

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221289

沙波与刚性非淹没植物复合床面推移质泥沙输移特性研究

叶志恒¹, 唐立模², 倪培桐¹, 苗青¹

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 鉴于复合床面条件下刚性非淹没植物改变推移质输移特性的相关研究成果较少, 为此采用水槽试验和理论分析方法, 研究了平行排列的刚性非淹没植物对泥沙起动谢尔兹数和推移质输移强度的影响。结果表明, 平行排列的刚性非淹没植物使得泥沙起动谢尔兹数增大了 97.2%, 推移质输移率降低了 80% 以上。通过理论分析提出了适用于刚性非淹没植物平行排列条件下恩格隆推移质输移率公式, 经验证该公式具有较高的精确度。

关键词: 沙波; 刚性非淹没植物; 复合床面; 推移质泥沙; 输移特性

中图分类号: TV143

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)05-0043-05

1 引言

河流中每颗植水生植物均可视为圆柱绕流, 当其成片出现后形成了复杂的“树群”效应, 改变了流态, 进而改变了泥沙输移特性, 而泥沙输移特性的改变又影响着流态, 三者相互作用形成了一个复杂的相互反馈模式。早在 1870 年代 LI R M 等^[1]研究了植物的不同排列方式对输沙的影响, 指出采用梅花形交错排列阻水效果和拦沙能力明显优于平行排列; YAGER E M 等^[2]采用刚性圆柱体模拟挺水植物, 研究了挺水植物梅花状排列对推移质输移率的影响, 指出含植物条件下推移质输移率增加或减小取决于平均流速和边界剪切应力; 孙志林等^[3]通过水槽试验表明水生植物的存有有利于泥沙淤积。20 世纪末, 毕慈芬等^[4]将沙棘种植在河沟中形成“柔性坝”, 通过水槽试验研究了“柔性坝”促使泥沙沉积的原因和规律; 邱秀云等^[5]采用塑料草模拟沙棘等柔性植物进行试验, 表明底坡越大, 植物坝上游泥沙运动速度的衰减率就越小; 杨庆楠等^[6]发现植物根系密度、直径、表面积密度等特征与产沙量存在负相关线性关系。上述研究表明植物的存在改变了泥沙的输移特性, 植物和沙波的复合床面条件下泥沙输移特性的研究可为湿地保护、江心洲行洪安全、滩地冲刷等提供科学的理论依据。为此, 本文通过水

槽试验和理论分析, 探求了复合床面下刚性非淹没植物平行排列对泥沙起动及推移质输移率的影响程度和机理。

2 试验布置与方法

2.1 试验布置和测控系统

试验在长 12 m、宽 0.6 m、高 0.6 m 的可变坡矩形水槽中进行, 末端设置长 1.3 m、宽 0.6 m 的沉砂池, 并安装 0.1 g 的电子天平, 用以实时称量推移质泥沙水下质量。采用直径 0.6 cm、高度 21 cm 的圆柱形刚棒模拟刚性植物, 以间隔 5 cm 平行排列于厚度 1 cm 的塑料板中, 植物密度 λ 采用植株比法^[7]:

$$\lambda = \pi N d^2 / (4S) \quad (1)$$

其中

$$S = BL$$

式中, N 为植物株数; d 为植株直径; S 为床面面积; B 为宽度; L 为长度, 本文试验植物密度为 0.002 827。

试验设置 2 种床面形态(图 1): ①工况 1。沙波和刚性非淹没植物复合床面; ②工况 2。单一沙波床面。床沙区始于水槽入口 2 m 处, 铺设厚度 9 cm, 总长度 8 m, 于床沙区最前铺设长 2 m、坡比为 1:5 的过渡区。试验区距入口 6~8 m 处。在工况 1 中设置植物区, 植物区始于水槽入口 4 m 处, 铺设总长度 6 m。

收稿日期: 2022-06-22, 修回日期: 2022-08-09

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2021-07)

作者简介: 叶志恒(1993-), 男, 硕士、工程师, 研究方向为河流动力学 E-mail: yezhiheng425@163.com

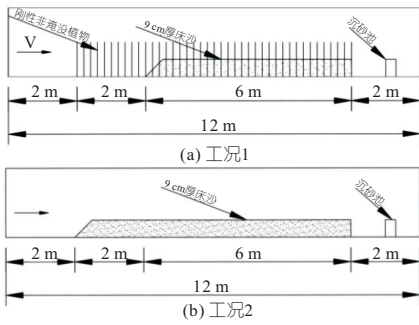


图 1 工况 1、2 试验布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental layout of working conditions 1 and 2

试验前将泥沙铺设为初始工况,通过调节流量、坡降和尾门保证试验区水深(10 cm)延程不变,此时认为试验段已达到均匀流状态。采用电磁流量计、水槽刻度尺和电子天平读取试验数据。

2.2 床面泥沙

试验采用中值粒径 $D_{50} = 0.381 \text{ mm}$ 、不均匀系数 1.5、比重为 2.65 的石英砂。根据沙玉清^[8]过渡区公式计算得到泥沙沉速为 5.50 cm/s。

一般条件下植物的存在将减小泥沙沉速,当植物面积密度在 0.071 及以下且粒径小于 0.2 cm 的颗粒可不考虑植物的影响^[9]。因此可认为复合床面泥沙沉速为 5.50 cm/s。根据泥沙特性分区图^[10]可判断本文试验水流强度泥沙的运动以在床面层内的滑动、滚动、跳跃为主。

3 试验结果

3.1 泥沙起动流速

试验采用 KRAMER H^[11] 提出的弱动作为泥沙起动的判别标准,通过测量泥沙起动时的流速及公式验证,得出 2 种工况下泥沙起动流速值。

(1)工况 1。当整个床面区域泥沙均开始弱动,测量得到泥沙起动流速为 18.65 cm/s。采用 TANG HONGWU 等^[12]刚性非淹没植物条件下泥沙起动流速公式:

$$U_{vc} = 0.36 \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g D} \left(\frac{h}{D}\right)^{1/6} \left(\frac{d}{\sqrt{hD}} \sqrt{\frac{\pi/4 - \lambda}{\lambda}}\right)^{0.319} \quad (2)$$

式中, U_{vc} 为刚性非淹没植物条件下泥沙起动流速; γ_s 为泥沙比重, 26.5 kN/m³; γ 为水比重, 9.8 kN/m³; g 为重力加速度, 9.81 m/s²; D 为泥沙颗粒直径, $0.381 \times 10^{-3} \text{ m}$; h 为水深, 0.1 m。

计算得到复合床面泥沙起动流速为 17.40 cm/s,与实测值误差为 7.2%,该误差值与泥沙密度、起动的判别标准等有关。本文将采用实测

值 18.65 cm/s 作为复合床面泥沙起动流速。

(2)工况 2。缓慢增大流速至床面泥沙起动,测量得到泥沙起动流速为 23.90 cm/s。采用沙莫夫、冈恰洛夫和张瑞瑾公式^[10]计算该工况下泥沙起动流速范围为 22.70~28.00 cm/s,实测值处于计算范围内,因此采用实测值作为单一沙波床面泥沙起动流速。

3.2 推移质输沙率

(1)工况 1。王浩^[13]认为含刚性非淹没植物条件下当水流流速达到起动流速后,泥沙经过 5 h 冲刷可达到平衡。试验过程中发现当冲刷时长达到 5 h 后,电子天平中泥沙质量增长率趋于稳定,以 5~6 h 之内的推移质输移泥沙水下质量计算单宽输沙率:

$$q'_b = W' / (BT) \quad (3)$$

式中, q'_b 为以水下重量计算的单宽推移质输沙率; W' 为第 5~6 h 之内实测泥沙水下重量; B 为水槽宽度, 0.6 m; T 为推移质输沙时间, 3 600 s, 计算得到推移质输沙率见表 1。

表 1 工况 1 推移质输沙率

Tab. 1 Bedload transport rate in working condition 1

组次	植物区平均流速 U_v	比降 $J/\%$	输沙率 q'_b	组次	植物区平均流速 U_v	比降 $J/\%$	输沙率 q'_b
1	18.64	1.42	≈0	6	23.87	2.14	0.000 981
2	19.66	1.55	0.000 180	7	24.29	2.21	0.001 130
3	20.49	1.66	0.000 323	8	26.10	2.51	0.001 750
4	21.76	1.83	0.000 595	9	27.98	2.91	0.003 470
5	22.67	1.96	0.000 676				

注:植物区平均流速、输沙率单位分别为 cm/s、kg/(s·m)。

(2)工况 2。采用电子天平测量第 5~6 h 内推移质水下重量,得到无植物工况下的推移质输沙率,试验结果见表 2。

表 2 工况 2 推移质输沙率

Tab. 2 Bedload transport rate in working condition 2

组次	流速 / (m·s ⁻¹)	比降 $J/\%$	输沙率 q'_b / (kg·(s·m ⁻¹))
1'	0.250	0.316	1.23×10^{-5}
2'	0.260	0.350	0.000 136
3'	0.279	0.425	0.000 982
4'	0.286	0.458	0.001 450
5'	0.309	0.558	0.002 750
6'	0.333	0.666	0.003 900
7'	0.357	0.783	0.006 250

4 试验结果分析

4.1 含刚性非淹没植物剪切力线性叠加分析方法

含植物条件下床面总剪切力 τ 表达式^[14]为:

$$\tau = \rho ghJ (1 - \lambda h^*) \quad (4)$$

其中 $h^* = l/h$

式中, τ 为床面总剪切应力; ρ 为水的密度; J 为水力坡降; h 为水深; l 为植物被淹没高度, 非淹没植物 $h^* = 1$ 。

GARDE R J 等^[15]指出复合床面工况下总剪切力 τ 可分解为植物剪切力和床面剪切力。其中刚性非淹没植物剪切应力表达式为:

$$\tau_v = \rho C_{Dv} N d l U_v^2 / 2 \quad (5)$$

式中, C_{Dv} 为植物拖曳力系数, 无量纲数; N 为单位面积上植株个数; d 为刚性非淹没植物直径; U_v 为植物区平均流速。

STONE B M 等^[16]指出植物区水流平均速度 U_v 可用含植物明渠水流中平均流速 U 替代, 用以求解植物拖曳力。植物区流速可表示为:

$$U_v = U = q / (1 - \lambda) \quad (6)$$

式中, q 为单宽流量。

对同一水力条件下植物剪切力仅与被淹没高度有关, 植物剪切力沿水深呈线性分布。同时 Bagnold 假设挟沙水流的总剪切力沿水深亦呈线性分布^[12], 因此本文将总剪切应力沿水深进行分解为植物剪切力和床面剪切力线性叠加而成, 作用于床面的剪切力影响着泥沙运动, 称之为有效剪切力。

4.2 植物谢尔兹数计算方法

将剪切力无量纲化, 得到总谢尔兹数 Θ 与植物谢尔兹数 Θ_v 表达式为:

$$\Theta = \rho g h J (1 - \lambda h^*) / [(\gamma_s - \gamma) D] \quad (7)$$

$$\Theta_v = \rho C_{Dv} N d l V_v^2 / [2(\gamma_s - \gamma) D] \quad (8)$$

4.3 有效谢尔兹数计算方法

有效谢尔兹数是指有效剪切力无量纲化后的数值。对含刚性非淹没植物条件下, 有效谢尔兹数 Θ_{ev} 为总谢尔兹数 Θ 除去植物谢尔兹数 Θ_v :

$$\Theta_{ev} = \Theta - \Theta_v \quad (9)$$

对工况 2, 有效谢尔兹数 Θ_e 即为总谢尔兹数 Θ :

$$\Theta_e = \Theta \quad (10)$$

4.4 输沙强度计算

将推移质输沙率换算成无量纲推移质输沙强度, 采用下式:

$$\Phi = q'_b / [\rho_s D \sqrt{(\rho_s - \rho) g D / \rho}] \quad (11)$$

计算得到工况 1、2 输沙强度和有效谢尔兹数 (表 3、4)。计算得到复合床面条件下临界谢尔兹数为 $\Theta_{cv} = 0.071$, 单一沙波条件下临界谢尔兹数为 $\Theta_{ev} = 0.038$ 。

4.5 刚性非淹没植物对泥沙输移特性的影响

根据试验数据可知, 复合床面泥沙起动谢尔

表 3 复合床面谢尔兹数与输沙强度计算

Tab. 3 Calculation of shields number and sand transport intensity of the compound bed form

组次	植物区平均流速 U_v	相对流速 U_v/U_{vc}	总谢尔兹数 Θ	植物谢尔兹数 Θ_v	有效谢尔兹数 Θ_{ev}	$\frac{\Theta_v}{\Theta}$	输沙强度 Φ_e
1	18.64	1.00	0.225	0.154	0.071	0.684	≈ 0
2	19.66	1.05	0.246	0.171	0.075	0.696	0.002 27
3	20.49	1.10	0.263	0.185	0.078	0.705	0.004 08
4	21.76	1.17	0.291	0.208	0.083	0.717	0.007 51
5	22.67	1.22	0.311	0.225	0.086	0.726	0.008 53
6	23.87	1.28	0.340	0.249	0.091	0.735	0.012 40
7	24.29	1.30	0.350	0.258	0.092	0.737	0.014 30
8	26.10	1.40	0.398	0.297	0.101	0.746	0.022 10
9	27.98	1.50	0.461	0.340	0.121	0.738	0.043 70

注: 植物区平均流速 U_v 单位为 cm/s。

表 4 单一沙波床面谢尔兹数与输沙强度计算

Tab. 4 Calculation of shields number and sand transport intensity of single sand dune bed form

组次	流速 U / (cm · s ⁻¹)	相对流速 U/U_c	总谢尔兹数 Θ	输沙强度 (干) Φ
1'	25.00	1.05	0.038 2	0.000 155
2'	26.00	1.10	0.042 2	0.001 720
3'	27.90	1.17	0.051 3	0.012 400
4'	28.60	1.20	0.055 3	0.018 300
5'	30.90	1.30	0.067 4	0.034 600
6'	33.30	1.40	0.080 5	0.049 300
7'	35.70	1.50	0.094 5	0.078 900

兹数为单一床面的 1.97 倍, 刚性非淹没植物存在使得泥沙更难以起动。试验范围内, 复合床面与单一沙波床面输沙强度 (Φ) 均随谢尔兹数 (Θ) 的增大而增大 (图 2)。相同有效谢尔兹数条件下, 复合床面推移质输沙率仅为单一沙波床面的 10%~20%。由于复合床面下总谢尔兹数中植物谢尔兹数占比高达 68% 以上, 水流总剪切力中大部分作用于刚性非淹没植物, 减小了作用于床面泥沙的剪切力, 使得推移质输沙强度减小。此外水流的紊动猝发对床面泥沙推移层厚度有着较大影响^[17], 复合床面条件下, 植物根茎成为拟序结构发展的障碍物, 部分猝发过程并非完整的喷射—清扫周期^[18], 因此本文认为刚性非淹没植物的存在减小了推移层厚度, 导致相近有效剪切力条

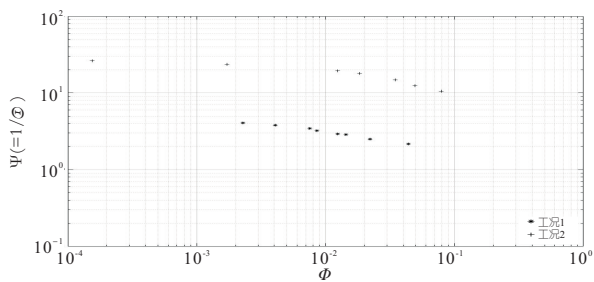


图 2 输沙强度与水流参数散点

Fig. 2 Scatter point of sediment transport intensity and water flow parameters

件下含刚性非淹没植物推移质输沙强度小于单一沙波床面推移质输沙强度。

采用剪切力为特征指标分析刚性非淹没植物对泥沙输移特性影响,这与恩格隆推移质输沙率公式采用的特征指标一致^[10],因此借鉴恩格隆,通过本次试验数据,得出适用于刚性非淹没植物条件下恩格隆推移质输沙率公式:

$$\Phi = 11.6(\Theta - \Theta_c)(\sqrt{\Theta} - 0.7\sqrt{\Theta_c}) \quad (12)$$

式中,Φ 为输沙强度;Θ_c 为泥沙起动临界谢尔兹数;Θ 为谢尔兹数。

经典恩格隆公式适用于单一沙波床面条件下推移质输沙率,式(12)中谢尔兹数即为复合床面中有效谢尔兹数。

DE SUTTER R 等^[19]指出,推移质公式在使用前均需应用当地的推移质实测资料重新标定公式中的参数,可将经典恩格隆公式改写为:

$$\Phi_v = K(\Theta_{ev} - \Theta_{cv})(\sqrt{\Theta_{ev}} - \eta\sqrt{\Theta_{cv}}) \quad (13)$$

式中,K、η 为复合床面恩格隆推移质输沙率公式参数;Φ_v 为复合床面条件下为输沙强度。

公式中 K、η 与推移质运动所处的流速、床面动摩擦系数等特征要素有关。

由于刚性非淹没植物的存在增大了河道糙率^[20]改变了泥沙运动特性,为得到适用于本次复合床面推移质泥沙输沙率公式需采用本次试验结果重新率定两个参数。采用最小二乘法率定得到复合床面恩格隆推移质输沙率公式:

$$\Phi_v = 4.2(\Theta_{ev} - \Theta_{cv})(\sqrt{\Theta_{ev}} - 0.63\sqrt{\Theta_{cv}}) \quad (14)$$

式(14)与试验成果拟合度较高(图 3)。

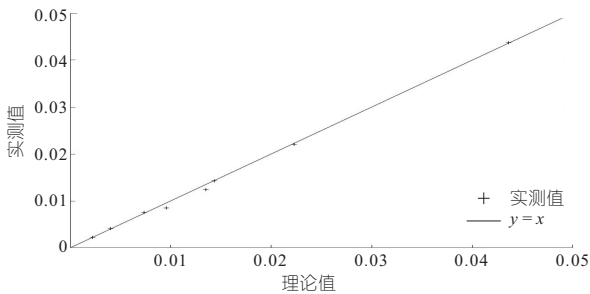


图 3 输沙率实测值与理论值对比

Fig. 3 Comparison of measured and theoretical values of bedload transport

采用 UMESH C KOTHYARI 等^[14]实测数据对式(14)精确度进行检验(图 4),检验结果表明式(14)对 Kothyari 数据总体上拟合度较高,实测数据较为均分布在曲线两侧,仅部分实测点与曲线偏差较大,这与不同试验工况下泥沙临界谢尔兹数、泥沙密实程度和泥沙特性有关。

推移质输沙公式精度量化指标计算公式^[21]为:

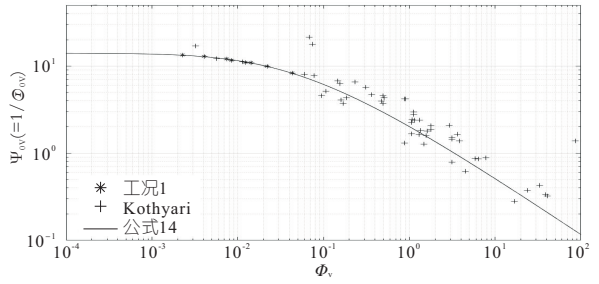


图 4 公式(14)与室内试验成果对比

Fig. 4 Comparison of formula (14) with laboratory experimental results

$$R_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - Y_i}{Y_i} \right)^2} \quad (15)$$

式中,R_{RMSE} 为计算值和实测值的均方根相对误差,R_{RMSE} 越小表明公式精确度越高;N 为样本个数;X_i 为公式计算值;Y_i 为实测值。

式(14)对 Kothyari 试验数据精确度为 0.54,精度总体较高。复合床面推移质输沙率数据较少,且多为室内水槽试验,为提高公式精确度需大量室内试验数据和野外试验予以支持。

5 结论

a. 本文采用 2 种工况研究了平行排列的刚性非淹没植物对泥沙输移特性的影响,发现刚性非淹没植物的存在能有效地降低泥沙输移,复合床面泥沙起动谢尔兹数较单一沙波床面增大了 97.2%,推移质输沙率减小了 80%以上。

b. 本次试验数据补充了输沙强度 0.002~0.040 区间的试验数据,使得复合床面工况下推移质输沙率数据变得连续。运用含刚性非淹没植物剪切力线性叠加分析方法对试验数据进行分析计算,提出适用于刚性非淹没植物平行排列条件下恩格隆推移质输沙率公式。利用 Kothyari 经典数据检验表明,该公式的精确度较高。由于精度与采用的实测资料密切相关,该公式的适用性尚需进一步检验。

参考文献:

- [1] LI R M, SHEN H W. Effect of tall vegetations on flow and sediment[J]. Journal of the hydraulics division, 1973, 99(5): 793-814.
- [2] YAGER E M, SCHMEECKLE M W. The influence of vegetation on turbulence and bed load transport[J]. Journal of geophysical research: earth surface, 2013, 118(3): 1585-1601.
- [3] 孙志林, 郑佳芸, 祝丽丽, 等. 沉水植物对水流结构与泥沙淤积的影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2021, 55(1): 71-80.
- [4] 毕慈芬, 李桂芬. 沙棘在治理砒沙地区水土流失中的特殊功能[J]. 水利水电快报, 1998, 19(18): 1-3.

- [5] 邱秀云,程艳,侯杰.植物“柔性坝”对水流影响的实验研究[J].水利水电技术,2003,34(9):62-65.
- [6] 杨庆楠,徐金忠,樊华,等.3种草本植物根系特征及与径流泥沙关系[J].中国水土保持,2021(9):47-52,9.
- [7] 闫静.含植物明渠水流阻力及紊流特性的试验研究[D].南京:河海大学,2008.
- [8] 沙玉清.泥沙运动的基本规律(一)物体的沉速[J].西北农学院学报,1956(3):1-15.
- [9] 唐洪武,吕升奇,龙涧川.刚性植物条件下静水中粗颗粒泥沙沉速研究[J].水利学报,2007,388(10):1214-1220.
- [10] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,2003.
- [11] KRAMER H. Sand mixtures and sand movement in fluvial model[J]. Transactions of the American society of civil engineers, 1935, 100(1): 798-838.
- [12] TANG HONGWU, H WANG, D F LIANG, et al. Incipient motion of sediment in the presence of emergent rigid vegetation[J]. Journal of hydro-environment research, 2013, 7(3): 202-208.
- [13] 王浩.非淹没刚性植物水流条件下的泥沙起动研究[D].南京:河海大学,2013
- [14] UMESH C KOTHYARI, HARUYUKI HASHIMOTO, KENJIROU HAYASHI. Effect of tall vegetation on sediment transport by channel flows[J]. Journal of hydraulic research, 2009, 47(6):700-710.
- [15] GARDE R J, RAJU K G R. Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems [M]. Taylor & Francis, 2000.
- [16] STONE B M, SHEN H T. Hydraulic resistance of flow in channels with cylindrical roughness [J]. Journal of hydraulic engineering, 2002, 128(5): 500-506.
- [17] 魏龙,王义刚,黄惠明.推移层厚度研究综述[J].泥沙研究,2013(2):72-80.
- [18] 闫静,戴坤,唐洪武,等.植物条件下明渠紊流拟序结构的可视化研究[J].四川大学学报(工程科学版),2016,48(2):21-27.
- [19] DE SUTTER R, RUSHFORTH P, TAIT S, et al. Validation of existing bed load transport formulas using in-sewer sediment[J]. Journal of hydraulic engineering, 2003, 129(4):325-333.
- [20] 叶志恒,罗岸,付波,等.沙波与刚性非淹没植物复合床面曼宁系数特征研究[J].广东水利水电,2020(9):28-32.
- [21] 孟震,陈槐,李丹勋,等.推移质平衡输沙率公式研究[J].水利学报,2015,46(9):1080-1088.

Study on Sediment Transport Characteristics of Compound Bed Form Combined of Unsubmerged Rigid Vegetation and Sand Dunes

YE Zhi-heng¹, TANG Li-mo², NI Pei-tong¹, MIAO Qing¹

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The bedload sediment transport in the compound channel is affected by the presence of emergent rigid vegetation, and there were few studies available on this topic. The laboratory experiments and theoretical analysis were used to investigate the effect of emergent rigid vegetation in parallel arrangement on the threshold Shields number and the bedload transport intensity. The results show that the presence of emergent rigid vegetation in parallel arrangement increased the threshold Shields Number by 97.2%, and the bedload transport intensity reduced by more than 80%. The modified Engelund Formula that was applicable to the emergent rigid vegetation in parallel arrangement conditions was developed to calculate the bedload transport intensity. The formula was shown to have a high accuracy by applying it to the other studies.

Key words: sand ripple; unsubmerged rigid vegetation; composite bed surface; bedload sediment; transport characteristics

(上接第 84 页)

Research on Pump Failure Water Hammer Protection of Air Cushion Surge Chamber and One-way Surge Tank

ZHAO Li-yang¹, FENG Meng-xue², LI Hao³, YU Xiao-dong¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. China Water Resources Pearl River Planning, Surveying & Designing Co., Ltd., Guangzhou 510611, China;

3. Jilin Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: For the pressurized water supply project of a long distance, large flow and high lift pumping station, the pump trip was simulated. Combined with the characteristics of the engineering terrain, the combined protection method of air-cushion surge chamber and one-way surge tank was proposed. And then the sensitivity analysis of the closing rule of the valve after the pump and the throttle orifice of the surge chamber was carried out according to the requirements of pipeline pressure control. The results show that the air cushion surge chamber could effectively protect the water hammer of the pump trip and the water hammer of valve shutdown caused by the rapid closure of the pump valve. The one-way surge tank solved the problem of local high pressure caused by the continuous water refill of the air cushion surge chamber, and protected the safety of the high point pipe section. The combined protection scheme could significantly reduce the volume of air cushion surge chamber and saved the engineering cost. In addition, the closing rule of the pump valve and the throttle orifice area of the air cushion surge chamber has a great impact on the water hammer pressure of the pipeline. Too fast valve closing or too large throttle orifice area will lead to the positive pressure of the pipeline exceeding the standard. Too slow valve closing or too small throttle orifice area will lead to large negative pressure in the pipeline. The specific project needs to be optimized in combination with transition process simulation. For this project, after simulation and optimization, the diameter of the throttle orifice was 0.8m, and the valve of the pump was closed by 5s straight line, and the results met the requirements of regulation guarantee calculation.

Key words: long distance water supply project; transition process; pump trip; water hammer protection; air cushion surge chamber