

海洋油气开发工程用海生态环境调查站位数量优化研究

刘涛¹, 纪鹏², 王勇智², 崔艺潇¹, 袁晓娟¹

(1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100027; 2. 自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 中国石油对外依存度较高, 海洋油气开发是重要的石化能源接替区。根据相关法律和规定, 海上油气资源开发所依托的平台和管道等用海, 须开展用海论证和相应的海洋生态环境现状质量调查。然而, 实际海洋生态环境现状质量调查往往设置超过相关技术规范要求的工作量。本研究基于渤海中规模较大的渤中油田 8 期近 5 年来海水水质、沉积物质量和海洋生态调查数据, 采用空间均匀筛选调查站位法, 筛选后的调查站位数量满足最低站位数量要求, 并对对比分析筛选前后调查数据各典型指标的统计特征分布特征变化。结果表明, 渤中油田海域的海洋生态环境现状质量调查站位均匀覆盖调查区时, 海域使用论证技术导则要求的最低数量调查站位, 即可较全面地反映该区域海洋生态环境特征, 故同样适用于渤海其他海洋油气开发工程以及东海和南海的海洋油气开发工程。

关键词: 渤中油田; 变异系数; 海水水质; 沉积物质量; 海洋生态

中图分类号: P73; X52 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2024)6-0050-10

DOI: 10.11759/hyqx20231215001

海洋油气资源约占全球海洋油气资源的 60%, 是重要的石化能源接替区。经济的高速发展加剧了能源需求和短缺问题。中国海洋油气产量逐年增长, 海上油气资源的开发利用有利于缓解能源短缺。渤海油田是中国海上最大的油田, 也是全国第一大海洋原油生产基地, 渤海中部的渤中油田已经探明总资源量约为 $1.20 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。因此, 海上油气资源开发利用对于我国能源安全战略保障具有十分重要的意义。

海域使用论证、海洋生态评估和修复是海域使用管理的一项重要基础工作, 是用海行政审批的决策依据和技术支撑^[1]。根据《中华人民共和国海域使用管理法》, 占用海域资源需要依据《海域使用论证技术导则》(GB/T 42361—2023)(以下简称“论证导则”)开展海洋环境现状质量调查, 《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485—2014)和《自然资源部办公厅关于进一步规范项目永海监管工作的函》(自然资办函〔2022〕640号), 也对海洋环境调查提出了具体要求。海洋环境现状质量调查一般泛指海水水质、沉积物质量和海洋生态调查^[2]。海洋环境现状质量调查是用海管理和保护修复的重要环节, 能够客观反映区域海水水质、海洋沉积物和海洋生物概况, 为用海管理提供数据支撑^[3], 也是后评估的重要资料依据^[4-5]。海水水质评价是海洋综合治理成效评估和海洋生态系统适宜性管理的重要基础^[6],

国内外多采用单因子指数、内梅罗指数和主成分分析法等进行海水水质状况综合评价^[7-9]。海洋沉积物中重金属的含量可作为沉积物受污染程度判断的主要依据^[10], 周笑白等^[11]基于 2013 年渤海沉积物重金属调查数据, 认为渤海湾表层沉积物重金属含量超一类标准点位的主要超标因子是砷和铅。有研究者应用渤海沉积物数据, 采用污染指数法和潜在生态风险评价法对渤海湾中部表层沉积物重金属污染状况进行评价, 表明渤海湾中部海域表层沉积物重金属含量较低, 符合海洋沉积物质量一类标准的要求^[12-14]。渤海的浮游植物群落结构以硅藻和甲藻共存为主, 氮磷比水平持续升高^[15], 浮游植物群落结构与环境因子具有一定相关性^[16]。已有大量关于渤海海域大尺度的浮游动物的种类组成和数量变动的研究^[17-18], 对渤海湾水域浮游动物群落特征的研究亦日益增多^[19]。

论证导则附件 3“海洋油气开发工程海洋环境质量现状调查要求”给出了海洋油气开发工程的海洋环境质量现状调查的海水水质、沉积物质量和海洋

收稿日期: 2023-12-15; 修回日期: 2024-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1806214)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. U1806214]

作者简介: 刘涛(1975—), 河北沧州人, 高级工程师, 主要从事海洋环境影响、生态用海等研究, E-mail: Liutaol@cnooc.com.cn; 王勇智(1980—), 通信作者, 山东青岛人, 正高级工程师, 主要从事海洋综合管理和浅海泥沙沉积与输运研究, E-mail: wangyongzhi@fio.org.cn

生态的调查站位数量要求:海水水质至少 30 个站位,沉积物质量至少 15 个站位,海洋生态至少 18 个站位(1 个调查站位可同时具有海水水质、沉积物质量和海洋生态的调查功能,也可具有海水水质、沉积物质量和海洋生态其中 1 个或 2 个调查调查功能),调查频次为至少 1 个季节(春季或秋季)。然而,在实际海上油气工程用海论证所需的海洋生态环境现状质量调查中,由于海上油气开发具有网状拓展建设的特征,调查单位对于论证导则的理解存在一定差异,导致调查站位数量往往超出论证导则要求的最低数量。

为了使海洋生态调查更加高效、准确、经济,需优化调查站位数量。这样可以提高数据获取效率,避免调查数据浪费,更高效地反映出区域海洋环境现状质量状况。此外,优化调查站位数量可为用海单位节省用海项目所需的资源、时间和成本,为项目决策提供可靠的依据,确保用海项目的建设进度,减少资源浪费和时间延误的风险。对于调查单位来说,可更好地分配和利用资源,提高外业调查和样品分析的效率。因此,针对海上油气工程海洋生态环境现状质量调查站位超出论证导则要求的最低调查站位数量的问题,选取我国近海最大海上油田——渤海油田中规模较大的渤中油田海域作为研究选区。渤中油田附近海域存在养殖、航运、排污等多种人类活动,区域海洋环境质量受人类活动影响较大,具有较好的代表性和典型性,其研究结果对于我国其他海洋油气田具有一定的普适性。

1 研究区概况

我国四大海上油田从北到南依次为渤海油田、

东海油田、南海东部油田及南海西部油田。渤海油田与其他 3 个海上油田相比,平均水深浅,开采难度较小,油层厚度大、储量规模大,是我国最大的海上油田。2022 年渤海油田原油产量达到 3.175×10^7 t,天然气产量近 3.5×10^9 m³,占我国海洋原油总产量的 60%,超过大庆油田的油气产量当量,成为国内第二大油气田。2022 年 3 月 14 日,渤海油田累计产油气当量超 5×10^8 t,年油气产量保持稳步上升趋势^[20]。渤海油田由埕北油田、渤中油田群、渤西油田群、辽东油田群组成。其中渤中油田群由渤中油田、垦利油田、秦皇岛油田和蓬莱油田组成。渤中油田位于黄河口以北和东北海域,为渤海中生产规模较大的海上油田,2023 年中国海洋石油集团有限公司宣布渤中油田已探明地质储量为亿吨级^[21]。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

选取 2017—2021 年近 5 a 的渤中油气田附近海域的多个海洋油气工程海洋生态环境调查报告中的海水水质、沉积物质量和海洋生态数据,各年份站位分布见图 1。上述海洋生态环境现状质量的调查单位均为自然资源部北海生态中心(原国家海洋局北海环境监测中心),各航次调查数据的时间、报告名称、站位数量等信息具体如表 1 所示。可见,8 个航次中 87.5%、100%和 100%的航次海水水质、沉积物质量和海洋生态调查站位数量分别超出论证导则中规定的最低海水水质、沉积物质量和海洋生态调查站位数量要求。

表 1 海洋生态环境现状质量调查数据来源一览表

Tab. 1 Data sources for current marine ecological environment quality

序号	调查时间	报告名称	海水水质 站位数	沉积物质量 站位数	海洋生态 站位数
1	2017 年 11 月	渤中 A 油田海洋环境质量现状秋季调查报告	30	21	21
2	2018 年 5 月	渤中 B 油田春季海洋环境质量现状调查与评价报告	46	24	24
3	2018 年 9 月	渤中 B 油田秋季海洋环境质量现状调查与评价报告	46	24	24
4	2019 年 5 月	渤中 C 油田开发项目春季环境质量现状调查与评价报告	60	37	37
5	2019 年 9 月	渤中 C 油田开发项目秋季环境质量现状调查与评价报告	53	32	32
6	2020 年 5 月	渤中 D 气田春季海洋环境质量现状调查与评价报告	51	31	31
7	2020 年 9 月	渤中 D 气田秋季海洋环境质量现状调查与评价报告	69	47	47
8	2021 年 3 月	垦利 E 油田春季环境质量现状调查与评价报告	40	24	24

注:表格中 A、B、C、D、E 油田或气田为作者自定的代码,不是真实的油气田名称

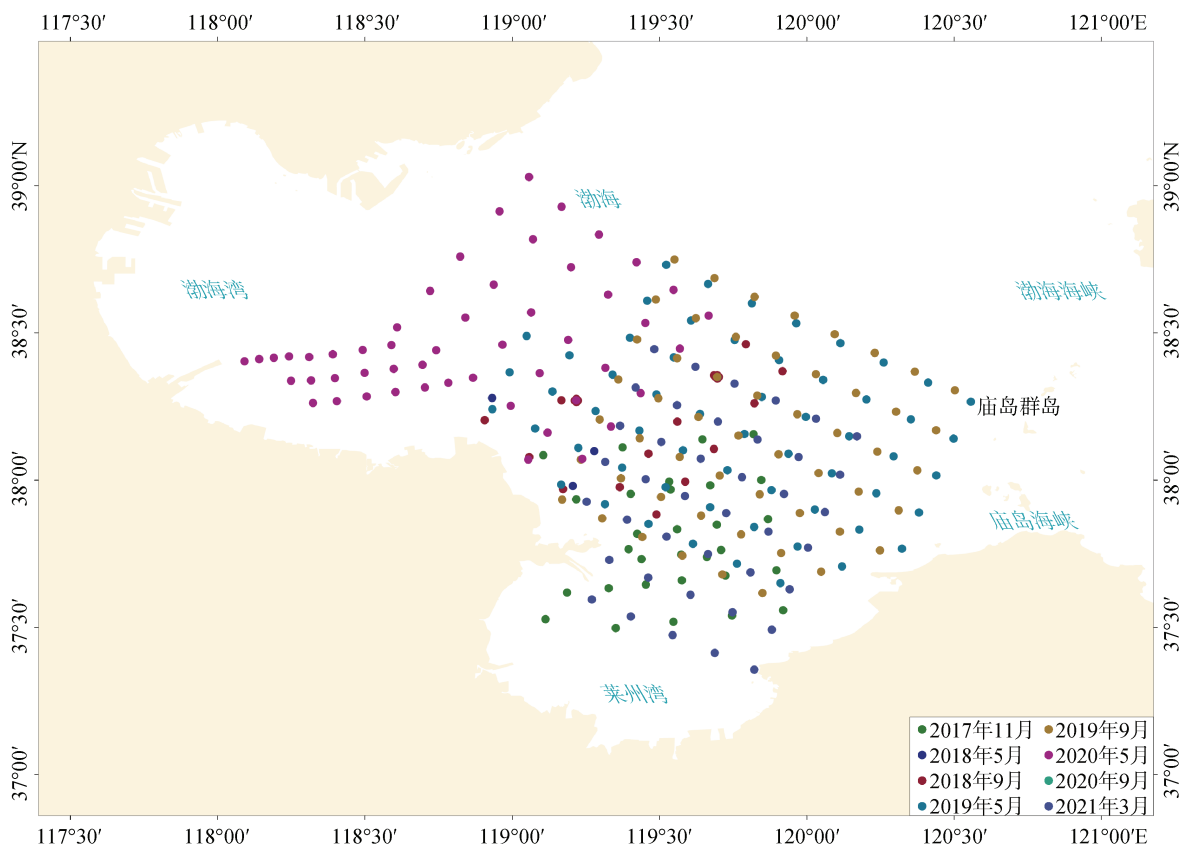


图 1 调查站位分布图
Fig. 1 Survey station distribution

2.2 研究方法

论证导则要求海洋生态环境现状质量调查站位的分布需要遵循均匀覆盖论证范围和工程区加密布设的原则。由于表 1 中各航次的海水水质、沉积物质量和海洋生态调查站位数量都超出论证导则附件 3 中要求的海最低数量，故对表 1 中各航次调查站位进行优化和筛选。第一步，筛选出同时具有海水水质、沉积物质量和海洋生态功能的调查站位；第二步，按照均匀覆盖调查区的原则，对上述调查站位进行筛选，使其满足 18 个海洋生态和 15 个沉积物质量调查站位的要求；第三步，在第一步筛选后剩余的海水水质调查站位中，按照调查站位空间均匀分布原则，筛选出部分海水水质调查站位，使海水水质调查站位达到 30 个。上述筛选调查站位的方法本文称为调查站位空间均匀筛选法。第四步，与原调查数据各典型指标的标准差、平均值、变异系数和超标率进行对比分析，若优化前后各典型指标分布特征基本一致，则说明在渤中油田海域当调查站位均匀分布时，调查站位数量如果满足论证导则要求的最低数，

可以较好地代表调查区的海洋环境质量现状特征。

标准差定义是总体各单位标准值与其平均数离差平方的算术平均数的平方根，它反映组内个体间的离散程度。较大的标准差，代表大部分数值和其平均值之间差异较大；较小的标准差，代表这些数值较接近平均值。变异系数又称离散系数，是测度数据变异程度的相对统计量，用于比较平均数不同的两个或多个样本数据的变异程度。变异系数越小，说明数据的变异程度越小；反之，说明数据的变异程度越大^[22]。

$$\text{标准差: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}, \quad (1)$$

$$\text{变异系数: } V_o = \frac{\sigma}{\mu}, \quad (2)$$

其中 n 为样本数量， σ 为标准差， μ 为平均值。

2.3 指标选取

由于海水水质、沉积物质量和海洋生态所包含的指标较多，受篇幅所限，不能逐一对比分析故，选取了海水水质、沉积物质量和海洋生态代表性较强、易量化比

较的指标作为筛选前后海洋生态环境典型指标, 且是海上油田建设和生产的特征污染物。水质指标选取了 DO(dissolved oxygen, 溶解氧)、COD(chemical oxygen demand, 化学需氧量)、活性磷酸盐、无机氮、石油类、锌、铅、铬; 沉积物质量选取了石油类、铅、铬、锌、汞; 海洋生态选取了叶绿素 *a*、浮游植物细胞密度、浮游动物生物量、浮游动物个体数量、底栖生物生物量、底栖生物个体数量。同时, 针对海水水质和沉积物质量各指标具有相应的质量标准, 渤中油田基本位于海水水质和海洋沉积物质量一类区内, 执行一类海水水质标准和一类海洋沉积物质量标准, 以便于统计优化前后的超标率变化。

水质和叶绿素 *a* 指标在采样中分为表层和底层数据, 由于研究地区水深较浅(平均水深小于 12.4 m), 各航次的水质和叶绿素 *a* 表层和底层数值相差很小, 为简化分析, 统一采用表层水质和叶绿素 *a* 数值。

3 结果分析

图 2 至图 6 分别是渤中油田附近海域近 5 年 8 个航次的海洋生态环境现状质量调查数据的海水水质、沉积物质量和海洋生态的典型指标经调查站位空间均匀筛选法筛选前后的标准差、平均值、变异

系数及其评价指数变化图。

由图 2 和图 3 可见, 虽然 8 个航次的典型海水水质指标质量浓度的标准差和变异系数在筛选前后均互有增减, 个别年份的 DO 和重金属铬指标的标准差优化前后变化相对较大外, 其他水质指标的标准差、平均值、变异系数变化率均很小, 优化前后的超标率基本一致。因此, 总体来看, 8 个航次海水水质典型指标中共有 83%以上的指标的标准差和变异系数变化幅度小于 $\pm 10\%$, 95%的指标的平均值变化幅度小于 $\pm 5\%$, 标准差变化较大的指标变异系数一般也具有相似变化特征, 说明筛选后海水水质各典型指标的分布特征并没有发生明显变化。筛选前后的最大和最小评价指数对比, 也进一步说明了采用调查站位空间均匀筛选法后, 各典型指标的评价指数并未发生明显变化, 尤其是人们常常关注的最大评价指数(一般用于判别是否超标), 在筛选后与原调查数据的各指标对应最大评价指数基本相当。此外, 活性磷酸盐、无机氮、锌和铅是该区域的主要超标污染物, 通过比较筛选前后的以上 4 者质量浓度的标准差、变异系数和评价指数变化来看, 上述 4 个指标在筛选后的分布特征与筛选前基本相当, 仍具有较好的代表性。

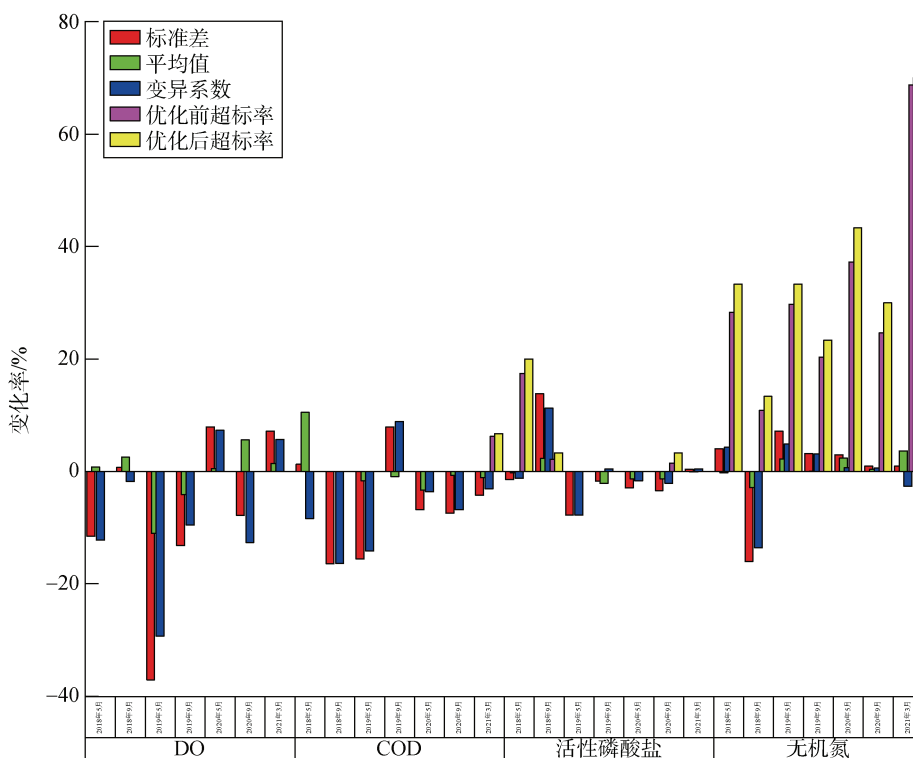


图 2 水质指标 DO、COD、活性磷酸盐和无机氮优化前后变化对比图

Fig. 2 Comparative analysis of DO, COD, PO₄-P, and INP changes pre- and post-optimization

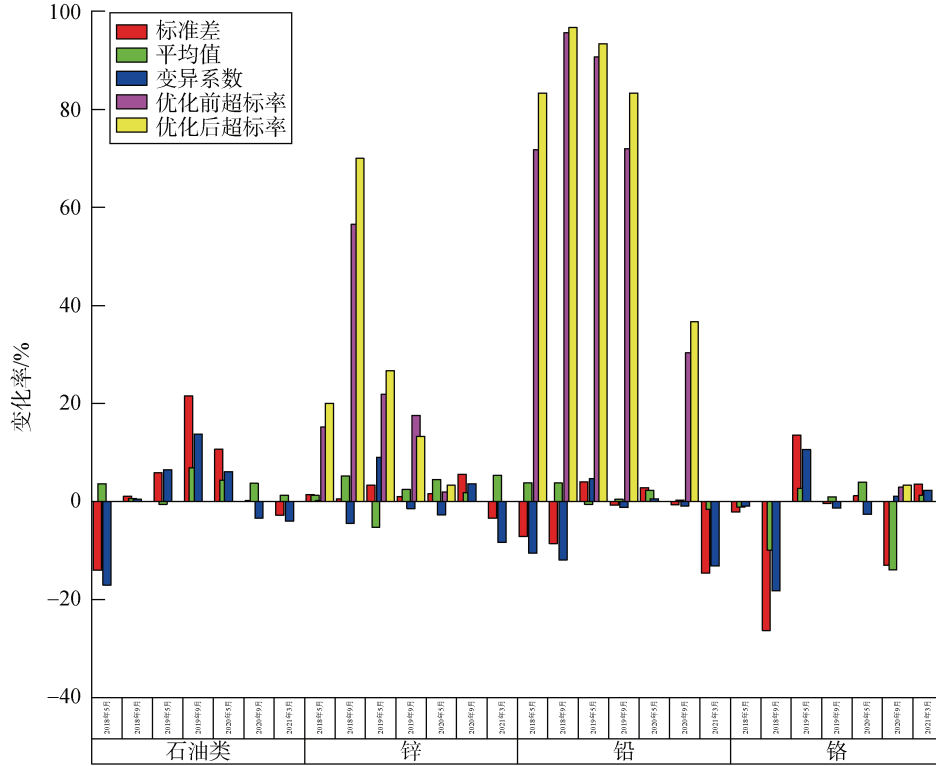


图3 水质指标石油类、锌、铅和铬优化前后变化对比图

Fig. 3 Comparative analysis of oil, Zn, Pb, and Cr changes pre- and post-optimization

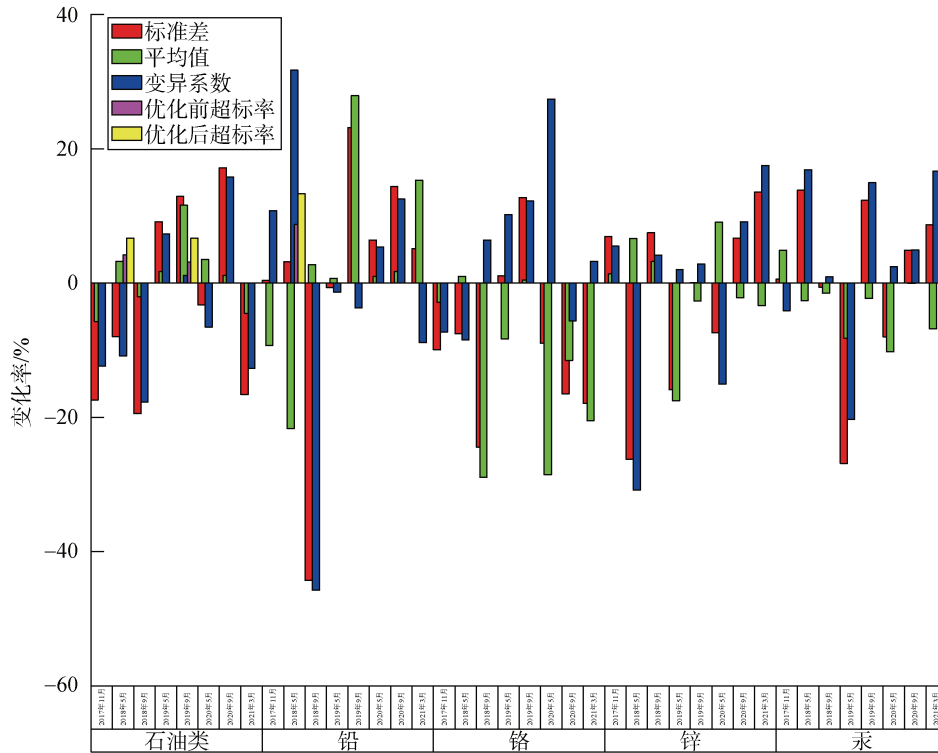


图4 重金属指标石油类、铅、铬、锌和汞优化前后变化对比图

Fig. 4 Comparative analysis of changes in heavy metal (oil, Pb, Cr, Zn, and Hg) concentrations in seawater pre and post-optimization

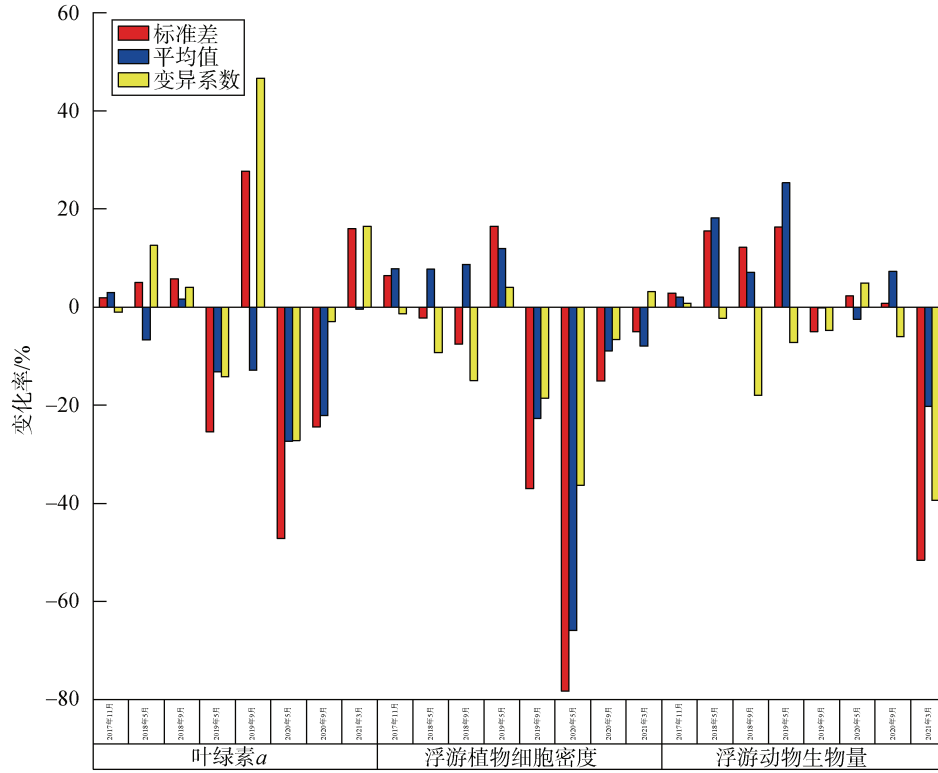


图 5 海洋生态指标叶绿素 a、浮游植物细胞密度和浮游动物生物量优化前后变化对比图

Fig. 5 Comparative analysis of changes in Chla, phytoplankton cell density, and zooplankton biomass pre- and post-optimization

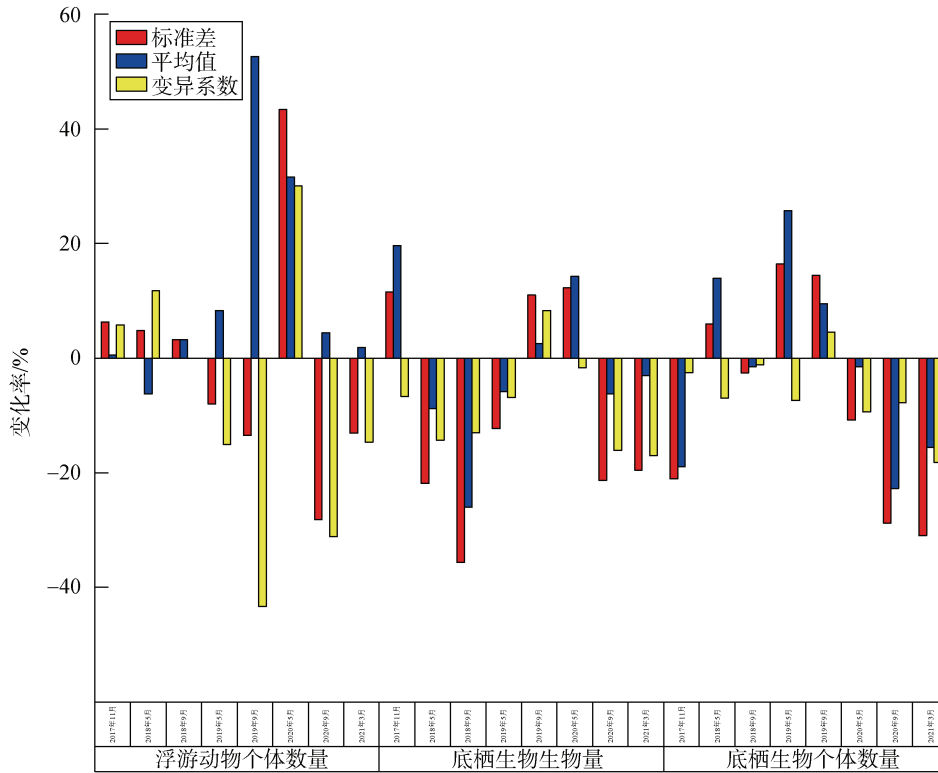


图 6 海洋生态指标浮游动物个体数量、底栖生物生物量和底栖生物个体数量优化前后变化对比图

Fig. 6 Comparative analysis of changes in zooplankton abundance, benthic biomass, and benthos abundance pre- and post-optimization

由图 4 可见,海洋沉积物质量的数值普遍很小,故筛选后个别指标的标准差和平均值变化相对较大,但优化各期各指标的变异系数基本上都在 $\pm 10\%$ 范围内,说明优化后各指标数值分布的离散程度与原调查基本相当,且加之各典型指标的评价指数在筛选前后变化很小,优化前后的超标率也基本一致。因此,筛选后沉积物质量各典型指标仍能较好反映出区域沉积物质量特征。

由图 5 可见,由于海洋生态各典型指标在不同季节的数值波动较大,受到海流、光照、营养盐、水温和生物等多种因素影响,故筛选前后各典型指标的标准差、平均值和变异系数变化相对海水水质和沉积物质量较大,除去个别调查时段外,筛选前后叶绿素 *a*、浮游植物生物量、浮游动物个体数量、底栖生物生物量和底栖生物个体数量的优化前后标准差变化和平均值变化总体在 $\pm 20\%$ 以内,浮游植物细胞密度在 3 个调查时段中筛选前后的标准差和平均值变化相对较大,其他调查时段变化也较小。各期各典型生态指标在筛选后只有 14.5%指标的变异系数超过 $\pm 20\%$,因此,总体来说筛选后各期各指标的分布特征与原数据基本相似,仍具有较好的代表性。

4 讨论

海洋环境现状质量调查对于海域使用论证、海洋环境影响评价、海岸带保护修复等具有重要基础环境数据背景作用,如何能在满足如论证导则、环评导则等相关技术规范的要求下,使用较少的调查站位来掌握调查区的海洋环境现状质量特征,一直是用海申请单位、用海管理部门、技术报告编制单位和海洋环境调查单位关注的问题。虽然相关的技术规范都对海洋环境现状质量调查提出了调查站位的最低数量要求,但对调查站位数量的上限没有要求,导致在实际工作中对调查站位数量设置缺乏依据。因此,针对海洋环境现状质量调查站位数量优化开展研究,不仅有利于用海单位控制项目建设进度和经济成本,而且,有利于调查单位高效完成调查任务,也有利于技术审查单位快速判别区域海洋环境质量现状特征。渤海油气田位于渤海,紧邻黄河口,从历年来原国家海洋局和生态环境部发布的海洋环境质量公报中可见,近海沿岸、黄河口、长江口和珠江口附近海域都是水质环境较差的区域。我国四大海上油气田只有渤海油田位于渤海内,其他海洋油气田主要位于东海和南海,由于渤海是半封闭

内海,环渤海人类活动频繁,海洋环境保护一直面临较大压力。而东海和南海海域开阔,水质较好。因此,研究区域选取渤海,使用站位空间均匀筛选法具有较好的普适性。

通过对渤海油田中较大的渤中油田附近海域近 5 a 共 8 期的海洋生态环境现状质量的海水水质、沉积物质量和海洋生态数据,应用站位空间均匀筛选法,使调查站位满足论证导则要求的最低数量,对比筛选前后调查站位各典型指标,进行统计特征对比分析。总体来看,海水水质、沉积物质量和海洋生态各典型指标的标准差、平均值、变异系数的平均变化率均在 $\pm 5\%$ 内。但海水水质和沉积物质量经过优化筛选后,与海洋生态典型指标相比,各期标准差、平均值、变异系数的平均变化率,明显小于后者。其中水质指标中 DO、COD、活性磷酸盐、无机氮、石油类、锌、铅、铬的标准差的平均变化为 -1.97% ,平均值平均的平均变化为 0.47% ,变异系数的平均变化为 -2.55% ,沉积物质量中石油类、铅、铬、锌、汞的标准差的平均变化为 4.74% ,平均值的平均变化为 -0.23% ,变异系数的平均变化为 1.29% ,而叶绿素 *a*、浮游植物细胞密度、浮游动物生物量、浮游动物个体数量、底栖生物生物量、底栖生物个体数量标准差的平均变化率为 -3.17% ,平均值的平均变化率为 1.29% ,变异系数的平均变化率为 4.21% 。可见,用调查站位空间均匀筛选法筛选后的海水水质、沉积物质量和海洋生态各典型指标的统计分布特征变化幅度均较小,分布特征与原始调查数据基本一致。由于海洋生态典型指标随季节性变化较强,受影响因素较多,海洋生态各指标的数值往往存在较大的波动,经优化后各海洋生态典型指标的统计分布特征平均变化率依旧较小,说明优化后的海洋生态典型指标仍具有良好的代表性。

5 结论

海洋生态环境现状质量调查是海洋油气资源开发建设用海申请、审批、保护修复等所需的重要基础工作,各种技术规范虽然给出了海洋生态环境现状质量调查的下限工作量,但由于不同的技术报告编制单位和调查单位对其理解不同,导致实际调查工作量远大于技术规范给出的最低调查工作量。本文选取位于渤海中的渤中油田作为研究区域,基于该区域接近 5 a 共 8 期的海洋生态环境现状质量调查数据,采用调查站位空间均匀筛选法,满足论证导

则的最低数量调查站位数量要求。选取海水水质、沉积物质量和海洋生态中典型指标,对筛选前后的各典型指标统计特征进行对比分析。结果表明,海水水质、沉积物质量和海洋生态各典型指标在筛选后统计特征的平均变化均在 $\pm 5\%$ 以内,典型指标的超标率基本相近,海水水质和沉积物质量各典型指标在筛选后的平均值、标准差和变异系数变化更小,海洋生态典型指标平均值、标准差和变异系数变化相对略大。对于渤中油田海域常见的超标指标,如海水水质指标中活性磷酸盐、无机氮、铅、锌,沉积物质量指标中石油类、铅、锌,在筛选前后的最大和最小评价指数变化很小,前后的变异系数平均变化率均在 $\pm 5\%$ 以内,主要超标指标分布特征与筛选前并未发生明显变化。可见,对于渤中油田的调查数据,利用空间均匀筛选法,各典型环境质量指标的分布特征变化很小。因此,对于渤海、东海和南海的海洋油气开发工程用海所需的海洋环境现状质量调查,论证导则所要求的调查站位最低数量,在满足均匀分布于调查区的前提下,所获取的海水水质、沉积物质量和海洋生态调查数据可较好地反映区域海洋生态环境质量特征。

参考文献:

- [1] 海域管理培训教材编委会. 海域使用论证技术方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.
- [2] 自然资源部. 海域使用论证技术导则(GB/T 42361—2023)[S]. 北京: 中国标准出版署, 2023.
Ministry of Natural Resources. Technical guidelines for sea area use demonstration(GB/T 42361-2023)[Z]. Beijing: China Standard Press, 2023.
- [3] 贾后磊, 张翠萍. 海洋生态调查在海域使用论证中的作用探究[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(6): 3-7.
JIA Houlei, ZHANG Cuiping. The role of marine ecological survey in the demonstration of sea area use[J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(6): 3-7.
- [4] 袁道伟, 赵建华, 于永海, 等. 区域建设用海后评估方法研究[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(6): 958-961.
YUAN Daowei, ZHAO Jianhua, YU Yonghai, et al. Comprehensive assessment modus research of the utilization status about regional development in the sea area[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(6): 958-961.
- [5] 孟伟庆, 胡蓓蓓, 刘百桥, 等. 基于生态系统的海洋管理: 概念、原则、框架与实践途径[J]. 地球科学进展, 2016, 31(5): 461-470.
MENG Qingwei, HU Beibei, LIU Baiqiao, et al. Marine ecosystem—based management: definition, principles, framework and practice[J]. Advances in Earth Science, 2016, 31(5): 461-470.
- [6] AKINBILE C O, OMONIYI O. Quality assessment and classification of Ogbese river using water quality index (WQI) tool[J]. Sustainable Water Resources Management, 2018, 4(4): 1023-1030.
- [7] ALVES R S, MACHADO C S, BEDA C F, et al. Water quality assessment of the Pardo River Basin, Brazil: A multi-variate approach using limnological parameters, metal concentrations and indicator bacteria[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2018, 75(2): 199-212.
- [8] GIANELLO D, AVILA-HERNANDEZ E, AGUER I, et al. Water quality assessment of a temperate urban lagoon using physicochemical and biological indicators[J]. SN Applied Sciences, 2019, 1(5): 470-481.
- [9] 张广帅, 闫吉顺, 张全军, 等. 基于主成分分析法近岸海水环境质量与空间异质性研究——以庄河港近岸海域为例[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(2): 244-252.
ZHANG Guangshuai, YAN Jishun, ZHANG Quanjun, et al. Study on the seawater quality and its spatial heterogeneity based on principle component analysis: A case study nearshore of Zhuanghe port[J]. Marine Environmental Science, 2020, 39(2): 244-252.
- [10] 许艳, 王秋璐, 李潇, 等. 环渤海典型海湾沉积物重金属环境特征与污染评价[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(3): 428-438.
XU Yan, WANG Qiulu, LI Xiao, et al. Distribution and pollution assessment of heavy metals in sediments from typical bays in the Bohai Sea[J]. Advances in Marine Science, 2017, 35(3): 428-438.
- [11] 周笑白, 梅鹏蔚, 彭露露, 等. 渤海湾表层沉积物重金属含量及潜在生态风险评价[J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 452-456.
ZHOU Xiaobai, MEI Pengwei, PENG Lulu, et al. Contents and potential ecological risk assessment of selected heavy metals in the surface sediments of Bohai Bay[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(3): 452-456.
- [12] 徐勇, 江涛, 杨茜, 等. 夏季渤海中部表层沉积物重金属空间分布及污染评价[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 52-61.
XU Yong, JIANG Tao, YANG Qian, et al. Distribution characteristics and pollution assessment of heavy metals in the surface sediments of the Bohai Sea during the summer[J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 52-61.
- [13] QIN Y W, MENG W, ZHENG B H, et al. Heavy metal pollution in tidal zones of Bohai Bay using the dated sediment cores[J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(3): 610-615.
- [14] 徐亚岩, 宋金明, 李学刚, 等. 渤海湾表层沉积物各

- 形态重金属的分布特征与生态风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33(3): 732-740.
- XU Yayan, SONG Jinming, LI Xuegang, et al. Variation characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals in the surface sediments of Bohai Bay[J]. Environmental Science, 2012, 33(3): 732-739.
- [15] 栾青杉, 康元德, 王俊. 渤海浮游植物群落的长期变化(1959~2015). 渔业科学进展, 2018, 39(4): 9-18.
- LUAN Qingshan, KANG Yuande, WANG Jun. Long-term changes in the phytoplankton community in the Bohai Sea (1959~2015)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(4): 9-18.
- [16] 郭术津, 李彦翘, 张翠霞, 等. 渤海浮游植物群落结构及与环境因子的相关性分析[J]. 海洋通报, 2014, 33(1): 95-105.
- GUO Shujin, LI Yanqiao, ZHANG Cuixia, et al. Phytoplankton community in the Bohai Sea and its relationship with environmental factors[J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(1): 95-105.
- [17] 杜明敏, 刘镇盛, 王春生, 等. 中国近海浮游动物群落结构及季节变化[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5407-5418.
- DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al. The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5407-5418.
- [18] 杨璐, 刘捷, 张健, 等. 渤海湾浮游动物群落变化及其与环境因子的关系[J]. 海洋学研究, 2018, 36(1): 93-101.
- YANG Lu, LIU Jie, ZHANG Jian, et al. Zooplankton community variation and its relationship with environmental variables in Bohai Bay[J]. Journal of Marine Sciences, 2018, 36(1): 93-101.
- [19] 刘潇, 王鹏, 温国义, 等. 渤海中南部海域浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 现代农业科技, 2022(10): 136-141, 145.
- LIU Xiao, WANG Peng, WEN Guoyi, et al. Community structures of zooplankton and its relationship with environmental factors in central and southern Bohai Sea[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022(10): 136-141, 145.
- [20] 初梓瑞, 吕骞. 年产原油 3013.2 万吨渤海油田建成我国第一大原油生产基地[EB/OL]. (2022-01-09). <http://finance.people.com.cn/n1/2022/0109/c1004-32327243.html>.
- [21] 吴莉. 我国再获亿吨级油田[EB/OL] (2024-03-19). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1793921531135391120&wfr=spider&for=pc>.
- [22] 曹永强, 周姝含, 杨雪婷. 近 20 年辽宁省植被动态特征及其对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(14): 5966-5979.
- CAO Yongqiang, ZHOU Shuhan, YANG Xueting. Vegetation dynamics and its response to climate change in Liaoning Province in last 20 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(14): 5966-5979.

Optimization of the number of marine ecological environment survey stations for offshore oil and gas development projects

LIU Tao¹, JI Peng², WANG Yongzhi², CUI Yixiao¹, YUAN Xiaojuan¹

(1. CNOOC Research Institute Ltd., Beijing 100027, China; 2. First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China)

Received: Dec. 15, 2023

Key words: Bozhong offshore oilfield; coefficient of variation; seawater quality; sediment quality; marine ecology

Abstract: China's heavy dependence on foreign oil highlights the significance of offshore oil and gas development as a major strategy for energy substitution in petrochemical sectors. According to Chinese laws and regulations, activities related to offshore oil and gas development must carry out sea use demonstrations and corresponding marine ecological environment surveys. However, practical marine ecological surveys often establish stations in excess of the minimum guideline requirements. This study applies a spatially uniform screening survey station method using data from seawater quality, sediment quality, and marine ecology surveys conducted over the past 5 years in the Bozhong offshore oilfield, located in the Bohai Sea. Following screening, the number of stations met the minimum requirements. Statistical and distribution characteristics of each typical survey index data were compared and analyzed before and after screening. The findings indicate that comprehensive coverage of marine ecological environment survey stations across the Bozhong Oilfield adequately reflects environmental characteristics when meeting minimum guidelines. This approach can be applicable to other offshore oil and gas development projects in the Bohai Sea, East China Sea, and South China Sea. Therefore, this study provides valuable guidance for planning and conducting marine ecological environment assessments in the application and approval processes of offshore oil and gas development projects.

(本文编辑: 丛培秀)