

锦州湾重矿物在流场中的分异*

刘恒魁 张凤林 郑延英

(国家海洋局海洋环境保护研究所 大连 116023)

提要 依据锦州湾12个站点现场实测海流资料(1991年6月和8月二个航次)和潮流场数值模拟结果,获得了该湾潮流和余流的分布规律。并基于41个站点重矿物鉴定资料,给出了重矿物分布规律和矿物类型分区。结果表明,该湾潮流具有潮驻波特征。总的流动趋势为涨潮时从湾口南岸朝西北方向流入湾内,落潮时朝东南向流出湾外,葫芦岛一大酒篓北侧是锦州湾潮流主要通道和强流区,最大涨、落潮流流速在1kn以上。湾内余流随湾形按逆时针方向流动,湾口北部最强余流可达16cm/s。流场的强弱分布与重矿物的类型分区密切相关,经分析研究得出了重矿物与流场之间的定量分配关系。

关键词 潮流场 重矿物

学科分类号 P736

锦州湾位于辽东湾西北部,地处 $40^{\circ}43' - 40^{\circ}50' N$, $120^{\circ}56' - 121^{\circ}08' E$ 范围之内。平均水深约5m。注入湾内河流主要有五里河、老河等。该湾属于基岩和淤泥质海岸上的一个原生构造湾。自80年代初,科研人员相继对该湾进行了海洋污染调查及其防治对策的研究工作,并为锦州港扩建工程项目做过海域环境影响评价报告¹⁾。由于实测资料站点密度不足,报告中仅能定性地描述流速对重矿物的分布影响。而本文试图将实测资料和潮流数值模拟方法相结合,旨在进一步定量地揭示出流场与重矿物的分布规律,以期对该湾沉积物预测具有较大实用价值。

1 流场分布特征

1.1 潮流

湾内布设4个断面,共12个周日连续测流点(图1)。实测资料分析结果表明,湾内海流以潮流为主,基本上属于正规半日潮流。潮流运动形式明显具有旋转流性质。该湾潮流的高潮时以主港锦州港为准,其主要特征为:低潮时前后,该湾开始发生涨潮流,涨至半潮面附近(高潮前3h左右)流速达到最大,最大涨潮流出现于湾口南侧,流速达1kn以上,此后流速逐渐减弱,高潮时为憩流阶段,流速在0.1kn以下;随后开始转为落潮流阶段,落至半潮面附近(高潮后3h前后),落潮流最强,最大落潮流亦出现于湾口南部,流速亦在1kn以上;随之流速渐减,至下一个低潮时前后为憩流阶段,流速在0.1kn以下。至此,潮流完成了一个潮周期循环。并且平均涨、落潮流速基本相当。上述潮流相应于潮位的变化过

* 国家海洋局自然科学基金资助项目,068号。刘恒魁,男,出生于1953年11月,高级工程师, Fax:0086-0411-4672396

1) 汤烈风、王风华等,1984。锦州湾海域污染及防治途径的研究。国家海洋局环境保护研究所

收稿日期:1996-04-18,收修改稿日期:1997-11-30

程, 显示出该湾潮流具有潮驻波特征。

综上所述, 涨潮时, 呈东北向的辽东湾涨潮流主要从锦州湾南岸大体朝西北方向流入锦州湾; 而落潮时, 海水仍从这一带水域朝东南向流出该湾, 然后汇入西南向辽东湾落潮流。此外潮流皆呈逆时针向旋转。

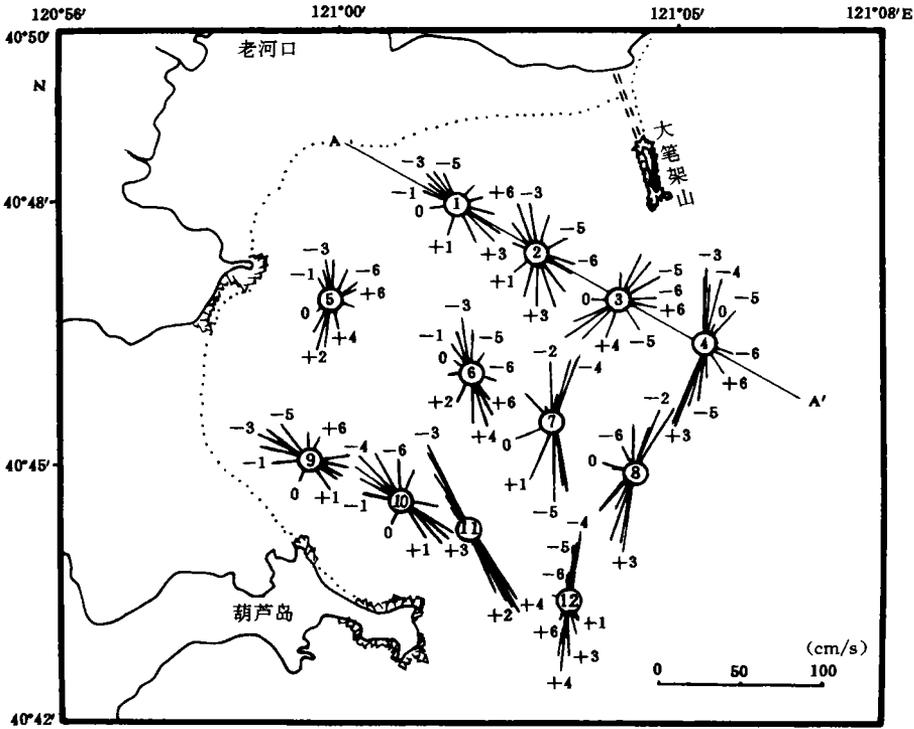


图 1 锦州湾潮流分布

Fig.1 Distribution of tidal current velocity in Jinzhou Bay

+ 高潮后某时潮流; - 高潮前某时潮流; A—A' 表示断面; ①—⑫测流点站号

1.2 余流

锦州湾的余流具有明显的环流特征(图 2)。自湾口北部伸入湾内的余流, 随湾形按逆时针方向流动, 经湾口中部及南部流出。余流量值以湾口较强, 湾内较弱, 而以湾口北部为最强(达 16 cm/s 左右)。

1.3 潮流场数值模拟

锦州湾属于近岸浅海水域, 海水的垂直混合十分充分, 故可用如下的二维化浅水方程来描述海水运动:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{Hc^2} = 0 \tag{2}$$

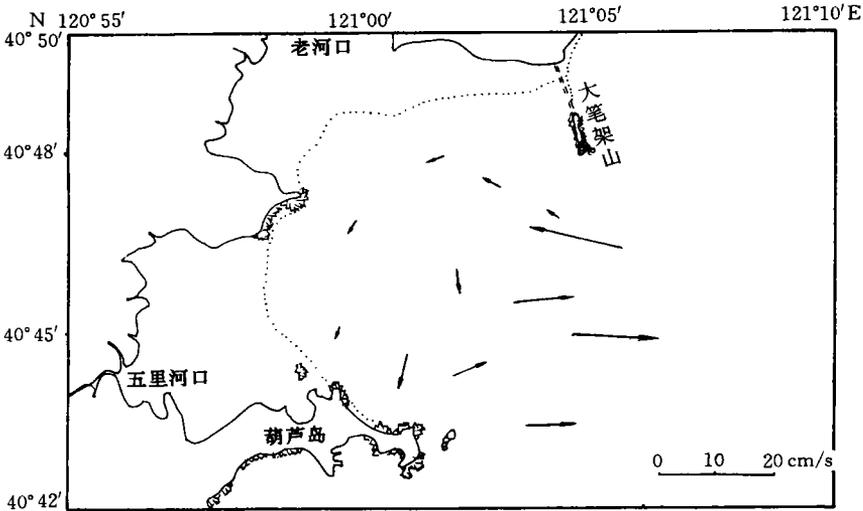


图2 锦州湾余流分布

Fig.2 Distribution of residual current velocity in Jinzhou Bay

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{Hc^2} = 0 \quad (3)$$

式中, $H = \eta + h$, η 为平均海平面以上的水位高度; h 为水深; c 为 Chezy 系数; $c = \frac{1}{H^{1/6} / n}$; n 为 Manning 系数; g 为重力加速度; f 为科氏参数; u, v 分别为深度平均流速在 x, y 方向上的分量。

本计算采用 ADI 法(交替方向隐式法)。计算网格间距 $\Delta x = \Delta y = 500$ m, 时间步长取 $\frac{\Delta t}{2} = 120$ s, 科氏参数 $f = 2\omega \sin 49.5^\circ$ 。对于初始条件取 $t = 0$ 时 $\eta = v = 0$ 。由于该湾湾口开敞, 水深较浅, 海水运动的边界条件非常复杂, 故边界处理是此类数值计算关键技术之一。本文选取海图零米等深线作为陆边线(闭边界), 大笔架山一大酒篓为海边线(开边界)。在闭边界上, 取法向流速为零, $V \cdot n = 0$, 而开边界线外各点流速亦均取为零, $V = 0$ 。为充分考虑湾外流场的影响, 开边界使用水位、流速交替方式控制(刘恒魁, 1996), 即在开边界上交替地使用水位和流速控制, 每半步长交替一次, 仅计算 4 个潮周期即达到收敛结果。

用水位控制时, 在开边界水位控制点上(图 3a), 输入依潮汐调和常数求出的规则波, 其表达式为:

$$\eta_t = H_{M_2} \cos(\omega t - g_{M_2}) \quad (4)$$

式中, H_{M_2} 为 M_2 分潮振幅值; g_{M_2} 为 M_2 分潮迟角。开边界线两端点上的分潮调和常数为已知, 中间的点用内插法求出。计算周期取 $T = 12$ 太阴时。

而当用流速控制时, 开边界各流速控制点上(图 3b), 输入依下列公式计算的潮流值。

$$U_t = U_{M_2} \cos(\omega t - g_{U_{M_2}}) \quad (5)$$

$$V_t = V_{M_2} \cos(\omega t - g_{V_{M_2}}) \tag{6}$$

式中, U_{M_2} , V_{M_2} 分别为 M_2 分潮流东分量和北分量的振幅值; $g_{U_{M_2}}$, $g_{V_{M_2}}$ 分别为对应分潮流东分量和北分量的迟角。已知开边界线上三个控制点的潮流调和常数, 其它控制点由线性内插求得。实际计算中, 当用水位控制时, 假定开边界两侧流速相等, $U_{m+\frac{1}{2}, n} = U_{m+\frac{3}{2}, n}$; 而用流速控制时, 则假定控制点两侧水位相等, $\eta_{m,n} = \eta_{m+1, n}$ 。

计算按如下步骤进行: 在前半时间步长上, 依照公式 (4) 设定开边界控制水位 (图 3a), 按行进行计算。然后, 在后半时间步长上, 依照公式 (5) 和 (6) 设定开边界控制流速 (图 3b), 按列进行计算。结果表明: 对于像锦州湾这样开敞的浅水海湾, 开边界采用水位、流速交替控制的处理方法计算潮流是有很有效的。

从图 4 可以看出, 上述计算流场与实测流分布趋势是一致的, 特别是最大涨、落潮流, 不仅发生地点相同, 而且流速、流向亦非常接近, 并均在半潮面附近涨、落潮流最强, 高低潮附近潮流最弱。如表 1 所示, M_2 分潮椭圆要素的计算值与调和分析值很接近, 二者椭圆长轴之差不超过 $\pm 6\text{cm}$, 其位相差在 13° 之内。由此可见, 潮流随潮汐循环过程和主要分布特征均具有良好的重现性, 因而提高了整个海湾流场的分辨率, 可满足沉积物预测的计算精度。

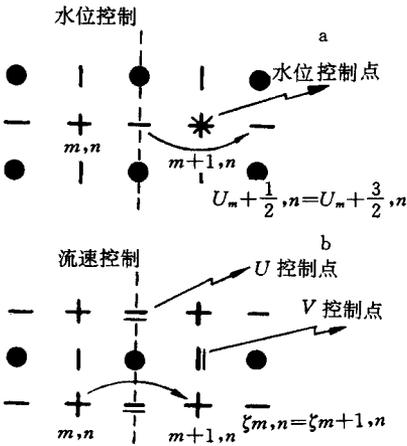


图 3 水位、流速交替控制开边界

Fig.3 Both tidal level and tidal currents velocity alternately control open boundary
a. 水位控制; b. 流速控制

表 1 M_2 分潮流椭圆要素计算值与调和分析结果比较

Tab.1 Comparison between the computed coefficients of M_2 tidal current ellipse and the results of harmonic analysis

站号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
椭圆长轴 差值 (cm)	-6	-1	-4	+1	+5	-2	+4	-3	-1
长轴方向 差值 ($^\circ$)	+10	+9	+3	-5	+12	-11	+10	+13	+6
发生时间 差值 (h)	-0.12	+0.14	+0.08	+0.34	+0.05	-0.11	-0.33	+0.06	+0.05

2 重矿物分布特征

2.1 主要矿物分布特征

在锦州湾环境调查中, 共取 41 个站点表层样。重矿物分析粒级是取 0.125—0.063mm 极细砂样进行重液分离 (重液为 CHB1 / 3, 比重 2.89)。将分离的样品用体视镜和偏光镜相结合进行重矿物鉴定, 矿物定量系采用条带颗粒法, 每个鉴定样品颗粒均达到 400 粒左右, 并统计各种矿物颗粒百分量。该湾主要矿物有角闪石、绿帘石、磁铁矿、钛铁矿等, 常

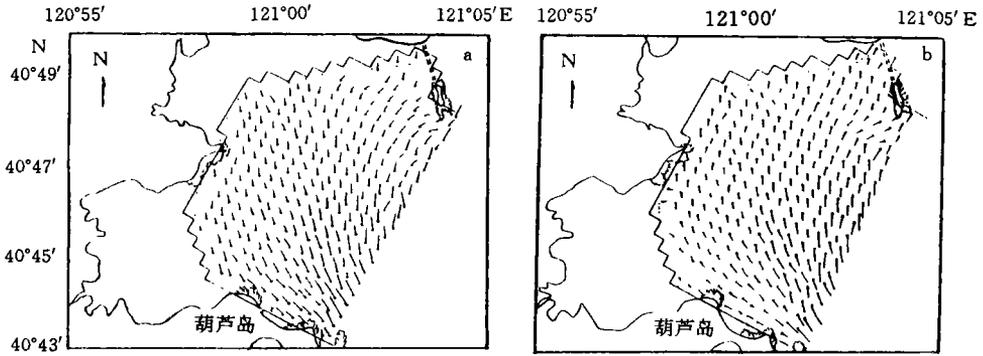


图 4 锦州湾潮流场分布

Fig.4 Distribution of tidal current field in Jinzhou Bay

a. 高潮前 3h; b. 高潮后 3h

见矿物有锆石、榍石、石榴石、电气石、黑云母等，偶见白云母、透闪石。方解石等。

绿帘石：主要分布在该湾北部老河口附近，由老河口向外海呈舌状朝东南方向延伸，其含量递减。最高含量为 54.10%。

角闪石：与绿帘石分布特征相同，亦由老河口向外海含量呈递减分布状态。最高含量为 64.7%

磁铁矿：主要分布在锦州湾湾口外，分布特征如图 5a 所示。从老河口附近磁铁矿含量最低，向湾外海域含量递增。

榍石：以大笔架山以南海域含量最高，可达 4.5%。大笔架山西南至葫芦岛一带海域含量最低。一般锦州湾湾口以外含量高于湾内。

2.2 矿物组合类型分布

根据主要矿物角闪石、绿帘石和稳定矿物磁铁矿、钛铁矿的含量以及特征矿物和锆石

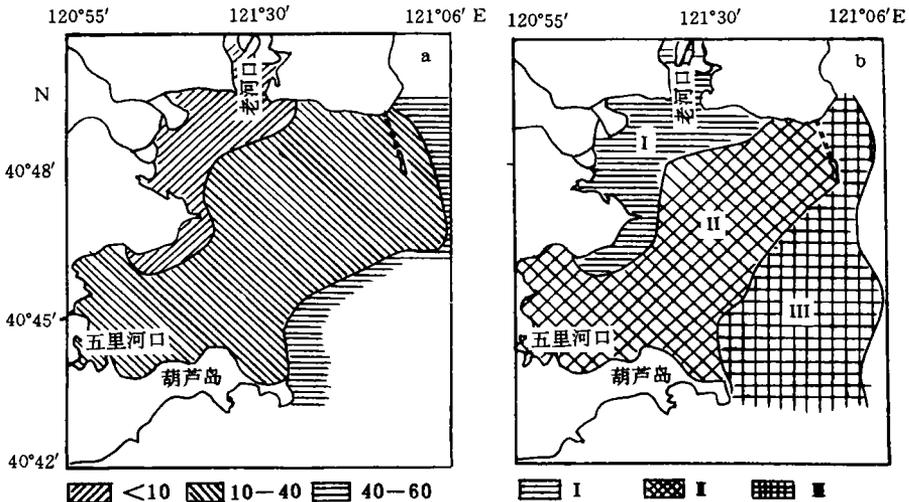


图 5 磁铁矿百分含量 (a) 和重矿物分布 (b)

Fig.5 Percentage contents of magnetite (a) and distribution of heavy minerals (b) in Jinzhou Bay

的分布特征,可将该湾的矿物组合细划分为三个亚类型,矿物成分详见表 2,其分布特征如图 5b 所示。

I 角闪石-绿帘石-钛铁矿亚型: 主要分布在该湾西北部湾顶老河口附近一带。由角闪石 50.5%,绿帘石 30.8%,钛铁矿 5.18% 组成,还有其它常见矿物。上述三种主要矿物最高含量值在该亚型分布区内。

II 磁铁矿-角闪石-绿帘石-锆石亚型: 主要分布在该湾中部五里河口至大笔架山一带。由磁铁矿 36.89%,角闪石 26.80%,绿帘石 26.30%,还有特征矿物锆石 1.42% 组成,其次有常见矿物石榴石、榍石、钛铁矿等。与 I 亚类型相比,角闪石、绿帘石和钛铁矿含量减低较多,锆石则增加,最高含量达 3.80%。

III 磁铁矿-绿帘石-角闪石亚型: 主要分布在大笔架山至葫芦岛以东锦州湾湾口一带。由磁铁矿 41.88%,绿帘石 23.73%,角闪石 24.78% 组成,还有其它常见矿物。与 II 亚类型相比,磁铁矿进一步增加,锆石则减少,角闪石与绿帘石含量变化不大。

表2 来源区和矿物区平均百分含量(%) 对比

Tab.2 Comparison of the main mineral average contents (%) between the source area and the mineral area

来源区及矿物区	老河	角闪石-绿帘石-钛铁矿区	锦州湾外	磁铁矿-角闪石-绿帘石区
角闪石	34.50	50.50	19.79	24.78
绿帘石	39.00	30.80	12.50	23.73
磁铁矿	7.70	8.64	55.00	41.88
钛铁矿	9.70	5.18	3.30	2.00
石榴石	0.20	0.56	3.30	0.93
榍石	4.80	2.08	3.60	2.67
锆石	1.70	0.26	0.84	1.80
总量	97.60	98.00	98.30	97.79

2.3 物质来源

注入该湾的五里河和老河,携带大量陆源碎屑物入海,在河口附近一带海域沉积下来。其次是沿岸基岩风化剥蚀碎屑物。其矿物成分主要有角闪石、绿帘石、钛铁矿、磁铁矿等。相应的矿物区为角闪石、绿帘石、钛铁矿区。另外,湾外物质随海流亦可带入湾内,其矿物成分主要有磁铁矿、角闪石、绿帘石等。相应的矿物区为磁铁矿-角闪石-绿帘石区。尤其磁铁矿的分布特征就明显地反映出这一特点。表 2 中亚型分布区内各种矿物成分的含量特征与其相应的物质来源区的各种矿物成分的含量特征极其相似,反映出各类型分布区的矿物成分与来源区所提供的物质成分关系密切。

3 结果与讨论

3.1 矿物分区与流场关系

由老河、五里河等河流携带泥沙入湾后,在潮流和余流环流共同作用下,导致重矿物产生分异(赵保仁等,1995)。由图 1—3 与图 4 相比较可见,潮流场的强弱分布与重矿物类型分区相当吻合。潮流在海滩地段因动能消耗,流速减弱,故属于弱动力区(流速皆在 15cm / s 之内)。而在低潮线以下,水动力逐渐增强(流速介于 20—30cm / s),矿物的重力分异作用亦增强,则由老河河口区角闪石-绿帘石-钛铁矿亚型过渡为磁铁矿-角闪石-绿帘石-锆石亚型。湾口附近水动力最强(流速介于 35—50cm / s),呈现磁铁矿-绿帘石-角

闪石亚型矿物组合类型分布。

3.2 磁铁矿百分含量与距离和流速的关系

在湾内 A—A' 断面上(位置见图 1),磁铁矿百分含量(W)和流速(V)随着距离(L)均呈幂函数变化规律(图 6),其关系式分别为:

$$W = 0.584L^{1.244} \quad (r = 0.992) \quad (7)$$

$$V = 0.917L^{0.813} \quad (r = 0.998) \quad (8)$$

流速与磁铁矿百分含量亦呈幂函数关系:

$$V = 0.544W^{0.648} \quad (r = 0.994) \quad (9)$$

由此可见,重矿物分布特征受制于物质来源和水动力条件。

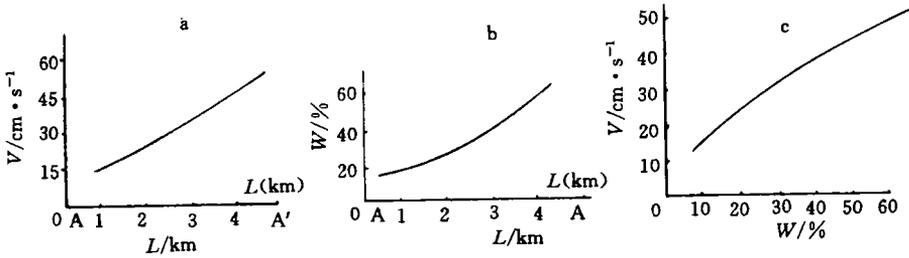


图 6 流速与距离(a)、磁铁矿含量(%)与距离(b)和流速(c)的关系

Fig.6 Relationship of current velocity and distance (a), contents (%) of magnetite and distance (b) and current velocity (c) in Jinzhou Bay

4 结论

概括上述分析可得出如下初步结论。

4.1 该湾潮流具有潮驻波特征。总的流动趋势为涨潮时从湾口南岸朝西北方向流入湾内,落潮时朝东南向流出湾外,葫芦岛—大酒篓北侧是锦州湾潮流主要通道和强流区,最大涨、落潮流流速在 1kn 以上。

4.2 湾内余流随湾形按逆时针方向流动,湾口北部最强余流可达 16cm/s。

4.3 流场的强弱分布与重矿物的类型分区密切相关,重矿物的重力分异作用主要随着流速强弱而异。如磁铁矿百分含量与流速和距离均呈幂函数关系。

致谢 承蒙鲍永恩研究员审阅,谨志谢忱。

参 考 文 献

刘恒魁,1996. 辽东湾顶部海区潮流与悬沙分布规律研究. 海洋学报,18(4):51—59

赵保仁 庄国文 曹德明等,1995. 渤海沉积物分布规律研究. 海洋与湖沼,26(5):466—472

VARIATION OF HEAVY MINERALS IN THE JINZHOU BAY CURRENT FIELD

LIU Heng-kui, ZHANG Feng-lin, ZHENG Yan-ying

(*Institute of Marine Environmental Protection, State Oceanic Administration, Dalian, 116023*)

Abstract In this work, measured current data from 12 surveying stations and mathematical modelling were used to obtain the distribution pattern of the tidal and residual currents in Jinzhou Bay, and data from 41 surveying stations were used to obtain the distribution pattern and divisions of heavy minerals there, the tidal currents were found to have standing wave characteristics. On the whole, the tidal currents along the coast off the south mouth of the bay tended to flow in northwest direction toward the bay during rising tide and to flow out the bay in southeast direction during edding tide. The main passage and region of high velocity tidal currents in Jinzhou Bay were located at the north side of Hulu Island—Dajiulou, where rising and edding velocity of tidal currents were over 1kn. The residual currents flowed with the configuration of the bay in anticlockwise direction. The residual currents peak velocity could reach to 16cm / s at the north mouth of the bay. The heavy minerals division positively correlated with the current field distribution. The magnetite contents (%) and tidal currents velocity were respectively power functions of the distance from the top of the bay toward the mouth of the bay along the section (A—A') in the bay. The correlations are both $W = 0.584L^{1.244}$ ($r = 0.992$) and $V = 0.917L^{0.813}$ ($r = 0.998$). The relationship between the current velocities and magnetite contents(%) also showed the power function correlation, $V = 0.544W^{0.648}$ ($r = 0.994$).

Key words Tidal current field Heavy minerals

Subject classification number P736