

doi: 10.11720/wtyht.2017.5.26
梁胜跃, 刘建东, 郭炳跃, 等. 江苏省连云港市前三岛附近海域地球化学特征及风险指标探讨[J]. 物探与化探, 2017, 41(5): 963-971, 990. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.26
Liang S Y, Liu J D, Guo B Y, et al. A comprehensive discussion on the geochemical characteristics and threatening indexes of the marine area around Qiansan Island, Lianyungang, Jiangsu Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5): 963-971, 990. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.26

江苏省连云港市前三岛附近海域地球 化学特征及风险指标探讨

梁胜跃, 刘建东, 郭炳跃, 徐明钻, 祁超, 金志鹏
(江苏省地质勘查技术院, 江苏 南京 210049)

摘要: 通过对前三岛海域进行海底沉积物和海水地球化学调查, 研究了 26 项地球化学指标分布特征。结果显示, 该海域沉积物中大部分指标属于均匀型分布且与背景值总体接近, 海底沉积物及海水质量总体良好, 但局部地点也存在部分指标含量较高, 甚至个别指标超标的现象, 存在生态风险。鉴于此, 经过相关评价初步圈定了该海域的 3 块(点)风险区和潜在风险区位置, 明确了 As 和 Pb 为风险指标, Cd、Ba、MnO 等为潜在风险指标, 对前三岛海域沉积物质量分为清洁区、尚清洁区、轻度污染区 3 个级别, 并尝试讨论 As、Pb、Ba 等风险及潜在风险指标的成因和演化趋势, 为该区域沿海开发利用提供了参考, 为其他海域相关工作提供了借鉴。

关键词: 前三岛海域; 海底沉积物; 海水; 地球化学特征; 风险指标

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)05-0963-09

0 引言

随着经济的发展, 陆地环境污染问题已日趋严重, 例如目前我国土壤污染总超标率为 16.1%, 其中耕地中一重度污染比例 2.6%^[1]。陆地资源已经满足不了人类的需求, 于是人类逐渐开始向海洋索要资源与发展空间。有人预言, 21 世纪为海洋的世纪, 可惜的是, 发展至今海洋也已非净土。

江苏省作为东部发达地区, 目前陆地环境已经为经济发展付出了代价, 例如土壤总体污染比例占 6.08%, 严重污染比例占 0.43%, 二者总控制土壤分布范围大于 6 000 km²^[2]。2008 年以来, 江苏省实施沿海开发战略, 但众多土壤质量事件警示我们, 在开发海洋的同时必须重视环境保护工作, 这就需要先了解海洋环境基础, 再进行科学开发。笔者有幸参与的前三岛及附近海域(以下简称“研究区”)环境地质调查项目, 其目的就是了解研究区海洋环境, 为

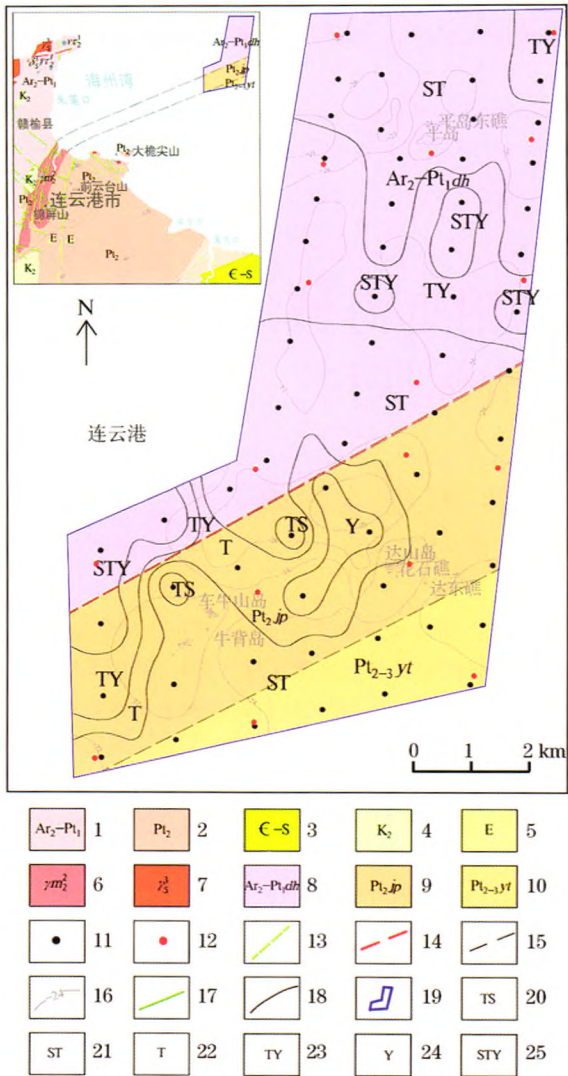
后续的科学开发奠定基础。通过对研究区相关海域的海底沉积物及海水进行地球化学测量, 发现相关海域总体质量良好, 但也存在一些环境问题, 在此进行了讨论并提出建议。

1 地质概况

前三岛(平岛、达山岛、车牛山岛)属于黄海海域, 行政区划为江苏省连云港市, 总面积 262.7 km², 距海岸线约 50 km(图 1), 地质工作程度低。大地构造以淮阴—响水断裂为界, 西北部为苏鲁秦岭大别造山带, 东南部为下扬子地块。研究区位于苏鲁秦岭大别造山带之中。苏鲁秦岭大别造山带在碰撞造山运动、超高压、高压变质变形中形成了极为复杂的韧性剪切构造, 中生代以来以岩浆侵入和块断作用为主。

研究区陆域部分地层以变质岩系为主, 分布有太古宇—古元古界东海岩群(Ar₂—Pt₁dh)、中元古

收稿日期: 2016-10-12
基金项目: 江苏省地勘基金项目(2013255-1)
作者简介: 梁胜跃(1983-), 男, 河南兰考人, 硕士, 物化遥工程师, 主要从事地球化学专业相关生产与研究工作。Email: liangshengyue@126.com



1—太古宇-古元岩古界;2—中元古界;3—寒武-志留系;4—上白垩统;5—古近系;6—中元古界混合花岗岩;7—燕山晚期花岗岩;8—太古宇-古元古界东海岩群;9—中元古界锦屏岩群;10—中新元古界云台岩群;11—海底沉积物;12—海水样;13—断裂;14—推断裂层;15—推断裂层界线;16—海底高程等值线;17—底辟;18—岩性分区界线;19—工作区范围;20—粉砂质砂;21—砂纸粉砂;22—粉砂;23—粉砂质黏土;24—黏土;25—砂、粉砂、黏土

图1 前三岛地区地质简图及样品分布

界锦屏岩群(Pt_2jp)、中新元古界云台岩群($Pt_{2-3}yt$)和震旦系石桥组(Z_1s)。岛屿地表分布地层为中新元古界云台岩群($Pt_{2-3}yt$),岩性为变粒岩,夹浅粒岩等。这些基岩因长期裸露地表,遭受风化剥蚀,裂隙多被填充,地下水总体不丰富^[3],海域部分表层沉积物有粉砂、粉砂质砂、粉砂质黏土、黏土等。

2 试验方法

本次以海底沉积物为主,以海水为辅进行研究,沉积物采样密度为1个点/ 4 km^2 ,采样深度为海底0

~20 cm;海水采样密度为1个点/ 16 km^2 ,在水深小于5 m处的表层(0.5 m水层)取样,水深大于5 m处,在表层、底层分别取样,采样点位分布情况见图1。海底沉积物样品为海底表层物剔除石块、贝壳、塑料等杂物的剩余部分,样品湿重大于3 000 g,样品67件;水样采至船甲板后,先填好水样登记表,然后按溶解氧、pH、总碱度与氯化物、五项营养盐、总磷与总氮分装水样,采水量大于1 500 mL,表层水样27个,深层水样23个。根据海底沉积物和海水测试的相关要求进行样品加工,海底沉积物测试分析元素或组分(下文统称“元素”)26项,这些元素分析严格按照相关要求执行^[4-8],测试工作由国土资源部南京矿产资源监督检测中心承担,测试精度及报出率见表1。

3 地球化学特征

3.1 海底沉积物地球化学特征

对研究区海底沉积物26项元素测试结果的算术平均值、标准离差、变异系数、最大值、最小值等进行统计,并与中国浅海沉积物平均值进行对比^[9],对于该标准中没有涵盖的则选择《元素地球化学》等相对接近的标准或文献^[10-11]数据作为参照背景,计算出研究区的海底沉积物浓集克拉克值等指标(表2)。

通过对比表2中数据发现,与浅海沉积物等参考背景相比,研究区大部分元素富集贫化特征不明显,个别元素含量低于背景,表现为贫化特征($K_k \leq 0.8$),如有机碳、Hg、N、Zn、MgO、 Fe_2O_3 、Co,其中有机碳表现为强贫化特征($K_k \leq 0.5$);少量元素平均含量处于富集水平($K_k \geq 1.2$),如As、Pb、Cd、Ba、P、 Na_2O 、 TiO_2 ,其中As表现为强富集特征($K_k \geq 1.5$); Al_2O_3 、CaO、 SiO_2 、 K_2O 、Cr、Cu、Ga、Ni、Sr等富集贫化特征不明显。

变异系数(C_v)是反映元素离散变化特征的指标, C_v 值小则元素分配趋于均匀, C_v 值越大则元素分布越不均匀或分异^[12-13]。研究区仅MnO属于变异型元素,反映研究区海底沉积物中MnO含量分布非常不均匀;属于弱变异型的元素有Pb、Zr、N、LOI、Cd、CaO、As,表明在研究区海底沉积物中这些元素含量具有一定的波动性,但总体均匀;属于均匀型的元素有 Al_2O_3 、 Na_2O 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、MgO、 K_2O 、Cr、Ba、Ga、Co、Sr、P、 P_2O_5 、 TiO_2 、Hg、Cu、Ni、Zn、有机碳,表明它们含量在研究区海底沉积物分布比较均匀。

表 1 前三岛地区海底沉积物测试参数统计

序号	指标	检出限	报出率/%	序号	指标	检出限	报出率/%
1	As	0.8	100	14	有机碳	0.01	100
2	Ba	6	100	15	SiO ₂	0.05	100
3	Cd	0.02	100	16	Al ₂ O ₃	0.03	100
4	Cr	2	100	17	Fe ₂ O ₃	0.01	100
5	Cu	0.5	100	18	CaO	0.001	100
6	Hg	0.002	100	19	MgO	0.005	100
7	N	20	100	20	K ₂ O	0.004	100
8	Ni	1	100	21	Na ₂ O	0.004	100
9	P	8	100	22	P ₂ O ₅	0.005	100
10	Pb	2	100	23	MnO	0.005	100
11	Sr	1	100	24	LOI	0.01	100
12	Zn	2	100	25	Co	—	100
13	Zr	1	100	26	TiO ₂	—	100

注:元素检出限单位为 10⁻⁶;化合物、烧失量及有机碳等检出限单位为%

表 2 前三岛地区海底沉积物地球化学特征值

元素	含量单位	K	$\bar{X}$	K _k	X _{min}	X _{max}	S ₀	C _v
Na ₂ O	%	2.18	2.41	1.10	2.10	2.65	0.14	0.06
SiO ₂	%	62.23	67.59	1.09	50.42	73.66	5.15	0.08
CaO	%	5.19	5.51	1.06	2.86	13.82	2.22	0.40
K ₂ O	%	2.18	2.35	1.08	1.88	2.56	0.14	0.06
Al ₂ O ₃	%	10.67	9.90	0.93	8.41	11.59	0.54	0.06
Fe ₂ O ₃	%	4.35	3.39	0.78	2.44	5.38	0.71	0.21
MgO	%	1.81	1.25	0.69	0.94	2.04	0.26	0.21
有机碳(Corg)	%	0.62	0.25	0.41	0.12	0.45	0.07	0.27
TiO ₂	%	0.62 *	0.43	1.44	0.34	0.82	0.07	0.16
P ₂ O ₅	%	0.11	0.12	1.09	0.09	0.22	0.03	0.23
烧失量(LOI)	%	10.06	6.66	0.66	4.00	15.16	2.35	0.35
MnO	%	0.14 *	0.13	1.07	0.05	0.43	0.09	0.66
As	10 ⁻⁶	7.7	13.76	1.79	5.72	33.50	6.52	0.47
Pb	10 ⁻⁶	20	29.51	1.48	14.80	60.70	9.43	0.32
Cd	10 ⁻⁶	0.065	0.09	1.38	0.06	0.24	0.03	0.36
Ba	10 ⁻⁶	410	567.48	1.38	408.00	702.00	53.93	0.10
P	10 ⁻⁶	500	678.67	1.36	501.00	1093.00	113.49	0.17
Sr	10 ⁻⁶	230	269.96	1.17	198.00	542.00	54.62	0.20
Zr	10 ⁻⁶	210	237.27	1.13	159.00	773.00	75.90	0.32
Cu	10 ⁻⁶	15	14.92	0.99	10.20	27.00	4.39	0.29
Ga	10 ⁻⁶	14	11.60	0.83	10.20	15.20	0.94	0.08
Cr	10 ⁻⁶	60	50.31	0.84	38.00	72.60	8.25	0.16
Ni	10 ⁻⁶	24	19.48	0.81	13.90	37.80	5.53	0.28
Co	10 ⁻⁶	12	9.39	0.78	6.50	17.20	2.56	0.27
Zn	10 ⁻⁶	65	44.31	0.68	33.80	70.60	8.93	0.20
Hg	10 ⁻⁶	0.025	0.01	0.52	0.01	0.02	0.00	0.18
N	10 ⁻⁶	620	381.93	0.62	212.00	900.00	132.87	0.35

注:表中丰度数值中大部分数据为中国浅海沉积物^[9],LOI和P₂O₅借鉴海洋沉积物数据^[10],参考值右上角标有*的为引用《元素地球化学》^[11]数据

3.2 海底沉积物元素含量空间分布特征

研究区海底沉积物大部元素含量空间分布均匀,富集贫化程度不明显,但是也有部分元素分布相对不均匀,个别元素局部异常。结合元素的地球化学性质以及研究区地质特征,总结部分能够反映环境质量、成因等方面信息的元素,并制图反映其分布特征。这些元素有:As、Pb、Cd、Hg、Ba、Zn 等有毒有害的重金属元素^[14-15];N、P、NaO₂、MgO、CaO 等反

映养分水平的元素^[16];Zr、Co、MnO、Fe₂O₃、LOI 等能够反映沉积物氧化、还原、气候等环境方面的元素^[17];其含量分布特征见图 2~图 4。

从图 2 可以看出,Fe₂O₃、Co、MnO、LOI 4 个指标含量分布特征具有较高的相似性,即研究区北部和南部中间地段均存在大面积的低含量带,其中 MnO 和 Co 相似性极高。SiO₂、Zr 含量则不同,尤其是 SiO₂ 的含量分布与 LOI、Fe₂O₃、Co、MnO 等相比甚至

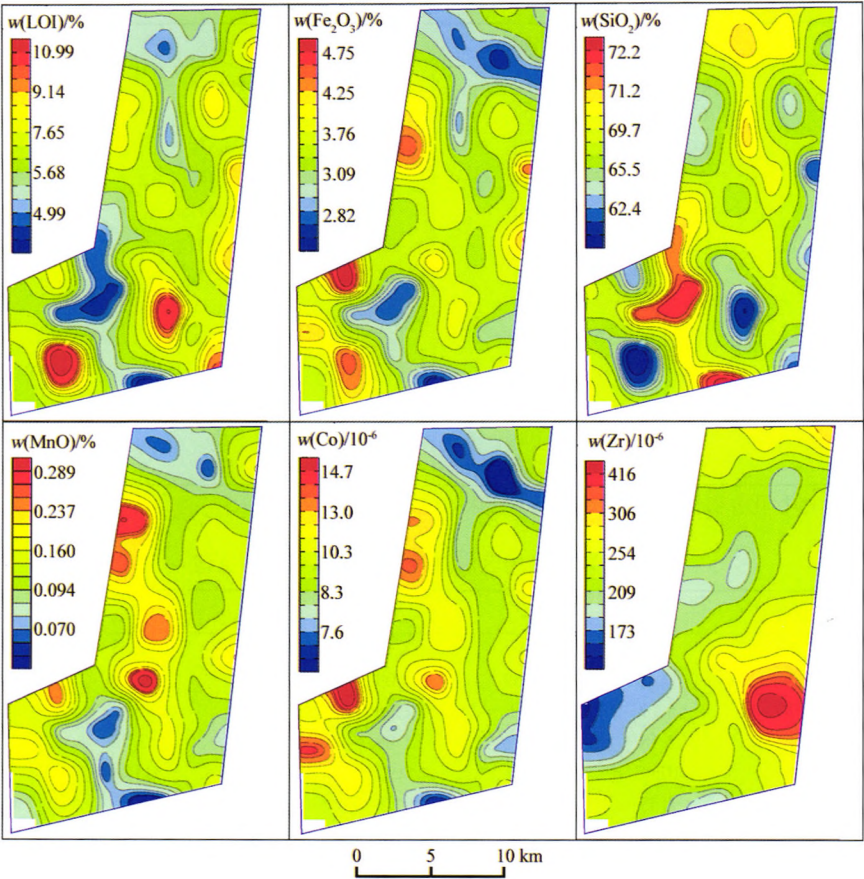


图 2 前三岛地区水体环境指标地球化学分布

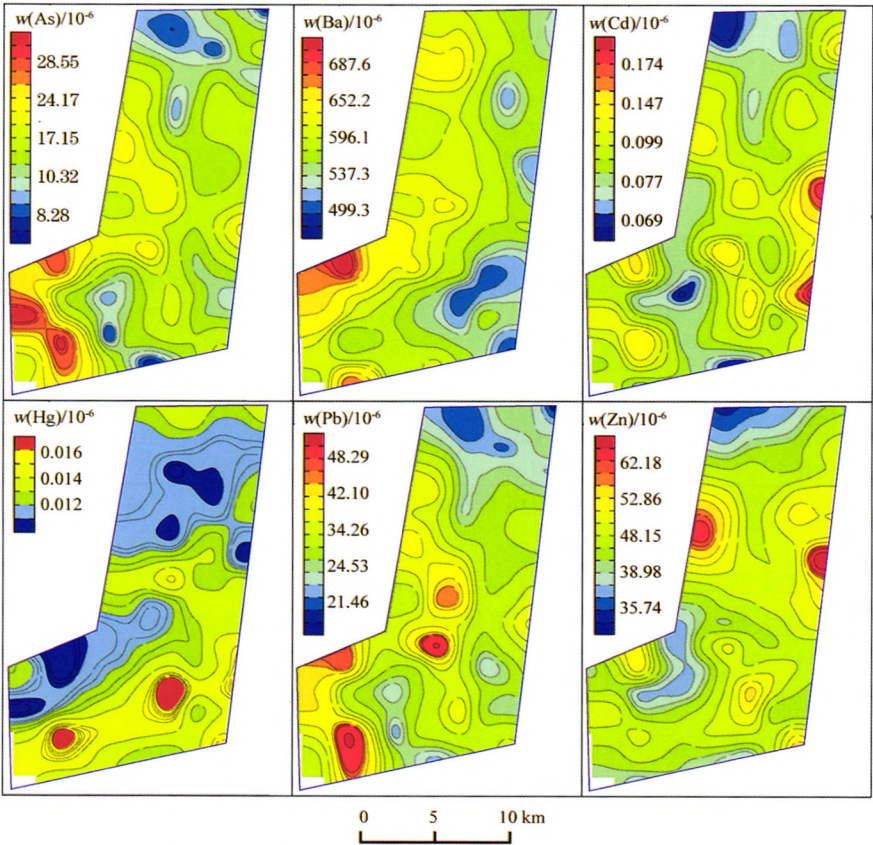


图 3 前三岛地区有毒有害重金属元素地球化学分布

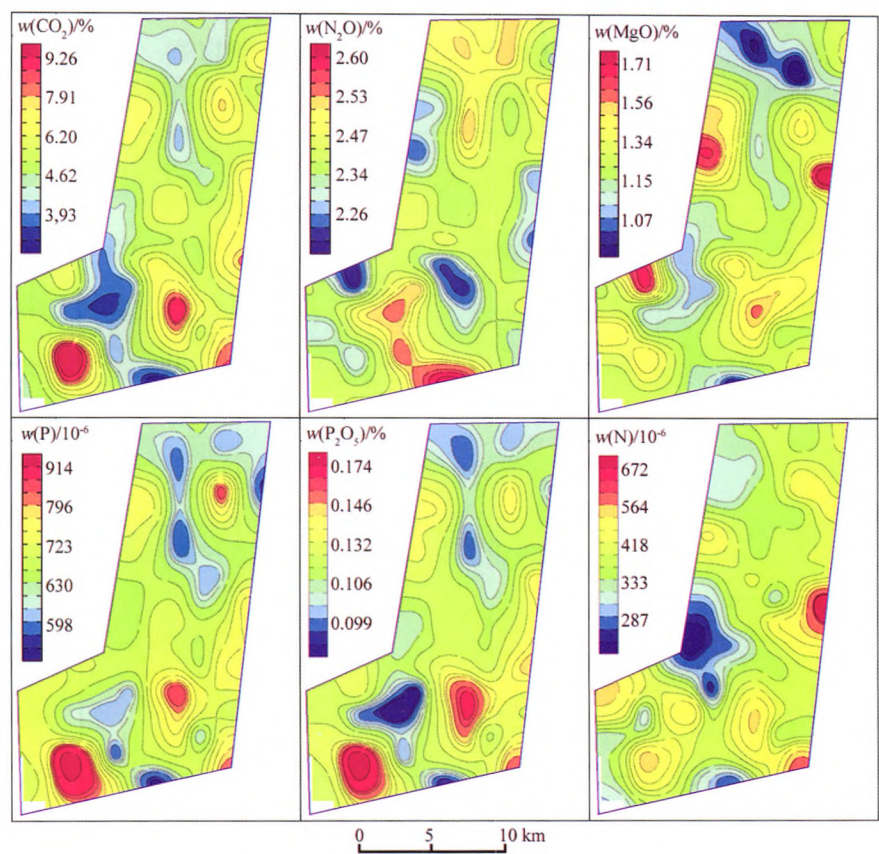


图 4 前三岛地区营养元素地球化学分布

表现出一定的负相关特征。

从图 3 可看出,有毒有害重金属元素中,As、Pb、Ba、Hg 4 个元素存在自南向北、自东向西含量升高的总现象,其中 Hg 还表现为含量以西南—东北方向呈带状平行分布的趋势。大量研究成果表明,Hg 在断裂附近会呈现出异常^[33],Hg 的分布异常与本项目物探方法推测的断层走向及位置^[3]比较吻合,这进一步佐证了该断层的存在。Zn 总体表现为贫化元素,在区内分布相对比较均匀,其中部的几处相对高值带和南部的低值带与 MgO、LOI 等组分有几分相似。

图 4 中 P、CaO、P₂O₅、MgO 在研究区含量分布趋势相近,均在北部存在部分相对低含量区域,在中南部地区存在北西至东南向的低含量带,它们的相对高含量区域也基本类似,其中 N 与其相关性有所减弱,而 NaO₂ 含量则与它们表现出一定程度的负相关分布趋势。

4 海底沉积物质量评价

海洋沉积物质量分为 3 类^[18],即适用于海洋渔业水域、海洋自然保护区、珍稀与濒危生物自然保护

区、海水养殖区、海水浴场、人体直接接触沉积物的海上运动或娱乐区、与人类食用直接有关的工业用水区;适用于一般工业用水区、滨海风景旅游区;适用于海洋港口水域、特殊用途的海洋开发作业区。海底沉积物质量级别是依据相关地球化学指标的含量进行划分的,本次测试分析元素中有 8 个指标(As、Pb、Cr、Cd、Hg、Cu、Zn、有机碳)属于海底沉积物质量规定指标。研究区内 As 和 Pb 均有点位超出了第一类标准,其中 As 的超标面积大于 Pb。根据样品的分布特征制作 As、Pb 一类海底沉积物单元元素超标分布图(图 5)。Pb 超标区域呈点状分布于研究区中部;As 以南北向“S”型分布为主,其次为点状分布,且超标范围有超出研究区范围的可能。

为更加全面地评价研究区海底沉积物质量,采用环保部推荐的内梅罗污染指数(P_N)评价方法^[19],对这 8 项指标进行综合评价,为便于制图将评价结果统一放大 100 倍(图 5c),发现研究区海底沉积物清洁级约占 76%($P_N \leq 70$);尚清洁级约占 18%($70 < P_N \leq 100$);轻度污染级约占 6%($100 < P_N \leq 200$),没有达到中度污染以上级别的区域。对比单指标污染分布图与内梅罗综合指标评图可以发现,综合评价图轻度污染区小于单指标圈定范围,将

内梅罗轻度污染指数最低值从 100 降至 80,则综合污染评级 80 以上的区域与单指标轻度污染区域基本一致,并进一步圈定了潜在污染风险区(见图 5c

中白色区域)。综上,浅海沉积物质量总体较好,局部超出海底沉积物第一类标准,未发现超出第二类标准和第三类标准的样品。

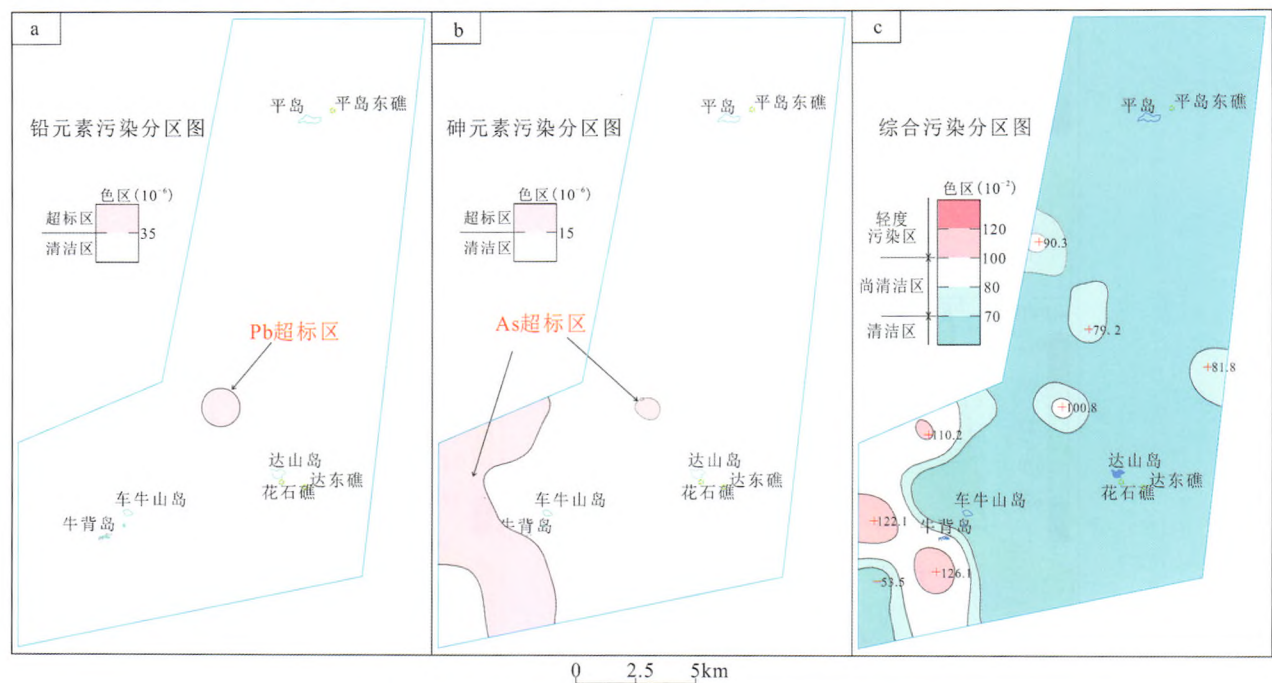


图 5 前三岛地区海底沉积物 As、Pb 超标(一类)及综合污染分级

5 讨论

根据现行标准进行评价,发现研究区的海底沉积物质量总体清洁,局部地区重金属(As、Pb)轻度超标。此外还有部分元素在研究区表现为不均匀分布,甚至呈现出富集或贫化现象,可能存在潜在环境风险。为便于讨论,笔者作如下定义:将超出国家相关标准的元素称作“风险指标”,将暂未超标但是其含量已接近超标的指标称作“潜在风险指标”;同时,对相关标准中未涵盖的指标,若其含量过高或过低,会对海洋环境造成不良影响的也称之为“潜在风险指标”。需要对风险指标的类型、来源、趋势以及威胁程度等进行分析,为海底沉积物的利用、治理提供科学信息。

5.1 风险指标类型讨论

研究区表现富集的元素有 As、Pb、Cd、Ba、P、NaO₂、TiO₂,其中 As、Pb 两个有毒有害重金属元素已超出相关质量标准,为风险指标;Cd、Ba 两个重金属元素不仅富集,且含量分布相对均匀,说明它们在研究区的背景较高,发生超标或污染事件的几率较大,属于本区的潜在风险指标;P 作为营养元素对动植物具有重要意义^[20],有研究表明海底沉积物中 P 含量过高还会形成富营养化^[21],在海底沉积物中 P

的作用具有双重性,就目前的含量水平来讲,应属于正面效应区间,暂不作为风险指标;Na 是人类及动植物不可缺少的常量元素^[11],是传统意义的无害组分,尚未发现在海底沉积物中 Na 含量高对生态环境方面影响的证据,且研究区的 Na₂O 含量也并非极高,故本次暂不列为风险指标;海底沉积物中 TiO₂ 主要以矿物形式(以金红石为主)存在^[22],几乎没有海洋自生形成的^[20],元素地球化学性质非常稳定,对海洋生态环境几乎没有影响^[23],亦不属于风险指标。

研究区表现为贫化的指标有 Hg、N、Zn、MgO、Fe₂O₃、Co、有机碳等,其中 Zn、Hg、Co 作为传统的重金属元素,其贫化应属于积极作用,不构成威胁;MgO、Fe₂O₃ 两个常量组分在海底沉积物中主要赋存于细粒沉积物碎屑中^[24],其含量受地质背景影响为主,生态环境方面意义不明显,故也不属于风险指标;有机碳和 N 两个指标在海底沉积物中来源有两种,一种来源于陆地,一种源于海洋自生,南黄海区域一般表现为近岸低、远岸高的分布趋势^[25],这两个指标一定程度上能够反映海洋生态环境的浮游生物、氧化还原环境等,其中有机碳是渔业生物的主要来源^[26],因此它们的贫化现象需引起重视,应列为潜在风险指标。

明,苏北的徐州、淮安、连云港地区重金属超标现象普遍^[34-36],其中连云港地区土壤 As、Pb 最高^[2,37],含量与研究区土壤含量基本一致,推测研究区的 As、Pb 超标可能是流经连云港地区的沿海河流输入导致。当前一定时期内工业化、城镇化仍在快速发展,尤其是江苏省的矿山活动目前主要集中在苏北,这是连云港地区 As、Pb 含量高的众多原因之一,可以预测研究区的 As、Pb 含量水平将持续稳定,甚至进一步升高。

Cd(研究区 0.09×10^{-6} ,黄河 0.077×10^{-6} ,长江 0.25×10^{-6})、MnO(研究区 0.13×10^{-6} ,黄河 0.06×10^{-6} ,长江 0.11×10^{-6})、有机碳 3 个潜在风险指标与其他指标的欧几里德距离相对较远,通过分析对比发现:Cd 与几个地球化学性质相近的元素之间的欧几里德距离较远,说明研究区该元素的自然来源因素不占主导地位。分析含量水平发现,Cd 含量平均值与江苏省表层土壤一致,推测周边河流携带的江苏表层土壤可能是 Cd 含量较高因素之一。此外有证据表明,江苏地区 Cd 污染既有地区内的人为因素^[37],也有东部地区煤炭使用导致的大气沉降带来的粉煤灰等因素^[38,44-45],这些自然及人为因素短期难以改善,若不加以干预,研究区沉积物中 Cd 的含量也难以改善。

有机质的碳氮比可以判别有机质来源是陆源还是海洋自生,海洋生物来源的有机质 C/N 比值为 5~7,陆源高等植物贡献的有机质 C/N 比值大于 15^[39-40]。本次测试结果显示,有 51% 的样品有机质 C/N 比值位于 5~7 之间,8% 的样品低于 5,1.4% 超过 15,推测研究区的有机质主要是海洋生物来源,其次是陆源高等植物贡献。调查显示本区存在渔业活动,这类活动会截断海洋生态系统中的食物链,将海洋生态系统碳汇直接移出,导致沉积物中的有机碳降低。区内部分重金属超标也会限制浮游生物的生长^[41],而浮游生物则占据海洋有机碳初级生产力的 50% 以上^[42]。这些都可能是研究区内有机碳含量较低的原因之一。

为了解重金属在海底沉积物与海水之间的迁移状况,采用间接的泥水比值方法进行初步估算(表 3)。首先,假设海水或海底泥在各自介质中的一类质量标准下是一个平衡系统。然后,将目前海水中这些指标的含量与海水相关背景值进行比较,得出一个“衬值”,这里称之为“污染系数”,可初步反映海水目前的状况。同样的方式得出海底沉积物的“污染系数”,再将两个“污染系数”进行比较,即可粗略估算出这些指标在两种介质中的迁移方向。

表 3 前三岛地区海水、海底沉积物部分重金属指标含量对比统计

样品类型	单位	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
海水标准	mg/L	0.02	0.001	0.05	0.005	0.001	0.02
海水平均值	mg/L	0.0048	0.0003	0.0126	0.037	0.0039	0.12
海水污染系数	1	0.24	0.3	0.252	7.4	3.9	6
海底泥标准	10^{-6}	20	0.5	80	35	60	150
海底泥平均值	10^{-6}	13.76	0.09	50.3	14.92	29.51	44.31
海底泥污染系数	1	0.688	0.18	0.62875	0.426286	0.491833	0.2954
泥水比值	1	2.86666667	0.6	2.49504	0.057606	0.126111	0.049233

由表 3 可见,研究区这 6 项重金属中,目前表现为从海底沉积物向海水迁移趋势的有 As、Cr,表现为从海水向海底沉积物迁移趋势的有 Cd、Cu、Pb、Zn。

6 结论与建议

6.1 结论

前三岛及周围海域海底沉积物质量总体良好,局部地区存在个别重金属超标现象,明确了研究区的风险指标(As、Pb)和潜在风险指标(Cd、Ba、N、MnO、有机碳),并圈定了 As、Pb 两个风险指标的影响范围。

讨论了这些风险或潜在风险指标的物资来源及

发展趋势,认为前三岛及周围海域的海底沉积的基础物质主要来源于黄河(古黄河),部分受到连云港入海河流的影响。As、Pb、Ba、Cd 等含量会持续升高,其余指标演化趋势不明显。

对研究区的海底沉积物与海水的补偿趋势进行讨论,认为 6 项重金属指标中,表现为由海底沉积物向海水迁移趋势的有 As、Cr,由海水项海底沉积物迁移趋势的有 Cd、Cu、Pb、Zn。

6.2 建议

根据海底沉积物质量分级情况科学规划海洋资源开发活动,例如海底沉积物质量超标区尽力避免开展相关渔业养殖、海水浴场等与人类身体健康密切相关的海洋开发活动;在尚清洁区限制性开发相关海洋资源;在清洁区鼓励开展生态渔业、绿色养殖

等活动,合理圈定刺参、鲍鱼等海珍品养殖基地,打造品牌科学发展。建议对清洁区和尚清洁区做好环境监测工作,及时预警避免生态污染事件发生;对相关海洋进一步扩大调查面积,尤其是尚未圈闭的超标区,进一步查明周围海域污染情况及原因,采取对应的治理恢复、保护改良措施。

参考文献:

- [1] 全国土壤污染状况调查公报[N/OL].国土资源部、环境保护部, 2014. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm).
- [2] 廖启林,华明,金洋,等.江苏省土壤重金属分布特征与污染源初步研究[J].中国地质,2009,36(5):1163-1174.
- [3] 薛怀友,顾礼敬,臧小豹,等.江苏省连云港市部分岛屿与周围海域环境地质调查与评价报告[R].江苏省地质勘查技术院, 2014.
- [4] DZ/T0167-2006 区域地球化学勘查规范[S].
- [5] DD2005-01 多目标区域地球化学调查规范[S].
- [6] DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术(试行)[S].
- [7] US EPA 8081B,EPA 808 有机氯气相色谱法[S].
- [8] GB/T15406-2010 硅酸盐岩石化学分析方法[S].
- [9] 迟清华,鄢明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007:96-97.
- [10] 赵建如,初凤友,杨克红,等.海南岛陆架海域表层沉积物常量元素分布趋势特征[J].海洋地质动态,2009,25(1):1-7.
- [11] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984.
- [12] 臧金生,王东晓,赵瑞强.化探异常定量评价[J].物探与化探, 2015,38(6):1114-1118.
- [13] 臧金生,李诗言,蔡新明.化探中五个常用参数的应用[J].科技视界,2013(28):8-31.
- [14] 刘达章.环境优先污染物的研究及其在海洋环境监测中的应用[J].海洋环境科学,1992,11(4):84-90.
- [15] 岳巍,赵蔚苓,宋富,等.海洋环境中的重金属[M].北京:人民交通出版社,1992:2,72-73.
- [16] 张兰兰,陈木宏,陈忠,等.南海表层沉积物中的碳酸钙含量分布及其影响因素[J].地球科学:中国地质大学学报,2013,5(6):891-898.
- [17] 余俊清,王小燕,李军,等.湖泊沉积有机碳同位素与环境变化的研究进展[J].湖泊科学,2001,13(1):72-78.
- [18] GB18668-2002 海洋沉积物质量[S].
- [19] HJ_T 166 -2004 土壤环境监测技术规范[S].
- [20] 赵一阳,车承惠,杨惠兰,等.中国台湾浅滩海底沉积物中铁、锰、钛、磷元素的地球化学[J].地质学报,1981(2):118-126.
- [21] 王振强,刘春广,乔光建.氮、磷循环特征对水体富营养化影响分析[J].南水北调与水利科技,2010,8(6):82-97.
- [22] 尹秀珍,刘万洙,蓝先洪.南海海表层沉积物的碎屑矿物、地球化学特征及物源分析[J].吉林大学学报,2007,37(3):491-499.
- [23] 王绍芳,魏明瑞,林景星.大连湾近 100 年来重金属污染度的演变[J].地学前缘,2002,9(3):209-215.
- [24] 蓝先洪,王红霞,李日辉,等.南海海沉积物常量元素组成及物源分析[J].地学前缘,2007,(14)4:197-203.
- [25] 韦钦胜,王保栋.南海海冷水团海域及西部近岸区表层沉积物中碳、氮、磷的分布特征及其生态学指示意义[J].环境科学学报,2012,32(7):1697-1707.
- [26] 孙军.海洋浮游植物与渔业碳汇计量[J].渔业科学进展,2013,34(1):90-96.
- [27] 金性春.深海沉积物的来源、分类与矿物组成[J].海洋通报, 1981(6):49-57.
- [28] 陈彬,刘健,范德江,等.中国东部海域底质沉积物中重金属研究现状[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(1):43-56.
- [29] 杨守业,李从先.长江与黄河沉积物元素组成及地质背景[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):19-26.
- [30] 杨守业, Jung Hoi-Soo,李从先,等.黄河、长江与韩国 Keum、Yeongsan 江沉积物常量元素地球化学特征[J].地球化学, 2004,33(1):99-105.
- [31] 赵一阳,鄢明才.黄河、长江、中国浅海沉积物化学元素丰度比较[J].科学通报,1992:1202-1204.
- [32] 杨守业,李从先,张家强.苏北滨海平原全新世沉积物物源研究——元素地球化学与重矿物方法比较[J].沉积学报,1999, 17(3):458-463.
- [33] 王基华,王亮,孙凤民,等.隐伏断层性状的汞地球化学标志研究[J].中国地震,1994,10(2):112-122.
- [34] 宋伟,陈百明,刘琳.中国耕地土壤重金属污染概况[J].水土保持研究,2013,20(2):293-298.
- [35] 徐刚,刘健,孔祥淮,等.南海西部陆架区表层沉积物重金属污染评价[J].海洋环境科学,2012,31(2):181-185.
- [36] 廖启林,范迪富,金洋,等.江苏农田土壤生态环境调查与评价[J].江苏地质,2006,30(1):32-40.
- [37] 廖启林,刘聪,金洋,等.江苏土壤地球化学分区[J].地质学刊, 2011,35(3):225-235.
- [38] 王成李,文青,李倩,等.长江下游南京段典型潮土镉富集以及生物有效性影响因素研究[J].2015,34(2):274-281.
- [39] Redfield A, Ketchum B, Richards F. The influence of organisms on the composition of seawater[C]//New York: The Sea, 1963:26-77.
- [40] Meyers P A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes[J]. Organic Geochemistry, 1997,27:213-250.
- [41] 陈其焕,吴省三,庄亮钟,等.重金属对海洋围隔生态系中初级生产力的影响[J].海洋学报,1988,10(2):222-227.
- [42] 黄邦钦,柳欣.边缘海浮游生态系统对生物泵的调控作用[J].地球科学进展,2015,30(3):385-393.
- [43] 廖启林,刘聪,许艳,等.江苏省土壤元素地球化学基准值[J].中国地质,2011,38(5):1363-1377.
- [44] Li Q, Cheng H, Zhou T, et al. The estimated atmospheric lead emissions in China 1990-2009[J]. Atmospheric Environment, 2012, 60:1-8.
- [45] Streets D G, Hao J, Wu Y, et al. Anthropogenic mercury emissions in China[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(40):7789-7806.

stances are discussed from two aspects , numerical simulation method are adopted to simulate the collapse response in working face and the forward date was carried out on the inversion , The radio wave perspective method for isolation of single or multiple collapse column has a high degree of differentiation , the inversion position matches the reality highly , actual engineering example proved that the conclusion of numerical simulation ,for collapse columns which transverse position differ little ,the distinguish ability decline ,resolution enhancement is limited by the construction method.

Key words: wireless radio wave perspective ; underground coal mine ; collapse column

(本文编辑:沈效群)



上接 971 页

A comprehensive discussion on the geochemical characteristics and threatening indexes of the marine area around Qiansan Island , Lianyungang ,Jiangsu Province

LIANG Sheng-Yue ,LIU Jian-Dong ,GUO Bing-Yue ,XU Ming-Zuan ,QI Chao ,JIN Zhi-Peng
(*Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu Province ,Nanjing 210049 ,China*)

Abstract: Geochemical distribution characteristics of 26 geochemical indexes were studied based on the geochemical survey of submarine sediments and seawater in Qiansan Island ,Lianyungang ,Jiangsu Province.The results show that the evaluating results of most indexes are well-distributed and close to corresponding background values ,and the quality of submarine sediments and seawater is good ; nevertheless ,a few locations of the sea area exhibit relatively high evaluating values of different indexes ,some of them have the potential environmental risk ,and a few of the heavy metals exceed the environmental standards. On such a basis ,3 risky areas (blocks or locations) and some potential risky locations were preliminarily delineated ,and risky indexes such as As and Pb and some other potential risky indexes containing Cd ,Ba ,MnO were successfully determined.The qualities of the sediments in this area are classified into 3 levels ,i.e. ,clear level ,sub-clear level and weakly contaminated level.The original source and evolutionary trends of some risky and potential risky indexes such as As ,Pb and Ba are tentatively discussed with the purpose of providing some preliminary models or recommended plans for prompting the future construction and other activities in the coastal area of Jiangsu Province.

Key words: Qiansan Island ;submarine sediments ;seawater ;geochemical characteristics ;threatening indexes

(本文编辑:蒋实)