

洋山港海域现代沉积物运移趋势

李玉中 陈沈良

华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海, 200062

内容提要 地形、物源和水动力条件是洋山港海域现代沉积环境的主要控制因素, 粉粒和粘粒是现代沉积物的主要组成部分, 潮流是起动和搬运现代沉积物的主要动力, 悬移是现代沉积物最主要的搬运方式, 跃移是次要搬运方式, 现代沉积物的起动和沉积过程交替频繁。研究区现代沉积物长期净运移趋势表明: 研究区东部的黄泽洋向洋山港海域的输沙趋势显著; 洋山港岛链峡道深槽的形成, 系由峡道东部和西部的现代沉积物各向峡道两端分异运移所致; 小洋山—唐脑山一线将是今后港区泥沙淤积的主要部位之一。

关键词 现代沉积物 运移趋势 峡道 崎岖列岛 洋山港

洋山深水港工程是建设上海国际航运中心的核心工程, 洋山港因具有15m以上的天然水深条件且地理位置相对优越, 得以被选定为深水港港址。近年来, 因深水港工程选址和工程方案论证的需要, 洋山港海域已开展了多次水文泥沙观测、潮流数值模拟和定床物理模型试验等, 相关的研究成果较为丰富(戴贤凯等, 1998; 陈沈良2000a, 2000b; 谢文辉等, 2000; 阎新兴, 2000; 杨华等, 2000; 蒋睢耀等, 2000; 徐元, 2001; 陈昕, 2002; 吴明阳等, 2002; 李玉中等, 2002; Li et al., 2002)。

有关洋山港海域现代沉积物的研究, 已有的研究成果也有所涉及。陈沈良(2000a, 2000b)在研究崎岖列岛海区的水文泥沙特征和峡道效应以及近百年冲淤演变趋势时, 初步分析了洋山港海域的泥沙来源和底质沉积物的分布。杨华等(2000)通过水槽试验初步确定了洋山港区底沙的起动流速。李玉中等(2002)发现洋山港海域与长江口存在诸多相似性现象, 认为同存在余流会聚的滞流区现象导致了两区域悬沙、表层沉积和水下地形等相似特征的形成。李玉中等^①指出, 洋山港岛链峡道亦存在余流分异现象, 它对悬沙浓度分布和表层沉积同样产生显著影响, 特别是对岛链峡道深槽的形成起着至关重要的作用。李玉中等^②在应用系统聚类分析划分崎岖列岛海区现代沉积环境时, 认为洋山港海域现代沉积环境和现代沉积物分布主要受物源、地形和水动力条件所控制。

综上所述, 已有的研究对洋山港海域现代沉积物的物源、起动和分布有了初步了解, 但对现代沉积物的搬运方式和运移趋势还较少涉及, 现代沉积物直接参与造床, 对港区海床的冲刷和淤积过程有着重要意义, 本文试图从该角度进行分析, 以期对洋山国际深水港的工程设计和建设提供有益的参考。

本文的研究区域在121°56'50"~122°19'E和30°30'42"~30°42'N之间, 约35×21km²范围。研究区627个海底现代沉积物样品于1996年10月在该海域用蚌式采泥器抓取, 采样入土深度5~10cm。采样站位按1km方格网间距布设, 如遇岛屿则在原布点附近补样(采样点位见图1, 左下角因区域缩略图影响, 有6×4个采样点未能显示出。研究区东部因避开海底光缆, 有一条约2km宽的带状采样空缺区)。沉积物样品的粒度采用TAII型库尔特激光粒度分析仪分析, 同时按筛分法和沉降法进行粒度分析, 粒度分析粒级分别为: >0.25mm、0.25~0.10mm、0.10~0.05mm、0.05~0.02mm、0.02~0.01mm、0.01~0.005mm和<0.005mm(陈沈良, 2000a, 2000b; 李玉中等, 2002和李玉中等^②均采用该粒度分析结果)。粗于4Φ的粒级, 分析间隔为0.5Φ; 细于4Φ的粒级, 分析间隔为1Φ。研究区内所设的12个水文临时测站(站位见后文图5或图6)的海流资料系于1996年10月采用SLC9-2型直读式海流计按六点法实测(表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H和底层), 分大、中、小潮, 每潮连续观测27~28h, 实测时间间隔一般为1

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号40276027)和教育部科学技术研究重点项目(编号01079)资助成果。

收稿日期: 2002-06-12; 改回日期: 2002-12-16; 责任编辑: 周健。

作者简介: 李玉中, 男, 1970年生, 硕士。从事河口海岸动力地貌和动力沉积研究。通讯地址: 200062, 上海市, 华东师范大学河口海岸国家重点实验室; Email: lyzecnu@yahoo.com.cn。

h, 转流前后加密为 0.5 h。悬沙浓度资料系于海流观测同步、同站位、同层次取水样测定。

1 现代沉积环境

洋山港海域现代沉积环境的主要控制因素为地形、物源和动力等 3 类, 三者之间相互作用、相互影响。有关研究区地形、物源和水动力的详细特征可参阅相关文献(陈沈良, 2000a; 谢文辉等, 2000; 李玉中等, 2002; 李玉中等^②), 这里简述之: 洋山港位于杭州湾口、黄泽洋以西、长江口外海滨段南缘的崎岖列岛之上(图 1), 崎岖列岛诸岛屿在平面上呈南、北两列岛链状排列, 两岛链围成的水域具备一定的峡道特征, 称岛链峡道或峡道。岛链峡道的走向和区域潮流的主流向(WNW—ESE 向)基本一致, 故岛链峡道的导流和束流作用显著。特别是岛链峡道西部大致呈向西开敞的喇叭形, 落潮时的束流作用更为显著(李玉中等, 2002)。岛链峡道两侧分布有较多潮汐通道, 它们是峡道和外海进行水沙交换的旁侧通道。洋山港周边海域水深一般均在 7~10m。岛链峡道除西部水深在 8~20m 外, 中部和东部水深均在 30m

以上。洋山港海域的流场主要由潮流控制, 波浪和径流的影响相对较小。潮汐性质属非正规半日潮, 平均潮差 2.79m, 属中潮区; 潮流基本属往复流性质, 涨潮主流向约 290°, 落潮主流向约 110°, 涨潮最大流速 121~255cm/s, 落潮最大流速 222~309cm/s, 涨潮平均历时 5 h 47 min, 落潮平均历时 6 h 40 min(陈沈良, 2000a)。洋山港海域夏季多南向和西南向浪, 平均波高 0.8m; 冬季多北向和西北向浪, 平均波高 1.0m(陈沈良, 2000a)。列岛区内因受大、小洋山等岛屿遮挡的影响, 风浪的强度弱, 周期短, 年平均波高 0.4m(杨华等, 2000)。洋山港海域的细颗粒沉积物主要源自长江入海扩散泥沙, 当地岛屿岩体的风化碎屑物是洋山港海域粗颗粒沉积物的主要物质来源(陈沈良, 2000b)。

2 现代沉积物粒度和类型

现代沉积物粒度分析结果表明, 洋山港海域现代沉积物的粒度均大于 1Φ (即小于 0.5mm), 粉粒和粘粒是现代沉积物的主要组成部分(表 1)。627 个

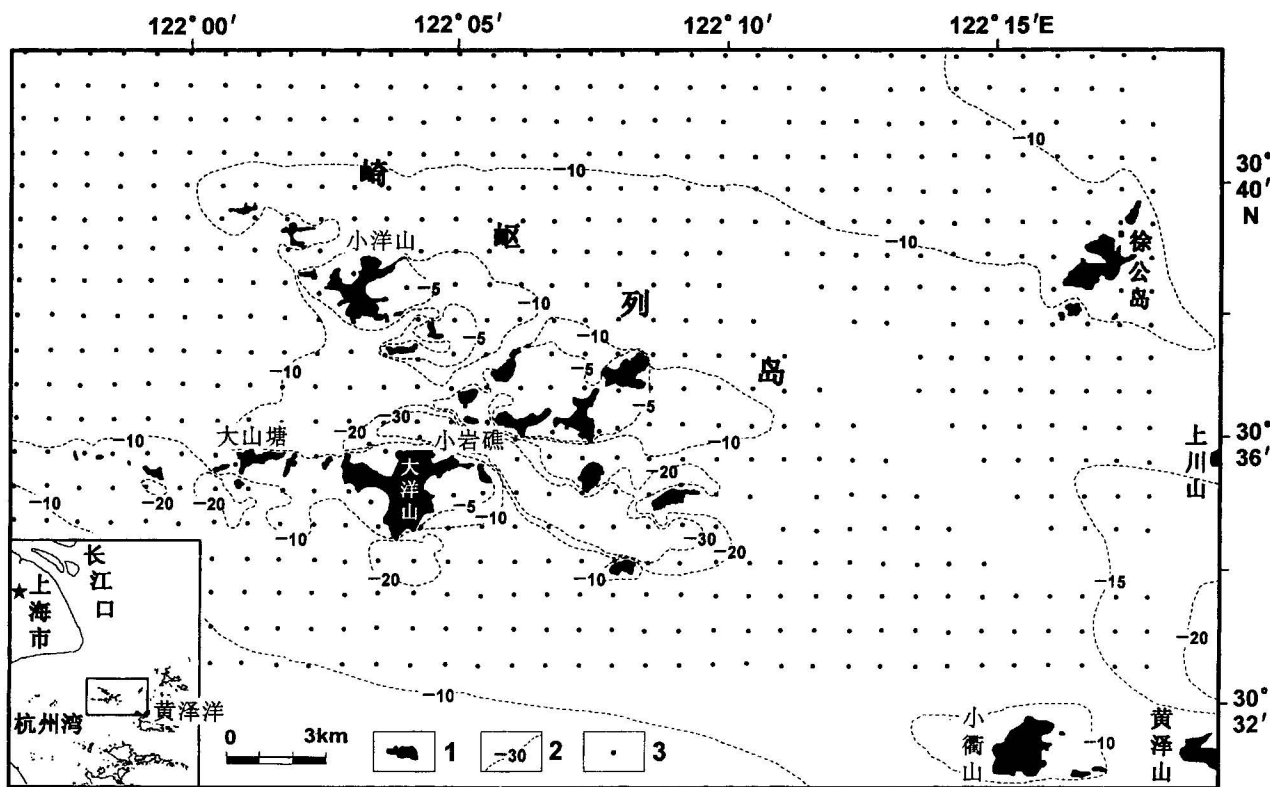


图 1 洋山港海域位置、地形及现代沉积物采样点位图

Fig. 1 Location map of Yangshan Harbor area with isobaths and sampling stations of modern sediments

1—岛屿; 2—等深线(m); 3—现代沉积物采样点

1—Island; 2—Isobath (m); 3—sampling station of modern sediments

表 1 洋山港海域现代沉积物粒度组成(样品数:627)

Table 1 Grain-size composition of modern sediment in Yangshan Harbor area

粒级(Φ)	砂 粒						粉 粒				粘 粒		
	1~1.5	1.5~2	2~2.5	2.5~3	3~3.5	3.5~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	>10
含量(%)	0.01	0.06	1.18	0.44	2.33	7.21	11.37	19.60	15.25	11.69	8.92	8.08	13.86
	11.23						57.91				30.86		

样品的中值粒径在2.3~8.51 Φ 范围之间,平均值为6.4 Φ ;其中91%的样品(即570个)中值粒径细于5.0 Φ 。现代沉积物类型按 Folk(1954)分类方案划分,共有7类:泥、砂质泥、粉砂、砂质粉砂、泥质砂、粉砂质砂和砂(图2)。

3 现代沉积物起动和沉积

泥沙的起动具有确定性和不确定性(即随机性)两重特征,对泥沙起动随机性的认识在理论上还没有得到很好的解决。确定泥沙的起动条件,目前广泛使用的是确定性方法,所得结果仅是一种近似。这里采用杨华等(2000)根据环形水槽试验确定的洋山港区泥沙起动流速(表2),表中港域泥沙、航道底沙和港池底沙的中值粒径分别为0.0088mm、0.0268mm

和0.0297mm(即分别为6.8 Φ 、5.2 Φ 和5.1 Φ)。根据洋山港海域的泥沙起动流速(表2)、底层水流平均流速(表3)和前述现代沉积物的中值粒径综合分析可知,潮流是起动洋山港海域现代沉积物的主要动力,在涨落潮的大部分时间里,海底表层现代沉积物基本处于50%起动至全部起动的状态。

表 2 洋山港泥沙起动流速(cm/s)(据杨华等,2000)

Table 2 Threshold velocity (cm/s) of sediment in Yangshan Harbor area (after Yang et al., 2000)

起动状况	港域泥沙	航道底沙	港池底沙
临界起动	20	20	24
50%起动	36	38	46
全部起动	65	68	73

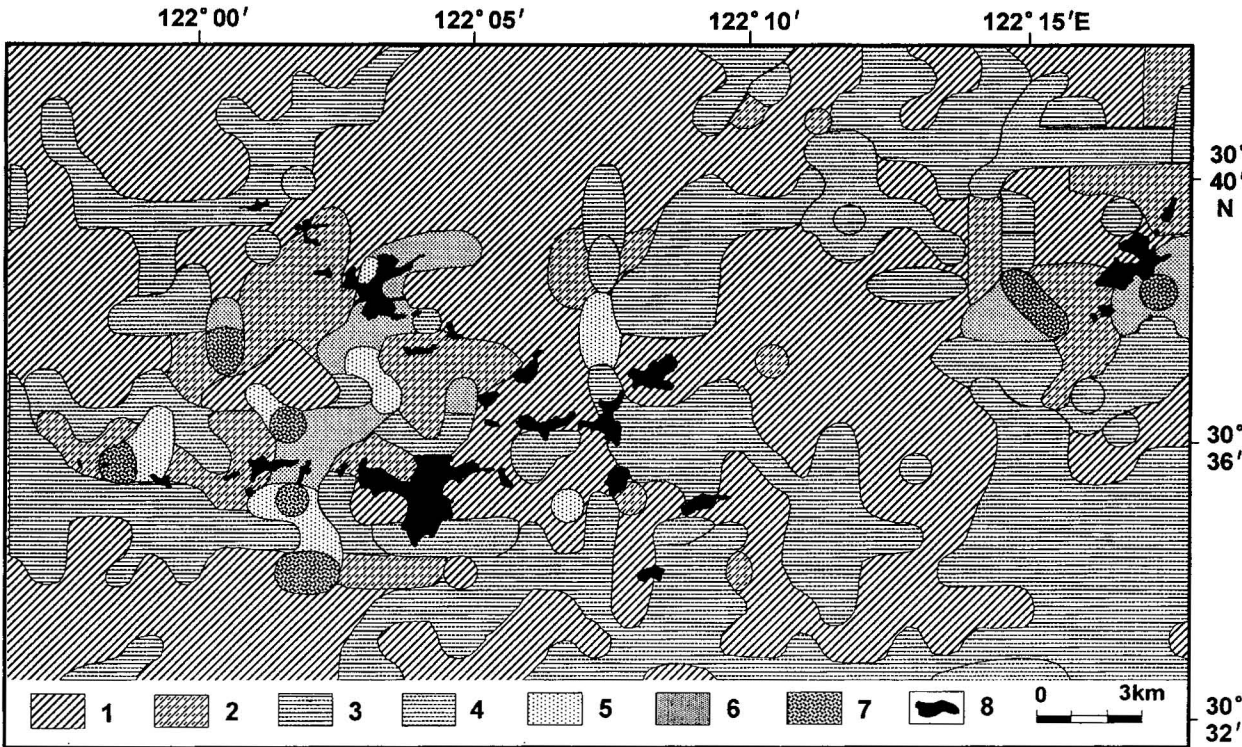


图 2 洋山港海域现代沉积物类型分布图

Fig. 2 Distribution map of modern sediment's types in Yangshan Harbor area

1—泥;2—砂质泥;3—粉砂;4—砂质粉砂;5—泥质砂;6—粉砂质砂;7—砂;8—岛屿

1—Mud; 2—sandy mud; 3—silt; 4—sandy silt; 5—muddy sand; 6—silty sand; 7—sand; 8— island

表 3 洋山港海域底层水流平均流速(cm/s)(据李玉中等,2002)

Table 3 Average velocity (cm/s) of bottom flow in Yangshan Harbor area (after Li et al., 2002)

站 位	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
大潮涨	76.4	70.2	75.5	87.7	74.7	54.9	64.0	84.9	92.5	70.7	109.7	98.4
大潮落	93.3	86.7	87.1	69.9	67.1	66.8	79.5	80.9	78.3	90.7	52.7	62.9
小潮涨	64.1	53.1	78.0	47.6	53.9	50.9	64.7	52.3	48.3	45.2	61.4	49.2
小潮落	60.4	43.5	68.4	48.2	45.7	36.0	38.8	46.1	50.5	49.2	53.2	47.6

注:Q12站数据为本文计算。

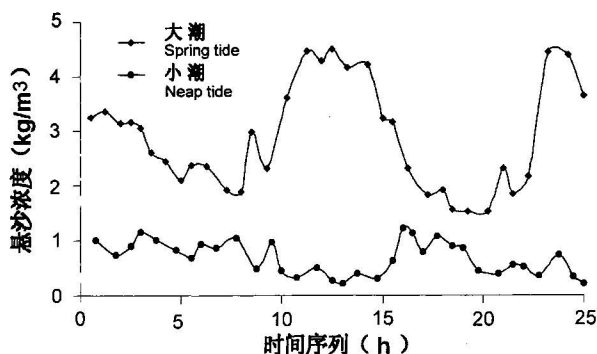


图 3 洋山港海域 Q4 站垂向平均悬沙浓度

Fig. 3 Vertical-average concentration of suspended sediment at Q4 station in Yangshan Harbor area

波浪对海底现代沉积物的作用,可通过波浪引起的海底水质点最大轨道速度计算,根据洋山港海域平均波高、波浪周期及水深数据推算,获得的水质点最大轨道速度远低于底层潮流流速。因此,波浪对研究区现代沉积物的起动作用居于次要地位。

洋山港海域属高悬沙浓度海域,各测站的悬沙浓度在潮周期过程中均呈现周期性变化,以 Q4 站为

例,其垂向平均悬沙浓度变化如图3所示。底沙再悬浮是洋山港海域悬沙浓度变化的根本原因(李玉中等,2002),悬沙浓度变化是研究区海底现代沉积物起动和沉积的间接体现。假定各测站的悬沙浓度变化均由该处现代沉积物的起动悬浮和沉积所引起,根据各测站的悬沙浓度变化范围和水深,可算得各测站在大潮周期或小潮周期内的海床冲刷或淤积厚度(现代沉积物容重取 1.8t/m^3)。大潮时,海床冲刷厚度在 $1.0\sim 5.4\text{cm}$ 之间(平均 2.5cm),小潮时在 $0.4\sim 1.8\text{cm}$ 之间(平均 0.9cm)。据此可知,洋山港海域现代沉积物在潮流作用下,起动和沉积过程交替频繁,由此导致的海床冲刷幅度约在厘米量级范围。

4 现代沉积物搬运方式

沉积物粒度累计频率曲线图是分析沉积物的搬运方式、对比沉积环境的有效方法(赖内克等,1984)。研究区同类型沉积物的粒度累计频率曲线稍有变化,但总体形态基本一致,这里将每一类型沉积物均绘出两种有代表性的粒度累计频率曲线(图4)。

粒度累计频率曲线图显示:洋山港海域现代沉积物主要以悬移和跃移两种方式搬运,推移质组分

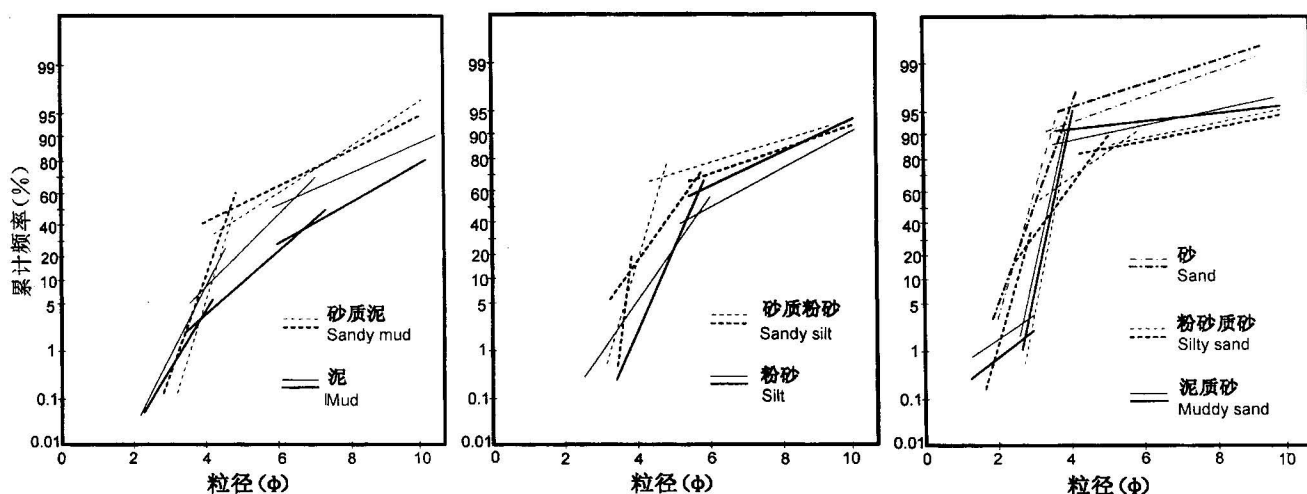


图 4 洋山港海域现代沉积物粒度累计频率曲线图

Fig. 4 Grain-size accumulation frequency curve of modern sediment in Yangshan Harbor area

极少,部分泥质砂样品中见有少量推移质,推移质与跃移质分界的粗截点约在 2.5Φ 。悬移组分在砂、粉砂质砂和泥质砂等粗颗粒沉积物中的含量一般 $<20\%$,但在其他类型沉积物中的含量在 $35\%\sim 60\%$ 以上,是泥、砂质泥和部分粉砂最主要的搬运方式;跃移搬运是砂质沉积物的主要搬运方式,跃移组分含量一般在 $40\%\sim 80\%$ 以上,甚至更高。跃移组分通常以一个总体(即图3中的跃移质仅为一个线段,无跃移质I、II之分)或两个总体的形式出现。根据研究区各类型沉积物分布范围(图2)、沉积物的粒度组成(表1)和沉积物粒度累计频率图中细截点的位置(图4)综合分析,悬移是研究区现代沉积物最主要的搬运方式,跃移是次要搬运方式。

悬移质与跃移质之间的细截点在泥和粉砂等细颗粒沉积物中约为 $5.5\sim 6.5\Phi$,但在砂、粉砂质砂和泥质砂中大致在 $3.5\sim 4.0\Phi$ 之间。杨世伦(1994)对长江口底质沉积物的研究同样发现,随平均粒径变粗,细截点向粒度累计频率曲线图的左下方移动(即细截点也变粗)。产生这种现象的原因是由于研究区以粗颗粒物质为主的沉积物类型通常分布于高能环境,使部分跃移质转化为悬移质。研究区粗颗粒沉积物主要分布于岛屿群附近,岛屿群的存在显著阻挡了潮波的正常传播,使部分潮流的能量消耗在与岛屿及岛屿近岸海床的相互作用上,动力环境增强。

5 现代沉积物运移趋势

5.1 现代沉积物大潮和小潮周期净运移趋势

前人曾尝试用多种方法判别沉积物的运移方向,如矿物成分指示法、沉积物颗粒形态指示法、示

踪法和粒径趋势法等。根据研究区沉积动力环境、沉积物粒度和搬运方式等特征,本文采用底层水流的余流方向和悬沙净输移方向2个方面的依据分析研究区海底现代沉积物在大潮和小潮周期的净运移趋势。

根据前述洋山港海域沉积动力环境分析,潮流是起动和搬运现代沉积物的主要动力。一般而言,潮流的往复性使得床面泥沙在一个潮周期过程中大体上作往复搬运,但由于诸多因素的影响(如地形、径流和密度流等因素),潮流往往具有不对称性,如果底层海流在一个(或多个)潮周期过程中,具有向某一方向的强度优势(即存在向某一方向的余流),那么该方向在一定程度上指示了海底现代沉积物的净运移趋势。另一方面,悬移是研究区现代沉积物的主要搬运方式,因此,悬沙的净运移趋势将被作为判断研究区现代沉积物净运移趋势的另一个依据。

底层余流的计算采用连续2个半日潮周期(约25 h)的底层流速作矢量合成计算(实测时间间隔不等,计算中均乘以时间权数),所得余流(表4)系指实测海流中去除周期性潮流部分后的净海流,其中以地形因素所引起的潮致余流(潮汐不对称)为主要成分。悬沙净输移趋势引自陈沈良(2000a)和谢文辉等(2000)的相关研究成果(表5)。

大潮(或小潮)时的底层余流和悬沙净输移趋势基本接近,仅大潮时的Q10站和小潮时的Q3、Q9、Q10站的结果有所差异,最终结合近底层(系指0.8H层和底层)的悬沙净输移趋势综合确定。现代沉积物净运移方向取底层余流和悬沙净输移方向的合成方向,由此获得的现代沉积物净运移趋势见图5(因大

表4 洋山港海域底层余流流速、流向

Table 4 Bottom residual current velocity with direction in Yangshan Harbor area

站 号		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
大潮	流速(cm/s)	14.5	7.1	7.4	7.3	14.4	18.6	13.5	4.4	9.2	3.8	13.7	29.3
	流向(°)	66	68	71	278	305	136	163	199	265	110	319	287
小潮	流速(cm/s)	12.8	5.7	8.8	1.4	4.8	9.9	27.4	9.5	7.6	5.1	6.8	1.5
	流向(°)	10	313	324	149	346	216	306	341	93	27	320	1

表5 洋山港海域大、小潮周期单宽悬沙净输移量和输移方向(据陈沈良,2000a;谢文辉等,2000)

Table 5 Suspended sediment transport flux of unit width with direction in Yangshan Harbor area

(after Chen, 2000a; Xie et al., 2000)

站 号		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
大潮	输沙量(t/(m·d))	441	586	305	101	803	2367	869	125	241	233	467	803
	方向(°)	60	82	89	208	316	118	137	142	273	239	309	277
小潮	输沙量(t/(m·d))	41	16	91	8	12	821	161	61	47	28	36	25
	方向(°)	20	340	92	163	24	136	274	355	267	140	306	310

潮和小潮时的 Q10 站净输移趋势终难判定, 图中不再绘出), 简述如下:

大潮周期: 洋山港海域岛链峡道西口外的现代沉积物净向北东方向运移, 北岛链外侧净向北西方向运移, 南岛链外侧的西部净向西运移、东部净向南运移。黄泽洋入口处的 Q12 站向洋山港海域的净运移趋势显著。岛链峡道内, 大致以小岩礁—大洋山断面为界, 存在西部净向北西、东部净向南东的分异运移趋势。

小潮周期: 崎岖列岛周边的现代沉积物总体上有呈反时针方向围绕崎岖列岛的净运移趋势。岛链峡道内, 小岩礁—大洋山断面两侧的 Q5 和 Q6 站仍呈反向的分异运移趋势, 但 Q4 和 Q5 以及 Q6 和 Q7 站之间则呈相向的净运移趋势。黄泽洋入口处的 Q12 站向洋山港海域的净运移趋势仍然显著。

5.2 现代沉积物长期净运移趋势探讨

如上所述, 大潮和小潮周期的现代沉积物净运移趋势不完全一致。除大、小潮周期以外, 潮流还存在半月周期、月周期和年周期, 不同周期的现代沉积物净运移趋势尚属未知。对洋山深水港工程来说, 探

讨现代沉积物的长期净运移趋势(年周期以上)具有重要的实际意义。潮流是搬运研究区现代沉积物的主要动力, 如分析潮流的年周期变化, 则至少应有一年中不同季节的实测海流资料, 这是本文资料所欠缺的, 因此, 这里的长期净运移趋势分析只是初步的探讨。现代沉积物长期净运移趋势分析主要依据研究区的地形特征, 并参照前述大、小潮周期净运移趋势综合判定。

依据地形特征判别现代沉积物净运移趋势, 主要依据涨(或落)潮槽的轴向、涨(或落)潮槽等深线闭合端指向以及浅滩、涨(或落)潮三角洲的分布特征判别。地形特征的形成是现代沉积物长期(应在年周期以上)运移结果的最终体现, 因此, 地形特征将作为判别现代沉积物长期净运移趋势的主要依据。根据前述大、小潮周期现代沉积物净运移趋势分析, 尽管大潮和小潮周期的净运移趋势不完全一致, 但悬沙净输移结果表明(表5), 大潮周期的悬沙净输移量通常比小潮大一个量级以上。因此, 对研究区现代沉积物的长期净运移趋势来说, 大潮周期的净运移趋势应居于主导地位, 大潮周期的净运移趋势将被

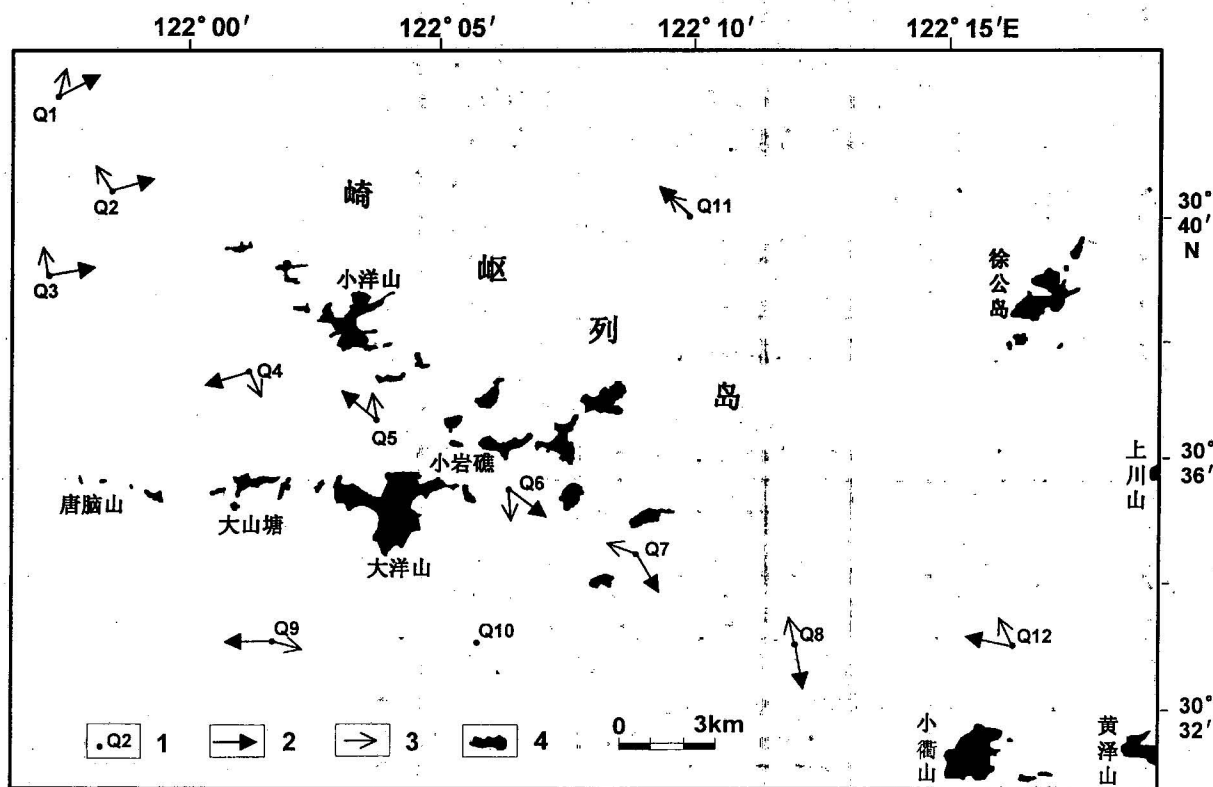


图 5 洋山港海域现代沉积物大潮和小潮周期净运移趋势

Fig. 5 Net transport trend of modern sediment during spring and neap tidal cycles in Yangshan Harbor area

1—水文站位和编号; 2—大潮周期净运移趋势; 3—小潮周期净运移趋势; 4—岛屿

1—Hydrologic station and number; 2—net transport trend during spring tidal cycle; 3—net transport trend during neap tidal cycle; 4— island

作为现代沉积物长期净运移趋势的参照依据。

上川山与黄泽山之间的水域是外海潮波经黄泽洋传入洋山港海域的主要入口之一,由于黄泽洋入口处南部和北部的岛屿群亦构成开口向东的喇叭形(见图1的区域缩略图),入射潮流得以束狭,塑造了入口处及崎岖列岛两侧10m以深的涨潮槽(图1)。上川山和黄泽山之间的-20m和-15m等深线以及崎岖列岛外围的-10m等深线所围的涨潮槽闭合端均指向西,说明上述等深线范围内的现代沉积物总体上向西运移(这与大潮周期的Q9、Q11和Q12站的运移趋势一致)。

根据岛链峡道深槽东部和西部等深线闭合端指向以及大潮时Q4、Q5、Q6和Q7站的底层余流分析,小岩礁一大洋山断面以西的峡道深槽应属涨潮槽性质,断面以东的峡道深槽属落潮槽性质,因此,该断面两侧的泥沙应净向峡道东西两端分异输移(这与大潮周期的Q4、Q5、Q6和Q7站的运移趋势同样一致)。李玉中等(2002)指出,岛链峡道西部小洋山—唐脑山一线有一个“S”形浅滩(图6)。大潮周期时,Q3和Q4站的现代沉积物呈相向的运移趋势,因此,

小洋山—唐脑山一线应是泥沙的汇集区。-10m等深线在大洋山—大山塘通道的南出口外围成扇形隆起的小型落潮三角洲(图1),说明该通道应是峡道内泥沙向峡道外输移的主要出口之一。

根据前述分析,由地形特征判断的现代沉积物净运移趋势与大潮周期的净运移趋势基本一致,可据此绘出研究区现代沉积物长期净运移趋势图(图6),由此获得的长期净运移趋势仍具有一定程度的代表性。

研究区现代沉积物长期净运移趋势显示:①研究区东部的黄泽洋向洋山港海域的输沙趋势显著。②洋山港岛链峡道深槽的形成,系由峡道东部和西部的现代沉积物各向峡道两端分异运移所导致。李玉中等^②有过相关论述。③小洋山—唐脑山一线是泥沙的汇集区,该区将是今后港区泥沙淤积的主要部位之一。

6 结语

地形、物源和水动力条件是洋山港海域现代沉积环境的主要控制因素。粉粒和粘粒是研究区现代

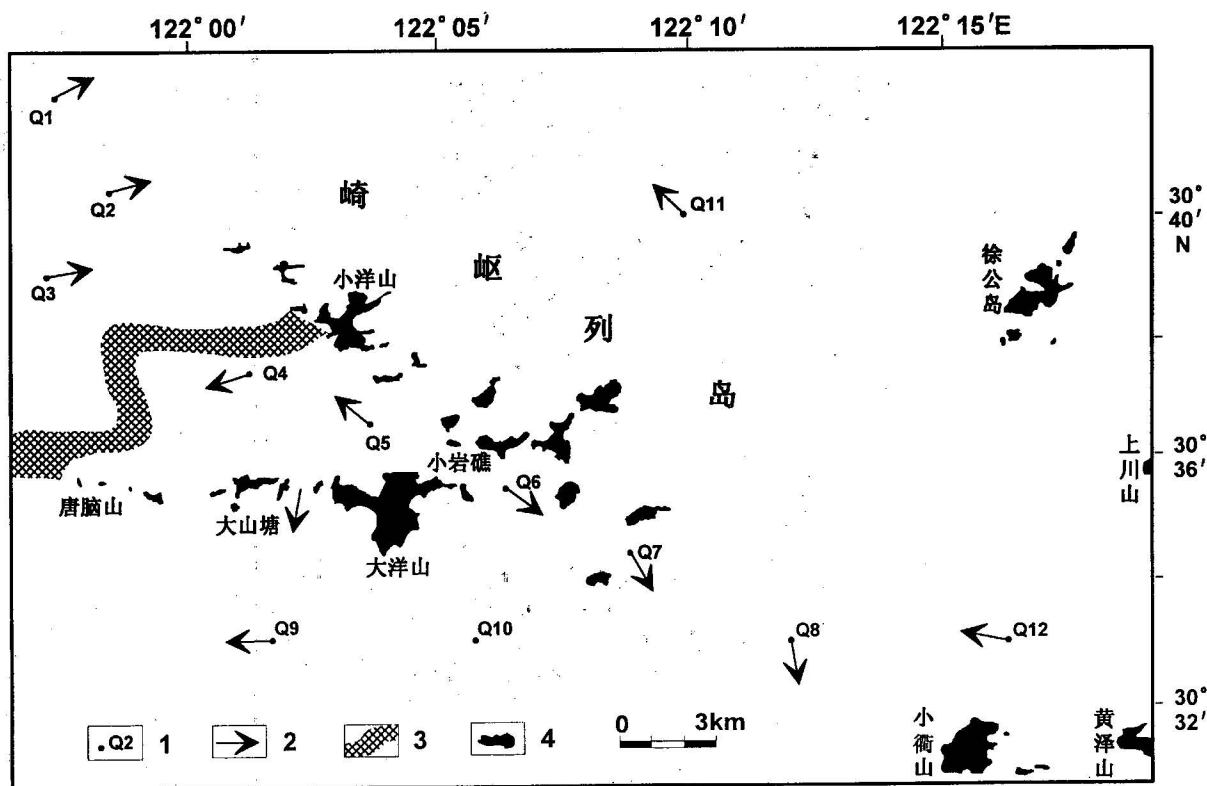


图6 洋山港海域现代沉积物长期净运移趋势

Fig. 6 Long-term net transport trend of modern sediment in Yangshan Harbor area

1—水文站位和编号; 2—长期净运移趋势; 3—浅滩; 4—岛屿

1—Hydrologic station and number; 2—long-term net transport trend; 3—shoal; 4—Island

沉积物的主要组成部分,潮流是起动和搬运现代沉积物的主要动力。悬移是现代沉积物最主要的搬运方式,跃移是次要搬运方式。现代沉积物的起动和沉积过程交替频繁,由此导致的海床冲淤幅度约在厘米量级范围。

大潮周期:洋山港海域岛链峡道西口外的现代沉积物净向北东东方向运移,北岛链外侧净向北西方向运移,南岛链外侧的西部净向西运移、东部净向南运移;黄泽洋入口处向洋山港海域的净运移趋势显著;岛链峡道内,大致以小岩礁—大洋山断面为界,存在西部净向北西、东部净向南东的分异运移趋势。小潮周期:崎岖列岛周边的现代沉积物总体上有呈反时针方向围绕崎岖列岛的净运移趋势;岛链峡道内,小岩礁—大洋山断面两侧的 Q5 和 Q6 站仍呈分异运移趋势,但 Q4 和 Q5 以及 Q6 和 Q7 站之间则呈相向的净运移趋势。黄泽洋入口处向洋山港海域的净运移趋势仍然显著。

洋山港海域现代沉积物长期净运移趋势表明:研究区东部的黄泽洋向洋山港海域的输沙趋势显著;洋山港岛链峡道深槽的形成,系由峡道东部和西部的现代沉积物各向峡道东西两端分异运移所导致;小洋山—唐脑山一线是泥沙的汇集区,该区将是今后港区泥沙淤积的主要部位之一。

本文根据1996年10月的洋山港海域水文泥沙资料和地形特征,分析了研究区现代沉积物在大、小潮周期的净运移趋势,并初步探讨了现代沉积物的长期净运移趋势。洋山港海域在其他季节的动力泥沙特征仍需进一步探讨,这对深入分析研究区现代沉积物的长期运移趋势也是必要的。

注 释

- ① 李玉中,等. 2003a. 洋山港海域余流分异和会聚现象研究. 待刊.
- ② 李玉中,等. 2003b. 系统聚类分析在现代沉积环境划分中的应用. 待刊.

参 考 文 献

- 陈沈良. 2000a. 崎岖列岛海区的水文泥沙及其峡道效应. 海洋学报, 22(3): 123~131.
- 陈沈良. 2000b. 崎岖列岛海区百年冲淤特征及其原因. 海洋通报, 19(1): 58~66.
- 陈昕. 2002. 上海国际航运中心洋山深水港区一期工程起步位置的探讨. 海洋工程, 20(3): 98~102.
- 戴贤凯, 陆培东, 杨正己. 1998. 开辟大洋山深水航道的初步分析. 水运工程, (4): 24~28.
- 蒋唯耀, 吴明阳. 2000. 上海国际航运中心洋山港区水文地形特性与建设方案选择标准的分析研究. 水道港口, (3): 1~6.
- 赖内克 HE, 辛格 IB. 1984. 陆源碎屑沉积环境. 陈昌明, 李继亮译. 北京: 石油工业出版社, 114~116.
- 李玉中, 陈沈良. 2002. 洋山港海域与长江口相似性研究. 地理学报, 57(6): 662~670.
- 吴明阳, 冯玉林, 阎新兴. 2002. 上海洋山港区一期工程潮流模型试验研究. 泥沙研究, (4): 57~63.
- 徐元. 2001. 高含沙量岛屿海域冲刷槽的成因及其建港意义. 海洋工程, 19(1): 88~93.
- 谢文辉, 陈沈良, 谷国传, 等. 2000. 崎岖列岛邻近海域的水文泥沙特征. 东海海洋, 18(2): 1~8.
- 阎新兴. 2000. 上海洋山港区的自然条件及泥沙来源分析. 水道港口, (3): 33~36.
- 杨华, 冯学英. 2000. 上海洋山港区和进港航道水域泥沙特性及回淤分析研究. 水道港口, 21(1): 17~22.
- 杨世伦. 1994. 长江口沉积物粒度参数的统计规律及其沉积动力学解释. 泥沙研究, (3): 23~31.
- References**
- Chen Shenliang. 2000a. Hydrodynamics, sediments and strait-channel effects for the Qiqu Archipelago. Acta Oceanologica Sinica, 22(3): 123~131 (in Chinese).
- Chen Shenliang. 2000b. Erosion and accretion characteristic and their causes in the Qiqu Archipelago in the recent century. Marine Science Bulletin, 19(1): 58~66 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xin. 2002. A discussion on the first phase port site of Yangshan deep-sea port project of the Shanghai international shipping center. The Ocean Engineering, 20(3): 98~102 (in Chinese with English abstract).
- Dai Xiankai, Lu Peidong, Yang Zhengji. 1998. Preliminary analysis on constructing Dayangshan deep water channel. Water Transport Engineering, (4): 24~28 (in Chinese with English abstract).
- Folk R L. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. Journal of Geology, 62: 344~359.
- Jiang Juyao, Wu Mingyang. 2000. Analyses of hydrographic and morphological characteristics and selection standard of construction design of Yangshan Harbor area of Shanghai International Shipping Center. Journal of Waterway and Harbor, (3): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- Li Yuzhong, Chen Shenliang. 2002. Similarities between Yangshan Harbor sea area and the Yangtze estuary. Acta Geographica Sinica, 57(6): 662~670 (in Chinese with English abstract).
- Li Yuzhong, Chen Shenliang. 2002. Similarities between Yangshan Harbor area and the Yangtze estuary. Journal of Geographical Sciences, 12(4): 485~494.
- Wu Mingyang, Feng Yulin, Yan Xinxing. 2002. Study on the tidal model for the first phase project of the Yangshan Harbor. Journal of Sediment Research, (4): 57~63 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yuan. 2001. Formation of scoured troughs in multi-island waters of high suspended sediment concentration and its significance on

- port construction. *Ocean Engineering*, 19 (1): 88 ~ 93 (in Chinese with English abstract).
- Xie Wenhui, Chen Shenliang, Gu Guochuan, et al. 2000. Dynamical characteristic of current and suspended sediment of the Qiqu Archipelago. *Donghai Marine Science*, 18(2): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Yan Xinxing. 2000. Analysis of natural conditions and sediment source of Shanghai Yangshan Harbor area. *Journal of Waterway and Harbor*, (3): 33~36 (in Chinese with English abstract).
- Yang Hua, Feng Xue-ying. 2000. Sediment characteristic and siltation analyses of Shanghai Yangshan Harbor and its approach channel waters. *Journal of Waterway and Harbor*, (3): 17 ~ 22 (in Chinese with English abstract).
- Yang Shilun. 1994. Statistic features for grain-size parameters of the Yangtze River estuary and their hydrodynamic explanation. *Journal of Sediment Research*, (3): 23 ~ 31 (in Chinese with English abstract).

Transport Trends of Modern Sediments in the Yangshan Harbor Area

LI Yuzhong, CHEN Shenliang

State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062

Abstract

The modern sedimentary environment in the Yangshan Harbor sea area is mainly controlled by topography, material sources and hydrodynamics. Modern sediments consist mainly of silt and clay particles, and are transported primarily by suspension and secondarily by saltation. Moving and saltation processes of the modern sediments are alternated frequently. The long-term net transport trends of the modern sediments indicate that some sediments from Huangzeyang entered the Yangshan Harbor area, the deep trough of the channel was formed by the transport of sediments of the west and east parts of the channel towards its two ends respectively, and the area between Xiaoyangshan and Tangnaoshan is an convergent area of sediments, which will be an siltation area of the Yangshan Harbor in the future.

Key words: modern sediment; transport trend; channel; Qiqu Archipelago; Yangshan Harbor
