

# 紫坪铺水利枢纽工程溢洪道高边坡处理方案比较

陈 昊<sup>1</sup>, 赵志旋<sup>2</sup>

(1. 四川省水利勘测设计研究院, 成都, 610072; 2. 武警水电一总队, 广西 南宁, 530028)

**【摘 要】**紫坪铺溢洪道右边坡由于工程需要, 开挖形成 200 多 m 的高边坡, 边坡上有层间剪切破碎带  $L_9$ 、 $L_{10}$  及  $L_c$  的切割, 开挖后边坡稳定可能存在很大问题, 必须采取工程措施进行处理。处理的优化设计按溢洪道上、下段的不同地质条件, 分别采用两种不同的方案进行比较, 最后设计推荐工程量较小、施工难度较小、工期相应较短的锚筋桩加固和预应力锚索加固的方案。

**【关键词】**溢洪道高边坡 剪切破碎带 锚索 紫坪铺工程

## 1 工程地质概况

紫坪铺水利枢纽工程位于岷江上游, 坝址在都江堰市城西北约 9km 处的沙金坝岷江干流河段, 是岷江上游已规划的六个梯级中的第五个梯级, 上游是已建的映秀湾电站, 下游 6km 为举世闻名的都江堰渠首。水库校核水位 883.10m, 正常水位 877.00m。

紫坪铺水利枢纽工程坝址处于河弯转折端, 地形较开阔。区内右岸基岩为三迭系上统须家河组湖沼相含煤砂页岩地层, 主要岩性有中、细砂岩、粉砂岩、煤质页岩和泥质页岩。其中, 中、细砂岩呈厚层状, 坚硬完整, 抗压强度在 30MPa ~ 80MPa 之间, 但煤质页岩强度低, 完整性差。

控制右岸边坡稳定的主要构造为沙金坝向斜。向斜轴与主要输水建筑物的轴线斜交, 两翼分别以 25° ~ 35° 向北东和 45° ~ 60° 向南西倾斜。层间发育有剪切破碎带, 为控制边坡稳定的主要结构面。

区内右岸主要构造形迹有:

沙金坝向斜: 轴向 N50° ~ 60° E, NE 向倾伏, 倾伏角 25° ~ 35°; 北西翼岩层走向 N25° E, 倾向 SE, 倾角 60° ~ 70°; 南东翼岩层走向 N45° ~ 65° E, 倾向 NW, 倾角 45° ~ 60°。

F<sub>3</sub> 断层: 位于坝轴线下游 360m, 与泄洪排沙洞和溢洪道出口相切, 走向 N50° ~ 70° E, 倾向 NW, 倾角 60° ~ 75°, 宽 55m ~ 87m。由糜棱岩、断层泥等组成, 结构疏松、遇水易崩解。

层间剪切破碎带: 多发育于坚硬砂岩与煤质页岩和泥质页岩接触处, 产状与岩层产状一致, 主要由软弱页岩在褶皱变形过程中受挤压剪切错动

形成。

主要的三组节理裂隙: ①产状: N55° ~ 75° E / NW ∠ 50° ~ 60°, 与层面近一致; ②产状: N10° ~ 45° E / SE 或 NW ∠ 10° ~ 35°, 与层面近直交; ③产状: N50° ~ 80° W / SW ∠ 60° ~ 80°。

紫坪铺工程由于受地形条件限制, 各输、泄水建筑物主要集中在右岸条形山脊上, 各相邻建筑物的进、出口的平面位置距离较近, 开挖面较大, 坡度较陡, 存在大量因开挖而形成的高边坡失稳问题。失稳形式主要有: 边坡整体失稳下滑, 边坡岩体受优势裂隙切割而局部失稳或岩块崩塌, 以及开挖后覆盖层沿基岩顶面失稳下滑等。主要部位有: ①1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>导流洞进口边坡; ②1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>泄洪洞进、出口边坡; ③引水发电洞进、出口边坡; ④溢洪道边坡。

其中, 溢洪道的布置也受地形条件限制, 溢洪道边坡开挖不可避免地形成了 200 多 m 的高边坡, 且正向坡比大多在 1:0.54 ~ 1:0.65 之间。高边坡的处理显得尤为重要, 必须采取有效的处理措施。

## 2 边坡稳定安全系数的取值

边坡稳定安全系数的取值, 主要考虑以下因素:

- (1) 现行和即将颁布的相关规范的规定;
- (2) 参考已建水利水电工程的成功经验;
- (3) 工程的投资、施工难度和工期等;
- (4) 在边坡稳定计算中, 采用控制结构面或岩体实际的强度指标, 包括摩擦系数和 C 值在内。

本工程设计拟采用的边坡稳定安全系数见表

## 1(采用刚体极根平衡法计算):

表1 紫坪铺工程边坡稳定安全系数

序号	项 目	荷载类型			备注
		持 久	短期	偶然	
1	引水发电洞进口边坡	1.3 ~ 1.35	1.05	1.01	
2	引水发电洞出口边坡	1.3	1.05	1.01	
3	泄洪洞进、出口边坡	1.3	1.05	1.01	
4	导流洞进口边坡	—	1.05	1.01	
5	冲砂洞出口边坡	1.3	1.05	1.01	
6	溢洪道边坡	1.3	1.05	1.01	
7	场内临时公路边坡	—	1.05	1.0	
8	其它边坡	1.2	1.05	1.0	

## 3 边坡处理的优化设计

## 2.1 溢洪道上段

## 2.1.1 地质描述

溢洪道上段 SP. 0 + 080m ~ SP. 0 + 180m 段长 100m, 为陡槽上中段, 覆盖层厚 5m ~ 10m, 最厚 15m, 主要为坡积块碎石土。该段位于沙金坝倾伏向斜核部, 溢洪道内边坡 (SW 侧) 岩层倾向溢洪道内 (向斜倾伏角  $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ), 且下部坡脚为  $L_{12}$  层间剪切破碎带和粉砂岩夹煤质页岩等软弱岩层, 边坡稳定条件很差, 受 ①  $N30^{\circ} \sim 60^{\circ} E/NW \angle 20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ; ②  $N20^{\circ} \sim 60^{\circ} W/SW (NE) \angle 20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ; ③  $EW/N \angle 30^{\circ} \sim 70^{\circ}$  等多组结构面切割, 岩体呈碎裂块状结构。在上述结构面侧向切割、且与倾山外的层面相组合时, 可能引起部分段岩质边坡顺软弱层滑动失稳。边坡开挖过程中须加强临时支护和永久结构支护措施, 建议岩质开挖坡比 1:0.75。溢洪道底板地基由  $L_{12}$  层间剪切破碎带和粉砂岩夹煤质页岩组成, 岩性软弱破碎, 抗风化崩解能力较差, 岩体风化卸荷较强, 地基在边坡产生的侧向应力作用下易产生隆起鼓出变形, 需采取相应的加固措施。

## 2.1.2 方案比选

该段边坡主要失稳形式为开挖后覆盖层沿基岩顶面的滑动及岩质边坡顺软弱层滑动失稳, 采用推力传递系数法及陈祖煜的 EMU 程序进行计算。

2.1.2.1 方案一; 为减少开挖量及占地范围, 边坡开挖按覆盖层 1:1.25、岩石 1:0.75 的坡度进行。对覆盖层进行混凝土框格 (框格尺寸  $2m \times 2m$ ) 衬护; 对岩石表面采用喷混凝土挂网加锚杆进行支护, 并设排水孔; 对边坡整体稳定采用  $4m \times 6m$  抗滑桩 (深度 45m ~ 50m) 及 3000kN 预

应力锚索 (最大深度 80m) 加固, 并设排水洞; 其安全系数  $K \geq 1.3$  (控制工况为正常运行工况)。

2.1.2.2 方案二; 为减少支护工程量, 降低施工难度, 缩短工期, 拟全部挖去覆盖层及  $L_{12}$  (层间剪切破碎带), 达到削坡减载的目的。开挖后, 边坡仍有沿层面滑动失稳的可能性, 经计算采用锚筋桩加固即可。锚筋桩孔径 190mm, 深 30m, 间、排距  $2m \times 3m$ , 孔内放 3 $\phi$ 36 钢筋束,  $C_{30}$  混凝土回填。设排水孔及排水洞。安全系数  $\geq 1.3$  (控制工况为正常运行工况)。

2.1.2.3 方案比选; 两方案工程量对比见表 2。

表2 溢洪道上段边坡处理方案比较

项目	土方开挖 (万 $m^3$ )	石方开挖 (万 $m^3$ )	$C_{15}$ 混凝土 回填 (万 $m^3$ )	预应力 锚索 (根)	抗滑 桩 (个)	锚筋 桩 (束)	备注
方案一	13.607	27.06	0	312	22	460	锚筋桩: $3 \times \Phi 40, 3 \times \Phi 36$ 预应力锚索: 3000kN, 1500kN
方案二	23.407	37.06	1.88	69	0	1280	锚筋桩: $3 \times \Phi 36, 5 \times \Phi 36$ 预应力锚索: 1500kN
差值	+9.8	+10	+1.88	-243	-22	+820	预应力锚索为 3000kN

从表 2 可知, 方案二的总体工程量较方案一小; 另外, 方案二的施工难度较小, 相应工期也较短。考虑到目前溢洪道开挖施工在即 (开挖施工时段为 2001 年 10 月 ~ 2002 年 8 月), 因而推荐方案二。

## 2.2 溢洪道下段

## 2.2.1 地质描述

该段 (0 + 180.0 ~ 0 + 496m) 长 316m, 为陡槽上后段和下段及挑流段, 位于向斜 SE 翼, 岩层产状  $N40^{\circ} \sim 70^{\circ} E/NW \angle 45^{\circ} \sim 65^{\circ}$ , 岩层走向与溢洪道轴线交角  $68^{\circ} \sim 88^{\circ}$ , 发育裂隙组有 ①  $N70^{\circ} \sim 75^{\circ} E/NW (SE) \angle 15^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ; ②  $N10^{\circ} \sim 70^{\circ} W/NE (SW) \angle 40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ; ③  $EW/N \angle 33^{\circ} \sim 48^{\circ}$ 。溢洪道底板、挑流鼻坎基础主要置于风化卸荷的中细粒砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹煤质页岩等 III ~ IV 类岩体上, 承载力可满足要求, 但需有一定的抗变形措施, 尤其要作好  $L_{11}$ 、 $L_{10}$ 、 $L_9$  等层间剪切破碎带的加固处理。此外, 对陡槽段尚需采取一定的抗滑措施。该段自然坡高陡, 在 0 + 348m 段处边坡

高度达 60m ~ 65m, 数组结构面与层面组合可能会产生局部岩块失稳, 施工中应及时进行喷锚支护处理。建议岩质开挖比 1:0.75, 并设置马道。

### 2.2.2 方案比选

本段边坡失稳形式主要为数组结构面组合产生局部岩体失稳, 采用推力传递系数法及北科院陈祖煜 EMU 程序计算。

2.2.2.1 方案一; 为减少开挖及占地范围, 采用限制开挖、加强支护处理的方法来加固边坡。岩质边坡按 1:0.3 ~ 1:0.5 的坡度进行开挖, 表面喷混凝土挂网支护。利用 EMU 程序对开挖后的边坡进行核算, 发现有大量失稳的趋势(这可能是因计算假定偏于保守而造成的), 采用 3000kN 预应力锚索(深度 40m ~ 60m) 及抗剪锚洞联合加固的方式进行处理, 设排水孔及排水洞, 控制安全系数  $K \geq 1.3$  (正常运行工况为控制工况)。

2.2.2.2 方案二; 根据目前成勘院提供的资料, 设计上进一步对该段地质情况特别是裂隙组合方式进行分析研究, 同时类比同类型工程, 认为边坡在开挖后整体是稳定的, 失稳方式应为局部岩体沿优势裂隙组合面失稳。处理方式为挖掉被裂隙切割的浅表层岩体, 对可能出现的较深层的裂隙进行处理; 按 1:0.75 坡度开挖岩体, 喷混凝土挂网支护, 设排水孔、排水洞, 并利用 1500kN ~ 3000kN 预应力锚索对可能出现的深部裂隙切割的失稳岩体进行加固处理; 为控制  $L_9$ 、 $L_{10}$  等层间剪切破碎带的压缩变形, 分别用混凝土对其浅表部位进行置换。控制安全系数  $K \geq 1.3$ 。

由于现阶段地质资料中给出的裂隙为一个较大的范围, 很难定量分析出裂隙具体的部位及组合情况, 设计上只能考虑在整段边坡中均出现裂隙组合, 但实际上裂隙应为随机出现, 其具体部位在开挖中才能揭示出来。目前, 设计上计算的处理量为该段边坡可能的最大处理量, 在施工中根据实际情况再一次优化的潜力较大。

2.2.2.3 方案比选; 两方案的工程量对比见表 3。

从表 3 看出, 方案二的总体工程量较方案一少, 施工难度较小, 相应的工期也较短。考虑到目前溢洪道开挖施工在即(工期为 2001 年 10 月 ~ 2002 年 8 月), 设计推荐方案二。

表 3 溢洪道下段边坡处理方案比较

项目	石方开挖 (万 m <sup>3</sup> )	预应力锚索 (根)	抗剪锚洞 (根)	备 注
方案一	20.46	360	11	预应力锚索为 3000kN, 1500kN
方案二	41.31	383	0	预应力锚索为 3000kN
差 值	+20.85	+23	-11	

## 4 边坡处理的其他必要措施

### 4.1 爆破控制

施工中爆破扰动对岩体稳定性影响较大, 可使岩体中裂隙的连通率增加, 同时降低岩体结构面的强度指标, 边坡的安全系数降低, 因对爆破的用药量、方式等严格加以控制是十分必要的。

### 4.2 施工程序

本工程地质条件恶劣, 岩体裂隙发育, 层间剪切破碎带较多, 在边坡开挖时应采取边开挖边支护的方式, 并在开挖中及时查明不稳定块体并及时加固处理。对高(陡)边坡应严禁“一挖到底”的开挖方式。

### 4.3 加强排水

加强排出坡体表面积水, 降低坡体内部的地下水。降低地下水对边坡稳定极为必要, 采用设置排水沟、打排水孔及布置排水洞的措施进行。

### 4.4 锚索施工

锚索应该采用不同的长度间隔布置, 避免因采用长度统一的锚索可能形成的潜在贯通面, 影响边坡稳定。

### 4.5 加强观测

观测应采取内、外观测相结合的方式。施工期以地表观测为主, 随着边坡分层开挖处理到位, 应及时布置深部观测。监测资料应及时整理, 加强综合分析并及时提供监测成果, 切实发挥保证施工安全和反馈指导设计的作用。

观测为表面位移观测点, 观测仪器以锚索测力计、钢筋计、多点位移计、测斜仪等为主, 测斜仪的数量可适当增加。另外, 为了及时掌握地下水情况, 可考虑适当布置渗压计。

### 4.6 根据施工情况及时调整设计方案

由于地质变数较多, 根据施工中揭示出的实际地质状况及时调整和优化设计方案, 应该是一种正确的方法。 ■