

稀性泥石流对排导槽的冲磨破坏机理

周富春^{1,2}, 黄本生², 杨钢², 陈洪凯¹

(1. 重庆交通学院河海系, 重庆 400074 2. 重庆大学资源与环境科学学院, 重庆 400047)

摘 要: 针对稀性泥石流特点, 从垂直于排导槽边壁方向和平行于排导槽边壁方向对排导槽的受力情况进行了比较深入的分析, 导出了多个公式, 为设计排导槽提供了理论依据。

关键词: 稀性泥石流; 排导槽; 破坏机理

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

泥石流是我国山区的主要地质灾害之一, 对于穿越泥石流灾害多发地区的交通线, 如公路、铁路, 通常采用排导槽来疏导泥石流, 使泥石流安全跨越交通线, 避免交通线的中断。泥石流的灾害特点是多次发生, 有的还持续几十年, 甚至上百年。另外, 泥石流一般具有很大的能量, 当泥石流流过排导槽时, 很容易破坏排导槽。因此, 在设计排导槽时, 要考虑泥石流对排导槽的这种破坏作用, 尽可能设计能防冲防撞的结构或防冲防撞的材料, 无论是哪一种, 都要预先弄清楚泥石流对排导槽的破坏机理。而要弄清排导槽的破坏机理, 从本质上讲, 即要弄清排导槽的受力情况, 一般说来, 排导槽的破坏是泥石流作用力引起的, 因此, 本文从这一思路出发对排导槽的破坏机理进行研究。

根据泥石流的物质结构和液态特点, 可把泥石流分为粘性泥石流和稀性泥石流, 二者对排导槽的破坏作用不尽相同。本文只讨论稀性泥石流对排导槽的破坏作用。

1 稀性泥石流的动力学特性

稀性泥石流的固体物质的含量较低, 一般为 15%~40%, 其中粉砂、粘土的含量较少, 容重为 $1.2\text{ t/m}^3 \sim 1.8\text{ t/m}^3$, 浮托力弱, 稠度低, 泥浆粘度小, 一般 $< 3 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{[1]}$ 。稀性泥石流中的水和固体物质不稠结成一体, 而是相互分离, 水作为搬运介质, 石块和砾石则以滚动或跃移形式向下运动, 石块流速小于泥沙、浆体, 液、固两相流体有垂直交换现

象, 具紊流性质。它与含砂量大的洪流在动力特点上差别不大, 故不易造成沟谷阻塞等现象。

稀性泥石流流体中大粒径的砂石, 以滚动或跃移形式向下运动, 在排导槽的流速和受力设计中, 具控制性作用。稀性泥石流流体小粒径的砂石, 在水流中与水的质点充分掺混, 形成近似均匀的固液两相流, 小粒径的砂石对排导槽边壁的冲刷, 主要有紊动猝发现象的涡旋所造成的。具有紊流结构的水流, 在平滑的排导槽边壁附近, 也发生纵向和横向涡旋流体, 这些涡旋不断地重复着由小到大尔后消失的过程。随着涡旋的形成、扩大和消失, 水流中的砂石冲击流道表面, 对边壁施以切削作用和冲击作用, 从而造成建筑物表面的磨损。

2 稀性泥石流在垂直于排导槽边壁方向对排导槽的作用力

2.1 稀性泥石流流体在垂直于边壁方向对排导槽的压力

把稀性泥石流流体作为一个整体, 它在排导槽中运动时, 就象清水一样, 要对排导槽产生压力, 这种压力(可称全压力, 用 P_r 表示, 下同)由两部分构成: 一是稀性泥石流流体对排导槽结构的静压力(P_s , N/m^2); 二是稀性泥石流流体对排导槽结构的动压力(P_d , N/m^2)。稀性泥石流流体的全压力可由下式表示

$$P_r = P_s + P_d \quad (1)$$

静压力由下式求得

收稿日期: 2001-01-06.

基金项目: 本文为四川省交通厅重点科技项目、交通部重点科技项目(95-06-02-33)和交通部优秀青年教师资助项目。

作者简介: 周富春(1972-), 男(汉族), 四川省犍为人, 重庆交通学院讲师, 现攻读重大大学在职博士, 从事环境灾害的研究及教学工作。

Tel: (023) 62650053.

$$P_s = \gamma_c h \tag{2}$$

式中 γ_c 为稀性泥石流体的容重, N/m^3 ;
 h 为稀性泥石流体在排导槽中的深度, m。
动压力由下式求得

$$P_d = \frac{\gamma_c U_c}{2g} \tag{3}$$

式中 U_c 为稀性泥石流体在排导槽中的平均速度, m/s;
 g 为重力加速度, $9.81m/s^2$ 。

3.2 稀性泥石流体中固体颗粒在垂直于边壁方向对排导槽的冲击力

由于稀性泥石流呈紊流特点, 其中的砂石要对排导槽产生瞬时的冲击作用, 现假定砂石与排导槽壁接触的面积用 A 表示, 砂石的密度为 ρ 、体积为 V 、砂石以速度 U_1 及一定角度(用 α 表示)冲击排导槽壁, 其冲击物理模型如图 1。

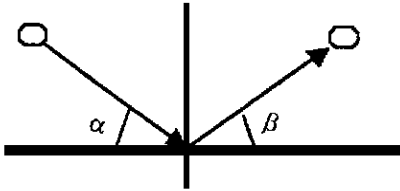


图 1 冲击作用物理简化模型
Fig1 Physical Model of Lashing Action

砂石对排导槽壁 冲击作用主要是垂直于边壁冲击力(平行边壁的力将引起磨蚀, 后讨论), 根据动量定理, 并考虑水体的阻力($\rho_w V$), 有如下表达式

$$F_y = \frac{(\rho - \rho_w) V (U_2 \sin \beta - U_1 \sin \alpha)}{A \Delta t} \tag{4}$$

式中 F_y 为稀性泥石流体中砂石垂填于边壁冲击力, N/m^2 ;
 Δt 为砂石对边壁冲击作用时间, s;
 ρ_w 为清水的密度, kg/m^3 。

砂石在水流作用下, 以速度 U_1 冲击建筑物壁面, 假设它又以速度 U_2 ($U_2 < U_1$)、角度 β ($\beta < \alpha$) 反弹起来, 由于冲击壁面的时间 Δt 很短, 其值很小, 则值 F_y 很大。石子在反作用力下弹跳起来后, 又会再次下落冲击壁面。这样反复的结果, 相对建筑物壁面讲, 会遭受反复多次的摩擦、切削与冲击。当材料强度达到极限或疲劳极限值时, 则会发生破坏, 表现为表层剥落, 并继续向纵深扩展。

2.3 稀性泥石流体在垂直于边壁方向对排导槽的总作用力

稀性泥石流体在垂直于排导槽边壁方向对排导

槽的总作用力 ($R, N/m^2$) 由稀性泥石流体对排导槽结构的全压力 P_T (其方向始终垂直于排导槽边壁) 和稀性泥石流体中砂石垂直于边壁冲击力 F_y 组成

$$R = P_T + F_y \tag{5}$$

2.4 应用和参数的确定

在垂直于排导槽边壁方向, 可从两个方面来考虑排导槽结构将承受的力: 一是排导槽的局部区域的受力, 由稀性泥石流体中可能含有的最大石块来控制, 可通过公式 (5) 来求此石块的 R , 即在边壁单位面积上要能承受此力的作用; 二是在某一时刻, 有很多大大小小的石块同时作用于排导槽, 这样就要求出所有这些石块在垂直于排导槽边壁方向对排导槽的压力 $\sum R_i$, (i 为某时刻同时作用于排导槽的石块数), 即排导槽整体要能承受此力的作用。

对于单个控制性石块(可能的最大石块), 所有的参数按最不利的情况来进行计算。其密度 ρ 、体积 V 很容易求得; 而 A 要根据石块和排导槽的外形确定, 也不难; 至于速度 U_1 最好是现场大致估计, 石块在进入排导槽时可能的最大速度 U_2 适当比 U_1 小些就行; 角度 β 和 α 为最不利的情况, 即取 90° ; 由于 Δt 很敏感, 需要做演示实验, 最好用多个值进行计算, 综合确定。

对于某时刻, 多个石块同时作用于排导槽的压力 $\sum R_i$, 可以现场观测, 联系室内研究, 综合假定排导槽里所有的石块有百分之几可能同时作用于排导槽, 然后把这部分作为一个石块来近似求。其参数的选取可参照上述求法, 最后代入公式 (4), 只是该公式分母中的 A 不要。同样, 可多算些值, 比较后确定。

至于公式 (1) 计算比较简单, 此不述。

3 稀性泥石流体在平行于排导槽边壁方向对排导槽的作用力

工程运行实践和室内试验研究表明, 清水流过混凝土表面, 对混凝土破坏作用比较小(除消能不好及空蚀外)。对流过排导槽的稀性泥石流体来说, 由于含有大量的固体物质, 这些固体物质除了对排导槽产生垂直于边壁的作用力外(前面求的 R), 在平行于排导槽边壁的方向还要产生磨蚀作用。这种磨蚀作用同样可看成两部分组成:

1. 当稀性泥石流体流过排导槽时, 以整体形式对排导槽边壁产生摩擦作用, 由液体总流动量定理可得下式

$$\sum T_x = \rho Q (\alpha_2 V_2 - \alpha_1 V_1) \quad (6)$$

式中 $\sum T_x$ 为作用在稀性泥石流流体上平行于排导槽边壁方向的全部外力之和, N;

Q 为稀性泥石流流体的流量, m^3/s ;

α_1, α_2 为动量修正系数, 一般取 1.02 ~ 1.05, 粗略计算可取 1;

V_1, V_2 为稀性泥石流流体两端断面的平均流速, m/s 。

$\sum T_x$ 包含排导槽对泥石流流体整体摩擦力 f , 除此以外, 还有泥石流流体两端断面上的压力 p_1, p_2 , 图 2 是一排导槽的纵断面图, 泥石流运动方向为左到右, 取断面 I—I 和 II—II 之间的泥石流隔离体作为讨论的对象。 p_1 为上游断面 I—I 所受到的压力, 方向平行于排导槽向右; p_2 为下游断面 II—II 所受到的压力, 方向平行于排导槽向左; f 方向平行于排导槽向左。

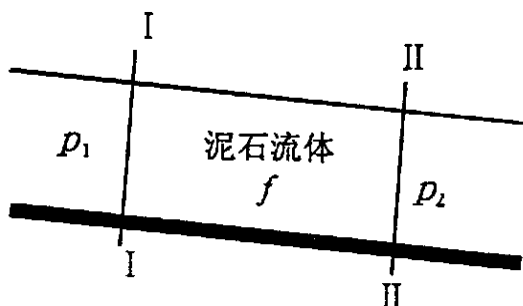


图 2 排导槽的纵断面图

Fig2 The Transverse Section of Drainage canal

那么, 在平行于排导槽的方向有公式

$$\sum T_x = G \sin \theta + p_1 - f - p_2 \quad (7)$$

$$\text{而 } p_1 = \frac{1}{2} r_c \cdot h_1^2; \quad p_2 = \frac{1}{2} r_c \cdot h_2^2$$

所以有

$$f = G \sin \theta + p_1 - p_2 - \sum T_x$$

$$\text{即 } f = G \sin \theta + \frac{1}{2} r_c \cdot h_1^2 - \frac{1}{2} r_c \cdot h_2^2 -$$

$$\rho Q (\alpha_2 V_2 - \alpha_1 V_1) \quad (8)$$

式中 G 为所取泥石流流隔离体的重力, N;

θ 为排导槽与水平方向的夹角;

h_1 为上游断面 I—I 的水深, m;

h_2 为下游断面 II—II 的水深, m。

2. 当稀性泥石流流体中的砂石在冲击排导槽边壁时, 也要产生平行于排导槽边壁的冲击分力, 根据动量定理, 并考虑水体的阻力, 有如下表达式

$$F_x = \frac{(\rho - \rho_w) V (U_2 \cos \beta - U_1 \cos \alpha)}{A \Delta t} \quad (9)$$

式中 F_x 为砂石冲击排导槽时, 在平行于边壁方向的冲击分力, N/m^2 。

纵上所述, 在平行于排导槽边壁方向, 泥石流作为整体要对排导槽产生 F 的作用力, 它长时间作用于排导槽边壁, 产生磨蚀作用, 另外, 稀性泥石流流体中砂石在平行于排导槽壁的方向要对排导槽产生冲击力 F_x 作用, 这两种作用一起, 将造成材料质点剥落, 损坏排导槽。

4 稀性流对排导槽壁破坏结果

4.1 稀性流对排导槽壁破坏过程

当稀性泥石流流过排导槽时, 大大小小的砂石在上述力的作用下, 对排导槽壁进行磨损破坏。这些力作用于槽壁的混凝土表面, 把部分能量传给混凝土材料, 造成材料质点的剥落。首先磨掉表面的水泥浆层, 进而淘刷粗骨料之间的泥浆, 使粗骨料裸露出来。一般情况下, 粗骨料的硬度较大, 突出的骨料构成一个耐磨层可经历较长时间的磨损, 之后粗骨料之间的砂浆被严重淘刷后, 骨料会被水流冲击而脱落, 冲磨破坏会进一步发展。

4.2 排导槽壁的磨损表达

试验表明, 对于混凝土材料的排导槽壁, 磨损与冲角关系曲线是单调上升的, 当 $\alpha = 90^\circ$ 时磨损损失重率最大。

根据 J. H. Nelson 和 A. Gilchrist^[6] 给出的磨粒磨损公式, 可以表示磨损失重率 $I(\alpha)$

$$I(\alpha) = \frac{1}{2\epsilon} (V_s \sin \alpha - V_o)^2 + \frac{1}{2\omega} V_s^2 \cos^2 \alpha \sin(n\alpha) \quad (\alpha \leq \alpha_o)$$

$$I(\alpha) = \frac{1}{2\epsilon} (V_s \sin \alpha - V_o)^2 + \frac{1}{2\omega} V_s^2 \cos^2 \alpha \quad (\alpha \leq \alpha_o) \quad (10)$$

式中 V_s 为砂石的平均速度, m/s ;

α_o 为临界冲角;

V_o 为临界沙速, m/s (当 $v_s \sin \alpha \leq V_o$ 时, $I(\alpha) = 0$;

ϵ 为垂直于排导槽边壁方向的冲击磨损失重率因数, $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{g} \cdot \text{s}^2)$;

ω 为平行于排导槽边壁方向的磨损失重率因数, $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{g} \cdot \text{s}^2)$;

n 为水平回弹率因数。

当 $\alpha_o, V_o, \epsilon, \omega, n$ 五个参数确定后, 即可求磨损失重率 $I(\alpha)$ 。这些参数可由专门设备求出^[5], 此不详述。

5 结语

对于穿越泥石流灾害多发地区的交通线(如公路、铁路), 通常采用排导槽来疏导泥石流。由于泥石流流体具有很大的能量, 在设计排导槽时, 必须考虑泥石流对排导槽的冲击及磨蚀作用, 即在设计的期限内排导槽能抗泥石流的冲击及磨蚀, 本文对稀性泥石流流体对排导槽结构冲击及磨蚀机理进行了比较深入的研究, 为排导槽结构的设计提供了理论上的依据。

参考文献:

[1] 王继康. 泥石流防治工程技术[M]. 北京: 中国铁道出版社,

1996 50~56.

[2] 向华球. 水力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993. 47.
[3] 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.
[4] 吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流极其综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 16~23.
[5] 蒋元驹, 韩素芳. 混凝土工程病害与修被加固[M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 182.
[6] 张学龄. 桥涵水文[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995. 20~23.
[7] 周富春, 陈洪凯. 排导结构中泥石流的流动形态[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 165~168.
[8] 史正涛, 祁龙. 甘肃省文关家沟泥石流综合治理[J]. 山地学报, 1996 15(2): 124~128.

Mechanism of Turbulent Debris Flow Destroying Drainage-canal

ZHOU Fu-chun^{1, 2}, HUANG Ben-sheng², YANG Gang² and CHEN Hong-kai¹

(1. Department of Hehai, Chongqing Jiaotong College, Chongqing, 400074 China;

2. College of Resource & Environment Science, Chongqing Univercity, Chongqing, 400047 China)

Abstract: This paper first makes an introduction to turbulent debris flow (subviscowse debris flow) destroying drainage-canal, then simply summarizes the characteristics of the turbulent debris folw; thirdly deeply analyses drainage-canal from two directions; one is vertical to drainage-canal wall, the other is equal to drainage-canal wall. In addition this paper also obtains ten formulae (seeing the paper). For this reason, this paper provides designing basis for drainage-canal.

Key words: turbulent debris flow, drainage-canal, destroying mechanism