

泥石流直墙 V 型排导槽横断面优化设计

游 勇^{1,2}, 柳金峰^{1,2}

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

摘 要: 排导槽横断面的形状及尺寸是泥石流排导槽设计的重要参数, 如何合理选择过流断面的形状和尺寸, 使泥石流排导槽具有最佳的排泄能力, 目前国内外的研究还比较少涉及。直墙 V 型断面排导槽是目前泥石流防治工程中广泛采用的横断面形状之一, 以其为研究对象, 对它的水力条件进行了分析, 并对横断面的优化设计进行了探讨。泥石流排导槽的断面形态系数 (M) 定义为湿周 (P) 与水力半径 (R) 之比, 直墙 V 型排导槽水力最佳时相应的断面形态参数 $M = [8(1+m_v^2)^{1/2} - 4] / m_v$, 直墙“V”型排导槽水力条件最佳时的断面形态参数 M 仅与槽底横坡系数有关。假定在已知泥石流直墙 V 型排导槽排泄流量 Q 、槽底纵比降 I 以及泥石流流体颗粒级配特征条件下, 推导出了联合求解最优水力条件下直墙 V 型槽断面形态尺寸的组合公式, 并以大渡河上游左岸的一级支沟把丫沟为例, 对该沟的泥石流排导槽横断面进行了优化设计。

关键词: 泥石流; 直墙 V 型排导槽; 断面优化设计

中图分类号: P642.23 TV3

文献标识码: A

传统的梯形和矩形平底横断面形式的排导槽基本上是按一般挟砂水流的规律进行设计, 较少考虑到泥石流的特点。由于泥石流流体中的固体物质的含量和颗粒粒径都远远大于挟砂水流, 泥石流的物理力学性质、运动规律与挟砂水流有明显区别, 传统槽型的排导槽在排泄泥石流时常出现堵塞、淤积等现象, 效果较差^[1-8]。王继康等^[9]通过分析与实践, 提出了有利于泥石流固体物质输移的 V 型横断面排导槽, 并在工程实际中取得了良好的效果; 他在假定过流断面面积相同的情况下, 对尖底 V 型、圆底圆型、平底梯型、平底矩型 4 种不同槽型特定断面形状的排导槽的水力条件进行了分析。费祥俊等^[10]对边坡系数均为 2 的直墙 V 型和梯型排导槽的水力条件进行分析比较。张开平^[11]以流量、起动流速及工程投资为 3 个限制条件, 对排导槽工程优化设计进行了探讨。本文的作者^[12]曾通过分析推导, 得到 V 型槽的最佳水力条件, 并从水力最佳的角度来

探讨了 V 型排导槽的断面形态参数^[13], 但没有对如何优化横断面设计作进一步研究。为此本文对泥石流直墙 V 型横断面排导槽的优化设计进行了探讨。

1 直墙 V 型排导槽最佳水力横断面

泥石流排导槽的设计, 通常是初选断面形状, 一般情况下, 梯形或矩形断面的排导槽适用一切类型 and 规模的泥石流, 而 V 型排导槽适用频繁发生, 规模较小的粘性泥石流; 再按最大流量和允许流速计算横断面面积; 并根据经验确定宽深比, 对 V 型排导槽, 宽深比一般采用 1.5~4, 最后确定断面尺寸。目前的设计有较大的人为选择因素, 不同的人设计出的横断面尺寸可能会有较大的差别, 也没有给出如何确定水力最佳条件下横断面尺寸的方法。

泥石流排导槽的水力最佳断面是指在纵坡 I 、糙率系数 n 和设计流量 Q 一定时, 过流断面面积 A

收稿日期 (Received date): 2007-11-20; 改回日期 (Accepted): 2008-02-20.

基金项目 (Foundation item): 国家科技支撑计划 (2006BAC10B04), 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (kzcx2-YW-302) 资助。[Supported by the Chinese National Key Technology R&D Program (2006BAC10B04) and the Foundation of Knowledge Innovation Program CAS (kzcx2-YW-302)]

作者简介 (Biography): 游勇 (1964-) 男, 硕士, 研究员, 主要从事山地灾害及防治工程方面的研究工作。[You Yong (1964-) male Master Professor Specialized on mountain hazards and preventing project. E-mail: youyongsc@yahoo.com.cn]

最小的断面,即以最小的过流面积通过设计流量。为了寻求最佳水力断面的表达式,引入排导槽断面形态参数指标,断面形态参数 M 定义为断面湿周 P 与水力半径 R 之比,有

$$M = \frac{P}{R} = \frac{P^2}{A} = \frac{A}{R^2} \quad (1)$$

根据断面形态参数 M 的定义及公式 (1), 对于直墙 V 型排导槽, 有

$$MR = P = 2 \left\{ h + \frac{\sqrt{1+m_v^2}}{m_v} b \right\} \quad (2)$$

$$MR^2 = A = 2b \left\{ h + \frac{b}{2m_v} \right\} \quad (3)$$

式中 m_v 为直墙 V 型排导槽槽底边坡系数, $m_v = b/\Delta h$, 其他符号见图 1。

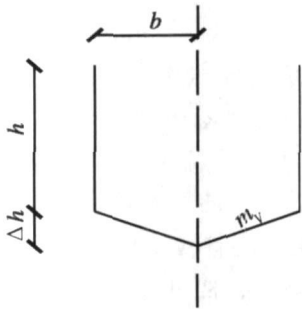


图 1 直墙 V 型槽横断面示意图
Fig 1 Compound triangular cross-section

通过推导分析得到直墙 V 型排导槽水力条件最佳时, 有^[12]

$$M = \frac{4(\sqrt{1+m_v^2}-1)}{m_v} \quad (4)$$

由式 (4) 可知, 直墙 V 型排导槽水力条件最佳时的断面形态参数 M 仅与排导槽槽底横坡系数 m_v 有关。

2 横断面的优化设计

排导槽的排泄能力应适应一定流量和密度的泥石流, 但这样的排导槽的纵坡与断面尺寸可以有很多组合方案, 都可以满足设计的要求。在实际工程设计中, 排导槽的纵比降往往受到地形条件的限制, 比降选择的余地不大, 也即排导槽的纵比降常常可根据地形条件确定, 这样一来, 排导槽断面形态及尺寸的计算设计就显得更为重要, 务必使设计的断面形态、尺寸能在已定的纵比降条件下有更大的排泄

泥石流的能力。下面对直墙 V 型横断面排导槽排泄粘性泥石流情况下的横断面优化设计进行分析。

2.1 相关设计参数的确定

2.1.1 粘性泥石流流量 Q

粘性泥石流的流量可以通过形态调查法、配方法、实测统计法等方法计算确定, 在排导槽设计时为已知值。

2.1.2 排导槽的纵比降 I

如上所述, 排导槽的纵比降受地形条件的控制, 常常在设计时可以预先确定。

2.1.3 排导槽的糙率系数 n_c

排导槽的糙率系数 n_c 由槽的衬砌材料确定, 设计时可视为定值。这样在已知粘性泥石流设计流量 Q 排导槽纵比降 I 排导槽的糙率系数 n_c 的条件下, 寻求如何设计优化横断面尺寸。

2.1.4 泥石流流速

粘性泥石流的流速公式众多, 此处借鉴文献 [10] 中的公式

$$U = \frac{1}{n_c} h^{2/3} I^{1/2} = 1.62 \left[\frac{s_v(1-s_v)}{d_{10}} \right]^{2/3} h^{1/3} I^{1/6} \quad (5)$$

式中 U ——泥石流平均流速 (m/s); n_c ——糙率系数; h ——泥石流泥深 (m); s_v ——泥石流体积比含砂浓度; d_{10} ——颗粒级配曲线上 10% 颗粒较之为小的粒径 (mm); I ——沟道的纵比降 (采用绝对值)。

原公式主要用于沟道泥石流流速的计算, 为了将此公式用来计算排导槽内的粘性泥石流流速, 相应的用水力半径 R 代替 (5) 式中的泥深 h 即

$$U = 1.62 \left[\frac{s_v(1-s_v)}{d_{10}} \right]^{2/3} R^{1/3} I^{1/6} \quad (6)$$

2.2 V 型槽横断面优化设计

排导槽内粘性泥石流的流量连续公式可表述为

$$Q = AU = MR^2 U \quad (7)$$

由 (7) 式有 U 的另一表达式

$$U = Q / MR^2 \quad (8)$$

联解式 (6) 和式 (8) 可以得到 U 和 R

$$U = 1.51 Q^{1/7} M^{-1/7} \left\{ \left[\frac{s_v(1-s_v)}{d_{10}} \right]^{2/3} I^{1/6} \right\}^{-6/7} \quad (9)$$

$$R = \left\{ \frac{Q}{1.62 M^{-1} \left[\frac{s_v(1-s_v)}{d_{10}} \right]^{2/3} I^{1/6}} \right\}^{3/7} \quad (10)$$

文献 [13] 研究结果说明, 直墙 V 型排导槽水力条件最佳时相对应的断面形态参数 M 仅与槽底横坡系数 m 有关, 即当横坡系数 m 确定后, 可以通过 (4) 式求得水力条件最佳条件下的 M 值, 同时文献 [13] 研究还表明, 横坡系数 m_v 为 0 ~ 时, 断面形态

参数 M 随 m_v 的增大而逐渐减小, 亦即随 m_v 增大, 断面水力条件越优。横坡系数从开始, 随 m_v 的增大, 形态参数 M 随之增大, 亦即水力条件相应越差。横坡系数 m_v 为时, M 值最小为 6.93。在已知横坡系数 m_v 的情况下, 可以从 (4) 式计算得到水力条件最佳条件下的 M 值, 将 M 值代入 (9) 和 (10) 可以求得直墙 V 型排导槽断面最优时的平均流速 U 和水力半径 R 。

对直墙 V 型排导槽, 有公式 (2) 和 (3) 表达式, 将由 (4) 式求得断面形态参数 M 的值和上面联合求解 (9)、(10) 式得到的 R 值代入 (2)、(3) 联解, 即可得到泥石流 V 型槽在水利最佳条件时的横断面尺寸 b 、 h 。

在实际工程设计中, 由于条件比较复杂, 排导槽的槽底横坡系数 m_v 往往会在一定范围内变动, 一旦变动, 将变动的 m_v 值代入 (4) 式求得相应的 M , 重复上述步骤即可求得变动后水力最佳条件下排导槽的宽度 b 和深度 h 。

3 设计例子

对本文提出的泥石流直墙 V 型横断面排导槽优化设计, 以四川大渡河上游左岸的一级支沟把丫沟为例子以说明。

四川大渡河上游左岸的一级支沟把丫沟, 所处区域属青藏高原东部边缘大雪山脉和邛崃山脉之间的大渡河上游高山峡谷区, 这里高山耸立, 河流深切, 地势陡峭, 属切割强烈的高山区, 高山峡谷地貌特征十分显著。把丫沟位于川滇南北向构造带北端与北东向龙门山断裂带、北西向鲜水河断裂和金汤弧形构造带的交接复合部位, 地质构造十分复杂。流域出露地层以变质岩为主, 其次是三叠系雷口坡组、上统白果湾群、泥盆系危关群、第四系, 岩性主要为变质玄武岩、泥质白云岩、粉砂岩等。补给泥石流的松散碎屑物质主要来源于下列几种方式: 一是沟岸崩塌与滑坡; 另一种是原有的沟床堆积物质; 三是特大暴雨条件下造成的坡面冲刷, 使坡面上的松散物质集中汇集于沟床。据现场调查分析, 目前在把丫沟流域内的不稳定松散物质达 $660 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。把丫沟所处区域属大陆性高原气候区, 多年平均降水量 700mm 最大一日降水量达 72.3mm。该沟具备泥石流暴发的地形、松散物质和水源条件。

把丫沟流域面积 $F=78.6 \text{ km}^2$, 主沟长度 15.5

km 主沟床平均比降 0.142, 沟口海拔 1 410m 最高海拔 4 921 m 流域相对高差 3 511 m。该沟为一条灾害性的老泥石流流沟, 历史上曾多次发生泥石流, 对沟口的道路、房屋等造成严重的危害。该沟泥石流以粘性为主, 泥石流的容重为 $2.00 \sim 2.20 \text{ tm}^3$, 频率 50 a 一遇泥石流的容重为 2.20 tm^3 , 频率 20 a 一遇泥石流的容重为 2.25 tm^3 。该沟泥石流综合分类为: 暴雨、沟谷、高容重、较低频率、中 ~ 大规模泥石流。为了减轻、消除泥石流灾害, 拟在该流域的主沟道内布设 5 座拦砂坝, 在出山口后的沟口至大渡河之间布置 1 条排导槽。下面就其排导槽横断面进行优化设计。

综合考虑, 选择采用直墙 V 型排导槽。根据出山口后下游堆积区的地形, 排导槽的纵坡 $I=0.085$ 槽底边坡系数取 6.0。根据现场调查分析, 该沟泥石流为粘性, 设计标准情况下泥石流容重为 2.20 tm^3 , 相应的体积比含沙浓度 SV 为 0.72。采用《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》, 通过水文计算先求得洪水洪峰流量, 再用配方法计算泥石流流量, 设计标准 $P_2\%$ 的泥石流流量为 $858 \text{ m}^3/\text{s}$ 。现场取样分析泥石流颗粒组成中 $d_{10}=0.03 \text{ mm}$ 。确定以上设计参数后, 便可计算其水力最优条件下断面尺寸。

首先将槽底横坡系数 $m_v=6.0$ 代入 (4) 式中, 求得水力条件最佳条件下的断面形态参数 $M=7.44$ 将 $M=7.44$ 及上述其他参数代入 (9) 式和 (10) 式, 联合求解得到排导槽内泥石流平均流速 $U=6.21 \text{ m/s}$ 水力半径 $R=4.31 \text{ m}$ 。将 M 和 R 值代入 (2) 式、(3) 式, 联合求解, 即可求得 $b=8.93 \text{ m}$ $h=6.97 \text{ m}$ 。因此, 可以得到把丫沟泥石流排导槽最佳过流横断面的宽度为 17.86 m 深度 6.97 m (图 2)。

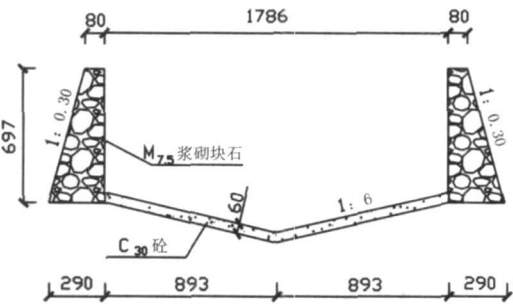


图 2 把丫沟泥石流排导槽结构图
Fig 2 The section sketch graph of drainage canal in Bayahe Gully

参考文献 (References)

- [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: 125 ~ 129 [Zhou Bifan, Li Deji, Luo Defu et al. Guide to Prevention of Debris Flow [M]. Beijing: Science Press, 1991: 125 ~ 129]
- [2] 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: 151 ~ 162 [Chen Guangxi, Wang Jikang, Wang Linhai. The Prevention of Debris Flow [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1983: 151 ~ 162]
- [3] 李德基. 泥石流减灾理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 158 ~ 186 [Li Deji. Theory and Practice about Reducing Debris Flow Hazards [M]. Beijing: Science Press, 1997: 158 ~ 186]
- [4] 李德基, 房国庆, 陈月升. 云南东川市泥石流排导槽 [A]. 见: 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 泥石流 (4) [C]. 北京: 科学出版社, 1995: 62 ~ 65 [Li Deji, Fang Guoqing, Chen Yuesheng. Debris flow drainage canal in Dongchuan city, Yunnan province [A]. In: Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy ed. Debris Flow (4) [C]. Beijing: Science Press, 1995: 62 ~ 65]
- [5] 杨文科, 殷崇庆. 东川市泥石流排导槽技术总结 [A]. 见: 昆明市东川区泥石流防治研究所编. 东川泥石流防治研究论文集 [C]. 昆明: 云南科技出版社, 2000: 45 ~ 52 [Yang Wenke, Yin Chongqing. Techniques of guide channel in Dongchuan [A]. In: Proc. of the Study of Debris Flow Prevention [C]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2000: 45 ~ 52]
- [6] 沈寿长. 泥石流排导沟设计方法 [A]. 见: 甘肃省滑坡泥石流研究会编. 第四届全国泥石流学术讨论会论文集 [C]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1994: 434 ~ 455 [Shen Shouchang. Designing method of drainage channel for debris flow [A]. In: The Seminar of Landslide and Debris Flow ed. Proc. of the 4th National Symposium on Debris Flow [C]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 1994: 434 ~ 455]
- [7] 陈晓清, 王士革, 李德基, 等. 两种主要泥石流排导槽的比较 [J]. 灾害学, 2001, 16(3): 12 ~ 16 [Chen Xiaqing, Wang Shige, Li Deji. A comparison of two main types of debris flow drainage grooves [J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(3): 12 ~ 16]
- [8] 张开平, 吕态能. 泥石流排导槽冲淤规律观察研究 [J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 61 ~ 63 [Zhang Kaiping, Lu Taiken. Study on Scouring and Deposition Laws of Debris Flow Drainage Trough [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2002, 9(4): 61 ~ 63]
- [9] 王继康, 黄荣鉴, 丁秀燕. 泥石流防治工程技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996: 93 ~ 102 [Wang Jikang, Huang Rongjian, Ding Xiuyan. The Prevention Engineering Technology of Debris Flow [M]. Beijing: China Railway Press, 1996: 93 ~ 102]
- [10] 费祥俊, 舒安平. 泥石流运动机制与灾害防治 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 262 ~ 267 [Fei Xiangjun, Shu Anping. Movement Mechanism and Disaster Control for Debris Flow [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 262 ~ 267]
- [11] 张开平. 泥石流排导槽及其优化设计研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(4): 73 ~ 77 [Zhang Kaiping. Study on diversion flume of debris flow and its optimization design [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1997, 8(4): 73 ~ 77]
- [12] 游 勇. 泥石流排导槽水力最佳断面 [J]. 山地学报, 1999, 17(3): 255 ~ 258 [You Yong. Optimal hydraulic condition of debris flow drainage canal [J]. Journal of Mountain Science, 1999, 17(3): 255 ~ 258]
- [13] 游 勇, 柳雪峰, 欧国强. 泥石流常用排导槽水力条件的比较 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增刊 1): 2820 ~ 2825 [You Yong, Liu Jinfeng. Comparison of hydraulics conditions among usual debris flow drainage canal [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(Suppl. 1): 2820 ~ 2825]

The Optimum Cross-section Design on the “V” Shaped Drainage Canal of Debris Flow

YOU Yong^{1, 2}, LIU Jinfeng^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Process and Hazards, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: The drainage canal is one of the most widely-used engineering measures in preventing debris flow. The shape and size of cross-section are important parameters for designing the drainage canal of debris flow. While how to choose optimum shape and size to make the drainage canal of debris flow have the best discharging ability is a problem few people have researched both at home and abroad. The “V” shape drainage canal is one of widely-used cross-section shapes for the preventing engineering of debris flow. This paper chooses it as researching object, analyzes its hydraulic condition, and discusses its optimum cross-section design. The cross-section configuration pa-

parameter of “V” shape debris flow drainage canal (M) is defined as the ratio of wetted perimeter (P) to hydraulic radius (R). Based on the definition, the cross-section configuration parameter of “V” shape debris flow drainage canal (M) is deduced as $M = [8(1+m_v^2)^{1/2} - 4] / m_v$ under the optimal hydraulic condition. By analyzing the optimal hydraulic condition, it is indicated that M decreases with the increase of or the more optimal hydraulic condition of the “V” shape debris flow drainage canal with the increase of . When is between to infinite, M increases with increase of or the worse hydraulic condition of the “V” shape debris flow drainage canal with the increase of . When is equal to , M is minimum and equal to 6.93. The discharge of debris flow (Q), the longitudinal gradient of debris flow drainage canal (I) and the gradation of debris flow grain are assumed as known. After simultaneous numerical solution, the combinatorial calculating formulas of the cross-section size of “V” shaped debris flow drainage canal are obtained. On the basis of the analysis of the optimal hydraulic condition of “V” shaped debris flow drainage canal, this paper takes the prevention engineering design of Bayzhe Gully as an example for optimum cross-section design of debris flow drainage canal. After calculation, the width and the depth of the debris flow drainage canal in Bayzhe Gully are equal to 17.86 m, 6.97 m respectively.

Key words: debris flow; “V” shaped drainage canal; optimum cross-section design

《山地学报》作者、读者意见调查表

姓名_____ 年龄_____ 职务或职称_____ 电话_____ (E-mail)_____

您对本刊总体印象 (优√ 良△ 差× 一般○)

☐文稿学术性 ☐编辑质量 ☐印刷质量 ☐其他

您希望本刊新增哪类文稿或减少哪类文稿: _____

本刊存在的问题及您的建议: _____

注: ①凡填写本调查表者, 将赠送本刊一年杂志或本刊百期光盘一张 (杂志 ☐ 光盘 ☐ 请打√) 以示谢意。
②调查表与反馈信息请寄: 成都市人民南路四段 9 号山地所内《山地学报》杂志社 冯海燕 邮编: 610041