

西藏古乡沟泥石流流速*

程尊兰 刘雷激 游勇

(中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 根据水力学原理和古乡沟泥石流实测资料,结合试验数据,经计算分析,提出了泥石流流速 $U_m = K_c K H^{3/4} I^{1/2} / n_c$. 这个公式为整治古乡沟泥石流和川藏公路沿线泥石流沟提供了参数.

关键词 西藏 古乡沟 泥石流 表面流速 断面平均流速

古乡沟位于西藏东南部波密县境内. 1953年暴发了特大粘性冰川泥石流,洪峰流量 2.86 万 m^3/s . 1953年后暴发泥石流 6 000 次. 为确保川藏公路的畅通,据整治工程需要,对古乡沟泥石流流速进行了动力学模型试验. 模型试验的各种流体根据二十五年一遇,总量 1.1 m^3 (原型 110 万 m^3),流量 7.3 m^3/s (原型流量 730 m^3/s);五十年一遇,总量 1.8 m^3 (原型 180 万 m^3),流量 12.6 m^3/s (原型流量 1 260 m^3/s)分别试验. 试验 18 次;工程前试验 10 次,工程后试验 8 次. 在试验模型上布置了:上断面、中断面、下断面(跨公路).

1 泥石流表面流速 $V_0(m/s)$

试验观测中所测得的是表面中泓流速. 测量方法用浮标法与录相判读相结合.

1.1 修筑泥石流排导工程前

1. 水石流($\gamma_c = 1.5 t/m^3$)二十五年一遇的表面中泓流速 7.8~6.0 m/s ,五十年一遇的表面中泓流速 9.1~7.1 m/s ; 2. 稀性泥石流($\gamma_c = 1.8 t/m^3$)二十五年一遇的表面中泓流速 9.1~6.5 m/s ; 3. 粘性泥石流($\gamma_c = 2.0 t/m^3$)二十五年一遇的表面中泓流速约 7.0 m/s ,五十年一遇表面中泓流速 8.5~6.0 m/s .

1.2 修筑泥石流排导工程后

堆积扇模型试验了二十五年一遇泥石流 7 次,五十年一遇的水石流 1 次.

1. 粘性泥石流表面的中泓流速 8.8~6.7 m/s ; 2. 稀性泥石流表面的中泓流速 9.2~7.2 m/s ; 3. 水石流当暴发二十五年一遇的表面中泓流速 9.5 m/s ,当暴发五十年一遇的表面中泓流速 9.9~7.6 m/s .

2 泥石流断面平均流速 $V_{cp}(m/s)$

$$V_{cp} = K_c V_0, \quad (1)$$

式中 K_c 为考虑泥石流流速垂向及横向分布的流速系数; V_0 为实测表面中泓流速(m/s).

根据古乡沟泥石流模型试验资料与野外泥石流实地考察、观测资料分析、计算所得的

* 参加工作的还有:胡平华、洪勇、余斌、何淑芬、吕娟.

本文收稿日期:1997-08-17.

古乡沟水石流、稀性泥石流、粘性泥石流的断面平均流速系数分别为： $V_{cp水}=0.60V_0$ ； $V_{cp稀}=0.50V_0$ ； $V_{cp粘}=0.40V_0$ 。

2.1 修筑泥石流排导工程前

1. 水石流暴发二十五年一遇的断面平均流速 4.7~3.6m/s, 暴发五十年一遇的断面平均流速 5.5~4.3m/s; 2. 稀性泥石流暴发二十五年一遇的断面平均流速 3.7~2.9m/s, 暴发五十年一遇的断面平均流速 4.6~3.3m/s; 3. 粘性泥石流暴发二十年五一遇的断面平均流速 2.8~2.0m/s, 暴发五十年一遇的断面平均流速 3.4~2.4m/s。

2.2 修筑泥石流排导工程后

1. 粘性泥石流暴发二十五年一遇的断面平均流速 3.5~2.7m/s; 2. 稀性泥石流暴发二十五年一遇的断面平均流速 4.6~3.6m/s; 3. 水石流暴发二十五年一遇的断面平均流速 5.7~3.7m/s, 暴发五十年一遇的断面平均流速 5.9~4.6m/s。

3 古乡沟泥石流模型试验流速特征

由古乡沟泥石流模型试验统计资料计算结果(表1)可看出, 古乡沟泥石流通过不同类型、不同规模、不同观测断面, 以及修筑整治工程前后的模型试验, 泥石流流速变化大, 且变化规律性十分明显。

3.1 不同观测断面的泥石流流速变化

泥石流在流动过程中, 有沿程铺床作用和漫流作用。从上断面、中断面直至下断面, 泥石流从上到下泥深减小, 流速减慢: 上断面泥深 1.9m, 断面平均流速 4.7m/s; 中断面泥深 1.5m, 断面平均流速 4.1m/s; 下断面泥深 1.2m, 断面平均流速 3.6m/s。又如: 上断面泥深分别为 2.1m 与 2.5m, 平均流速分别为 3.7m/s 与 2.5m/s; 中断面泥深分别为 1.8m 与 2.3m, 平均流速分别为 2.9m/s 与 2.0m/s。

粘性泥石流浆体容重 $2.0t/m^3$, 分流现象弱, 但铺床明显, 泥深和流速变化较小。如上断面泥深 2.5m, 平均流速 2.8m/s; 中断面泥深 2.3m, 平均流速 2.5m/s; 下断面泥深 1.7m, 平均流速 2.0m/s。

3.2 不同类型的泥石流流速变化

流体内的沙石及粘土含量不同, 水土比不一样, 物理性质的差异较明显。随着浆体沙石及粘土含量减少, 可塑性增强, 流动过程中漫流作用发育, 铺床作用减弱, 局部产生冲刷现象, 导致泥深减小, 流速减慢。如流体为沙石含量少的水石流, 浆体容重 $1.5t/m^3$, 流速减少 0.8m/s, 比泥石流流速低 20% 左右。

表 1 古乡沟泥石流流速试验数据
Table 1 Experimental data of debris flow velocity in Guxiang Ravine

实验次号	最大流速(m/s)		最小流速(m/s)		$\gamma_c(t/m^3)$
	模型	原型	模型	原型	
95001	0.78	7.80	0.60	6.00	1.05
95002	0.79	7.90	0.60	6.00	1.50
95003	0.78	7.80	0.60	6.00	1.50
95004	0.91	9.10	0.71	7.10	1.50
95005	0.73	7.30	0.58	5.80	1.80
95006	0.73	7.30	0.57	5.70	1.80
95007	0.90	9.00	0.65	6.50	1.80
95008	0.70	7.00	0.50	5.00	2.00
95009	0.70	7.00	0.50	5.00	2.00
95010	0.85	8.50	0.60	6.00	2.00
修筑泥石流排导槽以后					
95011	0.87	8.70	0.80	6.80	2.00
95012	0.88	8.80	0.67	6.70	2.00
95013	0.91	9.10	0.75	7.50	1.80
95014	0.92	9.20	0.72	7.20	1.80
95015	0.95	9.50	0.74	7.40	1.55
95016	0.95	9.50	0.78	7.80	1.55
95017	0.94	9.40	0.74	7.40	1.55
95018	0.99	9.90	0.76	7.60	1.55

不同类型的泥石流在同一环境下的泥深和流速具有较大的差异, 流体中沙石含量越高, 浆体容重越大, 泥位增高, 流速减慢. 如上断面($\gamma_c = 1.5 \text{ t/m}^3$)断面平均流速分别为 4.7 m/s, 3.7 m/s, 2.8 m/s.

3.3 不同规模的泥石流流速变化

不同的泥石流规模, 直接影响流速变化, 一般规模越大, 流速也随之增大. 相比之下, 泥石流类型对流速影响较小, 差异比低于 10%. 如二十五年一遇与五十年一遇的水石流, 平均流速分别为 4.7 m/s 与 5.4 m/s, 流速增大 0.7 m/s; 二十五年一遇与五十年一遇的粘性泥石流, 平均流速分别为 2.8 m/s 与 3.4 m/s, 流速增大 0.6 m/s.

3.4 修筑工程后的泥石流流速变化

为确保公路畅通, 对古乡沟进行了泥石流防护工程的模型设计和实施. 经多次工程修改和模型试验, 使流速增大到理想的量级, 为古乡沟泥石流整治建立了最佳格架(表 2).

表 2 古乡沟修筑整治工程前后泥石流流速变化
Table 2 Variation of debris flow velocity before and after building engineering in Guxiang Ravine

工程概况	工 程 前		工 程 后	
暴发频率(a)	25	50	25	50
浆体容重(t/m^3)	1.50	1.50	1.55	1.55
断面坡度(%)	15.80	15.80	15.80	15.80
泥深(m)	1.80	2.10	2.00	2.50
平均流速(m/s)	4.68	5.34	5.64	5.94
实验次号	95001	95004	95017	95018

4 古乡沟泥石流流速公式

根据水力学原理和古乡沟泥石流实测资料, 结合古乡沟泥石流模型试验数据得

$$U_m = K_c K H_c^{3/4} I^{1/2} / n_c, \quad (2)$$

式中 U_m 为泥石流流速(m/s); K_c 区域系数, 古乡沟 K_c 取 3.9; K 为流速分布系数, 古乡沟 K 取 0.5; n_c 为河床糙率, 水石流: n_c 取 0.2, 稀性泥石流: n_c 取 0.3, 粘性泥石流: n_c 取 0.5; H_c 为泥深(m); I 为沟床比降(%).

该泥石流流速公式, 通过点图和回归分析, 其相关系数 $R = 0.852$, 在 $\delta = 0.011$ 水平上显著相关. 用古乡沟泥石流实测数据对比计算结果显示, 平均误差 0.924%, 最大误差 19.400%, 对古乡沟泥石流有代表性, 也适用于川藏公路沿线泥石流.

DEBRIS FLOW VELOCITY OF GUXIANG RAVINE, XIZANG

Cheng Zunlan Liu Leiji You Yong

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences

& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)

Abstract

According to the hydraulic theory, field data and experimental data, a velocity formula is proposed; $U_m = K_c K H_c^{3/4} I^{1/2} / n_c$. The formula can be used to calculate the debris flow velocity of Guxiang Ravine and of other ravines along the Sichuan—Xizang Highway.

Key words Xizang, Guxiang Ravine, debris flow, surface velocity, mean section velocity