

研究报告

长江中游典型浅滩演变与整治研究

陆永军¹, 刘建民²

(1. 南京水利科学研究所, 南京 210024; 2. 天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

[摘要] 根据浅滩的形成条件及演变特征, 长江中游浅滩可分为分叉段浅滩、顺直(微弯)过渡段浅滩和弯道复杂浅滩三类, 分析了这三类浅滩的成因及演变规律。简述了荆江裁弯及葛洲坝水利枢纽的运用对重点浅滩航道的影 响, 提出了现状整治原则及整治工程布置的初步想法。

[关键词] 分叉河段; 顺直(微弯)河段; 弯道河段; 浅滩; 河床演变; 航道整治

[中图分类号] TV853 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)07-0040-06

1 引言

新中国成立以来, 长江中、下游的浅滩航道尚未系统治理, 已成为制约航运发展的突出矛盾。为适应长江经济带发展的要求和促进长江航运的发展, 长江干流航道治理应结合国家西部大开发战略目标的实施, 充分发挥三峡工程的航运效益, 以满足日益发展的江海运输和海轮进江的需要。以长江三峡库区航道建设和中下游航道整治为重点, 须全面系统开展长江干流航道重点浅滩整治, 提高局部

尚未达到通航标准河段航道尺度和保证率, 改善航行条件, 达到长江干流航道建设标准。

2 浅滩的类型

长江中游自宜昌至湖口全长 898 km, 属平原河流。该河段流经富庶的江汉平原和洞庭湖平原, 北岸有汉江汇入, 南岸有清江、洞庭湖水系和鄱阳湖水系汇入^[1,2]。

宜昌至城陵矶全长 393 km (图 1), 右岸原有

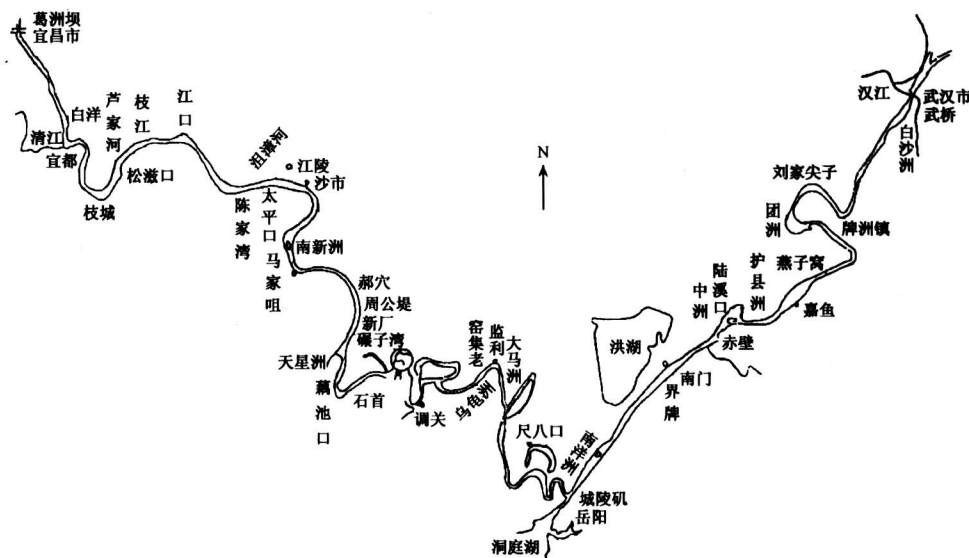


图 1 宜昌—武汉河道河势图

Fig.1 Sketch of the reach from Yichang to Wuhuan of the Yangtze River

[收稿日期] 2001-11-26; 修回日期 2002-01-07

[基金项目] 国家“八五”重点科技攻关项目(85-16-02-03-04, 85-16-02-03-05)

[作者简介] 陆永军(1964-), 男, 江苏南通市人, 博士后, 南京水利科学研究所教授级高级工程师

松滋、太平、藕池和调弦四口与洞庭湖相通，1959年调弦口建闸，现尚有三口分流。其中宜昌至枝城56 km河段是由山区河流向平原河流的过渡段，两岸多低矮山丘，阶地发育。枝城至城陵矶河段称荆江，以藕池口为界分为上、下荆江。上荆江长约164 km，为微弯型河段，河槽宽度平均为1 300~1 500 m，平面摆动小；下荆江长约173 km，为蜿蜒型河段，两岸崩坍严重，河道迂回曲折，素有“九曲回肠”之称，河槽平均宽度1 000 m，平面位置摆动甚大，自然裁弯和切滩频繁，河势不稳，浅滩变化复杂。城陵矶至湖口全长503 km，有洞庭湖水系、汉江、鄱阳湖等水系汇入，流量增大，江面较宽，河道较顺直，航道较荆江段稳定^[1,2]。该河段两岸多为断续的孤独山丘，土质有所不同，侧向侵蚀较为严重，易形成分汊和弯曲河道。

根据浅滩形成条件及演变特征，长江中游浅滩可分为三类：**a.** 分汊段浅滩，如芦家河、沙市、天星洲、嘉鱼、武桥浅滩等，这些浅滩地处河道放宽段；**b.** 顺直（微弯）过渡段浅滩，如周公堤、碾子湾、窑集老、大马洲、界牌、燕子窝等，位于较长的过渡段上；**c.** 弯道复杂浅滩。如马家咀、监利、陆溪口等，位于河湾之中。

3 浅滩成因和演变

3.1 分汊段浅滩

位于河道放宽处的分汊段浅滩冲淤规律基本相同，即洪淤枯冲。但卵石夹沙河床年内冲淤基本平衡，枯水航槽比较稳定；沙质河床受来水来沙影响年内洪淤枯冲，多年冲淤基本平衡，枯水航槽不稳定。各分汊段浅滩成因又有其特殊性。

荆江南岸有松滋口、太平口、藕池口分流分沙入洞庭湖，口门附近（下游）多为分汊河段，且均存在浅滩。如松滋口的芦家河浅滩、太平口的三八浅滩及藕池口的天星洲浅滩。这些浅滩形成的原因之一是受分流影响，中洪（涨）水期水流动力轴线向南岸迁移，从而使沿北岸流速减小，挟沙能力减弱，大量悬沙落淤；枯水退水期口门分流逐渐减小，水流动力轴线又从南岸移向北岸，水流冲刷洪水期淤沙，但常因冲刷不及时而水深不能满足分月设标航深要求。原因之二是这些浅滩地处河道放宽段，流量小于15 000 m³/s时放宽段流速明显大于缩窄段，流量大于20 000 m³/s时放宽段流速明显小于缩窄段，因挟沙能力与流速三次方成正比，这

样洪水期挟带的大量泥沙经缩窄段后在放宽段淤积，枯水期则表现为缩窄段淤积、放宽段冲刷^[3]。

芦家河浅滩（图2）受其特殊河床地形条件影响，成为长江中游著名的中水浅水道，两处呈匙形卵石碛坝，河床高程较低（34.7~34.9 m），仅比航行基面高0.2~0.4 m，且两碛坝间过流，致使中水期水流分散，挟沙能力减弱。落水冲刷期，又受松滋口吸流影响，水流不能及早归入沙泓冲刷淤沙，当枝城水位为航行基面以3.1~3.2 m时，石泓水深吃紧，而沙泓尚未冲开，出现沙泓与石泓深均不满足分月设标的互不衔接的碍航局面^[3]。

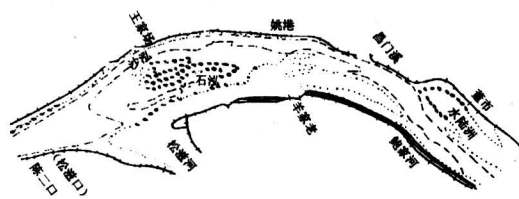


图2 芦家河河段示意图

Fig.2 Sketch of the Lujiache reach

位于上荆江末端的天星洲浅滩（图3），河床为中细沙，床沙可动性大，枯水期主流从靠近南岸的深槽经茅林口心滩向靠近北岸深槽过渡，过河航道位置随藕池口分流大小而上提下挫，年际间呈有规律的周期性往复变化，1955—1981年曾出现三次主泓上下摆动周期，大约10年一次。主泓从上到下周期性摆动，是有条件的，大水年藕池口分流量大，右汊发育，过渡段位置在郑家河头以下，易形成横渡过河航道，使航道增长，比降减小，为航道淤积主泓上提提供了条件。小水年过渡段位置上提，受藕池口分流影响小，水流归槽时间长，水流易坐弯形成分汊河道，如遇中水年左汊依然可发育为主汊，右汊在环流作用下顶冲点下移但水流不

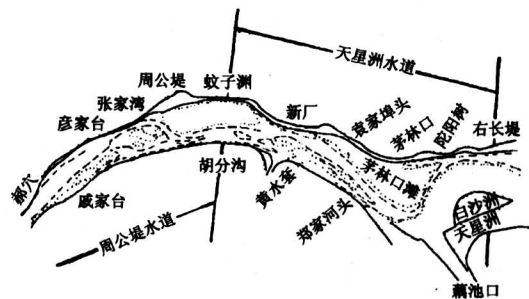


图3 周公堤至天星洲河段示意图

Fig.3 Sketch of the reach from Zhougongdi to Tianxingzhou

畅。如遇大水年由于藕池口分流量大，右汊发育再次坐弯下窜，左汊淤积，完成主泓从上到下的演变过程。天星洲浅滩特点是航槽不定、出浅点多^[4]。

3.2 顺直（微弯）过渡段浅滩

顺直（微弯）过渡段浅滩主要是由于河道开阔，边滩、心滩在水流作用下消长不定，主流摆动，航槽不稳而成滩。如周公堤浅滩（图 3），该水道同时还受矶头影响。周公堤水道位于上荆江的下段，上起郝穴镇下至胡分沟。平面形态呈微弯放宽状，进口郝穴镇以上 1 km 处的狭窄段河宽 750 m，向下逐渐放宽，到张家榨河宽达 2 000 m 以上，出口胡分沟河宽达 1 700 m。河道内进口右侧南五洲沙滩上有卵石分布，据考证卵石是由郝穴矶头下冲刷坑冲刷而来，出口左侧有蚊子洲沙质边滩，河床为中、细沙组成，在水流作用下可动性大。郝穴矶头群随年内水位涨落挑流作用不同而改变主流走向，所以洲滩不时地被切割或兼并而形成两滩之间的零星心滩，或者形成两滩头尾的浅脊，成为主流从左侧上深槽向右侧下深槽过渡的沙硬而出浅碍航，此过渡段随洲滩的消长变化不定，航槽不稳且年间无一定规律。此外，当流量超过 20 000 m³/s 时，同流量下过渡段的挟沙力略小于上下深槽，当流量小于 15 000 m³/s 时过渡段浅滩断面挟沙能力明显小于深槽断面，这样水流从上深槽挟带泥沙在过渡段淤积，因此落水期过渡段水流冲刷能力明显小于深槽断面，常造成枯水期过渡段冲刷不及而出浅^[5]。同时还因洪水持续时间不同或汛后落水的快慢以及洲、滩变化等原因，过渡航槽的位置有上提下挫的变化（图 4）。

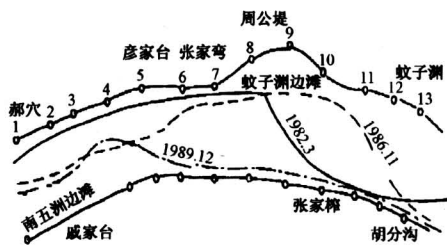


图 4 周公堤水道典型年枯水深泓线示意图

Fig.4 Sketch of the valley lines in the low water of the Zhougongdi channel

又如，窑集老浅滩段（图 5）枯水河宽从塔市驿深槽处 700 m 至展览段达 1 500 m。由于江面沿程逐渐放宽，当监利流量超过 15 000 m³/s 时，展览段的流速和挟沙能力明显小于深槽段，洪水期水

流挟带大量的泥沙通过深槽段后在展览段落淤；当流量小于 12 000 m³/s 时，展览段流速大于深槽段，呈现冲刷^[6]。落水冲刷时由于上下边滩低，水流分散，且河床泥沙组成细（中值粒径为 0.152 mm），心滩位置、形态不固定，使跨河航槽位置依不同来水来沙条件在洋沟子与药师庵间上下移动，丰沙年跨河航槽上提，少沙年跨河航槽下挫，上下移动范围可达 3.5 km（图 6）。当边滩完整时，冲出的跨河航槽能满足航行条件；当边滩不完整时，心滩散乱，串沟多，水流分散，航道易出浅。出浅时间多在每年 12 月至翌年 3 月。

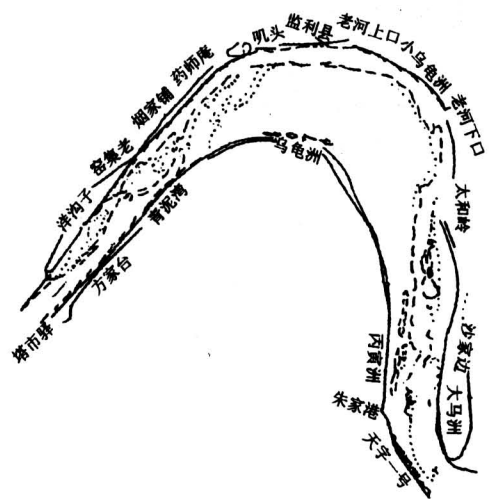


图 5 窑、监、大河段示意图

Fig.5 Sketch of the Yaoqilao, Jianli and Damazhou reach

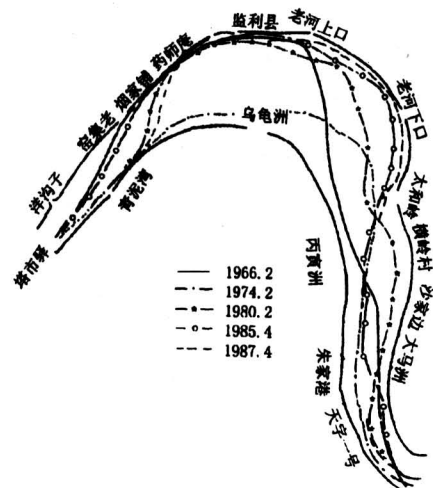


图 6 窑监大水道多年枯水主流线示意图

Fig.6 Sketch of the main flow line of the Yaoqilao, Jianli and Damazhou reach

3.3 弯道复杂浅滩

监利弯道浅滩(图5)紧接窑集老水道,河床上下两端窄,中间宽,最宽处可达3 km;弯道凹岸有监利矶头,中洪水挑流作用大于枯水;其下端为监利港。乌龟洲将监利水道分为左右两汉,一般左汉为主汉,右汉中洪水才过流;当主流走右汉或右汉分流过多时,在监利矶头下游形成大面积的回流泥沙淤积区,若汛后落水冲刷不及时,或右汉冲开南泓争流时,处在回流区内的监利港航道出浅,影响船舶停靠作业^[7]。

监利弯道浅滩演变具有与弯道河床演变相似的一般规律,即在弯道环流作用下产生泥沙不平衡输移,凹岸老河下口崩塌,凸岸乌龟洲淤长,弯顶不断下移,主流线低水坐弯、高水趋直,当主流线与河弯半径不相适应时,产生切滩撇弯,水流冲开南泓,当来水来沙较大及窑集老主流直入监利北泓时,南泓发展受到限制,主流又复向北泓,如此在一定时间内呈周期性变化^[6]。

4 荆江裁弯及葛洲坝水利枢纽对浅滩的影响

1967—1972年下荆江系统裁弯工程使荆江河段缩短78 km,比降增大,河道冲刷过程由下向上发展。但裁弯没有改变来水来沙条件,只是局部河段比降的调整,经过约5~7年即到1978年,河床已建立新的平衡。葛洲坝水利枢纽为径流式电站,于1981年蓄水运用。枢纽下游来水过程与天然情况基本相同,但来沙发生了变化^[2],表现在枯水期11~4月含沙量大幅度减少,5~10月与天然情况接近,下泄卵石、沙质推移质大为减少,这样,坝下游河床必然引起冲刷,至1987年,冲刷已影响到新厂以下。由此可知,裁弯与葛洲坝枢纽工程都使荆江河道发生冲刷,过水断面面积增加,水位下降。受裁弯影响,新厂流量为5 000 m³/s时,监利、石首、新厂、郝穴、沙市、陈家湾、枝江水位分别降落2.0 m、2.0 m、1.6 m、1.65 m、1.25 m、1.15 m、0.4 m;受葛洲坝水利枢纽影响,至1987年,枝江、陈家湾、沙市、郝穴、新厂、石首水位分别降落0.6 m、0.5 m、0.6 m、0.4 m、0.3 m、0.05 m^[7]。由于河床组成不同,抗冲性的差异,对不同浅滩的影响是不同的。

4.1 芦家河卵石夹沙浅滩河段

芦家河卵石夹沙浅滩抗冲性强,河床冲刷下切

受阻,裁弯前后及葛洲坝水利枢纽建成前后,同流量下水位变化不大,下游枝江(马家店)的水位降落使芦家河枯水浅滩比降比1980年增加了33%,相应的流速也有所增大。航道条件仍保留着沙泓与石泓不能互相衔接的碍航局面,1980年后10~11月水深均未达到月设标要求。

4.2 周公堤至天星洲沙质浅滩河段

周公堤至天星洲沙质浅滩河段受裁弯影响较大,裁弯后由于枯水航道的冲刷加上70年代中小水文系列年较多,水流归槽时间长,航道条件均有所好转。葛洲坝枢纽运用后,在次饱和水流作用下,该河段河床冲刷下切与展宽并存,80年代航道有所恶化。尽管裁弯对本河段河床冲淤影响较大,葛洲坝枢纽对其也有一些影响,但跨河航道上提下挫的变化规律仍与天然情况基本一致。

4.3 监利弯道浅滩河段

裁弯引起水面比降增大,使监利弯道发生切滩撇弯,水流改走南泓乌龟夹,北汉形成边滩,但中洪水动力条件几乎不变,在弯道环流作用及城陵矶水位顶托影响下,在几年之内经历了一次左右汉兴衰变化过程。窑集老至大马洲浅滩裁弯初期河床淤积严重,航道逐年出浅,裁弯影响减弱后,河道又恢复到裁弯前的河势,航道有所好转^[7]。

5 浅滩整治初步设想

5.1 整治目标

根据交通部长江航务管理局等4个单位提供的长江干流航道2001年的发展规划:宜昌—城陵矶河段的航道尺度应达到3.2 m×90 m×1 000 m(设计水位下航深×航宽×弯曲半径),现状为2.9 m×90 m×1 000 m;城陵矶—武汉河段的航道尺度应达到3.7 m×100 m×1 000 m;武汉—湖口河段航道尺度应达到4.5 m×110 m×1 050 m。

5.2 整治原则

充分利用主导河岸,因势利导,结合水利部门控制河势的护岸工程,按照河势发展的有利趋势,以中水期流向为主,适当照顾低水期流向,规划整治线,同时考虑行洪、工程量及工程效果等因素^[5]。

5.3 整治水位及整治线宽度

根据各滩边滩平均高程,确定整治流量为6 000~8 000 m³/s,相应水位在设计水位以上1.8~2.2 m为整治水位,整治线宽度为700~800 m,此时冲刷效果较佳,且对洪水位影响很小。

5.4 典型浅滩现状整治意见

5.4.1 芦家河中水浅滩^[3] 芦家河浅滩的航道现状为洪水期流量超过12 000 m³/s时,石泓能够满足8、9月3.8 m的设标航深;10月份流量超过11 000 m³/s时,石泓能满足3.5 m分月设标航深,流量为10 000 m³/s时,相应枝城水位在航行基面以上3.1~3.2 m,石泓水深吃紧,不能满足10月设标航深;11月份,水位进一步下降。当流量小于8 000 m³/s时,石泓不能满足11月份3.2 m的设标航深;而在10月下旬至11月,沙泓尚未冲开,航道出现互不衔接的碍航局面。针对芦家河浅滩成因,可采用石泓挖槽工程、松滋口分流控制工程或鱼咀丁坝工程治理该浅滩。

三种整治工程方案不同组次的各种来水来沙过程的数值试验结果表明,石泓挖槽工程方案须要年年维护,才能保证航深满足设标要求;松滋口分流控制工程方案,当10~11月20 000 m³/s分流量控制为零时,沙泓能很快冲开,满足分月设标要求,但工程量较大;加大加高碛坝的鱼咀丁坝方案(图7),坝顶高程为航行基面(设计水位)以上2.2 m,中枯水期形成分汊河势,能使沙泓水流提早归槽,冲刷沙泓淤沙,满足分月设标航深要求,百年一遇(1981年)洪水位坝上游仅壅高0.01~0.02 m,且可保证芦家河碛坝不被冲刷,是值得研究的方案。

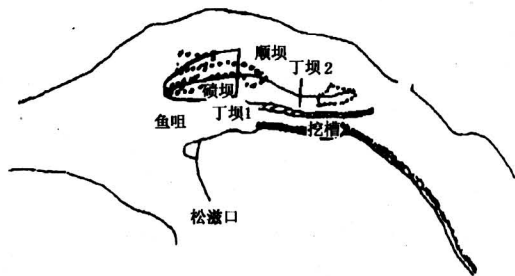


图7 芦家河河段整治工程初步布置示意图

Fig.7 The layout of training works in Lujiahe reach

5.4.2 周公堤至天星洲浅滩段^[4] 整治工程初步布置如图8所示,在南五洲做两条丁坝(1[#]、2[#]),固定南五洲边滩,使南五洲边滩淤高长大,以稳定进口主流的方向;在蚊子洲滩头部实施固滩,做3条丁坝(3[#]、4[#]、4A[#]),利用3[#]下挑丁坝将水流从左岸平顺引入右岸深槽,稳定周公堤水道过渡段的位置;在黄水套至郑家河头一带做两

条下挑丁坝(5[#]、6[#])并在对岸做7[#]、8[#]丁坝,束窄水流,稳定天星洲水道过渡段位置,为了防止大水年藕池口分流较大,水流从天星洲冲开,在天星洲上作顺流齿坝(9[#])。各坝坝顶高程均为设计水位以上2.0 m,其整治流量为6 140 m³/s,整治线宽度为750~800 m。

此方案在中水中沙年来临之前的枯水期实施,既可以照顾到防洪对本河段的要求又可以达到整治目的,经过中水中沙及大水大沙年的水沙过程后,枯水期设计水位下3 m等深线上下游贯通,水流顺畅,消除了整治前周公堤及天星洲过渡段航槽水流太弯曲的现象,满足了现阶段设计水位下3.0 m水深的要求。

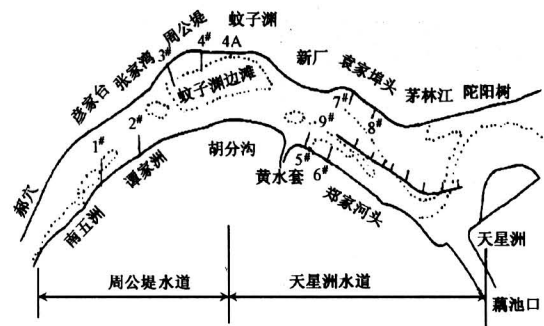


图8 周天河段整治工程初步布置示意图

Fig.8 The layout of training works in the reach from Zhongongdi to Tianxingzhou

5.4.3 密集老至大马洲浅滩段^[6] 在密集老水道左右岸建丁坝群,固定上、下边滩,缩窄河宽控制主流,稳定跨河航槽位置;在监利水道南汉入口及洲滩建丁坝,堵汉固滩,集中水流冲北槽,使分汊河段变成单一河道,并在现在护岸基础上,若有必要进一步完善护岸工程,保证监利港区水深;用丁坝群固定大马洲上下边滩,稳定过渡航槽,集中水流冲刷浅区,使顺直过渡段成为微弯河槽。具体整治工程布置示于图9,各坝坝顶高程均为设计水位以上2.0 m,其整治流量为6 000 m³/s,整治线宽度为750~800 m。

6 结语

长江中游河道整治要充分利用主导河岸,因势利导,结合水利部门控制河势的护岸工程,按照河势发展的有利趋势以中水期流向为主,适当照顾低水期流向规划整治线,同时考虑行洪、工程量及工程效果等因素,整治流量为6 000~8 000 m³/s,相

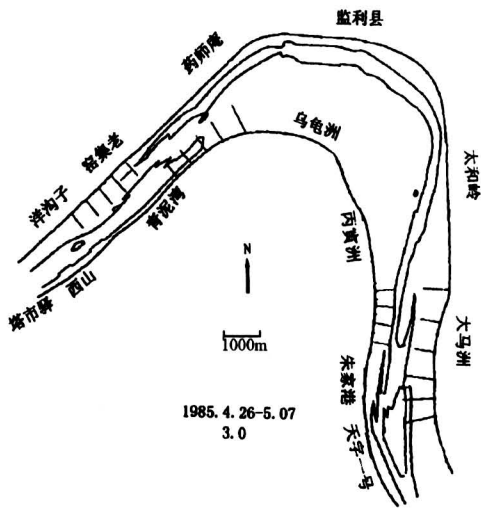


图 9 窑集老至大马洲浅滩整治工程示意图

Fig.9 The layout of training works in Yaoqilao, Jianli and Damazhou reach

应水位在设计水位以上 1.8~2.2 m 为整治水位，整治线宽度为 700~800 m，此时冲刷效果较佳。

采用丁坝或丁坝群整治荆江浅滩，冲刷航槽，增加航深，从理论上讲是可行的。实际工程中尤其是受三峡工程拦沙泄水影响及整治工程施工方面的问题，还要结合工程实施时的河床演变监测及数学、物理模型试验，确定施工方案。

致谢：曾得到梁应辰院士的指导，承蒙河海大学陈国祥教授审阅；参加攻关研究的还有贾锐敏、陈风云二位副研究员等，特此致谢。

参考文献

- [1] 三峡工程论证泥沙专家组工作组. 长江中下游松滋口至大通河段查勘报告[A]. 长江三峡工程泥沙研究文集[C]. 中国科学技术出版社, 1990. 346~369
- [2] 陈志轩. 长江中游宜昌至武汉河道考察报告[A]. 长江三峡工程泥沙研究文集[C]. 中国科学技术出版社, 1990. 386~401
- [3] 陆永军, 刘建民. 芦家河浅滩整治措施(现状)二维动床数学模型研究[A]. 长江三峡工程泥沙和航运问题研究成果汇编[C]. 交通部三峡办公室, 1997
- [4] 陆永军. 周天河段整治工程(现状)二维动床数学模型研究[A]. 长江三峡工程泥沙和航运问题研究成果汇编[C]. 交通部三峡办公室, 1997
- [5] 陆永军, 刘建民. 荆江重点浅滩整治二维动床数学模型研究[J]. 泥沙研究, 1998, (1): 37~51
- [6] 陆永军. 窑集老至大马洲河段整治工程(现状)二维动床数学模型研究[A]. 长江三峡工程泥沙和航运问题研究成果汇编[C]. 交通部三峡办公室, 1997
- [7] 贾锐敏, 陈风云, 陆永军. 三峡建坝后荆江重点河段航道变化及整治措施研究[A]. 长江三峡工程泥沙和航运问题研究成果汇编[C]. 交通部三峡办公室, 1997

Study on Fluvial Process and Regulations of Typical Shoal of Middle Yangtze River

Lu Yongjun¹, Liu Jianmin²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

2. Tianjin Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

[Abstract] Based on analyses of fluvial process and the reason of the shoal deformation, the shoals of the middle Yangtze River can be divided into three kinds, i. e. the shoals of the braided reach, the shoal of the straight transitional reach and the shoal of the bend. The influences of cut-off of the lower reach of Jingjiang River and river bed evolution on the shoal due to the set-up of Gezhouba Dam are briefly presentation. The regulation principle and the regulation engineering preliminary layouts of the typical shoal are discussed.

[Key words] braided reach; straight transitional reach; bend; shoal; fluvial process; regulations of waterways