

泥石流 V 型排导槽防淤设计方法及其应用研究^{*}

韩 征¹, 徐林荣¹, 苏志满², 陈舒阳¹

(1. 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 排导槽是泥石流治理常用的工程措施, 泥石流若在槽内淤积, 将极大影响排导槽防治效果。目前国内现行规范中没有关于排导槽淤积情况计算的相关条款, 导致排导槽被泥石流淤埋的工程事故时有发生。鉴于此, 分析了排导槽淤堵的常见原因, 对现有的一些排导槽淤积验算公式进行了分析和整理, 提出了一套基于槽宽验算、槽内泥深及流速验算等公式的排导槽防淤设计验算方法。该方法在雅(安)泸(沽)高速公路沿线某泥石流沟 V 型排导槽淤埋事故的处理中进行了应用, 重建的排导槽经受了 2011 年 6 月 17 日特大暴雨形成的泥石流的考验, 说明该方法实施效果良好, 可供相关研究与设计参考。

关键词: 泥石流; 排导槽; 淤积验算

中图分类号: P642. 23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)02-0019-05

0 引言

排导槽是泥石流治理中的一项重要工程措施, 一般是兴建于泥石流沟堆积区的人工泄洪或泥石流河道, 主要起到束流、固定河道、安全顺畅排泄洪水或泥石流的作用, 进而保护堆积区的建筑设施、居民及农田等不遭受泥石流威胁和危害^[1]。以往所设计施工的泥石流排导工程基本是按照挟沙水流排洪道的设计, 但有研究指出, 由于泥石流具有容重大、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特点, 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^[2], 需要考虑排导槽的防淤积问题。

李德基等^[3-4]于 1960 年代初曾提出了带潜槛的软基消能型泥石流排导槽, 简称东川槽, 但由于淤积问题严重^[5], 严重影响了排导槽的防治效果。鉴于此, 西昌铁路分局于 1977 年采用了圆形底排导槽, 王继康等人也在 1996 年提出了 V 型排导槽^{[6]80-85}, 该类排导槽特点^{[6]93-102}是窄、深、尖, 两个槽底斜面形成一个不透水的下垫面, 使进入排导槽的泥石流密度保持不变, 利用水动力增大水深, 重组动力束流, 减小阻力, 加大流速, 在防淤方面取得了一定的成效。

针对排导槽的淤积问题, 国内外有学者开展

了相关研究, 如王继康^{[6]105-106}认为 V 型排导槽槽宽不得小于 2.5 倍最大石块直径, 以避免堵塞漫流危害。日本学者池谷浩找出了相应的计算公式 $B = aQ^b$, 认为冲刷槽宽与流量成正比关系, 并以此确定了排导槽的最小槽宽。游勇^[2]则通过试验研究确定了泥石流排导槽不淤坡度。但近年来, 泥石流淤埋排导槽的现象仍时有发生。

本文通过基于以往研究成果, 提出了一套泥石流排导槽淤积验算的方法, 并以四川省雅泸高速公路沿线某沟 V 型排导槽为背景, 进行实例分析, 拟在为排导槽工程设计提供可靠依据。

1 排导槽淤堵原因分析

排导槽为泥石流运动排泄提供底床和能量条件。有研究表明^[2], 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。

排导槽发生淤埋主要有以下两方面原因: ①由于排导槽槽宽尺寸与设计泥深的不足, 导致泥石流流体中的大粒径颗粒无法顺利通过排导槽, 进而堵塞了过流断面, 发生连锁停淤, 淤堵排导槽; ②由于排导槽内设计流速偏小, 使进入排导槽的泥石流在槽内发生消能卸荷, 逐步停淤(图 1)。因此, 有必要根据这两种情况, 围绕排导

^{*} 收稿日期: 2011-09-22

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目“活动断裂区高速公路泥石流灾害防治与推广应用技术研究”(200831800087); 四川省科技厅科技项目“活动断裂区公路沿线泥石流启动机理与防治对策研究”(2006A024-582)

作者简介: 韩征(1986-), 男, 福建永安人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害的评估与治理的研究. E-mail: hankzzz@163.com

槽槽体净宽、槽内设计泥深与设计流速三个主要指标,对排导槽发生淤积情况进行验算。

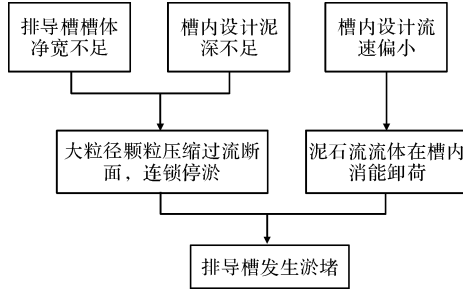


图1 排导槽淤埋原因

2 排导槽防淤设计方法

2.1 排导槽槽体净宽验算公式

一定面积的泥石流流域,随着泥石流暴发的规模、频率不同而形成不同宽度的相应河槽。河床的自然流宽与流量成正相关关系^[1],据此可提出槽体净宽验算公式。

(1)排导槽底宽

王继康槽底宽公式^[6]¹⁰⁵⁻¹⁰⁶:

$$B_s > 2.5D_{\max} \quad (1)$$

池谷浩、张开平槽底宽公式^[1]:

$$B_s > 0.47Q_p^{0.5} \quad (2)$$

联立可得:

$$B_s > \max(2.5D_{\max}, 0.47Q_p^{0.5}) \quad (3)$$

式中: B_s 为排导槽横断面底部宽度(m); D_{\max} 为沟道内的最大块石粒径(m); Q_p 为泥石流设计流量(m^3/s)。

(2)排导槽顶宽

池谷浩、张开平槽顶宽公式^[1]:

$$B_s > 0.86Q_p^{0.5} \quad (4)$$

式中: B_f 为排导槽横断面顶部宽度(m); Q_p 为泥石流设计流量(m^3/s)。

2.2 排导槽深度验算公式

已知设计流量 Q_p , 因为泥石流在排导槽内处在冲淤平衡的状态, 根据形态断面法:

$$Q_p = Q_c = V_c A_c \quad (5)$$

$$\text{其中 } A_c = f(H_c), \quad (6)$$

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \varphi + 1}} \cdot \frac{1}{n_c} \cdot H_c^{2/3} \cdot I_c^{1/2} \quad (7)$$

式中: Q_c 为排导槽设计流量(m^3/s); V_c 为泥石流排导槽内流速(m/s); A_c 为排导槽内泥石流过流面积(m^2); γ_H 为固体物质重度(g/cm^3); H_c 为计算断面的平均泥深(m); J 为泥石流水力坡度(%);

n_c 为泥石流沟床的糙率系数; φ 为泥石流泥砂修正系数。

把式(6)、式(7)代入式(5), 得:

$$f(H_c) \cdot H_c^{2/3} = \frac{Q \cdot n_c \sqrt{\gamma_H \varphi + 1}}{I^{1/2}} \quad (8)$$

令 $g(H_c) = f(H_c) \cdot H_c^{2/3}$, 可反求出排导槽槽内的设计泥深 H_c :

$$H_c = g^{-1} \left(\frac{Q \cdot n_c \sqrt{\gamma_H \varphi + 1}}{I^{1/2}} \right) \quad (9)$$

泥深需满足^[8]:

$$H_c \geq 1.2D_{\max} \quad (10)$$

2.3 排导槽内流速验算公式

排导槽修建后, 改变了沟道条件, 增大了糙率系数, 能够提高槽内泥石流浆体的运行速度, 达到加速排导的目的。但 V 型槽的宽度设计若过宽, 则会导致泥深浅, 可能造成泥石流在槽内淤积。因此, 必须对排导槽内的泥石流流速进行验算, 使泥石流槽内流速大于沟道内的流速, 避免淤积现象的发生。

$$V_c > V_l, \quad (11)$$

式中: V_c 为泥石流排导槽内流速(m/s); V_l 为泥石流沟道中平均流速(m/s)。二者均采用式(7)进行计算。

2.4 排导槽防淤设计方法

基于上述对排导槽槽宽、槽内泥深及流速情况的验算公式, 可以确定一系列排导槽防淤积的条件公式, 进而可以建立一套排导槽防淤积的设计验算方法, 该方法流程图如图 2 所示。

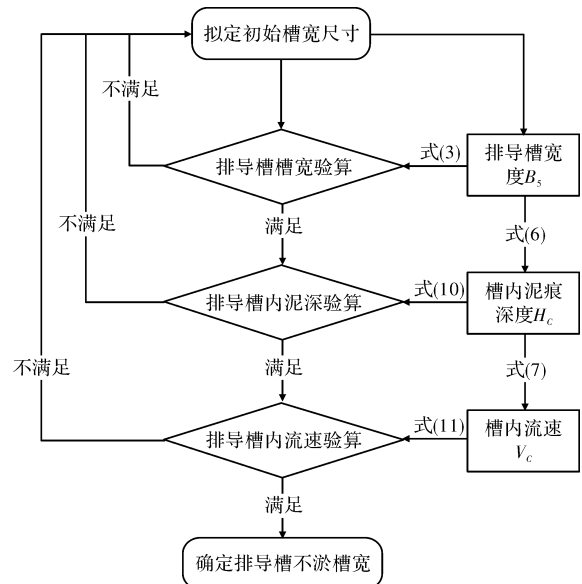


图2 泥石流排导槽防淤设计验算方法流程

3 工程实例

3.1 防治工程概况

(1) 沟道概况

雅(安)泸(沽)高速公路沿线某泥石流沟位于安宁河支流右岸, 地处扯羊, 地理位置 $102^{\circ}15'32''\text{E}$, $28^{\circ}31'76''\text{N}$ 。汇流面积 0.77 km^2 , 主沟道长 1.6 km , 流域相对高差 400 m , 主沟道平均纵比降较大, 达 256‰ 。流域沟道呈 V 型, 在海拔 2100 m 处汇入安宁河支流; 流域整体呈浅沟峡谷, 径流的侵蚀作用较强(图 3)。



图3 某流域全貌图

该沟泥石流物源主要为坡面残坡积物形成的崩滑体、沟道两侧的松散坡积物以及沟床物质, 经过实地勘察, 在流域中游有一堆积物台地, 台地左侧已经被径流下切, 形成深几米的沟道, 在暴雨和地震等因素的作用下该滑坡堆积物还可能进入主沟道, 随流水一起形成泥石流。

该沟具体参数调查情况如表 1 所示。

表 1

某沟泥石流相关参数调查表

流域 面积/ km^2	主沟 长度/ km	平均 坡降/ ‰	暴雨递 减指数	H_{24}	c_v	暴雨洪 峰流量/ (m^3/s)	泥石流 容重/ (kN/m^3)	固体颗 粒容重/ (kN/m^3)	泥石流 流量/ (m^3/s)
0.77	1.60	256	0.781	70.00	0.35	9.96	16.4	26.5	58.1

3.2 排导槽淤积验算

(1) 槽宽验算

由式(1)~式(3)可得:

$$B_s = 29.9 \text{ m} > \max(2.5D_{\max}, 0.47Q_p^{0.5}) \\ = \max(3.75, 3.43) = 3.75 \text{ m},$$

$$B_f = 26.6 \text{ m} > 0.86Q_p^{0.5} = 6.55 \text{ m}.$$

表明原排导槽断面设计宽度能满足最大径粒石块的通行, 避免大石块并排堵塞排导槽影响排淤效果。

(2) 排导槽深度验算

通过原排导槽的断面形态及尺寸, 可得出槽

(2) 原排导槽设计

该沟 V 型排导槽采用的是侧墙加防冲肋板即分离式结构, 槽内深 3.65 m , 下口宽 26 m , 横向坡度为 10% , 纵向坡度 23.58% (图 4、图 5)。在流通区有一断面的泥深为 4.0 m , 宽 3 m , 断面处比降为 26.45% , 该处糙率系数为 4.5 。流域内最大石块粒径为 $1.5 \text{ m} \times 1.4 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$, 排导槽对应的糙率系数 11 , 设计流量为 $58.13 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

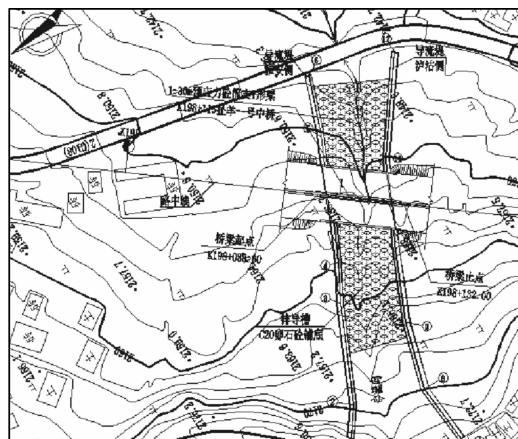


图4 原方案排导槽平面图

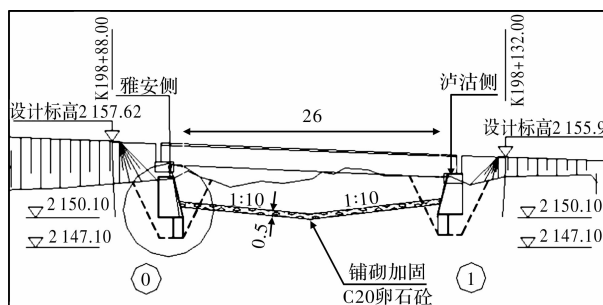


图5 原方案排导槽横断面设计图

内泥石流泥深 $H_c = 1.282 \text{ m} < 1.2D_{\max} = 1.8 \text{ m}$, 说明泥石流不能有效地携带大石块, 从而造成泥石流在排导槽内发生堵塞, 进而降低流速, 而使泥石流在排导槽内进一步淤积。

(3) 排导槽内流速验算

泥石流排导槽内泥石流流速及沟道中泥石流的平均流速的相关计算参数如表 2 所示。可以看出, 由于排导槽内泥石流泥深较浅, 导致泥石流排导槽内流速相比沟道中的平均流速反而小, 即 $V_c < V_l$, 所以泥石流在排导槽内会产生淤积。

表 2 泥石流流速计算参数

	沟床比降 $J/\%$	糙率 $\frac{1}{n_c}$	泥深 H_c/m	流速 $V/(\text{m/s})$
沟道中	26.45	4	4.50	4.12
排导槽内	23.58	10	1.28	3.90

(4) 淤积判别

综上所述,原排导槽设计宽度偏大,虽然能够满足最大径粒石块的通行,但由于排导槽内泥深较浅,槽体泥石流流速偏慢,运行的泥石流浆体不能有效地携带大石块,从而造成泥石流在排导槽内发生堵塞,进一步发展并将导致排导槽淤积。

事实证明,2008 年 9 月 17 日,该沟在连续暴雨 5~6 h 后,泥石流暴发,导致在建的排导槽遭到淤埋,泥石流堆积体基本淤满排导槽,并冲过排导槽出口,排导槽个别区段的堆积体高过墙顶标高,甚至漫过排导槽侧墙。除此之外,排导槽外侧及出口下方区域也出现淤积现象(图 6)。

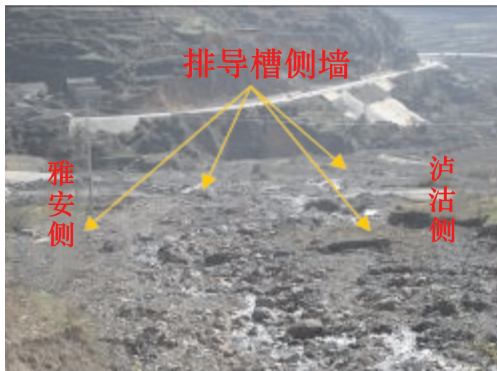


图 6 2008 年被全部淤埋的排导槽

3.3 设计修改

针对原设计方案中排导槽的设计宽度较大,横坡较小,导致槽内流速减慢的问题,采用本文所提出的排导槽淤积验算流程图,确定了排导槽的不淤槽宽,并在设计变更中将下口宽改为 6.5 m,横坡改为 30%(图 7)。该强化排导方案以原修建好泥石流排导槽为基础,将变更后新增的横断面设在原有排导槽的底部,形成复式 V 型排导槽(图 8)。

经式 3~式 11 计算,设计变更后的排导槽槽内设计泥深为 2.04 m(大于 $1.2D_{\max} = 1.8 \text{ m}$),不影响大石块的排导;泥石流流速为 5.50 m/s(大于流通平均流速 4.12 m/s),不会在槽内发生大量淤积;磨蚀速度增大为 $6.5 \times 10^{-7} \text{ m/s}$,铺设的卵石混凝土厚 50 cm,可被百年一遇的泥石流积累冲刷 214 h;侧墙的力学性质经验算也是合格的。

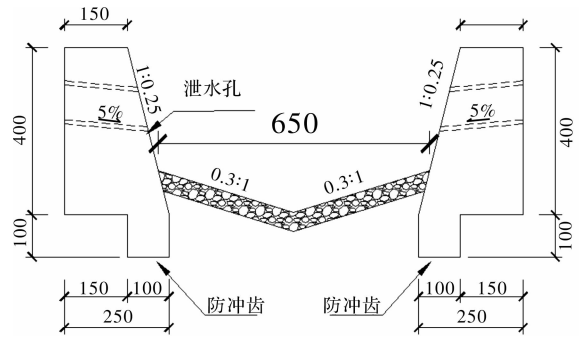


图 7 变更后的排导槽断面设计图



图 8 2010 年重新施工后的排导槽

3.4 工程实施效果

2011 年 6 月 16 日 20:00 开始,四川省凉山州局部地方遭受特大暴雨袭击,据冕宁县气象局提供的暴雨资料,仅在 22:00~23:00 时段的降雨量达 101 mm(超百年一遇),并且雨情一直持续到 17 日 08:00 左右,造成了雅泸高速公路该区段多处泥石流暴发。从灾后现场调查结果来看,该沟泥石流变更设计后的排导槽内并未发生 2008 年 9 月灾害发生时的淤积现象,沟中产生的泥石流全部被排入安宁河内,排导槽排导能力经受住了工程实际的检验,说明了该方法实施效果良好(图 9)。



图 9 2011 年 6 月 16 日灾后排导槽内无淤积

4 结论

① 提出了排导槽防淤设计验算方法,基于排

导槽槽宽验算、槽内泥深验算及槽内流速验算三方面计算对泥石流淤埋排导槽的可能性做出了定量分析, 进而提出排导槽的不淤槽宽尺寸。

② 以在建的雅(安)泸(沽)高速公路沿线某沟为研究对象, 采用本文提出的排导槽淤积验算方法, 对原设计的槽宽、槽内泥深及流速等进行了计算, 在此基础上预测泥石流会在原设计排导槽内淤积。该沟 2008 年 9 月 17 日暴发泥石流, 淤满了刚修建好的排导槽, 验证本方法预测的准确性。

③ 基于提出的排导槽防淤设计验算方法, 对该沟排导槽原设计进行了修正, 将排导槽下口宽改为 6.5 m, 横坡改为 30%, 设计变更后排导槽排导能力得到了提高, 并经受了 2011 年 6 月 16 日特大暴雨产生的泥石流的考验, 方法可供相关研究

和设计参考。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 游勇. 泥石流排导槽最小不淤纵坡初步试验研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20 (6): 36-38.
- [3] 张红兵, 周道银. 泥石流 V 型排导槽防治理论及应用研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17 (3): 1-4.
- [4] 李德基, 房国庆, 陈月升. 云南省东川市泥石流排导槽[C]//泥石流(4). 北京: 科学出版社, 1995: 62-65.
- [5] 唐邦兴. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆出版社, 2000: 227.
- [6] 王继康. 泥石流防治工程技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.

Research on the Anti-silting Design Approach and Application in the Drainage Canal of Debris Flow

Han Zheng¹, Xu Linrong¹, Su Zhiman² and Chen Shuyang¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410004, China

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: Drainage canal is a conventional mitigation and control works of debris flow, of which mitigation efficiency will be immensely influenced due to the debris flow silting in it. Until now there is no illustration about the calculation of its silting in the domestic reference standards, which causes the drainage canal silting accidents occur occasionally. In the view of this, the common causes of drainage canal silting are analyzed, and a serious silting check calculation formulas are advanced, then a set of drainage canal silting check calculation method based on canal width check, mud depth check, velocity check are proposed. This approach was applied in the silting accident removal of debris flow drainage canal at Sekeniluo valley along the Yalu highway under construction, the rebuilt drainage canal also withstand the debris flow caused by the torrential rain at Jan. 17. 2011, which means that the approach is well-responded and can serve as a reference for related research and engineering design.

Key words: debris flow; drainage canal; silting check calculation

《灾害学》杂志首次入编《中文核心期刊要目总览(2011 版)》

《灾害学》编辑部近日收到北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2011 年版编委会的“《中文核心期刊要目总览》入编通知”, 陕西省地震局主管主办的《灾害学》杂志入编《中文核心期刊要目总览(2011 版)》之环境科学、安全科学类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》收录的期刊俗称“中文核心期刊”, 它采用定量评价和定性评审相结合的方法评价核心期刊。定量评价指标体系采用了被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Weblog 下载量等 9 个评价指标。参加核心期刊评审的学科专家达 8200 多位。经过定量筛选和专家定性评审, 从我国正在出版的中文期刊中评选出 1982 种核心期刊。

这项荣誉的获得, 离不开主管主办单位陕西省地震局及各协办单位的大力支持, 离不开编委会各位编委和审稿专家的热心帮助, 更离不开广大作者和读者的信任、关心和支持。此项荣誉的获得, 将极大的提升《灾害学》杂志在灾害研究领域的学术地位。

《灾害学》将一如既往的为广大作者提供最好的服务, 努力为我国的防灾减灾事业做出应有的贡献。

《灾害学》编辑部