

常用水环境质量评价方法分析与比较

李名升, 张建辉, 梁 念, 林兰钰, 李 茜, 温香彩

(中国环境监测总站, 北京 100012)

摘 要:为比较水环境质量评价方法的适用性和局限性,在分析几种常用评价方法的基础上,利用2008年长江流域和淮河流域190个国控断面水质监测数据对单因子评价法、平均污染指数法、内梅罗指数法、灰色关联分析、模糊综合评价、物元可拓评价法、综合水质标识指数法等7种方法进行实证研究。结果表明:①指标权重的选择对评价结果影响有限,73.7%的断面评价等级没有因权重发生变化,但物元可拓法对权重变化较为敏感。②当评价指标污染程度相当时,平均污染指数法较为适合;当某指标污染程度较为突出时,内梅罗指数更为恰当。但两者评价结果吻合程度较高,相关系数达0.94,且水质越差,结果越接近。③分级评分法和单因子评价法评价结果差异较大,仅有10%左右的断面评价等级一致,且水质越差,各种方法所得的评价等级差别越大。④各种评价方法具有一定的关联性和互补性,评价等级相关系数在0.7左右。综合各种评价方法理论上的优缺点并结合环境管理需求,单因子评价法和综合水质标识指数法是两种优选方法,在水环境质量评价中可以组合使用。

关 键 词:环境质量;评价方法;指标权重;水质

水环境质量的量化客观评价是水资源可持续利用的前提,是环境管理与决策的依据。客观的评价结果有赖于科学的评价方法。国内外在水质评价方面的研究成果较多。概括起来,国外水质评价研究比较注重多介质、多参数水质数据分析^[1-2],较早采用GIS手段研究水质变化^[3-4],关注经济发展对水环境质量的影响^[5];中国水质评价方法虽然较多^[6-8],但理论上并无明显突破,集中于对评价指数处理的应用^[9-10],且评价方法多限于学术探讨。

目前,理论界对各种评价方法并未形成统一的认识,由此造成“百花齐放”,影响了评价结果的可比性。而对于众多方法的局限性与适用性、评价因子权重对结果影响等方面的研究目前相对较少。本文选取具有代表性的评价方法,试图从理论和实证两方面探讨各种方法的优缺点,以期水环境质量评价提供参考。

1 常用水环境质量评价方法

中国地表水水质评价方法可归纳为3种:①水质类别判定法,②污染指数法,③分级评分法。水

质类别判定法即单因子评价法^[11],根据地表水环境质量标准中规定的污染指标限值与监测值比较,选取污染最严重指标的级别作为该断面水质级别;污染指数法^[12-13]将选定项目的实测浓度与单项评价标准值比较,经计算得出污染指数,例如,综合污染指数^[12]、内梅罗水质指数^[13]等。分级评分法^[14-17]是划分水质等级,然后用实测值(或转换值)与水质等级比较打分,综合各污染参数的分值,最后按总分值进行综合评价。目前我国环境质量报告中常用的水质评价方法是类别判定法,污染指数法使用相对较少,而分级评分法则多见于学术研究。

各种评价方法的原理与计算在相关文献中已有详细介绍。限于篇幅,本文在此不再赘述。

2 水环境质量评价方法的实证比较

本文选取2008年长江流域与淮河流域190个国控断面,利用单因子评价法、平均污染指数法、内梅罗指数法、灰色关联分析、模糊综合评价、物元可拓评价法、综合水质标识指数法等对这190个断面进行实证研究。其中,长江流域国控断面数量为

收稿日期:2011-08; 修订日期:2011-11.

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07527-004);教育部人文社会科学研究规划基金项目(11YJA630008)。

作者简介:李名升(1981-),男,山东安丘人,博士,高级工程师,研究方向为环境质量综合分析与评价。E-mail: lims@cncmc.cn

通讯作者:温香彩(1964-),女,河南濮阳人,博士,研究员,研究方向为环境信息系统建设与管理。E-mail: wenxc@cncmc.cn

104个,淮河流域国控断面数量为86个。选择长江流域和淮河流域国控断面是基于以下考虑:①所选断面既要全面反映不同水质评价因子的组合关系,又要求断面不能太多,减少计算量;②长江流域水质污染较轻,按单因子评价方法,I~Ⅲ类水质断面占全流域断面数量的85.6%,而淮河流域水质污染较重,劣于Ⅲ类的水质断面占全流域断面数量的61.6%,无I类水质断面。因此,长江流域和淮河流域国控断面水质基本可以代表I~劣V类水质的组合。评价指标采用现行环境质量报告中常用的8种指标,即溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、五日生化需氧量(BOD₅)、氨氮、石油类、挥发酚、汞、铅。数据来源于《中国环境质量报告2008》^[18]。

2.1 评价方法的改进

针对各种评价方法中存在的问题与不足,本研究对部分方法进行了改进。

模糊综合评价中最受质疑的问题是模糊集运算中的取大取小算子。在环境质量的模糊综合评价中若使用取大取小算子,则有可能致使:①综合评价会变为事实上的单因素评价;②可能出现由少数几个因素控制评价结果的情况。因此,本研究中采用加权平均方法对各因子信息进行加权求和计算综合评价结果。

传统的物元可拓评价方法对劣V类水质进行评价时是失效的^[19]。因为按照物元可拓评价法,经典域和节域的取值范围是[0, V类水上限值]。而当待评价物元为劣V类水质时,已经超出经典域和节域范围。此时如果按照传统方法将劣V类水质按照V类水质评价步骤进行评价,评价结果将失真。以某断面COD_{Mn}浓度(39 mg/L)为例,按照传统的物元评价方法,该断面对I~V类的关联度分别为-2.85、-3.18、-3.67、-5.80、-4.80。按照最大隶属度原则,该断面属于I类水,与事实严重不符。因此,本研究在运用该方法时将劣V类水质也规定一个上限,使所有劣V类待评价物元都包含于这个区间。这样经典域矩阵由5个增加为6个,节域的取值范围也有所扩大。根据所选择样本评价指标值,本文中DO、COD_{Mn}、BOD₅、氨氮、石油类、挥发酚、汞、铅的劣V类水质标准取值范围为[0, 2]、[15, 75]、[10, 50]、[2, 40]、[1, 5]、[0.1, 0.5]、[0.001, 0.005]、[0.1, 0.5]。

对综合水质标识指数法,本研究仅计算综合水质标识指数的核心部分——综合水质类别 X_1 及综

合水质在 X_1 类水质变化区间所处的位置,即 $X_1.X_2$ ^[17,20]。在计算 $X_1.X_2$ 的过程中,需要首先计算单因子水质标识指数。但是在计算单因子标识指数时,由于受指数有效位数的限制,本方法提出者仅保留一位有效数字,精确度不够。而本研究中,由于仅计算 $X_1.X_2$,使得 X_2 有条件保留两位以上有效数字。本文 X_2 取2位有效数字。

2.2 评价指标赋权

2.2.1 常见水质指标赋权方法及分析

水环境质量评价中确定权重的方法很多,按赋权主体可以分为主观赋权法(如德尔斐法、层次分析法)和客观赋权法,按赋权客体可以分为以因子实测值为判定依据的赋权方法(如熵值法、主成分分析法)、以因子标准值为判定依据的赋权方法(如简单赋权法、阈域赋权法)和以因子实测值与标准值为双重判定依据的赋权方法(如污染贡献率法、污染分担率法)^[21]。

权重的确定过程,本质上要求客观,但又容许有一定的人为技巧。其客观性就是深入研究污染物在环境中的污染状况及对人体健康的影响,特别是要加强多种污染物联合作用的毒理学试验,确定污染物之间的拮抗与协同效应;其主观性就是运用数学工具,如概率论、模糊数学、灰色系统等进行数学解析^[21]。

每种污染物的危害并非一种线性关系。以DO、COD_{Mn}、BOD₅、氨氮、石油类、挥发酚、汞、铅这8种污染物为例,按照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中I~V类水质标准,DO、氨氮、铅近似呈线性关系,而BOD₅、石油类基本呈逆函数关系,挥发酚、汞基本呈指数函数关系,COD_{Mn}则呈二次曲线关系。当多种污染物同时作用时,其综合效应未必是各种污染物的叠加结果,而目前对各种污染物的协同作用效果尚未有公认的研究成果。因此,进行环境质量评价时确定污染物权重的客观性尚不可能完全实现。

人的大脑具有综合分析能力,基于人类感官判断的主观赋权法能够在一定程度上接近于事物本质,尤其是当判断的主体是具有丰富经验的专家且数量较多时,其判断更为准确。以专家咨询值为判定依据的赋权方法具有一定的科学性,但:①它需要数量较多的专家;②专家的界定与选择具有主观性,容易受环境影响;③成本较高,可行性较差。因此,在目前的学术文献中,主要是以数值为依据进

行赋权。

以因子实测值为判定依据的赋权方法存在如下缺陷:①该方法从数值本身出发,其原理是数理统计方法,基本没有考虑污染物的毒理学特征,当这些数值是污染因子时,各指标权重如此,而当这些数值是经济数据时,其权重依然如此;②易造成数据失真。在有些情况下,某一个指标的权重甚至会高于 50%,严重夸大该指标的作用。因此,在环境质量评价时该方法运用较少。

以因子标准值为判定依据的简单赋权法和闾域赋权法存在一个共同的缺陷:污染物浓度限值越低,其权重越高,而当污染物浓度限值差异较大时,造成该种污染物被过分夸大。

以因子实测值与标准值为双重判定依据的赋权方法中,污染分担率法因为需要考虑环境背景值,而背景值一般难以掌握,所以该方法运用并不广泛。目前使用较多的是污染贡献率法。该方法的基本原理是:污染物超标越严重对环境的危害越大,并且这种危害是线性的。其缺陷是:①未考虑各种污染物的协同作用效果;②当某种污染物超标较为严重时,该种污染物的作用会被夸大。假设有 10 种参与评价的污染物,某种污染物超标 10 倍,而其他污染物均为Ⅲ类水质标准值,则该种污染物的权重将达到 0.526。假设另外一种极端情况:该种污染物超标 100 倍,其他污染物均为Ⅲ类水质标准值,则其权重将达到 0.917。

2.2.2 指标权重对评价结果的影响

在模糊综合评价、物元可拓评价、灰关联评价评价中,都需要对评价因子赋以相应的权重。为分

析不同权重对评价结果的影响,本文分别对评价因子以等权重和污染贡献率法计算因子权重,比较权重对评价结果的影响。

结果表明,两种赋权方法对评价结果具有一定的影响。其中:模糊综合评价法受权重影响最小,190 个断面中仅有 29 个评价结果因为权重的变化发生质的变化(综合评价结果改变 1 个级别以上);灰关联分析法所评价结果中,有 46 个断面因权重的变化发生质的变化;物元分析法对权重变化最为敏感,有 75 个断面因为权重的变化发生质的变化。两种赋权方法对评价结果的影响程度见表 1。

从比较结果看,平均有 73.7%的断面评价等级没有因权重发生变化,有 11.4%的断面评价等级的变化在 1 个等级,可以认为,这 85.1%的断面受权重影响不大。出现这样的结果主要是因为两种赋权方法所得到的权重值差别不大。因此,两种赋权方法对评价结果虽有一定影响但影响不大。

下面对污染贡献率法赋权进行分析(权重值见表 2)。本研究中,8 项指标中 DO、COD_{Mn}、BOD₅、挥发酚、汞、铅这 6 项没有严重超标现象,因此运用污染贡献率法所得到的 6 项指标权重没有过大的数值,最大权重在 0.3 左右。部分断面氨氮、石油类这两项污染指标超标严重,氨氮最大超标 12.3 倍,石油类最大超标 7.2 倍。因此,对于这些断面而言,在赋权时氨氮或石油类将赋予较大权重。如:某断面氨氮权重为 0.709,另一断面石油类权重为 0.543。但总体而言,超标严重断面数量极少,反映在权重分布上,氨氮、石油类权重大于 0.4 的断面数量仅占全部断面的 4.7%和 7.4%,大部分断面权重值分布

表 1 赋权方法对评价结果的影响

Tab.1 Influence of different methods of determining weights on the assessment rank						
评价方法	等级未发生 变化断面比例/%	相差 1 个等级 断面比例/%	相差 2 个等级 断面比例/%	相差 3 个等级 断面比例/%	相差 4 个等级 断面比例/%	相差 5 个等级 断面比例/%
模糊综合	84.7	1.1	3.2	1.6	9.5	0.0
灰色关联	75.8	22.6	1.6	0.0	0.0	0.0
物元可拓	60.5	10.5	12.1	13.7	1.6	1.6

表 2 由污染贡献率法确定的各指标权重情况

Tab.2 Weights of different indicators determined by pollution contribution rate								
	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	氨氮	石油类	挥发酚	汞	铅
最大权重	0.377	0.340	0.299	0.709	0.543	0.270	0.287	0.165
75%权重	0.226	0.178	0.181	0.195	0.235	0.084	0.079	0.037
平均权重	0.182	0.153	0.150	0.158	0.194	0.072	0.067	0.025
25%权重	0.131	0.121	0.114	0.079	0.105	0.049	0.038	0.008
最小权重	0.042	0.043	0.038	0.013	0.011	0.013	0.000	0.000
标准差	0.066	0.045	0.047	0.121	0.115	0.040	0.044	0.022

在 0.1~0.3。因此,运用污染贡献率法进行指标赋权是在一个较小的浓度区间内,可以认为污染物的环境影响近似呈现线性关系。所以运用该方法对所选样本进行赋权具有一定的合理性。在下文的比较中,均采用污染贡献率法对指标进行赋权。

2.3 不同评价方法对评价结果的影响

2.3.1 污染指数法之间的比较

平均污染指数法和内梅罗指数法所得数值的大小代表评价结果的好坏,但两个指数并无可比性,不能直接比较。为比较两种指数方法对评价结果的影响,将 190 个断面按指数值进行排序,对排序位次进行比较。

结果表明,两种方法所得排序具有明显的正相关性,相关系数为 0.94(图 1),排序位次平均相差 13.8。并且,水环境质量越好,位次相差越大,评价结果差异越大:平均指数法前 90 名的断面,两种方法所得位次平均相差 19.8 个位次,而排名后 90 名的断面,两种方法所得位次平均仅相差 8.3 个位次。

2.3.2 单因子评价法与分级评分法比较

利用灰色关联分析、模糊综合评价、物元可拓评价方法对断面的评价结果直接表现为水质等级,即该断面属于几类水质。而根据综合水质标识指数的含义,利用综合水质标识指数法能确定出水质类别。因此,可以对这 4 种方法及单因子评价法进行水质类别的比较。190 个断面平均等级见表 3。

从评价结果可以看出,单因子评价法所得评价等级最差,其原因是该方法以最差水质指标所属类别作为综合水质类别,评价结果表现为过保护。而利用 4 种分级评分法进行评价的结果均好于单因子评价结果

1 个等级以上。

图 2 列出了 4 种分级评分法与单因子评价法评价等级的比较。图中 $\Delta=0$ 表示某评价方法评价等级与单因子评价方法评价等级相同, $\Delta=1$ 表示该评价方法评价等级好于单因子评价方法 1 个等级,以此类推。

从图 2 中可以看出:

(1) 4 种方法评价结果与单因子评价法完全吻合的均少于 20%,平均为 10.4%。单因子评价法评价等级为 I 类水质的断面,其他方法均评价为 I 类;灰色关联分析法、模糊综合评价法、水质综合标识指数法评价结果与单因子评价结果完全吻合的断面也集中在 I 类(单因子评价法评价等级。下文如无说明,断面等级均为按单因子方法评价等级)。说明对于水质较好的断面,各方法评价结果较为吻合。

(2) 大部分断面利用 4 种分级评分方法所得评价等级与单因子评价方法所得评价等级基本吻合(相差 1 个等级以内,下文同)。平均有 63.2%的断面分级评分方法评价等级与单因子评价方法所得评价等级差别在 1 个等级之内。

(3) 物元可拓评价方法和模糊综合评价法与单因子评价法评价结果差别最大。与单因子评价结果相比,分别有 58.4%和 57.7%的断面评价结果相差 2 个等级及以上,平均相差 1.6 个等级。最大相差 5 个等级,即部分单因子法评价为劣 V 类的断面

表 3 190 个断面 5 种方法评价等级平均值

Tab.3 The average rank by 5 methods for 190 surface water sections

	单因子	灰色关联	模糊综合	物元可拓	水质指数法
平均等级	3.16	1.86	1.55	1.53	1.73

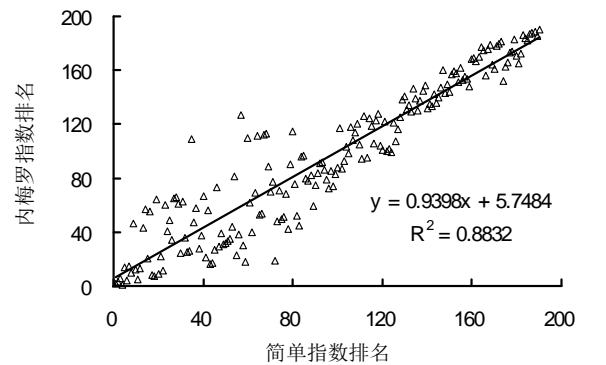


图 1 简单指数法与内梅罗指数法评价结果排名散点图
Fig.1 Scatter diagram of rank by average pollution index and Nemerow index

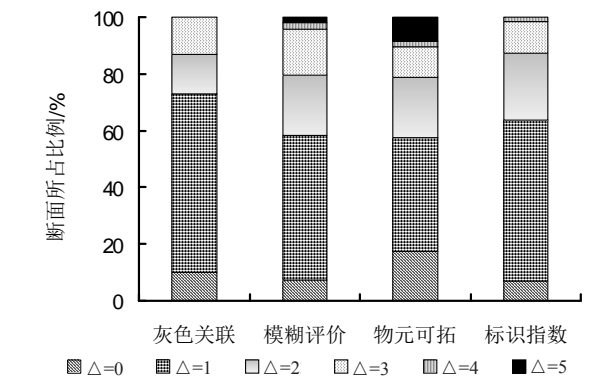


图 2 分级评分法与单因子评价法评价等级比较
Fig.2 Difference between rank assessment methods and single-factor assessment

利用模糊评价法和物元可拓法被评价为Ⅰ类。模糊综合评价法与单因子评价等级相差较大(评价等级相差3个及以上,下同)的断面集中在Ⅳ类水质断面,占全部评价等级相差较大断面数量的比例为76.9%;物元可拓法与单因子评价等级相差较大的断面集中在劣Ⅴ类和Ⅳ类,占全部评价等级相差较大断面数量的比例为90.0%。

(4) 断面评价等级(单因子评价法评价)越差,单因子评价等级与分级评分法评价等级差别越大(表4)。表4中数字为该类水质断面评价等级与单因子评价等级的平均差值。

2.3.3 分级评分法比较

灰色关联分析法与模糊综合评价法评价结果最大相差2个等级,有45.8%的断面由两种方法所得评价等级相同。无评价等级相差较大断面,40个评价结果相差2个等级的断面主要集中在劣Ⅴ类水质断面,占全部劣Ⅴ类水质断面的88.0%。

灰色关联分析法与物元可拓评价法评价结果最大相差3个等级(仅1个断面),有45.3%的断面由两种方法所得评价等级相同。33个评价结果相差2个等级以上的断面集中在劣Ⅴ类水质断面和Ⅴ类水质断面,占全部劣Ⅴ类和Ⅴ类水质断面的88.0%和57.1%。

灰色关联分析法与水质综合标识指数法评价结果在分级评分法中最为接近,最大相差1个等级,有78.9%的断面由两种方法所得评价等级相同。

模糊综合评价法与物元可拓评价法评价结果相差较大,最大相差4个等级,有69.5%的断面由两种方法所得评价等级相同。30个评价结果相差3个等级以上的断面分布较为零散,其中:劣Ⅴ类水质断面12个,占全部劣Ⅴ类水质断面的48.0%;Ⅴ类水质断面4个,占全部Ⅴ类水质断面的57.1%;Ⅳ类水质断面13个,占全部Ⅳ类水质断面的36.1%;Ⅲ类水质断面1个。

模糊综合评价法与综合水质标识指数法评价结果最大相差3个等级(仅3个断面),有52.6%的断面由两种方法所得评价等级相同。32个评价等级相差2个等级以上的断面集中在劣Ⅴ类水质断面和Ⅳ类水质断面,占全部劣Ⅴ类和Ⅴ类水质断面的80.0%和27.8%。

物元可拓评价法与综合水质标识指数法评价结果最大相差2个等级(仅3个断面),有54.7%

的断面由两种方法所得评价等级相同。22个评价等级相差2个等级的断面集中在劣Ⅴ类水质断面,占全部劣Ⅴ类水质断面的54.2%。

2.4 不同评价方法评价结果的关联性

单因子评价法与灰色关联分析法、模糊综合评价法、物元可拓法、综合水质标识指数法这4种分级评分法评价等级的相关性和等级平均差值见表5与表6。

单因子评价法、灰关联分析法、模糊综合评价法、物元可拓法、水质标识指数法与本身以外的其他4种方法的平均相关系数分别为0.72、0.71、0.54、0.45、0.75,与其他4种方法评价等级的平均差值分别为1.50、0.75、0.95、0.93、0.72。

因此,如果按照评价等级值接近的原则,5种方法的优选顺序依此是综合水质标识指数法、灰色关

表4 不同水质类别断面分级评分法与单因子法评价结果的平均等级差

Tab.4 Difference between rank assessment methods and single-factor assessment for water quality classification					
水质类别	灰色关联 分析法	模糊综合 评价法	物元 可拓法	水质标识 指数法	平均
Ⅰ	0	0	0	0	0
Ⅱ	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
Ⅲ	1.1	2.0	1.7	1.3	1.5
Ⅳ	1.4	2.6	1.5	1.7	1.8
Ⅴ	2.1	2.7	2.6	2.1	2.4
劣Ⅴ	2.9	1.7	4.0	2.9	2.9

表5 各种评价方法评价等级相关系数表
Tab.5 Correlation coefficient of assessment rank by different methods

	单因子	灰色关联	模糊综合	物元可拓	标识指数
单因子	1	0.881	0.719	0.429	0.865
灰色关联	—	1	0.606	0.505	0.867
模糊综合	—	—	1	0.219	0.629
物元可拓	—	—	—	1	0.628
标识指数	—	—	—	—	1

表6 各种评价方法评价等级平均差值表
Tab.6 Difference of assessment rank by different methods

	单因子	灰色关联	模糊综合	物元可拓	标识指数
单因子	0	1.3	1.61	1.65	1.44
灰色关联	—	0	0.75	0.73	0.21
模糊综合	—	—	0	0.77	0.66
物元可拓	—	—	—	0	0.57
标识指数	—	—	—	—	0

联分析法、物元可拓法、模糊综合评价法、单因子评价法;如果按照评价结果排序一致性,5种方法的优选顺序依此是综合水质标识指数法、单因子评价法、灰色关联分析法、模糊综合评价法、物元可拓法。当然,每种环境质量综合评价方法都有其局限性,在具体应用时还需要根据每种方法的优缺点和实用性进行选择。

3 常用水环境质量评价方法分析

3.1 单因子评价法

单因子评价法的实质是评价过程采用变权来处理评价因子,对污染最重因子赋以100%权重。因此,该方法未考虑水质评价全部因子的贡献,水质监测信息未充分利用。与其他方法相比,其水质评价结果是最差的,表现为过保护。但该方法评价过程简单,无需复杂计算。

以金沙江流域铁路桥断面为例,按单因子方法,其评价等级为Ⅳ类,定级项目为石油类,但其他7项污染因子均好于Ⅰ类水质标准。再如新濉河大屈断面,按单因子方法,其评价等级为劣Ⅴ类,定级项目为氨氮, COD_{Mn} 也超标(Ⅳ类), BOD_5 、石油类、挥发酚、汞、铅这5个项目均好于Ⅰ类水质标准, DO 好于Ⅱ类水质标准。按4种分级评分法评价,铁路桥断面均评价为Ⅰ类,大屈断面则评价为Ⅲ类(灰色关联)、Ⅴ类(模糊综合)、Ⅰ类(物元可拓)、Ⅱ类(标识指数)。比较各种方法评价结果,如果按单因子评价法,将这两个断面评价为Ⅳ类和劣Ⅴ类结果偏严。因此,当仅有1项指标污染较重时,分级评分法较为合适;当有2项以上指标污染较重时,物元分析法评价结果偏松,标识指数法和灰关联分析法评价结果相对合理。

3.2 污染指数法

综合污染指数法的缺陷在于污染指数的数值与评价项目的多少密切相关,随着评价项目的增多,污染指数会增大,其可比性较差;平均污染指数法旨在解决综合污染指数存在的上述问题,反映水质的平均超标程度,但某种污染物的污染水平不能被该指数有效识别;内梅罗指数法沿袭了平均污染指数法的思想,反映水质的平均超标程度,但同时它还特别关注最大超标污染物,在计算中单独予以体现。

以淮河流域包公庙和台儿庄大桥断面为例,两

断面平均污染指数分别为0.62和0.61,从指数值看,两断面的污染程度接近,但台儿庄大桥断面 COD_{Mn} 严重超标,仅满足Ⅴ类水质标准,而包公庙断面各项指标均未超标。从实际情况看,台儿庄大桥断面对生态环境的影响要大于包公庙断面。内梅罗指数法评价结果恰能反映这一事实:包公庙和台儿庄大桥内梅罗指数值分别为1.27和0.83,包公庙污染程度高于台儿庄大桥断面。

污染指数法考虑了污染因子的实测值和标准值,用超标倍数表示评价因子的污染程度,进而反映水质状况,但它不能判断综合水质类别。同时它隐含这样一个假设:污染物对环境的影响与污染物的浓度是严格呈线性的(事实并非完全如此)。这是污染指数法存在的一个共同问题。

污染指数是一个连续变化的数值,它可以反映水质的微小变化趋势。当水质在一个类别内变化时,利用类别法就无法判断水质变化情况,而污染指数法此时具有较好的适用性。

3.3 分级评分法

模糊综合评价、物元可拓评价、灰关联分析评价这3种分级评分法具有如下特点:①需对评价指标进行权重确定。②均需对各因子对各类别的归属矩阵与因子权重集相乘,得到一个评判向量,以向量中的最大值对应类别作为水体评价类别。③最差评价等级为Ⅴ类(本研究中对物元可拓法进行改进,使其评价等级变为6级),与单因子评价法评价等级类别不完全吻合。④评价结果的水质类别不能完全反映国家水质控制标准的要求。如某断面2008年氨氮超标0.26倍,其余指标浓度均优于Ⅲ类水质标准。如果该水体作为饮用水源地是不符合饮用水质要求的,而如果按模糊综合评价、物元可拓评价、灰关联分析评价方法,分别为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类,显然是不合适的。

综合水质标识指数法的核心是 X_1, X_2 , 而 X_1, X_2 是由所有评价项目的单因子标识指数 C_1, C_2 通过计算算术平均值得到。其中, C_i 即由评价项目浓度值确定的水质级别。因此,综合水质标识指数法的实质是将每个参评因子确定的水质级别进行平均从而得到综合水质级别,只是每个参评因子确定的水质级别在单因子水质评价法的基础上进行了更为精确的描述,进一步说明该项污染物在本类别中的污染程度。另外,综合水质指数求算术平均值的方法实质是一种等权思想,没有考虑各种污染物对环

境的不同影响。

在城市河流水质评价中,如何判别河流黑臭一直是困扰水质评价的难题。无论是国家标准还是其他的典型方法,都无法对水体黑臭做出判断。为解决这一问题,水质标识指数法提出者将综合水质标识指数法用于上海市,将综合水质标识指数的评价结果与河流实际情况进行对照,从而确定了通过综合水质标识指数判别河流水体黑臭的临界点:即 $X_1 \cdot X_2 > 7.0$ 时该水体黑臭。按照该思路,对污染指数法进行深入研究,建立污染指数与水体黑臭的对应关系,利用污染指数也可判断水体黑臭。但是,目前尚未有对污染指数与水体黑臭对应关系的研究见诸文献。

4 结论与讨论

(1) 指标权重选择对评价结果具有一定影响

以灰色关联、模糊评价、物元可拓3种方法为例,若采用平均赋权法和污染超标率法,有26.3%的断面评价等级发生变化。其中9.3%的断面评价结果变化较大,发生3个或以上等级的变化,这些断面中V类和劣V类水质断面(单因子评价结果)占71.7%,超标项目数在2项及以上的断面占85.2%。

另外,对评价因子赋权的不同还可以衍生出不同的评价方法。单因子评价法、污染指数法、综合水质标识指数法的评价原理是相同的,都是对评价因子赋以相应的权重后求取一个综合评价值,但单因子评价法的权重是变化的,对最大污染因子赋以100%权重,水质标识指数法和平均污染指数法对每种评价因子赋以相同的权重,内梅罗指数法兼顾等权思想的同时突出了最大污染指标的权重。

(2) 不同评价方法所得评价结果具有明显差异

仅有10.4%的断面利用单因子评价法、灰色关联法、模糊评价法、物元可拓法、水质标识指数法所得评价结果完全吻合,且主要集中在I类水质断面,有36.8%的断面评价等级结果相差2个等级以上。且水质越差,各种方法所得的评价等价差别越大:与单因子评价法评价结果相比,V类和劣V类水质断面评价结果平均相差2个等级以上,II~IV类水质断面相差2个等级以内,而I类水质断面各方法均评价为I类。

(3) 各种评价方法具有一定的关联性

利用平均污染指数法与内梅罗指数法对所选

190个断面进行排序,所得结果的相关系数达0.94,且水质越差,结果越接近。灰色关联法、综合水质标识指数法、单因子评价法这3种评价方法评价结果的相关系数较高,均在0.88以上。但模糊评价法与物元可拓法相关系数较低。

无论从评价等级的接近性还是从评价结果的相关性,综合水质标识指数法都是最先优选的评价方法;单因子评价法是目前最为常用和成熟的方法,在环境管理中具有较强的指导性。因此,在水质评价过程中,可以并列采用单因子评价法和综合水质标识指数法,使评价结果更为客观、科学,更好地为环境管理服务。

参考文献

- [1] Chang N B, Chen H W, Ning S K. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach. *Journal of Environmental Management*, 2001, 63 (3): 293-305.
- [2] Lermontova A, Yokoyama L, Lermontov M, et al. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, 2009, 9(6): 1188-1197.
- [3] Anbazhagan S, Nair A M. Geographic Information System and groundwater quality mapping in Panvel Basin, Maharashtra, India. *Environmental Geology*, 2003, 45(6): 753-761.
- [4] Jarvie H P, Oguchi T, Neal C. Exploring the linkages between river water chemistry and watershed characteristics using GIS-based catchment and locality analyses. *Regional Environmental Change*, 2002, 3(1-3): 36-50.
- [5] Purandara B K, Varadarajan N, Venkatesh B, et al. Surface water quality evaluation and modeling of Ghataprabha River, Karnataka, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 177(1-4): 39-50.
- [6] Guo J, Li Z. Artificial neural network modeling of water quality of the Yangtze River system: A case study in reaches crossing the city of Chongqing. *Journal of Chongqing University*, 2009, 8(1): 1-9.
- [7] 许珺, 傅肫性, 黄绚. 台湾基隆河流域水质与环境遥感制图及分析. *地理科学进展*, 1999, 18(3): 267-273.
- [8] 罗国源, 郑剑锋, 许晓毅, 等. 基于遗传算法的次级河流回水段水质模型多参数识别. *中国环境科学*, 2009, 29 (9): 962-966.
- [9] 邵磊, 周孝德, 杨方廷, 等. 基于自由搜索的投影寻踪水质综合评价方法. *中国环境科学*, 2010, 30(12):

1708-1714.

- [10] 韩美, 李艳红, 张维英, 等. 中国湖泊与环境演变研究的回顾与展望. 地理科学进展, 2003, 22(2): 125-132.
- [11] 彭文启, 张祥伟. 现代水环境质量评价理论和方法. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [12] 张婷, 刘静玲, 王雪梅. 白洋淀水质时空变化及影响因素评价与分析. 环境科学学报, 2010, 30(2): 261-267.
- [13] 弥艳, 常顺利, 师庆东, 等. 艾比湖流域2008年丰水期水环境质量现状评价. 湖泊科学, 2009, 21(6): 891-894.
- [14] 郑琳, 崔文林, 贾永刚. 青岛海洋倾倒区海水水质模糊综合评价. 海洋环境科学, 2007, 26(1): 8-41.
- [15] 侯保灯, 李佳蕾, 潘妮, 等. 基于改进熵权的灰色关联模型在湿地水质综合评价中的应用. 安全与环境学报, 2008, 8(6): 80-83.
- [16] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用. 水利学报, 2005, 36(9): 1057-1061.
- [17] 徐祖信. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究. 同济大学学报, 2005, 33(4): 482-488.
- [18] 中华人民共和国环境保护部. 2008中国环境质量报告. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 46-73.
- [19] 张龙云, 曹升乐. 物元可拓法在黄河水质评价中的改进及其应用. 山东大学学报: 工学版, 2007, 37(6): 91-94.
- [20] 徐祖信. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究. 同济大学学报, 2005, 33(3): 321-325.
- [21] 李祚泳, 丁晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法. 北京: 化学工业出版社, 2004: 21-27.

Comparisons of Some Common Methods for Water Environmental Quality Assessment

LI Mingsheng, ZHANG Jianhui, LIANG Nian, LIN Lanyu, LI Qian, WEN Xiangcai
(China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to compare the applicability and limitation of some common methods for water environmental quality assessment, we analyzed seven common methods, such as single-factor assessment, average pollution index, Nemerow index, grey correlation analysis, fuzzy comprehensive assessment, matter element extension assessment, comprehensive water quality identification index, based on the water quality monitoring data of 190 surface water sections under national monitoring program in the Yangtze River drainage basin and Huaihe drainage basin. The main results could be summarized as follows. (1) Index weight had little effect on the assessment result. Among the 190 surface water sections under national monitoring program, 73.7% did not change distinctly. Matter element extension assessment method was sensitive to index weight. (2) When the assessment factors' pollution extent was similar, the average pollution index had the advantage. While the specific factor's pollution extent was outstanding, the Nemerow index was more suitable. The result of average pollution index conformed to the result of Nemerow index, and the correlation coefficient was 0.94. The correlation coefficient was increasing when the water pollution was more serious. (3) The results of grading score method and single-factor assessment had significant difference. There were only about 10% of the 190 sections whose results were consistent. And the difference was bigger while the water quality is getting worse. (4) The results of the seven methods were correlative to a certain extent. The correlation coefficient of assessment rank was 0.7 or so. Based on an overall consideration of the advantages and disadvantages of these methods, and according to the requirement of environmental management, the single-factor assessment method and water quality identification index are the optimal methods. Therefore, these two methods could be used in combination when assessing water quality.

Key words: environmental quality; assessment method; index weight; water quality

本文引用格式:

李名升, 张建辉, 梁念, 等. 常用水环境质量评价方法分析与比较. 地理科学进展, 2012, 31(5): 617-624.