

钢筋石笼和混凝土异形块护岸防冲应用研究

徐 琳¹ 胡世忠²

(1. 长江水利委员会长江重要堤防隐蔽工程建设管理局 湖北 武汉 430010 ; 2. 岳阳市长江修防处 湖南 岳阳 414000)

摘要 : 在分析关于水流作用下斜坡上块石起动理论的基础上 , 从研究斜坡上单个块体出发 , 利用水流作用下异形块起动的极限平衡条件 , 推导出了异形块体平均粒径的计算公式 , 并由此设计了两种混凝土异形块和一种钢筋石笼的形状、尺寸及工程布置形式。结合工程实际 , 简述了混凝土异形块及钢筋石笼的施工机理及效果。与传统护岸形式相比 , 钢筋石笼和混凝土异形块防冲护岸具有漂距小、精度高、固冲作用显著等优点 , 特别适用于迎流顶冲的崩岸强度大的河段。

关键词 : 钢筋石笼 ; 混凝土异形块 ; 护岸 ; 崩岸

中图分类号 : TV861 **文献标识码** : B **文章编号** : 1006-764X(2005)01-0031-03

Research on bank protection and scour prevention with reinforced gabions and heteromorphic concrete blocks / XU Lin¹ , HU Shi-zhong² (1. Changjiang Water Resources Commission , Wuhan 430010 , China ; 2. Yangtze River Embankment Mending and Protection Office of Yueyang City , Yueyang 414000 , China)

Abstract : Based on an analysis of the initial motion theory of rock mass lying on slopes under flow action , a formula was derived for calculation of the average diameter of heteromorphic blocks according to the ultimate balance condition . With the formula , the shape , size and configuration of two kinds of concrete heteromorphic blocks and one kind of reinforced gabions were designed . In combination with practical projects , the mechanism and effectiveness of concrete heteromorphic blocks and reinforced gabions in construction were briefly introduced . Compared with the conventional bank protection measures , the method has the advantages of relatively short drifting distance , high precision , and good effect of scour prevention , and is specially suitable for the river section with serious danger of bank collapse .

Key words : reinforced gabion ; heteromorphic block ; bank protection ; bank collapse

位于江汉平原和洞庭湖平原之间的长江下荆江河段 , 发育于第四纪形成的土、砂二元结构的河流冲积物上 , 具有蜿蜒性河道典型的“凹岸崩塌、凸岸淤积”的演变规律 , 平面摆幅 10~20 km , 故素有“九曲回肠”之称。

下荆江因坡降陡、水流急、流量大、河床深而导致河弯多、崩岸线长、河岸崩塌强度大 , 护岸任务十分繁重 , 从 20 世纪六七十年代的守矶点控制崩岸线 , 至八九十年代的削矶平顺护岸 ; 从抛块石、抛柴石枕到抛塑袋土枕、沉混凝土铰链排 , 守护形式在不断完善 , 用材在不断探索 , 但传统的护岸形式及材料无法根治急流的顶冲段崩岸 , 弯道迎流当冲段河床仍在加深 , 崩岸仍时常发生。受三峡截流用材的启发 , 笔者设计了混凝土异形块和钢筋石笼这两种重型护岸防冲材料 , 并应用于长江下荆江急流顶冲段护岸工程中 , 防冲效果较好。

1 混凝土异形块及钢筋石笼尺寸的选定

抛石护岸中 , 一般是采用各种粗颗粒泥沙起动

经验公式来确定块石的粒径^[1,2] , 斜坡上块石起动的培什金公式是在假定破坏河底颗粒平衡的水流推力与平均流速平方成正比 , 而维持颗粒平衡的阻力与颗粒质量成正比 , 水流的方向与斜坡角度成任何角度的情况下 , 计算块石粒径的。事实上 , 护岸工程大都兴建在弯道凹岸 , 存在着复杂的横向环流 , 河床断面上垂线流速分布与培什金公式中采用的流速分布差异较大 , 同时 , 弯道凹岸河床坡陡脚悬、水深流急 , 块石在重力作用下向坡脚的滑动力也是控制块石稳定的重要因素 , 因此 , 用培什金公式计算抛石粒径是不安全的。下面从分析斜坡上单个异形块受力的情况出发来计算异形块尺寸。

假设斜坡倾角为 α 、水流方向与异形块所在坡面水平线夹角为 θ , 则作用于异形块重心上的力主要有 : ①正面推动力 $P_x = \gamma C_{dx} \alpha_1 d^2 v_d^2 / (2g)$; ②上举力 $P_y = \gamma C_{dy} \alpha_2 d^2 v_d^2 / (2g)$; ③有效重力 $W = \alpha_3 (\gamma_s - \gamma) d^3$; ④水流与异形块表面的摩擦力 F_a , 可略 ; ⑤黏聚力 $P_C = 0.14 \times 10^{-3} / d$, 可略 ; ⑥下压力 P_h , 可略。其中 ,

C_{dx} 为正面推力系数 ; C_{dy} 为上举系数 ; v_d 为直接作用在异形块上的流速 ; d 为异形块与球体的等效粒径 ; α_1 α_2 为异形块的面积系数 ; α_3 为异形块的体积系数 ; γ_s , γ 分别为异形块、水的容重 , $\gamma = 9.8 \text{ kN/m}^3$. 异形块起动的极限平衡条件是 :

$$\text{向上} \qquad \qquad \qquad F = W \qquad \qquad \qquad (1)$$

$$\text{向下} \qquad \qquad \qquad F = fW\cos\alpha \qquad \qquad \qquad (2)$$

式中 : F 为起动推力 ; $f = \tan\varphi$, φ 为异形块体的内摩擦角 (在临界状态下 f 等于休止角对应的坡比) .

1.1 水流沿斜坡直接向上冲举异形块

设 v_{d0} 为异形块起动流速 , 由式 (1) 得 : $P_y \sin\alpha \sin\theta = W$ 即 $(\gamma C_{dy} \alpha_2 d^2 v_{d0}^2 / (2g)) \sin\alpha \sin\theta = \alpha_3 (\gamma_s - \gamma) d^3$, 化简得 :

$$\frac{2\alpha_3}{\alpha_2 C_{d0} \sin\alpha \sin\theta} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d = v_{d0}^2 \qquad \qquad \qquad (3)$$

假定异形块近似球体 (即异形块体积的等效粒径为 d) 则 $\alpha_2 = \pi/4$, $\alpha_3 = \pi/6$, $\gamma_s = 2.5\gamma$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $C_{dy} = 0.14$, 考虑最不利情况 , 即 $\theta = 90^\circ$, 代入式 (3) 得 $d = 7.14 \times 10^{-3} v_{d0}^2 \sin\alpha$. 异形块所处边坡假定为 1:2.0 则 :

$$d = 31.92 \times 10^{-4} v_{d0}^2 \qquad \qquad \qquad (4)$$

$$\text{即} \qquad \qquad \qquad v_{d0} = 17.7 d^{0.5} \qquad \qquad \qquad (5)$$

由式 (5) 可知 , 水流若想将异形块卷起 , 所需起动流速必须很大 . 据监利水文站 1981 年 7 月 20 日实测最大流速为 4.27 m/s , 因此 , 异形块是无法被水流举起卷走的 .

1.2 水流沿斜坡直接向下冲推异形块

水流沿斜坡直接向下冲推异形块 (不考虑上举力的影响) 时 , 异形块起动力满足 :

$$F_x = P_x \sin\theta + W \sin\alpha \qquad \qquad \qquad (6)$$

$$F_y = P_x \cos\theta \qquad \qquad \qquad (7)$$

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 \qquad \qquad \qquad (8)$$

由式 (6) (7) (8) 和式 (2) 得 :

$$[(P_x \sin\theta + W \sin\alpha)^2 + P_x^2 \cos^2\theta]^{1.5} = f W \cos\alpha \qquad \qquad \qquad (9)$$

式 (9) 化简得 :

$$P_x^2 + W^2 \sin^2\alpha + 2 P_x W \sin\theta \sin\alpha = f^2 W^2 \cos^2\alpha \qquad \qquad \qquad (10)$$

考虑一种最不利的情况 , 即水流沿斜坡垂直向下冲推 (异形块向下滑动) 时 , 假定异形块近似球体 (即异形块体积的等效粒径为 d) , 则 $\theta = 90^\circ$, $\alpha_1 = \pi/4$, $\alpha_3 = \pi/6$, $C_{dx} = 0.51$, $\gamma_s = 2.5\gamma$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, 可得 $W = \pi (\gamma_s - \gamma) d^3 / 6 = 0.785 d^3$, $P_x = 0.02 d^2 v_{d0}^2$, 于是解方程 (10) 得 :

$$d = 0.0157 \sin\alpha + \frac{0.0255 f \cos\alpha}{f^2 \cos^2\alpha - \sin^2\alpha} v_{d0}^2 \qquad \qquad \qquad (11)$$

式 (11) 反映了异形块平均粒径与作用在异形块上的

流速、内摩擦角和河床斜坡倾角的函数关系 . 要使式 (11) 成立 , 必须 $f^2 \cos^2\alpha - \sin^2\alpha > 0$, 即 $f = \tan\varphi > \tan\alpha$, 由此得 $\alpha < \varphi$. 这说明护岸河段河床斜坡倾角必须要小于异形块体的内摩擦角 , 对于有棱角的异形块 , 内摩擦角一般在 30° 左右 , 通过取 $\varphi = 30^\circ$, 有 $\tan 30^\circ = 0.58$, 即河床斜坡坡比必须大于 1:1.73 , 若考虑足够的安全储备 , 则安全的坡比应在 1:2.0 以上 , 方可保持异形块的抛护体的稳定 . 由 $f = \tan 30^\circ = 0.58$ 可得 :

$$d = 0.0157 \sin\alpha + \frac{0.0148 \cos\alpha}{0.336 \cos^2\alpha - \sin^2\alpha} v_{d0}^2 \qquad \qquad \qquad (12)$$

据此可求出不同流速、不同坡度下异形块平均粒径的数值 , 见表 1 .

表 1 不同流速不同坡比下异形块的平均粒径

坡比 $\tan\alpha$	平均粒径 d/cm			
	$v = 1.0 \text{ m/s}$	$v = 1.5 \text{ m/s}$	$v = 2.0 \text{ m/s}$	$v = 2.5 \text{ m/s}$
1:2.0	19.9	44.8	79.6	124.4
1:2.5	9.6	21.6	38.4	60.0
1:3.0	7.4	16.7	29.6	46.3

兴建在弯道凹岸处的护岸工程 , 通常近岸河床坡比较陡 , 一般为 1:1.75 ~ 1:2.5 ; 另据下荆江荆江门河段 1992 年 6 月 23 日荆江水文局实测的断面垂直流速资料分析 , 垂线平均流速 $v_w = 2.30 \sim 2.70 \text{ m/s}$, 该处河床高程一般在 -10.0 m 左右 , 再根据垂线平均流速 v_w , 可求出不平整陡坡岸边部分平均流速 $v_1 = 0.8 v_w = 1.84 \sim 2.16 \text{ m/s}$. 由 v_1 及坡比范围从表 1 中可知异形块平均粒径 $d = 44.8 \sim 79.6 \text{ cm}$. 考虑异形块安全系数 $K = 1.5 \sim 2.0$, 则异形块的计算粒径 $d_0 = 89.6 \sim 119.4 \text{ cm}$. 下面取 3 种异形体 (较球体稳定) 进行设计计算 (假设球体计算直径为 0.9 m , 利用体积等效原理计算异形块尺寸) [3 4] .

a. 混凝土三棱块 . 三棱块是最稳定的块体 , 设三棱块断面尺寸与高度尺寸之比取黄金值 0.618 , 横断面为等边三角形 , 中心设一直径为 0.25 m 的圆孔 , 按体积等效原理计算得三棱块边长为 1.0 m , 棱长为 1.4 m .

b. 混凝土六棱块 . 设六棱块断面为等边六边形 , 中心设一直径为 0.35 m 的圆孔 , 按体积等效原理计算得六棱块边长为 0.4 m , 棱柱长为 1.3 m .

c. 钢筋圆柱体石笼 . 圆柱体内块石实方系数为 $1.9/2.7 = 0.7$, 按体积等效原理计算得圆柱直径为 0.8 m , 柱长为 1.3 m .

2 混凝土异形块护岸布置设计

根据混凝土异形块在近岸制作 , 具有就近吊运 , 便于施工的特点 , 宜将其布置在抛护断面区域的上半部 ; 由于钢筋石笼 (已作防锈处理) 易锈蚀 , 且需在江中装石抛投 , 为便于施工 , 宜将其布置在抛护断面区域的下半部 , 两种材料一般均抛护 2 ~ 3 层 .

由于水流冲刷和深泓处河床的冲深,混凝土异形块会随河床冲刷而下滑填槽。根据长江水利委员会长江科学院研究成果,防冲备填工程按图 1 推求抛护范围 L 及备填量 W_p 。

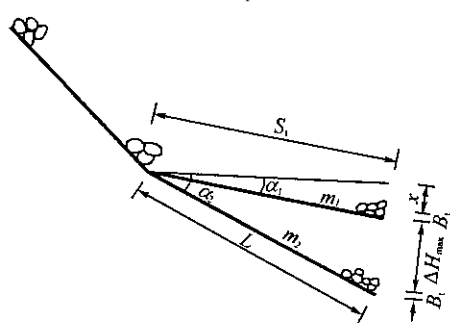


图 1 防冲备填工程抛护范围及备填量示意图

假设:①混凝土异形块只抛至 1:4.0 的河床坡比 m_1 处;②混凝土异形块抛护延伸宽度为 S_1 ,一般取 8~10 m;③深泓河床底冲深后,应保持 1:2.0 的稳定坡比 m_2 ;④抛混凝土异形块河底前沿最大冲深 $\Delta H_{\max}$,一般取 $H_{\max} = 10 \sim 15$ m,则抛护范围为

$$L = S_1 m_1 / m_2 + \Delta H_{\max} / m_2 \quad (13)$$

备填量(备填异形块宜抛 3~4 层厚度)为

$$W_p = K(B_1 L - B_1 S_1) = K_1 B_1 (L - S_1) \quad (14)$$

式中: K_1 为系数,取值 1.1; B_1 为坡脚抛混凝土异形块、钢筋石笼厚度,一般取 1.6~2.8 m; S_1 为坡脚抛混凝土异形块、钢筋石笼宽度,一般取 10~15 m。

3 混凝土异形块和钢筋石笼的施工及效果

3.1 施工

采用 C15 混凝土制作异形块,混凝土异形块的制作可在施工地段,选一块较宽阔、平坦的滩地作预制场,模具可采用翻模、地模、立模。钢筋笼采用 $\varnothing 8$ 、 $\varnothing 6$ 普通钢筋制作。制作时宜先制作模具,用 $\varnothing 8$ 作环向受力筋,用 $\varnothing 6$ 作架立筋,所有节点均应焊接,并在笼壁留一定尺寸的窗口,经质检后备用。

混凝土异形块的运输根据其体积、重量、运距可采取不同方式,通常采用葫芦或叉车在预制场起吊,然后用改装后的拖拉机运输至码头,再由汽车吊、桁吊、塔吊装船,最后用改装后的 150~200 t 的机动驳作水运抛投船的运输方式运至抛投地点。钢筋笼及块石分别运输。钢筋笼在制作现场质检合格后,用船运至指定施工地点的抛投船上,块石从山场、码头,经质检合格后,用专用船运至指定地点抛投船旁备用。

无论是抛块石,还是抛混凝土异形块和钢筋石笼,定位是十分重要的。通常,抛投顺序宜从下游逐渐向上游,从深泓向岸边的顺序抛投。按 15 m 一个断面,从远至近分 3 挡计算抛护量。定位方法是先要在要抛投断面的起止位置各设立两面小红旗,再选择一

艘 150 t 左右的机动铁驳船,在船头、船尾相距 15 m 处各立一面红旗,最后用铁锚将机动铁驳船定位于岸上所设的断面上。

混凝土异形块是在改装的运输船上设置 10 个单独的可向船舷边翻转的承台进行抛投,抛投运输船与定位船必须单独设置。

钢筋石笼是在定位船上设置单个承台或整体平台进行抛投,定位船可兼作抛投船,不必单独设置抛投船。

3.2 效果

混凝土异形块及钢筋石笼在长江下荆江湖南段实施后,经施工前后及汛后 3 次水下地形测图和近几年的测图分析,混凝土异形块、钢筋石笼抛护施工区水下河床坡比由 1:1.5~1:2.0 变为 1:2.0~1:2.5,深泓趋中 20~30 m,近岸流态也大为改善,崩岸得以控制。崩岸段抛投后典型横断面效果图见图 2。

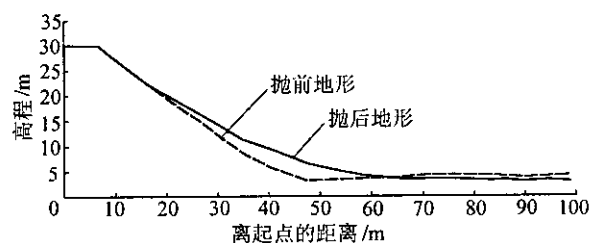


图 2 崩岸段抛投后典型横断面效果示意图

4 结 语

钢筋石笼和混凝土异形块护岸优点是:①漂距小、精度高。实测混凝土异形块及钢筋石笼的漂距最大的仅有 10 m 左右,而抛石时漂距达 30 m 左右,故其施工抛投到点的精度较抛块石要精、要准。②虚方少、数量足。抛混凝土异形块及钢筋石笼能有效地杜绝虚吨位,这是抛石无法做到的。③失效少,作用大。符合粒径要求的块石少,较小的块石漂距大,易冲走,起不了防冲作用,而混凝土异形块和钢筋石笼落点准,覆盖河床严实,固冲作用显著。其缺点是施工难度大,一次性投资相对较高。钢筋石笼和混凝土异形块护岸特别适用于:①迎流顶冲的崩岸强度大的河段;②用块石加固后仍发生崩岸的迎流顶冲段;③块石缺乏的地区。

抛柴石枕和塑袋土枕在护岸初期资金短缺、守护任务大的情况下起了治标的作用,但耐久性较差,易失效。沉柴排或混凝土铰链排虽能较好地覆盖河床,达到防冲护岸的作用,但在水深流急处施工异常困难,既难到位也难达到设计效果。传统的抛石护岸对块石的形状、粒径、级配要求较严,特别是虚方多、效果较差。因而,迫切需要一种替代材料,达到彻底根治崩岸、一劳永逸的目的。对水深流急、冲刷严重、抛石难以稳定的江岸,使用混凝土异形预制块及钢筋石笼这些重型材料进行加固是很有成效的,也有积极的推广价值。

(下转第 70 页)

程序,便于社会监督^[10]。

f. 转变用人机制,吸引 IT 人才投身水利信息化建设。水利信息化行业是一项集水利、信息产业于一体的新型行业,科技含量高,智力密集,所涉及的领域宽广,对实践经验要求高,这就需要一批高素质的信息化专门人才。在我国水利系统人才队伍中,长期存在着“懂水利多,懂电脑少”的现象。要改变现有的人才现状,突破传统的用人机制,改变论资排辈的局面,就必须加强信息化建设队伍的专业化、年轻化、骨干化。对信息化建设的一线人员要将掌握信息化知识的程度和计算机应用水平作为重要的考核内容。要提高水利信息化一线员工的福利待遇,改善办公环境,改变以往认为水利行业条件艰苦的观念,吸引 IT 人才到水利行业就业、创业,吸引一些专业信息化公司从事水利信息化工作。同时,要会同科研单位和大专院校,开展联合攻关,借“脑”加快水利信息化发展。

5 结 语

随着我国经济和社会的发展,水资源所面临的“洪涝灾害、干旱缺水、水污染”三大公害问题日益突出,并已经开始制约国民经济和社会的发展。要解决这些问题,就必须突破传统治水思路,依靠科技进步。在水利现代化建设中,必须大力推进水利信息化的进程,把水利信息化作为一项战略任务,通过国家防汛指挥系统等一系列系统的建设,提高信息采集、传输的时效性和自动化水平,为实现水资源优化配置提供手段,为防汛抗旱提供依据,为水利更好地服务经济社会的发展创造条件。在这个过程中,水利信息化是必由之路,它促进水资源统一管理、优化配置以及水利现代化的实现,从而最终建成中国的“数字水利”工程。

参考文献:

[1] Seam A ,Salewicz K A ,Aronson J E. An interactive reservoir management system for lake Kariba[J]. European Journal of Operational Research ,1998 ,107 :119—136.

[2] 李晶.新时期水利情报信息工作的改革和创新[J].水利发展研究,2001(6):31—33.

[3] 谭华,刘耘,桂文军.水利信息化标准体系建设初探[J].人民长江,2003(12):41—43.

[4] 谭徐明,吕娟.江河水利志是水利信息化建设的重要基础工作[J].中国水利,2003(8):73.

[5] 王巍.发展骨干通信网 服务水利信息化[J].北京水利,2003(2):38—39.

[6] 张建云.水利信息化的发展思路和建设任务[J].中国水利,2003(9):31—33.

[7] 蔡阳.信息化推动现代化——水利迎接“数字”挑战[J].中国水利,2003(2):28—31.

[8] 李汝庆,程伟传.关于加快水利信息化建设的思考[J].

吉林水利,2003(5):32—33.

[9] 胡国星.关于水利信息化的若干思考[J].中国水利,2002(11):50—51.

[10] 刘汉字.水利信息化标准体系建设思路[J].水利技术监督,2003(1):9—11.

(收稿日期 2004-03-11 编辑 熊水斌)

(上接第 63 页)

参考文献:

[1] 姜文来.水资源价值论[M].北京:科学出版社,1998. 88—89,120—128.

[2] 张屹山.影子价格的经济含义及其应用[J].吉林大学社会科学学报,1990(2):78—83.

[3] 毛春梅,陶晓燕,朱九龙,等.影子价格法在水资源价值理论测算中的应用[J].自然资源学报,2002,17(6): 757—761.

[4] 李金昌.资源核算论[M].北京:海洋出版社,1991. 85—90.

[5] 辛长爽,金锐.水资源价值及其确定方法研究[J].西北水资源与水工程,2002,13(4):15—17.

[6] 吴新民,潘根兴.自然资源价值的形成与评价方法浅议[J].经济地理,2003,23(3):323—326.

[7] 陈祖海.基于边际机会成本理论的水资源定价实证分析[J].中南民族大学学报(自然科学版),2003,22(4):75—77.

[8] 黄廷林,李梅,王晓昌,等.再生水资源价值理论与价值模型的建立[J].中国给水排水,2002,18(12):22—24.

[9] 邱德华,沈菊琴.水资源资产价值评估的收益现值法研究[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(2):26—29.

[10] 李永根,王晓贞.天然水资源价值理论及其实用计算方法[J].水利经济,2003,21(3):30—32.

[11] 沈大军.水价理论与实践[M].北京:科学出版社,1999. 98—116.

[12] 胡岩,曹升乐,赵然杭,等.水资源价值模糊评判模型[J].山东大学学报(工学版),2003,33(3):341—345.

[14] 司训练,张华伦,李玲.水资源层次优化定价问题研究[J].价格理论与实践,2003(7):46—47.

(收稿日期 2004-04-20 编辑 熊水斌)

(上接第 33 页)

参考文献:

[1] GB50289-98 堤防工程设计规范[S].

[2] SL260-98 堤防工程施工规范[S].

[3] 董哲仁.堤防除险加固实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1999.

[4] 董哲仁.堤防抢险实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1999.

(收稿日期 2004-08-05 编辑 熊水斌)