海洋环境评价的应用案例

卢　霞

主要内容
CONTENTS

1

PART ONE

摘　要

本文测定了海州湾连岛周边海域21个表层沉积物中重金属元素（Cd、Cr、Cu、Pb和Hg）和类金属（As）的含量，通过克里金插值法得到重金属含量的空间分布，采用地累积指数法和潜在生态风险指数法评价了重金属污染程度和风险等级。

结果表明：仅Cu的平均含量超过 GB 18668-2002《海洋沉积物质量》中规定的 1 类标准；Cu和Pb的空间变异系数为114.66%和108.44%，空间离散度较强。

重金属污染程度从大到小依次为Cd>Pb>Cu>As>Hg>Cr，其中Cd、Cu和Pb为偏中度污染，As和Hg为轻度污染，Cr无污染；整体潜在生态风险等级已达中等级风险，其中连岛南部海域港口附近重金属污染为高等级风险，表层沉积物的生态风险主要由Cd元素引起。

2

PART ONE

引 言

研究意义

近年来，海岛经济的快速发展，排入海岛周边海域的污染物对生态环境产生严重危害。重金属绝大部分通过生物、化学、物理作用，由水相转入固相，富集在沉积物中，对底栖生物产生直接的毒害作用，并通过食物链富集和传递，最终对人类健康造成影响。因此，正确评价沉积物中重金属污染状况对保护海洋生态环境和人类健康都有重要意义。

引 言

国内外研究现状

目前，近海河口和海湾的沉积物中重金属含量、主要来源、空间分布特征和生态风险等方面都有了深入研究，而对于海岛周边海域沉积物中重金属的研究却鲜有报道。

引　言

研究内容

本文通过在海州湾连岛周边海域采集表层沉积物样品，测定了As、Cd、Cr、Cu、Pb和Hg 6种元素的含量，与所在海域背景值进行对比分析。利用克里金插值法分析重金属的空间分布特征，通过地累积指数法确定重金属的污染程度，采用潜在生态风险指数法评估重金属的生态风险。

3

PART ONE

材料与方法

研究区概况

样品采集和测试

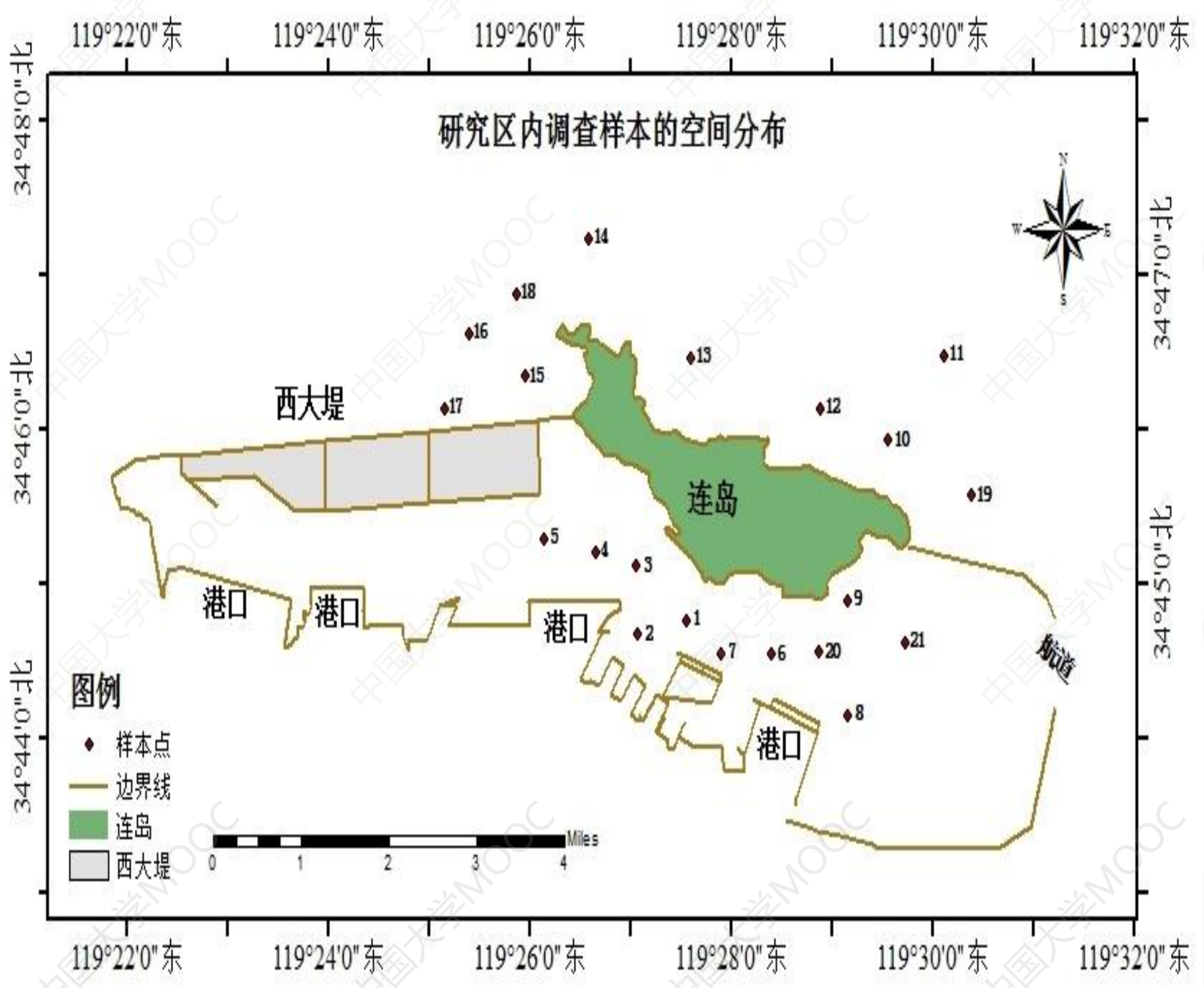
研究方法

研究区概况

连岛位于连云港市海州湾连云区以北的海区，总面积达7.57 km^2，海岛岸线长为17.6 km。连岛北部拥有江苏省最大的海滨浴场，西部修建了西大堤，南部与陆地港口相连，海水养殖业分布在连岛周边海域，对连云港及江苏省的海洋经济发展有着重要的推动作用。

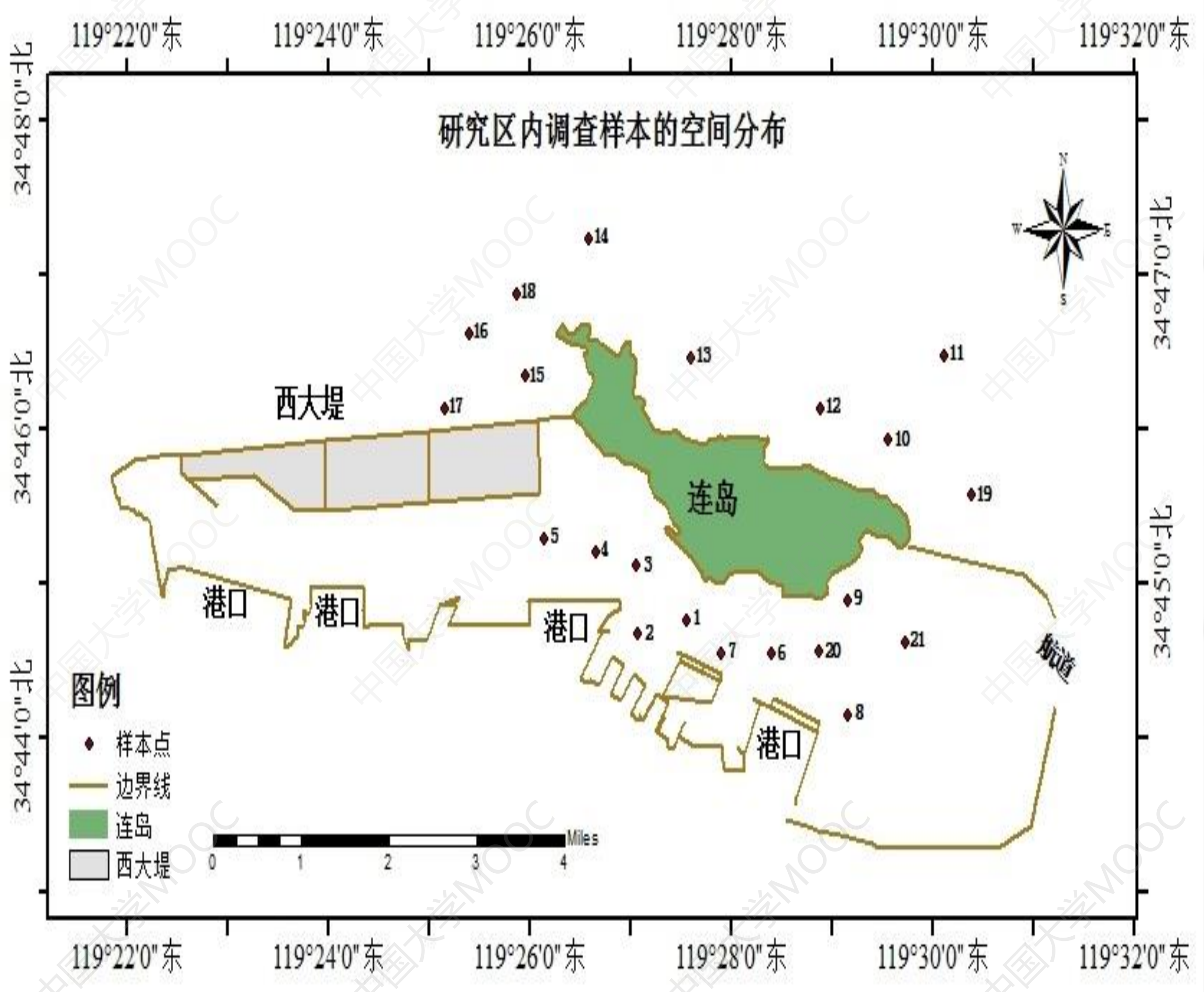
样品采集

- 围绕连岛周围设计了21个采样点，采样点具体位置如图所示。
- 根据海洋监测规范对表层沉积物进行采集、运输和保存。在实验室将所采集的21份样品进行冷冻干燥，去除样品中的砂石以及动植物残体后，用玛瑙研体将沉积物碾磨，用100目的尼龙筛子，筛下约20g样品装于密封袋中置于干燥处以供测定。



样品测试

本次实验采用分析天平称取处理好的沉积物样品0.1g，并将称取好的样品放于聚四氟乙烯烧杯中，并通过浓硝酸一氢氟酸一高氯酸混合液进行消解，定容至100mL待测。最终样品重金属元素Cu、Pb、Cr和Cd含量采用Multiwave 3000微波消解仪进行消解，利用全谱直读等离子体发射光谱(ICP-OES)进行测定，As、Hg采用原子荧光光谱法(AFS)测定，实验中选用的试剂为优级纯试剂，实验用水为超纯水。



研究方法

1

克里金插值法：

克里金(Kriging)插值法是一种最优内插法，是非常有用的地质统计格网化方法。

$$\hat{z}_0 = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i Z_i$$

式中：$\hat{z}_0$ 是点 (x_0, y_0) 处的估计值，即 $z_0 = z(x_0, y_0)$；λ_i 是权重系数，利用空间上所有已知点的数据加权求和来估计未知点的值。

研究方法

2

地累积指数法:

$$I_{geo} = \log_2\left[C_n / \left(K \times B_n\right)\right]$$

式中：I_{geo}为地积累污染指数；C_n为重金属元素 n 的实测浓度(mg/kg)；B_n为沉积岩中重金属元素 n 的地球化学背景值(mg/kg)，考虑到成岩作用可能会引起背景值的变动，设定常数 k 为 1.5。

研究方法

3

潜在生态风险指数法：

采用潜在生态风险指数法对沉积物重金属的生态风险进行评价，综合考虑重金属毒性、江苏省海域土壤背景值等因素，定量划分潜在生态风险等级。

$$E_r^i = T_r^i C_f^i = T_r^i \times C^i / C_n^i$$

$$RI = \sum_{i=1}^{n} E_r^i$$

式中：T_r^i为第 i 种重金属的毒性系数，体现重金属的毒性水平及生物对重金属污染的敏感程度；C_f^i为第 i 种重金属的污染指数；C^i为重金属元素 i 的实际测量含量(mg/kg)；C_n^i为重金属元素 i 的背景值(mg/kg)；E_r^i为单个重金属的潜在生态危害指数；RI为多种重金属潜在生态危害指数的综合。

4

PART ONE

结果与讨论

1

连岛周边海域沉积物重金属含量分析

2

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征

3

连岛周边海域沉积物重金属污染程度评价

4

连岛周边海域沉积物重金属污染生态风险评价

连岛周边海域沉积物重金属含量

表 2 连岛周边海域沉积物中各重金属含量与背景值对比

Tab. 2 Comparison of heavy metals contents and background values in sediments

统计值	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg
本研究中各重金属元素含量平均值/mg·kg^{-1}	13.185	0.161	51.930	57.172	43.624	0.043
江苏省海域土壤背景值/mg·kg^{-1}	7.380	0.042	60.110	15.020	11.400	0.023
中国浅海土壤背景值/mg·kg^{-1}	7.700	0.065	61.000	15.000	20.000	0.025
一类标准/mg·kg^{-1}	20	0.5	80	35	60	0.2
二类标准/mg·kg^{-1}	65	1.5	150	100	130	0.5
三类标准/mg·kg^{-1}	93	5	270	200	250	1

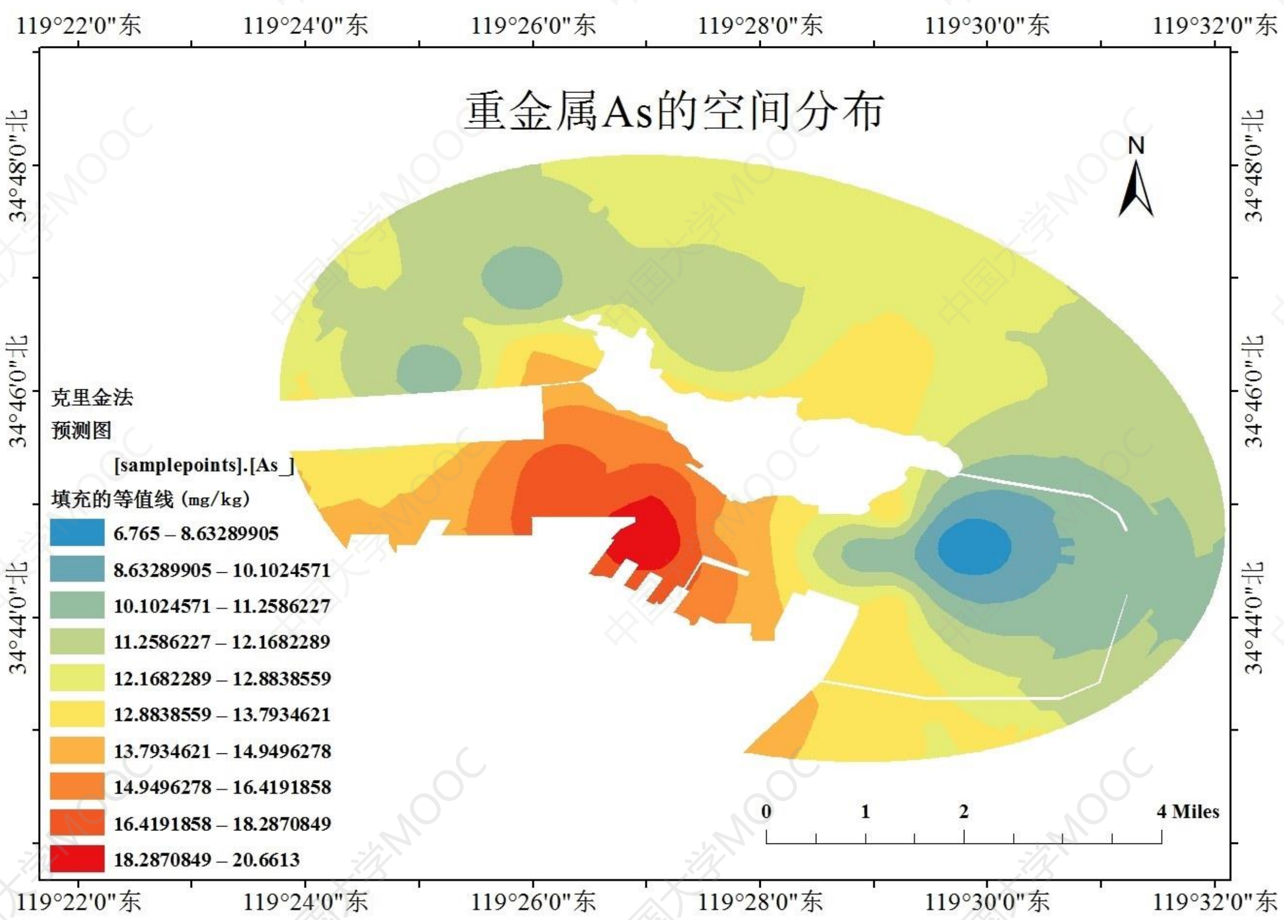
统	Hg
平均值	0433
最小值	0160
最大值	0810
变异系	9.61

连岛周边海域沉积物重金属含量

由表1可知：As、Cd、Hg和Cr的变异系数介于10%~100%，属于中等变异； Cu和Pb的空间变异系数均大于100%，属于强变异，Cu和Pb的空间离散度较大。

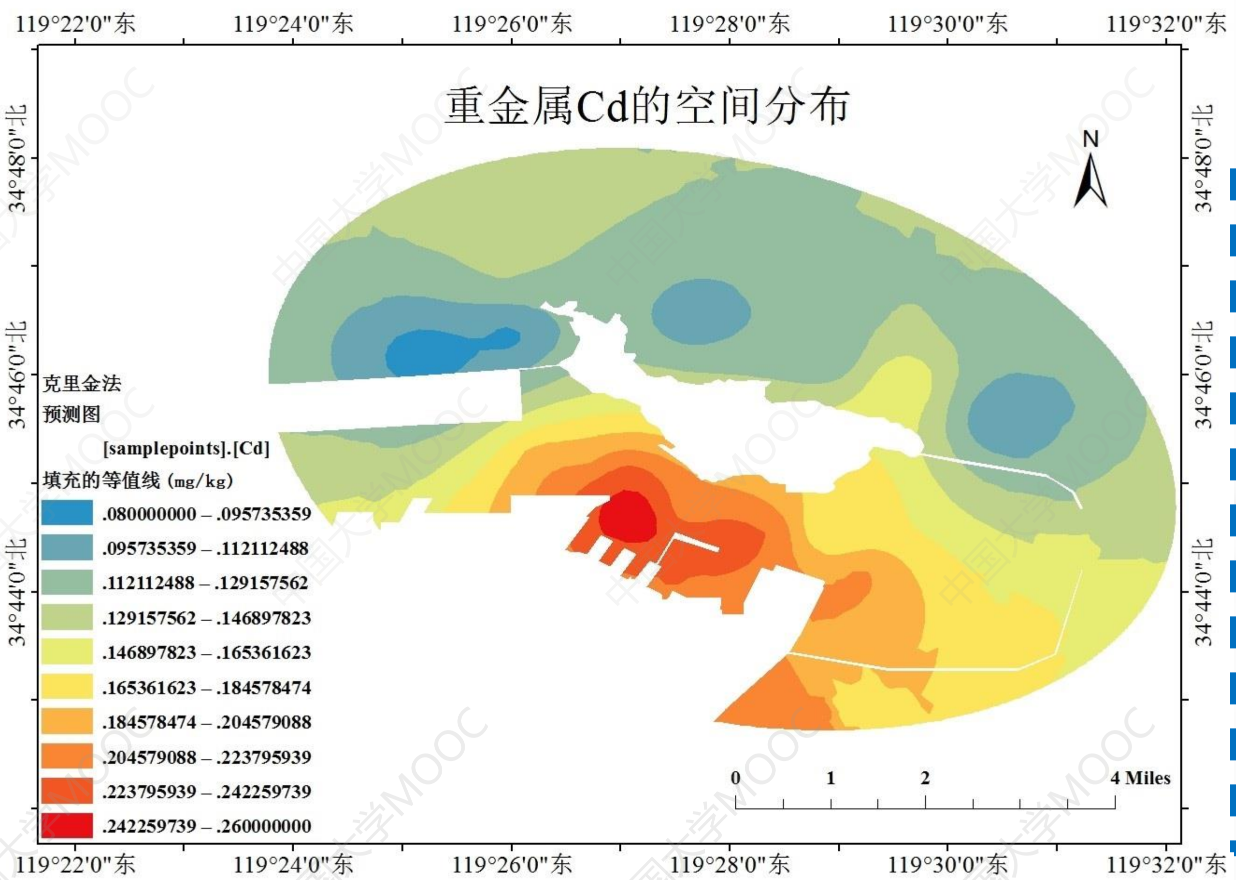
由表2可看出：As、Cd、Hg、Pb、Cr的平均含量均优于GB 18668-2002《海洋沉积物质量》中规定的 1 类标准；Cu的平均值高于1 类标准，符合II和III类标准，符合滨海旅游区、海洋港口开发作业对沉积物质量的要求。但是As、Cd、Hg、Pb、Cu的平均含量均高于江苏省海域土壤背景值和中国浅海土壤背景值，海洋环境存在一定程度的污染。

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征



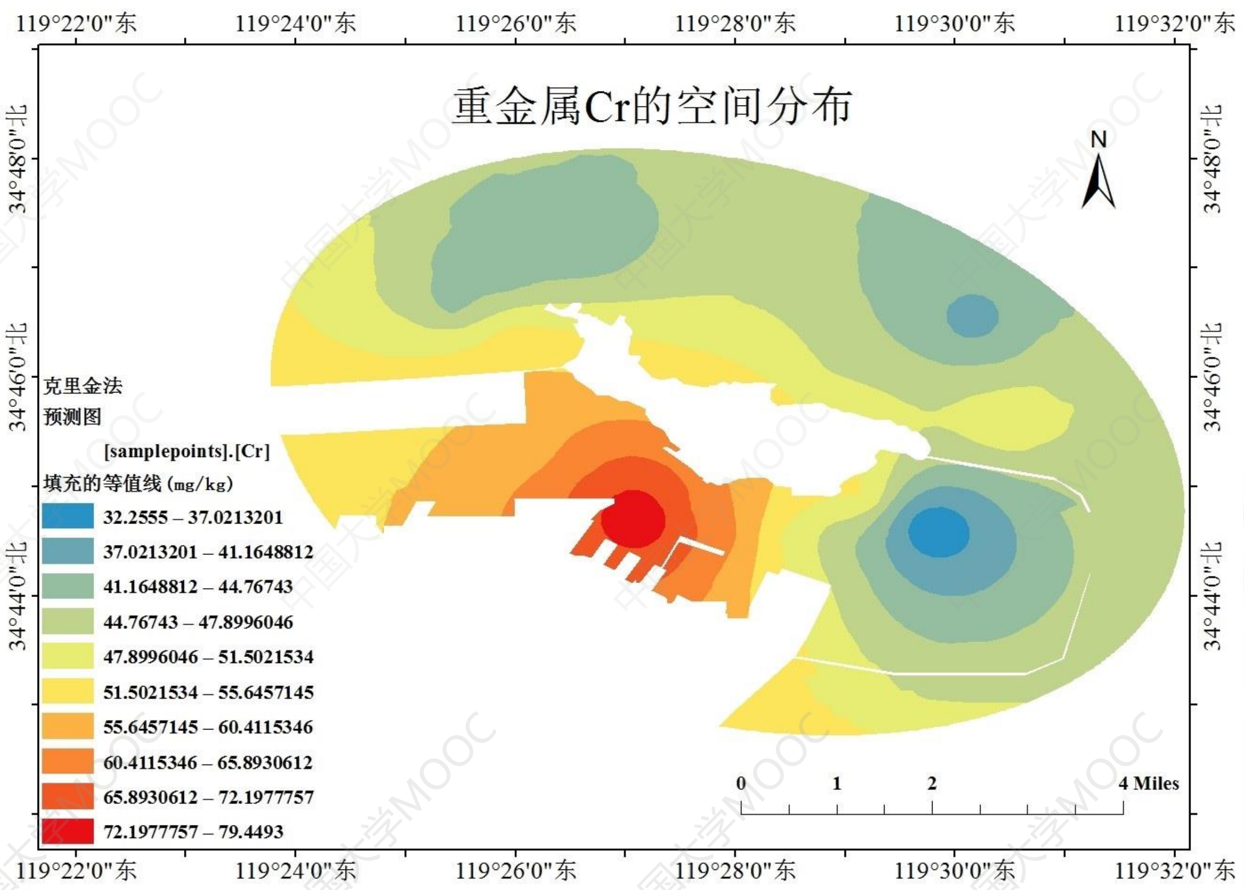
As的空间分布特征：As含量的变化范围6.77~20.66mg/kg，最小值位于连岛东部海域的21号站点，最大值位于港口附近的2号站点；整体表现为南部高于北部的空间分布趋势。

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征



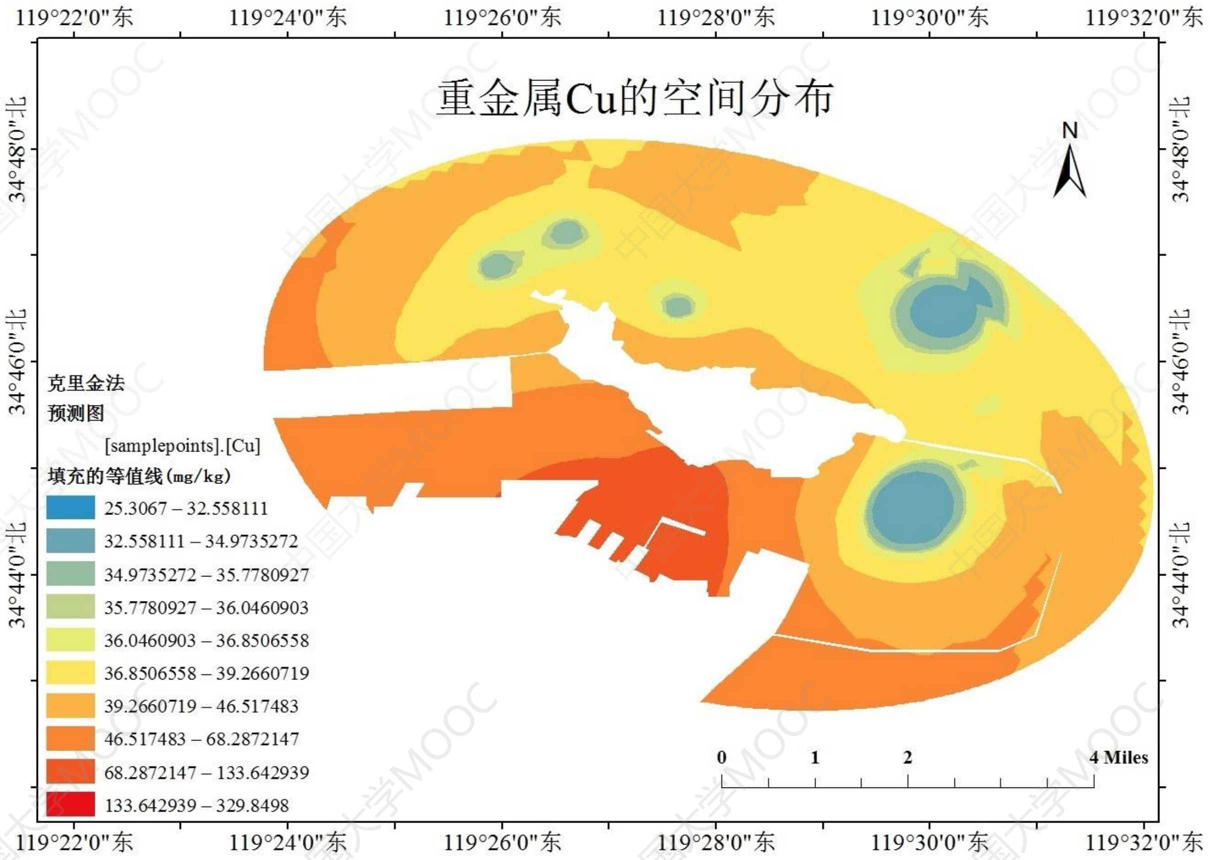
重金属Cd的空间分布特征： 重金属Cd含量的变化范围0.08~0.26mg/kg，最小值位于西大堤附近的17号站点，最大值位于港口附近的2号站点；整体表现为以连岛为中心向四周递增的空间分布趋势；港口附近为高值区。

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征



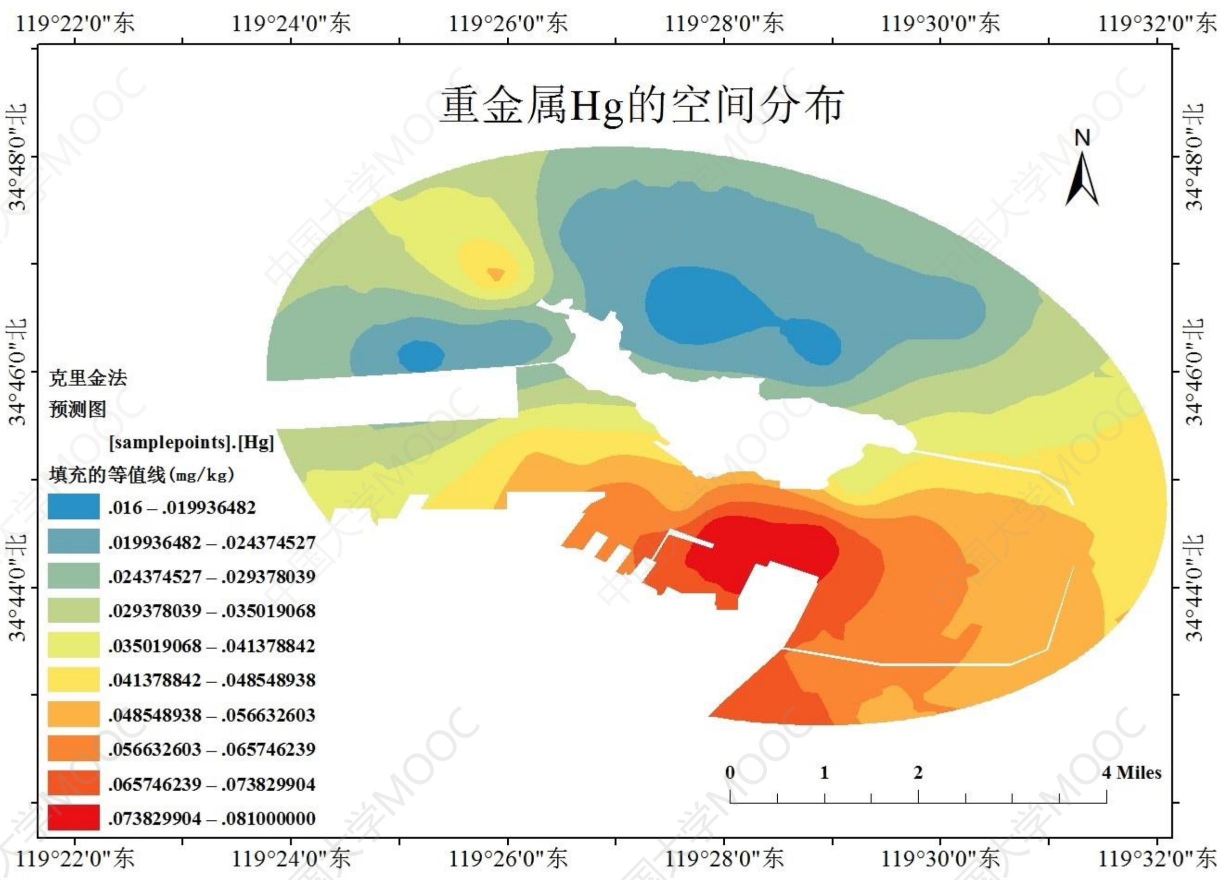
重金属Cr的空间分布特征： 重金属Cr含量的变化范围为32.26~79.45mg/kg，最小值位于连岛东部海域的21号站点，最大值位于港口附近2号站点；整体表现为西南部海域向外递增，北部海域向外递减的空间分布趋势；高值区较为集中，位于2号站点附近。

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征



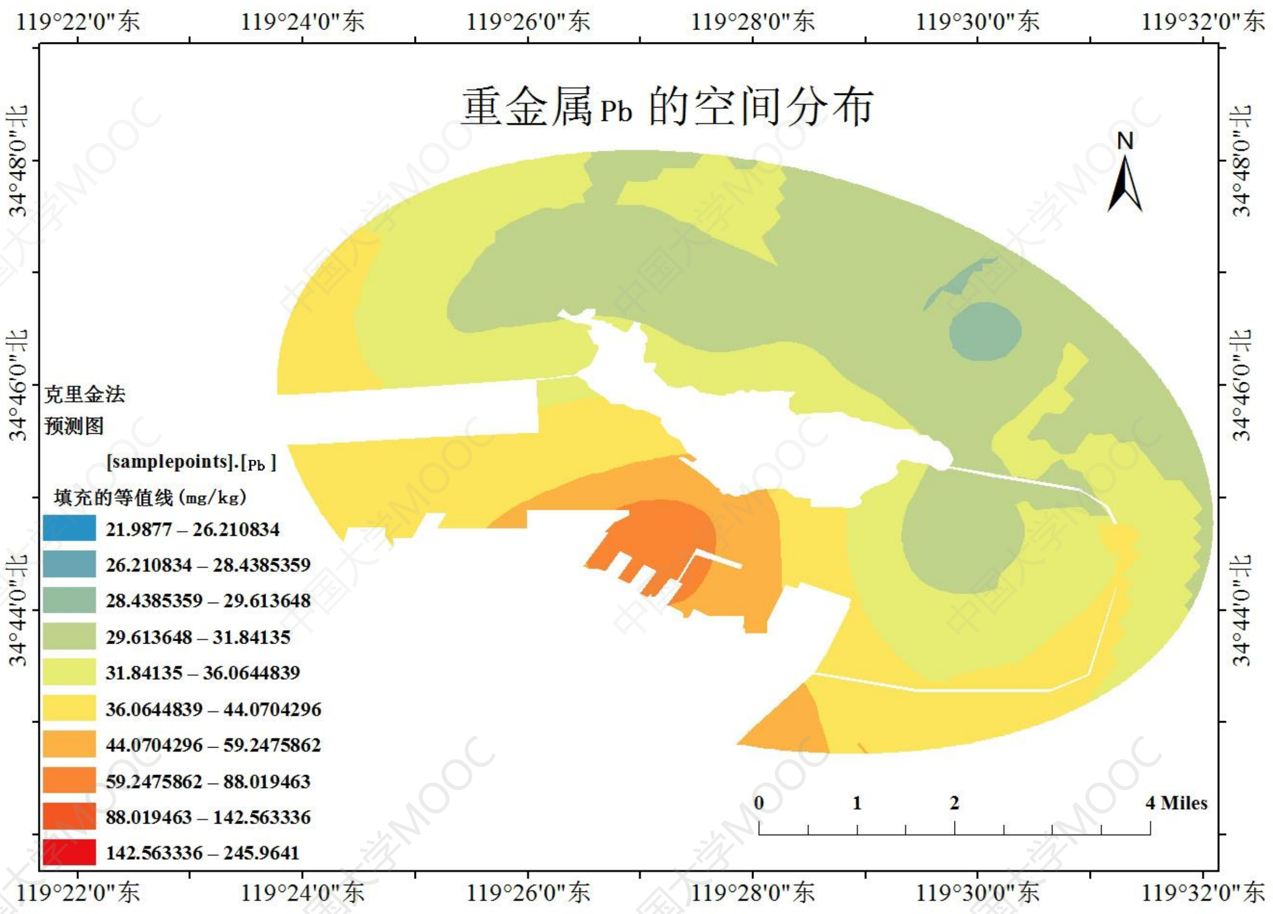
重金属Cu的空间分布特征：重金属Cu含量的变化范围为25.31~329.85mg/kg，最小值位于东部海域的21号站点，最大值位于港口附近的2号站点；整体表现为南高北低的空间分布趋势；在21和11号站点出现明显低值区。

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征



重金属Hg的空间分布特征： 重金属Hg含量的变化范围为0.016~0.081mg/kg，最小值位于北部海域的13号站点，最大值位于港口附近7号站点；整体表现为西南部海域向北部海域阶梯式递减的空间分布趋势；高值区位于东南部海域。

连岛周边海域沉积物重金属空间分布特征



重金属Pb的空间分布特征：重金属Pb含量的变化范围为21.99~245.96mg/kg，最小值位于连岛东部海域的21号站点，最大值位于南部海域的2号站点；整体表现为东北部向外递减，其余海域向外递增的空间分布趋势；高值区不明显。

连岛周边海域沉积物重金属污染程度评价

表 3 海州湾连岛周边海域沉积物重金属地累积指数法评价结果

Tab. 3 Pollution degree evaluation results of heavy metals based on ground accumulation index

I_{geo} 值	级数	污染程度	所占比例/（%）					
			As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg
≤0	0	无污染	23.8	0	100	0	0	38.1
0~1	1	轻度污染	76.2	33.3	0	66.7	66.7	47.6
1~2	2	偏中度污染	0	61.9	0	23.8	28.6	14.3
2~3	3	中度污染	0	4.8	0	4.8	0	0
3~4	4	偏重污染	0	0	0	4.7	4.7	0
4~5	5	重污染	0	0	0	0	0	0
≥5	6	严重污染	0	0	0	0	0	0
最大值			0.90	2.05	-0.18	3.87	3.85	1.23
最小值			-0.17	0.34	-1.48	0.17	0.36	-1.11
平均值			0.21	1.26	-0.83	1.00	1.07	0.13

连岛周边海域沉积物重金属污染程度评价

从平均情况来看，研究区Cr地累积指数分级为0级，污染程度为无污染级别；As和Hg地累积指数分级为1级，污染程度为无-轻度污染级别；Cd、Pb和Cu的地累积指数分级为2级，污染程度为偏中度污染级别；从受污染程度来看，Cr受污染程度最轻，Cd受污染程度最重，污染程度从大到小依次为Cd>Pb>Cu>As>Hg>Cr。

就单个采样点而言，Cr元素无污染；其它元素都存在局部污染情况。其中Cd元素的污染最为严重，约有66.7%的采样点达到偏中度污染以上污染；Cu、Pb约有33.3%的采样点达到偏中度污染及以上，部分采样点达到偏重污染；As几乎处于无污染到轻度污染的程度。

连岛周边海域沉积物重金属污染生态风险评价

表 4 海州湾连岛周边海域沉积物重金属潜在生态风险指数综合评价结果

- 研究区全部采样点的生态风险指数均高于85，为中等级及以上范围。
- 研究区76.2%的采样点为强生态风险以上等级，研究区整体的潜在生态风险为强风险等级，生态风险情况较为严重。
- 从各站点来看，位于连岛北部海域11、12、13、15、17号5个站点达到了中等潜在生态风险水平。13个站点达到了强等级生态风险水平，其中10、14、16、18、19号站点在北部海域，其余属于南部海域。位于连岛南部海域的2、6、7号这3个站点达到了达到很强等级，其中2号站点的生态风险水平最高。潜在生态风险指数总体表现为南部海域大于北部海域。

连岛周边海域沉积物重金属污染生态风险评价

表 5 海州湾连岛周边海域沉积物各元素潜在风险指数评价结果

Tab.5 Potential ecological risk evaluation results of each heavy metal and As

E_r^i	潜在生态风险程度	所占比例/(%)					
		As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg
$E_r^i<40$	低	100	0	100	95.2	95.2	28.6
$40\leqslant E_r^i<80$	中等	0	28.6	0	0	0	23.8
$80\leqslant E_r^i<160$	强	0	57.1	0	4.8	4.8	47.6
$160\leqslant E_r^i<320$	很强	0	14.3	0	0	0	0
$E_r^i\geqslant 320$	极强	0	0	0	0	0	0
最大值		28.00	185.71	2.64	109.80	107.88	140.87
最小值		9.17	57.14	1.07	8.42	9.64	27.83
平均值		17.87	114.63	1.73	19.03	19.13	75.28

连岛周边海域沉积物重金属污染生态风险评价

- 单项重金属潜在生态风险程度由强到弱依次为Cd＞Hg＞Pb＞Cu＞As＞Cr。
- 重金属Cd元素在全部采样点都达到中风险以上等级，其中71.4%的采样点为强风险以上等级；Hg元素则在71.4%的采样点达到中风险以上等级；其它4种元素的风险程度整体为低风险。
- 虽然6种元素中Cd和Hg的含量较低，但因为Cd和Hg的生物毒性极强，对潜在生态风险的影响较大。
- 因此，海洋相关管理部门在今后的海洋环境保护工作中应重视Cd和Hg的污染治理。

5

PART ONE

结 论

研究区表层沉积物中5种重金属和As的平均含量从大到小依次为Cu＞Cr＞Pb＞As＞Cd＞Hg，其中As，Cd，Hg和Cr的变异系数小于50%，空间分布较均匀；而Cu和Pb的变异系数都大于1，变异程度较大；南部海域重金属含量高于北部海域，南部海域的2号站点重金属含量最高。

研究区整体污染情况为轻度污染，港口附近的2号站点污染最严重；Cd、Cu和Pb达中度污染，As和Hg为轻度到偏中度污染之间，Cr在所有站点都为无污染。

5种重金属和As的生态风险等级由强到弱依次为Cd＞Hg＞Pb＞Cu＞As＞Cr，其中Cd已达到了强等级的潜在生态风险水平，Hg达到中等级的潜在生态风险水平，Pb、Cu、As和Cr均为轻微的潜在生态风险水平。

- 如果全人类想要获得长期稳定的发展，就必须促进海洋经济的同时保护海洋环境，确保我国海洋经济蓬勃发展。

美丽中国梦，我们都是追梦人！

THANK YOU