

# 广西近岸海域水下平原表层沉积物中有机质分布及其积累\*

## The Distribution and Accumulation of Organic Matters in Surficial Sediment in Submarine Plain of Guangxi Nearshore Waters

黄向青, 梁开, 夏真, 陈太浩, 张顺枝, 潘毅

HUANG Xiang-qing, LIANG Kai, XIA Zhen, CHEN Tai-hao, ZHANG Shun-zhi, PAN Yi

(国土资源部广州海洋地质调查局, 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广东广州 510760)  
(Guangzhou Marine Geological Survey, Key Laboratory of Marine Mineral Resources, MLR, Guangzhou, Guangdong, 510760, China)

**摘要:**【目的】研究广西近岸水下平原表层沉积物有机质的分布和积累, 了解有机质的扩散和现状。【方法】以钦州湾口水下斜坡为界, 东至铁山港口外古滨海平原的 20m 以浅的广西近岸水下平原为研究区, 依据 2007~2010 年广西近岸海洋环境地质调查资料, 分析该区海底表层沉积物和钻孔有机质的分布、关系和积累特征。【结果】表层沉积物有机质含量频率  $f$  分布不均; 研究区可划分出 3 大类沉积环境和 5 种亚环境, 在其间的有机质分布含量差异较大, 对沉积环境的选择性较强; 有机质分布与沉积物粒度参数也有较大关系, 随着粒径 ( $\phi$ ) 和分选系数增大而升高, 沉积物粒度正偏有利于有机质积聚; 有机质随沉积动力减弱而聚集, 以平均粒径衡量的话, 呈现指数增长规律; 在不同的沉积环境有机质序列有指数、线性、对数递增关系, 表明不同的积累阶段; 随着沉积物粒级变细, 在 3~6 $\phi$  粒级段出现有机质吸附积累拐点, 而且有机质与粘土有共聚性; 在研究区西北部监测站位的有机质具有明显的年际变化, 观测期间总体增幅  $>0$ 。【结论】虽然根据沉积物质量评价标准表层有机质尚未超标, 但结合本底值计算得出的积累系数显示水下平原西北部、西南部、南部位置均出现富集, 对应着不同的来源和影响程度, 是陆源输入在水动力分配下聚集的结果。

**关键词:** 水下平原 沉积物 有机质 分布 积累

中图分类号: P736.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2014)02-0112-08

**Abstract:**【Objective】The distribution and accumulation of organic matters in surficial sediment in submarine plain along Guangxi coast was analyzed in order to understand transport and current state of organic matter.【Methods】Based on surficial sediments, boreholes samples and laboratory data in study area of submarine plain in Guangxi coastal ocean, the distribution, relation and accumulation of organic matter were analyzed.【Results】The results showed that organic matter was from 0.02% to 1.51%. Three types of dynamic sedimentary environments in study area with significant difference in the concentration of organic matter

showed the high selectivity of organic matters to environment. There were relation between organic matters and sediment grain parameters. Organic matters showed exponential growth when sedimentary dynamics weakens. Fitness to organic matters concentration alignment demonstrated there were exponential, linear and logarithm trends in different dynamic sedimentary

收稿日期: 2013-06-15

修回日期: 2013-07-10

作者简介: 黄向青(1964-), 女, 高级工程师, 主要从事海洋地质环境研究。

\* 中国地质调查局“我国重点海岸带滨海环境地质调查与评价”项目(1212010611403)资助。

environments. The accumulation or adsorbed/desorbed transition points in grain size series is  $3\phi\sim 6\phi$  and also showed linear relationship with clay grain sizes. The monitoring stations in northwestern part of study area showed significant annual variation and positive growth.

**【Conclusion】**Although the sediment quality of organic matters is the range of national marine sediment standards. The accumulation is relatively significant in some parts of study area compared with the background value.

**Key words:** submarine plain, sediment, organic matters, distribution, accumulation

广西沿海属于亚热带海洋季风气候,植被茂密,光热条件良好,海湾形态狭长,岸线曲折,湾内流速较强,砂广泛分布。**【研究意义】**在湾外向海方向逐渐发育的水下平原,以北沿岸自西向东有北仑河口、防城港、钦州湾、大风江和南流江三角洲、中部浪控顺直海岸和东部铁山港,水域宽阔,陆源物质丰富,沉积动力条件不一,等深线大体与岸线平行,自北向南缓慢加深,在水深较深处,沉积环境较为稳定,多有细颗粒物在该处沉落,是北部湾浅海一种重要的水下地貌类型,也为广西海岸与北部湾陆架浅海物质交换的过渡地带。**【前人研究进展】**有机质作为主要的海洋沉积物地球化学成分和碳链大分子,来源于生物化学过程和人类排放,对金属元素具有很强的络合作用,具有重要的化学性质和碳循环意义,也是我国环境监测和海洋沉积物质量的重要指标之一<sup>[1~8]</sup>。**【本研究切入点】**由于条件的限制,前人对广西海域有机质及其相关物质的研究多集中在湾汊、岸滩和养殖区,但鉴于近来向海排污量居高不下,海洋污染有扩大趋势<sup>[9~15]</sup>,有必要加强近岸有机质分布、关系和积累方面的调查研究,了解海湾、河口物质进一步向浅海的扩散和积累趋势。**【拟解决的关键问题】**广西近岸水下平原表层沉积物有机质的分布、联系以及积累现状。

## 1 数据来源和测试方法

研究区位于 20m 以浅广西近岸水下平原,西以钦州湾湾口水下斜坡为界,东至铁山港口外古滨海平原,最小水深 4m,水域面积近 2000km<sup>2</sup>。研究资料来源于中国地质调查局“我国重点海岸带滨海环境地质调查与评价”项目,按照 1:100000 比例尺进行站位布设,站位间距 4km,表层沉积物样品采集时间为 2007 年至 2010 年 4~6 月时段,自西向东逐年完成,表层沉积物采用箱式采样器,岩芯取样为钻机,采集和储放过程执行

有关标准和规范,并对样品进行分样、编录并及时送回实验室进行分析测试<sup>[16]</sup>。有机质测试标准采用 GB17378.5-18-2007,仪器为电感耦合等离

子体发射光谱仪 ICP4300DV(SYC002),沉积物粒度测试标准为 GB/T 12763.8-2007,采用沉降法。测试单位均为广州海洋地质调查局实验测试所。以下为对沉积物有机质以及相关测试结果综合整理、分析、归纳的结果。

## 2 研究区有机质来源

从研究区沉积物组分与分布、微量元素构成以及矿物组合来看,研究区物源以陆源为主,来自河流输入和北海组/湛江组地层侵蚀<sup>[16~17]</sup>,不同区段的物源及动力环境影响各有侧重,为便于分析对比,根据海岸类型和物质来源,进一步划分有西部河流三角洲水下平原、中部夷平—堆积海岸水下平原和东部湾处水下平原,前者以河流输入扩散为主,中者为浪控海岸,以波浪侵蚀为主,后者主要接受铁山港、安铺港等海湾输出和雷州半岛西岸来水来沙影响。

对位于该区西北部三娘湾的近岸的钻孔 ZK4 和位于北海半岛西南近岸的 ZK5 的数据分析来看<sup>[17]</sup>,有机质与 Sr/Ba 比值有一定的负相关性,而与河流输入物质相关性比较好,说明在三角洲水下平原,海洋不是该区有机质的主要来源,而是以径流输入为主,沿岸广泛分布的浅滩再次悬浮扩散也有贡献。但是,位于夷平—堆积海岸水下平原的 ZK6, ZK7 的有机质与 Sr/Ba 比值又有一定正相关性,说明在陆源有机质来源有限的海岸侵蚀地区,海洋贡献起着一定作用。有机质与埋藏硅藻壳体丰度均有一定的对应关系,较高的硅藻丰度对应于较高的有机质,但硅藻丰度为很低或接近 0 时,有机质并不为 0,说明还有其它生物来源,包括其它生化过程产物或者生物降解碎屑。

海水生化需氧量 BOD, COD 表征了水体有机污染程度的高低,与有机质或者总有机碳关系密切<sup>[18~20]</sup>。广西近岸溶解氧 DO 含量多在 6~7mg/L 之间, BOD, COD 含量较高,尤其是 BOD, 最高接近 4.0mg/L, 占 DO 平均比例最高达 0.44, COD 占 DO 平均比值为 0.24, 且变化较大, 变异系数分别是 0.32~0.37 和 0.34~0.39, 含量频率分布略呈偏态

分布,峰型平坦(图1),显示出水体有机污染广泛,且局部较为严重的特征。以上表明,该区有机质来源多样,人类排污不可忽视,形成海底沉积物有机质来源的物质基础。

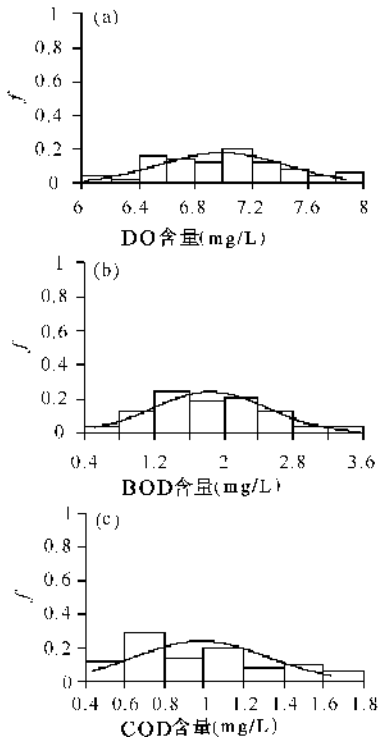


图1 广西近岸 DO(a), BOD(b)和 COD(c)含量频率( $f$ )分布图

### 3 表层沉积物有机质分布

#### 3.1 统计分布

由于河流来沙在口外堆积形成拦门沙,或者波浪对海岸的淘蚀,水下平原北端多有砂沉积物分布,向南沉积物颗粒变细,主要为粘土质砂。有机质总体含量为0.02%~1.51%,平均值为0.65%。从频率 $f$ 分布来看,有机质含量在水下平原总体上以0.2%~0.4%含量频率最高,0.4%~0.6%次之,从分区分布来看,位于三角洲水下平原也同样如此,夷平—堆积海岸水下平原以0.2%~0.4%频率最高,0~0.2%和0.4%~0.6%次之,1.2%~1.4%频率最低(图2)。由于研究区砂沉积物广泛分布,颗粒偏粗,北部河流、波浪动力较强,有机质聚集并不均匀且难以全面聚集,该区有机质含量总体并不算高,分布形态均为左偏或者略有左偏。

#### 3.2 平面分布

研究区表层沉积物有机质等值线为0.30%~1.50%(图3),由于物质来源为松散北海组/湛江组母岩,有机质较为贫乏,夷平—堆积海岸水下平原以

北为有机质低值区,而3个高值区之中,有2个位于三角洲水下平原的西北部以及东南部,表明径流输入和沿岸排污导致有机质含量偏高,另一个高值区位于夷平—堆积海岸水下平原南部,与北部高入射波能之处形成明显差异,梯度也较大,是因为该处位于波浪扰动后部回缓区,水动力明显减弱,水深较深,在潮流分配下,水下平原东、西部的物质在此堆积。还值得关注的是,在水下平原东部中段,0.90%等值线以舌状向东北方向凸出,为一次高值区,形态与铁山港至雷州半岛之间中央水域潮成冲刷浅槽走势形态吻合,表明接纳了东北部各海湾和雷州半岛西岸的输出物质。作为一个整体的水下平原沉积物的有机质分布存在如此差异,说明沿岸物源和水动力条件有很大影响。

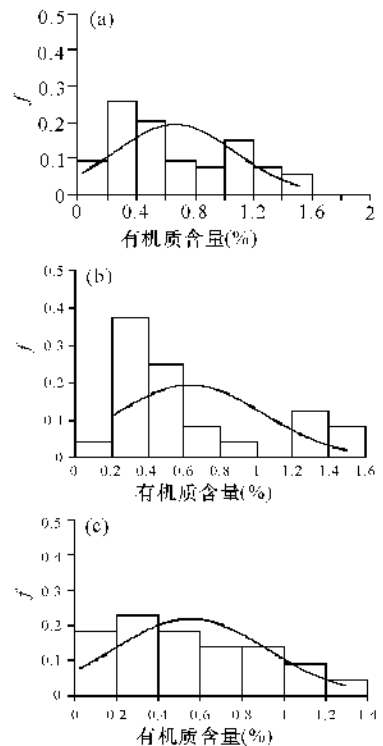


图2 研究区海底表层沉积物有机质含量频率 $f$ 分布 a. 总体分布; b. 三角洲水下平原; c. 夷平—堆积海岸水下平原。

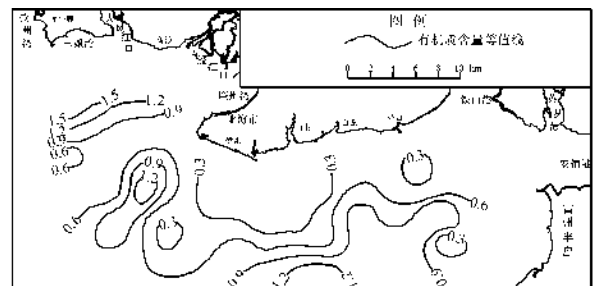


图3 研究区海底表层沉积物有机质含量平面分布(%)

### 3.3 在沉积物中的分布

沉积物颗粒粗细是水动力强弱的反映。从有机质在该区表层沉积物五种基本类型之中的分布来看,含量呈现随沉积物变细而呈递增趋势,斜率 $>0$ ,含量范围为 $0.30\% \sim 1.40\%$ (图4),进一步对沉积物类型进行细化,由粗到细共分出砾石质粗砂~粗粉砂质细粘土10种类型,有机质含量在 $0.29\% \sim 1.28\%$ 之间,同样呈现上升趋势。

### 3.4 在沉积环境中分布

#### 3.4.1 动力沉积环境划分

根据Flemming动力沉积环境三角分类法,可将研究区分为3大类沉积环境(图5),再结合岸线类型和动力因素进行亚类划分,最后得到I-1, I-2, II, III-1, III-2共5种类型:

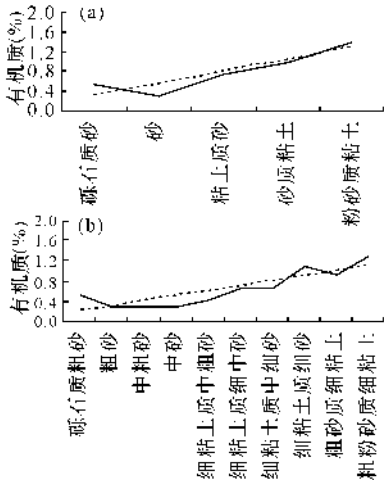


图4 研究区表层沉积物中有机质含量和变化趋势拟合

(a)基本分类.  $y = 0.2421x + 0.0643, R^2 = 0.8169$ .

(b)细化分类.  $y = 0.1001x + 0.0982, R^2 = 0.7393$ .

I类:砂含量极高,最高接近100%,都超过90%,一般为强水动力环境。分为2个亚类, I-1位于夷平—顺直海岸水下平原北部,波浪作用明显,分选好~一般,颗粒圆磨度高,砂含量 $90.63\% \sim 100\%$ ,并以舌状向西南突出,平均粒径 $0.25 \sim 0.85\phi$ ,分选系数 $0.65 \sim 0.93\phi$ ,为好~中等,略有左偏或者右偏。 I-2位于三角洲水下平原偏南位置,受到河流和潮流共同影响,为全新世海侵古滨海平原遗留砂体,受到现代水动力的改造。砂含量 $91.24\% \sim 98.15\%$ ,含微量粉砂,基本无粘土,平均粒径 $0.31 \sim 0.83\phi$ ,分选系数 $0.72 \sim 1.00\phi$ ,为较好~一般,左偏到接近正态,峰态 $0.90 \sim 1.04$ 。

II类,较高砂/低粉砂/低粘土,为强动力环境向弱动力环境的过渡地带,波浪扰动减弱,水深加深,砂含量有所降低,为 $70.10\% \sim 89.44\%$ ,粉砂与粘

土出现,但均不超过20%,平均粒径 $0.03 \sim 4.00\phi$ ,变化较大,分选一般~较差,右偏多有出现,峰态 $0.90 \sim 3.88$ 。

III类,低砂/高粉砂/高粘土。在潮流输运下细颗粒逐步积累,砂含量明显降低。 III-1型位于研究区南部,水深最深,水域开阔,为潮流所控制,粉砂 $6.91\% \sim 38.86\%$ ,粘土 $11.99\% \sim 47.45\%$ ,平均粒径 $1.65 \sim 7.88\phi$ ,分选差~很差,峰态 $0.63 \sim 2.76$ 。 III-2位于水下三角洲水下平原西北部和东部,前缘离河口较近,接受了来自大风江、南流江悬移质输入,细颗粒相对丰富一些,河流动力影响较为明显。砂 $20.68\% \sim 69.91\%$ ,粉砂 $5.81\% \sim 36.91\%$ ,粘土 $16.14\% \sim 42.40\%$ ,平均粒径 $2.08 \sim 7.55\phi$ ,分选差~很差,均为右偏,峰态 $0.85 \sim 4.07$ 。

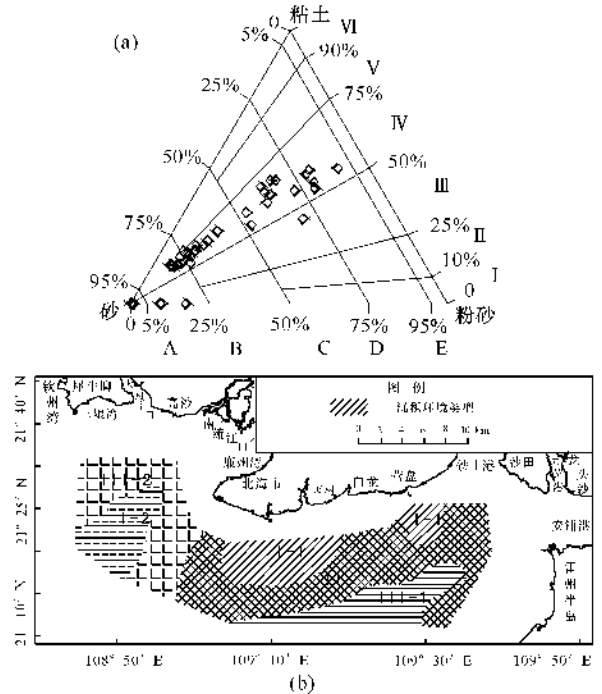


图5 研究区动力沉积环境分类

(a)动力沉积环境分类三角图;(b)动力沉积环境分类平面图。

有机质分布对动力沉积环境比较敏感性,具有较强的选择性。不同类型沉积环境,含量差异较大。 I-1, I-2, II, III-1和III-1平均值依次为 $0.13\%, 0.32\%, 0.38\%, 0.97\%, 0.91\%$ ,显示水动力作用越强或者颗粒越粗,其含量越低,且偏态越左偏,随着动力减弱,颗粒变细,含量增高,以上结果均说明有机质分布与细颗粒分布有对应性,前人的研究结果也表明了这一点<sup>[21]</sup>,此时,偏态减小或右偏,但由于分布不均,变异性增大。 II型作为过渡区,含量中间偏低(表1)。

3.4.2 对动力沉积环境的响应性

由上可见,有机质随沉积环境变化并非线性等值增长,其在 I, II, III 三类沉积环境总体平均值依次为 0.20%, 0.38%, 0.94%, 增长曲线很好地遵循指数规律  $y_{org} = 0.0883e^{0.7738x}$ ,  $R^2$  为 0.9904。再以平均粒径  $M_z$  衡量沉积环境的强弱,平均颗粒分配同样遵循指数函数  $y_{M_z} = 0.1499e^{1.2238x}$ ,  $R^2$  为 0.9993。考虑到三角洲水下平原的古滨海残留砂体为全新世海进时段遗留,为现代水动力所改造,故以夷平-堆积水下平原动力沉积环境为例,以  $(\delta_{org}/org)/(\delta M_z/M_z)$  来衡量响应率,  $\delta$  为变化量,  $org$  为有机质含量,  $M_z$  为平均粒径,得到有机质随该沉积环境 I-1 → II → III-1 变化的响应率接近常数,约为 0.14。

表 1 研究区表层沉积物有机质含量动力沉积环境分布

项目	I-1	I-2	II	III-1	III-2
最低(%)	0.02	0.30	0.13	0.51	0.48
最高(%)	0.29	0.44	0.64	1.29	1.45
平均(%)	0.13	0.32	0.38	0.97	0.91
偏态	1.11	0.87	-0.03	-0.75	0.39
峰态	0.28	-0.36	-0.88	0.49	-1.71
变异系数	0.08	0.05	0.16	0.24	0.41

3.4.3 在动力沉积环境中的积累曲线

在各型动力沉积环境之中,自低到高有机质含量序列的变化趋向有所不同,按照趋势拟合参数  $R^2$  最高的拟合原则,在 I-1 型环境之中,遵循指数增加关系,在过渡性环境 II 型之中,遵循线性递增关系,而在 III-1 型之中,遵循对数递增关系,3 种不同性质的曲线代表了有机质积累的不同阶段和程度(图 6)。指数具有下凹性和最大不均匀性,处于积累的初级阶段,线性关系具有一定均匀性,处于中间阶段,积累速度介于前后两者之间,对数曲线具有上凸性,表示随着细颗粒的增加,沉积环境变稳,有机质稳步积累,但速度趋缓,表明有机质积累进入较稳定阶段。

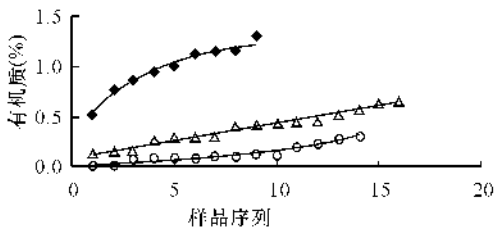


图 6 研究区动力沉积环境有机质含量序列拟合曲线

◆: 对数(III-1)。  $y = 0.3241\ln(x) + 0.5101, R^2 = 0.971$ 。  
 △: 线性(II)。  $y = 0.0339x + 0.087, R^2 = 0.9763$ 。  
 ○: 指数(I-1)。  $y = 0.026e^{0.1798x}, R^2 = 0.8704$ 。

3.5 有机质与沉积物粒度的关系

3.5.1 与粒度参数的关系

以上分析表明有机质含量分布与沉积物关系密切,现进一步分析有机质与沉积物粒度的关系。可见,随着环境的变化,例如 I 型 → III 型,随着颗粒的变细,平均粒径和分选系数的增大,有机质也呈现升高的趋势,有机质积累亲细颗粒的特征,与前面的结果是一致的,但跟平均粒径  $M_z$  的对应关系更好,对分选系数的响应有一定滞后性(图 7a);在峰态和偏态方面,由于坦峰且均匀一些分布颗粒分布有利于有机质积累,故有机质含量随着峰态数值的变小,即峰态变坦而含量升高,负偏(左偏)不利于有机质积累,正偏(右偏)代表了有趋细走向,则有利于有机质积累(图 7b)。

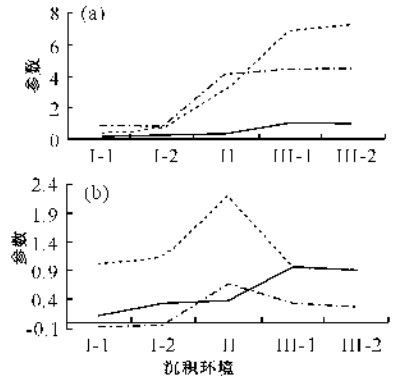


图 7 研究区表层沉积物有机质与粒度参数随动力沉积环境变化图

(a)有机质与平均粒径和分选系数,(b)有机质与偏态和峰态。

(a)——:有机质(%);.....:平均粒径( $\phi$ );- · - · - :分选系数( $\phi$ );(b)——:有机质(%);.....:峰态;- · - · - :偏态。

3.5.2 有机质与沉积物粒级的关系

鉴于有机质与沉积物颗粒两者意义的不同,以  $x$  表示含量,  $x'$  表示平均值,则按照  $x/x'$  分区处理出来的数据具有无量纲性与较好的可比性(平均值均为 1)。以粒级为自变量,有机质为因变量,采用线性最小二乘法对两者关系拟合的结果显示,随着粒级由粗变细,斜率  $k$  由负到正,再次显示出有机质的亲细颗粒特征(图 8); I-1 型、II 型显示拐点在  $5 \sim 6\phi$  处, III-1, III-2 型拐点在  $3 \sim 4\phi$  处,显示随着水动力的变缓,有机质可在更粗一点的颗粒开始积累,与上述有机质含量该类沉积环境中明显升高相对应。

有机质与粘土粒级线性趋势关系总体最好,同样方法的拟合结果显示, II 型环境  $k$  为  $0.3563 \sim 0.5365$ ,以  $10\phi$  最高,表明有机质对其最为敏感。

III-1型为 0.3048~0.4915, III-2 型为 0.8084~1.8445,均是对 F 粒级响应性即斜率  $k$  最高,响应均以波动方式进行,  $R^2$  在 0.3528~0.8220 之间。表明有机质与粘土有共聚性,这与现有研究结果相符<sup>[22,23]</sup>。

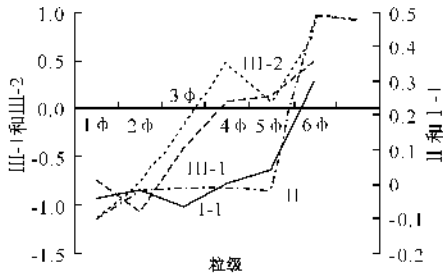


图8 研究区表层沉积物有机质在不同沉积环境中对粒级响应分布

### 3.6 有机质的时间变化

2006~2009年的4~5月份同一时段,对水下平原西北部五个站位 JX1~JX5 表层沉积物有机质进行了取样测试,分析可见有机质含量具有明显的时间变化,但又具有变化形态较为一致的特点,沿程变化曲线呈现上凸型,由于位于中间的 JX3~JX4 站是大风江和钦州湾东口输出物质的汇聚点,其有机质含量常为最高(图9)。从年际变化幅度来看,2007年呈现递增,平均增幅为 6.95%,增幅曲线几乎在  $x$  轴上方,2008年递减,曲线位于  $x$  轴下方,平均增幅为 -15.01%,2009年又波动式增加,平均增幅为 19.67%,可见,在河流影响下,有机质总体上为增加。

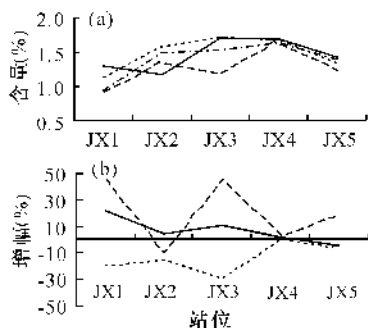


图9 研究区基线海底表层沉积物有机质年际变化

(a)含量;(b)增幅。

(a) —·—·: 2006, .....: 2007, - - - -: 2008, ———: 2009; (b) ———: 2007, .....: 2008, - - - -: 2009。

## 4 表层沉积物质量和积累

### 4.1 表层沉积物质量

根据沉积物质量评价标准,以  $org$  为有机质实测含量,  $org'$  为有机质一类沉积物评价标准(2.0%),可见,有机质质量系数  $org/org'$  平面分布等值线范围为 0.10~0.60,从有机质的角度来看,

该区沉积物质量良好。夷平—顺直海岸水下平原北部最低,但在南部有一高值区,水下平原西北部、西部质量系数也较高,在水下平原东部也有一小范围高值区(图10),分布格局与以上含量等值线相似。

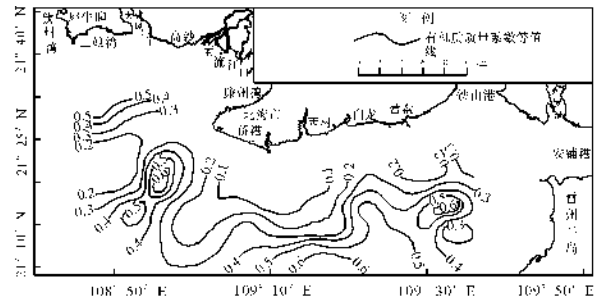


图10 研究区海底表层沉积物有机质质量系数平面分布

### 4.2 有机质积累

#### 4.2.1 垂直积累

位于北海半岛西南近岸的 ZK5 钻孔有机质含量最高,4.0m 以浅最大值接近 3.0%,波动较大,波浪对该水域海岸淘选作用明显,砂粗颗粒物质向海扩散,受其影响,该钻孔浅层有机质呈逐步降低的趋势,ZK6,ZK7 分别位于夷平-堆积海岸水下平原的西部和东部,前者位于粘土质砂沉积物范围的北缘,后者位于粘土质砂沉积物之内,全新世以来受到海水入侵,处于高能扰动环境,有机质含量很低,但随进一步的海进所处位置逐步演变水下平原之后,水深加深,水动力减弱,有利于有机质积累,有机质又呈现上升趋势(图11a)。

钻孔有机质分布为偏态分布,取几何平均值得到其背景值为  $0.82\% \pm 0.21\%$ ,将  $org/org'$  称为积累系数,  $org$  意义同上,  $org'$  取为背景值。结果显示,ZK5 富集系数为 1.16~2.65,以波动方式降低,但仍然高于 1,表明仍然处于富集阶段,但富集程度不比历史时期。ZK6,ZK7 接近表层时呈现增高趋势,显示在逐渐富集,积累系数接近 1。表明有机质的富集趋势随环境演进而改变(图11b)。

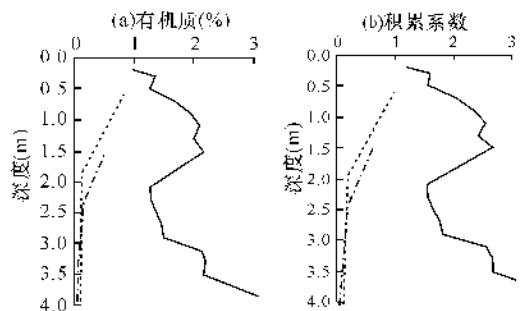


图11 研究区钻孔沉积物有机质含量与积累系数垂直变化

——: ZK5, .....: ZK6, - · - ·: ZK7。

#### 4.2.2 水平积累

依据同样本底值计算得到表层沉积物有机质富集系数在 0.02~1.84 之间,西部 0.02~1.84,平均 0.76,东部 0.02~1.79,平均 0.78,表层沉积物富集区域主要分布在水下平原南部和西部(图 12),即分布在过渡型 II 型以及 III 型动力沉积环境之处,是径流输入和海岸侵蚀细颗粒物质向海方向的聚落之处,也就是陆源输入和水体有机质在水动力分配下的聚集结果。

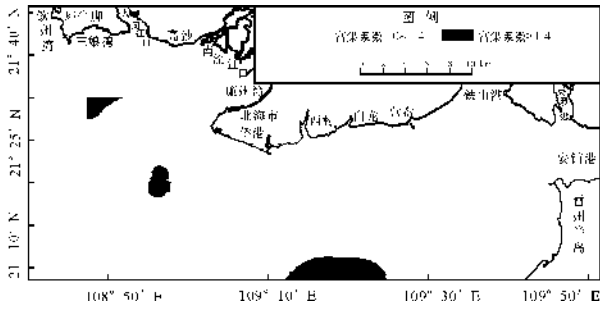


图 12 研究区海底表层沉积物有机质积累系数平面分布

## 5 结论

(1) 研究区表层沉积物有机质为 0.02%~1.51%,随沉积物变细含量逐步升高,分布与动力沉积环境关系密切,划分出 3 大类型的沉积环境中有机质含量差异明显,表明有机质聚集的选择性较强。在夷平—堆积海岸水下平原,不同环境有机质序列依次遵循指数、线性、对数递增关系。

(2) 有机质随着粒径和分选系数增大而升高,沉积物粒度右偏有利于有机质积聚。有机质与粒级存在线性关系,表现为随着粒级由粗变细,出现有机质聚散拐点;有机质与粘土粒级存在较好线性关系,对 10 $\phi$  或者 F 粒级响应最高。

(3) 有机质含量具有年际波动,基线观测期间增加幅度比减少幅度要大。

(4) 从有机质方面评价,该区表层沉积物质量好,但积累系数分析显示,位于水下平原南部的钻孔浅层呈现增加趋势。表层沉积物富集系数在 0.02~1.84 之间,西部 0.02~1.84,平均 0.76,东部 0.02~1.79,平均 0.78,富集区域分布主要在研究区西北部、西南部,前者为大风江与钦州湾输入物质汇集落淤之处,后者为南流江和廉州湾物质与外交换通道,在研究区南部位出现最大范围富集区,是承接了来自海岸侵蚀、周边水域在此汇聚的结果。

#### 参考文献:

[1] 吕荣辉. 厦门港海域重金属污染状况研究[J]. 海洋环

境科学,1986,5(2):27-33.

- [2] 乐忠奎. 浙江北部近海沉积物中重金属金属与有机质的关系[J]. 东海海洋,1987,5(3):65-70.
- [3] 张正斌,陈镇东,刘莲生,等. 海洋化学原理和应用——中国近海的海洋化学[M]. 北京:海洋出版社,1999:119-127.
- [4] 瑞恩 P·施瓦茨巴赫,菲利普 M·施格文,迪特尔 M·英博登. 环境有机化学[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [5] 罗冬莲,阮金山,许翠娅,等. 福建主要贝类养殖区表层沉积物重金属和有机质的含量及其相关性[J]. 海洋环境科学,2004,23(1):33-36.
- [6] 陈则实,王文海,吴桑云,等. 中国海湾引论[M]. 北京:海洋出版社,2007.
- [7] 刘秀娟,俞志明,宋秀贤,等. 长江口海域悬浮颗粒有机物的稳定氮同位素分布及其生物地球化学意义[J]. 海洋科学,2010,34(1):11-17.
- [8] 刘华丽,曹秀云,宋春雷,等. 有机质在水体富营养化过程中的作用及其对有机农业管理的启示意义[J]. 农业环境与发展,2011(5):12-16.
- [9] 韦蔓新,何本茂,赖廷和. 北海半岛近岸水域无机氮的变化特征[J]. 海洋科学,2003,27(9):69-73.
- [10] 赖廷和. 廉州湾海域水化学要素含量的分布特征[J]. 广西科学院学报,2004,20(1):12-16.
- [11] 邱绍芳,赖廷和. 廉州湾近岸的海水理化要素含量的变化特征[J]. 广西科学院学报,2005,21(3):151-154.
- [12] 韦蔓新,何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势——有机污染物(COD)的含量变化[J]. 海洋环境科学,2006,25(4):48-50.
- [13] 辛明,王保栋,孙霞,等. 广西近海营养盐的时空分布特征[J]. 海洋科学,2010,34(9):5-9.
- [14] 龙晓红,蒋清华,邓琰. 广西钦州湾近岸海域“十一·五”期间营养盐变化趋势分析及污染控制重点[J]. 环境科学与管理,2011,36(8):64-68.
- [15] 徐敏,韩保新,龙颖贤. 钦州湾海域氮磷营养盐近 30 年变化规律及其来源分析[J]. 环境工程技术学报,2012,2(3):253-257.
- [16] 广州海洋地质调查局. 北部湾广西近岸海洋地质环境与地质灾害调查成果报告[R]. 广州:广州海洋地质调查局,2007-2011.
- [17] 广西红树林研究中心. 北部湾广西南流江三角洲形成演变研究报告[R]. 北海:广西红树林研究中心,2013.
- [18] 蔡进功,郭志刚,李从先,等. 水体中有机质的类型与有机质沉积作用[J]. 同济大学学报,2005,33(9):1214-1217.
- [19] 李小如. 广州市区河涌水中总有机碳与化学需氧量的

- 相关性研究[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2006, 5(2):14-15.
- [20] 王海燕, 蔡海军. COD 与 TOC 相关性理论研究[J]. 河南城建学院学报, 2011, 20(2):36-40.
- [21] 于培松, 薛斌, 潘建明, 等. 长江口和东海海域沉积物粒径对有机质分布的影响海洋学研究[J]. 海洋学研究, 2011, 29(3):202-208.
- [22] 冯晓萍, 蔡进功. 沉积物的颗粒大小与所含有有机质关系的研究进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(6):141-146.
- [23] 蔡进功, 徐金鲤, 杨守业, 等. 泥质沉积物颗粒分级及其有机质富集的差异性[J]. 高校地质学报, 2006, 12(2):234-241.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第 111 页)

#### 参考文献:

- [1] 韩妹怡. 20 世纪 60 年—21 世纪初北仑河口地形地貌演变与成因分析[D]. 南宁:广西师范学院.
- [2] 广西北仑河口国家级自然保护区管理处, 北仑河口国家级自然保护区总体规划[EB/OL]. [2012-01-10]http://www.china-landscape.net, 2011.
- [3] 雷富, 陈宪云, 张荣灿, 等. 北部湾近岸海域夏季海洋环境质量评价[J]. 广西科学, 2014, 21(1):84-88.
- [4] 赖俊翔, 许铭本, 姜发军, 等. 北仑河口近岸海域生态健康分析与评价[J]. 广西科学, 2014, 21(1):77-83.
- [5] 韩妹怡, 陈波, 邱绍芳, 等. 北仑河口北侧海岸环境演变与水动力学之间的关系[J]. 广西科学, 2009, 16(2):196-199.
- [6] 邱绍芳, 陈波, 何碧娟. 广西沿岸 2 大入海河口区域的环境变化与水流动力影响分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003, 3(3):24-29.
- [7] 徐恒振, 马永安, 于涛, 等. GB17378. 3—2007 海洋监测规范 第 3 部分:样品采集、贮存与运输[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [8] 马永安, 徐恒振, 于涛, 等. GB17378. 4—2007 海洋监测规范 第 4 部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [9] 马永安, 徐恒振, 于涛, 等. GB17378. 5—2007 海洋监测规范 第 5 部分:沉积物分析[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [10] 丁菁. 内梅罗污染指数法在排污口邻近海域水环境质量评价中的应用[J]. 福建水产, 2006(1):1-4.
- [11] 国家海洋局. HY/T086—2005 陆源入海排污口及邻近水域生态环境评价指南[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [12] 黄自强, 张克, 许昆灿, 等. GB3097—1997 海水水质标准[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1997.
- [13] 马德毅, 汤烈风, 王菊, 等. GB18668—2002 海洋沉积物质量[S]. 北京:中国标准出版社, 1997.

(责任编辑:尹 闯)