



# 混凝土四面六边透水框架结构 在长江航道整治中的应用

周生利<sup>1</sup>, 刘常全<sup>2</sup>, 张俊<sup>1</sup>

(1.长江航道工程建设指挥部, 湖北 武汉 430010; 2.长江重庆航道工程局, 重庆 400011)

**摘要:** 混凝土四面六边透水框架是一种新型江河护岸工程技术。室内试验和实际工程应用均表明, 这种新型的透水框架具有十分明显的减速落淤效果, 优于传统的护岸、护滩工程技术, 是一种值得大力推广的护岸护滩新结构和新技术。

**关键词:** 四面六边透水框架; 航道整治; 应用

中图分类号: TV 33

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)10-0102-05

## Application of concrete tetrahedron permeable frame in the Yangtze River channel improvement

ZHOU Sheng-li<sup>1</sup>, LIU Chang-quan<sup>2</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>

(1. Changjiang Waterway Engineering Construction Headquarters, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang Chongqing Waterway Engineering Bureau, Chongqing 400011, China)

**Abstract:** The concrete tetrahedron permeable frame is a new river bank protection technology. The laboratory tests and actual project applications show that this new permeable frame has a very obvious effect on flow deceleration and sediment deposition, and it is better than traditional beach and bank protection technology. Thus the new structure and technology are worth popularizing.

**Key words:** tetrahedron permeable frame; channel improvement; application

混凝土四面六边透水框架系原水利部西北水利科学研究所于20世纪90年代初研制成功的一种新型护岸工程技术。它是一种具有减速、导流、消能、促淤作用的构件, 该构件重心低, 自身稳定、平衡性好, 能起到保护堤岸、稳定坡脚、减小冲刷、促淤造滩等作用, 近几年, 在长江航道整治工程中已得到推广应用, 且效果十分显著。本文将从混凝土四面六边透水框架的工作机理、室内试验研究成果、施工作业方式、工程应用实例及效果、优点等方面作介绍。

### 1 结构形式

四面六边透水框架是由预制的6根相同长度钢

筋混凝土杆件相互焊接组成, 呈正四面体(图1)。四面六边透水框架杆件断面尺寸为10 mm × 10 mm, 长度一般分为0.6 m, 0.8 m和1 m, 混凝土采用C20强度, 框架杆件中间含1根 $\phi$ 10钢筋, 两端各露出13 cm用于杆件焊接。

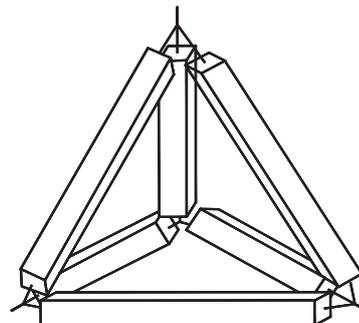


图1 四面六边透水框架结构

收稿日期: 2012-08-16

作者简介: 周生利(1967—), 男, 高级工程师, 主要从事长江航道整治工程的项目技术管理工作。

## 2 工作机理

结构工程按工作机理可分为实体结构和透水结构两种。实体结构是以实体抗冲材料构筑工程, 抵抗水流的冲刷或将主流导离构筑物, 以达到保护目的; 而透水结构不是强迫水流改变方向, 而是允许水流通过, 当水流通过时, 利用构件自身来阻挡并逐渐消减水流的动能, 减缓流速, 并促使水中泥沙落淤, 以达到淤滩护岸目的。混凝土四面六边透水框架就是一种透水构造物, 将透水框架群组成的透水结构布设在需要防护的堤岸临河侧或沙滩周边, 可以起滞流减速落淤作用。

## 3 相关试验研究成果

国内有多家研究机构和人员从20世纪90年代就开展了四面六边透水框架的试验研究, 如徐国宾等<sup>[1]</sup>于1994年开展了多沙河流河道整治新型工程措施试验研究; 吴龙华等<sup>[3-4]</sup>于2003年开展了架空率、杆件长宽比对四面六边透水框架群减速促淤效果的影响研究。综合国内相关研究试验成果, 其主要结论有:

1) 四面六边透水框架具有十分明显的减速落淤效果, 透水框架群的减速率一般约为30%~70%<sup>[2]</sup>。

2) 四面六边透水框架重心低, 稳定平衡性好, 即使在水流冲击下发生位移滚动, 仍能保持其高度不变, 继续发挥作用。

3) 弯道凹岸设置透水框架群后, 透水框架群内的水流平稳缓慢, 形成泥沙落淤区。

4) 在坝头抛投透水框架后, 坝头局部环流和螺旋流消失, 水流对坝头冲刷力减弱, 局部冲坑不明显。

5) 透水框架群减速落淤效果, 除了与水沙条件等有关外, 与透水框架布设的密疏度有很大关系。吴龙华等<sup>[3-4]</sup>在进行透水框架群减速促淤效果影响试验时, 用架空率来表示框架布设的密疏度, 架空率定义为

$$\varepsilon = V / (V_{\text{单}} N) \quad (1)$$

式中:  $V$ 为框架群的空间总体积;  $V_{\text{单}}$ 为单个框架空间的体积;  $N$ 为框架群内单个框架的数量。在布设框架群时, 架空率 $\varepsilon$ 应在4.5~5.5之间取值。

6) 框杆断面形式为正方形和三角形的减速效

果均明显优于圆形断面形式; 框架杆件的长度由运输能力、抛投工艺和框架群高度确定。

## 4 施工作业方式及质量控制

### 4.1 作业方式

#### 1) 水上抛投。

透水框架杆件在预制场预制好后, 集中进行框架拼装焊接, 存放于预制场成品堆场。装船运输时, 采用经过简单改装后的装载机, 将框架吊装在运输车上, 运输车运到装船码头后再由汽车式起重机吊装到运输驳船上, 见图2。为增加船舶的运输量, 提高经济效率, 宜将框架重叠在一起运输, 运输船两边须留有空挡, 提供人工抛投的作业区域, 最后由运输船运往施工现场。待定位船准确确定好位后, 框架运输船停靠定位船, 由人工实施抛投, 见图3。



图2 吊车装框架上船



图3 人工抛投框架

## 2) 滩面摆放。

四面六边透水框架成品从预制场到滩面施工区再进行人工摆放,中间转运次数多,运输船装载框架数量也有限,空间利用率小。为减少损耗、提高效率,透水框架杆件预制完成后,直接将透水框架杆件装载上运输船,运抵现场码头后,通过运输车分别运送到每个施工区附近,现场进行焊接拼装,最后人工进行摆放。如图4,5所示。



图4 焊接拼装透水框架



图5 滩面摆放的透水框架

## 4.2 水上抛投施工质量控制要点

### 4.2.1 框架杆件制作质量控制要点

#### 1) 原材料质量控制。

原材料控制的重点是加强材料的源头质量控制,经现场取样送检合格后的材料才能允许进场使用。由于构件较小,粒径太大不便于振捣,且对表面光洁度也会产生影响。因此,碎石宜选择5~20 mm粒径。

#### 2) 模具控制。

模具应满足结构刚度和强度要求,保证杆件的尺寸和钢筋位置符合设计要求。模具表面应光洁平整,模板间拼接严密、不漏浆。同时加强模具尺寸的定期检查力度,发现模具变形及时维修或更换新的模具。模具宜选择整体塑料模具,与钢模具比较,塑料模具一次冲压成型、变形小,

且表面光洁,生产的构件外观质量较好。

#### 3) 混凝土浇筑。

混凝土浇筑应符合JTS 202—2011《水运工程混凝土施工规范》的要求,振捣密实应充分均匀,振捣时间要合适,避免混凝土离析、泌水或不密实。振捣时间控制在35~60 s为宜。杆件尺寸应符合质量标准要求,表面应光滑,不得有蜂窝、露筋、空洞等现象。

### 4.2.2 框架抛投质量控制要点

框架抛投主要控制目的是保证框架抛投的位置、数量和抛投的准确性和均匀性。质量控制主要包括抛投区网格划分、测量放样、定位船定位、移位和抛投船定位抛投4个主要部分。

1) 抛区网格划分。网格划分是将抛区划分成定宽、定长的条形抛投区域作为船只定位和移位、网格内抛投数量控制的单元。网格划分考虑因素:设计抛投框架的数量、装船的长宽尺寸、装载数量。根据目前长江上平板驳船尺寸,一般将抛投标准网格的半区7.5 m × 20 m的网格分为5个宽1.5 m的条形区域(即5个船位)进行抛投。

2) 测量放样。水上施工不宜寻找相对参照物,宜采用RTK-GPS进行。

3) 船舶定位和移位。一般遵循先上游后下游,先远岸后近岸的原则。定位船垂直于水流方向,抛投船在其下游顺水流方向挂靠。定位船的精度决定抛投位置的准确性。先将定位船移至要抛投的断面,施工员在船上用RTK-GPS仪器确定抛区所在位置,然后调整定位船船位,定位船外舷与网格断面一直线,使定位船下游所挂抛投船上框架位置与入水后设计抛投的位置相对应。

4) 抛投船定位抛投。为保证抛投均匀,抛投施工中应控制抛投船的规格,要求装载框架的长度规格统一,以保证抛布连续、均匀,不留空档。抛投船应选择长、宽尺寸及吨位相当的平板驳船作为固定的抛投船。

在标准网格中抛投时,应从船两侧同时抛投并向一个方向移船,一个网格完成后,抛投船移至下个网格,见图6;非标准网格的定宽小区域抛投时,可从船的一侧进行,以保证框架入水后落至指定区域。

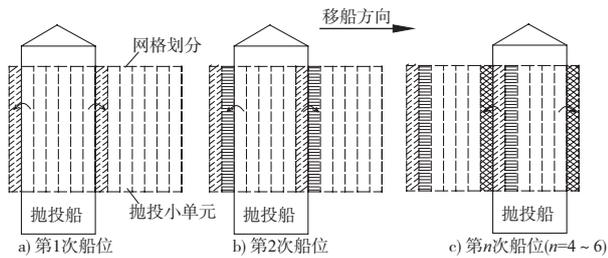


图6 一个网格内抛投船船位

## 5 工程应用实例及效果

四面六边透水框架群是一种新型护岸、护滩技术,具有结构的稳定性、透水性以及分散水流、消能、减速、缓冲和促淤的特点<sup>[5]</sup>。自2006年首次应用于长江下游东流水道航道整治工程以来,通过室内试验到工程试验及原型观测确认了这种新型防护技术的工程效果,它能局部改变水流流态,降低近岸或滩面流速,将水流对岸坡或洲滩的冲刷变为不冲或淤积,逐步使岸坡或洲滩的冲淤态势发生变化。目前,四面六边透水框架结构已经在长江航道整治护岸、护底、护滩、筑坝工程施工中得以广泛应用,并取得了显著的工程效果。

1) 在长江下游东流水道航道整治工程中应用于护滩带。

东流水道位于长江下游安徽省安庆市以上30~61 km处,上起华阳河口,下迄吉阳矶,全长31 km,属顺直分汊河型,是长江下游重点浅险水道之一。为从根本上解决该水道碍航问题,于2004年2月实施了航道整治工程,其中对老虎滩的守护是实现工程整治效果的关键之一。为防止老虎滩滩体冲刷切割,保持老虎滩的完整,在老虎滩上建设了总长13 074 m的10道护滩带及滩头守护工程。

在工程建设过程中,部分护滩带边缘河床陡变,并出现了一定程度的损毁(图7),影响到老虎滩的稳定。为了抑制护滩带边缘的变形损坏,保持滩体的完整,首次将四面六边透水框架引入到长江航道整治工程中,对损毁较为严重的7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>护滩带边缘采用了四面六边透水框架进行促淤固滩。经过1个水文年,护滩带边缘普遍淤积1~2 m,见图8,不仅有效地遏制了护滩带的变形损毁,而且保持了透水框架区域滩体的完整。

2) 在长江中游周天河段航道整治控导工程中应用于丁坝。



图7 损毁的护滩带



图8 护滩带边缘淤埋的透水框架

周天河段位于长江中游上荆江末端,上起湖北江陵郝穴,下迄古长堤,全长28 km,是长江中游重点浅滩河段之一。为巩固目前较为有利滩形,控制进口主流,维持周公堤水道上过渡、天星洲水道左槽一次过渡的形式,并为后续工程奠定基础,2006年实施了长江中游周天河段航道整治控导工程。

为增加第一道潜丁坝的排体边缘护底效果,在Z1<sup>#</sup>丁坝护底排边缘迎流顶冲部位,即排布内缘10 m及排外10 m范围内布置四面六边型透水框架,按每10 m<sup>2</sup>抛投2层共30架控制,采用断面尺寸为10 cm×10 cm×100 cm,总工程量为43 649架。

该项目透水框架施工于2007年7月结束,经过2个水文年考验,2009年经水下测图分析,工程结构稳定,施工区普遍淤积2~3 m,减速促淤显著,对坝头的防护作用明显。

3) 在长江中游沙市河段航道整治一期工程中应用于固滩。

沙市河段位于湖北省沙市境内,上起陈家湾,下至玉和坪,长约20 km。沙市河段河道演变剧烈,以河道内主流频繁摆动、洲滩互为消长、汉道兴衰为主要变化特征,自荆州长江大桥建桥以来,一直是长江中游重点碍航水道。为确保沙

市河段太平口水道三八滩中上段滩脊的稳定, 维持目前沙市河段下段分汊的基本格局, 防止航道条件进一步恶化, 实施了长江中游沙市河段航道整治一期工程。

在该工程三八滩滩头顶冲部位以及滩体两侧水流较大的区域, 布置了一条20 m宽的透水框架带, 减缓流速, 防止水流对护底软体排的破坏。在尾部衔接段布设了一条周长433 m的透水框架封闭段和两条守护带, 减速落淤, 促进滩体的形成。设计透水框架工程量为17.8万架。

该工程于2009年初开工, 2009年7月主体工程完工。2010年汛后测图分析水下透水框架施工区域淤积在1 m厚以上, 陆上施工区经现场踏勘发现, 淤积固滩效果非常显著, 大部分框架被河沙掩埋, 少数框架露出, 而且经过汛期考验, 未出现任何异常的现象, 促淤效果十分显著。见图9。



a) 汛前



b) 汛后

图9 三八滩体布设的透水框架

4) 在长江下游土桥水道航道整治一期工程中应用于护底(滩)带。

土桥水道是长江下游重点碍航水道之一。该水道位于长江下游安庆至芜湖之间的安徽省铜陵市境内, 上起羊山矶、下迄古家堰, 全长30 km, 水道浅区位于左汊中上段, 由于河道较宽且顺直,

水流分散、流速较小, 汛后水流冲刷不力而发生碍航。工程的目的是遏制左汊不利变化趋势, 防止左汊浅区流速进一步分散, 并适当改善左汊浅区航道条件。

在长江下游土桥水道航道整治一期工程中, 为减小成德洲左侧5条护底带边缘变形, 加强减速促淤效果, 在0#~4#护底带的软体排边缘内外侧共20 m范围内布设了四面六透水框架群, 框架共2层, 每层2.5架, 透水框架断面尺寸为10 cm×10 cm, 杆件长度为0.6 m, 合计工程量23.8万架。

该项目于2009年10月开工, 2010年6月主体工程完工, 经过汛后测图分析, 施工区域淤积效果明显, 框架群边缘河床变形平缓, 未出现较大的冲刷, 避免了护底带边缘破坏。

透水框架群与软体排相结合的护底效果表明, 当透水框架群位于软体排上游前缘时, 能较好地防止护底带前缘河床局部冲刷变形, 从而也有效地避免了护底带因变形产生破坏问题; 当透水框架群位于软体排下游边缘或软体排上部时, 不仅可以防止排体下缘河床局部的冲刷变形, 而且在透水框架群下游还可能产生淤积, 更有利于滩体的保护。

## 6 透水框架的优点

1) 四面六边透水框架重心低, 自身稳定, 不易翻滚; 框架透水, 受力小, 不宜被水流冲走流失, 有明显的分散水流, 消除能量, 降低流速的作用。

2) 四面六边透水框架施工简单, 无需开挖基础, 且稳定性好, 不存在基础冲刷问题, 以及有良好的防沉陷等优点。

3) 投资省、效果好。在长江上应用框架群固岸的原型观测资料表明, 经过一个汛期, 抛投区均形成大量的淤积, 一个框架至少可以促淤1 m<sup>3</sup>以上, 有的试验区淤积2 m<sup>3</sup>以上。

4) 透水框架采用钢筋混凝土预制构件, 可实现工厂化生产, 避免过多采石, 有保护生态环境和地球资源的环境效益。

5) 易保证施工的质量与数量。

(下转第114页)