

输水线路旁侧出流预测的数值研究

杨 珏, 汪德

(河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 调水、引水工程沿线非计划用水的评估计算及控制是受水区能否得到足够水量的关键问题。选取南水北调工程苏北江都至淮安调水线路进行数值试验, 采用神经网络技术预测非计划旁侧出流, 探讨该技术的精度和可靠性。根据数值实验的结果, 和传统水力学方法的计算结果相比较, 神经网络模型的预测、预报精度较高, 但用于实际预测还需实测数据作进一步验证。

关键词 人工神经网络; 非计划用水; 输水线路; 水位; 流量

中图分类号 :TU992.22 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2005)03-0012-03

Numerical simulation of water loss prediction along the water diversion way

YANG Jue, WANG De-guan

(College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract The evaluation and control of unforeseen water consumption along the way of water diversion projects is one of the key problems to ensure that enough water can be transferred to the destination. Artificial Neural Network (ANN) is applied to predict unforeseen water consumption along the way from Jiangdu to Huai'an as a case, which is a part of the South-to-North Water Transfer Project, and the precision and reliability of the method are discussed. Results of numerical experiment show that the accuracy of ANN prediction is higher than that of conventional hydraulic methods, while more field data is needed for verification when ANN is used in practical projects.

Key words Artificial Neural Network; unforeseen water consumption; way of water diversion; water level; discharge

近年来, 由于水资源的日益紧张及水资源分布的不均匀, 一些国家开始实施调水、引水工程。伴随这些调水工程的实施, 出现了诸多的技术问题^[1], 要解决这些问题, 高新技术的应用势在必行^[2]。在我国南水北调工程中, 可调水量是十分有限的^[3], 有关沿途水质问题讨论较多^[4,5], 为保证调水工程的成功, 水量和水质是并重的, 尤其是调水沿程非计划用水的评估计算及控制, 已经成为受水区能否得到足够水量的关键问题之一。

对于传统水力学正问题, 在初、边值条件及计划旁侧出流已知的情况下, 计算河道沿程的水位(流量), 可以用一维水流模型进行模拟, 这方面的应用研究已十分成熟。但对上述问题的逆问题, 即在初、边值条件及部分河道水位已知的情况下推求非计划旁侧出流(非计划用水、漏水), 这是传统水力学计算

难以做到的。本文针对这一问题, 选取南水北调工程苏北江都至淮安调水线路进行数值试验, 并采用神经网络技术预测非计划旁侧出流, 探讨预测的精度和可靠性。

1 问题描述

调水路线江都至淮安段沿程有 26 个主要旁侧放水闸门及 20 个可供设置遥测断面的测站, 沿程闸门和测站的位置如图 1 所示。需要了解闸门的开关状态, 以便于及时关闭那些非计划排水的闸门。为了找到合适的对应关系, 现采用旁侧闸门的出流流量作为研究对象。

为便于研究, 把工程问题进行抽象和简化后转化为数学问题, 又将数学问题转化为适用神经网络来研究的问题, 这其中包括输入、输出因子的对应关

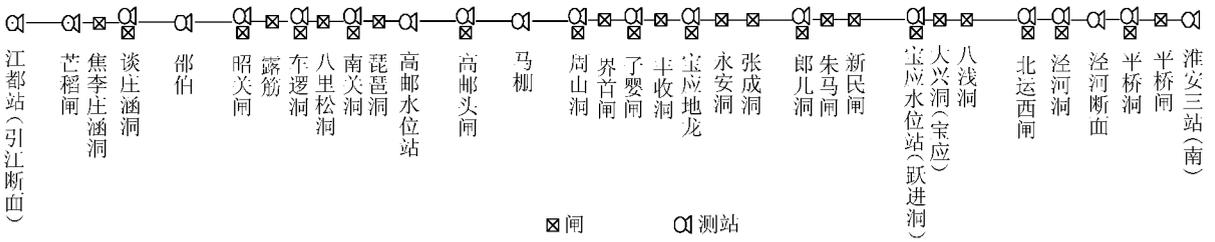


图 1 调水线路水位测站及闸门示意图

系以及输入、输出神经元的个数和形式。具体方法如下：①对河流入口流量的处理方法是取固定流量，这样消除了河流入口流量的变化对河流断面水位的影响；②设 26 个闸门开、关的一次组合为一个状态，将闸门开、关的不同状态所对应的断面水位与闸门全部关闭时的断面水位相减，这样得出的相对水位即消除了河道形状对水位的影响；③经过简化之后，20 个断面相对水位和 26 个闸门流量成为相互影响的两个向量，可以用神经网络来拟合其中的对应关系。

2 神经网络预测闸门开关状态

1985 年，Powell 教授提出了多变量插值的径向基函数(Radial Basis Function—RBF)方法。1988 年，Broomhead 和 Lowe 首先将 RBF 应用于神经网络设计，从而构成了 RBF 神经网络。RBF 网络在逼近能力、分类能力和学习速度方面都具有较大优势。

RBF 网络的拓扑结构和普通的 BP 网络相似，都是多层前向网络(通常为三层)。第一层(输入层)由信号源结点组成；第二层(隐含层)为中间层，单元数视所描述问题的需要而定；第三层为输出层，它对输入模式的作用做出响应。从输入层到中间层空间的变换是非线性的，而从中间层到输出层空间的变换是线性的。同 BP 网络的区别在于，其中间层的作用函数(基函数)由像高斯函数那样辐射状的作用函数构成。基函数的突出特点是，具有局部逼近能力，对输入信号在局部产生响应，即当输入信号靠近基函数的中央范围时，隐层节点将产生较大的输出，所以径向基函数也称为局部感知场网络。隐单元的变换函数是 RBF，它是一种局部分布的、对中心点径向对称衰减的非负非线性函数。

本文应用 RBF 网络来完成对输水线路旁侧闸门流量的训练和预测。

2.1 数据准备和处理

2.1.1 神经网络学习集和预测集准备

如图 2 所示，旁侧闸门流量预测问题的输入和输出因子均较多，因此神经网络模型需要大量的学习模式对，另外，还需要一些预测模式对，对学习成熟的神经网络黑箱子模型进行适当的预测验证。本文采用如下办法来达到数值实验的目的：①随机产

生 402 种输水线路旁侧闸门出流状态，进行水力学正问题的计算，计算河道沿程 20 个断面的水位，这样便产生了 402 个神经网络模式对；②取其中 367 个模式对作为学习集，对神经网络进行训练，使其学习误差达到预定值；③用剩余的 35 个模式作为预测集，对神经网络模型进行预测验证，讨论该黑箱子模型用于实际预测的可行性。

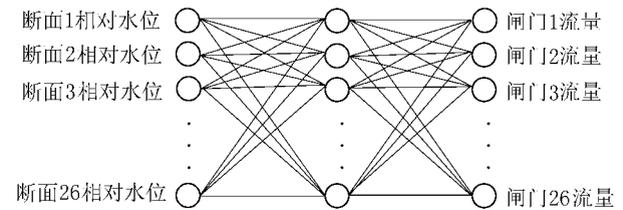


图 2 输水线路旁侧闸门流量预测系统的神经网络结构

2.1.2 数据初始化

根据神经网络对模式对的要求，必须将全部用以学习和预测的数据处理为 0.1~0.9。

对于输入的 20 个遥测断面水位

$$W_R(i, j) = W(j) - W_0(i, j)$$

$$W_0(i, j) = 0.1 + 0.8W_R(i, j)/W_m$$

式中： $W_R(i, j)$ 、 $W_0(i, j)$ 、 $W(i, j)$ 分别为第 i 个模式第 j 个断面的相对水位、水力学模型计算水位、神经网络输入数据； $W(j)$ 为无旁侧出流时第 j 个断面的水位； W_m 为学习模式对中遥测断面的最大相对水位。

对于输出的 26 个闸门流量，也采用类似的方法，

$$G_0(i, j) = 0.1 + 0.8\alpha(i, j)/G_m$$

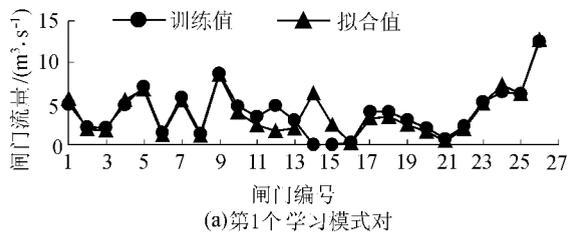
式中： $G_0(i, j)$ 、 $\alpha(i, j)$ 分别为第 i 个模式第 j 个闸门的神经网络输出数据、闸门出流流量， G_m 为学习模式对中闸门出流流量的最大值。

2.2 网络学习

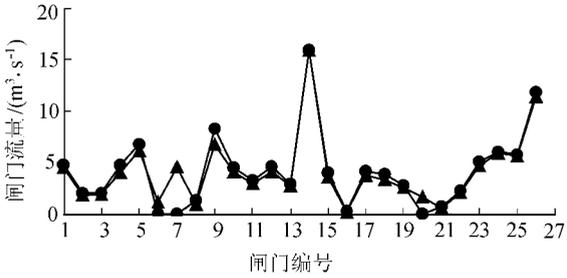
用 RBF 神经网络进行 250 次学习后，拟合精度达到要求。图 3(a)(b)(c)分别是第 1、4、63 个模式对的拟合情况。

2.3 网络预测及预测质量

学习完成后的神经网络模型，对于 26 个闸门流量的 35 次预测，预测相对误差见表 1，第 8、29、32 个预测模式对的预测结果见图 4。



(a)第1个学习模式对



(b)第4个学习模式对

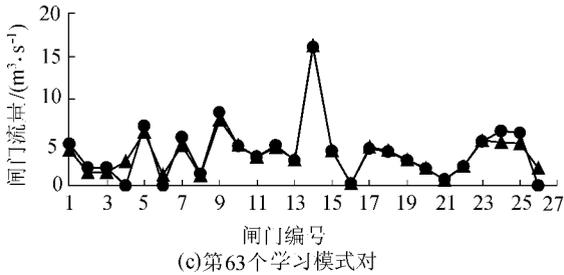
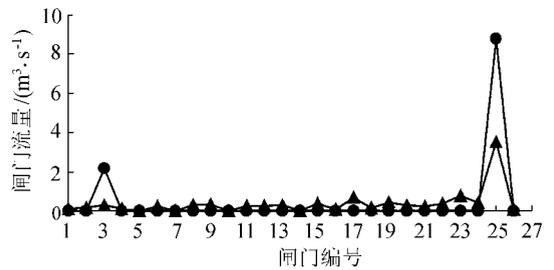


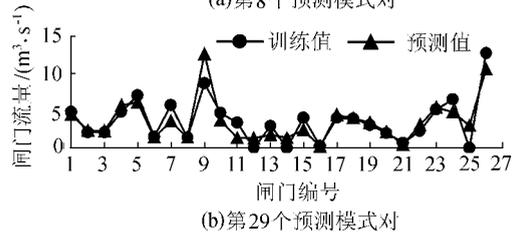
图3 网络训练结果

表1 35次流量预测误差次数

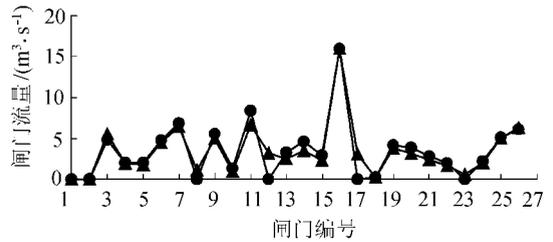
闸门 编号	流量相对误差				
	<0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	>0.5
1	26	4	1	0	4
2	21	6	1	3	4
3	22	4	2	0	7
4	24	3	3	1	4
5	31	2	0	1	1
6	19	9	1	0	6
7	27	2	1	0	5
8	16	8	2	2	7
9	26	4	1	1	3
10	22	5	3	0	5
11	17	8	2	2	6
12	21	8	0	1	5
13	17	6	7	1	4
14	33	0	0	0	2
15	21	4	4	1	5
16	24	9	2	0	0
17	22	5	2	0	6
18	22	4	3	0	6
19	24	6	0	2	3
20	24	6	1	0	4
21	20	5	6	1	3
22	21	5	3	0	6
23	25	4	2	0	4
24	22	5	3	1	4
25	24	4	1	1	5
26	30	2	0	0	3



(a)第8个预测模式对



(b)第29个预测模式对



(c)第32个预测模式对

图4 闸门流量预测

3 结果

从26个闸门流量的预测相对误差情况来看,结果基本满意。在对26个闸门流量的35次预测中,绝大多数预测的相对误差小于0.2,这说明将神经网络方法应用于输水线路旁侧出流是可能的。但同时可以看到,也有一定数量的预测结果相对误差大于0.5,这部分数据是影响其实际应用的主要障碍。另外,在数值实验中,都是假定河渠的流量不受沿程水位变化的影响,这一点对于由水泵控制入流的情况是合适的,但如果用于无控制的自由水流,是不适用的。因而,要将神经网络方法用于预测输水线路旁侧出流,以解决调水沿程非计划用水问题,尚需作进一步的试验和校正。

参考文献:

- [1] 刘新,杨顺群.南水北调西线工程中的主要技术问题[J].人民黄河,1994(12):33~35.
- [2] 张有实.南水北调总体战略与评价[J].地球信息,1996(2):47~51.
- [3] 韩振强,张玫.南水北调可调水量分析[J].人民黄河,1998,20(10):20~23.
- [4] 刘德文,何杉.南水北调东线(黄河以北)水质预测及保护对策研究[J].水资源保护,1995(2):6~16.
- [5] 于伟东.卫河污水对南水北调东线水质的影响研究[J].水资源保护,1995(2):24~28.

(收稿日期 2004-05-10 编辑 舒建)