

地下水水质评价的现状与展望

苏耀明^{1,2}, 苏小四^{1,2}

(1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026 2. 吉林大学水资源与环境研究所, 吉林 长春 130026)

摘要 在对地下水水质评价的评价指标与水质标准、地下水水质评价方法进行综合评述的基础上, 指出应加强有关地下水水资源保护法律法规的建设, 加快水质标准的更新和修订速度, 改善水质评价方法, 充分利用 GIS 的技术优势是未来进行地下水水质评价过程中值得注意的方向。

关键词 地下水; 水质评价; 综述

中图分类号: P641.8 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2007)02-0004-06

Present situation and prospecting of groundwater quality evaluation

SU Yao-ming^{1,2}, SU Xiao-si^{1,2}

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Institute of Water Resources and Environment, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract Based on the review of evaluation indices, water quality standards and evaluation methods used in present groundwater quality evaluation, several aspects that should be focused on were suggested for the future development of groundwater quality evaluation, such as enforcing the construction of the laws for groundwater quality protection, accelerating the update and revision of water quality standards, improving the methods of the groundwater quality evaluation and making full use of the advantage of GIS technique.

Key words groundwater; water quality evaluation; review

地下水作为水资源的一个重要组成部分, 由于具有分布广泛且稳定、便于开采、相对地表水不易受到污染等优点, 已经成为人们生产生活的重要供水水源。例如在我国北方大部分地区, 地下水在城市总供水量中占有较大的比重, 平均可达到 49%, 而用于居民供水的比重高达 76%^[1]。

但是受原生地球化学环境和人类活动的共同影响^[2], 地下水水质表现出区域分布和演化的特点。特别是随着人类活动范围和强度的增大, 在大规模开发利用地下水资源的同时使地下水受到不同程度的污染, 并引发了一系列不良后果。

地下水水质现状评价是地下水资源评价和保护的重要内容, 通过对地下水水化学资料的分析, 可以科学地评价区域地下水体的质量状况。可为防治评

价区内水质恶化和制定水资源管理决策方案提供科学依据, 对评价区内地下水资源的可持续开发利用和综合管理有很好的指导作用。然而, 地下水水质评价的客观与否, 很大程度上取决于所选取的评价指标的全面性和代表性, 以及评价标准和评价方法的合理性。

1 地下水水质评价的评价指标与水质标准

地下水水质评价的关键之一是地下水水质评价指标和水质标准的选取, 不同的评价指标和水质标准直接影响评价结果。

为了保护水资源, 维护水域生态功能, 满足人类各种用水需求, 必须使各种水质指标维持在适宜水平。为此, 大部分国家都根据自身的自然环境和人

基金项目: 中国国土资源大调查鄂尔多斯盆地地下水勘查计划项目(1212010331302) 教育部博士点基金(20030027020)

作者简介: 苏耀明(1981—), 男, 广西北海人, 硕士研究生, 研究方向为地下水资源与管理、同位素水文地球化学研究。E-mail: sym_jlu@email.jlu.edu.cn

通讯作者: 苏小四, E-mail: suxiaosi@jlu.edu.cn

文特征、科学技术发展水平和社会经济状况,确定出满足不同用水需求的一系列水质标准和相应的评价指标,以此作为评价的依据。美国在水质标准制定方面起步最早,1914年就制定了公共卫生署饮用水水质标准。这是第一部以保障人类健康为目的的水质标准^[3]。但由于监测技术等条件的限制,早期制定的标准都比较简单。监测指标少,仅局限于饮用水中是否含有病原微生物和一些易于检测的化学指标,例如pH值、温度、溶解氧、悬浮物等^[4]。随着水中污染物种类的不断增多以及对人体健康威胁越来越大、水质检测技术的不断进步和人民生活水平的不断提高,人们对水质标准的要求也越来越严格。美国“清洁水法”要求一个州应该不断地、而且至少每隔3年召开一次水质标准评价的公开听证会,如果需要的话还将修改和采用新的标准^[5]。至今美国水质标准已经历了多次较大的修改。以与人类生活密切相关的生活饮用水水质标准为例,评价指标大量增加,从1914年的只有细菌学2个指标^[6]发展到2004年^[7]的两个级别(具有法定强制性的一级标准和非强制性二级标准)4个大类(有机物、无机物、微生物、放射性核素)共229个指标,特别是对人体健康具有潜在危害的有机组分指标大量增加,对细菌学指标的要求也越来越严格。

相比于发达国家,尽管我国的水资源保护和评价工作都是在1949年以后才发展起来的,起步较晚,但是发展十分迅速。至今我国已经颁布执行的水质标准有GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,GB/T 14848—1993《地下水质量标准》,GB 3097—1997《海水水质标准》,GB 11609—89《渔业水质标准》,GB 5084—92《农业灌溉水质标准》,GB 5749—85《生活饮用水卫生标准》等,这些水质标准的建立为我国的水环境质量评价和水资源保护提供了强有力的技术支持和法律保障。其中,地下水质量标准是依据我国地下水水质现状、人体健康基准值及地下水质量保护目标^[8],充分考虑不同用途对水体水质的要求而建立起来的国家标准。该标准的建立为地下水资源的勘查评价、开发、管理和保护工作提供了科学依据。

《地下水质量标准》将地下水质量划分为五类(表1),不同的类别反映了不同的水质状况和该类别水体的主要用途。标准还参照了生活饮用水、工业、农业用水水质最高要求,将地下水各指标的含量特征,也分为五类。标准涉及指标共39项,其中感官性状指标4项(色、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物),细菌学指标2项(总大肠菌群、细菌总数),放射性指标2项(总 α 放射性、总 β 放射性),有机组分指标4

项(挥发性酚类、阴离子合成洗涤剂、滴滴涕、六六六),其余为一般化学指标和无机组分指标(如pH值、总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、铁、锰、氟化物、硝酸盐、锌等)。其中20项指标被规定为水质监测项目,包括pH值、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、挥发性酚类、氰化物、砷、汞、铬(六价)、总硬度、铅、氟、镉、铁、锰、总溶解固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氯化物、大肠菌群,以及反映地区主要水质问题的其他项目^[8]。同时还明确规定了参加地下水水质综合评价的项目应不少于标准规定的监测项目,但不包括细菌学标准。

表1 地下水质量分类^[8]

类别	用途
I类	主要反映地下水化学组分的天然低背景含量,适用于各种用途
II类	主要反映地下水化学组分的天然背景含量,适用于各种用途
III类	以人体健康基准值为依据,主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水
IV类	以农业和工业用水要求为依据,除适用于农业和部分工业用水外,适当处理后可作生活饮用水
V类	不宜饮用,其他用水可根据使用目的选用

由于不同国家、不同地区的人们在生活习惯、经济文化条件和科技发展水平、水资源及水质现状等许多因素上都各不相同,因此彼此间制定的水质标准也必然存在着一定的差异。以生活饮用水水质标准为例,通过与美国及世界卫生组织制定的生活饮用水水质标准^[7,9]进行分析和比较可看出:

- a. 我国的标准将化学指标按感官性状和一般化学指标、毒理学指标进行划分,直观明了,优于美国 and 世界卫生组织的有机物、无机物的分类方法。
- b. 从指标总量看,我国现行饮用水卫生标准指标总量(GB 5749—85)远远少于世界卫生组织和美国标准,即使是2001年9月起施行的生活饮用水卫生规范^[10]与美国相比仍偏少,尤其是微生物和有机组分指标方面(表2)。
- c. 美国饮用水水质标准涵盖了大量的内容,标准中提出了强制执行的 MCL 和 MCLG 。还特别考虑了各指标可能对人体健康产生的影响,例如针对体重为10kg儿童提出了1d(One-Day HA)和10d(Ten-Day HA)的各指标浓度限值、参考剂量(RfD)、饮用水当量浓度(DWEL),还对各指标是否致癌划分为5个等级等。美国标准在这方面的工作值得我国借鉴。
- d. 各标准中对某些指标的要求不同。如色、嗅、pH值、溶解性总固体、硫酸盐等指标在我国饮用

表 2 我国与美国、世界卫生组织的生活饮用水水质标准指标对比

对比项分类	中国(生活饮用水卫生标准 GB 5749—85) ^[8]	中国(生活饮用水水质卫生规范) ^[10]	美国(2004 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories) ^[7]	世界卫生组织(WHO Water Drinking Guidelines) ^[9]
标准		常规和非常规检验项目及附录	一级标准(法定强制性标准)、二级标准(非强制性标准)	
指标分类	感官性状和一般化学指标、毒理学指标、细菌学指标、放射性指标	感官性状和一般化学指标、毒理学指标、细菌学指标、放射性指标	有机物、无机物、微生物、放射性核素 4 大类指标	微生物和化学指标(其中化学指标又细分为无机组分、有机组分和杀虫剂)
指标总量	35 项	96 项(常规项、非常规项)+64 项(附录)	208 项(一级标准)+15 项(二级标准)+8 项(微生物指标)+4 项(饮用水咨询表)	98 项
感官性状指标	4 项	4 项	2 项	无
微生物(细菌学)指标	3 项	4 项	8 项	3 项
一般化学指标和无机组分	19 项	35 项(其中非常规检验项目及附录中均含硫化物、钼、锑、钡、铍、硼、镍、铊项)	40 项(其中一级标准和二级标准中都含有铜、氟化物、锰、银、锌项,一级指标和咨询表中都含有氨项)	19 项
有机组分(包含杀虫剂)	7 项	107 项	174 项	76 项
放射性指标	2 项	2 项	5 项	无

水卫生标准中为常规检测项,而在美国饮用水标准中为非强制性指标,世界卫生组织制定的饮用水标准中则没有对 pH 值、溶解性总固体以及感官性状指标做出要求。

e. 对某些指标的限值也不完全相同。以溶解性总固体为例,在美国饮用水标准中限值为 500 mg/L,而在我国饮用水卫生标准中为 1 000 mg/L,差异较大。氟化物、硝酸盐、锰、锌、氯仿等指标限值也存在着一定的差异。

f. 近些年国际上对水质标准非常重视,修订频率越来越快,检测项目也不断增多,指标要求也越来越严格。而我国现行标准比较落后,已经不能满足经济、社会快速发展的要求。

随着社会的发展,工农业生产在为人们提供了丰富的物质享受的同时也给环境带来了大量成分复杂的污染物质。人们清楚地认识到现行水质标准中仍有很多不足。如现行的很多饮用水水质标准中仍然侧重于那些易于测量的指标(如钾、氯化物等),对于那些已知的毒性较强但却很难精确测量的指标(如铍、铊、许多有机物特别是杀虫剂等)却未能引起人们足够的重视^[4];现有标准和指标并不能说明当污染物以污染混合物形式出现时,即使浓度低于标准中的限值,是否会由于累积作用而对人体产生不利影响;由于化学分解物可能具有比母体化合物更大的毒性,因此,仅依靠某些母体化合物确定得到的指标限值往往会低估甚至忽视了分解物的潜在危害;对于水质中一些成分的毒理性研究不够深入,无法为水质标准的修订提供科学依据;氟、碘和硒等人

体必需元素对人体健康的影响是双向的,指标浓度过大或过小对人体都是有害的,而现行标准都只规定了不能引起中毒的最大浓度限值;单纯通过将实测浓度和确定的标准限值进行比较分析,仅能部分阐明污染物对人类以及水生生物造成的实际危害。这些问题都是今后水质标准发展道路上所要面对的巨大挑战,而且随着科学技术的不断发展和人们生活水平的不断提高,人们对水质标准的要求肯定也会更加严格,对现有标准的完善工作任重而道远。

2 地下水水质评价方法

作为地下水水质评价的工具和手段,选取的评价方法是否合理也是地下水水质评价结果客观与否的关键。随着科学技术的不断进步,世界各国的专家学者对地下水水质评价方法进行了深入的探索,也提出了很多评价方法和模型。但由于评价因子与水质等级间的非常复杂的非线性关系,以及水体污染的随机性和模糊性,对于地下水水质评价至今没有一个被广泛接受的评价模型。

2.1 单因子评价方法

单项因子评价是指分别对单个指标进行分析评价。该方法计算简便,且通过评价结果能直观地反映水质中哪一类或哪几类因子超标,同时可以清晰地判断出主要污染因子和主要污染区域。但是由于是对单个水质指标独立进行评价,因此得到的评价结果不能全面地反映地下水质量的整体状况,可能会导致较大的偏差。

鉴于单因子评价体系的不足,为了能综合反映

评价水体的总体质量,实际的地下水水质评价工作中常常采用综合评价方法将单因子评价结果综合起来。通过对水质的综合评价来反映地下水水质的整体情况,既有全面性,又有综合性。

2.2 综合评价方法

2.2.1 综合指数法

通过多个指标并赋予各指标不同的权重的综合判断确定地下水水质标准的综合指数法在地下水水质评价中一直被广泛应用^[11-13]。该方法简洁易懂、运算方便、物理概念清晰,决策者和公众可以快捷明了地通过评价结果掌握水质信息。我国 GB/T14848—1993《地下水质量标准》中推荐使用的地下水质量评价方法——内梅罗指数法以及以色列部分地区采用的 IAWQ (Index of aquifer water quality)^[11]法是综合指数法的思路;IAWQ 法既考虑了水质标准也考虑了化学指标的毒性,是进行地下水水质评价的一个有效的方法”。

权重的确定是应用综合指数法进行地下水水质评价过程中的一个重要研究内容,结合权重的评价模型可以充分反映水体中不同组分对于水质影响的差异,因此提出了各综合指数修订模型,增加了对权重因素的考虑^[13]。已有的综合指数法在评价过程中还存在着一些缺陷:忽略了水质分级界线的模糊性,评价结果不能很好地满足水质功能评价的要求;评价结果不能很好地反映出水质污染的真实状况,例如从单因子的分指数来看,即使是已经达到污染,也有可能综合指数计算中被掩盖,模式的分辨性较差^[14],例如要对不同地下水体的质量优劣进行区分时,很可能会得到相同的综合评价分值,此时就无法判断它们的优劣了。

2.2.2 人工神经网络模型

20 世纪中期才兴起的神经网络技术在地下水水质评价领域也被广泛应用^[15-18]。人工神经网络与传统的综合指标评价方法相比主要具有以下优点:①通过模型的自学习和自适应能力,可自动获得水质参数间的合理权重,无需人为干预,因此评价结果具有客观性。②一旦对标准训练完毕,就可以用训练好的网络对实测样本进行评价,计算简便,可操作性强。③可以通过在训练过程中适当改变输入节点数和输出节点数,来修改评价参数和等级,从而使模型的应用具有一定的灵活性。④基于大量成熟的计算机软件的支持,使工作效率得到极大地提高。罗定贵等^[15]基于 MATLAB 提供的实现函数将神经网络模型应用于地下水水质评价中,并结合实际数据进行了评价,取得了较好的效果。Yoon-Seok Hong 等^[16]运用 KSOFM 神经网络模型对市区内基岩裂隙

含水层地下水进行了分析,分析了暴雨入渗以及市区土地利用对地下水水质的影响,结果表明如果能提供足够的信息,该模型可以很好地分析和评价给定含水层系统的地下水水质。

但是神经网络模型在地下水水质评价的应用中由于其求解过程的限制也存在一定的缺陷:如评价过程中极易因陷入局部极小点而无法得到全局最优解;网络收敛速度比较慢;评价网络的隐层和隐层节点个数选取尚无理论指导^[19];应用中通常采用水质评价分级标准作为训练样本,训练样本少,从而影响网络效果^[15],同时采用水质标准的训练结果来评价实测样本会对评价结果带来影响,等等。针对其中的一些缺陷,各国专家学者也相继提出了一些改进模型。如采用“试错法”^[20]、通过取最小的均方根差 RMSE (root mean squared error) 值来确定隐层单元数^[21]、引入自适应变步长 (ABPM) 来调整学习率的改进算法、应用浮点遗传算法对 BP 网络的连接权进行优化^[22]等。

2.2.3 模糊综合评判法

地下水水质评价中的污染程度、水质类别都是一些客观存在的模糊概念和模糊现象^[23-24],简单地根据某一数字界限来对地下水水质进行研究和评价是不合适的。而模糊集理论的在地下水水质评价中的应用与传统的评价方法相比更适应于水质污染级别划分的模糊性,能更客观地反映水质的实际状况。模糊综合评判法最主要的优点就是通过构造隶属函数可以很好地反映水质界限的模糊性。

模糊综合评判问题实质上就是模糊变换的问题。在地下水水质评价过程中需要考虑很多影响因素,例如,隶属函数和权重矩阵的构造、模糊变换过程中算子的选取等。其中最关键的问题是如何构造合理的隶属函数和权重矩阵。

隶属函数在模糊综合评判中占有重要的地位,确定隶属函数的原则和方法很多^[25]。由于现行水质标准中大部分指标质量类别都是依据该指标浓度值从小到大或从大到小排序,即都是单向分布的。所以在地下水水质评价中常用半梯形分布函数法。对于某些双向分布的指标如人体必需的微量元素、pH 值等,可采用梯形分布函数法。这两种方法简洁明了,可以很好地刻画水质级别的隶属关系。

确定评价因子的权重是地下水水质评价的主要内容,也是模糊综合评判的关键。应用于地下水水质评价的赋权方法也有很多,传统的方法如专家法、指标值法等,但这些方法都存在一些不足。如专家法受主观因素影响太大;指标法通过实测浓度与标准浓度的比较客观反映了污染因子超标程度对水质

污染的影响,但没有考虑到不同因子对于水质的影响是不同的这一事实。针对这些赋权方法中存在的不足,提出了一些改进方法。例如,孙才志等^[26]就提出了两种改进的污染因子赋权方法。近些年,层次分析法、多元统计分析中的主成分分析和因子分析方法、灰色关联法、神经网络和遗传算法等被广泛应用于权重的确定,取得了一定的效果。但这些方法在地下水水质评价中的应用都存在自身的优缺点,如何更好地确定地下水各水质评价指标间的权重有待进一步的研究。

综合评价结果最后通过模糊矩阵 R 和权重矩阵的复合运算来实现。复合运算中可选用的模糊算子有取大取小法、相乘取大法、取小相加法、相乘相加法等,可根据评价的需要选择合适的算子。常用的取大取小算子在评价中通常被认为在污染因素较多、同时各权重值均较小的情况下,可能会遗失较多的有用信息。但是大量事例研究表明通过调整权重的方法可以很好地解决这个问题^[27]。

2.2.4 灰色聚类法

近年来发展起来的灰色系统理论也被广泛应用于地下水水质综合评价中^[28-30]。灰色聚类方法信息利用率高,精度较高,注意到了水质评价中的模糊性和不确定性,和模糊数学一样都可以通过隶属函数来反映该属性并加以量化。文献^[28]就采用了灰色聚类法对许昌市浅层地下水水质进行评价,并将得到的评价结果与模糊数学法评价结果进行了比较,证实了灰色聚类法的可信度。但该方法也存在着一些不足。例如,由于采用了“降半梯形”形式,每一评价级别仅于相邻级别间存在隶属关系,当污染物浓度分布过于离散时,可能会损失较多有用信息^[30]。灰色聚类方法在地下水水质评价过程中也需要考虑不同评价指标的赋权问题,不同的赋权方法直接影响评价结果。

2.2.5 其他方法

此外,通过不同评价模型间的交叉和融合,充分考虑各评价模型的优缺点,近年来一些新的评价方法也不断涌现。例如,考虑到水质评价的关键是不确定性及相容性分析,从而将模糊逻辑系统与神经网络充分结合,建立了模糊神经网络模型^[31]。

3 地下水水质评价面临的挑战

地下水水质评价经过多年的发展,取得了一定的成就,但同时也存在一些问题。现行的水质标准仍不能满足人们的要求,各种方法都存在自身的不足,至今仍没有一个广泛认可的评价模型。现行的地下水水质评价方法均是通过实测浓度与水质标准进行

比较分析确定评价区域地下水水质的好坏,无法考虑地下水水质的成因、演变规律和地下水水量对水质的影响等。如何针对研究含水层的具体情况,选择具有代表性的评价指标及合适的水质标准和评价方法,使得到的评价结果尽可能真实、准确地反映客观实际,已经成为地下水水质评价亟待解决的问题。针对这些不足和缺陷,笔者认为以下几个方面的问题有待进一步的改进和完善。

a. 加快水质标准的发展,以微生物和单指标的毒理性为研究的重点,特别是有机化合污染物的急性和慢性毒理性研究。近些年来,在美国和一些欧洲国家已经开始提出直接毒理性评价(Direct Toxicity Assessment)^[32],通过生物鉴定直接评价水体水质对生物体的影响。如何在现有标准的基础上与 DTA 标准进行结合将是很好的研究方向。

b. 评价方法有待进一步完善。由于模糊数学、灰色系统理论、人工神经网络模型、遗传算法等数学方法和电子计算机技术的不断发展,这些方法的继续深入研究并相互结合,将成为水质评价的有力工具。同时遗传算法^[33]和物元可拓法^[34]等近些年发展起来的新方法、新理论已经广泛应用于环境质量评价中,取得了一定的成果。因此完全可以借鉴已经取得的成功经验,通过改进将这些新方法应用于地下水水质评价中。

c. 考虑到水质变化在空间上存在较大差异,如果忽略了水质评价的空间信息,单纯的评价结果是毫无意义的。而地理信息系统具有很强的空间分析能力。基于此,把水质评价模型和地理信息系统(GIS)相耦合,使评价结果可以反映水质的空间变化规律,评价结果更加直观和明显。地理信息系统在环境评价特别是地下水水质评价中的成功应用^[18,35]表明其在地下水水质评价领域具有广阔的前景。

d. 地下水资源是质与量的结合,在地下水水质评价过程中应该充分考虑量对质的影响。如若可开采量很少或开采成本很高,即使水质再好,也是没有任何实际开采意义的。因此在水质评价中综合水量评价也具有重要的实际意义。

e. 在评价中结合水文地球化学演化理论,分析水质成因及其演变规律,对于地下水水质保护和未来水质变化的预测有很大帮助。

4 结论和建议

a. 加强有关地下水水资源保护法律法规的建设,使之能适应经济建设快速发展的趋势。

b. 我国现行水质标准已不能满足人们生产生

活的需要。需加快水质标准的更新和修订速度,增加毒理性指标(特别是有机污染物指标)数量,加强水质与健康关系的基础研究。同时不断提高检测技术和监测手段,确保人们生活生产用水的安全可靠。

c. 模糊数学通过构造水质级别的隶属函数,很好地刻画了水质界限的模糊性,能够比较客观地反映地下水水质的实际状况,是一个很有发展前途的水质评价方法。

d. 权重是地下水水质评价中的一个重要参数。现行的很多方法都强调客观性,避免人为因素的影响。个人认为在权重的确定过程中不该完全忽视人的主观能动性(特别是领域专家的意见),毕竟领域专家丰富的经验对于区域的水质评价具有很好的指导作用。如果在评价过程中忽视了如此宝贵的“财富”,仅靠单纯的数学模型来确定权重意义就不大了。因此对于有条件的地区,可以通过建立完善的专家决策系统,结合其他数学模型来确定。

e. GIS在地下水水质评价中的应用已经取得了很好的效果。今后的地下水水质评价工作中应在此基础上结合水量和水质模型进行综合分析评价,使评价结果更合理,更有说服力。

参考文献:

[1] 籍传茂,王兆馨.地下水资源的可持续利用[M].北京:地质出版社,1999.

[2] 杨性恺,席延钰,郭玲,等.呼和浩特市南郊地下水环境质量状况的研究[J].内蒙古农牧学院学报,1994,15(1):79-84.

[3] 曾光明,黄瑾辉.三大饮用水水质标准指标体系及特点比较[J].中国给水排水,2003,19(7)30-32.

[4] CLEMENS R, DAVID B. Setting action levels for drinking water: Are we protecting our health or our economy(or our backs!)?[J]. Science of the Total Environment, 2004, 332(1):13-21.

[5] 夏青,张旭辉.水质标准手册[M].北京:中国环境科学出版社,1990.

[6] 汤利华,许嘉炯,许建华.美国饮用水水质标准[J].净水技术,1995,5(1)27-32.

[7] US EPA. 2004 Edition of the drinking water standards and health advisories[EB/OL]. [2006-2-28]. <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/drinking/standards/dwstandards.pdf>

[8] GB/T 14848-93 地下水质量标准[S].

[9] WHO. WHO water drinking guidelines[EB/OL]. [2002-5-22]. <http://w3.whosea.org/techinfo/water.htm>

[10] 中华人民共和国卫生部卫法监发[2001]161号.生活饮用水水质卫生规范[R].2001.

[11] MELLOUL A J, COLLIN M. A proposed index for aquifer water-quality assessment: the case of Israel's Sharon region[J]. Journal of Environment Management, 1998, 54(2):131

[12] BOKAR H, TANG Jie, LIN Nian-feng. Groundwater quality and contamination index mapping in ChangChun city, China[J]. Chinese Geographical Science, 2004, 14(1):63-70.

[13] 谷朝君,潘颖,潘明杰.内梅罗指数法在地下水水质评价中的应用及存在问题[J].环境保护科学,2002,28(1):45-47.

[14] 曾明容,王成海.模糊数学在水质评价中的应用[J].福建环境,1999,16(5):7-9.

[15] 罗定贵,王学军,郭青.基于MATLAB实现的ANN方法在地下水水质评价中的应用[J].北京大学学报:自然科学版,2004,40(2)296-302.

[16] HONG Yoon-seok, MICHAEL R R. Intelligent characterisation and diagnosis of the groundwater quality in an urban fractured-rock aquifer using an artificial neural network[J]. Urban Water, 2001, 3(3):193-204.

[17] 束龙仓,林学钰,朱小军.应用人工神经网络评价地下水水质[C]//安芷生.第30届国际地质大会论文集.北京:地质出版社,1998:1-3.

[18] 李凤全,林年丰.神经网络和地理信息系统耦合方法在地下水水质评价中的应用[J].长春科技大学学报,2001,31(1):50-53.

[19] 麻红昭,俞蒙槐.人工神经网络基本原理(3)[J].电子计算机与外部设备,1996,20(4):51-52.

[20] 黄胜伟,董曼玲.自适应变步长BP神经网络在水质评价中的应用[J].水利学报,2002,33(10):119-123.

[21] KUO Yi-ming, LIU Chen-wuing, LIN Kao-hung. Evaluation of the ability of an artificial neural network model to assess the variation of groundwater quality in an area of blackfoot disease in Taiwan[J]. Water Research, 2004, 38(1):148-158.

[22] 耿冬青,张洪国,王福刚.改进的BP神经网络在地下水水质评价中的应用[J].世界地质,2000,19(4)366-369.

[23] 梅学彬,王福刚,曹剑锋.模糊综合评判法在水质评价中的应用及探讨[J].世界地质,2000,19(2):172-177.

[24] 束龙仓,邱汉学.济宁市开采层地下水水质的FUZZY综合评价及FORTRAN程序[J].长春地质学院学报,1988,18(4)431-440.

[25] 彭祖增,孙毓玉.模糊数学及其应用[M].武汉:武汉大学出版社,2002.

[26] 孙才志,廖资生.水质模糊评价中污染因子赋权方法的改进及应用[J].勘查科学技术,1998,16(6)3-6.

[27] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002:606-609.

[28] 肖红,徐运卿.灰色聚类法在许昌市中浅层地下水水质评价中的应用[J].江苏环境科技,1998,11(2):40-43.

[29] 李定龙,汪茂连,孙本魁,等.灰色聚类法在煤矿区地下水水质评价中的应用[J].煤矿环境保护,1997,11(4):56-59.

[30] 崔振昂,贾华伟,李方林,等.改进的灰色变权聚类法在水质评价中的应用[J].安全与环境工程,2003,10(2):30-33.

(下转第12页)

利用式(5)构造标准化决策矩阵 $Y=(y_{ij})_{m \times n}$, 计算加权的标准化决策矩阵 $Z_{ij}=(z_{ij})_{m \times n}$, 按式(6)求得:

$$Z_{ij} = \begin{bmatrix} 0.1387 & 0.0990 & 0.0594 & 0.0396 & 0.0198 & 0.0535 \\ 0.0324 & 0.0486 & 0.0810 & 0.1297 & 0.1621 & 0.0878 \\ 0.0257 & 0.0342 & 0.0514 & 0.0856 & 0.1370 & 0.04729 \\ 0.0005 & 0.0011 & 0.0027 & 0.0055 & 0.0109 & 0.0027 \\ 0.0049 & 0.0123 & 0.0247 & 0.0494 & 0.0740 & 0.0165 \\ 0.0256 & 0.0512 & 0.0767 & 0.1279 & 0.1918 & 0.1061 \end{bmatrix}$$

按式(7)(8)(9)(10)求得最理想解 X^* 和最不理想解 X^- , 分别如下:

$$X^* = (0.1387 \quad 0.0324 \quad 0.0257 \quad 0.0005 \quad 0.0049 \quad 0.0256)$$

$$X^- = (0.0198 \quad 0.1621 \quad 0.1370 \quad 0.0109 \quad 0.0740 \quad 0.1918)$$

然后计算 A_1 的欧化距离和贴近度, 结果见表4, 由该表的最后一行贴近度的数据立即就可以得出 A_1 水质是介于哪一级水质标准中。

表4 A_1 测点水质的欧氏距离和贴近度

项目	I	II	III	IV	V	A_1
S^*	0.0000	0.0511	0.1110	0.1879	0.2754	0.1321
S^-	0.2754	0.2311	0.1329	0.1953	0.0000	0.1590
C_{A1}	1.0000	0.8188	0.5451	0.5095	0.0000	0.5462

由表4可以看出, 测点 A_1 的贴近度 C_{A1} 为0.5462, 介于II级与III级之间, 属于III级。各测点算出的贴近度结果见表5。

表5 各测点的贴近度

测点	I	II	III	IV	V	贴近度
A_1	1.0000	0.8188	0.5451	0.5095	0.0000	0.5462
A_2	0.9995	0.8594	0.6215	0.5407	0.0222	0.6125
A_3	0.9590	0.7431	0.6479	0.3279	0.0000	0.9492
A_4	0.9488	0.7427	0.6453	0.3631	0.0000	0.7477

表6 各测点的不同评价方法的评价等级比较

评价方法	A_1	A_2	A_3	A_4
灰色关联分析法 ^[8]	III	III	I	I
模糊综合评判法 ^[9]	III	III	I	II
TOPSIS法	III	III	I	II

通过比较可以看出, TOPSIS模型评价法与模糊综合评判法和灰色关联分析法基本一致, 测点 A_4 评判结果比灰色关联分析法高一级, 这是由于原始数据中DO处于II级和III级之间、 NH_3-N 处于I级和II级之间引起的, 从评价结果综合分析各指标可见, 测点 A_4 评价为II级较合理。

4 结 语

TOPSIS法与模糊综合评判法和灰色关联分析

法评价的结果基本是一致的, 说明该方法可用于水体的水质类型评价。说明多目决策TOPSIS法可应用于水质评价、城市环境质量评价和区域水资源承载力评价等, 得出的结果客观准确。

参考文献:

- [1] 严修儒. 环境质量评价的研究与发展[J]. 贵州环保科技 2004, 1(2): 24-26.
- [2] 邱莞华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版社 2002: 223-276.
- [3] 张培荣, 马冬华. TOPSIS法用于医院工作质量的多指标综合评价[J]. 中国医院统计 2001, 8(2): 105-107.
- [4] 朱正威, 王雷. 基于熵权夹角和TOPSIS的企业经济效益诊断模型[J]. 运筹与管理 2005, 14(2): 142-148.
- [5] 刘行军, 陈维玉. 应用TOPSIS法综合评价食品卫生监督工作质量[J]. 中国卫生统计 2005, 22(2): 97-98.
- [6] 化党领, 张志勇, 律士爱, 等. TOPSIS多目标决策方法及其应用[J]. 计算机与农业, 1999(4): 27-28.
- [7] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838—2002地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2002.
- [8] 杨继东, 侯晓军. 灰色关联分析在环境质量评价中的应用[J]. 环境工程, 1993, 11(3): 58-60.
- [9] 马雪艳, 张江山. 应用模糊数学方法评价福州市山仔水库水质[J]. 济南大学学报: 自然科学版 2004, 18(2): 136-138.

(收稿日期 2005-12-28 编辑 徐 娟)

(上接第9页)

- [31] 魏文秋, 孙春鹏. 模糊神经网络水质评价模型[J]. 武汉水利电力大学学报, 1996, 29(4): 21-25.
- [32] PAUL W. Measures for protecting water quality: current approaches and future developments[J]. Ecotoxicology and Environment Safety, 2001, 50(2): 115-126.
- [33] 金菊良, 周玉良, 魏一鸣. 基于遗传程序设计的的水质评价模型[J]. 水电能源科学 2004, 22(2): 1-5.
- [34] 刘春莉, 李祚泳. 生态环境质量物元可拓评价及实例分析[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(4): 62-64.
- [35] 万幼川, 谢鸿宇, 吴振斌, 等. GIS与人工神经网络在水质评价中的应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2003, 36(3): 7-12.

(收稿日期 2006-03-03 编辑 高渭文)