



透水框架群水力特性试验研究

余新明

(长江航道局国家内河航道整治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 透水框架群在长江航道整治工程中具有减速、防冲、促淤的特点, 在三峡工程蓄水运用后清水下泄促淤有限的条件下, 框架群在护滩边缘的防护效果明显, 但对其作用机理, 特别是透水框架群在整治工程中的水力特性还认识不足。通过水槽试验研究了透水框架群的减速率与摆放高度、孔隙率等因素的相互关系, 并对透水框架群内部和尾部的减速效果进行了深入分析, 研究结果可为规范护滩边缘结构的设计提供技术支持。

关键词: 透水框架群; 航道整治; 水力特性

中图分类号: U 617.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0117-06

Experimental study on hydraulic characteristics of penetrating frame groups

YU Xin-ming

(Yangtze River Waterway Bureau, National Inland Waterway Regulation Engineering Technology Research Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: Penetrating frame groups in the Yangtze River renovation work is characterized by deceleration, erosion protection and deposit-promoting. Under the limited depositing-promoting condition with the clean water in the operation of water conservancy in the Three Gorges Project, the protective effect of frame groups in beach protection edge is significant. But people are still lack of the knowledge in the mechanism of action of the penetrating frame groups, especially in the hydraulic characteristics of penetrating frame groups in the renovation project. This paper studies the relationship between the deceleration rate of the penetrating frame groups and display height, porosity and other factors via flume experiments, and analyzes the decelerating effects of the inside and tail parts of the penetrating frame groups. The results can provide technical support to the structural design of beach protection edge.

Key words: penetrating frame groups; waterway regulation; hydraulic characteristics

三峡工程蓄水运用后, 其下游河段航道条件整体趋好, 但局部滩槽冲刷、冲滩淤槽和岸线坍塌等不利变化时有发生, 特别是一些作为航道重要边界条件的中低滩、高河漫滩及部分支汊河道均发生了不同程度的变化^[1]。为了应对三峡工程蓄水运用后不利局面的出现, 保护目前相当有利的滩槽格局及较好的航道条件, 在长江航道整治工程中大量采用护滩带。由于护滩建筑物与水流相互作用复杂, 边缘变形区建筑物易破坏, 威胁到了护滩工程的整体稳定。从护滩带建设后的情况看, 当排体边缘发生不均匀冲刷或局部冲刷较大

时, 导致排体首先在接缝处撕裂, 裂缝继而由外向内逐渐发展, 严重时使整个护滩带遭受贯穿性破坏。

为了防止护滩建筑物的破坏, 根据护滩带边缘的变形特点, 在建设过程中先期逐渐试验性地在护滩边缘使用预埋块石、铰链排、防冲墙、铺软体排等结构, 但上述结构在三峡工程蓄水运用后清水下泄的条件下促淤有限。近年来, 在长江航道整治工程中对于四面体透水框架群的运用逐渐增加, 大多是运用于护滩工程的边缘守护(图1), 由于这种结构具有减缓流速、防止冲刷、促进淤积的特

收稿日期: 2013-05-21

作者简介: 余新明(1978—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事航道整治方面的研究。

点,对护滩边缘防护效果明显^[2]。通过工程实例表明,透水框架群在防止护滩边缘的冲刷上具有显著的效果,在护滩带的边缘、头部以及水流漫滩的部位均可以进行运用,已经成为长江航道整治护滩工程中采用的结构形式之一,目前通过工程实例积累了一定的经验,但对其作用机理,特别是透水框架群在整治工程中的水力特性还认识不足,在工程实际中难以科学、合理地确定透水框架群的各项指标,对其在应用过程中遇到的问题难以有效解决,影响了工程效果,限制了结构进一步的推广应用。

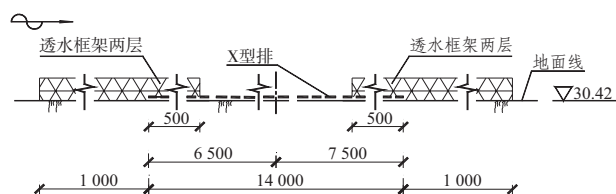


图1 透水框架群护滩典型断面 (单位: mm)

1 框架群水力特性试验条件

1.1 试验水槽及框架群摆放方式

为了更好地掌握透水框架群在航道整治工程中的作用机理,有必要对其水动力特性进行试验研究,试验在玻璃水槽内完成(图2),该玻璃水槽长×宽×深为8m×0.3m×0.5m,底坡为1/1000。



图2 试验玻璃水槽

试验水槽进口采用多道消浪栅平稳水流,在水槽上游采用三角形薄壁量水堰测量流量,并在进水管安装电磁流量计进行流量测量验证,其中流量控制系统采用精度为0.3%的电磁流量计。为了更好地掌握试验数据,试验采用美国TSI公司开发生产的二维PIV激光粒子图像测速系统。

结合工程应用,试验采用的单个四面六边透水框架采用方形截面的硬铝柱体粘接而成,透水框架试验水槽几何比尺确定为20,则每个柱体长度为50mm,正方形截面边长为5mm。水槽模型

满足几何和流态相似。

考虑到框架群在实际中的应用情况,试验中模拟了规则摆放和随机投放两种布置形式。规则摆放考虑单层、双层、3层的形式,采用背流方式进行布置;随机投放改变投放密度和框架群高度,以模拟不同的框架群堆积形式(图3)。



a) 实际规则摆放



b) 实际随机抛投



c) 试验规则摆放



d) 试验随机抛投

图3 框架群的摆放、抛投

1.2 试验水流条件和工况设置

根据长江中游各特征流量下的流速值^[3]，并考虑边滩守护的设计表层流速（3.0 m/s），确定本次试验研究的平均流速为0.2~2.7 m/s，概化了5组原型平均流速和相应计算的水槽流速（表1）。

表1 框架群水槽试验水流工况

水流工况编号	流速/(m·s ⁻¹)	
	水槽	原型
1	0.045	0.20
2	0.140	0.63
3	0.320	1.45
4	0.450	2.01
5	0.600	2.69

由于框架群在实际应用中的水深变化较大，考虑不同框架群的淹没情况，对应不同的相对高度 H_i/H （即框架群高度 H_i 与水深 H 之比）。结合试验水槽条件和实际应用情况，确定试验中框架群摆放的相对高度为0.17~0.63，共6组相对高度，对应不同的水深和框架群高度，见表2。

表2 框架群相对高度工况

相对高度工况编号	框架群高度 H_i /m	试验水深 H /m	相对高度
1	0.050	0.30	0.17
2	0.050	0.23	0.22
3	0.050	0.17	0.30
4	0.075	0.23	0.33
5	0.075	0.17	0.45
6	0.075	0.12	0.63

1.3 框架群的透空性确定

相关研究表明，框架群的阻水特性与水流条件、淹没程度和框架群的透空性均有关系，对于四面体透水框架群来说，框架群内部的相对空隙大小是影响框架群透水能力和阻水效果的重要因素。可以用孔隙率 ε 来衡量框架群内空隙的相对大小，定义

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{group}} - nV_{\text{single}}}{V_{\text{group}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： V_{group} 表示框架群的总体积； V_{single} 表示单个框架的排水体积； n 表示框架群中的四面体个数。孔隙率越小，表示单位体积内四面体框架数量越多，框架群内部相对空隙越小，透水能力越小，

反之越大。

引入孔隙率的概念以后，无论对于规则摆放还是随机投放，均可采用孔隙率来衡量框架群的内部空隙的相对大小。对四面体框架结构进行了随机投放和规则摆放的试验^[4]，确定框架群的孔隙率的范围，在此范围内选择一组典型孔隙率作为试验工况。

采用随机投放的方式来确定孔隙率的变动范围，框架群所能达到的最小孔隙率约为82.4%，相比较随机投放，规则摆放的情况下孔隙率相对较大。在水槽中规则摆放单层、双层和3层情况下的孔隙率分别为94.7%、92.2%和90.2%。根据以上分析结果，确定框架群孔隙率的试验工况见表3。

表3 框架群孔隙率的试验工况

孔隙率工况编号	孔隙率/%	摆放形式
1	82.4	随机投放
2	85.3	随机投放
3	87.9	随机投放
4	88.3	随机投放
5	90.2	随机投放
6	91.2	随机投放
7	92.1	随机投放
8	94.7	规则3层摆放
9	92.2	规则双层摆放
10	90.2	规则单层摆放

2 框架群水力特性试验研究

2.1 框架群内部减速特性研究

由于框架群的阻挡作用，框架群内部流速难以测量，在布置框架群时，留出一定宽度的测量间距作为观测井，测量观测井内的流速来代表框架群内部流速。图4给出了典型垂直断面上的框架群内部流场，从图4可以看出，与无框架流场比较，框架高度以上水流流速增加，在框架高度以下水流流速减小，在框架后方存在着一个明显的减速区域，因此除了要掌握框架内部减速情况外还要对其尾部的流速变化情况进行分析。而流速的降低使得水流挟沙能力下降，从而导致泥沙沉降，这是透水框架能作为防冲促淤结构的主要原因。

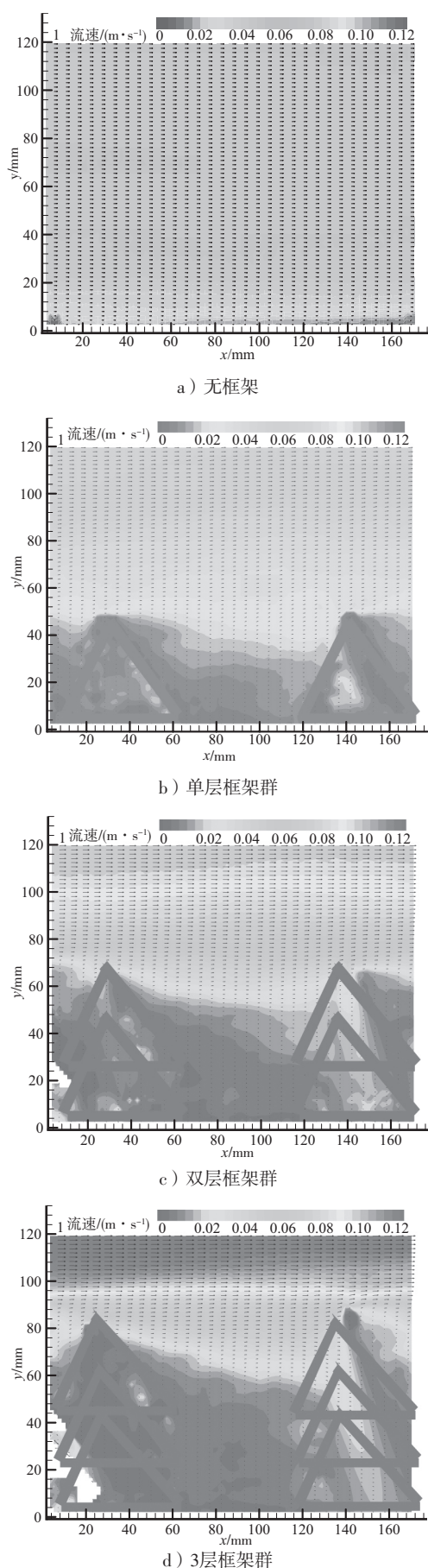


图4 规则摆放框架群内部流场(水流工况1)

从流速垂向分布(图5)也可以看出,框架群内部近底流速明显减小,在规则摆放的情况下,3层摆放的内部减速明显,但其表面流速增加也较明显,近底部双层的摆放减速相对明显。

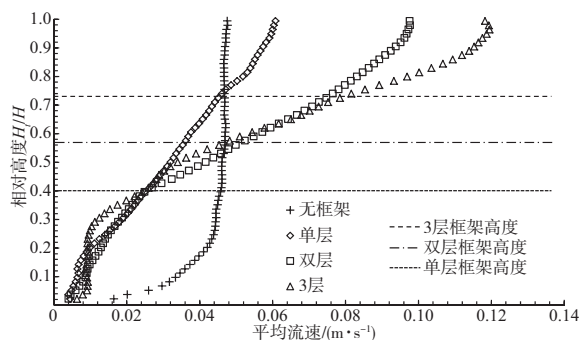


图5 水流工况1时均流速垂向分布

而框架群内部的减速效果是衡量框架群守护能力的重要指标。从框架群的水力特性来看,框架群减速作用范围主要在框架群高度以内,因此采用布置框架群前后框架群高度以内的平均流速的变化来分析框架群减速效果。可以定义为:

$$\eta = \frac{v_0 - v_l}{v_0} \quad (2)$$

式中: η 为减速率; v_l 为透水框架高度内的纵向流速垂线平均值,并且在观测孔范围内取横向平均; v_0 为无框架情况下透水框架高度内的纵向流速垂线平均值。

按照不同水流条件、相对高度和孔隙率的设计工况开展试验,并计算出相应的减速率,得到各个影响因素下减速率的变化规律(图6),可以看出,试验得到的减速率大小在0.5~0.85,随着孔隙率的增加,框架群的透水能力增加,减速率也相应减小。采用幂函数拟合出孔隙率与减速率关系式为:

$$\eta = 0.512\varepsilon^{-2.42} \quad (3)$$

从数据点的分布规律来看,相对高度为0.17和0.63时试验数据偏离拟合曲线较远,相对高度在0.22~0.45时数据一致性较好,比较接近拟合曲线。此处,通过试验还可以得出:从不同相对高度下的结果比较来看,整体趋势是相对高度越大,减速率越小,且减速率随孔隙率下降曲线越平缓。

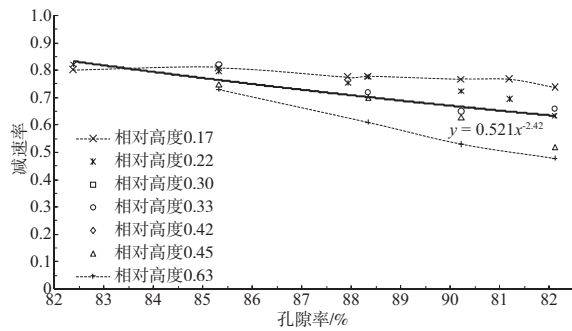


图6 不同相对高度条件下孔隙率与减速率关系

对相对高度为0.22~0.45且不同流态条件下的减速情况也进行了分析,图7给出了不同水流条件下孔隙率与减速率关系曲线,从图7可以看出,在不同流速情况下的结果也有差别,但表现的趋势相同,孔隙率越大,减速率越小。需要说明的是,减速率的大小和变化规律与减速率的计算方法有关。本次计算采用观测面内取平均的办法来减小单点测量带来的误差。

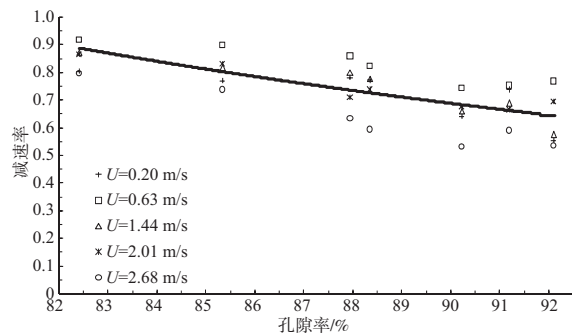


图7 不同水流条件下孔隙率与减速率关系

2.2 框架群尾部减速特性研究

水流流经透水框架群,在框架群内部,水流流速显著减小,对框架群布置部位形成保护。另外,水流流过框架群后,其后方的水流流速相对于无框架状态也是减小的,但其减速效果逐渐变弱,这就关系到框架群对其后方的保护范围。当框架群尾流流速逐渐增大,其防冲促淤效果也将逐渐变弱,因此,了解框架群尾流减速率衰减规律^[5],确定框架群有效减速范围,对框架群优化设计具有重要意义。

透水框架群的孔隙率直接影响到框架群的减速效果,孔隙率对应单位体积内透水框架数量的多少。在实际工程中,框架数量的多少又直接影响到工程投资。试验中,针对不同孔隙率

(85.3%,90.2%,93.7%)下的透水框架群,利用PIV对其尾流进行了测量,获得了不同孔隙率下的尾流流场变化过程(表4),为实际工程提供参考。

表4 框架群尾部减速特性试验工况

工况	流量 $Q/(L \cdot s^{-1})$	水深 H/m	相对高度 H_p/H	平均流速 $U/(m \cdot s^{-1})$	雷诺数 Re	弗劳德数 Fr
1	3.24	0.24	0.21	0.045	4 154	0.03
2	11.23	0.24	0.21	0.156	14 400	0.10
3	25.34	0.24	0.21	0.352	32 492	0.23
4	32.40	0.24	0.21	0.450	41 538	0.29
5	43.20	0.24	0.21	0.600	55 385	0.39

框架群尾流减速率计算公式与框架群内部减速率公式相同,采用布置框架群前后框架群高度以内的平均流速的变化来分析框架群减速效果。

图8中选取了两个孔隙率(85.3%,90.2%)不同流量下的减速率变化曲线。从图8可以看出,不同流量下,减速率变化规律相似。框架群后方减速效果沿程逐渐变弱,减速率变化规律近似呈直线分布。同时,对不同孔隙率下的尾流减速规律进行对比也可以看出,孔隙率越小,减速率越大,这与透水框架群内部减速率与孔隙率关系一致,越往后,水流受框架群影响逐渐减弱,减速率开始逐渐减小,不同孔隙率下尾流减速率表现出相似规律。

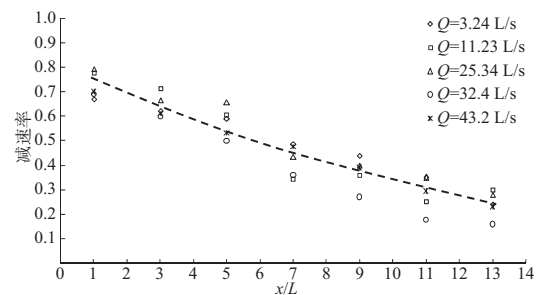
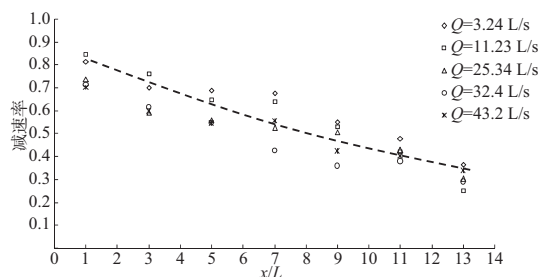
a) $\varepsilon=90.2\%$ b) $\varepsilon=85.3\%$

图8 不同流量下尾流减速率变化曲线

3 结论

1) 透水框架群附近的流场测量结果表明, 由于透水框架的阻水作用, 框架高度以上水流流速增加, 在框架高度以下水流流速减小, 在框架后方存在着一个明显的减速区域。流速的降低使得水流挟沙能力下降, 从而导致泥沙沉降^[6-8], 这是透水框架作为防冲促淤结构的原因。

2) 透水框架群不同相对高度条件下, 框架群相对高度越大, 减速率越小, 且减速率随孔隙率下降的曲线越平缓。

3) 透水框架群尾流变化特征表明: 框架群后方减速效果沿程逐渐变弱, 减速率衰减规律近似呈直线分布。透水框架群对其后方也有一定保护作用, 但其保护作用逐渐减弱, 工程中要根据实际情况合理设计框架布置范围。

参考文献:

[1] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 水利电力出版社,

1989.

- [2] 李若华, 周春天, 严忠民. 四面六边透水框架群减速效果的优化研究[J]. 水利水电快报, 2003(6): 14-15.
- [3] 余新明. 长江中游戴家洲河段河床演变及碍航特性研究[J]. 水利水电科技进展, 2010(5): 42-43.
- [4] 曹民雄, 余新明, 刘兆衡, 等. 长江口岸直水道鳊鱼沙心滩头部守护工程局部冲刷系列水槽试验研究[J]. 水运工程, 2012(1): 15-17.
- [5] 周根娣, 顾正华, 高柱, 等. 四面六边透水框架尾流场水力特性[J]. 长江科学院, 2005(6): 12-14.
- [6] 余新明, 谈广鸣. 河道冲淤变化对分流分沙比的影响[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2005(1): 44-45.
- [7] 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.
- [8] 余新明, 谈广鸣. 河道分流分沙计算模式研究[J]. 水利水电科技进展, 2006(6): 25-28.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第116页)

参考文献:

- [1] 刘长俭. 贯彻落实《国务院关于加快长江等内河水运发展的意见》的建议[J]. 水运管理, 2011(3): 8-10.
- [2] 李歌清. 国务院2号文件解读及长江水运发展展望[J]. 中国水运, 2011(3): 12-13.
- [3] 潘文达, 潘思延. 长江水运物流对区域经济贡献的量化分析[J]. 水运工程, 2011 (5): 7-12,39.

- [4] 何远成, 董千里. 长江水运战略地位研究[J]. 交通企业管理, 2008(12): 36-37.
- [5] 晏绪煌. 长江水运建设的若干问题[J]. 中国水运, 1998(9): 6-7.
- [6] 王玉红. 长江支汊太平府、裕溪口水道转为公用航道的思考[J]. 武汉交通职业学院学报, 2012(1): 8-12.

(本文编辑 郭雪珍)