

山东芝罘湾表层沉积物重金属含量与环境质量评价

王伟^{1,2}, 顾效源^{1,2}, 赵辉^{1,2}, 丁喜桂³, 叶思源³, 肖楠⁴,
于剑峰^{1,2}, 李金鹏^{1,2}

(1. 山东省海洋地质勘查院, 山东 烟台 264001; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264001; 3. 中国地质调查局 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071; 4. 浙江省工程勘察院 海洋地质研究院, 浙江 宁波 315012)

摘要: 采取烟台芝罘湾海域 110 个海底表层沉积物样品, 对其进行重金属(Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As、Ni)元素分析, 研究其空间分布特征及污染情况。结果显示, 烟台市芝罘湾海域重金属污染物基本集中在芝罘岛周边一带, 而莱山及牟平以东海域重金属含量较低。重金属含量等值线大致平行于海岸。本文环境质量评价方法主要为综合污染指数法等。评价结果显示, 研究区大部分海域环境质量较好, 特别是莱山区及牟平区近海海域达到了清洁级别, 芝罘岛周边海域污染级别为轻污染-污染, 芝罘岛西部小范围海域达到重污染级别。此外, 相关分析表明重金属分布受粒径大小的影响比较显著, 个别重金属元素之间也具有一定的相关性。本研究首次对芝罘湾海域底质重金属环境质量进行客观评价, 能准确地切入地方需求, 为服务地方经济建设及海洋生态文明建设作出了重要贡献。

关键词: 沉积物; 重金属; 环境评价; 芝罘湾

中图分类号: P714⁺.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)07-0001-09

DOI: 10.11759/hyxx20170717004

重金属是沉积物污染的重要指示物。海底表层沉积物中的重金属元素可以提供很多地质环境信息, 这样就可以定性定量的评价某一研究区域的海洋环境质量情况, 这是进行海洋地球化学和海洋生态环境研究的重要依据。近年来, 重金属污染问题日益成为关注的焦点, 主要是由于重金属具有难降解、易积累、毒性大的特点^[14-17]。由于海岸带地区经济的快速发展, 城镇化加速, 工矿业和农业活动加剧, 生活污水的排放等, 这些人为活动使得重金属以河流、地表径流等形式进入滨海水生系统, 且在沉积物中得到稳定富集, 这部分稳定下来的重金属又有可能通过一系列物理化学反应, 再次进入水体, 造成“二次污染”^[18-20]。重金属进入海洋环境后, 与有机质、铁镁氧化物、硫化物和黏土共存, 进而可通过食物链对人类或其他生物产生毒害。因此, 海岸带地区沉积物重金属浓度是该水生生态系统污染的重要指标, 了解其分布及污染程度对污染控制及海岸带管理决策具有很重要的意义^[10]。

目前, 国内对我国浅海地区(特别是山东青岛胶州湾及周边海域、长江口周边海域等)表层沉积物重金属研究逐步展开, 获取了很多一手资料, 并取得了显著的成果。例如, 通过对胶州湾海底表层沉积物

重金属分析, 发现其分布极不均匀, 重金属含量主要集中在三角洲区域, 沉积物环境质量评价显示重金属 Hg 污染较严重, 但是整体污染程度较低。另外, 此研究还发现重金属含量与水深、离岸距离等存在一定的关系^[1]; 对长江口海底表层沉积物重金属研究, 显示研究区南部海域重金属含量普遍高于北部, 且离岸越近重金属含量越高, 个别元素(如 Cd)重金属污染评价指数已大于 1.0。表明此海域环境已受到了不同等级的污染, 此研究为下一步环境治理树立警钟^[11]。

本次研究区域位于烟台市芝罘湾近海海域。芝罘湾片区属于烟台中心城区, 是烟台经济中心。随着经济特别是港口经济及制造业的发展, 人类活动产生的大量的重金属污染物通过河流进入海域, 使得芝罘湾片区河口及近海生态环境产生较大变化, 遭

收稿日期: 2017-07-17; 修回日期: 2017-09-27

基金项目: 山东省地质勘查项目(SDZS-2015-GTT01)

[Foundation: Geologic Exploration Projects of Shandong province, No. SDZS-2015-GTT01]

作者简介: 王伟(1982-), 男, 山东烟台人, 本科, 工程师, 电话: 13954535059, E-mail: dianzi-1234@163.com; 顾效源(1989-), 通信作者, 男, 山东东营人, 硕士, 工程师, 电话: 15563873971, E-mail: ggspeed@126.com

受了严重的破坏^[12]。但是, 以往的研究并没有重点涉及到芝罘湾海域。为了有目的性、针对性地了解芝罘湾近海海区沉积物重金属的分布特征及污染程度, 此次研究区锁定在芝罘湾近海海域及河口周边海域。通过对所采取的 110 个表层沉积物样品进行测试和分析, 详细阐述了重金属的分布情况, 运用多种评价方法针对该区域沉积物重金属污染现状做出了评价, 并得出环境质量评价结论, 以期对相关科学研究和政府决策提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域及样品采集

本次调查中, 表层沉积物取样站位按网格状布设, 其间距为在图幅内 4 km×2 km(图 1), 共获得 110 个表层沉积物样品。取样方法采用抓斗取样器, 用 DGPS 定位系统定位。

取样标准: 每个站位采样量≥1 kg。采样器中取样应选择合适的工具, 避免污染发生。

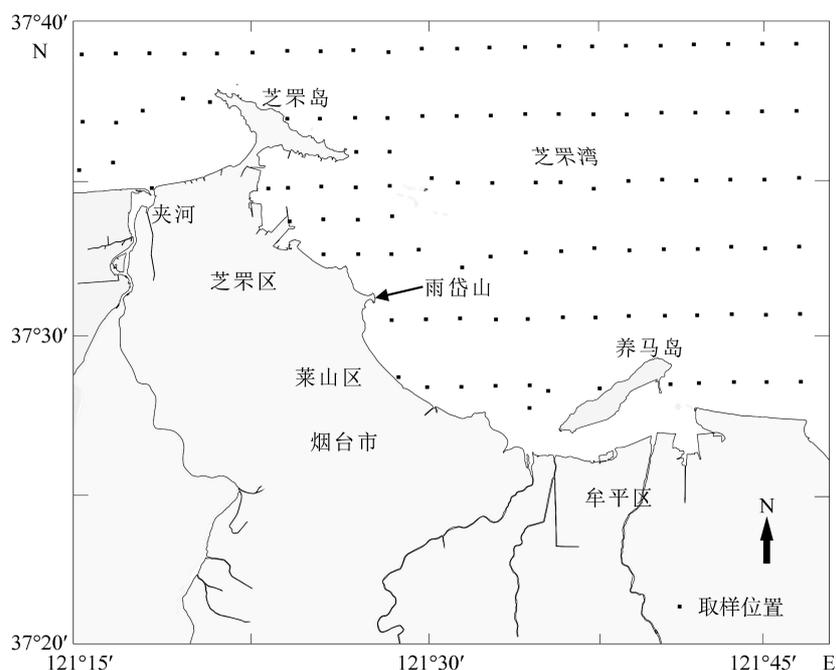


图 1 芝罘湾表层沉积物取样站位
Fig. 1 Investigated area and sampling stations

1.2 测试分析方法

1.2.1 样品预处理

取 50 g 表层沉积物样品用双重纯水多次洗盐, 筛取粒径<63 μm 的部分, 最后将沉积物烘干、研磨、干燥。

1.2.2 样品前处理

取 0.05 g 预处理样品经 HNO₃-HF-HClO₄ 微波消解, 然后倒入 PTFE 坩埚中, 再在 300℃ 电热板上蒸至近干时加入 0.1 mL HF, 继续加热直至溶液呈黏液状。用 2% 的 HNO₃ 定重至 25 g, 再移取 5 g 溶液定重至 20 g。

1.2.3 重金属元素分析方法

重金属元素 As、Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 采用美国安捷伦公司的 Agilent7500C 电感耦合等离子体质

谱仪(ICP-MS)测试, 常量元素 Al、Fe 采用美国 PE 公司的 DV4300 型电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-AES)测试, 同时用平行样和国家标准物质 GB07315 分别控制样品分析的精确性和标准型。重金属元素平行样的相对误差<5%, 标准物的回收率在 110%~125%; 常量元素平行样的相对误差<5%, 标准物的回收率在 95%~120%。

1.2.4 粒度分析

粒度数据分析前, 我们首先将样品分样, 每份样品保持在 30~50 g, 然后将烧杯洗净加入 30% 的 H₂O₂ 15 mL 溶液中浸泡, 直到 24 h 后将沉积物中的有机质除净后, 再加入 3 mol/L 的 HCl 稀溶液 5 mL, 再等 24 h 后将沉积物中的钙质及碳酸钙物质溶解去除, 最后将样品经过多次离心、洗盐。重复上述过程

到溶液 pH 到接近 7 为止。最后的步骤需要用超声波震荡分散样品。使用 Master sizer 2000 型激光粒度仪 (产地: 英国 Malvern 公司), 仪器测试粒径范围为 0.02~2 000 μm, 每次测量的相对误差 <3%^[11]。

1.3 质量评价方法

1.3.1 综合指数法评价污染程度

由于研究区海域沉积物多因子间的污染权重很难确定, 本文基于各重金属元素的单因子评价指数, 采用平均值的综合指数法评价单站多参数沉积物环境质量^[3]。

《全国海岸带和海涂资源综合调查》中提出沉积

物环境质量等级划分方法。沉积物综合评价指数与污染等级关系表如下^[2]。PI 表示综合质量指数。

1.3.2 潜在生态危害指数法评价污染程度

对沉积物中重金属污染状况的评估, 目前尚没有成熟的方法和统一的标准。其中瑞典学者 Hakanson 于 1980 年建立的潜在生态危害指数法, 综合考虑了重金属在沉积物中普遍的迁移转化规律和评价区域对重金属污染的敏感性, 以及重金属区域背景值的差异, 消除了区域差异和异源污染的影响, 可以综合反映沉积物中重金属对生态环境的影响潜力, 成为国内外沉积物质量评价中应用最为广泛的方法之一^[8]。

表 1 沉积物质量等级划分

Tab. 1 Grading standards of sediments

质量分级 PI	清洁 <0.3	尚清洁 0.3~0.7	允许 0.7~1	轻污染 1~2	污染 2~3	重污染 3~5	恶性污染 ≥5
------------	------------	----------------	-------------	------------	-----------	------------	------------

根据调查实际情况和项目要求, 采用潜在生态危害指数法对单因子污染程度和总体污染程度进行计算评价。

1) 单个重金属污染系数

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad (1)$$

C_f^i : 重金属 i 污染系数; C^i : 重金属 i 实测浓度; C_n^i : 重金属 i 评价参比值。

2) 重金属总体污染系数

$$C_d = \sum_i^m C_f^i \quad (2)$$

利用表 2 中的参考值, 以及表 3 中沉积物重金属污染生态危害系数和生态危害指数与污染程度的划分标准, 利用上述公式对研究区表层沉积物中重金属污染程度进行评价。

表 2 重金属的背景参考值

Tab. 2 Background value of heavy metals

元素	Hg	Cd	As	Cu	Pb	Cr	Zn
C_n^i /(μg/g)	0.25	1	15	50	70	90	175

表 3 评价指标与污染程度关系

Tab. 3 Relationship of the evaluation index and pollution degree

C_f^i /(μg/g)	单因子污染物 污染程度	C_d	总体污染程度
<1	低	<8	低
1~3	中等	8~16	中等
3~6	重	16~32	重
≥6	严重	≥32	严重

2 结果与讨论

2.1 重金属元素分布特征

为了解研究区重金属元素分布规律, 根据《1:5 万地球化学普查规范》, 绘制单元素地球化学图。

As 元素主要集中在芝罘岛西海岸, 研究区其余海域分布较低。低背景区重金属质量比 7 μg/g 以下, 主要分布在莱山区和牟平区周边海域。背景区重金属质量比为 12.4 μg/g 以下 7 μg/g 以上, 此范围几乎包含了研究区 80% 的海域, 分布较为平均。高值区重金属质量比高于 20.5 μg/g, 主要位于芝罘岛西海岸以东, 分布范围比较集中; Cd 主要集中在离岸 1~5 km 海域, 其中芝罘岛西海岸及北海岸含量较高。呈现中间高两边低的特点。研究区大部分处于低值区、低背景区及背景区, 污染较轻。高背景区主要在离岸 1~5 km 的海域, 高值区主要集中在距离芝罘岛西海岸 3~8 km 以及距离芝罘岛北岸 1~2 km 的海域。该海域受经济活动影响较大, 海域污染情况比较严重; Cr 主要集中在芝罘岛周边海域, 其他海域含量较低。高背景区主要分布在芝罘岛东北向海域, 高值区位于芝罘岛周边 2 km 内海域, 海上岛屿例如崆峒岛等也处于高背景区。低值区主要在夹河入海口、雨岱山向东至养马岛周边海域。大部分地区处于背景区及高背景区; Cu 主要集中在芝罘岛周边, 其他海域含量低。背景区主要在芝罘岛东北方向海域及崆峒岛附近海域, 高背景区主要分布在芝罘岛 2~4 km 范围海域, 高值

区位于芝罘岛东西两岸 2 km 内海域。低值区主要在夹河入海口附近海域、雨岱山南部海域及养马岛周边 1~2 km 内海域。大部分地区处于背景区及高背景区; Hg 主要集中在芝罘岛西部及崆峒岛周围海域, 而夹河入海口及雨岱山南部海域及远海海域含量较低。低值区主要在夹河入海口及以西海域、雨岱山以南局部海域, 高值区主要集中在芝罘岛周边特别是西海岸以西海域以及崆峒岛周边海域, 研究区以背景区及高背景区为主; Ni 主要集中在芝罘岛东西两侧海域, 而夹河入海口及雨岱山南向 2 km 内海域含量较低。高值区主要在芝罘湾东西海岸 1 km 内海域, 低值区位于夹河入海口及莱山区、牟平区 1 km 内海域, 整体以背景区为主; Pb 的分布呈现比较分散的特点, 有几个富集区分别在夹河入海口北向 1~3 km 处、芝罘岛东北向 4~5 km 处和养马岛东北向 4~5 km 处。高背景区分布比较分散, 低背景区及低值区主要分布在东部近海, 特别是养马岛近海海域。研究区以背景区及低背景区为主; Zn 主要集中在芝罘岛周边及岛东北方向海域, 而研究区东部近海海域含量较低, 特别是雨岱山南向和养马岛东北方向海域。高值区主要分布在环芝罘岛 1~2 km 内海域, 高背景区分布在芝罘岛东北和西北方向海域、崆峒岛附近海域。低背景区主要分布在夹河入海口以西海域、雨岱山至养马岛近海海域。低值区分布在雨岱山南向 2~3 km 近海海域及养马岛周边 1~2 km 内海域。研究区主要以背景区和低背景区为主(图 2)。

“ $m(\text{Pb})$ ”表示 Pb 的质量比, 图 2 其他重金属元素采用相同格式。由图 2 可知, 研究区重金属元素高值区主要分布区为西北角夹河入海口以北海域及芝罘岛沿岸海域, 且重金属时空分布存在相通之处, 在一定程度上可解释重金属元素间可能具有相关性。其中, As、Cd、Pb 和 Zn 等重金属高值区主要分布在夹河入海口以北海域, Zn、Ni、Cd、Cr、Cu、Hg 等重金属高值区主要分布在芝罘岛沿岸海域。其中 Cd、Zn 等元素在夹河入海口以北海域及芝罘岛沿岸海域均含量较高。下文将从元素粒度控制律等方面进一步分析重金属元素富集的规律。

2.2 化学环境质量评价

2.2.1 综合指数法污染评价

采用综合指数法对 7 种重金属元素 Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As 进行污染评价分析。

研究区综合污染指数除三四个站位特别高之外,

基本介于 0.12~0.95, 均小于 1, 表明芝罘湾近海海域底质环境整体上处于清洁、尚清洁和允许状态(表 1)。个别污染海域主要位于芝罘岛近岸 1 km 内海域。

研究区底质环境综合污染指数空间分布特征如下。

(1) 清洁站位共 4 个。主要分布在夹河入海口、莱山区及牟平区近岸海域。(2) 尚清洁站位 93 个, 占总测站的 85%, 代表研究区主要底质环境分布特征。(3) 允许站位 8 个, 主要位于研究区芝罘岛周边海域, 污染站位共计 5 个, 集中在芝罘岛周围 0.5 km 内海域。推测由于此处港口密集, 且细颗粒沉积物富集, 污染物受到细颗粒组分的吸附, 再者水动力相对较弱, 导致重金属含量较高。

2.2.2 潜在生态危害指数法污染程度评估

评价结果表明(计算方法参照公式(1)、(2)), 研究区整体污染程度较低, 特别是 Hg 元素单因子污染指数最大值仍低于低污染程度标准的最高值, 表明研究区 Hg 污染较轻。但是 7 项元素中个别站位重金属单因子污染程度较高, 且达到了严重污染程度, 如 Pb 单因子污染因子最大值达到了 13.35, 排除测试误差, 表明此处污染物高度集中, 应引起格外重视(表 4)。

研究区内重金属总体污染系数仅有 4 个站位高于最低污染程度标准的最高值, 总体低污染程度占比超过 96%, 其中 3 个站位处于中等总体污染程度, 1 个站位处于重总体污染程度。

2.3 重金属分布的影响因素分析

沉积物粒度、水动力条件以及元素自身性质等, 都会对重金属分布产生影响。本文将从沉积物粒度等方面予以重点分析。

通过粒度分析资料, 可以看出芝罘湾海域未见粗砂层, 且由图 4(粒径用 ϕ 表示)可以看出, 研究区粒度仍有很大一部分细粒组分未划分。我们可以大致认为此研究区为匀速沉积, 是水平层理, 且均是粉砂级或以下。剔除了台风、风暴潮等事件带来的瞬时事件沉积的粗砂层, 说明芝罘湾海域长期以来海洋动力环境较弱, 有利于重金属元素的富集, 重金属污染应引起格外的重视。

赵一阳等^[4]的元素粒度控制律指出: 绝大多数元素含量随沉积物粒度变细而升高, 一些元素的含量随沉积物粒度变细而降低, 个别元素的含量随沉积物粒度变细先升后降, 在中等粒度的粉砂中出现极大值。在自然界中, 环境要素与化学要素之间以及

诸化学要素间存在相互关系, 并存在统计相关关系, 因而探讨元素的相关性有助于揭示控制元素分布的

主要因素。同一区域具有相关性的元素, 也指示了其具有共源性^[5]。

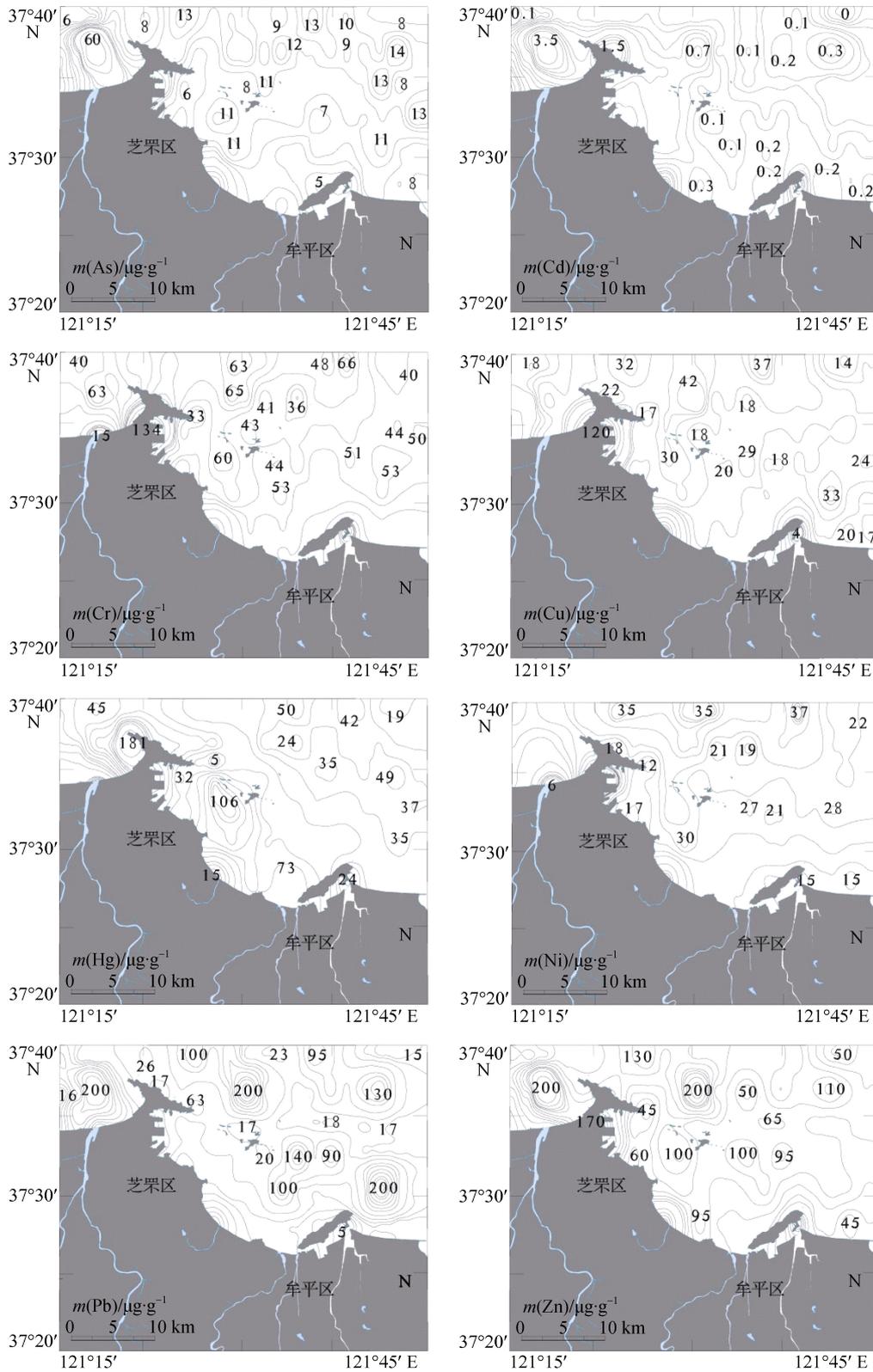


图2 重金属元素研究区地球化学分布

Fig. 2 Distribution of heavy metals in the surface sediments

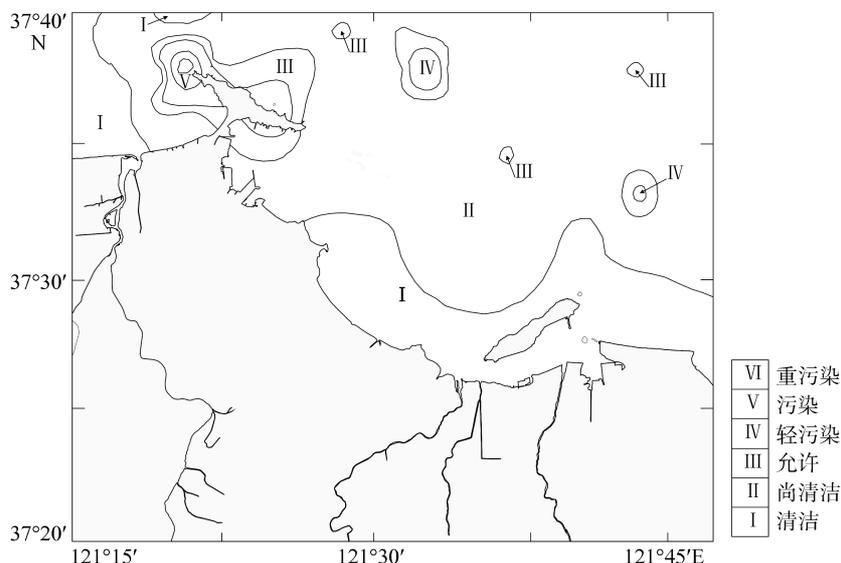


图3 海底表层沉积物环境质量分区
Fig. 3 Partitions of environmental quality

表4 单因子污染程度

Tab. 4 Single factor evaluation degree

元素	C_r^i		
	最小值	最大值	平均值
Cr	0.14	1.69	0.62
Cu	0.13	3.43	0.71
Zn	0.09	3.47	0.55
As	0.06	3.07	0.49
Cd	0.09	7.10	0.49
Pb	0.08	13.35	0.82
Hg	0.03	0.91	0.26

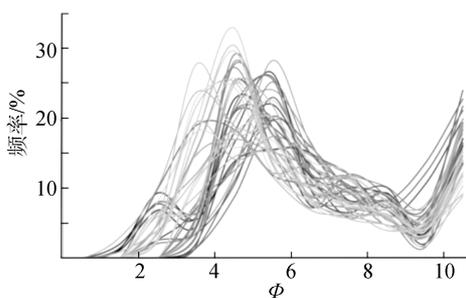


图4 粒径分析图
Fig. 4 Grading analysis

为了定量分析芝罘湾海底表层沉积物重金属之间或重金属与粒度之间的相互关系, 采用 SPSS 进行 Pearson 相关分析。划定相关系数 >0.6 为强相关; 0.5~0.6 为中度相关; 0.4~0.5 为弱相关; <0.4 为不相关。

相关性分析结果(表 5)表明: As 与 Cd、Pb、Zn、Cr 与 Cu 的相关系数大于 0.6, 为强相关关系; Cr、Cu、

Zn 与泥的相关性顺序为: Cr>Cu>Zn, 而与砂呈显著的负相关; 而 As、Cd、Hg、Pb 与泥、砂的相关性较差。对照芝罘湾海域沉积物底质类型图(图 5)(分类参照《海岸带地质环境调查评价规范》中不含砾碎屑的沉积物分类方法, 分黏土 C、粉砂 Z、砂 S 3 类)和重金属元素分布图, 可知, Cr、Cu、Zn 的高值区与细粒的泥质分布区相一致。综上结果表明, Cr、Cu 等元素主要集中在细颗粒吸附区域, 推断粒度为控制 Cr、Cu 等富集的重要因素。

相关分析结果得出, As、Pb、Cd 与砂、泥的相关性较差, 表明其分布与粒度关系并不明显。但是它们可能具有同源性。通过重金属含量分布特征可以看出此 3 种元素的高值区均集中在夹河入海口附近海域, 推测这是由于工业垃圾排放及港口(倾倒区及港池、航道疏浚物)排污^[7], 重金属经夹河入海并在河口沉积, 经沿岸流和环流搬运、沉积^[6], 导致此区域重金属含量较高。

3 结论

1) 研究区重金属含量总体呈由近岸向远岸递增的趋势, 且南部莱山区及牟平区海域重金属含量明显低于北部芝罘区及开发区海域。而重金属富集区主要集中在夹河入海口及芝罘岛附近海域。

2) 通过对研究区环境质量进行综合污染指数评价, 可得出以下结论: 清洁站位共 4 个; 尚清洁站位 93 个, 占总测站的 85%, 代表研究区主要底质环境

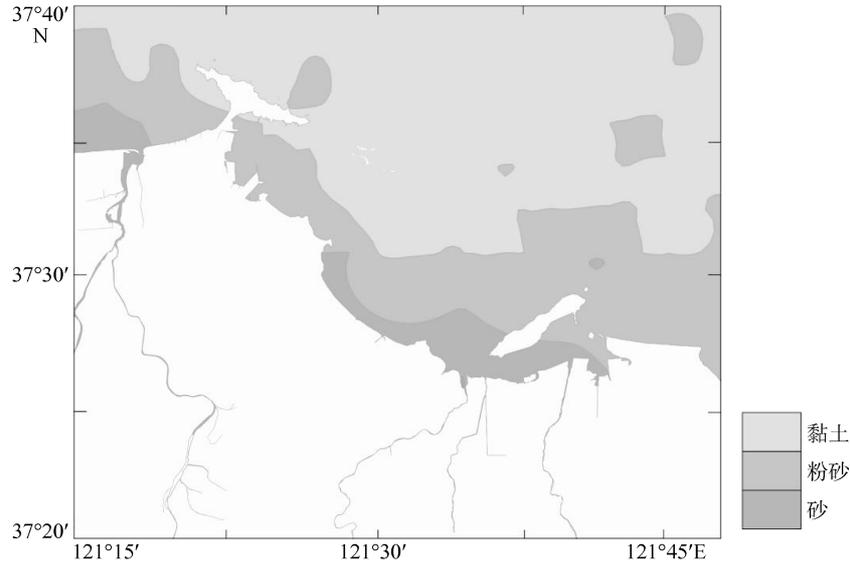


图 5 粒径分布图
Fig. 5 Bottom sediment types

表 5 表层样重金属元素 Pearson 相关系数表

Tab. 5 Pearson correlation coefficient of heavy metals in surface sediments

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	砂	粉砂	泥
As	1									
Cd	0.856**	1								
Cr	0.321**	0.226*	1							
Cu	0.315**	0.204*	0.862**	1						
Hg	0.205*	0.326**	0.432**	0.406**	1					
Pb	0.790**	0.743**	0.172	0.230*	0.114	1				
Zn	0.839**	0.828**	0.451**	0.455**	0.314**	0.837**	1			
砂	-0.093	0.080	-0.618**	-0.339**	-0.148	0.044	-0.201*	1		
粉砂	0.039	-0.092	0.474**	0.223*	0.084	-0.078	0.131	-0.938**	1	
泥	0.152	-0.041	0.687**	0.434**	0.208*	0.018	0.258**	-0.849**	0.615**	1

注: *表示显著性在 0.20 水平以上, *越多代表显著性越大。

分布特征; 允许站位 8 个, 主要位于研究区芝罘岛附近海域; 污染站位 5 个, 主要集中在夹河入海口及芝罘岛周围 0.5 km 内海域, 推测由于此处港口密集及河流上流排污, 且细颗粒物富集, 污染物受到细颗粒组份的吸附, 导致重金属含量较高。通过潜在生态危害指数法对污染程度进行评估, 结果表明: 研究区仅有 4 个站位总体污染系数高于最低污染程度的最大值, 总体低污染程度占比超过 96%, 其中 3 个站位处于中等总体污染程度, 1 个站位处于重总体污染程度。

3) Cr、Cu 等元素的含量与分布特征受沉积物粒度影响较大; As、Pb、Cd 等元素推测受入海河流影响较大, 其中开发区最大的河流-夹河可能是该区重

金属主要来源之一。下一步我们将展开对多个河流表层样的对比研究, 进一步认证重金属与入海河流的富集关系。

参考文献:

- [1] 刘珊珊, 张勇, 毕世普, 等. 青岛近海底质沉积物重金属元素分布特征及环境质量评价[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(6): 891-897.
Liu Shanshan, Zhang Yong, Bi Shipu, et al. Distribution and environment assessment of heavy metals in sediments of Qingdao offshore[J]. Marine Environmental Science, 2015, 34(6): 891-897.
- [2] 余运勇, 王剑, 王艳华, 等. 南黄海海洋表层沉积物中重金属的分布特征及潜在生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(5): 631-635.

- She Yunyong, Wang Jian, Wang Yanhua, et al. Distribution and potential ecological risk assessment on heavy metals in surface sediments of the South Yellow Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(5): 631-635.
- [3] 夏鹏, 臧家业, 王湘芹, 等. 连云港近岸海域表层沉积物中重金属的地球化学特征及其源解析[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(4): 520-524.
- Xia Peng, Zang Jiaye, Wang Xiangqin, et al. Geochemical characteristics and source analysis of heavy metals in surface sediment of Lianyungang area[J]. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(4): 520-524.
- [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.
- Zhao Yiyang, Yan mingcai. *Shallow Sea Sediment Geochemistry in China*[M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [5] 刘文新, 李向东. 深圳湾水域中重金属在不同相间的分布特征[J]. *环境科学学报*, 2002, 22(3): 305-309.
- Liu Wenxin, Li Xiangdong. Distribution of heavy metals among various phases in Shenzhen Bay[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22(3): 305-309.
- [6] 徐丹亚, 赵保仁. 青岛-石岛近海反气旋中尺度旋涡存在证据及数值模拟[J]. *海洋学报*, 1999, 21(2): 19-26.
- Xu Danya, Zhao Baoren. Existential proof and numerical study of a mesoscale anticyclonic eddy in the Qingdao-Shidao offshore[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, 21(2): 19-26.
- [7] 郑琳, 崔文林, 贾永刚. 青岛海洋倾倒区海水水质模糊综合评价[J]. *海洋环境科学*, 2007, 26(1): 38-41.
- Zheng Lin, Cui Wenlin, Jia Yonggang. Evaluation on seawater quality by fuzzy comprehensive evaluation method in Qingdao dumping area[J]. *Marine Environmental Science*, 2007, 26(1): 38-41.
- [8] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 近海沉积物重金属污染评价方法[J]. *海洋地质动态*, 2005, 21(8): 31-36.
- Ding Xigui, Ye Siyuan, Gao Zongjun. Methods of heavy metal pollution evaluation for offshore sediments[J]. *Marine Geology Letters*, 2005, 21(8): 31-36.
- [9] 丁喜桂, 叶思源, 鲁静. 浙江省近岸海域表层沉积物重金属分布特征及地球化学分区[J]. *海洋地质动态*, 2010, 26(12): 1-8.
- Ding Xigui, Ye Siyuan, Lu Jing. The heavy metals distribution pattern and geochemical provinces of the surficial sediments offshore Zhejiang[J]. *Marine Geology Letters*, 2010, 26(12): 1-8.
- [10] 万群, 李飞, 祝慧娜, 等. 东洞庭湖沉积物中重金属的分布特征、污染评价与来源辨析[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(12): 1378-1384.
- Wan Qun, Li Fei, Zhu Huina, et al. Distribution characteristics, pollution assessment and source identification of heavy metals in the sediment of east Dongting Lake[J]. *Research of Environmental Sciences* 2011, 24(12): 1378-1384.
- [11] 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.
- Sheng Jujiang, Fan Dejiang, Yang Dongfang, et al. Distribution patterns of heavy metals in surface sediments of the Yangtze Estuary and its adjacent areas and environmental quality assessment[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(9): 2405-2412.
- [12] 吴建政, 余晓玲, 鲍鹏, 等. 芝罘湾近期沉积物中重金属元素记录[J]. *中国海洋大学学报*, 2006, 36(1): 141-144.
- Wu Jianzheng, Yu Xiaoling, Bao Peng, et al. Records of heavy metals in the sediments of Zhifu Bay in recent years[J]. *Periodical of ocean university of China*, 2006, 36(1): 141-144.
- [13] 顾效源, 鲁青原, 叶思源, 等. 黄河三角洲进积与滨海湿地地质环境演替模式[J]. *地质论评*, 2016, 62(3): 682-692.
- Gu Xiaoyuan, Lu Qingyuan, Ye Siyuan, et al. Deltaic progradation and geo-environmental succession of coastal wetlands in the Yellow River Delta[J]. *Geological Review*, 2016, 62(3): 682-692.
- [14] Bastami K D, Afkhami M, Mohammadzadeh M, et al. Bioaccumulation and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments and mullet *Liza klunzingeri* in the northern part of the Persian Gulf[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 94(1-2): 107-115.
- [15] Förstner U, Wittmann G T W. *Metal transfer between solid and aqueous phases*[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1979.
- [16] Bastami K D, Bagheri H, Kheirabadi V, et al. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 81(1): 262-267.
- [17] Yamada M, Senna S, Fujiwara H. The distribution and speciation of trace metals in surface sediments from the Pearl River Estuary and the Daya Bay, Southern China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(8): 1364-1371.
- [18] Pekey H. Heavy metal pollution assessment in sediments of the Izmit Bay, Turkey[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2006, 123(1-3): 219-231.
- [19] Neşer G, Kontas A, Ünsalan D, et al. Heavy metals contamination levels at the Coast of Aliağa (Turkey) ship recycling zone[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(4): 882-887.
- [20] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.

Distribution and environment assessment of heavy metals in sediments of the Zhifu Bay

WANG Wei^{1, 2}, GU Xiao-yuan^{1, 2}, ZHAO Hui^{1, 2}, DING Xi-gui³, YE Si-yuan³,
XIAO Nan⁴, YU Jian-feng^{1, 2}, LI Jin-peng^{1, 2}

(1. Shandong Marine Geological Survey Institute, Yantai 264001, China; 2. No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai 264001, China; 3. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 4. Zhejiang Engineering Survey Institute, Ningbo 315012)

Received: Jul. 17, 2017

Key words: sediment; heavy metals; environmental assessment; the Zhifu Bay

Abstract: Heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn, Ni) and grain size of 110 surface sediment samples in the Zhifu Bay of Yantai City were analyzed to evaluate the spatial distribution and assess the risk of metal pollution. The results indicate that the high value of heavy metals are concentrated in the area of the Zhifu Island in the Zhifu Bay Yantai City. In generally, the concentrations of heavy metals are much lower in Laishan and east Muping sea areas. The contents of heavy metals appear degressive from south to north and the contour is roughly parallel the shoreslines. To assess the environmental quality with combined pollution index, it shows that the sea area around the Zhifu Island has been polluted much more serious, the level between light pollution to pollution. In particular, the sea area of the west Zhifu Island is heavy pollution level. However, the environment in most of the study area keeps high quality, especially the sea area of Lanshan and Muping. Furthermore, the distribution of heavy metals were substantially influenced by grain size, and there are significant correlation between the concentrations of heavy metals.

(本文编辑: 刘珊珊)