

大伙房水库水质的 BP 神经网络模拟预测

费 丹

(辽宁省水文局, 辽宁 沈阳 110000)

【摘 要】 本文选取大伙房水库 2011—2015 年的水质指标溶解氧 (DO)、高锰酸盐 (COD_{Mn})、生化需氧量 (BOD₅)、氨氮 (NH₃-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP) 6 项指标的实测数据作为预测样本, 建立了 BP 神经网络模型, 并运用该模型对大伙房水库 2016 年水质指标进行了验证, 结果表明该模型能准确地预测水质指标, 可以运用到大伙房水域水质指标的预测和预警预报系统当中。

【关键词】 水质模拟预测; BP 神经网络; 大伙房水库

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2018)02-030-04

Mock prediction of BP neural network for water quality in Dahuofang Reservoir

FEI Dan

(Liaoning Hydrology Bureau, Shenyang 110000, China)

Abstract: In the paper, measured data of water quality indexes of Dahuofang Reservoir from 2011 to 2015, including 6 index are selected such as dissolved oxygen (DO), potassium permanganate (COD_{Mn}), biochemical oxygen demand (BOD₅), ammonia nitrogen (NH₃-N), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP). BP neural network model is established. The model is utilized for verifying water quality indicators of Dahuofang Reservoir in 2016. Results show that the model predict the water quality indicators, So that this model can be applied as predictor of water quality as well as early warning forecast system in Dahuofang Reservoir.

Key words: water quality mock prediction; BP neural network; Dahuofang Reservoir

1 概 述

大伙房水库位于抚顺市境内, 是辽宁省内一座重要的城市供水、灌溉、防洪、发电、养殖等综合利用的大型调节水库。水库总容量 21.81 亿 m³, 年均供水 10.8 亿 m³, 呈东西带状河谷形, 长约 37km, 水面最宽处约 4km, 分布在抚顺、新宾、清原 3 个县城之中, 流域面积 5437km²。近年来, 由于气候变化、极端暴雨冲刷加之水库区管理手段滞后等原因, 致使水库内营养盐流入增多, 造成藻类滋生水质恶化。水体表现为复杂的物

理、化学及生物作用, 因此建立可靠的水质模拟预测模型至关重要。

2 水质模拟预测

水质模拟预测是水环境质量影响评价、污染物排放总量控制指标制定以及正确认识水环境功能, 实现水资源可持续开发利用的重要依据。影响水质变化的原因可概括为外因和内因两方面共同作用。内因指水域内水体的物理、化学、生物等变化; 外因指外界环境改变而导致的水域内水质的变化, 例如: 污染物进入水

体、农业非点源污染等。在内、外因素相对稳定的情况下,水域在每年同一时期水质的变化规律也相似。目前,国内外应用的水质预测模型有很多种,依据的理论基础不同,大致可以归纳为5类:水质模拟模型预测法、数理统计预测法、灰色系统理论预测法、混沌理论预测法和神经网络模型预测法^[1-3]。本文以大伙房水库作为研究区域,采用BP(Back Propagation)神经网络算法对主要污染物DO、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP的6项指标进行模拟预测研究。

2.1 BP神经网络原理及模型建立

BP神经网络预测有良好的自适应能力和记忆功能,能学习和存储大量的输入—输出模式的映射关系,对非线性和不确定性的对象均可预测,且不需要事前揭示模型水质变化的内部物理、化学、生物等演变过程^[4]。BP神经网络模型的学习规则是利用最速下降法,通过反向传播来调整网络的阈值和权值,得到最小的网络误差平方和。运算过程分为前向和反向传播过程,前向:给定网络输入经输入层、隐藏层、输出层处理后,得到一个输出。反向:若输出结果与期望输出的误差值不合理,则修正连接权值,将误差值沿网络反向传播,直至网络输出误差减小到允许范围内或达到设定的训练次数为止。BP神经网络法构建模型,可用不同的非线性函数关系构建其非线性过程,可灵活探索水质变化规律。

BP神经网络模型建立的主要过程包括:收集水质监测指标资料、确定模型构架和主要参数、模型训练和模型检验。一般来说神经网络构架不宜复杂,越复杂的构架不确定参数越多,其验证结果的精确性差。本研究依据万能逼近定理^[5]“一个隐层的3层BP网络,选取足够多隐节点数,即可对任意非线性函数进行逼近”。样本数据集选取2011—2015年的水质监测中的6项指标(DO、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP)作为训练样本,将2016年的相应6项水质数据作为验证集。采用均方差性能分析mse函数,并进行网络性能分析,初始学习率为0.01,期望误差为 1×10^{-4} ,最大循环训练次数1000次。网络输入层节点数对应各项指标设定为6个,输出层同样。按经验公式 $l < \sqrt{(m+n)} + a$

确定大概范围(m :输出层节点, n :输入层节点数, a :0~10常数),然后用试错法确定隐含层节点数量为13。因此,本研究的BP神经网络的拓扑结构最终确定为6:13:6,结构图如图1所示。

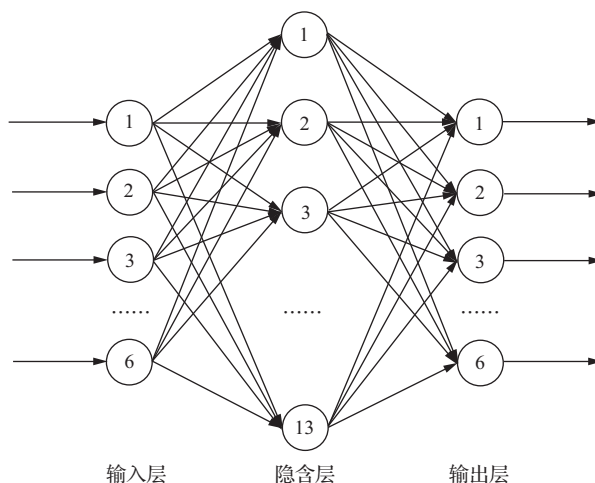


图1 BP神经网络水质预测模型结构

2.2 BP神经网络训练样本的选择及处理

搜集大伙房水库2011—2015年中5个水质监测点的6项指标数据作为输入样本建立神经网络(训练样本)。图2为大伙房水库水质监测点位置图,抚顺取水口的指标数据作为输出层神经元,分别对6项指标进行模拟预测,将2016年的监测数据作为测试样本验证网络精度。训练样本的预处理选用《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)作为网络的学习样本采用linspace函数等间隔均匀分布方式内插生成训练样本,进行样本补充。对样本采用prestd函数进行归一化处理,避免量级的差别影响网络精度^[6],归一化后数据,见表1。

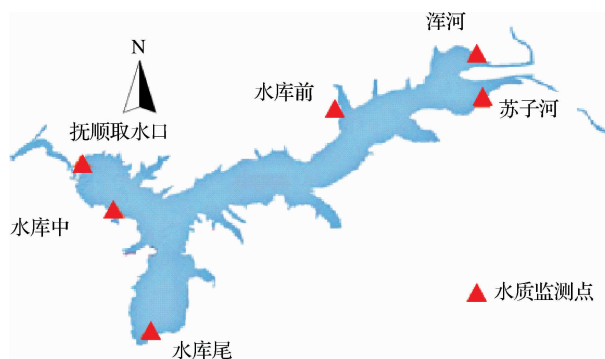


图2 大伙房水库水质监测点

表1 BP网络水质模拟预测模型归一化后训练样本

(单位:mg/L)

选取点	年份	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
浑河	2011	1.8952	0.1426	-0.4152	-0.7649	-0.0425	-0.8142
	2012	1.9075	0.1509	-0.5012	-0.8145	-0.1425	-0.8541
	2013	1.8834	0.1341	-0.3603	-0.6214	-0.2014	-0.8245
	2014	1.8798	0.1329	-0.2516	-0.7451	-0.0851	-0.8145
	2015	1.8634	0.1302	-0.1265	-0.7213	-0.0714	-0.8042
苏子河	2011	1.9745	-0.1542	-0.3621	-0.6415	-0.2125	-0.6652
	2012	1.9985	-0.1245	-0.4132	-0.7125	-0.2251	-0.7415
	2013	1.9626	0.0241	-0.2954	-0.6825	-0.1951	-0.6978
	2014	1.9534	0.0342	-0.2856	-0.6529	-0.2012	-0.6824
	2015	1.9508	0.0142	-0.2315	-0.6241	-0.1526	-0.6641
水库前	2011	1.9623	0.1508	0.2954	0.7102	0.3805	0.7251
	2012	2.0121	0.1675	0.3012	0.7415	0.3911	0.7846
	2013	1.9524	0.1524	0.2901	0.7215	0.3841	0.7542
	2014	1.9452	0.1426	0.3012	0.7042	0.3116	0.7422
	2015	1.9395	0.1301	0.2815	0.6958	0.2715	0.7103
水库中	2011	1.9645	0.1252	0.3624	0.6451	0.4105	0.6854
	2012	1.9852	0.2012	0.3885	0.7014	0.4215	0.7015
	2013	1.9416	0.1825	0.3585	0.6822	0.4116	0.6812
	2014	1.9421	0.1241	0.3424	0.6412	0.3456	0.6754
	2015	1.9204	0.0851	0.3254	0.6302	0.3016	0.6543
水库尾	2011	1.9677	0.0562	0.3211	0.6541	0.3716	0.7012
	2012	1.9745	0.1245	0.3641	0.6815	0.3841	0.7216
	2013	1.8954	0.1041	0.3205	0.6589	0.3706	0.6911
	2014	1.8957	0.0941	0.3012	0.6142	0.3416	0.6755
	2015	1.8865	0.1424	0.2745	0.6014	0.3277	0.6489
抚顺取水口	2011	1.9826	-0.0624	-0.3412	0.6348	-0.2614	-0.6012
	2012	1.9933	0.0821	0.3515	0.6513	0.3716	0.6851
	2013	1.9242	0.0912	0.3341	0.6241	0.3416	0.6005
	2014	1.9205	0.1025	0.3142	0.6223	0.3255	0.5941
	2015	1.9159	0.0846	0.2846	0.6018	0.3033	0.6423

2.3 BP神经网络模拟训练结果

水质模拟预测模型对2011—2015年大伙房水库主要污染物模拟预测,抚顺取水口的6项指标预测效果良好,绝对误差均在允许范围内(<0.01),BP网络模拟成功。水质模拟训练结果见表2。

表2 水质模拟训练结果 (单位:mg/L)

年份		DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
2011	实测值	9.02	2.12	1.2	0.12	1.46	0.01
	模拟值	9.0208	2.1206	1.2	0.1203	1.46	0.01
	绝对误差	0.0002	0.0006	0	0.0003	0	0
2012	实测值	8.62	2.46	1.3	0.18	1.23	0.013
	模拟值	8.6203	2.4603	1.3002	0.1804	1.23	0.013
	绝对误差	0.0003	0.0003	0.0002	0.0004	0	0

续表

年 份		DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
2013	实测值	8.79	2.75	1.26	0.16	1.23	0.013
	模拟值	8.7902	2.7501	1.26	0.1603	1.2304	0.013
	绝对误差	0.0002	0.0001	0	0.0003	0.0004	0
2014	实测值	8.56	2.1	1.27	0.17	1.26	0.015
	模拟值	8.5604	2.1006	1.2703	0.17	1.2603	0.015
	绝对误差	0.0004	0.0006	0.0003	0	0.0003	0
2015	实测值	8.16	2.16	1.39	0.12	1.25	0.01
	模拟值	8.16	2.1602	1.3903	0.1192	1.25	0.01
	绝对误差	0	0.0002	0.0003	0.0008	0	0

3 BP神经网络水质模拟预测模型验证

模型训练后各层间的阈值和权值已确定,将2016年的测试样本输入网络,验证输出值与实际检测值的相对误差,是否达到所需精度,测试结果见表3。验证结果绝对误差为0.229%~9.1%,满足精度要求。所以训练后的网络可用于大伙房水库抚顺取水口的水质预测。

表3 水质模拟预测仿真结果(单位:mg/L)

年份		DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
2016	实测值	9.9	2	1.3	0.127	0.99	0.01
	模拟值	9.9227	2.182	1.3929	0.1246	1.026	0.0105
	相对误差/%	0.229	9.100	7.146	1.890	3.636	5.000

4 结 语

本文选取大伙房水库2011—2015年6个监测点水质污染指标数据作为输入样本,输出层神经元用抚顺取水口的水质数据。用2016年的水质数据作为网络验证,结果表明:经模拟训练后的模型预测效果良好,相对误差在允许范围之内(0.229%~9.1%)。BP神经网络预测法具有预测精度高、建模简单、计算速度

快、预测结果好的特点,不足之处就在于对水质变化的原因无法做出分析。在实际应用过程中,BP神经网络预测法适应性强、对数据依赖性小,可用于短期和长期大伙房水库水质指标变化的预警预报系统中^[7]。近年来大伙房水库水质主要受人类活动和自然环境变迁的影响,特别是矿山开采、工业生产、生活垃圾、农业非点源、畜禽及水产养殖等因素的影响变化较大^[8]。受资料可获取性和BP神经网络模型本身的复杂程度的限制,本文未对影响水质变化的因素进行描述和分析,只考虑了大伙房水库各水质指标的2016年数据,关于引入影响水质变换因素分析的模型,更全面对水质变化进行预测还有待于日后研究加以完善。

参考文献

- [1] 王晓萍,孙继洋,金鑫.基于BP神经网络的钱塘江水质指标的预测[J].浙江大学学报:工学版,2007,41(2):361-364.
- [2] 李如忠.水质预测理论模式研究进展与趋势分析[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2006,29(1):26-30.
- [3] 赵英,崔福义,郭亮,等.基于BP神经网络的天津于桥水库COD_{Mn}预测研究[J].南京理工大学学报:自然科学版,2008,32(3):376-380.
- [4] 郭庆春,何振芳,李力,等.BP人工神经网络模型在太湖水污染指标预测中的应用[J].南方农业学报,2011,42(10):1303-1306.
- [5] Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem[C]. Proceedings of the international conference on Neural Networks, New York:IEEE Press,1987.
- [6] 韦安磊.污水处理过程数学模型方法及其关键技术研究[D].长沙:湖南大学,2010,11-13.
- [7] 张青,王学磊,张婷,等.基于BP神经网络的洪湖水水质指标预测研究[J].湿地科学,2016,14(2):212-218.
- [8] 贾磊.大伙房水库水质预测模型研究[J].水电能源科学,2016,34(8):15-19.