

深圳近海海域沉积物重金属污染状况评价*

戴纪翠^{1,2}, 高晓薇¹, 倪晋仁¹, 尹魁浩³

(1. 北京大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055; 2. 哈尔滨工业大学(威海), 山东 威海 264209; 3. 深圳市环境科学研究院, 广东 深圳 518001)

摘要: 根据 2000—2007 年深圳近海海域表层沉积物的基础监测资料, 采用地累积指数和潜在生态危害指数两种评价方法, 对该区域沉积物中重金属的污染状况进行了分析和研究。结果表明, 深圳近海海域沉积环境在一定程度上已受到了重金属的污染, 除固戍近海外, 大部分海域基本上为 II 类沉积物, 其污染程度大小顺序为: 固戍近海 > 深圳湾中 > 深圳湾口 > 沙头角湾口。其中沉积物中 Cu 和 Zn 超标严重, 固戍近海沉积物中 Cu 和 Zn 平均含量分别为 $128.96\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $199.40\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 为 III 类沉积物。研究还表明, 深圳近海海域基本上不存在重金属潜在的生态危害, 7 种重金属潜在的生态危害大小顺序为: $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Zn}$ 。

关键词: 深圳近海; 沉积物; 重金属; 地累积指数; 潜在生态危害评价

中图分类号: P762.2 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)01-0085-06

Evaluation of heavy-metal pollution in Shenzhen coastal sediments

DAI Ji-cui^{1,2}, GAO Xiao-wei¹, NI Jin-ren¹, YIN Kui-hao³

(1. Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China; 2. Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China; 3. Shenzhen Academy of Environmental Science, Shenzhen 518001, China)

Abstract: Based on the field data of Shenzhen coastal surface sediments from 2000–2007, methods of geo-accumulation index and potential ecological risk index are employed to evaluate heavy-metal pollution status in the area. Results show that Shenzhen coastal sediments have been polluted by heavy metals. The quality degree of most coastal sediments are Class II except for the Gushu Coast. The severity of heavy-metal pollution is: the Gushu Coast, the middle of the Shenzhen Bay, the mouth of the Shenzhen Bay, followed by the mouth of the Shatoujiao Bay that is least polluted. Among heavy metals found in the sediments, Cu and Zn are the two most seriously-polluting elements. The average contents of Cu and Zn in Gushu coastal sediments are $128.96\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $199.40\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, belonging to Class III; other coastal areas of Shenzhen belong to Class II. The results also reveal that there are no potential ecological risks for Shenzhen coastal sediments. The order of potential ecological risks is, $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Zn}$.

Key words: Shenzhen Coast; sediment; heavy metal; geo-accumulation index; potential ecological risk index

近岸海域是陆海作用最为显著的地区, 也是受人类活动最为强烈的地区。人类活动产生的重金属通过吸附、絮凝等物理和化学过程, 大部分转移到颗粒态而最终沉积于近岸海域^[1], 另一方面沉积物中的重金属在一定条件下会重新释放进入水体而成为潜在的污染源, 使得沉积物成为重金属等污染物的源和汇^[2]。重金属元素会对底栖生物或依靠沉积

物生存的生物产生直接的毒害作用, 并通过食物链富集和传递, 最终对人类健康造成影响^[3]。目前对沉积物中重金属的污染评价方法较多, 从环境地球化学角度出发, 应用于近海沉积物重金属污染评价中的方法有地累积指数法和生态危害指数法等^[4-5]。深圳市是我国快速工业化和城市化的典型区域, 当地经济的迅速发展对环境造成了巨大压力, 其中重金

收稿日期: 2008-12-29; 修订日期: 2009-04-23。卢冰编辑

基金项目: 中国博士后科学基金资助(20080440246); 深圳市环保局环境科研专项资金(深圳市水环境若干关键问题及其技术对策研究)

作者简介: 戴纪翠(1977—), 女, 山东省青岛市人, 博士后, 主要从事生态系统健康研究。E-mail: daijicui@pku.edu.cn

属污染因其持久性、生物富集和放大作用而倍受关注, 因此为保持深圳市社会经济的可持续发展和生态环境的良性循环, 有必要对深圳近海的沉积物质量现状和污染程度进行深入的调查和研究。本研究根据深圳近海 2000—2007 年沉积物的监测资料, 在分析深圳近海海域沉积物重金属含量时空变化的基础上, 采用地积累指数和潜在生态危害指数等方法分析了重金属的污染程度及潜在的生态危害, 以期对相关科学研究和政府决策提供参考和依据。

1 材料和方法

1.1 数据资料收集

从深圳市环境保护局收集了 2000—2007 年深圳近海海域沉积物的相关监测资料, 具体站位见图 1。其中包括沙头角湾口、深圳湾中、深圳湾湾口和固戍近海表层沉积物中 Cu、Hg、Cd、Cr、As、Zn 和 Pb 等 7 种元素的监测数据。总汞采用冷原子吸收分光光度法测定, 检出限为 $0.002\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; Cr、As、Cu、Zn 和 Pb 采用电感耦合等离子体发射光谱法测定, 检出限分别为 3.2、0.8、1.0、0.4 和 $4.0\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; Cd 采用电感耦合等离子体质谱法或石墨炉原子吸收分光光度法测定, 检出限分别为 0.02 和 $0.008\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

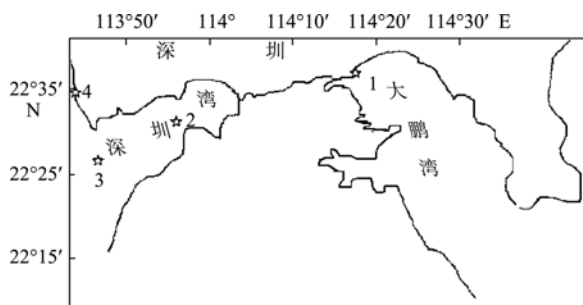


图 1 深圳近海海域底质监测站位

1. 沙头角湾口; 2. 深圳湾中; 3. 深圳湾湾口; 4. 固戍近海

Fig. 1 Sampling sites of Shenzhen Coast for sediment quality evaluation

1.2 评价方法

近海沉积物重金属的评价方法很多, 各有优缺点和特定的适用范围, 加之沉积环境的复杂性, 所以用单一的评价方法很难准确地反映沉积物的污染状况及程度。本研究采用常见的地累积指数法和潜在生态危害评价法两种评价手段对深圳近海海域表层沉积物重金属的污染水平作初步评价, 并对其来源进行初步分析, 以期深圳近海海域的污染治理提供科学依据。

2 重金属的分布特征和来源分析

2.1 重金属的分布特征

根据对 2000—2007 年深圳近海海域沉积物中重金属含量的分析(如表 1 所示), 近年来深圳近海海域沉积物已经受到了一定程度的污染, 但大多数海域沉积物能达到 II 级标准, 部分已经为 III 级。各个海域重金属的含量基本遵循着: 固戍近海 > 深圳湾中 > 深圳湾口 > 沙头角湾口的顺序。

1) As: 深圳近海海域 As 的含量在 $6.17\text{—}24.3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 其中除固戍近海沉积物中 As 的含量属于 II 类沉积物外, 深圳湾中、深圳湾口和沙头角湾口属于 I 类沉积物。

2) Hg: 研究的 4 个海域沉积物中 Hg 的含量范围在 $0.002\text{—}0.715\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 各海域均属于 I 类和 II 类沉积物。

3) Pb: 深圳近海沉积物中 Pb 的含量在 $31\text{—}79\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 基本上属于 I 类和 II 类沉积物, 2000—2007 年其含量整体呈下降趋势。

4) Cd: 深圳近海海域 Cd 的污染相对较轻, 含量在 $0.06\text{—}0.59\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 除固戍近海在 2002 和 2003 年属于 II 类沉积物外, 其他年份和海域均属 I 类。

5) Cr: 研究区域内 Cr 的污染较轻, 含量在 $27.9\text{—}104\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 均属于 I 类沉积物, 固戍近海在 2002 和 2006 年 Cr 的含量较高。

6) Cu: 研究区域 Cu 的污染状况较重, 平均值在 $38.55\text{—}128.96\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 其中固戍近海沉积物 Cu 的含量均属于 III 类沉积物, 而其他 3 个区域属于 II 类沉积物。固戍近海和深圳湾中 Cu 的含量最高值出现在 2006 年。

7) Zn: 深圳近海沉积物中 Zn 的污染状况也较为严重, 其含量在 $74.4\text{—}234\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 其中固戍近海和深圳湾中属于 III 类沉积物, 其他海域属于 II 类沉积物。

2.2 沉积物中重金属来源及相关性

沉积物重金属元素与有机质有密切关系, 有机质通过吸附、络合对沉积物中重金属的生态毒性、环境迁移行为起决定性作用^[6], 分析沉积物中重金属与有机质的关系, 可区分重金属的自然来源和人为来源。利用 SPSS 软件, 计算了深圳近海沉积物中各污染物之间以及它们与有机质和硫化物的相关系数, 如表 2 所示。

从表 2 可以看出, 有机质和硫化物与 7 种重金属元素均呈正相关关系, 其中 Cr、Cd 和 Hg 与有机

表 1 深圳近海海域底质污染物的含量水平(2000—2007年)(单位: $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Tab. 1 Levels of contaminants in Shenzhen coastal sediments (2000–2007) (units: $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

	总砷		总汞		总铅		总镉		总铜		总锌		总铬	
	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
沙头角湾口	6.17—14.5	10.22	0.002—0.293	0.09	35.8—61.6	50.31	0.11—0.39	0.17	18.1—63.4	38.55	74.4—142	118.40	27.9—113.4	54.21
深圳湾中	5.81—18.2	12.93	0.053—0.342	0.17	43.9—69.6	59.74	0.11—0.24	0.18	50.6—93.9	67.80	151—218	185.75	42.4—98	68.75
深圳湾湾口	8.20—19.0	12.57	0.002—0.379	0.13	31.0—47.0	39.26	0.06—0.16	0.10	27.1—61.2	36.10	80—130	101.56	28.2—75.6	53.54
固戍近海	7.40—24.3	19.94	0.045—0.715	0.23	43.9—79.0	63.48	0.20—0.59	0.38	95.8—185	128.96	186—234	199.40	77.2—104	91.00

表 2 深圳近海沉积物中重金属元素与有机质之间的 Pearson 相关($n=32, p<0.05$)Tab. 2 Pearson correlation between organic matter and heavy metals in Shenzhen coastal sediments ($n=32, p<0.05$)

	TOC	As	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	硫化物
TOC	1								
As	0.29	1							
Hg	0.38	0.42	1						
Pb	0.25	0.18	0.05	1					
Cd	0.39	-0.21	0.23	0.15	1				
Cu	0.26	0.68	0.42	0.47	-0.01	1			
Zn	0.37	0.33	0.41	0.32	0.16	0.77	1		
Cr	0.45	0.17	0.34	0.12	-0.01	0.55	0.52	1	
硫化物	0.52	0.21	0.28	0.27	0.61	0.02	0.10	0.16	1

质的相关关系较为明显, 这表明有机质的地球化学循环过程对这 3 种元素的转换和迁移过程有着重要的影响。另外, Cu 和 As、Pb 和 Hg 都有较好的相关性, 说明这些金属元素之间共生共存的地球化学特性, 迁移过程具有相似的运动规律。从地球化学角度来说, 这些元素都属于亲铜元素, 能与沉积物中有机物在厌氧状态下产生的 S^{2-} 结合, 形成溶解度极小的硫化物沉淀, 而共同沉积到水体沉积物中^[7]。As 与有机质的相关性以及 Cd 与其他几种重金属元素的相关性较差, 表明其污染来源可能与其他重金属有所差异。

3 底质重金属环境质量评价

3.1 地质积累指数法

地质积累指数(I_{geo})是德国科学家 Müller 提出的一种研究环境沉积物中重金属污染的定量指标^[8], 其既反映了重金属分布的自然变化特征, 又可以判别人为活动对环境的影响, 是区分人为活动影响的重要参数。其公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_n}{kB_n} \right) \quad (1)$$

公式中, C_n 是指元素 n 在沉积物中的含量(指质量比, 实测值); B_n 是粘质沉积岩(即普通页岩)中该元素的地球化学背景值; k 为考虑各地岩石差异可能会引起背景值的变动而取的系数(一般取值为 1.5)。确定背景值可能远比污染评价指数/因子更为重要, 结合区

域研究现状更能反映重金属地球化学背景值^[9-10]。由于背景值选定无统一标准, 为了真实地反映深圳近海沉积物重金属地球化学背景参考值, 本文采用全国海岸带重金属的背景值作为参考值(如表 3)。深圳近海海域沉积物中重金属的地累积指数如表 4 所示。表 5 是 Müller 给出的沉积物地累积指数分级标准与污染程度之间的相互关系。

从表 4 可以看出, 深圳东部海域的沙头角湾口的重金属污染程度远远低于西部海域的深圳湾和固戍近海, 主要是因为深圳东部海岸的开发一直受到严格控制, 而且沙头角湾淤积工程使入海污染负荷进一步减轻。而深圳西部海域除受到珠江口海域污染的严重影响外, 特区内深圳河湾流域以及特区外宝安区大部分地区的入海污染物也加重了西部海域的污染负荷。地累积指数的结果表明, 深圳近海海域 As 基本上处于无污染或者轻微污染程度。从年际变化来看, As 的污染程度除沙头角湾口外, 在 2006 年最严重。Hg 的地累积指数在年际变化上整体上呈下降的趋势。固戍近海在 2002 年的污染程度较重(2 级), 其他年份和研究区域均没有 Hg 的污染或者程度较轻。Pb 的地累积指数在 -1.27—1.08 之间, 表明其污染程度在无污染或者中度污染之间, 并且污染在 2002 和 2003 年较为严重。Cd 的地累积指数下降的趋势较为明显, 其中 2004 年最小, Cd 基本上没有什么污染。Zn 的地累积指数表明, 固戍近海和深圳湾中区域基本上处在轻度污染程度, 而湾口和沙头

表 3 重金属的背景参照值(单位: $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Tab. 3 Background reference values of heavy metals (units: $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

	As	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr
全国海岸带背景值 ^[11]	10	0.2	25	0.5	30	80	60

表 4 深圳近海沉积物中重金属的地累积指数

Tab. 4 Geoaccumulation index, I_{geo} of heavy metals in Shenzhen coastal sediments

地累积指数	年份	总砷	总汞	总铅	总镉	总铜	总锌	总铬
沙头角湾口	2000	-0.33	-2.71	0.37	-	-1.31	-0.69	-1.57
	2001	-1.28	-1.58	0.29	-	-0.39	0.05	-0.63
	2002	-0.98	-0.03	0.61	-2.64	0.08	0.48	-0.68
	2003	-0.80	-1.42	0.72	-2.77	-0.65	-0.22	-1.21
	2004	-0.51	-2.32	0.37	-2.64	-0.27	-0.07	-1.25
	2005	-0.21	-2.02	0.53	-2.14	-0.34	-0.33	-1.69
	2006	-0.66	-7.23	0.43	-0.94	-0.04	0.08	-0.35
	2007	-0.05	-2.10	-0.07	-2.53	0.49	0.24	0.33
深圳湾中	2000	-0.13	-0.45	0.56	-	0.43	0.33	-0.43
	2001	-1.37	-0.91	0.84	-	0.49	0.71	0.12
	2002	-0.98	0.19	0.70	-2.30	0.17	0.76	-0.01
	2003	-0.33	-1.29	0.70	-2.23	0.19	0.26	-1.09
	2004	0.07	-1.20	0.74	-2.77	0.87	0.77	-0.53
	2005	0.16	-0.87	0.62	-1.91	0.44	0.48	-0.76
	2006	0.28	-2.50	0.89	-1.64	1.06	0.74	-0.45
	2007	-0.13	-1.01	0.23	-1.64	0.81	0.86	-0.31
深圳湾湾口	2000	-0.63	0.34	0.13	-	-0.06	-0.18	-0.25
	2001	-0.17	-1.37	0.05	-	-0.69	-0.21	-0.36
	2002	-0.87	-0.21	0.33	-2.25	-0.38	-0.14	-0.65
	2003	-0.56	-1.94	0.17	-2.91	-0.75	-0.57	-1.67
	2004	-0.17	-2.21	0.00	-3.64	-0.20	-0.19	-1.15
	2005	-0.26	-1.75	-0.27	-3.23	-0.64	-0.51	-1.50
	2006	0.34	-7.23	0.17	-3.23	-0.73	-0.37	-0.76
	2007	-0.06	-1.82	-0.13	-2.91	0.44	0.11	-0.33
固戍近海	2002	-1.02	1.25	0.91	-0.36	1.24	0.96	0.17
	2003	0.65	-1.63	1.08	-0.40	1.62	0.70	-0.22
	2004	0.59	-1.27	0.70	-1.53	1.41	0.59	-0.22
	2006	0.70	-2.74	0.75	-1.42	2.04	0.74	0.21
	2007	0.54	-0.76	0.23	-1.91	1.09	0.63	0.09

表 5 地质累积指数与污染程度分级的关系

Tab. 5 Geoaccumulation index of heavy metals in sediments and grading of pollution levels

I_{geo}	$I_{\text{geo}} < 0$	0	$I_{\text{geo}} < 1$	1	$I_{\text{geo}} < 2$	2	$I_{\text{geo}} < 3$	3	$I_{\text{geo}} < 4$	4	$I_{\text{geo}} < 5$
级别	0	1	2	3	4	5					
污染程度	无	轻	中	中—强	强	强—极强					

角湾口没有污染或者受到轻度污染。Cu 在深圳近海的污染程度也较轻, 除固戍近海外, 基本上没有污染或者污染程度较轻。而 Cr 地累积指数表明, 除固戍近海在 2002 和 2006 两个年份 Cr 属于轻度污染外, 其他年份和海域均可视为没有污染。从地累积指数来看, 深圳近海重金属污染程度最重的是 Pb, 最轻的是 Hg 或者是 Cd。大致顺序为: $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Hg} > \text{Cd}$ 。

3.2 潜在生态危害指数法

地累积指数法以全球沉积页岩的平均含量为标准制定污染等级, 侧重单一金属, 既未引入生物有效性和相对贡献比例, 也没有充分考虑金属形态分布和地理空间异质性的影响^[12]。而潜在生态危害指数则考虑了这一点。潜在生态危害指数法综合考虑了重金属的毒性、在沉积物中的迁移转化规律和评价区域对重金属污染的敏感性, 消除了区域差异和

异源污染的影响^[13], 并给出了潜在生态危害程度的定量划分方法, 成为国内外沉积物质量评价中应用最为广泛的方法之一^[14-15]。瑞典科学家 Hakanson^[16]提出的沉积物中重金属潜在生态危害评价的数学表达式为:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot \frac{C^i}{C_n^i} \quad (2)$$

式中 RI 为潜在生态危害指数; E_r^i 为某一污染物潜在生态危害指数; T_r^i 为污染物毒性响应参数; C^i 为沉积物中某一污染物的实测浓度; C_n^i 为沉积物中相应污染物的背景值。本研究采用的是全国海岸带重金属的背景值为参考值^[11](表 3)。

表 6 各采样点位潜在风险指数及单因子污染参数

Tab. 6 Index of potential risk and single factor pollution parameter at each sampling site

		As	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	RI
沙头角 湾口	2002	3.8	58.6	4.8	7.2	6.8	1.1	1.4	82.3
	2003	4.3	22.4	5.1	6.6	4.1	0.7	1	43
	2004	5.3	12	4.1	7.2	5.3	0.8	0.9	35
	2005	6.5	14.8	4.5	10.2	5.1	0.6	0.7	42
	2006	4.8	0.4	4.2	23.4	6.3	0.8	1.8	40
	2007	7.3	14	3	7.8	9.1	0.9	2.8	42
深圳湾 湾中	2002	3.8	68.4	5.1	9.1	7.2	1.4	2.2	95
	2003	6	24.6	5.1	9.6	7.3	1	1.1	54
	2004	7.9	26.2	5.2	6.6	11.7	1.4	1.6	59
	2005	8.4	32.8	4.8	12	8.7	1.1	1.3	68
	2006	9.1	10.6	5.8	14.4	13.4	1.3	1.6	55
	2007	6.9	29.8	3.7	14.4	11.3	1.5	1.8	68
深圳湾 湾口	2002	4.1	52	3.9	9.5	4.9	0.7	1.4	75
	2003	5.1	15.6	3.5	6	3.8	0.5	0.7	35
	2004	6.7	13	3.1	3.6	5.6	0.7	1	33
	2005	6.3	17.8	2.6	4.8	4.1	0.6	0.8	36
	2006	9.5	0.4	3.5	4.8	3.9	0.6	1.3	23
	2007	7.2	17	2.9	6	8.7	0.9	1.8	43
固戍 近海	2002	3.7	143	5.9	35	15.1	1.6	2.5	204
	2003	11.8	19.4	6.6	34.2	19.7	1.3	1.9	93
	2004	11.3	24.8	5.1	15.6	17.1	1.2	1.9	75
	2006	12.2	9	5.3	16.8	26.4	1.3	2.6	71
	2007	10.9	35.4	3.7	12	13.7	1.2	2.4	77

表 7 E_r^i 和 RI 值相对应的污染程度以及潜在生态危害程度
Tab. 7 Corresponding pollution degree and potential risk degree of E_r^i and RI

潜在生态危害 参数 E_r^i 范围	单因子污染物 生态危害程度	潜在的生态危 害 RI 范围	总生态危 害程度
$E_r^i < 40$	低	$RI < 150$	低度
40 $E_r^i < 80$	中	150 $RI < 300$	中度
80 $E_r^i < 160$	较重	300 $RI < 600$	重度
160 $E_r^i < 320$	重	$RI < 600$	严重
$E_r^i \geq 320$	严重		

与地累积指数类似, 研究海域各年份沉积物中

用于评价潜在生态危害的重金属包括 Hg、Cd、Pb 等生物体非必需的、毒性强的痕量元素, 还包括生物体必需的但过量则有害的 Zn、Cu、Cr、As 和 Ni 等元素。在本研究中选择沉积物中的 Hg、Cu、Cr、Zn、As、Pb 和 Cd 等 7 种元素作为评价因子。本项研究中的 7 种重金属 Hg、Cd、As、Pb、Cu、Cr、Zn 的毒性系数分别为 40、30、10、5、5、2 和 1^[17]。由于缺少 2000 年和 2001 年 Cd 含量的相关数据, 仅对 2002—2007 年深圳近海海域潜在的生态危害状况进行了分析和评价, 研究区域重金属的 E_r^i 和 RI 值列于表 6, 表 7 给出的是 E_r^i 和 RI 值相对应的污染程度以及潜在生态危害程度。

潜在生态危害参数 E_r^i 和潜在生态危害指数 RI 的大小也基本上遵循着: 固戍近海 > 深圳湾中 > 深圳湾湾口 > 沙头角湾口的顺序。潜在的生态危害指数显示, 除固戍近海 2002 年潜在的生态危害指数 RI 较大外($RI=204$), 其余的站点和年份的 RI 均小于 150, 处于轻微的生态危害等级, 基本上无潜在的生态危害影响。各区域相比, 固戍近海的潜在的生态危害等级较高, 而沙头角湾口的相对较小。各重金属相比较, 其危害系数除 Hg 在 2002 年大于 40 处于中度或者重度危害之外, 其他年份和海域均小于 40, 基

本上处于低生态危害等级。在分析的 7 种重金属中, 虽然 Hg 和 Cd 的含量相对较低, 但是它们的毒性系数较高, 所以 Hg 和 Cd 潜在的生态危害指数相对较高。7 种重金属潜在的生态危害顺序为: Hg > Cd > Cu > As > Pb > Cr > Zn。

从采用的两种评价方法来看, 地累积指数法和潜在的生态危害指数反映的重金属污染状况总体趋势基本一致, 但前者更侧重反映单一金属的污染效应, 而且未引入生物有效性和相对贡献比例, 也没有充分考虑金属形态分布和地理空间异性的影响。而潜在的生态危害指数 RI 比较简明, 并体现了对化学分析、数据加和、生物毒性以及指数灵敏度的要求, 涵盖了环境化学、生物毒理学和生态学内容, 同时顾及了背景值的地域分异性, 因此更能说明重金属对近海海域底质影响。但 RI 也存在某些不足, 如确定毒性加权系数带有主观性等, 因此在对沉积物环境质量进行评价时, 需要与地累积指数和综合污染指数相互借鉴, 以对底质生态环境做出评价。

4 结论

通过对 2000—2007 年深圳近海沉积物中重金属的含量水平的调查和评价, 得到如下结论:

1) 深圳近海沉积物受到了一定程度的污染,

其中固戍近海 Cu 和 Zn、深圳湾中的 Zn 属于三类沉积物, 其他海域和其他年份, 4 个研究区域均属于一类或者二类沉积物。污染较为严重的重金属为 Cu 和 Zn, 而污染相对较轻的金属为 Cd。沉积物中重金属与有机质大都呈正相关关系, 说明有机质的地球化学循环过程对重金属元素的转换和迁移过程有着重要的影响。

2) 从地累积指数来看, 深圳近海重金属污染程度最重的是 Pb, 最轻的是 Hg 或者是 Cd。地累积指数的研究也表明, 在 2002 和 2006 年深圳近海沉积物中重金属的污染普遍较重。

3) 潜在的生态危害指数研究表明, 除固戍近海在 2002 年处在轻微的生态危害外, 其余年份和研究海域都基本上没有潜在的生态危害。7 种重金属潜在的生态危害顺序为: Hg > Cd > Cu > As > Pb > Cr > Zn。

总之, 无论从研究区域沉积物中重金属含量的绝对值, 还是通过地累积指数和潜在的生态危害指数, 研究区域底质环境质量优劣状况都遵循着: 固戍近海 > 深圳湾中 > 深圳湾口 > 沙头角湾口的顺序, 并且大多数重金属元素在 2002 和 2006 两个年份中的含量较高, 污染相对较重。总的来说, 深圳近海沉积环境已经受到了一定程度的污染, 应该引起足够的重视并采取必要的措施控制污染程度的恶化。

参考文献

- [1] 盛菊江, 范德江, 杨东方, 等. 长江口及其邻近海域沉积物重金属分布特征和环境质量评价[J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2405–2412.
- [2] 刘红磊, 尹澄清. 城市湖泊表层沉积物中的重金属污染现状及其稳定度分析—以武汉墨水湖为例[J]. 生态毒理学报, 2007, 2(2): 214–219.
- [3] LAWRENCE A L, MASON R P. Factors controlling the bioaccumulation of mercury and methylmercury by the estuarine amphipod *Leptocheirus plumulosus*[J]. Environmental Pollution, 2001, 111: 217–231.
- [4] 弓晓峰, 陈春丽, 周文斌, 等. 鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 732–736.
- [5] CAEIRO S, COSTA M H, RAMOS T B, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach [J]. Ecological Indicators, 2005, (5): 151–169.
- [6] 吴光红, 朱兆洲, 刘二保, 等. 天津城市排污河道沉积物中重金属含量及分布特征[J]. 环境科学, 2008, 29(2): 413–420.
- [7] 赵一阳, 郡明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 179–198.
- [8] MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. Geojournal, 1969, 2: 108–118.
- [9] RUBIO B, NOMBELAM A, VILAS F. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(11): 968–980.
- [10] 滕彦国, 庾先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价沉积物中重金属污染: 选择地球化学背景的影响[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(2): 7–9.
- [11] 全国海岸带办公室《环境质量调查报告》编写组. 中国海岸带和海涂资源综合调查专业报告集——环境质量调查报告[R]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [12] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 乐安江沉积物中金属污染的潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 1999, 19: 206–211.
- [13] 冯慕华, 龙江平, 喻龙, 等. 辽东湾东部浅水区沉积物中汞潜在生态评价[J]. 海洋科学, 2003, 27(3): 52–56.
- [14] FERNANDES H M. Heavy metal distribution in sediments and ecological risk assessment: the role of diagenetic processes in reducing metal toxicity in bottom sediments [J]. Environmental Pollution, 1997, 97: 317–325.
- [15] 甘居利, 贾晓平, 林钦, 等. 近岸海域底质重金属生态风险评价初步研究[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 533–538.
- [16] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sediment to logical approach [J]. Water Research, 1980, 14 (8): 975–1001.
- [17] 陈静生, 周家义. 中国水环境重金属研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992, 168–170.