



长江下游马当河段近期演变及碍航特性

杨芳丽

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 基于已有研究成果和马当河段实测水文、地形等基本资料, 系统分析本河段近期演变规律和碍航特性, 并进行趋势预测。结合该段航道整治规划目标, 提出治理思路及航道整治方案设想。

关键词: 马当河段; 河床演变; 碍航特性; 航道整治

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)05-0092-06

River evolution and navigation-obstructing characteristics of Madang river reach downstream the Yangtze River

YANG Fang-li

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Based on the research results and the field data, we analyze the recent evolution regularity and the navigation-obstructing characteristics of the waterway, and predict the trend of evolution. According to the waterway regulation target, we propose the regulation idea and tentative regulation scheme.

Keywords: Madang river reach; river evolution; navigation-obstructing characteristics; waterway regulation

1 马当河段基本情况

马当河段位于长江下游, 上起小孤山, 下至华阳河口, 长 30 km, 上距九江市约 61 km, 下距安庆市约 60 km, 左岸为安徽省望江县, 右岸为江西省彭泽县。本河段江中骨牌洲(又称搁排洲、棉船洲)将河床分成南北两汉, 南汉为主汉, 为主航道所在(图 1)。南汉从上至下: 马当矶以上为马当南水道、马当矶——娘娘庙为马当阻塞线水道(简称马阻水道)、娘娘庙以下为东流直水道。北汉为马当圆水道(简称马圆水道), 分流比较小, 河道弯曲、狭窄。

本河段航道条件较差且不稳定, 不同时期碍航地点和碍航程度各不相同。目前, 马当南水道航道条件较差, 马当矶以上航道弯曲、狭窄, 枯季航宽仅 200 m 左右, 航线不平顺, 水流条件恶劣, 船舶航行困难; 马阻水道在未整治前(2003 年

以前)为长江下游碍航严重的水道之一, 水道中存在著名的马当阻塞线。

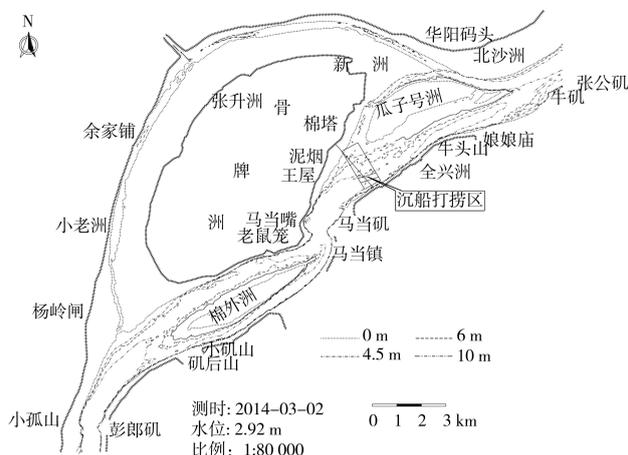


图 1 长江下游马当河段河势

近年, 因马南水道江心洲棉外洲的演变, 左槽不断冲刷发展, 右槽航宽显著缩窄, 右槽航道条件持续恶化。为了稳定和改善局部相对有利的

收稿日期: 2015-11-23

作者简介: 杨芳丽(1981—), 女, 博士, 高级工程师, 从事长江航道整治研究。

滩槽格局，抑制不利变化，改善航道条件，2007—2012 年已先后实施马当河段航道整治一期工程^[1]（简称一期工程）和马当南水道航道整治工程^[2]

（图 2 中已建工程），基本上达到了维持马当南水道双槽格局、保持右槽主航道条件、并遏制左槽较快发展的整治效果。

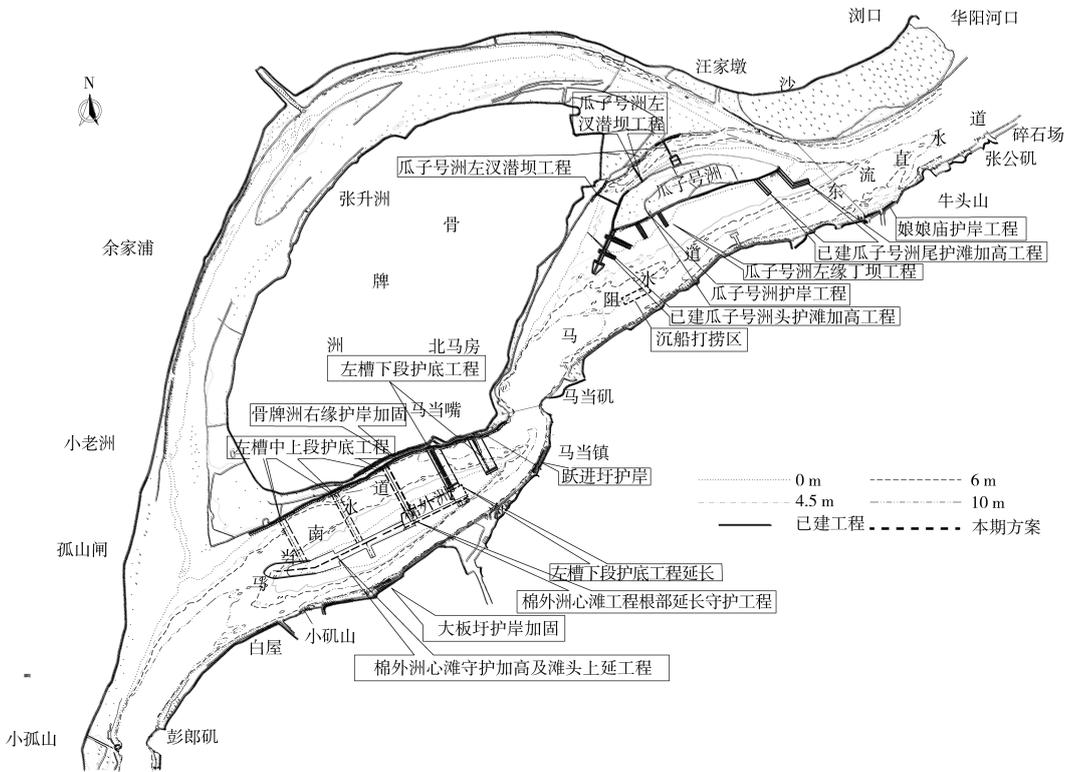


图 2 马当河段航道治理工程方案

为稳定河势，进一步改善航道条件，充分发挥长江全流域黄金水道的优势，目前正在开展长江航道宜安段“645”工程（长江干流武汉—安庆 6 m、宜昌—武汉 4.5 m 水深航道整治工程）相关前期论证工作^[3]，通过提高航道条件，为长江经济带发展提供支撑。马当河段目前航道维护尺度为 4.5 m×200 m×1 050 m（水深×航宽×弯曲半径），尚不满足 6 m 水深。本文在已有研究成果的基础上^[1-8]，分析马当河段近期演变规律和碍航特性，并预测其演变趋势。同时，针对本河段存在的问题，对马当河段 6 m 航道治理对策进行探讨。

2 近期演变及变化趋势

2.1 近期演变

近几十年来，马当河段河道平面形态及滩槽格局变化不大。左岸骨牌洲洲头自 20 世纪 70 年

代至 90 年代有所淤长，后又冲刷后退，2000 年以后基本稳定；右岸在水利部门以及地方政府实施护岸工程后，河道岸线稳定。马阻水道瓜子号洲体在 2000 年以前南崩北淤整体北移，2000 年以后基本稳定。其余岸线，呈现南岸局部岸线有所崩退、北岸进口段局部岸线有所淤长的变化。总体而言，马当河段河道平面形态及洲体基本稳定，主要演变特点为：

1) 南汉分流分沙比增加、冲深发展，呈现南兴北衰的态势。

20 世纪 50 年代末以来，南汉分流比持续增大，枯水期分流比从 1959 年的不足 65% 增加到 80 年代初的超过 75%，近年更是超过 95%；洪水期分流比从 1959 年的不足 55% 增加到 80 年代初的约 75%，近年超过 90%，每年保持较大幅度的增幅。与此相应，北汉分流比持续减少。南汉分沙比与分流比规律基本一致，1980 年 4 月分沙比

为 75.8%，2000 年以来，超过 95%，并稳定在 95% 以上(表 1)。

表 1 马当河段实测分流比和分沙比

测时	流量/ (m^3/s)	分流比/%		分沙比/%	
		骨牌洲 北汉	骨牌洲 南汉	骨牌洲 北汉	骨牌洲 南汉
1959-04	25 000	35.7	64.3		
1980-04	25 800	22.5	77.5	24.2	75.8
2007-10	16 500	4.3	95.7	2.7	97.3
2008-03	11 550	2.4	97.6	1.7	98.3
2009-04	18 393	6.2	93.8		
2010-01	11 490	2.6	97.4	2.7	97.3
2013-10	22 641	7.8	92.1		
2014-02	12 645	0.9	99.1		

2) 马当南水道由单槽演变为双槽，同时棉外洲洲头低滩冲刷后退，造成右槽进口趋于宽浅、航槽缩窄。

马当南水道受进出口节点控制，为两头窄、中间放宽的藕节状河型，河道顺直而放宽，江心形成棉外洲，枯季出水，滩体分河道为左右两槽——右槽为主航槽较为窄深，而左槽相对宽浅。近几十年来，骨牌洲南汉分流比逐渐增加，水动力增强，马当南水道不断发展，河槽由单槽演变为双槽。

2010 年以前，由于骨牌洲北汉衰退，南汉分流比增加，水流弯曲半径增大，顶冲骨牌洲右缘，导致右缘滩体冲刷由单槽形成目前的双槽，左槽自形成之后不断冲深展宽，尤其是出口倒套冲深展宽最为明显。目前，左槽分流比已达 57.3%，右槽则相应萎缩，进口趋于宽浅，航槽缩窄，航宽渐显不足，右槽的航道条件呈恶化趋势。2012 年以来，随着整治工程作用的发挥，这种变化趋势得到一定程度的遏制。

3) 马阻水道瓜子号洲头及右缘持续崩退，北汉分流比增加，实施整治工程后，高滩稳定，低滩有所冲刷，过渡段主流左摆。

20 世纪 70 年代至 2000 年左右，马阻水道瓜子号洲头及右缘持续崩退，北汉分流比增加，南汉滩地淤积但深槽基本稳定；2000—2010 年，瓜

子号洲右缘基本稳定，北汉分流比减少，南汉滩冲槽淤，滩槽高差减小，深槽整体有所左摆。2012 年以来，高滩稳定，低滩有所冲刷。由于受山矾以及人工护岸的控制，马阻水道右岸岸线稳定，马当矶深潭总体变化较小，马当矶下的过渡段主流始终存在左右摆动，但总体有所左摆，最大摆动幅度达 500 余米。

2.2 演变关系

马当南水道近期演变主要表现为 20 世纪 90 年代以来左槽的形成、发展和右槽萎缩，同时随着进流条件的变化，棉外洲头冲尾淤，右槽航道条件均趋于不利。从平面形态看，由于水道出口马当矶与马当嘴节点的存在，河道纵向演变受到限制，出流较为稳定。马阻水道近期的演变主要表现为自 20 世纪 70 年代以来瓜子号洲头及右缘的冲刷后退、瓜子号洲北汉发展、过渡段主流左摆，且以多年来左右往复性摆动但总体左摆的形式出现。虽然马阻水道进流为马当南水道的出流，但马阻水道过渡主流的不稳主要是因为瓜子号洲头的冲刷与北汉的发展而造成，是河道自身特点所决定，与入流条件关系不大。另外，马当矶的存在对马当南水道和马阻水道的形成和发展起着重要的作用。马当矶对局部水流的控制作用，阻断了上下游航道变化的关系，使得马当南水道棉外洲左右槽分流比的变化对下游马阻水道和东流直水道的影响有限，近期马当南水道和马阻水道的变化主要原因在于南汉发展过程中过流量的持续增加。因此，无论从时间和空间来看，马当南水道与马阻水道演变相对独立。

东流直水道进口为三汉汇流区，其变化与各汉分流比变化有着密切的关系，这三汉近期分流比变化总体为：马当圆水道、瓜子号洲南汉分流比减小，瓜子号洲北汉分流比增加。当马当圆水道衰退而瓜子号洲北汉发展后，汇流区泥沙输移发生了根本变化，从而造成瓜子号洲尾—张公矶一带河道右侧大幅淤积，部分地方淤积幅度达 10 m 以上，而河道左侧大幅冲刷，华阳港及北沙洲岸

线出现崩塌,从而使瓜子号洲尾—牛矶一带出现交错浅滩,航道条件恶化。

因此,从多年的演变规律看,由于马当矶以及马当嘴相对节点的存在,马当南水道的变化对下游马阻水道和东流直水道的河道作用并不明显。

2.3 演变趋势

1) 本河段总体河势稳定,南汊维持主汊地位稳定,北汊呈缓慢衰退。

根据河床演变分析,在自然条件下本河段的总体河势不会发生大的改变,马当河段的分汊格局将保持不变。目前,南汊的分流比维持在97%左右,主汊地位不会动摇,参照本河段以往的变化规律、已建整治工程数学模型计算^[1-2]及长江中下游一般汊道的演变规律,预计马当圆水道总体仍呈衰退趋势。

2) 马当南水道双槽格局将长期存在,左槽发展态势虽得到初步遏制,但仍可能继续发展。

马当南水道航道整治工程实施后,北汊发展态势得到遏制,棉外洲洲头淤积长高,归束水流进入右槽,右槽进口得到改善,右槽整体冲深,左右槽分流比将略有改善,左右槽格局将基本稳定。预计这种双槽格局将长期存在,但工程对左槽限制措施有限,工程实施后左槽依然有继续发展的可能,右槽6 m等深线宽度不足,如遇不利年份将会出现浅包碍航。

3 碍航特性分析

3.1 通航水流条件

1) 马当南右槽作为现行主航道,上下游航路衔接顺畅。而左槽出口受矶头节点的限制,上、下行的船舶航迹均呈反“Z”字型,弯曲半径较小(700~800 m),尤其是下行航路与流路夹角过大,船舶过马当嘴后直冲马当矶,航路呈现急弯,船舶航行、驾引困难,不利于船舶安全航行。

2) 本河段各区横比降方向不一致。一般洪水期横比降小于枯水期,枯水期纵比降沿程较为平均,仅棉外洲右槽进口处纵比降较大,而洪水期

马当矶、牛矶等矶头上下纵比降明显偏大。如:棉外洲右槽进口段2007年7月27日比降为0.134‰,2007年1月29日比降为0.321‰;马当矶2007年7月27日为0.281‰,2007年1月29日枯水期为0.173‰^[2]。

3) 马当南水道水动力轴线年内变化特点表现洪水取直、枯水坐弯,洪水期主流主要集中于左槽,而枯水期水流归槽,主流走右槽。但总的来看,由于两岸河势稳定,滩槽相对变化不大,主流总体比较稳定,但局部存在一定的摆动,分汊段主流走右槽,流路较为顺畅、稳定,规律性较强。

3.2 近年航道条件核查

马当南水道右槽航道条件核查见表2。在大水年,进口主流趋直,有利于左槽的发展,冲起的泥沙容易淤积在棉外洲尾部,进一步挤压右槽出口,造成右槽水流动力减弱,进入右槽的泥沙易于淤积在右槽进口处,造成右槽航道条件变差。在经过2012年较大洪水后,右槽6 m深槽最小宽度由2012年2月的270 m减小到2013年2月的235 m,主要缩窄部位在右槽进口段。

表2 马当南水道右槽航道条件核查

测时	水位/m	分流比/%	4.5 m等深线 最小宽度/m	6 m等深线 最小宽度/m
1978-02-01	1.70		570	
1979-04-20	2.66		501	
2002-11-28	3.83		400	
2008-02-29	1.43	48.0	320	
2010-01-29	1.75	43.2	278	
2012-02			320	270
2013-02			315	235
2013-11		43.9	345	300
2014-02		43.9	340	290

马阻水道右槽航道条件核查见表3。河道主流经过马当矶即进入马阻水道。马当矶深潭位于马阻水道起始处,从近年来看,马当矶深潭基本稳定,无较大变化。再往下则进入马阻水道过渡段,该处河道展宽,水动力减弱,泥沙易在此处淤积,

再加上历史沉船影响,致使该处碍航。就年际变化而言,当遇大水年时,水流取直,主流经过马当矶的束水作用后,易顶冲瓜子号洲头部,并在瓜子号洲洲头形态散乱,在南汉进口处也容易形成碍航的浅包区域。由于瓜子号洲洲体靠后,北汉进口狭窄,水流大部分进入南汉,在大水年有利南汉发展。而在小水年,小水挫弯,瓜子号洲北汉分流比又会增加。2010年以来瓜子号洲洲头低滩主流顶冲而后退,南汉入流条件改善。

表3 马阻水道航道条件核查统计

测时	4.5 m 等深线最小宽度/m	6 m 等深线最小宽度/m
2010-02	610	370
2011-02	550	255
2012-02	500	310
2013-02	385	265
2013-11	660	390
2014-02	570	410

从航道核查统计看,20世纪80年代,4 m线基本不通,仅3 m可保持贯通。此后到90年代,4 m线仍不通,3 m线时通时断,仅2 m线可保持贯通。2000年以后,河道发生较大幅度的冲刷,航道条件逐步改善,尤其是2000—2003年在南槽进口实施了沉船打捞工程后,5 m线常年贯通,宽度超过200 m。2010年以来,航道条件较好,6 m线贯通。

3.3 碍航成因分析

马当南水道浅区位于右槽进口段,属于典型分叉口门浅区。从平面形态来看,马当河段进口段为一向左的弯曲段,在弯道环流的作用下,水流过小孤山后自左向右过渡进入马当南水道。当马当南水道处于单槽时期时,水流受边滩、堤岸的约束作用加大,航槽冲刷较为充分,航道条件较好。当马当南水道形成双槽后,心滩棉外洲分主流为两股水流,一股水流在惯性力作用下沿左槽而下,另一股水流则受右槽内深槽吸流作用而走右槽。近年来随着棉外洲洲头冲刷后退,马当南水道进口段放宽,水流分散,同时,水流点的

下移及下游深槽的吸流使左槽进流增加,河床冲刷,造成右槽分流比减小,从而使右槽进口段输沙能力减低,洪水期大幅淤积的泥沙,汛后退水不充分而形成浅区。

由于马当矶处航道大幅束窄,在马阻水道南汉整体过流量增大的情况下,主流过马当矶后左摆居中,导致瓜子号洲头及右缘冲刷后退,减少了瓜子号洲的束水作用,并使得阻塞线一带河道趋于宽浅,泥沙容易在此淤积,增加了航道的不稳定性。

4 初步治理思路

1) 马当南水道航道选汉。

马当南水道左槽分流比略优于南槽,但其出口流态紊乱,不利于船舶下行,因此左槽未作为主航道^[2],目前4.5 m航道走右槽,推荐6 m航槽选择走右槽。可通过一定的整治工程措施,既维护现行主航道,又满足航道尺度建设标准要求,同时还可以为开发利用马当南水道右岸岸线资源创造有利条件。

2) 水道治理。

① 马当南水道。

马当南水道航道整治工程实施后,达到了控制马当南水道左槽过快发展、遏制右槽萎缩趋势的目的,且马当南水道右槽有所发展,在中小水年份已基本达到了4.5 m×200 m的航道维护尺度;但由于马当南水道左槽出口不利于船舶下行的流态问题依然存在,且目前难以解决,要进一步提高至6 m×200 m的通航标准有困难,因此延续已建工程整治思路,主航道仍然选择右槽(保留左槽6 m水深资源),继续抑制左槽分流增加,守护洲头低滩,增强右槽进口水流动力条件,改善右槽通航条件。

② 马阻水道。

该水道主航道位于南汉(主汉),马当河段航道整治工程实施后,北汉发展得到一定程度的遏制。但北汉两道潜坝下游两侧冲刷剧烈,任其

发展可能影响其对北汉的控制效果; 近期瓜子号洲头及右缘冲刷明显, 加之南汉进口河面较宽, 存在过渡段主流进一步左摆以及瓜子号洲尾淤积下延等影响航道稳定的不利因素。因此, 要实现 6 m×200 m 的通航标准, 需要进一步控制北汉发展, 抑制过渡段主流的摆动, 增强南汉水流动力条件。

3) 方案构想。

在已有航道整治工程基础上, 加强马当南水道洲滩守护, 抑制左槽发展 (保留左槽 6 m 水深资源), 改善右槽进口航道条件; 同时加强马阻水道瓜子号洲滩和左边界及支汉控制守护, 进一步巩固并拓展工程效果。拟采取的控制守护工程措施初步拟定为 (图 2)。

① 马当南水道: 已建棉外洲心滩守护工程加高及洲头上延工程; 已建棉外洲心滩工程根部延长守护工程; 棉外洲左槽中上段护底工程 (保留左槽 6 m 水深资源); 已建左槽下段护底工程延长与已建棉外洲心滩工程根部延长守护工程相接。

② 马阻水道: 已建瓜子号洲头的鱼骨型守护工程加高; 瓜子号洲右缘新建一道丁坝; 在已建的瓜子号洲左汉两道潜坝中间增建一道潜坝工程; 对沉船打捞区、及其相邻浅区进行打捞、疏浚; 在已建的瓜子号洲尾护滩工程的基础上, 对工程整体进行加高。

5 结论

1) 自然条件下本河段总体河势稳定, 马当河段南汉主汉地位稳定, 北汉呈缓慢衰退趋势。马当南水道左槽仍可能继续发展, 但由于前期已经对棉外洲洲头及北汉进行了工程控制, 左右槽格局将基本稳定。马当河段一期整治工程实施后, 马阻水道、东流直水道航道条件趋于改善。

2) 对于马当河段, 需在已建工程的基础上, 通过采取工程措施, 继续抑制马当南左槽分流比

增加, 守护洲头低滩, 加大右槽进口水流动力条件, 增强右槽冲刷能力, 改善右槽通航条件。同时进一步抑制瓜子号洲北汉发展, 加强瓜子号洲南汉过渡段主流的控制, 增强南汉水流动力条件。

3) 对马当河段下一步系统治理提出如下建议: 结合最新的原型观测资料, 深入分析河道新的变化及演变趋势, 并研究三峡工程蓄水运用对马当河段演变及航道条件的影响, 为整治方案研究提供依据。由于影响马当河段航道条件的影响因素复杂, 治理方案需结合数学模型和物理模型等手段进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 雷国平, 余帆, 谭伦武, 等. 长江下游马当河段航道整治一期工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2009.
- [2] 雷国平, 赵凤亚, 黄召彪. 长江下游马当南水道航道整治工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2011.
- [3] 赵德玉, 王涵, 黄召彪, 等. 长江干线武汉至安庆河段提高航道标准可行性论证马当河段航道整治工程物理模型试验研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2015.
- [4] 王永, 陈昌才, 吴永林. 安徽省长江干流河道近期演变[J]. 人民长江, 2000, 31(5): 22-23.
- [5] 刘林, 黄成涛, 张明. 长江下游马当河段航道治理思路及方案[C] // 中国第四届国际疏浚技术发展会议, 2011: 468-479.
- [6] 谭伦武, 李元生, 雷国平, 等. 长江下游马当矾对上下游航道变化关系的影响[J]. 水运工程, 2011(4): 98-103.
- [7] 郑英, 王领元, 陈建, 等. 马当矾水道演变相互关系研究[J]. 中国水运, 2012(12): 38-39.
- [8] 左利钦, 陆永军. 节点对长江下游马当河段汉道演变影响的研究[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(10): 72-79.