

文章编号: 1008— 2786(2000)增— 0055— 05

# 四川宝兴大板桥堵江滑坡作坝的可行性分析

符文熹, 任光明, 王 文, 聂德新  
(地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 针对四川宝兴县大板桥堵江滑坡堆积体, 在现场调查分析的基础上, 对其作坝存在的主要工程地质问题及作坝的可行性进行了分析研究, 为开展堵江滑坡作坝提供参考。  
关键词: 滑坡作坝; 工程地质问题; 渗透变形; 稳定性; 沉降  
中图分类号: P642. 22; TV698. 237; P473. 066 文献标识码: A

国内外文献资料表明: 堵江滑坡成坝形成堰塞湖在世界各国尤其是山区一带广泛发育<sup>[1]</sup>。虽然滑坡堵江成坝形成堰塞湖, 对上游库区的淹没和溃坝后对下游区的冲毁十分严重<sup>[2]</sup>, 然而滑坡堵江成坝拦蓄江水形成堰塞湖却蕴含丰富的水利水电资源、旅游资源等。象人工土石坝一样, 堵江滑坡天然堆石坝也存在诸多工程地质问题, 且更复杂、更严重。堵江滑坡坝存在的主要工程地质问题有渗透变形、稳定性、沉降及不均匀沉降等问题<sup>[3]</sup>。而上述工程地质问题与堵江滑坡堆积体内部的物质组成、粒度成分和结构特征是密不可分的。分析研究堵江滑坡形成的天然堆石坝的工程地质问题, 为开发利用堵江滑坡形成的堰塞湖的电能、引水灌溉以及旅游开发、环境保护, 在理论上、经济上都具有重要的意义。本文主要针对四川宝兴大板桥堵江滑坡天然堆石坝存在的主要工程地质问题进行分析, 为开展堵江滑坡作坝的合理评价提供参考。

## 1 大板桥滑坡堆积体的基本特征

四川宝兴大板桥滑坡曾堵塞宝兴东河形成滑坡坝和堰塞湖。滑坡平面总体形态为长勺形<sup>[4]</sup>, 长约 1. 5 km。前缘呈扇形偏上游撒开, 沿河流方向分布长约 700 m。按物质组成、结构特征的差异, 并结合微地形地貌, 平面上分为两个区: 下游区为 I 区、上游区为 II 区(图 1)。

I 区沿纵向总体长约 1. 5 km, 总体积约  $1500 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 后部为一长条形, 沟内物质顺一凹槽展布, 前缘为一扇形的下游部分。II 区平面上呈一偏向上游撒开堆积的扇形体, 沿河流方向宽 350 m, 沿垂河方向长约 600 m, 体积约  $(400 \sim 500) \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

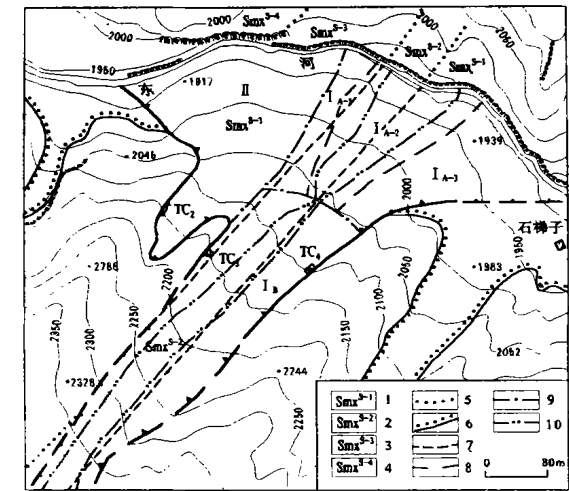
调查分析表明, 大板桥滑坡坝是由左右两岸的物理地质作用共同参与形成的, 主要是崩塌(滑)、滑坡成因及后期浅表泥石流成因堆积体。

在现场调查、试验分析的基础上, 按物质组成、结构特征分为 I<sub>A</sub>I<sub>B</sub> 两个亚区(以 2 060 m 高程为界), 而 I<sub>A</sub> 又分为 I<sub>A-1</sub>、I<sub>A-2</sub>、I<sub>A-3</sub> 三个带(图 1)。且 I<sub>A-1</sub> 带主要为块石、碎石及含泥碎石土, I<sub>A-2</sub> 带为架空块石堆积带, I<sub>A-3</sub> 为碎石、碎石土带, I<sub>B</sub> 为大块石堆积区; II 区上部为碎石、深部多为砾质砂或含砂角砾。

## 2 大板桥滑坡堆积体作坝的可行性分析

大板桥滑坡堆积体虽然主体是滑坡崩塌堆积, 但也有体积可观的其它成因堆积物(底部古河道冲

积、上游坝坡附近的堰塞沉积及后期浅表的泥石流堆积)。按物质组成、结构类型、粒度成分对其进行分区(带)后,在合理选取不同区(带)的物理力学、渗透等指标基础上,然后根据土石坝的技术要求对大板桥滑坡作坝的可行性进行评价。



1. 千枚岩、板岩; 2. 结晶灰岩; 3. 千枚岩、板岩; 4. 变质砂岩夹千枚岩; 5. 岩层界线; 6. 第四系基岩界线; 7. 推测灰岩界线; 8. 各区物质分带界线; 9. 区、亚区界线; 10. 灰岩块石堆积界线

图 1 大板桥滑坡坝物质分区图

Fig. 1 Substance distribution of Dabanqiao landslide dam

土体的渗透系数是最直观地反映土体渗透强弱的一个重要参数,其取决于土体的颗粒组成、孔隙大小以及土体结构。颗粒级配差、不连续、孔隙大,则土体的渗透性强;反之,则弱。在现场试验的基础上,通过不同方法获得各区(带)的渗透系数见表 1。

表 1 不同区(带)的渗透系数建议值

Table 1 The advised infiltrational coefficient of the different zones

区号或层位	I <sub>A-1</sub>	I <sub>A-2</sub>	I <sub>A-3</sub>	II 区中上部堆积物	II 区下部堰塞沉积物	II 区底部冲积物
渗透系数 <i>K</i> (cm/s)	$4.94 \times 10^{-3}$ ~ $1.186 \times 10^{-4}$	177.3	$6.61 \times 10^{-3}$	$1.87 \times 10^{-3}$ ~ $3.92 \times 10^{-4}$	$1.88 \times 10^{-3}$	$9.88 \times 10^{-1}$

由表 1 知,大板桥滑坡不同区域或层位的渗透系数值差异较大,而碾压式土石坝规范中规定渗透系数不得超过  $10^{-4}$  cm/s<sup>[3]</sup>。因此,就目前而言,堆积体作为坝体还存在困难,尤其是 I<sub>A-2</sub> 和 II 区底部的冲积层。

2. 各区(带)的渗透变形形式

对大板桥滑坡不同区(带)可能发生的渗透变形形式的判别采取以下方法:

a. 直接根据颗粒曲线进行判断;

b. 按照《水利水电工程地质勘察规范(送审稿)》(北京,1991)中对土体的渗透变形形式的判别式,当  $P \geq [1/4(1-n)] \times 100$  时为流土,当  $P < [1/4(1-n)] \times 100$  时为管涌。其中,  $P_c$  为土中  $< df$  的细粒含量(重量百分率);  $n$  是土的孔隙率;  $df = \alpha \sqrt{d_{85}d_{15}}$  ( $\alpha$  为修正系数( $\alpha = 1.1 \sim 1.5$ ;  $d_{85}$ ,  $d_{15}$  分别代表小于该粒径的含量分别占 85% 和 15% 的颗粒粒径);

2.1 渗透变形评价

渗透稳定性是在碎石土或砂卵石上修建水工建筑物的主要工程地质问题之一。而大板桥滑坡的多成因、结构复杂特性预示了它的渗透变形特征比单一河流冲积物复杂。虽如此,大板桥滑坡堆积体不同成因物质与河床冲积砂卵石同属粗碎屑土。它的渗透变形特征,在充分考虑其特殊性的情况下,可用研究砂卵石渗透稳定性的方法进行。

目前国内外评价砂卵石渗透变形时,首先是根据土的颗粒曲线来判别是否有渗透变形的可能;然后根据颗粒曲线获得细粒级土(填料)的百分含量,依据其值的高低判别渗透变形形式;在确定渗透变形形式后,用一种或多种方法获得临界坡降;最后根据土的级配类型,确定合理安全的临界坡降值,然后除以安全系数即得允许坡降。

1. 各区(带)渗透系数的选取

c. 根据南京水科院从土体的细粒填粒体积等于骨架体积的概念出发, 导出产生管涌破坏的最大细粒含量  $P_Z$  的关系式为  $P_Z = \alpha[\sqrt{n}/(H\sqrt{n})]$ , 其中,  $\alpha$  为修正系数(0.95~1.00);  $n$  为孔隙率。土体中以 2 mm 作为区分填料与骨架的界限粒径, 当土体中实有细粒含量  $P < P_Z$ , 则为管涌; 反之则为非管涌。

上述三种方法判断堆积体的 I<sub>A-1</sub>、I<sub>A-3</sub>、II 区的渗透变形形式一致, 它们各自的渗透变形形式见表 2。而 I<sub>A-2</sub> 主要为架空块石堆积带, 空隙大(一般 10 mm~20 mm, 大的达 40 cm~50 cm), 结构松散, 且空隙内基本无 < 2 mm 的细粒。根据现场实测的孔隙比, 即使按水电规范评价, 其渗透变形形式也为管涌(由于架空堆积的特性, 一些地段的渗透形式为管道流, 比判断要严重得多)。另外, 根据表 1 各区(带)的渗透系数值可以看出, II 区下部堰塞沉积物与 II 区底部冲积物渗透系数差异较大, 水流从上游向下游沿接触面流动过程中, 接触冲刷问题也较严重。

表 2 各区(带)的渗透变形形式

Table 2 The types of infiltrational deformation of the different zones

区号或层位	I <sub>A-1</sub>	I <sub>A-2</sub>	I <sub>A-3</sub>	II 区上部堆积物	II 区下部堰塞物	II 区底部冲积物
渗透变形形式	流土	管涌~管道流	管涌	流土	流土	管涌

3 各区(带)临界坡降、允许坡降值的选取

在确定了各区(带)的渗透变形形式后, 针对不同的渗透变形形式采取相应的方法评价临界坡降, 对不同区(带)堆积物的临界坡降评价采取以下方法:

a 根据收集的川西河谷碎石土、卵砾石土的临界坡降( $J_{KP}$ )与渗透系数  $K$  (cm/s) 的关系<sup>[6]</sup>  $J_{KP} = 0.132K^{-0.325}$  进行评价;

b. 对管涌型土按规范中推荐的南京水科院沙金煊法<sup>[3]</sup> 公式  $J_{KP} = 42d_3 \sqrt{k/n^3}$  评价, 其中  $d_3$  为占总土重 3% 的土粒粒径(mm);  $K$  为渗管系数(cm/s);  $n$  为孔隙率;

c 对流土型土按规范中采用的 Terzaghi. K 公式<sup>[3]</sup>  $J_{KP} = (G_s - 1)(1 - n)$  评价。其中,  $G_s$  是土的比重,  $n$  为孔隙率。

按上述方法获得的临界坡降见表 3。不同方法的临界坡降平均值作为建议值也列于表 3 中。而允许坡降值的选取是通过临界坡降值除以安全系数获得。对 I<sub>A-2</sub>、I<sub>A-3</sub> 及 II 区底部冲积物, 因颗粒较粗, 缺乏中间粒径, 取安全系数为 5, 其它一律取 2 获得各区(带)的允许坡降见表 4。

表 3 各区(带)的临界坡降

Table 3 The critical gradients of the different zones

评价方法			I <sub>A-1</sub>	I <sub>A-2</sub>	I <sub>A-3</sub>	II 区中上部碎石土	II 区下部堰塞物	II 区底部河床冲积物
地区经验	K	公式计算	0.742	/	0.4333	0.814	1.015	0.1325
	值	试验值	2.492	/	0.6745	1.017~1.69	/	/
		按细粒含量 $P_c$	/	0.07	0.234	/	/	0.156
规范法	沙金煊法	$K \sim d_{10} e$	/	/	0.271	/	/	0.04~0.68(0.36)
		试验值	/	/	0.535	/	/	/
		太沙基法	1.207	/	/	1.126	0.918	/
		建议值	1.48	0.07	0.43	1.02	0.967	0.216

注: 括号内为平均值。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

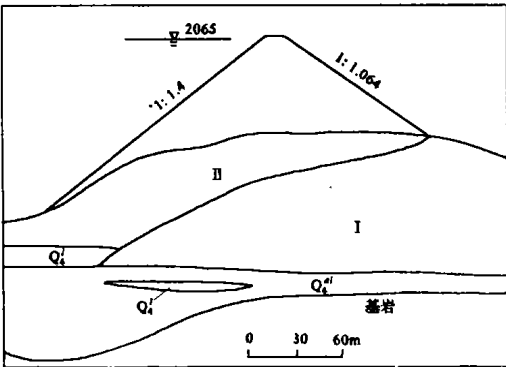
表 4 各区(带)的允许坡降  
Table 4 The permissible gradients of the different zones

区号或层位	I <sub>A-1</sub>	I <sub>A-2</sub>	I <sub>A-3</sub>	II 区中上部堆积物	II 区下部堰塞物	II 区底冲积物
允许坡降( $J_c$ )	0.74	0.02	0.143	0.51	0.184	0.1

3.2 稳定性评价

对滑坡作坝稳定性分析应包括滑坡本身的稳定性以及作为部分坝体的稳定性。

1. 滑坡本身的稳定性



1Q<sub>4</sub> 为堰塞沉积物; a1Q<sub>4</sub> 为古河床冲积物;  
II、I 为为堆积物分区号

图 2 坝体稳定性计算剖面示意图  
Fig.2 Computational section for dam's stability

现场调查表明, 目前滑坡坡度较平缓, 总体稳定。仅在 I 区前缘因长期遭受河流的掏蚀, 以及坡体上部地表水的渗入, 导致前缘局部地段处于饱和, 发生局部蠕动变形, 形成延伸不远、深度不大的横向拉裂缝, 暴雨期发生局部小规模坍塌。因此, 滑坡在天然状态下, 总体上是稳定的。

2 滑坡作为部分坝体时的稳定性

堆积体作为坝体一部分, 在人工碾压土石自重、库水位以及其引起的高水头长期作用下, 上下游坝坡的稳定性直接关系到电站的正常运行, 需进行稳定性分析。选取的计算剖面如图 2, 计算方法采用瑞典条分法, 强度参数按屈服值取。在上游坝坡稳定性计算时, 滑动面以通过堰塞沉积物或 I、II 区界面一带为中心, 计算其最小的安全系数; 下游坝坡考

虑孔隙水压力, 并从河床面附近剪出的最小安全系数, 其结果如表 5。

表 5 稳定性计算结果  
Table 5 The results of dam's stability

介 质	物理指标		强度指标		稳定系数	
	天然容重( $g/cm^3$ )	饱和容重( $g/cm^3$ )	摩擦系数( $f$ )	内聚力(KPa)	上坝坡	下坝坡
碾压体	2.32	2.40	0.675	30	$K=1.15$ ( $C=0$ );	$K=0.99$ ( $C=0$ );
I、II区	2.16	2.32	0.47	29	$K=1.31$ (考虑 $C$ )	$K=1.05$ (考虑 $C$ )
堰塞物	1.65	1.80	0.511	10		

由表 5 可知, 下游坝坡稳定系数远小于规范<sup>[3]</sup>允许的安全系数(规范规定瑞典圆弧法允许的安全系数为 1.3)。因此, 利用该滑坡作为坝体的一部分, 稳定性尚不满足要求。

3.3 沉降及不均匀沉降问题

现场载荷试验获得的 II 区中上部碎石土的变形模量低值 $>1\text{ MPa}$ , 高值 $>20\text{ MPa}$ , 相差 10 余倍, 表明堆积体的不均匀性, 而低的变形模量( $E_0=1.46\text{ MPa}\sim1.80\text{ MPa}$ )几乎与淤泥质土接近, 这正好反映了具架空结构的堆积物在荷载下发生块体移动, 引起较大变形这一特性。未来大坝蓄水后, 在新加坝体及库水作用下, 更易出现架空碎石、块石的错动, 引起较大的沉降变形。特别是 I<sub>A-2</sub>架空块石区, 有的空洞达 40 cm $\sim$ 50 cm, 在荷载及水流作用下, 因块石错动, 空洞垮塌而出现代大的沉降和不均匀沉降, 将危及整个坝体的稳定。

大板桥滑坡堆积体接近大坝面板的Ⅱ区和Ⅰ<sub>A-1</sub>、Ⅰ<sub>A-2</sub>带, 不仅密实度差异大, 而且Ⅰ<sub>A-2</sub>的架空块石的垮塌沉降与Ⅰ<sub>A-1</sub>、Ⅱ区沉降的不等同性, 会造成不均匀沉降。

4 结论及建议

在合理选取基本的物理、力学参数基础上, 从渗透变形、稳定性、沉降及不均匀沉降等方面对大板桥滑坡作坝的可行性分析表明: 除砂土液化基本满足作坝要求外, 大板桥滑坡各区(带)在渗透变形、稳定性、沉降及不均匀沉降均还不能完全达到规范要求的碾压式土坝材料碾压后的各项指标, 应进行专门设计。对物理力学性质差的Ⅰ<sub>A-2</sub>和Ⅱ区如作为土坝的坝体, 还应进一步研究其技术上的可行性和经济上的可能性。但本文的滑坡体作坝的初步研究, 对进一步认识滑坡坝的改造、利用是有参考价值的。

参考文献:

[1] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 中国滑坡堵江事件目录[J]. 地质灾害与环境保护, 1995. 12(4). 1~9  
[2] 柴贺军, 刘汉超, 张倬元. 一九三三年叠溪地震滑坡堵江及其环境效应研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1995. 1(1); 7~16  
[3] 中华人民共和国水利电力部规范碾压式土石坝设计规范 SDJ218—84[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.  
[4] 符文熹, 聂德新, 任光明, 等. 四川宝兴大板桥滑坡坝的基本特征及成因机制分析[J]. 地质灾害与环境保护, 1998. 1(1). 11~16  
[5] 刘宏梅, 张静敏. 论砂砾石土的管涌性, 水科院研究论文集第8集(岩土工程)[M]. 北京: 水利出版社, 1982. 74~96  
[6] 贺如平. 四川西部河谷覆盖层的抗渗特性研究[J], 四川水力发电, 1994. 12(1、2).

FEASIBILITY ANALYSIS OF LANDSLIDE DAMMING OF  
DABANQIAO LANDSLIDE IN BAOXIN COUNTY OF SICHUAN

FU Wen-xi, REN Guang-ming, WANG Wen, NIE De-xin  
(National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059)

**Abstract:** The collection of many internal and external documents indicates that landslide dams and dammed lakes lie mainly in mountain zones. The study indicates that the engineering geologic problems of landslide damming mainly include infiltrational deformation, stability, settlement etc. On the basis of the in-situ investigation, the feasibility and the main engineering geologic problems of the landslide damming of Dabanqiao landslide in Baoxin county of Sichuan are analysed.

**Key words:** Landslide damming, Engineering geologic problem, Infiltrational deformation, Stability, Settlement