

# 广州港深水出海航道伶仃航段回淤规律分析

莫思平, 辛文杰, 应 强

(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)

**摘要:** 根据实测资料分析了广州港出海航道泥沙冲淤时空变化以及伶仃航道的回淤原因, 运用数学模型对伶仃航道不同开挖尺度方案回淤量进行预测. 结果表明, 航道的平均淤强随开挖深度的增加而增大. 回淤量除与平均淤强有关外, 还与开挖深度、宽度有关, 不同方案的年回淤量在  $274 \sim 690$  万  $\text{m}^3$  之间.

**关 键 词:** 深水出海航道; 回淤量; 伶仃航道; 数值模拟

中图分类号: TV148

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)01-0042-05

## Law governing back silting in Lingdingyang reach of the seaward deepwater channel of Guangzhou Harbor

MO Si-ping, XIN Wen-jie, YING Qiang

(State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Based on field observation data, the temporal and spacial variations of the deposition and erosion in the seaward channel of Guangzhou Harbor are analyzed, and the reasons for the back silting in the channel are presented in the paper. Prediction of the amount of siltation in the seaward deepwater channel for various excavated projects is performed by using the mathematic model. Results show that siltation intensity in the navigation channel increases with the increase of the excavation depth. The amount of siltation is relative to not only the siltation intensity but also the excavation depth and width, which ranges from  $2.74 \times 10^6$  to  $6.9 \times 10^6$   $\text{m}^3$  annually for various projects.

**Key words:** seaward deepwater channel; amount of siltation; Lingding channel; numerical simulation

伶仃洋为一喇叭状河口湾,是珠江口东四口门(虎门、蕉门、洪奇沥和横门)的主要入海口(见图1).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、深圳湾等;西岸由北往南多滩,蕉门、洪奇沥和横门的出口附近都发育有大片浅滩;中部有淇澳岛和内伶仃岛扼守湾腰.伶仃洋水下地形以“三滩两槽”为基本格局,并具有湾顶窄深、湾腰宽浅、湾口宽深的分布特点.本文研究范围为整个广州港深水出海航道,即从桩号(疏浚)KP0到桩号KP115的航道段(见图1),其中,桩号

收稿日期: 2007-05-22

作者简介: 莫思平(1960-),男,广西梧州人,高级工程师,主要从事河流动力学研究. E-mail: spmo@nhri.cn

KP0 ~ KP23 为南航段,桩号 KP24 ~ KP67 为伶仃航段,桩号 KP68 ~ KP115 为北航段,伶仃航段为本文研究重点.

珠江水系主要由西江、北江和东江组成,多年平均入海径流量约 3 260 亿  $\text{m}^3$ ,平均入海沙量 7 098 万 t,其中西江的径流量和输沙量最大,北江次之.与黄河、长江相比,珠江具有径流丰富、输沙量较小的特点.珠江水系输沙量年内分布与径流分布相似,沙峰与洪峰出现时间基本一致,但输沙量比径流的年内分布更不均匀,汛期(4~9月)多年平均输沙量占全年的 92%.

伶仃洋海域悬移质的中值粒径一般为 0.005 ~ 0.008 mm,其中大潮粗些,中、小潮差别不大.床沙的中值粒径为 0.002 ~ 0.64 mm,有北粗南细、东粗西细、槽粗滩细、峡粗湾细等空间分布特征.自 20 世纪 90 年代中期以来,随着上游水土保持工作的加强、多座水利枢纽的建设以及河网内水道出现的大规模人工采沙,珠江三角洲年均输沙量呈明显下降趋势.伶仃洋潮汐为不正规半日混合潮,平均潮差 0.80 ~ 1.40 m,黄埔至虎门受潮流和径流共同作用,虎门以下伶仃洋海域主要受潮流控制.伶仃洋海域含沙量具有西北高、东南低,西槽大于东槽,洪季大于枯季的分布规律.根据 1991 年、1992 年和 1999 年实测含沙量统计,伶仃洋西航道平均含沙量自川鼻水道向外海逐渐减少,涨、落潮平均含沙量介于 0.06 ~ 0.16  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,属低含沙海区<sup>[1]</sup>.

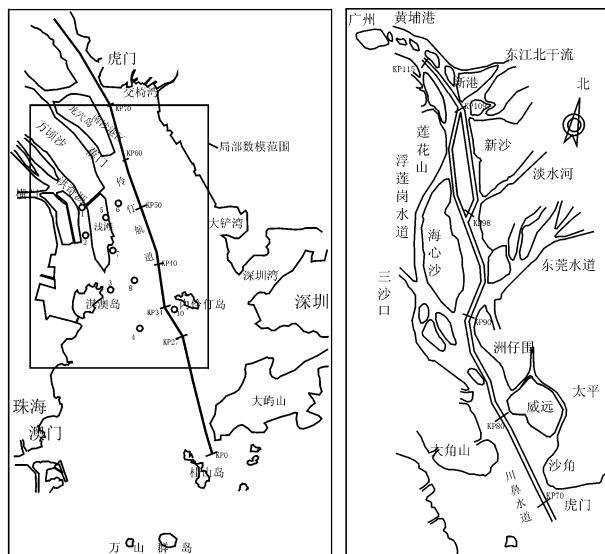


图1 伶仃洋河势及广州港出海航道走向示意图

Fig. 1 Sketch of Lingdingyang reach and seaward channel of Guangzhou Harbour

## 1 航道冲淤的时空变化

### 1.1 航道淤积沿程分布

选取 2004 年第二季度至 2005 年第一季度航道维护疏浚的资料进行分析.在这一年中,广州出海航道中的南航道和伶仃航道已浚深至  $\nabla -13.0$  m,可通航 5 万 t 级海轮,北航道正在进行疏浚,具备通航 3 万 t 级海轮的能力.

内伶仃岛至桂山岛南航段(KP0 ~ KP23),2004 年第二季度淤积 38 万  $\text{m}^3$ ,第三季度淤积 82 万  $\text{m}^3$ ,2004 年第四季度至 2005 年第一季度,航道内共淤积 42 万  $\text{m}^3$ .伶仃航道段(KP23 ~ KP67)2004 年第二季度淤积 18 万  $\text{m}^3$ ,第三季度淤积 32.7 万  $\text{m}^3$ ,2004 年第四季度至 2005 年第一季度,航道内共淤积 86.9 万  $\text{m}^3$ ,最大淤积区出现在航道开挖段的中北部(KP53 ~ KP63,见图 2).对于第二季度出现冲刷的反常现象,从航道疏浚部门了解,是按“随淤随挖”的原则对广州港出海航道进行维护性疏浚.在回淤较重季节,疏浚时往往采用较深的超挖方式,从而造成回淤较重季节,航道水深增加的假象.广州港出海航道北段(KP67 ~ KP115)最大淤积量出现在冬季,即 2004 年第四季度浚后至 2005 年第一季度浚后;而伶仃航道南段内伶仃岛至桂山岛航段(KP0 ~ KP23)最大淤积量出现在春季,时段为 2004 年第一季度浚后至 2004 年第二季度浚后,其中 KP14 ~ KP23 的水深相对较浅(13 ~ 15 m 之间)<sup>[2]</sup>.

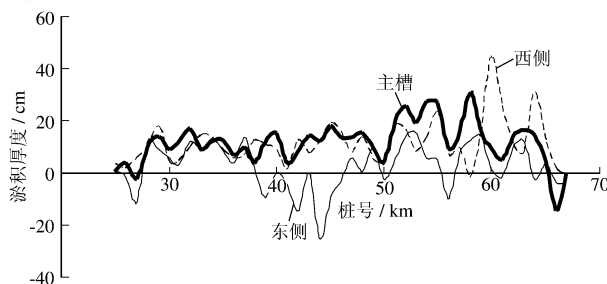


图2 2005 年伶仃航道段秋季淤积厚度沿程分布

Fig. 2 Variation of siltation depth along Lingdingyang channel in autumn of 2005

## 1.2 航道淤积的季节变化

伶仃航道开挖段 2001 年、2004 年和 2005 年内的航道总淤积量的统计结果见表 1。由表 1 可见,不同季节伶仃航道的泥沙回淤变化较大,且不同年份的冲淤情况也不同。2001 年秋冬两季回淤最小,且差别不大;春季回淤要比前两者增加近 1 倍;夏季回淤最突出,比冬(或秋)季增加近 2 倍<sup>[3]</sup>。2004 年春、秋两季航道以淤积为主,且春季的淤积量大于秋季的淤积量。2005 年测量资料分析表明,春季沿程以淤积为主,夏季航道水深却普遍增加,秋季以淤积为主;淤积量以春季最大,秋季次之。

表 1 2001,2004,2005 年伶仃航道各季度累计淤积量

Tab.1 Siltation amount in various seasons of 2001, 2004 and 2005

| 资料组次 | 年份/季节   | 统计天数/d | 统计起止桩号      | 淤积量/ $10^4 \text{ m}^3$ |
|------|---------|--------|-------------|-------------------------|
| 1    | 2000/冬季 | 70     | KP27 ~ KP67 | 59.7                    |
| 2    | 2001/春季 | 60     | KP27 ~ KP55 | 66.2                    |
| 3    | 2001/夏季 | 70     | KP27 ~ KP65 | 98.7                    |
| 4    | 2001/秋季 | 70     | KP27 ~ KP65 | 17.2                    |
| 5    | 2004/春季 | 47     | KP23 ~ KP67 | 59.7                    |
| 6    | 2004/夏季 | 59     | KP60 ~ KP67 | -18.0                   |
| 7    | 2004/秋季 | 55     | KP31 ~ KP67 | 32.7                    |
| 8    | 2005/春季 | 45     | KP23 ~ KP67 | 86.9                    |
| 9    | 2005/夏季 | 40     | KP23 ~ KP67 | -168.9                  |
| 10   | 2005/秋季 | 48     | KP23 ~ KP67 | 67.0                    |

注:“+”为淤积,“-”为冲刷。

## 2 伶仃航道的回淤原因分析

### 2.1 潮流与河口锋的减淤作用

实测资料显示,伶仃航道的涨、落潮流速经常超过  $1 \text{ m/s}$ ,大潮时垂线平均流速最大可达  $1.5 \text{ m/s}$ 。如此强的潮流,在涨急或落急时会形成底部流速大于床沙起动流速、平均流速大于悬沙扬动流速的状况,造成泥沙在航槽内少淤、不淤甚至冲刷,这也是伶仃水道多年来保持稳定、深水航槽回淤不大的主要原因。与伶仃航道紧邻的西滩是蕉门、洪奇门和横门径流水沙的宣泄地,落潮时由这几个口门下泄的淡水径流与来自虎门相对较咸、较重的冲淡水在西滩与航槽的边上相遇,出现密度梯度而形成河口锋。该锋面北起舢板洲,循流而下绵延几十公里而至内伶仃岛附近。这条锋面所形成的垂向环流(双环环流)在纵向潮流的作用下以螺旋流的形式向海洋运动,流速很大(据参考文献[4]介绍可达  $1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$ ),强有力地冲刷槽底和西滩边缘部分。伶仃洋西槽(即现在的伶仃航道)百余年来长期保持稳定,即使西滩淤长甚至部分成陆也没有使该深槽发生大的变迁,这与河口锋的淘刷作用是密切相关的。上述分析表明,含盐少沙的强劲潮流是保持伶仃洋深槽稳定的主要动力,河口锋所形成的密度环流是减少西滩泥沙淤入航道的有效屏障。

### 2.2 来水来沙的季节变化

本文研究结果和以往的调查实践都表明,伶仃航道具有春夏多淤、秋冬少淤的季节特点。据 2001 年的实测地形资料分析,该航道春夏季的回淤量约占全年的 70%,而秋、冬季仅占 30%,这一结果与伶仃洋在洪、枯季接纳河流的来水来沙密切相关。比较 2001,2004 和 2005 年春季航道资料的分析结果,其中 2001 和 2004 年春季疏浚维护航道底标高为  $\nabla -11.5 \text{ m}$ ,2005 年春季维护航道底标高为  $\nabla -13.0 \text{ m}$ 。将 3 年春季的统计淤积量化为单位长度和单位时间的淤积量,可得出 2001,2004 和 2005 年的数值分别为 390,290 和  $440 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{d})$ 。也就是说 2001 年与 2004 年航道水深相同,两者淤积相差  $100 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{d})$ 。据统计,珠江水系每年有 80% 的径流和 90% 以上的泥沙在 4~9 月的春、夏季输入到河口,其中由东四口门排入伶仃洋的径流达 1 400 亿  $\text{m}^3$ 、泥沙超过 3 000 万 t,如此多的径流来沙使伶仃洋在春夏季节增加淤积是理所当然的。秋、冬季(10 月至翌年 3 月)各口门注入伶仃洋的水沙锐减,在缺乏外部沙源的环境下淤积减缓也是顺理成章的。

### 2.3 絮凝和浮泥对回淤的影响

悬浮于河口水体中的细颗粒泥沙在盐淡水混合作用下会加快絮凝.实验表明,泥沙絮凝后沉速将增大数倍甚至数十倍.伶仃洋在汛期有丰沛的淡水径流,与随潮而来的高盐陆架水混合后形成极有利于泥沙絮凝的电化学环境.伶仃洋的悬沙颗粒很细,其中值粒径为 $0.005 \sim 0.008 \text{ mm}$ ,符合絮凝的条件.伶仃航道在春夏季(汛期)回淤比较大,除了河流来沙量增大的原因以外,由絮凝引起泥沙沉积速率加快也是重要因素.细颗粒泥沙经絮凝沉降于床面后,其初期密度很小,并具有一定的流动性,这种淤积体被称为浮泥.浮泥形成的原因有多种,在河口地区,最大浑浊带所形成的高含沙区会产生浮泥,被风浪悬扬的浅滩细颗粒泥沙潜入航槽中可形成浮泥,疏浚土如抛卸不当亦可回到航槽形成浮泥.现场观测结果<sup>[2]</sup>表明,伶仃航道有浮泥存在(特别在汛期),虽然浮泥的范围和厚度均不大,但也说明了浮泥与航道回淤之间有一定的关系.分析伶仃洋的水沙环境,夏季最大浑浊带正好在伶仃航道的中、北段徘徊,航道靠西滩和中滩也比较近,还有一个因素就是在进口浅滩一带吹填、围垦、抛泥等人类活动近年来比较频繁,这些都可能使伶仃航道形成浮泥.另外,航道的浚深,也使浮泥更易于集聚.

以上分析可见,伶仃航道回淤环境可概括为潮流动力较强,含沙浓度较低,河口锋成屏障,滩槽长期稳定,悬沙容易絮凝,局部聚成浮泥,洪季回淤为主,淤积强度不大,疏浚可保航深.伶仃航道的工程实践证明,在没有任何整治建筑物的情况下,伶仃航道底标高从原来的 $\nabla -8.6 \text{ m}$ 浚深到 $\nabla -11.5 \text{ m}$ 及 $\nabla -13.0 \text{ m}$ ,其淤积强度及回淤总量并没有与航道增深成比例提高,更没有发生碍航性骤淤,预示了该航道具有良好的开发前景.

## 3 航道回淤的数值模拟计算

在笛卡尔直角坐标系下,根据静压和势流假定,运用连续方程、动量方程、悬沙扩散输移方程和河床变形方程作为控制方程进行数值计算,计算方法和参数选择详见参考文献[5].整体模型的计算区域,北起虎门,南至桂山岛外,东接香港汲水门,西临澳门洪湾水道,纵向长 $75 \text{ km}$ ,横向宽 $50 \text{ km}$ ,控制面积达 $3\,750 \text{ km}^2$ .计算网格为边长 $500 \text{ m}$ 的正方形单元,水深取自 $1:50\,000$ 的海图,并根据近期南沙港区建设和中山港横门出海航道工程所测的 $1:10\,000$ 水下地形图对模型边界地形进行了修正.局部模型嵌套在整体模型中部偏西北区域,伶仃航道二期工程的主要开挖段位于模型中部.模型计算域南北长 $35 \text{ km}$ ,东西宽 $25 \text{ km}$ ,控制面积达 $875 \text{ km}^2$ ,计算网格为边长 $50 \text{ m}$ ,模拟范围见图1.选择2005年7月6~7日(洪季大潮)作为整体模型的验证潮型.这组潮型有10条垂线的同步水沙资料和5站潮位资料可供模型验证.结果表明,模型能够真实地复演工程水域的潮流运动和悬沙分布,可作为伶仃航道工程泥沙回淤研究计算的工具.

模型对伶仃航道不同开挖尺度方案的淤积量与强度进行了计算,统计结果见表2.模型计算出的航道平均淤强和累计淤积量与实测结果比较接近,平均淤强的偏差率不大于 $5\%$ ,回淤总量的偏差率不大于 $4\%$ ,能满足模拟精度要求.数学模型计算得出的沿程回淤分布在KP55以南段,与航道实测情况比较吻合,但在KP56~KP62段与实测结果相差较远,前者在KP59处出现冲刷,而后者在此处淤强最大.分析其原因,是模型未能反映南沙港区二期工程施工影响所致.表2还表明,航道的淤强随开挖深度的增加而增大.

表2 伶仃航道不同开挖尺度方案回淤量预测

Tab.2 The prediction of silting amount of different projects

| 方 案 | 航道开挖尺度         |                |                   | 平均淤强                              | 回淤量                                        |
|-----|----------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|
|     | 航宽/ $\text{m}$ | 航深/ $\text{m}$ | 航道长度/ $\text{km}$ | $/(\text{m} \cdot \text{a}^{-1})$ | $/ (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$ |
| 0   | 160            | -13.0          | 38.0              | 0.50                              | 274                                        |
| 1   | 200            | -15.0          | 38.0              | 0.64                              | 441                                        |
| 2   | 243            | -17.0          | 38.0              | 0.70                              | 584                                        |
| 3   | 220            | -19.2          | 38.0              | 0.92                              | 690                                        |

## 4 结 语

(1)伶仃洋是一个丰水少沙、潮量巨大、滩槽稳定的河口湾,对各站的水沙资料分析表明,在上游径流量无明显变化的情况下,进入伶仃洋的输沙量呈逐年减少趋势,这对航道水深的维护是有利的.伶仃航道开挖段▽-13.0 m 贯通后,经过近 2 年维护疏浚期的水深检测发现,春秋两季航道内淤积较为显著,淤积量较一期工程有所增大.最大淤积区出现在航道开挖段的中北部(KP53 ~ KP63).

(2)伶仃航道冲淤特性受伶仃洋动力地貌环境控制,在山潮比较大的季节,滞流滞沙点位于伶仃航道上段,故此段回淤强度较大,中、下段主要受高盐陆架水控制,泥沙淤积极少或甚至出现冲刷.山潮比较小季节,伶仃洋被高含盐水团所控制,垂向密度环流不复存在,航道中、上段的泥沙向虎门“倒灌”,下段泥沙则向海输移,航道内的泥沙走向出现“各奔南北”的局面.广州港出海航道北段(KP67 ~ KP115)最大淤积量出现在冬季,而伶仃航道南段内伶仃岛至桂山岛航段(KP0 ~ KP23)最大淤积量出现在春季.

(3)采用平面二维嵌套网格模式所建立的潮流泥沙数学模型,对伶仃洋水域的水沙验证结果与现场实测资料吻合良好,模拟结果充分反映了伶仃航道二期工程的回淤特征和量级变化,表明该模型对航道泥沙问题具有较好的预测能力.计算表明,航道的淤强随开挖深度的增加而增大.

(4)分析认为,洪汛期(春夏季)应集中对伶仃航道进行疏浚清淤,枯水期(秋冬季)则需加强对虎门以内局部航道的水深养护.疏浚施工安排在汛期有利于泥沙往下游深水区扩散,选择落潮期挖泥可以减轻疏浚扰动对航槽回淤的影响.

## 参 考 文 献:

- [1] 张华庆,朱三华.珠江河口水沙数学模型研究[R].天津:天津水运工程研究所,珠委勘测设计院,1999.
- [2] 辛文杰,莫思平,应 强.广州港深水出海航道回淤规律与维护方式研究[R].南京:南京水利科学研究院,2007.
- [3] 辛文杰.广州港出海航道一期工程实施后伶仃航段的回淤分析及模拟验证[R].南京:南京水利科学研究院,2003.
- [4] 应秩甫,罗章仁.伶仃洋沉积动力环境及航道选线研究[C]//杨干然.海岸动力地貌学研究及其在华南港口航道建设中的应用.广州:中山大学出版社,1995: 243-277.
- [5] 辛文杰.差分模型网格嵌套边界技术在工程潮流计算中的应用[J].水利水运科学研究,1999,(4): 355-360.

## 南京水利科学研究院新增一名“新世纪百千万人才工程”国家级人选

近日,人事部、科学技术部、教育部、财政部、国家发展和改革委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会等 7 部委联合印发了《关于公布 2007 年“新世纪百千万人才工程”国家级人选的通知》(国人部发[2007]155 号),2007 年“新世纪百千万人才工程”国家级人选已确定,我院教授级高工、水文水资源研究所所长刘九夫入选,全国水利系统共有两人入选.截至目前,我院共有“百千万人才工程”、“新世纪百千万人才工程”国家级人选 5 名,他们分别是:张建云、赵维炳、李云、陈生水、刘九夫.

——摘自《南京水利科学研究院网站》(<http://www.nhri.cn>)