

废弃轮胎在防沙堤工程中应用的水槽试验研究

林振良, 李世璞, 刘晓东, 欧苏慧, 李艳君

(北部湾大学 建筑工程学院, 广西 钦州 535011)

摘要: 为了节省砂石料在防沙堤中的应用, 解决废弃轮胎保有量过大、影响环境及造成污染的问题, 拟以废弃轮胎为材料构筑防沙堤。采用水槽试验, 分析在不同流速情况下, 废弃轮胎周围各测点的水流流态, 根据水流流态分析废弃轮胎的泥沙淤积情况; 试验结果表明, 轮胎后方的流速变化区域约是轮胎前方的两倍, 但轮胎前方的流态较稳定; 轮胎内部存在不受水槽流速变化影响的区域且流速非常小, 有利于轮胎内侧与外部的泥沙交换; 轮胎两侧的流态相同及流速比水槽流速大, 且随着流速增加其幅度逐渐减小; 轮胎前方的淤积量受时间及流速的影响, 随着流速的增加而增加, 但到达一定的流速之后, 随着流速的增加而减小且泥沙颗粒逐渐粗化。

关键词: 废弃轮胎; 水槽试验; 防沙堤; 淤积量

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0087-03

引言

随着家庭汽车的普及, 废弃轮胎的保有量逐年翻倍的增加; 在全球范围内发生过很多起废弃轮胎大火事件, 比如 2016 年西班牙马德里的一场废旧轮胎大火及 2021 年的中东科威特苏来比亚的 5,200 万条废旧轮胎大火, 轮胎燃烧将会生成致癌化合物和重金属等有害物质, 对人体健康及生态环境造成严重影响^[1]; 废弃轮胎占用土地空间, 恶化自然环境, 破坏植被生长, 长期堆放容易滋生蚊虫及引发火灾, 而且轮胎橡胶属于不溶或难溶的高分子弹性材料, 很难降解; 国内外学者对废弃轮胎在工程中的应用展开了大量的研究, 主要集中在填埋加筋、粉碎与土混合、做沥青混合料及混凝土混合料等四个方面的应用; 同时试验研究表明废弃轮胎不影响地下水的质^[2-5]。

防沙堤是为防止港口水域泥沙淤积影响港口各功能区正常运行的水工建筑物; 通常采用重力式结构的防沙堤, 砂石、石料及混凝土的需求量特别大, 而且不利于港口内外海水的交换, 影响海洋生态发展; 为促进港口内外海水交换, 拟以废弃轮胎为材料构筑能够过滤泥沙的透空式的堤体, 以减少港口建设对海洋生态发展的影响。因此, 在确定废弃轮胎能够在工程中应用及对水质不产生影响的基础上, 在水槽试验中, 分析废弃轮胎在水流中流态及淤积情况, 为废弃轮胎在防沙堤工程中应用提供参考数据。

一、试验设置

试验在北部湾大学港口航道与海岸工程重点实验室的波浪水槽中完成, 水槽长 50m, 宽 0.8m, 高 0.8m。水槽试验设备分为两部分: 造波系统和造流系统, 本次试验主要使用造流系统; 通过调节水泵系统来改变水槽中水流的流速, 将模型 (单个废弃轮胎) 放置于水槽中间, 水流由水循环系

统模拟为恒定均匀流, 试验模型布置如图 1 所示。

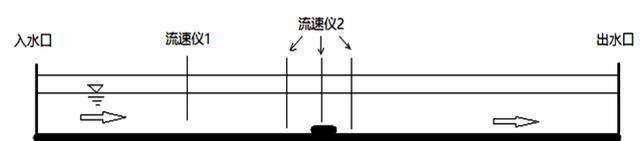


图 1 试验模型布置示意

本次试验保持水深不变 (460mm) 的情况下, 进行了不同流速 (0.1、0.15、0.2、0.25、0.3m/s) 条件下测量废弃轮胎各测点的流速变化; 试验时, 采用两个流速仪, 其中一个为安装在固定位置的流速仪, 即测点 d, 距离模型较远, 测量水槽中的水流的整体流速; 另一个为可以移动的流速仪, 测量废弃轮胎周围测点 $f_1 \sim f_5$ 、测点 r、测点 l、测点 $m_1 \sim m_8$ 及测点 $b_1 \sim b_{10}$ 的流速; 共布置 26 个测点, 测点位置布置如图 2 所示; 为保证试验的准确性, 在每个测点上测量 3 个流速进行平均取值。

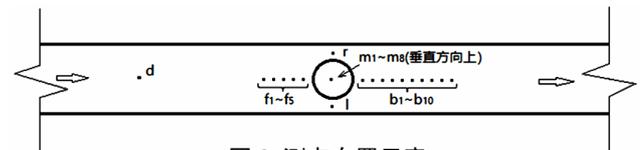


图 2 测点布置示意

在本次试验中, 为获取的流速能够说明废弃轮胎周围水流的流态, 分别在轮胎的前、后、左、右及中轴线上布置测点, 如图 2 所示; 轮胎水平放置于水槽底面上, 高 185mm, 所有测点距离水槽底面为 92.5mm, 即 1/2 的轮胎高度; 由于轮胎前方水流流态变化范围较小, 因此轮胎前方布置 5 个测点, f_1 距轮胎 100mm 且各测点 $f_1 \sim f_5$ 的间距为 100mm; 测点 r 和测点 l 布置在轮胎左右, 距离轮胎 100mm; 水流受轮胎的影响, 在轮胎后方的流态变化范围较大, 故轮胎后方布置 10

收稿日期: 2022-03-01

作者简介: 林振良 (1992-), 男, 北部湾大学, 硕士, 讲师。

基金项目: 2020 年自治区级大学生创新创业训练计划项目 (202011607120); 广西高校中青年骨干教师科研基础能力提升项目 (2021KY0424)。

个测点, b_1 距轮胎 100mm 且各测点 $d_1 \sim d_{10}$ 间距 100mm; 为分析轮胎内部水流流态情况, 在轮胎中垂线上布置 8 个测点, m_8 距水槽底面 35mm 且各测点 $m_1 \sim m_8$ 间距 50mm, 其中 m_5 距离水槽底面 185mm, 与轮胎高度持平。

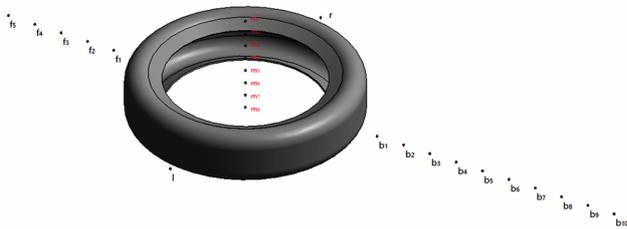


图 3 废弃轮胎周围各测点布置示意

二、试验结果及其分析

1. 流态试验结果及分析

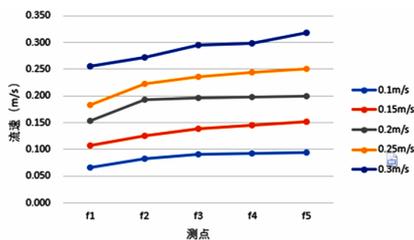


图 4 轮胎前方各测点流速图

图 4 为轮胎前方各测点的流速变化图, 由图可知, 在流速相同情况下, 距离轮胎越远流速越接近水槽的流速, 即水槽水流不受非常轮胎的影响, 距离轮胎越近流速逐渐减少; 对比不同的流速, 发现各测点的流速变化基本一致, 测点 f_1 、 f_2 与测点 f_3 、 f_4 、 f_5 相比, 随流速增加, 其增加呈震荡趋势发展; 由此表明, 随着流速增加, 距离轮胎较近的区域, 水流由层流逐渐发展成紊流。

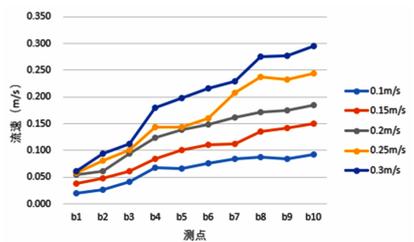


图 5 轮胎后方各测点流速图

图 5 为轮胎后方各测点的流速变化图; 由图可知, 在流速相同情况下, 距离轮胎越远流速越接近水槽的流速, 对比图 4 发现, 轮胎后方流速变化范围较广, 将近是轮胎前方流速变化范围的 2 倍, 距离轮胎越近流速逐渐减小; 对比不同流速情况下, 测点 b_1 的流速变化幅度较小, 测点 b_{10} 的流速接近水槽流速。由各测点连成的流速曲线发现, 在测点 b_1 到测点 b_{10} 的范围内, 曲线曲折变化, 说明此范围内的水流不在是层流状态, 而是处于紊流状态。

图 6 为轮胎中垂线上各测点的流速变化图; 由图可知, 在流速相同情况下, 在轮胎内部范围内流速相对较小, 且变化幅度大; 高出轮胎顶面 50mm (测点 m_4) 之后, 各测点流速基本上相同; 流速发生变化的点不在轮胎顶面 (测点

m_5), 而是在测点 m_4 的位置, 说明水流越过轮胎之后发生壅高, 轮胎内部水流流速减小; 对比不同流速情况下, 在轮胎内部的水流受水槽流速的影响较小, 而在测点 m_6 、 m_7 的位置流速非常小, 而且基本上不受水槽流速的变化, 有利于水流中泥沙的交换; 在轮胎外部测点 $m_1 \sim m_4$ 的流速不受测点位置变化的影响。

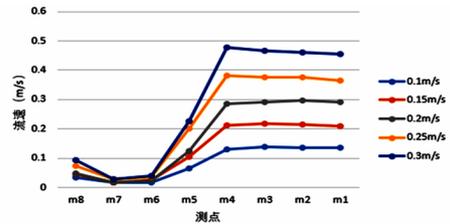


图 6 轮胎中垂线上各测点流速图

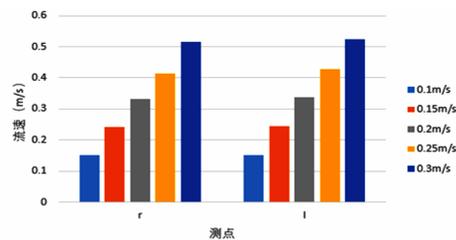


图 7 轮胎左右两侧测点流速图

图 7 为轮胎两侧测点的流速变化图; 由图可知, 测点 r 和测点 l 均与轮胎保持相同的距离, 在水槽流速相同的情况下, 测点的流速也相差不大; 随着水槽流速的增加, 测点流速也相应增加, 其值均比水槽流速大, 且增加的幅度随流速的增加而减小; 由此表明, 轮胎两侧的流态相同。

综上所述, 基于轮胎前后、左右及中间的流速分析, 得到如下结论: (1) 轮胎后方流速变化的距离将近是轮胎前方的 2 倍; (2) 轮胎前方的流态比轮胎后方的较稳定; (3) 在轮胎的中垂线上, 轮胎内部存在不受水槽流速变化影响的区域且流速非常小, 对于泥沙淤积起促进作用; (4) 轮胎两侧的流态相同及流速比水槽流速大, 且随着流速增加其幅度逐渐减小。

2. 淤积试验结果及分析

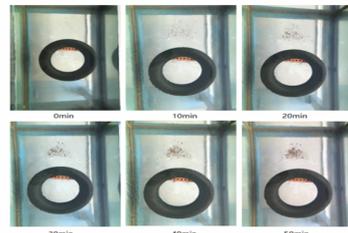


图 8 轮胎前方淤积随时间变化图

图 8 为在水槽流速为 0.3m/s 条件下, 轮胎前方泥沙每隔 10min 的淤积变化图; 在轮胎内侧放置轮胎起防止轮胎位移的作用, 对水流结构不构成影响; 由图可知, 当水槽流速为 0.3m/s 情况下, 随着时间增加轮胎前方淤积的泥沙就越多; 淤积的位置距离轮胎保持一定的距离, 其淤积形状类似三角形, 靠近轮胎的边呈微圆弧形; 由此表明, 轮胎具有一定促淤的作用。(下转第 91 页)

的综合系数，是水力计算的重要灵敏参数，也是水动力数学模型中最重要的参数。糙率取值如下：近期已整治过或本次按规划计算的河道河槽糙率取 0.0225，河滩糙率取 0.03，久未整治的河道河槽糙率取 0.0275，河滩糙率取 0.035。

6. 计算结果

经计算，当发生 20 年一遇设计洪水时，在各片区河道及相关水利工程维持现状的情况下，闸下潮位取用燕尾港 20 年一遇 (P=50%) 排涝潮位过程。研究范围内各片区主要节点最高水位见图 5，沿海涵闸闸上最高水位统计见表 1。

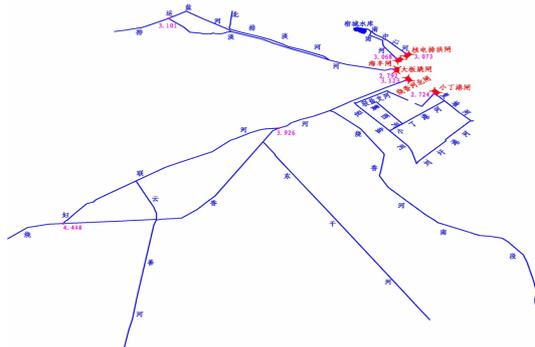


图 5 各片区主要节点最高水位示意图

表 2 各片区沿海涵闸闸上最高水位统计表

序号	建筑物名称	闸上最高水位 (m)
1	核电挡潮闸	3.073
2	海丰闸	3.068

续表 2

序号	建筑物名称	闸上最高水位 (m)
3	大板跳闸	2.792
4	烧香河北闸	3.123
5	小丁港闸	2.724

三、结论

文中采用一维水动力模型对各排涝片区进行河网概化，分析连云港市宿城片、排淡河片、烧香河片、板桥片 20 年一遇最高排水水位，该方法能够为工程建设提供理论依据和技术支持。

参考文献

- [1] 郭立兵. 基于一维水动力模型分析涉水建筑对河道行洪能力的影响[J]. 南水北调与水利科技. 2017, 15 (6): 165-171.
- [2] 王齐锋. 基于经验公式与一维水动力模型的大宁河洪水预报[J]. 陕西水利, 2022, (1): 85-89.
- [3] 陈思宇. 太浦河一维、二维水流数值模拟比较研究[J]. 人民长江, 2008, (15): 51-53+56+111.
- [4] 张大伟. 溃堤洪水的一维、二维耦合水动力模型及应用[J]. 水力发电学报, 2010, 29 (2): 149-154.
- [5] 金新芽. 一维水动力模型在河口潮流推算中的应用[J]. 海洋学研究, 2006, (2): 86-92.
- [6] 周利. 一维水动力模型在感潮河道施工导流中的应用[J]. 水利建设与管理, 2015, 35 (4): 29-32+28.

(上接第 88 页)

图 9 为轮胎在不同流速情况下，试验 40min 后的淤积变化图；由图可知，当流速较小时，轮胎前方的淤积量较小，随着流速的增加，淤积量逐渐增加，且淤积的形状越规则；但流速增加到一定程度之后，随着流速的增加淤积量逐渐减小，且颗粒逐渐粗化，由此表明，流速的变化对轮胎前方的淤积产生较大的影响。

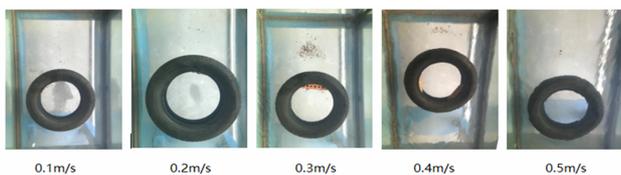


图 9 轮胎前方淤积随流速变化图

综合分析图 8 和图 9 可得，(1) 轮胎前方的淤积量受时间的影响，时间越长其淤积量越大；(2) 轮胎前方的淤积量随着水槽流速的增加呈增加趋势，但到一定流速之后，随着流速增加淤积量逐渐减小且泥沙颗粒逐渐粗化。

三、总结与展望

试验在水槽实验室中进行，对废弃轮胎的流态及淤积进行试验，通过流速仪及拍照等手段记录，分析不同流速情况下各测点处的流速变化及轮胎周围的淤积变化，得到如下结论：(1) 轮胎后方的流速变化区域约是轮胎前方的两倍，但

轮胎前方的流态较稳定；(2) 轮胎内部存在不受水槽流速变化影响的区域且流速非常小，对于泥沙淤积起促进作用；(3) 轮胎两侧的流态相同及流速比水槽流速大，且随着流速增加其幅度逐渐减小；(4) 轮胎前方的淤积量受时间及流速的影响，随着流速的增加而增加，但到达一定的流速之后，随着流速的增加而减小且泥沙颗粒逐渐粗化。

本次试验主要集中于单个轮胎的流态及淤积研究，未来希望在以下方面开展研究：(1) 将废弃轮胎构筑成防沙堤模型进行试验研究；(2) 考虑水位、波浪等变化对废弃轮胎防沙堤的淤积影响。

参考文献

- [1] 佚名. 全球最大废弃轮胎存储场着火或致全球生态灾难[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2021, (9): 1.
- [2] 王乔力. 废旧轮胎的低温热解冷淬碎化的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007: 1-9.
- [3] 席国喜, 杨文洁, 路迈西. 废旧轮胎回收利用新进展[J]. 化工科技市场, 2008, 31 (9): 6.
- [4] 肖衡林, 王钊, 张训祥. 处理废弃轮胎的一种有效方法——轮胎加筋土结构[J]. 环境工程, 2002, 20 (3): 51-54.
- [5] Bosscher P J, Edil T B, Eldin N N. CONSTRUCTION AND PERFORMANCE OF A SHREDDED WASTE TIRE TEST EMBANKMENT[M]. 1992.