

文章编号:1000-582x(2001)05-0078-03

紊流性泥石流对渡槽的作用力分析

周富春^{1,2}, 刘立平²

(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 400044)

摘要:针对紊流性泥石流特点,对渡槽的受力情况进行了比较深入的分析。在垂直于渡槽边壁方向,泥石流流体对渡槽的总作用力由紊流性泥石流流体对渡槽结构的全压力和紊流性泥石流流体中砂石垂直于边壁冲击力组成;在平行于渡槽边壁方向,泥石流流体对渡槽的作用力由公式(10)及(11)来表示。最后对这些公式的应用和一些极限情况进行了讨论,为渡槽的设计提供了理论和实践上的依据。

关键词:紊流性泥石流;渡槽;受力分析

中图分类号:P 642.2

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,通常采用渡槽来疏导泥石流,使泥石流安全跨越交通线,避免交通线的中断。同一地域泥石流的灾害的特点是多次发生,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,当泥石流流过渡槽时,很容易破坏渡槽。因此,在设计渡槽时,要考虑泥石流对渡槽的这种破坏作用,尽可能设计能防冲撞的结构或选用防冲撞的材料,无论是哪一种,都要预先弄清楚泥石流对渡槽的破坏机理。而要弄清渡槽的破坏机理,从本质上讲,即要弄清渡槽的受力情况,一般说来,渡槽的破坏是泥石流作用力引起的,因此,作者从这一思路出发,对渡槽的受力情况进行研究。

泥石流对渡槽的作用力分为两类:一类是平行于渡槽边壁方向,泥石流对渡槽的作用力;另一类是垂直于渡槽边壁方向,泥石流对渡槽的作用力。根据泥石流的物质结构和液态特点,可把泥石流分为^[1]结构性泥石流、过渡性泥石流和紊流性泥石流,它们对渡槽的破坏作用不尽相同,限于篇幅,作者只讨论紊流性泥石流对渡槽的作用力。

1 紊流性泥石流的特点

紊流性泥石流的固体物质含量较低,一般为15%~40%,其中粉砂、粘土的含量较少,容重为1.3~1.7

u/m^3 ,浮托力弱,稠度低,泥浆粘度小,一般小于3泊^[1]。紊流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、浆体的流速,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。

2 紊流性泥石流在垂直于渡槽边壁方向对渡槽的作用力

2.1 紊流性泥石流对渡槽的压力

把紊流性泥石流流体作为一个整体,它在渡槽中运动时,就象清水一样,要对渡槽产生压力,这种压力(可称为全压力,下同)由两部分构成:一是紊流性泥石流流体对渡槽结构的静压力;二是紊流性泥石流流体对渡槽结构的动压力。紊流性泥石流流体的全压力可由下式表示:

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

式中: P_T - 紊流性泥石流流体对渡槽结构的全压力, N/m^2 ;
 P_s - 紊流性泥石流流体对渡槽结构的静压力, N/m^2 ;
 P_d - 紊流性泥石流流体对渡槽结构的动压力, N/m^2 。

· 收稿日期:2001-04-18

基金项目:四川省交通厅重点科技和交通部重点科技资助项目(95-06-02-33)

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

紊流性泥石流对渡槽结构的静压力由下式求得^[2]：

$$P_s = \gamma_c h \quad (2)$$

式中： γ_c - 紊流性泥石流体的容重， N/m^3 ；

h - 紊流性泥石流在渡槽中的深度， m 。

紊流性泥石流对渡槽结构的动压力由下式求得^[2]：

$$P_d = \frac{\gamma_c U_c^2}{2g} \quad (3)$$

式中： U_c - 紊流性泥石流在渡槽中的平均速度， m/s ；

g - 重力加速度， $9.81 m/s^2$ 。

2.2 紊流性泥石流中固体颗粒对渡槽的冲击力

由于紊流性泥石流呈紊流特点，其中的砂石要对渡槽壁产生瞬时的冲击作用，现假定砂石与渡槽壁接触的面积用 A 表示，砂石的密度为 ρ 、体积为 V 、砂石以速度 v_1 及一定角度(用 α 表示)冲击渡槽壁，其冲击物理模型如图 1。

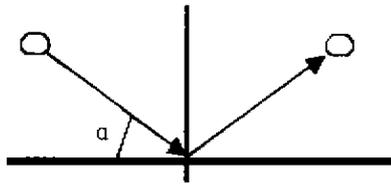


图 1 冲击作用物理简化模型

砂石对渡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，有如下表达式：

$$F_s = \frac{2(\rho - \rho_w) V v_1 \sin \alpha}{A \Delta t} \quad (4)$$

式中： F_s - 紊流性泥石流中砂石垂直于边壁冲击力， N/m^2 ；

Δt - 为砂石对边壁冲击作用时间， s ；

ρ_w - 清水的密度， kg/m^3 。

砂石在水流作用下，以速度 v_1 冲击建筑物壁面，假设它又以同样的速度 v_1 反弹起来，由于冲击壁面的时间 Δt 很短，其值很小，则值 F_s 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 紊流性泥石流对渡槽的总作用力

紊流性泥石流在垂直于渡槽边壁方向对渡槽的总作用力由紊流性泥石流对渡槽结构的全压力 P_T (其方向始终垂直于渡槽边壁)和紊流性泥石流

中砂石垂直于边壁冲击力 F_s 组成：

$$R = P_T + F_s \quad (5)$$

$$\text{即：} R = \gamma_c h + \frac{\gamma_c v_c}{2g} + \frac{2(\rho - \rho_w) V v_1 \sin \alpha}{A \Delta t} \quad (6)$$

式中： R - 紊流性泥石流对渡槽的总作用力， N/m^2 。

单位面积上渡槽结构将承受 R 的力，在垂直于渡槽边壁方向，渡槽最容易受到破坏，因此，在设计渡槽时可把 R 作为控制性因素来考虑。

3 紊流性泥石流在平行于渡槽边壁方向对渡槽的作用力

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)。对流过渡槽的紊流性泥石流来说，由于含有大量的固体物质，这些固体物质除了对渡槽产生垂直于边壁的作用力外(前面求的 R)，在平行于渡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：

3.1 在平行于渡槽边壁方向泥石流整体对渡槽的作用力

当紊流性泥石流流过渡槽时，以整体形式对渡槽边壁产生摩擦作用，由液体总流动量定理可得下式^[2]：

$$\sum T_x = \rho Q (a_2 V_2 - a_1 V_1) \quad (7)$$

式中： $\sum T_x$ - 作用在紊流性泥石流上平行于渡槽边壁方向的全部外力之和， N ；

Q - 紊流性泥石流的流量， m^3/s ；

a_1, a_2 - 动量修正系数，一般取 1.02 ~ 1.05，粗略计算可取 1；

V_1, V_2 - 紊流性泥石流两端断面的平均流速， m/s 。

$\sum T_x$ 包含渡槽对泥石流整体摩擦力 f ，除此以外，一般说来，还有泥石流两端断面上的压力 P_1, P_2 ，图 2 是一渡槽的纵断面图，泥石流运动方向从左到右，取断面 I—I 和断面 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，方向平行于渡槽，向右； P_2 为下游断面 II—II 所受到的压力，方向平行于渡槽，向左； f 为泥石流在运动过程中受到渡槽摩擦力，方向平行于渡槽，向左。

那么，在平行于渡槽的方向有：

$$\sum T_x = G \sin \theta + P_1 - f - P_2 \quad (8)$$

而 $P_1 = \frac{1}{2} \gamma_c \cdot h_1^2; P_2 = \frac{1}{2} \gamma_c \cdot h_2^2$

6

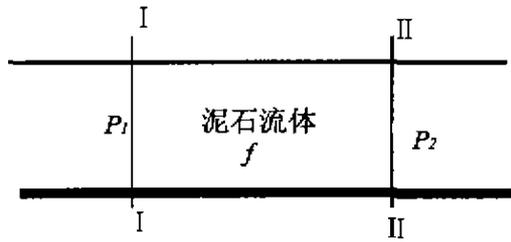


图2 渡槽的纵断面图

$$\text{所以有, } f = G \sin \theta + \frac{1}{2} \gamma_c \cdot h_1^2 - \frac{1}{2} \gamma_c \cdot h_2^2 - \rho Q (\alpha_2 V_2 - \alpha_1 V_1) \quad (9)$$

式中: G - 所取泥石流隔离体的重力, N ;

θ - 渡槽底与水平方向的夹角。

h_1 - 上游断面 I-I 的水深, m ;

h_2 - 下游断面 II-II 的水深, m 。

由作用力与反作用力的关系, 泥石流流体对渡槽的作用力 F 的表达式为:

$$F = -f \quad (10)$$

式中: F - 泥石流流体对渡槽的作用力, 即摩擦力的反作用力, N 。

3.2 在平行于渡槽边壁方向泥石流流体中固体颗粒对渡槽的冲击力

当紊流性泥石流流体中的砂石在冲击渡槽边壁时, 也要产生平行于渡槽边壁冲击分力, 根据动量定理, 并考虑水体的阻力, 有如下表达式:

$$F_x = \frac{2(\rho - \rho_w) V v_1 \cos \alpha}{A \Delta t} \quad (11)$$

式中: F_x - 砂石冲击渡槽时, 在平行于边壁方向的冲击分力, N 。

3.3 在平行于渡槽边壁方向泥石流流体对渡槽的总作用力

综上所述, 在平行于渡槽边壁方向, 泥石流作为整体要对渡槽产生 F 的作用力, 它长时间作用于渡槽边壁, 产生磨蚀作用, 另外, 紊流性泥石流流体中砂石在平行于渡槽壁的方向要对渡槽产生冲击分力 F_x 作用, 这两种作用一起, 将造成材料质点剥落, 损坏渡槽。

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, 由紊流性泥石流流体中可能含有的最大石块来控制, 可通过公式(6)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进行计算。其密度 ρ 、体积 V 很容易求得; 而 A 则要根据石块和排导槽的外形确定, 也不难; 至于速度 v_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; 角度 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出。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 不要列入。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。

在平行于排导槽边壁方向, 公式(9)的参数确定较简单, 至于公式(11)类似于公式(4)的求法, 其分析和控制与垂直于排导槽边壁方向的类似, 此不再述。

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), 通常采用渡槽来疏导泥石流^[7]。由于泥石流流体具有很大的能量, 在设计渡槽时, 必须考虑泥石流对渡槽的冲击及磨蚀作用, 即在设计的期限内渡槽能抗泥石流的冲击及磨蚀, 本文对紊流性泥石流流体对渡槽结构冲击及磨蚀机理进行了比较深入的研究, 为渡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.
- [2] 向华球. 水力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [3] 周必凡, 李德基, 罗德富等编著. 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.
- [5] 蒋元驹, 韩素芳. 混凝土工程病害与修补加固[M]. 北京: 海洋出版社, 1996.
- [6] 李树德. 泥石流灾害与环境[J]. 水文地质工程地质, 1996, 23(4): 40-43.
- [7] 张学龄主编. 桥涵水文[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.
- [8] 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.
- [9] 史正涛, 祁龙. 甘肃省文关家沟泥石流综合治理[J]. 山地研究, 1996, 15(2): 124-128.

(下转第 88 页)

Assessment and Suggestion on Management System of Vehicle Exhaust

CHEN Sheng-liang , LUO Yu , LIU Yuan-yuan

(Resources and Environment Science College of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper analyzes the deep reasons why the benefits are always poor though China has controlled the vehicle exhaust for more than ten years, as well as a successful experience of the developed countries. Contrasting the deficiencies of the previous *Air Pollution Control Law* and advantages of the present *Air Pollution Control Law*, the paper indicates the organization structure and management system of the EPA are not entirely eligible for the tasks though the new law entitles environmental administrations to strengthening the exhaust control. It calls for that, according to principle that a structure results in a function, China must establish the management system of vehicle emission control in metropolises as soon as possible. So we can implement this law and improve urban air quality that has deteriorated due to vehicle exhaust. This paper puts forward organization form, functions, tasks and effect of this system.

Key words: vehicle; exhaust; management system; suggestion

(责任编辑 钟学恒)

~~~~~  
(上接第 80 页)

## Applied Force Analysis of Turbulent-debris Flow to Drainage-canal

ZHOU Fu-chun<sup>1,2</sup>, LIU Li-ping<sup>2</sup>

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

2. College of Resource & Environment Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** This paper firstly makes an introduction to turbulent debris flow (rare debris flow) destroying drainage-canal, then simply summarizes the characteristics of the turbulent debris flow; thirdly deeply analyses drainage-canal being done force from two directions; one is vertical to drainage-canal wall, the other is equal to drainage-canal wall, furthermore obtains ten formulas. For this reason, designing basis for drainage-canal is provided.

**Key words:** turbulent debris flow; drainage-canal; applied force

(责任编辑 钟学恒)