

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1300—2023

海水、海洋沉积物和海洋生物质量评价 技术规范

Technical specification for assessment of sea water, marine sediment and
marine biological quality

本电子版为正式标准文本，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2023-07-11 发布

2023-10-01 实施

生态环境部 发布

目 次

前 言.....	ii
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 海水质量评价	2
5 海洋沉积物质量评价	4
6 海洋生物质量评价	7
附录 A（资料性附录） 近岸海域富营养化评价	9
附录 B（资料性附录） 海洋沉积物质量时间序列趋势分析方法	17

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国海洋环境保护法》和《中华人民共和国渔业法》，防治海洋生态环境污染，改善生态环境质量，规范海洋环境质量评价技术方法，制定本标准。

本标准规定了海水质量、海洋沉积物质量及海洋生物质量状况评价的主要内容、技术要求和方法。

本标准的附录 A 和附录 B 为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部海洋生态环境司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：国家海洋环境监测中心、中国科学院海洋研究所、中国环境科学研究院。

本标准生态环境部 2023 年 7 月 11 日批准。

本标准自 2023 年 10 月 1 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

海水、海洋沉积物和海洋生物质量评价技术规范

1 适用范围

本标准规定了海水质量、海洋沉积物质量及海洋生物质量状况评价的主要内容、技术要求和方法。本标准适用于中华人民共和国管辖海域海水、沉积物及生物质量状况评价。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 3097	海水水质标准
GB 17378.2	海洋监测规范 第2部分：数据处理与分析质量控制
GB 18421	海洋生物质量
GB 18668	海洋沉积物质量
HJ 442.2	近岸海域环境监测技术规范 第二部分 数据处理与信息管理
HJ 442.3	近岸海域环境监测技术规范 第三部分 近岸海域水质监测
HJ 442.10	近岸海域环境监测技术规范 第十部分 评价及报告

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

空间插值 spatial interpolation

通过已知点的数据推求未知点数据的计算方法，常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面。

3.2

富营养化 eutrophication

海水中氮、磷含量超过正常水平，导致某些海洋生物生长、繁殖异常，进而引起海洋生态系统结构和功能异常的现象。

3.3

时间序列趋势分析 time series trend analysis

一段时间内某类随机变量的一系列观测值构成时间序列，据其判断总体概率分布是否随时间变化，进而描述变化程度或变化速率。

4 海水质量评价

4.1 通则

4.1.1 评价指标

海水质量评价依据 GB 3097 所列指标，按需求选择指标开展评价。

4.1.2 数据要求

开展海水质量评价的数据资料应符合 GB 17378.2 和 HJ 442.3 中水质监测一般要求，按 HJ 442.2 中监测数据信息与数据处理等相关规定进行处理后方可使用。在分层采样的情况下，油类采用表层数据进行评价；其他指标在采样点水深小于或者等于 50 m 时采用多层数据的平均值进行评价，在采样点水深大于 50 m 时采用表层数据进行评价。

4.1.3 评价网格

根据不同的评价尺度，选择不同精度的网格数据集进行海水质量评价。管辖海域评价网格分辨率不低于 1'×1'；海区评价网格分辨率不低于 0.5'×0.5'；省级评价海域面积大于或等于 10000 km²时，评价网格分辨率不低于 0.05'×0.05'；省级评价海域面积小于 10000 km²时，网格分辨率不低于 0.01'×0.01'；地市级及重点河口、海湾评价网格分辨率不低于 0.01'×0.01'。

4.2 评价方法

4.2.1 单指标评价

依据 4.1.3 的要求确定评价网格，使用插值方法对网格进行赋值。

插值方法采用改进的距离反比例法，见公式（1）：

$$Z(B) = \sum_{i=1}^n Z(X_i) \lambda_i \quad (1)$$

式中： $Z(B)$ ——待赋值网格的浓度值， B 为待赋值网格中心点；

$Z(X_i)$ ——第 i 个实测点的浓度值， X_i 为实测点；

n ——实测点数量；

λ_i ——实测点 X_i 的权重，依据区域化变量的相关性，得到权重 λ_i 的确定方法，见公式（2）：

$$\lambda_i = \frac{1}{d_i^4} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^4} \quad (2)$$

式中： d_i ——待赋值网格中心点与实测点 X_i 间的距离。 X_i 的选取应尽可能满足以下条件：

——能够形成凸包，且每一个点均为凸包的顶点；

—— B 点在该凸包内，且该凸包内部不包含其他实测点；

——与 B 点空间通视；

——实测点 n 数量不大于 4。

采用等级判定法，对单指标的质量等级进行判定。判定标准采用 GB 3097，判定原则见表 1。

表 1 单个评价指标的海水质量等级判定原则

海水质量等级	判定原则
一类	符合第一类海水水质标准。
二类	劣于第一类海水水质标准但符合第二类海水水质标准。
三类	劣于第二类海水水质标准但符合第三类海水水质标准。
四类	劣于第三类海水水质标准但符合第四类海水水质标准。
劣四类	劣于第四类海水水质标准。

4.2.2 综合质量评价

对各单指标质量等级的网格进行叠加比较，依据所有指标中质量最差的等级，确定该网格的综合质量等级，判定原则见表 2。

表 2 海水综合质量等级判定原则

综合质量等级	判定原则
一类水质海域	符合第一类海水水质标准的海域。
二类水质海域	劣于第一类海水水质标准但符合第二类海水水质标准的海域。
三类水质海域	劣于第二类海水水质标准但符合第三类海水水质标准的海域。
四类水质海域	劣于第三类海水水质标准但符合第四类海水水质标准的海域。
劣四类水质海域	劣于第四类海水水质标准的海域。

对综合评价的网格数据集进行等值面提取，获取代表综合水质各等级的等值面分布图，并计算各等级的水质面积。

近岸海域环境功能区水质评价方法，优先采用 HJ 442.10 的相关技术规定。

4.2.3 区域主要污染指标的确定

采用影响贡献率分类筛选法确定区域主要污染指标，见公式（3）：

$$C_k^i = \frac{S_k^i}{S_k} + f(S_k^i) \quad (3)$$

式中： C_k^i ——第 i 种指标的第 k 类质量等级海域的影响贡献率， k 为该指标确定的各类水质等级；

S_k ——第 k 类海水综合质量等级总面积；

S_k^i ——第 i 种指标的第 k 类质量等级面积；

$f(S_k^i)$ ——标准化函数，取值方法见公式（4）：

$$f(S_k^i) = \begin{cases} 0 & (S_k^i = 0) \\ k & (S_k^i > 0) \end{cases} \quad (4)$$

在计算完所有指标的影响贡献率后，按照影响贡献率从大到小进行排序，确定主要污染指标。

4.2.4 图件要素

海水综合质量等级分布图应包括下列要素：

- 地理底图要素：境界、岸线、水系、重要地名注记等主要基础背景信息；
- 海水质量要素：海水综合质量等级状况；
- 图例：质量等级、颜色式样要求见表 3。

表 3 海水综合质量等级图例要求

质量等级	式样	说明
一类水质海域		RGB 值 (115, 178, 255)
二类水质海域		RGB 值 (178, 221, 247)
三类水质海域		RGB 值 (196, 196, 196)
四类水质海域		RGB 值 (166, 150, 135)
劣四类水质海域		RGB 值 (111, 88, 67)

4.3 富营养化评价

海水富营养化状况评价采用 HJ 442.10 的富营养化指数及水质富营养等级划分指标进行评价。

依据 4.1.3 中的要求确定评价网格。使用 4.2.1 的插值方法，分别对无机氮、活性磷酸盐、化学需氧量进行赋值，计算每个网格的富营养化指数。依据水质富营养等级划分指标确定每个网格的富营养化等级。

对富营养化等级评价的网格数据集进行等值面提取，获取代表富营养化各等级的等值面分布图，并计算各富营养化等级的面积。

图件要求参照 4.2.4，图例要求见表 4。

表 4 富营养化等级图例要求

质量等级	式样	说明
轻度富营养化		RGB 值 (255, 255, 0)
中度富营养化		RGB 值 (255, 153, 0)
重度富营养化		RGB 值 (255, 0, 0)

海水富营养化状况亦可参见附录 A 的评价方法进行评价。

5 海洋沉积物质量评价

5.1 通则

5.1.1 评价指标

沉积物评价指标包括硫化物、有机碳、汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、油类、六六六、滴滴涕和多氯联苯。另外，粒度作为沉积物质量评价的辅助指标，用于评价沉积物类型变化和辅助阐释污染分布特点。

5.1.2 数据要求

开展海洋沉积物质量评价的数据资料应按 GB 17378.2 和 HJ 442.2 中的相关规定进行处理后方可使用。

5.2 沉积物质量评价方法

5.2.1 评价标准

评价指标的含量优于 GB 18668 第一类标准值，则该指标等级为优；评价指标的含量介于第一类和第三类标准值之间，则该指标等级为中；评价指标的含量劣于第三类标准值，则该指标等级为差。各指标的质量等级评价标准见表 5。

5.2.2 单点位单个指标质量分级

按表 5 规定的评价标准，对单点位的单个评价指标进行等级划分。

表 5 沉积物中各指标的质量等级评价标准

评价指标	优	中	差
汞	≤0.20	>0.20且≤1.00	>1.00
镉	≤0.50	>0.50且≤5.00	>5.00
铅	≤60.0	>60.0且≤250	>250
锌	≤150	>150且≤600	>600
铜	≤35.0	>35.0且≤200	>200
铬	≤80.0	>80.0且≤270	>270
砷	≤20.0	>20.0且≤93.0	>93.0
油类	≤500	>500且≤1500	>1500
六六六	≤0.50	>0.50且≤1.50	>1.50
滴滴涕	≤0.02	>0.02且≤0.10	>0.10
多氯联苯	≤0.02	>0.02且≤0.60	>0.60
有机碳	≤2.0	>2.0且≤4.0	>4.0
硫化物	≤300	>300且≤600	>600

注：有机碳的单位为 10^{-2} ，其余各指标的单位为 10^{-6} ，均以干重计。

5.2.3 单点位沉积物质量分级

5.2.3.1 有机碳和硫化物指标质量分级

对单点位沉积物有机碳和硫化物指标，按表 6 的要求进行质量分级，缺失任何一项指标将不给出评价结论。

表 6 单点位沉积物有机碳和硫化物指标质量分级原则

等级	分级原则
优	至少一项指标为优，另一项不为差。
中	一项指标为差或者两项指标为中。
差	两项指标均为差。

5.2.3.2 其他指标质量分级

对单点位沉积物中除有机碳和硫化物以外的其他指标，按表 7 的要求进行质量分级。至少 6 项指标参与评价，如果小于 6 项指标将不给出评价结论。

表 7 单点位沉积物其他指标质量分级原则

等级	分级原则
优	最多一项指标为中，没有一项指标为差。
中	一项以上指标为中，没有一项指标为差。
差	有一项或更多项指标为差。

5.2.3.3 单点位沉积物质量分级

在以上质量分级的基础上，对单点位的沉积物质量按表 8 的要求进行分级，如缺失其他指标质量分级的结果，将不给出评价结论。

表 8 单点位沉积物质量分级原则

等级	分级原则
优	有机碳和硫化物指标等级不为差，其他指标等级为优。
中	有机碳和硫化物指标等级不为差，其他指标等级为中。
差	有机碳和硫化物指标等级和其他指标等级均为差，或者任何一项为差。

5.2.4 区域沉积物综合质量评价

在单点位沉积物质量分级基础上，按表 9 的要求，确定区域沉积物综合质量等级。

表 9 区域沉积物综合质量分级原则

等级	分级原则
优	有不到 5%点位的沉积物质量等级为差，且不低于 70%点位的沉积物质量等级为优。
中	5%~15%点位的沉积物质量等级为差；或不到 5%的点位的沉积物质量等级为差且低于 70%的点位的沉积物质量等级为优。
差	有 15%以上点位的沉积物质量等级为差。

5.3 沉积物中各指标含量年际变化趋势评价

沉积物中各指标含量年际变化趋势可参见附录 B 的方法进行评价。

6 海洋生物质量评价

6.1 通则

6.1.1 评价原则

以海洋贝类（双壳类）为监测生物，以 GB 18421 为评价标准，与 GB 3097 海水水质标准配套执行，用于表征海洋环境质量。

6.1.2 评价指标

评价指标为海洋贝类体内的总汞、镉、铅、铬、砷、铜、锌、石油烃、六六六和滴滴涕。

6.1.3 数据要求

开展海洋生物质量评价的数据资料应按 GB 17378.2 和 HJ 442.2 中相关规定进行处理后方可使用。

6.2 海洋生物质量评价方法

6.2.1 评价标准

按表 10 的评价标准，对单点位的单个评价指标进行等级划分。

表 10 贝类体内污染物残留状况质量等级评价标准

评价指标	优	中	差
总汞	≤0.05	>0.05 且 ≤0.30	>0.30
镉	≤0.2	>0.2 且 ≤5.0	>5.0
铅	≤0.1	>0.1 且 ≤6.0	>6.0
铬	≤0.5	>0.5 且 ≤6.0	>6.0
砷	≤1.0	>1.0 且 ≤8.0	>8.0
铜	≤10	>10 且 ≤50（牡蛎 100）	>50（牡蛎 100）
锌	≤20	>20 且 ≤100（牡蛎 500）	>100（牡蛎 500）
石油烃	≤15	>15 且 ≤80	>80
六六六	≤0.02	>0.02 且 ≤0.50	>0.50
滴滴涕	≤0.01	>0.01 且 ≤0.50	>0.50

注：单位为 mg/kg，以贝类去壳部分鲜重计。

6.2.2 单点位贝类体内污染物残留状况分级

对单点位贝类体内污染物残留状况按表 11 的要求进行分级。至少 5 项指标参与评价，否则将不给出评价结论。

表 11 单点位贝类体内污染物残留状况分级原则

等级	分级原则
优	没有一项指标为差，最多两项指标为中。
中	没有一项指标为差，两项以上指标为中。
差	一项或更多项指标为差。

6.2.3 区域贝类体内污染物残留状况综合评价

区域贝类体内污染物残留状况综合等级按表 12 的要求确定。

表 12 区域贝类体内污染物残留状况分级原则

等级	分级原则
优	有不到 10%的点位贝类体内污染物残留状况等级为差，且不低于 50%的点位贝类体内污染物残留状况等级为优。
中	有 10%~20%的点位贝类体内污染物残留状况等级为差；或有不到 10%的点位为差，且低于 50%的点位贝类体内污染物残留状况等级为优。
差	有 20%以上的点位贝类体内污染物残留状况等级为差。

附录 A
(资料性附录)
近岸海域富营养化评价

A.1 适用范围

本附录规定了近岸海域富营养化状况的评价指标和评价方法。适用于河口、海湾及近岸开阔水域等近岸海域的富营养化状况评价。

A.2 评价指标及阈值范围

评价指标分为两类：水质状态指标和生态响应指标（表 A.1）。水质状态是指水体中水化学指标如氮、磷、化学需氧量等的总体状态，用于反映水体营养盐加富作用的水平。水质状态指标为无机氮（DIN）、活性磷酸盐（PO₄-P）和化学需氧量（COD）。生态响应指河口、海湾等生态系统在陆源氮、磷等营养物质输入后，因其敏感程度不同，所表现出的生态系统状态的异常改变，反映了水体对营养盐加富产生的富营养化效应。根据生态系统对营养盐输入所产生异常改变的时间先后，生态响应分为初级生态响应和次级生态响应。生态响应指标中，初级生态响应指标为叶绿素 a（Chl-a）、浮游植物细胞丰度（PP）和大型藻类暴发，次级生态响应指标为赤潮事件和底层溶解氧（DO）。

表 A.1 富营养化评价指标及阈值范围

评价指标		阈值范围					
		≤0.2	>0.2 且 ≤0.3	>0.3 且 ≤0.4	>0.4 且 ≤0.5	>0.5	
水质状态	DIN (mg/L)	≤0.2	>0.2 且 ≤0.3	>0.3 且 ≤0.4	>0.4 且 ≤0.5	>0.5	
	PO ₄ -P (mg/L)	≤0.015	>0.015 且 ≤0.03	>0.03 且 ≤0.045	>0.045	—	
	COD (mg/L)	≤2	>2 且 ≤3	>3 且 ≤4	>4 且 ≤5	>5	
生态响应	初级生态响应	Chl-a (μg/L)	≤1	>1 且 ≤3	>3 且 ≤5	>5	—
		PP (cells/L)	≤10 ³	>10 ³ 且 ≤10 ⁴	>10 ⁴ 且 ≤10 ⁶	>10 ⁶	—
		大型藻类暴发	—				
	次级生态响应	赤潮事件	—				
		DO (mg/L)	>5	>2 且 ≤5	≤2	低于检出限	—

A.3 评价流程

评价流程如图 A.1 所示。按盐度分区，开展各盐度区水质状态评价和生态响应评价。综合各盐度区评价结果，获得整个评价区域的指标得分。最后依据整个评价区域的水质状态等级和生态响应等级，得到富营养化综合等级。

A.4 评价区域划分

按评价区域内各采样点的盐度（S）均值，将评价区域划分为 3 个盐度区：

- 感潮淡水区 ($S \leq 2$)；
- 混合区 ($2 < S \leq 25$)；
- 海水区 ($S > 25$)。

根据评价区域盐度的实际分布状况进行盐度分区。在盐度分区基础上，还可根据海域的自然属性，如浊度、地形等进行更细分区，但应避免根据人为因素划分。

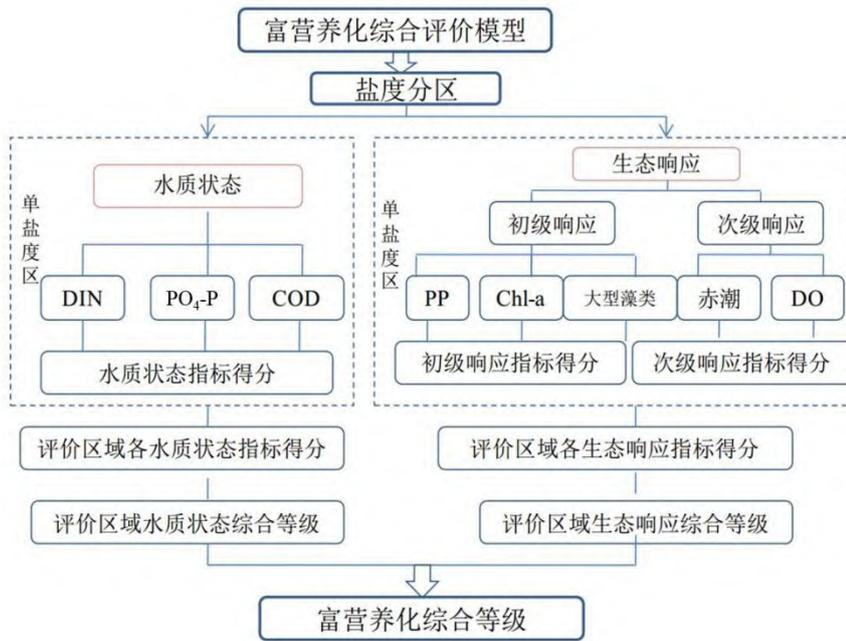


图 A.1 近岸海域富营养化评价流程

A.5 水质状态评价

A.5.1 单个盐度区单个水质状态指标评价

A.5.1.1 评价浓度值确定

评价浓度值指通过计算某一指标所有采样点或单个采样点的所有评价数据在各个浓度区间出现的数据量及其占总数据量比值累积得出累积频率值。将 90% 累积频率值对应的浓度（溶解氧以 10% 累积频率值对应的浓度）作为评价浓度值。对于每个水质状态指标，利用单个盐度区内所有采样点的数据绘制累积频率曲线，确定该指标的评价浓度值，对照表 A.1 确定其阈值范围。

A.5.1.2 空间覆盖度计算

首先计算单个采样点的评价浓度。根据单个采样点评价周期内的水质状态数据，得到该采样点 90% 累积频率对应的浓度值；若采样点数据量少，不适合进行累积频率计算，则采用平均值作为评价浓度。计算等于或高于此前计算得到的阈值范围下限的采样点个数占总采样点个数的比例，得到水质状态指标的空间覆盖度。若阈值范围处于最小等级，则无需计算空间覆盖度。

示例 1:

以 DIN 为例。一个盐度分区所有采样点 DIN 的 90% 累积频率对应浓度值为 0.93 mg/L，对照表 A.1，该浓度值所处阈值范围是 $DIN > 0.5$ mg/L。再将盐度分区内每个采样点的 DIN 的 90% 累积频率对应浓度一一计算出来，大于 0.5 mg/L（阈值范围的下限）的采样点数量占单个盐度分区内所有采样点数量的比例即为 DIN 在该盐度区的空间覆盖度。

示例 2:

若 DIN 的 90% 累积频率对应浓度值为 0.33 mg/L，其所处阈值范围为 0.3 mg/L $< DIN \leq 0.4$ mg/L，则单个点位 90% 累积频率对应浓度值高于 0.3 mg/L 的采样点数量占单个盐度分区内总采样点数量的比例为空间覆盖度。

A.5.1.3 发生频率判定

单个盐度区水质状态指标发生频率判定方法如下：

- 大于、等于评价浓度值的采样点数据在评价周期内极少次监测到，则定义为偶尔发生；
- 大于、等于评价浓度值的采样点数据在评价周期内固定季节或者月份出现，出现规律可预见，则定义为周期性发生；
- 大于、等于评价浓度值的采样点数据在评价周期内大量出现，则定义为持续发生；
- 如果数据不足以判断评价浓度值的周期性发生，则根据保守估计，发生频率至少为偶尔发生。

A.5.1.4 评价得分

根据该指标的空间覆盖度和发生频率，应用水质状态指标逐步决策逻辑表（A.2）得到单个盐度区单个水质状态指标的评价得分。

表 A.2 水质状态指标逐步决策逻辑表

指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生频率	得分	指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生频率	得分	指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生频率	得分
DIN	>0.5	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	1	PO ₄ -P	>0.045	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	1	COD	>5	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	1
		>25 且 ≤50	持续、周期	1			>25 且 ≤50	持续、周期	1			>25 且 ≤50	持续、周期	1
		>25 且 ≤50	偶尔	0.75			>25 且 ≤50	偶尔	0.75			>25 且 ≤50	偶尔	0.75
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0.75			≥0 且 ≤25	持续、周期	0.75			≥0 且 ≤25	持续、周期	0.75
		≥0 且 ≤25	偶尔	0.5			≥0 且 ≤25	偶尔	0.5			≥0 且 ≤25	偶尔	0.5
		未知	未知	0.75			未知	未知	0.75			未知	未知	0.75
		>0.4 且 ≤0.5	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔			0.75	>0.03 且 ≤0.045	>50 且 ≤100			持续、周期、偶尔	0.75	>4 且 ≤5
		>25 且 ≤50	持续、周期	0.75			>25 且 ≤50	持续、周期	0.75			>25 且 ≤50	持续、周期	0.75
		>25 且 ≤50	偶尔	0.5			>25 且 ≤50	偶尔	0.5			>25 且 ≤50	偶尔	0.5
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0.5			≥0 且 ≤25	持续、周期	0.5			≥0 且 ≤25	持续、周期	0.5
		≥0 且 ≤25	偶尔	0.25			≥0 且 ≤25	偶尔	0.25			≥0 且 ≤25	偶尔	0.25
		未知	未知	0.5			未知	未知	0.5			未知	未知	0.5

续表

指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生频率	得分	指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生频率	得分	指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生频率	得分
DIN	>0.3 且 ≤0.4	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.5	PO ₄ -P	>0.015 且 ≤0.03	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.5	COD	>3 且 ≤4	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.5
		>25 且 ≤50	持续、周期	0.5			>25 且 ≤50	持续、周期	0.5			>25 且 ≤50	持续、周期	0.5
		>25 且 ≤50	偶尔	0.25			>25 且 ≤50	偶尔	0.25			>25 且 ≤50	偶尔	0.25
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0.25			≥0 且 ≤25	持续、周期	0.25			≥0 且 ≤25	持续、周期	0.25
		≥0 且 ≤25	偶尔	0			≥0 且 ≤25	偶尔	0			≥0 且 ≤25	偶尔	0
		未知	未知	0.25			未知	未知	0.25			未知	未知	0.25
	>0.2 且 ≤0.3	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.25		≤0.015	任何	未知	0		>2 且 ≤3	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.25
		>25 且 ≤50	持续、周期	0.25		未知	未知	未知	不计			>25 且 ≤50	持续、周期	0.25
		≥0 且 ≤50	偶尔	0								≥0 且 ≤50	偶尔	0
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0								≥0 且 ≤25	持续、周期	0
		未知	未知	0								未知	未知	0
	未知	未知	0	未知								未知	0	
	≤0.2	任何	未知	0		≤2	任何	未知	0					
	未知	未知	未知	不计		未知	未知	未知	不计		未知	未知	未知	不计

A.5.2 整个评价区域单个水质状态指标评价得分

根据单个盐度区单个水质状态指标的得分，按照公式 (A.1) 计算整个评价区域单个水质状态指标的得分。

$$L = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_E} V_i \right) \quad (A.1)$$

- 式中：L——整个评价区域单个指标的评价得分；
- V_i——第i个盐度分区单个指标的评价得分；
- A_i——第i个盐度分区的面积；
- A_E——整个评价区域总面积；
- n——盐度分区个数。

A.5.3 整个评价区域水质状态综合评价得分及等级

根据整个评价区域各水质状态指标的评价得分，计算平均值得到整个评价区域水质状态综合得分。再根据表 A.3，确定整个评价区域水质状态等级。

表 A.3 水质状态综合得分和等级对应表

等级	水质状态综合得分	类型
1	≤0.2	低
2	>0.2 且 ≤0.4	中低
3	>0.4 且 ≤0.6	中
4	>0.6 且 ≤0.8	中高
5	>0.8 且 ≤1	高

A.6 生态响应评价

A.6.1 单个盐度区单个生态响应指标评价得分

生态响应指标中叶绿素 a 和浮游植物丰度，采用 A.5.1 的方法计算空间覆盖度和发生频率。

DO 空间覆盖度计算方法：DO 应采用 10% 累积频率值对应浓度作为评价浓度值，对照表 A.1 确定阈值范围，再计算空间覆盖度和发生频率。根据每个采样点评价周期内的 DO 数据，得到每个采样点 10% 累积频率对应的浓度；若采样点数据量少，不适合进行累积频率计算，则采用平均值作为评价浓度。统计等于或低于此前计算的阈值范围上限值的采样点数量占总采样点数量的比例，得到 DO 的空间覆盖度。

示例：

某盐度分区内所有采样点 DO 的 10% 累积频率对应浓度值为 4.4 mg/L，对照表 A.1，该评价浓度值所处阈值范围是 2 mg/L < DO ≤ 5 mg/L。将盐度分区内每个采样点的 DO 的 10% 累积频率对应浓度一一计算出来，低于 5 mg/L（阈值范围的上限）的采样点所占单个盐度分区内总采样点个数的比例即为 DO 在该盐度分区的空间覆盖度。

DO 发生频率的判定方法如下：

- 小于、等于评价浓度值的采样点数据在评价周期内极少次监测到，则定义为偶尔发生；
- 小于、等于评价浓度值的采样点数据在评价周期内固定季节或者月份出现，出现规律可预见，则定义为周期性发生；
- 小于、等于评价浓度值的采样点数据在评价周期内大量出现，则定义为持续发生；
- 如果数据不足以判断评价浓度值的周期性发生，则根据保守估计，发生频率至少为偶尔发生。

大型藻类暴发和赤潮事件的空间覆盖度计算方法：依照大型藻类暴发和赤潮事件的发生面积，计算其在评价区域的空间覆盖度（选取评价周期内发生面积最大的一次计算），选取评价周期内持续时间最长的一次计算持续时间。

大型藻类暴发和赤潮事件发生频率的判断方法：

- 赤潮事件和大型藻类暴发如果在评价周期内持续不断，则为持续性；
- 某个时段或某个季节有规律地暴发，则为周期性；
- 评价周期内偶尔暴发，则为偶尔发生。

根据指标的空间覆盖度和发生频率，应用生态响应指标逐步决策逻辑表（表 A.4 和 A.5）判定初级生态响应和次级生态响应中单个指标在单个盐度分区的得分。

表 A.4 初级生态响应指标逐步决策逻辑表

指标	浓度 μg/L	空间覆盖度 (%)	发生 频率	得分	指标	丰度 cells/L	空间覆盖度 (%)	发生 频率	得分	指标	暴发	空间覆盖度 (%)	发生 频率	得分		
Chl-a	>5	>50 且 ≤100	持续、周 期、偶尔	1	浮游 植物 细胞 丰度	>10 ⁶	>50 且 ≤100	持续、周 期、偶尔	1	大型 藻类	观测 到	>25 且 ≤100	持续	1		
		>25 且 ≤50	持续、 周期	1			>25 且 ≤50	持续、 周期	1			≥0 且 ≤25	持续	0.75		
		>25 且 ≤50	偶尔	0.75			>25 且 ≤50	偶尔	0.75			>25 且 ≤100	周期	1		
		≥0 且 ≤25	持续、 周期	0.75			≥0 且 ≤25	持续、 周期	0.75			≥0 且 ≤25	周期	0.75		
		≥0 且 ≤25	偶尔	0.5			≥0 且 ≤25	偶尔	0.5			>25 且 ≤100	偶尔	0.75		
		未知	未知	0.75			未知	未知	0.75			≥0 且 ≤25	偶尔	0.5		
		未知	未知	0.75			未知	未知	0.75			未知	任何	0.75		
	>3 且 ≤5	>50 且 ≤100	持续、周 期、偶尔	0.75		>10 ⁴ 且 ≤10 ⁶	>50 且 ≤100	持续、周 期、偶尔	0.75		未观 测到	0	未知	未知	未知	不计
		>25 且 ≤50	持续、 周期	0.75			>25 且 ≤50	持续、 周期	0.75							
		>25 且 ≤50	偶尔	0.5			>25 且 ≤50	偶尔	0.5							
		≥0 且 ≤25	持续、 周期	0.5			≥0 且 ≤25	持续、 周期	0.5							
		≥0 且 ≤25	偶尔	0.25			≥0 且 ≤25	偶尔	0.25							
		未知	未知	0.5			未知	未知	0.5							
	>1 且 ≤3	>50 且 ≤100	持续、周 期、偶尔	0.5		>10 ³ 且 ≤10 ⁴	>50 且 ≤100	持续、周 期、偶尔	0.5		未知	未知	未知	未知	未知	不计
		>25 且 ≤50	持续、 周期	0.5			>25 且 ≤50	持续、 周期	0.5							
		>25 且 ≤50	偶尔	0.25			>25 且 ≤50	偶尔	0.25							
		≥0 且 ≤25	持续、 周期	0.25			≥0 且 ≤25	持续、 周期	0.25							
		≥0 且 ≤25	偶尔	0			≥0 且 ≤25	偶尔	0							
		未知	未知	0.25			未知	未知	0.25							
	≤1	任何	任何	0		≤10 ³	任何	任何	0							
	未知	未知	未知	不计		未知	未知	未知	不计							

表 A.5 次级生态响应逐步决策逻辑表

指标	浓度 mg/L	空间覆盖度 (%)	发生 频率	得分	指标	暴发	空间覆盖度 (%)	持续时间	发生频率	得分	
DO	低于 检出限	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	1	赤潮 事件	观测到	>50 且 ≤100	数周至月	持续、周期	1	
		>25 且 ≤50	持续、周期	1			>0 且 ≤50	数周至月	持续、周期	0.75	
		>25 且 ≤50	偶尔	0.75			>50 且 ≤100	数周至月	偶尔	0.75	
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0.75			>0 且 ≤50	数周至月	偶尔	0.5	
		≥0 且 ≤25	偶尔	0.5			>50 且 ≤100	数天至周	持续、周期	0.75	
		未知	未知	0.75			>0 且 ≤50	数天至周	持续、周期	0.5	
	≤2	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.75				>50 且 ≤100	数天至周	偶尔	0.5
		>25 且 ≤50	持续、周期	0.75				>0 且 ≤50	数天至周	偶尔	0.25
		>25 且 ≤50	偶尔	0.5				>50 且 ≤100	一天	持续、周期	0.5
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0.5				>0 且 ≤50	一天	持续、周期	0.25
		≥0 且 ≤25	偶尔	0.25				>50 且 ≤100	一天	偶尔	0.25
		未知	未知	0.5				>0 且 ≤50	一天	偶尔	0.25
	>2 且 ≤5	>50 且 ≤100	持续、周期、偶尔	0.5			未观测到	—	—	—	0
		>25 且 ≤50	持续、周期	0.5			未知	未知	未知	未知	不计
		>25 且 ≤50	偶尔	0.25							
		≥0 且 ≤25	持续、周期	0.25							
		≥0 且 ≤25	偶尔	0							
		未知	未知	0.25							
	>5	任何	任何	0							
	未知	未知	未知	不计							

A.6.2 整个评价区域单个生态响应指标评价得分

根据单个盐度区单个生态响应指标得分，采用 A.5.2 的方法确定整个评价区域单个生态响应指标的得分。

A.6.3 整个评价区域生态响应综合评价得分及等级

A.6.3.1 初级生态响应评价得分

计算各初级生态响应指标得分的平均值，确定初级生态响应得分。

A.6.3.2 次级生态响应评价得分

直接选取次级生态响应指标中得分较高的一项，作为次级生态响应得分。

A.6.3.3 生态响应综合评价得分及等级判定

根据初级和次级生态响应得分，按照生态响应评价指标组合矩阵判别表（图 A.2），确定生态响应综合评价等级。其中，1、2、3、4、5 级分别对应生态响应综合等级低、中低、中、中高和高。

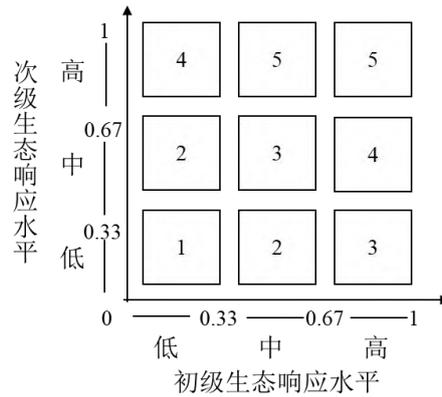


图 A.2 生态响应评价指标组合矩阵标准判别图

A.6.4 近岸海域综合富营养化等级及富营养化状况

根据水质状态和生态响应等级，按照组合矩阵表（A.6）确定整个评价区域综合富营养化等级和富营养化状况。

表 A.6 综合富营养化等级评价矩阵

指标	组合矩阵		组合数	等级	富营养化状况					
水质状态	1	2	2	1	优 RGB 值 (51, 102, 255)					
生态响应	1	1								
水质状态	1	2	3	3	4	5	2	良 RGB 值 (0, 255, 0)		
生态响应	2	2	1	2	1					
水质状态	1	1	2	3	4	4	5	7	3	中 RGB 值 (255, 255, 0)
生态响应	3	4	3	3	2	3	2			
水质状态	2	2	3	4	5	5	4	差 RGB 值 (255, 153, 0)		
生态响应	4	5	4	4	3					
水质状态	3	4	5	5	4	5	劣 RGB 值 (255, 0, 0)			
生态响应	5	5	4	5						

不同富营养化等级所代表的意义见表 A.7。

表 A.7 不同富营养化等级所代表的富营养化状况

等级	富营养化状况及意义
1	海域营养盐浓度较低，海域生态系统状况良好，浮游植物丰度适中，无任何赤潮暴发、低氧生态问题。
2	营养盐加富程度适中，海域生态系统状况依然良好；或浮游植物和大型藻类有一定增殖，但主要作为饵料和初级生产者维护系统生态平衡。
3	海域生态系统随着很高程度的营养盐加富表现出了一定的浮游植物、大型藻类增殖等直接效应；部分生态系统浮游植物和大型藻类增殖较明显，出现过剩。
4	营养盐加富程度的增大明显导致生态系统出现异常改变，浮游植物等增殖异常明显，造成原生态系统植被消失；引发赤潮等的发生，有机质消耗引起底层低氧形成。
5	营养盐加富程度很高，导致频繁的赤潮发生、低氧形成等次级生态效应，生态系统状况严重恶化。

附录 B

(资料性附录)

海洋沉积物质量时间序列趋势分析方法

B.1 数据的收集与前处理

监测数据时间序列在进行趋势分析前，应根据GB 17378.2和HJ 442.2等相关标准对数据进行审核和校正，在剔除异常数据和不合格数据后开展趋势分析。

B.2 描述性时间序列分析

描述性时间序列分析方法是通过对不同年度的数据直接比较，或对多年数据进行图表处理，初步判断数据分布情况、变化趋势、突变点和变化周期，为后续的统计分析提供参考。图表处理方法包括：折线图、散点图、柱状图、盒状图等。对于短时间序列（数据量小于或等于3），只能通过该方法进行趋势分析。

B.3 数据突变点检验

若描述性时间序列分析（B.2）结果表明时间序列可能存在突变点（趋势转折点），或者时间序列较长（数据量 ≥ 8 ），应进行突变点检验。

如果检验结果表明时间序列不存在突变点，则继续下一步趋势分析，如果存在突变点则需要分段进行趋势分析。

采用分割时间序列的方法进行突变点检验，即先找出（或假定）分割点（第 j 年），然后检验分割点前后两段子序列是否具有显著性差异，具体方法如下：

定义时间序列的突变指数为 AI_j ，见公式（B.1）：

$$AI_j = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{(S_1 + S_2)} \quad (\text{B.1})$$

式中： \bar{x}_1 ——假定分割点前时间段数据的平均值；

S_1 ——假定分割点前时间段数据的标准差；

\bar{x}_2 ——假定分割点后时间段数据的平均值；

S_2 ——假定分割点后时间段数据的标准差。

计算时采用连续设置假定分割点的方法，得到突变指数 AI_j 的时间序列。定义统计量 t_0 ，见公式（B.2）：

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}}} \quad (\text{B.2})$$

式中： M_1 和 M_2 ——分割点前后两段子序列样本长度；

S_p ——联合样本方差，见公式（B.3）：

$$S_p = \frac{(M_1 - 1)S_1^2 + (M_2 - 1)S_2^2}{M_1 + M_2 - 2} \quad (\text{B.3})$$

式中： S_1 ——假定分割点前时间段数据的标准差；

S_2 ——假定分割点后时间段数据的标准差。

根据 t 检验结果确定分割点前后时段的均值在某一置信水平上是否具有显著性差异（ $\alpha=0.05$ ），若有显著性差异即发生了突变。达到某一置信度的 AI_j 可能连续数年出现，取其中最大的 AI_j 年份作为突变出现的时间。分割点（第 j 年）的选择带有人为性，为避免人为因素造成的突变点飘移，在具体计算时，需进行多次试验比较，以提高计算结果的可靠性。

如果确定存在一个或多个突变点，则需要分段进行趋势分析统计。

B.4 数据正态分布检验

在数据序列较大（数据量 ≥ 8 ）和质量较高（不存在漏检值、未检出值）的情况下，通过对数据分布类型进行检验，可以确定统计样本是否满足正态分布的条件。判断数据正态分布的方法包括以下几种：Shapiro-Wilk检验（ $8 \leq$ 数据量 ≤ 50 ）、Filliben's检验（ $8 \leq$ 数据量 ≤ 100 ）和studentized range 检验（ $8 \leq$ 数据量 ≤ 1000 ）等。

如果检验结果证实时间序列是正态分布，则可以采用回归分析（B.5）等参数统计方法进行趋势检验；若是非正态分布，则采用Mann-Kendall（B.6）等非参数统计方法进行趋势检验。

现有的环境指标时间序列通常小于50，采用Shapiro-Wilk检验法。先假设总体服从正态分布，将数据量为 n 的样本按大小顺序排列编秩，由显著性水平 α 和样本数据量 n 确定对应的系数 a_i ，根据公式（B.4）计算出检验统计量 W ：

$$W = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(x_{(i)} - \bar{x}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad (\text{B.4})$$

式中取 $\alpha=0.05$ ，根据自由度查正态分布表，得到 $W_{0.05}$ 临界值，计算得到的 W 值大于该值，则在显著性水平 $\alpha=0.05$ 上不拒绝零假设，即可以认为该批数据服从正态分布。

B.5 回归分析

如果时间序列较长（数据量 ≥ 8 ），且数据分布检验（B.4）判定为正态分布，则推荐采用回归分析等参数统计方法，通过规定因变量和自变量来确定变量之间的因果关系，建立回归模型，并根据实测数据求解模型的各个参数，然后评价回归模型是否能够很好地拟合实测数据；如果能够很好地拟合，则可以根据自变量作进一步分析。

按照涉及的自变量的多少，回归分析可分为一元回归分析和多元回归分析；按照自变量和因变量之间的关系类型，可分为线性回归分析和非线性回归分析，应用最为广泛的是一元线性回归分析法。

B.6 Mann-Kendall 检验

B.6.1 单点位一个时间段一个监测结果的情况

B.6.1.1 趋势统计值计算

对于Mann-Kendall检验来说，零假设为随机变量与时间独立，且全年4个季度（或12个月）的监测指标数据具有相同的概率分布。设有 n 年 p 季度（或月）的监测指标序列 X ，见公式（B.5）：

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix} \quad (\text{B.5})$$

式中： X_{11}, \dots, X_{np} ——监测指标各年份各季度（或月）统计值。

第 i 季度（月），历年监测指标统计数据进行比较，统计值 S_i 见公式（B.6）：

$$S_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_{ij} - X_{ik}) \quad (1 \leq k < j \leq n) \quad (\text{B.6})$$

$$\text{sgn}(X_{ij} - X_{ik}) = \begin{cases} 1, & \text{当 } (X_{ij} - X_{ik}) > 0 \\ 0, & \text{当 } (X_{ij} - X_{ik}) = 0 \\ -1, & \text{当 } (X_{ij} - X_{ik}) < 0 \end{cases} \quad (\text{B.7})$$

第 i 季度（月），可作比较的差值数据组的个数 m_i 见公式（B.8）：

$$m_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n |\text{sgn}(X_{ij} - X_{ik})| = \frac{n_i(n_i-1)}{2} \quad (\text{B.8})$$

式中： n_i ——第 i 季度（月），监测指标序列中非漏测值个数。

在零假设下，随机序列 $S_i(i=1, 2, \dots, P)$ 近似服从正态分布，则 S_i 的均值为0，方差计算公式如下：

$$\hat{\sigma}_i^2 = \text{Var}(S_i) = \frac{1}{18} [n_i(n_i-1)(2n_i+5)] \quad (\text{B.9})$$

当 n_i 个非漏测值中有 t 个数相同，则方差的计算式变为公式（B.10）：

$$\hat{\sigma}_i^2 = \text{Var}(S_i) = \frac{1}{18} [n_i(n_i-1)(2n_i+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)] \quad (\text{B.10})$$

B.6.1.2 趋势显著性水平检验

如果时间序列数量 ≤ 10 ，则使用小样本Mann-Kendall概率分布表，并根据 P 值决定接受还是否定零假设。当 $n > 10$ 时， S 也近似服从正态分布， Z 值计算见公式（B.11）：

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{当 } S > 0 \\ 0 & \text{当 } S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{当 } S < 0 \end{cases} \quad (\text{B.11})$$

在双边的趋势检验中，对于给定的趋势检验显著性水平 α ，如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ ，则零假设（无变化趋势）是不可接受的，即时间序列存在明显的上升或下降趋势。当 $Z > 0$ 时，是上升趋势；当 $Z < 0$ 时，则是下

降趋势。通常取显著性水平 α 为0.1或0.01，即Z的绝对值在大于或等于1.28和2.32时，分别表示通过了置信度90%或99%的显著性检验。本步骤只能确定趋势的方向和显著程度，趋势的大小还需要通过B.8进行计算。

B.6.1.3 趋势一致性检验

对于具有显著季节影响的环境指标数据，先对各季度分别计算Mann-Kendall统计量 S_i 及其方差 $Var(S_i)$ ，然后对各季度趋势的一致性进行卡方检验，如果存在一致性则可以对趋势进行检验。

一致性假设检验 H_0 ：各季度污染趋势具有一致性； H_A ：至少两个季度趋势不一致。

趋势变化假设检验 H_0' ：全年污染物浓度水平不随时间变化而变化； H_A' ：全年污染物浓度水平存在上升/下降趋势。

检验流程如下：

按公式（B.6）和公式（B.9或B.10）分别计算各季度 S_i 及其方差 $Var(S_i)$ ；

计算 \bar{Z} ，见公式（B.12）：

$$\bar{Z} = \sum_{i=1}^p Z_i / p \quad (\text{B.12})$$

式中： p ——季节（月）数；

Z_i ——计算见公式（B.13）：

$$Z_i = S_i / \sqrt{Var(S_i)} \quad (\text{B.13})$$

对一致性进行卡方检验，见公式（B.14）：

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^p Z_i^2 - p\bar{Z}^2 \quad (\text{B.14})$$

对照卡方检验表，根据显著性水平 α 和自由度（ $p-1$ ）找出临界值进行比较分析，如果 $X_h^2 > X_{p-1}^2$ ，认为在显著性水平 α 上各季度（月）变化趋势不具有有一致性，仅针对单一季度进行趋势检验和计算；如果 $X_h^2 \leq X_{p-1}^2$ ，则认为在显著性水平 α 上各季度（月）变化趋势具有一致性，可以进行全年变化趋势的检验。

年度变化趋势的检验。根据显著性水平 α 和自由度1找出临界值，如果 $p\bar{Z}^2 > X_0^2$ 则拒绝 H_0' ，认为在显著性水平 α 上全年污染物浓度水平存在上升/下降趋势，由 S 的正负来判定趋势。如果 $p\bar{Z}^2 \leq X_0^2$ 则接受 H_0' ，认为这一区域（所有点位）在显著性水平 α 上无显著变化趋势。

B.6.2 单点位一个时间段多个监测结果的情况

这种情况有两种解决方案：（1）求算一个统计量（如中位值、平均值等），将该统计量取代实际测定结果，按照B.6.1的流程进行检验；（2）将监测结果视为同等重要（并列关系），认为统计值并不能完全代表这些测定结果的信息，此时多个监测结果方差的计算见公式（B.15）：

$$\begin{aligned} \sigma^2 = Var(S) = & \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g w_p(w_p-1)(2w_p+5) - \sum_{q=1}^h u_q(u_q-1)(2u_q+5) \right] \\ & + \frac{\sum_{p=1}^g w_p(w_p-1)(w_p-2) \sum_{q=1}^h u_q(u_q-1)(u_q-2)}{9n(n-1)(n-2)} + \frac{\sum_{p=1}^g w_p(w_p-1) \sum_{q=1}^h u_q(u_q-1)}{2n(n-1)} \end{aligned} \quad (\text{B.15})$$

式中： n ——所有监测数据的总量；

- g ——相同秩次组的数量；
 w_p ——在第 p 个具有相同秩次组的数据量；
 h ——有多个数据的时期数；
 u_q ——第 q 时期的样品数量。

其余步骤同B.6.1。

B.6.3 区域性趋势检验

对于一个区域多个监测点位的情形，首先将多个点位的数据用描述性时间序列分析方法（B.2）进行初步分析，如果这些点位表现出相同的变化趋势和相似的斜率，则可以进行统计检验。

一致性假设检验 H_0 ：相同的污染动力学机制影响该区域所有的点位； H_A ：至少两个点位表现出不同的污染动力学特征。

趋势变化假设检验 H_0' ：这一区域污染物浓度水平不随时间变化而变化； H_A' ：这一区域（所有点位）污染物浓度水平存在上升/下降趋势。

某一区域即使变化趋势存在一致性，也可能因为少数点位的时间序列存在数据质量问题、缺失等外部原因导致部分点位与其他点位变化趋势不一致，可以允许少数点位或边缘点位存在不一致，通常认为监测区域70%以上点位具有一致性则认为该区域整体趋势一致。

B.7 趋势显著性的分等定级

根据Mann-Kendall统计量（ S 值）和统计学意义（ P 值）确定趋势变化的等级，具体见表B.1。

表 B.1 趋势分析结果的分等定级标准

S 值	P 值	等级	图例
$S > 0$	$P \leq 0.01$	显著升高	
$S > 0$	$0.01 < P \leq 0.1$	升高	
$S > 0$ 、 $S = 0$ 、 $S < 0$	$P > 0.1$	基本不变	
$S < 0$	$0.01 < P \leq 0.1$	降低	
$S < 0$	$P \leq 0.01$	显著降低	

B.8 趋势大小的非参数计算方法——Sen's 斜率法

若确定有变化趋势，则采用Sen's斜率法计算变化趋势大小（ β ），计算公式见（B.16），Median为中值函数：

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_k}{j - k} \right), \quad \forall j > k \quad (\text{B.16})$$