



基于水槽试验及图像分析的 透水框架护底检验标准研究

尹书冉, 雷国平, 谭伦武, 付中敏, 蒋波
(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 透水框架作为一种减速促淤的整治建筑物, 近年来在航道整治工程逐步得到推广, 在守护工程中应用最为广泛。长江航道规划设计研究院研发了一种新型透水框架——扭双工字型透水框架, 并在南京以下12.5 m深水航道建设一期工程通州沙潜堤护底中进行了试验性应用。确定合理的透水框架护底检验标准, 是保证防护效果的重要基础, 而目前的航道整治工程质量检验标准, 并未对此作出明确规定。通过水槽试验提出透水框架护底的检验标准, 利用测扫声呐图像分析提出相应的检验方法, 并进行了室内光学图像试验验证, 符合较好。

关键词: 水槽试验; 图像分析; 透水框架; 护底

中图分类号: TV 32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0162-06

Acceptance standard for permeable framework bottom protection based on flume tests and image analysis

YIN Shu-ran, LEI Guo-ping, TAN Lun-wu, FU Zhong-min, JIANG Bo
(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: As a deceleration and siltation remediation buildings, in recent years permeable framework has been gradually promoted in the waterway regulation engineering and mostly widely used in the guardian projects. A new type of permeable framework, i. e. twisted double H permeable framework was developed and it was tested in the bottom protection of Tongzhousha submerged breakwater in first phase deep channel construction, 12.5 m below in Nanjing. The current waterway regulation engineering quality inspection standards does not make the specific provisions, which is the guarantee of the protective effect. By flume tests, this paper proposes the test standard of the permeable framework for the bottom protection. And on this basis, the appropriate test methods are proposed using the measured scan sonar image analysis. The indoor optical image test verified well.

Keywords: flume test; image analysis; permeable framework; bottom protection

护底工程是长江航道整治工程中常用的守护性工程, 主要用于防止河床深槽下切导致的航槽窄深。长江葛洲坝下游持续冲刷, 实施胭脂坝河床护底后, 增加了河床糙率, 抑制了河床继续下切。护底工程还作为提高整治建筑物的稳定性的辅助措施而被广泛应用。对于整治建筑物来说, 丁坝、潜坝、导堤均需要先铺设软体排护底结

构, 保护整治建筑物周围河床底质不被水流冲刷, 阻止冲刷坑的形成、发展, 保护整治建筑物的稳定。用于护底的结构形式主要有: 软体排及散抛物护底, 软体排包括柴排、散抛压载、系结压载等形式, 散抛物护底包括充填袋、块石和石笼等。

四面六边透水框架作为一种减速促淤的整治

收稿日期: 2014-10-08

作者简介: 尹书冉(1981—), 男, 高级工程师, 从事航道工程相关的设计、科研工作。

建筑物, 自身稳定性和透水性较好, 与传统护岸固滩技术相比, 能较有效地避免实体护岸固滩工程基础容易被淘刷而影响自身稳定性的问题, 且适应河床地形变化的能力强、不需要地基处理, 透水框架群减速率可达 30% ~ 70%。长江航道规划设计研究院研发的透水框架具有特殊的结构形式, 使透水框架之间具有极强的勾连性, 制作以及施工工艺得到进一步优化, 并成功应用于南京以下 12.5 m 深水航道工程建设一期工程通州沙潜堤护底。

《航道整治工程水下分项工程质量检验标准》中规定: “散抛物护底的散抛范围、数量和密度应满足设计要求”。在 JTS 257—2008 《水运工程质量检验标准》中主要针对散抛护底、散抛石压载软体排护底、系结压载软体排护底进行了相关要求, 主要涉及散抛石的种类规格和质量、软体排是否满足设计要求、抛石范围和厚度、软体排铺设范围等内容, 主要的检测方法为抽检和观察检查。透水框架不同于传统的防护结构, 首先是透水框架所处工程部位通常水流条件复杂, 利用传统手段检测难度较大, 近些年来非触式检测技术在长江航道整治水下遮蔽工程中的应用明显增多^[1]; 其次是透水框架作用机理不同于其它散抛物, 对抛投透水框架堆积形态也有一定的要求。因此, 对透水框架护底来说, 对其检验标准以及相应的检验技术, 都需要开展进一步的研究。本文通过动床水槽试验对透水框架用于护底的抛投密度、框架群内部的空档尺寸进行研究, 提出透水框架护底的检验标准。在图像分析的基础上, 提出利用透水框架侧扫声呐图像对其进行检验。

1 透水框架护底检验标准物理模型试验

1.1 抛投密度与防护效果试验

1.1.1 试验对象

长江航道规划设计研究院研制的新型透水框架——扭双工字型透水框架 (图 1), 在南京以下 12.5 m 深水航道建设一期工程通州沙潜堤护底中进行了试验性应用。



图 1 组装成型的扭双工字型透水框架

1.1.2 试验条件

试验中, 水深取 7.6 m, 流速取 2、2.5 m/s (考虑建筑物修建引起局部流速的增大), 在 4 m 宽水槽中, 框架群模型抛投范围取顺水流向 1 m、垂直流向 2 m, 模拟原型 40 m × 80 m 的抛投范围; 透水框架基本为满抛, 布置方式按抛投密度控制, 抛投密度分别取 0.729、1.459、2.188、2.918 个/m²。试验过程为清水冲刷, 滩面冲刷变形, 重点关注 6 个区段, 分别为: 上游滩面冲刷区、框架群头部顶冲区、框架群内部防护区、框架群尾部局部冲刷区、框架群下游防护区、下游滩面冲刷区 (图 2)^[2]。

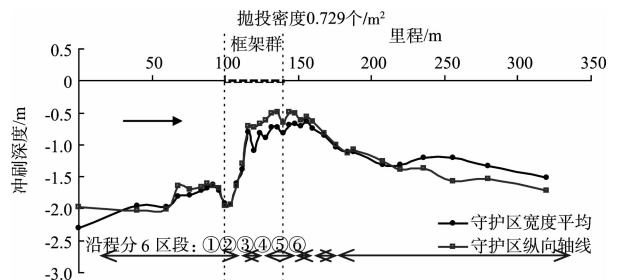


图 2 水框架保护区冲刷深度纵向沿程变化

1.1.3 布置方式与护滩效果关系分析

试验表明, 透水框架可较好地对接滩面近底水流进行消能减速, 从而达到护滩的效果, 且框架自身具有良好的稳定性能, 在流速 2.0 m/s 的单向流作用下, 框架抛投密度为 1.459 架/m² (1 层) 时, 抛投区内部护滩效果 (与未抛框架引起的床面冲深相比, 抛投守护后的冲刷深度削减幅度) 达到 92%, 当抛投超过 2.188 架/m² (2 层) 时, 抛投区内部可完全守护滩面。

图3为框架守护区内部冲深与抛投密度关系,可以看出,随着透水框架抛投密度的增加,抛投区冲刷深度快速减小,框架防护效果显著增强^[2]。

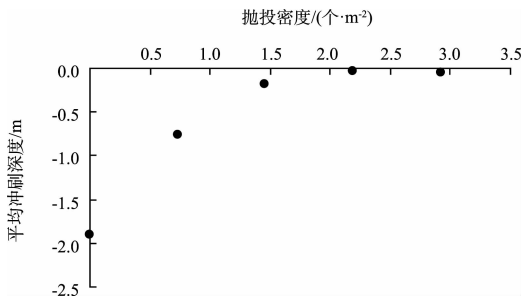


图3 透水框架守护区域内部冲刷深度与抛投密度关系

1.2 群内空档尺寸与防护效果试验

在透水框架抛投过程中,不可避免地会出现局部空档。空档的出现会影响框架群内冲淤分布,当空档过大时,其下方的透水框架重新处于顶冲区,导致新的冲刷坑在空档附近形成,破坏了透水框架区内整体淤积的形式,减弱了防护效果。

为了明确不影响防护效果的最小空档面积,在水槽试验中,特意将透水框架群内设置空档,并将空档面积由大到小递减,以找到最小的空档尺寸(不会对框架群内淤积分布形成影响)。

1) 对空档间距为5.5架、5架、4架(透水框架)等情况,空档之后的透水框架完全冲刷出露,见图4、表1。

2) 对空档间距为3架情况,空档之后的透水框架没有出露,淤积较好,见表1。

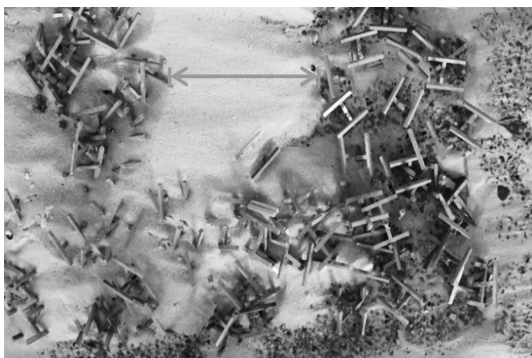


图4 空档间距5.5架

表1 不同空档间距透水框架试验结果统计

空档间距/架	空档下游透水框架	
	出露	附近冲刷坑
5.5	有	有
5.0	有	有
4.0	有	有
3.0	无	无

2 透水框架侧扫声呐图像分析

2.1 图像处理

在合适的照明条件下,光学成像系统在清澈的水中可视距离约15 m,但在近海、港口或河口,水质非常混浊,能见度几乎为零,由于水体对通过其中的光线的折射、吸收和卷积效应使水下图像质量非常不理想,再加上水下气泡和浮游颗粒物体的影响,真实环境下的水下光学图像一般难以辨别,因此光学成像在水下作业中受到很大的限制。声视觉系统不仅有图像和声信息的获取能力,而且应该具备对图像和声信息的处理、特征提取、分类和识别的功能,适合于对水下目标的识别^[3]。

测扫声呐发射机发出的声波与河底相交,形成梯形脚印。脚印范围内的海底和声波相互作用,返回的声波被声波接收机接收。系统把接收到的声波按照声波强度的高低变成灰度像素,最终形成侧扫声呐图像。由于侧扫声呐系统使用的声波频率较高,能够形象、精准地呈现河底目标体的形态,所以通常对河底的目标体有较高的分辨能力。目前测扫声呐设备装配在施工单位较为普遍,获取数据图像方便^[4],图5为通州沙潜堤超前护底头部的透水框架群

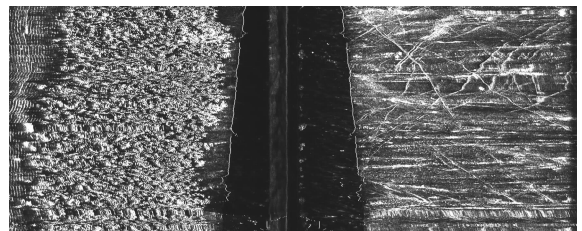


图5 通州沙潜堤超前护底头部的透水框架群

2.1.1 图像预处理

为了对图像进行分割、识别等高级处理, 首先要对图像进行预处理, 以获得清晰和高质量的图像。预处理主要包括除去噪声、滤去干扰, 提高信噪比; 对信息微弱的图像要进行灰度变换等增强处理, 对已经退化的模糊图像要进行各种复原处理, 对失真的图像进行几何校正等变化^[5]。

2.1.2 透水框架群图像分割

图像分割指将一幅图像分解为若干互不交叠的、有意义的、具有相同性质的区域。对于透水框架护底来说, 就是将其从泥面背景中分离出来。可用于图像分割的特征包括: 图像灰度、颜色、纹理、局部统计特征或频率特征, 利用这些特征的差别可以区分图像中不同目标物体^[6]。

对于侧扫声呐图像来说, 主要包含灰度 (对应于声呐发射回波强度)、纹理、形状等信息。从透水框架群的侧扫声呐图像中截取一部分图像进行灰度统计。结果显示图像灰度值存在 3 个峰值, 见图 6。

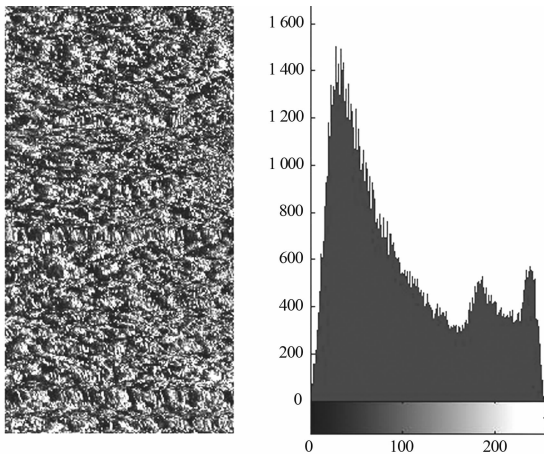


图 6 透水框架群的侧扫声呐图像直方图

Otsu 法是基于自动确定阈值的图像分割方法, 该方法将图像分为两类, 根据灰度出现概率计算最佳的阈值, 适用于图像灰度多峰值的情况, 并且操作简单, 因此采用 Otsu 法对透水框架群的侧扫声呐图像进行分割^[7]。

2.2 透水框架群覆盖特征分析

2.2.1 空档面积计算

透水框架群空档面积的计算是以图像分割为

基础, 在透水框架图像上找到透水框架杆件的特征图像并提取之。由于透水框架杆件的实际尺寸是已知的, 利用像素点计算其在图上的面积, 从而建立透水框架实际投影面积与图上面积的对应关系。首先在透水框架群测图上找到透水框架杆件的特征图像, 见图 7。截取后, 利用像素点计算面积。

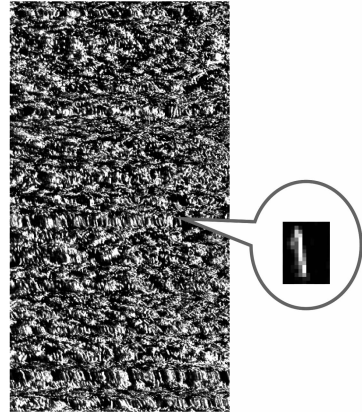


图 7 分割后的透水框架图像及特征提取

根据透水框架抛投后的投影面积以及透水框架杆件的像素面积 S_{P_0} , 计算得出实际单位面积所对应的像素值 S_{P_1} , 并进一步得到透水框架在声呐图像上所占用的像素面积为 S_{P_2} 。对测图中空档面积较大的区域进行提取后, 通过像素面积计算得出其相对于单体透水框架的面积, 计算得出区域 1 与区域 2 的面积分别为 1.44、1.40 倍的透水框架占用面积, 见图 8。

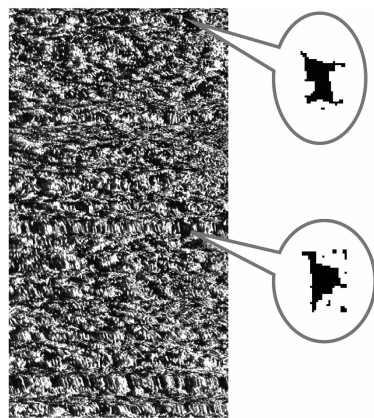


图 8 透水框架群最大空档提取

2.2.2 抛投密度计算

在施工过程中, 透水框架抛投到床面后形态

各异。假设床面平坦，扭双字透水框架抛投后具有最大投影面积、且稳定的状态只有两种，见图9。

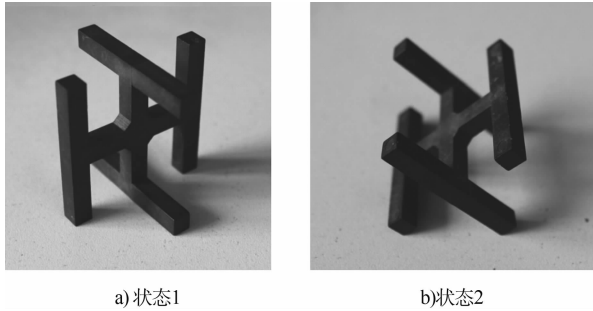


图9 透水框架抛投后投影面积最大且稳定的状态

透水框架在施工过程中采取随机抛投方式，可以认为大量抛投透水框架后，两种形态出现几率相等，据此计算出抛投后平均每架透水框架的最大占用面积为 0.34 m^2 (S_m)，见表2。

表2 透水框架投影面积

抛投后形态	出现几率/%	实际投影面积/ m^2	平均投影面积/ m^2
1	50	0.51	0.34
2	50	0.17	

利用实际单位面积与图像像素点的关系 (S_{P_1})，可以在透水框架侧扫声呐分割处理后的图像上计算出透水框架群的实际占用面积 (S_{P_2} ，像素面积)，并结合抛投后平均每架透水框架的最大投影面积 (S_m)，计算出透水框架架数。上述过程得出所分区域的透水框架架数，再除以区域面积，得出透水框架的抛投密度。据此方法得出抛投密度，还可以反映出堆积形态，即如果透水框架在抛投过程形成叠摞，而不是随机抛投而形成的相互勾连嵌套，将会反映在占用面积上，进而影响计算所得抛投密度值。

2.3 实验室光学图像验证分析

透水框架模型是按原型 1:20 缩小，与原型保持了几何相似。将透水框架模型按两层随机抛投，用相机获得光学图像，计算抛投密度和最大空档面积，并与抛投结果对比，对该方法进行验证。

2.3.1 透水框架抛投架数计算

透水框架随机抛投后，用相机进行拍摄，并记录下焦距、距实物距离等参数，见图10。将每

次拍摄的图像、距离、焦距以及相机自身参数输入程序进行处理后，将灰度值反转。再采用前述的方法进行图像分割，见图11。



图10 透水框架模型均匀抛投后的光学图像

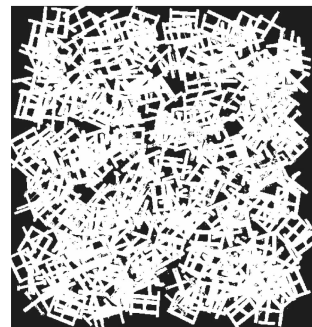


图11 分割处理

计算图像中白色像素面积 S_{P_0} ，单位面积像素面积为 S_{P_1} ，对应实际面积 S_{P_2} 。根据透水框架单体平均最大投影面积 S_m (按 1:20 缩小)，计算透水框架抛投个数。进行多次抛投，计算出的抛投架数与实际抛投架数相差不超过 7 架。

2.3.2 透水框架群空档计算

透水框架随机抛投后，特别留有一定空档，用相机进行拍摄，并记录下焦距、距实物距离等参数以及空档的实际尺寸，见图12。



图12 透水框架模型留有空档抛投后的光学图像

经图像灰度反转、分割等处理后, 提出空档区域。计算表明: 空档面积为 1.4 倍的透水框架投影面积。经光学图像分析得出的空档面积与实际空档面积对比, 两者基本接近, 见图 13。

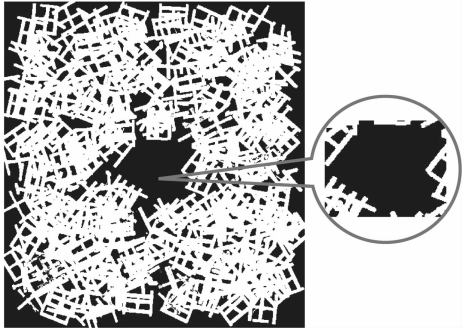


图 13 空档面积计算

3 结语

1) 对于水下护底的散抛结构, 非触式的检测手段是未来的发展趋势, 用于透水框架护底的检测是可行的。

2) 通过水槽动床试验提出透水框架用于护底的检测标准。透水框架水槽动床试验建立了透水框架抛投密度与淤积效果之间的关系、得出了透水框架随机抛投后框架群内形成的空档对淤积分布的影响, 试验确定的抛投密度、空档的控制尺寸能够达到预期工程效果, 可以作为透水框架护底的检验标准。

3) 基于透水框架侧扫声呐图像分析, 得出透水框架抛投范围、抛投密度、空档面积尺寸的计算方法。建立实际单位面积与图像像素点的关系, 计算透水框架的抛投密度及空档面积, 并经透水框架室内光学图像试验验证。通过透水框架侧扫声呐图像分析和水槽试验所提出的透水框架护底的检验标准, 可实现在施工后对透水框架护底的检验。

4) 进行现场观测, 进一步验证试验所提出的检验标准。通州沙潜堤透水框架护底施工按照 2.188 架/ m^2 (2 层)、空档间距不超 2 架进行, 于 2013 年 11 月完成透水框架全部抛投工作, 并于 2014 年 5 月完成了透水框架抛投后的第 1 次现场观测, 后续汛期、枯水期还有多次现场观测。试验所得透水框架护底标准的合理性需要在实际工程中检验。

5) 透水框架护底声呐图像的分割方法还有进一步优化的必要。由于图像分割时, 利用了图像信息的部分特征, 因此各种分割方法必然带有局限性和针对性。图像分割的方法较多, 有阈值法、分水岭法、纹理法等, 为了使透水框架从泥面分离时区域边界更为准确、特征更为明显, 有必要对比各种不同的分割方法及其分割效果, 充分反映透水框架特征。

参考文献:

- [1] 张晏方, 邓勇, 毕文焕, 等. 水下隐蔽工程检测技术在长江航道整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2012(10): 29-34.
- [2] 南京水利科学研究院. 潮汐河段消能护滩结构(透水框架)试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2013.
- [3] 刘晨晨. 高分辨率成像声呐图像识别技术[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [4] 栾锡武, 刘鸿, 岳保静, 等. 海底冷泉在旁扫声呐图像上的识别[J]. 现代地质, 2010(3): 474-480.
- [5] 李富栋. 水下图像预处理技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [6] 蔡世捷. 基于 matlab 的树木图像分割法[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [7] 杜磊, 李立轻, 汪军, 等. 几种基于图像自适应阈值分割的织物疵点检测方法比较[J]. 纺织学报, 2014(6): 56-61.

(本文编辑 武亚庆)