

文章编号:1005-9865(2002)03-0061-08

珠江口伶仃洋航道的回淤分析

陈志民¹, 蔡南树¹, 辛文杰²

(1. 广州港务局, 广东 广州 510700; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘 要:通过实测资料的统计分析,结合珠江口伶仃洋的动力地貌条件,对该航道的泥沙回淤特征进行了多方面的论证,得出回淤主要发生在航道开挖段北部、洪季淤积占全年2/3以及航道增深后回淤并未成比例增加等研究结果,指出了该航道进一步开发的前景。

关键词:航道;疏浚;回淤

中图分类号:TV147 **文献标识码:**A

Analysis on the sedimentation of the Lingdingyang channel in the Zhujiang estuary

CHEN Zhi-min¹, CAI Nan-shu¹, XIN Wen-jie²

(1. Guangzhou Harbor Bureau, Guangzhou 510700, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjin 210024, China)

Abstract: According to the statistical analysis on data from the field test, this paper presents the characteristic aspects of the channel sedimentation in the Zhujiang Estuary based on its dynamical physiognomy. The study results show that the sedimentation mainly occurs in the north of the dredged area, that the amount of sedimentation in the flood season accounts for nearly two third of the amount for the whole year, and that the amount of sedimentation does not increase proportionally after the channel deepening. This paper also gives the prospect for the further development of the channel.

Key words: channel; dredge; sedimentation

改革开放以来,广州港的吞吐能力逐年提高,目前已跻身亿吨大港行列。作为我国华南地区的主枢纽港,广州港的发展与深水航道的开发建设是紧密相关的。随着港内深水泊位的增多和国际上船舶大型化的发展趋势,广州港对提高出海航道通航等级的需求日益迫切,经过近十年的科研、设计和建设,全长115 km,底宽160 m,底标高-11.5 m的3.5万吨级航道工程已全线竣工^[1]。深水航道的开通大大提高了船舶的通过能力,进一步促进了广州港的发展。

珠江三角洲以及华南地区经济的蓬勃发展对广州港的吞吐能力不断提出新的要求。利用深水泊位接卸大型船舶,有利于降低水运成本,提高港航部门的经济效益。因此,进一步浚深航道,提高通航能力,对社会物流需求和促进区域经济发展都是非常必要和十分迫切的。广州港出海航道的主要浅段在虎门外伶仃洋的北部水域,本文通过对该段航道一期工程的回淤分析,探讨其分布特征和影响因素,为航道的进一步开发提供科学依据。

1 伶仃洋概况

1.1 地形地貌

伶仃洋是珠江口东部四个口门(虎门、蕉门、洪奇沥和横门)注入的河口湾。湾型呈喇叭状,走向接近NNW-SSE方向,湾顶(虎门口)宽约4 km,湾口(澳门至香港大濠岛之间)宽约30 km,纵向长达72 km,水域

收稿日期:2001-09-13

作者简介:陈志民(1954-),男,广东东莞人,工程师,主要从事港口规划和管理工作的。

面积超过 2 000 km²(见图 1)。

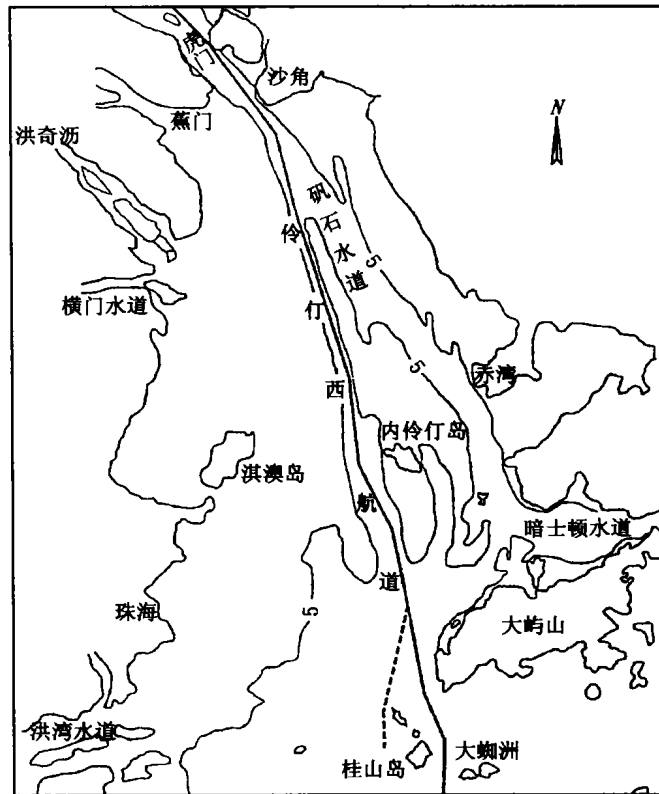


图 1 伶仃洋河口湾形势

Fig. 1 The location of the Lingdingyang estuary

伶仃洋湾顶由沙角和大角山对峙形成峡口,湾口面对万山群岛天然屏障。东部沿岸多湾,由北往南有交椅湾、大铲湾、深圳湾;西岸由北往南多滩,蕉门、洪奇沥和横门的出口附近堆积着许多浅滩;中部有淇澳岛和内伶仃岛扼守湾腰,东南有暗士顿水道经香港的汲水门入维多利亚港,西南有洪湾水道与磨刀门河口相通。

伶仃洋的水下地形具有西部浅、东部深和湾顶窄深、湾腰宽浅、湾口宽深的分布特点,以“三滩两槽”为基本格局,三滩指西滩、中滩和东滩,两槽指西槽(伶仃水道)和东槽(矾石水道-暗士顿水道)。

1.2 上游来水来沙

珠江水系的水量十分丰富,据分析^[2],进入河口区的多年平均径流量为 9 542 m³/s,多年平均径流总量为 3 020 亿 m³,经虎门、蕉门、洪奇沥和横门注入伶仃洋的年径流总量为 1 670 亿 m³,占珠江年总径流量的 55%。尽管珠江属少沙河流,由于水量大,每年进入河口区的悬移质总输沙量达 3 664 万 t,占珠江水系进入河口区悬移质总输沙量的 41%。与径流相比,珠江水系年输沙量的季节变化更为显著,汛期(4~9 月)多年平均输沙量占全年的 92%,沙峰与洪峰出现时间基本一致。

伶仃洋西部水域受蕉门、横门和洪奇沥三大口门来水来沙直接影响,东部水域主要接纳虎门来水来沙及蕉门部份水沙,虎门的径流量比较大,占四大口门年径流总量的 35%(年径流总量 578 亿 m³),而悬移质输沙量则比较小,仅占四大口门年输沙总量的 27%(年输沙总量 995 万 t)。伶仃洋上边界四大口门的多年平均水沙分配情况见表 1。

表 1 伶仃洋上边界四大口门水、沙分配表

Tab. 1 Distribution for water and sand of 4 estuaries at the upper boundary

项目	虎门	蕉门	洪奇沥	横门	合计
年径流量/亿 m ³	578	541	200	351	1 670
占四大口门/%	34.6	32.4	12.0	21.0	100
悬沙输沙量/万 t	995	1 323	48.9	857	3 664
占四大口门/%	27.2	36.1	13.3	23.4	100

1.3 潮汐与潮流

伶仃洋的潮汐受南海潮波系统控制,属不正规半日混合潮类型。当潮波从外海传入伶仃洋河口湾时,由于喇叭状湾型的收缩作用,形成潮汐能量的沿程积聚,潮差从湾口向湾顶逐渐增大。东部自然水深较大,潮汐作用强,西部受河口径流影响,潮势较弱,故东岸潮差大于西岸(见表2)。从该表可以看出,位于湾腰中部内伶仃岛的年平均潮差为1.34 m,与东岸赤湾的潮差(1.37 m)相近,但明显大于西岸金星门的潮差(1.10 m)。湾顶上游深槽区大虎站年平均潮差(1.69 m)与东岸太平站的潮差(1.70 m)相近;但湾顶下游不远处舢舨洲的潮差(1.64 m)明显大于西侧蕉门的潮差(1.34 m)。由此可见,伶仃洋深槽区与东岸之间潮差变化较小,而深槽区至西岸的潮差衰减比较快。

表2 伶仃洋的潮差变化

单位:m

Tab. 2 The tidal change of Lingdingyang

(unit:m)

	西 岸			深 槽 区			东 岸	
	金星门	横门	蕉门	内伶仃	舢舨洲	大虎	赤湾	太平
年平均潮差	1.10	1.08	1.34	1.34	1.64	1.69	1.37	1.70

同潮汐一样,伶仃洋的潮流也属不正规半日混合潮流类型,即一个太阴日里潮流有两次涨落。虽然潮差不大,但河口湾喇叭状幅聚形态和湾顶(虎门)上游巨大的纳潮容积,潮流动力仍然比较强劲。受岸线边界的约束,湾腰以北水域的潮流基本以往复流形式运动,涨潮流向偏于西北,落潮流向偏于东南;内伶仃以南开阔水域由于横比降的作用以及受汉道分流的影响,潮流形态介于往复流与旋转流之间变化。湾内涨潮平均流速一般为0.4~0.5 m/s,落潮平均流速约在0.5~0.6 m/s之间。东槽涨潮势力较强,枯季尤为明显,西槽落潮动力占优,汛期更为突出。无论涨潮还是落潮,湾内纵向流速分布均呈由湾口向湾顶逐渐增大的特点。

1.4 泥沙特性

伶仃洋水体的含沙量具有深槽小、浅滩大,西部高、东部低,汛期水浑、枯季水清等主要分布特征,年平均含沙量一般在0.1~0.2 kg/m³之间。床沙组成具有中滩粗、边滩细,湾顶附近较粗、湾口一带较细的分布特点,航槽和下游深水区的床沙中值粒径一般在0.005~0.01 mm之间,西滩和东滩大部分地区的底质中径也在0.01 mm以下,但在蕉门口、横门口以及交椅沙、公沙、拦江沙等处河床质明显粗化,中值粒径一般在0.1~0.5 mm之间。

伶仃洋的冲淤变化具有汛期在湾腰拦门沙段淤积、湾口和湾顶附近冲刷,枯季则发生两端淤积、中部冲刷的季节性特征,但自然冲淤率一般都很小,据研究^[3],伶仃洋西滩的自然沉积率约为2~5 cm/a,东滩沉积速率仅为1 cm/a左右,湾内平均沉积率在1.5~2.5 cm/a之间,属于微淤的稳定河势。

1.5 出海航道概况

广州港出海航道自伶仃洋湾口附近的桂山锚地,经榕树头水道、伶仃航道、川鼻航道、大虎航道、坭洲头航道和莲花山东航道至黄埔新港,全长约115 km。航道全线主要有两个浅段,即虎门内的莲花山浅段和虎门外的伶仃洋浅段。伶仃航道自1959年开通后,航道维护尺度为底宽150 m,底标高-6.9 m,可通航万吨级船舶。1979年拓宽浚深至底宽160 m,底标高-8.6 m,为2万t级航道。

广州港于1989年开始进行3.5万t级航道工程的规划实施,自1996年6月至1997年12月完成了预备工程(底标高-10.5 m)的施工,从1998年11月开始一期工程(底宽160 m,底标高-11.5 m)的施工,到2000年8月,该航道已按设计水深全线贯通。

在伶仃航道一期工程(包括预备工程)竣工后的维护阶段,有关部门在主要开挖段进行了多次地形检测,为航道回淤分析和泥沙数模研究提供了必要的基础资料,也为该航道的进一步开发积累了重要的技术依据。

2 航道浚深后的回淤分析

2.1 工程概况

广州港出海航道一期工程分虎门内(二标)和虎门外(一标)两大标段。一标段由川鼻航道、伶仃航道北段和伶仃航道南段组成,全长87.5 km,其中疏浚段总长58.6 km,不连续地分布在上述各航道区段内。一期工程疏浚土的处理分陆抛和水抛两种方式,在伶仃航道北段采用二次吹填方式,由挖泥船把疏浚土卸入蓄泥

坑,再泵送至矸沙围垦区;南段则利用淇澳岛东北和东南两个抛泥区实施水下抛卸。

2.2 航道检测情况

出海航道预备工程在1998年1月至6月间基本处于扫浅维护阶段,一期工程的一标段(伶仃航道)自1999年8月至2000年8月这一年期间也基本没有连续的施工活动。因此,对这两个时段的航道进行地形检测可以获得回淤分析所需要的水深变化资料。地形检测范围在伶仃航道北段长约40 km航段内(施工桩号kp0+000—kp40+000,见图2),资料包括:预备工程浚后的航道水深(1997年12月)和竣工验收时的航道水深(1998年6月);一期工程浚后航道水深(1999年8月)和一年后的航道水深(2000年8月);工程不同进度阶段的航道水深(2000年1、4、7月)。另外还对一期工程航道的部分断面进行了逐月的地形检测,时间从1999年8月至2000年8月。

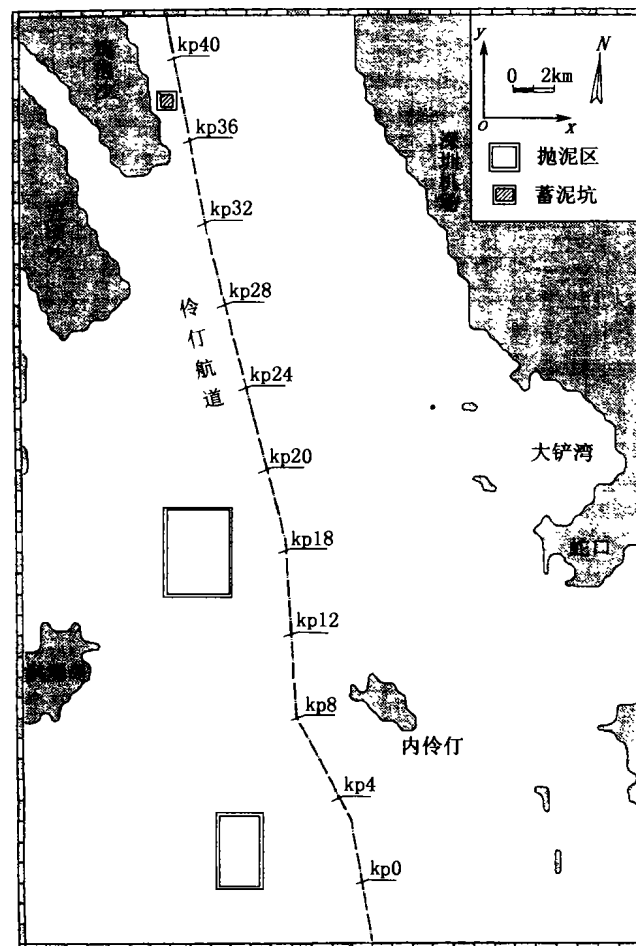


图2 广州港出海航道一期工程伶仃洋航道开挖段桩号及抛泥区位置示意

Fig. 2 The peg number and disposal area location of Lingdingyang channel for the 1st-stage project of the outgoing channel of Guangzhou harbour

2.3 回淤特征分析

2.3.1 预备工程竣工后的航道回淤

根据资料统计,预备工程基建疏浚完成后的半年时间内,伶仃航道的回淤量约为181万 m^3 。从图3中可以看出,回淤主要集中在kp31+500—kp39+500航段,该段的回淤量占到总回淤量的43%左右。而在kp3+500—kp15+000和kp22+500—kp31航段回淤则明显较小,个别断面甚至没有淤积的迹象(如kp12+500处)。

从表3中航道逐月回淤结果的统计来看,预备工程实施后,伶仃航道回淤的季节性变化十分明显,回淤主要集中在4~6月春汛期间,这一时段的回淤量占到半年回淤总量的78%(图4)。

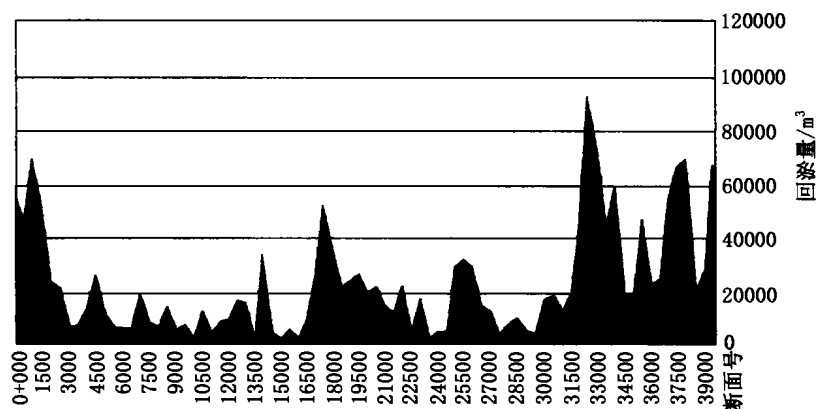


图3 伶仃航道预备工程半年回淤量沿程分布(1997.12~1998.6)

Fig. 3 Sedimentation distribution in the cross section of Lingding channel in the preparation project for half a year (1997.12~1998.6)

表3 伶仃航道预备工程实施后逐月回淤统计 (m³)

Tab. 3 Monthly sedimentation statistics after completion of the preparation project (unit: m³)

月份	1998.1	1998.2	1998.3	1998.4	1998.5	1998.6
回淤量	84 802	104 790	201 663	446 392	435 853	539 900

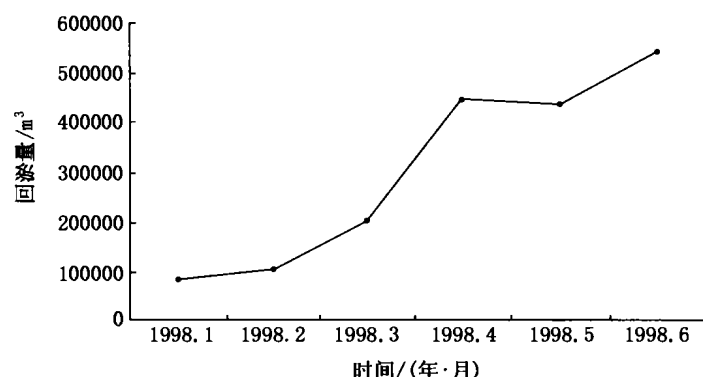


图4 伶仃航道预备工程回淤量逐月变化分布(1997.12~1998.6)

Fig. 4 Monthly sedimentation variation in the cross section of Lingding channel in the preparation project (1997.12~1998.6)

2.3.2 一期工程扫浅阶段的航道回淤

1999年8月以后,伶仃航道一期工程进入扫浅和维护阶段。据统计,经过一年时间(至2000年8月),伶仃航道的回淤总量约为393万m³。回淤的泥沙约有50%集中在kp30—kp40航段,最大淤强出现在kp38+500至kp40断面;桩号kp0—kp7航段和kp16—kp27航段的回淤也比较明显,分别占回淤总量的19%和25%;而在桩号kp8—kp15和kp27—kp30航段,回淤量则明显较小,个别断面(如桩号kp13和kp29处)的回淤甚至接近于零。在一期工程竣工前的一年维护期内伶仃航道各段的回淤量分布如图5所示。

表4给出了一期工程维护期间伶仃航道北段2km段逐月回淤量的统计结果。从表中数据的变化分布可以看出,该段航道的回淤大小与季节变化有比较明确的对应关系,4月至9月回淤量明显增大,其中7、8两个月(洪水期)的回淤最为严重,4、5月份(春汛期间)的回淤也比较大,而在枯水季节的11、12月及翌年的1、2月间,几乎没有什么淤积发生(见图6)。

表4 伶仃航道北段(kp33+500—kp35+500)逐月回淤量统计 (10⁴ m³)

Tab. 4 Monthly sedimentation statistics in the north area (kp33+500—kp35+500) of Lingdingyang channel (unit: 10⁴ m³)

月份	1999.09	1999.10	1999.11	1999.12	2000.01	2000.02	2000.03	2000.04	2000.05	2000.06	2000.07	2000.08
回淤	5.54	2.44	0	0	0.22	0.22	2.0	5.98	5.76	2.00	3.99	7.31

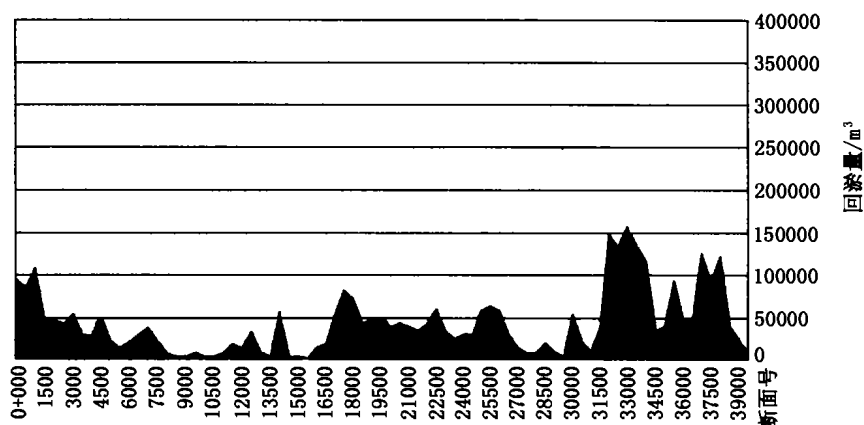


图 5 伶仃航道一期工程一年回淤量沿程分布 (1999.8 - 2000.8)

Fig. 5 Sedimentation distribution in the cross section of Lingding channel in the 1st-stage project for a year (1999.8 - 2000.8)

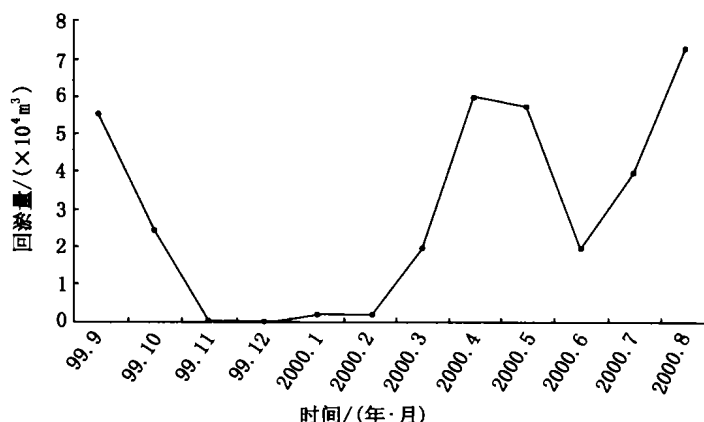


图 6 伶仃航道一期工程一年回淤量逐月变化分布 (1999.8 - 2000.8)

Fig. 6 Monthly sedimentation variation in the cross section of Lingding channel in the 1st-stage project for a year (1999.8 - 2000.8)

2.3.3 航道检测断面的地形变化

施工部门在基建疏浚基本完成后,对部分航道断面进行了为期一年的逐月地形测量。图 7 绘制了 kp36、kp36 + 500、kp37 和 kp37 + 500 四个检测桩号航槽底高程的断面分布情况,从图中代表不同时间和位置的底边线走势中可以发现:

- 1) 航道底高程的突变主要发生在洪水季节(7、8、9月);
- 2) 航槽淤积地形的横向分布一般都是西侧大于东侧;
- 3) 航道底高程的淤高幅度北段大于南段。

2.4 回淤因素分析

2.4.1 伶仃洋潮流泥沙运动的季节效应

由于伶仃航道北段所在的伶仃洋西槽洪季为落潮优势流所控制,含沙量较高,必然会给开挖后的航槽带来较多的泥沙回淤,这是伶仃航道在预备工程和一期工程实施后洪季回淤量明显大于枯季的主要环境因素。洪季伶仃洋湾中部趋于淤积,湾顶和湾口附近趋于冲刷;枯水期则呈两端淤,中部冲的趋势,这与伶仃航道北段的回淤随季节变化的情况是相吻合的。

2.4.2 动力地貌与淤积分布的对应关系

伶仃航道开挖段北段上接川鼻深槽,西侧紧邻万顷沙垦区,来自虎门、蕉门和洪奇沥的下泄水沙首当其冲地对这段航道的地形塑造产生直接影响。实测资料反映在 kp31—kp39 航段的泥沙回淤比较突出,与相邻水域的边界地形关系密切,川鼻深槽是由虎门的落潮喷射流所塑造的典型冲刷槽,水流挟沙能力很强,分流进入伶仃航道后,流势减弱,悬沙沿程落淤;由蕉门和洪奇沥下泄的挟沙水流,进入西滩浅水区后发生扩散,形成侧向沙源影响航槽。位于伶仃岛西侧的航段(桩号 kp8—kp12),由于受到岛间峡口水流压缩效应的作

用,航槽内的回淤则极其轻微;而在其下段(桩号 kp0—kp7)则因水流扩散的原因,导致航道的回淤有所增大。另外,在 kp20 桩号附近航槽的回淤量比较大,从伶仃洋湾形方面分析,主要是这一带的水面宽度较大,潮流动力相对较弱的缘故。

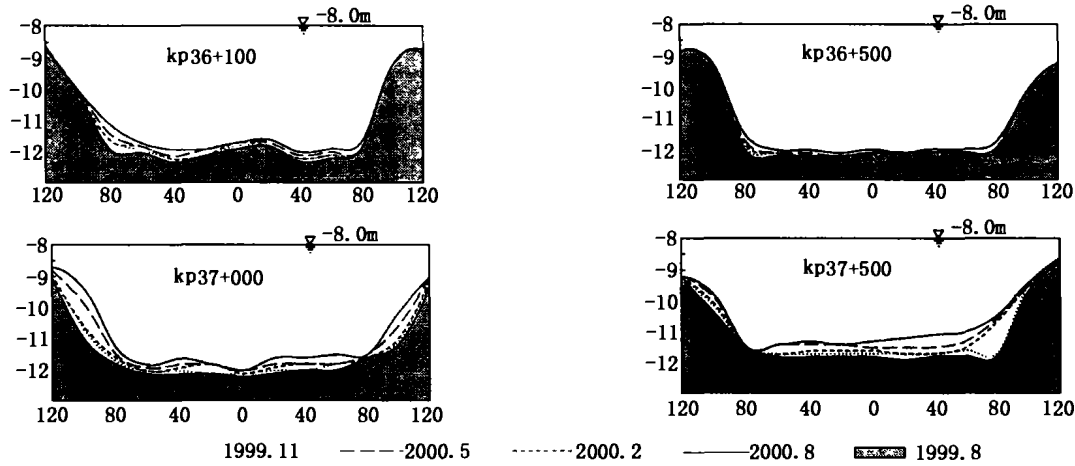


图7 伶仃航道一期工程开挖段部分检测断面底高程年内变化

Fig.7 Bed elevation variation of test cross sections at the dredged area in the 1st-stage project of Lingding channel

2.4.3 西滩水沙环境对航道的影响

由于伶仃航道北段紧邻西滩,而西滩是蕉门、洪奇沥和横门与伶仃洋相互沟通的过度区,径流来沙丰富,浅水动力复杂,泥沙输运活跃,其滩槽水沙的交换对邻近航道的回淤有比较敏感的影响。实测资料中航槽西侧的淤积比东侧更大一些,应当与西滩的水沙环境有一定关联。

2.4.4 航道底质分布与回淤分布的关系

从勘测部门绘制的“伶仃航道地质剖面示意图”(图8)中可以发现,在桩号 kp0—kp36 范围内,大部分航槽为淤泥层所覆盖,但在 kp22—kp25 航段和 kp27—kp29 航段则有部分淤泥质粘土层。由于粘土层活动性不强,河床相对比较稳定,土质的不同反映在这两段航道的底高程变化比邻近航段要小一些。

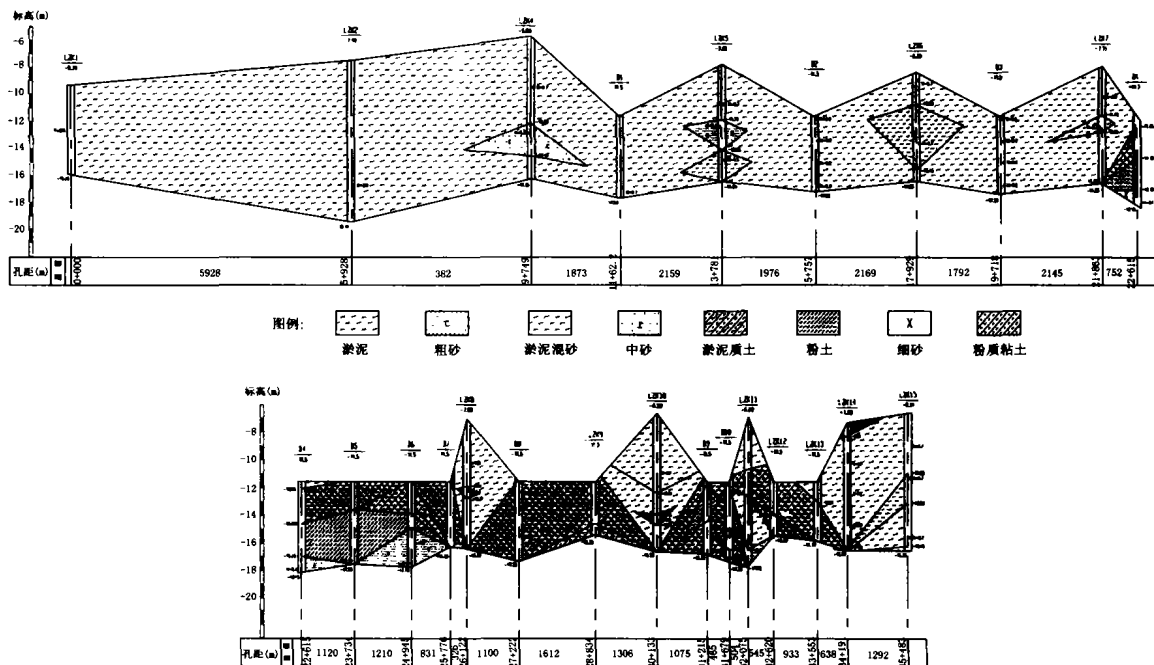


图8 伶仃洋地质剖面示意图

Fig.8 Sketch of geological sections of Lingdingyang

2.4.5 其它人为因素的影响

根据现场调查获悉,施工期间有民船在北段航道的东侧挖沙,有可能导致邻近航槽的回淤增大。另外,作为二次吹填中转站的蓄泥坑距航道北段较近,施工抛泥所形成的局部浑水团会随潮流进入邻近的航槽内落淤,这也是伶仃航道北段实测回淤量较大的原因。

3 航道开发的展望

调查研究的分析成果表明,强劲的潮流、随季节而变的径流和高盐陆架水的掺混是控制伶仃洋水沙运动的主要动力,较低的含沙量和粘性泥沙的絮凝特征是影响伶仃洋冲淤演变的重要因素。从动力地貌环境和水沙分布特性来看,伶仃洋是一个纳潮量大、含沙量低、径流充沛、河势稳定的潮流型河口湾,“三滩两槽”的地貌格局近百年来基本保持不变。因此,在该河口湾开发深水航道,其自然条件是十分优越的。

伶仃洋航道自 1959 年开通以来的四十年间,航道底标高由最早的 -6.9 m (万吨级航道)浚深至 -8.6 m (2 万吨级航道),继而又增深至 -11.5 m (3.5 万吨级航道)。在通航等级不断提高的情况下,航道的泥沙回淤并未出现大幅增加的 trend,也未发生过严重的骤淤,通过一般性维护即可保障该航道的正常水深。实践表明,伶仃洋航道具有进一步开发的可能。航道一期工程的回淤分析表明,主要回淤段集中在开挖段的局部区域内,且该段的回淤强度最大也没超过 1 m ,继续浚深后回淤也不会很严重。

4 结 语

通过上述分析,对伶仃洋航道的回淤情况可得出如下几点认识:

1) 伶仃洋海域的潮流为往复流,涨、落潮主流与航槽走向基本一致,洪季落潮流占优,枯季涨潮流较强;含沙量洪季明显大于枯季,涨潮期略大于落潮期,航道内的单宽输沙率在洪季沿程起伏较大,枯季则变化相对平缓。

2) 伶仃航道一期工程的年回淤量在 $360\text{ 万 m}^3/\text{a}$ 左右,平均淤厚约为 0.47 m/a 。航道回淤主要发生在洪水期,回淤量约占全年的 $2/3$ 。回淤的纵向分布主要受沿程水沙环境调整的影响,最大淤积区发生在航道北部的开挖段内。

3) 伶仃洋航道的泥沙回淤具有多样性和一致性的分布特点,多样性反映在空间的波动、季节的差异以及环境影响的复杂性方面;一致性表现为航道回淤的时空分布在不同的工程阶段具有类似的变化趋势。掌握上述规律,对该航道回淤预测的研究是很有帮助的。

4) 工程实践情况表明,近十年来伶仃航道的底标高由 -8.6 m 增至 -10.5 m ,再由 -10.5 m 增至 -11.5 m ,泥沙回淤并没有出现成比例加大的现象,也没有发生过严重的骤淤,而是处于缓慢增加的趋势,它预示了该航道的进一步开发是完全有可能的。

参考文献:

- [1] 蒋睢耀,林光裕.伶仃洋 3.5 万吨级航道开发选线问题的研究[A].内河航道整治工程技术交流大会文集[C].北京:人民交通出版社,1998.
- [2] 徐君亮,罗章仁,王文介,等.珠江三角洲河道港湾发育演变与港口合理布局[M].北京:海洋出版社,1993.
- [3] 陈耀泰.珠江口现代沉积速率与沉积环境[J].中山大学学报(自然科学),1992,31(2):