

杙槎在潮汐河口护滩工程中的应用

舒叶华 李 锐 卢永金

(上海市水利工程设计研究院 上海 200063)

摘要 :在对常规方法和潮汐河口岸滩水力特征分析的基础上 ,提出将杙槎群用于潮汐河口深泓固脚护岸的思路 ,通过室内试验 ,分析了杙槎的布置形式、抛投方式、架空率对减速率的影响及杙槎群缓冲落淤作用。表明杙槎可以推广应用于以往复潮汐流为特征的深泓护岸和保滩 ,具有经济、易实施、便于维护的特点。

关键词 杙槎 护滩工程 潮汐河口 青草沙水库

中图分类号 :TV86 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)05-0061-06

Application of abatis in beach protection engineering of tidal estuary//Shu Ye-hua , Li Rui , Lu Yong-jin(Shanghai Water Engineering Design and Research Institute , Shanghai 200063 , China)

Abstract :Based on analysis of the conventional methods and hydraulic characteristics of the coast in a tidal estuary , the feasibility of using abatis in beach protection engineering of tidal estuaries is studied. Through laboratory tests , the layout of abatis , the casting methods , and the effects of the overhead ratio on the deceleration rate , buffering and sedimentation are analyzed. The results show that abatis can be applied to bank protection and beach protection where a reciprocating tide exists. The method is economical , easy to implement , and easy to maintain.

Key words : abatis ; beach protection engineering ; tidal estuary ; Qingcaosha Reservoir

青草沙水库是迄今为止世界上最大的河口江心水库 ,位于长江口南北港分流口附近 ,由中央沙和青草沙等江心沙洲圈围而成。工程区水下地形复杂 ,河床泥沙可动性较强 ,加上受上游长江径流以及下游潮流形成的往复流影响 ,水流条件复杂 ,互动因素较多 ,堤前滩势变化频繁 ,冲淤互现 ,尤其是新建北堤上段位于新桥通道的南侧 ,有微弯的凹岸特征 ,易于冲刷。青草沙水库北堤上段堤坝施工后 ,北港过水断面减小 ,北港内的流速有所增加 ,堤坝外侧滩面冲刷趋势加剧 ,深槽逼岸趋势明显。由于滩前水深流急 ,紧邻北港深泓 ,常规保滩措施要么造价过高 ,要么工程对河势影响太大而不宜采用 ,因此 ,研究适合河口地区潮汐流和径流双重作用下水深流急区域的保滩措施十分必要。笔者以青草沙水库北堤上段保滩护岸工程为对象 ,研究在潮汐河口深泓保滩护岸工程中推广使用杙槎的可行性及其工程布置方案 ,为其他深泓护滩工程提供借鉴。工程位置见图 1。

1 护滩方法分析

1.1 常规方法

以往的保滩护岸工程 ,按护岸机理分类可分为

挑流式、缓流落淤式和覆盖保护式 3 类。

挑流式保滩护岸工程以实体结构将主流挑离河岸堤防 ,并尽量争取在坝田区形成淤积 ,常见的工程结构有抛石顺坝、丁坝等 ,该类工程往往存在基础被淘刷而影响工程自身稳定的问题。抛石顺坝护岸 ,水流横向冲刷受阻转为下切 ,淘刷块石基础 ,坡脚河床被刷深 ,造成块石滑动翻滚、坍塌 ,以致护岸工程本身失稳。丁坝护岸也是这样 ,当挑流的作用太大时坝头处易形成冲刷坑以致坝头损坏坍失。主要原因是潮流受丁坝阻挡产生沿堤流 ,在坝头附近产生的涡流(立轴涡流和横轴涡流)对坝脚滩面的强烈淘刷作用 ,使坝头、坝脚滩面刷深 ,形成巨大的冲刷坑 ,导致坝头块体失稳坍落 ,进而随着冲刷坑的进一步内移而使坝体破坏。

缓流落淤式保滩护岸工程采用抛投缓流块体来局部地改变水流流态 ,降低滩面流速 ,将其降到不冲流速以下甚至可以起到落淤的效果 ,使岸边的冲淤态势发生改变 ,以致护住河岸 ,稳住岸坡。常见的有杙槎、钢筋混凝土网格等。这类护滩结构在单一径流式河道护滩中早有使用 ,但在潮汐往复流作用区

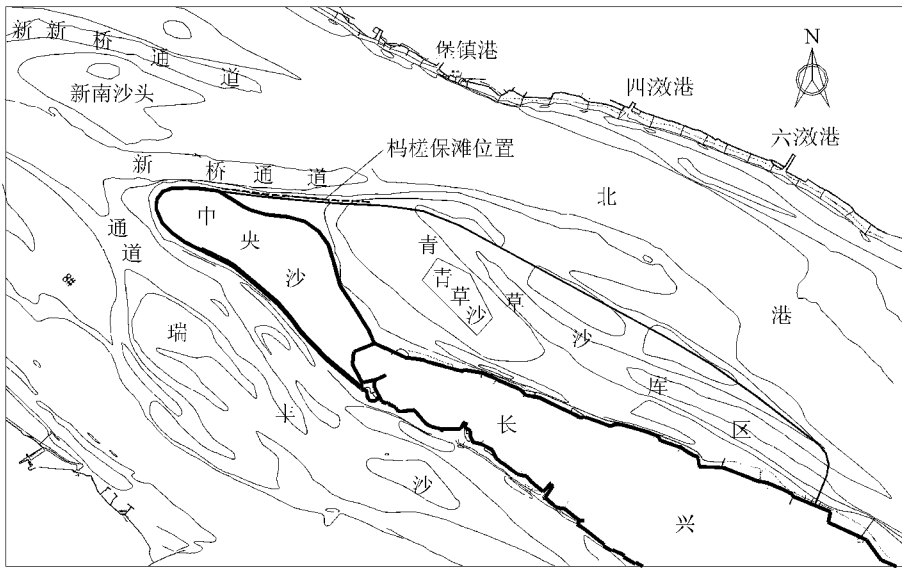


图 1 杓槎保滩工程位置示意图

的使用目前还局限于坝头保护等局部区域。

覆盖保护式保滩护岸工程采用抗冲材料将冲刷的区域覆盖,如软体排、土工枕、柴排、混凝土模袋等均属此类。其主要是利用抗冲材料直接铺敷在堤脚一定范围形成连续的覆盖层,达到保护堤前滩地免受水流和波浪冲刷的目的。如现在保滩工程中较多采用的混凝土联锁块软体排,其具有较好的整体性和柔性,可随河床冲刷坑的形成而下沉,排布对被保护的下部土体有可靠的封闭作用,防止土体被水流带走,上层的混凝土联锁块起压重作用,保护排布。该种护岸方法对河床边界条件改变较小,对近岸及周边水流的影响也较小。目前对其使用较多,但造价较贵,排布易受船只抛锚损坏,且不能及时发现,不易维护,尤其在强劲离岸往复流作用下的护滩效果尚不确定。

青草沙水库地处长江口新桥通道,如建丁坝挑流不利于平顺水流,对长江口的整个河势控制不利。且堤前现有深槽离堤脚较近,堤前深槽槽底高程约-15 m,设置丁坝难度与投资很大。顺坝抛石易滚落,结构整体稳定性较差。北堤上段在前期已实施过抛石及混凝土联锁块软体排保滩护底,青草沙水库北堤上段堤坝施工后,该堤段堤前滩地冲刷内退较为明显,已采取的保滩护底措施不能保证北堤的安全。因此,需研究合适的保滩护岸措施并使其能够和已采取的保滩护底措施共同阻止堤前的深槽逼岸^[3-4]。根据长江、赣江等 10 余处工程的实践经验,使用杓槎群护滩具有较强的抗冲刷能力以及自保护和适应能力,正常情况下杓槎能够在有效保护工程区河床免受冲刷的同时,对工程区以外一定范围的河床也具有保护作用;当流速过大、冲刷严重时,工程区边缘出现因外侧冲深而崩塌时,最外侧的杓槎

会随之塌落,从而保护工程区免受进一步冲刷,因此,对滩陡流急的岸滩,杓槎是一种较好的保滩措施^[5],值得进一步研究其在潮汐流中的适用情况。

1.2 杓槎护滩机理和优点

1.2.1 杓槎护滩机理

杓槎即钢筋混凝土四面六边透水框架^[1]。透水框架由预制的 6 根长度相等的钢筋混凝土框杆相互连接组成,呈正三棱锥体,见图 2。它的保滩机理即框架群改变了水流流态,使其保护范围内的近岸和近底流速大幅度降低。当流速降到不冲流速以下,阻止了滩面冲刷甚至引起泥沙回淤,改岸滩的冲势为不冲或淤势,以保住岸滩。

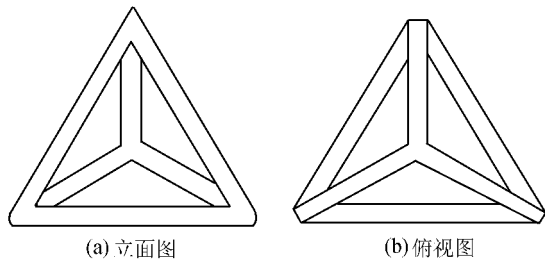


图 2 四面六边透水框架示意图

1.2.2 杓槎护滩优点

a. 自身稳定性好。四面六边透水框架重心低,自身稳定,不易下沉,不易翻滚,框架透水,受力小,不会被水流冲走流失,有明显的分散水流、削减能量、降低流速的作用,减速率可达 30%~70%^[2],不需进行地基处理。有关模型试验及类似工程的实践结果表明,框架群自身在水中的稳定坡度,由于其单体体形的稳定性及相互间的嵌入、套叠等约束,可以构成很陡的坡度,但一般采用抛石护坡的坡度。

b. 防冲效果好。在长江上应用杓槎群固岸的原型观测资料表明^[3]经过 1 个汛期,抛投区均形成

大量的淤积,1个框架至少可以淤积泥沙 1 m^3 以上,有的试验区可淤积泥沙 2 m^3 以上,因此可以认为1个框架的固岸效果可以与 1 m^3 抛石相当或更好。

c. 造价低。相同保护面积下,杙槎造价与混凝土联锁块软体排相比约低10%;与抛石护滩比,二者工程费用也相当。但框架群具有其特有的稳定性和耐久性,避免了块石年年流失而需逐年补抛的后续问题。维护费用明显降低,性价比更高。

d. 易施工。框架可采用钢筋混凝土或其他材料的预制件,便于工厂化大批量生产。施工简单,易保证施工的质量与数量。

e. 易维护。杙槎具有较好的耐久性和自身稳定性,发生较大冲刷后可补抛,维护管理方便。

1.2.3 杙槎在河口使用需研究的问题

以往杙槎大多用于受径流影响的江岸护岸,工程经验表明其在水深很大、坡度很陡的江岸使用时保滩效果依然较好。但对青草沙水库北堤上段保滩护岸工程区域水下地形复杂、受上游长江径流以及下游潮流形成的往复流影响的区域,杙槎保滩护岸尚无经验,需研究杙槎保滩护岸措施在往复流影响下是否能有效降低堤前的水流流速、阻止堤前的深槽逼岸。另外,杙槎群的布置方式、尺寸大小、抛投方式对其减速效果的影响也至关重要,值得研究探讨。

2 试验研究及结果分析

2.1 试验设计

针对杙槎在潮汐河口的应用需求开展了室内模型试验。试验研究的主要目的是通过水工物理模型试验,确定在该种工程区地形、水流情况、地质条件下杙槎保滩的可行性和可靠性,并通过杙槎防护方案的比较试验,提出适宜的抛护方案,为青草沙水库工程北堤上段保滩防护提供科学依据。

2.1.1 模型设计

模型分局部模型、整体模型和水槽模型。局部模型和整体模型分清水定床和清水动床模型,定床模型用于模型边界条件的率定及调整,动床模型用于对杙槎固脚防护的全面观测。模型按重力相似准则进行设计,并兼顾阻力相似、几何正态、几何比尺采用 $\lambda_L = 50$,模拟范围为青草沙水库北堤上段 $2000\text{ m} \times 260\text{ m}$ 的江滩,模型沿长度方向增加过渡段,以保证试验范围内水流流动与原型相似,模型总长和宽分别约为 58 m 和 7.2 m 。动床模型在定床模型的边界条件(往复流流量和潮位过程)模拟区域内的流态及特征点流速率定调整并达到试验要求后铺选定的模型沙改造而成,模拟长度为 1200 m 。

水槽模型包括定床和动床2个模型,定床模型主要用于杙槎对其附近水流减速促淤机理的观测,动床模型则用来进一步观测不同水流流速级差条件下对杙槎防护床面冲刷的影响。模型按重力相似准则进行设计,并兼顾阻力相似、几何正态、几何比尺采用 $\lambda_L = 25$ 。水槽模型有效试验段长度约 12 m ,宽度约 3 m ,包括过渡段实际总长度约 20 m 。动床模型在定床试验结束后铺以按相似准则确定的模型沙改造而成。

2.1.2 模型试验内容

a. 对比试验混凝土联锁块软体排外边有无杙槎的冲淤情况,分析杙槎固脚方案的可行性试验。

b. 通过杙槎固脚不同抛护方案的冲刷试验比较,提出适宜的固脚抛护方案(包括杙槎群的抛投方式、抛投层数、布置方式、减速效果等)。

2.2 试验结果分析

2.2.1 有无杙槎固边效果对比

2.2.1.1 无杙槎群防护冲刷试验

在仅有铰链排护岸(无杙槎防护)的条件下进行了冲刷试验,结果发现在无杙槎固脚防护情况下,在排脚以外约 70 m 的范围内形成条状冲刷带,在铰链排排脚附近固体与散粒体泥沙接触部位冲刷最为严重,有些部位由于铰链排排脚泥沙被淘刷,出现铰链排排脚凹陷变形现象。试验测得最大冲刷深度约 2.2 m ,其冲刷形态见图3。



图3 无杙槎群防护时河岸的冲刷形态

2.2.1.2 有杙槎群防护冲刷试验

为了探讨杙槎群固脚防护的可行性,试验初拟杙槎群布置方式为顺水流方向长度 20 m ,垂直水流方向宽度 15 m ,与混凝土联锁块软体排搭接(重叠) 3 m ,高度 5 m (高度方向铺设杙槎4层),人工规则排列,杙槎群顺水流方向之间的净间隔长度为 10 m 。试验观测表明,有杙槎固脚防护情况下,铰链排排脚附近未发生冲刷,主要冲刷范围发生在距离铰链排排脚 $35 \sim 65\text{ m}$ 宽度范围内,呈长条状冲刷带,在杙槎群外测存在一定的防冲保护宽度,该范围具有“边缘保护效应”,最大冲深约 1.6 m 。其冲刷形态见图4。从图4可以看出,在铰链排排脚附近铺设杙槎群后,对于抑制排脚及其一定宽度范围内的冲刷效果

显著,因此可以认为在本工程的地质及水流条件下,采用杙槎群固脚防护方案是可行的。



图4 有杙槎群防护时河岸的冲刷形态

2.2.2 杙槎群布置方案

试验进行了杙槎群梳齿形布置、间隔布置及连续布置3种布置方案。①梳齿形布置方案:杙槎群在平面上呈不完全间断布置,梳齿的间隔长度(顺水流方向)为15m,梳齿、梳背的宽度为3m。梳背与混凝土联锁块软体排重叠(3m),抛护整体宽度(垂直于水流方向)为15m;②间隔布置方案:杙槎群在平面顺水流方向的长度为15m,垂直于水流方向的宽度也为15m,间隔10m,与混凝土联锁块软体排搭接(重叠)3m;③连续布置方案:沿铰链排排脚连续铺设15m宽的杙槎群,单层铺设,与混凝土联锁块软体排搭接为3m。3种方案布置见图5~7。

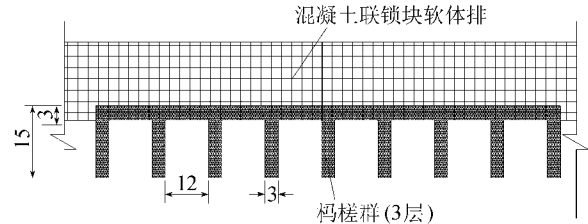


图5 杙槎群梳齿形布置(单位:m)

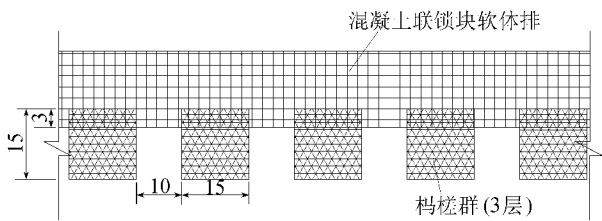


图6 杙槎群间隔布置(单位:m)

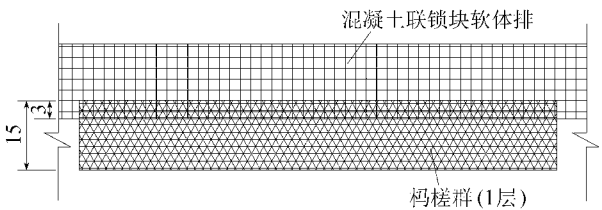


图7 杙槎群连续布置(单位:m)

2.2.3 不同布置方案的杙槎群试验结果分析

2.2.3.1 冲刷形态

a. 梳齿形布置方案。在梳齿的边缘即出现冲刷,而且在2个梳齿之间发生“月牙形”的冲刷形态,

无“边缘保护效应”,冲刷主要发生在杙槎群梳齿边缘以外约65m的宽度范围内。试验实测最大冲深约1.8m,其冲刷形态见图8。



图8 杙槎群梳齿形布置时河岸的冲刷形态

b. 间隔布置方案。铰链排排脚附近未发生冲刷,沿宽度方向主要冲刷范围发生在距离铰链排排脚20~65m的宽度范围内,冲刷形态仍然呈“长条状”,在杙槎群铺设起始端约130m的长度范围内无明显的边缘保护宽度,在该长度范围之后,杙槎群外侧存在约8.0m的边缘保护宽度,冲刷范围内最大冲深约1.97m,在2个杙槎群之间的上游2/3长度范围内有一定的淤积现象,淤积厚度约0.5m,其冲刷形态见图9。



图9 杙槎群间隔布置时河岸的冲刷形态

c. 连续布置方案。从杙槎群外缘即开始冲刷,无边缘保护宽度,在起始170m的长度范围内冲刷较为严重,之后冲刷逐渐减轻。长条形冲刷带主要位于杙槎群外缘之外60~70m的范围内,实测最大冲深约3.3m,由于冲刷历时较长,杙槎群边缘冲刷较严重,局部有杙槎塌陷现象,其冲刷形态见图10。



图10 杙槎群连续布置时河岸的冲刷形态

由以上冲刷形态分析可知,间隔布置方案优于梳齿形及连续布置方案。

2.2.3.2 抛投长度对缓流效果的影响

杙槎护滩的机理在于缓流,为了比较杙槎群周围滩面的流速变化情况,定义杙槎群周围滩面测点

的流速减速率 η 为

$$\eta = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \quad (1)$$

式中： v_1 为投放杙槎群前某测点的流速； v_2 为投放杙槎群后同一测点的流速。

水槽模型试验在固定杙槎群高度 5 m(4 层)和宽度 15 m 的情况下，分别针对长度 60 m、40 m、30 m、20 m、15 m、10 m 和 7.5 m 的杙槎群后部沿程的减速效果和范围进行观测，可以看到杙槎群对其尾部滩面的水流有明显的减速效果，其影响长度随杙槎群抛投长度的增加而增加，但抛投长度在 10 ~ 60 m 之间变化时，减速率变化不大，因此从兼顾节省工程量和防护效果 2 方面考虑，抛投长度选择 10 ~ 20 m 比较适宜。

2.2.3.3 抛投间隔对缓流效果的影响

试验表明，对于抛投长度在 15 m 以上的杙槎群，杙槎群之间的间隔长度取 10 m 左右较为合适，因为抛投间隔超过 10 m 后滩面减速率有加速减小的趋势，而如果抛投长度小于 15 m 时则需相应地缩短抛投间隔。

2.2.3.4 相对抛投高度对缓流效果的影响

在固定杙槎群长度、宽度和高度的情况下(试验中采用长、宽、高分别为 20 m、15 m、5 m)，通过改变水深来观测不同杙槎群相对抛投高度 H_r (定义为杙槎群高度与杙槎群所在位置处水深的比值)对杙槎群后水流减速的效果，减速率见表 1。室内试验结果表明，随着相对抛投高度的增加，杙槎群后滩面水流的减速率总体上随着杙槎群相对抛投高度的增加而增加，但当杙槎群相对抛投高度大于 0.70 之后，减速率的增加逐渐减缓，所以相对抛投高度控制在 1.00 以内比较合适。

表 1 不同相对抛投高度杙槎群后滩面
水流减速率试验结果

距杙槎 下游边 距离/m	杙槎群后滩面水流减速率					
	$H_r =$ 0.44	$H_r =$ 0.50	$H_r =$ 0.57	$H_r =$ 0.67	$H_r =$ 0.80	$H_r =$ 1.00
0	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83
5	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79
10	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.75
15	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.65

2.2.3.5 杙槎群对缓流宽度的影响

试验观测了 3 种来流流速条件下杙槎群减速效果在宽度方向上的影响范围。可以看出杙槎群在宽度方向上的减速效果达到其抛投宽度的 0.5 倍左右，超过这个宽度以后反而会使水流流速有一定的增加。另外，杙槎群对大流速水流的减速效果要比小流速水流的减速效果好。

2.2.3.6 杙槎群架空率对缓流效果的影响

不同的抛投方式下杙槎群架空率不一样。针对 3 种不同的架空率(相应的架空率分别为 2.7、4.5 和 6.0)，同种杙槎群尺度和相同水流条件下杙槎群后 10 m 处的减速率分别为 0.60、0.75、0.66，说明杙槎群的减速率在架空率 2.7 ~ 6.1 之间存在一个最大值，架空率 4.5 所对应的抛投方式应该是较优的抛投方式。

3 工程应用

3.1 工程区自然条件

本工程区前沿濒临北港深泓，河床高程 - 15 ~ - 10 m。根据 2002 ~ 2006 年潮流实测资料分析，该河段垂线平均流速一般小于 1.0 m/s，其中大潮垂线平均流速为 0.6 ~ 1.25 m/s，最大流速为 1.1 ~ 2.12 m/s，落潮时间明显长于涨潮时间，但涨潮流急于落潮流。该段堤前滩地堤基表部为 2.5 ~ 4.2 m 厚的灰黄色粉砂层，其下部即为 4.9 ~ 9.8 m 厚的灰色淤泥质粉质黏土夹粉土层，该层具有流变性、高压缩性、低承载力特点。

3.2 结构方案比选与应用

3.2.1 结构选型的基本要求

a. 动态实施原则。滩势变化具有较大的不确定性和长期性，工程方案应综合考虑河势的动态变化情况，总体上做到统筹兼顾、远近结合，既能保证近期青草沙水库北围堤工程的安全，又能适应当河势发生较大变化时进一步采取保滩措施。

b. 协调一致原则。保滩工程必须符合长江口综合整治规划，不影响大河势，同时应注意与已建或在建的保滩工程合理衔接。

c. 经济可靠原则。工程的结构设计应在可靠论证的基础上合理采用新材料、新工艺、新技术，因势利导，因地制宜，力求经济实用、方便施工、方便维护。

3.2.2 结构方案的比选与应用

结合本工程特点和长江口保滩工程经验，拟定了 4 种结构方案，各方案比较见表 2。

丁坝群的结构复杂，施工较难，坝头易冲刷形成深坑，保滩效果较差，对周边河势影响大，投资高，且坡面保护块体的预制、运输、安装须配备相应的装备和一定的机械。

软体排的优点在于经济，适应滩地变形能力强，对河床边界条件改变较小，对近岸及周边水流的影响较小，施工工序少。但与先期护底的混凝土联锁块软体排的施工搭接难度较大，可靠性一般，软体排

表 2 结构方案比较

方案	工程造价/ (万元·m ⁻¹)	施工难度	河势适应性	保滩效果	稳定性和耐久性	维修管理情况
丁坝群	1.35	较难 ,工序多	丁坝挑流对河势影响较大	较可靠	较差	维修量大
软体排	1.41	较易 ,工序少	水流平顺 ,对河势影响小	能较有效保护被混凝土联锁块软体排覆盖的滩地	易受抛锚等影响 ,耐久性不确定	维修量较小 ,但不易及时发现问题
PHC 管桩顺坝	3.0	需专门的打桩设备 ,难度大	水流平顺 ,对河势影响小	促淤效果较好 ,生态环境效果好	桩易断损	维修量小 ,但不易维修
杓槎群	0.45	较易 ,工序少	水流平顺 ,对河势影响小	能有效保护防护区内的滩面 ,对防护区以外一定宽度范围的河床也具有保护作用	较好 ,具有较强的抗冲刷能力和自我保护及适应能力	维修量小 ,易维护 ,可根据每年的冲刷情况及时补抛

不能起缓流促淤作用 ,所能达到的最好效果仅是保持堤前滩地现状不变 ,且投资大。

PHC 管桩顺坝的优点是其结构布置可以顺应水流方向 ,对保滩岸段的河势影响较小 ,管桩的消浪及淤积效果较好。但该工程前沿滩地低 ,堤脚处滩地坡度较陡 ,顺坝工程量较大 ,投资高。工程区段主要以逼岸水流冲刷破坏为主 ,因此顺坝的作用得不到充分发挥 ;打桩施工难度较大 ,需专门的打桩设备 ;桩易受损 ,不便维护。

杓槎群的优点在于杓槎坝可以有效降低堤前水流的流速 ,减小水流对滩地的淘刷 ,在有效保护工程区河床免受冲刷的同时 ,对工程区以外一定范围的河床也具有保护作用 ,从而提高了自身的稳定性 ,适用滩地变形能力强 ,当流速过大、冲刷严重、工程区边缘出现因外侧冲深而崩塌时 ,最外侧的杓槎会随之塌落 ,形成新的保护结构 ,保护工程区免受进一步冲刷 ,施工工序少 ,投资较省 ,维修管理要求较低 ,较易维护 ,可根据每年冲刷情况及时岁修补抛。

综合上述方案的比较结果可知 ,使用杓槎群与混凝土联锁块软体排共同护滩具有明显的性能优势 ,其保滩时对堤前滩地的保护最好且对周边的河势影响较小 ,投资最省 ,符合动态保滩的指导原则 ,因此 ,杓槎群与混凝土联锁块软体排保滩方案为青草沙水库北堤上段护滩推荐方案。

本工程杓槎群采取间断抛投方式 ,杓槎群布置顺水流方向长度为 15 m ,垂直于水流方向的宽度也为 15 m ,与混凝土联锁块软体排搭接(重叠)3 m ,间隔布置的间距为 10 m。杓槎群采用四联分层定量的均匀抛投方式。

4 结 语

杓槎群应用于潮汐河口往复流作用下凹岸深泓逼岸的护滩工程中是一种尝试。杓槎群护滩自身稳定性好 ,在单向径流式河道中使用效果较好 ,有多年

的实践经验。试验表明 ,在潮汐河口往复流中杓槎群减速率可达 30% ~ 70% ,并有明显的稳定、减速、促淤、护岸功能。与常规的抛石丁坝顺、PHC 桩式坝和混凝土联锁块软体排相比 ,杓槎群具有较好的经济性和容易实施、方便维护的特点 ,值得大力推广应用。

参考文献 :

[1] 王南海 ,张文捷 ,王玢 .新型护岸技术 :四面六边透水框架群在长江护岸工程中的应用[J].长江科学院院报 ,1999 ,16(2) :11-16.

[2] 徐国宾 ,张耀哲 .混凝土四面六边透水框架群技术在河道整治、护岸及抢险中的应用[J].天津大学学报 ,2006 ,39(12) :1466-1467.

[3] 张文捷 ,王南海 ,王玢 ,等 .四面六边透水框架群用于长江护岸固脚工程实例及设计要点[J].江西水利科技 ,2002 ,28(1) :11-13.

[4] 张耀哲 ,徐国宾 .四面六边透水框架群治河护岸技术推广应用中有关问题的分析与讨论[C]//中国水利学会青年科技工作委员会 .中国水利学会第二届青年科技论坛论文集 .郑州 :黄河水利出版社 ,2005 :435-438.

[5] 徐国宾 ,张耀哲 ,徐秋宁 ,等 .多沙河流河道整治新型工程措施试验研究[J].西北水资源与水工程 ,1994 ,5(3) :1-8.

(收稿日期 2009-05-05 编辑 :高建群)

