

文章编号:1004-4116(2021)02-0050-04

基于“甘肃武都火烧沟”公式的泥石流 横向分布计算

张永军^{1,2},李松^{1,2}

(1. 甘肃省地质环境监测院,甘肃 兰州 730050;2. 甘肃省地下水工程与地热资源重点实验室,甘肃 兰州 730050)

摘要:流速在泥石流防治工程设计中处于重要地位,如何有效获取准确的流速十分关键。在泥石流拦挡工程设计时往往采用平均流速,而对近年来陇南地区泥石流拦挡工程的调查,发现泥石流流速在横向断面分布上具有一定的不均匀性,导致部分拦挡坝体中部易遭受损毁。在“甘肃武都火烧沟”公式基础上,基于冲淤平衡等合理化假设,利用数学积分原理,提出泥石流横向分布计算公式,可供防治工程设计时参考借鉴。

关键词:泥石流流速;横向分布;计算;甘肃武都

中图分类号:P642. 23 **文献标志码:**A

泥石流流速是泥流动力学性质中的重要指标,是计算泥石流流量和冲击力的基础,也是泥石流防治工程设计中的不可缺少的计算依据。据近年来的调查,泥石流的流速在横向断面上分布应是不均匀的,呈现中间流速大两侧流速小的总体特征^[1-4]。而目前泥石流拦挡坝设计时常采用平均流速,往往导致坝体在坝肩上材料有所浪费,而坝体中部又有所欠缺,出现两侧坝肩完好,而中部遭受变形破坏的现象。康志成等基于东川蒋家沟泥石流的观测,判断了泥石流表面流速中间大、两侧小的特点,并指出了泥石流平均流速仅为中泓线流速的0.3~0.4倍^[3-4]。徐林荣等建立了泥石流流速横向分布公式,并通过工程实例进行了验证分析,发现泥石流流速在横向上呈现出非线性分布规律,与东川蒋家沟泥石流监测结果具有一致性,且发现两侧流速仅为泥石流中泓线流速的25%^[5]。结合陇南山地普遍使用的“甘肃武都火烧沟”公式,基于冲淤平衡等合理化假设,利用数学积分原理,建立泥石流横向分布计算公式。

1 “甘肃武都火烧沟”公式

泥石流的流速计算需要综合考虑多种因素,一般主要有直接观测法、调查访问法及经验公式法。其中经验公式法往往由直接观测法观测的数据进行统计学分析得来,因此实际设计中应用较多的为经验公式法^[1,5]。在甘肃省泥石流的研究中,李鸿璜、曾思伟等人曾进行了陇南地区柳湾沟、山背后沟、火烧沟、泥湾沟等泥石流流速的现场观测,得到了相应的泥石流流速。继而在水力学曼宁公式的基础上考虑沟床糙率系数、泥位深度和比降,得出了甘肃武都地区粘性泥石流公式,俗称“甘肃武都火烧沟”公式(1)。该公式具适用性强,精度高的特点,是区内使用最为普遍的公式,且可用于限制条件下的稀性泥石流^[6]。

$$V_c = m_c H_c^{2/3} I_c^{1/2} \quad (1)$$

式中: V_c 为泥石流断面平均流速; m_c 为泥石流沟床糙率系数(用内插法查表); H_c 为平均泥深; I_c 为泥石流水力坡度(用小数表示)。

2 基于“甘肃武都火烧沟”公式的泥石流 横向分布计算

收稿日期:2019-04-24

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项“建设生态安全屏障多地貌典型区地质灾害防治示范”(201511053)

作者简介:张永军(1976~),甘肃榆中人,高级工程师,水工环地质专业,从事水工环地质与地质灾害防治工作。

E-mail:445880788@qq.com



照片1 泥湾沟内受破坏的4号坝体

Photo 1 Damaged No. 4 dam in Niwan Gully



照片2 泥湾沟内受破坏的5号坝体

Photo 2 Damaged No. 5 dam in Niwan Gully

对陇南地区泥湾沟等泥石流调查发现,泥石流的流速在横向断面上分布不均匀,呈现中间流速大两侧流速小的总体特征,而目前的泥石流坝体设计中常使用平均流速进行设计,往往导致设计的坝体中部易遭受破坏(照片 1,2)。

结合陇南山地普遍使用的“火烧沟”公式,基于冲淤平衡等合理化假设,利用数学积分原理,提出泥石流横向分布计算公式。

以理想化“V”型沟道底边点为原点,建立相应的坐标系(图 1),由此可知,任一积分断面的流量:

$$Q_i = h_x V_c d_x \quad (2)$$

将式(2)带入可得:

$$Q = \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^i Q_i = \int_0^h d_y \int_0^{\frac{y}{i_1}} V_c h_x d_x + \int_0^h d_y \int_0^{\frac{y}{i_2}} V_c h_x d_x$$

$$= \int_0^h d_y \int_0^{\frac{y}{i_1}} m_c h_x^{5/3} I_c^{1/2} d_x + \int_0^h d_y \int_0^{\frac{y}{i_2}} m_c h_x^{5/3} I_c^{1/2} d_x \quad (3)$$

式中: x 为距离沟道最低点的距离 (m); h_x 为距最低点 x 处的泥深(m); h 为沟道中心点泥位 (m); i 为横坡坡降 ($\%$); V_c 为泥石流断面平均流速; I_c 为泥石流水力坡度(用小数表示)。

$$hx = h - xi_1 (x > 0) \quad hx = h + xi_2 (x < 0) \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)中积分后可得:

$$Q = \frac{3I_c^{1/2}}{11m_c} h^{3/11} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) \quad (5)$$

由上式可知, h 是关于 i, I_c, Q 的函数,这 4 个相关参数中,任意断面处的 Q 可使用雨洪法进行计算, I_c, i_1, i_2 可以通过直接测得取得,这样就可以容易求出 h 值,最后将 h 代入式(5)即可求出 h_x ,把 h_x 代入式(2),就可就得与沟道最低点距离 x 处的任意位置的流速横向分布公式(6),这里称为基于“火烧沟”公式的泥石流横向分布计算公式。

2.1 基本假设

(1)所取断面位置的泥石流基本处于冲淤平衡状态,沟道较为顺畅,无阻塞,无回流,即采用形态调查法与雨洪法计算的流量基本一致;

(2)泥石流为连续介质,流面水平;

(3)由于陇南地区泥石流沟道多为“V”型,将泥石流沟道断面视为理想化“V”型线;

(4)流量总体不损失,即总流量与各积分小断面流量之和相等。

2.2 公式推导

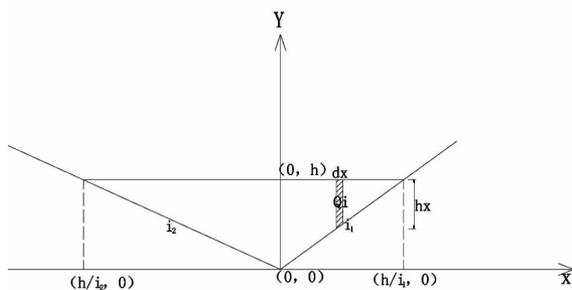


图 1 模型坐标系图

Fig. 1 Model coordinate system

$$V_c(x) = \left\{ \left[\frac{11Q}{3m_c I_c^{1/2} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right)} \right]^{3/11} - x i_1 \right\}^{2/3} I_c^{1/2} m_c \quad (x \geq 0)$$

$$V_c(x) = \left\{ \left[\frac{11Q}{3m_c I_c^{1/2} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right)} \right]^{3/11} - x i_2 \right\}^{2/3} I_c^{1/2} m_c \quad (x < 0) \quad (6)$$

由此可知,当 $x=0$ 时,泥石流的流速最大,随 x 值的变化,逐步减小,验证了流速横向分布应是中间大两侧小的非线性分布规律,这一规律对拦挡坝体的优化具有重要意义。

2.3 公式应用

2017年8月7日,陇南市武都区安化镇马家沟爆发泥石流,经详细勘查计算得出,泥石流的容重为 1.65 t/m^3 ,设计1号拦挡坝处为典型“V”型沟道,设计流量(5%) $Q = 91.91 \text{ m}^3/\text{s}$,平均泥深 $H_c = 2.0 \text{ m}$,糙率 $m_c = 11$, $I_c = 0.07$,利用经验公式(1)计算的得

表1 马家沟泥石流流速横向速度分布表
Table 1 Horizontal velocity distribution of debris flow in Majiagou

距离沟道最低点的距离 x (m)	平均流速 (m/s)	横向流速 (m/s)
0	4.62	5.55
0.5	4.62	5.17
1	4.62	4.77
1.5	4.62	4.36
2	4.62	3.93
2.5	4.62	3.48
3	4.62	2.99
3.5	4.62	2.46
4	4.62	1.86
-0.5	4.62	5.05
-1	4.62	4.53
-1.5	4.62	3.97
-2	4.62	3.38
-2.5	4.62	2.73
-3	4.62	1.98
-3.5	4.62	1.05

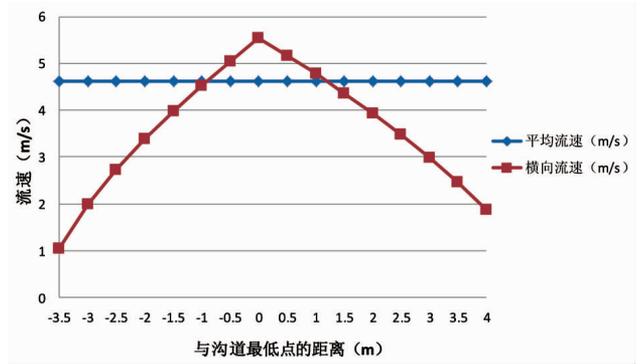


图2 马家沟泥石流流速横向分布与平均流速对比图
Fig. 2 Comparison of flow rate of debris flow in Majiagou with average flow rate

出的平均流速为 4.62 m/s ,两侧沟道坡度 $i_1 = 0.53$ 、 $i_2 = 0.69$ 。

据式(6)计算可得,当 $x = 0$ 时,即最大流速 $V_c = 5.55 \text{ m/s}$,略大于平均流速,两侧流速依次较小,最大流速是最小流速的5倍左右(表1,图2),体现了泥石流流速横向上的分布特征。

3 结语

在考虑泥石流流速在横向断面上分布不均匀,且呈现中间流速大两侧流速小的总体特征,建立基于“火烧沟”公式的泥石流流速横向分布计算公式。在对马家沟泥石流试算应用后,发现1号拦挡坝处最大流速 $V_c = 5.55 \text{ m/s}$,略大于平均流速,两侧流速依次较小,最大流速是最小流速的5倍左右,很好的体现了泥石流流速横向上的分布特征,在拦挡坝工程结构设计时应充分考虑这种现象。

参 考 文 献

- [1] 韦方强,胡凯衡. 泥石流流速研究现状与发展方向[J]. 山地学报, 2009, 9(9): 545-550
- [2] 徐林荣,韩征,苏志满,等. 泥石流流速横向分布特征与防治工程结构优化[J]. 岩土力学, 2012, 33(12): 3715-3728
- [3] 康志成,李卓芬,马藹乃,等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 159-162
- [4] 康志成. 云南东川蒋家沟粘性泥石流流速分布[C]//中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊(4). 北京: 科学出版社, 1984: 108-118
- [5] 朱兴华,崔鹏,唐金波,等. 粘性泥石流流速计算方法[J]. 泥沙研究, 2013: 59-64
- [6] 中国科学院兰州冰川冻土研究所,甘肃省交通科学研究所. 甘肃泥石流[M]. 北京: 人民交通出版社, 1982

HORIZONTAL DISTRIBUTION CALCULATION OF HUOSHAOGOU DEBRIS FLOW IN WUDU DISTRICT OF GANSU PROVINCE

ZHANG Yong-jun^{1,2}, LI Song^{1,2}

(1. Gansu Geological Environment Monitoring Institute, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Groundwater Engineering and Geothermal Resources in Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The flow rate is very important in the design of debris flow control engineering. How to obtain accurate flow rate effectively is very important. In the design of debris flow blocking engineering, the average flow rate is often used. In recent years, the investigation of debris flow blocking engineering in South Gansu area has found that the flow rate of debris flow has a certain degree of heterogeneity in the distribution of transverse sections, resulting in the partial barrier body being easily damaged. On the basis of the "wudu fire ditch" formula in Gansu province, based on the rational assumption of balance of washing and silting, the calculation formula of the lateral distribution of debris flow is put forward by using the mathematical integral principle, which can be used for reference in the design of prevention and control engineering.

Key words: flow of debris flows; horizontal distribution; Wudu District of Gansu Province