

渤海石油平台污损生物生态研究*

周 斌^{1①} 冯春辉¹ 刘 伟² 赵 升³

(1. 国家海洋局北海海洋工程勘察研究院 青岛 266061; 2. 山东省分析测试中心 济南 250014;
3. 国家海洋局北海环境监测中心 青岛 266033)

摘要 2013 年 9 月–2014 年 9 月在渤海海域进行了污损生物挂板试验, 共记录污损生物 24 种, 以温带种和广温种为主, 优势种是多棘麦秆虫(*Caprella acanthogaster*)、日本大螯蜚(*Grandidierella japonica*)、理石叶钩虾(*Jassa marmorata*)、拟钩虾(*Gammaropsis* sp.)等。季板分析结果显示, 表层季板的平均生物量为 1764.23 g/m², 中层季板的平均生物量为 2322.31 g/m²。试验海域全年均有污损生物附着, 但种类和附着量季节性差异明显, 污损生物附着盛期为夏季和秋季。污损生物群落 Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*)和 Margalef 丰富度指数(*d*)秋季最高。多元统计分析表明, 污损生物群落按时间可分为 3 个群落类型, 反映出渤海海域污损生物群落的季节变化明显。相关性分析显示, 表层和中层试板污损生物的生物量与水温具有显著的相关性, 相关系数分别为 0.959 和 0.986 ($P < 0.01$)。

关键词 污损生物; 群落结构; 渤海

中图分类号 Q178.532 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)03-0009-05

从 20 世纪 80 年代开始, 渤海石油生产进入商业开发阶段。目前, 渤海已建成的导管架结构石油平台已超过百余座。经过多年的运行, 部分平台导管架上污损生物附着现象较为严重, 海洋污损生物对平台导管架造成危害主要表现在两个方面(严岩, 1995; 严文侠等, 1995; 马士德等, 2000): (1)增大构件直径, 增加对波浪和海流的阻力, 造成结构物静力荷载和动力荷载增加; (2)直接冲破结构表面涂层或产生腐蚀代谢物, 通过提供微生物生长条件而间接地影响导管架腐蚀环境。荷载的增加和腐蚀的加剧导致平台存在较大的安全隐患, 特别是风暴潮期间可能使平台发生倾斜或倒塌, 造成重大经济损失并引发严重的生态灾难。

国内外学者对于海洋石油平台污损生物开展了大量研究(Sammarco *et al.*, 2004; Whomersley *et al.*, 2003; 严文侠等, 1994; 严涛等, 2000), 主要包括污损生物的生态调查研究, 污损生物附着机理的研究以及防除技术的研究开发。我国南海海域相关研究较多, 而渤海仅在 20 世纪 70 和 80 年代开展过污损生物调查

(黄宗国等, 1980; 林盛等, 1989; 王建军, 1991; 黄修明等, 1994), 此后, 渤海海域污损生物的研究鲜有报道。本研究文以渤海石油平台污损生物为研究对象, 通过挂板试验并借助多元统计方法, 掌握渤海石油平台污损生物群落的种类组成、结构特点及其演变规律, 分析污损生物附着的影响因素, 为渤海众多超期服役石油平台的改造和石油平台的建设提供防污设计参数, 提出污损生物防除建议, 降低因污损生物引起的平台安全风险。

1 材料和方法

2013 年 9 月–2014 年 9 月在渤海 CB30A 采油平台(118°55'36"E、38°11'37"N)进行了污损生物挂板试验, 平台所在海域平均水深为 12 m, 挂板位置见图 1。

挂板材料采用《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)中规定的环氧酚醛玻璃布层压板(简称“环氧板”), 其具有表面平整, 机械强度高的特点, 规格为 3 mm×80 mm×145 mm。按表层和中层挂放在 CB30A 平台导管架上,

* 国家海洋局青年海洋科学基金(2013115)资助。周 斌, E-mail: zhoubin@bhj.gov.cn

收稿日期: 2015-05-12, 收修改稿日期: 2015-07-06

表层板的上缘与水面齐平,中层板离水面 2.0 m。试板共 16 片,分别在 2013 年 9、12 月和 2014 年 3、6、9 月取放试板。标本处理及室内分析和资料整理均按《海洋调查规范》要求进行。试验过程中部分试板丢失,但各期、各层次均有代表性试板,生物学统计指标为各期、各层次各期、各层次的累计平均值。取试板时,采用 YSI6920-M 水质检测仪测定海水温度、pH、溶解氧和盐度等参数。

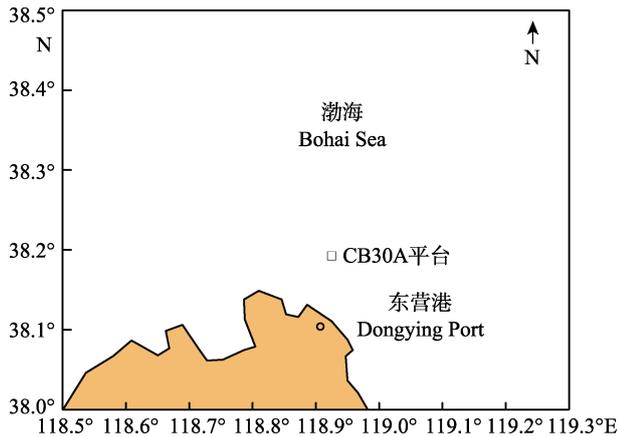


图 1 污损生物挂板位置

Fig.1 Sampling stations of fouling organisms

采用 Margalef 物种丰富度指数(d)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')以及种群优势度指数(Y)进行群落多样性分析,公示如下:

$$d = (S - 1) / \log_2 N$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

$$J' = H' / \log_2 S$$

$$Y = P_i f_i$$

式中, N 为样品中所有种类的总个体数目, S 为样品中的种类总数, P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个体数的比值, f_i 为第 i 种在所有站位出现的频率。

污损生物群落结构多变量统计分析采用 PREMIER7.0 软件,根据物种相对生物量进行 $\log(x+1)$ 变换,计算 Bray-Curtis 相似性系数矩阵,利用软件中的聚类分析(CLUSTER)和多维尺度排序(MDS)分析污损生物群落结构。

2 结果

2.1 种类组成和主要优势种

本次调查共记录污损生物 24 种(表 1),其中,动物 23 种,植物 1 种。在动物中,共发现节肢动物 9 种,棘皮动物、环节动物和软体动物各 3 种,腔肠动物 2 种,

脊索动物、纽形动物、苔藓动物各 1 种;在植物中发现绿藻 1 种。本次调查优势种为多棘麦秆虫(*Caprella acanthogaster*)、日本大螯蚤(*Grandidierella japonica*)、理石叶钩虾(*Jassa marmorata*)、拟钩虾(*Gammaropsis* sp.)。常见种有泥藤壶(*Balanus uliginosus*)、麦秆虫(*Caprella* sp.)、海筒蛄(*Tubularia marina*)、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)等。

2.2 附着量及时空变化

季板分析结果显示,表层季板的平均生物量为 1764.23 g/m²,中层季板的平均生物量为 2322.31 g/m²,试验海域污损生物的附着种类和附着量季节性差异明显,污损生物附着盛期为夏季和秋季。冬季污损生物附着量较小,表层板为 8.09 g/m²,中层板为 99.55 g/m²,表层板和中层板的面积覆盖率分别为 17.5%和 22.8%。冬季共发现污损生物 3 种,其中,表层 2 种,中层 3 种,群落结构较为单一;春季表层板和中层板附着量

表 1 污损生物种名录

Tab.1 List of fouling organisms

种类 Species	表层 Surface layer	中层 Middle layer
日本大螯蚤 <i>G. japonica</i>	+	+
多棘麦秆虫 <i>C. acanthogaster</i>	+	+
泥藤壶 <i>B. uliginosus</i>	+	+
青岛板钩虾 <i>Stenothoe qingdaoensis</i>	+	+
拟钩虾 <i>Gammaropsis</i> sp.	+	+
麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.		+
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	+	
理石叶钩虾 <i>J. marmorata</i>	+	+
河螺赢蚤 <i>Corophium acherusicum</i>	+	+
海葵 Actiniidae		+
沙蚕 <i>Nereis</i> sp.		+
多齿围沙蚕 <i>Perinereis nuntia</i>	+	
裂虫 Syllidae		+
细雕刻肋海胆 <i>Temnopleurus oreumaticus</i>	+	
蛇尾 Ophiuroidea		+
马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>		+
苔藓动物 Bryozoa	+	+
玻璃海鞘 <i>Ciona intestinalis</i>	+	
纽虫 Nemertinea	+	
长牡蛎 <i>C. gigas</i>	+	
经氏壳蛞蝓 <i>Philine kinglipini</i>	+	
土加蚺 <i>Tugali</i>	+	
缘管浒苔 <i>Enteromorpha linza</i>	+	+
海筒蛄 <i>T. marina</i>	+	+

变化不大, 3-6 月海筒蛄开始附着, 表层板和中层板面积覆盖率分别为 35.6% 和 41.2%; 由于海筒蛄、玻璃海鞘和泥藤壶的大量附着导致生物量显著增加, 春季共发现污损生物 4 种, 其中, 表层 2 种, 中层 4 种; 夏季表层板附着量为 2888.67 g/m², 中层板为 4697.14 g/m², 面积覆盖率均为 100%, 共发现污损生物 13 种, 其中表层 9 种, 中层 9 种; 秋季表层板和中层板的附着量分别达到 4155.78 g/m² 和 4371.77 g/m², 面积覆盖率均为 100%, 共发现污损生物 13 种, 其中, 表层 10 种, 中层 8 种, 对于附着量贡献较大的污损生物主要有长牡蛎、马粪海胆、缘管浒苔、苔藓动物等。

2.3 群落多样性

多样性指数 H' 和均匀度指数 J' 在周年的变化趋势基本一致(表 2)。采集到的污损生物的丰富度指数为秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季; 多样性指数为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季; 均匀度指数为春季 > 秋季 > 冬季 > 夏季; 优势度指数冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季。

表 2 不同季节的污损生物群落指数

Tab.2 Community indices of the fouling organism in different seasons

群落指数 Community indices	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
丰富度 d	0.207	0.243	0.789	0.866
多样性 H'	0.787	1.191	0.534	2.114
均匀度 J'	0.394	0.596	0.144	0.571
优势度 D	0.988	0.963	0.950	0.697

2.4 群落特征

依据 Bray-Curtis 相似性系数聚类分析和多维尺度排序, 污损生物在 30% 的相似性水平上可划分为 3 个群落类型(图 2、图 3)。群落 I 种类少、优势度高, 以端足类的日本大螯蜚和多棘麦秆虫为主, 出现在水

温较低的冬季和春季; 群落 II 出现在夏季, 显著特征是海筒蛄大量附着, 在表层和中层试板其面积覆盖率均达到 100%, 其生物量所占权重也是最大的, 理石叶钩虾等端足类附着在海筒蛄基部。群落 III 出现在水温较高的秋季, 种类多、生物量大, 个体较大的长牡蛎占据附着生物量的绝对优势。

2.5 群落结构与环境因子的相关性

采用 SPSS19.0 软件对试板中污损生物的生物量与温度、DO、pH、盐度进行相关性分析(表 3-表 5)。

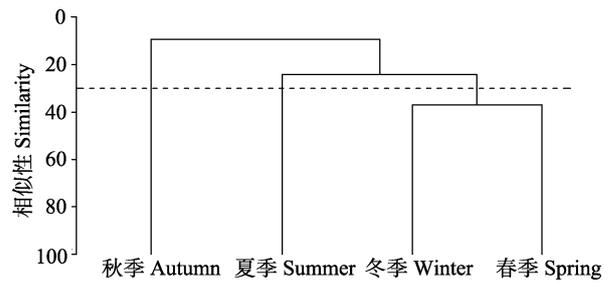


图 2 污损生物群落聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of fouling organism communities



图 3 污损生物群落多维尺度排序

Fig.3 MDS analysis of fouling organism communities

表 3 季板中污损生物的生物量和环境参数

Tab.3 Biomass and environmental parameters of the fouling organism in different seasons

季节 Season	层次 Layer	生物量 Biomass (g/m ²)	温度 Temperature (°C)	溶解氧 DO (mg/L)	酸碱度 pH	盐度 Salinity
冬季 Winter	表层 Surface layer	8.09	0.79	9.19	7.83	29.81
	中层 Middle layer	99.55	0.80	8.95	7.98	29.81
春季 Spring	表层 Surface layer	4.39	5.30	9.47	7.95	27.05
	中层 Middle layer	120.79	5.29	9.57	7.94	27.05
夏季 Summer	表层 Surface layer	2888.67	22.94	8.81	7.98	28.94
	中层 Middle layer	4697.14	22.98	8.76	7.99	28.91
秋季 Autumn	表层 Surface layer	4147.56	23.25	7.18	8.07	28.98
	中层 Middle layer	4366.58	23.42	7.25	8.08	28.77

表 4 表层试板污损生物的生物量与环境参数的相关性分析矩阵

Tab.4 Pearson correlation coefficients of biomass and environmental parameters on the surface panels

项目 Items	生物量 Biomass	温度 Temperature	溶解氧 DO	酸碱度 pH	盐度 Salinity
生物量 Biomass	1.000	0.959*	-0.889	0.853	0.258
温度 Temperature		1.000	-0.732	0.858	0.107
溶解氧 DO			1.000	-0.777	-0.314
酸碱度 pH				1.000	-0.266
盐度 Salinity					1.000

*表示皮尔逊相关指数($P<0.01$)

* Pearson correlation coefficients ($P<0.01$)

表 5 中层试板污损生物的生物量与环境参数的相关性分析矩阵

Tab.5 Pearson correlation coefficients of biomass and environmental parameters on the middle panels

项目 Items	生物量 Biomass	温度 Temperature	溶解氧 DO	酸碱度 pH	盐度 Salinity
生物量 Biomass	1.000	0.986*	-0.702	0.699	0.204
温度 Temperature		1.000	-0.697	0.690	0.050
溶解氧 DO			1.000	-1.000	-0.371
酸碱度 pH				1.000	0.390
盐度 Salinity					1.000

*表示皮尔逊相关指数($P<0.01$)

* Pearson correlation coefficients ($P<0.01$)

从表 3–表 5 中可以看出, 表层和 中层试板污损生物的生物量与水温具有显著的相关性, 相关系数分别为 0.959 和 0.986 ($P<0.01$)。

3 讨论

渤海主要入海河流约 45 条, 黄河、海河、辽河三大流域, 七个水系, 年入海泥沙为 $13 \times 10^8 \text{t}$ (杨建强等, 2013), 大量泥沙入海使渤海海域海水呈透明度小、盐度低的特点, 且年水温差较大, 冬季水温偏低。上述环境特征对渤海海域污损生物群落特征起到了决定作用, 与黄海、东海和南海相比(严涛等, 2003,

2008; 刘勳伶等, 2006; 方芳等, 2004), 其种类组成较为简单, 以温带种和广温种为主。

污损生物附着的种类、生物量等受多种因素制约(齐占会等, 2010; 陈翔峰等, 2011; 李恒翔等, 2010; 林和山等, 2014; 黄宗国, 2008), 渤海 CB30A 平台海域污损生物的生物量与海水温度的相关性明显随着海水温度的升高, 污损生物生长的速度加快, 相应的其生物量显著增大。污损生物的附着量表层与中层存在一定差异, 中层试板生物量高于表层试板, 研究海域潮差为 1.0–1.8 m (沈汉红, 2008), 表层试板受到潮差影响可能干露, 造成表层试板和中层试板生物量的差异。

秋季采集的样品种类和数量均较多, 各物种间数量差距较小, 导致秋季样品的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数较高, 优势度较低, 群落结构最稳定; 夏季采集的样品种类和数量较多, 但是理石叶钩虾数量远多于其他物种, 从而导致夏季样品优势度和丰富度指数较高, 多样性指数、均匀度较低; 冬季和春季采集到的样品中, 生物种类和数量都低于夏季和秋季样品。因此, 这两个季节样品的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数较低, 介于夏季和秋季之间; 冬季和春季样品中, 日本大螯蜚和多棘麦秆虫数量均占明显优势, 导致这两个季节的优势度较高。

本研究结果显示, 渤海 CB30A 平台海域全年都有污损生物附着, 附着盛期为夏季和秋季。群落结构的聚类分析和多维尺度排序表明, 污损生物群落按时间可分为 3 个群落类型, 反映出渤海海域污损生物群落的季节变化明显。优势种为多棘麦秆虫、日本大螯蜚、理石叶钩虾、拟钩虾。常见种有泥藤壶、麦秆虫、海筒螈和长牡蛎等。由于牡蛎等石灰质外壳污损生物对平台荷载增加作用明显, 应作为石油平台污损生物防除的重点。

参 考 文 献

- 马士德, 孙虎元. 海洋污损生物对碳钢腐蚀的影响. 中国腐蚀与防护学报, 2000, 20(3): 177–182
- 方芳, 严涛. 南海污损生物研究的现状及展望. 热带海洋学报, 2004, 23(1): 76–85
- 王建军. 黄渤海沿岸污损生物中的多毛类. 动物学报, 1991, 10(5): 52–58
- 齐占会, 方建光, 张继红, 等. 桑沟湾贝藻养殖区附着生物群落季节演替研究. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 72–77
- 刘勳伶, 严涛. 南海污损生物生态研究进展. 海洋通报, 2006, 25(1): 84–91
- 李恒翔, 严岩, 何伟宏, 等. 北部湾白龙半岛邻近海域污损生物生态研究. 热带海洋学报, 2010, 29(3): 108–113
- 沈汉红. 埕岛油田海域气象规律研究与应用. 海岸工程, 2008,

- 29(4): 11-22
- 杨建强, 冷宇. 渤海水体环境生物生态调查与研究. 北京: 海洋出版社, 2003, 1-2
- 陈翔峰, 侯健, 穆振军, 等. 海洋污损生物变化及附着规律研究. 材料开发与应用, 2011, 26(1): 24-28
- 严文侠, 董钰, 王华接, 等. 南海北部石油开发区海洋污损生物研究. 海洋技术, 1995, 14(4): 57-59
- 严文侠, 董钰, 王华接, 等. 近海污损生物的调查方法. 热带海洋, 1994, 13(4): 81-86
- 严岩. 海洋污损生物对近海平台钢结构的影响. 南海研究与开发, 1995(3): 33-36
- 严涛, 严文侠, 董钰, 等. 北部湾近海结构物污损生物研究. 海洋学报, 2000, 22(4): 137-146
- 严涛, 严文侠, 董钰, 等. 珠江口东南近海海区污损生物研究. 海洋学报, 2003, 25(6): 117-125
- 严涛, 曹文浩. 黄、渤海污损生物生态特点及研究展望. 海洋学研究, 2008, 26(3): 107-118
- 林和山, 王建军, 郑成兴, 等. 泉州湾污损生物生态研究. 海洋学报, 2014, 36(4): 100-109
- 林盛. 黄渤海沿岸污损生物中的腔肠动物. 动物学报, 1989, 35(3): 341-343
- 黄宗国. 海洋污损生物及其防涂(下册). 北京: 海洋出版社, 2008, 88-131
- 黄宗国, 李传燕, 张良兴, 等. 渤海湾附着生物生态. 海洋学报, 1980, 2(3): 111-122
- 黄修明, 尹建德, 刘建军, 等. 渤海石油平台附着生物生态的研究. 海洋科学集刊, 1994, 35: 131-141
- Sammarco PW, Atchison AD, Boland GS. Expansion of coral communities within the Northern Gulf of Mexico via offshore oil and gas platforms. Mar Ecol-Prog Ser, 2004, 280(1): 129-143
- Whomersley P, Picken GB. Long-term dynamics of fouling communities found on offshore installations in the North Sea. J Mar Biol Assoc UK, 2003, 83(5): 897-901

(编辑 陈严)

Ecological Research of Fouling Organisms on the Offshore Platform in Bohai Sea

ZHOU Bin¹Ⓐ, FENG Chunhui¹, LIU Wei², ZHAO Sheng³

(1. Marine Engineering Prospecting Institute of North China Sea, SOA, Qingdao 266061; 2. Shandong Analysis and Test Center, Jinan 250014; 3. North China Sea Environment Monitoring Center, SOA, Qingdao 266033)

Abstract Fouling organisms have caused great damages to offshore platforms in the sea. Some reports have discussed the impacts of fouling organisms on offshore platforms, however, little is known about the situation in the Bohai Sea. In this study, we investigated the species composition, structural characteristics, evolving rules, and factors of fouling organism attachment on offshore platforms in the Bohai Sea, by means of a series of artificial test panel experiments and multiple statistical analyses. The artificial test panel experiments in the Bohai Sea were conducted from September 2013 to September 2014, and we identified a total of 24 species the majority of which were temperate and eurythermal species. The dominant species were *Caprella acanthogaster*, *Grandidierella japonica*, *Jassa marmorata* and *Gammaropsis* sp. etc. The seasonal panel tests showed that the average biomass on the surface panels and the middle panels were 1764.23 g/m² and 2322.31 g/m² respectively. Settlements of fouling organisms occurred throughout the year particularly in summer and autumn, indicating an obvious seasonal variation in species and biomass. The Shannon-Wiener Diversity Index and the Margalef Richness Index were at the highest level in autumn. The multivariate analysis showed that there were three types of fouling organism communities in chronological order, which implied an apparent seasonal variation of fouling organisms in the Bohai Sea. There was significant correlation between the water temperature and the biomass of fouling organisms on the surface and middle panels, and the correlation coefficient was 0.959 and 0.986 respectively ($P < 0.01$). These results provided valuable information on anti-fouling designs for both the restoration of overly used offshore platforms and the construction of new platforms in the Bohai Sea. Moreover, our study could serve as important reference on the prevention and elimination of fouling organisms, and therefore could help reduce security risks of offshore platforms.

Key words Fouling organism; Community structure; Bohai Sea

Ⓐ Corresponding author: ZHOU Bin, E-mail: zhoubin@bhfj.gov.cn