

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

9
2015

目 次

水 污 染 防 治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响	张崇森	庄凯	巨欣	王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性	任金柱	李军	王朝朝	刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒				
.....	郭浩	周瑛	周晓琴	李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca ²⁺ 强化短程硝化颗粒污泥培养	吕永涛	贾燕妮	鞠恺	赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化	王云	朱能武	沈伟航	李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe ₃ O ₄ 的制备及降解染料橙 II		邓景衡	李佳喜	余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R	贺玲	刘红玉	杨春平	彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱海流域面源污染的削减效果			胡威	王毅力 储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响	陈国元	李青松	谢莆尧	陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO ₂ 光催化降解三氯乙酸及协同机理	王芬	赵宝秀	李想	李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化		贾泽宇	郑剑锋	孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水	张周	赵明星	阮文权	缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬			周晓倩	郭华明 赵凯(4171)
2种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响	冉春秋	邹学军	范立明	崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性及影响因素分析				
.....	杨美蓉	李坤权	徐恩兵	乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性			金鹏康	宋利 任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响	陈永华	吴晓芙	纪智慧	马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用			赵加斌	赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化	邹艺娜	胡振	张建	谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估	蔡锋	陈刚才	彭枫	杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO ₂ /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解				
.....	黄嘉瑜	王学江	卜云洁	张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co _{0.5} Ni _{0.5} Fe ₂ O ₄ 的制备及对水中五氯苯酚的吸附		孙梦圆	崔春月	吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响			黄胜娟	荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性			穆浩荣	张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐	李同燕	李文奇	胡伟武	冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果	匡武	王翔宇	周其胤	杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝	翁艺斌	阎光绪	李敏	翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水水质时空分布特征及其荧光特性		于佳真	王晓昌	薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠	任瑞晨	张乾伟	石倩倩	李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性	王文华	赵瑾	张晓青	成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果		徐鹏	单继宏	金晓航 于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响		杨波	单晓明	田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理		徐后涛	赵凤斌	张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解	李洁冰	李玉龙	Asif Hussain	王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行				
.....	左倬	仓基俊	朱雪诞	成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮	郭华	王军林	张小燕	王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水				
.....	李贵霞	岳琳	潘贵芳	刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解		冯振涛	刘海津	汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子	张琪	罗琳	张嘉超	刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化	陈忠林	李金春子	沈吉敏	王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附			张一凡	金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友 叶正芳(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波 郑照强 张声洲(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波 巢军委(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响			冯守帅	陈金才 杨海麟(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响			解 芳	王建敏 刘进荣(4391)
H ₂ O ₂ /Fe ⁰ 、H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ 、H ₂ O ₂ /Fe ³⁺ 3种体系处理印染废水			姚 兴	颜幼平 冯 霞(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆 李 恺 薛圆圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附			张太亮	吴 凤 阳 萍 欧阳斌(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响			浩 婷	王 曦 周 颜 吴 燕(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水				洪 云 徐 慧(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕 敬双怡 殷震育 刘 燕(4427)

大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文	桂 哲(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟			潘武轩	宋翀芳	何鸿展(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO ₂ 吸附性能的影响			魏建文	和凯凯	孟令硕 廖 雷(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞			郑慧敏	刘清才	王 铸 孟 飞 牛德良(4453)
改性 Fe ₂ O ₃ 脱硫剂脱除 H ₂ S 反应特性	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰	张 贺 郝智天(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定			孙佩璇	娄永江	庄荣玉 严小军(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾	张文君(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响			韩剑宏	黄永海	卢熙宁 童震松(4479)
折流式反应器空气净化效果			刘 鹏	郑 洁	宋雪瑞 王小艳(4483)

固体废物处置

市政污泥干化动力学研究	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)	
响应曲面法优化 CO ₂ 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉	张声洲 周朝金(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用			杨 崇	朱能武	崔佳莹 吴平霄(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属			蔡丽楠	殷 进	张 桐 孔晓露(4509)
水淬钢渣碳化固定 CO ₂	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣	王丽娜 张军玲 陈德胜 宋文婉 齐 涛(4514)
O ₂ /CO ₂ 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性			邵志伟	黄亚继	严玉朋 刘长奇(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验			杨志杰	孙俊民	张战军 苗瑞平(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程			靳登超	李 阳	鲍振博 刘 娜(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌	谭显东	王君君	王 浪	羊依金	郭俊元 彭 兰 覃璐琳(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析			陈 芬	李 伟	刘奋武 张吴平 李筱梅 卜玉山(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶			黄 凡	谭显东	胡 伟 羊依金 林巧玉 任晓霞(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能			姚 力	信 欣	郭 毅 宋 幻 李 姣(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析			徐 亚	能昌信	刘玉强 刘景财 董 路(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸			王 晋	李习伟	符 波 杨 彦 刘 和(4565)

土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟	雷 勇 罗文军(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构				董祯琴	陆海军 李继祥(4578)

环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化					
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华	冷云伟 陶秀祥(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能			李跃武	吴平霄	李丽萍 党 志(4591)

环境 监 测

成都市道路细颗粒物污染特征	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法			李 文	杨守波 罗学科(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统研究	隋迎光	彭吉友	刘志明	任 华(4609)

变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用

赵加斌 赵新华 彭森*

(天津大学环境科学与工程学院,天津 300072)

摘要 针对景观水体的水质模拟与预测问题,在BP神经网络和支持向量机模型的基础上,建立了权重随输入量变化的变权组合模型。该模型既能充分利用各个单一模型的优点,又能避免固定权重分配的弊端。经实例验证,与单一的BP神经网络和支持向量机模型相比,变权组合模型拟合精度更高,预测结果更为准确。

关键词 景观水体 水质模拟 BP神经网络 支持向量机 变权组合

中图分类号 X524 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)09-4206-05

Application of combination model of variable weight in landscape water quality simulation

Zhao Jiabin Zhao Xinhua Peng Sen

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract In order to simulate and predict landscape water quality, we proposed a combination model of variable weight, which based on the back-propagation (BP) neural network model and support vector machine model. The combination model of variable weight could make full use of the single model, and it would avoid the drawbacks of the fixed weight distribution. With the case study and comparison of the BP neural network model and support vector machine mode, we could find that the combination model of variable weight is much better in fitting accuracy and prediction results.

Key words landscape water; water quality simulation; BP neural network; support vector machine; combination model of variable weight

景观水体大多数都是静止或者流动性较差的缓流水体,自净能力差,易出现水体的污染和富营养化^[1]。景观水体的水质模拟与预测能为水质评价、水体富营养化与污染的控制以及水环境管理规划等提供科学的依据^[2]。

在水质模型中,存在着两种学习型模型:人工神经网络和支持向量机模型。然而,这两种模型都存在着一定的局限性和缺点,如基于经验风险最小化的人工神经网络是一种在应用和试验中建立的启发式方法,可能出现局部最优^[3]。而基于结构风险最优化的支持向量机方法在处理大规模的样本时,往往需要求解复杂的二次规划问题,计算复杂^[4]。

组合预测是由Bates等^[5]于1969年提出的一种预测方法,该方法在充分利用各个单一预测模型优点的基础上,能克服单一模型的局限性和缺点,并最高效率地利用与挖掘数据信息,因而被广泛地应用于水环境领域^[6-9]。然而,实际情况往往是各单一模型是时间等一系列自变量的函数,在不同时刻

模型变化也不相同,所以固定权重的分配方式自然无法体现这种关系。而变权重组合预测模型,提出权重随时间等一系列自变量而变化的思想,避免固定权重的弊端^[10]。所以,本文采用基于神经网络与支持向量机2种模型,建立权重随时间等一系列自变量而变化的变权组合模型,来应用于景观水体的水质模拟与预测。

1 变权组合模型

1.1 神经网络模型

神经网络(artificial neural networks)是由大量的人工神经元广泛地连接而成,用以模仿人脑神经网络

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07203-009);国家自然科学基金资助项目(51308385)

收稿日期:2014-07-24; 修订日期:2014-08-22

作者简介:赵加斌(1990—),男,硕士研究生,主要从事水体污染及修复、水质模型的研究工作。E-mail:zhaojiabin@tju.edu.cn

* 通讯联系人,E-mail:pengsen@tju.edu.cn

络的复杂网络系统。BP (back-propagation) 神经网络,即误差反向传递的神经网络,是将输出误差以某种形式通过隐含层向输入层逐层反传,并将误差分摊给各层的所有单元,从而获得各层单元的误差信号,此误差信号即作为修正各单元权值的依据。权值经过不断的修正,最终得到可以满足要求的 BP 神经网络模型^[11]。

1.2 支持向量机模型

支持向量机 (support vector machine) 是一类新型的机器语言,它具有完备的统计学习理论和出色的学习性能,能根据有限的样本信息在模型的复杂性和学习能力之间寻求最佳折衷,以求获得最好的推广能力^[12]。对于非线性问题,支持向量机的基本思想是通过一个非线性映射将数据映射到高维特征空间,并在这个空间进行线性回归^[13]。

1.3 变权组合模型

变权组合模型,其核心就是确定各个模型在各个时刻所占的权重,从而使模型更好地符合实际情况。对于 m 个单一预测模型得到的预测值 f_1, f_2, \dots, f_m ,不妨假设每一个自变量对应一个相应的时刻,则其变权组合预测模型为:

$$f(t) = \sum_{i=1}^m g_i(t) f_i(t) \quad (1)$$

式中: $t = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m; f_i(t)$ 为第 i 个模型在 t 时刻的预测值; $g_i(t)$ 为第 i 个模型在 t 时刻的权重,其满足:

$$1 = \sum_{i=1}^m g_i(t) \quad (2)$$

假设 $g_i(t)$ 为 t 的连续函数,则 $g_i(t)$ 可以用 p 次多项式来表示:

$$g_i(t) = g_{i0} \cdot t^0 + g_{i1} \cdot t^1 + g_{i2} \cdot t^2 + \dots + g_{ip} \cdot t^p \quad (3)$$

则:

$$f(t) = \sum_{i=1}^m g_i(t) f_i(t) = \begin{bmatrix} f_1(t) & f_2(t) & \dots & f_m(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{10} & g_{11} & \dots & g_{1p} \\ g_{20} & g_{21} & \dots & g_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{m0} & g_{m1} & \dots & g_{mp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t^0 \\ t^1 \\ \dots \\ t^p \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\triangleq F(t)GT(t)$$

一旦 $g_i(t)$ 多项式的次数 p 确定,就可以通过广义逆矩阵的循环迭代法^[10]来求解系数矩阵 G ,并确

定最终的变权组合预测模型。同时,从系数矩阵 G 的求解过程中可以发现,变权重组合预测方法其实就是根据 m 个单一预测模型在前 n 个时刻的预测值来确定某个时刻(某个自变量)的权重值,从而得到变权组合预测模型的预测值。

2 实例分析

2.1 基本资料

本文选取天津市某园区的景观水体作为研究对象,该景观水体的水面面积约为 29 000 m²,平均深度为 3.6 m,总容积约为 10 500 m³,属于典型的城市封闭缓流水体。水质监测点位于水体主体水域地带,监测时间从 2012 年 7 月到 2013 年 11 月,共监测数据样本为 35 个,监测指标包括水温、pH 值、氨氮、总氮、总磷和化学需氧量 (COD) 等水质指标。

COD 作为一种表征水体有机物含量大小的重要指标,在一定程度上可以表示景观水体的水质状况和水体的污染情况。因此,本文建立 COD 与时间、水温、pH 值、氨氮、总氮和总磷之间变化关系的水质模型,通过 COD 的变化来了解当前景观水体水质状况,并为水质的预测预警作出科学的判断与分析。

2.2 BP 神经网络模型

本文利用该景观水体从 2012 年 7 月到 2013 年 11 月的监测数据,建立 BP 神经网络水质模型。由于各个水质监测指标值的量纲及数量级不同,在 BP 神经网络训练前要先对原始水质数据进行归一化处理^[14],使得各个指标值落在 $[0, 1]$ 之间。对于归一化方程,输入时间 t ,是以 2012 年 7 月 28 号为第 1 天,以后各个监测时期的时间为实际监测日期与 7 月 28 号的时间距离,单位为天。然后再将输入时间、水温、pH 值、氨氮、总氮、总磷和 COD 值采用归一化公式(5)进行处理,公式如下:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

式中: x_{\min} 为原始监测值的最小值; x_{\max} 为原始监测值的最大值; x_i 为第 i 个原始监测值; X_i 为归一化处理之后的第 i 个监测值;

对于建立的 BP 神经网络模型,输入量包括时间、水温、pH 值、氨氮、总氮和总磷,输出量为 COD,隐含层的神经元采用 Sigmoid 型变换函数,输出层则采用线性变换函数。而对于神经网络结构中的各个参数确定则利用学习时间较短、精度与收敛性较好的 L-

M 算法, 隐含层的节点数^[15]则根据公式(6)确定:

$$N_y = (N_x + N_j)^{0.5} + N \quad (6)$$

式中: N_y 为隐含层的节点数; N_x 为输入层的节点数; N_j 为输出层的节点数, N 为 2 ~ 4 之间的一个随机数。

同时, 将景观水体水质监测样本的数据分为训练集、检验集两个部分。用训练集来训练与拟合 BP 神经网络, 用检验集来对模型的预测结果进行检验。本模型中将前 3/4 的归一化的数据作为 BP 神经网络的训练集, 用后 1/4 的实际监测值作为 BP 神经网络模型的检验集。利用 MATLAB 中的 BP 神经网络工具箱, 取训练的最大循环次数 $epochs = 10\ 000$, 性能函数 $goal = 0$, 最大验证数据失败的次数 $max_fail = 20$, 最小的性能梯度值 $mingrad = 0.00001$ 。进行不断地调试, 发现在 $N = 2$, 即隐含层的节点数 N_y 为 4 时, 模型收敛性最好。模型结果与实际监测值的比较如图 1 所示。

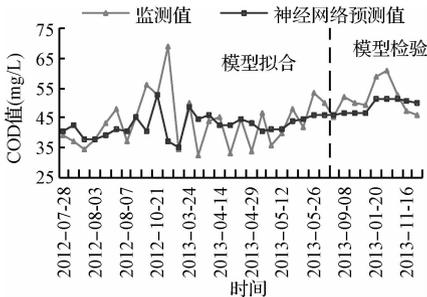


图 1 BP 神经网络模型所得结果与实际监测值的比较

Fig. 1 Comparison of results of BP neural network model and actual monitoring values

2.3 支持向量机模型

对于支持向量机模型, 输入量、输出量和归一化处理均与 BP 神经网络模型相同。在支持向量机模型中, 采用高斯径向基核作为核函数, 并用交叉法来寻找最优损失函数的参数 c 和高斯径向积核函数的参数 g 。利用 matlab 软件中的 libsvm 加强版工具箱, 求解得到最优的 c 和 g 的值分别为 $c = 256$, $g = 0.011842$ 。而支持向量机模型结果与实际监测值的比较如图 2 所示。

2.4 变权组合模型

COD 的变化与环境中的氮、磷元素密切相关, 同时也与 pH 值和季节性因素有关。所以, 基于 BP 神经网络和支持向量机模型组成的变权组合模型, 用归一化处理后的时间、水温、pH 值、氨氮、总氮和总磷这 6 个自变量之间的乘积作为对应各个时刻的

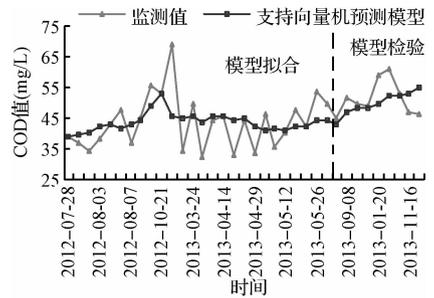


图 2 支持向量机模型所得结果与实际监测值的比较

Fig. 2 Comparison of results of SVM model and actual monitoring values

t 值, 以此来确定权重函数。本文取多项式 $g_i(t)$ 的次数为 3, 显然, m 为 2, 而 n 为各个单一模型预测值的个数, 其值为 35。通过广义逆矩阵的循环迭代法求解即可得到 $g_i(t)$ 的系数矩阵 G 为:

$$\begin{bmatrix} 0.5367 & -131.51 & 21\ 435.29 & -756\ 397.35 \\ 0.4512 & 131.81 & -18\ 288.51 & 605\ 537.59 \end{bmatrix}$$

从而得到 2 个单一模型的权重分配 $g_i(t)$ 。根据公式(4)可以得到变权组合模型的各个预测值, 其与实际监测值的比较如图 3 所示。

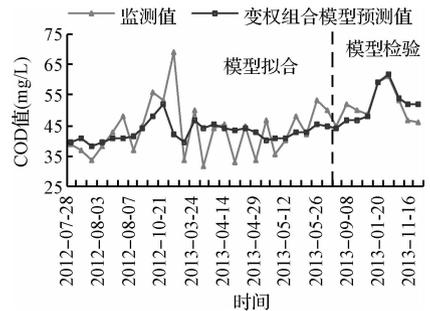


图 3 变权组合模型所得结果与实际监测值的比较

Fig. 3 Comparison of results of combination model of variable weight and actual monitoring values

2.5 模型有效性检验与评价

对于 BP 神经网络、支持向量机和变权组合模型, 由图 1、图 2 和图 3 可以发现, 总体上而言, 3 种模型预测值的变化与实际监测值的变化趋势是相符的。但是在模型的检验阶段, 可以明显发现变权组合模型能较好地吻合实际情况, 并且成功预测到了 2013 年 10 月 20 日与 2013 年 10 月 27 的这两天的较大 COD 值的出现。这可能是变权组合模型在变权重的确定过程中, 充分挖掘和利用了监测数据的结果。

对于模型检验阶段, 再利用相对误差来进行分析比较, 具体结果如表 1 所示。

表 1 3 种模型相对误差分析

Table 1 Analysis of relative error in three models

时间	监测值 (mg/L)	BP 神经网络模型		支持向量机模型		变权组合模型	
		预测值(mg/L)	相对误差(%)	预测值(mg/L)	相对误差(%)	预测值(mg/L)	相对误差(%)
2013-06-03	45	46.15	2.56	43.01	-4.42	44.18	-1.83
2013-09-08	52	46.81	-9.98	46.76	-10.08	46.49	-10.60
2013-09-15	50	46.42	-7.16	48.20	-3.59	46.66	-6.67
2013-09-28	49	46.45	-5.21	48.58	-0.85	48.05	-1.94
2013-10-20	59	51.26	-13.12	49.48	-16.13	58.95	-0.08
2013-10-27	61	51.26	-15.97	52.14	-14.52	61.54	0.89
2013-11-03	53	51.15	-3.49	52.58	-0.79	53.78	1.48
2013-11-16	47	50.38	7.19	53.03	12.83	51.65	9.89
2013-11-23	46	50.02	8.73	55.30	20.22	51.92	12.87
平均值			8.16		9.27		5.14

注:平均值指的是相对误差绝对值的平均值。

由表 1 可知,对于变权组合模型,77.8% 的预测值的相对误差在 10% 之内,最大的相对误差也仅为 12.87%,甚至有 2 个相对误差值在 1% 之内,相对误差绝对值的平均值为 5.14%。对于 BP 神经网络模型,有 77.8% 的预测值的相对误差在 10% 之内,但是其最小相对误差也要达到 2.56%,最大相对误差也达到了 15.97%,相对误差绝对值的平均值为 8.16%。对于支持向量机模型,44.4% 的预测值的相对误差在 10% 之内,相对误差最大值达到 20.22%,但是也有 2 个相对误差在 1% 之内,相对误差绝对值的平均值为 9.27%。所以,在这 3 种模型中,变权组合模型预测值的相对误差波动范围最小,预测的稳定性最好,预测结果也最为准确。

3 结 论

相比与单一的 BP 神经网络模型和支持向量机模型,本文建立的变权组合模型对该景观水体的水质变化模拟效果更好,预测精度更高。可见,变权组合模型不仅可以继承单一模型的优点,还能充分挖掘和利用数据,并通过权重的变化来使组合模型更加符合实际情况。因此,该变权组合模型可以为景观水体的管理规划与预测预警提供科学合理的依据,该方法具有广阔的应用前景和较好的推广性。

参 考 文 献

- [1] 刘颖. 城市典型景观水体水质变化及调控研究. 天津: 天津大学硕士学位论文, 2009
Liu Ying. Research on water quality change and control of representative city landscape river. Tianjin: Master Dissertation of Tianjin University, 2009 (in Chinese)
- [2] 樊敏, 顾兆林. 水质模型研究进展及发展趋势. 上海环

- 境科学, 2010, 29(6): 266-269
Fan Min, Gu Zhaolin. Progress and developmental trend of the research on water quality modeling. Shanghai Environmental Sciences, 2010, 29(6): 266-269 (in Chinese)
- [3] 朱大奇, 史慧. 神经网络原理及应用. 北京: 科学出版社, 2006
- [4] Vapnik N. V. Statistical Learning Theory. New York: Wiley, 1998
- [5] Bates J. M., Granger C. W. J. The combination of forecasts. Journal of the Operational Research Society, 1969, 20(4): 451-468
- [6] Faruk D. O. A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010, 23(4): 586-594
- [7] 孙兆兵, 王保良, 冀海峰, 等. 基于概率组合的水质预测方法. 中国环境科学, 2011, 31(10): 1657-1662
Sun Zhaobing, Wang Baoliang, Ji Haifeng, et al. Water quality prediction based on probability-combination. China Environmental Science, 2011, 31(10): 1657-1662 (in Chinese)
- [8] Kalthé A. M. Monthly river flow forecasting using artificial neural network and support vector regression models coupled with wavelet transform. Computers & Geosciences, 2013, 54: 1-8
- [9] 刘东君, 皱志红. 灰色和神经网络组合模型在水质预测中的应用. 系统工程, 2011, 29(9): 105-109
Liu Dongjun, Zou Zhihong. Applications of gray forecast model combined with artificial neural networks model to water quality forecast. Systems Engineering, 2011, 29(9): 105-109 (in Chinese)
- [10] 谢开贵, 周家启. 变权组合预测模型研究. 系统工程理论与实践, 2000, 20(7): 36-40
Xie Kaigui, Zhou Jiaqi. Research of the weight changeable combination forecast model. Systems Engineering-Theory

- & Practice, **2000**, 20(7): 36-40(in Chinese)
- [11] 郭劲松, 李胜海, 龙腾锐. 水质模型及其应用研究进展. 重庆建筑大学学报, **2002**, 24(2): 109-115
Guo Jinsong, Li Shenghai, Long Tengrui. Study and progress of water quality model and its application. Journal of Chongqing Jianzhu University, **2002**, 24(2): 109-115(in Chinese)
- [12] Steve R. G. Support vector machines for classification and regressing. England: University of Southampton, **1998**: 1-66
- [13] 陈果, 周伽. 小样本数据的支持向量机回归模型参数及预测区间研究. 计量学报, **2008**, 29(1): 92-96
Chen Guo, Zhou Jia. Research on parameters and forecasting interval of support vector regression model to small sample. Acta Metrologica Sinica, **2008**, 29(1): 92-96
- (in Chinese)
- [14] 陈丽华, 常沁春, 陈兴国, 等. BP网络应用于黄河水质的预测研究. 兰州大学学报(自然科学版), **2003**, 39(2): 53-56
Chen Lihua, Chang Qinchun, Chen Xingguo, et al. Using BP neural network to predict the water quality of the Yellow River. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), **2003**, 39(2): 53-56(in Chinese)
- [15] 马太玲, 朝伦巴根, 高瑞忠. 基于人工神经网络的串联水库水质模拟预测. 内蒙古农业大学学报, **2010**, 31(2): 260-264
Ma Tailing, Chao Lunbagen, Gao Ruizhong. Simulation and prediction of water quality for cascade reservoirs based on A- BP. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, **2010**, 31(2): 260-264(in Chinese)