

泥石流排导槽水力最佳断面^{*}

游 勇

(中国科学院、水利部成都山区灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 根据所导出三角形和复式三角形排导槽的最佳水力断面, 三角形水力最佳断面 $\beta =$

$\sqrt{1+m^2}-1$, 对梯形、矩形、三角形排导槽优化断面进行了比较, 研究结果对规划设计有很强适用性。

关键词 排导槽 水力最佳断面 三角形

分类号 《中国法》TV131.4, TV144, P642.23 文献标识码 A

排导槽是具有规则的平面形状、采用人工护砌横断面的开敞式槽形过流建筑物^[1], 其功能是将泥石流排导到预定地点, 确保防护对象的安全。由于工程结构简单、效果好、就地取材、施工及维护方便, 以及使用周期长, 造价省等特点, 排导槽是防治泥石流灾害中使用最为广泛的工程措施之一, 尤其在铁路、公路、水利、城镇、矿山、农田等泥石流防治工程中优先采用。例如成昆铁路泥石流病害整治工程中, 排导工程在防治工程中在南中段占 95%, 北段占 86%。据铁部门 1991 年的统计, 在总数 883 项工程中有排导工程 344 项, 约占全部工程总数的 39%。

排导槽工程在 70 年代以前, 基本上是按一般洪水规律, 根据流量、流速、地形条件进行设计, 横断面多为传统式的平底梯形或矩形导槽, 具有槽宽、槽浅、槽底平的特点。工程实践中表明这种排导槽在排泄洪水和挟沙水流效果十分显著, 而在排泄泥石流时则效果较差, 常出现淤积、堵塞、淤埋等现象。通过工程实践, 我国创造出一些新型断面结构型式, 如在铁路东川支线、成昆线泥石流病害整治中成功应用的 V 型和圆形底排导槽。

排导槽的横断面是设计中的重要参数, 选择合理的过流断面, 使排导槽具有最佳的排泄能力, 是迫切需要解决的问题。

1 排导槽最佳水力横断面

排导槽的横断面能满足不同规模过流能力的要求, 并具有最佳水力特征断面形状和尺寸, 以便能顺畅排泄各种类型和规模的泥石流, 要做到这一点是比较困难的, 在各种人工沟槽横断面中, 梯形断面、矩形断面、三角形及复式断面, 由于具有较大的水力半径, 及输移力较大, 目前在实际工程中多优先采用。

1.1 横断面设计普通方法

1.1.1 初选断面形状

梯形或矩形断面——适用一切类型和规模的泥石流。

三角形断面——适用频繁发生、规模较小的粘性泥石流。

1.1.2 按最大流量和允许流速计算横断面积

1.1.3 由断面形状初定宽深比的范围

梯形或矩形断面宽深比 2 ~ 6

三角形断面宽深比 1.5 ~ 4,

圆弧底复式断面宽深比 3 ~ 10。

^{*}中国科学院“山地灾害——泥石流、滑坡基础研究”(编号: 961404)和中国科学院重大项目 B(KZ951—B1)资助。

收稿日期: 1998—09—28; 改回日期: 1999—03—24。

1.1.4 初定断面尺寸

- 1. 将泥石流流通段和排导槽进行类比确定排导槽宽度的上限, $B_f \leqslant (I_f^2 / I_b) B_b$, B_f 、 I_b 为流通段的宽度和纵坡;
- 2. 确定底宽。一般要求, $B_{min} \geqslant 4$, 且 $D_{max} \geqslant 2.0 \sim 2.5$; B_{min} 、 D_{max} 分别是小底宽和河床物质最大粒径;
- 3. 拟定槽深。 $H = H_c + \delta H_c$ 为设计泥深, δ 是安全超高。

从上面可知, 目前设计没有给出如何确定最佳水力断面的参数指标和判别标准。排导槽的最佳断面是指在纵坡 I 和糙率系数 n 及设计流量一定时, 过流断面 A 最小的断面或水力半径 R 最大的断面, 即以最小的过水断面面积通过设计流量的水力断面。为了在工程设计中选择合理经济的排导槽断面形式和结构尺寸, 下面对梯形、矩形、三角形、三角形复式断面进行分析比较。

设 L_1 、 L_2 为过流断面的两个特征长度, $\beta = L_1 / L_2$ 。不同断面形状可以选择不同结构尺寸参数作为特征长度。过流断面面积 A 和湿周 X 可表示成 β 和 L_1 的函数

$$A = f(\beta, L_1), X = g(\beta, L_1) \tag{1}$$

最佳水力断面条件为 $\begin{cases} A = \text{常数} \\ X = \text{最小值} \end{cases}$, 或 $\begin{cases} Q = \text{常数} \\ A = \text{最小值} \end{cases}$ 即
$$\frac{dL_1}{d\beta} = 0 \quad \frac{dX}{d\beta} = \frac{\partial X}{\partial \beta} + \frac{\partial X}{\partial L_1} \frac{dL_1}{d\beta} = 0 \tag{2}$$

由条件(2)可求得最佳水力断面应满足的 β 值。

1.2 三角形复式排导槽最佳水力条件

三角形复式排导槽过流断面和尺寸如图 1 所示, m 为边坡系数, 过流断面面积和湿周为

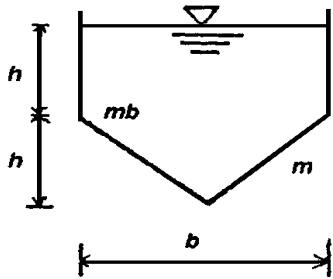


图 1 三角形复式断面
Fig.1 Compound triangular cross-section

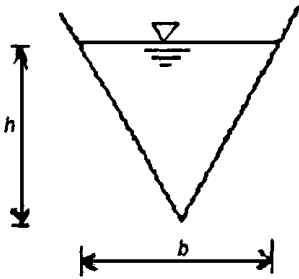


图 2 三角形断面
Fig.2 triangular cross-section

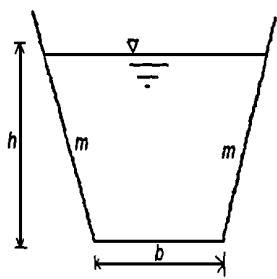


图 3 梯形断面
Fig.3 Trapezoidal cross-section

$$A = 2mh_1h_2 + mh_2^2, \quad X = 2h_1 + 2h_2\sqrt{1+m^2}$$

令 $\beta = h_1 / h_2$, 由条件(2)得

$$\beta = \sqrt{1+m^2} - 1 \tag{4}$$

可见, 三角形复式水力最佳断面仅与系数 m 有关。

1.3 三角形排导槽最佳水力条件

三角形排导槽过流断面如图 2, 过流断面水力要素为

$$A = \frac{1}{2}bh, \quad X = 2\sqrt{\frac{b^2}{4} + h^2} \tag{5}$$

令 $\beta = b / h$, 得最佳水力条件为 $\beta = 2$ 或 $b = 2h$ 。

1.4 梯形排导槽最佳水力断面条件

梯形排导槽过水断面和尺寸如图 3 所示, 其水力要素为

$$A = (b + mh)h, \quad X = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

(6)

令 $\beta = b/h$, 得 $\beta = 2 \sqrt{1 + m^2} - 2m$, 可知, 梯形水力最佳断面的 β 仅与边坡系数有关。

1.5 矩形排导槽最佳水力条件

矩形排导槽过流断面和尺寸如图 4, 若

$$A = bh, \quad X = b + 2h$$

(7)

在梯形断面中取 $m = 0$ 即为矩形断面。可得 $\beta = 2$, 即 $b = 2h$

2 水力最佳断面比较

为比较的方便, 将梯形、矩形、三角形、三角形复式排导槽的最佳水力断面面积和湿周写成 $nQ/I^{1/2}$ 的函数形式(此处采用普通泥石流流量公式: $Q = AC \sqrt{RI} = I^{1/2} A^{5/3}/n_x^{2/3}$, 以下令 $\varphi = (2nQ/I^{1/2})^{3/8}$

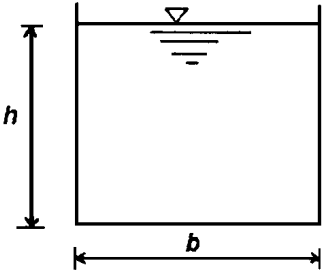


图 4 矩形断面
Fig. 4 Triangular cross-section

2.1 梯形断面

$$A_0 = 2^{-1/4} (2 + \sqrt{1 + m^2} - m)^{1/4} \varphi^2, \quad X_0 = 2^{7/8} (2 + \sqrt{1 + m^2} - m)^{3/8} \varphi$$

(8)

2.2 矩形断面

$$A_0 = \varphi^2, \quad X_0 = 2^{2/3} \varphi$$

(9)

2.3 三角形断面

$$A_0 = \varphi^2, \quad X_0 = 2^{3/2} \varphi$$

(10)

2.4 三角形复式断面

$$A_0 = 2^{-1/4} (2 \sqrt{1 + m^2} - 1)^{1/4} m^{-1/4} \varphi^2, \quad X_0 = 2^{7/8} (2 \sqrt{1 + m^2} - 1)^{5/8} m^{-5/8} \varphi$$

(11)

2.5 比较结果

不同类型排导槽水力最佳断面相应的水力要素(见表 1), 以及水力半径 R_0 均可表示为

$$A_0 = N \left(\frac{nQ}{\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{4}}, \quad X_0 = M \left(\frac{nQ}{\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}, \quad R_0 = K \left(\frac{nQ}{\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

(12)

表 1 不同类型排导槽水力最佳断面的比较

Table 1 The comparison on the optimal hydraulic section of different type drainage canal

序号	断面形状	系数		
		N	M	K
1	梯形排导槽 $0 < m \leq \frac{4}{3}$	1.622 ~ 1.682	3.353 ~ 3.668	0.459 ~ 0.484
2	三角形复式排导槽 $m \geq \frac{4}{3}$	≤ 1.682	≤ 3.668	≥ 0.459
3	短形排导槽 $m = 0$	1.682	3.668	0.459
4	梯形排导槽 $m > \frac{4}{3}$	> 1.682	> 3.668	< 0.459
5	三角形复式排导槽 $m < \frac{4}{3}$	> 1.682	> 3.668	< 0.459
6	三角形排导槽	1.682	3.668	0.459
7	三角形复式常用断面 $3.33 < m < 10$	1.635 ~ 1.663	3.419 ~ 3.564	0.478 ~ 0.467

从表达式可知, 当 (nQ/\sqrt{I}) 相同时, 即同一设计流量、设计糙率系数、设计纵坡, 系数 N 、 M 、 K 越大, 相应水力要素的 A_0 、 X_0 、 R_0 也越大。不同类型排导槽水力最佳断面比较见下表, 优化断面按表中序号给出, 从表中可知参数 m 对断面优化有影响。对梯形断面, 当 $0 < m \leq 4/3$ 时, N 值在 1.622 ~ 1.682 之间, $m > 4/3$ 时, $N > 1.682$; 而对矩形排导槽, $m = 0$, 相应的 $N = 1.682$, 因此, 当 $0 < m \leq 4/3$ 时, 梯形断面比矩形断面积小, 梯形断面较矩形断面优越; 而当 $m > 4/3$ 后, 矩形断面面积比梯形断面积小, 矩形断面反而比梯形断面优越。对三角形复式断面, 当 $m \geq 4/3$ 时, $N \leq 1.682$; 当 $m < 4/3$ 时, $N > 1.682$, 因

此, $m \geq 4/3$ 的三角形复式断面比相同条件的矩形断面面积小。 $m < 4/3$ 的三角形复式断面比相同条件矩形断面面积大。 常用三角式复式断面的 m 值一般在 $3.33 \sim 10$ 之间, 相应优化断面的 N 值 $1.635 \sim 1.663$, 显然此时的三角形复式断面积比矩形断面积小, 三角形复式断面较矩形断面优越。

致谢: 王士革副研究员、罗德富研究员对本文写作给予指导, 在此深表感谢。

参 考 文 献

- 1 成都科技大学水力学教研室组编. 水力学(上册). 北京: 人民教育出版社, 1979. 249 ~ 251
- 2 周必凡, 李德基, 罗德富等. 泥石流防治指南. 北京: 科学出版社, 1991. 125 ~ 129
- 3 李德基主编. 泥石流减灾理论与实践. 北京: 科学出版社, 1997. 178 ~ 186

作者简介 游勇, 34 岁, 工学硕士, 副研究员, 主要从事山地灾害研究和工程设计工作, 参加编写专著 1 本, 发表论文 15 篇, 获中国科学院科技进步成果二等奖 1 项

OPTIMAL HYDRAULIC CONDITION OF DEBRIS FLOW DRAINAGE CANAL

YOU Yong

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science
& Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041*)

Abstract The optimal hydraulic conditions of triangle cross-section and compound triangle cross-section were presented. The results show that the optimal hydraulic condition of debris flow drainage canal is that the ratio β of width b to depth h is 2 for triangle cross-section and $\beta = \sqrt{1+m^2} - 1$ for compound triangle cross-section. The hydraulic condition of different types (trapezoid, rectangular, triangle and compound triangle) of debris flow drainage canal have been discussed. The conclusion of this study is of reference value for the disaster control and prevention.

Key words drainage canal, optimal hydraulic section, triangular