

文章编号: 1674-5566(2017)01-0085-09

DOI:10.12024/jsou.20160701831

海南岛南部海域沉积物重金属污染及潜在生态风险评价

罗 昆^{1,2}, 李 亮¹, 龙根元¹, 刘 刚¹, 薛玉龙¹, 潘卫红³

(1. 海南省海洋地质调查研究院, 海南 海口 570206; 2. 海南省地质局, 海南 海口 570206; 3. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029)

摘 要: 通过对海南岛南部近岸海域 49 个表层沉积物的重金属元素含量的分析, 结合沉积物的粒度组成特征, 探讨了重金属可能的来源并评价了重金属的污染状况和潜在生态风险。结果表明, 表层沉积物以砂和粉砂为主, 砾石和黏土含量相对较少。重金属平均含量较低, 最高是 Zn 元素, 为 38.98 mg/kg, 大部分属于国家海洋沉积物一类标准。除 As 元素之外, Zn、Cu、Cd、Pb、Cr 和 Hg 6 种重金属元素之间具有明显的正相关性, 与粉砂和黏土等细颗粒沉积物也具有显著的正相关。潜在生态危害指数的评价结果显示, 海南岛南部近岸表层沉积物中的重金属对海洋生态系统的危害非常轻微, 不同重金属元素的潜在生态危害系数大小顺序为 As > Hg > Cd > Pb > Cu > Cr > Zn, 其潜在生态风险指数 RI 平均值为 14.55, 属于轻微的潜在生态危害。

关键词: 重金属; 生态风险评价; 粒度; 表层沉积物; 海南岛南部近岸

中图分类号: X 131.3 **文献标志码:** A

近岸表层沉积物是海域生态环境的重要组成部分。沉积物中重金属污染作为重要的环境质量指标之一, 在生态环境的评价和治理、生态风险评估及科学研究等方面受到重点的关注^[1-4]。近岸表层沉积物中重金属的污染来源主要有地表径流、大气沉降和近海直接排污等 3 个方面^[5-6]。随着沿海城市经济的快速发展, 大量的工业垃圾及生活用水直接或间接入海, 进入水体中的污染物通过颗粒物的吸附和沉降富集于沉积物中, 造成近岸海域的生态环境受到不同程度的影响。开展近岸沉积物重金属的潜在生态风险研究, 分析和评价人类活动对海洋生态的影响并预测其发展和演变趋势, 不仅为海岸带生态学的发展奠定了基础, 也对海洋环境质量改善和海洋生态环境保护具有重要的现实意义^[7-8]。

三亚是国内主要沿海旅游城市之一, 海洋旅游经济为其支柱型产业, 随着三亚近岸大批的旅游项目投放以及涉海工程建设, 近岸海域生态环境的监测、维护和可持续发展对海南国际旅游岛

的建设将有重要意义。国内外有关沉积物重金属潜在生态风险评价的研究较多^[9-14], 夏南等对海南岛近岸海域表层沉积物重金属元素含量状况进行了分析^[15], 表明了海南岛近岸海域表层沉积物重金属元素生态风险处于中低水平; 李杰等对海南小海沉积物中重金属潜在生态风险进行了评价^[16], 其结果表明 As 为主要的重金属污染因子; 张宇峰等对海南南岸港湾海水和沉积物重金属污染进行了报道^[12], 海南岛亚龙湾、三亚湾、天涯海角海水符合一级标准, 沉积物中重金属的形态以残渣态为主, 人类的活动对河流污染要大于对海洋的污染。从前人分析来看, 海南岛近岸海域水质较好, 沉积物中重金属含量处于较低水平。近年来涉海项目大力开发, 水产养殖持续繁盛, 但涉及海南岛南部近岸海域及重点港湾底质中重金属污染和潜在生态风险的报道还较少。此外, 研究区海域原有少量调查数据较为陈旧, 不能支撑现今的评价要求。因此, 本文对海南岛南部近岸海域表层沉积物中典型重金属进行了

收稿日期: 2016-07-19 修回日期: 2016-10-11

基金项目: 海南省国土资源厅项目(HZ2015-235); 中国地质调查局项目(GZH201500208)

作者简介: 罗 昆(1967—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为海洋地质与遥感地质等。E-mail: whisper_lli@163.com

通信作者: 李 亮, E-mail: brighting_lee@163.com

分析,采用潜在生态风险指数法探讨了表层沉积物中重金属富集程度^[17],并对其潜在生态危害进行了评价,旨在对海南岛南部近岸海域环境保护及海岸带环境资源可持续利用提供科学依据。

1 样品来源及实验方法

1.1 样品来源

研究区位于海南岛南部近岸海域(如图 1 所示),东经 108.6°~109.4°,北纬 18.2°~18.5°,区内主要包含三亚湾、崖州湾和东锣湾以及水深

30 m 以内海域,主要河流是宁远河和三亚河。沉积物样品为 2015 年海南省海洋地质调查研究院实施“海南岛海岸带综合地质调查与评价”项目时所采集,采样站位如图 1 所示,共 49 个样品,采样工具为蚌式抓斗,待样品从海底取出后,取其表层 0~5 cm,并放入密封袋冰冻保存。所取站位水深均位于 30 m 以内,沉积物主要以近岸沉积为主,颗粒较粗,部分样品含有大量的贝壳碎屑。

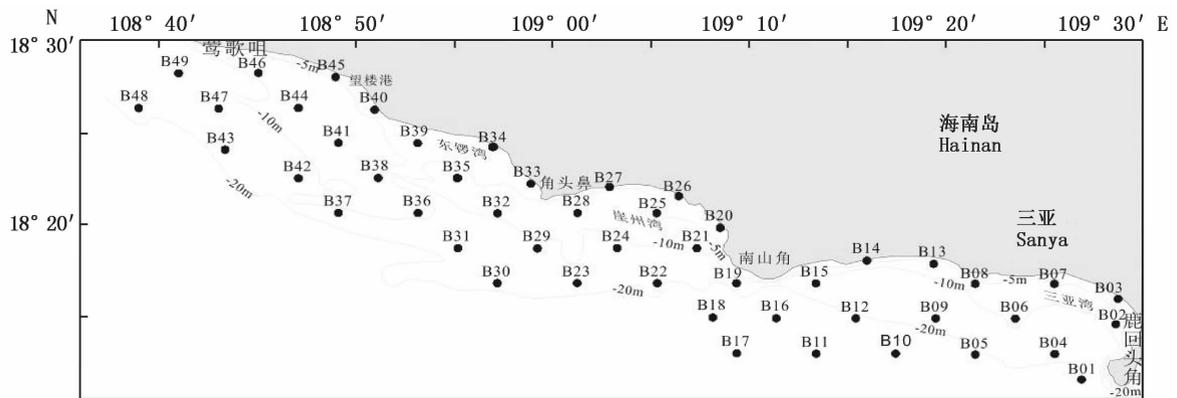


图 1 表层沉积物站位分布图

Fig. 1 Distribution of the surface sediments stations

1.2 测试方法

沉积物粒度分析和重金属元素测试在海南省地质测试研究中心完成。测试方法如下:首先取适量原样充分混合均匀后在 80 °C 下烘干。对于粒径小于 2 000 μm 的样品,取干样 2.0 g 左右,用蒸馏水浸泡并滴加 0.05 N 六偏磷酸钠,在烧杯中静置 24 h,并用超声波振荡仪振荡 15 min,直接用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪器测试,其测量范围为 0.02~2 000 μm ,相对误差小于 2%,粒径分辨率为 0.01 Φ ,重复测量相对误差小于 3%。对于粒径大于 2 000 μm 的样品,先称重,然后用传统筛法分析称量,两部分数据利用激光衍射粒度分析仪仿真程序合并获得完整的粒度分布。粒级标准采用尤登-温德华氏等比制 Φ 值粒级标准,粒度参数计算采用 FOLK & WARD 参数公式^[18]。

重金属含量测试方法如下:取适量沉积物样品于烘箱内 60 °C 烘干,冷却后用玛瑙研钵磨成粉末,称取 50 mg 于聚四氟乙烯消解罐中,并滴加

3 mL 浓硝酸、2 mL 浓盐酸和 2 mL 氢氟酸(37%),将沉积物消化溶解。然后在微波消解器中加热(约 200 °C),加压(约 3 MPa),当酸完全蒸发后,在蒸干的样品中加入 0.5 mL 硝酸和 4.5 mL 超纯水溶解,采用 ICPMS 测定重金属元素 Cr、Cu、Pb、Cd 和 Zn,元素 Hg 和 As 用 1:1 王水(1 mL HNO_3 、3 mL HCl 和 4 mL 蒸馏水)在热水浴上加热煮沸,消解 1 h,用去离子水稀释定容,测 As 前用硫脲和苦杏仁酸预还原,用硼氢化钠氢化法测定,测 Hg 采用冷原子吸收法。

1.3 评价方法

本文评价方法采用单因子污染指数法^[19]、富集因子法^[20-21]和 HAKANSON 潜在生态风险指数法^[17],具体方法参见文献。

沉积物重金属背景值采用工业化以前含量值(表 1),由于本文测试项目无多环芳烃项,少于 HAKANSON 提出潜在生态风险指数法时的 8 项,故沉积物重金属污染程度 C_d 、重金属污染系数 C_f^i 取值范围略有减少, $C_d < 5$ 时为低污染, $5 \leq C_d <$

10 时为中等污染; $10 \leq C_d \leq 20$ 时为较高污染, $C_d > 20$ 时为高污染; $C_f^i < 1$ 时为低污染, $1 \leq C_f^i < 3$ 时为中等污染, $3 \leq C_f^i \leq 6$ 时为较高污染, $C_f^i > 6$ 为高污染。

表 1 沉积物重金属背景值和毒性系数

Tab. 1 Background value and toxic response coefficient of heavy metals in surface sediments

元素 Element	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	As	Hg
背景值/(mg/kg)	175	50	1.0	70	90	15	0.25
Background value							
毒性系数	1	5	30	5	2	10	40
Toxic coefficient							

富集因子法(EF)中 Al 元素采用中国大陆架海域背景值^[22],当 $EF < 1$ 时为不富集,若 $EF \approx 1$ 则该元素来源于地壳风化,若 $EF > 1$,说明该元素相对富集,受到人为活动的影响,由此可评价元素的富集程度。

2 结果与讨论

2.1 沉积物粒度组成及分布特征

海南岛南部近岸表层沉积物中粒级含量分布如图 2 所示。经分析测定研究区表层沉积物主要以砂和粉砂为主,部分区域含有较粗颗粒的砾石组分,整个研究区粘土含量相对较小。

研究区海域共有 17 个站位含有砾石组分(图 2a),含量变化在 0 ~ 27.46% 之间,高含量($>20\%$)主要分布在崖州湾近岸海域,最高含量达 27.46%。研究区砂含量分布广泛(图 2b),沉积物中砂粒组分以中、粗砂为主,其含量变化范围为 5.60% ~ 99.36%,平均含量达 50.55%,大部分区域其含量都高于 30%,含量低于 30% 区域

主要分布于角头鼻西南侧近岸和南山角至鹿回头角水深超过 20 m 的海域。粉砂含量介于 0 ~ 76.91% 之间(图 2c),平均为 35.96%,高含量($>30\%$)主要分布于望楼港附近海域、角头鼻西南侧近岸以及三亚湾水深超过 20 m 以外的海域,粉砂与砂含量分布成一定的负相关,在粉砂高含量海区砂含量则相对较少。研究区黏土含量相对较少,黏土含量变化范围为 0 ~ 24.47%(图 2d),平均为 9.86%,高值区集中于三亚湾水深超过 20 m 的海域,其分布与粉砂高含量分布近似。研究区表层沉积物主要来源于宁远河和三亚河等入海河流的近岸沉积,其次还包含外来海水带入、沿岸岛屿以及基岩的侵蚀作用等入海沉积^[23-24]。

2.2 重金属含量及分布

海南岛南部近岸表层沉积物重金属含量统计如表 2 所示,研究区海域表层沉积物重金属含量总体水平较低,除了重金属 As 极个别站位含量较高,其他均符合国家海洋沉积物质量一类标

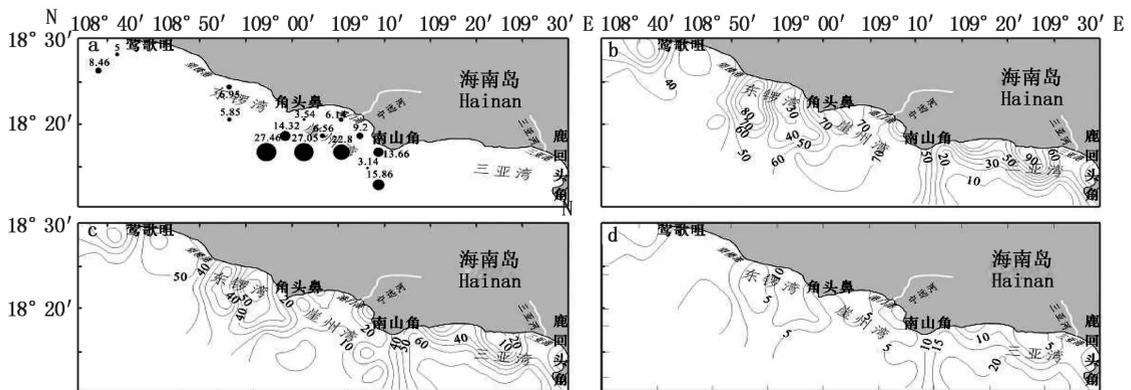


图 2 表层沉积物粒级组分百分含量分布

Fig. 2 The percentage distribution of grain size of surface sediments

a. 砾; b. 砂; c. 粉砂; d. 粘土
a. gravel; b. sand; c. silt; d. clay

准(GB18668—2002),其底质沉积物重金属污染程度较低。重金属变异系数除了 Pb 元素以外,均超过 50%,表明沉积物中重金属含量在研究区分布差异较大,且在各海湾分布具有不同的特征,相比 2007 年对南海北部海域的“908”专项调查结果^[25],本区表层沉积物重金属含量仍低于南海北部平均含量,反映了海南岛南部沉积物中重金属污染程度较轻。

研究区表层沉积物中除了 As 元素外,其他重金属元素含量呈类似分布(图 3),其高值区主要集中于东锣湾沿岸、崖州湾和三亚湾东侧水深大于 20 m 海域。其中,Zn、Cu、Cr、Hg 的高值在三个海湾中含量大致相当(图 3a,3b,3e,3g),而 Cd 在三亚湾细粒沉积区含量达到最高(图 3c),

Pb 在东锣湾明显高于其他海域(图 3d)。此外,As 在崖州湾西侧含量明显偏高(图 3f),最高值达到 33.73 mg/kg,其底质主要为宁远河输入的陆源碎屑形成的现代砂质沉积。东锣湾海域沿岸由近及远,重金属含量明显降低,这表明表层沉积物重金属分布主要受陆源污染物的影响,而崖州湾以及三亚湾重金属主要富集于海湾东侧,这可能与细颗粒沉积物对重金属具有较好的吸附性有关^[26-27],其东侧的南山角与鹿回头角阻挡了强南西向涌流的作用,使得大量细颗粒沉积物沉积于此侧,沉积物底质粒度以黏土和粉砂为主,同时重金属分布也与沿岸水动力条件如强的涌浪和潮汐有关^[28]。

表 2 表层沉积物重金属含量统计

Tab.2 Concentration of heavy metals in surface sediments

元素 Element	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	As	Hg
最大值/(mg/kg) Max	94.13	19.26	0.14	43.05	60.74	33.73	0.057 2
最小值/(mg/kg) Min	4.59	0.90	0.01	11.33	3.07	4.61	0.004 4
平均值/(mg/kg) Ave	38.98	8.33	0.06	20.69	27.45	9.74	0.019 4
标准偏差 SD	25.12	5.42	0.03	6.96	16.87	4.84	0.010 9
变异系数/% VC	63.30	65.13	54.36	33.37	60.70	50.00	55.89

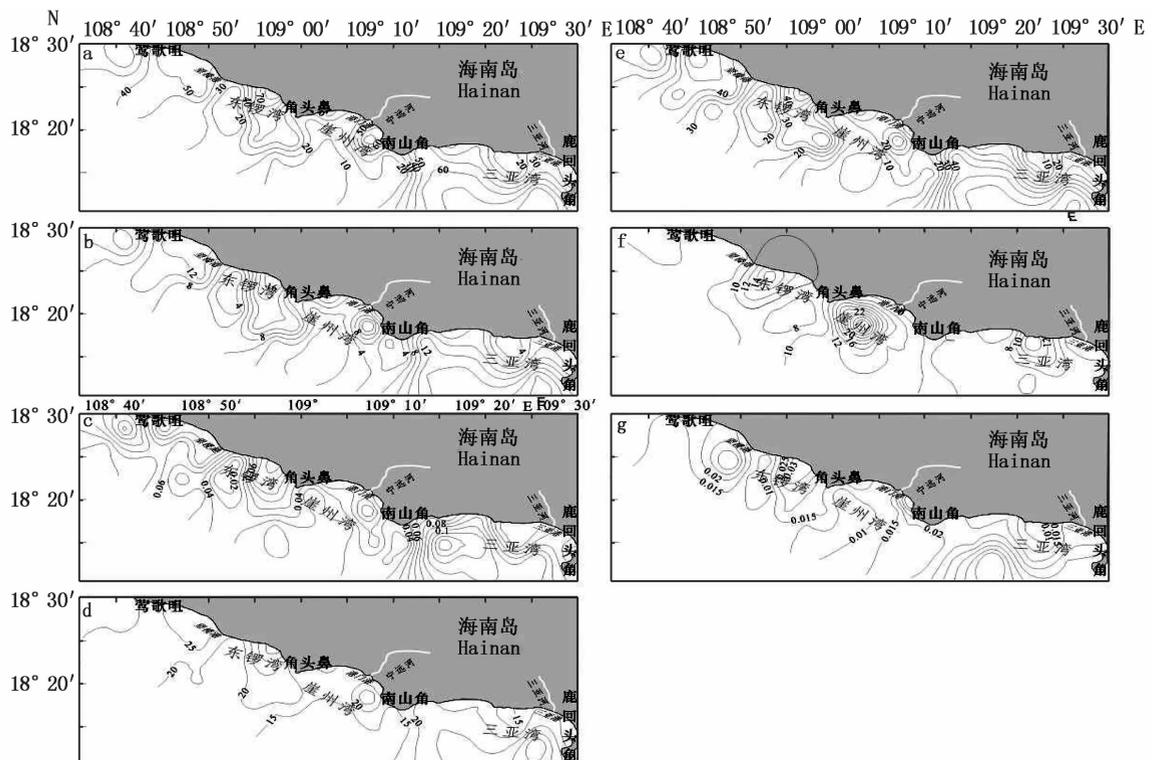


图 3 表层沉积物重金属分布

Fig.3 Distribution of the heavy metals in surface sediments

a. Zn; b. Cu; c. Cd; d. Pb; e. Cr; f. As; g. Hg

2.3 粒度与重金属含量相关性分析

利用 SPSS 22.0 统计软件分析表层沉积物样品中粒度组分与重金属间的相关系数,结果见表 3。从表中可以看出,研究区海域沉积物中 Zn、Cu、Cd、Pb、Cr、Hg 6 种重金属含量与粉砂和黏土等细颗粒沉积物之间具有较好的正相关性,底质沉积物较细时其重金属含量较高,底质为粗颗粒

时,重金属含量较低,同时,重金属元素之间也存在极显著的正相关,在一定程度上反映了上述 6 种重金属具有相似的来源,并且在分布上都受控于沉积物中粒度组分的分布。As 含量与粗颗粒如砾、砂呈微弱的正相关,与其他重金属含量呈弱的负相关。同时考虑到沉积物中 As 的分布具有显著的差异性,可能以点源为主。

表 3 表层沉积物中粒度组分与重金属元素相关性

Tab. 3 Correlation coefficient between grain size and heavy metal concentration of surface sediments

	砾 Gravel	砂 Sand	粉砂 Silt	粘土 Clay	均值 Mean	Cu	Pb	Cr	Zn	Cd	As
Cu	-0.41	-0.77	0.79	0.72	0.74						
Pb	-0.38	-0.67	0.69	0.63	0.68	0.92					
Cr	-0.43	-0.81	0.83	0.76	0.78	0.94	0.87				
Zn	-0.43	-0.82	0.83	0.78	0.79	0.94	0.88	0.89			
Cd	-0.44	-0.71	0.74	0.68	0.72	0.79	0.71	0.80	0.79		
As	0.32	0.43	-0.46	-0.41	-0.53	-0.43	-0.29	-0.46	-0.43	-0.44	
Hg	-0.36	-0.67	0.68	0.63	0.64	0.57	0.47	0.57	0.71	0.50	-0.39

2.4 重金属污染综合评价

为了客观评价重金属污染及其潜在风险,本文采用单因子污染指数法、富集因子法和 HAKANSON 提出的潜在生态风险指数法对海南岛南部近岸海域表层沉积物中重金属污染进行评价。

2.4.1 单因子污染指数法

利用单因子污染指数和综合污染指数对海南岛南部近岸表层沉积物中的重金属污染进行分析,结果表明(表 4),研究区表层沉积物中重金属单因子污染指数影响依次为 As > Cr > Pb > Zn > Cu > Hg > Cd,主要的重金属污染因子为 As,其单因子污染指数最大值达到 2.25,为中度污染水平,主要位于崖州湾西侧近岸海域,属于局部污染,研究区其他海域均处于轻微污染状态。As 富集主要与地质背景、气候条件以及人为影响等因

素有关,崖州湾以及宁远河流域植被茂盛,岩石类型以花岗岩、砂岩为主,不利于 As 元素富集^[29]。崖州湾西侧近岸海域主要为开放式渔场养殖基地,大量的含砷饵料的投放可能是其 As 元素含量较高的主要原因,同时,沉积物中有机质的吸附作用也不利于 As 元素的迁移,其次,宁远河下游两侧农田较多,沿岸的水产养殖也十分繁盛,大量的含砷农药的使用以及水产污水的直接排放也可能是造成局部海域 As 元素含量偏高的原因之一。因此,对重金属元素 As 的潜在生态风险应该给予足够的重视,但也必须对其他重金属的污染状况给予关注,避免其污染上升。总体看来,研究区表层沉积物单因子污染指数及综合污染指数均显示为低污染状态,反映出研究区海岸带生态环境较好。

表 4 沉积物中重金属单因子污染指数及综合污染指数

Tab. 4 Single factor evaluation and integrated pollution index on heavy metal pollution in sediments

重金属 Heavy metal	C_f^i							C_d
	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	As	Hg	
最大值 Max	0.54	0.39	0.14	0.62	0.67	2.25	0.23	3.06
最小值 Min	0.04	0.02	0.01	0.16	0.03	0.31	0.02	0.94
平均值 Ave	0.23	0.17	0.06	0.30	0.31	0.65	0.08	1.78

2.4.2 富集因子法

重金属富集因子计算结果如表 5 所示,从表

5 可以看出,总体上重金属富集因子平均含量较低,均小于 1,为不富集状态。其中,元素 As 的平

均富集因子数值最大,平均为 0.54,而最大值达到 2.48,大于 1 的站位比较集中,主要位于崖州湾西侧近岸海域,其他海域则远小于 1,反映出污染源污染可能是 As 元素富集最主要的原因。其余

6 种重金属元素(Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg)平均富集因子均较小,表现为轻微污染。总体来说,研究区海域沉积物中 7 种重金属元素的富集程度较低,污染状况属于轻度污染范围。

表 5 表层沉积物中富集因子(EF)

Tab.5 Enrichment factor in surface sediments(EF)

EF	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	As	Hg
最大值 Max	0.50	0.22	0.07	0.44	0.29	2.48	0.25
最小值 Min	0.05	0.02	0.01	0.14	0.03	0.16	0.02
平均值 Ave	0.13	0.10	0.04	0.20	0.18	0.54	0.05

2.4.3 潜在生态风险评价

生态风险系数(E_r^i)、潜在生态危害指数(RI)

见表 6。

表 6 表层沉积物中重金属的潜在生态风险系数和危害指数

Tab.6 Potential ecological risk factors and risk indices for heavy metals in surface sediments area

重金属 Heavy metal	E_r^i							RI
	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	As	Hg	
最大值 Max	0.54	1.93	4.29	3.08	1.35	22.49	9.15	26.48
最小值 Min	0.04	0.09	0.18	0.81	0.07	3.07	0.71	8.97
平均值 Ave	0.23	0.83	1.81	1.49	0.62	6.46	3.12	14.55

对比沉积物重金属生态危害程度划分标准(表 7)可知:研究区各重金属元素的潜在生态风险系数(E_r^i)均小于 30;潜在生态危害指数 RI 最大值为 26.48,最小值为 8.97,平均值为 14.55,也均远远小于 100,属于轻微生态危害范畴,表明表层沉积物中重金属元素的污染程度相对较低,沉积物环境质量状况良好。各种重金属的潜在生态危害系数大小顺序为:As > Hg > Cd > Pb > Cu > Cr > Zn,较单因子污染指数排序略有不同,这可能是由于潜在风险系数经过各种重金属的不同毒性系数的放大而产生的效应。

表 7 沉积物重金属生态危害程度划分标准

Tab.7 The standard of ecology risk of heavy metals in sediments

生态危害系数	生态危害程度
$E_r^i < 30$ 或 $RI < 100$	轻微
$30 \leq E_r^i < 60$ 或 $100 \leq RI < 200$	中等
$60 \leq E_r^i < 120$ 或 $200 \leq RI < 400$	强
$120 \leq E_r^i < 240$ 或 $RI > 400$	很强

总体来说,海南岛南部近岸海域表层沉积物中重金属元素的污染指数和富集程度都属较低,

潜在生态风险也都属于轻微的生态危害,反映出研究区海域生态环境较好。研究区主要位于三亚近岸海域,而三亚是一个以旅游为支柱经济的滨海城市,工业发展受到严格限制,三亚发展历史也相对较短,城市人口相对较少,污染较低。但随着城镇化进展城镇人口不断增多,工业化进程不断加快,沿海城市大量的商业开发以及惠民工程的施工,局部海域已出现污染状况,因此也需要提供有效且及时的环境保护制度和已污染的海洋环境的修复措施来维护生态环境的可持续发展。

3 结论

(1)研究区表层沉积物主要以砂和粉砂为主。黏土含量相对较少,其高值区(>20%)主要集中于三亚湾水深超过 20 m 的海域,分布与粉砂高含量近似。

(2)从相关性分析可知,Zn、Cu、Cd、Pb、Cr、Hg 6 种重金属元素之间具有明显的正相关性,同时与粉砂和黏土等细颗粒沉积物都具有显著的正相关,而 As 与其他重金属呈弱的负相关,表明 As 元素与其他重金属元素可能具有不同的来源。

(3) 重金属潜在生态危害指数的评价结果表明,海南岛南部近岸表层沉积物中的重金属对海洋生态系统的危害非常轻微,各种重金属的潜在生态危害系数大小顺序为 $As > Hg > Cd > Pb > Cu > Cr > Zn$,其潜在生态风险指数 RI 平均值为 14.55,属于轻微的潜在生态危害。

参考文献:

- [1] FU C, GUO J S, Qi J S, et al. Potential ecological risk assessment of heavy metal pollution in sediments of the Yangtze River within the Wanzhou Section, China [J]. *Biological Trace Element Research*, 2009, 129(1/3): 270-277.
- [2] 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(3): 317-325.
- [3] 张晓辉, 黄根华, 曾德相, 等. 珠江口荷包岛近岸海域沉积物重金属分布及其潜在生态危害评价[J]. *海洋学研究*, 2013, 31(4): 49-55.
- ZHANG X H, HUANG G H, ZENG D X, et al. Distribution features and evaluation on potential ecological risk of heavy metals in surface sediments nearby Hebao Island, Pearl River Estuary[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2013, 31(4): 49-55.
- [4] 马德毅, 王菊英. 中国主要河口沉积物污染及潜在生态风险评价[J]. *中国环境科学*, 2003, 23(5): 521-525.
- MA D Y, WANG J Y. Evaluation on potential ecological risk of sediment pollution in main estuaries of China[J]. *China Environmental Science*, 2003, 23(5): 521-525.
- [5] ATTRILL M J, THOMES R M. Heavy metal concentrations in sediment from the Thames Estuary, UK [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, 30(11): 742-744.
- [6] LI X D, WAI O W H, Li Y S, et al. Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl River estuary, South China [J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15(5): 567-581.
- [7] CHAPMAN P M, WANG F, ADAMS W J, et al. Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids [J]. *Environmental Science and Technology*, 1999, 3(22): 3937-3941.
- [8] 安立会, 郑丙辉, 张雷, 等. 渤海湾河口沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(5): 666-670.
- AN L H, ZHENG B H, ZHANG L, et al. Occurrence of heavy metals in surface sediments from estuaries in Bohai bay and their ecological risk assessment [J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(5): 666-670.
- [9] 辛成林, 任景玲, 张桂玲, 等. 海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况[J]. *环境科学*, 2013, 34(4): 1315-1323.
- XIN C L, REN J L, ZHANG G L, et al. Distributions and pollution status of heavy metals in the suspended particles of the estuaries and coastal area of Eastern Hainan [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(4): 1315-1323.
- [10] 陈泓君, 蔡观强, 崔兆国, 等. 南海西北部表层沉积物重金属分布特征与污染评价[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(1): 43-50.
- CHEN H J, CAI G Q, CUI Z G, et al. Distribution of heavy metals in surface sediments of northwestern south China sea and pollution assessment [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(1): 43-50.
- [11] 林钟扬, 倪建宇, 时连强, 等. 海南小海表层沉积环境及重金属污染综合评价[J]. *海洋学研究*, 2011, 29(2): 13-23.
- LIN Z Y, NI J Y, SHI L Q, et al. Comprehensive evaluation of the environment and the heavy metals pollution in the surface sediments of Xiaohai, Hainan Province [J]. *Journal of Marine Sciences*, 2011, 29(2): 13-23.
- [12] 张宇峰, 武正华, 王宁, 等. 海南南岸港湾海水和沉积物重金属污染研究[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2002, 39(1): 81-90.
- ZHANG Y F, WU Z H, WANG N, et al. An investigation of heavy metal pollution in the bays in the south of Hainan islands [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2002, 39(1): 81-90.
- [13] 陈忠, 古森昌, 颜文, 等. 南沙海槽南部海区表层沉积物重金属元素含量及其影响因素[J]. *海洋科学*, 2002, 26(1): 50-53.
- CHEN Z, GU S C, YAN W, et al. Contained in surface sediments at south Nansha trough and adjacent sea area and its affecting factors[J]. *Marine Sciences*, 2002, 26(1): 50-53.
- [14] 吕书丛, 张洪, 单保庆, 等. 海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分布及生态风险评价[J]. *环境科学*, 2013, 34(11): 4204-4210.
- LV S C, ZHANG H, SHAN B Q, et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in the estuaries surface sediments from the Haihe River Basin [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(11): 4204-4210.
- [15] 夏南, 薛桂澄, 傅杨荣, 等. 海南岛近岸海域表层沉积物中重金属元素含量状况及生态风险分析[J]. *资源环境与工程*, 2011, 25(3): 244-247.
- XIA N, XUE G C, FU Y R, et al. Analysis of ecological risk and the content situation of heavy metals in surface sediments of Hainan island's inshore [J]. *Resources Environment & Engineering*, 2011, 25(3): 244-247.
- [16] 李杰, 祁士华, 王向琴, 等. 海南小海沉积物中的重金属分布特征及潜在生态风险评价[J]. *安全与环境工程*, 2008, 15(2): 18-22.
- LI J, QI S H, WANG X Q, et al. Distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in sediments from

- Xiaohai Bay [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2008, 15(2): 18-22.
- [17] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [18] FOLK R L. A review of grain-size parameters [J]. *Sedimentology*, 1966, 6(2): 73-93.
- [19] 张勇, 刘树函. 广州入海河口沉积物重金属污染及潜在生态风险初步评价[J]. *广州环境科学*, 2007, 22(1): 37-39.
- ZHANG Y, LIU S H. The heavy metal pollution of coastal sediment in Guangzhou and its potential ecological risk[J]. *Guangzhou Environmental Sciences*, 2007, 22(1): 37-39.
- [20] KWON Y T, LEE C W. Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area [J]. *Science of the Total Environment*, 1998, 214(1/3): 203-210.
- [21] BLASER P, ZIMMERMANN S, LUSTER J, et al. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils [J]. *The Science of the Total Environment*, 2000, 249(1/3): 257-280.
- [22] ZHAO Y Y, JIANG R H, YAN M C. Abundance of chemical elements in continental shelf sediment of China [J]. *Geo-Marine Letters*, 1995, 15(2): 71-76.
- [23] 谭文化. 海南岛周边海域底质碎屑矿物分布及其物源分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007: 32-68.
- TAN W H. Study on the distribution and origin of the seafloor detrital minerals in the offshore water of Hainan island[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2007: 32-68.
- [24] 田成静, 欧阳婷萍, 朱照宇, 等. 海南岛周边海域表层沉积物磁化率空间分布特征及其物源指示意义[J]. *热带地理*, 2013, 33(6): 666-673.
- TIAN C J, OUYANG T P, ZHU Z Y, et al. Spatial distribution of magnetic susceptibility and its provenance implication of surface sediments in the sea areas around the Hainan island[J]. *Tropical Geography*, 2013, 33(6): 666-673.
- [25] 洪华生. 中国区域海洋学: 化学海洋学[M]. 北京: 海洋出版社, 2012: 334-353.
- HONG H S. Regional oceanography of china seas; chemical oceanography[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012: 334-353.
- [26] 黄向青, 梁开, 林进清, 等. 钦州湾口沉积物中重金属变化特征及其与粒度的关系[J]. *广西科学*, 2005, 22(3): 281-287.
- HUANG X Q, LIANG K, LIN J Q, et al. Variation characteristics of heavy metals and their relationship with grain sizes in Qinzhou bay mouth, Guangxi [J]. *Guangxi Sciences*, 2005, 22(3): 281-287.
- [27] TANSEL B, RAFIUDDIN S. Heavy metal content in relation to particle size and organic content of surficial sediments in Miami River and transport potential[J]. *International Journal of Sediment Research*, 2016, doi: 10.1016/j.ijrsr.2016.05.004.
- [28] 唐博, 许冬, 金路, 等. 海南岛近海表层沉积物分散元素的富集特征与污染评价[J]. *海洋学研究*, 2013, 31(3): 89-96.
- TANG B, XU D, JIN L, et al. Enrichment characteristics and pollution assessment of dispersed elements in the surface sediment around Hainan Island waters[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2013, 31(3): 89-96.
- [29] 柳青青, 杨忠芳, 周国华, 等. 中国东部主要入海河流 As 元素分布、来源及影响因素分析[J]. *现代地质*, 2012, 26(1): 114-124.
- LIU Q Q, YANG Z F, ZHOU G H, et al. Distribution, sources and impact factors of arsenic in the major rivers of eastern China[J]. *Geoscience*, 2012, 26(1): 114-124.

Heavy metal pollution and their ecological risk assessment in sediments from southern Hainan Island

LUO Kun^{1,2}, LI Liang¹, LONG Genyuan¹, LIU Gang¹, XUE Yulong¹, PAN Weihong³

(1. Marine Geological Survey Institute of Hainan Province, Haikou 570206, Hainan, China; 2. Hainan Geological Bureau, Haikou 570206, Hainan, China; 3. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China)

Abstract: A total of 49 surface sediment samples from Southern Hainan Island were analyzed for heavy metals and grain size in order to identify their possible sources and assess their potential ecological risk. It showed that the surface sediments consist mainly of sand and silt and with scarce gravel and clay. The mean concentrations of the selected heavy metals were relatively low from the southern Hainan Island and the highest reached 38.98 mg/kg of Zn. Except for As, the other elements (Zn, Cu, Cd, Pb, Cr and Hg) exhibit significant positive correlations with each other and the contents of silt and clay. The assessment result of ecological risk revealed the southern Hainan Island possessed light potential ecological risks with the mean RI value of 14.55. The order of ecological risks for the selected metals is As > Hg > Cd > Pb > Cu > Cr > Zn.

Key words: heavy metals; potential ecological risk assessment; grain size; surface sediment; inshore area of southern Hainan island