

人工神经网络结合 SWAT 模型在河道径流量预测中的应用

王福振

(锦州市义县水利局, 辽宁 锦州 121100)

【摘要】 径流量预测的常用方法具有不确定性大、未考虑大气变化及人类活动等影响因素的缺点,因此提出人工神经网络结合 SWAT 模型的预测方法来对其进行优化。应用该方法对辽宁省哈巴气水文站的降雨量及径流量进行模拟,预测结果与实测值吻合度较高,证明了该方法的合理性。此外,应用该方法对该站未来 15 年的径流量变化情况进行了预测,为该地区的水资源规划提供基础资料。

【关键词】 人工神经网络; SWAT 模型; 径流量; 预测

中图分类号: TV214

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)08-0067-04

Application of artificial neural network combined SWAT model in prediction of river channel runoff volume

WANG Fuzhen

(Jinzhou Yixian Water Conservancy Bureau, Jinzhou 121100, China)

Abstract: Common methods of runoff volume prediction has defects of large uncertainty, none consideration of climate change and influence of human activities and similar factors. Therefore, the method is optimized through the prediction method of artificial neural network combined with SWAT model. The method is applied to stimulating the precipitation and runoff volume in Liaoning Habaqi Hydrological Station. The prediction results are highly fit with measured value. The rationality of the method is proved. In addition, the method is applied for predicting the runoff volume change condition of the station within 15 years in the future, thereby providing basic information for water resources planning in the area.

Keywords: artificial neural network; SWAT model; runoff volume; prediction

1 概述

河道径流量的预测是水土保持以及水资源管理与规划的重要参考标准,也是研究水环境与水生态演变规律的主要指标之一^[1],但其预测却没有统一且认可度较高的方法。径流量的常用预测方法为经验法与数理统计法,但经验法不确定性较大,而数理统计法难以考虑到气候变化以及人类活动的影响^[2]。近些年发展

起来的水文模拟法可改正以上两项缺点,且正得到越来越广泛的应用。目前,国际上最流行的水文模型之一为 SWAT 模型^[3],它基于实际的物理原理,因此需要对其提供降水量、风速、气温等输入数据^[4]。由此可知,输入数据的预测是河道径流量预测的基础,而在所有的基本输入数据中,降雨量的变化幅度较大且其对径流量的影响较强,因此是径流量预测是否成功的关键。本文采用人工神经网络法对降雨量进行预测,该

方法可准确考虑到降雨量的内部与外部影响因素,以及这些因素之间的相互关系,因此其预测精确度相对于传统方法更强^[5]。以辽宁省哈巴气水文站为例,选用该水文站 1958—2015 年的降雨量及径流量数据对人工神经网络模型和 SWAT 模型进行训练与验证,证明将以上两种模型耦合利用的方法精确度较高。此外,应用该耦合方法对该站点未来 15 年的径流量变化情况进行了预测,为该地区的水资源管理提供参考。

2 方法

2.1 人工神经网络

人工神经网络法是一种多元线性回归分析与建模工具,主要由输入层、隐藏层和输出层 3 层神经元结构构成。本案例中的人工神经网络分析在 NeuroSolution 平台中进行,用于降雨量的预测,为 SWAT 模拟提供基础资料。该方法可同时考虑到降雨量的内部与外部影响因素,以及这些因素之间的相互关系,因此其预测能力较强。该系统主要是利用一系列权重系数以及转移函数来表示神经元之间的非线性特性,首要步骤是将输入数据与权重系数相乘,其次根据反向传播算法对其乘积进行相加,最后再根据转移函数将相加结果转化为输出值。输出神经元的计算过程可表达为^[6]

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} + b_j \quad (1)$$

$$o = f(net) \quad (2)$$

式中 net_j ——净值;

n ——输入神经元数;

x ——输入神经元矩阵;

w ——权重矩阵;

b ——偏移值矩阵;

o ——输出神经元值;

f ——转移函数。

转移函数的表达式为

$$f(net_j) = \frac{2}{(1 + e^{-2 \times net_j})} - 1 \quad (3)$$

因此,输出神经元也可表示为

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (4)$$

权重系数的确定采用迭代优化法,其目标是使误差函数取最小值,其思路可表达为

$$w_{ij}^{新} = w_{ij}^{旧} - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (5)$$

其中

$$E = \sum_{P_T} \sum_{N_O} [(R_{pre})_i - (R_M)_i]^2 \quad (6)$$

式中 η ——模型学习率;

E ——误差函数;

P_T ——训练类型数;

N_O ——输出神经元数;

R_{pre} ——预测值;

R_M ——实测值。

2.2 SWAT 模型

SWAT 模型是当前国际最为流行的水文模型之一,它基于物理原理,可用于模拟径流量、蒸散发量、入渗量、营养物质的扩散与迁移等。该模型中水文循环的计算主要基于水量平衡方程,其表达式为

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (7)$$

式中 SW_t ——最终的土壤含水量;

SW_o ——初始含水量;

t ——时间;

R_{day} ——降雨量;

Q_{surf} ——地表径流量;

E_a ——蒸散发量;

w_{seep} ——渗流量;

Q_{gw} ——回流量。

本案例采用 SWAT 模型中的 ArcSWAT 版本,其中主要参数值的确定采用经验系数法,具体数值如下:土壤有效含水率系数为 0.22,河道曼宁系数为 0.05,土壤剖面最大根系深度为 500mm,土壤水力导水率为 460mm/h,径流延迟系数为 4,土壤蒸发补偿因子为 0.95,地下水迟滞时间系数为 50。

2.3 实际案例

以辽宁省哈巴气水文站资料为例对以上两种模型进行验证与应用。该水文站位于辽宁省西部山区大凌

河西支主干流、朝阳市凌源市下游约 15km 处^[7],具有 1958 年至今的完整水文监测资料。案例研究共分为四步:首先,随机选取其中 40 年的降雨量资料对人工神经网络模型进行训练;其次,在数据库中加入未被选用的降雨量资料对模拟结果进行验证;第三,采用该模型对未来 15 年内的降雨量进行预测;最后,将预测的降雨量值应用于 SWAT 模型的模拟中,从而预测出该站点未来 15 年内的径流量变化情况。

3 结果

3.1 降雨量模拟与分析

采用人工神经网络法对哈巴气站的降雨量进行分析,首先随机选取该站点 40 年的降雨量资料对模型进行训练,并计算得到该站 1955—2015 年的平均降雨量时间序列,结果如图 1 所示。其中最小值出现于 1987 年,为 284mm;最大值出现于 2000 年,为 768mm。该地区降雨量整体呈下降趋势,在研究时间区间内的年均降水量下降值约为 0.59mm,这说明降雨量的变化是该地区水资源短缺问题日益严重的原因之一。

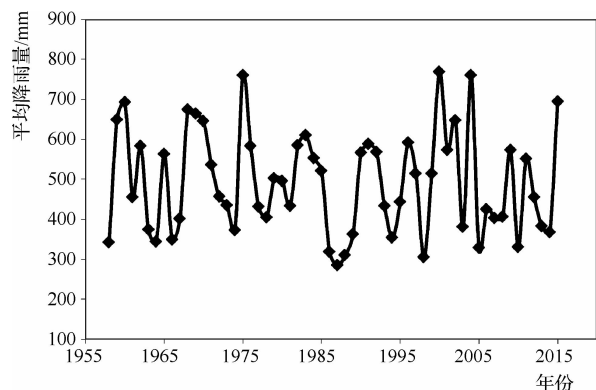


图 1 哈巴气站 1955—2015 年平均降雨量

采用加权平均法^[8]对降雨量的预测值进行分析,得到各时间段内的多年平均降雨量,并与实测值^[9]进行比较,结果见表 1。

表 1 哈巴气站多年平均降雨量预测的误差分析

年份	年数	实测值/mm	模拟值/mm	误差值/mm	误差率/%
1958—1970	13	515	518	3	0.58
1971—1980	10	493	498	5	1.01
1981—1990	10	461	454	-7	-1.52
1991—2000	10	503	508	5	0.99
2001—2010	10	485	483	-2	-0.41

由表 1 可知,人工神经网络的模拟结果误差值较小,小于 10mm 标准,其中误差最大的为 7mm,绝对平均误差值为 4.4mm,平均误差值仅为 0.8mm;误差率均低于 5%,其中误差率最高的为 1.52%,绝对平均误差率为 0.90%,而平均误差率仅为 0.13%。以上误差的产生主要是由于模型输入量不足,例如在模型训练中只随机选择了 40 年的降雨量以保证有足够的剩余数据来对模型进行验证。但总体而言,该方法的模拟结果十分精确,可用于未来降雨量的预测中。

3.2 径流量模拟与分析

采用 SWAT 模型对哈巴气站的径流量进行模拟,得到该站 1955—2015 年的径流量时间序列,结果如图 2 所示。其中最小值出现于 1998 年,为 0.205 亿 m^3 ;最大值出现于 1962 年,为 3.815 亿 m^3 。

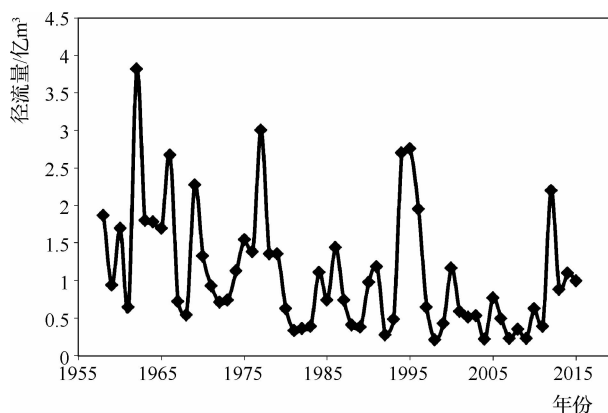


图 2 哈巴气站 1955—2015 年径流量

该地区径流量呈明显的下降趋势,在研究时间区间内的年均径流量下降值约为 0.018 亿 m^3 ,这一方面是由于降雨量下降、蒸发量增加等自然条件的变化,另一方面也是因为工业及城市化发展使该流域的水资源开发量大幅增加。

采用加权平均法对径流量的预测值进行分析,得到各时间段内的多年平均径流量,并与实测值^[10]进行比较,结果见表 2。SWAT 模型的预测结果误差值均小于 0.1 亿 m^3 ,其中误差最大的为 0.058 亿 m^3 ,绝对平均误差值为 0.027 亿 m^3 ,平均误差值仅为 -0.025 亿 m^3 ;误差率均低于 5%,其中误差率最高的为 -4.70%,绝对平均误差率为 3.05%,而平均误差率为

-2.93%。以上误差的产生主要是由于模型参数不完全符合实际情况,例如现实中的河道糙率具有空间变异性,因此采用单一的曼宁系数无法完全精确地表达出河道糙率的具体情况。但该方法的模拟结果已经十分准确,因此可用于对该地区的河道径流量进行预测。

表2 哈巴气站年径流量预测的误差分析

年份	年数	实测值/ 亿 m ³	模拟值/ 亿 m ³	误差值/ 亿 m ³	误差比/ %
1958—1970	13	1.667	1.672	0.005	0.30
1971—1980	10	1.294	1.276	-0.018	-1.39
1981—1990	10	0.717	0.684	-0.033	-4.60
1991—2000	10	1.235	1.177	-0.058	-4.70
2001—2010	10	0.471	0.451	-0.020	-4.25

3.3 径流量预测与分析

采用以上已经验证的人工神经网络模型及 SWAT 模型对哈巴气站未来 15 年内的降雨量及径流量进行预测,所得结果如图 3 所示。根据预测结果可知,降雨量与径流量的增高与下降趋势较为相似,说明径流量与降雨量基本保持正相关关系。在 2016—2030 年,哈巴气站的最小降雨量将出现于 2028 年,为 323mm;最大降雨量将出现于 2025 年,为 252mm,总体呈下降趋势,年均下降值为 4.57mm。该站最小径流量将出现于 2018 年,为 0.289 亿 m³;最大径流量将出现于 2027 年,为 1.396 亿 m³,总体同样呈下降趋势,年均下降值为 0.011 亿 m³。

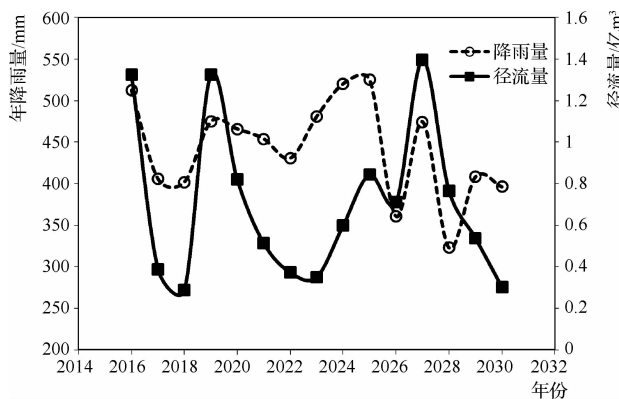


图3 哈巴气站未来 15 年内的降雨量与径流量预测值

综上,哈巴气站的径流量在未来总体呈下降趋势,说明该地区水资源短缺压力将进一步加剧,因此应根

据分析结果合理安排水资源开采量,控制工业与城市化建设的速度与规模,并提高用水效率。

4 结论

采用人工神经网络结合 SWAT 模型法对哈巴气的降雨量与径流量进行了模拟,证明该方法精确度较高。采用人工神经网络法对该站未来 15 年内的降雨量进行了预测,并将该预测值应用于 SWAT 模拟中,从而预测了该站未来 15 年内的径流量变化情况。结果表明,该河道径流量将呈下降趋势,年均下降值为 0.011 亿 m³,说明该地区水资源短缺状况将进一步恶化,因此有必要根据该变化趋势采取合理的防治措施。该方法也可应用于其他地区的径流量预测中,并为水资源规划与管理提供基础资料;此外,也可以根据大量的实测数据对模型中的经验参数进行修正,从而进一步提高预测精确度。

参考文献

- [1] 唐道来. 水利工程建设与生态环境可持续发展的相关性[J]. 水利技术监督,2015,23(5):36-37.
- [2] 陈滋月. 气候变化情景模式对流域水土流失影响的定量分析[J]. 水利规划与设计,2016(6):32-35.
- [3] 崔杰石. 基于 SWAT 模型的汤河流域面源污染时空分布研究[J]. 水利规划与设计,2016(2):4-6.
- [4] 徐飞. 沈阳地区水资源短缺原因分析及对策研究[J]. 水资源开发与管理,2015(1):24-26.
- [5] 李纯良,李锐. 基于一种新型人工神经网络的水流挟沙力模型研究[J]. 水利规划与设计,2009(1):22-24.
- [6] Akiner, M. E., Akkoyunlu, A. Modeling and forecasting river flow rate from the Melen Watershed, Turkey [J]. Journal of hydrology, 2012(456):121-129.
- [7] 段佩华. 朝阳市哈巴气水文站以上流域的水源分析[J]. 现代农业科技,2013(4):195-195.
- [8] 汪跃军. 淮河干流蚌埠水文站年径流系列多时间尺度分析[J]. 水利技术监督,2007,15(1):37-40.
- [9] 李晓光,李菲. 朝阳地区多年降雨特性分析[J]. 水土保持应用技术,2016(2):21.
- [10] 董婷婷. 辽宁省市际以上界河信息调查与成果分析[J]. 中国水能及电气化,2016(5):30-32.