

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.05.013

闸下海漫柔性加糙体消能防冲机理试验

史国庆 文 恒 牟献友

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院 ,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要 通过室内水工模型试验 ,量测了采用废旧轮胎加糙后三维流速的分布。结果表明 :加糙后近底流速明显降低 ,但整个断面的平均流速近似相等 ,随着轮胎排数的增加 ,水流紊流强度平均值增大 ,附加切应力增大 ,流体质点间相互混掺的情况加剧 ,从而使消能效率得以提高。

关键词 水闸 ;消能防冲 ;海漫加糙 ;废旧轮胎 ;紊流强度 ;附加切应力

中图分类号 :TV653⁺.7 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2011)05-0049-04

Experimental study on mechanism of energy dissipation and erosion control of aprons for sluices//SHI Guo-qing , WEN Heng , MOU Xian-you (Water Conservancy and Civil Engineering College , Inner Mongolia Agricultural University , Hohhot 010018 , China)

Abstract : Based on the laboratory hydraulic model tests , the distribution of three-dimensional velocity after raising the roughness of the aprons by means of scrap tires was measured. The results show that the bottom velocity of water obviously decreases and the average velocity of the whole cross-section is approximately equal. With the increase of the tires , the average turbulence intensity and the additional shear stress and the fluid mixing increase so as to improve the efficiency of energy dissipation.

Key words : sluice ; energy dissipation and erosion control ; apron roughness improvement ; scrap tire ; turbulence intensity ; additional shear stress

据不完全统计 ,截至 2000 年底全国各大、中、小型水闸约有 5.1 万座 ,其中 80% 在闸下产生严重的冲刷 ,大、中型水闸下游消能防冲设施严重损坏的占 42.3%^[1]。为了防止闸下冲刷 ,国内外学者对消能问题已进行了长期而深入的研究。使用废旧轮胎对海漫进行加糙 ,达到了增加糙率、减小冲刷的目的。笔者通过室内水工模型试验 ,量测了加糙后三维流速的分布 ,研究加糙对水面线、紊流强度以及附加切应力的影响及变化规律。

1 试验目的

在水闸的设计和施工中 ,往往把海漫表面做成平面 ,厚度只有 0.4~0.6 m^[2]。海漫长度不足 ,表面糙率小 ,难以起到调整流速分布的作用。但当海漫表面黏附 1 层塑胶防滑垫后冲坑就可减小 1/2^[3]。此外 ,使用废旧轮胎对海漫进行加糙也可达到减小冲刷的效果。轮胎加糙体的布置形式、排列方式、间距以及加糙体尺寸都影响着近底流速的分布^[4-6]。

本次试验量测了增设加糙区段后的三维流速分布 ,进而深入研究加糙后的水流特性 ,研究其消能防冲机理。

2 试验装置及方法

试验在长×宽×高为 2000 cm×50 cm×90 cm 的玻璃水槽中进行 ,水槽底坡为 0.124%。加糙体选用模型汽车的轮胎 ,外径为 15 cm、内径为 8 cm。用螺纹钉将轮胎与水槽底板连接 ,使安装、拆卸方便灵活。试验环境水温 $T = 18 \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,水的密度 $\rho = 998.255\text{ kg/m}^3$,水的运动黏性系数 $\nu = 1.046\text{ }6 \times 10^{-4}\text{ m}^2/\text{s}$ 。

采用 7 种加糙方案(加糙体分别为 1~7 排)和 3 种流量共 21 种工况进行交叉试验 ,并用未加糙方案作为对比工况。加糙段长为 100 cm ,加糙体呈梅花状布置 ,排列间距为 15 cm。对加糙段后 5 个断面的水深和流速进行测量 ,量测断面分别位于加糙段后 10 cm、30 cm、50 cm、70 cm 和 90 cm 处 ,每个断面布

置7条测线。模型布置及测量点布置见图1。

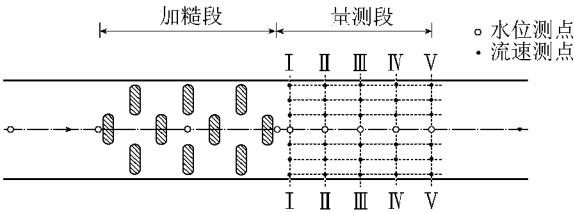


图1 模型布置及测量点布置示意图

试验采用 IFM4080K 型电磁流量计测流量 , JS-B 型精密水位仪量测水位 , Vectrion + 型高级小威龙流速仪量测三维流速(该流速仪每分钟可记录 1 000 组瞬时流速数据)。

3 试验结果

3.1 加糙对水深的影响

试验流量 Q 分别为 $250\text{ m}^3/\text{h}$, $280\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $310\text{ m}^3/\text{h}$ 时 , 相应的正常水深分别为 17.2 cm , 18.7 cm 和 20.4 cm 。在各试验流量下 , 随着加糙体排数的增加 , 加糙段首端的水深较未加糙前分别增加了 $8.2\% \sim 43.6\%$, $11.2\% \sim 40.1\%$ 和 $5.4\% \sim 35.8\%$ 。表 1 列出了 $Q = 280\text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案下的水面线参数。

表 1 $Q = 280\text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案下的水面线参数

方案	正常水深/ cm	壅高水深/ cm	壅高率/ %
无加糙体	18.7	—	—
1 排加糙体	18.7	20.8	11.2
2 排加糙体	18.7	23.2	24.1
3 排加糙体	18.7	23.6	26.2
4 排加糙体	18.7	25.1	34.2
5 排加糙体	18.7	25.4	35.8
6 排加糙体	18.7	25.8	38.0
7 排加糙体	18.7	26.2	40.1

加糙处理后水槽底部的糙率增大 , 使加糙段水位壅高 , 高于未加糙时的正常水深。在槽底比降不变、试验设定的流量条件下 , 槽中水流为缓流 , 即加糙段正常水深大于临界水深 , 此时加糙段的正常水深应为加糙段首端的水深。加糙段与上游的水面衔接为 a_1 型壅水曲线 , 加糙段与下游的水面衔接为 b_1

型降水曲线 , 如图 2 所示。

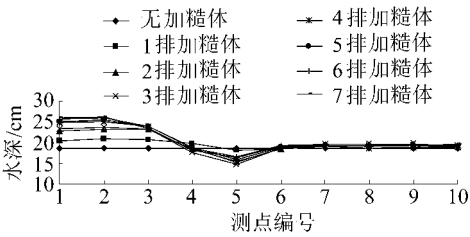


图 2 $Q = 280\text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案下的水面线

3.2 加糙对时均流速分布的影响

以流量为 $280\text{ m}^3/\text{h}$ 时 III - III 断面的流速分布为例 , 不同加糙方案下的三维流速(u , v , w)量测结果如表 2 所示 , 流速分布如图 3 所示。

由表 2 和图 3 可知 , 无加糙体时纵向时均流速呈倒 U 形分布 , 极大值出现在水槽中心线水深 $2/3$ 处 , 极小值出现在水槽底部靠近边壁处。随着加糙体排数的增加 , 纵向时均流速呈 M 形分布 , 中上层水流流速增大 , 近底流速降低 , 但是整个断面的平均流速近似相等。极大值出现在轮胎孔口顶部对应位置(水深 $3/4 \sim 2/3$ 处) , 极小值出现在水槽底部中心线处。

由表 2 可知 , 随着加糙体排数的增加 , 横向和垂向的时均流速增大 , 轮胎孔口对应位置的流速增大较显著。虽然横向时均流速极大值较未加糙时增大 $21.4\% \sim 78.6\%$, 垂向时均流速极大值较未加糙时增大 $55.1\% \sim 231.9\%$, 但流速值主要分布在 $2.0 \sim 17.0\text{ cm/s}$ 之间。

降低近底流速是水闸消能防冲设计所追求的目标之一 , 意味着水流对海漫的冲刷作用将减弱 , 从而证明使用废旧轮胎加糙海漫可提高消能效果。

4 结果分析

4.1 紊流强度分析

研究紊流流动时紊流强度是一项基本参数^[7-9] , 它可以用式(1)表示 , 通过试验数据来确定。

$$N = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(\overline{u'^2_x} + \overline{u'^2_y} + \overline{u'^2_z})}}{\overline{u_x}} \tag{1}$$

表 2 $Q = 280\text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案 III - III 断面三维流速

方 案	纵 向			横 向			垂 向		
	$\bar{u}$	$u_{\max}$	$u_{\min}$	$\bar{v}$	$v_{\max}$	$v_{\min}$	$\bar{w}$	$w_{\max}$	$w_{\min}$
无加糙体	79.3	89.2	61.1	4.3	8.4	1.2	1.5	6.9	0
1 排加糙体	79.4	98.0	56.0	3.6	10.2	0.1	2.9	10.7	0.2
2 排加糙体	75.3	103.7	54.7	4.0	11.7	0.1	5.3	12.7	0.2
3 排加糙体	74.9	102.2	48.7	4.6	12.7	0.2	4.8	15.1	0.3
4 排加糙体	76.6	104.0	46.5	4.8	14.4	0.2	7.9	19.5	0
5 排加糙体	75.9	101.3	45.6	4.4	15.0	0.1	8.3	21.3	0.2
6 排加糙体	78.4	105.3	48.1	4.6	15.0	0	9.3	21.3	0.2
7 排加糙体	77.7	104.6	41.4	4.7	11.9	0	8.1	22.9	0.1

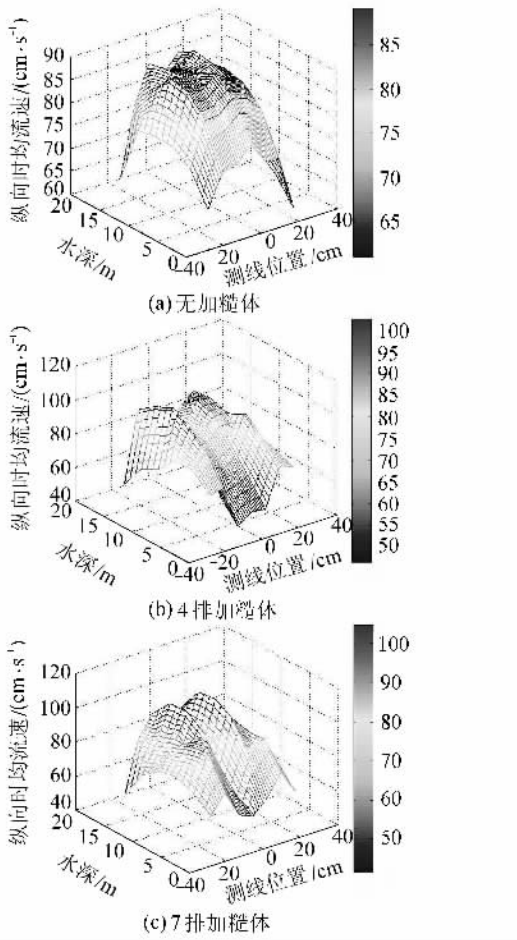


图3 $Q = 280 \text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案Ⅲ-Ⅲ断面纵向时均流速分布(单位: cm/s)

式中: u'_x, u'_y, u'_z 分别为瞬时流速沿纵向、横向、垂向的分流速脉动值; $\bar{u}_x$ 为纵向时均流速。

流量为 $280 \text{ m}^3/\text{h}$ 时各加糙方案下Ⅲ-Ⅲ断面的紊流强度见表3, 紊流强度等值线见图4。

表3 $Q = 280 \text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案Ⅲ-Ⅲ断面紊流强度及附加切应力

方案	$\bar{N}$	$N_{\max}$	$\bar{\tau}_{Re}/\text{Pa}$	$\tau_{Re\max}/\text{Pa}$
无加糙体	0.134	0.381	4.83	12.89
1排加糙体	0.334	0.912	8.58	29.35
2排加糙体	0.336	0.971	9.78	28.36
3排加糙体	0.385	1.239	12.60	36.72
4排加糙体	0.494	1.316	14.88	37.08
5排加糙体	0.475	1.442	14.27	41.04
6排加糙体	0.572	1.501	18.38	45.35
7排加糙体	0.562	1.424	20.83	43.48

由表3和图4可知, 随着加糙体排数的增加, 水流全断面紊流强度平均值由0.13逐渐增大为0.57, 水槽中心线附近(远离边壁影响区域)槽底的紊流强度由0.1逐渐增大到0.4左右, 且加糙体对应位置的紊流强度趋于均匀化, 靠近水槽边壁及水流表面处紊流强度较大。

4.2 附加切应力分析

由于紊流的液体质点相互混掺, 紊流切应力(τ_t)

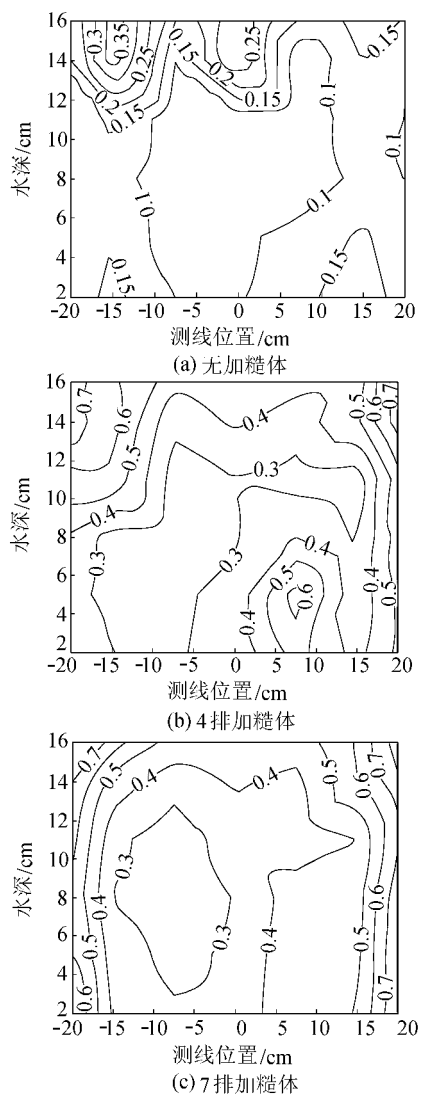


图4 $Q = 280 \text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案Ⅲ-Ⅲ断面紊流强度等值线除了黏性切应力(τ_v)外, 还有由于脉动引起的附加切应力(τ_{Re}), 即 $\tau_t = \tau_v + \tau_{Re}$ 。黏性切应力主要与流体黏度和液层间的速度梯度有关, 主要作用在近壁处。附加切应力主要与流体的脉动程度和密度有关, 主要作用在紊流核心处。当脉动程度加剧, 紊流附加切应力加大, 在紊流流体中黏性切应力与紊流附加切应力相比忽略不计^[10]。

根据普朗特提出的紊流混合长度理论, 假设每一测线为二元均匀恒定流, 那么脉动流速只有沿 x 和 z 两个方向的分量 u'_x, u'_z 。根据动量守恒定理, 得出 $\bar{\tau}_{Re} = -\overline{\rho u'_x u'_z}$ ^[10]。不同加糙方案下, 流量为 $280 \text{ m}^3/\text{h}$ 时Ⅲ-Ⅲ断面上附加切应力值表3所示, 附加切应分布如图5所示。

由表3和图5可知, 随着加糙体排数的增加, 附加切应力也逐渐增大, 最大值出现在靠近水槽边壁及水流表面处。紊流加剧是使附加切应力增大的根本原因, 说明随着加糙体排数的增加, 紊流强度增加, 流体质点间相互混掺的情况加剧, 使得紊流附加

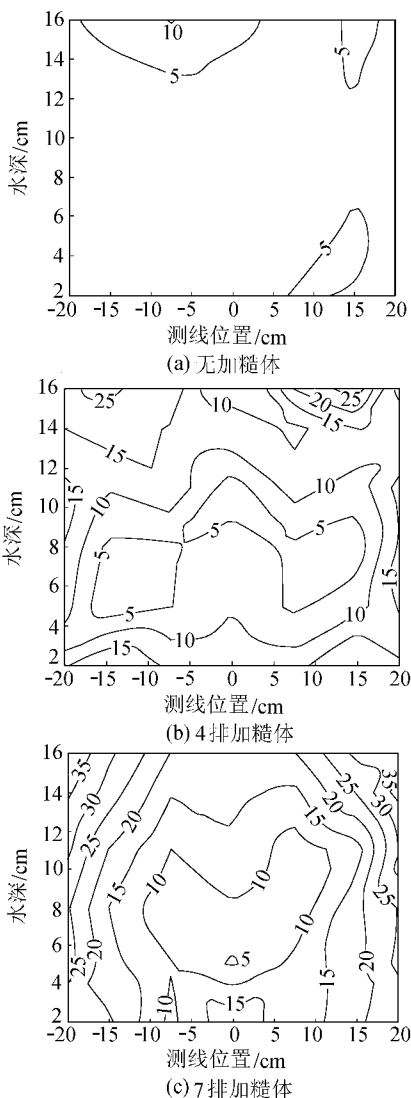


图5 $Q = 280 \text{ m}^3/\text{h}$ 时各方案Ⅲ-Ⅲ断面
附加切应力等值线(单位: Pa)

切应力增大。

5 结 语

通过模型试验研究了加糙段后的水流特性,揭示了在闸下使用废旧轮胎消能防冲的机理。试验结果表明随着加糙体排数的增加,水流紊流强度增加,流体质点间相互混掺加剧,进而紊流附加切应力增大。同时,由于加糙区加糙体的增加,水流损失的那部分能量也在增加。这些能量被迫转换成轮胎体附近产生的紊流脉动动能,水流中的加糙体在水动力作用下发生形变,在平衡位置产生往复振动,振动能来自水流的一部分紊动能,这正是轮胎加糙体消能防冲的原因所在。

参考文献:

- [1] 袁庚尧,余伦创. 全国病险水闸除险加固专项规划综述[J]. 水利水电工程设计, 2003, 22(3): 6-9.

- [2] 华东水利学院. 水工设计手册: 泄水与过坝建筑物[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987: 23.
- [3] 文恒, 王永利, 郑锦麟. 灌区水闸海漫段柔性材料加糙防冲效果的试验研究[C]//中国农业工程学会农业水土专业委员会. 农业水土工程科学. 呼和浩特: 内蒙古教育出版社, 2001: 366-372.
- [4] 牟献友, 文恒. 废旧轮胎在闸下消能防冲中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(3): 64-66.
- [5] 李鹏飞. 海漫柔性加糙相对糙率的确定及加糙后对近底流速影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [6] 任会. 海漫加糙对消能防冲影响机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2002.
- [7] 杨克君, 刘兴年, 曹叔尤, 等. 植被作用下的复式河槽漫滩水流紊动特性[J]. 水利学报, 2005, 36(12): 1263-1268.
- [8] 朱红钧, 赵振兴, 韩璐. 有植被的河道水流紊动特性模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2006(4): 57-61.
- [9] 王付. 有植被的河道水流试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2003.
- [10] 吴持恭. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 134-137.

(收稿日期: 2010-12-31 编辑: 高建群)

· 简讯 ·

《水利水运工程学报》将改季刊为双月刊

《水利水运工程学报》创刊于1979年,是由水利部主管、南京水利科学研究院主办的学术性科技期刊。该刊为“全国中文核心期刊”和“中国科技核心期刊”,同时被《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国期刊全文数据库》、美国《剑桥科学文摘(自然科学)》等国内外多家数据库和检索机构收录。

随着《水利水运工程学报》影响力的不断扩大和众多作者的积极投稿,现行出版周期已不能满足读者和作者的需求。为了让更多的读者及时了解国内外有关水利水电、水运交通、海洋工程、岩土工程、水文水资源等相关领域的最新研究成果与前沿动态,进一步加强学术和技术交流,该刊将于2012年起由季刊更改为双月刊。热忱欢迎业内专家学者、科技人员和高校师生踊跃投稿。通讯地址: 210024 南京市鼓楼区虎踞关34号,电话: 025-85829135,传真: 025-85829130, E-mail: jnhri@nhri.cn。

(《水利水运工程学报》编辑部供稿)