

石羊河流域绿洲农业发展对水资源转化影响的 人工神经网络模拟研究

陈俭煌^{1,2}, 魏晓妹¹, 马 岚¹

(1 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州 434000)

[摘 要] 基于石羊河流域绿洲农业发展对水资源转化影响机理的分析, 概化了影响流域水资源转化的主要水土资源开发利用要素和反映水资源转化响应结果的状态变量, 建立了以水土资源开发利用要素为输入端、以水资源转化响应结果为输出端的 BP 人工神经网络模型, 并利用多年实测资料对该模型进行了训练和检验。检验结果表明, 其精度达到了预期要求。利用该模型能够进行流域水土资源开发利用对水资源转化影响的模拟研究。

[关键词] 石羊河流域绿洲农业; 水土资源开发; 水资源转化; 人工神经网络

[中图分类号] P641

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)04-0229-06

Simulation about the impact of oasis agricultural development on water resources transforming by the theory of artificial neural network in the shiyang river basin

CHEN Jian-huang^{1,2}, WEI Xiao-mei¹, MA Lan¹

(1 College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of
Agriculture and Forestry, Yangling 712100 Shaanxi, China;

2 Jingjiang Hydrology and Water Resources Surveying Bureau, Jingzhou 434000 Hubei, China)

Abstract: Based on the analysis of impact mechanism of oasis agricultural development on water resources transforming in Shiyang River basin, the main water and land resources exploitation factors which reflect the degree of water and land resources exploitation are filtered, and the main variables which reflect the state of water resources transforming are filtered too. The BP artificial neural network simulated model is established, the input of which are the main water and land resources exploitation factors, and the output of which are the main variables reflecting the effect of water resources transforming. It's proved that this model can be used to simulate and forecast the impact of water and land resources exploitation on water resources transforming by the process of model training and verifying.

Key Words: Shiyang River basin; oasis agriculture; water and land resources exploitation; water resources transforming; artificial neural network

石羊河流域位于甘肃河西走廊东部, 其水系由发源于祁连山东段冷龙山北坡的八大河, 即从东到西的大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营

河、东大河和西大河等 8 条河流组成。这些河流出山后, 进入中游河西走廊的永昌—武威盆地, 水量大部分被农业引灌或下渗进入洪积扇而转化为地下

[收稿日期] 2006-03-10

[基金项目] 国家自然科学基金项目(90202001); 教育部科学技术研究重点项目(02075)

[作者简介] 陈俭煌(1980—), 男, 河南商城人, 硕士, 主要从事水量转化与调控研究。

[通讯作者] 魏晓妹(1957—), 女, 甘肃甘谷人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水资源转化理论与调控技术研究。

水,并在洪积扇边缘地带以泉水的形式溢出地表,形成众多的泉水河道汇集而成石羊河。此后该河穿过红崖山,进入下游民勤盆地,水量经引灌而消耗与蒸发,河流也逐渐消失。流域走廊平原区土地广阔,光热资源丰富,但是平原地区降水量小,蒸发量大,基本不产流,发源于祁连山区的河水及其转化形成的地下水成为工农业生产的唯一水源。

经过长期的绿洲农业开发,在荒漠中培育了片片绿洲,提高了农业综合生产能力,但随之而产生的诸如水资源短缺、植被退化、土壤盐渍化、水质恶化等水土资源问题也日趋严重^[1]。地表水与地下水的多次重复转化是河西走廊几大内陆河流域的重要特征之一,人为强制性的水资源大规模开采利用,加大了水资源的无效蒸发损失,破坏了原有的地表水、地下水水资源转化格局^[2-4]。水土资源的大规模开发利用,加强了人为因素对水资源转化过程的干预,由此而产生的负面效应严重地影响着流域社会经济的可持续发展和生态环境的安全^[5]。但迄今为止,有关内陆河流域量化性水土资源开发对水资源转化的影响机理研究尚不多见。本研究以人工神经网络为

平台,量化性研究了内陆河——石羊河流域水土资源开发对水资源转化的影响,以期促进该流域水土资源的合理开发利用,维持流域水循环的健康发展。

1 水土资源开发对水资源转化的影响

1.1 石羊河流域水资源转化系统概化

石羊河流域按水系分布及地质构造特征,由东向西可划分为 3 个相对独立的水资源转化子系统^[6]。一是大靖河系统,主要包括大靖盆地,该系统河川径流量小,且处于相对独立的水文地质单元,其水量在本系统内消耗殆尽;二是西大河系统,包括永昌盆地和昌宁盆地,河川径流量除一部分供永昌县用水外,其余蓄积于金川峡水库;三是以古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河为主体的“六河系统”(以下简称六河系统),该系统中游为武威盆地,下游为民勤盆地,六河出山径流是系统水资源的主体,由于特殊的地质构造条件,武威盆地水资源的利用格局直接影响着民勤盆地水资源量的时程变化。由于各子系统间缺乏有机的水力联系,故可以视为相互独立的水资源转化系统(图 1)。

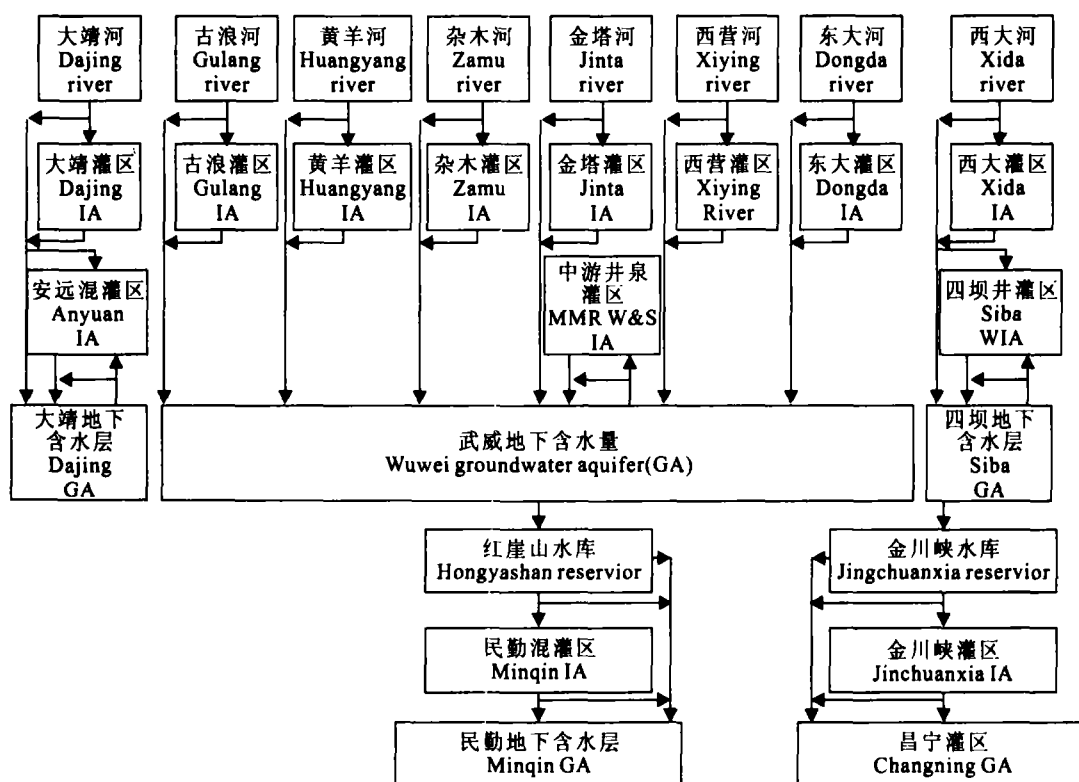


图 1 石羊河流域水资源转化系统示意图

Fig. 1 Water resources transformation system in Shiyang River

(IA, Irrigation area; MRR WSIA, Middle reaches of river well and spring Irrigation Area;
GA, Groundwater aquifer, WIA, Well Irrigation area)

在概化的3个水资源转化子系统中,六河系统绿洲农业发达,灌区类型齐全,水土资源开发利用格局在流域中具有一定的代表性,地表水与地下水转化能够反映流域水资源转化的基本特征,同时南北盆地之间没有直接的地下水水力联系,交界处的地表水使流域南北盆地之间产生了水力联系^[7]。因此,本研究选择六河系统为研究区进行水土资源开发对地表水、地下水转化影响的研究。

1.2 水土资源开发对水资源转化的影响机理

石羊河流域六河系统的地表水、地下水转化,具有西北内陆河流域水资源转化的特点,有两个地表水、地下水转化带^[2]。水土资源的大规模开发利用,使天然条件下的水量转化关系发生了巨大的变化。六条河流除杂木河外,其余均建有调蓄水库,出山径流量首先被大量引入中游山水(河水)灌区,大面积灌溉及工业和生活用水的消耗,以及渠系的高标准衬砌,不仅改变了天然条件下地表水转化为地下水的途径,而且也增加了转化层次,使第一个地表水、地下水转化带的地下水补给量减少;山水灌区的灌溉余水随后又被引入井泉灌区,并大量开采地下水以补充地表水灌溉水量的不足,由于地下水采补失调,导致该区地下水位大幅度下降,泉水溢出量锐减,使第二个地表水、地下水转化带的水量转化关系也发生了显著的变化,进而使石羊河进入红崖山水库的径流量减少。红崖山水库入库流量的减少直接影响着下游民勤盆地绿洲农业的用水格局。

通过以上分析可以看出,六河系统水资源的主体是出山口河川径流量,绿洲农业发展对水土资源的开发利用,加强了人为因素对水资源转化过程的干预,使两个地表水地下水转化带之间存在着十分复杂的制约关系,只要牵动水量转化链条中的任何一个环节,都会使次一级水资源转化关系发生变化。对六河水资源转化系统来说,影响水资源转化的主要水土资源开发利用要素为灌溉面积、渠系衬砌率、灌溉引水量、地下水开采量,而反映系统水资源转化响应结果的状态变量,可概化为井泉灌区地下水位变幅和红崖山水库入库径流量。

2 人工神经网络算法的引入

本文尝试利用人工神经网络模型来进行水土资源开发对水资源转化影响的模拟研究。人工神经网络算法多种多样^[8-11],基于文献[8]对于人工神经网络算法的简明性,本文借鉴其人工神经网络简要叙述3层BP网络的算法。设有 T 组样本,编号为1~

T ,网络输入层结点数为 L ,隐含层结点数为 M ,输出层结点数为 N ;输入层至隐含层的权重为 w_{ij} ,隐含层至输出层的权重为 w_{jk} ;隐含层阈值为 θ_i ,输出层阈值为 θ_k 。网络模型的计算步骤如下:

(1)网络初始化与样本预处理。将样本通过函数进行0~1化处理,使样本取值范围为(0,1)。取学习步长为 α ,冲量因子为 β ,最大学习误差为 ϵ ,令迭代次数 $t=1$ 。给 w_{ij} 、 w_{jk} 、 θ_i 、 θ_k 随机赋予1个取值范围为(0,1)的随机数($i=1,2,\dots,L;j=1,2,\dots,M;k=1,2,\dots,N$)。随机选取1个编号为 p 的样本组,设 X_j^p 为样本 p 输入层结点输入值, Y_k^p 为样本 p 输出层实际输出值。

(2)各层输入与输出值计算。隐含层结点的输入值 S_j^p 和输出值 X_j^p 分别为:

$$S_j^p = \sum_{i=1}^L w_{ij} X_i^p - \theta_j; X_j^p = \frac{1}{1 + e^{-S_j^p}} \quad (1)$$

输出层结点的输入值 s_k^p 和输出值 X_k^p 分别为:

$$S_k^p = \sum_{j=1}^M w_{jk} X_j^p - \theta_k; X_k^p = \frac{1}{1 + e^{-S_k^p}} \quad (2)$$

(3)输入下一个样本,令 $p = p + 1$,转向步骤(2),直到所有样本训练结束。

(4)样本总误差 E 的计算。 E 的计算公式为:

$$E = \sum_{p=1}^T \sum_{k=1}^N (Y_k^p - X_k^p)^2 \quad (3)$$

如果 $E \leq \epsilon$,则学习结束,否则转向步骤(5)。

(5)各层误差信号计算。有:

$$B_{jk}^p = (Y_k^p - X_k^p) \cdot X_k^p \cdot (1 - X_k^p) \cdot w_{jk} \quad (4)$$

$$B_{ij}^p = \sum_{k=1}^N B_{jk}^p \cdot w_{ij} \cdot X_j^p \cdot (1 - X_j^p) \quad (5)$$

式中: B_{jk}^p 和 B_{ij}^p 分别代表输出层与隐含层间的误差信号和隐含层与输入层间的误差信号。

(6)各层权重修改。权重修改按下式进行:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) + \beta \cdot \left(\sum_{p=1}^T B_{jk}^p \cdot X_j^p \right) + \alpha \cdot \Delta w_{jk}(t-1) \quad (6)$$

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \beta \cdot \left(\sum_{p=1}^T B_{ij}^p \cdot X_i^p \right) + \alpha \cdot \Delta w_{ij}(t-1) \quad (7)$$

式中: $w_{jk}(t+1)$ 、 $w_{ij}(t+1)$ 、 $w_{jk}(t)$ 、 $w_{ij}(t)$ 分别为 $t+1$, t 次迭代权重; $\Delta w_{jk}(t-1)$ 和 $\Delta w_{ij}(t-1)$ 为 $t-1$ 次权重修正量,其值分别为:

$$\Delta w_{jk} = \beta \cdot \left(\sum_{p=1}^T B_{jk}^p \cdot X_j^p \right) \quad (8)$$

$$\Delta w_{ij} = \beta \cdot \left(\sum_{p=1}^T B_{ij}^p \cdot X_i^p \right) \quad (9)$$

在 $t=1$ 时,令 $w_{jk}(t-1)$ 和 $w_{ij}(t-1)$ 分别为0。

(7)各层阈值修改。阈值修改按下式进行:

$$\theta_k(t+1)=\theta_k(t)-\beta \cdot \sum_{p=1}^T \sum_{j=1}^M B_{jk}^p + \alpha \cdot \Delta \theta_k(t-1), \quad (10)$$

$$\theta_j(t+1)=\theta_j(t)-\beta \cdot \sum_{p=1}^T \sum_{i=1}^L B_{ij}^p + \alpha \cdot \Delta \theta_j(t-1). \quad (11)$$

式中: $\theta_k(t+1)$ 、 $\theta_j(t+1)$ 、 $\theta_k(t)$ 、 $\theta_j(t)$ 分别为 $t+1$ 、 t 次迭代阈值; $\Delta \theta_k(t-1)$ 和 $\Delta \theta_j(t-1)$ 为 $t-1$ 次阈值修正量, 其值分别为:

$$\Delta \theta_j = -\beta \cdot \sum_{p=1}^T \sum_{i=1}^L B_{ij}^p, \quad (12)$$

$$\Delta \theta_k = -\beta \cdot \sum_{p=1}^T \sum_{j=1}^M B_{jk}^p. \quad (13)$$

在 $t=1$ 时, 令 $\Delta \theta_k(t-1)$ 和 $\Delta \theta_j(t-1)$ 分别为 0。

(8) 迭代次数 $t=t+1$; 转向步骤 2。

3 模型的应用

本文采用典型的 3 层 BP 人工神经网络模型, 其由 1 个输入层、1 个隐含层和 1 个输出层组成, 输入层结点数为 13, 隐含层结点数为 20, 输出层结点数为 2。其中 13 个输入值分别为六河系统年出山口径流量(W , 亿 m^3)和 12 个影响水资源转化的水土资源开发利用要素, 分别为山水灌区年实际灌

溉面积(X_1 , 千 hm^2)、井泉灌区年实际灌溉面积(Y_1 , 千 hm^2)、山水灌区渠系衬砌率(X_2)、井泉灌区渠系衬砌率(Y_2)、山水灌区年农业灌溉地表水用水量(X_3 , 万 m^3)、井泉灌区年农业灌溉地表水用水量(Y_3 , 万 m^3)、山水灌区年农业灌溉地下水用水量(X_4 , 万 m^3)、井泉灌区年农业灌溉地下水用水量(Y_4 , 万 m^3)、山水灌区年工业及居民生活地表水用水量(X_5 , 万 m^3)、井泉灌区年工业及居民生活地表水用水量(Y_5 , 万 m^3)、山水灌区年工业及居民生活地下水用水量(X_6 , 万 m^3)和井泉灌区年工业及居民生活地下水用水量(Y_6 , 万 m^3); 输出值为中游井泉灌区年地下水位变幅(Z_1 , m)和红崖山水库年入库径流量(Z_2 , 亿 m^3)。

选用 1991~2002 年共 12 组数据参与模型的训练和验证, 在这些数据中, 除了中游山水灌区和井泉灌区渠系衬砌率外, 其余各组训练样本值均需进行 0~1 规格化处理, 其公式为

$$x_i' = \frac{x_i + |\min(x_i)|}{\max(x_i) + |\min(x_i)|} \times 0.9 + 0.05 \quad (14)$$

利用式(14)规格化处理后的结果见表 1。

表 1 网络训练与检验样本规格化的结果

Table 1 Standard data table of ANN training and verifying

变量 Varian	年份 Year											
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
X_1	0.864 7	0.890 9	0.898 2	0.905 3	0.940 6	0.950 0	0.920 0	0.919 5	0.920 3	0.990 9	0.920 6	0.939 1
Y_1	0.942 7	0.950 0	0.948 2	0.946 3	0.946 6	0.947 4	0.947 7	0.949 6	0.942 3	0.942 3	0.907 3	0.904 5
X_2	0.802 7	0.811 2	0.859 6	0.902 8	0.877 6	0.875 7	0.875 7	0.875 4	0.874 0	0.874 0	0.894 9	0.894 9
Y_2	0.242 9	0.242 9	0.242 9	0.240 6	0.264 7	0.267 4	0.222 6	0.222 6	0.411 3	0.411 3	0.430 2	0.449 1
X_3	0.819 1	0.898 3	0.910 1	0.921 8	0.950 0	0.878 3	0.877 0	0.874 1	0.843 6	0.894 7	0.863 8	0.891 4
Y_3	0.887 7	0.897 4	0.923 7	0.950 0	0.947 1	0.898 5	0.880 4	0.921 5	0.911 3	0.882 3	0.876 4	0.903 9
X_4	0.233 8	0.267 6	0.301 4	0.335 2	0.404 0	0.365 1	0.540 4	0.950 0	0.635 3	0.700 4	0.670 1	0.672 8
Y_4	0.349 1	0.394 8	0.440 5	0.486 2	0.558 1	0.520 8	0.736 0	0.802 8	0.950 0	0.903 6	0.863 2	0.873 1
X_5	0.771 8	0.736 9	0.685 0	0.641 6	0.646 8	0.634 8	0.762 0	0.851 4	0.847 4	0.950 0	0.861 8	0.899 4
Y_5	0.793 1	0.752 4	0.701 1	0.655 3	0.640 5	0.622 1	0.716 9	0.851 7	0.871 1	0.876 3	0.880 8	0.950 0
X_6	0.950 0	0.804 8	0.661 0	0.514 3	0.576 5	0.548 8	0.630 3	0.549 1	0.733 1	0.794 5	0.756 7	0.765 6
Y_6	0.950 0	0.773 1	0.596 7	0.422 3	0.495 7	0.479 3	0.535 4	0.521 0	0.705 5	0.672 6	0.684 2	0.712 2
W	0.685 0	0.761 9	0.950 0	0.777 8	0.795 9	0.799 2	0.808 6	0.796 1	0.742 3	0.824 0	0.697 5	0.726 8
Z_1	0.498 6	0.209 0	0.950 0	0.607 4	0.050 0	0.893 4	0.607 8	0.228 4	0.215 8	0.481 2	0.617 7	0.626 0
Z_2	0.746 6	0.673 8	0.950 0	0.791 9	0.728 3	0.734 4	0.701 3	0.632 6	0.597 5	0.629 1	0.557 1	0.547 8

选用 1991~2000 年共 10 组数据, 应用式(1)~(13)进行网络训练, 最大学习误差 ϵ 为 0.000 1, 激励函数为 S 型激励函数, 即:

$$f(S_i) = \log \text{SIG}(S_i) = \frac{1}{1 + e^{-S_i}}. \quad (15)$$

取学习步长 α 为 0.4, 冲量因子 β 为 0.6, 随机

赋给输入层与隐含层权重、隐含层与输出层权重、隐含层阈值和输出层阈值 1 个取值范围为 0~1 的随机数,对样本进行训练。训练结果见表 2~4。

输出层节点 1 和节点 2 的阈值分别为 0.376 3 和 0.064 3。

选用 2001~2002 年共 2 组数据资料进行模型检验,原始模型输出值为无单位规格化值,将输出值按式(14)进行反算规格化前值,即为带有单位的模型模拟值,其结果如表 5 所示。

表 2 输入层与隐含层权重表
Table 2 Weights of input layer with conceal layer in network

隐含层节点 Node number of conceal layer	输入层节点 Node number of input layer									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-0.958 8	0.028 0	0.019 3	-0.515 6	1.027 4	0.828 6	0.522 5	0.988 3	0.284 6	0.151 1
2	0.177 4	-0.386 1	0.059 9	0.680 3	1.063 0	-0.458 6	-0.791 8	0.531 9	-0.515 1	0.535 1
3	-0.583 9	-0.963 7	0.056 4	-0.369 3	0.291 0	-0.469 0	-0.024 1	-0.280 4	-0.073 9	0.028 7
4	0.615 2	-0.825 5	0.308 3	0.785 5	-0.267 6	0.179 5	-0.051 5	-0.669 5	-0.918 3	0.679 9
5	0.306 0	-0.261 0	-0.517 9	0.945 7	-0.367 1	0.393 1	1.271 5	0.339 0	0.112 3	0.599 0
6	0.073 6	-0.694 2	0.393 0	0.162 7	-0.302 7	0.678 0	0.753 9	0.020 2	-0.265 5	0.106 6
7	-0.256 8	-0.679 3	0.197 9	-0.712 0	0.595 4	0.470 4	0.839 2	-0.805 7	-1.109 5	0.785 7
8	0.772 3	0.955 2	-0.074 6	-0.343 8	-1.097 4	-0.021 7	0.063 9	0.418 8	0.758 4	0.789 6
9	0.650 1	-0.112 2	-0.931 9	-0.701 0	-0.278 2	-0.597 5	-0.872 7	0.048 0	0.811 7	0.568 0
10	0.536 5	-0.761 1	0.257 8	0.668 1	-0.851 3	0.487 6	-0.369 6	-0.659 1	-0.017 8	0.729 1
11	-0.620 9	-0.992 4	0.563 5	-0.725 1	0.335 7	-0.069 7	-0.165 0	0.917 0	-0.689 4	0.131 2
12	0.770 1	-0.984 3	0.712 4	0.489 8	-0.914 7	-0.082 7	0.916 3	-0.693 0	-1.005 7	0.363 8
13	0.399 6	-0.220 8	-0.557 1	0.644 3	-0.781 3	0.861 2	-1.276 3	0.858 4	1.530 6	1.222 6

隐含层节点 Node number of conceal layer	输入层节点 Node number of input layer									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.767 5	-0.484 4	-0.902 7	0.478 7	-1.018 8	-0.587 7	0.297 1	-0.865 2	0.447 1	0.383 6
2	-0.791 6	-0.179 6	1.054 9	-0.441 8	-0.900 9	0.145 3	0.757 6	0.869 1	0.399 8	0.154 6
3	0.244 0	-0.272 3	0.303 2	0.753 3	0.585 1	-0.078 9	-0.870 3	-0.504 8	0.118 5	-0.313 3
4	0.225 0	0.781 3	-0.989 6	-0.313 8	0.702 9	0.394 7	-0.283 5	-0.543 3	0.307 2	-0.008 0
5	-0.347 4	-1.503 4	-0.209 7	-0.232 5	-0.580 6	-1.266 7	-0.126 9	1.301 7	-0.620 3	-0.853 6
6	-0.888 8	-0.292 8	-0.781 9	-0.720 9	-0.778 9	-0.632 6	1.332 9	0.419 7	-0.846 2	0.468 0
7	0.517 4	-0.622 3	0.224 7	0.646 9	0.119 4	-0.937 5	0.358 8	-0.109 3	-1.043 8	0.246 6
8	0.598 1	-0.903 8	0.006 2	0.902 5	-0.972 6	0.350 7	1.059 6	0.228 0	0.271 1	0.256 7
9	0.220 6	0.716 5	0.345 9	0.382 1	-0.787 6	0.694 9	-1.007 2	0.026 9	0.091 7	0.385 2
10	-0.333 1	0.424 3	-0.722 7	0.195 2	-0.098 4	0.370 2	0.340 5	0.080 3	0.556 2	0.612 8
11	0.026 0	-0.254 0	0.677 6	0.502 7	0.493 6	-0.384 8	-0.841 3	-0.099 0	-0.656 0	-0.699 8
12	-0.324 1	-0.436 3	-0.922 3	-0.423 9	0.370 6	-0.132 6	0.115 6	0.447 2	-0.951 1	0.159 9
13	1.443 6	2.233 8	-0.089 0	-1.278 2	0.033 5	2.627 4	-0.141 9	-0.470 2	0.752 0	0.701 3

表 3 隐含层与输出层权重表
Table 3 Weights of conceal layer with output layer in network

输出层节点 Node number of output layer	隐含层节点 Node number of conceal layer									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-0.328 6	-0.013 9	-0.797 8	-0.632 4	-0.220 3	-0.279 4	-2.761 3	0.065 2	2.134 9	1.876 1
2	0.281 9	0.924 6	-0.772 7	1.224 7	0.545 8	-0.032 8	-0.932 9	0.434 7	0.141 1	1.102 0

输出层节点 Node number of output layer	隐含层节点 Node number of conceal layer									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.411 0	3.213 0	1.015 1	-0.466 8	-0.325 2	3.600 6	-1.771 2	-2.040 8	1.676 1	0.086 6
2	0.840 7	1.014 8	0.470 9	-1.353 1	0.032 0	0.401 9	-0.060 6	0.651 6	0.413 6	0.007 0

表 4 隐含层阈值表

Table 4 Threshold value of conceal layer in network

隐含层节点 Node number of conceal layer	阈值 Threshold value	隐含层节点 Node number of conceal layer	阈值 Threshold value	隐含层节点 Node number of conceal layer	阈值 Threshold value	隐含层节点 Node number of conceal layer	阈值 Threshold value
1	0.823 1	6	0.953 1	11	-0.782 9	16	-0.346 2
2	0.229 4	7	-0.370 0	12	0.738 1	17	-0.841 3
3	0.455 4	8	0.138 4	13	0.702 4	18	-0.846 8
4	-0.913 6	9	-0.388 3	14	0.488 6	19	0.282 0
5	0.335 6	10	-0.652 2	15	-0.690 2	20	0.640 0

表 5 人工神经网络模型模拟值与实际值对照表

Table 5 Comparision table about simulated values to factual values

检验资料系列 Verifying data	2001 年		2002 年	
	地下水水位变幅/m Average groundwater table change range	红崖山水库年入库 径流量/亿 m ³ Annual gross discharge volume of Hongyashan reservoir	地下水水位变幅/m Average groundwater table change range	红崖山水库年入库 径流量/亿 m ³ Annual gross discharge volume of Hongyashan reservoir
实际值 Factual values	-0.404 0	0.889 9	-0.383 0	0.875 8
模型原始输出值 Simulation model output values	0.624 2	0.586 4	0.629 8	0.547 6
模拟值 Simulated values	-0.387 5	0.900 9	-0.373 5	0.839 0
误差/% Erro	4.084 2	1.234 2	2.483 3	4.201 9

该模型检验结果(表 5)表明,相对误差均在 5% 以内,精度符合应用要求,利用该模型能够进行水土资源开发对水资源转化影响的模拟与预测。

4 结 论

(1)水土资源开发利用是石羊河流域绿洲农业发展的基础。水土资源的开发利用提高了农业综合生产能力,促进了绿洲农业的发展,同时也加强了人为因素对水资源转化格局的影响。

(2)基于“六河系统”水资源转化机理的分析,筛选了影响水资源转化的主要水土资源开发利用要素,概化了反映水资源转化响应结果的状态变量。

(3)利用人工神经网络技术,构建了以“六河系统”出山径流量、中游山水灌区及井泉灌区水土资源开发利用要素为输入端,以流域水资源转化响应结果——井泉灌区地下水位变幅及红崖山水库年入库径流量为输出端的水资源转化模拟模型,并利用多年实测资料对模型进行了训练和检验,精度达到了预期要求。利用该模型可以进行不同水土资源开发利用要素在不同开发规模影响下的水资源转化模拟研究。

(4)石羊河流域存在的多次地表水、地下水相互转化的特征,是其他河西走廊地区内陆河流域共有的。本文通过石羊河流域水土资源开发利用对流域水资源转化影响的研究,构建的人工神经网络模型,

也能够为其他流域水土资源可持续性开发利用研究提供科学有效的决策手段。

[参考文献]

[1] 陈俭煌,魏晓妹.石羊河流域水资源问题及其对策[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):197-200.

[2] 张济世,康尔酒.河西内陆河地表水与地下水转化及水资源利用率研究[J].冰川冻土,2001,23(4):375-382.

[3] 任立良,张 炜.中国北方地区人类活动对地表水资源的影响研究[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(4):13-18.

[4] 李 新,年福华.人类活动对新疆阿拉尔灌区地下水的影响分析[J].干旱区资源与环境,1999,13(2):41-47.

[5] 甘肃省水利水电勘测设计研究院.石羊河流域水资源开发利用现状评价报告[R].甘肃兰州:甘肃水利水电勘测设计研究院,1998.

[6] 陈梦熊,马凤山.中国地下水资源与环境[M].北京:地震出版社,2002.138-207.

[7] 魏晓妹,栗晓玲,陈俭煌.石羊河流域水资源特征及开发利用研究[J].水利水电技术,2004,35(12):1-4.

[8] 宋松柏.区域水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学水利与建筑工程学院,2003.

[9] 张 捷,黄光球,袁庆喜.基于 BP 网络的水文预报模型[J].现代计算机,2004(3):10-13.

[10] 孟春红,夏 军.人工神经网络在黄河下游灌区的应用研究[J].人民黄河,2004,26(1):37-38.

[11] 吴泽宁,崔 萌,曹 茜,等. BP 网络模型在水资源利用方案评价中的应用[J].南水北调与水利科技,2004,2(3):25-28.