

防城港拦门沙航道的泥沙来源及 冲淤规律的研究*

林宝荣 李 凡 周天成

(中国科学院海洋研究所)

防城港位于广西壮族自治区的南部,北部湾的顶部,它是我国南方新建的万吨级重要港口。该港在开发过程中遇到的关键问题之一是外航道有拦门沙,水深只有 3.2m,拦门沙开挖以后是否会出现泥沙淤积影响正常通航,对此必须作出科学预测。中国科学院海洋研究所受交通部委托,与交通部广州航道局和广西交通局勘察设计院等单位协作,于 1974 年至 1978 年进行了系统的调查研究,并先后提出了《踏勘报告》和《调查研究报告》。根据我们对地质地貌的历史演变、泥沙来源及泥沙运动规律的研究,推测拦门沙开挖后泥沙淤积量不大,开发前景良好,为该港的建设提供了科学依据。经过将近三年的实践检验,结论基本上符合事实。本文即是在上述报告的基础上撰写的。

一、拦门沙的成因

1. 拦门沙的位置及形态特征

防城港码头位于防城湾内渔沥岛的西侧,防城河现代河口三角洲的前缘(图 1)。防城湾为一溺谷型海湾,三面丘陵环绕,湾口朝南,东西两侧分别由企沙半岛与白龙半岛屏障,湾顶由渔沥岛分隔成东西两部。东部为暗埠江水道,湾域开阔,但水深较浅,不宜建港;西部为现代防城河的溺谷,水深较大,湾域隐蔽,有建设港口的良好条件。东西两湾水道在湾中部的西贤沙东端汇合折而向南,水深流急,形成深达 10m 以上的深水水道。水道两侧发育有宽狭不等的潮间浅滩和水下浅滩,形成河口沙嘴、沙坝等一系列堆积地貌形态,其中较大的堆积体有牛角沙嘴、西贤沙坝、古四方沙水下沙嘴、三牙石水下沙坝等。5 m 等深线在海口呈扇形向海凸出。研究表明,这些是古防城河三角洲的残留地貌。由深水水道向南,在近湾口处,东部的古四方沙水下沙嘴在海洋动力因子作用下与西部的三牙石水下沙坝连接,形成一高于湾内外两侧的沙岗,其顶部最浅水深只有 3.2m,阻碍西贤水道的出海通路,此即所谓拦门沙。

拦门沙基本上呈东西走向。在其南北向的纵剖面上表现为北坡(向陆)缓,南坡(向

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1087 号。

参加现场调查的有本所尤芳湖、杨治家、林国军、张秀荣、李本兆,广州航道局林光裕等同志,图件由蒋孟荣、李清等同志清绘。

收稿日期: 1984 年 3 月 13 日。

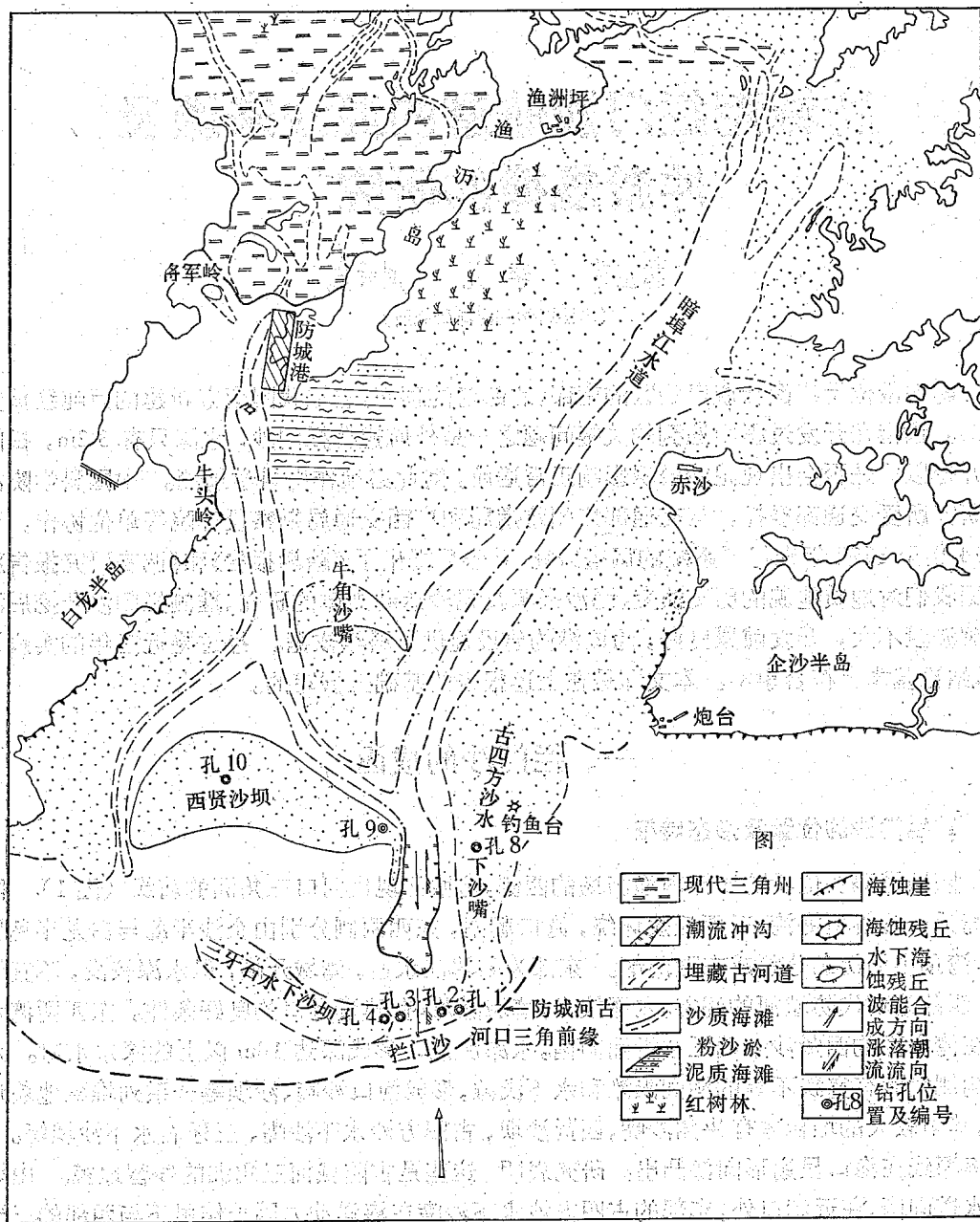


图1 防城港及其附近地貌类型略图

海)陡,成为高出于内外两侧的正向堆积地形(图2);北坡坡度为2—3‰,南坡坡度为4—6‰,南坡上部的最大坡度为7—15‰。在东西向的横剖面上则表现为东西两侧高、中间凹的负向地形,与沟槽相似。上述地形特征对于湾内进出潮流的影响具有双重性,一起“门槛”的作用,阻碍进出水流,使流速分布不连续,二则具有“渠”的性质。成为涨落潮流的主要通道。

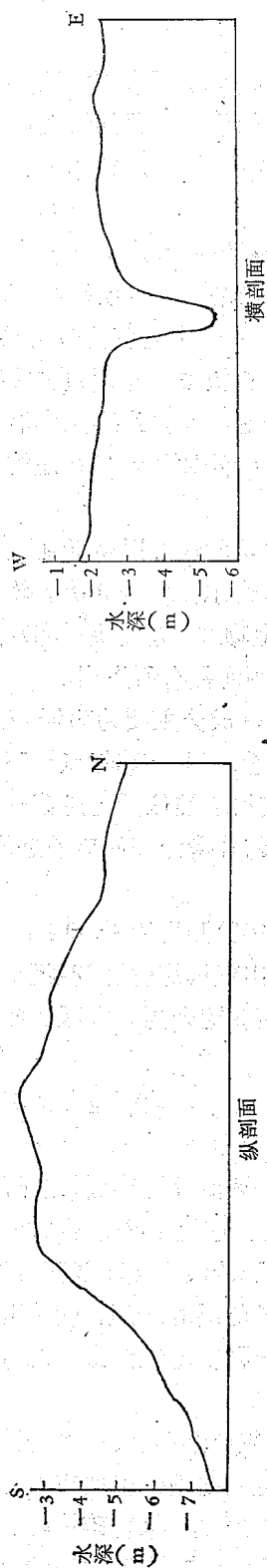
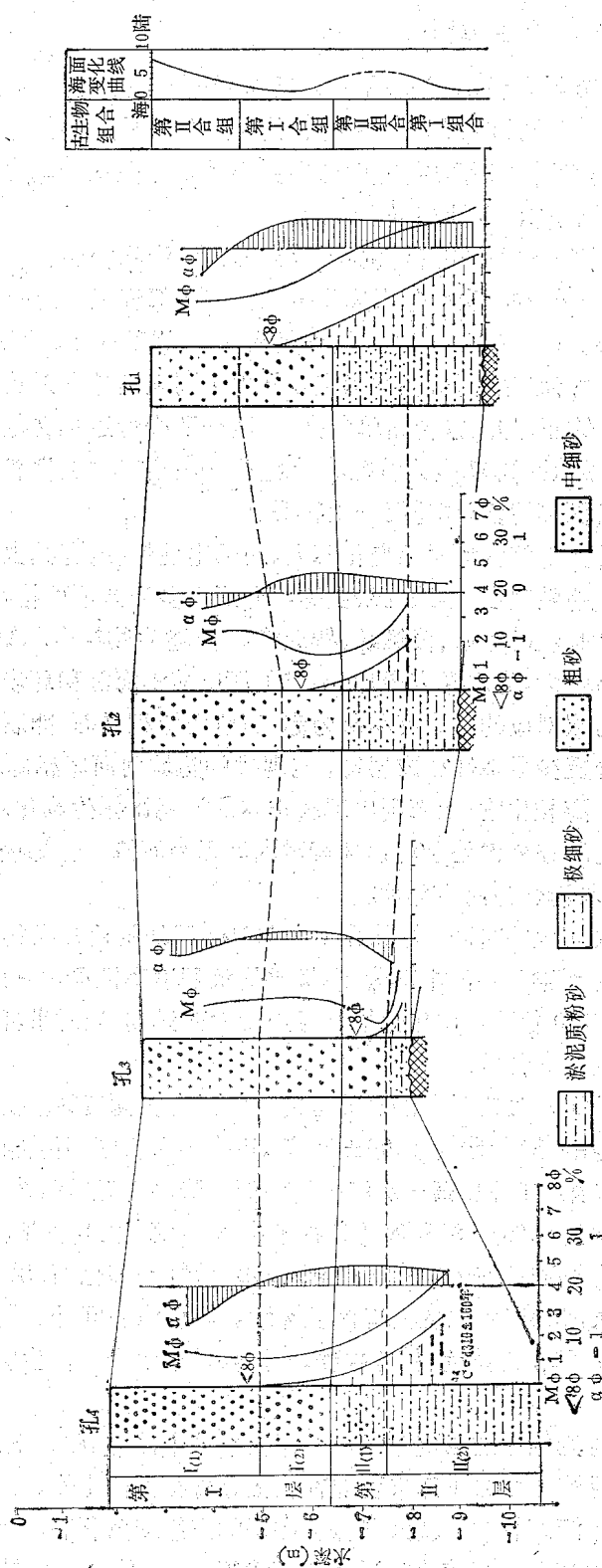


图2 拦门沙形态



2. 拦门沙的形成历史

钻探资料表明,拦门沙是在本区全新世海侵及防城河三角洲演化过程中发育的。牛头岭以南(下称外湾)有七个钻孔,其中四个在拦门沙上(位置见图1)。据其岩性特征及生物组合,可分上下两层,它们与牛头岭以北(下称内湾)的沉积层对应,形成两个沉积旋回,反映了两度波动性海侵(图3)。

海侵第一阶段,在外湾沉积了第一滨海-浅海相层。此层一般埋藏于水深6.0m以下,不整合于下部的中生代基岩风化壳上,其下部沉积物为深灰色极细砂及粗粉砂。 M_z 为2.8—5.6 ϕ , σ 为2.1—3.4,正偏或负偏,概率累积曲线呈四段结构,其中悬移群较发育。有孔虫优势种为广盐河口相种毕克卷转虫和同现卷转虫以及异地希望虫。介形虫主要有半咸水环境的正星介、东台新单角介、美丽介及少量达尔文艳花介等。软体生物以生活在河口环境中的牡蛎、藤壶为特征。上述生物组合基本上代表了拦门沙地区当时所处的河口半咸水沉积环境,可称为第一生物群。

此层上部沉积物岩性变化不大,局部出现粗砂,有孔虫的优势种代之以生活在浅海的窄盐性异地希望虫、半缺五块虫等。介形虫多为方地豆艳花介、达尔文艳花介等。软体生物中出现波纹巴非蛤、棒锥螺、榧螺等。上述生物组合称第二生物群,它反映了海水的盐度较下部增大,海水深度增加,构成了河口前浅海沉积环境,说明海侵有所发展。

与此层对应的内湾沉积层为赤-黄色河流相砾石、卵石层,其成分主要为玢岩、砂岩、石英脉岩及少量基性火成岩等,与现代的防城河河床相砾石成分一致。其特点是下部无有孔虫等海相生物,上部则出现较丰富的海相微体生物化石,其组合类似于上述第一生物群。这说明在外湾处于河口环境时内湾仍为河流。随海侵发展,外湾沦为河口前近海,河口后退,内湾转为河口环境。

这次海侵的时间,据钻孔4中7.31m深处附近样品的 ^{14}C 年龄测量为 4310 ± 160 年。该样品位于第一层的中部偏下,按平均沉积速率推测,其底层出现滨海-浅海相沉积的时间约为5800年前。此年龄恰好相当于大西洋期,当时世界洋面普遍升高,本区在此时形成海侵也是必然的。

关于海侵最盛时期的高海面的年代尚无实测资料。据附近江平公社沥尾岛潟湖内泥炭层测得的 ^{14}C 年龄为 1800 ± 90 年,可作为调查区高海面时代的参考。

海侵第二阶段。第一次海侵后海面下降,外湾区沉积了第一滨海-浅海相层的下部,其埋藏深度为4.0m。沉积物为黄褐色中砂、细砂,粒度较下层粗,分选性变好。生物中出现与第一生物群相似的毕克卷转虫、正星介、牡蛎等化石,说明河流的淡水影响复至外湾区,那里再次成为半咸水的河口沉积环境。此后海面回升,沉积了此层的上部,即为现代沉积层。沉积物为黄色、灰色中砂,分选性进一步变好,生物组合再次出现浅海相的第二生物群。

在内湾相应的层位下部,为深灰色的中砂、细砂,上部为灰色细砂、淤泥质粉砂及粉砂质淤泥等。此层下部未发现孔虫等海相微体生物,海相生物化石仅出现在上部。相反,下部沉积物中发现大量保存完好的锯缘青蟹化石、近江牡蛎以及木竹碎片等。锯缘青蟹生活在低盐半咸水的近河口环境下,其尸体介壳极易腐烂分解。青蟹化石的大量存

在说明当时内湾曾一度处于低盐河口环境,后来在海侵过程中发生了灾难性沉积,致使青蟹迅速埋藏,得以保存完好。

随着海侵的发展,或者可能是由于发生陆地构造性下降,防城河河口三角洲不断后退,至今已退至牛头岭以北十几公里的针鱼岭附近,并重建了将军岭以北的防城河现代河口三角洲,牛头岭以南的老河口三角洲被海水淹没,并且在海水动力因素作用下不断经受

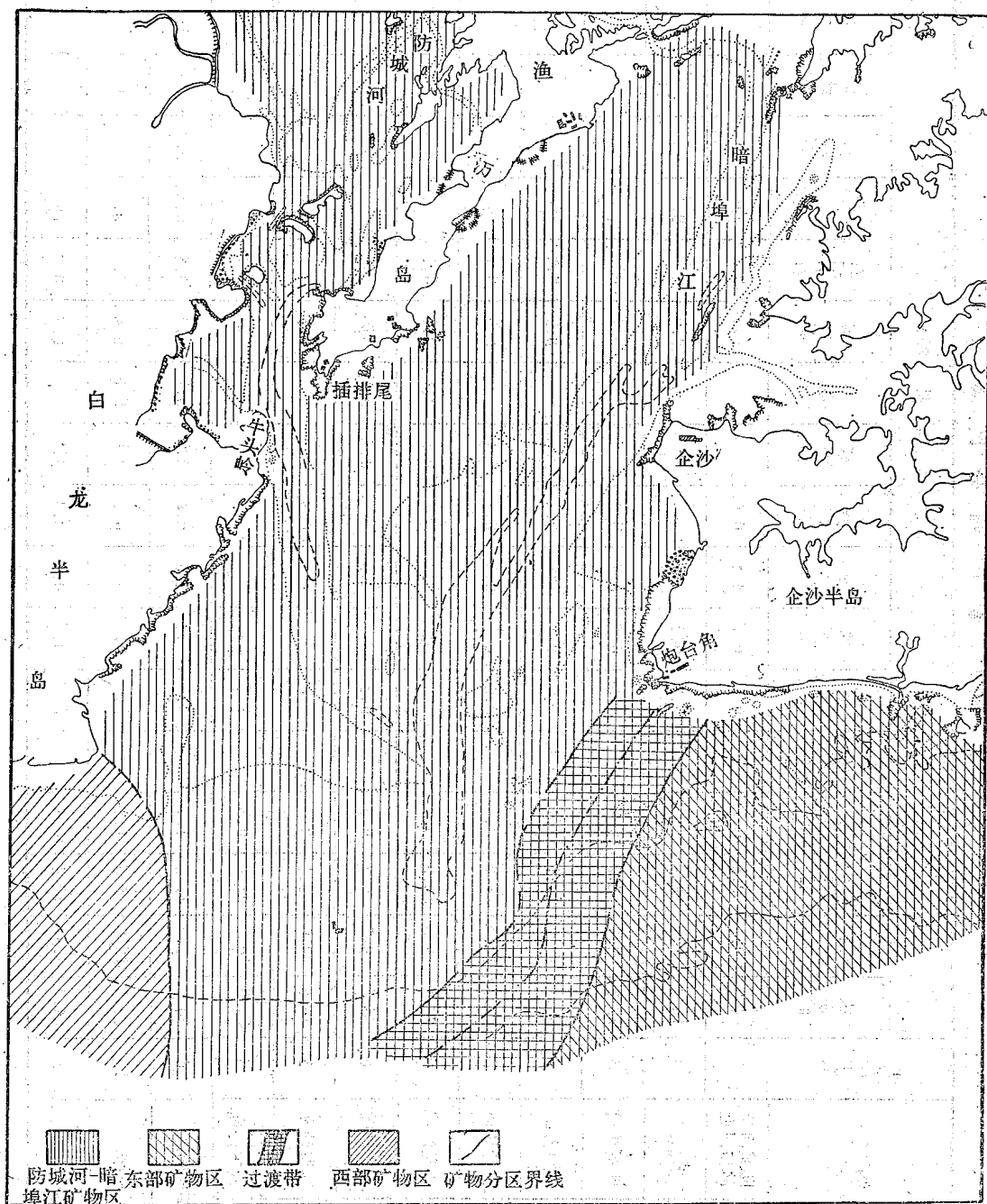


图4 防城港矿物分区图

表 1 重矿物分区表

矿 物 区		样 品 个 数	矿 物 含 量 (%)																			
			钛 铁 矿	锆 石	电 气 石	钨 钛 矿	板 钛 矿	金 红 石	独 居 石	云 母	绿 泥 石	碳 酸 盐	角 闪 石	绿 帘 石	石 榴 子 石	紫 苏 辉 石	红 柱 石	矽 线 石	十 字 石	蓝 晶 石	其 它	电 气 石 钛 铁 矿
防城河、暗埠江矿物区	防城河及河口附近	7	74.9	9.3	0.8	0.2		0.1	0.1	4.4	0.6			0.5	0.2	少					8.9	0.011
	港池区	3	76.2	7.5	5.1	少		0.3	0.2	2.1	0.5		少	0.9		0.1					6.9	0.068
	西贤航道	4	77.8	8.9	2.7	0.5		0.6	0.2	0.5	0.2			0.4	0.2						8.0	0.036
	暗埠江	3	60.1	12.9	5.1	1.4	0.1	少	0.1	少	0.2	0.5		0.5	0.4	少					18.4	0.093
	三牙航道	5	76.7	10.8	1.9	0.4		0.2	0.1	0.5	0.4	0.1		0.5	0.1	少					8.1	0.025
	牛角沙嘴	2	73.3	8.6	5.0	0.5				0.5	少	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1					11.0	0.068
	四方沙嘴	6	78.3	9.7	1.8	0.6		0.2	少	0.3			0.3	0.1	少						8.8	0.023
	西贤沙坝	3	76.5	9.0	2.1	0.2		0.8				0.3				少					11.1	0.027
	三牙石水下沙坝	3	80.9	10.3	1.6	0.3		1.3	0.1					少	0.1						5.3	0.20
	东部矿物区	6	50.2	7.2	11.3	1.4	0.1	0.6	0.2	2.0	0.6	2.0	0.1	1.0	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	少	22.3	0.244
过渡带	14	62.1	16.8	5.6	1.8	少	0.5	0.3	0.3	0.1	0.4	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1		少	11.1	0.100	
西部矿物区	3	64.0	3.31	12.4	0.5		0.9	0.1	0.3	0.3	0.3		0.2	0.2	少					17.4	0.196	

改造。

综上所述,可以看出,牛头岭以南为全新世中期低海面时期的防城河古三角洲;目前的拦门沙乃为当时古河口三角洲上一部分沙体的遗迹,在后期海面波动中又经受了不断的改造,它并非现代河流输沙形成。

二、拦门沙及航道区的泥沙来源

1. 拦门沙的物质来源

前已指出,拦门沙是古防城河河口三角洲上一部分沙体遗迹,其物质理应来自古防城河输出的泥沙。拦门沙的重矿物组合特征进一步证明了这一结论。

在调查区共进行了 59 个表层沉积物样品的重矿物分析。根据重矿物组合及某些特征矿物的分布,可将本区划分为三个矿物区和一个过渡带(图 4)。

(1) 防城河-暗埠江矿物区。分布范围自防城河口以南包括拦门沙在内的整个防城湾,南至古防城河河口三角洲前缘。其重矿物组合以钛铁矿(平均含量 75.4%)和锆石(9.7%)含量较高为特征;其次为电气石、锐钛矿,以及少量的云母、绿泥石、石榴子石等(表 1)。矿物种类简单,上述矿物在不同的地貌单元上含量略有不同,但其基本组合特征是一致的,它们同是防城河不同时期输沙的堆积物。显而易见,拦门沙的物质来自早期防城河的输沙。

(2) 东部矿物区。位于防城湾外炮台角以东的近海区。其重矿物组合以钛铁矿含量相对较低(50.2%),电气石含量相对较高(11.3%)为特征;其次,锆石含量达 7.2%;另有锐钛矿、金红石、独居石、矽线石、红柱石、十字石、绿泥石等,种类繁多;特征矿物为红柱石、矽线石、十字石等典型的变质矿物。这与防城河-暗埠江矿物区显然不同,说明它是不同于前区的另一独立沉积区,其物质主要来自企沙半岛沿岸志留系变质岩区物质的输入。

(3) 过渡带。位于上述两矿物区之间,呈 NE—SW 走向。其重矿物组合兼有上述两矿物区的特征,乃是上述两沉积区的混合地带。

(4) 西部矿物区。位于西贤沙西南的湾口西侧,重矿物组合是以钛铁矿含量最高(64.0%),电气石含量较高(12.4%)及锆石含量低(3.3%)为特征而与其它矿物区相区别。此外,此区有少量的锐钛矿、金红石、绿帘石、石榴子石、绿泥石等,种类较简单。它们主要来自白龙半岛上侏罗系沉积岩区的陆源输入物质。

2. 防城河现代输沙与拦门沙的关系

拦门沙的泥沙虽系防城河的输入物,但调查区底质类型的分布特征及粒级的沿程变化表明,现代防城河输沙对拦门沙基本上没有影响。

在调查区共采集了 400 多个表层沉积物样品,北自防城河河口,南至拦门沙以南水深 15m 处的浅海区,按温氏粒级进行机械分析,并绘制了平均粒径($M\phi$)等值线图(图 5)。从图上可以看出,防城河口至仙人桥间, M_z 为 1ϕ , 2ϕ , 3ϕ 的等值线呈舌状向海凸出,这里是防城河现代河口三角洲。仙人桥至牛头岭之间, M_z 为 $3-4\phi$,是湾内细粒沉积物集

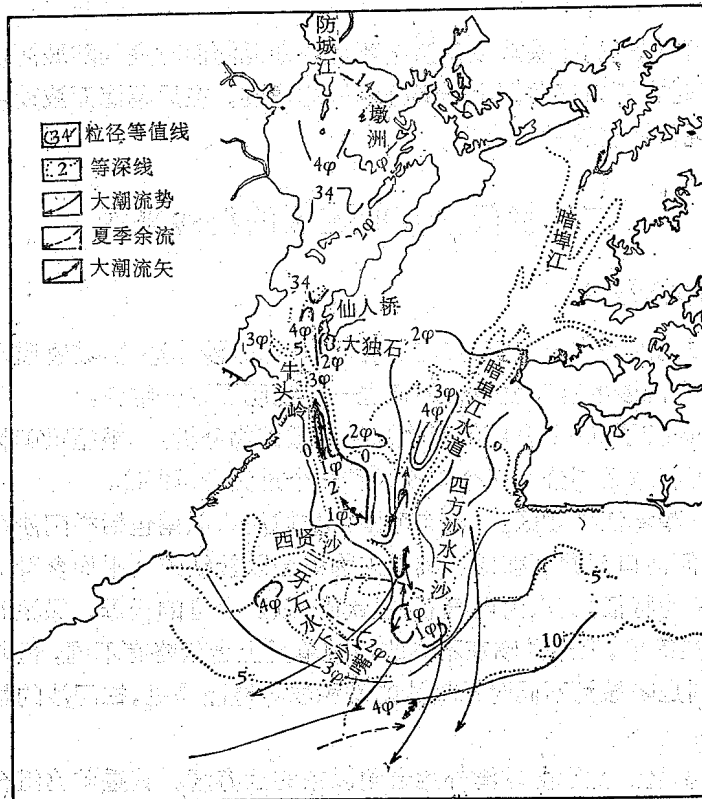


图5 防城湾海底沉积物平均粒径等值线图

中分布的深水区。牛头岭以南等值线基本上沿等深线延伸, 1ϕ 等值线基本上和主水道延伸一致, 水道内尚有 $0-1\phi$ 的粗砂斑块, 2ϕ 等值线大致沿潮间浅滩及水下浅滩的外沿延伸。浅滩上分布着分选较好的细砂。三牙石以南, 3ϕ 等值线呈弧形向南凸出, 其趋向大致与 5m 等深线一致, 基本上与古防城河河口三角洲边缘重合。由此向南颗粒渐细。

从上述沉积物分布可以看出, 防城河河口向南, 沉积物的平均粒径逐渐变细, 至仙人桥以南的现港池区物质最细, 这里已相当于三角洲前缘沉积。牛头岭以南粒度变粗, 直至拦门沙区沉积物均为分选较好的细砂或中砂。这样, 从防城河河口至拦门沙区, 沉积物的粒度成分便呈现出粗—细—粗的鞍形不连续分布。

众所周知, 泥沙在搬运过程中因其颗粒大小及比重不同而发生分异, 呈现出随与物源距离的增加颗粒逐渐变细的沿程分布规律。从防城河至牛头岭以北的港区, 沉积物沿程分布基本上符合上述正常的机械分异作用规律, 然而, 牛头岭以南出现相反的现象。这种异常现象出现的位置恰与上述老河口三角洲的位置大体相当。

沉积物的平均粒径只反映粒级组合的平均状况, 若从各粒级含量的沿程变化分析, 上述趋势则更为明显。

图6是自防城河河口向南, 沿航道轴线方向, 按 Dowling 的方法^[3]绘制的沉积物粒度谱图。横坐标代表测点位置, 纵坐标为粒级大小(ϕ 值), 在纵横坐标的交点上记入各粒级的百分含量。从图中可以看出, 自防城河河口向南, 粗粒级含量逐渐减少, 至大独石以北,

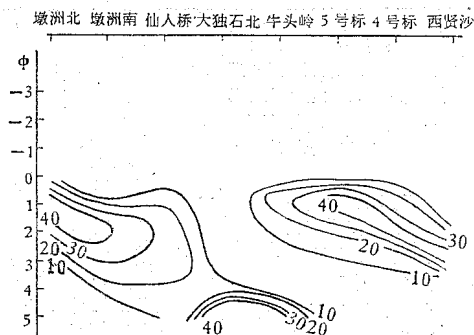


图6 粒度谱图

1 ϕ 粒级的含量已小于1%;牛头岭以南,大于2 ϕ 的砂粒含量增至40%以上,最高含量达85%;相反,粒级小于4 ϕ 的细粒物质含量由墩洲北的0.5%,至大独石北增至96.6%,5号标以南又降至1%以下。图上清晰地呈现出两个粗粒级物质富集区,一个在仙人桥以北的防城河现代河口三角洲区,另一个在牛头岭以南的老河口三角洲区。两者遥遥相对,中间为细粒沉积物断开,这种分布格局显然说明它们是来源不同或成因各异的两类沉积。

综上所述,可以看出,防城河现代输沙中的粗粒物质主要分布在仙人桥以北的现代河口三角洲区,一般不会超越港区的细粒沉积区跃入牛头岭以南沉积。细粒组分主要沉积在仙人桥和牛头岭之间的港池区。拦门沙的粒级组成中,粒径小于0.063mm的细粒级含量一般小于5%,因此可以认为,防城河现代输入的泥沙对拦门沙地区影响甚微。

防城河年平均径流量约10.6亿吨,季节变化明显。4—9月间流量占全年总流量的81.1%,洪水流量占全年23.7%,汛期流量增加,浑水舌可以越过西贤沙到达拦门沙区。然而,根据上述拦门沙沉积物的粒度分布特征,可以推断,即使汛期细粒组分对拦门沙稍有影响,但细粒组分最终仍将被海浪或潮流掀起并携至外地沉积,故可认为现代防城河输沙对拦门沙的淤积基本上没有影响。

上述结论从某些重矿物含量比值的沿程变化可得到进一步证明。自防城河河口→港区→西贤航道→西贤沙坝,沉积物中电气石/钛铁矿的比值相应为0.011→0.068→0.036→0.027。在港区比值最高,说明那里电气石的相对含量显著增加,即防城河输入物中比重较小的物质在港区大量集中,这种趋势和粒级分布的沿程变化趋势是一致的。

3. 拦门沙航道洄淤泥沙的直接来源

为研究拦门沙区早期沉积的泥沙能否对航道洄淤发生影响,在航道两侧堆积体上进行了流明沙实验。流明沙采用细砂粒级染制,投沙点位于航道东西两侧,水深分别为3.0m和2.7m。表2为实验期间的水动力条件,图7为投沙8天和9天后的扩散图。

从图上可以看出,航道两侧堆积体上的流明沙在海浪和潮流的作用下都有较大的扩散,其趋势与海浪和潮流最大流速的流向一致。同时,扩散晕从两侧向航道逼进,并有部分颗粒进入航道。

海浪作用于海底有可能引起沿岸输沙。沿岸输沙率的大小取决于波能量与波向。本

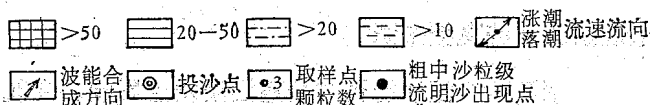
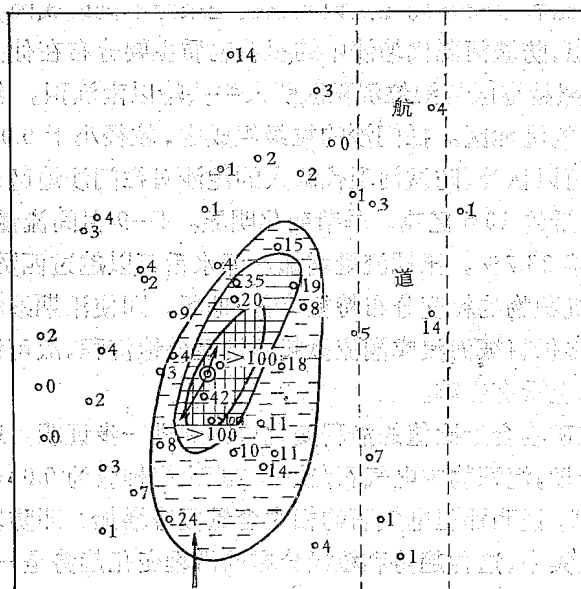
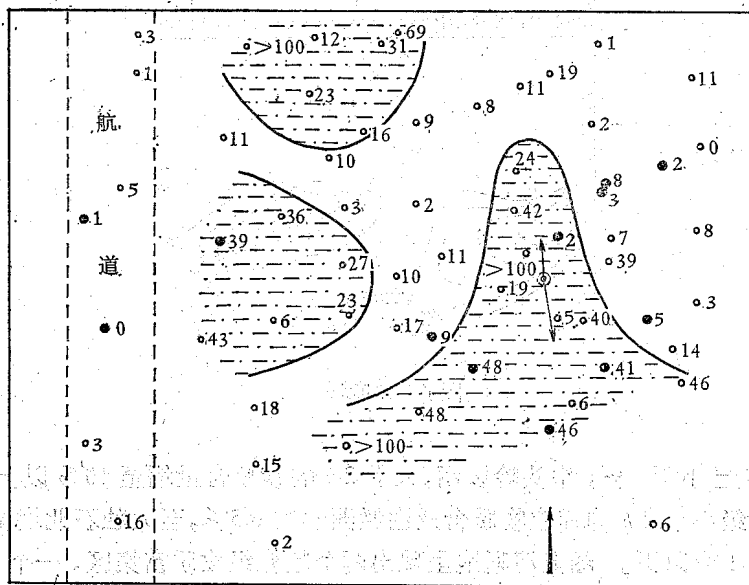


图7 流明沙扩散图

区波能年合成方向为 $174-177^\circ$, 与航道方向接近平行, 故输入航道的年平均沿岸输沙率不可能很大。但是, 如果考虑浚深航道为一凹槽, 可以认为沿岸输沙进入航道后不从另一端输出, 则各方位的海浪都可能导致一定数量的泥沙输入航道而造成淤积。计算表明^[1], 本区夏季航道淤积正是此期间南向海浪搬运两侧堆积体的泥沙输入航道的结果。

表 2 流明沙的投放、取样时间及动力要素

投放点	投放时间 (年、月、日、时)	取样次第和时间 (年、月、日、时)	海浪要素			潮 流			
			波高 (m)	周 期 (s)	波向 (度)	涨潮最大		落潮最大	
						流速 (cm/s)	流向 (度)	流速 (cm/s)	流向 (度)
西	1976.7.14. 0900—1000	第一次 1976.7.15.0800—1200	1.0	3.8	205	35	10	55	200
		第二次 7.18.0830—1230	0.6	3.3	195	30—20	10—40	40—15	210—190
		第三次 7.22.0900—1300	0.6	3.4	185	20—15	30—20	35—20	205—210
东	1976.7.14 1100—1200	第一次 1976.7.16.0800—1200	0.8	3.6	200	30—15	350—355	50—45	150—155
		第二次 7.19.0830—1230	0.6	3.2	196	40—25	350—360	50—30	150—160
		第三次 7.23.0930—1330	0.6	3.3	179	25	355—360	50—20	200—150

三、拦门沙试挖前后的水动力特征及拦门沙的泥沙动态

1. 水动力特征

潮汐：调查区受北部湾前进波的作用，潮汐类型属全日潮。其特点是当全日分潮显著时，潮差大(最大 $\geq 4.5\text{m}$)，涨潮延时远大于落潮延时，憩流时间短。当半日分潮显著时，潮差小(最小潮差 $\leq 1\text{m}$)，涨潮延时约等于落潮延时，憩流时间长(>3 小时)。潮位累积曲线如图 10 中的 L_1 ，潮位变化将影响海浪和潮流对海底泥沙运动的作用延时。

潮流：拦门沙外浅海区潮流类型以全日潮流为主，具旋转流性质，主流线与潮波传播方向大体一致。拦门沙航道由于地形影响，基本上为往复流，两侧为旋转流，东侧左旋，流速较小($W_{01} = 20\text{cm/s}$)，西侧右旋，流速较大($W_{01} = 25\text{cm/s}$)。流线分布特征是，外海由西南向东至东北偏转，经拦门沙航道向西贤沙东端辐聚。由于拦门沙具有“门槛”的作用，航道试挖前，涨落潮流均有一流速相对较大的区域(图 8)。涨潮时拦门沙南坡可能出现水壅，通过大流速区，能量消耗，流速减小，随后接受两翼潮能，同时海底坡度增加，流

表 3 1969—1974 年波浪频率统计

波向 频率 F	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
波级																
1—2 级	0.42	16.85	9.43	2.09	3.97	5.01	11.99	3.64	8.47	2.92	1.73	0.11	0.21	0.02	0.09	0.02
3 级	0.05	4.39	1.70	0.23	0.71	1.24	3.19	0.92	4.33	3.02	0.87	0.05	0.04		0.02	
4 级	0.01	0.32	0.16	0.01	0.09	0.24	0.39	0.25	2.03	1.91	0.26	0.04				
5 级		0.04	0.01		0.03	0.13	0.07	0.06	0.08	0.16	0.01					
ΣF	0.48	21.60	11.30	2.33	4.80	6.62	15.64	4.87	14.91	8.01	2.87	0.20	0.25	0.02	0.11	0.02

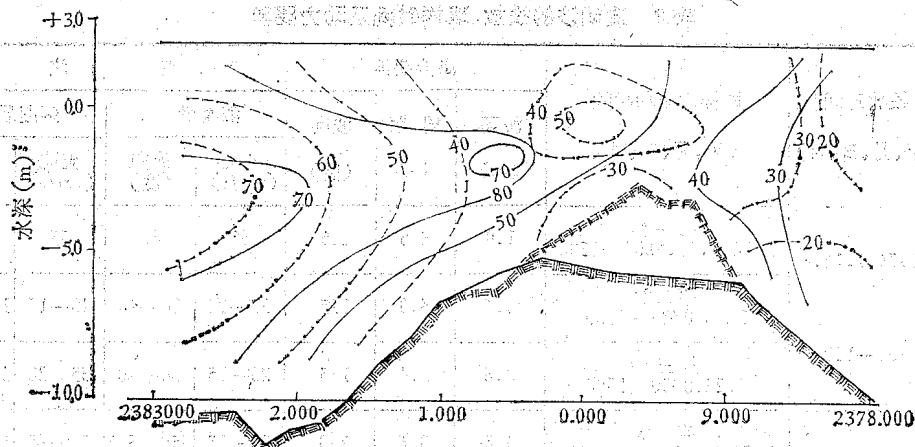


图 8a 拦门沙航道试挖前(---)后(—)大潮平均最大涨潮流速 V_f (cm/s)
($y = 36536680$)

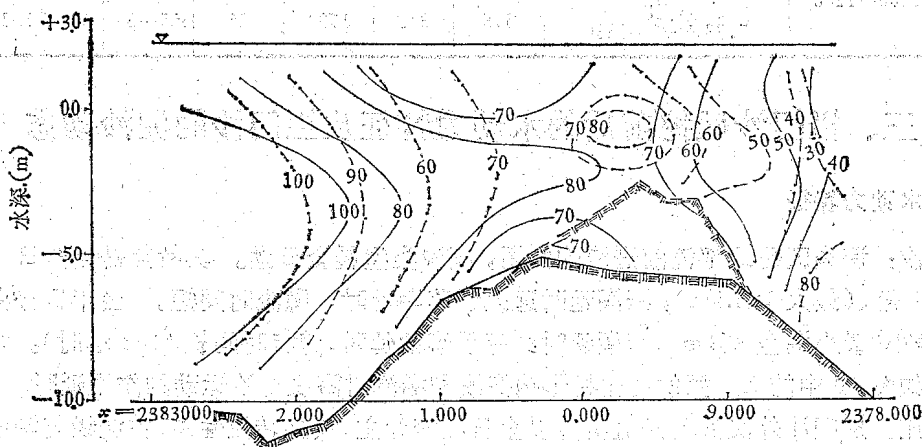


图 8b 拦门沙航道试挖前(---)后(—)大潮平均最大落潮流速 V_e (cm/s)
($y = 36536680$)

速加大。落潮时,北坡可能出现水壅,经过大流速区后,向南往缓流区过渡^[1]。

门沙区海浪要素的变化不大。1975年 ≥ 3 级海浪的主要波向为SSW,南向浪出现频率落潮流速($V_e = 30-75\text{cm/s}$)大于涨潮流速($V_f = 22-50\text{cm/s}$)。拦门沙疏通(至5.5m深)以后流速有所增大并分布连续。

余流:夏半年,拦门沙外浅海流向自西南向东北,流速0.2—0.3节;拦门沙与西贤沙之间为一顺时针局部环流,流速0.2节,流向不稳。冬半年,湾内流速大,最大0.3节,流向多偏南,主要为风海流。

海浪:用钓鱼台测波站约一年的观测资料,与邻近白龙尾海洋气象站的资料进行相关分析,得到1969—1974年海浪的频率分布,如表3所示。如以1975年和1976年的海浪要素分别代表拦门沙航道试挖前后一周年的海浪分布,统计表明(见图9),试挖前后拦门沙区海浪要素的变化不大。1975年 ≥ 3 级海浪的主要波向为SSW,南向浪出现频率 $F = 56.09\%$,全年各级海浪合成方向为 $174-177^\circ$, ≥ 3 级海浪合成方向为 $181-183^\circ$ 。

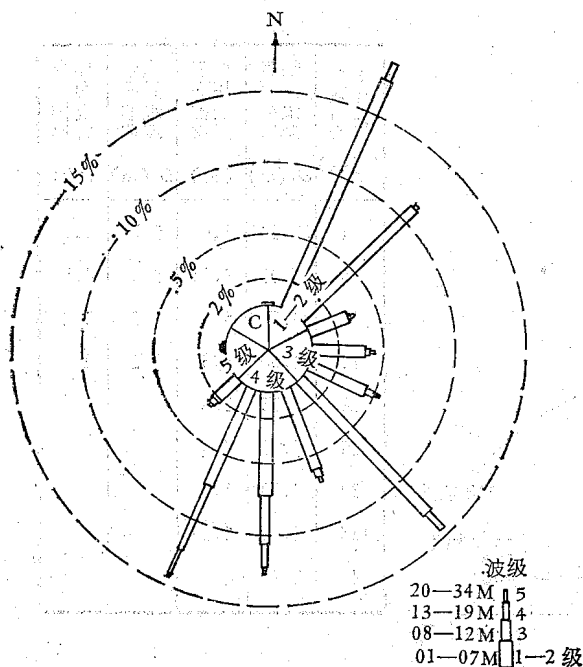


图 9a 1975 年波浪玫瑰图

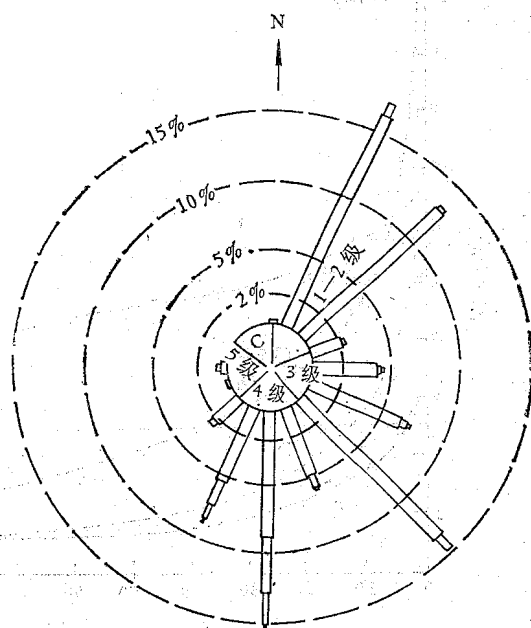


图 9b 1976 年波浪玫瑰图

1976 年 ≥ 3 级海浪要素分别为: S, SSW, $\bar{H} = 1.15\text{m}$, $H_{\max} = 2.3\text{m}$, $F = 53.4\%$ 。

2. 海浪作用下的拦门沙泥沙动态

由海浪引起的海底水分子轨道最大速度大于海底泥沙的起动速度时,泥沙即被起动,拦门沙处于不稳定状态。左藤认为,海底波浪水质点的最大水平轨道运动速度达到 2 倍泥沙颗粒起动速度时,海底泥沙出现净输移,后来他根据同位素砂的现场试验结果,提出下列两种临界水深的计算公式^[2]。

表面推移公式:

$$\frac{H_0}{L_0} = 1.35 \left(\frac{dm}{L_0} \right)^{\frac{1}{3}} \sinh \frac{2\pi D_1}{L} \cdot \frac{H_0}{H}$$

全面推移公式:

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.4 \left(\frac{dm}{L_0} \right)^{\frac{1}{3}} \sinh \frac{2\pi D_2}{L} \cdot \frac{H_0}{H}$$

拦门沙区的泥沙平均粒径约为 0.3mm, 将 1975 年实测各级海浪的平均浪高 $\bar{H}$ 和平均周期 $\bar{T}$, 换算成深水要素, 然后按上述两式分别予以计算, 求出各级海浪的表面推移临界水深 D_1 和全面推移临界水深 D_2 。同时根据各级海浪的出现频率, 经过相应的潮汐改正, 求出其作用延时, 由此可以大体上估计到拦门沙区底沙的活动状况, 结果如图 10 所示。从图 10 中可看出, 假如海平面保持在海图零米的水平线上, 那么一年中只有 38% 的海浪能使海底泥沙发生表面推移(见图 10 海图零线与 D_1 的交点), 而发生全面推移的海浪仅有 12% (见海图零线与 D_2 的交点)。但是由于潮汐作用, 一般水位都高于这一海平面(见 L_1), 因此海浪对浪底泥沙的实际作用延时应小于这一频率。如附表所示, 可能出

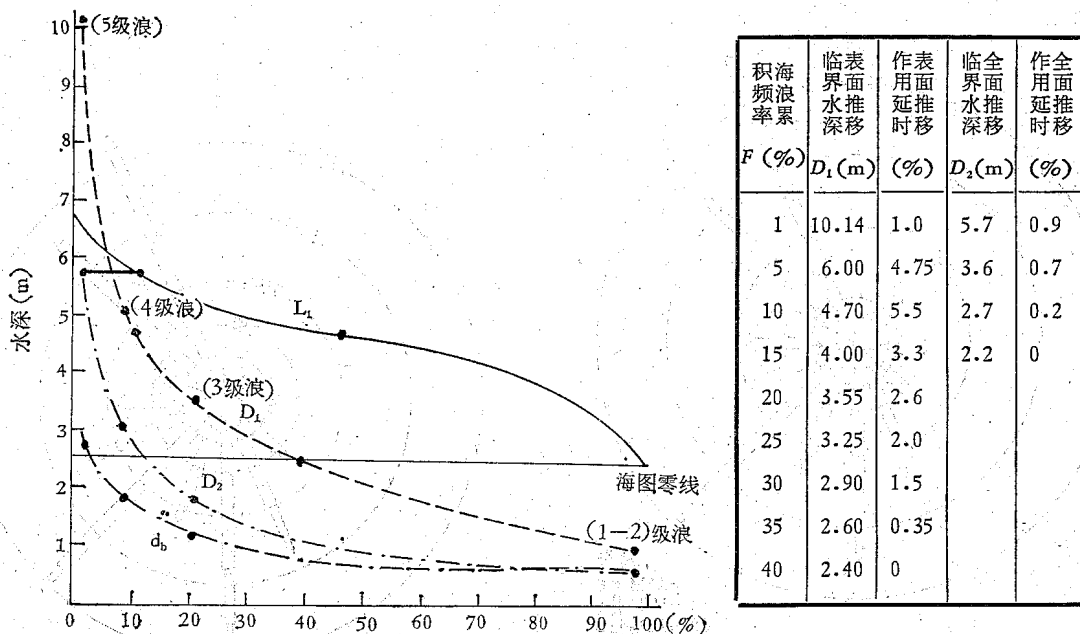


图 10 泥沙运动与水深关系

L_1 : 水深累计频率曲线 D_1 : 表面推移临界水深 D_2 : 全面推移临界水深 d_b : 破碎水深

现表面推移最大延时的海浪频率占 10%，临界水深为 4.7m，小于临界水深的水深频率占 55%；可能出现全面推移最大延时的海浪频率占 1%，临界水深为 5.7m，小于临界水深的水深频率占 90%。由此可见，拦门沙区因海浪作用所引起的表层泥沙推移的年最大频率为 5.5%，出现全面推移的最大频率为 0.9%。换言之，拦门沙一年中约有 20 天的时间处于有可能导致冲刷或淤积的活动状态，泥沙出现强烈活动状态的时间仅有 3 天。由此不难推测，拦门沙区单纯由海浪引起的泥沙运动时间不长，数量不大，因而拦门沙本身比较稳定。拦门沙航道除特大风浪有可能出现骤淤外，一般不可能出现大规模剧烈的泥沙运动，不会发生大量的泥沙淤积。

根据地形对比和海浪、海流输沙的计算结果¹⁾，认为航道的冲淤模式是：夏半年淤积，冬半年冲刷；南段淤积，北段冲刷；全年合计略有冲刷或接近平衡。年淤积量平均为 2.0—3.0 万 m^3 ，如考虑由多年一遇的南向大风浪的影响而出现的淤积，估计其淤积量一般不超过 10 万 m^3 。

四、对拦门沙航道疏浚后回淤预报的检验

拦门沙航道于 1978 年 9 月正式挖通，1979 年又进行一次扫浅挖泥，其设计尺度为：深 6.5m，底宽 80m，边坡 1:10。实际上绝大部分浚深已达到或超过 7.0m。经广州航道局的监测，自 1979 年 9 月至 1981 年 4 月的回淤量如表 4 所示。

1) 中国科学院海洋研究所等，1978。防城港“拦门沙”航道试挖前后泥沙冲淤状况的调查报告。

表4 拦门沙航道浚深至6.5m深后监测回淤量计算表

	区 段	北 段	中 南 段	合 计
调查报告分段	1979.9—1981.4 淤积量 (m^3)	50300	34800	85100
	年平均淤积量 (m^3)	31768	21979	53747
	年平均淤积厚度 (m)	0.28	0.20	0.24
以2号灯标为界分段	1979.9—1981.4 淤积量 (m^3)	114300	36300	150600
	年平均淤积量 (m^3)	72189	22926	95116
	年平均淤积厚度 (m)	0.32	0.12	0.23

从表上可以看出,在调查报告预测的 22.5 万 m^2 (长 1500 m , 宽 150 m) 范围内 (图 11), 年回淤量为 5.4 万 m^3 左右, 平均淤积厚度为 24 cm/yr , 如航道延长到 2800 m (比原预测范围延长 1300 m), 则其年回淤量为 9.5 万 m^3 , 平均淤积厚度为 23 cm/yr , 这一数量与原预报的回淤量“一般不超过 10 万 m^3 ”是接近的。可是, 原预报的南淤北冲的冲淤模式与实测结果不符。以 2 号灯标为界, 南段的回淤速度实际比北段大 1.7 倍, 按原报告的分段也大出 0.4 倍。其原因可能是: (1) 对浚深后潮流流速的分布预报不准, 从而对航道北段潮流的冲刷作用估计过大; (2) 海浪破碎水深值计算偏大, 因而对海浪输沙可能越过拦门沙脊部在航道北段进行淤积的可能性估计过低。据作者计算, 拦门沙区波浪破碎水深如图 10 中曲线 d_0 所示, 波浪在拦门沙附近破碎的机率很少, 因此在海浪作用下泥沙被推移越过拦门沙脊部进入北段淤积是完全可能的。

五、结 束 语

防城港拦门沙是防城河古三角洲的组成部分, 它是在全新世中期海侵过程中, 由防城河古三角洲上堆积体演化而成, 其泥沙来源于防城河早期的输沙。之后随着海侵的发展, 河口后退。目前防城河的输沙对拦门沙基本上没有影响。拦门沙航道的淤积主要来自两侧浅滩的泥沙在海流和潮流作用下的再搬运。计算表明, 海浪对拦门沙区泥沙作用的时间不长, 特别是使之发生活动的机率较少, 故可认为拦门沙航道浚深后一般不会造成严重的泥沙淤积。综合海浪、潮流

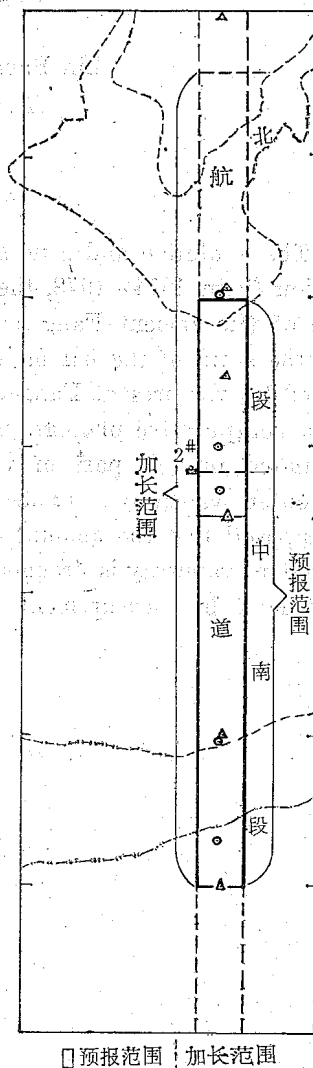


图 11 拦门沙航道冲淤量计算范围图

等因素,并考虑到大风浪的影响,其淤积量一般不超过 10 万 m^3 。因此拦门沙航道的开发前景是良好的。这个结论为防城港的扩建提供了科学依据,并为后来的实践所验证。

参 考 文 献

- [1] 尤芳湖、林国军、杨治家, 1980。防城港拦门沙航道泥沙冲淤变化规律的研究。海洋科学 1: 17
- [2] 侯和雄、肖荣祥, 1983。海岸与港湾水力学。国防出版社, 第 135 页。
- [3] Dowling, J.H., 1977。A grain Size Spectra map. *J. of Sediment. petrol.* 47(1):281—284.

STUDY OF THE SOURCE OF SAND AND THE PATTERN OF EROSION-ACCUMULATION AT THE BAR OFF THE FANGCHENG PORT*

Lin Baorun Li Fan and Zhou Tiancheng

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The evolution and sand source of the bar off the Fangcheng Port was under investigation from 1974—1978, the result of which indicated that this bar is a residue of the delta of the ancient Fangcheng River. Analysing the minerals and grain size, we found that the sand of the bar mainly came from the ancient Fangcheng River, and the sand carried by the present Fangcheng River has little effect on it. By using the methods of the comparative photographic map and calculation of wave and tide energy, silt accumulated on this part of waterway is found to be about $2.1\text{--}2.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ annually. The outer waterway is eroded in winter, and the sand again accumulated in summer. It is supposed that the amount of accumulation will be about $5\text{--}10 \times 10^4 \text{ m}^3$ annually when the outer waterway is dragged to the depth of 7 m. The above mentioned result has been confirmed by measurement from 1979—1981.

* Contribution No. 1087 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.