

Effect of Frame Structure on Local Scour around a Concrete Cylinder under Different Installation Modes

Peng Jin, Liquan Xie, Huang Li

College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai
Email: 365607268@qq.com

Received: Dec. 11th, 2018; accepted: Dec. 26th, 2018; published: Jan. 3rd, 2019

Abstract

Local scour threatens the safety of bridges by reducing the burial depth of piers or abutments. In this study, experiments of three cases were set up to study how effectively two types of frame structures mitigate local scour around the cylinder. In the established experiments of four cases, a concrete cylinder was placed in a thin sand bed on a transparent glass plate, and a camera was set under the glass plate to record the change of local scour area, which is a visual recording way of the process and enables better understanding of the movements of the sand. Flow velocity fields around the cylinder or frame structure were measured and scouring processes were recorded with 0.288 m/s flow velocity. The results showed that the frame structure mitigates local scour and helps to maintain the sand behind the cylinder.

Keywords

Local Scour, Frame Structure, Cylinder

框架结构对混凝土圆筒局部冲刷影响的试验研究

金 鹏, 谢立全, 李 煌

同济大学土木工程学院, 上海
Email: 365607268@qq.com

收稿日期: 2018年12月11日; 录用日期: 2018年12月26日; 发布日期: 2019年1月3日

摘要

局部冲刷减小桥墩或桥台的埋深而威胁桥梁的安全。本研究建立了三种工况，初步研究框架结构及其两种不同安装模式下的地减轻圆柱体周围的局部冲刷情况。在试验中，将混凝土圆柱体置于透明玻璃板上的薄层石英砂床中，并在玻璃板下设置摄像机，以记录局部冲刷面积的变化。这一可视化方法可以直观记录泥沙的局部冲刷范围变化，进而更好地理解水流局部冲刷作用下桥墩周围泥沙的运动。试验中测量了圆柱体或框架结构周围的流速场，并记录了0.288 m/s的流速下各工况的冲刷过程。结果表明，该框架结构能有效地防止减小局部冲刷，有利于圆柱体后泥沙的存留。

关键词

局部冲刷，框架结构，混凝土圆柱

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水流作用下，冲刷通常在河道桥梁的墩台周围持续发生。桥梁设计工作者在进行桥梁基础设计时，必须考虑采取一些防护工程对桥墩周围的床面进行护底防护，以保证桥墩的安全与稳定。而在所有的冲刷方式中，局部冲刷对桥梁产生最大威胁，这是因为它使得桥基周围形成冲刷坑进而减小其埋藏深度。因此，桥墩局部冲刷防护工程一直是防止河槽中桥墩周围床面冲刷、桥墩失稳和桥梁水毁的重要措施之一。为了减轻局部冲刷现象，研究人员开发了各种方法来保护桥基。近年来研究过的实体抗冲防护工程措施包括护圈防护[1] [2]、桥墩开缝防护[3]、墩前牺牲桩防护[4] [5]以及护坦减冲防护等。但对于框架体结构应用与桥墩局部冲刷防护还不多。本文将混凝土圆柱体作为研究对象，并将木制网架结构绑定为边界，初步研究网架结构对局部冲刷的影响，因此本研究仅建立了三种试验工况，并从流场和冲刷过程两方面对试验结果进行了分析。

2. 实验方案

2.1. 试验装备

试验采用的混凝土圆柱体的直径为0.15米、高度为0.3米。水流速度采用美国 Nortek USA 公司生产的声学多普勒测速仪测量，这种水流测速仪是一种高分辨率的声学测速仪，用于测量从实验室到海洋的各种应用中的3D流速测定。木制框架结构由104根直径为0.008米的木棒制成，如图1所示。

图2为实验装置在水槽中的布置图。该实验水槽位于同济大学水利与港口工程综合实验室，其长为50.0米，宽为0.8米，高为1.2米。该水槽的双向流动模拟系统可以模拟恒定流和非恒定流，最大流速为0.3 m/s，水槽中部设置长1.0 m、宽0.8 m的透明玻璃板。水槽的其他底板由不透水混凝土制成，所有侧壁由有机玻璃材料制成。在水槽的两端分别安装了两个金属网，以保证水槽中的流量稳定。在玻璃板上粘贴5 cm × 5 cm的透明网格以利于定量分析。在玻璃板下面设置一个摄像机来记录冲刷过程，这为研究石英砂运动提供了一种高度可视化的方法。摄像机的分辨率为1920 × 1080像素、最大帧频为50 Hz，有

效的摄像面积为 $0.96 \text{ m} \times 0.65 \text{ m}$ (长度 \times 宽度)。为了更清晰地记录局部冲刷过程以及更快地得到冲刷结果, 将砂层厚度为 0.014 m , 将圆柱体置于玻璃板的中心, 然后将石英砂均匀地铺设在水槽中。石英砂的半径服从均匀分布, 平均半径为 0.748 mm , 最大半径与最小半径之比为 2.0 , 粒径分布范围为 $0.5 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ 。石英砂的密度为 1800 kg/m^3 , 水深为 0.3 m 。

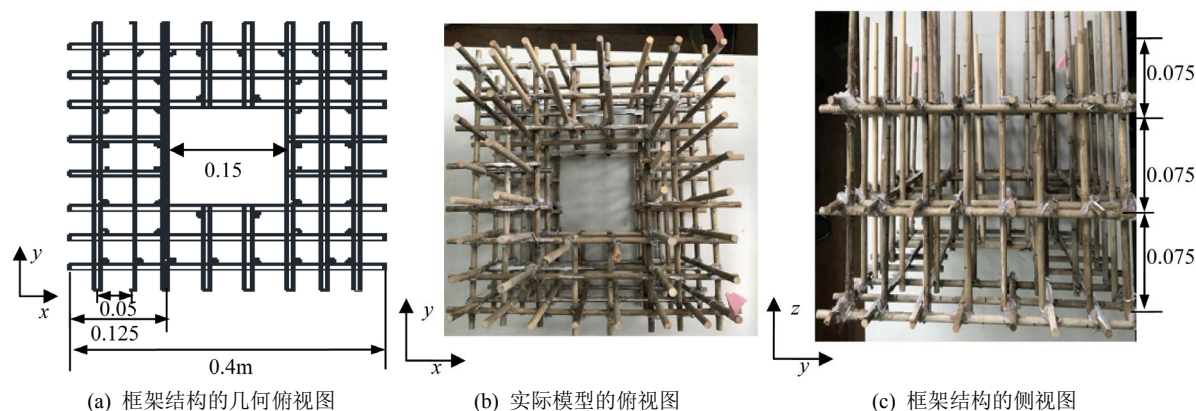


Figure 1. Wooden frame structure

图 1. 木制框架结构

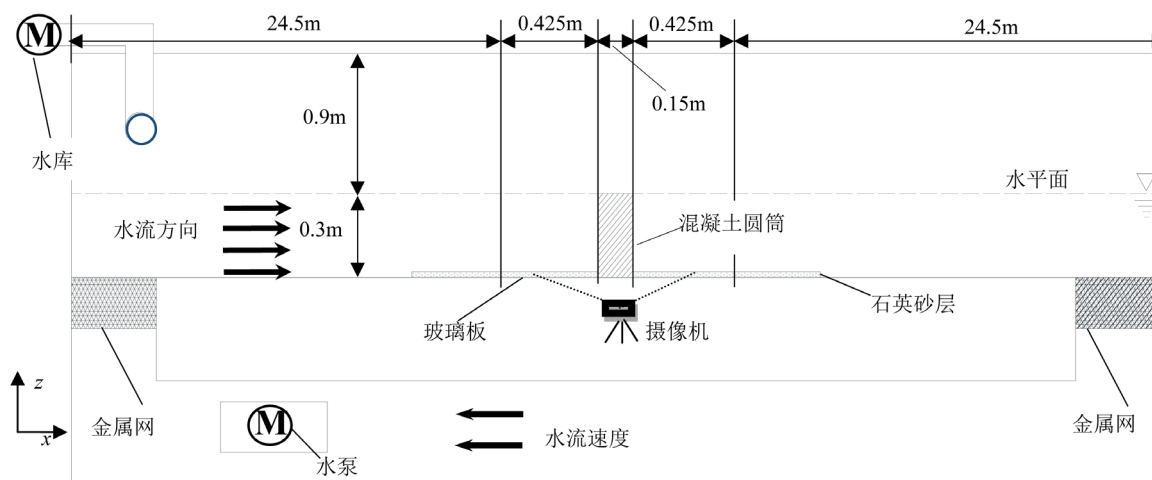


Figure 2. Experiment setup in flume

图 2. 水槽中试验布置

2.2. 试验内容

在冲刷试验开始之前, 对单个混凝土圆柱体在不同流速下的局部冲刷进行了试验。当流速约为 0.26 m/s 时, 桥墩周围出现明显的局部冲刷, 但冲刷过程非常缓慢, 因此最终试验在 0.288 m/s 时进行。图 3 所示为框架结构在圆柱体上的安装模式, 并以此建立三种工况的试验, 见表 1。流场的测量点如图 3 所示, 并设置了三个测量层, 其测量层的位置设置为 30 cm 、 25 cm 和 20 cm 水深。

根据已建立的工况, 各试验的准备工作(不加水)据图 2 完成。水流以 $0.022 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量从水库在水槽前部的进水口向水槽中缓慢注入水。当水深达到 0.3 m 时, 关闭水槽入水水泵。当沙子浸泡 0.5 小时后, 打开流量泵产生流速。实验开始时, 据不同工况, 流速由 0 增加到特定值, 水流流速的增量约为 0.005 m/s , 当流速达到要求值时, 打开摄像机记录冲刷过程。局部冲刷稳定后, 采用声学多普勒测速仪(ADV)测量

圆柱或框架体周围的流场。在本研究中，局部冲刷约 0.5 小时后稳定。最终当冲刷超过 1 小时，关闭流量泵停止水流流速，然后慢慢地从水槽中放出水并记录最后的冲刷结果。

Table 1. Specific conditions of the three working conditions

表 1. 三种工况的具体情况

试验编号	流速 m/s	框架结构安装方式	具体情况
E1	0.288	(图 3(a))	如图 4 所示，混凝土圆柱体被放置在玻璃板的中心。砂层厚度为 1.4 cm。此外，混凝土圆柱体的中心位于砂区的中心。
E2	0.288	(图 3(b))	
E3	0.288	(图 3(c))	

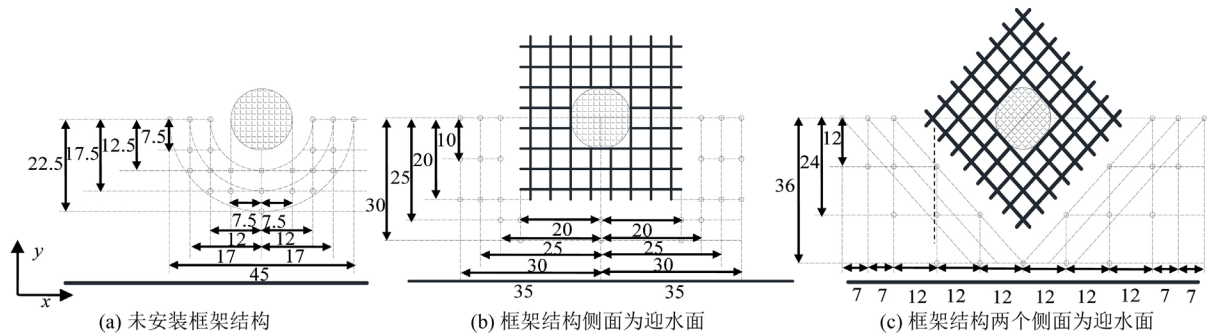


Figure 3. Installation modes of frame structure under different cases and flow velocity measurement points of each measuring layer (unit: cm)

图 3. 不同工况下的框架结构安装方式及各测量层的流速测量点(单位: cm)

2.3. 冲刷面积的测量

当实验完成后，获得冲刷过程的视频。如 2.1 节所述，在玻璃板上粘贴的 5 cm × 5 cm 网格便于快速计算。图 4 为试验编号为 E1 的试验冲刷结果，此时冲刷时间为 30 分钟。网格分析表明，局部冲刷面积约为 32 × 25 cm²。

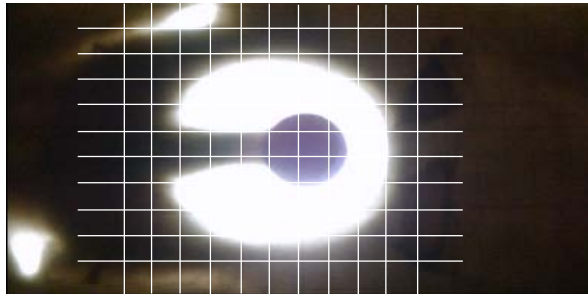


Figure 4. Local scouring results of test E1 when scouring time is 30 minutes

图 4. 试验 E1 在冲刷时间为 30 分钟时的局部冲刷结果

3. 试验结果

对工况 E1、E2 和 E3 进行流场分析，结果如图 5 所示。在图 5 中，每个箭头线的大小表示当前速度的大小。各组试验的流速为 0.288 m/s，测量点如图 3 所示，每个点在高度方向上测量 3 层。总体而言，

各点流速随水深增加变化不大。而框架结构使水流运动更加稳定,这是因为框架结构的存在增加了更多的阻水结构,使得水流的绕流变轻。E2、E3的结果表明,出水口后水流速度明显减小,说明圆柱体的绕流减轻后,在空隙体内部的水流减缓,因此对泥沙的冲刷作用极大地降低。在E3工况下框架体下游出口的近底流速大于E2工况中的情况。

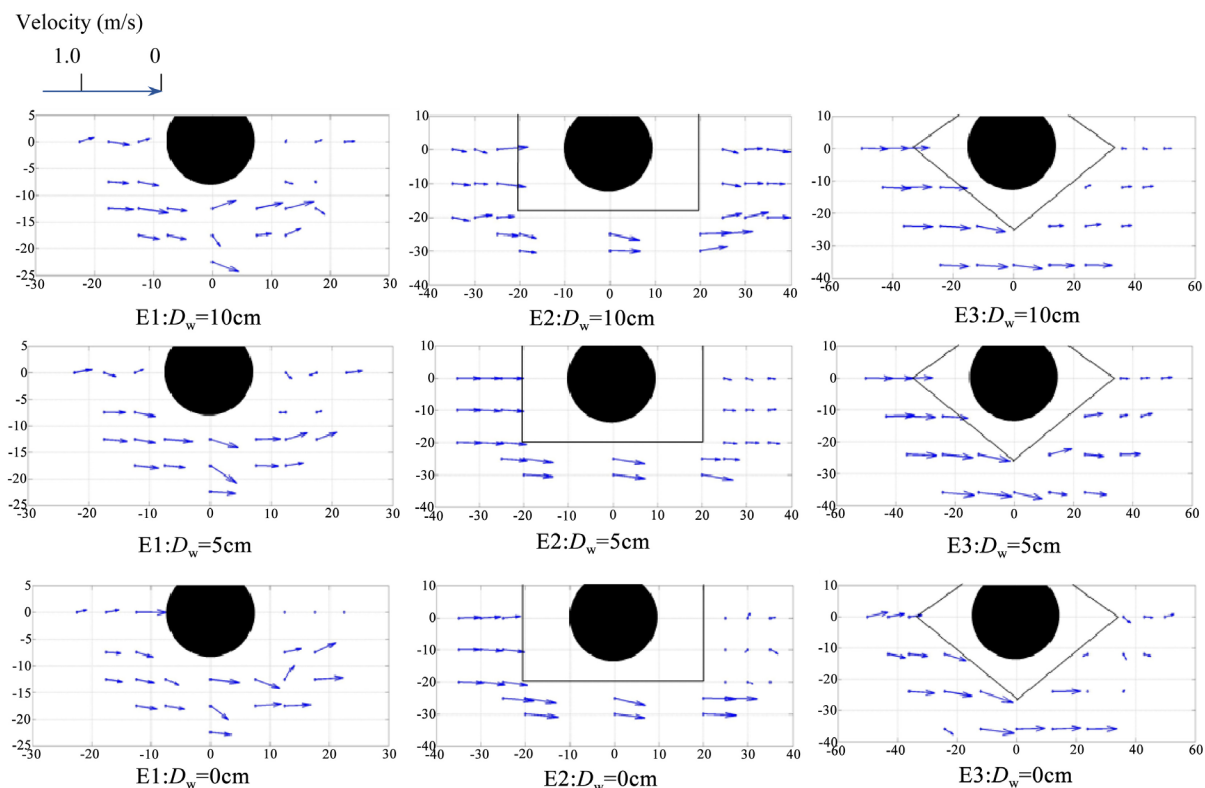


Figure 5. Flow field under three conditions (overlooking) at the velocity of 0.288 m/s, D_w stands for water depth
图 5. 流速为 0.288 m/s 时, 三种工况下的流场情况(俯视), 其中 D_w 代表水深。

如图 6 所示为 E1、E2 和 E3 的冲刷发展过程, 仅对桥墩周围的局部冲刷进行分析。结果表明, E1 工况下, 随着冲刷时间的增加, 混凝土圆筒周围的砂粒迅速移动, 形成圆形冲刷坑; 60 分钟后, 混凝土圆筒周围的石英砂基本消失。而框架结构的引入减轻了绕流的强度, 进而减少了石英砂的冲刷, 使得圆柱体后的石英砂留存更多。工况 E2 的框架结构安装方式比工况 E3 能在圆柱体周围保留更多的石英砂。但在 E2 和 E3 情况下, 框架结构与水槽侧的距离较小, 导致框架结构与水槽边壁之间的冲刷极为强烈。对冲刷时间为 60 min 的 3 种情况, 将水槽下摄像机拍摄的照片与俯视图拍摄的照片进行了比较, 表明水槽下摄像机的记录准确反映了局部冲刷的实际情况。

结合图 5 和图 6, 当水流速度接近于零的区域表示不同的结果: 在没有框架结构的情况下, 这些区域不存在石英砂, 而在框架结构安装的工况下则相反。框架体中每一个圆杆相当于是一个小型圆柱, 水流流过时产生绕流, 但由于框架体的圆杆尺寸较小, 距离较近, 使得各绕流相互影响进而抵消, 最终使得圆柱体绕流强度很小并减少了泥沙冲刷, 保存了更多的泥沙。

图 7 所示为局部冲刷面积随冲刷时间的增加而变化的情况。分析结果发现, 当流速为 0.288 m/s 时的冲刷过程开始阶段, 混凝土圆柱体周围的局部冲刷面积迅速增加, 20 分钟后, 所有局部冲刷开始稳定, E1、E2 和 E3 的冲刷面积分别为 0.115 m^2 , 0.05 m^2 和 0.08 m^2 , 其中 E2 和 E3 的冲刷面积分别与 E1 的冲

刷面积比为 43%和 69%，说明 E2 使得冲刷面积减小了一半。因此框架结构的存在显著地减少了局部冲刷，并且工况 E2 比 E3 更加有效。

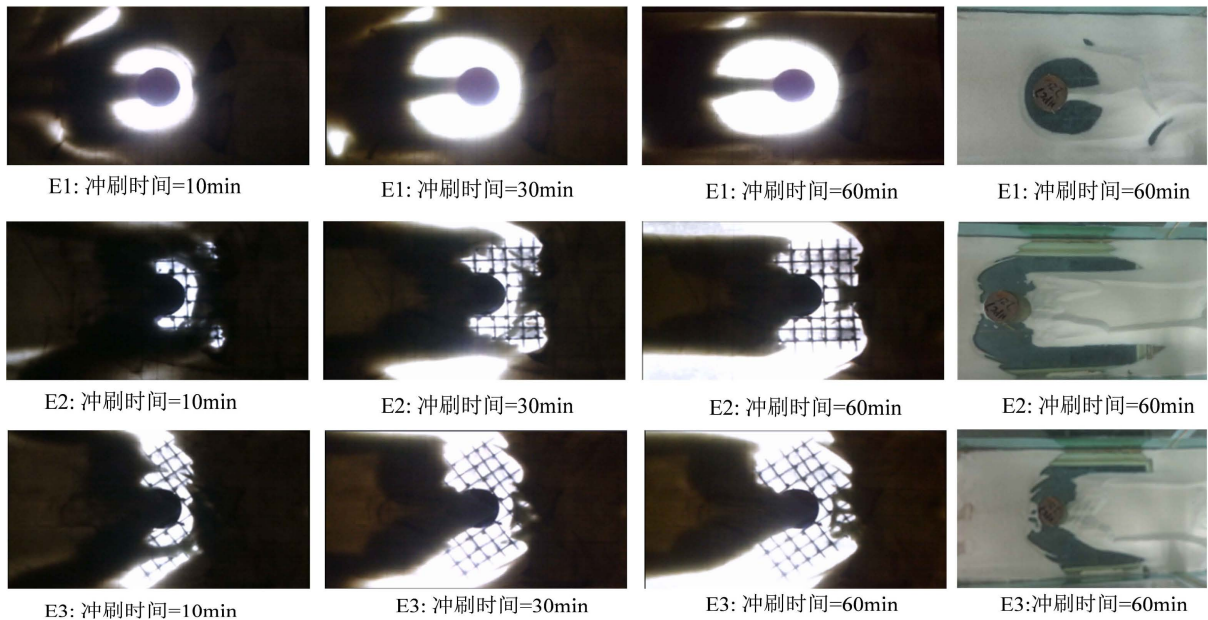


Figure 6. Scouring process for 3 cases when flow is 0.288 m/s. For every case, the former 3 figures were recorded through the camera under the glass plate, and the last one was recorded from the top view of the flume

图 6. 流速为 0.288 m/s 时 3 中工况下的局部冲刷过程。每组前 3 张图片为玻璃板下的摄像机记录结果，最后一张图片为从水槽顶部俯视记录的照片

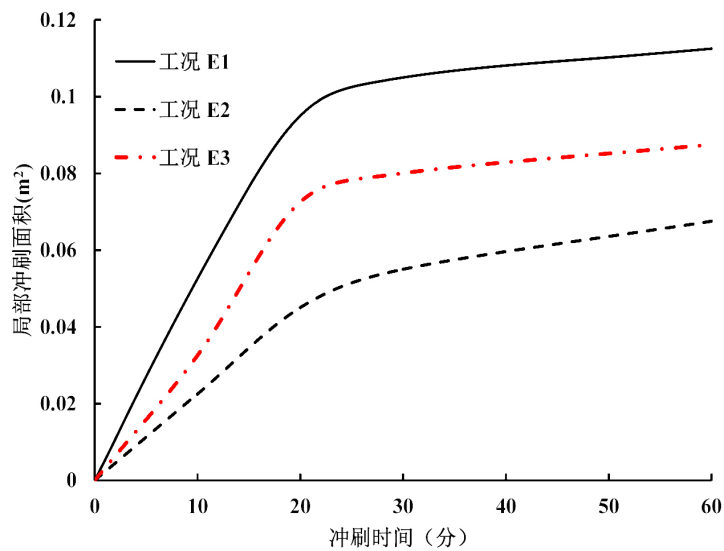


Figure 7. Changes of local scouring areas with increase in scouring time

图 7. 局部冲刷面积随冲刷时间的增加而变化

4. 结论

本文通过三个工况的试验，研究了框架结构对混凝土圆柱体周围局部冲刷的影响。从流场和冲刷过程两方面对计算结果进行了分析。主要结论如下：

- 1) 在水槽下设置摄像机, 记录局部冲刷过程, 可以最有效地获得局部冲刷面积的变化结果。基板上粘贴网格可以很容易地计算冲刷面积, 以便比较不同情况下的冲刷强度。
- 2) 框架结构的存在大大减小了局部冲刷, 并将更多的砂子存留在圆柱体后。
- 3) 如果框架结构的进水口较小, 则能更有效地减少局部冲刷。

致 谢

本研究受到国家自然科学基金委员会面上项目(编号 11172213 和 51479137)资助。

参考文献

- [1] Chiew, Y.M. (1992) Scour Protection at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, **118**, 1260-1269. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1992\)118:9\(1260\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:9(1260))
- [2] Kumar, V., Rangaraju, K.G. and Vittal, N. (1999) Reduction of Local Scour around Bridge Piers Using Slot and Collar. *Journal of Hydraulic Engineering*, **125**, 1302-1305. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:12\(1302\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:12(1302))
- [3] Melville, B.W. and Hadfield, A.C. (1999) Use of Sacrificial Piles as Pier Scour Countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering*, **125**, 1221-1224. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:11\(1221\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:11(1221))
- [4] Wang, C., Liang, F. and Yu, X. (2017) Experimental and Numerical Investigation of Sacrificial Piles to Diminish Local scour around Pile Groups. *Natural Hazards*, **85**, 1417-1435. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2634-0>
- [5] 赵殿英, 田伟平. 桥墩局部冲刷的护坦减冲防护[J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18(4): 161-1630.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjce@hanspub.org