

地下水水质评价与预测方法综述

李扬, 窦炳臣, 陈振, 王学民, 原明考

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要:近年来,地下水水质安全引起了社会广泛的关注,国内外学者开展了大量水质评价与预测研究,本文综合了当前几种广泛应用的水质评价与预测方法,对比了各自的适用性与局限性,展望了今后水质评价与预测发展的趋势,以期为地下水管理、开发利用提供参考依据。

关键词:水质评价;水质预测;适用性;局限性;发展趋势

中图分类号:X824 **文献标识码:**B

引文格式:李扬, 窦炳臣, 陈振, 等. 地下水水质评价与预测方法综述[J]. 山东国土资源, 2015, 31(8): 33 - 36. LI Yang, DOU Bingchen, CHEN Zhen, etc. Study on Evaluation and Predication Methods of Groundwater Quality[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(8): 33 - 36.

水是生命的源泉,是人类赖以生存和发展的不可缺少的最重要的物质资源之一^[1]。水质是水体质量的简称,它标志着水体的物理、化学和生物的特性及其组成的状况,而随着现代工业的快速发展,危险废物堆、地下排污管道的泄漏、农业生产中的化肥农药等化学用品、各种矿场和工业废水都能对地下水环境造成污染,使原本极为短缺的水资源更为“雪上加霜”。当前我国的城市化进程加快,工业经济在整个经济结构中依然是主体,很多地区的地下水超采严重,地下水位不断下降,人为因素对地下水水环境的污染越来越严重,因此地下水水质评价与预测显得尤为重要,许多学者开展了一系列相关的研究,衍生了一系列的地下水水质评价与预测方法,这些评价与预测方法在水资源的管理、开发、利用中起着至关重要的作用。

1 水质评价方法研究进展

1.1 水质评价方法综述

水质评价是指对水环境各个要素进行单项及综合评价,通过对水环境质量变化规律的研究以及对水环境要素或区域水环境性质的优劣进行定量描

述,探究改善和提高水环境质量的方法和途径^[2]。在评价方法领域,随着大量数学方法的应用与推广,水质评价的方法得到了广泛的发展,主要的评价方法有单因子评价法、基于灰色系统理论的水环境评价法、基于模糊理论的水环境评价法、指数评价法、基于人工神经网络的水环境评价法、基于统计理论的因子分析法等。

(1)单因子评价法。单因子评价法是将每个评价因子的实测浓度与该评价因子的评价标准《国家地表水环境质量标准(GB3838-2002)》进行逐一对比,将最差因子的类别作为评价水质的类别,其计算公式表述为:

$$I_i = \frac{C_i}{L_{ij}} \quad (1)$$

式中: C_i 为第*i*类评价因子的测定值; L_{ij} 为第*i*类评价因子的评价标准值; I_i 为单因子*i*的水质指数。

(2)灰色评价法。灰色评价法将水环境体系视为一个灰色系统,将在有限的时间和空间内获得的水质信息定义为已知信息部分与未知信息部分。灰色评价法首先对水质各指标的实测浓度与各级水质评价标准的关联度进行计算,然后根据关联度大小确定被测水体水质的类别。灰色系统可以通过处理

收稿日期:2014-10-12;修订日期:2014-12-01;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省地质矿产勘查开发局地质勘查科研项目“岩溶地下水水质演化机制及趋势预测研究”(KY201515)

作者简介:李扬(1986—),男,山东莒南人,主要从事地下水可持续发展研究工作;E-mail:liyangbfu@163.com

水质分级界限的模糊性,提高数据信息的利用率,从而有效解决水质评价中的不确定因素^[3]。

(3)模糊综合评价法。模糊数学综合评价法的基本思路是:依照检测数据建立各指标对各级标准的隶属度集,形成隶属度矩阵,计算指标权重集与隶属度矩阵的积,形成模糊集,得到综合评价集,来阐述被评价水体水质对各级标准水质的隶属程度,最后通过该隶属程度反映出水质级别的模糊性^[4]。

(4)污染指数评价法。污染指数就是水体各指标的检测值与其评价标准之比,将各指标的分指数进行数学综合运算,得出综合指数,用综合指数代表水体的污染程度,以此来评价水质。常用的污染指数法主要有综合指数法、加权均值法和尼梅罗指数法等^[5-6]。

(5)神经网络评价法。神经网络通过对大量的数据进行分析,而且模拟人类的思维方式,直观判断事物的特征特点。在进行神经网络评价时,首先确定水质评价指标,将参评的水质监测值与标准样本进行比较分析,模式识别参评水质与哪种标准样本更为接近,目前神经网络研究中基本采用人工 BP 网络^[7-9]。

(6)因子分析法。因子分析法可以依据相关性的大小把变量分组,使同组内的变量之间相关性较高,不同组的变量相关性则较低或不相关,形成的每一组变量称为公共的因子,使研究的问题得到简化,在水质评价中广泛应用。

1.2 水质评价方法适用性分析

水质评价方法各有适用性与局限性,从表 1 中可以看出,单因子评价法与污染指数评价法计算较为简便,但局限性也较明显,均缺乏对水质总体的评价。神经网络评价法与因子分析法均可进行定量与定性分析,但对样本数量有一定的要求,如样本数量少,则评价精度会降低。灰色评价法在一定程度上能够避免水质参数异常值的干扰性,但是评价因子序列只有在满足“曲线相似”的情况下评价精度较高。模糊综合评价法符合客观规律,能够体现出水环境中客观存在的模糊性与不确定性,但计算较复杂,存在对水质类别判别不准确的问题。

2 水质预测方法研究进展

2.1 水质预测方法综述

水质预测是水质监督和管理的基础工作,是预

防水质污染事件的有效措施,在水环境保护中占有举足轻重的地位。关于水质预测方法主要有时间序列预测法、灰色预测法、模糊数学法、回归分析法、溶质运移模型和人工神经网络在水质动态预测等方法^[10-13]。

表 1 水质评价方法分析

| 评价方法 | 适用性 | 局限性 |
|---------|---|------------------------------------|
| 单因子评价法 | 计算简便,通过评价结果能直观地反映水质中哪一类或几类因子超标 | 只能进行定性评价,评价结果难以进行比较,在水环境的总体概念上存在缺陷 |
| 灰色评价法 | 推理严谨,从灰关联差异度和最优从属度来进行最优化处理。一定程度上避免了由于水质参数异常值而对水质评价造成的影响 | 需满足“曲线相似” |
| 模糊综合评价法 | 本身具有定性与定量相结合的特点,体现了水环境中客观存在的模糊性和不确定性,符合客观规律 | 计算复杂繁琐,存在水质类别判断不准确或者结果不可比的问题 |
| 污染指数评价法 | 计算简便、结果表达简洁,便于比较同一水系或不同水系之间同一时间上的基本污染状况和变化 | 缺少完善的环境质量分级系统,无法与质量标准统一起来 |
| 神经网络评价法 | 具有自学习、联想、容错和抗干扰功能,有客观性,可模拟人脑解决某些有模糊性和不确定性的问题。 | 建立神经网络须以大量样本资料为基础 |
| 因子分析法 | 能很好的涵盖原始数据的各个项,同时将分析过程简化为因子项的分析 | 因子分析只能面对综合性的评价,同时对数据的数据量和成分也有要求 |

(1)回归分析法。根据地下水环境形成和演变的基本规律,在充分分析已有观测资料的基础上,建立预测要素与前期因子之间的经验关系,利用近期的地下水环境信息,从所建立的经验关系中获取所需的预测值。

(2)模糊聚类分析法。模糊聚类分析法是一种通过建立模糊相似关系将客观事物进行分类的方法,水环境要素模糊聚类分析预测方法就是通过模糊聚类分析,把预测因子状态分类,建立起待预测水环境要素变量与因子状态之间的对应关系,进而实现对水环境变量的状态预测。

(3)时间序列法。时间序列指水质指标中的某一指标监测值,按其出现时间的先后次序,且间隔时

间相同而排列的一系列数值。时间序列预测是用水质变化的过去和现在的观测数据,构造依时间变化的序列模型,通过数理统计的方法,并借助一定规则推测未来水质。

(4)灰色预测法。灰色系统理论将随机变量看作是在一定范围内变化的灰色参量,将随机过程视为在一定范围内变化,且与时间有关的灰色过程。应用灰色系统理论建立的模型 GM(1,1)进行预测,称为灰色预测。

(5)溶质运移模型。在溶质运移模型方面,MODFLOW 是全世界范围内应用最为广泛的模拟地下水流动数值模拟的软件,采用单元中心有限差分法模拟地下水在含水层中的运动,有限差分方程组可以用强隐式法或超松弛法进行求解,误差较小,精度较高^[14]。

(6)人工神经网络。人工神经网络是 20 世纪 50 年代产生的一门处理非线性复杂系统的科学,其在结构上由多层分布的节点构成,各节点按照一定的规则相互连接,构成一个复杂的网络系统。人工神经网络具有分布式联想、自学习和自组织能力,在函数逼近、模式识别等领域有着广泛的应用。该模型具有较强的自适应能力,为建立水环境预测模型提供了新的研究手段^[15]。

2.2 水质评价方法适用性分析

水质评价方法如表 2 所示,可以看出,回归分析法和时间序列法操作的局限性较为明显,准确性稍差;模糊聚类分析法可以有效解决评价过程中的不确定性,但是计算工作量大;灰色预测法操作简便,适用于实际监测资料水质系统信息并不完整的情况,准确性较高;溶质运移模型在试验数据的支撑下,模型精度较高;而人工神经网络法预测具备较强的自适应能力,但计算较为繁琐。

3 水质评价与预测方法发展方向

3.1 水质模型的统一

在水质评价和预测的方法中,存在多种不同的理论模式,在应用的过程中,尤其是在对同一水质样本进行评价预测,评价和预测的结果不够稳定,各种评价方法存在不统一的情况,因此需要研究统一的评价与预测模式,以评判各种方法的合理性。

表 2 水质预测方法分析

| 预测方法 | 适用性 | 局限性 |
|---------|--|--|
| 回归分析法 | 应用较广泛,可以准确地计量各个因素之间的相关程度。根据与回归拟合程度的高低,提高预测方程式的效果 | 要求大样本,只有通过大量的数据才能得到量化的规律。而且回归分析受统计数据的影响很大,要求样本具有较好的分布 |
| 模糊聚类分析法 | 水质过程存在着许多不确定性的现象,模糊分析法能有效解决这一问题 | 需要反复迭代计算,计算工作量大,算出最优模糊划分矩阵后,还必须求得相应的常规划分 |
| 时间序列法 | 具有较为完善的数学理论基础 | 只考虑预测水质指标本身的时间变化规律,水域的水质预测是个十分复杂的问题,影响预测水质参数的因素非常多,单纯从预测指标本身的变化来预测未来准确性差 |
| 灰色预测法 | 操作简便,适用于实际监测资料水质系统信息并不完整的情况 | 单一预测模型受到不稳定数据的影响,可能导致预测模型存在较大的预测误差 |
| 溶质运移模型 | 应用有限差分方法模拟含水层中的地下水流情 | 大量实验数据作为支撑 |
| 人工神经网络 | 含义明确,加入人工思维判断 | 计算复杂、收敛速度慢 |

3.2 不确定性模拟预测的研究

由于实际水环境系统中会存在较大的偶然性与随机性,各种因素之间相互作用和影响,而且这种作用和影响是不明确的,从而导致最终结果的不确定性。如何克服不确定性对模拟预测带来的负面作用也将是水质模拟预测研究的发展方向之一。

3.3 地理信息系统的利用

地理信息系统是一门综合性学科,结合地理学与地图学以及遥感和计算机科学,已经广泛地应用在不同的领域,是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统,近年来 GIS 已广泛应用于各个领域,而且在水质模拟与管理规划方面发挥了重要作用,将 GIS 技术如何更好地运用于水环境的预测、规划决策将是以后研究的热点之一。

3.4 可视化与虚拟技术的应用

可视化技术是利用计算机图形学和图像处理技术,将数据转换成图形或图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及到计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计等多个领域,成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术,包括科学计算可视化和信息可视化。目前国内外许多学者都积极将可视

化技术引入到水质模拟和环境管理中。

虚拟化技术是对计算机仿真与视觉技术的延伸,就是把物理资源转变为逻辑上可以管理的资源,以打破物理结构之间的壁垒。未来,所有的资源都透明地在虚拟世界运行在各种各样的物理平台上,资源的管理都将按逻辑方式进行,完全实现资源的自动化分配。目前,虚拟调度水质已经成为一种重要的研究方向。

4 结语

不同的地下水评价与预测方法都有各自的优缺点与适用环境条件,在进行水质评价与预测时可根据实际情况选择适合的方法进行分析,尽量减小因选择方法不当而导致的系统误差。随着科技的进步,更多先进的技术应用于这一领域,评价与预测的精度将会进一步提高,为地下水管理与开发利用提供更为可靠的理论参考依据。

参考文献:

- [1] 严立冬,崔元锋.绿色农业概念的经济学审视[J].中国地质大学学报(社会科学版),2009,9(3):40-43.
- [2] 张志祥,陆晓华.汉江水质评价的化学计量学研究[J].环境监测,2004,20(1):47-51.
- [3] 宋印胜.地下水水质污染的灰色综合评价[J].勘察科学技术,

- 1990,(6):20-22.
- [4] 翟由涛,赵玉军.模糊综合指数在判断水质变化趋势和水体管理中的应用[J].中国环境科学,2010,13(6):44-50.
- [5] 张中祥,徐建国,彭玉明,等.山东省地下水污染特征与初步评价[J].山东国土资源,2013,29(12):26-31.
- [6] 王玉莲,王振兴,钟振楠.威海市地下水防污性能评价[J].山东国土资源,2014,30(2):47-49,53.
- [7] 秦传玉,赵勇胜,张伟红,等.基于 BP 神经网络的齐齐哈尔地区地下水水质评价[J].环境监测管理与技术,2007,19(2):15-18.
- [8] 娄申,干晓蓉.基于 BP 神经网络的水质评价[J].云南民族大学学报(自然科学版),2007,61(2):165-167.
- [9] 赵晓亮,周扬.基于神经网络的地下水质量评价模型[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2009,9(28):172-174.
- [10] 从树铮.水文学的概率统计基础[M].北京:水利电力出版社,1981.
- [11] 施仁杰,卢科学.时间序列分析引论[M].西安:西安电子科技大学出版社,1988:15-23.
- [12] 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.
- [13] 李常锁,胡爱民,游其军,等.济南泉域岩溶水水质演变趋势研究[J].山东国土资源,2004,20(1):35-38.
- [14] 肖华,郭加朋,朱宁,等.基于 Visual Modflow 的苑庄水源地下水水位预测[J].山东国土资源,2012,28(10):37-40.
- [15] 过仲阳,陈中原,李绿芊,等.人工神经网络技术在水质动态预测中的应用[J].华东师范大学学报(自然科学版),2001,9(1):84-89.

Study on Evaluation and Predication Methods of Groundwater Quality

LI Yang, DOU Bingchen, CHEN Zhen, WANG Xuemin, YUAN Mingkao

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinnan 250013, China)

Abstract: In recent years, groundwater quality security has aroused widespread concern, and scholars have carried out a number of research about water quality evaluation and predication. In this paper, on the basis of integrating a few kinds of water quality evaluation and predication methods which have been widely used at present, applicability and limitations of these methods have been compared, and the trend of water quality evaluation and prediction in the future has been expected. It will provide some references for management, development and utilization of groundwater in the future.

Key words: Evaluation; predication; applicability; limitations; development trend