

Water Quality Evaluation Based on BP Neural Network in Nierji Reservoir

Zheng Zhang¹, Yu Qin^{1,2}, Cong Li³, Zhaobo Wang², Guochen Zheng^{1*}

¹Water Resource Protection Bureau of Songliao River Basin, Changchun Jilin

²Changchun Institute of Technology, Changchun Jilin

³Nenjiang Hydrology and Water Resource Center, Songhua River and Liao River Commission Hydrographic Office, Qiqihaer Heilongjiang

Email: *wasaizgc@163.com

Received: May 12th, 2017; accepted: May 30th, 2017; published: Jun. 2nd, 2017

Abstract

According to the measured data of O₂, KMnO₄, COD, NH₃-N, TN, TP, the BP neural network was used to evaluate the water quality of Nierji Reservoir in this paper, the results showed: in recent years, the water quality of the reservoir was between IV to V. The water quality of the reservoir tail is slightly better than that of the reservoir and the dam, the water quality of the flood season and non-flood season are between IV to V, and the problem of reservoir water pollution has not been effectively solved. Compared with the traditional single factor evaluation method, the result of BP neural network is more objective and reasonable.

Keywords

BP Neural Network, Comprehensive Evaluation of Water Quality, Nierji Reservoir, Single Factor Evaluation

基于BP神经网络的尼尔基水库水质评价

张正¹, 秦雨^{1,2}, 李聪³, 王兆波², 郑国臣^{1*}

¹松辽流域水资源保护局, 吉林 长春

²长春工程学院, 吉林 长春

³松辽委水文局嫩江水文水资源中心, 黑龙江 齐齐哈尔

Email: *wasaizgc@163.com

收稿日期: 2017年5月12日; 录用日期: 2017年5月30日; 发布日期: 2017年6月2日

摘要

根据溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总氮、总磷的实测数据, 本文基于BP神经网络对尼尔基水库

作者简介: 郑国臣(1976年生), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水质评价与水资源保护的相关工作。

*通讯作者。

水质进行了综合评价, 评价结果表明: 近年来水库水质介于IV至V类之间。水库库尾水质较库中和坝前水质略好, 汛期水质与非汛期水质差别不大, 介于IV至V类之间, 水库水质污染问题尚未得到有效解决。BP神经网络综合评价方法相较于传统的单因子评价方法, 评价结果更为客观、合理。

关键词

BP神经网络, 水质综合评价, 尼尔基水库, 单因子评价

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 绪论

尼尔基水库位于黑龙江省与内蒙古自治区交界的嫩江干流上, 是嫩江上游一座重要的控制性水利枢纽, 集水面积为 6.64 万 km², 占嫩江流域面积的 22.4%。水库总库容 86.11 亿 m³, 坝址处多年平均径流量 104.7 亿 m³, 占嫩江流域的 45.7% [1]。尼尔基水库是以防洪、城镇生活和工农业供水为主, 结合发电, 兼有改善下游航运和水环境, 并为松辽地区水资源的优化配置创造条件的大型控制性工程。近年来, 随着流域内经济的快速发展, 农业耕种强度与范围不断加大, 大量点源与非点源污染物进入水体, 对尼尔基水库水质安全构成严重威胁。鉴于尼尔基水库在松辽流域的重要地位, 采用科学方法评价其水体质量, 为水库水污染防治工作提供科学依据, 具有重要的实际意义。

湖库水质综合评价是水环境治理中重要的基础性工作, 评价的合理性会直接影响决策方案的制定与防治措施的执行。当前水质评价的方法主要有单因子评价法、综合指数法、模糊数学法、灰色系统评价法等[2]。尽管各评价方法各具优点, 但大都需要构造隶属函数或确定权值。而隶属函数的构造和权值的计算具有较强的主观性, 一些情况下会导致评价结果与实际情况不符, 如夸大水体的污染程度等[3] [4]。BP (Back-Propagation Network, 简称 BP 网络)算法是人工神经网络中最重要的网络之一, 也是迄今为止应用最为广泛的网络算法之一[5]。BP 人工神经网络相较于传统的水质综合评价方法, 不需要构建隶属函数, 且无需精确描述级别区间内的变化特征以及人的主观性等不可控因素。其根据“黑箱”原理进行学习训练, 通过各个单元之间的输入输出变量进行相互关系的修正, 从而得出满足条件的神经网络[6]。BP 神经网络因运行简单、结果客观合理、准确度较高的特点得到广泛应用[7] [8]。本文利用 2011~2015 年的尼尔基水库坝前、库中、库末三个断面汛期与非汛期的实测数据, 应用 BP 神经网络对尼尔基水库水质进行综合评价, 评价结果可以为水库水污染防治与水资源保护提供科学依据。

2. BP 神经网络的构建

BP 网络模型为反向传播网络模型, 是目前 ANN 中应用最为广泛的一种模型。它由输入层、输出层和隐含层 3 个层次组成, 不同层神经元之间均为单向连接, 各层之间包含权值与阈值。数据由输入层输入, 经过隐含层处理后通过输出层输出, 若输出结果与预期输出存在误差, 则会调整为反向传递并将误差值按连接路径逐层反向传播, 并修正各层连接权值与阈值, 直至输出结果与预期结果的误差满足要求[9]。

2.1. 评价指标的选取与数据

本文根据《地表水环境质量标准》选取溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮作为水质评价因子。

溶解氧是水质评价中的一项重要指标,生物与物理化学反应大部份都需要氧的参与,尼尔基水库在各断面五年内溶解氧含量均较高(图 1);磷是藻类生长的必要元素,磷含量以多种方式影响着水质的优劣,尼尔基水库五年中总磷含量差异显著,磷含量普遍偏高。高锰酸盐指数与化学需氧量都是水体中有机物被氧化的需氧量,不同之处只是在于测定所应用的试剂不同从而导致结果不同,监测数据显示:高锰酸盐指数与化学需氧量的变化趋势相近,尼尔基水库高锰酸盐指数与化学需氧量的值均较高(图 2)。氮是生物生长所需的主要元素之一,氨氮是可以直接被植物所吸收的营养物质,尼尔基水库氨氮与总氮变化趋势相近,氨氮含量较低,总氮含量相对较高(图 3)。

2.2. BP 神经网络模型的建立

本文选取溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮作为评价因子,因此确定输入层神经元个数为 6 个。在选取隐层结点数时,隐层节点过多会导致过拟合,降低网络的泛化能力或者导致网络收敛过慢;隐层节点过少则可能达不到精度的要求,因此需要通过反复试验来确定隐层的结点数。本文采用 Kolmogorov 定理以及实验确定隐含层单元数[10]为 5;输出层节点为 1。本文 BP 神经网络模型结构为“6-5-1”,如图 4 所示。

根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),选取表 1 中的水质指标数据作为训练样本。表 1 中,根据实际条件,利用取极值的思想人为假设 I 类水最优时水质因子溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮数值分别为 15 mg/L, 0 mg/L, 0 mg/L, 0 mg/L, 0 mg/L, 0 mg/L,并根据部分文献对黑臭水体限值的取值,取劣 V 类水质上限为 1 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 4 mg/L, 0.4 mg/L, 3 mg/L。增加了劣 V 类水质的上限,使

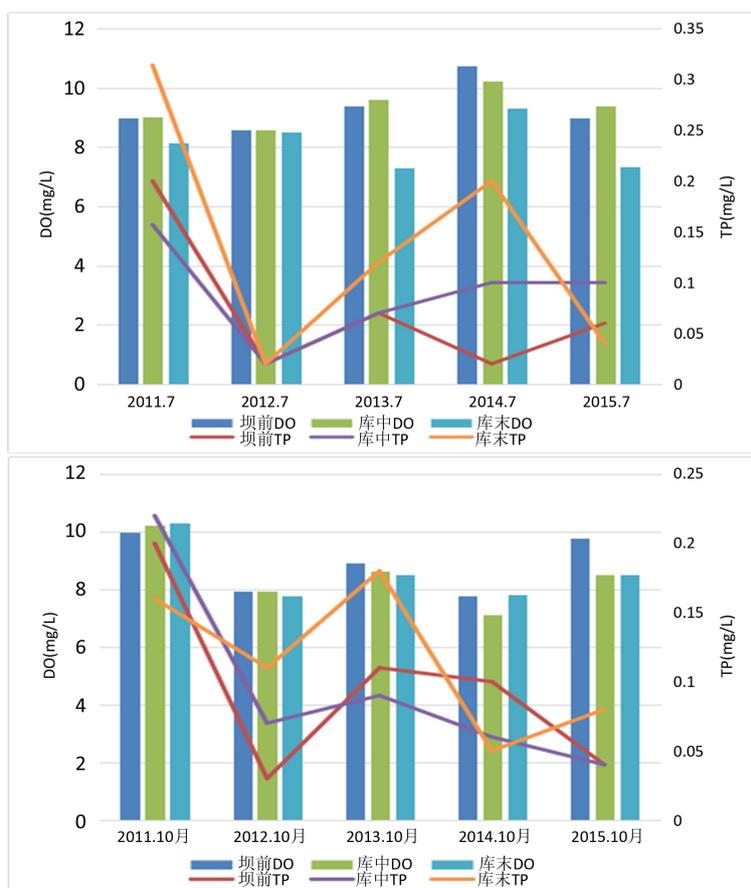


Figure 1. The content of DO and TP in Nierji Reservoir during 2011-2015
图 1. 尼尔基水库 2011~2015 年溶解氧与总磷含量

BP 神经网络水质综合评价可以评价黑臭水体，而增加最优 I 类水的数值，是为了丰富训练样本，使 BP 网络输出结果更稳定，准确。利用 Matlab2010a 编写算法程序，对前文构建的网络模型进行学习训练。经过反复测试，笔者确定训练目标为 $1e-3$ ，训练速率为 0.05，动量前系数 0.5，其余参数取默认值。对程序进行循环运算 300 次，保存最优的训练好的神经网络，得出网络的输出值，如表 1 所示。样本实际输出结果与预期输出结果比较，误差在允许范围内，训练后的 BP 神经网络模型合理。

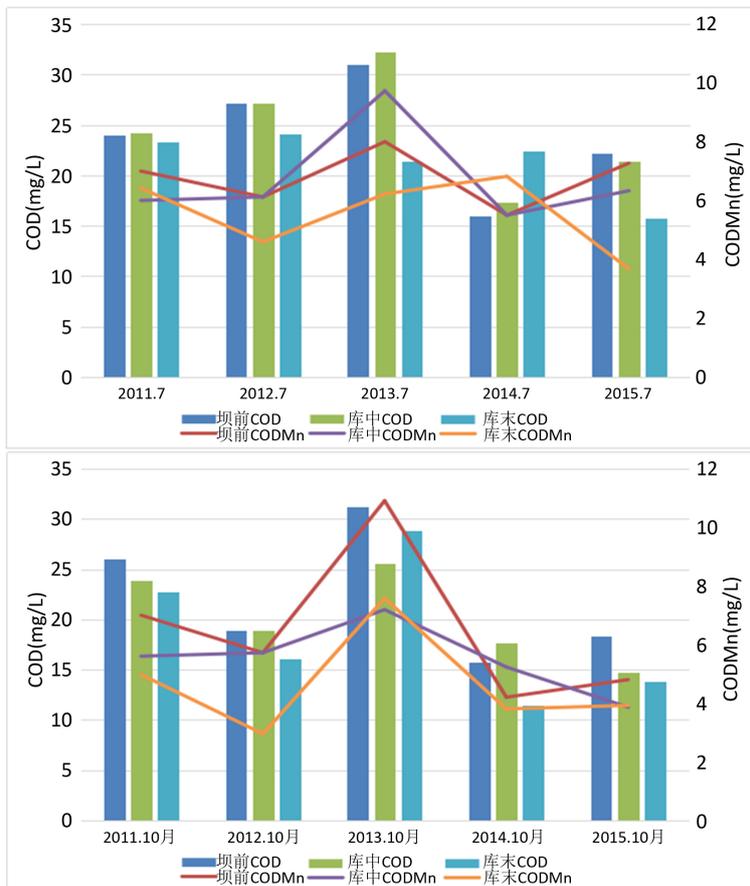
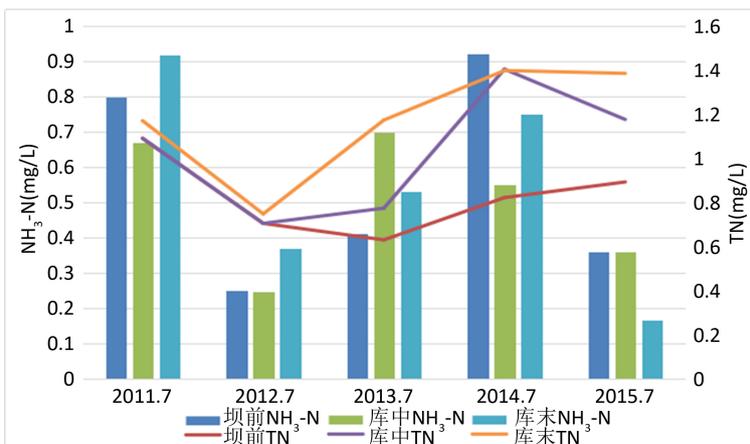


Figure 2. The content of $KMnO_4$ and COD in Nierji Reservoir during 2011-2015
图 2. 尼尔基水库 2011~2015 年高锰酸盐指数与化学需氧量含量



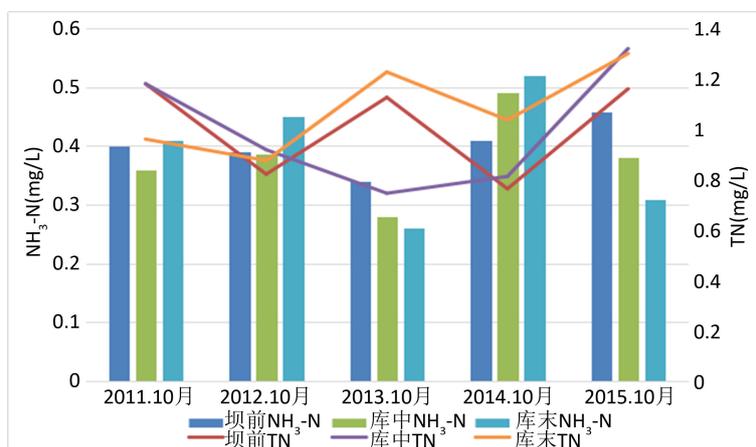


Figure 3. The content of NH₃-N and TN in Nierji Reservoir during 2011-2015
 图 3. 尼尔基水库 2011~2015 年氨氮与总氮含量

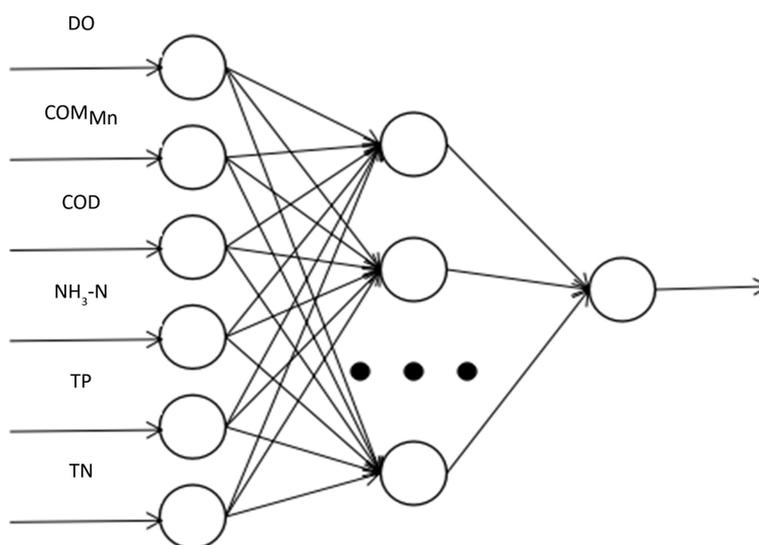


Figure 4. The diagram of BP neural network evaluation
 图 4. 尼尔基水库水质 BP 神经网络评价示意图

Table 1. Evaluation factor and expected output value
 表 1. 评价因子与期望输出值

水质类别	溶解氧	高锰酸盐指数	化学需氧量	氨氮	总磷	总氮	BP 预期输出值	BP 实际输出值
	15	0	0	0	0	0	1	1.03
I	7.5	2	15	0.15	0.01	0.2	2	2.03
II	6	4	15	0.5	0.025	0.5	3	2.90
III	5	6	20	1	0.05	1	4	4.01
IV	3	10	30	1.5	0.1	1.5	5	4.99
V	2	15	40	2	0.2	2	6	5.99
劣 V	1	25	50	4	0.4	3	7	6.99

3. 尼尔基水库水质评价

将尼尔基水库 2011-2015 年的水质因子实测样本分别利用神经网络进行仿真,若输出值在区间[1,2)内,水质类别是 I 类水质,在区间[2,3)内,水质类别是 II 类水质,在区间[3,4)内,水质类别是 III 类水质,在区间[4,5)内,水质类别是 IV 类水质,在区间[5,6)内,水质类别是 V 类水质,在区间[6,7)内,水质类别是劣 V 类水质。对五年中坝前、库中、库末三断面的 BP 神经网络评价见表 2、表 3 (由于国内现行单因子评价方法,其评价结果被人们广泛接受,所以此处以单因子评价作为参考)。

从表 2、表 3 可以看出: 1、单因子评价结果与 BP 神经网络评价结果变化趋势相同,并且神经网络评价结果优于单因子评价;2012 年 7 月 BP 神经网络评价与单因子评价结果相差较大,其原因在于当时高锰酸盐指数、化学需氧量较高,达到 IV 类水质标准,但是其余水质因子较为良好,利用 BP 神经网络进行综合评价为 II 类水质,其结果是可信的;2011 年 7 月库末 BP 评价结果为 7.17,明显大于其余评价结果,通过数据分析,在 2011 年 7 月库末断面,总磷含量严重超标,即认为 BP 神经网络评价结果也是可信的。2、近五年中,单因子评价尼尔基水库水质多数是 V 类、IV 类水质,BP 神经网络评价水质多是 III、IV、V 类水质,总体来说,2011 年尼尔基水库水质污染较为严重,五年来水质明显改善,至 2015 年各断面水质接近 III 类水体,但水污染治理仍需进一步加强。3、尼尔基水库坝前、库中、库末三断面水质相差不大,水质污染呈现面源污染特征。4、汛期与非汛期水质评价结果近似,水质在一年中随季节没有显著变化。

4. 结论

BP 神经网络模型评价结果与单因子评价结果其变化趋势基本一致,同时其对于异常值的反应十分灵敏,评价结果客观可信。利用 BP 神经网络评价水质的方法,避免了传统综合评价的人为主观性,评价结果更客观、准确,相较于其他传统评价方法,其输出值可以区分同一类别水质的好坏,更好的表征水体的质量状态。相较于传统的综合评价方法,BP 神经网络评价方法无需构建复杂的参数方程,评价结果更为可靠。BP 神经网络评价结果表明:尼尔基水库水质总体较差,近年来水质明显改善,水体多数为 III、IV 类水质。

Table 2. Synthesis evaluation of water quality in flood season

表 2. 尼尔基水库汛期水质综合评价

时间	坝前 BP 神经网络评价	坝前单因子评价	库中 BP 神经网络评价	库中单因子评价	库末 BP 神经网络评价	库末单因子评价
2011.7	5.76	V	5.09	V	7.17	劣 V
2012.7	2.25	IV	2.25	IV	2.43	IV
2013.7	3.03	V	3.14	V	4.77	V
2014.7	2.56	III	4.35	IV	5.7	V
2015.7	3.18	IV	4.14	IV	3.71	IV

Table 3. Synthesis evaluation of water quality in Non-flood season

表 3. 尼尔基水库非汛期水质综合评价

时间	坝前 BP 神经网络评价	坝前单因子评价	库中 BP 神经网络评价	库中单因子评价	库末 BP 神经网络评价	库末单因子评价
2011.10	5.68	V	5.92	劣 V	4.93	V
2012.10	2.83	III	3.68	IV	4.49	V
2013.10	4.2	V	3.67	IV	5.54	V
2014.10	4.23	IV	3.6	IV	3.73	IV
2015.10	3.16	IV	3.61	IV	4.21	IV

基金项目

国家水体污染控制与治理科技重大专项“基于水环境风险防控的松花江水文过程调控技术及示范”课题(2012ZX07201006)。

参考文献 (References)

- [1] 周绪申, 罗阳, 郑国臣, 等. 尼尔基水库浮游植物多样性初步研究[J]. 东北水利水电, 2013(3): 30-32.
ZHOU Xushen, LUO Yang, ZHENG Guochen, et al. Preliminary study on phytoplankton diversity in the reservoir of the north east of China. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2013(3): 30-32. (in Chinese)
- [2] 王彤彤, 张剑, 涂川, 赵文芳, 陈明明, 赵成章. IPSO-BP 神经网络在渭河天水段水质评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2013(8): 175-181.
WANG Tongtong, ZHANG Jian, TU Chuan, ZHAO Wenfang, CHEN Mingming and ZHAO Chengzhang. Application of IPSO-BP neural network in water quality assessment of Weihe water quality. Environmental Science and Technology, 2013(8): 175-181. (in Chinese)
- [3] 徐兵兵, 张妙仙, 肖肖. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9): 2066-2072. (in Chinese)
XU Bingbing, ZHANG Miaoxian and XIAO Xiao. Soil improved fuzzy AHP analysis method in the South Puget Creek Lin'an section of the water quality evaluation in application. Environmental Sciences Journal, 2011, 31 (9): 2066-2072. (in Chinese)
- [4] 鲁珍, 李晔, 马啸, 等. 大冶湖 2000~2009 年地表水质评价及污染趋势预测[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(5): 174-178.
LU Zhen, LI Wow, MA Xiao, et al. Daye lake from 2000 to 2009 in surface water quality assessment and pollution trend prediction. Environmental Science and Technology, 2012, 35(5): 174-178. (in Chinese)
- [5] 张德丰, 等. Matlab 神经网络应用设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
ZHANG Defeng, et al. Matlab neural network application design. Beijing: Mechanical Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [6] 崔永华, 左其亭. 基于 Hopfield 网络的水质综合评价及其 Matlab 实现[J]. 水资源保护, 2007, 23(3): 14-17.
CUI Yonghua, ZUO Qiting. Hopfield network and the implementation of Matlab. Protection of Water Resources, 2007, 23(3): 14-17. (in Chinese)
- [7] 周梅, 李政, 凌海波, 等. 基于 BP 神经网络的义水河水环境质量评价研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(5): 385-388.
ZHOU Mei, LI Zheng, LING Haibo, et al. Study on the environmental quality assessment of the water environment quality based on BP neural network. Environmental Science and Technology, 2012, 35 (5): 385-388. (in Chinese)
- [8] JU, Q., YU, Z. B., HAO, Z. C., et al. Division-based rainfall-runoff simulations with BP neural networks and Xinanjiang model. Neurocomputing, 2009(72): 2873-2883.
- [9] 李雪, 刘长发, 朱学慧, 等. 基于 BP 人工神经网络的海水水质综合评价[J]. 海洋通报, 2010, 29(2): 225-230.
LI Xue, LIU Changfa, ZHU Xuehui, et al. A comprehensive evaluation of seawater quality based on BP artificial neural network. Marine Bulletin, 2010, 29(2): 225-230. (in Chinese)
- [10] 崔东文. BP 神经网络在盘龙河水质综合评价中的应用[J]. 水科学与工程学报, 2011(2): 15-16.
CUI Dongwen. BP neural network in comprehensive evaluation of water quality in Panlong River. Water Science and Engineering Application of Technology, 2011(2): 15-16. (in Chinese)