1996—2011 年用水结构变化
Table 1 Water structure change in Baoji City from 1996 to 2011

年份 Year	农业 Agriculture		工业 Industry		生活 Domestic life		总用水量 Water consumption /10 ⁸ m ³
	用水量 Water consumption /10 ⁸ m ³	比重 Proportion /%	用水量 Water consumption /10 ⁸ m ³	比重 Proportion /%	用水量 Water consumption /10 ⁸ m ³	比重 Proportion /%	
1996	5.78	72.25	1.31	16.38	0.91	11.38	8.00
1997	5.37	71.60	1.22	16.27	0.91	12.13	7.50
1998	4.68	68.32	1.18	17.23	0.99	14.45	6.85
1999	4.67	68.27	1.16	16.96	1.01	14.77	6.84
2000	4.57	66.72	1.24	18.10	1.04	15.18	6.85
2001	4.54	66.18	1.27	18.51	1.05	15.31	6.86
2002	4.49	65.64	1.27	18.57	1.08	15.79	6.84
2003	4.16	65.72	1.18	18.64	0.98	15.48	6.33
2004	4.02	64.11	1.16	18.50	1.06	16.91	6.27
2005	4.15	66.08	1.01	16.08	1.09	17.36	6.28
2006	5.12	71.11	0.94	13.06	1.10	15.28	7.20
2007	4.37	68.82	0.89	14.02	1.04	16.38	6.35
2008	4.61	71.03	0.80	12.33	1.03	15.87	6.49
2009	4.54	70.44	0.81	12.55	1.04	16.08	6.44
2010	4.43	70.27	0.76	12.05	1.04	16.55	6.30
2011	4.42	68.74	0.77	11.98	1.24	19.28	6.43

由表 1 可看出,宝鸡市用水第一大户为农业,所占比重为 68% 左右,其次为工业和生活用水,所占比重分别为 17% 左右和 15% 左右。

1.1 农业用水

从图 1 和表 1 可看出,农业用水是宝鸡市用水

第一大户,历年所占总用水量的平均比重为 68% 左右,其用水变化比较平缓。自 1996 年始,农业用水量呈微量减少趋势,至 2006 年有所增加,而后趋于平缓,基本保持在 4.4 亿 m³ 左右。

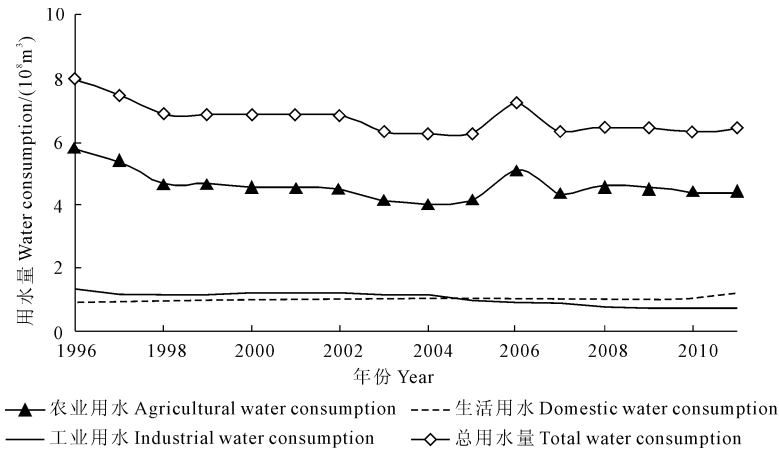


图 1 宝鸡市 1996—2011 年各行业用水变化趋势

Fig.1 The change trend of water consumption in different industry from 1996 to 2011 in Baoji City

1.2 工业用水

宝鸡市工业用水呈现缓慢减少的趋势,其用水比重变化显著,2004 年为一转折点。1996—2004 年工业用水比重逐年增长,但增幅较小;2004 年之后,工业用水比重明显减少,由 2004 年的 18.5%降至 2011 年的 11.98%,工业用水比重呈现减少之态势。

1.3 生活用水

宝鸡市生活用水与工业用水所占比重相当,随着生活水平的提高,用水量稳步增长,但增幅不大,1996 年至 2011 年 16 年间用水量仅增长 3 300 万 m³。但其生活用水所占比重呈增长之态势不容忽视。

2 用水变化的驱动力分析

影响用水变化的因子有国内生产总值、第一产业增加值、工业增加值、农业总产值、居民收入、耕地面积、粮食产量、粮食播种面积以及人口、大牲畜等社会经济发展因素。

根据可能影响农业、工业、生活用水变化的因子进行回归分析,可得出主要影响因素。以生活用水为例,选取国内生产总值、工业增加值、人口、城镇居民人均可支配收入、农村人均纯收入作为生活用水的可能影响因子,对其进行回归分析。结果见表 2。

表 2 影响生活用水因子的回归分析结果
Table 2 Result of regression analysis on domestic water consumption

影响因子 Influence factor	Coefficients	标准误差 Standard error	t Stat	P-value
常数 Intercept	- 1.598736989	0.758146577	- 2.108743926	0.06117128
国内生产总值 GDP	0.001285299	0.001177208	1.091819753	0.30051837
工业增加值 Industrial added value	- 0.001934132	0.001585416	- 1.219952516	0.25047236
人口 Population	0.006844137	0.00204116	3.353062179	0.00732744
城镇居民人均可支配收入 Net income of urban resident per capita	- 8.81083 × 10 ⁻⁵	4.17893 × 10 ⁻⁵	- 2.108392431	0.06120745
农村人均纯收入 Farmer's net income per capita	0.000296347	9.67429 × 10 ⁻⁵	3.063242386	0.01197806

根据 P - value 可知,影响生活用水的因素主要有人口、城镇居民人均可支配收入、农村人均纯收入三个因子。同理,可得到工业和农业用水的主要影响因子,同时参考地区用水驱动力因子的分析成果^[8-10],最终确定工业用水影响因素主要是工业增加值、人口、城镇居民人均可支配收入;农业用水影响因子主要是第一产业增加值、人口和农民人均纯收入(第一产业主要包括农业、林业、牧业和渔业,即包括农业需水的各方面。在水资源缺乏的地区,水资源意味着机会和价值,因此将第一产业增加值作为农业用水的驱动力因素之一是合理的)。

综上所述,影响用水的因子主要是第一产业增加值、工业增加值、人口、城镇居民人均可支配收入和农民人均纯收入五个主要因素。

3 神经网络用水预测分析

3.1 神经网络原理

近年来,人工神经网络成为全球研究热点,它能够很好地处理非线性系统,应用于各种科学和工程研究领域。其中,1985 年 Rumelhart 等人提出的误差反向传递学习算法(BP 算法),实现了多层感知网络

的设想,使其在众多神经网络模型中应用最为广泛^[11-15]。

BP 神经网络包含输入层、输出层,以及 1 个或多个隐含层。对于输入信号,要先向前传播到隐含层节点,经作用函数后,再把隐含层节点的输出信号传播到输出节点,最后得到输出结果。节点作用的激励函数通常选取 S 型函数,表达式为

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x/Q}}$$

式中, Q 为调整激励函数形式的 Sigmoid 参数。该算法的学习过程由正向传播和反向传播组成。在正向传播中,输入信息从输入层经隐含层逐层处理,并传向输出层。每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态。如果输出层得不到期望的输出,则转入反向传播,将误差信号沿原来的连接通道返回,通过修改各层神经元的权值,使得误差信号最小。

3.2 宝鸡市用水量预测神经网络模型的建立

3.2.1 参数设置 根据用水变化的驱动力分析,选取第一产业增加值、工业增加值、人口、城镇居民人均可支配收入和农民人均纯收入五个因子为输入层,将农业用水、工业用水和生活用水作为输出层,

建立多输入多输出的 BP 网络模型。

选取 1996—2008 年作为学习样本,2009—2011 年作为检测样本。由于输入层各因子单位不同,因此在训练和预测前,应将其归一化处理^[16]。归一化公式为:

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

BP 网络训练和预测的参数设置如下:选取双曲

正切 S 型函数(tansig)作为传入和传输函数,purelin 为输出函数,经试算采用一个隐含层 5 个节点,学习率为 0.6,最大训练次数为 5 000 次,目标误差为 10⁻⁶。BP 网络拓扑结构示意图,如图 2。

3.2.2 样本误差分析 选取 1996—2008 年为训练样本,2009—2011 年为检测样本,根据以上 BP 神经网络参数设置,即可对训练样本和检测样本进行模拟仿真。训练样本模拟值和实测值见图 3 所示。

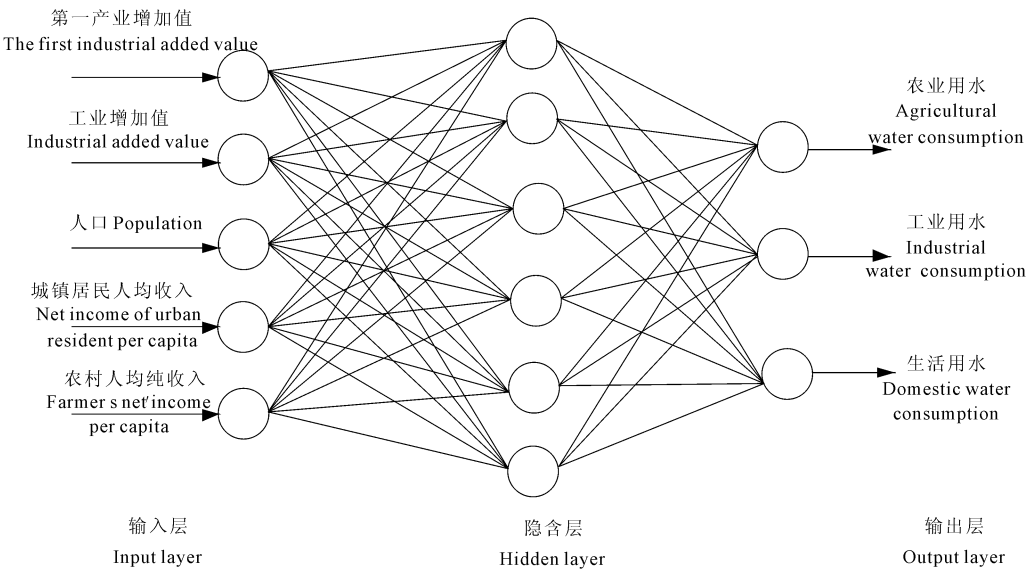


图 2 BP 网络拓扑结构示意图
Fig.2 BP network topology diagram

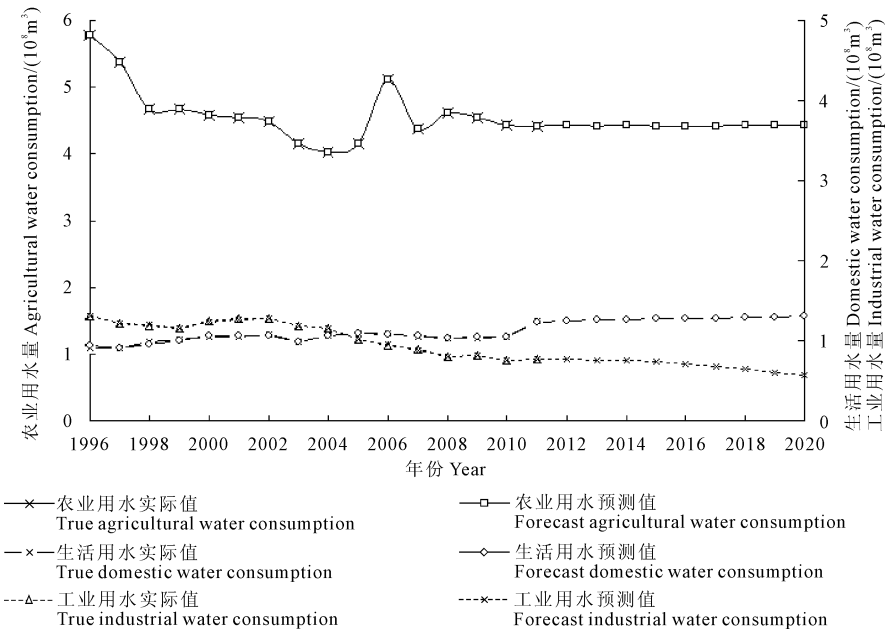


图 3 BP 网络用水量拟合及预测结果
Fig.3 Water consumption of BP model fit and forecasted result

由图 3 可看出,训练样本误差较小,模拟值和实测值基本重合。检测样本误差见表 3 所示,检测样本误差很小,均不到 1%。因此可用 BP 网络对宝鸡市 2012—2020 年用水进行预测。

表 3 检测样本误差计算表
Table 3 Calculation of samples test error

年份 Year	实际用水量/ 10^8 m^3 True water consumption			预测用水量/ 10^8 m^3 Forecast water consumption			相对误差/% Relative error		
	农业 Agriculture	工业 Industry	生活 Life	农业 Agriculture	工业 Industry	生活 Life	农业 Agriculture	工业 Industry	生活 Life
2009	4.54	0.81	1.04	4.54	0.81	1.04	-0.08	-0.00	-0.86
2010	4.43	0.76	1.05	4.43	0.76	1.04	-0.07	0.25	-0.33
2011	4.42	0.77	1.23	4.42	0.77	1.24	0.00	-0.32	0.44

3.2.3 用水预测 在对宝鸡市 2012—2020 年各行业用水进行预测之前,须得到 2012—2020 的经济社会发展指标,即输入层 5 个因子。这些指标可根据宝鸡市《水资源开发利用规划》确定,人口增长率按 5‰计算,到 2015 年宝鸡市人口将达到 380.23 万人,2020 年将达到 389.83 万人;第一产业增加值和工业增加值按 9% 增长率增长;城镇居民可支配收入和农民人均纯收入按 10% 增长。

将 2012—2020 年 5 个用水因子作为上述模型的输入项,通过该 BP 神经网络模型运算分析后得到 2012—2020 年农业、工业和生活用水量。从图 3 可看出,到 2015 年宝鸡市农业用水、工业用水和生活用水分别为 4.42 亿 m^3 、0.73 亿 m^3 、1.27 亿 m^3 ;到 2020 年宝鸡市农业用水、工业用水和生活用水分别为 4.43 亿 m^3 、0.57 亿 m^3 、1.31 亿 m^3 。

4 结 语

1) 宝鸡市近 16 年用水结构及用水趋势为:农业为其用水第一大户,所占比重 68% 左右,用水变化先减小后增大,2007 年后趋于平缓;工业用水所占比重 17% 左右,用水量总体呈减少趋势;生活用水比重为 15% 左右,总体稳步增长。

2) 通过回归分析,影响宝鸡市用水的驱动力因素主要有人口、第一产业增加值、工业增加值、农民人均纯收入和城镇居民可支配收入。

3) 由 2012—2020 年宝鸡市行业用水预测值可看出,农业用水量变化不大,工业用水减少,生活用水增加。随着社会发展和节水技术的推广,生活水平不断提高,工业用水定额不断降低,由此可见,BP 神经网络预测的用水量(生活、农业、工业)符合各行业用水趋势,具有一定的可靠性。

参 考 文 献:

[1] 凌和良,桂发亮,楼明珠. BP 神经网络算法在需水预测与评价中的应用[J]. 数学的实践与认识,2007,37(22):43-46.

[2] 杜发兴,徐 刚. 偏最小二乘回归模型在城市需水预测中的应用[J]. 水力发电,2008,34(6):20-23.

[3] 魏雪梅,张世英. 城市需水预测方法研究[J]. 河北工业大学学报,2003,32(6):75-79.

[4] 杨雪菲,栗晓玲,马黎华. 基于人工神经网络模型的关中地区用水量的预测[J]. 节水灌溉,2009,(8):4-6.

[5] 崔东文. 基于 BP 神经网络的区域需水预测[J]. 江淮水利科技,2011,(1):43-44.

[6] 符传军,马 超,许 栋. 基于灰色理论和神经网络的海口市水资源需求预测[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(5):96-98.

[7] 方 浩,李 蓓,石 娜,等. 基于模糊神经网络的区域需水预测计算模型[J]. 西北水资源与水工程,2003,14(4):1-3.

[8] 张 灵,陈晓宏,刘丙军,等. 基于 AGA 的 SVM 需水预测模型研究[J]. 水文,2008,28(1):38-42.

[9] 刘宝勤,姚治君,高迎春. 北京市用水结构变化趋势及驱动力分析[J]. 资源科学,2003,25(2):38-43.

[10] 路永卫,田 华,乐生耀. 2020 年滨海新区需水预测及配置[J]. 天津科技,2010,(4):105-108.

[11] 霍惠玉,张 鹰,金 鑫,等. BP 神经网络在需水预测中的应用[J]. 安徽农业科学,2006,34(21):5637-5638,5641.

[12] 巩琳琳. 基于遗传模拟退火算法的神经网络模型在陕西省需水预测中的应用[J]. 地下水,2006,28(5):10-13,20.

[13] 阎平凡,张长水. 人工神经网络与模拟计算[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

[14] 金丕彦,芮 勇. BP 算法各种改进算法的研究及应用[J]. 南京航空航天大学学报,2994,26(S1):201-205.

[15] 李勋贵,黄 强,魏 霞,等. 基于 IGA-GP 的 BP 网络黄河流域需水预测研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(3):116-120.

[16] 龙训建,钱 鞠,梁 川. 基于主成分分析的 BP 神经网络及其在需水预测中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2010,37(2):206-210.