

基于模糊综合评价法的水功能区水质达标率核查方法研究

李淑贞, 李昊, 高明, 崔钊 (黄河流域水环境监测中心, 河南郑州 450004)

摘要 借助考核指标与辅助指标之间的相关性, 建立了基于模糊综合评价法的水功能区水质达标率核查方法, 并进行实例验证。结果表明: 该方法能够较好地检验区域内样本水功能区数据的规范性与逻辑性, 判断监测数据的合理性与准确性。

关键词 水功能区水质达标率; 技术核查; 模糊综合评价法; 辅助指标

中图分类号 S181; TV213 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)34-0098-04

Study on Verification Method of Water Function Zone Standard Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

LI Shu-zhen, LI Hao, Gao Ming et al (Water Environmental Monitoring Center of Yellow River Basin, Zhengzhou, Henan 450004)

Abstract According to the correlation between the evaluation indexes and the auxiliary indexes, the verification method of the water quality compliance rate of the water function area based on the fuzzy comprehensive evaluation method were established, and an example to verify the method carried out. The results showed that the method can better to examine the normative and logic within the area of the water function zone, judge the rationality and accuracy of monitoring data.

Key words Rate of Water quality compliance; Technical verification; Fuzzy comprehensive evaluation method; Auxiliary index

2013年1月, 国务院办公厅印发《实行最严格水资源管理制度考核办法》(国办发[2013]2号), 随后, 水利部会同有关部门制定了考核工作实施方案, 并相继组织开展了2013—2015年度的考核工作。建立水资源管理考核制度, 既是最严格水资源管理制度体系框架的重要组成部分, 又是今后实行最严格水资源管理的重要抓手^[1]。水资源自身特点决定了水资源管理考核工作的独特性与复杂性, 现有条件下, 用于支撑考核工作的监测、统计技术体系尚不完善, 尤其是目标完成情况的核查缺乏完善的技术手段。保障各省区目标完成情况考核工作的公平性与合理性, 是当前考核工作面临的关键技术问题之一。笔者以《全国重要江河湖泊水功能区水质达标评价技术方案》(办资源[2014]54号, 以下简称《技术方案》)为主要依据, 对黄河流域水功能区水质达标评价的关键环节进行分析, 探索区域内样本水功能区水质达标率核查方法, 以期为落实最严格水资源管理制度考核工作提供参考。

1 辅助指标相关关系分析

依据《技术方案》要求, 水功能区水质达标评价内容包括水功能区全因子达标评价和水功能区限制纳污红线主要控制项目2部分, “十二五”期间参与考核的水功能区限制纳污红线主要控制项目为高锰酸盐指数(COD_{Mn})或化学需氧量(COD)和氨氮(NH_3-N)^[2]。为了核查2项考核指标的合理性, 拟从地表水质全因子评价项目中初步筛选溶解氧(DO)、总氮(TN)、五日生化需氧量(BOD_5)、 COD_{Mn} 、重铬酸盐指数(COD_{Cr})作为辅助指标进行相关性分析。

在水质监测指标中反映有机物含量的指标主要有 COD_{Cr} 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 , 这3项指标都是衡量水体受有机物和还原性物质污染程度的重要指标, 其浓度信息通过DO的测定获得, 溶解氧是这3个参数的共同基础和联系纽带。DO

与 COD_{Cr} 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 之间相互影响、相互关联; COD_{Cr} 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 的变化将影响水体中DO的分布^[3]。 COD_{Cr} 几乎可以表示有机物全部氧化所需的氧量, 它与DO的关系能更全面地反映水质状况。

在水质监测指标中反映N元素的指标有 NH_3-N 、TN。 NH_3-N 是衡量水体受还原性物质污染程度的重要指标, 氨的降解离不开微生物的作用, 而微生物的作用建立在一定的DO浓度水平上, 因此DO对 NH_3-N 的降解影响很大。由合成代谢方程可知, 好氧环境可以促使硝化菌将部分 NH_3-N 氧化, 提高DO的浓度水平可以促进硝化作用和降低 NH_3-N 浓度。因此, NH_3-N 与DO呈负相关关系。

2 水质达标率核查方法

2.1 样本选取合理性分析 规定的水功能区样本容量下, 分析水功能区样本选取的代表性, 即是否覆盖了不同区域、不同地表水体类型, 是否覆盖了该地区全部的一、二级功能区类型。

2.2 基本数据合理性分析 基本数据合理性分析涵盖规范性分析和逻辑性分析两类, 其中规范性分析包括监测的断面位置是否符合要求; 监测频次、监测因子是否符合要求; 质量控制措施是否到位; 是否建立完善的水质监测档案; 评价次数、达标次数、达标率是否符合要求; 重要水功能区是否有标示碑建设; 是否维持水功能区合理流量或水位等。

逻辑性分析检验, 同一监测水样中, 各指标浓度通常表现为 $COD_{Mn} < COD_{Cr}$ 、 $BOD_5 < COD_{Cr}$ 、 $NH_3-N < TN$ 。当水中以可降解有机物污染为主时, $BOD_5 > COD_{Mn}$; 当地表水清洁时, 则 $BOD_5 < COD_{Mn}$ 。

2.3 样本功能区水质监测数据合理性分析

2.3.1 COD_{Mn} 与 COD_{Cr} 、 BOD_5 之间的相关性。 COD_{Mn} 、 COD_{Cr} 、 BOD_5 均是表示水体中有机物污染状况的综合指标, 具有较显著相关性, 通过分析同一监测断面3项监测指标之间的相关性, 分析 COD_{Mn} 数据的合理性。

2.3.2 COD_{Mn} 与DO之间的相关性。 COD_{Mn} 是水质监测指标中反映有机物含量和还原性物质污染程度的重要指标。DO

与 COD_{Mn} 之间相互影响、相互关联,二者间呈负相关关系^[4]。通过分析同一监测断面 COD_{Mn} 与 DO 之间的相关性,分析 COD_{Mn} 数据的合理性。

2.3.3 NH_3-N 与 TN 之间的相关性。 NH_3-N 是 TN 的主要组分之一,两者之间具有显著的相关性。通过分析同一监测断面 NH_3-N 与 TN 之间的相关性,分析 NH_3-N 数据的合理性。

2.3.4 NH_3-N 与 DO 之间的相关性。较高的 DO 浓度可以促进硝化作用,促使硝化菌将部分 NH_3-N 氧化,从而降低 NH_3-N 浓度,因此 NH_3-N 与 DO 之间呈负相关关系^[5]。通过分析同一监测断面 NH_3-N 与 DO 之间的相关性,分析 NH_3-N 数据的合理性。

2.3.5 断面来水情况与监测指标浓度之间的相关性。一般情况下,监测指标浓度与来水情况呈负相关关系,因此通过年际和年内比较,定性判断监测断面来水在年际和月际上的相对丰枯,分析其与监测指标浓度在相同时间尺度上的变化情况的相关性及监测指标上报数据的合理性。

2.4 构造层次分析结构 根据达标监测数据核查方法构建 3 层次分析结构,层次结构如图 1 所示。

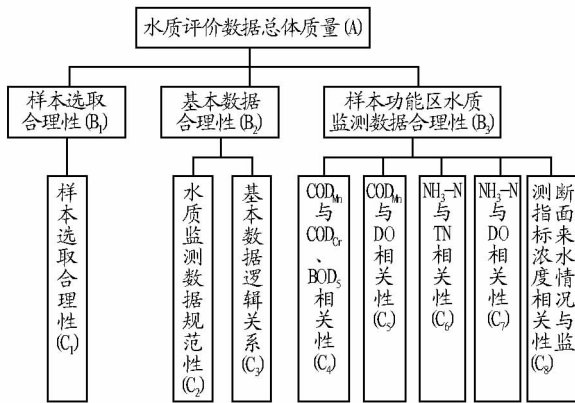


图 1 达标监测数据核查方法层次结构

Fig 1 Standard data monitoring and verification method hierarchy structure

针对构建的 3 层指标体系构造以下判断矩阵(表 1~3)。

表 1 判断矩阵 $B_2 - C$

Table 1 Judgment matrix $B_2 - C$

项目 Items	C_2	C_3
C_2	1	1
C_3	1	1

表 2 判断矩阵 $B_3 - C$

Table 2 Judgment matrix $B_3 - C$

项目 Items	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
C_4	1	1/2	1	1	1
C_5	2	1	1	1	1
C_6	1	1	1	1/2	1
C_7	1	1	2	1	1
C_8	1	1	1	1	1

表 3 判断矩阵 A - B

Table 3 Judgment matrix A - B

项目 Items	B_1	B_2	B_3
B_1	1	2	1/2
B_2	1/2	1	1/3
B_3	2	3	1

对于判断矩阵 B_3 :

$$W = \begin{bmatrix} 0.173 \\ 0.228 \\ 0.173 \\ 0.228 \\ 0.198 \end{bmatrix}$$

$\lambda_{max} = 5.120, CI = 0.030, RI = 1.120, CR = 0.030 < 0.100$,通过一致性检验。

对于判断矩阵 A:

$$W = \begin{bmatrix} 0.297 \\ 0.163 \\ 0.540 \end{bmatrix}$$

$\lambda_{max} = 3.010, CI = 0.005, RI = 0.580, CR = 0.009 < 0.100$,通过一致性检验。

沿递阶层次结构由上而下逐层计算最低层因素相对于最高层的相对重要性排序值,即权系数。结果见表 4。

表 4 水质评价数据总体质量评价权重

Table 4 The weight of the total quality evaluation of water quality evaluation data

名称 Name	权重 Weight	名称 Name	单权重 Single weight	总权重 Total weight
样本选取的合理性 Rationality of sample selection	0.297 0	C_1	1.000 0	0.297 0
基本数据的合理性 Rationality of basic data	0.163 0	C_2	0.500 0	0.081 5
		C_3	0.500 0	0.081 5
样本功能区水质监测数据合理性 Rationality of water quality monitoring data in the sample function area	0.540 0	C_4	0.173 0	0.093 0
		C_5	0.228 0	0.123 0
		C_6	0.173 0	0.093 0
		C_7	0.228 0	0.123 0
		C_8	0.198 0	0.107 0

2.5 综合评价方法 采用模糊综合评判法^[6],步骤如下:

(1) 确定评价对象的因素论域 $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ 。对于该研究, U 为各项具体的核查技术方法。

(2) 确定评语等级论域 $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ 。与考核办法确定的等级划分相对应,评语等级划分为 4 级,即 $V = (\text{完全符合}, \text{符合}, \text{基本符合}, \text{不符合})$ 。

(3) 进行单因素评价,建立模糊关系矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,4} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{10,1} & r_{10,2} & \dots & r_{10,4} \end{bmatrix}$$

式中, r_{ij} 表示从因素 u_i 着眼, 评价对象被评为 v_j 的隶属度。

一般将其归一化, 使之满足 $\sum_{j=1}^n r_{ij} = 1$ 。

(4) 确定评价因素权向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_{10})$, 笔者采用层次分析法确定权向量:

$A = (0.297\ 0, 0.081\ 5, 0.081\ 5, 0.093\ 0, 0.123\ 0, 0.093\ 0, 0.123\ 0, 0.107\ 0)$

(5) 模糊合成及结果分析。模糊综合评判的基本模型为 $B = A \cdot R$ 。采用最大隶属度原则进行处理得到评判结果。

3 应用实例分析

3.1 样本选取的合理性 (C_1) 样本水功能区选择山西省黄河流域 2014 年数据, 水功能区数量 41 个, 覆盖了不同区域、不同地表水体类型, 覆盖了该地区全部的一级、二级水功能区类型 (排污控制区除外), 样本选取合理性较好。

3.2 基本数据合理性 ($C_2 \sim C_3$) 山西省 (黄河流域) 采样断面及采样点位《水质采样技术规程》《省界水体水质站 (断面) 设置导则 (试行)》等规定的要求, 具备断面位置图、断面标识等; 样品采集记录规范、详实、全面; 监测频次满足规定; 监测报告内容与原始记录完整规范, 水质监测数据规范 (C_2)。同一监测水样中, 除极个别数据 (COD_{Cr} 小于检出限, 无法比较) 外, 其余均满足 $COD_{Mn} < COD_{Cr}$; 除极个别数据外, 其余均满足 $NH_3 - N < TN$ 。基本数据逻辑关系较为规范 (C_3)。

3.3 样本水功能区水质监测数据合理性

3.3.1 COD_{Mn} 与辅助指标间的相关性 ($C_4 \sim C_5$)。由表 5 可知, 2014 年山西省监测所得的 COD_{Mn} 与 COD_{Cr} 、 BOD_5 及 DO 水质数据之间存在极显著相关性。其中 COD_{Mn} 与 COD_{Cr} 、 BOD_5 呈极显著正相关, 与 DO 呈极显著负相关, 且在 0.01 置信水平上显著相关, 这与水化学理论相符, 说明样本水功能区的 COD_{Mn} 数据具有合理性。

3.3.2 $NH_3 - N$ 与辅助指标间的相关性 ($C_6 \sim C_7$)。由表 6 可知, 2014 年山西省监测所得的 $NH_3 - N$ 与 TN、DO 水质数据之间存在极显著相关性。其中, $NH_3 - N$ 与 TN 呈极显著正相关, 与 DO 呈极显著负相关, 且在 0.01 置信水平上显著相

关, 这与水化学理论相符。

表 5 COD_{Mn} 与辅助指标相关性

Table 5 Correlation between COD_{Mn} and auxiliary indexes

项目 Items	COD_{Cr}	BOD_5	DO
Pearson 相关系数 Pearson Correlation coefficient	0.922 **	0.834 **	-0.679 **
Spearman 相关系数 Spearman Correlation coefficient	0.896 **	0.797 **	-0.578 **

注: ** 表示在 0.01 水平 (双侧) 显著相关。

Note: ** indicated significant correlation at the 0.01 level (bilateral).

3.3.3 断面来水情况与监测指标浓度相关性 (C_8)。监测断面各水质指标的浓度不仅与河道的排污情况有关, 还与河道的来水条件密切相关。笔者以山西省的毫清河垣曲缓冲区 (上毫城)、涑水河永济缓冲区 (张留庄)、偏关河偏关缓冲区 (关河口)、黄河天桥农业用水区 (河曲) 为例, 分析了 2013 和 2014 年年际和月际来水情况对 COD_{Mn} 、 $NH_3 - N$ 浓度的影响。

表 6 $NH_3 - N$ 与辅助指标相关性

Table 6 Correlation between $NH_3 - N$ and auxiliary indexes

项目 Items	TN	DO
Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	0.461 **	-0.564 **
Spearman 相关系数 Spearman Correlation coefficient	0.358 **	-0.522 **

注: ** 表示在 0.01 水平 (双侧) 显著相关。

Note: ** indicated significant correlation at the 0.01 level (bilateral).

由表 7 可知, 年际上, 2013 年上毫城、河曲断面的来水丰于 2014 年, 2014 年张留庄、关河口断面的来水丰于 2013 年; 月际上, 除个别月份外, 均符合年际变化规律。

考虑来水情况对 $NH_3 - N$ 和 COD_{Mn} 浓度的影响, 通过比较 2013、2014 年上毫城、张留庄、关河口、河曲 4 个监测断面可以发现, 河曲、张留庄断面符合来水相对丰沛的年份及月份, 其 $NH_3 - N$ 和 COD_{Mn} 浓度监测值相对较低。由于流量较小, 上毫城、关河口断面较为反常, 个别月份的监测数据不符合变化规律, 监测数据质量较差。

表 7 2013—2014 年山西省各断面平均流量

Table 7 Average flow rate of each section in Shanxi Province during 2013—2014

m^3/s

年份 Year	月份 Month	上毫城断面 Shangbocheng section		张留庄断面 Zhangliuzhuang section		关河口断面 Guanhekou section		河曲断面 Hequ section	
		月平均 monthly average	年平均 Annually average	月平均 monthly average	年平均 Annually average	月平均 monthly average	年平均 Annually average	月平均 monthly average	年平均 Annually average
2013	05	2.00	2.00	2.18	1.23	0.04	0.04	163.00	596.00
	08	6.00		0.81		0.04		1 020.00	
	11	0.70		1.24		0.02		80.00	
2014	05	0.11	0.20	0.91	1.42	0.03	0.06	107.00	550.00
	08	0.10		1.58		0.03		508.00	
	11	0.10		3.38		0.08		675.00	

3.4 综合评价 采用模糊综合评价法, 对山西省黄河流域 41 个样本水功能区水质数据总体质量进行评价。首先对水功能

区水质数据核查结果进行分类统计, 统计情况见表 8, 其中样本核查指标中的数字为单项指标对应等级的百分制结果。

表 8 水功能区数据核查结果分类统计

Table 8 data verification results classification statistics of water function area

项目 Items	内容 Content	完全符合 Full compliance	符合 accord with	基本符合 basically comply with	不符合 Does not conform
样本选取的合理性 Rationality of sample selection		100			
基本数据合理性检验 Basic data rationality test	水质监测数据规范性	100			
	基本数据逻辑关系	79			21
样本功能区水质监测数据合理性 Rationality of water quality monitoring data in the sample function area	COD _{Mn} 与 COD _{Cr} 、BOD ₅ 相关性	27	44	19	10
	COD _{Mn} 与 DO 相关性	14	56	27	3
	NH ₃ -N 与 TN 相关性	23	41	24	12
	NH ₃ -N 与 DO 相关性	7	56	30	7
	断面来水情况与监测指标浓度相关性		54		46

根据以上统计结果,建立模糊关系矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 0.79 & 0 & 0 & 0.21 \\ 0.27 & 0.44 & 0.19 & 0.10 \\ 0.14 & 0.56 & 0.27 & 0.03 \\ 0.23 & 0.41 & 0.24 & 0.12 \\ 0.07 & 0.56 & 0.30 & 0.07 \\ 0 & 0.54 & 0 & 0.46 \end{bmatrix}$$

计算模糊综合评价结果向量 B : $B = A \cdot R$ 。其中, A 为水功能区水质数据质量评价的权重向量,取值 $A = (0.297\ 0, 0.081\ 5, 0.081\ 5, 0.093\ 0, 0.123\ 0, 0.093\ 0, 0.123\ 0, 0.107\ 0)$, 计算得到 $B = (0.430\ 0, 0.360\ 0, 0.110\ 0, 0.100\ 0)$ 。从模糊综合评价结果向量 B 中选取最大隶属度,对水功能区水质数据质量进行了等级判断,山西省(黄河流域)样本水功能区水质数据总体质量等级为优秀。

4 结论

笔者对模糊综合评价法的各影响因素进行了研究与分

析,采用层次分析法对水质达标率指标进行权重赋值,使权重系数能准确、客观地反映各指标对水质评价的作用。分析与 COD_{Mn}、NH₃-N 相关性较强的辅助评价指标,综合考虑辅助指标评价结果、监测断面设置合理性、监测频次规范性等因素,提出区域水功能区数据核查技术。经实例证明,该方法能够较好地对区域内样本水功能区数据的规范性和逻辑性进行检验,利用辅助指标与考核指标 COD_{Mn}、NH₃-N 的相关性,判断数据的合理性与准确性。

参考文献

- [1] 陶洁,左其亭,薛会露,等.最严格水资源管理制度“三条红线”控制指标及确定方法[J].节水灌溉,2012(4):64-67.
- [2] 彭文启.水功能区限制纳污红线指标体系[J].中国水利,2012(7):19-22.
- [3] 李志亮,仲济文.生化需氧量、化学需氧量、高锰酸盐指数三者关系简析[J].水利技术监督,2015(1):5-6.
- [4] 韩志萍,邵朝纲,杨志红,等.南太湖入湖口蓝藻生物量与 COD_{Mn}和 DO 的相关性研究[J].海洋与湖沼,2013,44(2):277-282.
- [5] 王珍,宋进喜,段孟辰,等.渭河陕西段河水水质 COD、NH₃-N 变化特征分析[J].水资源与水工程学报,2013,24(3):64-68.
- [6] 杨静.改进的模糊综合评价法在水质评价中的应用[D].重庆:重庆大学,2014.

科技论文写作规范——缩略语

采用国际上惯用的缩略语。如名词术语 DNA(脱氧核糖核酸)、RNA(核糖核酸)、ATP(三磷酸腺苷)、ABA(脱落酸)、ADP(二磷酸腺苷)、CK(对照)、CV(变异系数)、CMS(细胞质雄性不育性)、IAA(吲哚乙酸)、LD(致死剂量)、NAR(净同化率)、PMC(花粉母细胞)、LAI(叶面积指数)、LSD(最小显著差)、RGR(相对生长率),单位名缩略语 IIRI(国际水稻研究所)、FAO(联合国粮农组织)等。对于文中有些需要临时写成缩写的词(如表及图中由于篇幅关系以及文中经常出现的词而写起来又很长时),则可取各主要词首字母写成缩写,但需在第一次出现处写出全称,表及图中则用注解形式在下方注明,以便读者理解。