

废旧轮胎在闸下消能防冲中的应用

牟献友,文 恒

(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 为实现增加糙率降低近底流速的目的,用废旧轮胎制作海漫表面的加糙体。通过室内水工模型试验,对加糙轮胎的数量、布置形式、相对糙度等影响因素进行比较研究,得到利用废旧轮胎进行海漫加糙的最佳方案。试验结果表明,用废旧轮胎加糙可使近底流速降低 50%。经现场原型试验,利用废旧轮胎加糙,闸下冲坑深度平均减少 75.7%,冲坑面积减少 19.3%,减冲效果明显。应用表明,利用废旧轮胎加糙减冲是切实可行的。

关键词 海漫加糙 废旧轮胎 水闸 消能防冲

中图分类号 :TV66 ;TV653+.9 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2007)03-0064-03

Application of scrap tires in energy dissipation and erosion control under sluice//MOU Xian-you, WEN Heng (College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract :Scrap tires were acted as apron carriers to improve the roughness and decrease the near-bottom velocity. Based on laboratory hydraulic model tests, a comparative analysis was performed of some influencing factors on the effect of energy dissipation and erosion control, including the number, layout pattern and relative roughness of scrap tires, and an optimal scheme of scrap tires for improvement of the apron roughness was obtained. The test result shows that the adoption of scrap tires decreases the near-bottom velocity by 50%, and reduces the depth and area of erosion under sluice by 75.7% and 19.3%, respectively. Therefore, the effect of erosion control is evident, and the technique is feasible.

Key words :apron roughness improvement ; scrap tire ; sluice ; energy dissipation and erosion control

为了防止闸下冲刷,国内外学者对于消能问题无论在形式上还是在机理上均已进行了长期而深入的研究。然而时至今日,在平原灌区水闸的闸下,冲刷破坏现象仍很严重,且普遍存在。对全国病险水闸的调查发现,在 3 764 座大中型水闸中,闸下游消能防冲设施严重损坏的就占 42.3%^[1]。

1 海漫与闸下冲坑

造成闸下冲刷破坏的原因很多,诸如消能设计标准选择不当、平面布置不合理、闸门开启操作过快等。笔者在已完成的国家自然科学基金资助项目“闸门开启过程中的非恒定流与闸下消能防冲的研究”中发现,消能设计标准选择不当是造成闸下冲刷破坏严重的最主要原因。试验研究发现,即使按非恒定理论计算出的闸下水深(当闸门全部开启的瞬间,下泄最大流量时,闸下的水深仅相当于正常水深的 50% 左右)^[2],由此计算出的消力池,其海漫末端仍会产生冲坑。而在模型海漫段表面粘一层塑胶擦

鞋垫的材料后,海漫末端的冲坑显著减小。由此而联想到在海漫上进行柔性加糙可能是解决闸下冲刷的又一途径^[3]。

目前国内学者采用垂流速分布流态因子作为防冲和消减剩余能量的一个判断因素^[4]。这说明人们已经认识到,过闸水流近底流速过大是闸下冲刷的一个原因。目前闸下设置海漫是常规的消能防冲手段,海漫的作用是消减水流的剩余能量,使水流均匀地扩散,调整流速分布,减小底部冲刷。为达此目的就应该增加海漫表面的粗糙度,加大渠床糙率。但在具体操作时,由于海漫本身的厚度才 0.4 ~ 0.6 m,所以往往把海漫表面做成平面^[5],难以起到调整流速分布的作用。

2 利用废旧轮胎进行海漫加糙的原型试验

海漫加糙到什么程度合适?王晋军^[6]指出:曼宁系数 n 及谢才系数 C 都是相对光滑度 H/k_s 的函数,只有在小尺度粗糙情况下,两者才可视作常数”。

“小尺度粗糙度的判据为 $H/k_s > 4$ ”。因此,海漫的相对粗糙度 k_s/H 只有大于 0.25,海漫的糙率才可能明显增加,起到降低近底流速的目的。在海漫段如果用混凝土制作突出海漫表面高达 1/3 水深的加糙体,在灌渠输水运用时,容易拦挂柴草,壅高下游水位,形成水面的二次跌落,不但影响泄流,还增加了消能的困难。加糙体应以柔性为好,其在水中来回摆动,可避免柴草的缠绕拦挂。如果利用化工材料制造柔性加糙体,成本较大,而利用废旧轮胎制作加糙体,既经济又结实耐用,还有多种尺寸可供不同水深条件选择,且废物利用变废为宝。在海漫上埋设 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ 的钢筋混凝土柱,柱上预埋 4 个钢筋环,轮胎内底部灌填混凝土,用两道铅丝分别穿过钢筋环将轮胎固定在钢筋混凝土柱上。1998 ~ 2000 年间在内蒙古河套灌区,结合水毁工程的维修,在 3 个设计流量分别为 $38\text{ m}^3/\text{s}$, $26\text{ m}^3/\text{s}$, $15\text{ m}^3/\text{s}$ 的水闸上进行了海漫利用废旧轮胎加糙的原型试验,轮胎直径为设计水深的 1/3,见图 1。3 个水闸海漫加糙前下游的冲坑深度分别为 3.3 m, 4.5 m, 4.4 m,利用废轮胎加糙后,冲坑深度回淤至 1.1 m, 1.2 m 和 0.7 m,平均减少 75.7%,冲坑面积减少 19.3%,减冲效果明显。这表明用轮胎加糙减冲是切实可行的。



图 1 海漫加糙原型试验现场

上述原型加糙试验虽然取得了较理想的效果,但理论依据不足。为此,通过室内水工模型试验,对加糙轮胎的数量、布置形式、相对粗糙度及其在海漫上的位置等对海漫末端冲坑大小影响的规律进行研究,希望找出使海漫末端冲坑最小的加糙体设计方案。

3 利用废旧轮胎进行海漫加糙的室内水工模型试验

轮胎加糙试验是在 $16\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.9\text{ m}$ 的玻璃水槽中进行的,用外径 7 cm 的橡胶圈模拟轮胎,几何比尺为 1/10,目前弹性的力学模拟还难以实现。橡胶圈在加糙段的平面布置呈梅花状,间距与橡胶圈的外径相同。共设置 21 种加糙体布置方案,其中方案 10、方案 11、方案 12 设有半截橡胶圈,见图 2。各方案分别在 3 种流量条件下进行了 12 个断面的水深和流速测量。方案 1 ~ 12 的相对粗糙度及糙率成果见表 1,并与原方案(未加糙)作对比。

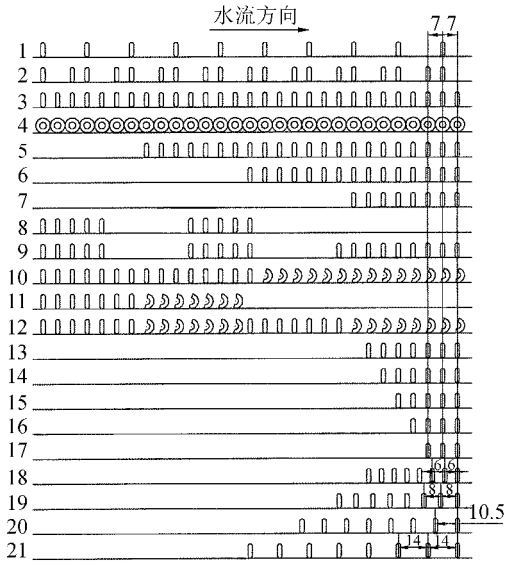


图 2 加糙试验方式(单位:cm)

表 1 各方案相对粗糙度及糙率成果

方 案	排 数	垂直水流 面积/ cm^2	$Q = 64.21\text{ L/s}$		$Q = 52.43\text{ L/s}$		$Q = 40.79\text{ L/s}$	
			相对粗糙度	糙率	相对粗糙度	糙率	相对粗糙度	糙率
原方案				0.0073		0.0073		0.0073
方案 1	10	1065.47	0.417	0.0127	0.492		0.553	0.0150
方案 2	19	2009.17	0.407	0.0147	0.470	0.0153	0.541	0.0167
方案 3	29	2983.32	0.394	0.0164	0.456	0.0168	0.517	0.0186
方案 4	29	1372.00	0.429	0.0117			0.571	0.0135
方案 5	22	2252.71	0.408	0.0148	0.462	0.0161	0.530	0.0173
方案 6	15	1613.43	0.411	0.0141	0.467	0.0156	0.538	0.0165
方案 7	8	852.38	0.423	0.0135	0.484	0.0139	0.565	0.0154
方案 8	10	1065.47	0.408	0.0138			0.538	0.0163
方案 9	19	1369.89	0.413	0.0144			0.536	0.0165
方案 10	29	2961.66	0.402	0.0150			0.530	0.0171
方案 11	14	1433.05	0.414	0.0130			0.551	0.0146
方案 12	29	2961.66	0.403	0.0144			0.526	0.0173

通过对试验结果的分析,可以得到以下初步结果:

a. 海漫利用轮胎加糙效果明显。海漫段加糙后的糙率虽然和加糙体的数量成正比,但主要和加糙体垂直水流方向的面积有关。方案3和方案4加糙体数量相同,方案4是方案3加糙体旋转 90° 而成。由于迎水面积减小,结果方案4较方案3糙率减小28%。糙率还和迎水面的形状有关,方案3和方案12迎水面积基本一致,但方案12中半截轮胎迎水面投影为矩形,结果糙率较方案3小10%左右。加糙段的糙率随相对粗糙度的增加而加大。本次试验的相对粗糙度在0.394~0.571之间,各方案的糙率较未加糙前增加了1倍左右。

b. 加糙段后近底流速明显降低。水流通过海漫加糙段后,断面流速分布发生有利于减冲的变化,近底流速几乎减小了一半。图3为方案3(29排加糙体)和方案7(8排加糙体)加糙段后20 cm和40 cm断面流速分布图。同未加糙前垂直断面流速相比,近底流速几乎减小了一半。加糙段后近底流速减低区域在顺水流方向的长度约等于35倍加糙体的高度。

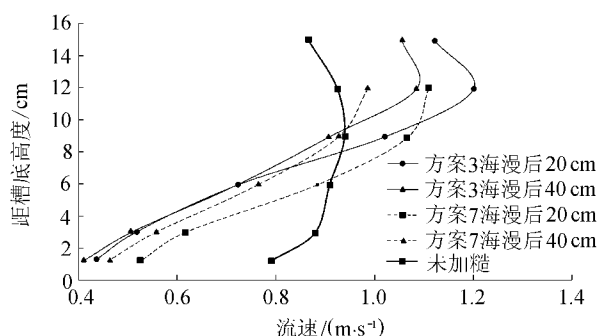


图3 $Q=64.21\text{ L/s}$ 时各测试断面流速分布

c. 方案7为加糙优化方案。虽然海漫设置加糙体数量越多增加糙率的效果越显著,但从工程经济角度出发,还是应选择一种工程量小,同时加糙效果也相对较好的方案来实施。通过加糙体垂直水流面积与近底流速关系曲线(图4)可看出,近底流速随着加糙体垂直水流面积的减小而增大。当加糙体

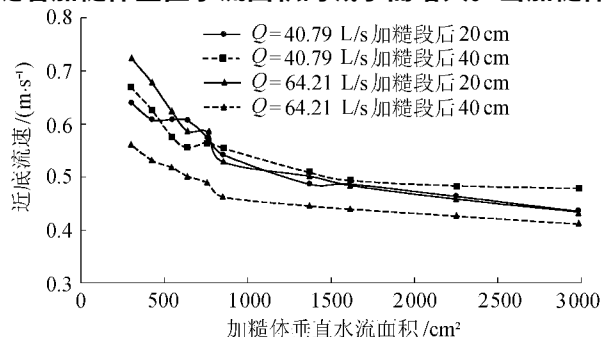


图4 加糙体垂直水流面积与近底流速关系曲线

垂直水流面积大于 852 cm^2 时,变化梯度较小;当加糙体垂直水流面积小于 852 cm^2 时,变化梯度加大。 852 cm^2 是方案7(8排加糙体)的面积,其近底流速较方案3增加不多(见图3),却可使海漫长度较方案3缩短72.4%。因此推荐方案7为优选方案,即设置8排直径相当于设计水深的40%的废旧轮胎。由于轮胎是环形结构,水流通过轮胎中心圆孔后产生水平和垂直方向的脉动,因此流过最后一排轮胎的水流垂直方向的脉动还会加剧对渠(河)床的冲刷。为此应在最后一排轮胎下游加设两排切口向上游的半截轮胎,间距等于轮胎外径,梅花状布置。这样可以减小垂直方向的扰动,减轻对渠(河)床的冲刷。

d. 海漫段加糙可使海漫前水位壅高,有利于水跃消能。随着轮胎加糙体数量(垂直于水流方向的面积)的增加,加糙段的上游水位也逐渐壅高,见图5。随加糙体数量增大,水深增加的梯度变缓, 852 cm^2 处是一个转折点。水闸消能时为增加海漫前端即消力池末端的水深,采用的手段或挖深或筑槛,但开挖消力池会增加工程量,筑消力槛又常会形成二次水跃,使水流条件恶化。现在采用轮胎加糙后,按方案7的水位壅高计算,可以使海漫首部水深增加30%~40%。这样在一些平原灌区水闸上,几乎可以不用修消力池。

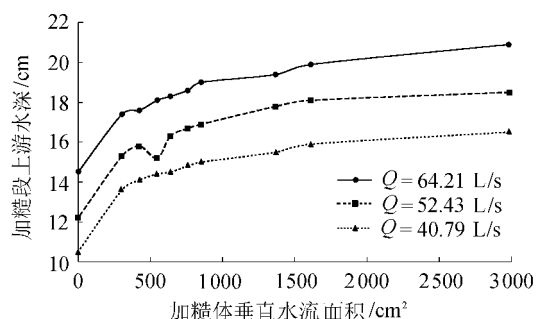


图5 加糙体垂直水流面积与加糙段上游水深关系曲线

4 结 语

海漫柔性加糙,特别是利用废旧轮胎进行海漫加糙是水利工程的新课题。尽管利用废旧轮胎进行海漫加糙的原型试验取得了预期的效果,但海漫柔性加糙和轮胎加糙的数学模拟和物理模拟还是非常困难的。本文水工模型试验中的轮胎模型仅是外形尺寸的相似,弹性的力学模拟目前难以实现。因此文中的试验结果并不能完全反映轮胎加糙的实际状况。考虑到真实的轮胎是空心的,实际加糙的效果会比模型试验的结果更好。至于轮胎加糙的机理,希望随着先进量测仪器的出现得以揭示。

(下转第89页)

3 结 语

对于水头较高和输水道较长的常规水电站和抽水蓄能电站,水力系统的高阶振动周期有可能和电力系统的低频振荡周期相近,为了反映水力系统的高阶振荡特性和水力、机械、电力系统振动特性的相互影响,有必要对水电站水机电系统的振动特性和稳定性进行研究。此类研究涉及知识面广,研究成果相对较少,有一些问题尚未完全解决,有待进行深入研究。

参考文献：

[1] 谷口治人,长尾待士,樋笠博正.安定度解析のための揚発電所モデルの開発[J].电气学会論文 B,1991(平成3年),111(2):197-203.

[2] 王仲.溪口抽水蓄能电站机组振动监视系统及动平衡试验[C]//《水电站机电技术》编辑部.水电站机电技术·水利水机电技术年会论文集.天津:《水电站机电技术》编辑部,2002:60-61.

[3] 迟斌.水轮发电机组振动浅析[C]//《水电站机电技术》编辑部.水电站机电技术·水利水机电技术年会论文集.天津:《水电站机电技术》编辑部,2002:18-22.

[4] IEEE working group. Hydraulic turbine and turbine control models for system dynamic studies[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1992, 7(1):167-179.

[5] VOURNAS C D, ZAHARAKIS A. Hydro turbine transfer functions with hydraulic coupling[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1993, 8(3):527-531.

[6] JAEGER E D, JANSSENS N. Hydro turbine model for system dynamic studies[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1994,9(4):1709-1715.

[7] HANNETT L N, FELTES J W. Field tests to validate hydro turbine-governor model structure and parameters[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1994, 9(4):1744-1751.

[8] 沈祖诒,田树棠,支培法.水力机械优化设计和计算机辅助分析[M].南京:河海大学出版社,1995.

[9] WYLIE E B,STREETER V L,SUO Li-sheng. Fluid transients in systems[M]. New Jersey:Prentice-Hall Inc,1993.

[10] SMITH J R, ROBBIE J F. Assessment of hydroturbine models for power-systems studies[J]. IEE Proc,1983,130(1):1-7.

[11] MARGOLIS D L, YANG W C. Bond graph models for fluid networks using model approximation[J]. J of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1985, 107:169-175.

[12] SOUZA O H, Jr, BARBIERI N. Study of hydraulic transients in hydropower plants through simulation of nonlinear model of penstock and hydraulic turbine model[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(4):1269-1272.

[13] KUNDUR P. Power system stability and control[M]. New York:McGraw-Hill Companies Inc,1994.

[14] 卫志农,陈剑光,潘学萍,等.水机电系统相互作用研究[J].电力系统自动化,2000,24(24):26-29.

[15] 曹荣章,王力科,曾继伦.三峡电站调速系统对电力系统低频振荡的影响[J].电力系统自动化,1996,20(12):4-9.

[16] 周建旭,索丽生,郭锐勤.水电站水力振动实例分析[J].水力发电学报,1998,17(4):50-55.

[17] 索丽生,周建旭,刘德有.水电站有压输水系统的水力共振[J].水利水电科技进展,1998,18(4):12-14.

[18] 赵书强,常鲜戎,潘云江,等.多机系统低频振荡模式阻尼分配规律分析[J].电网技术,1999,23(7):26-27.

[19] 杨艳,赵书强.负荷特性对电力系统低频振荡阻尼的影响[J].电力自动化设备,2003,23(11):13-16.

[20] 李敬恒,刘昌玉.水电站水机电过渡过程数字仿真研究[J].水电能源科学,1989,7(2):113-119.

[21] 潘学萍,鞠平,卫志农,等.水力系统对低频振荡的影响[J].电力系统自动化,2002,26(2):24-27.

[22] 陈舟,陈寿孙,张中华,等.水力系统模型对电力系统暂态稳定分析的影响[J].清华大学学报:自然科学版,1996,36(7):13-18.

[23] 陈舟,刁勤华,陈寿孙,等.水力系统模型对电力系统低频振荡分析的影响[J].清华大学学报:自然科学版,1996,36(7):67-72.

[24] 刘宪林.基于同步机和水系统详细模型的电力系统小扰动稳定研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2002.

[25] 高慧敏,刘宪林.基于详细水机电模型的水电系统动态过程仿真[J].系统仿真学报,2003,15(4):469-471.

[26] 赵桂连.水电站水机电联合过渡过程研究[D].武汉:武汉大学,2004.

[27] 杨建东,赖旭.武汉大学水电站过渡过程与控制实验室[J].国际电力,2001,5(3):58-60.

[28] 杨建东,李进平,王丹,等.水电站引水发电系统过渡过程整体物理模型试验探讨[J].水力发电学报,2004,23(1):56-63.

(收稿日期 2006-10-20 编辑 骆超)

+++++

(上接第 66 页)

参考文献：

[1] 袁庚尧,于伦创.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] 文恒,智泓,牟献友.水闸消能防冲设计条件的确定[J].水利水电科技进展,2005,25(6):17-20.

[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] 毛昶熙,周名德,柴恭纯.闸坝工程水力学与设计管理[M].北京:水利电力出版社,1995:77.

[5] 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.

[6] 王晋军.粗糙床面的阻力特性[J].水动力学研究与进展:A辑,1992,7(2):132-136.

(收稿日期 2006-10-16 编辑 骆超)