

仿生水草垫对水流运动影响研究^{*}

黄 伟

(长江航道局,湖北 武汉 430014)

摘 要: 文章介绍了水草垫的结构型式、制作材料及应用环境,并通过试验研究,研究其及对水流运动影响,为更好地应用到工程现场打好基础。

关键词: 航道整治;仿生水草垫;特性分析

DOI: 10.3969/j.issn.1672-9846.2016.03.017

中图分类号: TV131.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-9846(2016)03-0069-04

1 概述

在国内,植物护坡技术在一些省区开始应用并进行了一些试点。山西省地处黄土高原,降雨量少,多集中在 7、8 月份,洪水集中来势迅猛,河水速涨速落、淤积较快,河道多宽浅型。岸坡缓长,很适宜植树护坡。内蒙古莫力庙水库砂坝长达 10km,采用可防止老化的土工织物,结合植物措施护坡。哈尔滨市水利局于在松花江北岸进行“土工织物结合植草”的护坡试验,采用 120g 以下薄土工织物,下面植草、草芽穿过土工膜生长,利用草根固定土工织物,土工织物又可防冲刷。

植物受水流冲刷时,间隙使水流通过,而其枝叶可以降低流速,抵御冲刷,形成透水结构型式。但对于过于湍急的水流,守护坡植物会被水冲走,难以抵御淘刷。植物除了具有耐冲刷的特性外,还需具有耐淹抗旱的功能,以适应河道水位的变化。对于长江这样的大江大河,流量大,水位流量年内和年际变化大。目前柔性植被的防冲促淤作用已经为多数研究者所共识,采用仿柔性植被的守护型式加工制作合适的仿植被材料的产品,既可以发挥其防护效果,又可以避免使用天然植被材料选种难、投资大、养护要求高、防冲能力不足

等缺点。本项研究提出一种用于长江中游荆江河段局部缓流区的仿生水草垫结构,在水槽中开展相关试验研究,确定其结构参数和布置形式,以便更好地在航道整治工程中应用。

2 水草垫结构型式及制作材料

水草垫的基本结构型式是:将较长网片逆水流方向缝制在网垫上,模拟水草形态,在洲滩缓流区内实现促淤的效果,水草叶片宽 0.12m,长 1m,缝制在加筋并系结砣块的三维网垫上,见图 1。

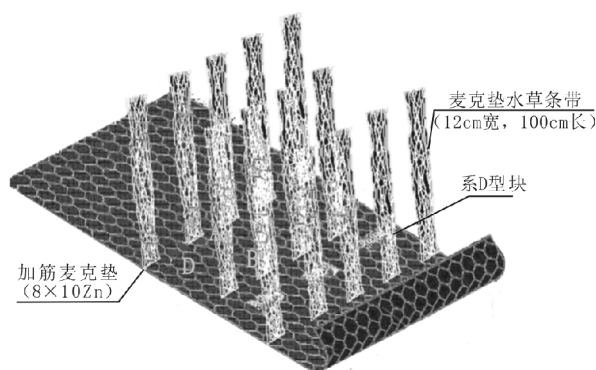


图 1 水草垫的结构型式

水草垫制作所需材料要求具有柔韧性好、耐磨、吸水率小、抗冲刷、耐疲劳、环保经济等特性。

*收稿日期:2016-06-20

作者简介:黄 伟(1981-),男,湖北阳新人,长江航道局荆江航道整治工程建设指挥部工程师,主要从事长江航道整治工程项目管理工作。

目前,可用于水草垫叶片设计的柔性材料主要有:TPU、PA612、PEEK、聚丙烯等。综合考虑各种因素后,聚丙烯材料制作的仿柔性植被以其优良的抗弯曲疲劳性、抗冲刷性、低吸水率、易加工性和经济的价格成为最终用于水草垫的制作材料。选用聚丙烯细丝,加热压制成一定厚度的、具有三维形态的仿水草片(抗拉强度 1.5KN/m)。为了加速水体能量向小尺度涡体传递,叶片具有不规则网孔,其抗弯刚度较低。

由于仿生水草垫属于柔性结构,应用的目的在于促淤固滩,不适用于水流较急的河道,适用于

缓流区。

3 试验条件及水草垫置方式

在大、中、小三种流速条件下,对应的水深为 0.25~0.33m,水草叶片在水下为全淹没状态。水草叶片宽度为 0.15m,相邻叶片左右相距 0.15m,前后两排相距 0.50m;叶片长度设计有 0.25m、0.80m、0.40m、1.20m 四种情况,试验工况见表 1。流速测量位置主要有水草叶片根部(对应工况 A),前后两叶片间中部(对应工况 B)及叶片边缘(对应工况 D)。

表 1 试验组次

试验组次	水槽宽度(m)	测点位置	水深(cm)	平均流速(m/s)	叶片长度(cm)
A	1.25	叶片间前部	32.6	0.265	25
B	1.25	叶片间中部	32.6	0.265	25
D	1.25	两叶片间	32.6	0.265	25
F	1.25	叶片间中部	33.0	0.450	25
H	1.25	叶片间中部	33.0	0.630	25
I	1.25	叶片间中部	25.0	0.730	25
J	1.50	叶片间中部	33.0	0.478	120
K	1.50	叶片间中部	33.0	0.549	120
N	1.50	叶片间中部	33.0	0.608	120
L	1.50	叶片间中部	33.0	0.794	120
S	1.50	叶片间中部	33.0	0.418	80
T	1.5	叶片间中部	33.0	0.689	80
U	1.50	叶片间中部	33.0	0.719	40
W	1.50	叶片间中部	33.0	0.484	40
X	1.50	叶片间中部	33.0	0.498	40

4 水草叶片附近的流速分布

4.1 水草叶片不同位置的水流运动特性分析

试验 A 流速测量位置位于水草叶片根部前端,试验 B 测量位置位于前后相对的两片水草中间,试验 D 流速测量位置位于左右相邻的水草叶边缘连线的中点上,见图 1。试验 A、B、D 在同一流速条件下所测流速沿垂线分布与无叶片覆盖时进行对比(见图 2)可以看出,叶片附近的流速分布已不满足对数分布律。在 0.8 倍水深以下,A、B、D 流速均较无叶片时明显减小;在叶片倒伏高度以下,D 的流速减小幅度最大。由于叶片受水流作用形成较大的弯曲,在弯曲范围内 A、B 流速减小,在弯曲高度之上叶片向后倒伏,A、B 流速随之增加;在叶片倒伏高度以下,受叶片的遮蔽作用,A 的减速作用强于 B;倒伏高度以上,A、B 流速分布接近。

A、B 的流速分布与刚性、柔性淹没植被水流的流速剖面 and 分层模型十分类似,A 流速分布类

似于稀疏植被流速分布,B 流速类似于密集植被流速分布。对于 B 流速分布,叶片倒伏高度以下对应于分层模型的外植被;叶片倒伏高度以上 0.6 倍水深,对应于分层模型的内植被,B 的流速分布符合密集植被的定义。

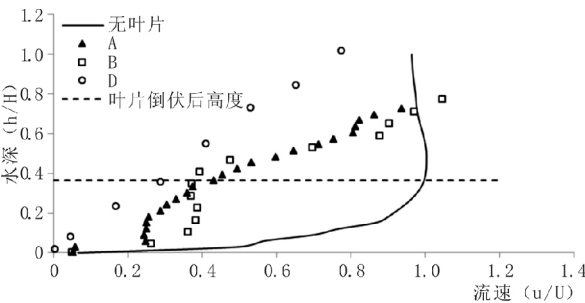


图 2 水草叶片不同位置的流速沿垂线分布

从图 3 可以看出,A、B 位于叶片前后,其紊动强度的分布相似,在叶片倒伏以上,紊动强度明显增加,这说明在叶片端部会形成流动分离,同时叶片端部的摆动也会导致紊动增加。

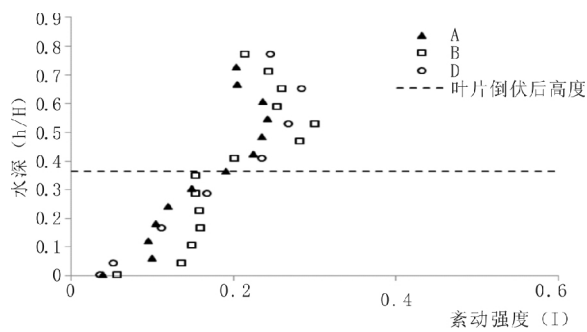


图 3 水草叶片不同位置的湍流强度沿垂线分布

4.2 不同水流条件下水流运动特性分析

试验 B、F、H、I, 流速测量位置均为于前后两叶片中间, 其对应的流速条件分别为: 0.30m/s 、 0.45m/s 、 0.63m/s 、 0.73m/s 。从图 4 可以看出在倒伏高度以下, 流速变化趋近于线性, 这说明随着流速增加, 叶片遮蔽的减速作用减弱(随着流速增加, 叶片倒伏高度相应降低, 为了便于说明, 图中仅给出流速为 0.30m/s 的倒伏高度, 下同)。对比图 3、图 4 可以看出, 随着流速的增加, 对于大柔性的水草叶片来说, 内外植被层趋于一致。

对于不同的水流条件, 其紊动能沿垂线有类似的分布。从图 5 可以看出, 随着流速的增加, 倒伏高度减小, 紊动能最大值沿垂线出现的位置随之降低。

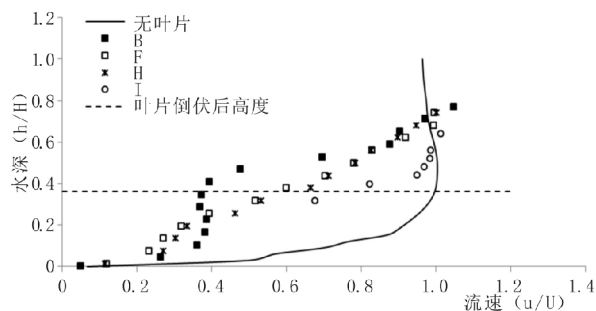


图 4 不同流速条件下流速沿垂线分布

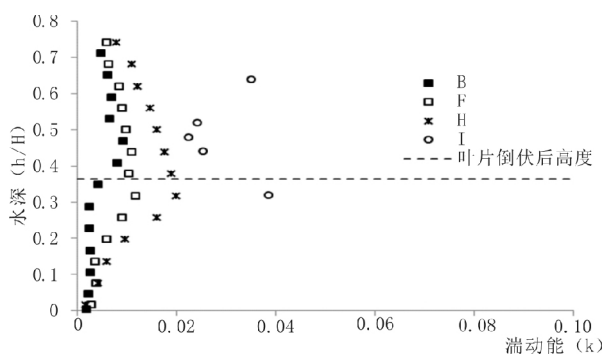


图 5 不同流速条件下紊动能沿垂线分布

5 水草叶片变形

根据上一小节的分析, 大、中、小不同流速条件下, 对应了水草叶片的不同变形, 流速、紊动能的垂线分布存在较大差异。在极缓流条件下, 25cm 的水草叶片挺立于水中, 其根部发生了较小的弯曲变形; 当流速增加到 0.30m/s 后, 弯曲变形加大, 此时水流作用于叶片上的力与叶片的弯曲恢复力基本平衡, 叶片端部稳定; 流速进一步增加到 0.45m/s , 紊动能在叶片倒伏高度附近达到最大值, 叶片端部既有前后摆动, 也有上下摆动, 这说明水流作用在叶片上的脉动压力有所增强, 但还未超越叶片的弯曲恢复力, 同时叶片端部紊动增强, 导致涡体脱落流动分离; 增加到试验最大流速 0.73m/s 时, 叶片端部摆动停止, 叶片上的脉动压力大于叶片的弯曲恢复力, 叶片向床面贴合。替换长度为 120m 的水草叶片继续上述试验, 叶片根部变形相差不大, 端部则贴附在床面上。



图 6 极缓流条件下的叶片变形

图 7 $U=0.30\text{m/s}$ 条件下的叶片变形

图8 $U=0.45\text{m/s}$ 条件下的叶片变形图9 $U=0.73\text{m/s}$ 条件下的叶片变形

图10 长叶片变形(小流速)



图11 长叶片变形(大流速)

水草叶片弯曲角度的计算,既要考虑变形形态,也要考虑阻水面积。根据试验结果,随着流速的增加,叶片的弯曲幅度逐渐减小,当流速大于 0.45m/s 后,阻水面积相差不大。在极缓流速条件下整个叶片均有阻水作用;流速在 0.30m/s 时,叶片的 $3/4$ 仍然阻水;流速达到 0.45m/s 后,阻水长度不足 $1/2$,在计算用于水槽模型试验叶片弯曲角度时宜用平均值。计算方法为,从叶片端部到叶片阻水位置末端,两点取直线(L),与倒伏高度(H),一同利用三角函数计算弯曲角度。对于流速为 0.73m/s 叶片弯曲角度为 30° 。

6 结论

6.1 水草叶片对雷诺应力的影响分析

水草垫中的水草叶片对水流阻水作用影响较大,在这部分区域中,存在紊流的等雷诺应力层,而范围大大地超过无工程时的近壁范围。水草垫中水流受密集水草叶片阻水效应时,水草叶片有效阻水部位的紊动强度剧烈,但该部位雷诺应力偏小,且出现等应力层,说明该范围内流层能量的上下迁移加速度相若,动量传递相抵,雷诺应力数量级差别大,说明水流受底壁影响,同时受更明显的水草叶片粘滞应力和绕流阻力影响,且绕流紊动应力占主要影响地位。

6.2 水草垫阻力特性分析

对于柔性结构的水草垫,由于淹没后受水流影响水草叶片发生一定倒伏和叶片偏转,有效阻水面积减小,水草叶片阻力也随之减小,所以在非淹没和淹没情况下,水草垫阻力随流速的增大呈先增大后减小的过程。当水草垫非淹没时,水草叶片阻力随水深的增加而增加,淹没后水草叶片阻力随水深的增加而减小,因此,水草垫选择实施部位水深不能太深。

当水面高于水草叶片顶部后,水流断面结构发生了改变,更多的水流会从水草叶片顶部阻力小的地方流过,水草叶片高度段内水流流速相对减小。说明了水草叶片阻力其实是水流条件和水草叶片本身的形态、刚柔度、密度等相关特性共同决定的。水草垫的垂线流速分布类似于双曲线型,且淹没情况下流速拐点要比非淹没情况出现的更早。