

# 一种泥石流拦砂坝溢流口的防冲设施

袁 锡 明

(四川省黑水县人民政府)

## 提 要

本文介绍的是四川省黑水县芦花沟泥石流拦砂坝溢流口防止冲刷的一种钢件结构设施。其结构型式是：在拦砂坝溢流口下游侧底面与下游坝体垂直临空面交接处，用8—10毫米的钢板作成，伸出下游临空面59厘米，高出溢流口底面10—15厘米的钢件，用 $\phi 25$ 毫米的螺纹钢筋焊接后，再在坝体溢流口浇筑50厘米厚的200号钢筋混凝土，使其与拦砂坝衔接成整体。有这种设施的溢流口，能拦蓄一层泥石流，起消能和缓冲作用。在后来的泥石流过坝时，将泥石流对坝体溢流口直接的冲刷、摩擦、碰撞和淘蚀作用的外力，变成泥石流内部的石磨石、砂磨砂的内力，从而保护拦砂坝溢流口不被过坝泥石流所破坏。

拦砂坝溢流口的防冲问题，是泥石流防治工程设计中应考虑的重要问题。但是，这个问题在过去的泥石流防治工程中，一直未能很好解决，以致由于拦砂坝溢流口被泥石流破坏，进而造成坝体毁坏，甚至引起溃坝。对于拦砂坝溢流口的防冲问题，不少国内外泥石流工作者曾进行过探索。云南省东川市泥石流防治研究所，在拦砂坝溢流口顶上，用埋梅花钢柱的办法拦蓄一层泥石流起消能防冲作用，就是一个例子。从实践结果看，这种办法并没有彻底解决溢流口的防冲问题。我们在四川省黑水县芦花沟泥石流工程设计中，带着这个问题进行了一些调查和分析研究，并设计出了一种拦砂坝溢流口的防冲钢件。通过两年的使用和几场泥石流的考验，证明采用钢件防止溢流口冲刷的设施是成功的。这是一种首次应用于泥石流防冲的新结构型式，投资少，效果又好，具有普遍推广的价值。本文介绍出来，供专家和同行们研究。

## 一、泥石流拦砂坝的作用及溢流口的破坏问题

(一) 泥石流拦砂坝的型式与作用。关于坝的型式，人们自然会联想到已有上千年历史的水工坝型式。水工坝是上游成陡坡，下游成缓坡，基本上近似直角三角形。这主要是由于水工坝受力随水深呈直角三角形分布而确定的。泥石流拦砂坝的型式，是上游成缓坡（一般1:0.6—1:1），下游成陡坡（一般1:0—1:0.2），正好同水工坝上下游设置的方向相反。如果从水工坝的受力稳定性观点来分析泥石流坝型，似乎是不合理的。但从泥石流这种特殊的流体受力及作用来看，它完全是合理的。因为，两种坝拦蓄的物质性质不同，所起的作用也不同：前者，拦蓄的是水体，是为了防洪、灌溉、发电、航运、水产等之用；后者，拦蓄的是固体，是为了让泥砂回淤沟道，抬高局部沟床，稳定沟岸边坡，压埋滑坡坡脚，抑制滑坡发展等作用的。在其上游缓坡上停蓄的泥石流，作用有二：一是起一部分坝体重量的稳定作用；二是起保护拦砂坝上游坝面的作用。下游陡坡型式，是为了防止过坝泥石流的固体物质下泄跌落，砸坏坝体和坝脚，起到保护拦砂坝下游坝体的作用。这种坝型，是通过不断实践而确定的。更确切地讲，是在大量失败经验基础上总结出来，又是有理论根据的合理型式。

(二) **泥石流拦砂坝溢流口的破坏问题。**从前面讨论看出,水工坝拦蓄的是水体,库容装满后,可以用开闸方式,或从溢洪道宣泄,以保护库坝的安全。但泥石流拦砂坝则不然,它拦蓄的是固体,库容装满后,不可能用上述方法把库内固体排走。当库容装满后,泥石流只有从坝体的溢流口排泄。于是,坝的溢流口就成了以后泥石流的长期排泄的通道。水工坝溢洪道排泄的水体,一般只存在水流的冲刷问题;而泥石流是饱含大量固体的多相流体,在通过拦砂坝溢流口排泄时,它对溢流口不仅有冲刷问题,还有泥砂摩擦,大石块的碰撞和水砂的淘蚀问题。显然,后者的作用因素和作用力,要比前者复杂得多,力要大得多,破坏作用必然严重得多。泥石流拦砂坝的溢流口,被过坝泥石流冲刷等破坏,造成整个坝体毁坏,甚至溃坝。这种事例并不少见。为了保护泥石流拦砂坝体的稳定性,延长其使用寿命,泥石流拦砂坝溢流口的防冲处理,就成为坝体设计的重要问题。由于泥石流拦砂坝溢流口的防冲处理措施,比水工坝溢洪道的处理难度大得多。因此,这一问题一直未能很好解决。

## 二、解决拦砂坝溢流口防冲问题的依据

要解决泥石流拦砂坝溢流口破坏问题,就得同时解决泥石流对溢流口的冲刷、摩擦、碰撞和淘蚀等一系列问题。如果采取的办法,只能解决一系列问题中的一项或两项,则仍不能有效地保护坝体的安全。这是防冲设施的设计原则,也是我们考虑问题的出发点和归宿。当然,解决泥石流拦砂坝溢流口防冲的办法是很多的。比如,采用高标号的钢筋混凝土,浇筑拦砂坝溢流口的底面和两侧面,但造价很高,又不能从根本上解决泥石流对溢流口的摩擦问题;又比如,用耐冲、抗磨的材料,保护溢流口底面和两侧面的表面层,不仅价格昂贵,仍经受不了大石、巨石的碰撞问题。如前面所述,云南东川市的同志们,想利用泥石流的特性,寻找简便的处理办法,来解决泥石流对坝口的破坏问题。他们在泥石流拦砂坝溢流口底面下游侧边缘顶部,采取预埋数排梅花钢桩的办法,目的是让溢流口底面拦蓄一层泥石流,以便后来的泥石流,从其上面通过,起到石磨石、砂磨砂的消能作用,从而减小泥石流对溢流口的摩擦、碰撞,达到保护坝体不被过坝泥石流所破坏。由于溢流口边缘未做任何的加强加固措施,其结果,溢流口边缘仍被泥石流冲刷和石块碰撞而破坏。另外,梅花桩的措施,虽然形成了群体,但它并不是一个整体,钢桩顶端受到巨大石块的冲击力,有的钢桩产生变形,如歪斜和弯曲等,也很容易遭毁坏;甚至有些钢桩底座混凝土被冲毁,钢桩也无存身之地,形成了唇亡而齿寒的状况。

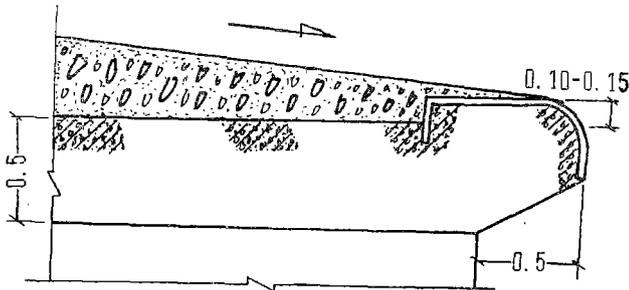
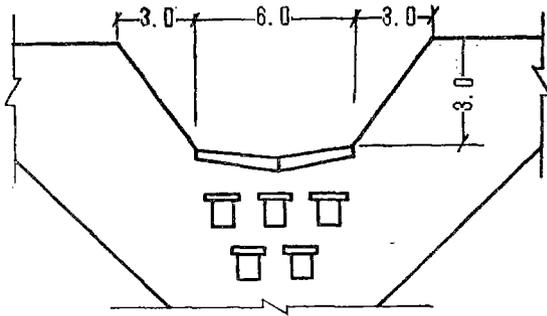
东川的办法给我们一定的启示。只要想办法保护坝口边缘不被破坏,并使其与坝体本身衔接成整体,则利用泥石流拦蓄层的消能作用保护坝体,是一种简便可行的办法。主要理由一是有理论根据。我们分析一下水工消能结构中,跌坎倒坡和消力池的功能就可发现,水工坝下游的消力池,要求保证有一定的水深,实质上,就是利用了水碰水、水磨水的自身消能。上述用梅花钢桩拦蓄一层泥石流作消能,亦是利用了同样原理;二是泥石流沟道的实际现象存在。从泥石流发生过程中的沟道冲淤变化规律看,当泥石流龙头受到沟底基岩门坎,或大树桩等的障碍时,会拦蓄一层泥石流,即所谓的铺床作用,后来的泥石流,就在其上通过。可见,利用拦蓄一层泥石流,起到铺床,自身消能,达到保护坝体溢流口不被破坏的作用。我们就是依据上述理由,设计出了拦砂坝溢流口的防冲钢件结构的。

## 三、拦砂坝溢流口的防冲钢件结构

(一) **结构与尺寸。**在泥石流拦砂坝溢流口下游侧底面,与坝体下游垂直临空面交接处,用8—10毫米,或更厚一些的钢板(钢板的厚度,随大石、巨石的碰撞力而确定),作成如图1所

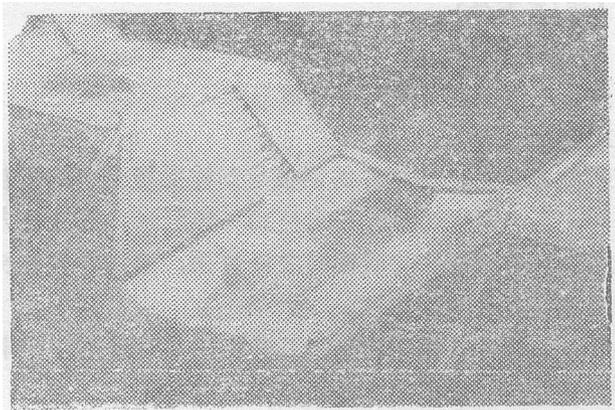
示的防冲钢件结构设施。

防冲钢件，与溢流口的钢筋混凝土连接成整体，防冲钢件长度，随溢流口底面宽度而定。芦花沟拦砂坝溢流口防冲钢件长600厘米，宽为80—100厘米，高50厘米。钢件伸出坝体下游垂直临空面50厘米，平面高出溢流口底面10—15厘米（还可视泥石流的性质、规模、颗粒级配可高可低）。



(单位：米)

图1 芦花沟拦砂坝溢流口防冲钢件结构图



照片1 拦砂坝溢流口实况

如溢流口底面向中心设计成1:6的斜坡，那么钢件也加工成1:6的斜面，即钢件成三角形。这样能对溢流口两侧下部起到一定高度的保护作用，也有利于沟道中自身的水量清淤（照片1）。对较小的拦砂坝，溢流口底面可设计成平面，防冲钢件也加工成直线形状。

防冲钢件采用厚8—10毫米的钢板，焊接在钢筋混凝土的钢筋上。钢筋混凝土的钢筋采用 $\phi 25$ —28毫米的螺纹钢，然后在钢件与拦砂坝溢流口底面之间，浇筑厚度为50厘米的200号钢筋混凝土。混凝土由钢件平面开的三个窗口浇注进去，使钢件的钢板、钢筋与浇筑混凝土连成整体。这样，就把防冲钢件、溢流口与坝体接连成了一个坚固的完整的整体。

防冲钢件高出溢流口底面10—15厘米，称钢件门坎，能拦蓄一层泥石流。因沟床自上往下，有一定的纵比降，泥石流在溢流口底面是上厚下薄。随后的泥石流，在其上面通过时，使泥石流过坝时对溢流口的冲刷、摩擦、碰撞和淘蚀的外力，变为泥石流内部的石磨石、砂磨砂的内力，起到了消能作用，保护了坝体。钢件挑出坝体下游临空面50厘米，是利用泥石流自身运动的

惯性，把泥石流挑出坝脚外，又能保护坝体和坝脚不被泥石流所破坏。防冲钢件包裹着，保护着溢流口底面与下游临空面的交接处，钢件又与溢流口底厚度为50厘米的钢筋混凝土连在一起，溢流口又与坝体连接成坚固的整体，所以，没有唇亡齿寒之感。泥石流流过单独一座坝时，其下游的消能，应通过设计计算，另做消能处理。芦花沟泥石流工程，是从坝群来实现相互消能、相互保护作用的，即下一座坝对上一座坝起到消能的副坝作用。它的回淤线，通过回淤计算，恰好能保护上一座坝体的坝脚，所以未另做消能副坝。

(三) 芦花沟钢件门坎承受泥石流冲击力的计算。一般泥石流拦砂坝溢流口, 不存在单独的冲击力的计算问题。由于芦花沟拦砂坝溢流口底面下游侧设计了防冲钢件门坎, 故存在受泥石流对门坎的冲击力的计算问题。这里采用拦砂坝承受泥石流冲击力的计算公式<sup>[1]</sup>是:

$$F = \frac{\gamma_c V_c^2}{g} \cdot \sin^2 \alpha$$

式中:  $F$ ——泥石流的冲击力 (吨/平方米);

$\gamma_c$ ——泥石流的容重 (吨/立方米);

$V_c$ ——泥石流的流速 (米/秒);

$g$ ——重力加速度 (米/秒<sup>2</sup>);

$\alpha$ ——冲击力方向与受力方向的夹角 (度)。

1、泥石流单位面积的冲击力。根据芦花沟泥石流拦砂坝群的工程设计, 取  $\gamma_c = 2.13$  (吨/立方米),  $V_c = 7$  (米/秒),  $g = 9.81$  (米/秒<sup>2</sup>),  $\alpha = 90^\circ$  (钢门坎受力面与溢流口底面垂直), 代入公式:

$$F = \frac{\gamma_c V_c^2}{g} \cdot \sin^2 \alpha = \frac{2.13 \times 7^2}{9.81} \times \sin^2 90^\circ$$

$$F = 10.64 \text{ (吨/平方米)}。$$

2、泥石流对钢件门坎的总冲击力。芦花沟拦砂坝溢流口防冲钢件门坎长 6 米, 高出溢流口 0.10—0.15 米, 门坎总受力  $F$  面积:  $S = 6 \times 0.10 - 0.15 = 0.6 - 0.9$  (平方米)

$$F_1 = S_1 \times F = 0.6 \times 10.64 = 6.38 \text{ (吨)},$$

$$F_2 = S_2 \times F = 0.9 \times 10.64 = 9.58 \text{ (吨)}。$$

3、溢流口钢门坎能承受压力的理论值  $f$ 。芦花沟拦砂坝溢流口钢门坎, 是用钢筋混凝土所做成的, 设计标号为 200 (公斤/平方厘米) = 2,000 (吨/平方米)。

$$f_1 = S_1 \times f = 0.6 \times 2000 = 1,200 \text{ (吨/平方米)},$$

$$f_2 = S_2 \times f = 0.9 \times 2000 = 1,800 \text{ (吨/平方米)}。$$

设计的理论值远远大于实际承受的冲击力, 故钢门坎是绝对安全可靠的, 实际投入使用后, 并经几场泥石流的考验和实践检验, 也是绝对安全可靠的。

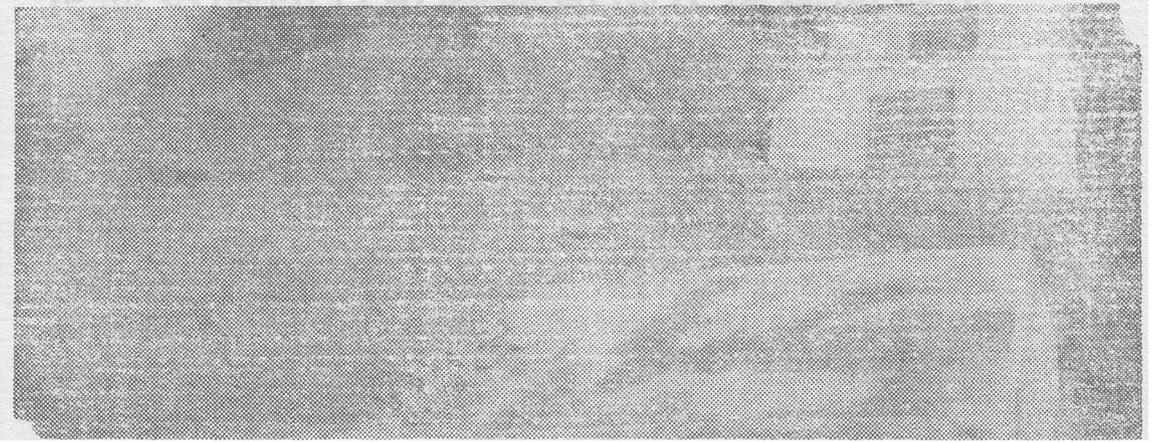
(三) 钢件加工办法。防冲钢件的加工要注意的是, 在钢件的钢板与钢筋混凝土中的钢筋焊接时, 不能搞点焊接, 而是将钢筋加工成平勾, 再与钢板焊接。平均长 20—30 厘米, 焊缝长大于 20 厘米。总的原则是, 要钢筋混凝土中的钢筋, 与防冲钢件的钢板增大接触面, 增加焊缝的长度和处数, 以便增大坚固性, 增强防冲钢件与钢筋混凝土的整体性。

根据各地电源条件, 拦砂坝溢流口防冲钢件, 既可以现场就地加工组装, 也可将钢件的钢板与钢筋在工厂焊接加工, 并预留出较长的钢筋接头, 以便在现场绑扎组装。

#### (四) 投资和防灾效益。

1、投资。关于防冲钢件的投资, 以芦花沟泥石流拦砂坝溢流口的防冲钢件为例。该工程钢件长 600 厘米, 宽 80 厘米, 高 50 厘米, 钢板厚度 8 毫米, 包括原材料的加工费、运输费、安装费和管理费, 每件在 1,100 元以内。它仅是芦花沟每座拦砂坝总投资的 2%, 是芦花沟 7 号拦砂坝总投资的 0.3%, 可见, 防冲钢件的费用是较低的, 但它的作用能保护拦砂坝溢流口不被泥石流冲刷而破坏, 减少了工程使用中管理的许多麻烦和经常性维修费用, 增大了拦砂坝的坚固性、稳定性和安全感, 大大延长了工程使用年限和寿命。因此, 采用钢件防冲设施, 具有节省投资, 效果良好的作用。

2、防灾效益。从芦花沟泥石流拦砂坝使用来看，由于溢流口采用了钢件防冲设施，经受了两年中发生的几场泥石流的考验，其作用效果比预期的还要好。一次泥石流发生时，有重2—3吨的大石块，从30—40米高的山坡滚到了溢流口防冲钢件上，钢件与坝顶毫无损伤和影响。防冲钢件高出溢流口10—15厘米，拦蓄一层泥石流对后来的过坝泥石流的消能、防冲效果，回淤坡度在 $6^{\circ}$ — $7^{\circ}$ 之间(照片2)，完全与设计相符，起到了消能、防冲、防磨和防淘的多种作用。钢件



照片2 溢流口防冲钢件拦挡泥石流回淤图

伸出坝体临空面50厘米，排泄过坝的泥石流保护坝脚的效果，也与设计的完全一致(照片略)。从国内外一些资料 and 实际工程看，由于泥石流拦砂坝溢流口不是采用钢件的防冲设施，结果溢流口受损坏，进而毁坏坝体，或引起溃坝事例的发生。可见，泥石流拦砂坝溢流口，设置了防冲钢件，其防冲效果是非常明显的。

#### 四、结 语

泥石流拦砂坝溢流口的防冲处理技术，一直是许多泥石流工作者关心而没有彻底解决的重要问题。我们在四川省黑水县芦花沟泥石流拦砂坝的工程中，设计并首先采用了防冲钢件的结构型式。经过两年来的使用和几场泥石流的实际考验，证明这种办法是成功的。因此，我们认为，钢件防冲设施，在泥石流拦砂坝防治工程设计中，具有推广的价值。

致谢。黄文俊高级工程师和谭万沛助理研究员对本文提出了宝贵的修改意见，深表感谢。

### An installation to protect the spillway of debris flow check dam from scouring

*Yuan Ximing*

*(People's Government of Heishui County in Sichuan Province)*

#### Abstract

This paper describes an innovative steel structure and installations for scouring prevention adopted in the spillway of the debris flow control project in Luhua Ravine of Heishui county, Sichuan province. The structure is designed as, at the joint of lateral bottom and air face downstream the spillway of check dam, a 8—10cm thick steel plate was used

(Continued on page 96)

相应地配设传送、夯实、吊运等设施，使有关工作基本上机械化或半机械化。这对减轻劳动强度，提高工作效率和缩短研究周期，都是非常重要的。

如上所述，本试验系统有许多高级精密仪器和设备，因此，也必须相应地配设一些必要的保护性设施，如通讯、通风、恒温、恒湿、净化、照明和抗干扰等设备。这对延长设备寿命，确保试验环境和改善工作条件，也同样是非常必要的。

### 三、结束语

本文根据我国抗滑结构发展的需要，从实用角度和可能性出发，研讨和提供了一个具有中等规模的抗滑结构试验系统的初步方案和模式。该系统从功能需要和设施配备上来讲是先进的，它不仅能胜任多种新型抗滑结构物试验研究的需要，还能承担一定的中间型试验。预计，随着这种试验系统的研究和建立并逐步完善，国内越来越多的新型抗滑结构物，将会不断地得到开发和推广使用。

## Exploring and discussing to the slide-resisting testing system

*Che Bida Sun Kang*

*(Northwest Institute of Academy under the Ministry of Railway)*

### Abstract

This paper supplies the preliminary scheme and mould of a middle scale slide-resising constructure experience system in the neccessarity of our nation's slide-resisting structure developing and demonstrates a kind of structure system for landslide slide-resisting structure testing and the contents and orders of structure testing system.

---

(Continued from page 77)

to make a steel part which extrends out 50cm from the downstream air face and rises 10-15cm, welded on double threading steel bar 25mm in diameter, it was casted into a steel bar-reinforced stopper, No. 200 in 50cm, connected with the check dam as a whole. Check dams with a spillway structured in this way can retain a layer of debris flow and play a role of energy dissipation and cushioning. When the following debris flows cross the dam, the external force of direct scouring, friction, impact and undercut exerted on the dam by debris flow would be transformed into the inner stress of stone against stone and sand against sand inside debris flow, thus protecting the dam outled from the damage by debris flow which would cause the destruction of the whole dam.

(限于篇幅，本专集尚有三篇论文待1990年第1期续完。)