港池疏浚物倾倒对邻近海域环境的影响研究

——以宁波市北仑倾倒区为例

郑安，任敏，林重阳，潘科技，何东海，蔡燕红

（自然资源部宁波海洋中心 宁波 315012）

摘要：港口的开挖和维护会产生大量的港池疏浚物，海上倾倒是其主要处置方式之一。为系统分析该处置方式对倾倒区及周边海洋环境的影响，文章选取了北仑倾倒区作为研究海域，并科学布设水质监测站位，跟踪监测倾倒活动开展一年来倾倒区及周边海域溶解氧、化学需氧量、重金属、无机氮和活性磷酸盐等指标的变化情况。结果表明：清洁港池疏浚物在倾倒过程中，对溶解氧的影响较小；化学需氧量因疏浚物中具有可溶性有机物而有所升高，增幅最大可达 10%；疏浚物中的镉、铜和铅的溶出作用较为显著，汞、砷和铬的溶出作用不显著；无机氮和活性磷酸盐浓度主要来自研究海域本底值，港池疏浚物的贡献不大。从水质标准来看，倾倒活动开展一年来，溶解氧、化学需氧量和重金属指标均稳定优于一类海水水质标准，无机氮和活性磷酸盐因研究海域本底值较高而劣于四类海水水质标准。总之，通过跟踪监测和合理安排，港池疏浚物倾倒对海洋环境的影响总体可控。

关键词：倾倒区；港池疏浚物；重金属；无机氮；活性磷酸盐

中图分类号：X7；X55 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-9857（2026）05-0060-07

Impact of Basin Dredged Material Dumping on the Adjacent Marine Environment: A Case Study of Beilun Dumping Area in Ningbo

ZHENG An，REN Min，LIN Chongyang，PAN Keji，HE Donghai，CAI Yanhong

（Ningbo Marine Center，MNR，Ningbo 315012，China）

Abstract：The excavation and maintenance of ports will generate large quantities of basin dredged material, and dumping at sea is one of the primary disposal methods. To systematically analyze the impact of this disposal method on the dumping area and surrounding marine environment, this paper selected the Beilun dumping area as the study zone, and scientifically arranged water quality monitoring stations to track and monitor the changes of dissolved oxygen, chemical oxygen demand, heavy metals, inorganic nitrogen and reactive phosphate in seawater of Beilun dumping area and its adjacent waters over the past year. The results showed that during the

收稿日期：2025-03-25；**修订日期：**2026-04-06

作者简介：郑安，助理工程师，硕士，研究方向为海洋环境监测评价

dumping process of clean basin dredged materials，dissolved oxygen remained almost unchanged．Chemical oxygen demand increased due to soluble organic matter in dredged materials，with a maximum increase of about 10%．The leaching of cadmium，copper and lead from dredged materials was significant，whereas the leaching of mercury，arsenic and chromium was not significant．The concentrations of inorganic nitrogen and reactive phosphate primarily originated from the background values of the study area，with minor contributions from basin dredged materials．From the perspective of water quality standards，during the past year of dumping activities，dissolved oxygen，chemical oxygen demand，and heavy metal indicators were consistently superior to the first-class seawater quality standard；however，inorganic nitrogen and reactive phosphate were below the fourth-class seawater quality standard due to the high background values in the research area．Therefore，through tracking and monitoring，and making reasonable arrangements，the impact of basin dredged material dumping on the marine environment could be generally controlled．

Keywords：Dumping area；Basin dredged material；Heavy metals；Inorganic nitrogen；Reactive phosphate

0　引言

随着我国沿海交通设施建设的迅速发展，每年会产生大量的港池疏浚物，由于我国围填海政策的不断收紧，海上倾倒成为港池疏浚物的主要处置方式之一[1]。21 世纪以来，全国海洋疏浚物倾倒量增长至每年 1 亿 m^3 以上[2]。虽然海水具有自净化能力，但如果倾倒量大、倾倒时间长，大量的悬浮物质在海水中长时间停留，可能会引起海水含氧量降低；疏浚物中含有的重金属及氮、磷等物质溶出后，也可能会引起水体毒性升高和富营养化等问题，进而对海洋环境产生长期影响[3]。

本研究选取 2023 年宁波市北仑区梅山港区港池疏浚工程，跟踪监测倾倒活动开展一年来北仑倾倒区及周边海洋环境的溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、重金属、无机氮和活性磷酸盐等水质指标变化情况，客观评价倾倒活动对倾倒区及周边海域的水环境影响范围及影响程度，以期为类似的港池疏浚物倾倒工程对目标倾倒区及周边海洋环境的影响提供参考。

1　材料与方法

1.1　倾倒区概况

北仑倾倒区由国家海洋局 1993 年批准设立，为（29°57′54″ N，121°52′00″ E），（29°58′25″ N，121°53′24″ E），（29°57′53″ N，121°53′24″ E）和（29°57′30″ N，121°52′00″ E）4 点所围的海域，面积 1.942 km^2，将其分为 A、B 和 C 3 个分区。允许的倾倒物质为以黏土、粉砂和砂为主的一类清洁港池疏浚物。

本研究以 2023 年梅山港区港池疏浚工程为对象，疏浚范围涵盖梅山港区梅西滚装泊位、1 号～2 号泊位、3 号～5 号泊位及 6 号～10 号泊位的前沿水域。该区域位于宁波市梅山岛的东南侧、象山湾口北侧。港池区域预计疏浚总量约 97 万 m^3，其中倾倒至北仑倾倒区的倾倒量为 29.5 万 m^3。

1.2　港池疏浚物采样与表征

根据工程疏浚方量及《海洋倾倒物质评价规范 疏浚物》（GB 30980—2014）[4] 的有关要求，本研究均匀布设了 32 个采样站，并按照《海洋监测规范 第 3 部分：样品采集、贮存与运输》（GB 17378.3—2007）[5] 的采样标准，于每季度月采集港池疏浚物样品进行性质表征。

港池疏浚物样品的主要监测指标包括重金属（汞、砷、镉、铜、铬、铅、锌）、油类、硫化物、有机碳、六六六、滴滴涕、多氯联苯（PCBs），监测标准均引用《海洋监测规范 第 5 部分：沉积物分析》（GB 17378.5—2007）[6]，检测方法汇总于表 1。

1.3　海洋环境监测采样与表征

根据《海洋倾倒区监测技术规程》和《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》规定的站位布

表 1 港池疏浚物性质表征方法

Table 1 Characterization methods for properties of basin dredged material

监测指标	检测方法
汞、砷	原子荧光法
镉、铜、铬、铅	无火焰原子吸收分光光度法
锌	火焰原子吸收分光光度法
油类	荧光分光光度法
硫化物	亚甲基蓝分光光度法
有机碳	重铬酸钾氧化 - 还原容量法
六六六、滴滴涕、PCBs	气相色谱法

设原则，本研究在北仑倾倒区及附近海域布设了 12 个水质监测站位。其中 BL9 号站位于北仑倾倒区东侧约 5 km 处，距离较远，结合区域潮流资料判断，潮流自东向西，该站位不在潮流主方向上，故选择作为本研究的对照站。为了反映 2023 年全年的海洋环境变化情况，各采样站分别在 2022 年 12 月底和 2023 年每季度末进行采样，每次采样均取表层和底层两层水样用于监测表征，样品的采集、保存和运输均按照《海洋监测规范 第 3 部分：样品采集、贮存与运输》（GB 17378.3—2007）[5] 中的相关规定执行。

倾倒区水质监测项目包括 DO、COD、重金属（汞、砷、镉、铜、总铬、铅）、无机氮、活性磷酸盐，共计 5 类 10 项监测指标。检测方法和监测标准汇总如表 2 所示。

表 2 倾倒区水样表征方法

Table 2 Characterization methods for water samples from dumping area

监测指标	检测方法	引用规范
DO	碘量法	GB 17378.4—2007[7]
COD	碱性高锰酸钾法	GB 17378.4—2007[7]
汞、砷	原子荧光法	GB 17378.4—2007[7]
镉、铜、总铬、铅	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1—2013[8]
无机氮、活性磷酸盐	流动分析法	HY/T 147.1—2013[8]

1.4 评价方法与评价标准

本研究采用单因子标准指数法，按评价因子逐项计算出指数值后，再根据指数值大小评价其污染水平，每种污染物单因子标准指数的大小，可以反映该种污染物的环境影响程度。其评价模式如下：

$$P_i=C_i/C_{io} \quad (1)$$

式中：P_i 为标准指数值；C_i 为污染因子实测值；C_{io} 为评价标准值。

其中，DO 的评价模式为：

$$P_i=(C_{im}-C_i)/(C_{im}-C_{io})\ (\text{当 } C_i > C_{io} \text{ 时}) \quad (2)$$

$$P_i=10-9C_i/C_{io}\ (\text{当 } C_i < C_{io} \text{ 时}) \quad (3)$$

$$C_{im}=468/(31.6+T) \quad (4)$$

式中：C_{im} 为某水温条件下的饱和溶解氧浓度；T 为水温。倾倒区附近海域水质评价标准采用国家标准《海水水质标准》（GB 3097—1997）[9]，不同水质类型的污染物浓度限值如表 3 所示。

表 3 海水水质标准

Table 3 Sea water quality standards

mg/L

污染物类型	第一类	第二类	第三类	第四类
DO ＞	6	5	4	3
COD ≤	2	3	4	5
汞≤	0.000 05	0.000 2	0.000 2	0.000 5
砷≤	0.020	0.030	0.050	0.050
镉≤	0.001	0.005	0.010	0.010
铜≤	0.005	0.010	0.050	0.050
总铬≤	0.05	0.10	0.20	0.50
铅≤	0.001	0.005	0.010	0.050
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.030	0.045

2 结果与讨论

2.1 港池疏浚物性质评价

《海洋倾倒物质评价规范 疏浚物》（GB 30980—2014）[4] 中规定了港池疏浚物 13 种化学组分的化学评价限值，并根据限值区间，将港池疏浚物分为清洁疏浚物、沾污疏浚物和污染疏浚物 3 类，其中

对清洁疏浚物的评价标准为：疏浚物中所有化学组分的含量都不超过化学评价限值的下限。不同化学组分的化学评价限值下限和 32 个采样站采集样品的实测值汇总于表 4。

表 4　港池疏浚物性质表征结果

Table 4　Characterization results of basin dredged material properties

化学组分	化学评价限值下限	实测值
汞	0.3 mg/L	0.044 ～ 0.067 mg/L
砷	20 mg/L	5.20 ～ 9.69 mg/L
镉	0.8 mg/L	0.083 ～ 0.168 mg/L
铜	50 mg/L	21.5 ～ 30.1 mg/L
铬	80 mg/L	36.5 ～ 56.5 mg/L
铅	75 mg/L	16.1 ～ 24.1 mg/L
锌	200 mg/L	53.9 ～ 74.1 mg/L
油类	500 mg/L	7.73 ～ 19.10 mg/L
硫化物	300 mg/L	0.57 ～ 6.10 mg/L
有机碳	20 000 mg/L	2 500 ～ 5 300 mg/L
六六六	500 μg/L	0.238 ～ 10.000 μg/L
滴滴涕（DDT）	20 μg/L	ND ～ 0.974 μg/L
PCBs	20 μg/L	ND ～ 3.02 μg/L

注：滴滴涕检出限（pp'-DDE ＜ 0.028 μg/L，pp'-DDD ＜ 0.041 μg/L，op'-DDT ＜ 0.025 μg/L，pp'-DDT ＜ 0.041 μg/L）；PCBs 检出限（CB28 ＜ 0.050 μg/L，CB52 ＜ 0.068 μg/L，CB155 ＜ 0.054 μg/L，CB101 ＜ 0.050 μg/L，CB112 ＜ 0.038 μg/L，CB118 ＜ 0.052 μg/L，CB153 ＜ 0.049 μg/L，CB138 ＜ 0.038 μg/L，CB180 ＜ 0.029 μg/L，CB198 ＜ 0.033 μg/L）。

由表 4 可以看出，本研究在梅山港区布设的采样点所采集的港池疏浚物样品，13 种化学组分含量均未超过化学评价限值的下限，属清洁港池疏浚物，可以直接在指定倾倒区合规倾倒，无须限制倾倒或特殊处置后倾倒。

2.2　DO、COD 质量浓度变化

DO 和 COD 是反映水体受污染程度的基础指标，监测倾倒区海域的 DO 和 COD 对生态环境安全、污染综合预警与防治具有重要意义[10-11]。本研究结合 2022 年 12 月和 2023 年每季度末对倾倒海域 5 个航次的表层和底层水样监测数据，如图 1 和图 2 所示，从与对照站对比、与一类海水水质标准对比两个维度，分析港池疏浚物倾倒对海域 DO 和 COD 的影响，具体结果如下。

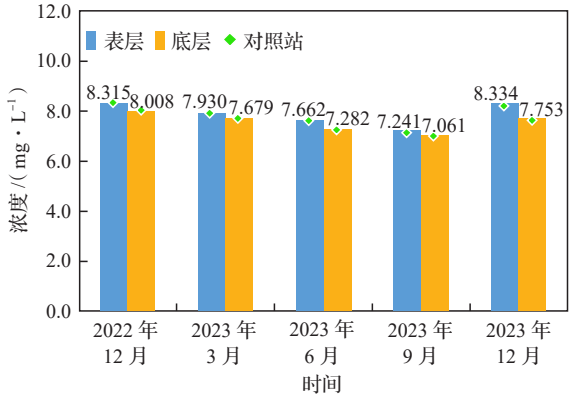

图 1　DO 质量浓度变化

Fig.1　DO mass concentration change

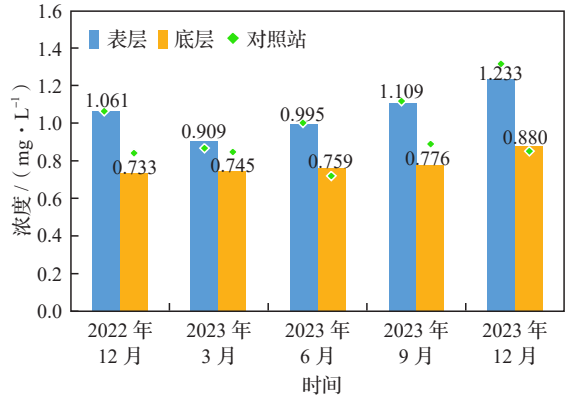

图 2　COD 质量浓度变化

Fig.2　COD mass concentration change

与对照站监测结果相比，倾倒区及周边海域全年的表层和底层 DO 质量浓度与对照站几乎相同，最大降幅仅为 0.63 %，表明本研究中的港池疏浚物的倾倒并未对倾倒区海域 DO 质量浓度产生明显影响，这主要是由于梅山港区的港池疏浚物中六六六、滴滴涕和 PCBs 等典型的有机物污染物含量很低，影响 DO 值的效果十分有限。与 DO 指标不同，COD 质量浓度呈现“局部波动、整体微升”的特征，其中，表层水样 COD 增幅峰值为 2.13 %；底层水样 COD 增幅更为显著，峰值达 10 %，这反映出疏浚物中丰富的有机质对水质具有消极影响，并且倾倒后的沉降作用及历史港池疏浚物的累积，会导

致其对底层水质的消极影响更大。因此，疏浚物的海上倾倒需要严格控制倾倒量，不得超过倾倒区的最大承载量，并且倾倒后应持续监测水体 COD，尤其是底层水体 COD 值的增加情况。

与一类海水水质标准相比，本研究的倾倒区监测海域年际 DO 标准指数值区间为 0.492 ～ 0.814，年际 COD 标准指数值区间为 0.285 ～ 0.675，年际监测结果持续符合一类海水水质标准。因此，即使倾倒行为会使水体 COD 水平升高，但只要港池疏浚物为清洁疏浚物且合理控制倾倒量，其对倾倒区及周边海域的 DO 和 COD 质量浓度的影响总体依旧可控。

2.3 重金属含量变化

重金属在海水中不易降解，具有持久性、毒性和生物蓄积性等特性，当其浓度超过一定限值时，会对海洋生态系统产生严重的影响[12]。本研究重点监测了港池疏浚物倾倒后海水中汞、砷、镉、铜、铬、铅 6 种主要重金属污染物的浓度水平，并与一类海水水质标准相比计算出年际标准指数区间，相关结果如图 3 和图 4 所示。

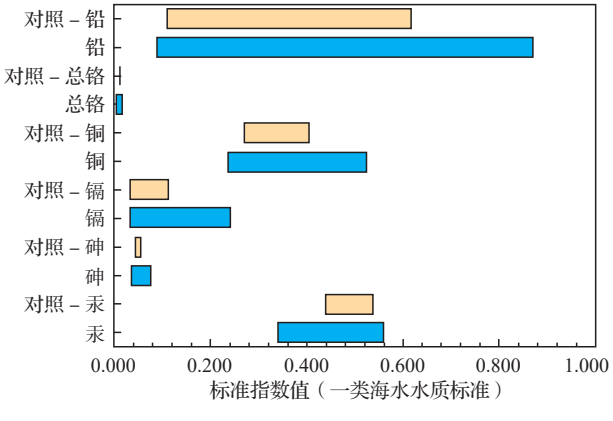

图 3 标准指数区间（表层）

Fig.3 standard index range（surface layer）

与对照站相比，表层和底层水样汞、砷、总铬溶出作用不显著，而镉、铜、铅溶出作用较为显著，铅的溶出作用最显著，其中：表层水样铅浓度峰值发生于 2023 年 6 月 12 日监测站位，浓度达 0.791 μg/L，同期对照站的铅浓度为 0.307 μg/L；底层水样铅浓度峰值发生于 2023 年 3 月 4 日监测站位，浓度达 0.912 μg/L，同期对照站的铅浓度为 0.360 μg/L。

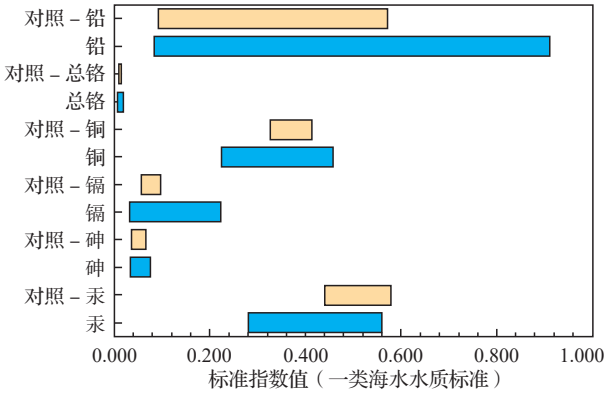

图 4 标准指数区间（底层）

Fig.4 standard index range（bottom layer）

总体来看，倾倒活动开展一年来，北仑倾倒区及周边水体 6 种重金属的浓度仍在一类海水水质标准限值以内，符合一类海水水质标准。

2.4 营养盐状况

无机氮和活性磷酸盐是衡量水体富营养化程度的重要指标，表 5 汇总了本研究中样品检测结果与四类海水水质标准相比的标准指数区间。

表 5 无机氮、活性磷酸盐标准指数区间（四类海水水质标准）

Table 5 Standard index range of inorganic nitrogen and reactive phosphate（fourth-class seawater quality standard）

污染物类型	采样层	监测站标准指数区间	对照站标准指数区间
无机氮	表层	1.184 ～ 1.697	1.176 ～ 1.644
	底层	1.000 ～ 1.880	1.000 ～ 1.562
活性磷酸盐	表层	0.733 ～ 1.220	0.756 ～ 1.380
	底层	0.600 ～ 1.220	0.667 ～ 1.070

本研究所取的 110 个监测样品中所有样品的无机氮浓度均劣于第四类海水水质标准（≤ 0.5 mg/L）；18 个样品的活性磷酸盐浓度均劣于第四类海水水质标准（≤ 0.045 mg/L），超标率为 16.4%，均发生在 2023 年 10 月。同时，本研究对照站水样中无机氮浓度全年持续处于劣四类水平；2023 年 10 月的表层和底层活性磷酸盐标准指数分别为 1.380 和 1.070，同样处于劣四类水平。可以看出，监测站和对照站的无机氮和活性磷酸盐标准指数区间基本一致，并且活性磷酸盐浓度峰值出现时间也基本一致。

根据宁波市生态环境局发布的《2022 年宁波市生态环境状况公报》，宁波市主要近岸海域功能区水质富营养化水平仍然较高，8 个主要近岸海域功能区除大目洋为四类水质外，其他均为劣四类水质；《2023 年宁波市生态环境状况公报》表明，近岸海域主要功能区水质富营养化水平仍然较高，其中，杭州湾南岸为重度富营养化，其他为中度富营养化。

因此，无机氮和活性磷酸盐浓度超标可能主要受宁波市近岸海域富营养化的大环境影响，倾倒的港池疏浚物对近岸海域营养盐浓度的影响不大。

3　结论与建议

（1）本研究的清洁港池疏浚物中典型有机污染物含量较低，倾倒活动对水体的 DO 水平影响较小；同时，港池疏浚物中丰富的有机质则会使水体 COD 水平上升，并且因沉降作用导致其对底层水体的影响更显著，COD 增幅最大可达 10%。

（2）6 类主要海洋重金属污染物中，汞、砷和铬的溶出作用不显著，而镉、铜和铅的溶出作用较为显著，铅的溶出作用最显著。本研究中，表层和底层水样铅质量浓度峰值分别达 0.791 μg/L 和 0.912 μg/L，相较同期对照站铅浓度分别大幅度提高约 160% 和 200%。因此，对含铅较高的港池疏浚物，需要结合倾倒海域水温、pH 和电离质浓度等因素系统评判倾倒后铅的溶出作用，避免倾倒海域铅浓度超标。

（3）无机氮和活性磷酸盐浓度同对照站相比变化不大，倾倒活动未见对水体富营养化程度产生明显影响，本研究中水体的营养盐可能主要来源于倾倒水域的本底值。

（4）本研究开展活动一年来，DO、COD 和 6 类重金属浓度均稳定优于一类海水水质标准，无机氮和活性磷酸盐浓度受研究水域本底值影响而劣于四类海水水质标准。总体来看，清洁港池疏浚物倾倒对北仑倾倒区及周边海水水质影响整体可控，但需要合理安排倾倒活动，主要为：倾倒前应对疏浚物的理化性质做系统表征，倾倒总量不可超过倾倒区最大承载量且应分批次有序倾倒，倾倒过程中对倾倒区水体的水质指标，尤其是底层水体的 COD 水平和镉、铜、铅等重金属的溶出水平要保持监测。

（5）本研究主要关注港池疏浚物倾倒对倾倒区水体环境的影响，未涉及对海底地形和底栖生物群落等海洋环境的影响，后续需要进一步研究。

参考文献（References）：

[1] 杨文超. 推动疏浚物资源化利用向多样化精细化产业化方向发展[J]. 环境经济，2021(7)：22-25.
YANG Wenchao. Promoting the diversified, refined, and industrialized development of dredged material resource utilization[J]. Environmental Economy, 2021(7): 22-25.

[2] 曾容，许艳，杨翼，等. 我国海洋倾倒区使用现状与管理对策研究[J]. 海洋开发与管理，2018，35(1)：40-45.
ZENG Rong, XU Yan, YANG Yi, et al. Current situation and countermeasures of the utilization of marine dumping area in China[J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(1): 40-45.

[3] 杨凡. 航道工程疏浚物倾倒对湛江临时性海洋倾倒区海洋环境的影响研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2011.
YANG Fan. Research on the environmental impact at the marine dumping site for dumping dredged material in the estuary of Zhanjiang[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 海洋倾倒物质评价规范 疏浚物：GB 30980—2014[S]. 北京：中国标准出版社，2014.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Assessment procedure for marine dumping of dredged material: GB 30980—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 第 3 部分：样品采集、贮存与运输：GB 17378.3—2007[S]. 北京：中国标准出版社，2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization

Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring—Part 3: sample collection, storage and transportation: GB 17378.3—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

[6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 第 5 部分：沉积物分析：GB 17378.5—2007[S]. 北京：中国标准出版社，2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring—Part 5: sediment analysis: GB 17378.5—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 第 4 部分：海水分析：GB 17378.4—2007[S]. 北京：中国标准出版社，2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. The specification for marine monitoring—Part 4: seawater analysis: GB 17378.4—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

[8] 国家海洋局. 海洋监测技术规程 第 1 部分：海水：HY/T 147.1—2013[S]. 北京：中国标准出版社，2013.
State Oceanic Administration of the People's Republic of China. Code of practice for marine monitoring technology—Part 1: seawater: HY/T 147.1—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

[9] 国家环境保护局，国家海洋局. 海水水质标准：GB 3097—1997[S]. 北京：中国标准出版社，1998.
State Environmental Protection Administration of the People's Republic of China, State Oceanic Administration of the People's Republic of China. Sea water quality standard: GB 3097—1997[S]. Beijing: Standards Press of China, 1998.

[10] 樊思琦，翟方国，刘子洲，等. 2018 年 9 月山东半岛东北近海海水溶解氧浓度观测研究[J]. 海洋湖沼通报，2023，45(5)：142-151.
FAN Siqi, ZHAI Fangguo, LIU Zizhou, et al. An observational study on the near shore dissolved oxygen concentration around the northeastern Shandong Peninsula in Sept., 2018[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2023, 45(5): 142-151.

[11] 孙西艳，付龙文，刘永亮，等. 海水化学需氧量的分析方法与监测技术[J]. 中国科学：化学，2022，52(1)：71-88.
SUN Xiyan, FU Longwen, LIU Yongliang, et al. Analysis method and monitoring technology for chemical oxygen demand in seawater[J]. Scientia Sinica Chimica), 2022, 52(1): 71-88.

[12] 韩德明，胡险峰，蒋真毅，等. 长江口倾倒区海域水体与沉积物中重金属的分配与生态风险[J]. 上海交通大学学报（农业科学版），2017，35(3)：50-55.
HAN Deming, HU Xianfeng, JIANG Zhenyi, et al. Heavy metals in water and sediment of dumping site in Yangtze River Estuary: water-sediment partition and ecological risk[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science), 2017, 35(3): 50-55.