

# 基于 PSR 框架的中国海洋垃圾状况综合评价方法研究

高磊<sup>1,2</sup>, 张蒙蒙<sup>1,2</sup>, 曹婧<sup>1,2</sup>, 姚海燕<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局北海环境监测中心 青岛 266033; 2. 国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室 青岛 266033)

**摘要:** 文章针对我国海洋垃圾监测与评价尚无技术标准的现状, 建立了一套适用于我国近海的基于 PSR(压力-状态-响应) 指标框架的海洋垃圾综合评价体系, 该评价体系可较好地反映区域海洋垃圾状况, 具有全面性、独立性和可操作性, 以期为更好地开展监测评价工作、保护海洋环境提供参考和借鉴。

**关键词:** 海洋垃圾; 环境保护; 海洋监测

中图分类号: P7

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2016)09-0070-05

## Comprehensive Evaluation Method of Marine Debris Based on PSR Framework

GAO Lei<sup>1,2</sup>, ZHANG Mengmeng<sup>1,2</sup>, CAO Jing<sup>1,2</sup>, YAO Haiyan<sup>1,2</sup>

(1. North China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Qingdao 266033, China; 2. Laboratory of Marine Spill Oil Identification and Damage Assessment Technology, SOA, Qingdao 266033, China)

**Abstract:** A comprehensive evaluation method for marine debris has been built based on PSR (Pressure-State-Response) framework, in view of the present situation of that there is no technical standard for the monitoring and assessment of marine debris in China.

**Key words:** Marine debris, Environmental protection, Ocean monitoring

海洋垃圾是指在海洋和海岸环境中具有持久性的、人造的或经加工的被丢弃的固体物质, 是在全球海洋中遍布最广、最困扰世界各国的海洋环境污染问题之一, 反映人类活动对海洋环境的影响<sup>[1]</sup>。海洋垃圾分布在世界所有海域, 以近海沿岸和公海区域居多, 其来源可以分为海洋和陆地两大类, 对海洋-海岸生态系统和海洋生物有巨大负面影响<sup>[2]</sup>, 威胁人类健康, 造成重大经济损失。海洋垃圾污染问题直接产生于人类的认知传统和对有关物质的不当处置方式, 随着人们对海洋开发和利用的

不断开展和深化, 海洋垃圾数量正在增加<sup>[3]</sup>。

世界各国均采用海洋垃圾监测方法<sup>[4-6]</sup>以了解海洋垃圾现状, 但对于海洋垃圾的评价方法尚未见报道。我国海洋垃圾监测工作已开展多年, 目前尚未有关于海洋垃圾监测与评价的技术标准, 对于监测结果只能量化而无法定性分析, 亟须开展海洋垃圾评价方法研究。本研究尝试通过建立一套适用于我国近海的基于 PSR 指标框架的海洋垃圾综合评价体系, 通过普查我国海洋垃圾现状划分评价标准, 利用层次分析法制定指标权重, 进而确定评价

收稿日期: 2016-03-07; 修订日期: 2016-07-22

基金项目: 2015 年度北海分局海洋科技项目 (2015B03); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室 2015 年度开放基金项目 (201501)。

作者简介: 高磊, 工程师, 研究方向为海洋环境监测与评价, 电子信箱: gaolei@bhj.gov.cn

通信作者: 姚海燕, 高级工程师, 硕士, 研究方向为海洋管理, 电子信箱: yaohaiyan@bhj.gov.cn

海域的海洋垃圾等级;从而有利于开展海洋垃圾监测评价工作,了解海洋垃圾现状,采取更好的措施保护海洋环境。

## 1 我国海洋垃圾监测评价现状

海洋垃圾污染已越来越引起人们的重视,海洋垃圾监测正成为各国和国际社会普遍采用的控制海洋垃圾污染的措施。在进行大量调查研究以及借鉴国内外先进监测评价技术方法的基础上,结合我国实际情况,国家海洋局组织编制《海洋垃圾监测技术指南》;2007年在我国近岸海域选择有代表性的区域,试点开展海洋垃圾监测;2008年起我国近海海域全面开展海洋垃圾监测工作,监测内容包括海滩垃圾、海面漂浮垃圾,以及海底垃圾的种类、数量、重量、来源等,目前正在准备开展海洋微塑料垃圾监测。通过开展海洋垃圾监测工作,全面掌握近岸海域海洋垃圾持续存量状况,为全面准确评价海洋环境状况提供科学依据。同时,为引起政府和公众的高度重视,国家海洋局每年编制《中国海洋环境状况公报》,为进一步指导沿海地方政府及有关部门制定具有针对性的预防和控制措施以及解决海洋垃圾污染问题提供有效的基础数据。

我国海洋垃圾监测业务开展较晚,尚存在一些不足,目前最大的问题是海洋垃圾监测与评价技术标准尚未出台,不能满足日益深化的海洋环境监测

需求。海洋垃圾监测结果只能量化,无法定性分析,也无法判定监测区域海洋垃圾状况的等级。因此,亟须开展海洋垃圾评价方法研究。

## 2 近岸海洋垃圾评价方法构建

### 2.1 评价区域划分

本方法中的近岸海域是指-20 m等深线至海岸线的海域,包括河口、海湾、海岸带。

### 2.2 评价指标和标准

以压力-状态-响应模式(PSR)为基本框架,评价指标包括3类,即海洋垃圾压力指标、状态指标和响应指标。

PSR概念模型是经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)共同提出的环境诊断模型,即压力(Pressure)-状态(State)-响应(Response)模型<sup>[7]</sup>。PSR模型是目前国际最为流行的指标体系构建方法,被多个政府和组织认为是用于环境指标组织、环境现状汇报最有效的框架<sup>[8]</sup>。

压力指标反映人类活动给环境造成的负担,体现为海洋垃圾的密度。选用评价海域海面漂浮大块垃圾、海面漂浮中小块垃圾、海滩垃圾、海底垃圾等,随着海洋垃圾监测业务的深入开展,可增加新的监测项目作为压力指标。引用2008—2014年《中国海洋环境状况公报》中的海洋垃圾监测数值作为中国近岸海洋垃圾的本底值(表1)。

表1 2008—2014年海洋垃圾监测数值<sup>[9-15]</sup>

年份	海面漂浮大块垃圾量/(个·km <sup>-2</sup> )	海面漂浮中小块垃圾量/		海滩垃圾量/		海底垃圾量/	
		(个·km <sup>-2</sup> )	(kg·km <sup>-2</sup> )	(个·km <sup>-2</sup> )	(kg·km <sup>-2</sup> )	(个·km <sup>-2</sup> )	(kg·km <sup>-2</sup> )
2008	10	1 200	22	8 000	296	400	621
2009	20	3 700	8	12 000	698	200	489
2010	22	1 662	9	30 000	770	759	90
2011	17	3 697	10	62 686	1 114	2 543	336
2012	37	5 482	14	72 581	2 494	1 837	127
2013	29	2 819	15	70 252	1 622	575	36
2014	30	2 206	20	50 142	3 119	720	100
最小值	10	1 200	8	8 000	296	200	36
最大值	37	5 482	22	72 581	3 119	2 543	621

状态指标反映环境质量、自然资源与生态系统的状态,体现为所在功能区的状态,即海洋垃圾对功能区的危害程度。海洋垃圾的危害主要分3个方

面,即危害海洋生物、影响海洋旅游业以及干扰航行船舶安全<sup>[16]</sup>。

因此,滨海旅游度假区、海水浴场等公众关注

度较高的区域应将影响海洋旅游业作为状态指标中的主要指标,其他 2 项为次要指标;海水增养殖区、海洋保护区等应将危害海洋生物作为状态指标中的主要指标,其他 2 项为次要指标;港口航运区等应将干扰航行船舶安全作为状态指标中的主要指标,其他 2 项为次要指标。主要指标应在评价时适

当增加权重。

响应指标反映人类面临环境问题时所采取的对策与措施,可通过预期未来一段时间内(5 年)海洋垃圾监测数量的年变化率来反映,以预测评价海域海洋垃圾状态的发展趋势。

各类评价指标的评价标准如表 2 所示。

表 2 近岸海域海洋垃圾评价指标和分级标准

指示因子	评价指标		评价标准			权重
			低	中	高	
压力 $A_1$	海面漂浮大块垃圾 $B_1$	(个·km <sup>-2</sup> )	<10	10~40	>40	0.113
	海面漂浮中小块垃圾 $B_2$	(个·km <sup>-2</sup> )	<1 200	1 200~5 500	>5 500	0.061
		(kg·km <sup>-2</sup> )	<10	10~20	>20	
	海滩垃圾 $B_3$	(个·km <sup>-2</sup> )	<8 000	8 000~72 000	>72 000	0.061
		(kg·km <sup>-2</sup> )	<300	300~3 000	>3 000	
	海底垃圾 $B_4$	(个·km <sup>-2</sup> )	<200	200~2 000	>2 000	0.033
		(kg·km <sup>-2</sup> )	<60	60~600	>600	
	状态 $A_2$	影响海洋旅游业 $B_5$		影响较小	有影响	影响较大
危害海洋生物 $B_6$			0.288			
干扰航行船舶安全 $B_7$			0.105			
响应 $A_3$	未来 5 年变化预期 $B_8$		<-10%	-10%~+10%	>+10%	0.195

## 2.3 指标说明

各类指标分为 3 级,即低、中、高(从最好到最差),其得分分别为 3 分、2 分和 1 分。压力指标中部分监测项目有 2 种评价标准,得分取决于分数最低的指标分值;如有未监测项目,评价时该项分值为其他几项分值的平均值。

## 2.4 海洋垃圾级别划分方法

采用海洋垃圾评价指数:

$$P = \sum_{i=0}^n W_i I_i$$

式中: $I_i$  是各类指标的得分; $W_i$  为不同指标的权重。当  $P > 2.33$  时为低海洋垃圾状态,当  $1.67 < P < 2.33$  时为中海洋垃圾状态,当  $P < 1.67$  时为高海洋垃圾状态。

## 3 说明与讨论

### 3.1 评价指标的选取

#### 3.1.1 压力指标及标准的选取

数据的选取应参照相应技术标准分类等级的上限和下限,但由于目前海洋垃圾监测方面的国家

标准或行业标准均未出台,只能参照近年来各监测项目的最大值及最小值。取值规则为尽量取整、不相差数量级、剔除较离散数据,该数值可在进一步研究中探讨。

我国海洋垃圾监测业务尚处于起步阶段,虽然监测工作已经取得较大成绩,但仍需要改进。当前海洋垃圾监测区域的选择以旅游度假区为主,港口及生态敏感区较少;海滩垃圾监测区域的选择以日常清扫海滩为主,无人海滩较少,监测站点代表性需加强。同时,海底垃圾污染形势严峻<sup>[17]</sup>,资料显示,垃圾进入海洋大约有 70% 沉降至海底、15% 漂浮在水体表面、15% 驻留在海滩上<sup>[18]</sup>。目前我国因潜水设备不足等导致海底垃圾监测不能全面开展,只是选测任务,是海洋垃圾监测体系的重大缺失。此外,针对我国目前海洋垃圾监测现状,无法根据各区域的特点制定各区域的本底值,因此选取近 7 年全国近岸海洋垃圾的数量作为全国压力指标的本底值,以大量的数据来弥补部分区域监测质量的

不足。

### 3.1.2 状态指标及标准的选取

海洋垃圾对人类、海洋生物及环境的危害是多方面的。最直观的影响是造成视觉污染,影响海滨景观;通过使海底生物(包括珊瑚和海草)窒息、运输外来物种等方式直接或间接危害海洋生物和生态环境,海洋动物误食或被缠绕会对其产生危害甚至造成其死亡;漂浮于海面的垃圾会遮蔽阳光进而阻碍光合作用的进行,造成水体缺氧和水质恶化,导致鱼类及其他生物大量死亡<sup>[19]</sup>;作为多种污染物的载体,海洋垃圾中的重金属和有毒化学物质可通过食物链在人体内富集,危害人类健康;通过缠绕船只螺旋桨等方式影响航行安全。

本评价方法同时考虑 3 个方面的状态指标,并通过海洋垃圾所处功能区的不同选取该区域主要状态指标,优先符合功能区的主体功能。

### 3.1.3 响应指标及标准的选取

未来变化预期这一评价因子反映海洋垃圾数量的动态变化状况,通常以近几年的监测数据为参考,以便于环境管理者决策。

## 3.2 压力参数的选取

关于评价时选取何种监测数据的问题,根据《海洋垃圾监测技术指南》,海洋垃圾监测需至少设置 3 条断面,因此建议监测断面的选择需具有代表性,而不是选择垃圾特别多或特别少的区域,以免影响海洋垃圾监测数据的准确性。监测数据应选择该航次监测的平均值;由于海洋垃圾也存在季节性变化的趋势,如果一年有多航次监测,则应选择多航次的最大值。

## 3.3 权重的选取

评价指标权重的确定是评价关键环节之一,评价指标的权重直接影响评价的结果<sup>[20]</sup>。

本文选取层次分析法(AHP)来确定评价指标的权重。其基本思路是通过分析复杂系统的有关要素及其相互关系,建立起一个有序的递阶层次系统,然后对系统中各要素进行两两比较判断,构成判断矩阵,计算判断矩阵的最大特征值和其对应的特征向量,从而得出不同要素或评价对象的优劣权重值;计算层次单排序及总排序,检验判断矩阵一

致性及群组决策一致性;采用加权几何平均综合排序向量法,计算得到指标层各评价指标相对于生态安全的权重<sup>[21]</sup>。

本文采用 Saaty T L“1-9”比较标度法进行比较,假定中间层  $A_i$  与下一层中指标  $B_j (j=1,2,\dots,n)$  有联系,即可构造判断矩阵。判断矩阵标度及其含义如表 3 所示。

表 3 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	两个元素相比同等重要
3	两个元素相比,一个比另一个稍微重要
5	两个元素相比,一个比另一个明显重要
7	两个元素相比,一个比另一个强烈重要
9	两个元素相比,一个比另一个极端重要
2 4 6 8	上述相邻标度的中间值
倒数	因素 $i$ 与 $j$ 比较得判断 $a_{ij}$ , 则因素 $j$ 与 $i$ 比较的判断 $a_{ji}=1/a_{ij}$

具体运算步骤如下。

(1)由上述标度值的含义得判断矩阵  $A$ :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2)将判断矩阵每一列做归一化处理:

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

(3)将每一列经归一化处理的判断矩阵按行相加为:

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

(4)对向量  $\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)$  做归一化处理:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

即得所求权重向量  $W_i = (W_1, W_2, \dots, W_n)$

(5)计算判断矩阵最大特征根  $\lambda_{\max}$ :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nW_i} \quad (5)$$

(6)对矩阵进行检验,通过矩阵一致性指标 C. I. (Consistency Index)和随机一致性比率 C. R. (Consistency R)来进行检验:

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} \quad (7)$$

当 C. R. < 0.1 时,即认为判断矩阵具有满意的一致性,权重分配合理。

### 3.4 等级的选取

等级的划分规则为将海洋垃圾评价指数  $P$  的结果范围按 1~3 三等分。当  $P > 2.33$  时为低海洋垃圾状态,当  $1.67 < P < 2.33$  时为中海海洋垃圾状态,当  $P < 1.67$  时为高海洋垃圾状态。

## 4 结语

本文从生态环境的内涵出发,基于 PSR 框架从压力、状态和响应 3 个方面,通过层次分析法确定评价指标的权重,建立海洋垃圾状况评价指标体系。本体系可较好地反映区域海洋垃圾状况,弥补海洋垃圾评价方法的缺失,具有全面性、独立性和可操作性。但本评价体系尚有不足,如压力指标的选取尚需相关标准出台等,应在今后工作中完善。今后应加大海洋垃圾监测评价工作力度,多方收集相关数据资料,从而更好地开展监测评价研究、保护海洋环境。

## 参考文献

- [1] ZHOU Peng, HUANG Chuguang. The abundance, composition and sources of marine debris in coastal seawaters or beaches around the northern South China Sea(China)[J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62: 1998-2007.
- [2] ALIANI S, MOLCARD A. Hitch-hiking on floating marine debris; macrobenthic species in the Western Mediterranean Sea [J]. Hydrobiologia, 2003, 503 (1): 59-67.
- [3] RIBIC C A, SHEAVLY S B, RUGG D J, et al. Trends and drivers of marine debris on the Atlantic coast of the United States 1997-2007 [J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60 (8): 1231-1242.
- [4] MOORE S L, ALLEN M J. Distribution of anthropogenic and natural debris on the mainland shelf of the Southern California Bight [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(1): 83-88.
- [5] KATSANEVAKIS S, KATSAROU A. Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallow coastal areas in Greece (Eastern Mediterranean) [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2004, 159 (1): 325-337.
- [6] SANTOS I R, FRIEDRICH A C, IVARDO J A Sul. Marine debris contamination along undeveloped tropical beaches from northeast Brazil [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 148 (1): 455-462.
- [7] PETER C, SCHNLZE. Overview: Measures of Environmental Performance and Ecosystem Condition [M]. Washington DC: National Academy Press, 1999: 79-86.
- [8] 马小明, 张立勋. 基于压力-状态-响应模式的环境保护投资分析 [J]. 环境保护, 2002(11): 31-33.
- [9] 国家海洋局. 2008 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2009.
- [10] 国家海洋局. 2009 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2010.
- [11] 国家海洋局. 2010 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2011.
- [12] 国家海洋局. 2011 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2012.
- [13] 国家海洋局. 2012 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2013.
- [14] 国家海洋局. 2013 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2014.
- [15] 国家海洋局. 2014 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2015.
- [16] 王慧卉, 梁国正. 塑料垃圾对海洋污染的影响及控制措施分析 [J]. 南通职业大学学报, 2014, 28(1): 68-72.
- [17] WATTERS D L, YOKLAVICH M M, LOVE M S, et al. Assessing marine debris in deep seafloor habitats off California [J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 60 (1): 131-138.
- [18] 许林之. 我国海洋垃圾监测与评价 [J]. 环境保护, 2008(19): 67-68.
- [19] 苏荣, 吴俊文, 董炜峰. 厦门海域海漂垃圾对海洋生态系统潜在生态风险研究 [J]. 环境科学与管理, 2011, 36(3): 24-26, 109.
- [20] 于定勇, 王昌海, 刘洪超. 基于 PSR 模型的围填海对海洋资源影响评价方法研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(7/8): 170-175.
- [21] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究 [J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程, 2007, 29(1): 153-156.