高斌,曹珂,印萍,等.近10年三门湾海域表层沉积物重金属含量变化及来源解析[J].海洋地质前沿,2023,39(3):51-60. GAO Bin, CAO Ke, YIN Ping, et al. Variation and source of heavy metals in surface sediment of Sanmen Bay in recent 10 years[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(3): 51-60.

近 10 年三门湾海域表层沉积物重金属 含量变化及来源解析

高斌^{1,2},曹珂^{2*},印萍²,褚忠信¹,田元²,刘晓凤² (1中国海洋大学海洋地球科学学院,青岛 266100; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266237)

摘 要:为了解三门湾海域表层沉积物重金属的含量和分布特征,本研究对三门湾海域2019 年82个站位海域表层沉积物中的Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As及Hg共7种重金属元素的含量进 行测定,并对比10年前的数据,分析了元素含量的变化情况,追溯了其主要物质来源。结果 表明,三门湾海域表层沉积物中Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、As、Hg的平均质量浓度分别是31.33、 96.46、29.86、0.116、91.54、13.09、0.06 mg/kg,Cu、Cr的含量相对较高。与2009年相比,2019 年三门湾海域表层沉积物Cu、Zn与Cd的含量大体上保持一致,Pb、Cr与As的含量有所上 升,Hg的含量显著降低。沉积物重金属含量由近岸向外海依次降低,高值区主要集中在蛇蟠 水道口、力洋港与健跳镇附近。运用主成分分析与因子分析对重金属物质来源进行解析的结 果表明,重金属物质的来源与人类活动的影响密切相关。

关键词:三门湾;重金属;空间分布;来源解析;人类活动 中图分类号:P736;X131 文献标识码:A **DOI**:10.16028/j.1009-2722.2022.127

0 引言

重金属物质具有毒性、生态持久性和生物累积 性等特性^[1],主要通过地表径流、大气沉降和人为 直接排放这3种方式进入到海洋环境中,是严重的 海洋环境污染物^[2]。在吸附、水解和沉淀的共同作 用下,只有少部分游离金属离子溶解在水中,其余 大量离子则储存在沉积物中^[3]。当水体条件发生变 化时,沉积物中的重金属可以重新被释放出来,造 成二次污染;或聚集在动植物体内,通过富集作用 进入到食物链中,损害生物正常生长发育过程,最 终危害人类健康,具有潜在的生态风险^[4-7]。可以说, 海洋沉积物是海底表层重金属最大的"源",同时也 是重要的"汇"^[8]。因此,监测沉积物中重金属含

收稿日期: 2022-04-19

资助项目:中国地质调查局项目"浙江中部海岸带综合地质调查" (DD20190276)

作者简介: 高斌(1997-), 男, 在读硕士, 主要从事海洋地质方面的研究工作. E-mail: 779449552@qq.com

*通讯作者:曹珂(1984-),男,博士,高级工程师,主要从事海岸带环境 地质与第四纪地质方面的研究工作.E-mail:cdutck@163.com 量并追溯其来源对于海洋环境生态安全及人类健康具有重要生态价值和现实意义。

21世纪以来, 三门湾邻近地区传统工业进行优 化转型, 多元化产业结构的发展为三门湾海域环境 质量带来了前所未有的压力^[9]。前人对三门湾已有 较深入研究, 如李铁军等^[10]、吴春芳等^[11]、梁静香 等^[12]、朱荣等^[13]通过对三门湾海域进行环境监测, 分析表层沉积物中的重金属元素含量及富集程度, 但其采样点较为集中, 对于重金属污染物的来源并 未做出具体解析。而本次所涉及的海域调查深入 河流港汊, 可更好地追溯沉积物中重金属物质的来 源。基于此, 在前人研究基础上, 本文基于 2019 年 调查采样实测数据, 得出三门湾海域表层沉积物中 重金属含量分布特征, 并与 2009 年重金属物质的 分布情况进行对比, 分析造成变化的原因并探讨污 染物来源, 旨在为海域生态安全保护与重金属污染 防治提供重要的科学依据。

1 研究区概况

三门湾是浙江省三大海湾之一,隶属于宁波市

象山县、宁海县和台州市三门县,海湾总面积约 841 km^{2[14]},其中海域面积与海岛面积分别为671、 170 km²。潮流港汊资源丰富,力洋港、石浦港及青 山港三大港口沿岸分布;白礁水道、蛇蟠水道和石 浦水道等河汊贯通内外。三门湾海域宽阔,地势平 坦,岸线曲折,潮流较强,降水丰富。无外源大型河 流入海,环湾发育短小的山溪性河流,由南到北河 流依次为健跳溪、海游溪、清溪、白溪、泗洲头溪及 新岭溪,流域面积约3160 km²,多年平均径流总量 为26.8×10⁸ m^{3[15-16]}。

2 材料与方法

2.1 站位与样品采集

浙平湖渔00866 船于2019年9月在三门湾海 域环境开展调查。使用蛤式取样器取得82个站 位的沉积物样品(图1)。所有样品的采集、贮存、 制备、预处理和分析测定均严格按照《海洋调查 规范》(GB12763-2007)和《海洋监测规范》(GB 17378-2007)的有关要求执行。取样站位水深2~ 43 m,沉积物从海水中采集上来后,取上层0~5 cm, 装入塑料样品袋中,置于常温环境中保存。样品 的室内分析测定在国土资源部海洋地质实验检测 中心室完成。

2.2 测试分析方法

目前,对于沉积物中重金属检测方法主要有 X 射线荧光光谱法、原子荧光光谱法、原子吸收光谱 法以及电感耦合等离子质谱法。通常情况下前3 种检测方法只是用于辅助检测,与电感耦合等离子 质谱法相比,并不具备灵敏度高、方便快捷、操作性 强、可以实现多种金属元素同时定量定性分析的特 点^[17]。因此,在本次样品测试分析过程中,元素 Cr 采用 X 射线荧光光谱法(XRF)测定,测定仪器为 Axios PW4400 X 射线荧光光谱仪; 元素 As、Hg 采 用原子荧光光谱法(AFS)测定,测定仪器为AFS-920 双道原子荧光光谱计;元素 Cu、Pb、Zn、Cd 采 用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定,测定仪 器为 Thermo X Series 2 等离子体质谱仪。采用 GBW07314 和 SRM1646a 重金属标准物质分析控 制准确度,质控样品比例不小于10%,测定的相对 误差控制在 5% 以内。

3 结果与讨论

3.1 三门湾重金属含量分布特征

三门湾海域内表层沉积物中7种重金属元素



图 1 三门湾表层沉积物调查站位 Fig.1 Location of surface sampling stations in the Sanmen Bay

的平均含量从高到低依次为 Zn>Cr>Cu>Pb> As>Cd>Hg,具体含量如表 1 所示。对照《海洋沉 积物质量》(GB 18668-2002)标准可知,绝大多数 站位 Zn、Pb、As、Cd、Hg 重金属元素的含量均符 合一类标准,其中,xz-11、xz-15 站位 Zn 的含量符 合二类标准;17-1、SMB01、SMB03、SMBB05、xz-01、xz-02 等 23 个站位,Cu 的含量符合二类标准; 所有站位 Cr 的含量均符合二类标准。

表 1 2019 年三门湾 7 种重金属元素的含量 Table 1 The contents of seven heavy metal elements in Sanmen Bay in 2019

							/(×10)
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	As	Hg
最小值	19.80	71.21	19.72	0.06	72.20	9.18	0.04
最大值	51.22	160.00	50.62	0.51	116.21	16.03	0.14
平均值	31.33	96.46	29.86	0.12	91.54	13.09	0.06

结合图 2 可以看出, Cu、Zn、Pb、Cd 元素含量 在三门湾内蛇蟠水道口和白礁水道处均存在相对 高值区,并由此区域向湾外逐渐降低。总体上看, 重金属含量较高的区域多位于河口、港口以及工业 区附近,说明人类活动和入海径流是海湾内生态污 染物的主要来源之一^[18]。三门湾作为典型的半封 闭式海湾,三面临陆,湾内的重金属含量的高低与 人类的生产活动密切相关。此外,区域地形、潮流 模式、邻近海域的输入、悬浮泥沙运移路径等多个 因素都可能影响重金属的含量分布特征^[19]。由于 蛇蟠水道口上游为三门县城区,城市工业化进程导 致工业污水、生活废水等排放量增加,长期排放含 重金属污水会使其表层沉积物中重金属元素的含 量值偏高。

3.2 三门湾重金属含量近 10 年内时空变化

将本研究调查数据与前人 2009 年^[9] 对三门湾 海域进行的表层沉积物调查数据进行对比(图 3), 可反映 10 年来三门湾表层沉积物中重金属含量的 变化情况。2009年的海域调查所使用的标准均与 本次调查相同,保证了对比分析结果的可靠性与可 参考性。2009年三门湾沉积物中重金属 Cu 的含量 为 25.00~43.00 mg/kg, 均值 31.00 mg/kg; Pb 的含 量为 16.00~47.00 mg/kg, 均值 23.60 mg/kg; Zn 的 含量为 76.00~112.00 mg/kg, 均值 97.50 mg/kg; Cd 的含量为 0.09~0.13 mg/kg; 均值 0.11 mg/kg; Cr 的 含量为 95~7 000 mg/kg, 均值 77.70 mg/kg; As 的 含量为 8.30~14.30 mg/kg, 均值 9.99 mg/kg; Hg 的 含量为 0.087~0.13 mg/kg, 均值 0.1086 mg/kg。结 合 2019 年数据可知, Cu、Zn 的含量总体保持一致, 但在空间分布上有所不同,高值区由 2009年的 A01 站位区域变为位于蛇蟠水道口的 A06、A09 站 位区域。Pb、Cd与Cr的值与2009年的数据相比 有所上升,除Pb分布情况与2009年基本保持一致 外,Cd与Cr的含量分布均在空间分布上发生了变 化,高值区集中在位于蛇蟠水道口的A06、A09站 位区域,由此向外沉积物中重金属的含量逐渐减少。 As的含量与2009年相比显著提高,高值区由外海 逐渐转向内陆。Hg的含量显著降低,说明2009-2019年间对Hg的治理取得了良好成效。

三门湾作为典型的半封闭型基岩海湾,三面临陆,一面临海。近年来三门湾海岸线由内陆向沿海不断迁移,人为干扰持续增强^[16]。在 2019 年重金属含量分布高值区的上游均有新增城镇化地区以及工业区的分布。如蛇蟠水道为重金属分布高值区,其上游为三门县城镇区、工业区,且有船舶修理厂的分布,生活污水和工业废水的输送使得重金属在该区域发生聚集且不易扩散,因而与 2009 年相比,该区域重金属含量显著升高。

3.3 三门湾重金属来源

探究重金属物质的不同来源,可以了解沉积物 中重金属元素的地球化学行为及其与环境的相互 影响机制,也是有效治理生态污染的前提^[20]。因此, 本文运用相关性分析并结合因子分析,对三门湾海 域内重金属物质进行源解析。

3.3.1 相关性分析

若研究区的沉积物元素之间相关性较强,则表 明这些元素可能具有相似的地球化学行为或来源^[21]。 根据沉积物中重金属分布特征,通过相关性分析计 算重金属元素之间的 Pearson 相关系数,并进行显 著性检验,从而初步判断重金属元素之间的密切程 度。由表 2 可以看出,这些元素之间基本存在正相 关的关系。其中,Cu、Pb、Zn 3 种元素之间相关性





Cu/(mg/kg)

29.4°

Ν

121.4° 121.5° 121.6° 121.7° 121.8° 121.9° 122.0° E

Cu/(mg/kg)

29.4°

Ν







150

140 130

120 110

100 90

80

70

0.205

0.185

0.165 0.145

0.125 0.105

0.085

0.065



(左为 2009年,右为 2019年)

图 3 三门湾重金属含量空间分布对比图



表 2 三门湾表层沉积物重金属 Pearson 相关性分析

			-	-		-	
	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	As	Hg
Cu	1.000						
Pb	0.870**	1.000					
Zn	0.865**	0.952**	1.000				
Cr	0.647**	0.483**	0.527**	1.000			
Cd	0.345**	0.560**	0.633**	0.021	1.000		
As	0.681**	0.524**	0.541**	0.808**	0.151	1.000	
Hg	0.454**	0.587**	0.663**	0.196*	0.880**	0.393**	1.000

注:**表示p<0.01; *表示p<0.05。

较强, Cu与 Pb(r=0.870)、Zn(r=0.865)的相关系数 均>0.8,说明这3种元素的来源具有一定的相似性。 As 与 Cr(r=0.808)、Cd 与 Hg(r=0.880)之间也存在 着较好的相关性,可以推断它们的来源也具有一定 的相似性。

3.3.2 因子分析

为进一步明确重金属污染物的特征及其来源, 使用 SPSS 25.0 统计软件,采用因子分析法进行源 解析^[22],同时为了消除量纲的影响对原始数据进行 了标准化处理。因子分析要求各变量之间呈较强 的线性相关,故在进行因子分析之前,有必要对数 据进行检验,看其是否适用于因子分析,KMO检验 和巴特利特检验可以检验变量之间的相关程度。 根据 KMO 和巴特利特检验结果, KMO 值为 0.810, 巴特利特球形度检验的显著性为 0.000(P 值<0.05), 说明重金属变量之间具有相关性,因子分析是有效 的。表3所示因子分析的结果,前3个主成分的累 积贡献率达到了 94.334%, 说明三者已能反映出大 部分重金属元素的来源差异。故选取前3个主成 分进行分析。

表 3 主成分方差与方差贡献 Table 3 Principal component variance and

. . .

variance contribution							
成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%				
1	4.456	63.655	63.655				
2	1.555	22.220	85.875				
3	0.592	8.459	94.334				
4	0.196	2.803	97.137				
5	0.092	1.316	98.453				
6	0.073	1.046	99.499				
7	0.035	0.501	100.000				

表 4 所示 7 种重金属元素主成分分析的载荷 和得分关系。第1个主成分 PC1 主要包括 Cu、Pb、 Zn, 三者均有较高的载荷, 反映了来源于陆源输送 的重金属污染,包括矿山开采、金属冶炼、电子产品 制造业等工业废水及农业废水、生活污水等^[23]。三 者在蛇蟠水道、健跳港和白礁水道顶部地区含量较 高。因三门湾为典型半封闭海湾,其重金属污染物 相对不易扩散,所以在湾顶西北部附近 Cu、Pb 和 Zn 的含量也较高。

PC2中,以As和Cr所占比重最大。工农业、 养殖业的迅速发展,造成三门湾地区对于化肥的使 用需求增加, As 的含量也逐渐升高^[24]; Cr 高值区主 要位于健跳港附近,这可能与多个工业园区以及船

Table 4 Relationship between loadings and scores of the principal components						
重金属元素	PC1	PC2	PC3			
Cu	0.825	0.470	0.182			
Pb	0.873	0.241	0.378			
Zn	0.810	0.289	0.478			
Cr	0.307	0.901	0.002			

0.900

-0.099

0.156

0.253

0.269

0.229

表 4 变量主成分分析的载荷和得分关系

Hg 注:加粗数值代表高载荷

As

Cd

舶修理厂在健跳港上游有分布有关,主要来自于机 械制造行业。因此, 推测健跳港附近的 Cr 受上 游工业活动的影响,在湾内呈现出明显的点源污染 分布。

PC3 主要是 Hg 和 Cd。Hg 容易受到强烈的水 动力作用过程,通过再悬浮作用,在不同介质中重 新进行分配^[20];Cd 主要源自化石燃料的燃烧、半导 体超导体材料的制作等工业以及化肥、农药的使用 等农业活动^[24],高值区位于蛇蟠水道附近,白礁水 道底部等水产养殖区区域元素含量也较高。

3.4 人类活动的影响

根据上文分析,得知对于三门湾内表层沉积物 重金属含量分布影响最大的因素是工农业等人类 活动的影响。通过对比三门湾土地利用类型数据 的变化,可以直观地反映出人类活动的变化趋势。 利用 ENVI 5.3、ArcGIS10.8 软件对 2009年和 2019 年的 Landsat 遥感影像进行解译(图 4),得到区域的 土地利用类型变化数据,并对遥感解译结果进行统 计^[25],具体如表 5 所示。三门湾在 2009-2019 年 的发展过程中,建设用地大幅增加,增长过程表现 为:以城区为中心向外扩展,农村城镇化点状扩展; 而耕地面积相对减少,由 20.71% 缩减到 10.80%。

据遥感解译图可知,湾内几个重金属含量较高 的典型地区人类活动明显增强。如蛇蟠水道沿岸 以及健跳港上游的三门县主城区区域,其建设用地

表 5 2009 年与 2019 年土地利用分类遥感解译结果统计

Table 5 Statistics of remote sensing interpretation results of land use classification in 2009 and 2019

		_		_		/ 70
年份	建设用地	林地	耕地	滩涂	水产养殖池	鱼排
2009	4.81	49.33	20.71	5.21	3.24	/
2019	7.62	52.41	10.80	3.12	3.66	0.34

0.187

0.933

0.921



rit又歌[25] 修改 **图 4 2009 年 (a) 和 2019 年 (b)** 三门湾土地利用类型遥感解译 Fig.4 Remote sensing interpretation of land use types of Sanmen Bay in 2009(a) and 2019(b)

所占面积明显增加; 沥洋港上游以及胡陈港水库北 方区域均可见到建设用地的明显增加。建设用地 所占面积增加的区域, 亦是湾内重金属物质分布高 值区。近岸区域的水产养殖用地增加, 也会对水体 的重金属物质分布产生一定影响。可见, 三门湾海 域表层沉积物中重金属物质的分布明显受到人类 活动的影响, 由工农业生产等人类活动所产生的生 活垃圾和污水可能通过人工直接排放的方式进入海洋,已成为滨海地区重金属污染主要来源之一。

3.5 沉积物粒度及潮流的影响

沉积物的粒度以及潮流模式,也会影响重金属的分布。沉积物重力与水动力的平衡决定沉积物的分配,由河口至浅海,随着潮流流速的变小和搬

运距离的增加,沉积物中砂含量越少^[26]。三门湾表 层沉积物平均粒径数值主要在 5.6 Φ ~7.6 Φ , 沉积物 类型主要包括泥、粉砂、砂质泥、砂质粉砂4种类 型。总体上三门湾表层沉积物平均粒径较邻近外 海细,其中,粉砂质沉积物所占范围最广,细颗粒沉 积物广泛分布于三门湾海域内,主要为浙闽沿岸流 输运的长江源物质;而粗颗粒物质仅分布在高塘岛 南侧附近,主要由陆源入海物质和岛屿冲刷物质组 成。绝大部分为粉砂,三门湾近岸沉积物平均粒径 分布比较均匀,主要为泥及粉砂。潮汐携带湾内外 悬移质经过分选作用,随着水动力的减弱,沉积物 自湾口向湾顶逐渐变细,因此大部分沉积物分选性 较好,泥质主要集中在湾顶汊道附近。细颗粒物质 具有较大的比表面积,往往具有较高的表面活力^[27], 因此对重金属元素的吸附能力较强。三门湾海湾 内潮流均属于正规半日潮,浅海分潮流显著,在海 湾内以往复流为主,仅在湾口出现了轻微的旋转流 性质^[28]。河流排向外海的物质以及三门湾内潮流 携带的湾外沿岸小细粒径悬浮物可能在中部发生 聚集、沉积,导致三门湾内的沉积物重金属含量高 于外海。

4 结论

本文为了解浙江三门湾海域表层沉积物重金 属的时空分布特征及其来源,分析并对比了三门湾 海域 2009 年与 2019 年表层沉积物中 7 种重金属 元素的含量差异,同时对其来源进行探讨。主要结 论如下:

(1)本次海域调查过程中测得 2019 年三门湾 海域表层沉积物 7 种重金属元素 Cu、Zn、Pb、Cd、 Cr、As、Hg 的平均质量浓度分别是 31.33、96.46、 29.86、0.116、91.54、13.09、0.06 mg/kg, 其中, Cu、 Cr 的含量相对较高。

(2)相较于 2009 年, 2019 年的 Cu、Zn 与 Cd 的 含量大体上保持一致, Pb 与 Cr 的值有所上升, As 的含量显著提高, Hg 的含量显著降低。沉积物重 金属含量高值区主要集中在蛇蟠水道、力洋港与健 跳镇附近,含量由近岸向外海递减。

(3)三门湾海域表层沉积物重金属来源受人类 活动影响显著。随着工业化进程加速以及产业结 构的转型,人类活动的影响成为了重金属污染的主 导因素,需要引起相关部门足够的重视,并对其加 以控制,以减少生态污染。

参考文献:

- ZENG J, HAN G, YANG K. Assessment and sources of heavy metals in suspended particulate matter in a tropical catchment, northeast Thailand[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 265: 121898.
- [2] 付仁笼. 渤海海底表层沉积物重金属污染状况及来源分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- [3] SAKAI H, KOJIMA Y, SAITO K. Distribution of heavy metals in water and sieved sediments in the Toyohira River[J]. Water Research, 1986, 20(5): 559-567.
- [4] ALI M H. The relation of stream sediment grain sizes and its geochemical composition: a case study from Wadi Himur area, South Egypt[J]. Молодой ученый, 2011(12/1): 121-129.
- [5] EDELSTEIN M, BEN-HUR M. Heavy metals and metalloids: sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 234: 431-444.
- [6] DAVUTLUOGLU O I, SECKIN G, ERSU C B, et al. Heavy metal content and distribution in surface sediments of the Seyhan River, Turkey[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(9): 2250-2259.
- [7] SURESH G, SUTHARSAN P, RAMASAMY V, et al. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam Lake sediments, India[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012, 84: 117-124.
- [8] ABRAHIM G M S, PARKER R J. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 136(1): 227-238.
- [9] 薛楚楚. 宁海三门湾新区主导产业的选择与空间布局研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2013.
- [10] 李铁军,刘士忠,郭远明,等.三门湾沉积物重金属污染及其 潜在生态危害评价[J].浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011,30(4):318-321.
- [11] 吴春芳, 宋伟华, 陈立红, 等. 三门湾海域环境质量现状监测 与评价[J]. 科技创新导报, 2014, 11(27): 95-98.
- [12] 梁静香,周永东,王忠明,等.三门湾海域环境质量现状评价 及其年际变化[J].浙江海洋大学学报(自然科学版),2021, 40(2):121-127.
- [13] 朱荣,杨承虎,严峻,等.浙江三门湾海域沉积物中重金属调查与评价[J].山东化工,2020,49(19):246-248.
- [14] 林明祥,蔡廷禄,王欣凯,等.近百年来浙江三门湾海岸线时 空演变特征[J].海洋学研究,2021,39(1):47-55.
- [15] 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志 第五分册(上海市和浙 江省北部海湾)[M].北京:海洋出版社,1982.
- [16] 宋文杰,禹丝思,陈梅花,等.近30年三门湾海岸线时空变化 及人为干扰度分析[J].浙江师范大学学报(自然科学版), 2017,40(3):343-349.
- [17] 王龙. 电感耦合等离子体质谱法在测定水中多种金属元素中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2019(8): 213-215.
- [18] 陈思杨, 宋琍琍, 刘希真, 等. 浙江典型海湾潮间带沉积物污

60	Marine Geology Front	iers	海洋地质前沿	2023年3月
	染及生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2020, 40(4): 1771-1781.		重金属污染特征及风险评	价[J]. 环境科学学报, 2015, 35(7)
[19]	赵晨辉,胡佶,刘小涯,等.浙江三门湾表层沉积物重金属含		2185-2192.	
	量分布、赋存形态及生态风险评价[J].海洋学研究, 2018,	[24] 柴小平. 杭州湾及其邻近海	域表层沉积物重金属分布特征与
	36(2): 64-73.		污染评价研究[D]. 杭州:浙	江大学,2015.
[20]	柴小平,魏娜,任世军,等.杭州湾及其邻近海域表层沉积物	[25] 李萌,熊尚凌,陈伟,等.浙	北海域表层沉积物中重金属的含
	的沉积环境分区及重金属污染特征分析[J].海洋科学,2019,		量特征、来源和污染评价[.	J]. 海洋环境科学, 2018, 37(1): 14
	43(8): 29-35.		20.	
[21]	白有成,高生泉,金海燕,等.长江口及邻近海域沉积物重金	[26] 刘晓凤,段晓勇,田元,等.	三门湾水体营养盐变化及其对人
	属潜在生态风险评价[J]. 海洋学研究, 2011, 29(4): 32-42.		类活动的响应[J]. 海洋地质	貢前沿, 2021, 37(5): 46-56.
[22]	LU Q, BAI J, GAO Z, et al. Spatial and seasonal distribution	[27] 赵玉庭,孙珊,由丽萍,等.	莱州湾沉积物粒度与重金属分布
	and risk assessments for metals in a Tamarix chinensis Wetland,		特征[J].海洋科学,2021,4	5(3): 43-50.
	China[J]. Wetlands, 2016, 36(1): 125-136.	[28] 师鹏飞,许东峰,王俊,等.]	三门湾外海的潮汐和潮流特征[J]

张伯镇, 雷沛, 潘延安, 等. 重庆主城区次级河流表层沉积物 [23]

- नं

- 海洋学研究, 2012, 30(2): 27-35.

Variation and source of heavy metals in surface sediment of Sanmen Bay in recent 10 years

GAO Bin^{1,2}, CAO Ke^{2*}, YIN Ping², CHU Zhongxin¹, TIAN Yuan², LIU Xiaofeng²

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2 Qingdao institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China)

Abstract: To clarify the distribution and concentration of heavy metals in the surface sediments of the Sanmen Bay, Fujian, South China, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, As and Hg in the surface sediments of 82 stations in the Sanmen Bay waters in 2019 were analyzed. The concentration of the heavy metal elements were determined, and the data from 10 years ago were compared to show the changes in content of the elements, and their main material sources were analyzed. Results show that the average concentrations of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, As, and Hg in the surface sediments were 31.33, 96.46, 29.86, 0.116, 91.54, 13.09, 0.06 mg/kg, respectively, and Cu and Cr contents were higher obviously. Compared with 2009, the contents of Cu, Zn, and Cd in 2019 were generally consistent, while those of Pb, Cr, and As increased, and that of Hg decreased significantly. The contents of heavy metals in sediments decreased gradually from the nearshore to the sea, and the high-value areas were mainly concentrated near the mouth of the Shepan Waterway, Liyang Port, and Jiantiao Town. The principal component analysis and factor analysis showed that the sources of heavy metals were closely related to the impact of human activities. Key words: Sanmen Bay; heavy metals; spatial distribution; source analysis; human activities