



感潮河段深水航道乘潮保证率及疏浚维护*

张 华, 黄志扬, 肖烈兵, 张旭东

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 以长江太仓—江阴河段 12.5 m 深水航道实测资料为依据, 统计计算沿程不同季节潮位特征值及大型船舶通航的乘潮保证率, 探讨不同季节满足设计通航标准的航道水深, 进而提出深水航道分季节的变水深维护方案。

关键词: 深水航道; 乘潮保证率; 航道维护

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0008-05

Cumulative frequency of high tide level and maintenance dredging plans in estuarial areas

ZHANG Hua, HUANG Zhi-yang, XIAO Lie-bing, ZHANG Xu-dong

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: According to the measured data of deep water channel from Taicang to Jiangyin, we calculate the seasonal characteristic value of tide level and cumulative frequency of the high tide level, discuss the water depth of the seasonal designed navigable stage, and propose the variable depth of seasonal maintenance dredging plans.

Keywords: deep water channel; cumulative frequency of high tide level; channel maintenance

在沿海和感潮河段航道设计中, 为了减少航道基建工程量, 节省工程投资, 往往考虑潮位的合理利用。对于感潮河段, 水位变化受外海潮流和上游径流共同作用, 水位存在明显的季节性变化。而感潮河段深水航道设计的传统做法是全年采用同一维护底高程, 进而进行船舶 (或船队) 乘潮保证率及航道通过能力的分析^[1-5]。传统维护方式未能充分考虑感潮河段水位季节变化对通航的影响。

根据诸多沿海和感潮河段深水航道工程的经验, 深水航道工程区段的设计低水位往往存在季节性变化, 因此固定底高程下的船舶乘潮保证率往往存在一定的季节变化。这意味着某些航段在某些季节 (如汛期) 的实际乘潮保证率可能高于设计值, 即实际维护水深可能超过了设计通航保

证率所需的通航水深。

以长江太仓—江阴河段实测资料为依据, 统计计算沿程不同季节潮位及船舶乘潮保证率, 探讨不同季节满足设计通航保证率的航道水深, 进而提出深水航道季节维护方案。

1 工程概况

1.1 研究区域潮位特征

研究区域为江苏太仓港荡茜闸至江阴大桥, 河道全长约 101 km。工程水域呈宽浅分汊河段和窄深节点河段相间分布, 沿程依次分布白茆沙、通州沙和福姜沙等宽浅分汊河段。

工程河段处于潮汐河口向感潮河段过渡区域, 受径流和潮流共同作用, 存在涨落潮双向流。根据实测资料, 沿程各站多年潮位特征值如表 1 所示。

收稿日期: 2014-07-16

*基金项目: 交通运输部重大科技专项 (201132874660)

作者简介: 张华 (1972—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 从事港口与航道工程设计研究。

表 1 工程区域沿程多年潮位统计特征

站位	历史最高潮位/m	历史最低潮位/m	平均高潮位/m	平均低潮位/m	最大潮差/m	平均潮差/m	平均涨潮 历时/(h:min)	平均落潮 历时/(h:min)
江阴	5.28	-1.14	2.10	0.50	3.39	1.69	3:30	8:55
天生港	6.41	-0.25	3.15	1.19	4.01	1.96	4:09	8:16
徐六泾	6.22	-0.17	3.13	1.06	4.01	2.07	4:17	8:08
杨林	6.32	0.35	3.54	1.35	4.90	2.19	4:16	8:10

注：基面为当地理论最低潮面，下同。

1.2 太仓—江阴河段 12.5 m 深水航道概况

根据长江南京以下深水航道一期工程和二期工程建设目标，该河段拟建成 12.5 m 深水航道。其中一期工程所在的太仓—南通区段将满足 5 万吨级集装箱船（实载吃水≤11.5 m）全潮，5 万吨级散货船、油船乘潮双向通航，兼顾 10 万吨级及以上海轮减载乘潮通航；二期工程南通—江阴区段将满足 5 万吨级集装箱船（实载吃水≤11.5 m）双向通航、5 万吨级其它海轮减载双向通航，兼顾10 万吨级及以上散货船减载通航。根据沿程水位和水深条件分析，乘潮河段集中在上述 3 个宽浅分汊河段，而分汊河段之间的节点河段水深条件优良，设计和兼顾船型通行基本无需乘潮。

目前，一期工程已按白茆沙南水道、通州沙东水道选线方案建设 12.5 m 深水航道，二期工程南通—江阴区段拟选择福北水道单向 + 福中水道单向的选汊方案^[6]，航道设计尺度如表 2 所示。

表 2 太仓—江阴河段深水航道设计尺度

区段	维护底高程/m	航道最小宽度/m	边坡
白茆沙南水道	-12.5	500	1:10
通州沙东水道	-12.5	500	1:10
福北水道	-12.5	260	1:8
福中水道	-12.5	260	1:8

2 大型船舶乘潮保证率和航道维护底高程

2.1 计算条件和研究方法

在径流量较大的感潮河段，水位特征与径流量的季节变化关系密切，往往表现为设计低水位枯季较低、洪季较高。本文根据长江干流径流量和水位季节变化特征和相关研究成果^[7]，将全年水位研究时段划分为枯水期（12 月至次年 3 月）、

中水期（4、5、10、11 月）和洪水期（6—9 月），采用低潮累积频率法^[8]统计不同时段的设计低水位。

工程河段大型船舶往往乘潮通航，且绝大部分来自长江口外，由于从长江口外到本工程河段航道里程长，大型船舶为了有效利用潮位，往往采用二次乘潮方式，并且利用宝山北锚地作为候潮锚地。为此，进行大型船舶的乘潮保证率分析时，根据船舶航行特点，采用潮汐河口乘潮水位的多站联合法，分别计算大型船舶从宝山北锚地出发，乘涨潮上溯到达白茆沙、通州沙和福姜沙浅段的乘潮保证率，并考虑其季节变化。

2.2 设计低水位及乘潮水位的季节变化

2.2.1 设计低水位的季节变化

采用 2003 年沿程实测资料推算 3 个需要开展基建疏浚和维护的宽浅分汊河段不同季节的设计低水位，结果表明 3 个宽浅河段洪枯季设计低水位的差值分别达到 0.50、0.70 和 1.02 m，且越向上游差值越大。

表 3 研究区域沿程宽浅分汊河段设计低水位的季节变化 m

时段	福姜沙	通州沙	白茆沙
全年	0.74	0.84	0.77
枯水期(12 月至次年 3 月)	0.55	0.71	0.67
中水期(4、5、10、11 月)	0.88	0.92	0.82
洪水期(6—9 月)	1.57	1.41	1.17

2.2.2 乘潮水位的季节变化

由于研究区段海轮绝大部分来自长江口外，在宝山北锚地候潮停泊后乘潮上行。根据宝山北锚地至白茆沙、通州沙和福姜沙的航行里程，按照 10 kn 设计航速，并考虑一定的时间富裕后得

到,大型船舶从宝山北锚地至以上 3 个沙体的乘潮时间分别为 5、7.5 和 9 h。

采用石洞口、白茆、徐六泾、天生港和江阴站 2003 年全年同步水位资料,采用多站联合计算方法得到大型船舶从宝山北锚地出发,乘潮上行通过白茆沙、通州沙和福姜沙浅段的乘潮水位如图 1~3 所示。

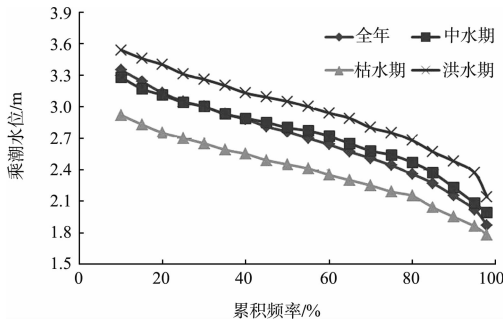


图 1 宝山锚地至白茆沙乘潮 5 h 对应乘潮水位

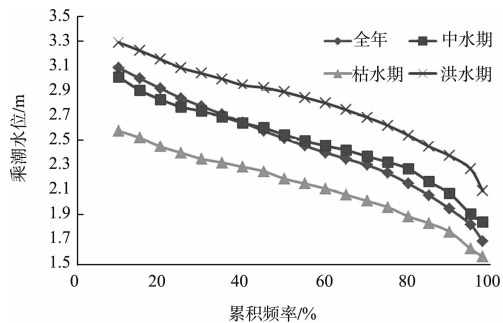


图 2 宝山锚地至通州沙乘潮 7.5 h 对应乘潮水位

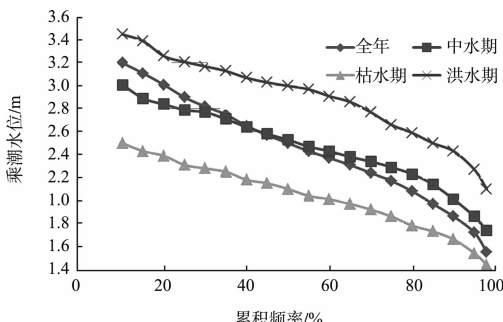


图 3 宝山锚地至福姜沙乘潮 9 h 对应乘潮水位

从计算结果可知,受径流影响,从宝山北锚地至白茆沙、通州沙和福姜沙洪水期的乘潮水位明显大于枯水期。如从宝山北锚地至福姜沙乘潮 9 h、乘潮保证率 90% 对应的乘潮水位来看,洪、枯季乘潮水位分别为 2.43 m 和 1.66 m,两者相差达 0.77 m。

2.3 全年维护底高程 -12.5 m 时大型船舶乘潮保证率分析

结合前面不同季节大型船舶从宝北锚地达到 3 个宽浅河段乘潮水位的成果,计算得到在全年按底高程 -12.5 m 进行维护时,设计和兼顾船型在不同季节的乘潮保证率如表 4 所示。

表 4 维护底高程 -12.5 m 时大型船舶不同季节乘潮保证率

船型	吃水/m	时段	乘潮保证率/%		
			福姜沙	通州沙	白茆沙
5 万吨级集装箱船	≤11.5 (实载)	全年	>98	>98	>98
		枯水期	>98	>98	>98
		中水期	>98	>98	>98
		洪水期	>98	>98	>98
5 万吨级油船及散货船	12.8 (满载)	全年	85	90	95
		枯水期	60	70	87
		中水期	90	92	98
		洪水期	>98	>98	>98
10 万吨级散货船	14.5 (满载)	全年	<10	<10	<10
		枯水期	<10	<10	<10
		中水期	<10	<10	<10
		洪水期	<10	<10	<10

计算结果表明,吃水 11.5 m 船舶通过 3 个宽浅河段的乘潮保证率均在 98% 以上;满载吃水 12.8 m 的设计船型,在 12.5 m 维护底高程下通过上述 3 个浅段的洪水期、中水期乘潮保证率超过 90%,枯水期乘潮保证率略小,但大于 60%;而吃水超过 14.5 m 的兼顾船型通过上述浅段的乘潮保证率小于 10%,需减载通航。

就不同季节乘潮保证率对比来看,受上游径流季节变化影响,各类船型洪水期乘潮保证率普遍明显大于枯水期。而实际上通过工程河段大型船舶的船流密度并未呈现出明显的季节变化,结合通航实际情况和水位的季节变化规律,可考虑采取分季节变维护底高程的方式进行航道维护,从而达到降低航道维护费用的目的。

2.4 分季节不同维护底高程

2.4.1 分季节维护底高程的确定

工程河段设计船型为 5 万吨级集装箱船(实载吃水 ≤11.5 m),考虑海轮进江咸淡水差及通航富裕水深后,计算得到 5 万吨级集装箱船全潮通航时的通航水深为 13.1 m。

如果以满足 5 万吨级集装箱船全潮通航（利用设计低水位）作为航道设计通航标准，结合工程河段设计低水位的季节变化，则可推算得到沿程不同季节的维护底高程如表 5 所示。

表 5 满足 5 万吨级集装箱船（实载吃水≤11.5 m） 全潮通航对应维护底高程 m			
时段	福姜沙	通州沙	白茆沙
全年	-12.36	-12.26	-12.33
枯水期	-12.55	-12.39	-12.43
中水期	-12.22	-12.18	-12.28
洪水期	-11.53	-11.69	-11.93

由表 5 可知，除福姜沙浅段枯季外，其他情况下满足 5 万吨级集装箱船全潮通航的维护底高程均可浅于 -12.5 m。

2.4.2 不同季节性变维护底高程时大型船舶的乘潮保证率

根据上节研究成果，在满足 5 万吨级集装箱船全潮通航的情况下，可考虑沿程各区段不同季节维护不同的通航水深，即采用季节性变维护底高程方案。由此推算各区段不同季节乘潮保证率（表 6）。

表 6 分季节变维护底高程时大型船舶乘潮保证率								
船型	吃水/m	时段	福姜沙		通州沙		白茆沙	
			维护底高程/m	乘潮保证率/%	维护底高程/m	乘潮保证率/%	维护底高程/m	乘潮保证率/%
5 万吨级 集装箱船	≤11.5 (实载)	枯水期	-12.5	>98	-12.4	>98	-12.5	>98
		中水期	-12.3	>98	-12.2	>98	-12.3	>98
		洪水期	-11.6	>98	-11.7	>98	-11.9	>98
5 万吨级油 船及散货船	12.8 (满载)	枯水期	-12.5	60	-12.4	60	-12.5	87
		中水期	-12.3	75	-12.2	75	-12.3	91
		洪水期	-11.6	60	-11.7	60	-11.9	83
10 万吨级 散货船	14.5 (满载)	枯水期	-12.5	<10	-12.4	<10	-12.5	<10
		中水期	-12.3	<10	-12.2	<10	-12.3	<10
		洪水期	-11.6	<10	-11.7	<10	-11.9	<10

从表 6 知，按满足 5 万吨级集装箱船（实载吃水≤11.5 m）进行分季节变航道维护水深设计后，吃水 12.8 m 以下的船舶全程乘潮保证率均在 60% 以上，且从下游向上递减。对于吃水 14.5 m 以上的大型船舶，其乘潮保证率均小于 10%，需减载通航。

另外，按分季节维护底高程考虑后，洪、中、枯水期乘潮保证率的差异较全年采用同一维护底高程时明显小。

3 航道维护方案

3.1 研究思路

采用三沙河段二维潮流泥沙数学模型模拟计算白茆沙南水道、通州沙东水道、福北水道和福中水道等航道浅段不同季节不同维护底高程下的回淤强度，推算不同季节航道疏浚维护量及进一步增深所需基建疏浚量；根据工程量研究疏浚力量配备和疏浚时机安排，确定合理的航道维护方案。

3.2 研究结果

3.2.1 航道回淤强度

根据数学模型研究，3 个宽浅分汊河段在正常条件下不同底高程下航道平均回淤强度的季节变化见表 7。

表 7 研究区域沿程宽浅分汊河段航道平均回淤强度季节变化

河段	时段	维护底高程/m	平均回淤强度/(m·月 ⁻¹)
福姜沙	枯水期	-12.5	0.05/0.10(中/北)
	中水期	-12.3	0.07/0.18(中/北)
	洪水期	-11.6	0.06/0.20(中/北)
通州沙	枯水期	-12.4	0.06
	中水期	-12.2	0.10
	洪水期	-11.7	0.10
白茆沙	枯水期	-12.5	0.05
	中水期	-12.3	0.05
	洪水期	-11.9	0.02

注：计算回淤强度不包括特殊水情条件下（如特大洪水或沙体大范围运移）的高强度回淤。

3.2.2 维护方案

航道维护采用长江干线航道常规维护方法，

即“随淤随挖”方式。考虑环保和通航需求，选择耙吸式挖泥船施工，疏浚土处理上陆。如果选用 4 500 m³ 的耙吸式挖泥船施工，则施工时机安排见表 8。

表 8 研究区域沿程宽浅分汊深水航道分季节维护方案

河段	时段	维护底高程/m	维护方案
福姜沙	12 月至次年 3 月	-12.5	全时段维护 -12.5 m 底高程
	4—5 月	-12.3	月初基本无需维护，5 月中旬起维护 -12.3 m 底高程
	6—9 月	-11.6	月初可视回淤情况安排维护，9 月中旬起安排基建性疏浚，9 月底维护底高程达到 -12.3 m
	10—11 月	-12.3	维护 -12.3 m，11 月中旬安排基建性疏浚，11 月底维护底高程达到 -12.3 m
通州沙	12 月至次年 3 月	-12.4	全时段维护 -12.4 m 底高程
	4-5 月	-12.2	基本无需维护，可适当安排扫浅
	6—9 月	-11.7	月初可视回淤情况安排维护，9 月中旬起安排基建性疏浚，9 月底维护底高程达到 -12.2 m
	10—11 月	-12.2	月初维护 -12.2 m，11 月中旬安排基建性疏浚，11 月底维护底高程达到 -12.4 m
白茆沙	12 月至次年 3 月	-12.5	全时段维护 -12.5 m 底高程
	4-5 月	-12.3	基本无需维护，可适当安排扫浅
	6—9 月	-11.9	基本无需维护，且至 9 月底航道底高程尚满足 -12.0 m，可适当安排扫浅
	10—11 月	-12.3	月初维护 -12.3 m，11 月中旬安排基建性疏浚，11 月底维护底高程达到 -12.5 m

由此可见，3 个宽浅河段在枯季需集中疏浚力量全程维护目标底高程；4—5 月初可任由航道自然回淤至中水期维护底高程，这一时期可安排船机保养维护，5 月中下旬安排维护；6 月起至大汛前可任由航道自然回淤至洪水期维护底高程，其后或在大汛来临前安排航道加深渡汛，或安排汛期维护，此后 9 月安排基建性疏浚，至 9 月底加深至中水期维护底高程；10 月维护中水期底高程，此后 11 月安排基建性维护，至 11 月底加深至枯水期维护底高程。

3.2.3 维护工程量

根据 2013 年 7 月水下地形资料推算分季节维护方案和常年维护 12.5 m 水深方案的常年维护工程量对比见表 9。工程量对比表明采用分季节维护不同水深的方案，将较大幅度减少航道维护工程量。

表 9 航道常年维护工程量对比					万 m ³	
河段	全年维护 —12.5 m	12 月至 次年 3 月	分季节维护方案			总计
			4—5 月	6—9 月	10—11 月	
福姜沙	176.6	36.8	10.9	59.0	38.8	145.5
通州沙	163.2	27.2	—	33.7	41.2	102.1
白茆沙	6.7	1.9	—	—	2.9	4.8
工程量合计	346.5	65.9	10.9	92.7	82.9	252.4

注：“—”代表航道最浅水深常年大于维护水深，无需维护。

4 结语

1) 感潮河段设计低水位的季节变化较为明显，在满足设计通航标准的前提下可考虑分季节调整维护底高程的航道维护方案。

2) 与传统维护固定底高程的方案相比，分季节调整维护底高程的方案将较大幅度地减少常年维护工程量；同时施工企业可以根据水深变化情况调整船机力量的投入，从而提高施工效益。

3) 分季节调整维护底高程的方案将导致吃水较大的兼顾船型乘潮保证率有所下降。因此，在方案比选时还可以根据大型船舶的运量和效益预测分阶段选择较为适宜的季节性维护底高程以兼顾减少航道维护费用和保证航道营运效益的需求。

参考文献：

[1] JTS 141—2011 水运工程设计通则[S].

[2] 宣敏明. 利用乘潮水位航道的通过能力计算[J]. 水道港口, 1995(2): 20-26.

[3] 李宜伦, 张维波. 深吃水船舶进港方法探讨[J]. 世界海运, 1997(2): 11-17.

[4] 王辉, 杨亚东, 张海涛. 船舶乘潮进出港编队模式研究 [DB/OL]. (2010-04-02) [2010-09-15]. [http://www. paper. edu. cn/ index. php/default/releasepaper/content/201004-105](http://www.paper.edu.cn/index.php/default/releasepaper/content/201004-105).

[5] 徐元, 黄志扬, 龚鸿锋. 潮汐河口长航道乘潮问题研究[J]. 水运工程, 2011(5): 1-6.

[6] 徐元, 龚鸿锋, 张华, 长江下游福姜沙河段 12.5 m 水深主航道选汊研究[J]. 水运工程, 2014(5): 1-7.

[7] 大连海事大学. 长江 12.5 m 深水航道建设对通航环境的影响及海事监管对策研究[R]. 大连: 大连海事大学, 2012.

[8] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)