

锦州 9-3 油田海域环境现状及其评价

卢芳^{1,2,3,4}, 高振会^{3,4}, 贾永刚^{1,2*}, 杨东方^{3,4}

(1. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 3. 国家海洋局 北海分局 北海监测中心, 山东 青岛 266003; 4. 国家海洋局 北海分局 海洋溢油鉴别与损害评估技术国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266003;)

关键词: 石油开采; 海洋; 生态环境; 现状评价; 锦州 9-3 油田

中图分类号: P618.13; X820.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2010)01-0161-09

1 引言

石油,作为现代社会的主要能源,在全球经济迅速发展和人口激增的情况下,世界范围内的供求在不断增长,海洋石油勘探开发规模也在不断扩大。海洋油气开发已成为我国油气战略资源的主要来源之一。我国海洋石油勘探是从 20 世纪 60 年代开始的,在 1975 年渤海第一座海上试验采油平台投产,揭开了我国海洋石油开发的序幕^[1]。近年来随着国民经济的快速发展对油气的消费激增,我国对海洋油气勘探开发日益加强。以渤海为例,目前渤海油气产量占我国海上石油产量的一半以上,已开发海上油田 17 个、海上平台(储油装置)184 座(艘),总井数 1 350 口(1 094 口采油井,212 口注水井,44 口水源井),预计到 2010 年,渤海油田年产气总量将达到 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ ^[2-3]。随着海洋油气勘探开发强度的增大,石油平台勘探与生产活动对周围海洋环境的影响越来越受到关注。

我国关于海上石油平台附近海域的生态环境现状的研究仍比较少,如姜太良等^[2]分析了绥中 36-1 油田附近海域的水质和底质调查资料,并描述了水质要素和沉积物要素的分布规律;马媛等^[4]从水质、生物、沉积物等方面研究了埕北油田的开发活动对

邻近海域的生态环境影响;邱戈冰^[5]对南海北部湾油田进行了环境影响后评价,分析了水质、沉积物和生物受油田勘探开发活动的影响情况;何桂芳等^[6]的研究以涠洲油田为例,通过对油田的产污行为及其对油田周围环境的影响评价,揭示油田生产活动对水质、沉积物及生物的不利影响。关于锦州 9-3 油田海域的环境现状的研究鲜见报道。本文基于 2005—2007 年对锦州 9-3 油田附近海域的监测数据,并结合历史文献研究了油田附近海域的环境现状,以期对海上油田的环境污染控制和海洋生态环境保护提供参考。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

锦州 9-3 油田位于渤海辽东湾北部海域(见图 1),距葫芦岛市 53 km,距海岸 28 km,水深 6.5~10.5 m,海域潮汐性质属正规半日潮,高平潮为 10 m,低平潮为 6 m。它由钻井及生活平台、储油动力平台和东区井口平台构成。把平台生活污水运回陆地终端处理,分离出的天然气通过火炬放空。辽东湾北部海域沿岸有辽河、双台子河、大凌河、小凌河等河流注入,在油田附近海域分布着许多重要环境敏感目标,如双台河口国家级自然保护区、凌河口

收稿日期: 2009-03-24; **修订日期:** 2009-10-20。

资助项目: 渤海石油平台及邻近海域环境污染实时监控预警及应急支持技术研究示范(200805013); 我国近海海洋综合调查与评价专项(908-02-02-01)。

作者简介: 卢芳(1985—),女,河北省邯郸市人,硕士研究生,研究方向为海洋生态环境。E-mail: skyfang2008@yahoo.com.cn

* **通信作者:** 贾永刚(1965—),男,吉林省伊通县人,教授、博士生导师,研究方向为海洋环境地质。E-mail: yonggang@ouc.edu.cn

滨海湿地自然保护区、锦州开发区的滩涂养殖区、双台子河口门头岗贝类增殖区等。因此,锦州 9-3 油田海域的环境质量对于这些环境敏感目标的保护和发育有十分重要的影响。

2005—2007 年在锦州 9-3 油田海域进行了海

洋环境调查,其中在 2005 年 10 月设 13 个水文、水质测站、9 个底质和生物测站;在 2006 年 5 月设 16 个水文、水质测站、11 个底质和生物测站;在 2007 年 5 月和 9 月均设 20 个水文、水质测站、13 个底质和生物测站。站点分布见图 1。

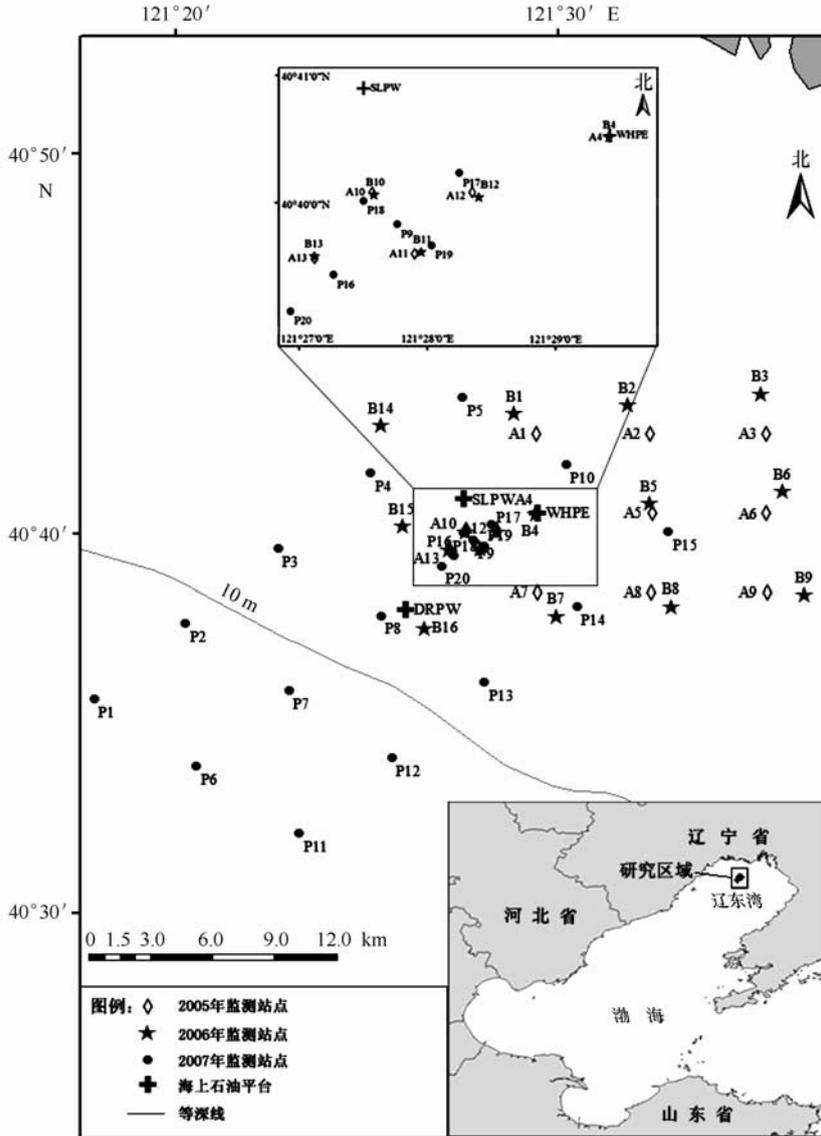


图 1 油田位置及监测站点

2.2 样品采集与分析方法

水质分别采集表底两层的样品(对油类只采集表层水样)。样品的采集、运输、保存和分析均按照《海洋监测规范》^[7](GB17378-1998)、《海洋生物质量监测技术规程》^[8](GB 18421-2001)和《海洋调查规范》^[9](GB12763-91)的要求进行。

2.3 评价标准与方法

评价标准参照《海水水质标准》^[10]和《海洋沉积物质量》^[11]中的一类标准。采用标准指数法^[12]评价单项因子对环境产生的等效影响程度,标准指数法计算公式为

$$S_{i,j} = c_{i,j}/C_{si},$$

式中, $S_{i,j}$ 为标准指数; $c_{i,j}$ 为污染物 i 在监测点 j 的浓度; C_{si} 为调查因子 i 的评价标准值。

综合评价采用分指数的平均值和最大值的二次方和的尼梅罗法^[12], 既考虑了平均分指数的影响, 也照顾到最大分指数的影响:

$$WQI = \sqrt{\frac{S_{\max}^2 + S_j^2}{2}},$$

式中, WQI 为多项污染的综合质量指标; S_{\max} 为各项污染物中的最大分指数; $S_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{i,j}$, 为 j 站位各项污染物的分指数之平均值; n 为评价因子种类数量。环境质量等级的分级: 综合质量指数小于

1 为清洁, 大于或等于 1 且小于 2 为轻污染, 大于或等于 2 且小于 3 为污染, 大于或等于 3 且小于 5 为重污染, 大于或等于 5 为恶性污染^[12]。

3 结果与讨论

3.1 水质

根据 2005—2007 年水质监测结果, 选取 COD, 油类和溶解态铅为评价因子, 按照评价模式进行计算, 得到相应的水质单个标准指数和综合指数, 按照指数分级判据划分综合污染等级。对所有年份数据均取平均值。水质评价结果见表 1。

表 1 2005—2007 年锦州 9-3 油田海域水质状况

调查时间	COD 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$			油类浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$			铅浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$		
	标准值	2	50	1					
2005 年 10 月	变化范围	0.32~1.46	15.5~27.8	1.90~2.61					
	平均值	0.955	22.2	2.38					
	标准指数	0.478	0.444	2.38					
	综合污染指数		1.85						
	污染等级		轻污染						
2006 年 5 月	变化范围	0.47~1.91	17.2~68.8	1.85~2.57					
	平均值	1.28	32.8	2.32					
	标准指数	0.64	0.656	2.32					
	综合污染指数		1.85						
	污染等级		轻污染						
2007 年 5 月	变化范围	1.00~1.95	29.9~74.7	2.65~3.25					
	平均值	1.49	43.6	2.97					
	标准指数	0.745	0.872	2.97					
	综合污染指数		2.36						
	污染等级		污染						
2007 年 9 月	变化范围	0.512~1.29	11.6~26.3	3.14~1.19					
	平均值	0.881	17.7	2.06					
	标准指数	0.441	0.354	2.06					
	综合污染指数		1.6						
	污染等级		轻污染						

表 1 中水质的综合污染等级表明锦州 9-3 油田海域水体已经受到污染。水体的污染除了与油田的开采活动有关外, 沿岸各城市排入近海的工业污水、生活污水、入海河流携带的污染物, 海水养殖过程中产生的废水、残留饵料、排泄物等以及沿海港口码头

的作业船舶和海上航行作业的机动船等的泄漏、倾废也是不可忽视的因素, 它们共同导致了水体质量的下降^[13]。

结合表 1 和图 2 可以看出, 锦州 9-3 油田附近海域水体中 COD 浓度值均未超过国家《海水水质

标准》(GB3097—1997)^[10]中第一类海水水质评价标准,COD浓度的标准指数呈逐年上升趋势,在2007年秋季稍有下降。各年份的COD浓度值都在

3 mg/dm^3 的富营养化临界值以下,如果大于这个临界值,就有发生赤潮的可能性^[14],因此在这3a内在该海域尚未发生富营养化。

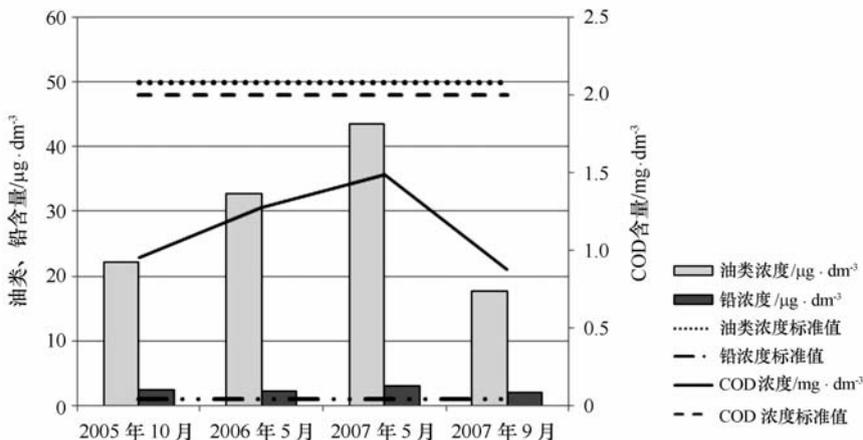


图2 水质评价因子变化趋势

这4次监测的油类浓度均值都符合第一类海水水质标准,但2006年5月和2007年5月部分站位水体中油类的含量存在超标现象,超标率分别为12.5%和20%,表明该海域水体已经受到油类污染威胁。方志刚等^[14]、宛立等^[15]的研究也指出输入辽东湾内的河流是主要污染源,袁宇等^[13]的调查表明输入辽东湾内石油类污染物每年有2.1615 t来自入海河流,占每年输入辽东湾的石油类污染物总量的60%,通过海上排放进入辽东湾的石油类污染物占38%,主要来自海上各类船舶排污、船舶事故性排污和海上倾废。据调查资料显示对锦州9-3油田的含油废水及生活污水采用回注地层或运回陆地终端进行处理,因此油田周围海域水体油类浓度的变化是陆源排污和油田开采活动共同作用的结果。

2005—2007年油田附近海域水质评价因子中铅浓度的标准指数均为最大,由此可知该海域水质的主要影响因子为溶解态铅。对水体中溶解态铅浓度的监测结果表明,4次监测全部站点铅的浓度均超过一类海水水质标准值,超标率为100%,该海域水体已经受到铅的污染。这与宛立等^[15]的研究结果一致,其原因除海上石油开采作业的影响外,工业废水和入海河流排污的影响也不可忽视^[13]。

3.2 沉积物

开采油田产生的钻探泥浆将大量的油类和重金

属带入沉积物中,它们成为慢性污染源^[16],导致沉积物中油类、重金属等污染物浓度上升。本文对锦州9-3油田附近海域表层沉积物中的石油类、硫化物、有机碳和重金属等污染物的浓度进行了分析。测定结果及各评价因子标准指数见表2。

从表2可以看出,2005—2007年沉积物等级均为清洁,但沉积物综合污染指数逐年增大,沉积物质量总体呈下降的趋势。2006年部分站点的重金属铜的浓度已经接近《海洋沉积物质量》^[11]中规定的一类标准值,表明该海域沉积物已受到铜的污染威胁;某些站点镉的浓度已超过一类标准值,最大值标准指数为1.38,超标率为18.18%。2007年春季部分站点砷的浓度超出一类标准值,最大值标准指数为1.21,超标率为15.4%;2007年秋季的沉积物质量稍有好转,均未发现各种监测污染物浓度有超标现象。

将沉积物中铜、铅、锌和镉四种重金属以及硫化物的浓度与辽东湾沉积物中这几种污染物的背景值^[17]进行了比较,结果如图3所示。

从沉积物各项指标的变化趋势来看,铜、铅、锌和硫化物的浓度总体呈逐年上升趋势。4次监测中铅、硫化物和镉的浓度都高于背景值,2006和2007年秋季监测中铜的浓度高于背景值,其中铅浓度由背景值 11.52×10^{-6} 增至2007年9月的 21.6×10^{-6} ,镉浓度背景值为 0.042×10^{-6} ,至

2006 年增长至 0.351×10^{-6} , 为这 4 次监测中的最大值, 在 2007 年略有下降。硫化物浓度由背景值 14.89×10^{-6} 增长至 2007 年 9 月的 48.3×10^{-6} , 铜的浓度背景值为 19.18×10^{-6} , 至 2007 年秋季增长至 26.3×10^{-6} 。比较特殊的是沉积物中铜和锌的浓度有明显低于背景值的现象, 与埕北油田底质环境出现的现象^[4]类似, 导致这一现象

的具体原因还有待于进一步研究, 可能是由于微生物活动十分活跃导致部分污染物被消耗, 也可能因为一些沉积矿物具有吸附重金属的能力^[18], 另外天然海水的环境条件变化会改变与沉积物结合的重金属的可迁移性, 导致重金属重新释放出来^[19], 这些因素可能共同导致沉积物中某些污染物含量低于背景值水平。

表 2 锦州 9-3 油田海域表层沉积物质量评价结果(10^{-6})

调查时间		总汞	铜	铅	镉	总铬	石油类	硫化物	锌	砷	有机碳(%)
		标准值	0.2	35	60	0.5	80	500	300	150	20
2005 年 10 月	变化范围	0.034~	4.97~	7.71~	0.047~	8.55~	1.00~	34.0~	12.2~	6.16~	0.274~
		0.124	22.8	22.5	0.198	23.7	2.96	55.0	29.5	10.8	0.934
	平均值	0.074	10.6	13.4	0.125	15.5	1.34	42.9	20.5	9.40	0.699
	标准指数	0.370	0.304	0.223	0.250	0.194	0.003	0.143	0.137	0.470	0.350
	综合指数						0.37				
	污染等级						清洁				
2006 年 5 月	变化范围	0.023 9~	16.3~	15.8~	0.188~	16.2~	56.3~	26.8~	19.3~	7.57~	0.233~
		0.055 2	34.2	26.0	0.689	33.9	223	43.3	46.8	11.8	0.421
	平均值	0.044	25.0	21.4	0.351	21.9	114	35.7	26.5	10.1	0.371
	标准指数	0.218	0.714	0.357	0.702	0.274	0.227	0.119	0.177	0.503	0.185
	综合指数						0.56				
	污染等级						清洁				
2007 年 5 月	变化范围	0.013 4~	8.62~	7.88~	0.186~	10.5~	3.13~	31.7~	20.7~	10.6~	0.209~
		0.070 3	24.4	26.3	0.462	67.9	24.9	52.1	41.8	24.1	0.409
	平均值	0.0392	16.7	16.6	0.303	39.8	10.1	42.1	30.5	16.5	0.317
	标准指数	0.196	0.476	0.276	0.607	0.497	0.020	0.141	0.203	0.823	0.158
	综合指数						0.63				
	污染等级						清洁				
2007 年 9 月	变化范围	0.011 8~	9.2~	16.4~	0.115~	24.3~	25.5~	39.9~	24.5~	6.50~	0.458~
		0.054 7	34.2	25.8	0.341	33.3	160	57.2	40.2	9.34	0.627
	平均值	0.027 6	26.3	21.6	0.226	29.4	90.4	48.3	32.9	8.06	0.540
	标准指数	0.138	0.752	0.361	0.451	0.367	0.181	0.161	0.220	0.403	0.270
	综合指数						0.58				
	污染等级						清洁				

分析图 4 可以看出, 沉积物中铬浓度逐年上升, 由 2005 年 10 月的 15.5×10^{-6} 增至 2007 年 5 月的 39.8×10^{-6} , 达到 4 次监测中的最高值, 2007 年 9 月稍有下降。这 4 次监测中砷和汞的浓度变化不大。有机碳浓度整体呈下降趋势, 在 2005 年 10 月

为最高值, 在 2007 年 5 月为最低值。油类浓度变化幅度较大, 由 2005 年的 1.34×10^{-6} 增加至 2006 年的 113.5×10^{-6} , 达到 4 次监测中的最高值, 2007 年油类浓度较 2006 年稍有降低, 但仍然远高于 2005 年的监测值。

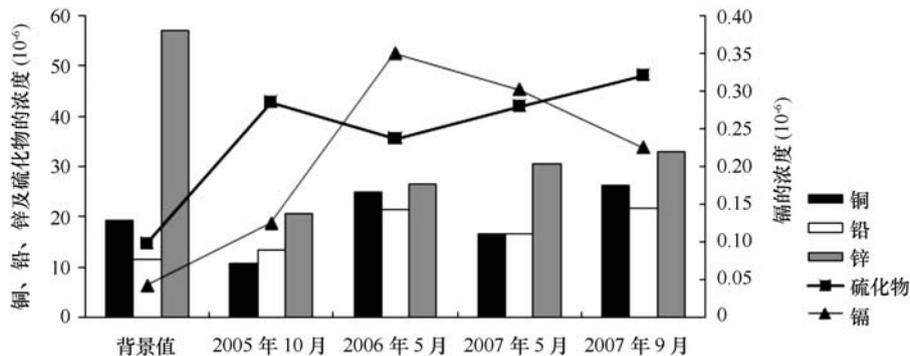


图3 沉积物中铜、铅、锌、镉及硫化物浓度与背景值的比较

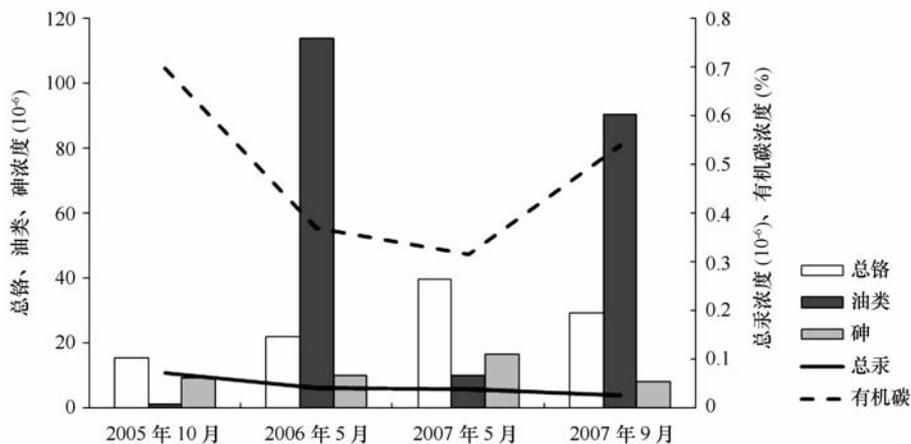


图4 沉积物中铬、油类、砷、汞及有机碳浓度变化趋势

3.3 海洋生物

3.3.1 叶绿素 a

相对低浓度的石油烃对海洋浮游植物生长有促进作用,可能成为某些海域,如日本近海、英吉利海峡、渤海等诱发赤潮的辅助因素^[20]。叶绿素 a 是海洋中初级生产者浮游植物生物量的一个重要指标,是浮游植物进行光合作用的主要色素,也是监视、监测赤潮的重要项目。

由表 3 可以看出,2005—2007 年 4 次监测的叶绿

素浓度均未超出富营养化的阈值 $1\sim 10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ^[21],这与水体中 COD 浓度的监测结果是一致的。

3.3.2 底栖生物

底栖生物样品的多样性指数、均匀度、丰度、优势度是反应调查海域底栖生物群落结构特点的一些重要参考指标,它们同时也可以反映出调查海域底质生态环境状况的优劣。本文选取 2005—2007 年春季的 3 次生物监测数据进行底栖生物现状的研究。

表 3 叶绿素 a 监测结果

时间	变化范围/ $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$	平均值/ $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$
2005 年 10 月	1.30~3.07	1.76
2006 年 5 月	2.64~6.61	3.90
2007 年 春季	1.51~4.79	2.99
2007 年 秋季	1.33~4.71	2.78

表 4 底栖生物样品多样性指数、均匀度、丰度、优势度

监测时间	多样性指数	均匀度	丰度	优势度
2005 年 10 月	3.21	0.93	1.37	0.37
2006 年 5 月	3.21	0.94	1.36	0.37
2007 年 5 月	2.52	0.91	0.94	0.50

Shannon-Wiener 多样性指数通常被认为是一个评价水域有机污染程度的有效工具。通过对大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数进行分级,可以初步评价调查区内沉积环境的有机污染状况。分级标准:多样性指数小于 1 为重度污染,大于 1 且小于 2 为中度污染,大于 2 且小于 3 为轻度污染,大于 3 为清洁^[22]。由表 4 可以看出,2007 年底栖生物栖息环境属轻度污染。2007 年春季多样性指数和丰度下降明显,优势度也有较大程度增长,棘皮动物在生物量组成中达到 50%,达到了历年监测的最高值。

影响海洋底栖群落的最常见的污染物是过量的有机质,主要由生活和工业污水造成。污水排放到有限水体中,时常导致富营养化,在最极端的情况下会导致整个沉积物缺氧和硫化氢的存在以及相应的动物区系消失,远离污染源动物的生物量和丰度出现迅速的增加;第二大类是重金属污染;第三类是多环芳烃(PAHS),主要包括海洋石油勘探开发过程中产生的污染物,如溢油、消油剂、钻井泥浆、燃料、洗压舱水和油田生产水等^[23]。由水质和沉积物的

监测结果可以看出,2007 年春季的水质及沉积物综合污染指数明显高于 2005 和 2006 年的,与生物状况的下降情况相符。

3.3.3 生物残毒

由表 5 的分析结果可以看出,从 2005 年至 2007 年生物体内残留石油烃、铅和总铬的浓度均明显增加。鱼类体内残留石油烃浓度从 2005 年的未检出增长至 2007 年 9 月的 9.97×10^{-6} ;贝类体内残留石油烃浓度从 2005 年的 1.95×10^{-6} 增长至 2007 年 9 月的 17×10^{-6} ,已超出海洋生物质量一类标准。鱼类体内铅浓度从 2005 年的 0.0449×10^{-6} 增长至 2007 年 9 月的 0.414×10^{-6} ;贝类体内铅浓度从 2005 年的 0.127×10^{-6} 增长至 2007 年 9 月的 4.11×10^{-6} ,贝类和甲壳类生物体内铅的含量明显超过一类标准,呈污染状态。鱼类体内铬浓度从 2005 年的 0.0578×10^{-6} 增长至 2007 年 9 月的 0.483×10^{-6} ;贝类体内铬浓度从 2005 年的 0.118×10^{-6} 增长至 2007 年 9 月的 1.92×10^{-6} ,其中 2006 年 5 月和 2007 年 9 月贝类体内铬浓度超过一类标准,受到铬的污染。

表 5 生物体内石油烃残留分析结果

调查时间	测试生物	类别	铅(湿重)	标准值	总铬(湿重)	标准值	石油烃(湿重)	标准值
			(10^{-6})		(10^{-6})		(10^{-6})	
2005 年 10 月	口虾蛄	贝类	0.544	0.1	0.17	0.5	2.44	15.0
	脉红螺		0.127		0.118		1.95	
	鲷	鱼类	0.153	2.0	0.11	2.0	—	20.0
	鰕虎鱼		0.0449		0.0578		—	
2006 年 5 月	扁玉螺	贝类	0.283	0.1	0.261	0.5	5.89	15.0
	四角蛤		0.398		0.74		10.1	
2007 年 5 月	鲷	鱼类	0.106	2.0	0.248	2.0	4.77	20.0
	脉红螺	贝类	0.406	0.1	0.181	0.5	8.4	15.0

续表 5

调查时间	测试生物	类别	铅(湿重) (10^{-6})	标准值	总铬(湿重) (10^{-6})	标准值	石油烃(湿重) (10^{-6})	标准值
2007 年 9 月	菲律宾蛤仔	贝类	2.06	0.1	1.92	0.5	17	15.0
	脉红螺		4.11		0.63		3.16	
	口虾蛄		1.77		0.747		3.8	
	日本蟳	甲壳类	2.05	2.0	0.746	2.0	7.04	20.0
	虾虎鱼	鱼类	0.414	2.0	0.449	2.0	4.53	20.0
	鲷		0.35		0.483		9.97	

4 结论

(1)在锦州 9-3 油田附近海域未发生富营养化,但是水体已受到油类污染。陆源排污和油田生产活动的共同影响导致水体中溶解态铅浓度严重超标,海域水体已经受到铅的污染。

(2)油田附近海域表层沉积物中石油类污染物浓度由于受陆源排污和油田开采活动的影响而有较大波动,4 次监测中硫化物和铜、铅、镉等重金属的含量已经明显高于背景值,虽然 4 次监测沉积物综合污染等级均为清洁,但沉积物质量总体呈下降趋势。

(3)海域表层海水叶绿素浓度未超出富营养化的阈值。2005 和 2006 年底栖生物生存环境较好;2007 年生物多样性指数属于轻度污染范围,底栖环境为非健康状态。底栖生物体内残留石油烃、铅和总铬的浓度均有明显增加,海域生态环境的变化已经开始对底栖生物的质量产生影响。

鉴于以上这些不可忽视的环境变化,建议相关部门及时采取有效措施,引进先进技术,最大限度地减少排放入海的污染物的数量,同时密切关注油田附近海域的环境质量变化,并且及时对已经污染的海水及沉积环境采取修复措施。

参考文献:

- [1] 肖祖骥. 起步中的中国海洋石油开发[J]. 油气田地面工程, 1987, 6(04): 50—52.
- [2] 姜太良, 赵德兴, 陈懋, 等. Sz36—1 油田海域水质和沉积物的现状及评价[J]. 海洋科学进展, 1991, 9(03): 25—32.
- [3] http://www.86ne.com/Energy/200801/Energy_103479.html.
- [4] 马媛, 高振会, 杨应斌, 等. 海上石油开采导致生态环境变化实例研究[J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 54—59.
- [5] 邱弋冰. 海洋石油开发工程环境影响后评价研究[D]. 青岛: 中国海洋大学环境科学与工程学院, 2006.
- [6] 何桂芳, 袁国明, 林端, 等. 海上油田开发对海洋环境的影响——以涠洲油田为例[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(02): 198—201.
- [7] GB17378—1998. 海洋监测规范[S].
- [8] GB18421—2001. 海洋生物质量监测技术规程[S].
- [9] GB12763—91. 海洋调查规范[S].
- [10] GB3097—1997. 海水水质标准[S].
- [11] GB18668—2002. 海洋沉积物质量[S].
- [12] 李建军, 冯慕华, 喻龙. 辽东湾浅水区水环境质量现状评价[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(03): 42—45.
- [13] 袁宇, 朱京海, 侯永顺, 等. 辽东湾入海污染物调查及海域水质安全分析[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(2): 12—16.
- [14] 方志刚, 穆云侠. 渤海辽东湾富营养化的趋势研究[J]. 环境保护科学, 2001, 27(105): 15—17.
- [15] 宛立, 王年斌, 周遵春, 等. 辽东湾北部海域夏季水质的综合评价[J]. 海洋湖沼通报, 2007(4): ××—××.
- [16] HOLDWAY D A. The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes[J]. Marine Pollution Bulletin, 2002, 44(3): 185—203.
- [17] 郝静, 李淑媛. 渤海辽东湾沉积物中 Cu, Pb, Zn, Cd 环境背景值初步研究[J]. 海洋学报, 1989, 11(6): 742—748.
- [18] 李任伟. 沉积物污染和环境沉积学[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 398—402.
- [19] 王继纲, 马启敏, 刘茜, 等. 渤海湾北部海域沉积物重金属 Cu, Zn 释放及动力学研究[J]. 海洋湖沼通报, 2007(1): 69—73.
- [20] 李克强, 王修林, 祝陈坚, 等. No. 0 柴油水溶组分海洋浮游植物生态效应研究[J]. 环境科学, 2007, 28(2): 304—308.

- [21] 周伟华,霍文毅,袁翔城,等. 东海赤潮高发区春季叶绿素 a 和初级生产力的分布特征[J]. 应用生态学报,2003,14(7): 1055—1059.
- [22] 刘录三,孟伟,李新正,等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: II. 生物多样性与群落结构[J]. 环境科学研究,2009(2): ××—××.
- [23] 张培玉. 渤海湾近岸海域底栖动物生态学与环境质量评价研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2005.

Present environmental status and assessment of Jinzhou 9-3 Oil Field

LU Fang^{1,2,3,4}, GAO Zhen-hui^{3,4}, JIA Yong-gang^{1,2}, YANG Dong-fang^{3,4}

(1. *Key Laboratory of Ministry of Education for Marine Environment & Ecology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China*; 2. *College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China*; 3. *North China Sea Monitoring Center, North China Sea Branch, State Oceanic Administration, Qingdao 266003, China*; 4. *Key Laboratory of State Oceanic Administration for Marine Spill Oil Identification and Damage Assessment Technology, North China Sea Branch, State Oceanic Administration, Qingdao 266003, China*)

Key words: petroleum exploitation; ocean; ecological environment; present status assessment; Jinzhou 9-3 Oil Field