# 海水水质评价方法比较分析

张 戈[1] 于大涛[1] 袁仲杰[2] 郭丽丽[1]

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院 大连 116029; 2. 国家海洋环境监测中心 大连 116023)

**摘 要** 以实测数据为依据，分别利用灰色关联分析法、灰色聚类分析法、模糊综合评判法及单项污染指数法对样本水质进行分析。对比分析评价结果，发现各评价方法均有其自身的侧重点及局限，提出在实际水质评价工作中综合利用各种评价方法是较好的选择。

**关键词** 水质评价；灰色聚类；灰色关联；模糊综合评判；单项污染指数

在海洋环境的监测分析和科学研究中，海水水质一直是反映海洋环境状况的重要因素。经过科学研究和实际应用，一些较常用的水质评价方法成为人们研究和讨论的重点。较常用的水质评价方法包括：灰色关联分析法[1-2]、灰色聚类分析法[3-5]、模糊综合评判法[6-8]和单项污染指数法等。本研究通过实例数据，应用各方法对水质进行评价，着力于发现各方法的优点及侧重点，为评价方法的进一步研究提供依据。

## 1 常用评价方法介绍

### 1.1 灰色关联分析法

灰色关联分析法是利用灰色系统的理论基础，将待评价水质与水质评价标准视为一个灰色系统，遵照水质评价质量标准，确定水质标准与实测水质间的关联度，最后根据最大关联度原则确定评价区水质标准。其主要特点是考虑到水质界限的模糊性，注重评价对象的整体质量状况，评价结果明显且计算简便。其主要步骤包括：对样本数据及评价标准进行标准化无量纲处理；计算关联系数；计算关联度，按照最大化原则确定样本标准级别。

### 1.2 灰色聚类分析法

灰色聚类分析方法同样以灰色系统理论为理论基础，通过白化函数或者关联矩阵将样本数据聚集成若干个可以定义的类别之中[10]。灰色聚类分析法是一种加权的灰色分析方法，其充分考虑了水质分级界限的模糊性，具有较高的信息利用率和准确度。其主要步骤包括：按照灰类构建白化函数；通过标准化处理确定聚类权；通过白化函数计算聚类系数；按照最大化原则确定样本标准级别。

### 1.3 模糊综合评判法

海洋环境系统是一个庞大且复杂的系统，存在着大量不确定性因素，具有明显的模糊性难以定量。模糊数学法能有效地解决评价边界模糊和监测误差对评价结果的影响。模糊综合评判法以模糊数学理论为基础，通过隶属函数表示模糊状态，利用隶属度对样本进行分类。其主要步骤包括：确定评价因子集及评价标准；通过隶属函数确定隶属度；利用实测数值对比标准值确定各因子权值；最后综

合隶属度及权重值确定评价等级。

### 1.4 单项污染指数法

单项污染指数法是通过评价标准对单项指标进行逐项分析评价，通过指数计算，选取各因子中最大类别为样本的总体评价结果[9]。其方法简单明了，计算简便，可以清晰地判断出评价样本与评价标准的比值关系，容易判断评价区主要污染因子及污染状况，是目前海洋工程项目建设环境影响评价中的主要方法。其主要步骤包括：确定评价标准；通过计算样本数据与标准的比值确定污染指数；按照环境质量污染确定原则及“最大取优”的原则选取各因子中最大类别为样本的总体评价结果。

## 2 应用实例

以渤海湾某海域项目工程监测数据为例。应用以上水质评价方法分别对水质进行评价。其监测区内布设水质调查站 10 个，调查项目 10 项（表 1）。

表 1　渤海湾某项目工程水质监测结果

| 站位 | DO/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | COD/ ($mg \cdot L^{-1}$) | 油/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | $PO_4-P$/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | 无机氮/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | Hg/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | Cu/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | Pb/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | Zn/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) | Cd/ ($\mu g \cdot L^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.81 | 1.05 | 50.4 | 21.5 | 339.1 | 0.028 | 2.9 | 2.6 | 132.0 | 12.3 |
| 2 | 12.84 | 1.35 | 64.5 | 18.6 | 487.1 | 0.008 | 3.5 | 3.9 | 102.2 | 21.3 |
| 3 | 12.72 | 0.97 | 66.1 | 14.0 | 506.7 | 0.008 | 2.0 | 4.7 | 113.8 | 24.9 |
| 4 | 12.43 | 1.47 | 61.0 | 13.6 | 484.9 | 0.065 | 1.9 | 4.8 | 12.5 | 22.7 |
| 5 | 12.12 | 1.98 | 43.0 | 17.8 | 368.6 | 0.008 | 1.3 | 2.5 | 196.7 | 7.7 |
| 6 | 12.30 | 1.35 | 39.3 | 22.4 | 343.2 | 0.010 | 1.5 | 1.8 | 191.9 | 8.3 |
| 7 | 12.54 | 0.84 | 74.5 | 19.4 | 380.4 | 0.010 | 1.3 | 3.3 | 15.0 | 12.1 |
| 8 | 12.44 | 1.47 | 95.7 | 12.7 | 547.6 | 0.008 | 1.1 | 5.7 | 384.5 | 23.6 |
| 9 | 12.90 | 1.26 | 130.0 | 16.9 | 404.3 | 0.061 | 1.2 | 5.7 | 181.5 | 20.9 |
| 10 | 12.09 | 1.39 | 92.8 | 16.1 | 482.1 | 0.008 | 1.8 | 4.7 | 319.0 | 12.4 |

### 2.1 海水水质评价质量标准

根据 GB 3097—1997[11] 的有关规定，建立海水水质评价标准见表 2。

表 2　海水水质评价质量标准　　mg/L

| 级别 | DO | COD | 油 | $PO_4-P$ | 无机氮 | Hg | Cu | Pb | Zn | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅰ | 6 | 2 | 0.05 | 0.015 | 0.20 | 0.000 05 | 0.005 | 0.001 | 0.020 | 0.001 |
| Ⅱ | 5 | 3 | 0.05 | 0.030 | 0.30 | 0.000 20 | 0.010 | 0.005 | 0.050 | 0.005 |
| Ⅲ | 4 | 4 | 0.30 | 0.030 | 0.40 | 0.000 20 | 0.050 | 0.010 | 0.100 | 0.010 |
| Ⅳ | 3 | 5 | 0.50 | 0.045 | 0.50 | 0.000 50 | 0.050 | 0.050 | 0.500 | 0.010 |

### 2.2 数据的标准化处理

由于评价指标众多且具有不同的量纲，或者量纲相同而绝对值差距较大，因此在进行评价前需对原始数据及评价标准进行标准化处理。

对原始数据的无量纲处理：$x_{jk}=\dfrac{q_{jk}}{\dfrac{1}{p}\sum_{j=1}^{p}s_{jk}}$

对评价标准的无量纲处理：

对于数值越大污染越大的指标：

$$r_{jk}=\frac{s_{jk}}{\frac{1}{p}\sum_{j=1}^{p}s_{jk}}$$

对于数值越小污染越大的指标：

$$r_{jk}=\frac{\frac{1}{s_{jk}}}{\frac{1}{p}\sum_{j=1}^{p}\frac{1}{s_{jk}}}$$

式中：$s_{jk}$表示第$j$个指标第$k$个级别的标准值；$q_{jk}$表示实测值；$r_{jk}$、$x_{jk}$为标准化无量纲数值。

### 2.3 各方法指标权重的确定

在第1节4种评价方法中，灰色聚类权的确定首先按照上文的方法将灰类即评价标准进行无量纲处理，然后按照公式确定聚类权：$\eta_{jk}=\frac{r_{jk}}{\sum_{j=1}^{p}r_{jk}}$；模糊综合评判法各因子权重的计算可通过公式：

$$a_i = c_i/s_i$$

其中，$s_i$为多级浓度标准值的平均值，$c_i$为第$i$种因子实测值，考虑到DO的数值越小污染浓度越大，因此在模糊综合评判中分别取实测值与标准值的倒数进行计算。

### 2.4 评价结果

根据项目监测数据，参考水质评价质量标准，按照各方法运算要求及步骤，分别得到评价结果（表3）。

表3 各方法评价结果

| 评价方法 | 站位 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 灰色关联分析法 | Ⅰ | 0.781 | 0.773 | 0.782 | 0.807 | 0.797 | 0.805 | 0.807 | 0.746 | 0.748 | 0.736 |
| | Ⅱ | 0.758 | 0.742 | 0.750 | 0.758 | 0.764 | 0.785 | 0.766 | 0.708 | 0.718 | 0.700 |
| | Ⅲ | 0.686 | 0.680 | 0.691 | 0.669 | 0.677 | 0.699 | 0.692 | 0.650 | 0.681 | 0.648 |
| | Ⅳ | 0.517 | 0.524 | 0.550 | 0.530 | 0.530 | 0.548 | 0.526 | 0.575 | 0.517 | 0.553 |
| | 类别 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 灰色聚类分析法 | Ⅰ | 0.601 | 0.625 | 0.658 | 0.688 | 0.708 | 0.664 | 0.656 | 0.657 | 0.633 | 0.647 |
| | Ⅱ | 0.205 | 0.106 | 0.077 | 0.092 | 0.146 | 0.205 | 0.132 | 0.069 | 0.095 | 0.085 |
| | Ⅲ | 0.090 | 0.074 | 0.059 | 0.021 | 0.188 | 0.179 | 0.095 | 0.045 | 0.189 | 0.064 |
| | Ⅳ | 0.091 | 0.144 | 0.158 | 0.142 | 0.037 | 0.035 | 0.079 | 0.262 | 0.114 | 0.224 |
| | 类别 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ |
| 模糊综合评判法 | Ⅰ | 0.241 | 0.193 | 0.156 | 0.228 | 0.330 | 0.278 | 0.265 | 0.132 | 0.184 | 0.187 |
| | Ⅱ | 0.212 | 0.081 | 0.070 | 0.080 | 0.195 | 0.263 | 0.167 | 0.068 | 0.098 | 0.089 |
| | Ⅲ | 0.197 | 0.110 | 0.087 | 0.031 | 0.422 | 0.406 | 0.186 | 0.083 | 0.278 | 0.162 |
| | Ⅳ | 0.350 | 0.616 | 0.687 | 0.661 | 0.053 | 0.050 | 0.382 | 0.717 | 0.440 | 0.562 |
| | 类别 | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅲ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ |
| 单项污染指数法 | 类别 | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅲ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ |

## 3 讨论

### 3.1 综合评价结果

由表3可知，灰色关联分析法与灰色聚类分析法所得到的评价结果相同，且各站位评价结果均为Ⅰ类。模糊综合评判法的评价结果中，5号和6号站位的评价结果为Ⅲ类，其他站位的评价结果为Ⅳ类。单项污染指数法评价结果与模糊综合评判法评价结果相同，5号和6号站位为Ⅲ类，其余站位均为Ⅳ类。按照各方法评价结果，其工程海域海水总体质量评价结果为：灰色关联分析法与灰色聚类分

析法评价结果为Ⅰ类，而模糊综合评判法和单项污染指数法评价结果为Ⅳ类。

### 3.2 评价结果差异分析

由评价结果可以很明显地看出：各评价方法评价结果有很大的不同。灰色评价方法中各站位海水水质均为Ⅰ类，评价区海水总体质量属于Ⅰ类，而模糊综合评判和单项污染指数法中各站点水质略有不同，但海水总体质量属于Ⅳ类。究其原因，各指标权重的确定和对于原始数据的无量纲处理及对于单个因子的影响依赖程度都是造成这一结果的因素。

在指标权重的确定方面，由于各评价方法的内部机理不同，使得在权重选择上有很大区别。灰色聚类法中白化函数的确定与模糊综合评判中隶属度的计算原理相似，因而结果的不同主要由权重造成。灰色聚类法在权重选择上主要依赖于不同级别的评价标准，该法在不同的水质级别上各评价因子有不同的权重，不仅克服了标准边界过于明确等问题而且充分考虑了不同级别中各因子影响大小的不同。而模糊综合评判法权重选择主要基于各实测值与参考标准的大小关系，根据超标值确定权重值，超标越大权重越大。此种方法较易凸显出单个因子的影响作用，便于确认主要影响因子。

在单因子影响依赖程度上，模糊综合评判法和单项污染指数法都能够凸显出单因子的污染程度，且依据主因素突出型的评价方法在确定评价等级时按照污染最大的因子来确定总体评价等级。而灰色聚类法和灰色关联法则注重评价样本与标准的整体关联程度，充分反映各评价因子的综合效应。

依据以上的原因分析，在本实例中，观察分析实测数据，镉的含量严重超标。在模糊综合评判法和单因子污染指数法中，各单因子的实际浓度对总体评价结果影响较大，因此二者评价海水水质等级较低。在 5 号和 6 号站位处镉的含量为 7.7 μg/L 和 8.3 μg/L，较其他站位有明显的减小，因此评价等级为Ⅲ类。但是，因为不同的污染物危害程度不同，且浓度与毒性不成简单的比例关系，过分强调单因子的影响作用往往容易造成评价结果误差。

## 4 结论

海水系统是一个复杂的多因子系统，海水水质评价是一个多因子综合评价过程。在实际的水质评价中，应根据评价目的和水质特点确定评价因子。在充分考虑主要污染物和来源的基础上，因地制宜选取事宜的水质评价方法。但如上文所述，各方法都有其侧重点，并未有一种方法能全面地反映复杂的海水水质状况，因此，在实际研究工作中各种方法的结合应用是全面了解水质的较好选择。

**参考文献：**


[1] 慕金波，侯克复．运用灰色关联分析法评价大气质量［J］．中国环境监测，1992，8（1）：33－35.

[2] 刘粤生．灰色关联分析法在珠江广州河段水环境评价中的应用［J］．广东水利水电，2008，5：33－34.

[3] 李炳南，张文鸽．基于灰色聚类决策的水环境质量评价［J］．东北水利水电，2004，9（22）：51－53.

[4] 平仙隐，沈新强．灰色聚类法在海水水质评价中的应用［J］．海洋渔业，2006，28（4）：326－330.

[5] 徐恒振．海水水质评价的一种新方法：灰色聚类综合水质级数法［J］．交通环保，1992，6：13－18.

[6] 徐恒振．海水水质级别的模糊综合评价法［J］．海洋环境科学，1992，11（2）：41－48.

[7] 何桂芳．用模糊数学对珠江口近 20 年来水质进行综合评价［J］．海洋环境科学，2007，26（1）：53－57.

[8] 邓超冰．北部湾北部海洋环境质量的模糊数学综合评价［J］．海洋环境科学，1989，8（3）：42－47.

[9] 郦桂芬．环境质量评价［M］．北京：中国环境科学出版社，1989：

[10] 邓聚龙．灰色聚类基本方法［M］．武昌：华中理工大学出版社，1987：

[11] 国家环境保护总局．海水水质标准 GB3097－1997［S］．北京：中国标准出版社，1997.