

辽东湾水体中石油类的时空分布特征和污染状况*

王召会 吴金浩 胡超魁 刘桂英 王年斌
李 爱 田甲申 马志强^①

(辽宁省海洋水产科学研究院 辽宁省海洋环境监测总站 大连 116023)

摘要 根据 2013–2014 年春、夏、秋、冬季对辽东湾海域 8 个航次的调查资料,研究了水体中石油类的空间分布特征及季节变化趋势,分析了其污染状况,探讨了其污染来源。结果显示,辽东湾海域海水石油类含量范围为(0.003–0.239) mg/L,平均为 0.027 mg/L,随着季节周期性变化波动,整体呈下降的变化趋势;春、秋、冬季各航次均存在不同程度的海水水质超标现象,表底层石油类含量存在显著相关性,具有秋季>冬季>春季>夏季的季节变化趋势,石油类含量呈沿岸高于远岸,开放海域大于海洋保护区的平面分布特征。深入分析发现,石油类含量范围为 0.030–0.032 mg/L,分布区域面积最广,为 6960 km²,占调查海域的 27.0%;集中分布在辽东湾北部沿岸和西部近岸海域。石油类含量低于 0.024 mg/L 的区域分布面积为 2806 km²,占辽东湾调查面积的 10.9%,分布区域主要集中在大连斑海豹国家级自然保护区范围内。石油类含量高于 0.032 mg/L,区域分布面积为 1170 km²,仅占辽东湾调查面积的 4.5%,集中分布在辽东湾西部沿岸港口区海域。季节变化主要受机动渔船海上作业污染影响;陆源输入和人类海上活动的输入为辽东湾海域石油类主要来源。

关键词 辽东湾,石油类,分布特征,变化趋势

中图分类号 X55 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)03-0020-08

辽东湾位于渤海北部,西起河北省大清河口,东到辽东半岛南端老铁山角,面积为 3.3×10^4 km²,是我国纬度最高的海湾。辽东湾是我国重要的海上石油开采区,沿岸分布着秦皇岛港、锦州港、鲅鱼圈港、仙人岛港、长兴岛港等重要港口,石油开发、港口航运和陆源输入均有可能造成石油类污染物的注入。另外,辽东湾为典型半封闭海湾,湾内外水体交换缓慢,自身净化能力有限,石油类污染问题日益突出。

石油类成分是十分复杂的物质,含有多种难以被微生物降解的致癌化合物,其中的低分子量芳香族化合物,通常是摄入毒性效应的重要化学物质(Gilde *et al.*, 2012)。海洋是石油类污染物的最终汇聚地,随着开采、加工、使用石油类化合物总量的增加,通过各种途径进入海洋的石油类总量日益增加,石油类污染物已成为近岸海域的主要污染物之一(Zakaria *et al.*, 2000)。

国内已有一些关于辽东湾石油烃污染调查与评价方面的研究,王召会等(2016)根据 2013 年 6–8 月对辽东湾海域拖网采集的 127 个生物体样品石油烃含量测试结果显示,辽东湾海域生物体内石油烃污染状况处于较高水平;在水体方面,宛立等(2007)研究表明,2001–2004 年辽东湾北部海域表层水体夏季油类的污染状况为大凌河口海域石油类污染比较严重。而针对整个辽东湾海域石油类含量分布特征、变化趋势以及污染状况等则尚未见报道。为了解辽东湾海域石油类的污染程度,寻求应对污染的有效途径,根据 2013–2014 年 8 个航次的调查数据,对辽东湾表、底层海水中石油类含量及其影响因素进行深入的分析,揭示石油类在该海区的分布现状,阐述季节变化趋势,为辽东湾的海洋环境健康状况评价和生态环境保护提供科学依据,以利于该海区海洋生态健康和可持续发展。

*辽宁省海洋与渔业科研项目(201420、201303)资助。王召会, E-mail: king3708@163.com

① 通讯作者: 马志强, 副研究员, E-mail: mzq_1967@sina.com

收稿日期: 2015-08-24, 收修改日期: 2015-10-15

1 材料与方法

1.1 采样时间和站位设置

分别于 2013、2014 年的春季(5月)、夏季(8月)、秋季(10月)、冬季(12月)进行 8 个航次的调查, 调查范围自渤海老铁山角(辽东半岛南端)至绥中锚湾连线以北, 基本覆盖辽东湾海域, 调查面积约为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 垂直东西岸线布设 7 个断面, 共计 38 个站位(图 1)。10 m 等深线以浅站位采集表层水样(在海面以下 0.5 m 处采集), 深于 10 m 等深线站位采集表底层水样(底层水样在离海底 1 m 处采集)。采样时将 500 ml 棕色玻璃瓶固定于采油器中直接采集, 然后立即用 1:3 硫酸溶液调节至弱酸性(GB/T12763.4-2007), 并用 10 ml \times 2 无芳烃正己烷萃取, 萃取液密封后于(5 \pm 2) $^\circ\text{C}$ 条件下避光保存, 采用紫外分光光度法测定其石油类浓度(GB 17378.4-2007)。

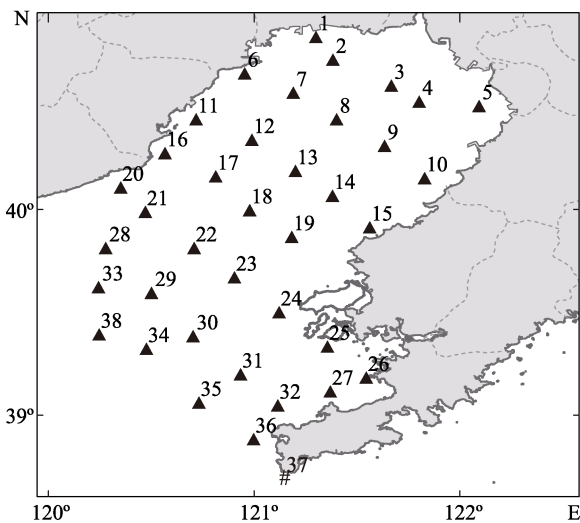


图 1 站位分布

Fig.1 Sampling locations

1.2 评价方法

选用变异系数来定量反映各站位之间石油类在空间尺度上波动程度的大小差异, 变异系数计算公式为(崔党群, 1994):

$$CV = SD / \bar{X}$$

式中, CV 为变异系数; SD 表示各站位石油类的标准差; \bar{X} 表示各站位石油类的平均值。

使用单因子指数法对水体中石油类质量进行评价, 其计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中, P_i 表示 i 站位石油类污染指数; C_i 和 S_i 分别为 i 站位石油类评价的实测数据和评价标准值,

$P_i > 1$ 表明调查海域石油类含量不能满足相应功能区划环境目标要求。本研究评价标准采用《海水水质标准》(GB3097-1997)进行评价。

1.3 数据分析

应用 Kolmogorove-Smirnov 检验法进行概率分布检验; 采用 Pearson 法进行表底层相关性分析; 采用 Mann-Kendall 统计方法对辽东湾石油类变化进行趋势分析(刘亮等, 2014), 以上分析方法均采用 SPSS 19.0 软件进行处理。

使用 Oringin8.5 绘制季节变化。采用 ArcGIS10.0 进行年度石油类平面分布叠加统计分析, 使用克里金法(Kriging)对未测点进行插值预测, 经栅格计算器(Raster Calculator)分析, 叠加海域年度 4 个航次平面分布图, 栅格转面(Raster to Polygon)工具转为矢量格式, 经融合(Coverage)工具合并同类项, 统计各石油类含量范围的区域面积。

2 结果与分析

2.1 辽东湾海域石油类含量水平

经 Kolmogorove-Smirnov 检验法进行的概率分布检验发现(表 1, 图 2), 2013 年的夏季和 2014 年的春、秋季石油类含量服从正态分布, 2013 年春、秋、冬季和 2014 年夏季 4 个航次虽为偏态分布, 但接近正态分布。因此, 以上 7 个航次可用样本的算术平均值描述随机变量的大小特征。而 2014 年冬季航次出现多个不规则的高值点, 经检验为非离群值, 其石油类含量不服从正态分布, 则算术平均值不能准确反映该变量的大小特征, 本研究用中位数(0.017 mg/L)来描述该航次石油类质量浓度变量的大小特征。辽东湾海域水体中各站位石油类均有检出, 其浓度范围为 0.003-0.239 mg/L, 平均浓度为 0.027 mg/L, 就各航次变异系数看, 2013 年春、夏、冬季和 2014 年春、夏、秋季 6 个航次变异系数较小, 属中等变异水平, 2013 年秋季和 2014 年冬季变异系数为高等变异水平(张乃明等, 2001), 表明各站位间水体中石油类含量在调查海域具有一定的空间离散度, 这可能是由于石油类污染物来源的偶然性和不确定性造成的。采取 Mann-Kendall 统计方法对辽东湾 8 个航次石油类含量按采样时间序列进行变化趋势分析, 结果发现, 辽东湾海域石油类含量随着季节变化有周期性波动, 但整体是下降的变化趋势($S=-12$, $P=0.089$)。表明近两年辽东湾海域石油类污染状况呈逐渐好转的态势。

1 号站位于龙栖湾港口航运区, 其环境保护目标

表 1 各航次调查石油类含量统计特征值

Tab.1 The statistical feature values of petroleum hydrocarbon concentration in eight voyages(mg/L)

航次 Voyage number	样品数 Amount of sample	分布类型 Distribution pattern	平均值 Mean	中位数 Median	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient	范围 Range
2013-05	67	偏态 Skew	0.031	0.025	0.013	0.42	0.014-0.076
2013-08	67	正态 Normal	0.023	0.021	0.008	0.35	0.006-0.046
2013-10	58	偏态 Skew	0.037	0.027	0.029	0.78	0.006-0.098
2013-12	68	偏态 Skew	0.037	0.031	0.016	0.43	0.017-0.107
2014-05	67	正态 Normal	0.025	0.022	0.009	0.36	0.008-0.056
2014-08	63	偏态 Skew	0.014	0.011	0.007	0.50	0.004-0.037
2014-10	64	正态 Normal	0.023	0.021	0.008	0.35	0.008-0.053
2014-12	64	偏态 Skew	0.029	0.017	0.043	1.48	0.003-0.239

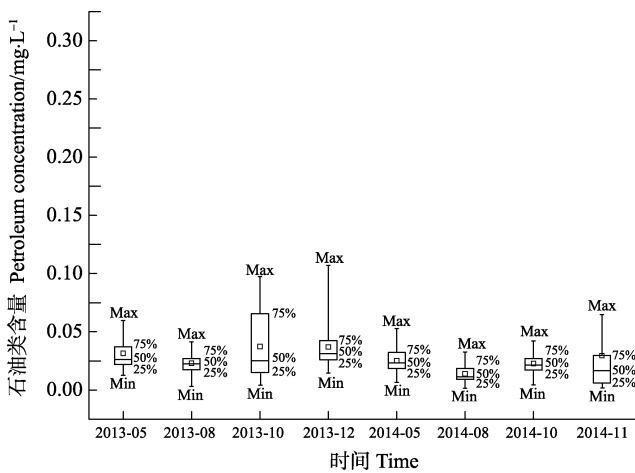


图 2 各航次间石油类含量变化

Fig.2 Changes in petroleum hydrocarbon concentration in different voyages

为水质执行第Ⅳ类海水水质标准(0.5 mg/L); 5 号站位处在营口海域保留区, 执行不低于第Ⅲ类海水水质标准(0.3 mg/L); 14、18、19、23、24、25、27、31、32 站位处在大连斑海豹国家级自然保护区内, 36 号站位于蛇岛自然保护区, 以上 10 个站位执行第Ⅰ类海水水质标准(0.05 mg/L); 2、3、4、6、10、11、16、20 位于农渔业区, 执行第Ⅱ类海水水质标准(海水水质标准第Ⅰ、Ⅱ类限值均为 0.05 mg/L), 其他站位离岸 12 n mile 以外不在功能区划范围内, 本研究执行海水水质第Ⅱ类标准。单因子评价结果显示, 2013、2014 年的夏季航次各站位石油类含量均满足其功能区环境管理目标要求, 其他航次调查海域石油类含量存在不同程度的超标现象, 其中, 2013 年秋季航次超标率最高为 25.9%, 其次为 2013 年的冬季航次, 其超标率为 16.2%; 2013 年春季和 2014 年冬季站位超标率基本持平, 分别为 10.4% 和 10.9%, 2014 年的秋季和春季超标率较低分别为 3.1% 和 1.5%。

2.2 水体中石油类的空间分布特征

2013-2014 两年间, 辽东湾海域石油类表层含量总体算术平均值为 0.027(0.003-0.176) mg/L, 略高于底层的 0.025(0.003-0.239) mg/L, 经 Pearson 相关性检验, 表底层数据显著相关($r=0.621$, $P < 0.01$), 表明表层石油类含量越高, 相应底层含量则越高。

2013 年表层石油类含量范围为 0.008-0.098 mg/L, 算术平均值为 0.033 mg/L, 略高于底层的 0.030 (0.006-0.107) mg/L。表、底层具有相似的平面分布特征见图 3。从图 3 可以看出, 高值区出现在葫芦岛港、锦州港为主的西部沿岸海域和大辽河口区, 低值区位于东南部长兴岛外部海域, 整体呈由东南向西北沿岸梯度递增的变化趋势。

2014 年表层石油类含量范围为 0.003-0.176 mg/L, 算术平均值为 0.024 mg/L, 略高于底层的 0.022

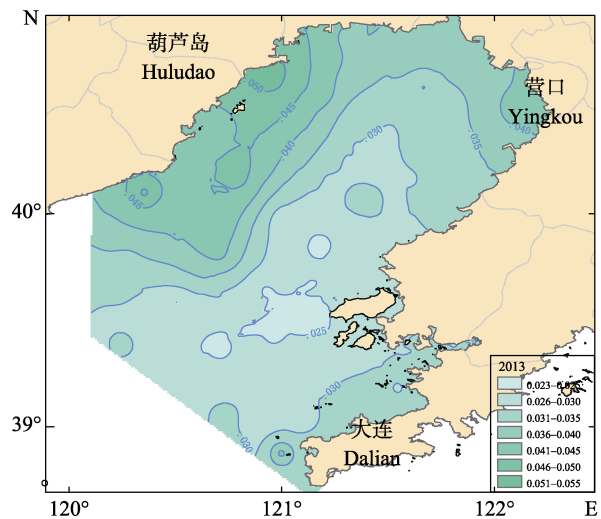


图 3 辽东湾海域石油类含量 2013 年叠加分布

Fig.3 The plane distribution of petroleum hydrocarbon concentration in surface seawater of Liaodong Bay in 2013

(0.003–0.239) mg/L, 表、底层石油类含量均明显低于 2013 年。2014 年辽东湾海域表层石油类平面叠加分布见图 4。从图 4 可以看出, 湾东北部辽河口和大辽河口区出现一个明显高值区, 同时, 形成呈东–西走向的舌状凸出等值面, 且等值面梯度由陡变转为平缓, 此为典型的河口区污染物分布特征, 表明该年度辽东湾海域石油类含量及其分布明显受到大辽河等沿岸河流径流携带大量石油类等污染物入海的影响。

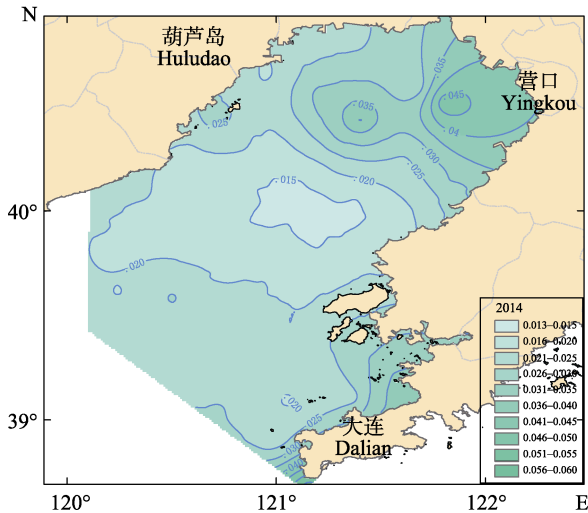


图 4 辽东湾海域石油类含量 2014 年叠加分布

Fig.4 The plane distribution of petroleum hydrocarbon concentration in surface seawater of Liaodong Bay in 2014

辽东湾海域近 2 年石油类含量、主要海洋保护区和海上污染源叠加分布见图 5。从图 5 可以看出, 石油类含量高值区出现在湾西部沿岸和北部沿岸, 其中, 西部沿岸主要为港口和河流聚集区, 有锦州港、葫芦岛港和秦皇岛港三大港口和六股河; 北部沿岸主要为河流和采油平台聚集区, 有大小凌河、辽河、大辽河等主要入海河流和辽河油田采油平台。低值区主要分布在大连斑海豹国家级自然保护区, 由于保护区内限制人类开发活动, 这在一定程度上减少了石油类污染物来源, 从而降低了该海域水体石油类含量。

辽东湾海域近 2 年各站位水体石油类均值范围、分布区域面积和所占调查区域比率见表 2。从表 2 可以看出, 石油类含量范围为 0.030–0.032 mg/L, 分布

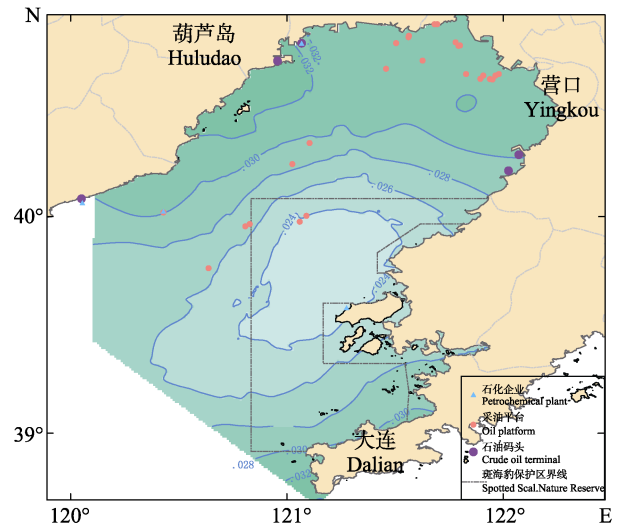


图 5 辽东湾海域近 2 年石油类含量、主要海洋保护区和海上污染源叠加分布

Fig.5 The superposition map of petroleum hydrocarbon concentration, marine protected area and pollution source of Liaodong Bay in recent two years

区域面积最广, 为 6960 km², 占辽东湾调查面积的 27.0%, 集中分布在辽东湾北部沿岸和西部近岸海域, 另外, 金州湾南部沿岸也有小范围分布; 其次为 0.026–0.028 mg/L, 分布区域面积为 5880 km², 占辽东湾调查面积的 22.8%, 集中分布在中部海域; 石油类含量低于 0.024 mg/L 的区域分布面积为 2806 km², 占辽东湾调查面积的 10.9%, 分布区域主要集中在大连斑海豹国家级自然保护区范围内。石油类含量高于 0.032 mg/L, 区域分布面积为 1170 km², 仅占辽东湾调查面积的 4.5%, 集中分布在辽东湾西部沿岸港口区海域。

2.3 水体中石油类季节变化趋势分析

各航次间石油烃含量的顺序依次为 2013 年秋 (0.037 mg/L)=2013 年冬 (0.037 mg/L)>2013 年春 (0.031 mg/L) > 2014 年春 (0.025 mg/L)>2014 年秋 (0.023 mg/L)=2013 夏 (0.023 mg/L)>2014 年冬 (0.017 mg/L)>2014 年夏季 (0.014 mg/L)。从表 3 可以看出, 整个辽东湾的水体石油类分布存在明显的季节差异。2013 年秋、冬季石油类含量最高, 其次为春季, 夏季最低; 2014 年春季最高, 其次为秋季和冬季, 夏季最低。表 3 显

表 2 辽东湾海域各站位水体石油类均值范围分布区域面积和区域比率

Tab.2 The distribution area and area ratio of petroleum hydrocarbon contents average in seawater of the Liaodong Bay

含量范围 Content range (mg/L)	0.024≤	0.024–0.026	0.026–0.028	0.028–0.030	0.030–0.032	> 0.032
面积 Area (km ²)	2806	4692	5880	4292	6960	1170
占区域比率 Proportion (%)	10.9	18.2	22.8	16.6	27.0	4.5

表 3 各季节石油类含量统计表

Tab.3 Statistics of petroleum hydrocarbon concentrations in different seasons

季节 Reason	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
样品数 Amount of sample	134	130	122	132
范围 Range (mg/L)	0.008–0.076	0.004–0.046	0.006–0.098	0.003–0.239
平均值±标准差(Mean±SD) (mg/L)	0.028±0.012	0.018±0.009	0.030±0.022	0.027±0.016
超标率 Exceed standard rate (%)	6.0	0	13.9	13.6

示,整体呈秋、春、冬、夏季依次减小的变化趋势。秋、冬、春季石油类含量虽依次减小但相差不大,夏季则明显小于其他 3 个季节;秋冬季节超标率最高,且两季基本持平,该季节出现多个分散的高值点,尤其是冬季航次,可能为海上无规律排污造成的。春季航次各站位之间石油类含量比较稳定,均值虽然略高于冬季航次,但超标率却明显低于该航次;夏季航次各站位石油类处于较低的含量水平,均满足其功能区环境管理目标要求。

3 讨论

3.1 水体石油类空间分布特征分析

石油溢入海洋后,因其密度比海水小故而漂浮在水面上,但它会以分子形式溶解于海水,在海流和波浪的作用下,不仅在水面上水平扩散,而且也向下垂直扩散,最终通过蒸发、溶解、光氧化、吸附、沉淀、生物降解等逐渐达到平衡,因此,一般表层石油类含量大于底层,且二者具有显著相关性。但是,如果溢油污染发生在底层海水,比如输油管道破裂、油轮触礁溢油或者采油平台泄漏,会出现个别站位表层石油类含量低于底层。环辽东湾主要河流近 5 年石油类入海量(辽宁省海洋与渔业厅,2010–2014)见表 4。由表 4 可以看出,大辽河 2014 年石油类污染物入海量虽不及辽河,但其近几年一直处于较高水平,为主要石油类污染物陆地输入源。因此,辽东湾东北部河口区历年来均为石油类含量高值区,这与本研究结果一致。由图 3、图 4 和图 5 可以看出,河流入海口、港口分布的沿岸海域和人类活动比较频繁,近岸海域石油类含量明显高于远岸海域,而禁止开发和受限制开

发的海洋保护区海域则为石油类含量的低值区,作者认为,陆源输入和人类活动的无规律输入为辽东湾海域石油类主要来源。

3.2 水体石油类季节变化趋势分析

辽东湾水体石油类季节变化趋势为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季,推测原因主要受机动渔船海上作业排污影响。每年的夏季(6–9 月)为辽东湾的禁渔期,此时,所有机动渔船锚定渔港,因此,辽东湾海域石油类含量为年度最小值;秋季辽东湾禁渔期解禁初期,沿岸各渔港泊靠的机动渔船涌入调查海域,排放的废机柴油污染物造成石油类污染,为该海域石油类含量最高值。夏、秋季节间石油类含量的差值可能就是渔船的贡献值。秋、冬季航次进入平水期和枯水期,陆源入海径流对调查区域的石油类污染物贡献减小,海上排污是调查海区的石油类的主要来源,这种排污方式最直接的表现形式就是污染物浓度呈比较分散的点源分布,无明显平面变化趋势。冬季航次由于天气和渔业资源减少等原因,海上作业船只相对减少,但此时海水温度较低,低水温不仅造成降解烃的微生物数量减少,而且微生物对石油类的降解率也降低,微生物最大降解活性在 10–20℃,在 4–30℃ 之间对柴油的降解率随温度的增加而增大,冬季调查期间水温为 4–5℃,此时,微生物降解活性最低(Kim *et al.*, 2010)。因此,冬季航次调查海域石油类含量仍处于较高水平。

春、冬季节海上光照不强,石油类的蒸发较弱;在夏季时,光照强度明显增大,海面石油类蒸发、分解和溶解速率增大,同时平衡吸附量减小,蒸发和分解使海水中石油类质量浓度降低,溶解和吸附量减小使石油类质量浓度增大。而蒸发对于石油类污染物的

表 4 近 5 年辽东湾主要河流石油类入海量

Tab.4 The amount of petroleum hydrocarbon into the Liaodong Bay from river in recent five years (t)

河流 River	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
大辽河 Daliao River	219	240.9	186.1	144.3	19.9
辽河 Liao River	217	100.9	47.1	122.1	86.7
小凌河 Xiaoling River	28	20.0	16.5	34.0	–
六股河 Liugu River	–	19.2	0.7	21.4	12.9

去除起着至关重要的作用,在正常海表条件下,石油溶解的速率仅是蒸发的0.1%(Kim *et al.*, 1996),所以前者对石油类质量浓度的影响要远大于后者;加上夏季海水出现最高温,微生物的活动能力随之提高,对石油类的降解能力增强,致使夏季海水中石油类质量浓度降低。

3.3 与其他海域水体石油类含量的比较

表5为国内部分海域各季节水体的石油类含量,分析方法均为紫外分光光度法。从表5可以看出,辽东湾海域水体石油类的含量略低于北黄海海域,明显低于长江口和深圳湾海域,整体处于较低含量水平;春季航次中辽东湾海域石油类含量略高于北黄海海域,明显低于其他南方海域;北黄海、长江口和深圳湾海域夏季航次石油类含量明显高于其他季航次,处于最高含量水平,而夏季为丰水期,表明径流入海为其他海域石油类污染物主要来源,而辽东湾海域夏季航次明显低于其他航次,表明海上机动渔船排污为石油类污染物主要来源;秋季航次各海域石油类含量最为接近,辽东湾、北黄海和流沙湾相差不大,低于深圳湾海域;冬季航次辽东湾海域石油类含量明显低于其他各海域,处于较低含量水平。

3.4 辽东湾石油类污染物来源分析

辽东湾为我国著名的天然渔场,辽宁省环辽东湾有渔港100余个,机动渔船31200余艘,每年向辽

东湾海域排放1300 t余石油类污染物(袁宇等, 2008),为辽东湾石油类污染物主要来源。辽宁省沿辽东湾海域直接入海有名可查的河流有60余条,流域面积在500 km²以上的有10条。这些河流携带上游地区污染物通过河口排入研究海域,形成入海污染源(袁宇等, 2008)。近3年来,2013年辽宁省辽东湾海域主要河流石油类入海量最高为706 t,其次为2012年的640 t,2014年降雨量剧减加上节能减排效果明显,其石油类入海量为239 t。陆源入海排污口每年排放的污水也给辽东湾海洋环境造成很大的压力,辽东湾沿岸陆源入海排污口大约有30个,2013年环辽东湾陆源排污口石油类入海量为21.1 t(辽宁省海洋与渔业厅, 2010–2014)。陆源径流携带石油类污染物入海为辽东湾石油类重要来源,夏季航次正处丰水期,环辽东湾入海河流和陆源排污口入海量均处年度高峰期,该航次石油类污染物含量分布特征呈由沿岸河口区向远岸梯度递减的变化趋势为重要例证。另外,船舶溢油灾害和石油平台溢油灾害为辽东湾石油类污染物重要来源,2000–2008年之间,辽宁海域共发生海损性船舶溢油事故52起,操作性船舶溢油事故93起,泄露油品及油水混合物1500 t余(国家海洋环境监测中心, 2011)。辽东湾北部海域的辽河油田采油带为我国重要海上采油区,近年该海域石油勘探和开发过程虽无重大溢油事故发生,但由于石油勘探和开发活动固

表5 不同海域水体石油类含量

Tab.5 The petroleum hydrocarbon concentrations in different seas

海域 Waters	季节 Season	含量范围 Content range(mg/L)	平均含量 Average content(mg/L)	资料来源 References
北黄海 Northern the Yellow Sea	春季 Spring	0.01–0.047	0.022	侯俊妮等(2011)
	夏季 Summer	0.043–0.154	0.099	
	秋季 Autumn	0.018–0.042	0.027	
	冬季 winter	0.012–0.178	0.051	
辽东湾 Liaodong Bay	春季 Spring	0.008–0.076	0.028	本研究
	夏季 Summer	0.004–0.046	0.018	
	秋季 Autumn	0.006–0.098	0.030	
长江口 Yangtze River Estuary	春季 Spring	0.070–0.130	0.095	李磊等(2014)
	夏季 Summer	0.050–0.180	0.103	
	深圳湾 Shenzhen Bay	春季 Spring	0.042–0.279	
夏季 Summer	0.065–0.406	0.214		
秋季 Autumn	0.033–0.139	0.063		
流沙湾 Liusha Bay	冬季 winter	0.022–1.130	0.277	李雪英等(2011)
	春季 Spring	0.041–1.930	0.219	
	夏季 Summer	0.010–0.090	0.032	
	秋季 Autumn	ND–0.044	0.014	
	冬季 winter	0.00–0.110	0.055	

有的溢油风险和其他海域已发生的溢油灾害,重大溢油风险依然存在。

4 结 论

(1) 2013–2014 年,辽东湾海域水体中石油类浓度范围为(0.003–0.239) mg/L,平均浓度为 0.027 mg/L,各站位间水体中石油类含量在调查海域具有一定的空间离散度,随着季节有周期性波动变化,整体是下降的变化趋势。2013、2014 年的夏季航次各站位石油类含量均满足其功能区环境管理目标要求,其他航次调查海域石油类含量存在不同程度的超标现象。

(2) 表底层石油类含量显著相关,石油类含量范围为(0.030–0.032) mg/L,分布区域面积最广,为 6960 km²,占辽东湾调查面积的 27.0%,集中分布在辽东湾北部沿岸和西部近岸海域。石油类含量低于 0.024 mg/L 的区域分布面积为 2806 km²,占辽东湾调查面积的 10.9%,分布区域主要集中在大连斑海豹国家级自然保护区范围内。石油类含量高于 0.032 mg/L 区域分布面积为 1170 km²,仅占辽东湾调查面积的 4.5%,集中分布在辽东湾西部沿岸港口区海域。

(3) 辽东湾水体石油类季节变化趋势为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季,可能受机动渔船海上作业排污影响。河流入海口、港口分布的沿岸海域和人类活动比较频繁近岸海域石油类含量明显高于远岸海域,而禁止开发和受限制开发的海洋保护区海域则为石油类含量的低值区,陆源输入和人类活动的无规律输入可能为辽东湾海域石油类主要来源。

参 考 文 献

辽宁省海洋与渔业厅. 辽宁省海洋环境质量公报. 沈阳: 辽宁省海洋与渔业厅, 2010–2014
刘亮, 王菊英, 胡莹莹, 等. 渤海近岸海域石油类污染变化趋势. 海洋与湖沼, 2014, 45(1): 88–93

张乃明, 李保国, 胡克林, 等. 太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征. 环境科学学报, 2001, 21(3): 349–353
李雪英, 孙省利, 赵利容, 等. 流沙湾海水中石油烃的时空分布特征研究. 生态环境学报, 2011, 20(5): 908–912
李磊, 蒋枚, 沈新强, 等. 长江口及邻近海域水体中石油烃分布特征及其污染评价. 环境化学, 2014, 33(8): 1366–1372
宛立, 田继辉, 马志强, 等. 辽东湾北部海域表层水体夏季油类的污染状况. 水产科学, 2007, 26(9): 515–517
国家环境保护局. 海水水质标准(GB3097–1997). 北京: 中国环境科学出版社, 1998
国家环境保护局. 环境影响评价技术导则地面水环境(HJ/T2.3–1993). 北京: 中国环境科学出版社, 1994
国家海洋局. 海洋监测规范(GB 17378.4–2007). 北京, 2007
国家海洋局. 海洋调查规范(GB/T12763.4–2007). 北京, 2007
国家海洋环境监测中心. 辽宁省海洋资源环境基本状况. 2011. 280–289
胡利芳, 孙省利, 李雪英, 等. 深圳湾海水石油烃分布特征及其相关因素的探讨. 广州海洋大学学报, 2010, 30(3): 99–102
侯俊妮, 张传松, 石晓勇. 北黄海石油烃含量的季节变化和分布特征. 渔业科学进展, 2011, 32(5): 121–125
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. 中国安全科学学报, 2008, 18(2): 12–16
崔党群. 生物统计学. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 34–35
Gilde K, Pinckney JL. Sublethal effects of crude oil on the community structure of estuarine phytoplankton. Estuaries and Coasts, 2012, 35(3): 853–861
Riazi MR, Edalat M. Prediction of the rate of oil removal from seawater by evaporation and dissolution. J Petrol Sci Eng, 1–996, 16(4): 291–300
Kim M, Yim HU, Hong SH, *et al.* HeBei Sprit oil spill monitored on site by fluorometric detection of residual oil in coastal waters off Tacan, Korea. Mar Pollu Bull, 2010, 60(3): 383–389
Zakaria MP, Horinouchi A, TsutsumiS, *et al.* Oil pollution in the Straits of Malacca, Malaysia: Application of molecular markers for source identification. Environ Sci Technol, 2000, 34(7): 1189–1196

(编辑 陈严)

Temporal and Spatial Distribution of Petroleum Hydrocarbon and the Pollution in Seawater of the Liaodong Bay

WANG Zhaohui, WU Jinhao, HU Chaokui, LIU Guiying, WANG Nianbin,
LI Ai, TIAN Jiashen, MA Zhiqiang^①

(*Liaoning Marine and Fisheries Science Research Institute, Liaoning Marine Environment Monitoring Station, Dalian 116023*)

Abstract Here we studied the seasonal, temporal and spatial distribution of petroleum hydrocarbon in the Liaoning Bay based on the all-year-around environmental monitoring data in 2013 and 2014. The source and degree of pollution were also analyzed and discussed. The range of petroleum hydrocarbon concentration in seawater was 0.003–0.239 mg/L with an average of 0.027 mg/L. The concentration tended to decrease over time and exhibited seasonal fluctuation. Petroleum hydrocarbon concentrations in spring, autumn and winter exceeded the limit of the national benchmark with varying degrees. There was a significant correlation between concentrations in the surface and bottom seawater. The petroleum hydrocarbon concentration varied in seasons (autumn > winter > spring > summer), and gradually decreased from inshore to offshore, and from open areas to protected areas. It could be concluded that regions with petroleum hydrocarbon concentrations of 0.030–0.032 mg/L, < 0.024 mg/L, and > 0.032 mg/L accounted for 27%, 10.9%, 4.5% of the total investigated sea area respectively. The region with a concentration of 0.030–0.032 mg/L had an region of 6960 km² and was mostly within the northern and western coastal region of the Liaodong Bay. The area with petroleum hydrocarbon concentration below 0.024 mg/L was 2806 km² and was mainly located in the Dalian harbor seal nature reserve. The smallest area was about 1170 km² in the western harbor area of the Liaodong Bay. Analysis also showed that seasonal variation in petroleum hydrocarbon concentration was affected by the pollution from fishing vessel operations, and that the major sources of petroleum hydrocarbon were the terrestrial inputs and marine anthropogenic activities.

Key words Liaodong Bay; Petroleum hydrocarbon; Distribution characteristics; Change trend

① Corresponding author: MA Zhiqiang, E-mail: mzq_1967@sina.com.