

# 关于公路急流槽水流挑流对公路及周边建构筑物的影响研究

张林洪<sup>1</sup>, 吴培关<sup>1</sup>, 唐正光<sup>1</sup>, 王苏达<sup>1</sup>, 吴华金<sup>2</sup>, 陈加洪<sup>2</sup>, 房锐<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051; 2. 云南省公路规划勘察设计院, 云南 昆明 650000)

**摘要:** 对急流槽挑流的危害进行了简述, 对急流槽的水文计算、挑流距离的水力计算等进行了研究, 并提供了云南某段公路急流槽的算例, 对计算结果进行了讨论和提出了几种避免挑流影响的措施。

**关键词:** 公路; 挑流; 急流槽; 危害; 避免措施

**中图分类号:** U417.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)04-00117-05

## Study on Picking Stream Harmfulness of Rapid Stream Trough to Highways and Other Buildings

ZHANG Lin-hong<sup>1</sup>, WU Pei-guan<sup>1</sup>, TANG Zheng-guang<sup>1</sup>, WANG Su-da<sup>1</sup>,

WU Huai-jin<sup>2</sup>, CHEN Jia-hong<sup>2</sup>, FANG Rui<sup>2</sup>

(1. Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;

2. Yunnan Plan, Reconnaissance and Designing Institute of Highway, Kunming 650000, China)

**Abstract:** The picking stream of rapid stream trough is harmful to highways and other buildings. Hydrology and picking stream distance of water power are calculated. An example of a highway of Yunnan Province is given, in which the calculated result of hydrology and picking stream distance of water power are discussed, and the ways to avoid harmfulness to highways and other buildings are given.

**Key words:** highway; picking stream of rapid stream; stream trough; harmfulness; the ways to avoid harmfulness to highways and other buildings

## 0 引言

在公路建设中, 都会遇到从高处向低处排水, 如从路堤段的路面泄水口向边沟排水、从边坡向边沟排水、从高处排水沟向低处排水沟排水等都要用急流槽进行过渡。当急流槽在输水过程中遇到台坎时, 就会产生挑流, 使水不会流到指定位置, 而跳到路面、农田、以及其它周边建构筑物上, 造成对公路及周边建构筑物的损坏或影响其正常使用。在公路上, 特别是山区公路上, 常常看到开挖边坡急流槽在碎落台处产生挑流, 对边坡产生冲刷; 在边坡急流槽与公路边沟交接处产生挑流, 对路面造成冲刷; 路堤急流槽与下边沟交接处产生挑流, 对农田及其它建构筑物产生冲刷等危害。为此, 本研究对产生挑流的理论计算作一探讨, 并对挑流影响提出一些处理方法。

## 1 急流槽径流量的计算

计算汇流水量的公式较多, 在此采用文献[1]的径流量的计算公式计算。

$$Q = 16.67 \Psi q F \quad (1)$$

式中:  $Q$  为径流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\Psi$  为径流系数见文献[1]表 3.0.8;

收稿日期: 2003-02-25; 基金项目: 交通部西部科技建设项目。

第一作者简介: 张林洪(1962~), 男, 硕士, 教授; 主要研究方向: 岩寺工程, 交通工程, 水利水电工程。E-mail: E621112

@public.km.yn.cn

$F$  为汇水面积(km);

$q$  为设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度(mm/min).

$$q = c_p c_t q_{5,10} \quad (2)$$

$c_p$  重现期转化系数, 为设计重现期降雨强度  $q_p$  同标准重现期的降雨强度  $q_5$  的比值( $q_p/q_5$ ), 按公路所在地区由文献[1]表 3.0.7-1 查取.

$c_t$  降雨历时转化系数, 为降雨历时  $t$  的降雨强度  $q_t$  同 10 min 降雨历时的降雨强度  $q_{10}$  的比值( $q_t/q_{10}$ ), 按公路所在地区的 60 min 转化系数( $c_{60}$ ) 由文献[1]图 3.0.7-2 查取, 由文献[1]表 3.0.7-2 查取  $c_t$ .

$q_{5,10}$  5 年重现期和 10 min 降雨历时的标准降雨强度(mm/min), 按公路所在地区, 由文献[1]图 3.0.7-1 查取.

在急流槽水量计算时, 也可按照当地的正常降雨量和地表情况、汇水面积等进行计算.

## 2 急流槽水流流速的计算

急流槽断面一般都是采用矩形或梯形, 采用矩形急流槽的情况较多, 以下以矩形断面为例进行计算, 在急流槽中的水流速度一般较大, 大都必须考虑水流掺气的影响, 急流槽的流速计算如下:

### 2.1 急流槽起点水深(即临界水深) $h_k$

急流槽起点水深(即临界水深)  $h_k$  参照文献[2], 如下:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{aQ^2}{gb^2s}} \quad (3)$$

$Q$  为设计流量( $m^3/s$ );

$b$  急流槽底宽(m);

$a$  为考虑掺气影响系数;

$g$  为重力加速度( $m/s^2$ ).

### 2.2 急流槽均匀流时的正常水深 $h_0$

急流槽均匀流时的正常水深  $h_0$  经验公式<sup>[2]</sup>:

$$h_0 = \left[ \frac{a \cdot Q}{b \cdot m \cdot I^{1/2}} \right]^{3/5} \quad (4)$$

在急流槽水流水深计算过程中, 可采用试算的方法, 确定急流槽的正常水深  $h_0$ .

1) 先假定  $h_0$ , 然后计算过水断面面积  $\omega_0$ , 湿周长度  $\rho_0$ , 水力半径  $R_0$ , 估计流速  $V_0$ .

$$\omega_0 = b \times h_0 \quad (5)$$

$$\rho_0 = b + 2h_0 \quad (6)$$

$$R_0 = \frac{\omega_0}{\rho_0} \quad (7)$$

$$V_0 = \frac{Q}{\omega_0} \quad (8)$$

2) 正常流速  $V_s$

考虑水流的掺气影响, 糙率的考虑掺气影响,  $n_a = a \times n$ ,  $a$  为掺气影响系数, 见文献[2]表 5-32, 谢才系数  $C$  为:

$$C = \frac{1}{n_a} R^{1/6} \quad (9)$$

则, 正常流速  $V_s$  为:

$$V_s = C \sqrt{R_i} \quad (10)$$

(3) 正常流量  $Q_s$

$$Q_s = V_s \omega_0 \quad (11)$$

$Q$  与  $Q_s$  相比, 如果误差大于 5%, 不符合要求, 重新假定  $h_0$  由 (1) 步进行计算; 如果误差小于 5%, 符合

要求, 结束计算. 由此即可确定正常水深  $h_0$  和正常流速  $V_s$ .

### 2.3 长短急流槽的判别及槽末水深 $h_z$ , 槽末流速 $v_z$ 的确定

因为自起点断面水深  $h_k$  之后的急流槽水深为降水曲线, 一直降到水深为  $h_0$ , 为了计算方便, 可以把水深平均分为几段, 然后按如下公式和程序计算降水曲线长度.

#### 1) 断面比能

前一断面的断面比能  $E_{s1}$

$$E_{s1} = h_1 + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_1^2} \tag{12}$$

后一断面的断面比能  $E_{s2}$

$$E_{s2} = h_2 + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_2^2} \tag{13}$$

$\omega_1, \omega_2$  为前、后两断面过水面积( $m^2$ );

$h_1, h_2$  为前、后两断面的水深.

#### 2) 相邻两断面的沿槽长度 $\Delta l$

$$\Delta l = \frac{E_{s2} - E_{s1}}{i - I_j} \tag{14}$$

$i$  为急流槽的坡降;  $I_j$  为前后两断面的平均摩阻坡度.

$$I_j = \frac{Q^2}{\omega_j^2 \times c_j^2 \times R_j} \tag{15}$$

$$\omega_j = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \tag{16}$$

$$C_j = \frac{C_1 + C_2}{2} \tag{17}$$

$$R_j = \frac{R_1 + R_2}{2} \tag{18}$$

$C_1, C_2, R_1, R_2$  为前后两断面的谢才系数和水力半径.

### (3) 长短槽的判别及槽末水深 $h_z$ 、槽末流速 $V_z$ 的确定

降水曲线长度  $l$ :

$$l = \sum \Delta l \tag{19}$$

当  $l \leq L$  ( $L$  为急流槽长度) 时, 为长急流槽. 过  $l$  后至  $L$  之间为陡坡均匀流的长槽末端水深  $h_z = h_0$ , 槽末流速  $V_z = V_s$ .

当  $l > L$  时, 为短急流槽. 此时槽身为为一不完整的降水曲线. 槽末端的水深  $h_z$  可以直线内插法求得, 公式为:

$$h_z = (h_k - h_0) \cdot \frac{(l - L)}{l} + h_0 \tag{20}$$

槽末断面的流速  $V_z = Q/\omega_z$ ,  $\omega_z$  为槽末过水断面面积( $m^2$ ).

### 3 急流槽挑流距离的计算

忽略挑流台坎处的水头损失和空气阻力对挑流的影响, 按照质点运动方程, 设挑流的初速度为急流槽末水流流速  $V_z$ , 急流槽台坎的挑角为  $\theta$  (一般为 0 或负值,  $\theta$  角: 逆时针方向为正, 顺时针为负, 以挑流点为原点,  $x$  轴水平,  $y$  垂直向下), 如图 1, 则运动方程[3] 为:

$$y = - (V_z \sin \theta) t + \frac{1}{2} g t^2 \tag{21}$$

$$x = (V_z \cos \theta) t \tag{22}$$

设急流槽的台坎高度为  $H$ , 则挑流落到地面的时间  $t_d$  为:

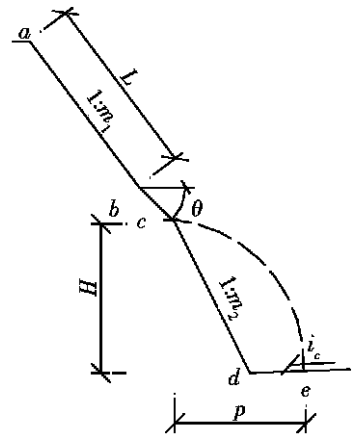


图 1 急流槽挑流距离计算

$$t_d = \left( V_z \sin \theta + \sqrt{V_z^2 \sin^2 \theta + 2gH} \right) / g \quad (24)$$

当  $\theta = 0$  时,  $t_d = (\sqrt{2gH}) / g$

挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z^2 \sin \theta \cos \theta}{g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2gH}{V_z^2 \sin^2 \theta}} \right] \quad (25)$$

当  $\theta = 0$  时,  $P = (V_z \sqrt{2gH}) / g$

#### 4 算例

云南省某高速公路一急流槽, 坡面坡度为 1:0.5, 植草坡面, 汇水面积为  $4472.136 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 五年一遇的降雨强度  $q_{5,10} = 10 \text{ mm/min}$ , 60 min, 降雨强度转换系数  $C_{60} = 0.40$ , 急流槽为矩形单层浆砌片石, 底宽为 0.3 m, 计算当发生五年一遇降雨时的挑流距离。

##### 1) 水文计算

按高速公路降雨强度重视期 15 a, 降雨历时 3 min, 则  $C_p = 1.27$ ,  $C_t = 1.40$ , 降雨强度为:

$$q = c_p c_t q_{5,10} = 1.27 \times 1.40 \times 2.5 = 4.445 \text{ mm/min}$$

径流系数:  $\Psi = 0.55$ , 则径流量为:

$$Q = 16.67 \Psi q F = 0.182 (\text{m}^3/\text{s})$$

##### 2) 急流槽水深

急流槽内均匀流的正常水深  $h_0$ :

$$h_0 = \left( \frac{a \cdot Q}{b \cdot m \cdot I^{1/2}} \right)^{3/5} = 0.1356 (\text{m})$$

急流槽起点水深  $h_k$ :

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{aQ^2}{gb^2s}} = 0.591 (\text{m})$$

试算正常水深  $h_0$ :

1) 假定  $h_0 = 0.19 \text{ m}$ :

$$\omega_0 = b \times h_0 = 0.057 (\text{m}^2)$$

$$\rho_0 = b + 2h_0 = 0.68 (\text{m})$$

$$R_0 = \frac{\omega_0}{\rho_0} = 0.0838 (\text{m})$$

估计流速:  $V_0 = \frac{Q}{\omega_0} = 3.198 (\text{m/s})$

由于急流槽坡度较大, 应考虑水流掺气的影响, 则粗糙系数为:  $n_a = a \times n = 3.33 \times 0.025 = 0.083$

$$C = \frac{1}{n_a R^{1/6}} = 7.945$$

正常流速  $V_s$  为:

$$V_s = C \sqrt{R_0 i} = 3.253 (\text{m/s})$$

正常流量  $Q_s$

$$Q_s = V_0 \omega_0 = 0.185 (\text{m}^3/\text{s})$$

$Q$  与  $Q_s$  相比, 误差小于 5%, 符合要求。

经计算降水曲线长度为 0.2503 m, 长度小于急流槽长度, 为长急流槽。由此即可确定正常水深  $h_z = 0.19 \text{ m}$  和正常流速  $V_z = 3.253 (\text{m/s})$ , 同时也为挑流水深和挑流流速。

当  $\theta = 10^\circ$ , 急流糙台砍高度  $H = 2 \text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z^2 \sin \theta \cos \theta}{g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2gH}{V_z^2 \sin^2 \theta}} \right] = 2.233 \text{ m}$$

当  $\theta = -10^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 2\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = (V_s \sqrt{2gH})/g = 2.077\text{ m}$$

当  $\theta = -10^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 2\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z \cos \theta}{g} [V_z \sin \theta + \sqrt{V_z^2 \sin^2 \theta + 2gH}] = 1.867\text{ m}$$

当  $\theta = -20^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 2\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z \cos \theta}{g} [V_z \sin \theta + \sqrt{V_z^2 \sin^2 \theta + 2gH}] = 1.636\text{ m}$$

当  $\theta = 10^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 10\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z^2 \sin \theta \cos \theta}{g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2gH}{V_z^2 \sin^2 \theta}} \right] = 4.765\text{ m}$$

当  $\theta = 0^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 10\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = (V_s \sqrt{2gH})/g = 4.647\text{ m}$$

当  $\theta = -10^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 10\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z \cos \theta}{g} [V_z \sin \theta + \sqrt{V_z^2 \sin^2 \theta + 2gH}] = 4.396\text{ m}$$

当  $\theta = -20^\circ$ , 急流糙台坎高度  $H = 10\text{ m}$  时, 挑流距离  $P$  为:

$$P = \frac{V_z \cos \theta}{g} [V_z \sin \theta + \sqrt{V_z^2 \sin^2 \theta + 2gH}] = 4.0317\text{ m}$$

如边沟宽度为  $0.67\text{ m}$ , 当边坡高为  $10\text{ m}$ , 坡比为  $1:0.35$  时, 挑流点距路面的距离为  $4.17\text{ m}$ , 只有挑流倾角为  $-20^\circ$  以上时才不使挑流到路面; 当护面墙高为  $2\text{ m}$ , 坡比为  $1:0.25$  时, 挑流点距路面的距离为  $1.17\text{ m}$ , 台坎倾角为  $0^\circ, -10^\circ, -20^\circ$  时, 都会挑流到路面。

## 5 关于公路急流槽水力计算的讨论

从上面的计算可以看出, 只要急流槽中的水流在向下流动的过程中, 遇到倾角比急流槽缓的台坎时, 就会产生挑流, 挑流距离与水流速度成正比; 台坎越高挑流距离越远; 挑流台坎顶面向下的倾角越大挑流距离越近。

为此, 在公路的设计、施工中, 应避免在急流槽下降过程中出现倾角突然变缓的情况。如无法避免, 需要计算挑流是否会影响到公路本身及周边建构筑物、农田等。如挑流影响到公路本身及周边建构筑物、农田等, 应从如下方面(降低水流速度、增大台坎倾角、降低台坎高度、移动挑流起点等)采取措施缩短挑流距离或避免挑流的产生:

- 1) 在急流槽中采取消能措施降低水流速度, 如采用变宽急流槽, 在急流槽中设跌水、人工肋条等等;
- 2) 降低台坎高度, 甚至取消台坎;
- 3) 变缓台坎顶面的倾角;
- 4) 后移急流槽, 改变台坎的起始挑流点;
- 5) 在急流槽进水口与边坡碎落台排水沟交接处设置台坎, 减少上急流槽进入下急流槽的水流速度和水量, 让部分水由碎落台水沟纵向流到边坡两侧急流槽或天然箐沟中流走。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准. 公路排水设计规范 JTJ018-97[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998. 5~8.
- [2] 顾克明, 苏清洪, 等. 涵洞[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997. 283~295.
- [3] 庞志伟, 等. 公路工程反流设计的方法和建议[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2003, 28(3): 150~153.
- [4] 吴持恭. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983. 28~32.