

渤海辽东湾沉积物的元素地球化学

蓝先洪, 孟祥君, 侯方辉, 梅 西

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;
海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

摘 要:几十年以来, 渤海辽东湾沉积物的元素地球化学研究取得了长足的发展, 尤其对辽东湾北部、南部、河口和潮间带沉积物重金属环境地球化学的研究取得了显著成果。目前, 辽东湾沉积物元素地球化学的研究多集中在辽东湾北部和河口等地区表层沉积物的重金属分布和污染评价方面, 对于辽东湾沉积物系统地元素地球化学, 特别是稀土元素地球化学和浅地层元素地球化学研究仍有待加强。

关键词:元素地球化学; 沉积物; 辽东湾; 渤海

中图分类号:P595;P736.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.05007

辽东湾位于渤海的东北部, 是一个典型的半封闭性海湾, 为渤海三大海湾(辽东湾、渤海湾、莱州湾)中最大的海湾。辽东湾西南部与渤海中部的开阔海域相连, 其他两面为冀辽沿海海域, 海湾形似倒“U”字, 被辽宁省的大连、营口、盘锦、锦州、葫芦岛和河北省的山海关、秦皇岛等海岸所包围, 海湾长轴的方向为 NE—SW, 其面积约为 3 万 km²^[1]。辽东湾水深变化的基本趋势是从湾顶向湾口逐渐加深, 平均坡度 < 0.2‰, 湾内大部分水深 < 30 m, 最大水深达 60 多米, 位于辽东湾的东南部, 老铁山水道内^[2]。

渤海辽东湾沉积物的元素地球化学研究始于 20 世纪 50 年代末的全国海洋普查, 当时开展的中国近海沉积物元素研究就分析了辽东湾沉积物中的 Fe、Mn、P 和 CaCO₃ 含量与空间分布。60 年代开展的渤海详查, 系统地研究了 Fe、Al、Mn、P、CaCO₃ 和 U 的地球化学。中国科学院海洋研究所对渤海辽东湾海域沉积物元素地球化学作了

比较全面而深入的研究, 探讨了 Al、Fe、Mn、P、U 和 CaCO₃ 在不同类型沉积物中的分布、表层沉积物中的区域分布、沉积柱状剖面中的垂向分布和沉积物中的赋存状态及相互关系^[3]。赵一阳等^[4]重点介绍了包括辽东湾在内的浅海沉积物中 60 余种元素主要地球化学特征, 总结了我国浅海沉积物地球化学的基本规律, 提出了元素地球化学效应。

1 化学元素的含量与区域分布特征

1.1 常量元素分布特征

渤海沉积物中 Fe、Al 含量的分布极相似, 构成一环带状的整体, 自高含量 (Fe > 4%, Al > 7%) 带的中心向四周递减, Mn 在辽东湾南部出现最高含量 (> 0.15%) 区^[5]。对渤海 77 个表层样品中的 CaO、MgO、Fe₂O₃、MnO、P₂O₅、CaCO₃ 的研究表明, 渤海与黄海的化学成分非常接近, 这是由于渤海和黄海都受到黄河携带物质的重要影响所致。渤海沉积物的 CaO、MgO 和 CaCO₃ 分布趋势是西高东低, 辽东湾为低含量分布区; Mn 的高含量区主要分布于渤海的中部和辽东湾以南的

收稿日期: 2016-02-28

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (GZH201400205, GZH201400201, 1212011220113)

作者简介: 蓝先洪 (1958—), 男, 研究员, 主要从事海洋地质与沉积地球化学研究工作。E-mail: lanxh@qingdaonews.com

局部海区,低含量区主要分布于滦河口附近和辽东湾东南的局部海区;P 的高含量区分布于渤海西部和辽东湾西部两个不规则的带状区^[6]。刘彬昌等^[7]对渤海沉积物地球化学分区的模糊分析表明,辽东湾南部为常量元素成分的低含量分布区,北部为 Fe、Mn 和 P 含量高值分布区。辽东湾东

南部元素组合特征除 SiO₂、CaO 和 CaCO₃ 含量较高外(表 1),其他常量元素 TFe₂O₃、TiO₂、MnO、MgO、Al₂O₃、P₂O₅ 含量均低于辽东湾西南部^[8]。辽东半岛西南部表层沉积物常量元素分布基本遵循“粒度控制律”和物源效应,元素含量与中国浅海及其沿岸河口沉积物地球化学含量相当^[9]。

表 1 辽东湾南部表层沉积物常量元素含量(据文献^[8])

Table 1 Content of major elements in surface sediments from the southern Liaodong Bay(from reference ^[8]) /%

常量元素	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	TFe ₂ O ₃	CaCO ₃
辽东湾东南部	69.5	11.2	2.85	1.46	2.69	2.80	0.49	0.10	0.08	3.47	3.87
辽东湾西南部	59.5	14.8	2.51	2.48	3.14	3.94	0.61	0.14	0.14	5.36	3.25

宋金明^[10]通过对辽东湾沉积物间隙水(8 个柱状样)中 Fe²⁺、Mn²⁺ 及有关沉积物特性参数测试,用理论模式及相关分析探讨了辽东湾间隙水 Fe、Mn 的化学成岩机制。辽东湾沉积物间隙水 Fe、Mn 的平面分布表现为由南向北,Fe²⁺ 降低、Mn²⁺ 升高,且 Mn²⁺ 在间隙水中明显富集,说明 Mn²⁺ 与氧化还原关系密切,而与 Fe²⁺ 关系小。双台子河口淤泥质沉积物的常量元素在沿拦海大坝由北至南方向上变化较为复杂,在向海离岸方向上 Al₂O₃、CaO、TFe₂O₃、MgO 等表现为岸边含量较高,向海方向上含量较低,SiO₂ 的沉积分布与其相反,表明了河口沉积物以陆源沉积为主^[11]。辽东湾西部泥质区柱状样常量元素 Ca、Fe 含量低于渤海湾泥质区柱状样中的含量,在化学成分上与黄河物质有一定差异^[11],更多地受滦河物质作用的影响^[3,8,12]。

1.2 重金属元素的分布

海洋底质沉积物不但因其作为污染物的主要富集介质和重要的生物栖息场所,而且因其作为比水介质更稳定、更概括和更强烈的区域环境质量状态和趋势指示作用的监测要素,正日益引起环境界、特别是海洋环境界的普遍兴趣和重视^[13-16]。渤海被山东半岛、天津、河北和辽东半岛所包围,这些地区组成了“环渤海经济圈”。由于经济的高速发展,含有大量重金属的废弃物被排放到渤海中,使渤海的水质发生了明显的变化^[17]。

渤海辽东湾表层沉积物中金属元素富集系数显示,Cu、Zn、Ni、Cr、Co、Sc 和 V 为无富集;As 为

轻度富集;Pb、Cd、Ag 和 Hg 为中度富集。Cu、Zn、Cr、Ni、Co、P、V 和 Sc 主要来源于陆地岩石和土壤风化产物;Pb 和 As 既有岩石和土壤风化产物等自然源的贡献,又受到了人为活动的影响;Hg、Cd 和 Ag 主要来自人为源;Ba 和 Sr 主要与海洋生物活动有关^[18]。Cu、Pb、Cd、Zn、Hg、As 重金属含量春季高于夏季(表 2),重金属高值区春季主要分布在辽东湾北部西侧小凌河口外至葫芦岛以南海域,夏季主要分布在北部河口及鲅鱼圈、金州湾附近,低值区均位于辽东湾中部^[19]。

表 2 辽东湾表层沉积物重金属含量

(据文献^[19])

Table 2 Content of heavy metals in surface sediments in Liaodong Bay (from reference ^[19]) /(mg/kg)

季节	重金属	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
春季	平均值	28.8	26.6	108.9	0.50	0.03	12.1
	中值	28.8	27.7	101.7	0.48	0.03	12.3
	标准差	3.1	7.7	39.1	0.23	0.01	2.5
夏季	平均值	26.1	24.2	71.9	0.22	0.05	11.0
	中值	25.3	23.3	68.2	0.15	0.05	10.6
	标准差	3.9	6.7	22.7	0.12	0.01	3.0

河口和近岸海区一直是人类居住和使用海洋资源的焦点区域。渤海近岸表层沉积物中的重金属污染情况研究认为,渤海北部辽东湾海区 Hg 和 Cd 重金属污染最重,秦皇岛近岸海区 Hg 污染比较突出^[20]。辽东湾北部海域表层沉积物重金属 As、Cd、Cr、Cu、Pb、Zn、Hg 含量高值区主要分

布在葫芦岛附近海域,并且呈现由近岸向远岸递减的趋势;辽东湾北部海域部分站位表层沉积物已经受到重金属污染,轻度和重度污染率为 34.5%,清洁率为 65.5%,重度污染站位集中在葫芦岛附近海域^[21]。

渤海典型海域潮间带沉积物中重金属 Cu、Cr、Zn、Cd、Pb 表现出相似的空间变化规律,即高值区集中在辽东湾,次高值区在渤海湾,低值区位于莱州湾;相关性分析表明,Cr、Cu、Zn、Cd、Pb 可能具有相似的输入源,As 的主要来源可能与其他几种金属不同^[22]。

辽东湾北部潮滩至 15 m 水深之间的海域沉积物重金属 Cu、Pb、Zn、Cd 分布特征基本相似,高值区和低值区也大致吻合,分布特征为,高值区位于西部及双台河口东侧潮滩和大凌河口外的局部地段;低值区多分布于盖州滩及低潮线附近,呈明显的带状分布^[23]。辽东湾东南部海域沉积物中重金属 Hg 富集程度较高,Cu、Zn、V 和 Ni 等含量较低;辽东半岛沿岸金州湾地区沉积物中 As 含量较高,Hg、Cd 含量较低;辽东湾西南部泥质区沉积物中 Cu、Zn 和 Cd 含量明显增高^[24]。辽东半岛西南部表层沉积物环境质量总体良好,重金属的生态危害指数较小^[9]。辽东湾西部海域表层沉积物重金属 Pb 春季的富集程度最高,其含量是渤海沉积物 Pb 含量背景值的 2.8 倍;秋季 Cd 的富集程度最高,其含量是渤海沉积物 Cd 含量背景值的 2.5 倍^[25]。

辽东湾河口底质重金属污染物主要是 Cd、Zn、Pb,以 Cd 最为严重,辽东湾东部和西部河口底质相对较为清洁,辽东湾西北及北部河口底质

污染较为严重。具体的分布是葫芦岛市五里河桥下>大凌河口北>辽河口>双台子河口>永宁河口、熊岳河口、六股河口等处^[26]。辽河口沉积物中 Cd 污染十分严重,所有测站 Cd 的含量均大于背景值,可见污染程度较高;对于整个辽河口海域来说,该海域的沉积物污染已接近中等污染水平,辽河口 Cd 具有较高潜在生态风险^[27]。冯慕华等^[28]研究认为,辽东湾东部浅水区沉积物污染长期以来较小,属于轻微生态危害,产生危害的主要重金属元素是 Hg 和 Cd。辽东湾营口河口外侧近海域沉积物和河口内侧河流段沉积物 As 含量前者高于后者,海域沉积物中有一定的 As 污染^[29]。

辽东湾浅海区(约 10 m 等深线以内的浅海区域)底泥中 Cd 元素含量较高,其中非残渣态 Cd 含量占总量的 90%。非残渣态 Cd 主要形态为离子交换态和碳酸盐结合态,其次是腐殖酸结合态、强有机结合态和铁锰氧化态,Cd 形态含量最高样点都分布于锦州湾^[30]。

锦州湾已经成为渤海辽东湾重金属污染最严重的区域。锦州湾沉积物中重金属的结合态分布及重金属在海水—沉积物系统中的迁移特征研究认为,污染较轻层次中的重金属主要存在于残渣相中,污染严重层次中的重金属主要存在于非残渣相中;金属离子性质不同,其地球化学相分布也有差别,如 Cd 的可交换相比其他元素占有高得多的比例,Cu 的有机相显著高于其他金属,Pb 和 Zn 更多地以碳酸盐和铁锰氧化物相存在^[16]。锦州湾表层沉积物中 Cd、Zn、Cu、Cr、Pb、As 等重金属研究表明,锦州湾表层沉积物中 Zn、As、Cd 和 Pb 等重金属已经达到了极重的污染水平(表 3),

表 3 锦州湾表层沉积物重金属含量以及沉积物重金属国家标准(据文献[31,32])

Table 3 Contents of heavy metals in surface sediments in Jinzhou Bay and marine sediment quality

standards by GB (mg/km) (from references [31,32])

/(mg/kg)

重金属	Cr	Cu	Zn	As	Cd	Pb
平均值	60.4	416.9	6 419	396.5	248.1	753.2
最低值	44.0	9.3	89.2	20.4	4.8	21.8
最高值	72.4	1 227.3	13 933	819.9	909.5	1 828.3
国标一类	≤80.0	≤35.0	≤150.0	≤20.0	≤0.5	≤60.0
国标二类	≤150.0	≤100.0	≤350.0	≤65.0	≤1.5	≤130.0
国标三类	≤270.0	≤200.0	≤600.0	≤93.0	≤5.0	≤250.0
国标劣三类	>270.0	>200.0	>600.0	>93.0	>5.0	>250.0

并使得锦州湾海域部分区域长期处于高生态风险等级^[31]。锦州湾西南角海域生态危害极高,产生生态危害的主要重金属污染物依次为 $\text{Cd} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$ ^[33]。

环境背景值的研究是环境科学中的一项基础工作,目前有许多确定海洋底质环境背景值的方法,可以选远离污染源的清洁海域的重金属含量为该海域的背景值;还可以选深层岩心样品的相对稳定段含量作为背景含量;也有选择该海域未受污染的稳定元素作为参比元素来确定背景含量,或利用化学浸取剂把自然成分与人为污染部分分离开来确定背景含量^[34]。根据辽东湾底质重金属平面分布特征及垂直剖面分析,依据对该湾环境参数水动力条件及海底地貌地形的认识,采用柱状样品分析来确定背景含量,辽东湾沉积物中重金属的环境背景值分别为: Cu : 26.74 mg/kg, Pb : 14.92 mg/kg, Zn : 72.59 mg/kg, Cd : 0.123 mg/kg^[34]。

1.3 其他元素的分布

辽东湾柱状样品各形态无机碳在不同层次沉积物中含量特征比较明显,氨水相 $>$ 盐酸羟胺相 $\approx$ 盐酸相 $>$ NaOH 相 $>$ NaCl 相。氨水相、盐酸羟胺相和盐酸相无机碳占沉积物中总无机碳的绝大部分, $> 80\%$; NaCl 相和 NaOH 相无机碳只占总无机碳的一小部分^[35]。辽东湾东南部海域柱状样稀土元素配分模式表现为明显的轻稀土富集、重稀土相对亏损;轻稀土与重稀土之间的分异作用较强,且轻重稀土内部分异明显^[36]。辽东湾沉积物间隙水中氯含量接近于上覆海水,且随深度无明显变化,氟、溴、碘由于有机质的吸附作用而富集在间隙水中,且随深度增加,呈极大值或指数递增分布^[37]。

2 控制元素分布的因素

2.1 元素在河流中搬运形式对元素分布的影响

元素在河流中搬运形式是元素分布的决定因素,根据注入渤海的几条主要河流的悬浮体量来看, Fe 、 Al 、 Mg 、 Ti 等可能主要呈悬浮形式搬运,决定了它们的分布从属于沉积物粒度分异规律,

因而元素含量的分布与沉积物的分布以及与粒度关系是相一致的^[2,5]。

重金属的迁移和集散机制主要由黏土中带负电荷的基团吸附作用控制, Zn 、 Pb 、 Cd 与有机质呈正相关,对重金属有一定的控制作用,铁锰氧化物和磷酸盐对金属的影响较小^[23]。

潮间带重金属 Cu 、 Cr 、 Zn 、 Cd 、 Pb 高值区位于辽东湾,因黏土比例在区域中最高,而沉积物中黏土含量越高,颗粒越细,吸附能力越强,这是辽东湾重金属含量较高的原因。此外,沉积物中有机质含量也影响重金属分布,样品有机质与 Cu 、 Cr 、 Zn 、 Cd 、 Pb 重金属均显著正相关,是因为有机质对重金属具有较强的络合能力,重金属可以不同形式进入或吸附在有机颗粒上,与其络合生成复杂的络合态金属,这种络合态金属绝大多数被固定在沉积物中,较稳定、不易释放^[22]。辽东湾南部海域沉积物中重金属元素 Cu 、 V 、 Cr 、 Co 、 Ni 、 Zn 含量与有机碳含量显著正相关,其在表层沉积物中的分布明显受到有机质含量的控制^[24]。

2.2 水动力对元素分布的影响

辽东湾中部和东部沿岸,滦河口沿岸等地区,水动力状况比较活跃,常具有较强烈的海流和沿岸流,沉积了较粗的沉积物,导致 MgO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 、 P_2O_5 等元素在这些地区含量较低^[5,8];波浪和潮汐对已经沉积的物质产生搅动和淘洗作用,使细的沉积物重新被搬运和再沉积,在细沉积物堆积区,如金州湾、辽东湾西南部、辽东湾北部水动力状况相对稳定,或为海流相顶托、或由环流作用而造成局部稳定区,这些地区利于细粒物质堆积,因而元素的含量亦较高^[2,5]。

辽东湾河口同时采集的水样和泥样样点的重金属含量比较发现,在各样点的水样和底泥中重金属含量沿程分布基本相似,尤其是 Zn 具有很好的相关性,相关系数为 0.85,说明受潮汐水流的作用,河口床面泥沙和上覆水间不断地进行相互交换,处于动态平衡状态^[26]。

2.3 河口淡水和海水的混合对元素分布的影响

辽河、双台子河及其他河流挟带着大量的泥沙入海,当这些物质搬运到河口时,由于海水的阻挡,河水流速骤然减弱,大部分较重的粗粒物质沉

积在河口,而河水所携带的大量细悬浮体及呈溶液形式的物质由于淡水与海水的混合,海水中较大的pH值和电解质作用促使胶体析出和凝聚,成为较大的悬浮体或胶结其他颗粒,在河口三角洲的外侧开始沉淀,未沉淀的较细颗粒搬运到辽东湾南部、西部,在适当的条件下沉积^[2,5]。

河口区淡水和咸水频繁交汇,形成了利于泥沙沉积的缓流区,而双台子河口拦海大坝的存在,缩小了交汇水流的运动范围,造成了交汇区的水流活动剧烈,促使水流将细颗粒物质带到了岸边沉积,形成了细颗粒物质的沉积滞后。双台子河口的岸边沉积物均为淤泥质,颗粒都比较细,所以元素在岸边的沉积含量比较高^[11]。

3 结论

综合渤海辽东湾沉积物的元素地球化学研究,几十年以来已取得了长足的发展,尤其对辽东湾北部、南部、河口和潮间带沉积物重金属环境地球化学研究取得了显著成果。受经济高速发展的影响,由于随着污水排放、大气沉降进入海洋中的重金属大部分在物理沉淀、化学吸附等作用下迅速由水相转入固相,沉积物便成为了重金属的主要存储库,导致辽东湾北部、河口和锦州湾重金属污染情况不容乐观。影响沉积物中元素分布的因素很多,如水动力沉积作用、沉积物粒度分布、物质来源以及元素自身性质和其他化学生物过程等。当前辽东湾沉积物元素地球化学的研究多集中在辽东湾北部、南部、河口等地区表层沉积物的重金属分布和污染评价方面,而辽东湾沉积物稀土元素地球化学和浅地层元素分布状态的系统研究仍有待加强。元素生物地球化学行为是研究元素迁移、累积、转化等方面重要内容,它更清楚地展现重金属污染行为,因此,今后需开展生物元素地球化学方面的研究。

参考文献:

[1] 栾振东,李泽文,范奉鑫,等. 渤海辽东湾区海底地形分区特征和成因研究[J]. 海洋科学,2012,36(1):73-80.
[2] 陈义兰,吴永亨,刘晓娟,等. 渤海海底地形特征[J]. 海洋科学进展,2013,31(1):75-82.
[3] 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室. 渤海地质[M]. 北京:科学出版社,1985:119-134.

[4] 赵一阳,鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京:科学出版社,1994:1-203.
[5] 郭津年,李健博,吴景阳,等. 渤海沉积物中Fe,Al,Mn的分布及某些地球化学特征的研究[J]. 海洋科学,1983(4):21-25.
[6] 吕成功,陈真. 渤海表层沉积物地球化学分析[J]. 青岛海洋大学学报,1993,23(3):91-98.
[7] 刘彬昌,卢中发,张守法. 渤海沉积物地球化学分区的模糊分析[J]. 海洋与湖沼,1992,23(5):561-565.
[8] 蓝先洪,李日辉,张志珣,等. 渤海东部与黄海北部表层沉积物的元素地球化学记录[J]. 地球学报,2015,36(6):718-728.
[9] 李淑媛,苗丰民,赵全民,等. 辽东半岛西南及渤海中部海域表层沉积物的地球化学[J]. 海洋地质与第四纪地质,2010,30(4):123-130.
[10] 宋金明. 中国近海沉积物-海水界面化学[M]. 北京:海洋出版社,1997:99-102.
[11] 杨俊鹏,孟凡雪,李亚繁,等. 辽河双台子河口区淤泥质沉积物来源探析[J]. 世界地质,2011,30(1):46-50.
[12] 刘建国,李安春,陈木宏,等. 全新世渤海泥质沉积物地球化学特征[J]. 地球化学,2007,36(6):559-568.
[13] 马德毅. 海洋沉积物的污染指示作用和监测方法[J]. 海洋通报,1993,12(5):89-97.
[14] Zhou H Y, Peng X T, Pan J M. Distribution, source and enrichment of some chemical elements in sediments of the Pearl River Estuary, China [J]. Continental Shelf Research, 2004,24:1857-1875.
[15] Osher L J, Leclerc L, Wiersma G B, et al. Heavy metal contamination from historic mining in upland soil and estuarine sediments of Egypt Bay, Maine, USA [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006,70:169-179.
[16] 蓝先洪. 中国主要河口沉积物的重金属地球化学研究[J]. 海洋地质动态,2004,20(12):1-4.
[17] 申旭红,肖飞鹏,肖进中. 中国三大海域沉积物中重金属的分布特征及其生态危害[J]. 安徽农业科学,2012,40(24):12199-12201.
[18] 胡宁静,石学法,黄朋,等. 渤海辽东湾表层沉积物中金属元素分布特征[J]. 中国环境科学,2010,30(3):380-388.
[19] 宋永刚,田金,吴金浩,等. 春季和夏季辽东湾表层沉积物中重金属的分布和来源[J]. 环境科学研究,2015,28(9):72-80.
[20] 陈江麟,刘文新,刘书臻,等. 渤海表层沉积物重金属污染评价[J]. 海洋科学,2004,28(12):16-21.
[21] 张现荣,张勇,叶青,等. 辽东湾北部海域沉积物重金属环境质量和污染演化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2012,32(2):21-28.
[22] 张雷,秦延文,郑丙辉,等. 环渤海典型海域潮间带沉积物中重金属分布特征及污染评价[J]. 环境科学学报,2011,31(8):1676-1684.

- [23] 鲍永恩,符文侠. 辽东湾北部沉积物对重金属集散的控制作用[J]. 海洋学报,1994,16(3):139-142.
- [24] 蓝先洪,密蓓蓓,李日辉,等. 渤海东部和黄海北部沉积物中重金属分布特征[J]. 中国环境科学,2014,34(10):2660-2668.
- [25] 孙钦帮,陈燕珍,孙丽艳,等. 辽东湾西部海域表层沉积物重金属的含量分布与污染评价[J]. 应用海洋学学报,2015,34(1):73-79.
- [26] 周秀艳,王恩德,刘秀云,等. 辽东湾河口底质重金属环境地球化学[J]. 地球化学,2004,33(3):286-290.
- [27] 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.
- [28] 冯慕华,龙江平,喻龙,等. 辽东湾东部浅水区沉积物中重金属潜在生态评价[J]. 海洋科学,2003,27(3):52-56.
- [29] 李雪,王颖,张笛. 河口沉积物对砷的吸附性能及影响因素[J]. 环境科学与技术,2011,32(12):1-6.
- [30] 刘明华. 辽东湾北部浅海区底泥镉元素形态特征[J]. 地质与资源,2010,19(2):123-127.
- [31] 张玉凤,王立军,霍传林,等. 锦州湾表层沉积物重金属污染状况评价[J]. 海洋环境科学,2008,27(2):178-181.
- [32] 国家海洋局国家海洋环境监测中心. GB 18668—2002. 海洋沉积物质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002:1-3.
- [33] 范文宏,张博,张融,等. 锦州湾沉积物中重金属形态特征及其潜在生态风险[J]. 海洋环境科学,2008,27(1):54-58.
- [34] 郝静,李淑媛,周永芝,等. 渤海辽东湾沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cd 环境背景值初步研究[J]. 海洋学报,1989,11(6):742-748.
- [35] 牛丽凤,李学刚,宋金明,等. 辽东湾柱状沉积物中无机碳的形态[J]. 海洋科学,2006,30(11):17-22.
- [36] 张现荣,李军,窦衍光,等. 辽东湾东南部海域柱状沉积物稀土元素地球化学特征与物源识别[J]. 沉积学报,2014,32(4):684-691.
- [37] 朱仲斌. 辽东湾沉积物间隙水中卤素的地球化学[J]. 海洋学报,1992,14(4):42-50.

ELEMENTAL GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTS IN THE LIAODONG BAY, THE BOHAI SEA

LAN Xianhong, MENG Xiangjun, HOU Fanghui, MEI Xi

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources,
Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; Laboratory for Marine Mineral Resources,
Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Great progress has been made in the past decades for the elemental geochemistry of sediments, especially the environmental geochemistry of heavy metals, in the northern, southern, estuarine and intertidal areas of the Liaodong Bay of the Bohai Sea. However, the study of elemental geochemistry of sediments in Liaodong Bay has been mainly focused on the distribution of heavy metals and the evaluation of contamination of the surface sediments in the northern part and estuary area of the Bay. Systematic elemental geochemistry studies, in particular, the studies of rare earth elemental geochemistry and elemental geochemistry in shallow strata need be further strengthened.

Key words: elemental geochemistry; sediment; Liaodong Bay; Bohai Sea