

第六届 全国泥沙基本理论研究 学术讨论会论文集

第三册

黄河水利科学研究院 编



黄河水利出版社

第六届全国泥沙基本理论研究 学术讨论会论文集

第三册

黄河水利科学研究院 编

黄河水利出版社

感潮河段闸下引航道泥沙淤积研究

张幸农 陈长英 张思和 应 强

(南京水利科学研究院 南京 210029)

摘要: 本文首先阐述了闸下引航道泥沙淤积原因及其表现特征,并建立了回流淤积、异重流淤积和缓流淤积3种泥沙淤积形式的淤积量计算模式;其次以张家港二线船闸扩建工程为例,通过概化模型试验确定闸下引航道不同区域存在的泥沙淤积形式,对淤积量计算模式进行验证计算,并计算分析了不同水文特征年泥沙逐年淤积对年淤积量的影响。

关键词: 感潮河段 引航道 淤积计算

1 引言

船闸下游引航道及其口门区由于特殊的水力条件,其淤积是一个普遍存在的问题。闸下的严重淤积不仅影响河道的泄洪排涝,而且对河道通航带来不利影响。重视泥沙淤积问题的严重性,认真做好引航道及其口门区淤积原因与淤积量相关计算的分析研究,对保证水利枢纽中各通航建筑物的正常使用是非常重要的。本文以张家港二线船闸扩建工程为例研究感潮河段闸下引航道泥沙淤积。

2 闸下引航道泥沙淤积形式及其淤积量计算方法

船闸下游引航道及其口门处的泥沙运动形式主要是悬移质泥沙运动,泥沙回淤主要是悬沙的落淤,当闸门关闭时,其下游引航道及其口门的泥沙回淤机理与盲肠河段或挖入式港池相类似。

对于感潮河流盲肠段(或闸下引河)的泥沙淤积,目前大都认为有回流淤积、异重流淤积和缓流淤积三种形式。

2.1 回流淤积

在口门附近,由于水流的离解作用产生竖轴环流,习惯称为回流。其动力来源于主流在口门处的紊动剪切和动量传递作用^[1]。在主流与口门交界处有一个较大的流速梯度和含沙量梯度,主流的泥沙通过紊动扩散进入回流区,进入回流区的泥沙一般均大于回流的饱和挟沙力,使颗粒较粗的泥沙首先在回流中心部位淤积下来,形成回流淤积。回流淤积范围集中,淤厚增长迅速,有时甚至在口门附近形成拦门坎,妨碍通航,造成严重危害。

作者简介: 张幸农,男,1960年出生,上海人,研究室主任,教授级高级工程师,从事河流动力学专业研究。

盲肠河段回流泥沙淤积量可按式计算

$$G_1 = \alpha P_{>d_r} f(\theta) USBH \quad (1)$$

式中: α 为综合系数, 与回流侧向阻力、主流流场及含沙量分布等多项因素有关; $P_{>d_r}$ 为回流挟沙水流悬浮大于临界粒径 d_r 的泥沙所占悬浮级配百分比; U 、 S 为主流平均流速及含沙量; B 、 H 为盲肠段口门宽度及水深; $f(\theta)$ 为与盲肠段和大江的交角 θ 有关的影响函数, 可按式计算^[2]

$$f(\theta) = \frac{G(\theta)}{G(\frac{\pi}{2})} = C_3 + C_4 \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \theta \right) (\pi - \theta) \sin^2 \theta \quad (2)$$

2.2 异重流淤积

引航道口门处是动水和静水交界处, 由于引航道外的含沙水流容重比引航道内清水比重大, 在条件合适时, 含沙水流就会潜入清水底部继续向前运动, 形成异重流。重度较大的浑水潜入引航道后, 流速沿程递减, 异重流挟沙量降低, 因而泥沙沿程淤积, 即形成异重流泥沙淤积。异重流淤积的泥沙粒径很细, 一般都在 0.025 mm 以下, 并自口门向引航道内沿程递减。

盲肠河段异重流受回流的影响较大, 由于在盲肠河段口门处形成局部回流, 回流区把主流区和静水区隔离开来, 而且通过紊动扩散进入回流区泥沙中颗粒较粗的一部分在回流区沉积下来, 所以回流区的存在, 不但起着拦截泥沙的作用, 而且会影响异重流的输沙量。

与回流淤积相比较, 异重流淤积强度较弱, 且异重流淤积大多数均匀地分布在引航道内, 单位时间内异重流的淤积量可按式计算^[3]

$$G_s = \psi BH^{3/2} S^{3/2} \quad (3)$$

式中: ψ 为综合系数, 根据有关实测资料及试验结果, 取值范围为 0.014 0 ~ 0.019 1; B 、 H 为口门处的宽度与水深; S 为主流(大江)的含沙量。

2.3 缓流淤积

受潮汐影响, 口门外的含沙水体随涨落潮水流由口门进出引航道。长江主流含沙量大, 引航道含沙量小, 涨潮水流将挟带泥沙进入引航道, 因此涨潮期间, 从中、底层进入引航道的泥沙, 经过沿程淤积后, 有一部分随落潮水流排出引航道, 因整个涨落潮期间引航道内水流流速很小, 很大一部分将淤积在引航道内, 形成所谓的缓流淤积。

从理论而言, 缓流问题为非稳定水流输沙问题, 单位时间内引航道淤积量随潮时变化。根据缓流淤积过程分析, 泥沙落淤量可按式计算

$$G_3 = \int_0^T \alpha AS \frac{\partial H}{\partial t} dt \quad (4)$$

式中: S 为主流含沙量; A 为引航道内不同潮位时的水域面积; T 为涨落潮历时; α 为泥沙落淤几率。

在计算中将涨落潮划分为若干个时段, 分别计算 Δt_i 时段内泥沙淤积量, 最后进行累加得一个全潮的淤积量

$$G = \sum_{i=1}^n \alpha_i A_i S_i \Delta h_i \Delta t_i \quad (5)$$

对船闸开通闸运行情况下, 由于正向水流与反向水流的水位差值及时间过程基本相等, 因而可以近似地认为: 整个开通闸期间进出下游引航道的水流所挟带的泥沙基本相等。

3 闸下引航道泥沙淤积计算及其分析

3.1 验证计算

3.1.1 计算段实际状况

根据我们对 1997 ~ 2004 年期间下游引航道及其口门的疏浚工程的调查, 7 年间工程疏浚泥沙累计达 107 300 ~ 112 300 m³; 对比 1997 年和 2004 年水下地形图, 下游引航道内减少沙量 23 812 m³; 据此可判断下游引航道及其口门区在 7 年期间的泥沙淤积量为 82 488 ~ 88 488 m³, 多年平均淤积量为 11 926.9 ~ 12 341.1 m³/a, 这一结果与我院以往研究成果^[4]是一致的。

3.1.2 计算区域及时段划分

不同区域及不同时段泥沙淤积形式不同, 根据以往研究成果^[4], 可分为 3 个计算区域, 如图 1 所示, 即口门 1 区、口门 2 区及引航道 3 区。口门 1 区位于引航道西侧, 有回流淤积和缓流淤积两种形式, 水流受开通闸及船闸输水影响很小; 口门 2 区位于引航道东侧, 是口门回流主要区域, 以回流淤积和缓流淤积两种形式为主, 是水流进出引航道必经之路, 由于开通闸及船闸输水的存在, 每日有不少时间回流被破坏; 3 区内基本上不存在回流淤积, 主要有异重流淤积和因涨落潮形成的缓流淤积。

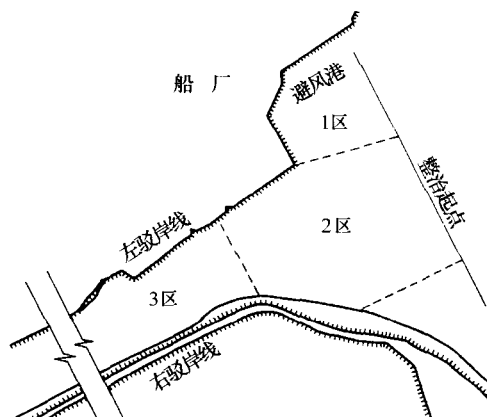


图 1 工程前计算区域划分

受口门外大江水沙条件、潮汐、边界条件以及船闸运行等因素的影响, 在不同区域和时段内, 泥沙淤积形式有所不同。本文计算时段按月将年划分为 12 个计算时段, 根据潮汐特点, 每月分别考虑大潮、中潮、小潮 3 种情况。通过计算福南水道巫山港断面及口门区和引航道内的水流流速, 并根据船闸输水及开通闸运行情况, 确定每日不同时段

各区泥沙淤积的形式。

3.1.3 计算结果及其分析

根据多年平均水沙基本资料，利用建立的泥沙淤积计算模式，计算多年平均泥沙淤积情况，计算结果见表 1。

表 1 工程前泥沙淤积计算成果表(多年平均) (单位: m³)

月份	1 区			2 区			3 区		
	回流	缓流	合计	回流	缓流	合计	缓流	异重流	合计
1	14.9	24.4	39.2	20.9	45.8	66.7	68.7		68.7
2	14.8	21.8	36.7	21.1	41.5	62.6	62.4		62.4
3	34.8	36.3	71.1	49.1	68.8	117.9	102.4		102.4
4	79.3	66.0	145.3	119.3	136.1	255.5	203.0		203.0
5	125.6	74.0	199.5	189.1	153.7	342.8	229.4		229.4
6	177.7	84.9	262.6	306.8	201.0	507.8	302.9		302.9
7	427.6	167.6	595.2	733.6	400.7	1 134.3	593.8	361.2	955.0
8	366.6	159.4	526.0	628.9	380.9	1 009.8	564.6	323.8	888.4
9	316.8	152.2	469.0	470.8	318.2	789.0	470.0	295.1	765.1
10	193.4	109.5	302.9	289.5	226.5	516.0	339.9	172.1	512.0
11	97.9	74.2	172.1	137.3	139.8	277.1	209.0		209.0
12	42.3	45.2	87.5	67.6	85.6	153.1	127.3		127.3
总计			2 907.1			5 232.5			4 425.5
	12 565.2								

从表 1 中可以看出：工程前，引航道及其口门淤积量为 12 565.2 m³/a。其中口门 1 区淤积量为 2 907.1 m³/a；2 区淤积量为 5 232.5 m³/a，口门总淤积量为 8 139.7 m³/a，平均淤积厚度为 14.2 cm/a；引航道内 3 号区域淤积量为 4 425.5 m³/a，平均淤积厚度为 6.6 cm/a。与前述分析的实际年回淤量对比，验证计算结果较为符合实际情况，说明采取的计算模式是正确的，计算模式中相关参数和计算时段的确定也是合理的。

另外，表 1 还反映，洪季 7~10 月的淤积量为 8 462.6 m³，占全年淤积量的 67.3%，因此说明泥沙淤积主要发生在洪季。

3.2 工程后泥沙淤积计算

拟扩建二线船闸的下游引航道及其口门都进行拓宽浚深，口门平面型式由工程前喇叭型基本变为平口单边扩大型，由于口门边界条件的改变，原口门区的回流形态必然出现变化，据进行的概化模型试验，整个口门区形成一个大范围的回流。工程后可分为 2 个计算区，见图 2。

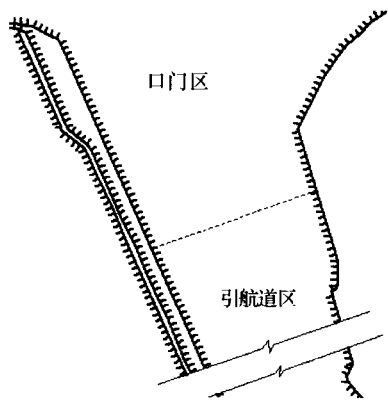


图 2 工程后计算区域划分

3.2.1 多年平均泥沙淤积

依据多年平均水沙资料，根据工程设计方案闸下引航道及其口门布置型式，计算工程后泥沙回淤量，计算结果见表 2。工程后淤积量为 19 981.0 m³/a，口门区淤积量为 9 588.2 m³/a，平均淤积厚度为 11.2 cm/a；引航道内淤积量为 10 392.8 m³/a，平均淤积厚度为 6.4 cm/a。

与工程前年淤积量计算结果对比可知，二线船闸拓宽浚深后，将造成引航道及其口门区的泥沙淤积总量增加，工程后平均淤积厚度变化不大，引航道内比工程前减小 0.2 cm/a，口门区减小 3 cm/a。说明引航道及其口门拓宽浚深后，引航道及其口门淤积总量增加，但对平均淤积厚度影响不大。

表 2 工程后泥沙淤积计算成果

项目	口门		引航道		合计
	回流	缓流	缓流	异重流	
淤积量(m ³ /a)	5 337.2	4 250.9	7 127.3	3 265.6	19 981.0
淤积厚度(cm/a)	11.2		6.4		

3.2.2 不同特征水文年泥沙淤积

为了解长江不同来水来沙条件对引航道及其口门泥沙回淤的影响，通过对长江大通水文站流量、含沙量的对比分析，选用 1998 年为丰水枯沙特征年，1979 年为枯水丰沙特征年。进行工程实施后的泥沙回淤计算，计算结果见表 3。

表 3 不同特征水文年计算成果表 (单位：m³/a)

特征年	口门		引航道		合计
	回流	缓流	缓流	异重流	
丰水枯沙，1998 年	5 651.3	3 247	6 199	2 564.5	17 661.8
枯水丰沙，1979 年	5 205.5	4 622.8	8 729.3	4 206.1	22 763.7

计算结果表明,丰水枯沙年(1998 年型水沙条件)回淤量为 $17\,661.8\text{ m}^3/\text{a}$,其中口门回淤量为 $8\,898.3\text{ m}^3/\text{a}$,引航道回淤量 $8\,763.5\text{ m}^3/\text{a}$ 。枯水丰沙年(1979 年型水沙条件)回淤量为 $22\,763.7\text{ m}^3/\text{a}$,其中口门回淤量为 $9\,828.5\text{ m}^3/\text{a}$,引航道内回淤量为 $12\,935.3\text{ m}^3/\text{a}$ 。

3 种淤积形式中,淤积量变化幅度最大的是缓流淤积。虽然 1998 年为大水年,但含沙量较低。缓流淤积是由于涨落潮引起,与淤积量紧密有关的是涨落潮期间引航道内水体交换体积和交换水体的含沙量,而与长江来流量关系不大。相反长江来流量越大,张家港河段潮汐现象减弱,涨落潮水体交换体积减小,缓流淤积量相应减小。以上分析说明,不同水文特征年泥沙淤积量不同,最不利水沙年比多年平均水沙年淤积量增大 13.9%。

3.2.3 逐年泥沙淤积量变化规律

为判别引航道拓宽浚深后泥沙逐年淤积的累积情况,根据多年平均水沙情况,计算工程后第 2 年、第 3 年泥沙淤积量,计算结果见表 4。

由表 4 可见,工程后第二年淤积量为 $19\,864.7\text{ m}^3/\text{a}$,其中口门淤积量为 $9\,403.1\text{ m}^3/\text{a}$,引航道淤积量为 $10\,281.6\text{ m}^3/\text{a}$ 。比第一年淤积量小 296.3 m^3 ,第一年与第二年淤积量之比为 1.015 : 1; 第三年淤积量为 $19\,437.2\text{ m}^3/\text{a}$,口门淤积量为 $9\,256.4\text{ m}^3/\text{a}$,引航道淤积量为 $10\,180.8\text{ m}^3/\text{a}$ 。比第二年淤积量减小 247.6 m^3 ,第二年淤积量与第三年淤积量之比为 1.013 : 1。

表 4 不同特征水文年计算成果

(单位: m^3/a)

计算年	口门		引航道		合计
	回流	缓流	缓流	异重流	
第一年	5 337.2	4 250.9	7 127.3	3 265.6	19 981.0
第二年	5 152.2	4 250.9	7 127.4	3 154.2	19 684.7
第三年	5 005.5	4 250.9	7 127.3	3 053.5	19 437.2

工程实施后,逐年淤积量变化很小,对回流淤积和引航道内异重流淤积有稍许的影响,对缓流淤积没有影响,总体上,逐年淤积量略有减小趋势。其原因是缓流淤积是由潮汐涨落而引起的,取决于涨落潮期间引航道内水体交换的数量,床面淤积对其影响很小。

4 结语

本文分析了引航道泥沙淤积原因及其表现特征,建立了回流淤积、异重流淤积和缓流淤积 3 种泥沙淤积形式的淤积量计算模式,并对淤积量计算模式进行验证计算,证明采取的计算模式是正确的,计算模式中相关参数和计算时段的确定也是合理的。对二线船闸扩建后不同水文特征年泥沙年淤积量及逐年淤积量变化趋势进行了计算分析。不同水文特征年泥沙淤积量不同,最不利水文年为枯水丰沙年,3 种淤积形式中,变化幅度最大的是缓流淤积,缓流淤积主要决定于含沙量及潮汐特征,而长江来流量对淤积量影

响不大。泥沙淤积一定程度后,对口门的回流淤积和异重流淤积有一定影响,但对涨落潮引起的缓流淤积几乎无影响,累积淤积计算结果表明,引航道内泥沙淤积逐年变化不大,呈略有减小趋势。

参 考 文 献

- [1] 刘青泉. 盲肠回流的水流运动特性. 水动力学研究与进展, 1995, 10(3)
- [2] 岳建平. 港渠口门回流淤积概化模型试验和研究. 泥沙研究, 1986(2)
- [3] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学. 北京: 水利电力出版社, 1989
- [4] 张幸农, 吴济难, 张思和. 张家港二线船闸下游引航道泥沙淤积及其口门布置型的分析研究. 南京: 南京水利科学研究院, 1997

赤水河河口水沙运动和航道治理问题

李旺生

(交通部天津水运工程科学研究所 天津 300456)

摘要: 本文通过汇入长江的支流赤水河河口段的实测资料,就其水沙运动规律进行了分析研究,揭示了由于干流长江来水的顶托,赤水河口段的动力条件沿程趋弱、输沙能力也沿程趋小,所以在长江涨水时顶托到哪里淤积发生在哪里,退水时则退到哪里冲到哪里,且水流不仅挟带本地泥沙还需挟带上游来沙,所以退水时泥沙存在者反复的搬运—淤积—搬运的沿程变化过程,据此提出了航道整治的原则,并通过物理模型试验对工程方案进行了优化。

关键词: 水文 泥沙 航道整治

1 引言

赤水河是长江上游南岸的一级支流,也是贵州省北部重要的通江达海航运通道,担负着全省水路运输总量的 70%以上,其下游赤水至合江段 54 km 为 VI 级航道(见图 1),是赤天化化肥产品输出的重要通道,同时还肩负着沿岸人民生活物资的运输任务,是沿岸各水路运输企业和生产厂家的生命线。经过几十年的多次整治,赤水河的航道条件得到了较大的改善。但由于河口段水动力条件复杂,即常年受长江来水顶托,致使该河段洪水期流速很小,大量的泥沙汛期淤积而在枯水季节因冲刷不及而障航,个别浅滩主航道甚至全部淤塞。20 世纪 70 年代中期,赤天化建设时曾对河口段进行了全面系统的治理,已经达到了 VI 级航道标准(航道尺度为 $(0.8 \sim 0.9) \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 250 \text{ m}$,可通航 $1+4 \times 165 \text{ t}$ 驳船队),航道条件得到了很大的改善,但河段内中洪水时期泥沙淤积仍然较为严重。特别是近河口段 11 km 航道,至今仍处于自然状态,未经大规模的治理。其中的原因很多,但水流的动力条件较弱,治理难度大是一个重要的原因。研究解决赤水河河口这种弱汇流支流河口的航道治理问题是工程建设对航道整治技术提高的迫切要求。



图 1 赤水河口淤沙段河势及滩险分布图

作者简介: 李旺生, 男, 1959 年出生, 研究员, 副总工程师。

2 赤水河来水来沙

赤水河多年平均径流量 79.4 亿 m^3 (赤水水文站, 距河口 54 km, 下同); 多年日平均流量 252 m^3/s (1957 ~ 2001 年), 历年最大流量为 9 890 m^3/s (1953 年 9 月 6 日), 日平均最小流量为 33.2 m^3/s (1963 年 6 月 5 日), 年际间水量分配极不均匀, 洪枯流量比最大为 298 倍。根据赤水站多年 (1957 ~ 1999 年) 日平均流量统计, 赤水河一般 4 ~ 5 月为涨水期, 径流量约占全年水量的 16.34%; 6 ~ 9 月为中洪水期, 径流量约占全年水量的 54.96%; 10 ~ 11 月为落水期, 径流量约占全年水量的 13.34%; 12 月 ~ 翌年 3 月为枯水期, 径流量约占全年水量的 15.36%, 年内水量分配极不均匀。枯水期径流主要靠地下水补给, 中洪水期暴雨集中, 日水位变幅达数米, 水位暴涨暴落, 洪峰量大且持续时间短, 峰型尖瘦, 具有典型的山区河流的水文特性。

赤水河悬移质年内分配不均匀, 产沙主要集中在汛期, 含沙量的变化与洪峰的形成过程有关。赤水站多年平均含沙量为 0.891 kg/m^3 (1957 ~ 1996 年), 年平均最大含沙量为 2.707 kg/m^3 (1972 年), 年平均最小含沙量为 0.322 kg/m^3 (1956、1986 年); 多年平均输沙量为 755 万 t, 年最大输沙量为 2211.6 万 t (1972 年), 年最小输沙量为 233 万 t (1971 年), 年际间输沙量变化较大。

3 赤水河与长江来水来沙特性比较

通过对赤水站和长江朱沱站来水来沙特性分析可知:

(1) 赤水河多年径流量仅为长江的 2.94%, 汇入长江的水量相对较少, 因而赤水河对长江的影响相对较小。赤水河多年平均径流量为 79.4 亿 m^3 , 而长江多年平均径流量为 2 697 亿 m^3 , 特别是在洪水期 7 ~ 9 月份, 赤水河的径流量仅占长江的 2.18%。赤水河入汇长江的汇流比大多在 0.01 ~ 0.085 之间, 频率约为 86.6%, 特别是 0.01 ~ 0.035 之间, 约占 48.8%。如此小的汇流比, 长江势必对赤水河产生壅水顶托影响。

(2) 赤水河涨水及洪峰一般年份均早于长江, 根据赤水站及朱沱站多年水文资料统计分析 (见图 2), 赤水河一般每年 4 月初开始涨水, 较长江一般提前约 1 个月; 赤水河洪峰一般在 6 月初或 7 月初出现, 也较长江提前约半个月。

(3) 长江洪水期 7 ~ 9 月多年平均流量 17 950 m^3/s , 洪峰峰型肥胖, 高水持续时间相对较长; 而赤水河 7 ~ 9 月多年平均流量 391 m^3/s , 水位暴涨暴落, 洪峰持续时间短, 峰型尖瘦。因此, 洪水期长江对赤水河势必产生壅水顶托影响。

(4) 赤水河落水早于长江, 同时长江落水相对缓慢, 使赤水河在落水初期仍然受长江壅水顶托影响。由于赤水河在落水冲刷期的冲刷历时相对较短, 使洪水期在赤水河口淤沙段淤积的泥沙在落水冲刷期不能全部冲走, 造成浅滩水深不足而碍航。

(5) 长江多年平均含沙量高于赤水河。赤水河多年平均含沙量为 0.891 kg/m^3 , 而长江为 1.177 kg/m^3 , 特别是在洪水期 7 ~ 9 月份, 赤水河多年平均含沙量为 1.07 kg/m^3 , 而长江却达 1.74 kg/m^3 。

(6) 赤水河年际间输沙量变化较大, 且年内来沙多集中于汛期。由于中洪水期河口淤沙段受长江顶托影响现象始终存在, 因此淤沙在所难免。河口淤沙段的淤积与赤水河的来沙有关, 大沙年淤积量大, 小沙年淤积量小。

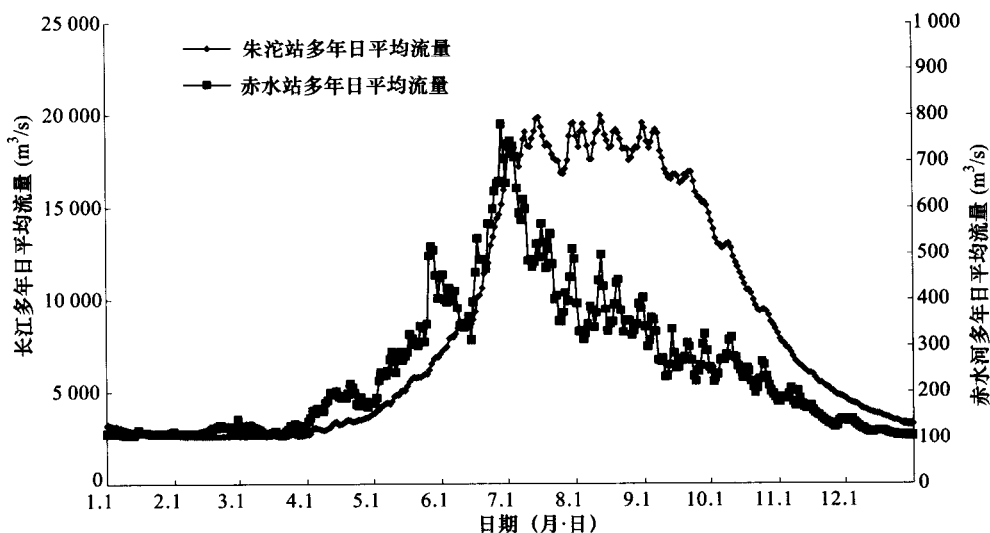


图2 长江朱沱站与赤水水文站多年日平均流量过程线

4 长江对赤水河口淤沙段水动力条件的影响

赤水河口淤沙段地处四川盆地低山丘陵区,两岸海拔 200~500 m,以蚀余山丘和冲积台地为特点,河谷开阔,河床呈宽浅的“U”形。从来水来沙情况看,赤水河口淤沙段具有典型的山区河流的水文特征。但由于该河段受长江的顶托影响,中洪水期水面比降平缓,水流流速较小,悬移泥沙落淤,又具有平原河流的水文特性。

4.1 长江对赤水河口淤沙段水位的影响

资料分析表明,长江对赤水河口淤沙段水位多年平均壅高值为 3.27 m,多年最大壅高值平均为 7.04 m,最小壅高值平均为 0.13 m;日平均最大壅高值为 18.3 m(1966 年 9 月 2 日),此时长江朱沱站流量为 52 900 m³/s,赤水站为 161 m³/s,汇流比仅为 0.003 05,壅水影响范围在赤水市以上(见图 3),长约 60 km。

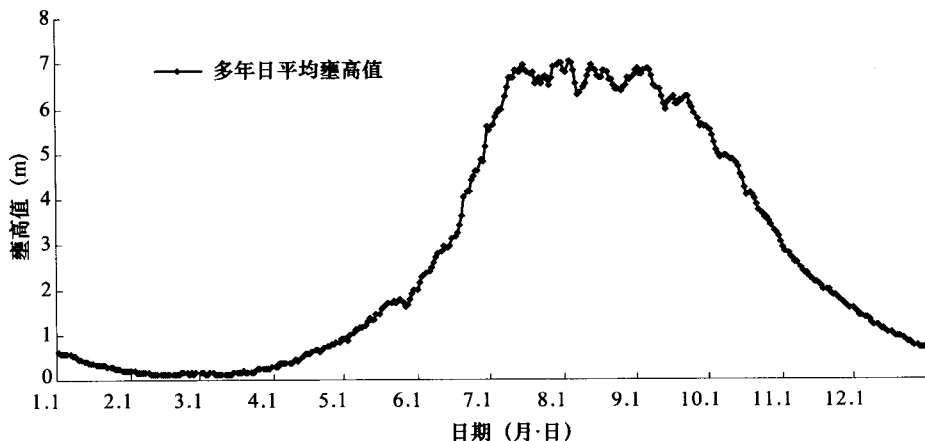


图3 长江对赤水河口段多年日平均水位壅高值过程线

长江对赤水河口段多年日平均水位壅高值过程线和多年月平均水位壅高值统计分别见图 3 和表 1。由此可见, 涨水期平均水位壅高值为 1.03 m, 中洪水期平均水位壅高值为 5.74 m, 特别是 7~9 月平均水位壅高值达 6.49 m, 壅水顶托影响范围在新开滩以上; 落水期平均水位壅高值为 3.22 m, 枯水期平均水位壅高值为 0.45 m, 尤其是 2~3 月平均水位壅高值仅为 0.18 m。可见中洪水期长江对赤水河口淤沙段壅水顶托影响最大, 落水期次之, 枯水期最小。即河口淤沙段在落水期受长江的顶托影响依然十分严重, 单靠落水期的洗河水冲刷或增加落水期的冲刷历时解决新开滩以下河段的碍航问题, 不仅整治工程量巨大, 而且整治效果也不十分明显。因此, 该河段航道整治应采取枯水治理, 全面缩窄枯水河宽, 利用有限的来水及有限的历时, 采取束水攻沙的整治措施, 实现整治目的。

表 1 长江对赤水河口淤沙段多年月平均水位壅高值统计

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水位壅高值(m)	0.39	0.17	0.20	0.59	1.47	3.48	6.56	6.67	6.25	4.28	2.16	1.04

4.2 长江对赤水河口淤沙段壅水影响范围分析

选择罐湾、新开滩、鲤鱼壕、脱弓滩、香炉滩及楚滩等六把水尺(距入汇处分别为 3.9、10.4、12.9、17.7、21.3 km 及 25.8 km), 采用一维数值模拟计算并点绘河口淤沙段沿程六把水尺的 H (水位)— Q (流量)— ΔH (壅高值)关系, 从而定性分析长江对赤水河口段的影响范围, 可以得到以下认识: ①河口淤沙段沿程六把水尺的水位不同程度上都受到长江壅水顶托影响, 即各水尺的水位都不是赤水站流量的单一函数, 而是由赤水流量及长江壅水顶托壅高值决定的。②同一壅高值下, 长江对赤水河口淤沙段水位的影响随赤水流量的增加而减弱; 不同壅高值下, 长江对赤水河口淤沙段水位的影响随壅高值的增加而增加。③长江对赤水河口淤沙段水位的影响随离河口的距离增加而逐渐减弱, 壅高值越大影响距离越长。根据计算和点绘的河口淤沙段沿程六把水尺的 $H—Q—\Delta H$ 关系, 可以估算出长江壅水顶托影响范围。当壅高值大于 1.5 m 及赤水来水小于 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量时, 壅水顶托至罐湾; 当壅高值大于 2.0 m 及赤水来水小于 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量时, 壅水顶托至新开滩; 当壅高值大于 3.0 m 及赤水来水小于 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量时, 壅水顶托至鲤鱼壕; 当壅高值大于 4.5 m 及赤水来水小于 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量时, 壅水顶托至脱弓滩; 当壅高值大于 6.5 m 及赤水来水小于 $700 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量时, 壅水顶托至香炉滩; 当壅高值大于 8 m 时, 壅水顶托至楚滩以上。

4.3 长江对赤水河口淤沙段流速和比降的影响

同样根据一维数值模拟计算成果, 并点绘河口淤沙段沿程六把水尺所处断面的 $V—Q—\Delta H$ 和 $J—Q—\Delta H$ 关系, 可以定性分析长江对赤水河口淤沙段流速和比降的影响。结果表明: ①河口淤沙段沿程六把水尺断面的流速和比降同样都受到长江壅水顶托影响, 即各水尺断面的流速和比降也都不是赤水站流量及河床形态的单一函数, 而是由赤水流量及长江壅水顶托壅高值决定的。②同一壅高值下, 长江对赤水河口淤沙段流速和比降的影响随赤水流量的增加而减弱; 不同壅高值下, 长江对赤水河口淤沙段流速和比降的影响随壅高值的增加而增加, 流速明显降低, 比降变缓。③长江对赤水河口淤沙段流速

和比降的影响范围随离河口的距离增加而逐渐减弱,壅高值越大影响距离越长。

5 河口淤沙段河床演变特点

赤水河口淤沙段河床演变主要表现为上游悬移质来沙在该河段的沉积和搬运。从水动力特性、河床质组成和泥沙淤积特性来分析,河口淤沙段可分为两个区段:

新开滩—楚滩 15.4 km 河道,受长江洪水壅水顶托影响,处于壅水变动区。一些滩段历年都发生不同程度的泥沙淤积,淤积部位及特性随干、支流来水来沙遭遇情况不同而异。尤以长江高水位、大流量、长历时顶托赤水河口段,并与含沙量较大的赤水河洪峰遭遇,使赤水河洪汛期悬沙在洪水河道平面放宽的几个汉流浅滩处发生严重淤积,淤积量可达数千至数万立方米。由于赤水河洪峰尖瘦,而且洗河水较多发生在长江水位退落之前,所以落水冲刷历时过短,对淤沙冲刷不力,枯期出浅碍航。该河段的河床质主要为卵石和基岩。

新开滩以下至合江河口段长 10.6 km,长期处于长江洪水壅水顶托区,水面比降平缓,流速甚小,输沙能力极低。当长江水位高、流量大、顶托历时长,并与赤水河含沙量较大的洪峰组合时,悬移质就在该河段大量淤积;在长江水位缓慢的回落过程中,新开滩上游冲刷下来的泥沙一部分被带入长江,另一部分则在本河段淤积(见图 4)。由于赤水河最后一次洗河水较多发生在长江回水退落之前,而长江回水退落历时又短,冲刷不及,当长江回水退落后,赤水河已进入枯水期,输沙能力较低,致使出浅碍航。淤积的泥沙一般至翌年的春节前后可基本冲完,航道水深可维持在 0.6~0.8 m。该河段的河床质主要为中细沙。

根据实际情况和现有资料分析,赤水河口淤沙段河床冲淤基本平衡,没有十分明显的堆积和冲刷,这对于所要进行的航道整治建设是有利的。

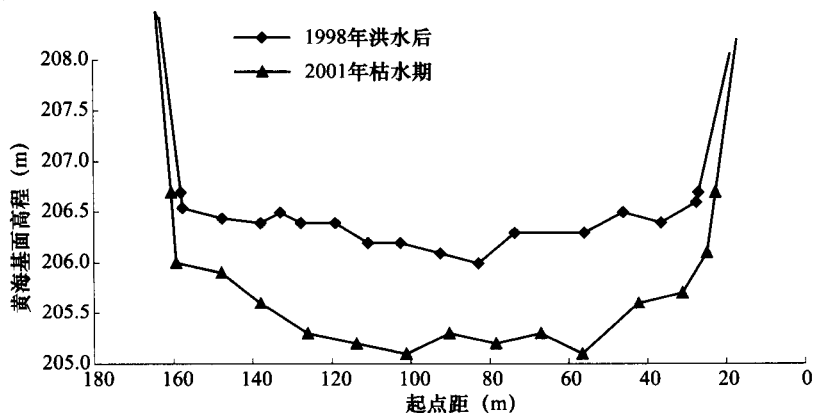


图 4 典型断面冲淤变化

6 航道治理原则和工程方案

根据河床演变分析,本河段针对淤沙治理的基本原则是:采取中低水治理,整治与疏浚结合;用整治建筑物把比较顺直的河段塑造成微弯河段,利于输沙;根据不同河段

的水流条件,采用变整治建筑物高度及变整治线宽度的方法,利用整治建筑物束窄河宽、增大流速、提早和延长冲刷时间,增大水流的输沙能力。根据河口两个区段的泥沙淤积和碍航特点,上段治理重点是几个主要碍航滩段,采用整治建筑物束窄滩段河宽和必要的炸礁与疏浚相结合的工程措施;下段采用整治建筑物为主,疏浚为辅的工程措施,治理淤沙,以满足航深要求。

7 几点认识

7.1 赤水河口段的泥沙运动特点

赤水河口段的泥沙运动特点是由赤水河的来水来沙及其过程和长江的来水及其过程共同决定的。

长江来水顶托影响到哪个河段泥沙淤积就发生在那个河段:长江水位顶托时,河段的水力要素和当地的河床形态关系不大,主要受顶托的严重程度制约,泥沙的淤积自顶托的影响末端开始向下游延伸,至其下游某河段淤积最甚,而后淤强减弱,淤强最大的河段当两河来水条件不变的时候其将缓慢地向下游推进,若两河来水发生变化则可能向上游亦可能向下游移动,但一般都发生在顶托的末端。

长江来水退落到哪个河段淤沙的冲刷就发生在那个河段:长江水位回落时,由于恢复到“天然”状况,河段的水力要素和当地的河床形态就密切相关了。当赤水河来流较大时,冲刷将主要发生在弯道和深槽河段;当赤水河来流较小时,冲刷将可能主要发生在浅滩河段,而这种冲刷下移的泥沙将又停淤在长江水位回落过程中的顶托的末端;如果赤水来流变化不大,而长江水位回落缓慢,则冲刷下移的泥沙将以类似“沙波”的形式运动。

新开滩以下的近河口段一定程度地说明上述泥沙的淤积和冲刷过程,该河段一般要到翌年的赤水河发生第一次洪水(此时长江水位还比较低)后才能将上年的淤沙冲刷外移至长江;同时该河段的汛期地形要低于枯季地形,表明这一河段汛期淤积少而枯季淤积多,当上游淤沙冲刷下移结束后,本河段才开始冲刷,而此时赤水河来流量又较小,所以这部分泥沙要等到第二年的春汛时才完成冲刷。

7.2 赤水河口段和水库回水变动区的异同

如果将长江历年的最枯水位似同于水库的死水位,则赤水河的下游河段确实和水库的回水变动区类同。

水库的运行水位在一年中会有几次改变,回水变动区的位置相对比较稳定;赤水河口的水位(由长江的水位决定)的最大水位变幅可达约 20 m,在一年中河口处的水位是不断变化的,不是几次,而是在连续的变化中,受长江来水顶托的河段长度在不断的变化。长江每来一次洪峰都相当于“水库改变调度一个周期”。

水库运行一般是汛期低水位运行,到汛末抬高水位至正常蓄水位,直至翌年的汛前,整个枯水季节一直是高水位运行;赤水河口的水位变化则完成不同,赤水河的汛期,一般也是长江的汛期,即赤水河口汛期受长江水位顶托影响大,而枯季受长江水位顶托影响小。

水库回水变动区由于汛期水库低水位运行,呈自然状态,汛期的冲淤规律没有变化,

如果浅滩在汛期是淤积的化,则依然淤积,它改变的是枯水季节的冲淤变化规律,由于枯季水库运行水位抬高,若浅滩在枯季是冲刷的话,由于水位抬高而难以冲刷;赤水河口的情况就完全不一样,赤水的汛期来沙几乎都淤积在河口段,在枯水季节不断地向下游搬运,直至由水流挟带至长江。

7.3 关于近河口段的整治水位和整治线宽度问题

资料分析表明赤水河口段的冲淤变化年内是基本平衡的,这一点对于所要进行的河段治理工程是十分重要的。

对于近河口段,除几个弯道处,河道几乎等宽,河槽中边滩不发育,深泓不明显,极似明渠。显然在这样的河段进行航道治理不同于一般的航道整治,通常的航道整治是针对一个河段的若干浅滩来进行的,而整治水位和整治线宽度也正是依据浅滩的治理提出的,这就存在着在赤水河口段如何理解及如何应用整治水位和整治线宽度的问题。

问题的关键是,对于浅滩,当由汛期高水位回落到整治水位时,上深槽一般无泥沙向浅滩输移,浅滩开始冲刷,浅滩冲刷下移的泥沙囤积到下深槽而一般不会输移到下一个浅滩,即对于浅滩而言,这是整治线宽度计算方法的建立基础。赤水河近河口段的情况则不同,一是整治前当水位回落到整治水位时,上游有泥沙向下游输移,二是整治后更是如此,三是没有深槽可供泥沙暂时囤积。

根据赤水河口的特点,提出了近河口段采用整治水位由上而下渐低、整治线宽度由上而下渐窄的确定原则来解决的方法,“渐低”是基于长江水位顶托的影响的减弱是自上而下进行的,“渐窄”是基于要求水流不仅挟带本地泥沙还需挟带上游来沙。

参 考 文 献

- [1] 王义安. 汇流口河段干流对支流航道的影响研究. 水道港口, 1997(2)
- [2] 赵连白. 赤水河河口回水变动区航道整治模型试验经验总结. 水道港口, 2005(增刊)

长江河口口外水域含沙量分布和泥沙输移过程研究

李九发¹ 万新宁^{1,2} 沈焕庭¹ 应 铭¹ 时连强¹ 左书华¹

(1.华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062;

2.上海航道勘察设计研究院 上海 200120)

摘要: 本文利用从 20 世纪中期至今 10 余次现场多点同步观测潮流速、流向、盐度、含沙量和水深等实测资料,分析研究了长江河口口门外水域含沙量的空间分布和随时间变化规律及泥沙输移过程。该水域含沙量平面分布不均,高含沙量核心区的含量在 1.6 kg/m^3 以上,而口外海滨区含沙量小于 0.10 kg/m^3 ,一般呈西部水域高,东部海域低,东、西部分界处在 10 m 等深线附近,含沙量为 $0.3 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$ 。南部水域高,北部水域低,南、北部分界带位于深水航槽的北槽出口纵向水域。并存在枯季含沙量大于洪季,大潮高于小潮,以及相邻涨落潮含沙量不等的平面和纵向分布特点。同时,讨论了导致该水域含沙量分布差异大以及泥沙运动过程中的主要影响因素,初步确定与长江季节性来水来沙和河口不同出海通道排水排沙比,盐水楔入侵、潮流季节性和潮周期变化及河口拦门沙淤积冲刷等因素影响有关。

关键词: 长江河口 河口拦门沙 含沙量 泥沙输移过程 陆海相互作用

世界上许多平原河口均存在河口拦门沙,而河口拦门沙又是陆海相互作用下咸淡水混合界面动力平衡区泥沙沉积的产物。长江河口呈滩槽相间连成一体拦门沙系(见图 1),数十年来,随着入海航槽的开发和整治,以及海岸工程的建设,众多学者对于它的动力条件、泥沙运动、沉积过程和成因等均做了大量的研究工作^[1~9]。而作为陆海相互作用关键界面,它既是落潮水流扩散区域,又是涨潮水流能量聚集地带^[6~11],而对长江河口拦门沙最敏感的前缘地段的口外水域泥沙特性和输移规律等研究较少^[11, 12, 16]。近 20 年来,我们在该海域先后进行了多次现场观测,2004 年 6 月为长江河口深水航道三期治理工程出海航槽选线需要又布置了多点站同步观测,已先后获得一批不同年份实测水沙原始资料。本文就以实测资料为基础,着重对该海域陆海相互作用下的水流含沙量分布、河床泥沙再悬浮和泥沙输移过程等进行分析研究,其成果可丰富河口陆海相互作用下的泥沙输移理论,并可为长江河口深水航道治理工程出海航槽选线提供理论依据。

1 资料来源

先后于 1974、1980、1981、1982、2003 年和 2004 年分别在该海域布置了多条断面或多测点站同步观测潮流流速、流向、盐度、含沙量和水深及海床沉积物(见图 1),包括洪枯季、大小潮和不同来水来沙年份的实测数据,同时取得了一批河床沉积物资料。在室内对泥沙样品进行了测试分析,对实测水流和盐度数据,利用计算机进行处理、计算和制图工作。在此基础上,对长江河口口外水域含沙量分布和泥沙输移过程进行分析研究。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40231017)和国家重点基础研究发展规划项目(2002CB12403)。

作者简介: 李九发,男,1949 年出生,教授,主要从事河口海岸泥沙运动和河床演变及海岸工程研究。