

# 泥石流排导槽最小不淤纵坡初步试验研究

游勇

(中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 纵坡是泥石流排导槽设计重要参数之一。通过试验研究,对 2 组粒径级配, 8 种不同容重的泥石流在排导槽内运动最小纵坡进行研究,结果表明: (1) 粒径小于 0.05 mm 的泥流可以在很小排导坡度下流动;同一容重、级配的泥石流,随排导槽纵坡减小,槽内运动速度逐渐减缓,泥深增大;(2) 随泥石流容重的增大,排泄所需纵坡将增加;泥石流最小不淤纵坡除与容重有关外,还与固体物质粒径大小、细颗粒含量等有密切关系。

**关键词:** 排导槽; 最小不淤纵坡; 试验

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2000)06-0036-03

中图分类号: P642.23

## A Preliminary Experimental Study on Gradient of Debris Flow Drainage Canal

YOU Yong

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and  
Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, Sichuan Province, PRC)

**Abstract** By using a dynamic experimental devices of debris flow, a series of indoor model tests on debris flow passing through drainage canal are carried out. The shape of cross-section of model drainage canal is rectangled with a width of 25 cm. The solid material is take from the Jiangjia ravine of which the gravel's maximum diameter is 40 mm. The test results are as follows: (1) Debris flow of the maximum diameter of < 0.05 mm can move on very small gradient of drainage canal; (2) The larger density of debris flow, the larger gradient of drainage is; (3) The gradient of moving debris flows in the drainage are relation with the density of debris flow, gravel's maximum diameter and fine particles.

**Keywords** drainage canal; the gradient of moving debris bodies; test

排导槽是泥石流灾害防治中使用最为广泛的工程措施之一,常用于山前区城镇、工矿区、村庄、交通等的泥石流灾害防治中。泥石流具有容重大、流体中巨石粒径大且多的特殊性,泥石流排导中的高浓度输移和累积性淤积问题,使得排导槽的设计与一般洪水或一般挟沙水流排洪道的设计有所不同。排导槽一般布置在沟口泥石流堆积扇上,受地形条件限制,排导纵坡较小,地形常不能满足排导泥石流的需要。由于调整排导槽纵坡很困难,工程优化设计中常需要确定排导槽最小不淤纵坡,以最小的投资获得最好的排导效果。排导槽纵坡目前通常是采用经验法、类比法和实验法进行确定。经验法根据以往工程和研究的积累,提出一定的纵坡范围,文献 [1] 中,对不同类别稀性泥石流和黏性泥石流提出了合理纵坡建议,文献

[3] 提出稀性泥石流排导槽纵坡 3%~10%,黏性泥石流 5%~18%。类比法主要选择流通段沟床进行类比,而在有条件情况下,可通过试验方法确定排导槽纵坡。在目前研究及设计工程中,对排导最小纵坡研究相对较少,一般认为排导槽最小纵坡不应小于泥石流运动最小临界坡度,而实际上由于排导槽特别是全砌护排导槽的边界条件与天然沟床有较大的差异,应充分考虑这些差异。排导槽为泥石流运动排泄提供底床和能量条件,若纵坡提供的输移力与流动阻力相等,则泥石流在槽内能顺畅流动,否则泥石流在排导槽内大量落淤,严重影响排导槽的正常运行,从大量实际工程调查来看,纵坡选择不当,往往给排导槽带来不良后果。槽体纵坡选择适当与否是排导槽成功关键之一。

收稿日期: 2000-06-02

资助项目: 中国科学院重大项目“中国山区城镇泥石流综合减灾技术”(KZ951-B1)

作者简介: 游勇(1964-),男(汉族),四川乐山人,工学硕士,副研究员,从事山地灾害研究和防治工程设计。电话(028)5229892

# 1 实验设备和工艺流程

## 1.1 实验设备

实验在中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所的泥石流模拟实验室内进行,设备主要由供流系统、排导实验槽和贮料池三大部分组成。排导实验槽长 6m,宽 25cm,高 30cm,槽可调纵比降 0~2.5%。

## 1.2 实验流程

实验流程如图 1 所示,将按要求配制好的泥石流物料放入贮料池中,实验时,先开动提升机,待机械运转正常后,缓缓开启闸门,先将泥浆有控制放出,再将其余物质逐渐放入参与循环,通过反复的自动循环搅拌,使泥石流流体达到均匀,在实验排导槽中测试运动参数,然后改变排导槽纵坡,重复上面实验测试内容。

## 1.3 量测内容

实验量测内容包括: (1) 表面流速; (2) 泥深; (3) 流体含沙量; (4) 排导实验槽试验纵坡; (5) 最

小纵坡: 在实验过程中,当槽内刚开始出现淤积时的纵坡坡度,定为最小纵坡; (6) 录像: 准确记录试验全过程

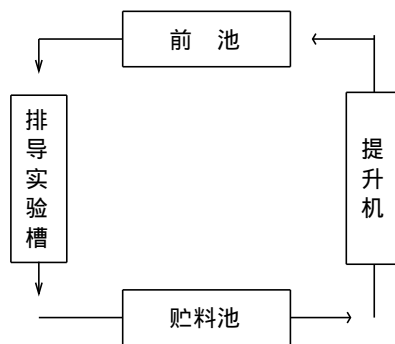


图 1 实验流程图

## 1.4 实验物料

实验物料是某一泥石流沟实地所取,其颗粒粒径及级见表 1

表 1 实验物料颗粒大小组成

粒径 $d/mm$	40~ 20	20~ 10	10~ 5	5~ 2	5~ 1	1~ 0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001
含量	8.44	31.49	31.84	7.30	4.18	3.26	1.34	1.72	0.43	3.67	1.58	3.03	1.71
< $d$ 颗粒	100.00	91.56	60.07	28.23	20.93	16.74	13.48	12.14	10.42	9.99	6.32	4.74	1.71

## 1.5 实验内容

进行了 2 组粒径级配, 8 种不同容重、不同坡度的 30 多次排导槽不淤纵坡实验。

(1) 粒径  $d < 0.05\text{ mm}$  的泥流试验,容重分别为 1.18, 1.48  $\text{t/m}^3$ ;

(2) 粒径  $d < 40\text{ mm}$  泥石流试验,容重分别 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 2.08, 2.18  $\text{t/m}^3$ 。

## 2 实验分析

(1) 对于固体物质最大粒径  $d < 0.05\text{ mm}$ ,容重 1.18  $\text{t/m}^3$  的泥流,在仅有 0.2% 的坡度下,都能在排导槽内流动,没有严重淤积现象出现;当容重增大到 1.48  $\text{t/m}^3$  时,在坡度 4.9% 时,流体流动明显减缓,甚至出现泥浆在排导槽内短暂整体静止的现象,泥浆在排导槽内淤积,排导槽内残留厚度达 2cm 左右。

(2) 对最大  $d < 40\text{ mm}$  的泥石流,当容重 1.2  $\text{t/m}^3$  时,在排导槽纵坡较大的情况下,泥石流在排导槽内流动顺畅,无淤积和涌浪等现象,随排导槽纵坡减小,槽内表面平均流速有所减小,流动减缓,泥深增大。纵坡 17.1% 时,平均流速 1.20  $\text{m/s}$ ,泥深 3.0cm;纵坡 15.1% 时,槽内流体平均流速 1.78  $\text{m/s}$ ,平均泥

深 3.15cm;纵坡 11.4% 时,平均流速 1.18  $\text{m/s}$ ,平均泥深 6.0cm (表 2)。

表 2 泥石流排导槽试验数据表

编号	容重 / $(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	表面流速 / $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	泥深 / cm	纵坡 / %	最大粒径 / mm	运动状态
1	1.2	118	6.0	11.4	< 40	严重淤积
2	1.2	178	3.15	15.1	< 40	流动顺畅
3	1.3	121	7.08	11.4	< 40	严重淤积
4	1.3	117	7.33	12.9	< 40	淤积
5	1.3	117	7.33	12.9	< 40	严重淤积
6	1.5	116	3.87	15.1	< 40	流动顺畅
7	1.65	181	4.80	15.1	< 40	局部淤积
8	1.65			13.6	< 40	严重淤积
9	2.08	120	4.90	13.6	< 40	严重淤积
10	2.17	70	4.20	15.1	< 40	淤积
11	1.18	130	3.60	0.2	< 0.05	表面涌浪
12	1.48	170	5.00	4.9	< 0.05	淤积
13	1.48	250	3.50	6.6	< 0.05	流动平稳
14	1.18	150	3.50	0.6	< 0.05	表面涌浪

注: 排导槽长为 600cm,槽宽为 25cm

随容重的增大,泥石流在排导槽的运动有与上面相似的运动特征,容重  $V_c = 1.65\text{ t/m}^3$  的泥石流,排导槽纵坡 17.3% 时平均流速 2.27  $\text{m/s}$ ,平均泥深 3.55

cm;纵坡 15.1%时,平均流速减小到 1.81 m/s,平均泥深增加到 4.8 cm;当纵坡减缓到 13.6%时,槽内已发生淤积。容重  $V_c = 2.08 \text{ t/m}^3$ ,泥石流在排导槽纵坡 13.6%时,槽内已发生淤积,此时表面平均流速 1.2 m/s,平均泥深 4.9 cm

(3) 最大粒径  $d < 40 \text{ mm}$ ,容重  $1.2 \text{ t/m}^3$  的泥石流,在排导槽纵坡减小到 11.4%时,泥石流粗细颗粒发生分离,初始时,表面产生波浪状,局部淤积。随时间推移,排导槽底部产生严重淤积,但表层流体仍流动,流动过程中淤积最大厚度达到 12 cm。底部淤积层与上部流动层界面纵坡度为 13.4%时,泥石流过后,槽内淤积厚度最大为 7 cm,淤积层面纵坡 13.2%。对最大粒径  $d < 40 \text{ mm}$  的泥石流,随容重增大,其淤积纵坡有所增大,也即排导槽排泄相应容重泥石流所需的最小纵坡有所增大。容重  $1.3 \text{ t/m}^3$  的泥石流,在 12.9%纵坡时,槽内产生淤积;当纵坡继续减小到 11.4%时,槽内已发生严重淤积,当淤积层与上部界面的纵坡 13.6%时,停止供流后,槽内最大淤积厚度 7 cm,淤积体表面纵坡 13.0%;容重  $1.5 \text{ t/m}^3$  泥石流时,槽内淤积纵坡 12.9%;容重  $1.65 \text{ t/m}^3$  泥石流在槽内淤积纵坡为 13.6%;容重  $2.08 \text{ t/m}^3$  泥石流在槽内严重淤积纵坡为 13.6%;容重  $2.17 \text{ t/m}^3$  泥石流在排导槽内淤积纵坡为 15.1%。

(4) 在同一坡度下,容重  $1.2 \text{ t/m}^3$  泥石流在纵坡 17.1%时,槽内平均流速 2.2 m/s。容重 1.3, 1.5,  $1.65 \text{ t/m}^3$  的泥石流在相同纵坡时,排导槽表面平均流速分别为 1.65, 1.84, 2.28 m/s。在纵坡 15.1%时,槽内平均流速分别为 1.78, 1.51, 1.81, 1.81 m/s,这说明同一坡度下,不同容重泥石流在排导槽内运动速度有一定的变化。

(5) 泥石流在排导槽内淤积坡度除与容重大小有密切关系外,还与泥石流物质组成中颗粒粒径大小有密切关系。容重  $1.48 \text{ t/m}^3$  的泥流(粒径  $d < 0.05$

mm)和容重  $1.65 \text{ t/m}^3$  ( $d < 40 \text{ mm}$ )的泥石流,其容重差别十分微弱,但排导槽排泄所需最小纵坡都有很大的差别。排泄最大粒径  $d < 0.05 \text{ mm}$  容重  $1.48 \text{ t/m}^3$  泥流时,其所需最小纵坡只有 4.9%,而在排泄最大粒径  $d < 40 \text{ mm}$ ,容重为  $1.5 \text{ t/m}^3$  泥石流时,最小纵坡却达 12.9%。因此,这要求在排导槽纵坡设计中,不仅仅从泥石流容重出发来考虑其最小纵坡,还应同时考虑泥石流物质组成和颗粒粒径的大小。

### 3 结 语

(1) 粒径  $d < 0.05 \text{ mm}$  的泥流可以在很小坡度下流动,对容重  $< 1.2 \text{ t/m}^3$  的泥流,排泄其所需最小纵坡约为 0.2%;对容重为  $1.5 \text{ t/m}^3$  的泥石流,排泄所需排导槽最小纵坡为 4.9%左右。

(2) 同一容重的泥石流,随着排导槽纵坡的减小,泥石流在排导槽内运动速度逐渐减缓,而泥深逐渐增大。

(3) 随泥石流容重的增大,排导槽排泄所需最小纵坡有所增加。对含粗大颗粒泥石流,以最小纵坡  $J_{\min}$  为纵标,以泥石流容重  $V_c$  与固体物质密度  $V_s$  之比为横标,通过统计回归分析,可以得到下面相关表达关系式:  $J_{\min} = 0.062 + 0.11V_c/V_s$ 。

(4) 泥石流淤积纵坡除与容重有密切关系外,还与固体物质颗粒粒径大小密切相关。同一容重泥石流,含有粗大颗粒者,排导槽排泄所需最小纵坡将大于不含粗大颗粒泥石流。

#### [参 考 文 献]

- [1] 周必凡,李德基,罗德富,等. 泥石流防治指南 [Z]. 北京: 科学出版社, 1991. 125-129.
- [2] 李德基主编. 泥石流减灾理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 178-186.
- [3] 甘肃省交通科学研究所. 泥石流地区公路工程 [Z]. 北京: 人民交通出版社, 1981. 64-143.