

基于 Hopfield 网络的水质综合评价及其 matlab 实现

崔永华¹, 左其亭²

(1. 华北水利水电学院水利职业学院, 河南 郑州 450007; 2. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

摘要 运用人工神经网络中的一种反馈网络(Hopfield 网络)建立了水质综合评价模型,用大型工程计算软件 matlab 的工具箱中提供的函数进行计算,得到水质的综合评价结果,并将评价结果和运用 BP 网络法、灰色聚类法及单一污染指数法的评价结果进行了对比,结果分析表明,其评价结果也令人满意。Hopfield 网络模型进行水质综合评价具有简单、直观,且容易实现的优点。

关键词 水质综合评价;人工神经网络;Hopfield 网络;matlab

中图分类号:X824 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2007)03-0014-03

Comprehensive assessment of water quality based on Hopfield network and realization with matlab

CUI Yong-hua¹, ZUO Qi-ting²

(1. Water Conservancy Vocational and Technical College, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450007, China; 2. School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Hopfield network, a feedback net of artificial neural network, was used to set up a comprehensive water quality assessment model. The function provide by matlab toolbox was used to calculate it. According to the comparison with the results of BP network, grey-clustering decision, and single pollution index method, the result of the model is satisfactory. The Hopfield network model in the comprehensive appraisal of water quality has the advantages of simplicity and visibility, and it is easy to be realized.

Key words comprehensive appraisal of water quality; artificial neural network (ANN); Hopfield network; matlab

水质综合评价是根据水的不同用途、水质评价标准,运用评价方法,对水资源的质量状况进行定性或定量的评定和分级。水质综合评价是进行水资源评价的重要内容,为水资源的开发、利用和保护提供重要依据^[1]。

水质综合评价最早使用的方法有单一污染指数法和多项污染指数法。近些年来,国内外对于水质综合评价方法的研究比较活跃,考虑到水体中污染物相互作用的复杂关系,水质分级标准难以统一及水质综合评价存在模糊性等特点,引入了不确定性的概念,研究了一些新的综合评价方法,如模糊数学方法^[2]、灰色聚类法^[3]、灰色关联度法^[4]及物元分析法^[5]等。

这些新的评价方法克服了单一污染指数法的评

价结果不够全面、客观的缺点,可以实现对水质各项指数的综合评价,但是其中的模糊综合评判法需要给定各水质参数的权值,灰色聚类方法需要确定灰色聚类权,这些权值的给出与专家和研究者本人有很大的关系,也就是有较大的主观性,使得这些方法在模型的建立和使用上有一定的困难,因此评价结果的客观性和合理性受到了挑战。为了使评价结果更具有客观性,人工神经网络方法已被引入到水质综合评价研究中^[6],这些研究中最常用的是 BP 网络^[7]。BP 网络克服了上述评价方法不够客观的缺点,评价结果客观、合理,精度也较高,但是 BP 网络具有收敛速度慢、结构设计复杂等缺点。鉴于 BP 网络的这些缺点,文献^[8]将 Hopfield 网络引进到水

1 Hopfield 网络及其算法

1.1 Hopfield 网络简介

1982 年,美国物理学家 Hopfield 教授提出了一种可模拟人脑联想记忆功能的新的神经元模型,后来被称作 Hopfield 网络。和 BP 网络一样, Hopfield 网络是迄今人工神经网络模型中得到最广泛应用的一种神经网络之一,它在联想记忆、分类及优化计算等方面得到了成功的应用^[9]。

Hopfield 网络是一种单层全反馈网络,研究的是一种复杂的动力学系统,该系统通过神经元的状态变迁,最终稳定于某一状态,获得联想记忆或神经计算的结果。根据激活函数选取的不同, Hopfield 网络可分为离散型和连续型两种,其中的离散型网络的激活函数为二值型,主要用于联想记忆。本文采用二值型 Hopfield 网络进行水质综合评价。

1.2 离散型 Hopfield 网络的结构

图 1 中的 N_1, N_2, \dots, N_n 表示网络的 n 个神经元,各神经元的激活函数是一个二值型的阈值函数,即 $\{-1, +1\}$ 或 $\{0, 1\}$ 。Hopfield 网络的结构特点是它的各个神经元都相互连接,即每个神经元都将自己的输出通过权值传给其他的神经元,同时每个神经元又都接受来自其他神经元传来的信息。

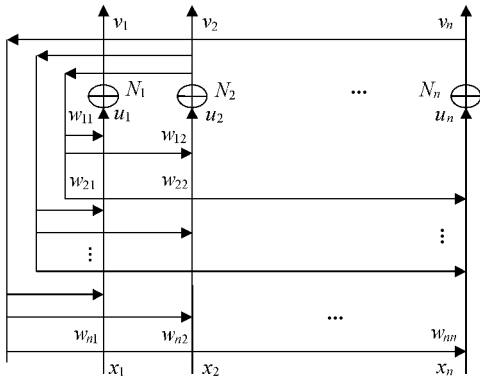


图 1 离散型 Hopfield 网络的结构

设网络的初始输入向量 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T \in \{-1, +1\}^n$; $u_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 为神经元 j 的输入量; v_j 为神经元 j 的输出量; $v_j(t)$ 通常指神经元 j 在 t 时刻的输出量。

网络的输入、输出关系如下:

神经元 j 的输入加权之和为

$$s_j(t) = \sum_{i=1}^n w_{ij} v_i - \theta_j \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中: w_{ij} 为神经元 j 与神经元 i 之间的连接权值; θ_j 为神经元 j 的阈值; v_i 为除 j 之外的任意一个神经元的输出量。

神经元 j 的当前时刻 t 的输入量

$$u_j(t) = s_j(t)$$

神经元 j 下一时刻 $t+1$ 的输出量

$$v_j(t+1) = f[u_j(t)] = \text{sgn}\left[\sum_{i=1}^n w_{ij} v_i(t) - \theta_j\right]$$

$$\text{sgn}(u_j(t)) = \begin{cases} +1 & u_j(t) \geq 0 \\ -1 & u_j(t) < 0 \end{cases}$$

当网络经过适当的训练后,连接权矩阵 $w = (w_{ij})$ 已经确定,可以认为网络处于等待状态。若给定网络的初始输入为 x ,则网络各神经元就处于特定的初始状态,由 x 可得到当前时刻网络的输出量。通过网络的反馈作用,可得到下一时刻的网络输出量,再将这个输出反馈到输入端,如此不断循环下去。如果网络是稳定的,那么经过多次反馈运行后,网络可达到稳定状态,即由输出端可得到网络的稳态输出。

网络的运行方程为

$$\begin{cases} v_j(t+1) = \text{sgn}\left[\sum_{i=1}^n w_{ij} v_i(t) - \theta_j\right] \\ v_j(0) = x_j \end{cases}$$

若到达 t 时刻后,网络状态不再改变,已收敛至稳定点,即:

$$v(t+1) = v(t)$$

此时输出端可得到网络的稳定输出。

1.3 运用网络进行联想记忆

Hopfield 网络是一种可以模拟生物神经网络的联想记忆功能的网络。Hopfield 网络实现联想和记忆的过程可分为记忆阶段和联想阶段。记忆阶段是通过某一确定的设计方法,确定权值矩阵,使网络记住期望的稳定平衡点;联想的过程就是网络的工作过程,是将新的模式输入网络,网络通过自身的动力学状态演化最终达到稳定平衡点,即可实现联想。

离散型 Hopfield 网络进行联想记忆的基本算法步骤为:①初始化权值;②将 p 个样本模式输入网络中,确定网络的权值;③初始化未知输入模式;④迭代直至收敛;⑤稳态输出。

2 应用 Hopfield 网络进行水质综合评价

为便于比较,本文引用文献[3]所举的实例,介绍 Hopfield 网络进行水质评价的计算步骤,并进行结果对比和合理性分析。

表 1 为某市 2001 年 7 个水质监测采样点 8 项指标的水质监测实测值^[3],表 2 为地表水水质评价的标准值。为便于和文献[3]进行比较,这里的水质评价标准并非现行的标准。

表1 地表水水质监测实测值 mg/L

测点	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{NH}_4\text{-N})$	$\rho(\text{FN})$	$\rho(\text{As})$	$\rho(\text{Cr}^{+6})$
1	5.20	9.175	49.60	7.13	21.21	0.005	0.041	0.023
2	3.20	10.375	47.84	14.24	8.43	0.007	0.188	0.030
3	6.30	0.925	18.68	2.33	0.29	0	0.006	0.012
4	5.24	6.120	47.33	9.26	13.78	0.004	0.018	0.018
5	3.95	17.910	99.40	17.58	7.51	0.016	0.057	0.040
6	2.15	19.940	71.31	6.68	12.33	0.015	0.088	0.034
7	6.05	0.810	1.65	0.51	0.32	0.001	0.004	0.017

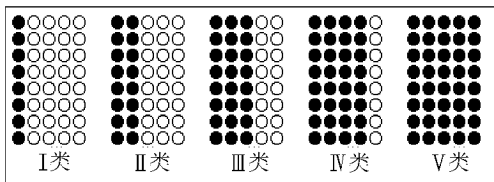
表2 地表水水质评价标准 mg/L

水质类型	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{NH}_4\text{-N})$	$\rho(\text{FN})$	$\rho(\text{As})$	$\rho(\text{Cr}^{+6})$
I	≥ 9	≤ 2	≤ 15	≤ 2	≤ 0.4	≤ 0.001	≤ 0.01	≤ 0.01
II	≥ 6	≤ 4	≤ 16	≤ 3	≤ 0.5	≤ 0.003	≤ 0.05	≤ 0.03
III	≥ 5	≤ 8	≤ 20	≤ 4	≤ 0.6	≤ 0.005	≤ 0.07	≤ 0.05
IV	≥ 3	≤ 10	≤ 30	≤ 6	≤ 1.0	≤ 0.010	≤ 0.10	≤ 0.07
V	≥ 2	≤ 15	≤ 40	≤ 10	≤ 1.5	≤ 0.100	≤ 0.11	≤ 0.10

运用 Hopfield 网络进行水质综合评价的思路是,将水质评价标准作为网络的标准模式使网络记忆它们的特征,得到权值,也就是得到一个 Hopfield 网络的结构,输入采样点水质监测的实测值,利用得到的网络进行联想,最后得到采样点水质属于哪种标准模式,就可以得到综合评价的结果。

运用 Hopfield 网络进行水质评价的步骤如下:

a. 设定网络的记忆模式,即将预存储的模式进行编码,得到取值为 1 和 -1 的记忆模式。由于水质的分级标准为 5 级,采用了 8 项污染指标来进行评价,所以记忆模式 $U_k = [u_1^k, u_2^k, \dots, u_n^k]$,其中 $k = 1, 2, 3, 4, 5; n = 40$ 。记忆模式可以用图 2 来表示。



●—达到某一分级标准; ○—未达到某一分级标准

图2 记忆标准模式

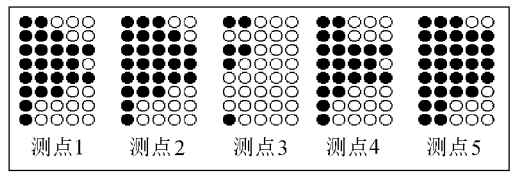
b. 建立网络,即运用 matlab 工具箱提供的 newhop 函数建立 Hopfield 网络,参数为 U_k ,且可得到设计权值矩阵 w 及阈值向量 θ 。

c. 将水质的实测指标值转化为网络的欲识别模式,即转化为二值型的模式,将其设为网络的初始状态,运用 matlab 提供的 sim 函数进行多次迭代使其收敛。测点 1、2、3、4、5 的网络输入模式如图 3 所示,其余测点的输入模式依此类推。

d. 输出网络的稳定状态 y ,根据 y 可得到各测点水质的综合评价结果。

3 结果比较与合理性分析

将运用 Hopfield 网络模型进行水质综合评价的



●—达到某一分级标准; ○—未达到某一分级标准

图3 模式输入状态

结果和其他几种方法评价的结果列入表 3。BP 网络的评价结果由笔者计算得到。

表3 水质综合评价结果

测点	Hopfield 网络法	BP 网络法	灰色聚类决策法 ^[3]	单一污染指数法 ^[3]
1	III	V	III	V
2	IV	IV	V	V
3	I	I	I	III
4	II	V	II	V
5	IV	V	V	V
6	IV	V	IV	V
7	I	II	I	II

水质综合评价结果分析:

a. 由表 3 中可以看到,除了测点 4 外,其余 6 个测点运用 Hopfield 网络、BP 网络及灰色聚类决策方法得到的结果都比较接近,说明运用 Hopfield 网络来进行水质评价基本可行。

b. 把 Hopfield 网络和灰色聚类决策法的评价结果进行比较,发现除了测点 2 和测点 5 有稍微的差别之外,其余的评价结果都是一致的。

c. 运用 Hopfield 网络和 BP 网络评价的结果进行比较,除测点 4 外,其余测点的评价结果都比较接近,说明这两种神经网络做水质综合评价的效果都是比较满意的。

d. 运用单一污染指数法得到的评定分级相对于其他几种方法的结果偏大,这是由单一污染指数法本身所依据的原理决定的。

运用 Hopfield 网络进行水质评价的优点:①由于进行网络联想时的输入是水质指标值和水质评价标准的比较,所以进行水质评价时评价标准不仅可以包括定量的污染指标,也可以包括定性的污染指标,而且指标越多得到的评价结果就越可靠;②评价的过程直观、使用方便,网络的联想时间较短,一般经过几次迭代就可得到结果;③和 BP 网络相比,网络的设计简单,且评价结果和 BP 网络一样具有客观的特点。

4 结 语

运用 Hopfield 网络进行水质评价的不足之处在于没有考虑水质是连续变化的这一事实,评价的结果不能给出隶属于某一水质级别的(下转第 32 页)

如图 2 所示。

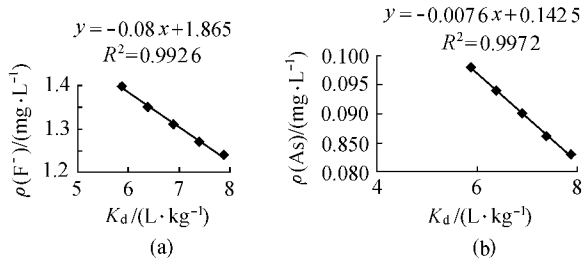


图 2 吸附分配系数与灰水污染物浓度的关系

2.3 包气带厚度

包气带的厚度同样会影响灰水污染物入渗到达含水层时的浓度。在其他参数不变的情况下,仅改变包气带的厚度,可求得不同包气带厚度条件下灰水污染物到达含水层时的浓度。

灰水污染物在包气带土壤中垂直入渗,因包气带厚度不同,其垂直入渗到达含水层的时间及到达含水层时的浓度也不同。 F^- 在厚度为 8m 的包气带土壤中入渗,到达地下水的的时间约需 6a;包气带厚度为 18m 时,需 8.2a;包气带厚度为 28m 时,需 12.8a。在这 3 种厚度的包气带土壤中 F^- 垂直入渗,21a 后,含水层中 F^- 的质量浓度分别为 1.28 mg/L、1.18 mg/L、1.14 mg/L。 As 在厚度为 8m、18m、28m 包气带土壤中入渗,到达地下水的的时间约需 6a、8.9a 和 12.5a,在这 3 种厚度的包气带土壤中垂直入渗,21a 后,含水层中 As 的质量浓度分别为 0.096 mg/L、0.093 mg/L、0.08 mg/L。由此可见,包气带厚度越大,灰水污染物入渗到含水层所用时间越长,相同入渗年限含水层中污染物质含量越小。

将不同包气带厚度条件下,灰水污染物到达含水层的浓度计算结果输入计算机(以入渗 21a 时计算结果为例)绘制关系曲线,如图 3 所示。

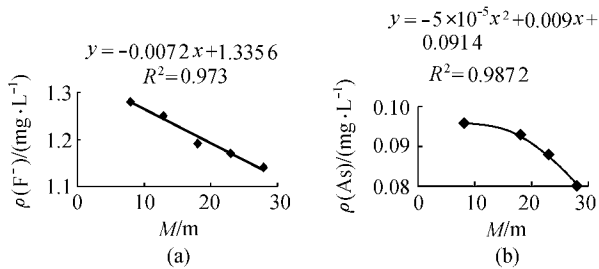


图 3 包气带厚度与灰水污染物浓度的关系

3 结论

粉煤灰水对地下水的污染,不但受到灰水本身所含污染物质的浓度影响,而且与煤灰场包气带土壤的渗透性能、土壤对污染物的吸附能力及包气带土壤的厚度等因素有关。灰水污染物在包气带垂直入渗若干年后,含水层中污染物浓度大小与土壤的

渗透系数呈正相关,与包气带土壤的吸附分配系数和包气带地层的厚度呈负相关。

由包气带渗透系数与灰水污染物到达含水层浓度关系曲线和包气带吸附分配系数与灰水污染物到达含水层的浓度关系曲线可知,灰水污染物 F^- 和 As 垂直入渗到达含水层中的浓度与包气带土壤渗透系数及包气带土壤的吸附分配系数均呈线性关系;由包气带厚度与灰水污染物到达含水层的浓度关系曲线看出,灰水污染物 F^- 到达含水层时的浓度与包气带土壤厚度的关系呈线性关系,污染物 As 的浓度与包气带土壤厚度的关系呈多项式曲线关系。

参考文献:

- [1] 孙中惠,郭建新.粉煤灰对太原市地下水造成的放射性污染[J].华北地质矿产杂志,1996,11(2):199-208.
- [2] 许光泉,陈芝.粉煤灰中污染离子淋释试验及其运移模型[J].煤田地质与勘探,1999,27(1):48-51.
- [3] 黄爽,蔡树英.电厂粉煤灰场对地下水环境影响的初步研究[J].武汉大学学报,2001,34(5):7-11.
- [4] 陈德放,李其萍.火力发电厂的排灰场对土壤及浅层地下水的影响研究[J].中国环境监测,1997,13(3):33-36.
- [5] 许佩瑶,朱洪涛.保定电厂冲灰水下渗污染地下水的数学模型[J].安全与环境学报,2003,3(6):6-8.

(收稿日期 2005-10-18 编辑 舒建)

(上接第 16 页)程度,得到的评价级别是最接近的那一类水质级别。Hopfield 网络在进行水质的大致分级时,是一种很好的方法,因为它的评价过程简单、方便,评价的结果也比较可靠。

参考文献:

- [1] 高键磊,吴泽宁,左其亭,等.水资源保护规划理论方法与实践[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
- [2] 徐大伟,杨扬.模糊数学法在河流水质综合评价中的应用[J].沈阳大学学报:自然科学版,2000(2):59-62.
- [3] 贺北方,王效宇.基于灰色聚类决策的水质评价方法[J].郑州大学学报:工学版,2000(3):10-13.
- [4] 李如忠.水质综合评价灰关联模型的建立与应用[J].安徽建筑工业学院学报:自然科学版,2000(1):46-49.
- [5] 冯玉国.物元分析在水质综合评价中的应用[J].华东地质学院学报,1994(9):281-286.
- [6] 李祚泳,邓新民.人工神经网络在水环境质量评价中的应用[J].中国环境监测,1996(12):36-39.
- [7] 李正最.水质综合评价的 BP 网络模型[J].甘肃环境研究与监测,1998(2):24-27.
- [8] 龙腾锐,郭劲松,霍国友.水质综合评价的 Hopfield 网络模型[J].重庆建筑大学学报,2000(4):57-60.
- [9] 陈祥光,裴旭东.人工神经网络技术及应用[M].北京:中国电力出版社,2003.

(收稿日期 2005-11-28 编辑 舒建)