

抛石块体稳定重量分析

龚静怡¹,瞿凌锋²,张 玮³

(1.河海大学水资源开发教育部重点实验室,江苏 南京 210098 ;2.江苏省交通规划设计院,江苏 南京 210005 ;
3.河海大学交通学院,江苏 南京 210098)

摘要 :在分析研究抛石块体稳定重量与水流流速之间关系的基础上,探讨平原河流与山区河流的抛石稳定问题.研究表明:平原河流流速较小,对块石的重量要求不会超过 70 kg,抛石稳定问题并不突出;山区河流流速较大,对块石的重量要求达数吨之重,且采料不易,施工也难,抛石稳定问题十分突出.据此建议:在进行抛石重量计算时,应尽可能准确估算流速值,慎重选取安全系数.

关键词 抛石块体 稳定重量 平原河流 山区河流

中图分类号 :TV135.5 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2004)06-0047-02

在河道护岸、闸下防冲、围海造地等工作中,经常需要实施护底工程,保护河床免受冲刷.在设计抛石护底时,块石的稳定重量是十分重要的技术指标,关系到护底工程的安全,必须予以高度重视.本文拟根据泥沙运动基本理论,分析研究护底块石的稳定重量与起动流速之间的关系,所得结果对于抛石护底工程的设计具有一定的参考价值.

1 块石稳定重量与起动流速

水流作用下护底块石的稳定性问题,其实质就是块石的起动问题^[1].目前,国内外与此相关的计算公式较多,形式多样.其中,常用的公式有伊兹巴什公式^[2]、沙莫夫公式^[3]等.

由伊兹巴什公式可得块石粒径与起动流速之间的关系:

$$D = K_1' \frac{\rho_0}{g(\rho_s - \rho_0)} v_c^2 \tag{1}$$

式(1)中没有考虑水深 H 对起动流速的影响,如果考虑水深的影响,则可采用沙莫夫一类的公式^[1,2]:

$$D = K_2' \left[\frac{\rho_0}{g(\rho_s - \rho_0)} \right]^{\frac{3}{2}} H^{-\frac{1}{2}} v_c^3 \tag{2}$$

式中: D 为块石的球形等容粒径; v_c 为起动流速; H 为水深; K_1' 、 K_2' 为系数,与护底块石的排列方式有关; g 为重力加速度; ρ_s 为块石密度; ρ_0 为水的密度.

由于块石重量 W 与块石粒径 D 的 3 次方成正比,即

$$W = A\rho_s g D^3 \tag{3}$$

将式(3)代入式(1)或式(2),可得出基于伊兹巴什公式或沙莫夫公式的块石稳定重量:

$$W_s = K_1 \rho_s g \left[\frac{\rho_0}{g(\rho_s - \rho_0)} \right]^3 v_c^6 \tag{4}$$

$$W_s = K_2 \rho_s g \left[\frac{\rho_0}{g(\rho_s - \rho_0)} \right]^{\frac{9}{2}} H^{-\frac{3}{2}} v_c^9 \tag{5}$$

式中: W_s 为块石稳定重量; A 为体积系数; K_1 、 K_2 为系数.

2 块石稳定重量

从式(4)或(5)可以看出,块石稳定重量与流速的高次方成正比,例如,按伊兹巴什公式为 6 次方,按沙莫夫公式为 9 次方.显然,块石稳定重量对流速的变化非常敏感,流速的微小变化将会对块石稳定重量产生较大影响.图 1 为按上述两公式(对于沙莫夫公式取水深 $H = 1.0\text{ m}$)计算所得起动流速与块石稳定重量关系图.由图不难看出:

- a. 当流速小于 4.0 m/s 时,按伊兹巴什公式计算的结果相对较大,块石稳定重量偏于安全,而当流速大于 4.0 m/s 以后,则情况刚好相反,从偏于安全的角度,此时应该采用沙莫夫公式确定块石的稳定重量.
- b. 当水流流速介于 $2.0 \sim 3.0\text{ m/s}$ 时,按伊兹巴什公式计算的块石稳定重量为 $6.1 \sim 69.3\text{ kg}$.对于平原地区河流,一般水流流速不会超过 3.0 m/s ,且 70 kg 左右的石料较易获取,施工难度也不大,所以,对于平原地区的河流来说,抛石块石的稳定性问题

基金项目 交通部西部交通建设科技资助项目(2001-318-224-68)
作者简介 龚静怡(1959—),女,江苏南京人,工程师,从事水资源管理工作.

并不突出.

c. 当水流流速介于 4.0 ~ 5.0 m/s 时,按沙莫夫公式计算的块石稳定重量达到 394.4 ~ 2938.7 kg,对于山区河流、闸下冲刷段、龙口堵口段等,4.0 ~ 5.0 m/s 的流速较为常见,局部流速甚至超过 5.0 m/s^[4],但是,就 1 ~ 3 t 重的块石来说,既不易取料,也不易施工,所以,在山区河流等大流速经常出现的河段,抛石块体的稳定问题较为突出.

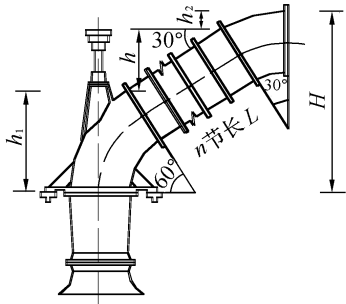


图 1 起动流速与块石稳定重量的关系

3 安全系数的选取

在进行抛石设计时,其一般步骤为:①根据工程河段的水流条件,按公式计算抛石块体的稳定重量;②选取一定的安全系数,并据此确定最终的块石重量.通常,设计人员是将计算求得的块石重量乘上安全系数,以便留有一定的安全储备,也就是说安全系数是取在块石重量上.尽管这是常规的处理方法,表面上看起来无可厚非,但是,如果进一步对其进行分析,就会发现如此设计的块石重量是不具备原来所期望的安全储备的.选取安全系数的主要原因是人们对于影响安全的动力因素无法准确估计,所以必须留有一定的富裕,以保安全.在确定块石重量时,主要的动力因素是流速,在此,流速是最主要的不确定因素,而且在山区河流等河段流速变化范围较大^[4],这也是许多抛石建筑物破坏的主要原因.因此,安全系数究竟是取在稳定重量上还是取在作用流速上,需要进行深入的讨论和研究.

一般情况下,安全系数的取值介于 1.1 ~ 1.5.如果安全系数取在稳定重量上,则根据伊兹巴什公式和沙莫夫公式可以计算与之对应的起动流速的变化倍数,结果见表 1,如果安全系数取在作用流速上,同样可以计算与之对应的块石稳定重量的变化倍数,结果见表 2.由表 1 可见,稳定重量的较大增加,仅仅导致起动流速的有限提高,如稳定重量的设计安全系数取为 1.5 时,起动流速仅提高 7%(按伊兹巴什公式)和 5%(按沙莫夫公式).表 2 则表明,设计流速的较小增幅,将导致块石稳定重量的成倍增长,如当流速的设计安全系数取为 1.5 时,按伊兹巴什公式计算的块石

重量为原重量的 11.39 倍,而按沙莫夫公式计算所得的块石重量甚至可达原重量的 38.44 倍.

表 1 起动流速变化倍数随重量安全系数变化情况

重量安全系数	起动流速变化倍数	
	伊兹巴什公式	沙莫夫公式
1.0	1.00	1.00
1.1	1.02	1.01
1.2	1.03	1.02
1.3	1.04	1.03
1.4	1.06	1.04
1.5	1.07	1.05

表 2 块石稳定重量变化倍数随流速安全系数变化情况

流速安全系数	块石稳定重量变化倍数	
	伊兹巴什公式	沙莫夫公式
1.0	1.00	1.00
1.1	1.77	2.36
1.2	2.99	5.16
1.3	4.83	10.60
1.4	7.53	20.66
1.5	11.39	38.44

为能更形象地说明问题,取水深为 1.0 m,流速为 3.5 m/s 的水流条件,按沙莫夫公式进行计算,求得块石稳定重量为 118 kg;如流速安全系数取为 1.2,对应流速变为 4.2 m/s,块石稳定重量为 612 kg,约为原来重量的 5.16 倍;如流速安全系数取为 1.5,则对应流速增至 5.25 m/s,块石稳定重量将达到 4559 kg,约为原来重量的 38.44 倍.由此可见,安全系数取在流速上还是取在块石重量上,其结果是完全不同的.

4 结 论

本研究结果表明:①块石稳定重量与水流流速的高次方成正比,流速的微小变化将会对块石稳定重量产生较大影响;②对于平原河流来说,水流流速一般小于 3.0 m/s,块石重量要求不超过 70 kg,抛石稳定问题并不突出;③对于山区河流、闸下冲刷段、围海造地工程等,最大流速可达 5 m/s,块石重量需达数吨,且采料不易,施工也难,抛石稳定问题十分突出;④在进行抛石重量计算时,应尽可能准确估算流速极限值,而且,安全系数的选取也需慎重考虑.

参考文献:

[1] 张玮,瞿凌锋,徐金环.山区河流散抛石坝水毁原因分析[J].水运工程,2003(4):10~12.
[2] 陈吉余.中国围海工程[M].北京:中国水利水电出版社,2000.185~201.
[3] 王昌杰.河流动力学[M].北京:人民交通出版社,2001.26~27.
[4] 李伯海,李一兵,黄君宝.北盘江岩架滩航道整治工程试验研究[R].天津水运科学研究所,2002.

(收稿日期 2004-08-16 编辑:马敏峰)