

透水框架四面体防洪护岸试验研究

徐锡荣¹, 刘刚¹, 徐松年², 诸渭林², 宗竞²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市长江河道管理处, 江苏 南京 210011)

摘要 结合长江南京河段的水沙条件, 采用试验模拟方法对透水框架四面体阻力特性和护岸抗冲特性进行研究。结果表明, 采用透水框架四面体护岸后, 不仅使护岸工程区抗冲流速增大, 而且对于护岸工程区下游一定范围内也有较好的防冲护岸效果, 在平顺河道的透水框架四面体护岸工程中, 可采用间隔布置方式。

关键词 透水框架四面体; 阻力特性; 护岸布置; 试验研究

中图分类号 :TV861 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2007)05-0065-04

Experimental study on flood control and bank protection by tetrahedron permeable frames//XU Xi-rong¹, LIU Gang¹, XU Song-nian², ZHU Wei-lin², ZONG jing²(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Yangtze River Management Bureau, Nanjing 210011, China)

Abstract : Experimental study was performed on the characteristics of tetrahedron permeable frames for bank protection and scour resistance according to the water-sediment condition of Nanjing section of Yangtze River. The result shows that the adoption of tetrahedron permeable frames can not only improve the flow velocity against scouring in the area of the bank protection project, but also achieve good effect on erosion control and bank protection within a certain region on the lower reach of the project. For smooth river channels, tetrahedron permeable frames could be arranged in a stagger form for bank protection.

Key words : tetrahedron permeable frame; resistance characteristic; arrangement for bank protection; experimental study

河道防洪护岸一般采用块石材料构筑, 其具有取材容易、施工简单、投资节省、维护管理方便等特点。但由于块石是散粒结构, 没有整体性, 在河床随水流的调整过程中容易随河床的变形发生滚动移位, 导致散失, 不仅影响护岸工程的稳定和护岸效果, 而且抛石护岸工程段需经常性地维护和加固^[1]。透水框架四面体(图 1)通过改变河道流速分布实现防洪护岸作用, 与其他护岸形式相比, 取利去弊。20 世纪 50 年代, 前苏联较早将透水框架四面体应用于河道护岸中。20 世纪 80 年代初, 我国在黄河下游采用钢筋混凝土透水框架四面体护岸; 20 世纪 90 年代, 透水框架四面体在长江、赣江等河流中均有所采用。然而, 国内外对透水框架四面体的阻力特性

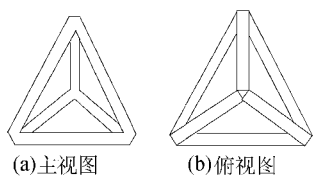


图 1 透水框架四面体结构

和水流特性一直未能进行深入研究, 工程中主要根据经验进行试用, 缺乏系统的理论和试验研究成果指导, 因此阻碍了该项技术的进一步推广应用。笔者通过试验对透水框架四面体的阻力特性进行研究, 并结合防洪设计指标得出合理的防洪护岸布置。

1 试验设计

试验在长 25 m、宽 0.5 m、高 0.6 m 的矩形水槽中进行, 并选取长江南京河段作为试验段进行研究。根据原型观测资料, 河床质泥沙中值粒径为 0.122 mm, 经实验分析, 选用密度为 1.15 g/cm³、淤积干密度为 0.57 g/cm³、中值粒径为 0.39 mm 的塑料沙作为推移质模型沙。

模型透水框架四面体结构与原型透水框架四面体满足几何相似, 几何比尺取 1:30, 采用塑料加铜粉的混合材料制成, 密度 2.5 g/cm³, 与钢筋混凝土密度相接近。杆长 3.3 cm, 截面为 3.3 mm × 3.3 mm 的正方形; 模拟杆件长 1 m, 截面为 10 cm × 10 cm 的原型钢筋混凝土透水框架四面体。

试验主要量测参数包括流量、水位和流速等。流量采用三角堰测量,堰上测针精度为 0.1 mm;水位由水位测针测得;流速采用超声波多谱勒流速仪(ADV)测量,测速范围为 0.01 ~ 250 cm/s。

2 透水框架四面体阻力特性试验

糙率系数 n 一般用曼宁公式 $n = \frac{1}{v} R^{2/3} J^{1/2}$ 计算。 n 实际上是曼宁公式中的调节参数,它既随表面粗糙程度、断面形状的不同而变化,也随流量、水深、水力坡度的变化而发生变化^[2]。表面粗糙程度是影响糙率系数的一个主要因素,一般情况下,表面越粗糙其糙率系数越大。透水框架四面体护岸的床面粗糙度与透水框架的尺度、密度、迎水面布置和排列方式等因素有关。在实际工程中,透水框架抛投方式的随机性较大,难以做到密集有序地排列,同时为了保证一定的架空率,常常需要 3 ~ 4 个捆扎在一起进行抛投^[3]。本试验亦采用此种方式对同一种尺度的透水框架四面体采用不同抛投密度进行研究。

2.1 试验布置

在水槽中部长 3 m 的范围内沿整个断面抛投透水框架四面体。上、下游预留过渡段,中间 1 m 为试验段。抛铺透水框架四面体的宽度和密度,参考工程实践及已有研究资料,抛投密度取方案 1 (0.975 架/m²)、方案 2 (1.3 架/m²)、方案 3 (1.625 架/m²)及方案 4 (1.95 架/m²) 4 种方案。固定尾门调节流量变化,考察糙率值 n 随流量 Q 、水深 h 等参数的变化规律。

2.2 试验成果及分析

本试验研究透水框架四面体的糙率变化规律,而曼宁公式计算所得为水槽综合糙率,因此必须对得到的综合糙率进行边壁校正,消除边壁的影响,求得槽底糙率。爱因斯坦假定平均流速与边壁平均流速及槽底平均流速相等,即 $U = U_w = U_b$,从而得到

$$n^{3/2} p = n_w^{3/2} p_w + n_b^{3/2} p_b$$

式中: n 为综合糙率; p 为湿周; n_w 为边壁糙率; p_w 为边壁湿周; n_b 为槽底糙率; p_b 为槽底湿周。

耶辛(A M Yassin)用光滑边壁及固定沙砾作为糙底进行试验,所得结果与爱因斯坦的处理方法基本相符^[4]。由此可见,爱因斯坦的处理方法在粗糙槽底、光滑边壁情况下较为适宜。本试验中的透水框架四面体粗糙尺度比耶辛试验的槽底粗糙尺度大,基本能够满足爱因斯坦假设,因而将爱因斯坦方法应用于试验的边壁校正。

试验中调节水槽底坡至水流为均匀流。控制水深在 10 ~ 30 cm 范围,测量无防护时 5 种水流条件下

的试验数据,计算得水槽玻璃边壁糙率 $n_w = 0.009321$ 。该值在玻璃糙率经验值 0.007 ~ 0.01 的范围内,可作为玻璃边壁糙率,用于透水框架四面体试验的边壁校正。图 2 为 4 种方案的试验成果。由图 2 可见,原型透水框架四面体糙率 n_p 比天然河道糙率大得多,而且糙率随透水框架密度的增大而增加。同一方案,糙率 n_p 随着水深 h 的增加而减小,在水深小于 6 m 时 n_p 的降幅较大;当水深大于 6 m 时 n_p 的降幅变得很小,且逐渐趋于一稳定值 n_0 。稳定值 n_0 不受水深影响,仅仅与透水框架四面体自身相关。

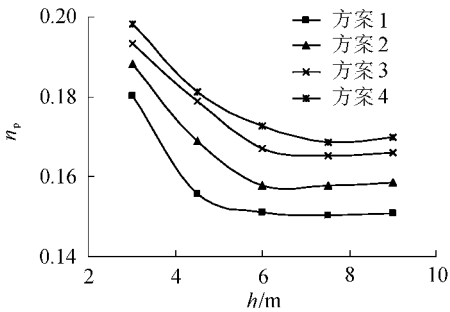


图 2 不同方案下的糙率-水深关系

在紊流粗糙区,糙率是粗糙度 K 的函数,随着 K 的增大而增大。在本文中,单个透水框架四面体的高度一定,框架群的粗糙度由框架的抛投密度 ϵ 决定。由图 2 可以看出,糙率稳定值 n_0 仅仅与透水框架四面体自身的抛投密度相关。图 3 为透水框架的稳定糙率值与框架密度的关系。由图 3 可见,糙率 n_0 随四面体密度的增大而增加,且增加的幅度逐渐减缓。由试验可知,透水框架四面体在不同水流条件下的糙率均较天然河道有显著提高。阻力问题实质上就是流速分布问题。一方面,阻力变化引起河道水流结构的横向调整。透水框架四面体护岸处床面具有较大的糙率值,远大于正常冲积河流主槽糙率。在滩面上布置透水框架四面体将增加边滩糙率,必然导致水流在横向上的调整,水流偏向主槽集中,使滩地上的流量减小,流速降低。另一方面,阻力变化引起河道水流结构的垂线调整。透水框架四面体护岸后,在水流近底床面处形成阻力区,水面产生壅水现象。上部水流流速增大,近底流速大幅度

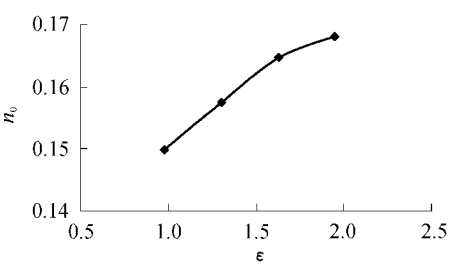


图 3 透水框架的稳定糙率与框架密度的关系

减小,泥沙起动概率降低,从而实现减速促淤、保护河岸的目的。

3 透水框架四面体护岸抗冲试验

3.1 试验布置

在水槽中部设有长 100 cm、宽 45 cm、深 5 cm 的凹槽,模型沙铺于槽内,模型沙顶面刮制平整且与水槽底面齐平。模拟透水框架体护岸时,在沙面上均匀抛铺透水框架四面体。投抛宽度 67 cm(相当于原型 20 m),投抛密度与上述 4 种抛投方案相同。

3.2 试验成果分析

试验在无护岸工程情况下,将水槽流量由小到大慢慢增加,并控制好水位,观察泥沙起动情况。当发现沙面有少量泥沙开始运动(泥沙起动)时,控制流量及水深,测量水深和垂线流速。模拟透水框架体护岸时,将水槽流量由小到大慢慢增加,并控制好水位,观察泥沙起动情况。当发现框架体内有少量泥沙开始运动,同时在透水框架四面体工程下游边界处看到有少量泥沙从框架群内流出时,即以此作为框架群区泥沙起动状态,并测量出框架群区泥沙起动时的水深和垂线平均流速。通过试验,在不同水深和框架密度的情况下量测出测点垂线平均流速,见图 4。

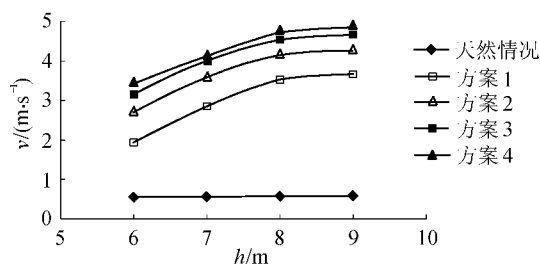


图 4 不同方案下的垂线平均流速

试验表明,在水深保持不变时,透水框架四面体区垂线平均流速随透水框架体抛投密度的增大而增大,且增大的趋势逐渐变缓。在水深 6 m 时,方案 1 的垂线平均流速为 1.94 m/s,方案 4 的垂线平均流速为 3.42 m/s。与护岸前(天然情况)的垂线平均流速试验成果相比,透水框架四面体护岸后,框架体内垂线平均流速增大 246.4% ~ 510.7%。同时,垂线平均流速受水深影响,在透水框架抛投密度一定时,垂线平均流速随水深的增大而增大,增大的趋势逐渐变缓。方案 4 时,水深 6 m 的起动流速为 3.42 m/s,水深 9 m 的起动流速为 4.85 m/s。与透水框架体护岸前泥沙起动相比,护岸后的垂线平均流速增大 510.7% ~ 722.0%。

4 透水框架四面体防洪护岸的合理布置

根据实测资料,按设计洪水流量(92600 m³/s),采用单宽流量放大方法,推算得长江南京河段近岸抗冲设计流速为 3.0 m/s^[5]。透水框架四面体护岸后,虽然工程区及下游近区一定范围内近底流速明显减小,而垂线平均流速变化不大。因此,不能用垂线平均流速(抗冲流速)衡量岸坡是否发生冲刷。试验采用近底流速作为判别岸坡是否发生冲刷的参数。

4.1 工程区及下游近区水流条件的变化

4.1.1 试验布置

在各方案工程区及下游布置测点,调整水流条件使垂线平均流速为 3.0 m/s。为便于比较,试验先量测工程前工程区及下游近区各测点的近底流速,然后保持水流条件不变,分别布置各工程方案,再量测工程后工程区及下游近区各测点的近底流速。进行工程前后近底流速对比,以分析框架体抛投前后对工程区及下游近区的影响。

4.1.2 试验成果分析

4.1.2.1 工程区水流条件的变化

在相同的床沙条件下,床沙起动所需的近底流速条件(大小、脉动特性)是一定的,透水框架四面体护底改变了水流分布,在近底产生了一个低流速区,对床面泥沙产生了屏蔽作用,即降低了近底流速。透水框架四面体密度越大,阻水性就越强,近底流速减速率也就越大。由试验可见,与护岸前(天然情况)相比,透水框架护岸后各方案工程区近底流速均明显减小,且减小的幅度随透水框架密度的增大而增大,随水深的增大而增大。如在水深 8 m 时,方案 1 近底流速减速率为 71.9%,方案 4 近底流速减速率为 79.6%;又如方案 1,水深为 6 m 时的近底流速减速率为 69.3%,水深为 12 m 时的近底流速减速率为 78.5%。由图 5 还可以看出,随着透水框架密度和水深增大,近底流速减小的趋势逐渐变缓。

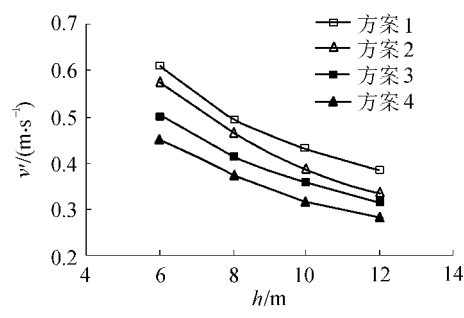


图 5 工程区近底流速成果

4.1.2.2 下游附近水流条件的变化

透水框架四面体护岸不仅对工程区形成有效的防护,而且对工程区下游一定范围内也有较好的防

护效果。在平顺河段,常常采用间隔抛投的方式进行防护。工程区下游近区近底流速分布直接决定间隔长度。不同布置方案工程区下游近区近底流速沿距离的变化见图6。

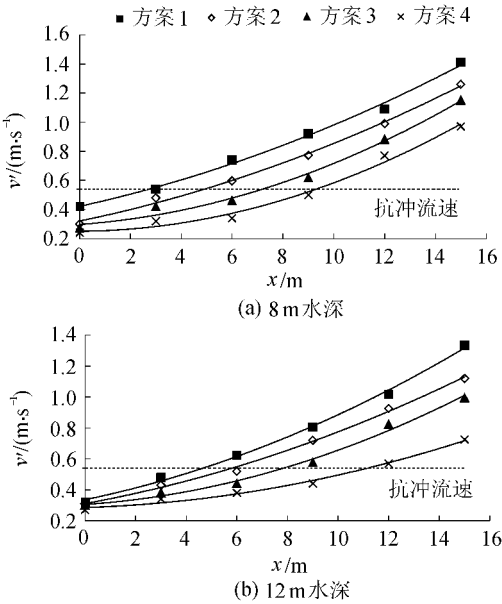


图6 下游近区近底流速变化

试验结果表明,在保持水深不变的条件下,不同方案护岸工程对下游近底流速的减速效果差异明显。如在12 m水深条件下,方案1的工程区下游0~15 m相应减速81.9%~32.9%,方案4的工程区下游0~15 m相应减速85.3%~63.5%。8 m水深情况下框架群后近底流速变化规律与12 m时相近。由此表明,框架群后近底流速的减速率随透水框架密度的增加而增加,且近底流速的减小幅度亦逐渐变缓,与工程区变化规律一致。

4.2 透水框架体护岸的布置形式

4.2.1 布置密度

为判定各方案工程区的抗冲情况,表1列出了各方案工程区近底流速与工程前岸坡泥沙起动时近底流速的变化值。负数表示工程区近底流速小于工程前岸坡泥沙起动时的近底流速,不发生冲刷;正数表示工程区近底流速大于工程前岸坡泥沙起动时的近底流速,将发生冲刷。

试验结果表明,当水深大于8 m时,各方案工程区近底流速值均小于泥沙起动时的近底流速值,不发生冲刷;当水深为6 m时,方案1近底流速值为

表1 岸坡防止冲刷判别成果 m/s

水深/工程前		方案 1		方案 2		方案 3		方案 4	
m	流速	流速	变化	流速	变化	流速	变化	流速	变化
6	0.47	0.49	0.02	0.46	-0.01	0.44	-0.03	0.41	-0.06
8	0.48	0.46	-0.02	0.43	-0.05	0.40	-0.08	0.37	-0.11
10	0.50	0.42	-0.08	0.38	-0.12	0.36	-0.14	0.33	-0.17
12	0.51	0.38	-0.13	0.33	-0.18	0.31	-0.20	0.28	-0.23

0.49 m/s,大于泥沙起动时的近底流速值(0.47 m/s)。因此,在水深小于6 m的条件下,方案1工程区岸坡将发生冲刷。

4.2.2 布置间隔

为研究透水框架护岸的合理布置间隔,图7(a)(b)同时表示出了相应水深条件下实测岸坡泥沙起动(抗冲)流速,读取图中泥沙起动(抗冲)流速线与各方案工程区下游近区近底流速曲线交点处的横坐标(距离),得出各方案岸坡防止发生冲刷的最大间隔。图7表示相应各方案合理布置的最大间隔随水深变化的关系。该成果表明,透水框架布置方案不同,则防止岸坡可能发生冲刷的最大间隔不同,防止岸坡可能发生冲刷的最大间隔随水深的增大而增大。

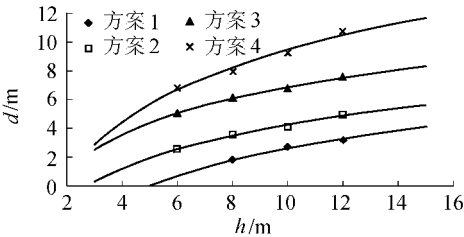


图7 透水框架合理布置间隔

5 结 论

a. 透水框架四面体的阻力随水深的增加而减小,减幅逐渐变小并趋于一稳定值,该稳定值只与框架群自身有关。

b. 透水框架体护岸使岸坡抗冲流速明显增大,增大的幅度随水深的增加而增加,随透水框架体布置密度的增加而增加。

c. 透水框架体护岸,不仅使框架群内近底流速明显减小,而且对下游近区一定范围内的近底流速有明显影响。近底流速的减小幅度随透水框架体密度的增大而增大,随水深的增大而增大。

参考文献:

[1] HEMPHILL R W, BRAMLEY M E. 河渠护岸工程[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.

[2] 何建京, 王惠民. 流动型态对曼宁糙率系数的影响研究[J]. 水文, 2002, 22(6): 22-24.

[3] 张文捷, 王玢, 麻夏, 等. 江河护岸新技术——四面六边透水框架群[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.

[4] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社, 1983.

[5] 徐锡荣, 唐洪武, 宗竞, 等. 长江南京河段护岸新技术探讨[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(4): 26-28.

(收稿日期 2006-10-31 编辑:高建群)