

云南大桥河的泥石流拦挡坝

陈 循 谦

(云南省东川市小江整治办公室)

一、前 言

云南省东北部的小江流域,是我国泥石流暴发频繁,分布集中,类型齐全,危害严重的地区之一。大桥河是小江中游的一大支流,是一条粘性和稀性泥石流交替出现的大型泥石流沟。二三百年前,两岸曾是一片林木繁茂,流水潺潺,农舍棋布,稻菽飘香的好地方。由于泥石流的不断暴发,使这片良田美畴沦为废墟,过去山峦叠翠,谷碧水清的河谷,现变成了童山秃岭流泥沙,寸草不长的乱沙滩。

1976年起,开展工程措施和生物措施相结合,坡沟兼治的综合治理。经过五年的连续治理,整个流域基本上形成了坡面林草带,支毛沟谷坊群,主干沟拦挡坝系和排洪道的三道防线的治理工程。工程治理方面,完成浆砌石拦挡坝5座,金属格栅坝2座,浆砌石排洪道5,000米,修建小谷坊189座;生物治理方面,完成造林14,510亩,植树16万株(见图1)。此项工程现已基本完成,并收到了一定效益。在泥石流堆积扇上,开垦农田3,700亩,保护原有农田1,340亩,保护了铁路、公路的安全运输;为泥石流防治提供一些借鉴,可供水土保持小流域治理作参考。本文就防治中的浆砌石拦挡坝作介绍。

二、概 述

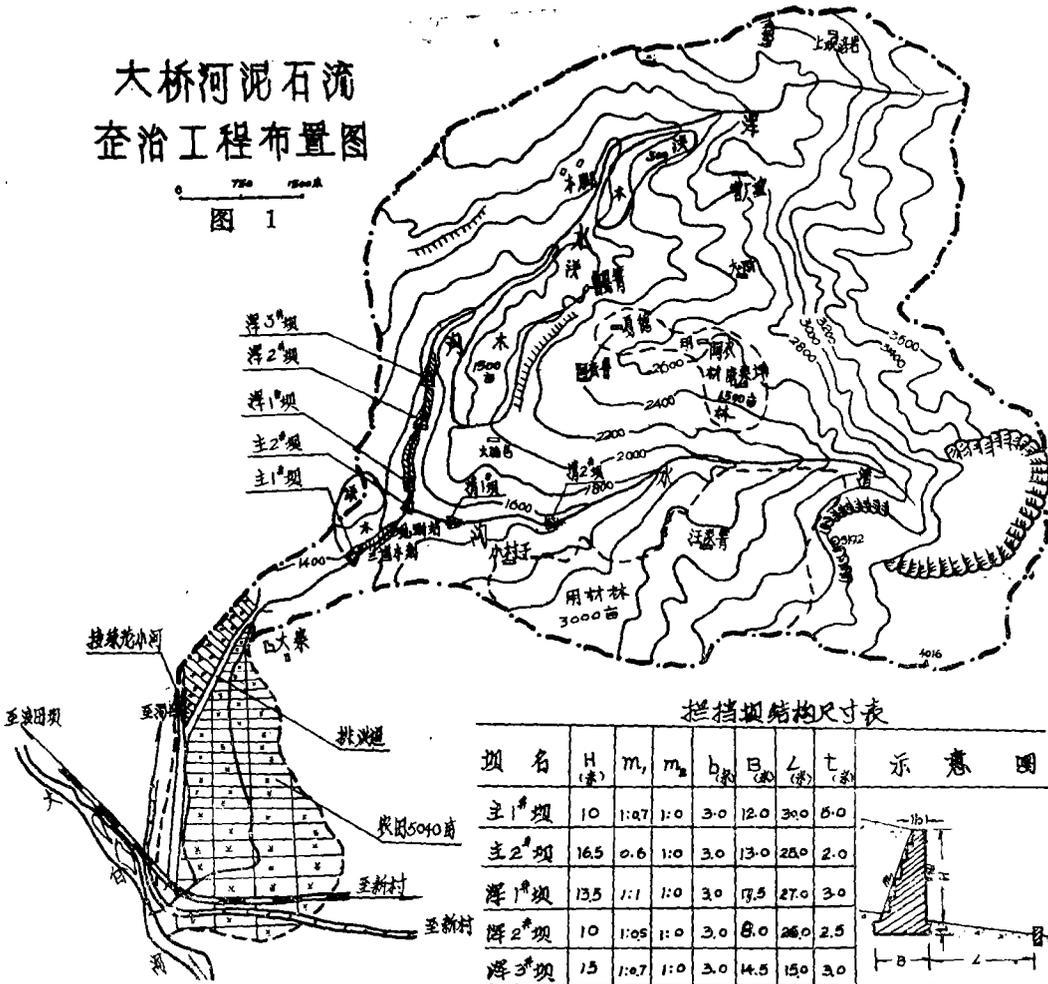
大桥河发源于乌蒙山西麓,由东向西流入小江。流域海拔为1,100—4,016.4米,由清水沟和浑水沟汇合而成。主沟长18公里,沟床纵坡4—21%,流域面积53.1平方公里。清水沟两侧分布有震旦系厚层块状白云岩、白云质灰岩和玄武岩,质地坚硬,谷坡稳定,不具备泥石流产生条件。浑水沟岩层破碎,植被稀少,滑坡、崩塌、冲沟等不良地质现象发育,是泥石流活跃区。由于受到强烈褶皱与变质作用,岩石成千枚化,极易剥落成2—10厘米的碎块,有的已风化成粉状细粒,是泥石流浆体物质的主要来源。因此,治理浑水沟是整治大桥河泥石流的症结所在。

浑水沟流域面积26.2平方公里,在中、下游有阿依鲁和杀牛沟两大滑坡。不稳定固体物质储量约1.5亿立方米;泥石流形成区段的河床纵坡为0.086,流通区段为0.05。泥石流容重2.17吨/立方米,流量 $Q=187$ 立方米/秒。河床质 $d_{10}=238.6$ 毫米, $d_{90}=462$ 毫米。

为了遏制泥石流的发展,截留下泄的固体物质,改变沟壑纵坡,防止沟床继续下切,提高局部侵蚀基准,以削弱和控制侵蚀沟边坡的掏刷,达到稳定滑坡和辅助

大桥河泥石流 治理工程布置图

图 1



拦挡坝结构尺寸表

坝名	H (米)	m ₁	m ₂	b (米)	B (米)	L (米)	示意图
主1#坝	10	1:0.7	1:0	3.0	12.0	30.0	
主2#坝	16.5	0.6	1:0	3.0	13.0	28.0	
浑1#坝	13.5	1:1	1:0	3.0	17.5	27.0	
浑2#坝	10	1:0.5	1:0	3.0	8.0	26.0	
浑3#坝	15	1:0.7	1:0	3.0	14.5	15.0	

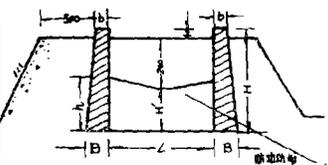
图例

坝		村庄	
排洪道		流域范围	
农田		洪积扇范围	
公路		森林面积	
铁路		截流沟	

排洪道结构尺寸表

级别	L	H	B	b	H	h
上段	1000	400	100	80	220	240
下段	1500	400	100	80	220	240

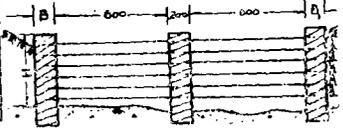
附注 尺寸单位: 厘米



金属格栅坝结构尺寸表

坝名	B	E	H	孔x孔径
浑1#	300	400	600	1x600
浑2#	150	150	600	2x600

附注 尺寸单位: 厘米



林木生长的作用, 从1976年起, 完成了五座浆砌石拦挡坝。1977年和1979年经两次泥石流考验, 坝身完好。目前拦挡固体物

质50万立方米, 拓宽了沟床1倍以上, 比降减缓(为原始比降的60—92%), 使泥石流的运动要素受到抑制, 规模大为减

小,对治理泥石流起到了重要作用。例如,1977年8月,一次容重为2.0吨/立方米、流量为185立方米/秒(相当于50年一遇的流量)的泥石流,经过拦挡坝减缓比降、拓宽沟床和消能作用,使石块密集的“龙头”没有到达沟口以外的堆积扇上,而是在主1号坝坝址前停积下来,就是拦挡坝对泥石流所起的作用。

三、工程设计

(一) 坝址的选择

在坝址的选择上尽量做到:第一、平面上的合理性,即泥石流下泄时,要尽可能全面通过溢流口,以减小单宽流量;第二、坝要建在比较固定的沟床上,并注意坝上下游的衔接;第三、坝址要尽可能地

选择在基岩出露的沟段;第四、运输和施工条件比较方便。

(二) 基础设计

大桥河修建的五座浆砌石拦挡坝,除主2号坝建立在基岩上外,其余四座均在泥石流堆积的砂砾层上,各坝间距离及河段纵坡见表1。鉴于坝侧溢流受地形条件限制,不易实现,五座坝都采用坝顶溢流。

为了使整个坝体建立在较密实的砂砾层上,增加基础的许可承载能力和减小坝后冲刷,采用人工开挖深度达3米后,再做坝基。用8—12公斤/米的废旧钢轨打入淤积层(钢轨长2—5米)作为桩基。桩基的平面布置为梅花形,钢轨到钢轨之间的距离为1.5米。桩基的作用是增加基

表1 各坝间距离及河床纵坡表

坝名	距离(米)	纵坡(%)
主1号坝—主2号坝	1,160	5.6
主2号坝—浑1号坝	220	5.71
浑1号坝—浑2号坝	826	6.3
浑2号坝—浑3号坝	600	6.31

础与坝底的摩擦系数和提高基础承载力(鉴于钢轨截面积小和桩距大,估计作用不大)。为了承担基础拉应力和增强整体性,布置一层25—40厘米网格状的钢筋层,浇筑一层50—80厘米厚的混凝土垫层,然后在其上面用50号水泥砂浆浆砌毛石砌体。

我们认为,坝基应尽量开挖深些,最好在冲刷坑深度以下。过坝泥石流局部冲刷深度影响的因素比较复杂,目前尚无成熟的计算方法。根据中国科学院兰州冰川冻土研究所介绍,可用下式进行粗略计

算,即

$$T = 3.9q^{0.6} \left(\frac{z}{d_{90}} \right)^{0.25} - h_1$$

式中: T—从坝下原沟床起算的最大冲刷坑深度(米);

q—单宽流量(立方米/秒);

d_{90} —坝下沟床的颗粒粒径以毫米计;

z—坝上下游的泥位差(米)

h_1 —坝下沟床泥深(米)。

也可采用下式进行粗略估算,即

$$T = K \cdot q^{0.5} H_0^{0.25} - h_2$$

式中：K—系数，根据河床地质情况而定，板页岩采用1.75；

H_0 —上下游水位差（米）；

h_2 —下游河床水深（米）。

冲刷深度估算的目的，在于根据冲刷深度的资料确定坝基的埋深。因此，在设计中对冲刷深度的估算必须持慎重态度，切不可粗心大意。总之，在基础设计中应满足：1.保证基础具有足够的强度和稳定性；2.保证基础的变形值在容许范围内，作为设计原则。据1977年泥石流流过坝后观测，最大冲刷深度达3米，和基础埋深相符。

（三）坝体设计

坝体用50号水泥砂浆浆砌毛石，80号水泥砂浆勾缝。上游坝坡1:0.5—1:1之间变幅，以承受泥石流对坝体的压力，增加坝体的抗滑、抗倾稳定性。下游坝坡为了避免泥石流流体过坝时的拖拽和砸烂下游坝坡，做成垂直或接近垂直的。

泥石流过坝的情况是非常复杂的，坝体受力情况也是多方面的。然而，我们认为，最主要的是大量沙石（特别是大颗粒的石块）对坝坡的砸撞和对下游坝脚的冲刷，这是主要矛盾。

众所周知，泥石流是饱含大量泥沙、石块和水混掺在一起的特殊流体。倘若把下游坝坡做成倾斜面，则泥石流过坝后，

大量沙石沿坡面下泄，如同千万个小锤在敲击坝身，使坝身受到振动，天长日久，浆砌的砂浆和毛石就容易松动，通过从量变到质变的过程，一旦泥石流流量增加和下泄的石块颗粒增大，坝体就有产生破坏的危险。如果下游坝坡做成垂直或接近垂直，泥石流过坝后沙石从坝顶顺着水流的挑射，把它抛到河床中去了，对坝体不发生撞击，从而保证了坝体安全。当流量和水深越大时，挑射距离就愈远。

修建上游坝坡时，做成微拱形，拱背朝上游，两端伸入基岩内0.5米，以增加坝体的稳定性。在坝体内隔一定距离，预留排水孔，以排泄坝体内的积水，兼有减轻渗透压力的作用。

坝体受力情况的组合，考虑坝的自重、坝上游淤积物重、泥沙压力、坝底扬压力和泥石流过坝时的作用力五个方面，以坝趾为力矩中心，进行抗倾、抗滑稳定计算。各道坝上、下坝坡及坝顶宽见表2。其次，还要进行坝基应力计算。验算泥石流淤满时坝的上游边缘是否出现拉应力；验算坝基强度，使之在坝基土壤容许承载力范围之内。抗倾安全系数 K_0 、抗滑安全系数 K_1 和坝基强度校核可按下式计算，即

$$K_0 = \frac{\sum M}{\sum M_0}$$

表2 各坝上、下游坝坡及坝顶宽度表

坝名	坝高(米)	上游坝坡	下游坝坡	坝顶宽(米)
主1号坝	10	1:0.7	1:0	3.0
主2号坝	16.5	1:0.6	1:0	3.0
浑1号坝	13.5	1:1	1:0	3.0
浑2号坝	10	1:0.5	1:0	3.0
浑3号坝	15	1:0.7	1:0	3.0

$$K_s = \frac{\Sigma G \cdot f}{\Sigma P}$$

式中： ΣM —稳定力矩总和；
 ΣM_s —倾复力矩总和；
 ΣG —垂直力总和；
 f —摩擦系数；
 ΣP —水平力总和。

坝基强度

$$\sigma = \frac{\Sigma G}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \ll [\sigma]$$

式中： e —偏心距 $= \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_y - \Sigma M_x}{\Sigma G}$ ；

B —坝底宽度；
 ΣM_y —垂直力矩总和；
 ΣM_x —水平力矩总和；
 $[\sigma]$ —坝基容许承载力。

(四) 坝顶设计

为了避免中、小流量时危及坝体安全的泥石流流体撞击坝身，浑1号坝坝顶采用挑出坝体外40厘米；为了减小坝面流速，减轻坝面磨损，增加水流挑射距离，坝顶采用5%的反坡，并安放废旧钢轨。

当坝顶设有水平溢流板时 S (坝顶厚度加上溢流板挑出的长度) $> (2-3)H_s$ ，水流挑射距离 L 可按式计算(见图2)，

$$L = \phi \sqrt{H_s(2P + H_s)}$$

式中： ϕ —流速系数，无闸门 $\phi = 1$ ；
 P —坝顶到下游河床的高度(米)；
 H_s —坝顶溢流水深(米)。

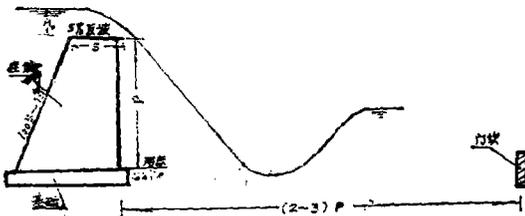


图2 拦挡坝示意图

坝顶两端与岩层接触处，应绝对避免过水，侧墙的高度必须高于设计泥石流泥位。坝顶做成微凹形利于小流量时，水流集中，水深增大，挑射距离亦远。因为常常有这种情况，在渲泄大流量时，下游河床水位往往较高，水流挑射距离也较远，这时坝身及下游河床的冲刷可能不一定是最危险情况。而渲泄较小流量时，由于挑射距离较近，反而可能是危险情况。

(五) 坝下防冲消能设计

大桥河拦挡坝坝下消能形式有两种，一种是直接让水流挑射到下游河床，形成冲刷坑，在下游距主坝2—3倍坝高处做一道门坎消能的办法，如主1号坝、主2号坝、浑1号坝、浑3号坝；一种是采用消力池、护坦和子坝相结合消能的办法，如浑2号坝。以上两种消能办法均收到一定效果。子坝不宜过高，一般高出河床平主坝脚为宜，以免产生过大的环流掏刷坝基(见图2)。冲刷坑中心距坝脚要大于2—2.5倍冲刷深度，才不致危及坝体安全。因此，坝后消能防冲设计，是关系到坝体安全的重要一环，必须认真对待。

四、结 语

总结大桥河五座浆砌石拦挡坝的特点，我们概括成三句话：上游仰拱下游立，拦挡泥沙最有利；头戴帽，坝可靠，深基加门坎，稳妥又安全。

在进行坝体设计的时候，还应考虑到泥石流流体(或叫泥石流性质)的转化。因为泥石流流体的转化，受到一次补给固体物质的多寡、暴雨量的大小、沟床宽窄变化等诸因素的制约。就一次泥石流而言，也往往包含着前期的洪水(挟沙水流)→稀

性泥石流→粘性泥石流→稀性泥石流→洪水(挟沙水流)的循环转化过程。因此,坝体的设计必须能适应这三种流体的转化作用。

在沟壑中修建若干座坝构成坝系时,原则上是下一座坝拦挡的固体物质能回淤保护到上一座坝的坝脚,使两坝和沟床固

体物质连成一片,起到互相依靠,互相制约的作用。这是防治因沟床下切危及坝体安全的有力措施。大桥河沟谷中的坝系,都基本上达到保护上一个坝脚的作用,并取得了适合大桥河这类泥石流特性的回淤纵坡数据(见表3)。

泥石流属非牛顿体范畴,遵循宾汉方

表 3

坝系回淤纵坡表

坝名	河床纵坡	未建坝前 i_1 (%)	坝系建成后 i_2 (%)			
			1977年	同年泥石流过后的河床纵坡	1978年	翌年泥石流过后的河床纵坡
主2号坝—浑1号坝		5.8	3.5	4.0	3.5	4.0
浑1号坝—浑2号坝		6.2	4.9	5.0	4.5	5.3
浑2号坝—浑3号坝		7.5	6.6	6.9	5.8	6.9

程,它的流变方程为

$$\tau - \tau_0 = \eta \frac{du}{dy}$$

式中: τ_0 —屈服切应力,即起始剪力;

η —刚度系数;

$\frac{du}{dy}$ —流速梯度。

由于泥石流浆体具有相当大的屈服切应力,当浆体的厚度超过某一数值,使它在重力作用下产生沿沟床的推移力超过其屈服切应力时才能发生运动。众所周知,根据水流能量方程推导,屈服切应力 τ_0 也可用边壁切应力来表示,即

$$\tau_0 = \gamma \cdot h \cdot J$$

式中: γ —流体容重;

h —泥石流泥深;

J —沟床底坡。

当 γ 为固定值, J 减小时,只有浆体厚度 (h) 增大到一定数值,即 $\gamma \cdot h \cdot J > \tau_0$ 时,泥石流才能起始流动,反之,它就停积在沟床中。由此可知,修建拦挡坝后,沟床拓宽,纵坡变缓,因而使同等规模的泥石流的泥深变薄,单宽流量相应减少,泥石流运动要素受到抑制,规模亦因此大为减小。这就是拦挡坝能遏制泥石流的理论依据。

当坝体较高时(大于10米)宜分期施工,逐年加高。

挟沙水流和泥石流过坝后,对坝顶的磨蚀是很严重的,一般混凝土和石块的护砌是不能满足的。为了提高坝顶的抗磨强度,可采用铸石铺砌。铸石制品宜大、宜厚。