

高等学校教材

航道工程学

(II)

詹世富 主编
蔡志长 主审

人民交通出版社



HANGDAO

GONGCHENGXUE

高等学校教材

航道工程学 (Ⅲ)

Hangdao Gongchengxue (II)

詹世富 主编
蔡志长 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是《航道工程学(I)》的扩充和提高,内容包括:碍航浅滩,整治工程规划,整治工程及水力计算,航道疏浚,船闸水力计算,船闸结构计算,船闸闸、阀门,升船机等八章。

本书是港口航道工程专业方向本科学生的必修教材,也可供从事航道工程技术人员自学用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航道工程学. II / 詹世富主编. —北京: 人民交通出版社, 2002.12
ISBN 7-114-04528-X

I.航... II.詹... III.航道工程 IV.U61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 097963 号

高等学校教材 航道工程学(II)

詹世富 主编 蔡志长 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 张莹 责任印制: 张恺

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号 010 - 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12 字数: 297 千

2003 年 1 月 第 1 版

2003 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—2000 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-114-04528-X

前 言

高等学校港口与航道工程教学指导委员会根据“面向 21 世纪教学内容、课程体系改革研究”中关于专业课程模块化建设的方案,将原港口与航道工程专业课程《航道整治》和《渠化工程学》合并形成新的课程体系,即设置为《航道工程学(I)》和《航道工程学(II)》两门课程。《航道工程学(I)》既是本专业本科学生必修专业课,又是其他相近专业拓宽口径的专业方向选修课,内容为本专业内容的第一层次。《航道工程学(II)》是本专业学生的必选专业方向课,内容为《航道工程学(I)》的扩充和提高,即反映本专业深化内容的第二层次。教学指导委员会审定了《航道工程学(II)》的课程教学大纲和教材编写大纲。教学指导委员会确定河海大学詹世富教授为主编,蔡志长教授为主审。邀请河海大学徐金环教授、陶桂兰副教授,长沙交通学院刘晓平教授为编写组成员。

本书在有限的篇幅内,着重加强基本理论和基本方法的阐述;尽可能反映航道工程中的新理论和新方法,以及我国航道工程建设的实际和成就;并在内容上力求避免与《航道工程学(I)》重复。

全书内容包括:碍航浅滩,整治工程规划,整治工程及水力计算,航道疏浚,船闸水力计算,船闸结构计算,船闸闸、阀门,升船机等八章。其中第一、二、三、四章由徐金环编写;第五章、第六章第一、二、四、五节由詹世富编写;第六章第三、六节由陶桂兰编写;第七、八章由刘晓平编写;全书由詹世富修改定稿。

蔡志长教授主审了全部书稿,并提出许多宝贵意见。在本书编写过程中还得到了河海大学王云球教授的指导与帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,对于书中存在的错误和缺点,热忱地希望读者批评指正。

目 录

第一篇 航道整治

第一章 碍航浅滩	1
第一节 浅滩及其成因	1
第二节 浅滩上的水流和泥沙运动	2
第三节 浅滩演变及演变分析方法	4
第二章 整治工程规划	13
第一节 概述	13
第二节 整治断面设计	14
第三节 整治线平面布置	26
第四节 整治工程实例	33
第三章 整治工程及水力计算	36
第一节 过渡性浅滩整治	36
第二节 分汊型河段浅滩整治	39
第三节 弯道浅滩整治	44
第四节 潮汐河口浅滩整治	47
第五节 山区河流滩险及特殊河段整治	57
第六节 整治工程水力计算	65
第四章 航道疏浚	76
第一节 挖槽定线及抛泥区选择	76
第二节 挖槽设计及其水力计算	78
第三节 潮汐河口挖槽设计	84
第四节 口外航道回淤估算及减淤	86
第五节 疏浚对环境的影响与控制	90

第二篇 通航建筑物

第五章 船闸水力计算	92
第一节 集中输水系统水力计算	92
第二节 分散输水系统水力计算	102
第三节 船舶在闸室和引航道内停泊条件的估算	106
第六章 船闸结构计算	110
第一节 作用在船闸结构上的荷载	110
第二节 船闸的渗流及防渗设计	115
第三节 船闸闸室结构计算	121

第四节	船闸闸首结构计算	133
第五节	船闸建筑物的抗震计算	140
第六节	有限单元法在船闸工程中的应用	145
第七章	船闸闸、阀门	151
第一节	荷载	151
第二节	人字闸门	152
第三节	横拉闸门	162
第四节	三角闸门	164
第五节	船闸阀门	167
第八章	升船机	169
第一节	斜面升船机	169
第二节	垂直升船机	174

第一篇 航道整治

第一章 碍航浅滩

在冲积平原河流上,河床总是起伏不平的,一般河床凸起之处为浅滩,凹低之处为深槽。但从通航观点来看,虽然沿河流的纵向有一系列的河床凸起处,也仅仅是将水深不足、碍航的地方才称为浅滩,或称碍航浅滩。如某一河段上,航行的船舶吃水小,各处水深都能满足航行要求,也就无所谓存在浅滩;如果航行较大的船舶,一些原来不碍航的浅滩,可能由于水深达不到它的吃水要求,就会成为碍航浅滩。

浅滩在水流作用下,其滩上水深不断发生变化,浅滩的平面位置也会发生移动,这对船舶安全航行带来了很大影响。因此,只有掌握浅滩上的水流、泥沙运动及其浅滩演变规律,才能制定合理的整治工程措施。

第一节 浅滩及其成因

浅滩碍航主要是枯水期,一是水浅,航深不足;二是水流散乱或横流很强,船舶航行困难。浅滩按其岩石土质组成成分:石质浅滩、卵石浅滩、砂卵石浅滩、砂质浅滩及泥沙浅滩等;按滩形特征和碍航情况分:正常浅滩、交错浅滩、复式浅滩和散乱浅滩等;按浅滩成因和所在地区分:弯道浅滩、分汊河道浅滩、支流河口浅滩、回水变动区段浅滩、湖泊水网区浅滩及潮汐河口浅滩等。上中游山区和丘陵区河流多为石质浅滩和砂卵石浅滩,平原河流则主要是泥沙浅滩。

图1-1为常见的典型平原河流浅滩的组成情况。浅滩的上下边滩分立于河岸两侧,与边滩相对应的部分称为深槽,位于浅滩上游的深槽为上深槽,位于下游的深槽为下深槽;若上下深槽相互交错时,上深槽下部的尖端部分称为尖潭,下深槽上部的尖端部分称为倒套或沱口。从河道平面方面看,上下边滩相对伸向河中比较狭长的部分称为上、下沙嘴,顺上下边滩最高处的连线为滩脊线,沿滩脊线位于

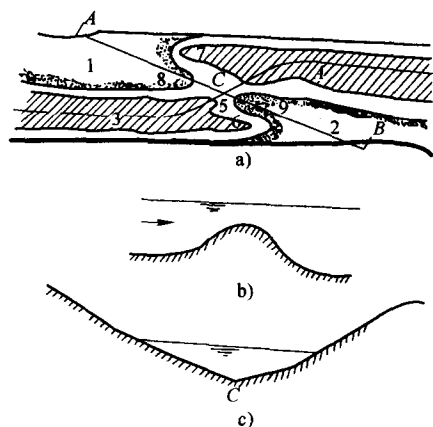


图1-1 浅滩的组成

a)平面图;b)沿深泓线纵断面;c)A-B断面
1-上边滩;2-下边滩;3-上深槽;4-下深槽 5-沙埂;6-上深槽尖潭;7-下深槽倒套;8-上沙嘴;9-下沙嘴;C-鞍凹;8~C-9-滩脊

河心最低的部分则称沙埂或浅滩,是可能出现碍航之处。沿水流方向沙埂迎水面的斜坡称迎水坡或上坡,背水面的斜坡称背水坡或下坡。

平原河流的河床是由中、细沙等松散物质构成的,在水流作用下很容易发生运动。因此,经过水流与河床的长期调整,由于水沙条件及河床边界条件差异,在不同河段常存在不同类型的浅滩;同时,由于浅滩的存在及不断变化,又影响到河床水流和泥沙运动,所以,浅滩可视为一个大的沙波向下游运动,通过沙波和沙嘴将泥沙输向下边滩和下深槽,促使下游河床的变化。所谓整治浅滩,就是在分析浅滩形成原因的基础上,通过采取工程措施对不良浅滩进行改善,使之达到相应航道等级的航道尺度要求。

浅滩的形成是由于河段输沙不平衡而产生的局部淤积。造成输沙不平衡的原因,概括起来有:流速的减小;环流的减弱或消失;洪枯水的流向不一致以及局部地区来沙量的加大等因素。

由于水流的挟沙力与流速的高次方成正比,流速降低的地方,水流挟沙力会急剧减少,从而产生泥沙淤积。因此,浅滩常出现在:

(1)比降突然减小的地方:如山区河流进入平原的地区,坡陡的支流汇入干流处,即支流河口处;

(2)单宽流量明显减小的地方:如河床突然展宽处;

(3)局部壅水区:如河床收缩段上游的壅水区,汊道口门处的局部壅水区,干流对支流水位的顶托处,桥渡和拦河建筑物的壅水区等。

环流是泥沙横向输移的动力,也是沙质河床形成各种类型淤积体的一个重要因素。在弯曲河流两个反向弯道的过渡段上,环流的强度将大大减弱甚至消失,横向泥沙运动也将削弱或停止,从而造成局部泥沙堆积,形成过渡段浅滩。有些地方虽然不是弯曲型河流的过渡段,但由于某些边滩、江心滩等造成水流曲折,也会形成与上述弯曲型河段相似的环流,其相应的过渡段也会形成浅滩。

洪、枯水流向不一致,则洪枯水期河床受冲刷的部位不同。一般河流有高水取直和低水坐弯的规律,在洪、枯水流向变化大的主槽部位常形成浅滩。弯道过渡段浅滩、河槽放宽段浅滩和分汊河段处的浅滩,其成因均与洪、枯水流向不一致有着密切的关系。此外,从洪水流向转至枯水流向时,由于流量减少使河槽冲刷能力降低,洪水时淤下的泥沙,枯水时不能全部冲刷掉,也常常形成为浅滩。

上游局部地区来沙过多或过粗,超过了本河段的水流输沙力,也会落淤为浅滩。局部地区来沙过多的原因,多数是支流山洪爆发带来的大量泥沙、上游大量塌岸、水库大量排沙以及不适当的裁弯等。

分析上述各种形成浅滩的原因,均可归结为上游来沙量大于本河段的输沙能力,即上游来沙不能被本河段水流带走而淤积成为浅滩。但在具体论证某一浅滩的形成原因时,由于影响因素很复杂,可能是由于某一种原因,也可能是几种原因的综合作用,因此,应进行全面、深入的分析工作。

第二节 浅滩上的水流和泥沙运动

浅滩的冲刷和淤积取决于浅滩上游的来沙量和浅滩上输沙力的对比关系,而浅滩上输沙力又与浅滩上的水流和泥沙条件密切相关。一般在浅滩和深槽距离不长、泥沙条件变化不大

的条件下,其输沙力主要决定于水流条件。

一、浅滩上的纵向比降和流速

浅滩处的纵向水面形态是很复杂的,前苏联洛西也夫斯基(А. И. Лосицкий)曾作过试验,得出下列关系:

$$J_r = \frac{a}{LH_r} \frac{\alpha U_r^2}{2g} = \tan\beta \frac{\alpha U_r^2}{2gH_r} \quad (1-1)$$

式中各符号的意义如图 1-2 所示。

可以看出,浅滩的局部比降与流速水头、滩顶水深及河底倒坡有关。倒坡越大,水深越小时,比降越大;而水深增大则局部比降减小。表明低水位时局部比降加大,有利于浅滩冲刷;高水位时局部比降减小,浅滩易于淤积。

图 1-3 为长江东流浅滩段的水位-比降关系。涨水期随着水位上升,浅滩段比降减小,而深槽段比降增加,且深槽段比降大于浅滩段比降;落水期在水位较高时,深槽段比降仍大于浅滩段比降,只有在中水位以下,深槽段比降才小于浅滩段比降。图中水位-比降关系曲线中明显有几个转折点,其转折点的水位高程与边滩、心滩、沙洲的高程相接近,说明各种洲滩壅水对比降变化的影响较为密切。

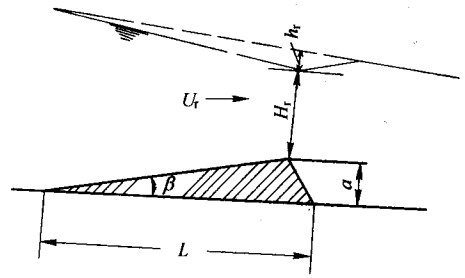


图 1-2 浅滩上水面比降变化关系

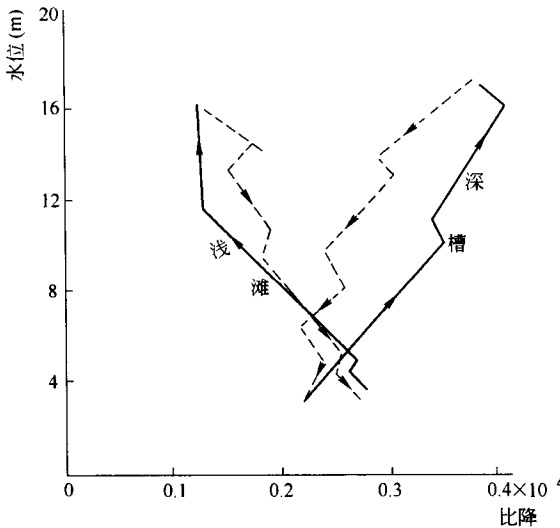


图 1-3 水位-比降关系

与此相对应,浅滩段的纵向流速与水位变化也有着密切的关系。随着水位上升,浅滩和深槽的水深都在增加。但是在枯水期,从上深槽到浅滩脊,沿水流方向流线呈收缩形状,流速沿程增大,至浅滩脊处流速达到最大。高水期时,从上深槽到浅滩脊,在水平方向流线呈扩散状态,流速沿程减小,在滩脊处流速减至最小,如图 1-4 所示。同时,深槽和浅滩的流速均随水位上升而增大,但高水期的深槽流速大于浅滩流速,低水期浅滩流速大于深槽流速。因而在进行整治工程时,可以建立水位与流速关系,找出浅滩脊上的流速(相对于深槽)出现转变点的水位,作为临界冲淤水位的参考,有利于安排疏浚的施工日期。

二、环 流

环流也是浅滩段的重要水流现象。浅滩上游的弯道深槽,在水流离心力的作用下,产生一个面流指向深槽河岸的单向环流。水流越过浅滩脊后,到浅滩下游的弯道深槽,同样也产生一个

个单向环流,与上游弯道深槽环流的方向正好相反。浅滩脊处于上深槽的环流与下深槽的反向环流的过渡段,因而环流形态不很稳定。

浅滩上的环流不但受到上下深槽环流的影响,而且过渡段自身的长度也会影响到环流的强弱。过渡段很短,上下弯道深槽的环流将在此急剧过渡;过渡段长度适宜时,水流变化平缓,过渡段上的环流强度趋弱;在长过渡段上环流强度更弱,甚至完全消失。此外,随着水位和流量的改变,浅滩上的环流也随之改变。

图 1-5 为长江荆江河道一个浅滩段的实测环流图形。该河段河宽约 800m,深槽水深约 15m,过渡段水深约 10m,上下深槽各存在方向相反的单一的环流,充满着整个过水断面,且在两端有次生的小环流。在过渡段浅滩断面,上下层水流分别受到上、下深槽环流的影响,上部有一个与下深槽方向相同的环流,下部有几个与上深槽方向相同的环流。

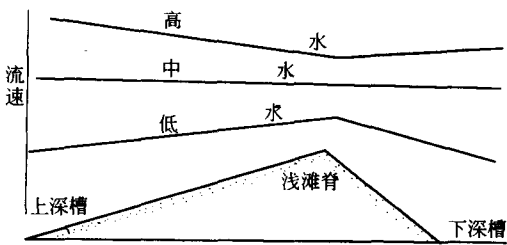


图 1-4 不同水位纵向流速沿程变化图

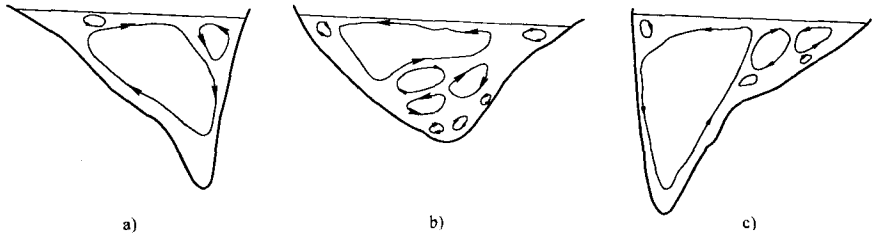


图 1-5 环流分布图

a)上深槽断面;b)浅滩断面;c)下深槽断面

三、泥沙运动

浅滩上的推移质泥沙运动,多是以沙波方式进行。浅滩可以看作是一个巨型沙波,在它的上面通常还有次级沙波。次级沙波沿大沙波向下游移动,推移至浅滩脊时,浅滩就淤高,并可能引起碍航。涨水时,沙波运动较慢,落水时沙波运动较快。

浅滩脊作为沙波的一个部分,其历年的变化与河流的来水来沙密切相关。在一般的来水量和来沙量的年份,浅滩向下游移动,沙波的波形基本保持不变;小水大沙年浅滩脊大量淤高,大水小沙年浅滩脊又被冲刷降低。

在一个水文年内,一般随着水位上涨,浅滩脊逐渐淤高,至最高水位时,上坡淤积,下坡冲刷;随着水位下降,浅滩脊平行冲刷下移,至低水位时浅滩脊大量冲刷降低,而上坡略有淤积。

浅滩在汛期和来沙量大的年份可能有悬移质泥沙淤积。悬沙淤积的泥沙粒径较细,在退水过程中往往都要冲刷,所以只要采取适当措施,增加流速,就可以改善浅滩水深。多数浅滩在整个中水年及落水过程中,主要是以沙波形式作推移运动的,在推移运动过程中,其冲淤的相应水位及其数量和强度,将随各浅滩的水文、地貌等条件而异。

第三节 浅滩演变及演变分析方法

浅滩演变是指浅滩随着水流运动和来水来沙条件而发生的变化。其根本原因是水流与河

床相互作用,产生输沙不平衡而引起河床的冲刷或淤积,是局部的河道演变。演变形式有纵向变形与横向变形、单向变形与周期性变形,但经常性的是周期性变形。

浅滩的演变是非常复杂的,除前述形成浅滩的水流、泥沙基本因素外,来水、来沙量及其组成条件等对浅滩变化也有很大影响。因此,正确认识和掌握浅滩演变及其演变的分析方法,对进行浅滩整治非常重要。

一、影响浅滩演变的主要因素

1. 来水来沙条件

来水条件包括来水总量、洪峰大小及洪峰过程线的形式、某一特定水位(浅滩冲刷或淤积水位)的持续时间等。来沙条件包括来沙总量、含沙量大小、粒径级配及其过程线的形式等。来水量及其过程与来沙量及其过程,以及两者在数量上和时间上的相对关系,一般可分以下几种情况:

(1)来水、来沙总量:如果两年的来水量相近,来沙量不同,则来沙量大的年份浅滩就淤积多些。如果两年的来沙量相近,来水量不同,则来水大的年份浅滩可能少淤,甚至冲刷。

(2)来水、来沙过程:如果两年的来水、来沙量均相近,洪峰与沙峰出现的时间不同,则沙峰出现在洪峰之前的年份,浅滩可能少淤或不淤,甚至冲刷;反之则淤积较大。如果两年来水、来沙均近似,洪峰与沙峰在数量上和时间上也近似,而各级水位持续时间不同,即峰型不同,则涨水持续时间短、退水持续时间长的年份,浅滩可能少淤、不淤,甚至冲刷;反之涨水持续时间长、退水持续时间短,浅滩必然淤积较多。

若在一个水文年内,来水、来沙过程为单峰型,则浅滩演变可能为单向变形,即一次冲刷或淤积;如果来水、来沙过程为多峰型,则浅滩会出现多次冲淤交替,其变形也会更复杂或更散乱。

总之,来水、来沙的不同组合,对浅滩演变的影响是很大的。如长江某浅滩 1959 年严重碍航,其主要原因是该年来水量小而来沙量大,浅滩在汛期淤积严重而汛后水流又无力冲走淤积的泥沙。

2. 河床边界条件

河床平面形状的束窄和放宽,河底纵向的局部升高或降低,边滩的尺度、部位和形状以及河床组成颗粒的粗细和沙波尺度等,对水流起到制约作用。特别是边滩的尺度、部位及形状在对水流的制约过程中起着重要作用,并且成为决定枯水期浅滩航道走向和水深大小的主导因素。如汛后滩型完整高大,水流归槽早,流量集中,则滩脊冲刷时间长,水深较大,航道也稳定;如果边滩高程低,水流归槽迟,则滩脊冲刷时间短,水深较小;如果滩型散乱,水流分散,流路曲折,则浅滩冲淤变化频繁,航道极不稳定,水深也必然很小。

因此,河床边界条件的不同,对浅滩演变的影响关系非常密切。在相同的来水来沙条件及其变化过程中,如果浅滩河段的河床形态不同,将影响着水流条件也不相同,从而影响着浅滩的演变。

3. 上下游河段演变的影响

浅滩上游河段水流动力轴线的变动,对浅滩演变的影响极为显著,往往影响着浅滩河段主流的摆动,从而影响到鞍槽平面位置的变化。而下游河段的演变,通常只能在某种程度上加强或减弱浅滩的演变强度,而不会使浅滩发生根本性的变化。

当上深槽主流方向发生变化时,且滩脊顶冲部分的抗冲能力较弱,就会受到主流的冲刷而形成新的鞍槽。原鞍槽因离开了主流区往往发生淤积,从而造成鞍槽平面位置的变动。或者

当上游河段主流改向、顶冲点移动时,可使原有凹岸变为凸岸,滩、槽相互易位,河床产生较大的平面摆动。所以说上游河势控制着浅滩的平面位置,而下游河势则影响比降及引导水流走向。

图 1-6 为长江某浅滩水流动力轴线移动比较图。一方面是上游监利弯道和下游天字一号弯道分别向左右强烈发展,结果将原来成圆滑相接的过渡段拉直成为顺直微弯河段,从而产生不稳定的浅滩。另一方面是 1954 年洪水所造成的监利岛的崩坍,使得原来由该岛掩护在老河下口所形成的巨大边滩冲失,并将微弯段变成直段,冲失了下边滩,从而使原来在老河下口的稳定过渡段,变成不稳定的过渡段。

二、浅滩演变的基本规律

1. 浅滩的稳定性和活动性

在形成浅滩的河段中,如果河床形态没有发生根本性的变化,浅滩是不会自行消失的,这一特性就是浅滩的稳定性。但浅滩的稳定性是相对的和有条件的。

平原河流的河床大部分是由松散泥沙组成的,而且组成河床的泥沙总是随着水流的运动而不断地运动,所以平原河流上的浅滩也总是活动的。浅滩的活动性主要体现在滩脊高程和位置的变化,其活动性的速度和大小每年都不一样,因而浅滩的活动性是绝对的。也就是说,没有不活动的浅滩。

2. 浅滩演变的年周期性

河流的浅滩是在一定的水文条件下产生的。随着水文年内洪、中、枯周期性的季节变化,浅滩的形态也呈周期性的季节变化。

在河道放宽段,高水时淤积下来的泥沙,低水季节水流归槽,水流在淤积的河床上流动,其过水断面较上游小,输水能力加大而出现冲刷。

在束狭口上游段,高水位壅水淤积下来的泥沙,随着水位下降,其壅水范围向下游移动,浅滩也随着向下游移动。如果中水位持续时间长,也有可能将淤积下来的泥沙冲刷掉。

在长江河口,洪季径流带下的沙多,出现拦门沙淤积;枯季径流来沙少,出现拦门沙冲刷。

两弯道间的过渡段,洪季来水来沙量大,弯段和过渡段的水深相对差值不大,而弯段水流阻力较过渡段大,在过渡段上产生壅水,使过渡段的水面比降小于弯段的水面比降,因而过渡段发生淤积。中、枯水季节,弯道段的过水断面大于过渡段浅滩的过水断面,使过渡段的水面比降和流速大于弯道段,因而过渡段浅滩发生冲刷。

综上所述,水文条件的变化,是引起浅滩变化的直接条件,水文条件有年周期的变化,浅滩也有洪季淤积、枯季冲刷的年周期变化,而浅滩顶的高度和部位大体上围绕着某一平均值而上下变动。

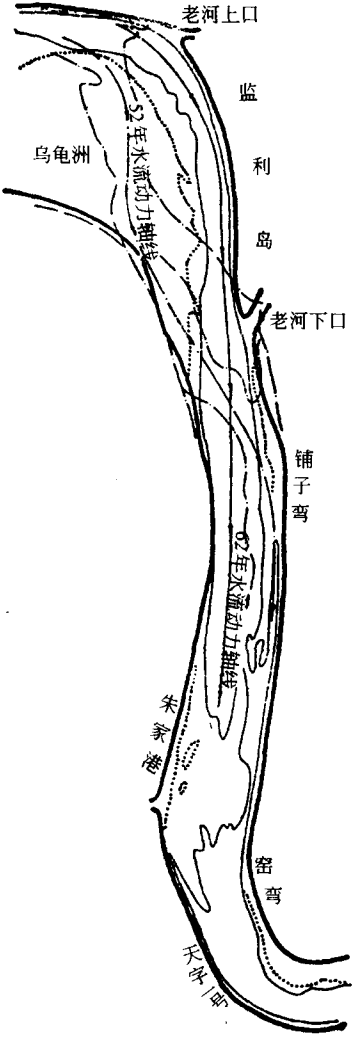


图 1-6 长江某浅滩水流动力轴线移动比较图

3. 浅滩演变的多年周期性

浅滩除具有年周期性的变化规律外,还具有多年周期性的变化规律。

浅滩的多年周期性变化,是以多年水文周期性变化为依据的。当某一频率的大洪水发生以后,河床将发生剧烈的变化,形成一定形式的边滩和浅滩,随后若干年内,边滩及浅滩不发生根本性的变化,而保持着这一基本形态,或作略淤略冲的周期性少量变化。经过若干年后,又发生某一频率的大洪水,已有的边滩和浅滩等可能全部冲失,或在另一地点重新形成新的边滩和浅滩,而后又在这一地形基础上开始重复上一周期内的变化。浅滩这两次所发生的根本性的变化,称之为浅滩演变的多年周期性。

如 1954 年是长江的特大洪水特少沙量年,浅滩发生剧烈的冲刷,一般边滩均被冲失,河槽刷深。但在以后 2~3 年内,又大量回淤,重新形成边滩,浅滩位置也随之发生变化。1959 年长江是中水、沙量特大年,沙峰出现于较低水位的降落期,浅滩出现较大的淤积。1997 年、1998 年长江连续出现较大洪水,河床冲淤变化较大,于是 1999 年初长江九江河段出现了少有的枯水碍航现象。

三、浅滩演变的分析法

预测浅滩演变的趋势,目前常用三种方法:

一种方法是对天然河道的实测资料进行研究,分析河道的过去演变过程以及目前的河床形态、水流以及泥沙运动的特性,从而推断出今后一段时期的发展趋势。

另一种方法是应用泥沙运动和河床演变的基本原理,对河床变形进行理论计算,预测河床的冲淤变化。

第三种方法是运用河工模型试验的基本原理,通过河工模型试验对河床变形进行预测。

在研究具体河段的演变时,上述三种方法可以单独使用,也可以联合运用。对于重大的工程技术问题,有条件时应尽可能使用各种方法进行研究,并将所得成果相互比较,以求得较为可靠的认识。

对于河道处于自然状态下的演变,用实测资料进行分析研究的方法是常用的河床演变分析方法。因为处于自然状态下的河道,一般水流泥沙条件变化不大,可以根据过去河床的演变过程来推断其目前和未来的发展趋势。浅滩演变分析是从河床变形的结果去找河床演变原因,即根据已有的浅滩形态及其变化规律,从水流、泥沙和河床形态上去找原因,再由这些原因去预报浅滩的发展趋向。因此,应该认真搜集和整理浅滩及有关河段的演变资料,了解浅滩及邻近河段演变的历史和现状,这些资料大体为:

地形资料:整治河段或整个浅滩(上下深槽及上下边滩在内)的地形图,同时应具有一年或几年的洪、中、枯各季节的实测地形。

水文、泥沙资料:收集浅滩附近基本站水位资料。如浅滩无实测水位记录,可设临时水尺,连续观测一定时间水位,与基本水位站建立相关关系。另外观测浅滩洪、中、枯各水文期的流量、比降、流速、流向、含沙量和河床质等。

上述的基本资料,是进行河床演变分析的基础。遇到资料不足的问题时,还要深入现场查勘,进行调查研究。

1. 浅滩的水深分析

浅滩上的水深变化直接关系到船舶能否通过浅滩,它也是进行航道维护、航道疏浚和整治工程规划与设计的重要依据。因此,需要对浅滩上的水深变化进行深入的分析和估算,同时还

可以利用浅滩的水位与水深关系弄清浅滩冲淤变化的基本特性及其演变规律。

浅滩上的水深一般指航道范围内的最小水深,它与航道位置和航道宽度关系很大。浅滩上最小水深的变化与水文过程直接相关,水位上升,水深增大;水位下降,水深减小。由于浅滩的高程会随着水位的升降发生冲淤变化,所以浅滩上水深的增减值并不等于水位的升降值,常可以根据多年的、各年枯水期的、涨水期和退水期的水位-水深关系等方面来进行分析。引用水位资料时,尽可能直接利用在浅滩上观测的水位资料,或者引用浅滩附近水位站的资料,如果浅滩上或浅滩附近没有水位资料,需引用距浅滩较远处的水位资料时,则要求该处的水位变化过程与浅滩上的水位变化过程基本一致。

图 1-7 为几种具有代表性的浅滩多年水位与水深关系图。从中可以看出:a)图中测点比较集中,关系较好,可以绘成一条关系带,说明该浅滩冲淤变化不大,比较稳定;b)图中测点分散。同一水位时,水深的摆动范围很大,无法绘出关系带,说明该浅滩冲淤变化大,不稳定;c)图的情况介于前两者之间,浅滩有一定的冲淤幅度,也不够稳定。

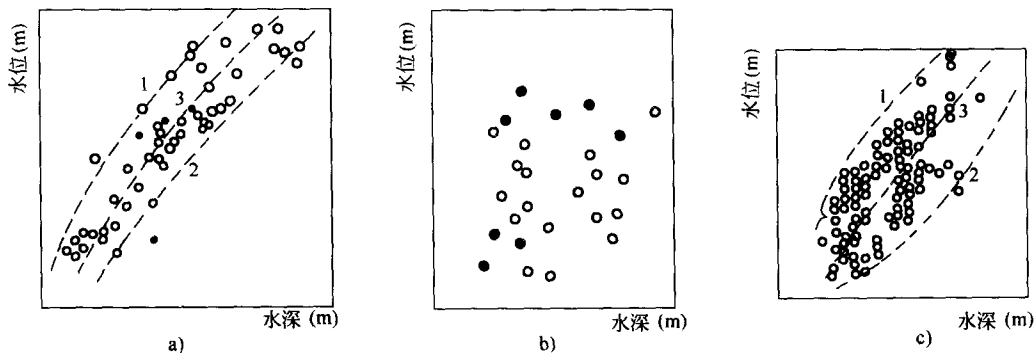


图 1-7 浅滩水位与水深关系

1-上包线;2-下包线;3-中值线

为了比较各年枯水期水深的变化,可以按不同的枯水年绘制水位与水深关系图,以比较历年浅滩年际的冲淤变化,更可以了解至关重要的枯水期水深的变化。如图 1-8 所示,图中关系曲线逐年左移,说明该浅滩水深逐年减小,浅滩不断恶化;若关系曲线逐年右移,说明浅滩水深逐年增加,浅滩不断改善。

为了研究浅滩涨水期和退水期的冲淤变化特性,可以按涨水期和退水期分别绘制其水位-水深关系曲线。如图 1-9a)所示,在涨水过程中,水位与水深关系曲线同横轴的交角大于 45° ,说明浅滩水位上升的数值大于水深增加的数值,此时浅滩是淤积的。也就是说,由水位上涨所增加的水深,其中有一部分因浅滩的淤积而减小了,所以水深的净减值小于水位的上涨值。在退水过程中,一般是水位与水深关系曲线与横轴的交角也大于 45° ,这表明水位下降的数值大于浅滩水深减少的数值,此时浅

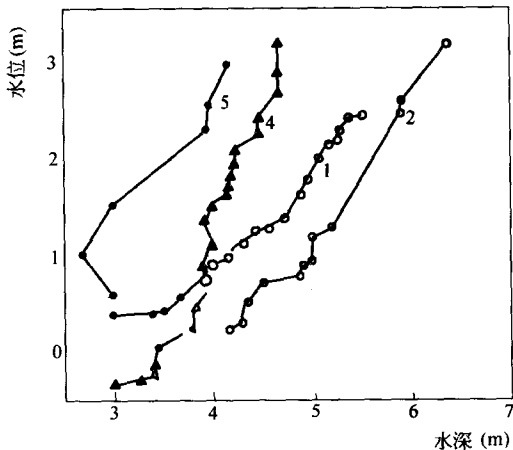


图 1-8 某浅滩历年枯水期水位与水深关系

滩是冲刷的。即水位下降而减小的水深,其中有部分因浅滩脊的降低而得到了补偿,故水深的净减值小于水位的下降值。上述浅滩的水位与水深变化关系,反映了浅滩涨水期淤积、退水期冲刷的基本规律,一般冲积河流上的浅滩多属于这种情况。如图 1-9b)所示,在涨水和退水过程中,浅滩的水位与水深关系曲线同横轴的交角均小于 45° ,表明浅滩是涨水冲刷、退水淤积,这样的浅滩为数较少。如果水位与水深关系曲线同横轴的交角时而大于 45° ,时而小于 45° ,则表明浅滩的冲淤变化规律比较复杂。另外,从水位与水深关系曲线同横轴交角的大小,还可以说明浅滩冲淤变化的强弱。当交角接近 45° 时,说明浅滩冲淤强度不大;交角偏离 45° 越多,说明浅滩的冲淤强度也越大。

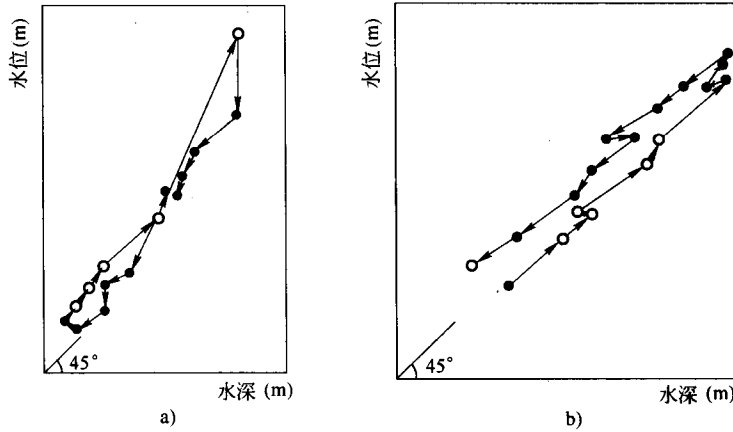


图 1-9 浅滩逐日水位水深关系
a)涨淤落冲;b)涨冲落淤

为了直接反映出浅滩的冲淤变化,还可绘制水位与相对水深关系曲线。如图 1-10 所示, β 角为图线 1、2、3 与横轴的交角, $\beta > 90^\circ$ 为退水时浅滩冲刷; $\beta < 90^\circ$ 为退水时浅滩淤积; $\beta = 90^\circ$ 时,说明退水时不冲不淤,浅滩稳定。

实测的水深换算成设计水位以下的相对水深,如图 1-11 所示,即相对水深 H' 为:

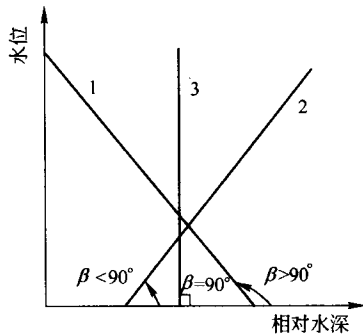


图 1-10 浅滩水位与相对水深关系图

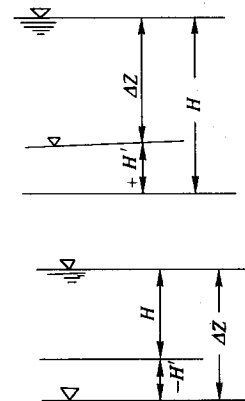


图 1-11 相对水深换算图

$$H' = H - \Delta Z \quad (1-2)$$

式中: H ——浅滩上的实测水深, m;

ΔZ ——实测的水位与浅滩上的设计水位之差, m。

如果设计水位高于滩脊, H' 为正值; 如果设计水位低于滩脊, H' 为负值。

2. 浅滩形态的演变分析

浅滩形态的演变分析, 一般包括浅滩河段的河岸、上下深槽、沙埂、鞍槽及深泓线等在不同时段内的变化。分析的方法, 主要是根据各种平面图、纵横断面图进行对比分析。平面地形图对比时, 一般采用同坐标、同比例尺套绘比较图进行分析。浅滩横断面比较图可根据浅滩河段固定断面的资料, 或根据浅滩平面图选取固定断面, 进行套绘比较。浅滩纵断面比较图一般是根据浅滩平面图循深泓线转绘而成。在分析时, 要紧密联系来水量、来沙量及其变化过程, 以便探明引起浅滩演变的原因, 从而进一步判断其演变的发展趋势。

(1) 河段深泓线变化

图 1-12 为长江某滩右汊道河床变迁图。1931 年右汊的进口在洲头上游 1800m 处, 深槽在幕府山脚, 这是第一个小河弯; 幕府山到燕子矶是一个大边滩(燕子矶是边滩的尾部), 深槽在八卦洲头的新圩, 这是第二个小河弯; 第三个小河弯的深槽在巴斗山附近, 边滩在左岸天河口上方; 第四个小河弯的深槽在八卦洲尾, 边滩在乌龙山。由 1931 年与 1968 年地形测绘图比较, 可知河床状况是深槽与边滩正好换了位置。

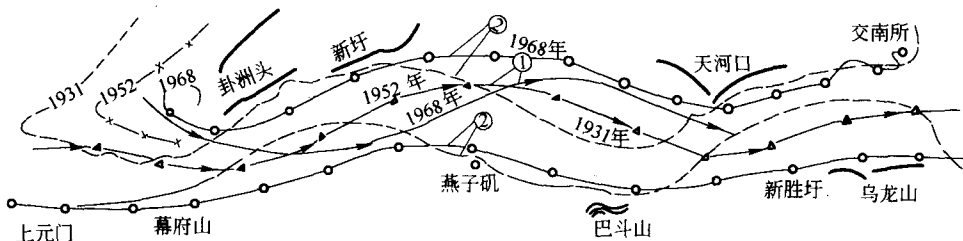


图 1-12 河床变迁图

①深泓线; ②岸线

比较图中 1952 年到 1968 年的深泓线变化, 可见深泓线的弯顶向下游移动了一个距离, 改变了水流的顶点位置, 其重要原因是八卦洲的连续崩岸, 引起了主流流向的变化, 逐步冲走幕府山到燕子矶边滩并使之成为深槽。这种影响传播下去, 天河口边滩及乌龙山边滩将依次受到冲刷, 而在老边滩受到冲刷逐步变成深槽的同时, 对岸旧深槽就淤积长出新的边滩来, 如左岸洲头下面的新圩边滩, 右岸巴斗山边滩及洲尾边滩等, 这对原为深水的港池水域及进港航道和码头使用均极为不利。

(2) 浅滩平面变化

图 1-13 为黑龙江某浅滩历年平面变化比较图。整治前的 1953 年至 1954 年, 浅滩进一步恶化。经过 1953 年一次较大洪水后, 浅滩河段严重淤积, 深槽明显萎缩, 有两处出浅, 严重碍航。在 1954 年夏季用锁坝堵塞右汊分流后, 浅滩显著好转, 上下深槽延伸扩大, 1.5m 等深线贯通, 滩脊冲刷降低, 鞍槽变得深宽平坦。同时上下边滩淤大增高, 能及早束水归槽, 有利于滩脊的冲深。浅滩河段的水流, 由一侧主导河岸能平顺地过渡到另一侧主导河岸, 原来严重碍航的浅滩获得改善。

(3) 浅滩纵断面变化

图 1-14 为长江某河段深泓河底高程纵断面变化图。在 1954 年以来的 17 年中, 该河段的深泓河底高程除 4 号断面有时少量淤积外, 其余各断面都是不断地冲刷下降, 说明该河段处在

冲刷发展中。

(4)浅滩横断面变化

图 1-15 为上述长江某河段 3 号断面的横断面历年变化图。其横断面历年都在变化,有的地方发生冲刷,有的地方发生淤积,有的则时冲时淤,总的趋势是河道处于不断地冲刷发展的过程中,这与该河段的发展趋势是一致的。

3. 浅滩演变综合分析

影响浅滩演变的主要因素是来水、来沙和河床形态条件。因此,对这三方面因素的综合分析,不但有助于寻找浅滩演变的规律性,而且也有利于弄清浅滩演变的原因,便于合理判断浅滩演变的发展趋势。

(1)水力、泥沙和河床形态的沿程变化

图 1-16 为通过上下深槽及浅滩脊的主流线绘出的水力、泥沙和河床形态等有关因素的分布图。浅滩脊处水面宽度变小,泥沙粒径较小,流速及水面比降加大,水流挟沙力加大,且大于含沙量,说明浅滩脊要发生冲刷。

(2)水力、泥沙和河床形态的平面变化

如图 1-17 所示,I~II 断面左岸为微弯河段深槽位置所在,III 断面处深槽位置移向河心,到断面处 IV 深槽已逐步过渡到右岸。该河段泥沙粒径、含沙量、流速和单宽流量的分布情况与河槽的水深分布情况基本相适应,除断面 IV 有心滩存在需注意其变化外,应是一个较好的河段。

(3)水力、泥沙和河床形态的过程变化

图 1-18 为浅滩脊上某一断面在一个水文年内的水力、泥沙和河床形态因素随时间的变化过程线。从图中可以看出,浅滩脊的高程变化为洪水期淤积,枯水期冲刷。水面比降变化为涨水期减小,退水期增大与水位过程呈相反的变化。

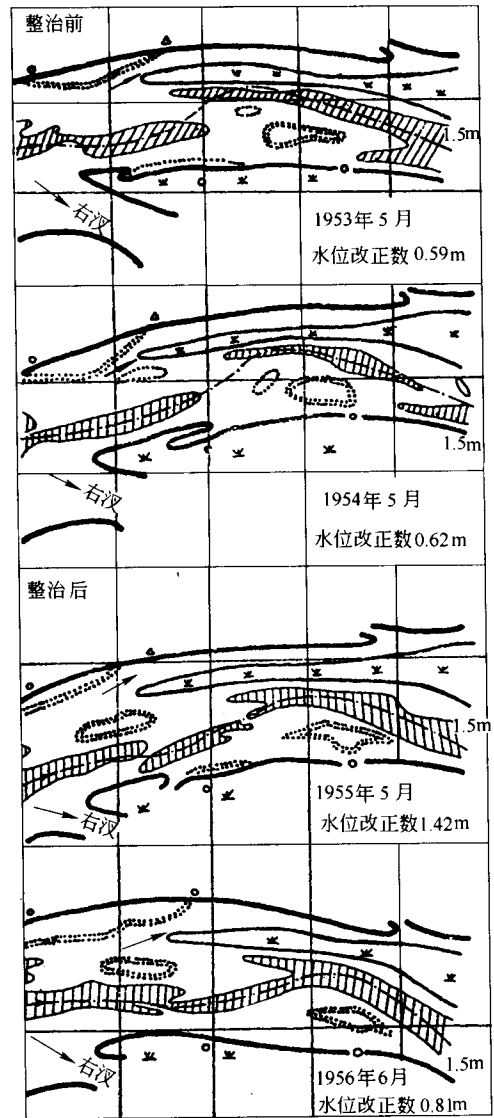


图 1-13 浅滩历年平面变化图

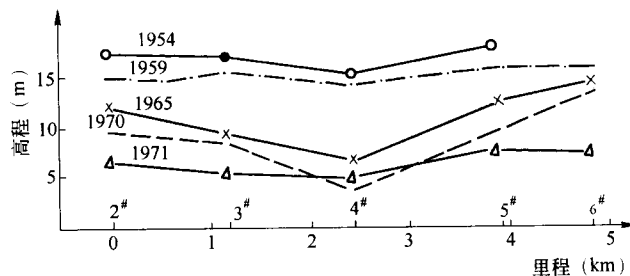


图 1-14 浅滩纵断面变化图