

## 昆明柴石滩水库溢洪道高边坡加固处理\*

龚振文<sup>1</sup> 张洪海<sup>1</sup> 尹亚敏<sup>1</sup> 陈丽红<sup>1</sup> 刘浩林<sup>2</sup>

(1 云南农业大学工程技术学院,昆明 650201)

(2 云南省水利水电勘测设计院,昆明 650021)

**摘要:**昆明柴石滩水库溢洪道是该水库的唯一泄洪设施,溢洪道高边坡的稳定,直接影响工程的施工进度和安全运行。该高边坡岩石组成复杂,岩体风化破碎,山高坡陡,造成边坡不稳定。为经济合理、安全有效地治理该高边坡,经分析研究,多方案比选,采用了削坡减载,加抗滑桩及坡面空心注浆锚杆系统加固等措施的综合治理方案。

**关键词:**柴石滩水库;高边坡;抗滑桩;空心注浆锚杆;综合治理

**中图分类号:** TV 561.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X(2000)02-0146-05

柴石滩水库位于昆明市宜良县,总库容 4.37 亿  $m^3$ ,坝高 102 m。水库的唯一泄洪设施—溢洪道,布置于右岸,其孔口尺寸 27 m $\times$ 25 m(两孔),堰顶高程 1 630.00 m,最大泄量 3 336  $m^3/s$ 。右岸山体高 240 多米(堰顶以上),自然坡度 50 多度,主要由粘板岩、白云岩和石英砂岩组成。

边坡 1997 年 3 月开始开挖,在大面积开挖后,在最边坡段,发现一高 40~60 m,宽 70 m,深度大于 60 m 的白云岩( $zbdn^1$ )和粘板岩( $abdn^2$ )全强风化破碎区,进入 1997 年雨季后,该处边坡局部出现失稳趋势,终于在 1997 年 9 月 28 日发生较大规模塌滑,方量为 1.0 万  $m^3$ ,实测滑后地形见图 1。

边坡滑后,在风化区内开挖了进尺分别为 35 m 和 50 m 的两个平洞,从洞中揭示的物质可知,全强风化岩石基本为泥质,夹风化碎屑,洞中积水,平洞所开挖的范围内,全部为风化土,其强度指标低,排水性差。故可认为:这一部分边坡基本为土质边坡,将成为溢洪道边坡性的控制因素。按现有地形,最大限度地放缓边坡,仍然形成一个高 120 多米,平均坡度 60 多度的高陡边坡,经稳定计算,在 1 660.00 m 以上高 80 多米的边坡,其安全系数仅为 0.828。因此,为了确保溢洪道进口部位在今后长期运行时的安全性,应对这一高边坡进行

综合的加固处理。

### 1 溢洪道工程地质概况

溢洪道引渠段主要出露岩性为前震旦系南沱组冰碛砾岩及砂质页岩( $zbn$ ),陡山沱组石英砂岩( $zbd$ ),灯影组第 1 层硅质白云岩( $zbdn^1$ ),第 2 层粘板岩及钙质斑点状白云岩( $zbdn^2$ ),第 3 层泥沙质白云岩( $zbdn^3$ )等岩层,该地层地质构造复杂,在溢洪道引渠段最高边坡段,高程 1 660.00 m 至 1 710.00 m 范围, F1, F4, F10, F14 等几条断层以及  $zbd$  上部假整合面相互切割又交叉,使该边坡的( $zbdn^1$ )硅质白云岩, ( $zbdn^2$ )粘板岩极其破碎,呈全强风化石状,深度大于 60 m,成为溢洪道高边坡重要的不稳定因素(见图 1)。

### 2 引渠段平面布置优化

在边坡治理中,削坡减载是一种简单易行,经济有效的方法。由于溢洪道高边坡受山高坡陡的地形因素影响,位于风化破碎区的高边坡段,其上部为一高度达到 125 m 的高大直立陡崖,下部溢洪道外移,将形成临空。为了最大限度地利用此间平距为 100 m,可作为最大限度放缓边坡的地形条件,以减少工程措施,通过对进水条件,沿线地质地

\* 收稿日期: 1999-10-02

作者简介: 龚振文(1963-),男,云南昆明人,讲师,主要从事工程测量,水工建筑的理论和研究方法研究。

形情况分析,水力学计算等,对引渠的布置作了调整,方案(1):将整个闸室向下游后移 9 m,引渠段右边墙转弯圆弧半径由 80 m 调整为 61.5 m,相应切点向下游后移 5.0 的布置方案。方案(2)在方案(1)基础上,将闸室及上部分,向库内旋转 5°和 3°的方案。

在最高边坡段,方案(2)比方案(1)在平面上多

让出了 2.0 m 位置,但经水工模型试验验证:方案(2)水流条件较差,方案(1)水流平稳,流态较好,最终选定方案(1)。方案(1)在最高边坡段,比原方案多让出了近 20 m 的位置,对放缓边坡起到了很大的作用,且各项水力学参数也与原方案相差无几,满足工程要求。

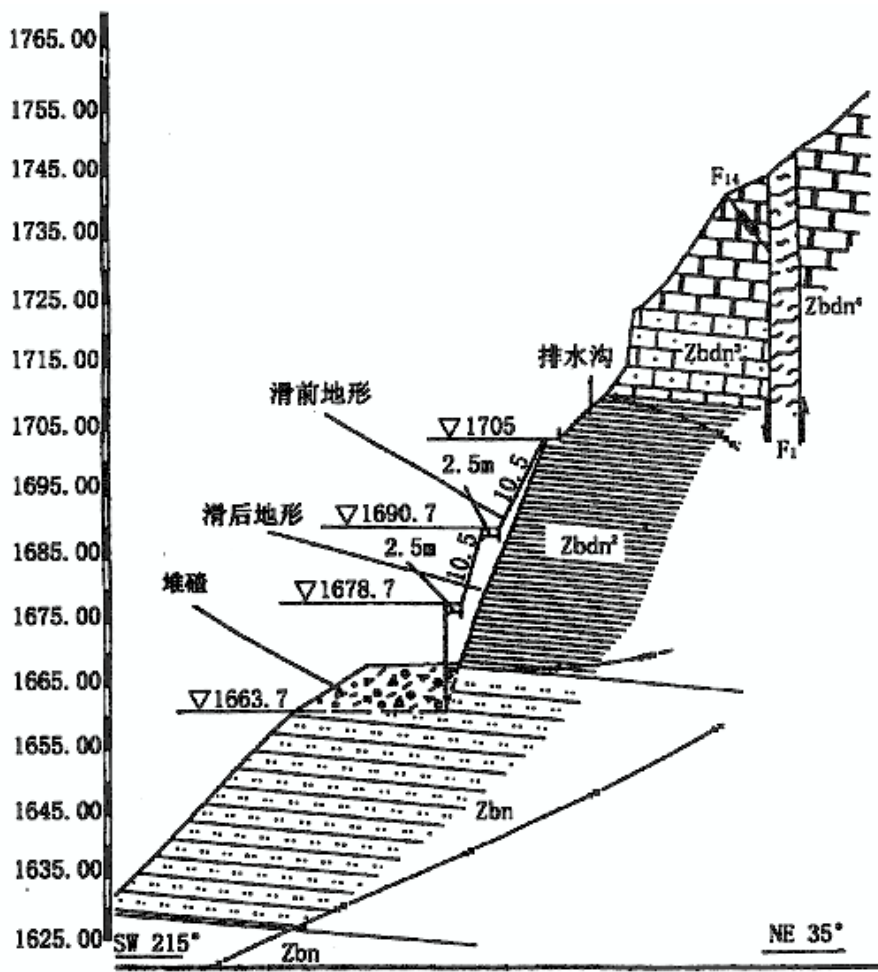


图 1 溢洪道地质剖面图

Fig. 1 Overflow spillway geologic section

按方案(1)的布置,边坡开挖在以不影响顶部高大陡坡稳定及尽量放缓边坡的原则下,设计边坡上缘距陡坡脚 20 m,进行放坡。在 1 648.8 m 以上共分 8 级,每级高差 12 m,每级设宽 3.0 m 马道,坡比 1:0.35~1:0.5,综合坡度 60°,最大坡高 125 m(见图 2)。

### 3 边坡稳定分析

#### 3.1 边坡稳定分析

表 1 9月28日滑坡反演分析

Tab. 1 Sliding analyses

情况	拉力缝深度	强度指标		安全系数
	/m	C/kPa	$\Psi/^\circ$	F
1	6.0	55	38	1.002
2	6.0	60	31	1.003

根据 9 月 28 日的滑前、滑后地形,采用 Sarma 法,用中国水利水电科学研究院 EMU 程序进行了反演分析,反演分析的临界滑弧基本上和图 1 所示

的地形一致,其反演成果如表 1。

稳定分析中的抗剪强度参数如表 2,表中对风化圈的全强风化岩层依据表 1 所反演成果作适当高速折减,选用  $C=50\text{ kPa}$ ,  $\phi=27^\circ$ 。对节理岩体中白云岩( $zbdn^1$ )和石英砂岩( $abd$ ),依据霍克-布朗建议的综合评分经验方法估算其抗剪强度。其它参数根据现场大剪试验,按传统的工程地质综合分析方法提出的建议值。需要指出的是,现场试验所

得参数中,风化破碎圈内全强风化之( $zbdn^1$ )白云岩及( $zbdn^2$ )粘板岩的强度指标较小,但上述两种岩层渗透系数教小,试验时施加每一级法向荷载时都不能保证充分排水,现场剪切速度快,故试验成果代表了不固结不排水强度指标,在边坡稳定分析时,如果排水措施有效,可以考虑固结排水指标,相应强度指标会有较大的提高。按表 2 所示参数,用 EMU 程序进行了稳定分析计算,其成果如表 3。

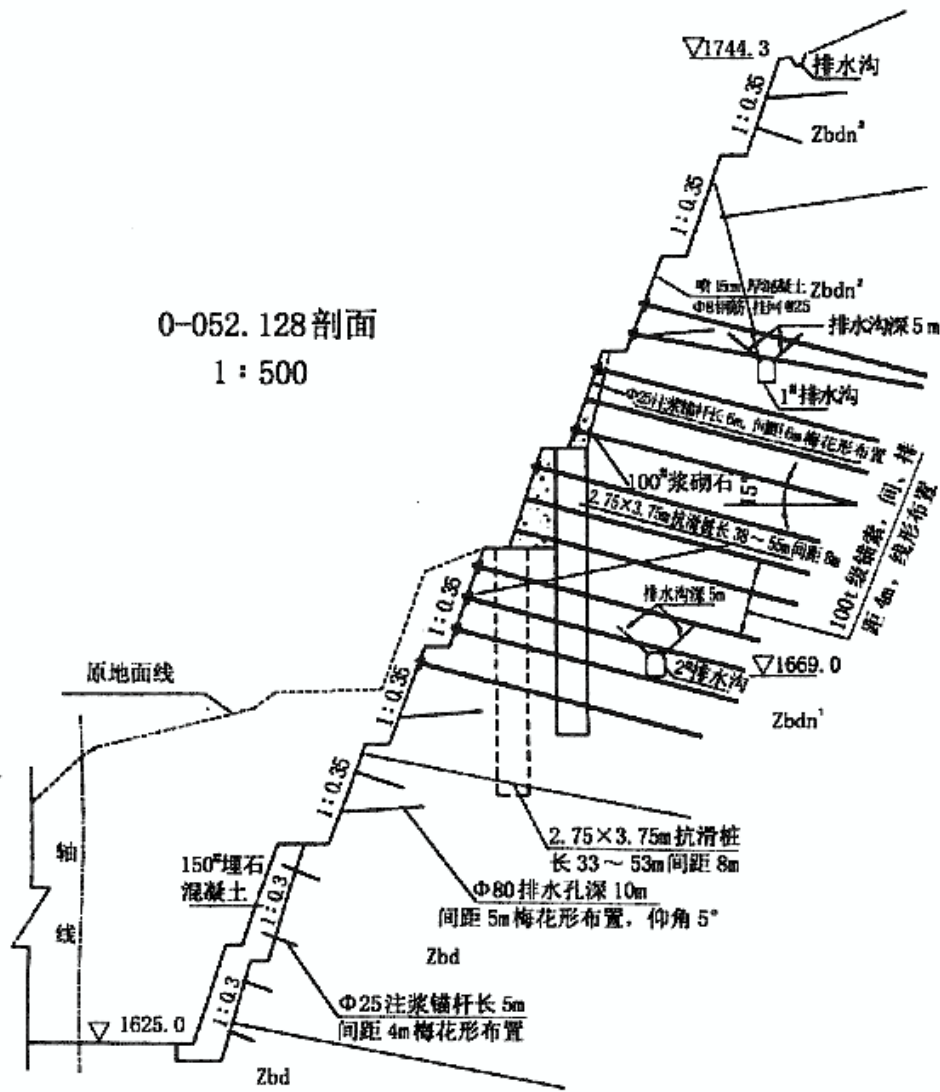


图 2 0-052.128 处边坡加固处理示意图

Fig. 2 Slope fasten treatment scheme

### 3.2 稳定分析结论

#### 3.2.1 风化破碎圈地段

(1)经过水力学的优化和边坡放缓等工程措施,设计边坡比原地形安全系数提高 0.1 左右。

(2)加抗滑桩后,3 个段面的安全系数提高了

0.4~0.5 左右,使溢洪道高边坡的稳定有了实质的改善。

(3)现设计方案用削坡减载,加强表面及内部排水,加抗滑桩,可以保证边坡各段面整体和局部的安全系数达到 1.25 左右,接近国内外普遍采用

的允许安全系数范围值。

经削坡减载后,安全系数已达 1.3 以上,故采用坡面喷锚支护措施。

### 3.2.2 其它地段

风化破碎圈以外的其他地段,为岩质边坡段,

表 2 柴石滩水库溢洪道高边坡各岩组参数

Tab. 2 Caishitang reservoir overflow spillway high slope rock parameter

岩石编号	岩组	风化程度	c /kPa	$\phi$ /°	$\gamma_{湿}$ /kN·m <sup>-3</sup>	$\gamma_{饱}$ /kN·m <sup>-3</sup>	抗压强度 /MPa
(1)	Zbdn <sup>1</sup> 硅质白云岩	弱风化	43	35	26.0	26.8	131.7
(4)	Zbdn <sup>2</sup> 粘板岩	强风化	50	27	23.0	24.3	54.1
(2)	Zbdn <sup>2</sup> 粘板岩	全强风化	50	27	23.0	24.3	18
(3)	Zbdn <sup>3</sup> 砂质白云岩	弱风化	40	41	26.0	26.8	97.02
(7)	Zbd 石英砂岩	弱风化	100	50	24.6	25.2	
	Zbn <sup>1</sup> 冰积砾岩	强风化	102	35	25.1	26.2	
		弱风化	150	43	25.1	26.2	
	Zbn <sup>2</sup> 页岩	强风化	25	25	25.1	26.2	
		弱风化	20	39	25.1	26.2	
(6)	Zbdn <sup>4</sup> 硅质白云岩	弱风化	40	41	26.0	26.8	67.56
(5)	F <sub>1</sub> 断层破碎带		15	26	23.0	2.43	

表 3 稳定分析成果

Tab. 3 Analyses of steady results

工况	桩号	桩号	桩号
	0-37.1,F	0-44.6,F	0-52.1,F
原地形 风化破碎段	0.939	0.838	0.704
开挖地形 (1 660~1 725 m)	1.006	0.901	0.828
加抗滑桩	1.557	1.446	1.176
整体边坡 (1 625~1 750 m)	1.651	1.376	1.248

注:抗滑桩提供抗力 1 722 kN/m。

## 4 边坡综合加固措施

溢洪道边坡,通过削坡减载后,只在最高边坡段近 70 m 范围内存在不稳定问题,需采取措施进行加固。

### 4.1 抗滑桩加固措施

在此不稳定段,存在一深达 60 m 以上的较大风化破碎圈,如采用锚索加固方案,则锚索较长,锚固端也不易找到好的岩石,且施工难度大及工程规模也较大,而被放弃。还考虑了采用土锚钉加固方案。因其加固深度有限(15 m 以下),不能对滑弧以内地段进行加固,其自身特点不适合于柴石滩高边坡的具体情况,投资也较大,而被放弃。抗滑桩对边坡是一种较为普遍,且行之有效的手段,在水

利、公路和其它土建边坡工程中都有大量成功应用。在此高边坡中,经过削坡减载后,其安全系数仅为 0.83~1.0,边坡不稳定,在加桩方案中,经多次分析计算,考虑了多种桩型尺寸,最后确定采用 8 棵 2.75 m × 3.75 m 桩,在 1 696.00 m 和 1 684.00 m 马道上各设 4 棵,满足了边坡稳定要求,抗滑桩所提供抗力计算采用的岩体参数,是经过地质补勘,现场大剪试验,反演计算,综合对比等多种手段,反复研究后确定的,是客观反映了风化破碎圈岩层强度,施工工期也满足枢纽工期要求,故选定抗滑桩为高边坡的加固方案。

### 4.2 排水和防水措施

对高边坡而言,水的破坏能力是巨大的,为了防止对该边坡的破坏,在坡顶设有两条排水沟,尽量减少雨水渗入,并打了一定数量的深 10 m 的排水孔。因破碎圈岩石透水性差,为尽量排走内部渗水,降低孔隙水压力,降低内部水对边坡的危害,在洞内打了两条排水洞。

### 4.3 局部坍塌加固措施

虽然进行了一系列加固措施,但由于在抗滑桩以上,尚有 40 多米的高陡边坡,倾角 60°,加上裂隙发育,风化破碎等地质因素,坡面仍然存在局部坍塌问题,虽不存在大问题,但若处理不好,将给工程的运行安全带来不利影响。为解决这一问题,经多方咨询论证,认为:中空自进式注浆锚杆和中空

注浆锚杆,能填补砂浆锚杆的不足,能发挥其注浆有压,改善其周围岩石强度,并能施加预应力等特点,可起到局部加固的作用,很好地解决了边坡局部坍塌,投资又不能太高这一难题,使这种锚杆第一次在水利工程边坡治理中得到应用。

4.4 另外,在整个边坡上,布设了 4 个测斜仪及一些观测设施对边坡进行监测。

## 5 结语

柴石滩水库溢洪道高边坡,山高坡陡,全强风化深度大,在锚索等手段不能解决其稳定问题时,抗滑桩是一种较为经济有效的加固措施,对局部坍塌问题,中空注浆锚杆能较好解决这一问题,投资

也较合理,对水的破坏,排水和防水是相当重要的环节,排水洞能起到很好的排水作用,这些综合加固措施,经济合理,安全有效地治理了这一山高坡陡,地质复杂的高边坡。

## 参 考 文 献

- 1 华东水利学院主编.水工设计手册[M].北京:水利电力出版社,1984.56~89
- 2 李焰.漫湾水电站坝体接缝灌浆施工技术[J].云南水力发电,1994,(1):35~43
- 3 雷震寰.南果河电站厂区工程滑坡的发生和治理[J].云南水力发电,1994,(1):62~65
- 4 邓净.预应力锚索在鱼洞水库松动体处理中的应用[J].云南水力发电,1999,(2):59~61

# Analyses of Fasten Treatment in Kunming Chaishitang Reservoir Overflow Spillway High Slope

Gong Zhenwen<sup>1</sup> Zhang Honghai<sup>1</sup> Yin Yamin<sup>1</sup> Chen Lihong<sup>1</sup> Liu Haolin<sup>2</sup>

( 1 Faculty of Engineering and Technology, Y A U, Kunming 650201 )

( 2 Water Conservancy and Hydroelectric Power Investigation and Design Institute of Yunnan, Kunming 650021 )

**Abstract** The overflow spillway is the sole overflowing facilities from Caishitang reservoir. The stability of the high slope at this overflow spillway directly influences both the constructing progress and safety operation of the overflowing facilities. With weathered rock mass and highly precipitous declivity, the complicated composition in the high slope make the slope unsteady. In order to renovat the high slope safely, efficiently, rationally and budgetconsiously, we accepted the comprehensilve renovat scheme of oversteepening: (1) reducing the slope to decrease load; (2) piling against sliding; (3) slope hollow grouting bolt.

**Key words** Caihshitang reservoir; High slope; Pile against sliding; Hollow grouting bolt; Comprehensilve renovat