

港珠澳大桥通航水域航道演变分析

应 强¹, 辛文杰¹, 袁胜英²

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 福建海峡建筑设计规划研究院, 福建 福州 350003)

摘要: 从3个方面分析了港珠澳大桥桥位附近航道演变情况, 首先针对伶仃洋河口湾径流的水沙条件、桥位附近的潮流、潮位等基本特征进行分析, 以确定桥位附近滩槽演变的特点和趋势; 其次对桥位附近试挖槽的实测资料进行了分析, 确定试挖槽在不同季节的回淤强度及挖槽边坡随时间的变化情况; 最后比较了桥位附近航道不同时期测图的断面和容积的变化, 分析了桥区附近的航道演变情况及演变趋势, 分析结果表明各航道均处于相对稳定状态。

关键词: 海床演变; 港珠澳大桥; 伶仃洋

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2012)02-0097-07

港珠澳大桥位于伶仃洋南部海区, 跨越珠江口伶仃洋, 连接香港、珠海和澳门三地, 拟建桥区西侧海床主要位于西部浅滩的下部, 内有九洲港航道、江海直达船航道和青洲航道; 桥区东侧水深较大, 内有伶仃航道、铜鼓航道, 上游不远处是中部浅滩(矾石浅滩)的下缘(见图1)。

1 水文特性分析

1.1 来水来沙条件

图2为1980年以来进入伶仃洋(西江高要站资料)的年径流量和年输沙量变化, 图示表明虽然各年的流量不等, 但年际间总的趋势变化不大, 而输沙量由于河道内人工取沙、上游植被保护、水利工程拦沙等因素的综合作用, 使得输入河口的泥沙呈减小趋势^[1-2]。

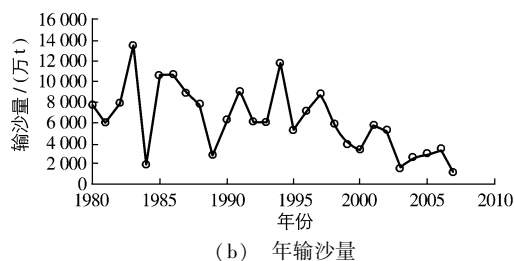
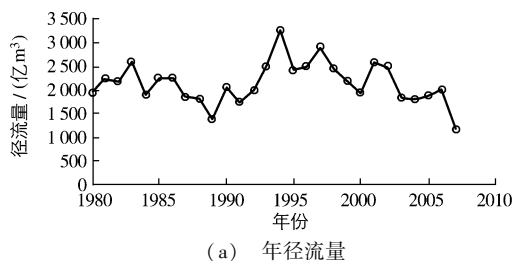


图2 西江高要站年径流量、输沙量变化

Fig. 2 Variations in annual runoff and sediment load at the Gaoyao station, Xijiang River

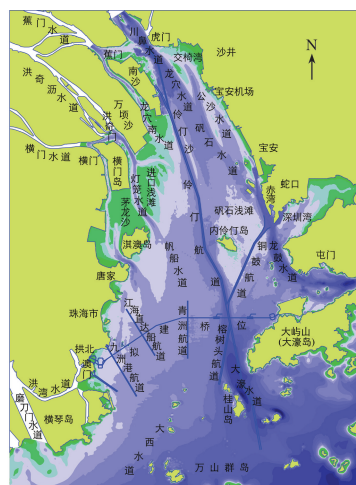


图1 伶仃洋航道与港珠澳大桥关联示意图

Fig. 1 The connection diagram of the Lingdingyang bay and Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

收稿日期: 2011-11-25

作者简介: 应 强(1963-), 男, 浙江永康人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事航道整治方面的研究. E-mail: qying@nhri.cn

1.2 桥区潮流

桥位附近水域内涨落潮以往复流为主,且与所在的航槽走向一致(图3),反映了地形与水流的相互作用关系;桥位东侧的流向较为一致,桥位西侧的流向较为发散;落潮流速的流向较为一致,涨潮流速的流向较为发散;大、小潮相比,大潮的涨落潮流向一致性较好,小潮流向的发散性较大.实测资料表明:最大流速为136 cm/s;桥位附近11个测点的全潮落潮平均流速为21~70 cm/s;涨潮平均流速为25~58 cm/s.洪季时桥位附近水域内涨落潮仍以往复流为主,大潮时流速较大,小潮时则较小^[3-4].

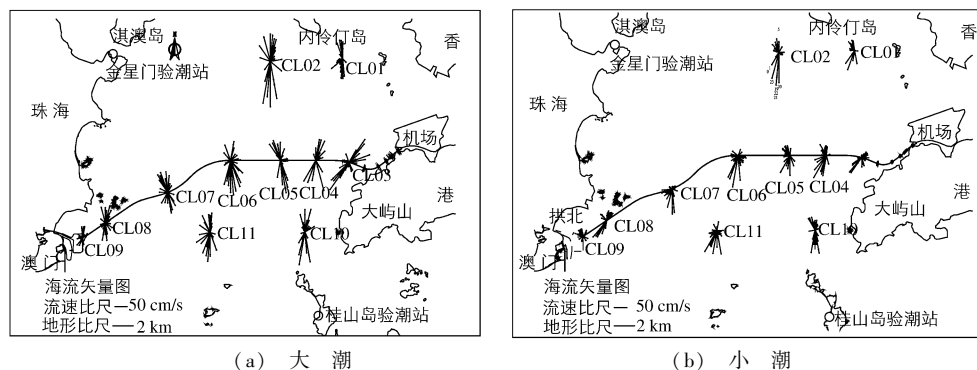


图3 桥位断面洪季流速流向平面分布

Fig.3 The velocity and direction of the tide in flood season near the bridge

1.3 桥区含沙量和西滩淤积强度

桥位附近水体的含沙量很小,3个测次中,平均涨、落潮含沙最大值不到 0.3 kg/m^3 ,2个大潮过程相比较,枯季水体含沙量较小;同为洪季,大潮含沙量大于小潮含沙量;在同一测次中,不同测点水体的含沙量也有较大差别^[5].由于桥位所在海区离河口较远,此处海床以悬沙淤积为主,2009年的床面泥沙粒径约0.005 mm.比较了西滩上桥轴线及其上游950 m处两个断面在2004年及2008年地形变化,得出4 a来水深减小了0.016 m,说明桥位附近河床每年淤积0.4 cm左右.

1.4 桥区海床演变

选取1954年,1964年,1974年,1989年,1998年,2001年,2004及2009年海图对工程海区的近期滩槽演变进行比较分析.图4为5 m等深线变化,可见,靠西部海区边缘的基本没有变化;但西部浅滩靠伶仃水道的向下沙体则有所发展,主要表现为沙体向下(南)延伸.1998年,2001年和2009年的5 m等深线下延均已穿过桥位线;介于伶仃航道与铜鼓西航道间的矾石浅滩尾端5 m等深线没有明显的变化,但其东侧铜鼓东、西航道间的5 m等深线有一定的上移趋势(上移约1 km),而其另一侧的等深线变化不大,说明铜鼓浅滩有萎缩态势^[5-8].

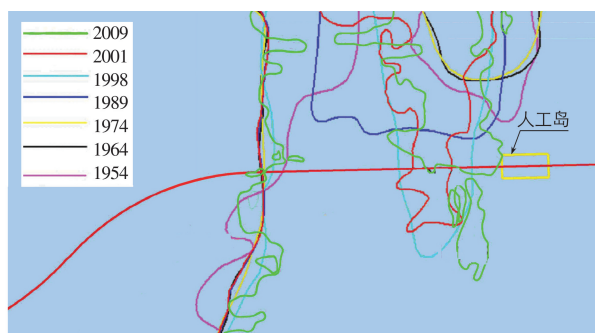


图4 5 m等深线

Fig.4 5 meter isobath

2 大桥试挖基槽回淤分析

2.1 试挖槽位置与边坡设计

试挖槽选择在桥隧人工岛西岛东侧海床平均标高-9.5 m的水域(图5(a)),槽底宽21 m,槽底长100 m,槽型为东西走向(与隧道轴线一致),挖深至底标高-21 m,相对开挖深度平均为11.5 m.试挖槽边坡比分别取1:5,1:6(南侧)和1:8,1:10(北侧),东西两端纵向边坡比则均取1:10(图5(b))^[3].

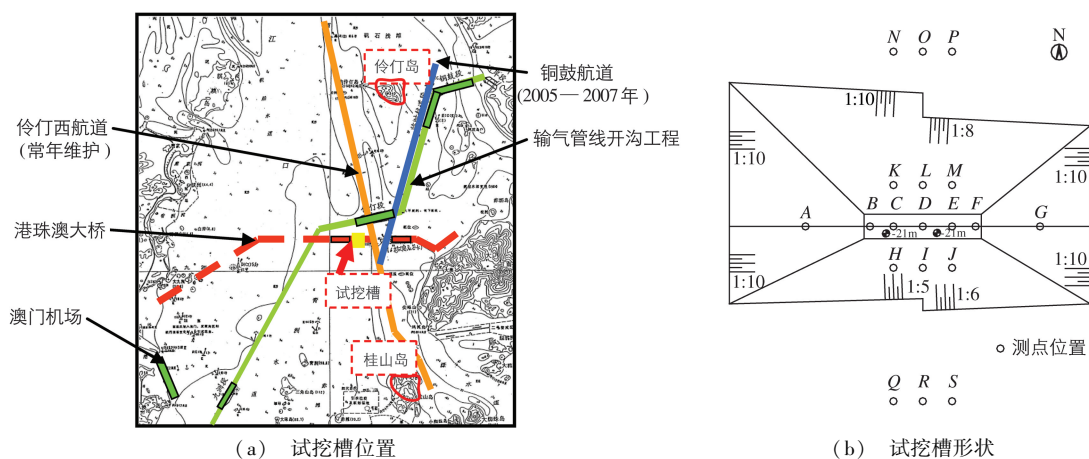


图5 试挖槽位置和形状

Fig. 5 Position and shape of the test trench

2.2 试挖槽水深测量

试挖槽自2009年2月完工以来,至2009年10月13日,共进行了17次试挖槽水深测量,测量采用多波束和双频测深仪,典型试挖槽测量地形见图6,根据各次间水深变化可以计算出试挖槽内的回淤量。按测量时间,将其分为3类:前9组(从2月6日到5月8日)代表春季3个月冲淤情况,中间5组(从5月8日到8月8日)代表夏季3个月冲淤情况,后3组(从8月8日到10月13日)代表秋季2个月冲淤情况。

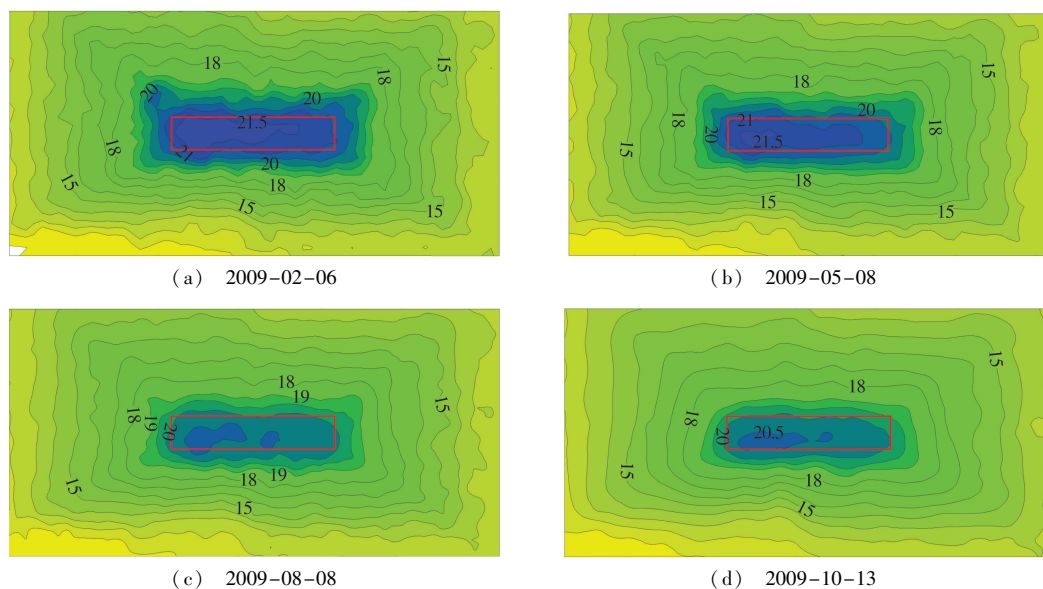


图6 不同时间试挖槽实测地形

Fig. 6 The measured terrain of the test trench at different times

2.3 试挖槽回淤分析

2.3.1 槽底高程回淤变化 以基槽为中心,延伸成东西向300 m,南北向150 m的矩形区域,采用5 m等距剖分出1 800个正方形网格(60×30),进行水深数据读取。水深数据采用多波束测量资料,共16个测次,基面以最低理论潮面起算。将各次得出的平均水深点绘出随时间变化的关系曲线,同时也对槽内最大水深和最小水深点进行了统计(图7)。

(1)试挖槽刚成槽时(2月6日,见图6(a))的实测资料表明,断面形状与设计基本符合,基槽被-21 m

等深线全覆盖,超过-21.5 m 的水深亦占了基槽约 2/3 区域,表现为槽西侧较深,东侧较浅. 经过 7 个半月的水沙作用,虽然槽底整体淤高,但仍保持西侧较深,东侧较浅状态(10 月 13 日,见图 6(d)),说明槽底淤积较为均匀.

(2) 经历春、夏、秋季 8 个月后,槽型保持完整,槽内平均淤厚 1.23 m (含浮泥层 0.29 m),月均淤强汛前为 0.13 m/月,汛期为 0.23 m/月,汛后为 0.06 m/月,表明大桥隧道区开挖后泥沙回淤比较轻微.

2.3.2 试挖槽回淤过程中边坡变化分析 对图 5(b)中的 3 个剖面进行了边坡变化分析,其中 A-A 和 B-B 剖面位于涨落潮方向,A-A 剖面两侧边坡为 1:10 和 1:5,B-B 剖面两侧边坡为 1:8 和 1:6,C-C 剖面为试挖槽长轴,与 A-A 及 B-B 垂直,两侧边坡均为 1:10. 图 8 为 3 个断面两侧边坡的在 2 月 6 日、5 月 8 日、8 月 8 日及 10 月 13 日的坡面变化情况,采用最小二乘法求得图中各次坡面的坡比,汇总于表 1 中. 由图及表可知:虽然槽底淤积较为均匀,但边坡的淤积则差别较大,挖槽南北向边坡北侧淤积较大,而南侧边坡淤积较小甚至有所冲刷;挖槽的东西侧边坡的淤积强度相近,西侧边坡较东侧边坡略大;槽底一侧的边坡淤积大,滩顶一侧的边坡淤积小.

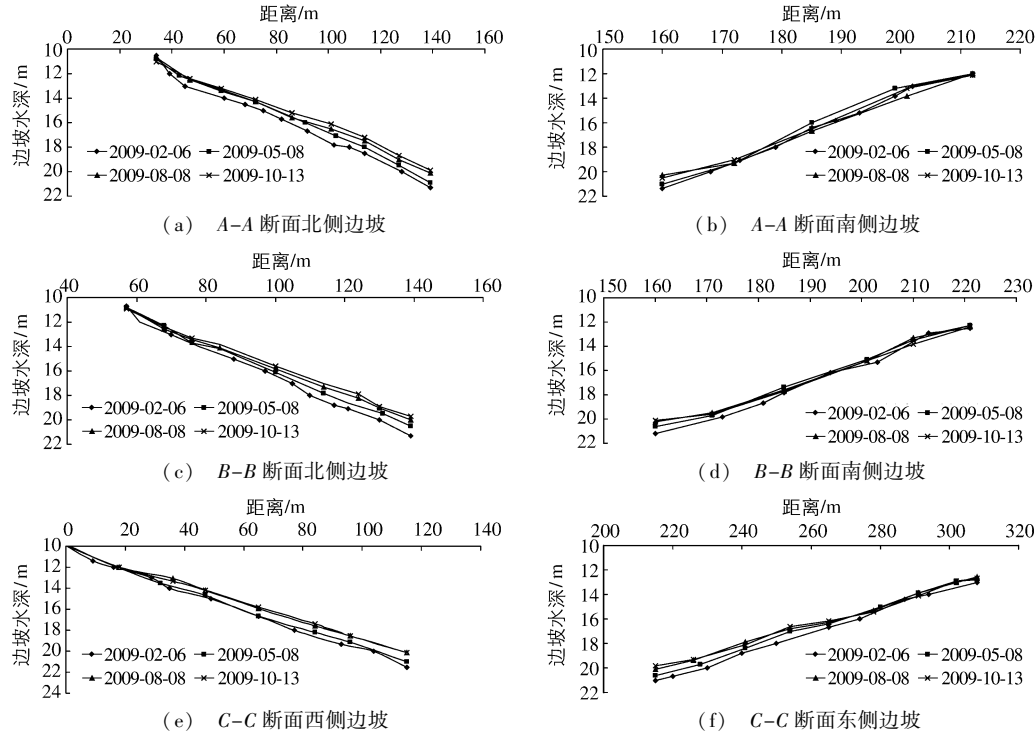


图 8 3 个断面的两侧边坡变化
Fig. 8 The slope variations on both sides of 3 sections

表 1 基槽坡比历时变化

Tab. 1 The slope variation of the test trench with time

日 期	A-A 断面		B-B 断面		C-C 断面	
	北侧	南侧	北侧	南侧	西侧	东侧
2009-02-06	1 : 10.75	1 : 5.27	1 : 8.11	1 : 6.57	1 : 10.36	1 : 11.21
2009-05-08	1 : 10.98	1 : 5.43	1 : 8.63	1 : 7.01	1 : 10.62	1 : 11.46
2009-08-08	1 : 11.82	1 : 6.00	1 : 9.32	1 : 7.24	1 : 11.33	1 : 12.33
2009-09-24	1 : 12.29	1 : 5.86	1 : 9.53	1 : 7.47	1 : 11.59	1 : 12.82
2009-10-13	1 : 12.41	1 : 5.86	1 : 9.55	1 : 7.49	1 : 11.51	1 : 12.74

3 桥区航道冲淤分析

3.1 航道断面变化比较

为分析桥位附近航道的演变情况,在所研究海区附近的伶仃航道取7个断面;青洲航道取5个断面;江海直达船航道取3个断面;九洲港航道取3个断面,另加每条航道纵向剖面,总计22个断面.根据1954年以来到2009年间的8次地形测点资料,点绘了各断面所在床面的地形变化,图9为各航道纵剖面.

(1)伶仃航道:离深槽较远的西侧滩地上,冲淤变化不明显,冲淤值也不大(小于1 m),在临近深槽的西侧滩面上,变化范围在1~3 m之间,断面1~4深槽平均水深分别为12,14,14和16 m,断面5~7深槽平均水深已大于16 m.由于目前伶仃航道水深要求为15.5 m,因此在图9(a)中的2009年的等深线较其他年份低出许多,这是人工疏浚所致.近50多年来深槽过水断面变化很小,处于稳定状态;但短期(2001—2009年)看来,略呈淤积趋势^[9-10].

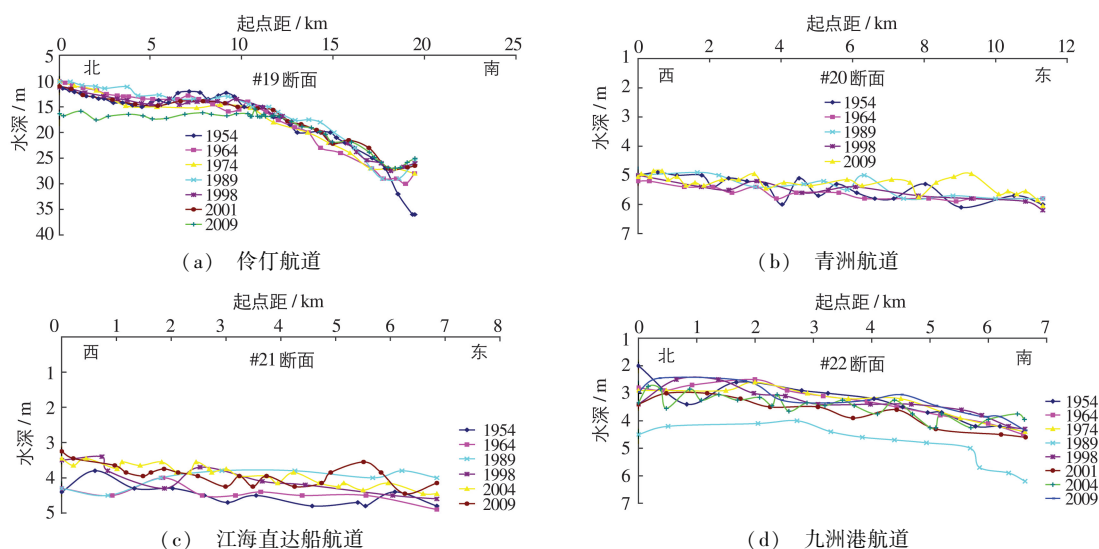


图9 各航道纵剖面

Fig.9 The profiles of four channels

(2)青洲航道:1954—1998年,各年份间的变化很小,且无单向冲淤的发展趋势,但2001年与2009年的海床淤高较为明显.1954—1998年,各断面互有冲淤,但变化不大;1998—2009年,青洲航道断面面积缩小,说明进入21世纪后,青洲航道在桥位附近呈淤积趋势,具体原因有待进一步分析.

(3)江海直达船航道:航道所在的各断面地形呈西高东低,即浅滩有一定坡度,而这一情况在1989年以来愈见明显.1954—1998年,总体来说变化不大;1998—2009年,断面面积有不同程度的缩小.说明进入21世纪后,江海直达船航道在桥位附近呈淤积趋势.

(4)九洲港航道:1989年水深较大,2009年水深较小;1954—2009年,断面面积变化不大.由于九洲港位于西滩下游侧,且航道与潮流夹角较大,各年淤积量不少,但由于每年航道疏浚,故各年间断面变化不大.

3.2 水体容积变化

在港珠澳大桥桥位所经过的九洲港航道、江海直达船航道、青洲航道、伶仃航道的交汇段以及桥位上游的伶仃航道一段、原铜鼓航道一段和矾石浅滩尾端浅滩段等划分成7个区域(见图10),对各区域历年的水体容积进行统计计算,结果见表2.

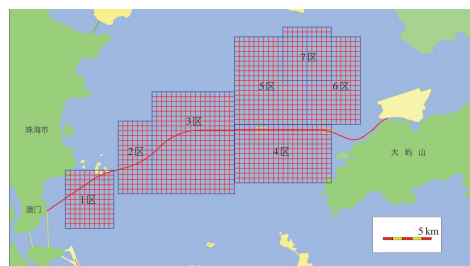


图10 桥区附近计算区域划分

Fig.10 The division of calculation region near the bridge zone

表 2 不同年份不同区域容积计算

Tab.2 The volumes in different regions in different years

 10^8 m^3

年 份	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区
1954	0.93	1.16	4.39	6.55	4.71	3.32	1.64
1964	1.01	1.18	4.59	6.71	4.71	3.15	1.41
1989	1.04	1.08	4.51	6.40	4.63	2.97	1.31
1998	0.91	1.11	4.43	6.65	4.88	3.10	1.37
2009	0.92	1.04	4.19	6.21	4.92	2.94	1.51

由表 2 可见:1 区(九洲港航道所在水域)1954 与 2009 年水域容积变化不大,两者相差仅为 1.1%,但 1989 年水域容积最大,增量为 14.3%;2 区(江海直达船航道所在水域)1954 年,1964 年,1989 年,1998 和 2009 年的容积变化是扩大和缩小相间,总体呈缩小趋势,2009 年较 1954 年容积缩小了 $0.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,变化幅度为 11.54%;3 区(青洲航道所在水域)在 1954—1964 年内容积扩大了 $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$,变化幅度为 4.36%,1964—2009 年容积逐年减小,共减小了 $0.40 \times 10^8 \text{ m}^3$,变化幅度为 9.55%;4 区(伶仃航道与铜鼓航道交汇段所在水域)容积变化呈扩大和缩小相间的状态,总体呈缩小趋势,2009 年较 1954 年容积缩小了 $0.34 \times 10^8 \text{ m}^3$,变化幅度为 5.19%;5 区(桥位上游的伶仃航道所在水域)1954—1989 年间容积有所缩小,这是此处海床淤积所致,1989—2009 年容积有所扩大,这其间有伶仃航道浚深的因素,1954—2009 年容积扩大了 $0.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,变化幅度为 4.46%;6 区(桥位上游的铜鼓航道)1954—2009 年容积呈缩小趋势,其中 1998—2009 年容积缩小与铜鼓航道改道有关;7 区(伶仃航道与钟鼓航道交汇处上方)在 1954—1989 年间容积减小,1989—2009 年间容积又逐渐增大(与伶仃航道浚深有关),2009 年较 1954 年减小了 $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,变化幅度为 7.93%,说明此处自然状态下呈淤积态势。

4 结 语

(1)1980 年以来,进入伶仃洋的来水量变化不大,来沙量明显减小;桥位附近水域内涨落潮以往复流为主,且与所在的航槽走向一致;桥位附近水体的含沙量很小,床面泥沙粒径约 0.004 mm,桥位西侧回淤量约 0.4 cm/a。

(2)试挖槽实测资料表明,在经历春、夏、秋季 8 个月后,槽型保持完整,槽内平均淤厚 1.23 m(含浮泥层 0.29 m),月均淤强汛前为每月 0.13 m,汛期为每月 0.23 m,汛后为每月 0.06 m,表明大桥隧道区开挖后泥沙回淤较为轻微。

(3)伶仃航道近 50 多年来深槽过水断面变化很小,海床处于稳定状态。短期(2001—2009 年)略呈淤积趋势;青洲航道在 1954—1998 年间变化很小,且无单向冲淤的发展趋势,但在 2001—2009 年呈淤积趋势;江海直达船航道 1954—2009 年各断面基本没有变化;九洲港航道 1954—2009 年各断面间冲淤变化不大,与人为疏浚有关。

参 考 文 献:

- [1] 应强, 辛文杰, 毛佩郁. 港珠澳大桥附近海域海床演变分析[J]. 水道港口, 2010, 31(5): 479-482. (YING Qiang, XIN Wen-jie, MAO Pei-yu. Seabed evolution analysis of area near the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2010, 31(5): 479-482. (in Chinese))
- [2] 陆永军, 贾良文, 莫思平, 等. 珠江三角洲网河低水位变化[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (LU Yong-jun, JIA Liang-wen, MO Si-ping, et al. Changes of low water level in the channel network system of the Pearl River delta[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2008. (in Chinese))
- [3] 应强, 毛佩郁, 辛文杰. 港珠澳大桥建设对珠江口港口航道影响物理模型试验研究之一——海床演变分析[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010. (YING Qiang, MAO Pei-yu, XIN Wen-jie. Study report of HZMB Project influence on Pearl River

- Ports and navigation channels: Part 1-Seabed evolution analysis[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [4] 辛文杰, 应强. 港珠澳大桥工程可行性研究阶段海床演变分析报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2004. (XIN Wen-jie, YING Qiang. Report of seabed evolution analysis of HZMB Project feasibility stage[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2004. (in Chinese))
- [5] 徐君亮, 李永兴, 蔡福祥, 等. 珠江口伶仃洋滩槽发育演变[M]. 北京: 海洋出版社, 1985. (XU Jun-liang, LI Yong-xing, CAI Fu-xiang, et al. The development and evolution of the shoals and deep channel in Lingding Bay of the Pearl River Estuary[M]. Beijing: China Ocean Press, 1985. (in Chinese))
- [6] 杨树森, 韩西军. 2007年8月广州港伶仃航道三期工程项目伶仃洋海域现场勘测资料成果汇编[R]. 天津: 交通部天津水运工程科学研究所, 2007. (YANG Shu-sen, HAN Xi-jun. The Lingding Sea field survey and data compilation of Lingding channel phase III engineering of Guangzhou Harbor in August 2007[R]. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, 2007. (in Chinese))
- [7] 陈水森, 邹春洋, 黎夏. 珠江口伶仃洋滩槽变化及演变分析[J]. 国土资源遥感, 2001, 48(2): 25-27. (CHEN Shui-sen, ZHOU Chun-yang, LI Xia. An analysis of the changes and evolvements on the foreshore and deep channels of Lingding Bay in Pearl River Estuary[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2001, 48(2): 25-27. (in Chinese))
- [8] 刘沛然, 闻平, 周作付, 等. 珠江口伶仃洋滩槽发育演变影响因素的分析[J]. 台湾海峡, 2000, 19(1): 119-124. (LIU Pei-ran, WEN Ping, ZHOU Zuo-fu, et al. Analysis of influencing factor on shoal and trough development of Lingding Bay at Zhujiang Estuary[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2000, 19(1): 119-124. (in Chinese))
- [9] YING Qiang, XIN Wen-jie, ZHAO Jun, et al. Harbor barsin siltation of the deepwater bergh of Guangzhou Harbor[C] // Proceedings of the Fourth International Conference on Asian and Pacific Coasts. Beijing: China Ocean Press, 2007: 435-438.
- [10] 莫思平, 辛文杰, 应强. 广州港深水出海航道伶仃航段回淤规律分析[J]. 水利水运工程学报, 2008(1): 42-46. (MO Si-ping, XIN Wen-jie, YING Qiang. Law governing back silting in Lingdingyang reach of the seaward deepwater channel of Guangzhou Harbor[J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(1): 42-46. (in Chinese))

An analysis of waterway processes near the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

YING Qiang¹, XIN Wen-jie¹, YUAN Sheng-ying²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Fujian Haixia Research Institute of Architectural Design and Planning, Fuzhou 350003, China)

Abstract: An analysis of the three aspects of waterway processes near the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge is given in this paper. Firstly, in order to confirm the shoal and trough evolution characteristics and trends near the bridge, the paper focuses on basic features such as the runoff, sediment, tide level and tidal current. Secondly, based on the measured data of the test trench near the bridge, the silting intensity and slope change in different seasons are found. Finally, based on the comparison of the cross-section and volume changes of different periods of the channels near the bridge as well as the analysis of the channel evolution characteristics and development trend, an conclusion is made that each channel is in a relatively stable state.

Key words: seabed evolution; Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge; Lingdingyang bay