

# 水石流梳子型切口坝拦砂性能试验研究

韩文兵, 欧国强

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

**摘 要:** 通过室内水槽试验, 对梳子型切口坝切口闭塞临界条件和拦砂性能进行探讨。初步得到: (1) 切口坝有全闭塞、部分闭塞、不闭塞和随机闭塞 4 种闭塞类型。当切口坝的切口宽度  $b$  与水石流中最大颗粒粒径  $d_{\max}$  之比  $b/d_{\max}$  1.0 时, 切口全闭塞;  $b/d_{\max} = 2$  时, 切口不闭塞;  $1.0 < b/d_{\max} < 1.5$  时, 切口一般是部分闭塞;  $1.5 < b/d_{\max} < 2$ , 出现随机闭塞; (2) 在同一水槽坡度下, 随着  $b/d_{\max}$  的逐渐增大, 切口坝泥沙拦截率逐渐下降; 当  $b/d_{\max}$  一定时, 泥沙拦截率随坡度的降低而增大。

**关键词:** 水石流; 梳子型切口坝; 闭塞度; 拦截率

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)03-0286-03

## Experimental Study on Effect of Intercepting Sediment of Slit Dam

HAN Wen-bing, OU Guo-qiang

(Chengdu Institute of Mountain Disaster and Environment, Chinese Academy of Sciences and Water Conservancy Ministry, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** By flume experiments indoors a series of model test which is to research critical closing conditions and effect of intercepting sediment on debris flow passing through slit dam are carried out. The experimental results show that there are four main kinds of closing conditions (total-closing, opening, part-closing, occasional-closing). The closing conditions of slit dam are closely link to the ratio  $b/d_{\max}$  of distance between beam to the gravel's maximum, and the gradient of flume. As the gradient of flume is the same, if increase  $b/d_{\max}$ , the trap efficiency will decline. As the  $b/d_{\max}$  is the same, if decrease the gradient of flume, the trap efficiency of slit dam will increase.

**Key words:** debris flow; slit dam; extent of closing; trap efficiency

拦挡坝是泥石流防治经常采用的一种工程措施, 根据坝体是否过流, 可分为实体坝 (closed-type dam) 和透过性坝 (open-type dam) 两类。而实体坝因为透水性差、无选择性地拦阻砂石、容易淤满库容和使用年数有限等缺点逐渐被透过性坝取代。<sup>[1]</sup>

目前, 透过性坝在泥石流治理工程中应用广泛, 梳子型切口坝 (slit dam) 是其中一种重要形式, 其具有拦排兼备的特点, 可以将非透过性坝的全部拦挡改变为部分拦挡, 而允许部分对下游不会造成危害的水流及土砂颗粒通过坝体进入河道, 同时透过性坝开口的适当配置, 可以选择性的拦蓄土砂, 具有拦粗排细之性能, 有利于降低粗大颗粒对下游设施的直接冲击和破坏, 其防治效果在国内外许多工程实例中得到充分证明。<sup>[2~4]</sup>

然而, 在我国梳子型切口坝的设计缺乏完善的理论依据和技术标准, 大多数凭经验、半经验或传统水工方法进行设计, 在很大程度上限制了其拦砂效果的发挥。选择合理的开

口宽度、深度、密度等, 使其具有良好的拦砂效果, 是目前主要需要解决的技术难题之一。本文主要通过室内水槽试验, 对梳子型切口坝的拦砂性能进行初步研究。<sup>[5]</sup>

### 1 试验设备及条件

(1) 试验设备。试验在中国科学院成都山地灾害与环境研究所泥石流流体力学实验室内进行, 设备主要由料斗 (前端有闸门)、玻璃水槽、提升装置三部分组成。水槽长 6 m, 宽 20 cm, 高 60 cm, 实测纵比降变化范围在 0~23°。

(2) 试验流程。首先, 根据试验设计要求, 通过提升装置, 调整水槽坡度, 在水槽的下游段固定事先设计好的切口坝模型。然后, 将试验开始前配制的水石流物料放入供料口的料斗中, 加入一定体积的水后搅拌均匀, 此时缓缓开启料斗前端闸门, 将水石流物质有控制放出。在水槽下游端切口坝附近通过架设数码相机, 测试放置切口坝后水槽内流体运动参数。

收稿日期: 2003-12-01

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“南水北调西线工程山地灾害防治技术及环境影响研究” (KZCX3-SW-323)

作者简介: 韩文兵 (1980-), 男, 安徽潜山人, 主要从事山地灾害防治工程技术研究。

(3) 试验条件及方法

A 试验用砂。试验用砂是从成都周边地区采取的天然砂, 根据试验设计, 配制成 4 种不同级配, 其级配曲线如图 1 所示。

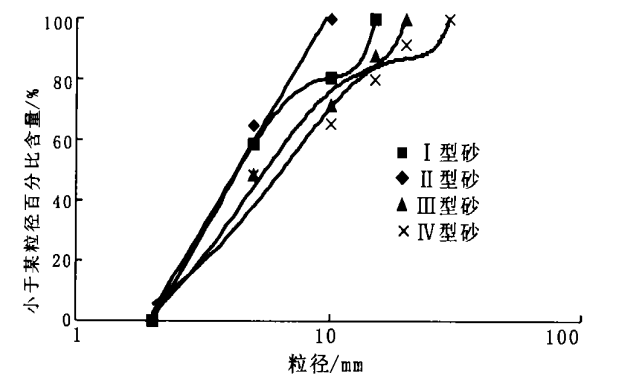


图 1 试验用砂粒径级配曲线

试验用砂的物理特性参数见表 1:

表 1 试验用砂的物理特性参数				
类型	$D$ (平均粒径) /mm	$\Phi$ (内摩擦角) /°	$\sigma$ (颗粒密度) /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	粒径范围 /mm
I 型砂	4.7791	33.19	2.65	2~10
II 型砂	6.0123	35.58	2.65	2~15
III 型砂	7.633	33.78	2.65	2~20
IV 型砂	8.8042	35.29	2.65	2~30

B 试验条件

表 2 试验条件						
容重/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	1.305	1.349	1.384	1.436	1.461	
切口密度( $b/B$ )	0.15	0.2	0.225	0.25	0.30	0.35
切口宽度/cm	0.375	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
切口坝模型大小/cm	1	1.5	2	2.5	3	3.5
水槽坡度/°	4					
切口坝模型大小/cm	宽=20 高=12 厚=2.4 切口深=6					
水槽坡度/°	14	13	12.7	11.9	10.4	9.2

C 量测项目及方法:

表 3 量测项目及方法	
项 目	方 法
坝后堆砂区回淤高度	试验完毕后, 规定横断面方向 10 cm 为间距, 纵断面方向以 5 cm 的间距进行测量
泥位	用直尺进行测量
泥砂流出量	在试验结束时, 在水槽下游测定停积下的泥砂
泥石流表面流速	浮标法

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

共进行了 90 多组试验, 试验结果例见表 4:

表 4 水石流梳子型切口坝试验结果例								
试验 编号	流体含砂 量/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	最大粒径 /cm	水槽坡度 /°	切口宽度 /cm	未设切口坝		设置切口坝	
					坝前最大表面 流速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	最大泥深 /cm	坝前最大表面 流速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	坝前最大 泥深/cm
1	480	1.0	13		2.50	1.9		
2	480	1.0	13	1.0			2.25	12
3	480	1.0	9.2	1.0			2.05	11.8
4	480	1.0	13	1.5			2.15	4.2
5	480	1.0	9.2	1.5			2.18	7.8
6	560	1.5	12.7	1.5			2.28	12
7	560	1.5	10.4	1.5			2.33	12.8
8	560	1.5	12.7		2.43	1.8		
9	480	1.0	13	2.0			2.35	6.0
10	480	1.0	9.2	2.0			2.13	3.3
11	480	1.5	12.7	2.0			2.50	5.9
12	480	1.5	10.4	2.0			2.53	6.7
13	620	2.0	11.9	2.0		1	2.15	12.3
14	560	1.5	12.7	2.5			2.75	6.4
15	560	1.5	10.4	2.5			2.55	5.6
16	620	2.0	11.9	2.5			2.20	8.5
17	480	1.0	13	2.5			2.60	3.6
18	560	1.5	12.7	3.0			2.25	4.7
19	560	1.5	10.4	3.0			2.25	5.1
20	620	2.0	11.9	3.0			2.15	6.3
21	700	3.0	14	3.0			2.50	12.3
22	480	1.0	9.2		2.35	2.7		

2.2 梳子型切口坝闭塞类型及条件

2.2.1 梳子型切口坝闭塞类型

根据试验观测结果, 梳子型切口坝主要有下列 4 种闭塞类型: 全闭塞: 在试验开始阶段, 切口处有过流现象, 但随后

切口被后续流所堵塞, 在试验结束时, 整个切口全部闭塞。

部分闭塞: 在试验过程中, 切口过流, 但试验结束时, 切口未全部闭塞。

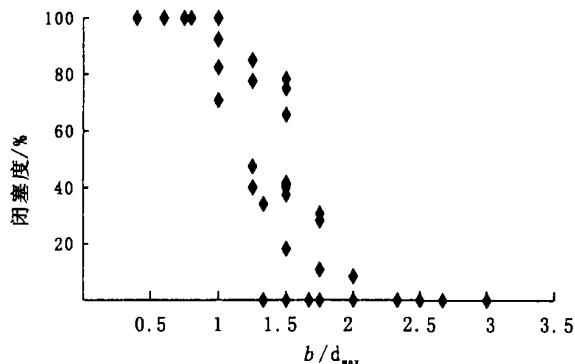
不闭塞: 在试验过程中, 整个切口部未被泥砂物质所堵

塞, 平稳、通畅过流。

随机闭塞: 在试验过程中, 切口有时不闭塞, 有时部分闭塞。

### 2.2.2 闭塞条件

梳子型切口坝的闭塞条件与水石流的含砂量, 固体物质级配组成, 水石流的泥深、流速、流量、水槽坡度, 固体物质最大粒径  $d_{\max}$  和切口宽度  $b$  的比值  $b/d_{\max}$  等有关, 闭塞条件复杂。试验主要对闭塞条件影响最大的  $b/d_{\max}$  进行研究, 根据试验观测结果, 绘制闭塞度  $C$  和  $b/d_{\max}$  的关系图如下图所示, 从图 2 中可以分析出:



注:  $C = h_c/h$ ,  $C$  表示闭塞度,  $h_c$  表示切口堵塞高度,  $h$  表示切口深度。当  $h_c = 0$  时,  $C = 0$ , 表示切口不闭塞; 当  $h_c = h$  时,  $C = 100\%$ , 此时以 100% 计, 表示切口全闭塞; 当  $0 < h_c < h$  时,  $C$  介于 0 与 100% 之间, 表示切口为部分闭塞。

图 2 闭塞度  $C$  与  $b/d_{\max}$  关系图

当切口坝的切口宽度  $b$  和泥沙颗粒最大粒径  $d_{\max}$  之比  $b/d_{\max}$  小于等于 1.0 时, 切口坝基本为全闭塞型。例如表 4 中编号为 13 的试验, 最大颗粒粒径 20 mm, 水槽坡度为 11.9°; 切口宽度为 2 cm 时, 切口完全被堵塞, 坝前最大的淤积厚度达 12.3 cm。

当切口宽度  $b$  与泥沙颗粒最大粒径  $d_{\max}$  之比  $b/d_{\max}$  2 时。切口一般不闭塞, 如表 4 中编号为 9 的试验, 最大粒径为 1 cm, 水槽坡度为 13°; 切口宽度为 2 cm 时, 切口不闭塞, 完全过流。

当  $1.0 < b/d_{\max} < 1.5$  时, 切口一般为部分闭塞, 如表 4 中编号为 16 的水石流试验,  $b/d_{\max}$  为 1.25, 最大粒径为 2.0 cm, 切口宽度为 2.5 cm, 切口堵塞高度为 2.5 cm, 闭塞度为 41.67%。

当  $1.5 < b/d_{\max} < 2$  时, 既有可能出现部分闭塞, 又有可能出现不闭塞现象, 我们命名为随机闭塞。如表 4 中编号为 20 的试验,  $b/d_{\max}$  为 1.5, 最大粒径为 2.0 cm, 切口宽度为 3 cm, 闭塞高度为 0.3 cm, 闭塞度为 5%。又如表中编号为 4 的试验,  $b/d_{\max}$  同样为 1.5, 但坝前切口最大泥深仅为 4.2

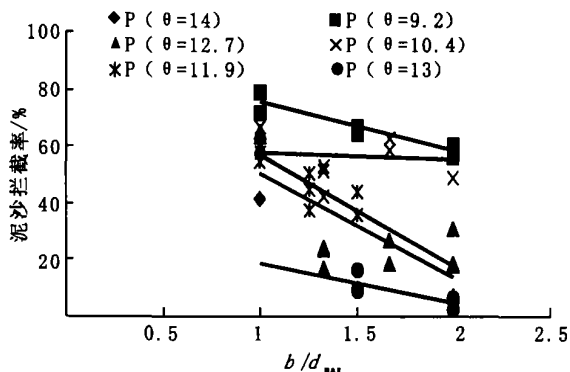
### 参考文献:

- [1] 周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 156-157.
- [2] 池谷浩, 上原信司. 切口拦砂坝调节泥砂效果的实验研究[J]. 新砂防, 1980, 114: 37-44.
- [3] 李德基. 透水型拦挡坝在泥石流防治中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(4): 32-36.
- [4] 柴飏武, 连惠邦. 梳子坝开口宽度之设计模式[A]. 海峡两岸灾害与环境保育研究[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998. 210-214.
- [5] 游勇, 等. 泥石流梁式格栅坝拦砂性能实验研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 113-115.

cm, 并未淤积到切口以上, 所以闭塞度为零, 属于不闭塞类型。

### 2.3 水槽坡度、 $b/d_{\max}$ 与拦截率之关系

根据水石流梳子型切口坝试验结果, 作水槽坡度、 $b/d_{\max}$  与泥沙拦截率关系图, 从图 3 中可以分析出:



注:  $P$  在图中指拦截率,  $P = \text{坝前拦截量} / \text{水石流泥沙总量}$ 。

图 3 水槽坡度  $b/d_{\max}$  与泥沙拦截率关系图

在同一水槽坡度下, 随着  $b/d_{\max}$  的逐渐增大, 切口坝泥沙拦截率逐渐下降。如在 9.2° 时, 随着  $b/d_{\max}$  从 1 增至 2, 拦截率  $P$  由 78.48% 降至 56.09%。

当  $b/d_{\max}$  一定时, 泥沙拦截率随坡度的降低而增大, 如  $b/d_{\max}$  为 1.5 时, 拦截率从 16.01% 增至 66.96%。

### 3 结论与建议

通过以上分析, 得出如下结论:

水石流梳子型切口坝有 4 种闭塞类型: 全闭塞、不闭塞、部分闭塞、随机闭塞。

水石流梳子型切口坝的闭塞条件与切口宽度  $b$  和水石流中最大颗粒粒径  $d_{\max}$  之比有密切关系, 当  $b/d_{\max}$  小于等于 1.0 时, 切口基本为全闭塞; 当  $b/d_{\max}$  大于等于 2 时, 切口一般不闭塞; 当  $1.0 < b/d_{\max} < 1.5$  时, 切口一般为部分闭塞; 当  $1.5 \leq b/d_{\max} < 2$  时, 既有可能出现部分闭塞, 又有可能出现不闭塞现象, 即随机闭塞。

梳子型切口坝泥沙拦截率与  $b/d_{\max}$  有密切关系, 在同一水槽坡度下, 随着  $b/d_{\max}$  的逐渐增大, 切口坝拦截率逐渐下降。

梳子型切口坝泥沙拦截率与水槽坡度有密切关系, 当  $b/d_{\max}$  一定时, 拦截率随坡度的降低而增大。

然而影响和制约梳子型切口坝拦砂性能的因素很多, 水石流过坝后浓度的变化率、洪峰流量的改变量、过坝后水石流组成物质颗粒级配的变化等等问题有待下一步深入探讨。

致谢: 在试验及分析过程中, 承蒙中国科学院(水利部成都山地灾害与环境研究所)游勇、吕娟、陈顺理、魏德元、柳金峰、岳丽霞、张秋英等老师和同学的大力帮助, 在此一并致谢!