

李云, 陈晓清, 游勇, 等. “梯-潭”型泥石流排导槽研究初析[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 173-175. [ Li Yun, Chen Xiaoping, You Yong, et al. Preliminary study on debris flow drainage channel with step-pool configuration [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 173-175. ]

## “梯-潭”型泥石流排导槽研究初析<sup>\*</sup>

李云<sup>1,2</sup>, 陈晓清<sup>1</sup>, 游勇<sup>1</sup>, 王飞<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川成都610041; 2. 中国科学院大学, 北京10049)

**摘要:**针对物源剧增、陡峻沟道、小流域泥石流沟泥石流防治, 提出一种具有强力消能作用的梯-潭型泥石流排导槽; 介绍了梯-潭型泥石流排导槽的结构特征; 分析了梯-潭型泥石流排导槽的排导原理, 指出梯-潭槽在震后泥石流治理工程应用中的防止磨蚀和冲刷的优势, 为进一步研究泥石流在排导槽中的运动特征, 泥石流与梯-潭段的相互作用机制, 关键设计参数的确定与优化打下基础, 对于提高泥石流防治技术水平及新型排导槽的推广应用具有重要意义。

**关键词:**汶川地震; 陡峻沟道; 阶梯-深潭系统; 泥石流排导槽; 梯-潭槽

**中图分类号:** TP751; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)04-0173-03

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.04.032

我国是全球地质灾害多发国家之一, 在复杂多样化地质背景和极端气候条件下形成的山洪泥石流灾害给当地人民的生命财产安全和生产生活带来了严重威胁, 同时对山区经济的可持续发展也起到了一定制约作用<sup>[1]</sup>。尤其是2008年四川汶川8.0级大地震诱发大量崩塌、滑坡, 据粗略估算区内新增松散固体物源量达 $55.86 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[2]</sup>, 为泥石流的活动提供了丰富的物质来源, 有助于特大规模泥石流灾害的形成。根据对强地震区暴雨泥石流活动情况统计分析表明, 震后泥石流进入震后至今一个新的活跃期并有可能持续10~15年时间<sup>[3-5]</sup>。

震后有相当数量的泥石流活动集中在流域面积 $<5 \text{ km}^2$ , 沟道纵比降 $>30\%$ , 甚至达 $50\%$ <sup>[6]</sup>。这类多物源、大比降、小流域泥石流沟在形成条件上与东川蒋家沟泥石流和成昆铁路沿线众多典型小流域有着明显差异, 泥石流活动因物源丰富、地形地貌条件优越, 具有易堵溃、低临界雨量、高频率、高容重等特点<sup>[7]</sup>, 故现有泥石流防治工程技术已经不能满足当前泥石流工程治理需求, 亟需提出新的工程治理思路 and 开发新的工程结构。

### 1 梯-潭型泥石流排导槽的提出

排导槽是常用的泥石流防治工程结构, 其结

构简单、施工方便、效果明显, 在汶川地震灾区得到了广泛的应用。目前主要有两种类型: 软基消能型排导槽(东川槽)和全衬砌排导槽(“V”型槽)。这两类排导槽的合理纵坡主要集中在 $8\% \sim 20\%$ 之间<sup>[8]</sup>, 对于汶川地震灾区出现的沟床纵比降过大的小流域泥石流沟, 如果采用既有的软基消能型或全衬砌排导槽来排导泥石流, 泥石流流体过流时, 过大的流速、过高的动能, 容易导致排导槽的冲刷或磨蚀破坏(图1), 致使地震灾区大量泥石流治理工程出现损毁<sup>[9-13]</sup>, 对人民生命财产和灾后重建构成威胁, 继而不得不进行2~3次补充勘察设计, 增加大量工程投资。



图1 地震灾区大比降排导槽磨蚀破坏

\* 收稿日期: 2014-04-09

修回日期: 2014-05-26

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAK12B03); 国家重点基础研究发展计划“九七三”计划(2011CB409903)

作者简介: 李云(1989-), 男, 四川阆中人, 硕士研究生, 主要从事泥石流防治研究. E-mail: liyunedut@163.com

通讯作者: 陈晓清(1974-), 男, 四川遂宁人, 研究员, 研究方向为泥石流滑坡减灾理论与技术. E-mail: xqchen@imde.ac.cn

从能量调控的观点入手,通过对排导槽的体型优化,控制泥石流速度和消减泥石流运动动能,并减小泥石流对排导槽的磨蚀,使泥石流能够顺畅安全地排导至预定场地,这种以“疏导为主”的思路为地震灾区大比降小流域泥石流治理提供了方向。王兆印教授运用阶梯-深潭系统在甘肃西汉水流域某支沟<sup>[14]</sup>、汶川地震灾区的文家沟<sup>[15]</sup>进行小规模野外原位试验,试验系统能够起到抑制泥石流发生,降低泥石流流速,实现能量控制的目的,但主要工程部位均在形成区。陈晓清等针对沟床纵比降过大、泥石流频发情况下排导槽过流磨蚀和冲刷作用常造成排导槽槽底严重磨损而无法正常使用、后期维护费用高昂的情况,首次将梯-潭系统引入堆积区,提出一种安全性高、后期维护费用少、适用于过大沟床纵比降泥石流的梯-潭型泥石流排导槽(简称“梯-潭槽”)。

## 2 梯-潭型泥石流排导槽的结构特征

所谓梯-潭槽是指由两束流侧墙及置于其间若干按一定间距设置的全衬砌的阶梯段和填充于上下游阶梯段直间的深潭段所构成的一种新型泥石流排导槽(图2)。

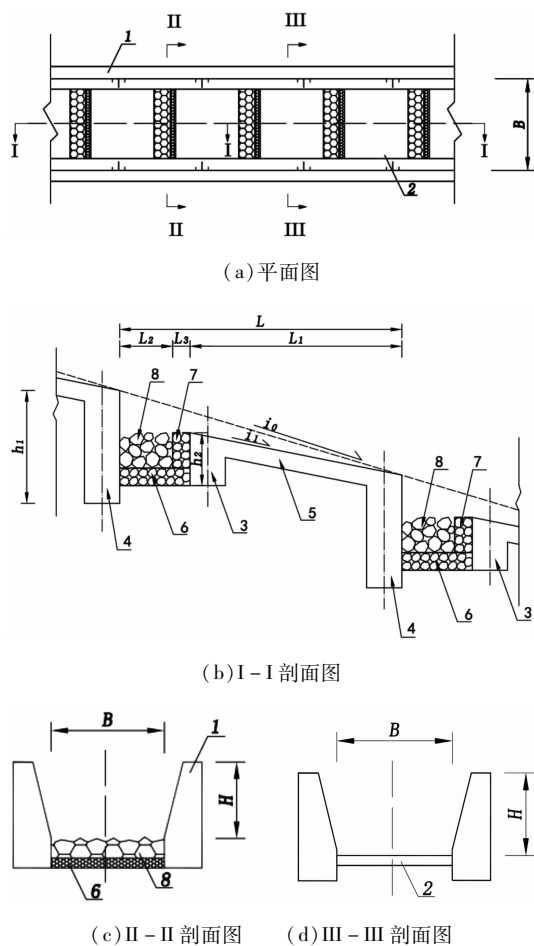


图2 梯-潭槽结构示意图

图2中,1为侧墙;2为阶梯段;3为上端齿

槛;4为下端齿槛;5为底板;6为钢索网箱体护底;7为钢索网箱体缓冲层;8为块石。梯-潭槽结构上有如下特征:两束流侧墙可为直立或倾斜;阶梯段包括位于上游的上端齿槛、位于下游的下端齿槛、及连接上端齿槛和下端齿槛的全衬砌底板,阶梯段比降 $i_1$ 一般取 $0.08 \sim 0.15$ ;深潭段包括钢索网箱体护底,设于钢索网箱体护底上方、紧贴下游阶梯段上端齿槛的钢索网箱体缓冲层,以及设于侧墙、钢索网箱体护底、上游阶梯段下端齿槛和钢索网箱体缓冲层包围空间内的块石;钢索网箱体护底和钢索网箱体缓冲层的结构均为钢索网包裹块石;深潭段顶面与下游阶梯段的最高处平齐,深潭段长度 $L_4$ 小于阶梯段长度 $L_1$ ,一般 $0.25 \leq \frac{L_4}{L_1} \leq 0.5$ 。

## 3 梯-潭型泥石流排导槽的排导原理

梯-潭槽利用东川槽软基消能的原理,受山区河流阶梯-深潭系统启发,通过优化排导槽的结构设计,旨在深潭强力消能后,提高抗磨蚀能力,延长排导槽使用寿命,即:既能控制流速、逐阶消能,又能兼顾排导。对于汶川地震灾区现大量存在的大比降、多物源、高频率小流域泥石流沟具有很好的应用潜力。

### 3.1 梯-潭段集中消能

经上游控流坝调节流速后的泥石流运动进入阶梯段后跌入其下方潭流体跌落时产生紊动、颗粒相互碰撞消耗部分能量,入潭后,流体强烈紊动,并与潭内大块石进行物质与能量的交换,大部分能量被消耗,使得流速明显降低。经过梯-潭后,势能恢复达跃后流深并经一段适宜坡度运动,再进入下一个梯-潭,如此多阶重复,达到多次控速消能目的;其次,梯-潭集中消减落差,从而减缓了泥石流分段的排泄坡度。

### 3.2 阶梯段加速输移

泥石流经单个梯-潭段消能后,进入具有一定纵坡比降的阶梯段,配合适宜条件的水力断面,使排导槽输移力增加,泥石流速度加快,进而实现排导功能,避免出现累积性淤积。泥石流在排导槽中以反复“加速-减速”的方式,实现不冲不淤均衡排泄。

### 3.3 钢索网箱体护底缓冲

钢索网箱体护底可以吸收泥石流的冲击能量,抑制泥石流流体与槽底地基土体交换,特别是控制地基土体参与泥石流活动,从而控制泥石流流体对排导槽槽底的冲刷,保障正常排导功能发挥,减小后期维护费用,而齿槛前部钢索网箱体缓冲层则能够对阶梯段承受的泥石流流体水平冲击力起到缓冲作用。

## 4 结语与讨论

(1)泥石流是主要的地质灾害之一,尤其是

“5.12”汶川大地震后,出现了相当数量的多物源、狭陡沟道、小流域泥石流沟,泥石流排导呈现新的难点,亟需提出新的工程治理思路 and 开发新的工程结构。

(2)从能量调控的观点入手,以“疏导为主”的思路为地震灾区狭陡沟道小流域泥石流治理提供了方向。

(3)梯-潭型泥石流排导槽是一种新型结构,它借鉴东川槽软基消能的原理,受山区河流阶梯-深潭系统启发,通过优化排导槽的结构设计提高抗磨蚀能力,延长排导槽使用寿命,既能控制流速、逐阶消能,又能兼顾排导,对于汶川地震灾区现有众多狭陡沟道、多物源、高频率小流域泥石流沟具有良好的应用潜力。

本文在此仅提出该类新槽型的概念模型,其适用容重范围、最大极限比降、梯-潭段参数如潭深、潭长、潭长与阶梯长度比值、潭内填充块石粒径与深度等关键设计参数,泥石流在槽中运动特征、泥石流与梯-潭段的相互作用机制、消能效率及梯-潭段的施工方法等,均需通过模型试验或大型原位试验,结合相关理论来进一步研究,形成“机理研究-参数确定-参数优化”的梯-潭型泥石流排导槽研究体系。在此基础上确定设计方法并进行优化,对于提高泥石流防治技术水平及新型排导槽的推广应用具有重要意义。

## 参考文献:

[1] 李德基. 泥石流减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 36-37, 178-186.

- [2] 陈晓清, 李智广, 崔鹏, 等. “5.12”汶川地震灾区水土流失初步估算[J]. 山地学报, 2009, 27(1): 122-127.
- [3] Cui P, Chen XQ, Zhu YY, et al. The Wenchuan earthquake (12 May 2008), Sichuan Province, China and Resulting Geohazards[J]. Nature Hazards, 2011, 56: 19-36.
- [4] 崔鹏, 韦方强, 陈晓清, 等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 中国科学院院刊, 2008, 23(4): 317-323.
- [5] 黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2585-2592.
- [6] 杨东旭. 汶川地震灾区狭陡型泥石流工程治理关键技术研究——以绵竹市小岗剑泥石流治理工程为例[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [7] 崔鹏, 庄建琦, 陈兴长, 等. 汶川地震震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(5): 10-19.
- [8] 陈光曦, 王继康, 王林海. 泥石流防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [9] 梁京涛, 唐川, 王军, 等. 强震区小流域泥石流发育特征研究——以四川省绵竹市罗家沟泥石流为例[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 100-104.
- [10] 李德华, 许向宁, 吉峰, 等. 汶川县映秀镇红椿沟特大泥石流工程防治及初步效果分析[J]. 工程地质学报, 2013, 21(2): 260-268.
- [11] 马煜, 余斌, 吴雨夫, 等. 四川都江堰龙池8.13八一沟大型泥石流灾害研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2011, 43(1): 93-98.
- [12] 游勇, 陈兴长, 柳金峰. 汶川地震后四川安县甘沟堵溃泥石流及其对策[J]. 山地学报, 2011, 29(3): 320-327.
- [13] 李奋生, 李勇, 赵国华, 等. 汶川8.0级地震震后泥石流空间分布和控制因素分析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 38-41.
- [14] 张康, 王兆印, 贾艳红, 等. 应用人工阶梯-深潭系统治理泥石流沟的尝试[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 501-505.
- [15] 王兆印, 漆力健, 王旭昭. 消能结构防治泥石流研究——以文家沟为例[J]. 水利学报, 2013, 43(3): 253-263.

# Preliminary Study on Debris Flow Drainage Channel with Step-pool Configuration

Li Yun<sup>1,2</sup>, Chen Xiaoqing<sup>1</sup>, You Yong<sup>1</sup> and Wang Fei<sup>1,2</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China)

**Abstract:** A debris flow drainage channel with step-pool configuration (DCSC) for the small watershed with high gradient and abundant loose mass is proposed. The working principles are analyzed after a detailed introduction of the structure of DCSC. The analyses show that the DCSC has its advantages in abrasion and scouring for the engineering mitigation in the disaster areas. The research findings results could provide reference for the further exploration of DCIS such as the dynamic behavior of the channelized debris flow, the energy loss mechanism of debris flow in step-pool system and parameter determination, which are of great significance to improve the techniques level and enlarge the application range of mitigation engineering.

**Key words:** Wenchuan earthquake; narrow-steep gully; step-pool system; debris flow drainage channel; channel with step-pool configuration