

# 纳学水库大坝左岸边坡综合治理方案设计

蒲廷洋

贵州省水利投资(集团)有限责任公司

**摘要:**对于水利工程而言,在进行建设的时候,边坡方面的稳定性将会直接影响施工的综合质量。但凡出现滑坡情况,都会对项目建设造成巨大干扰。因此,相关人员就要提高重视度,合理应用边坡治理技术,有效解决相关问题,确保治理的效果达标,进而提升工程的综合水平。本文以纳学水库左岸为例,对该项目的基本情况和斜坡特点进行了分析和归纳,并提出了相应的斜坡处理方案,并对其进行了比较。

**关键词:**水库工程;边坡稳定性;治理方案;比选

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.064

## 一、左岸边坡变形情况

2021年12月,纳学水库正式进入建设阶段。在2022年1月9日下午,现场工作人员在对左岸边坡进行巡视的时候,发现在边坡坡顶之上的S209省道内外侧路缘石与沥青路面之间,存在着一条裂缝,这条裂缝大约35m,最大宽度大约为12mm。其中,外侧的裂口长度为15米,最大的裂口宽度为6毫米,裂口方向与道路方向相平行。见图1。



图1 S209道路内侧裂缝及其宽度

在高速公路内部的排水沟和上面的斜坡上没有发现裂缝。在天然公路的外部(915m~900m)和清表边坡(900m~891m、891m~886m)上,均没有发现裂缝和渗漏。在近886~875m的斜坡底面上,存在一个上宽下窄的“V”形断裂面。其上端为风化岩(粉砂质泥岩和砂岩),下端为上端为土,下端为强全风化层。长江设计院在此事件后,立即加大了对该工程左岸边坡的监测。1月13号,天气下着蒙蒙细雨,在检查中发现,在省道的内部,裂纹的长度已经超过了50米,裂纹的宽度也在增加;最大位移为25毫米,最大位移为5厘米,在排水口的内侧有1~3毫米的裂隙。在高速公路沥青面层中发现了1.5~5m长的不连续、不规则的纵、横裂缝。在875米的台地上,存在一条断层,断层沿地层的走向,断层的倾角为47度,断层的剪切长度为3~5厘米。其余斜坡和平台均未检测到剪切位移。1月14日,在S209国道的

路肩、挡土墙的外侧,在海拔905~908米的地方,出现了一条长15米、宽1~2.0毫米的纵裂裂纹,并在溢洪道轴线的下游,离冲刷沟的高度865米的地方,出现了一个渗漏点S1。见图2。



图2 溢洪道865~875m高程平台下游端斜坡S1渗水点

## 二、左岸边坡治理方案设计

### (一) 边坡治理排水设计

#### 1. 地表排水设计

在斜坡上设置 $\phi 50$ PVC-U短排,长度4.5米,排距3.0米。在901米和889米高的马道上,分别设一条排水沟,排水沟的截面为底部宽度50厘米,深50厘米的梯形;排水管网厚度20cm,设置在马道内侧,全长225m,排水管网的坡度为0.1%,排水管网将坡面的水引入到下游的冲沟中。

#### 2. 地下排水设计

在深排水设计中,将深排水分成两个部分:一是沿着马道布置的深孔排水沟,二是在上游、下游分别采用注浆平洞布置的排水沟;具体来说,就是在901m、889m及875m高程沿马道上,设置了一条长6~10m的 $\phi 75$ PVC-U排水花管,其主要目的是将强风化层内的岩体裂隙水排出去。此外,对左岸灌浆平洞进行充分利用,在灌浆平洞末端向上下游分别设置15m长排水支洞,同时在灌浆平洞末端30m范围,沿洞身向上下游分别设置两排 $\phi 75$ PVC-U排水花管,它们之间的间距为3m,向上下游排水花管长35m,这样可以合理降低运行期边坡地下水位。并在此基础上,结合左岸平洞工程开挖后的实际地下水富集状况,对其进行了进一步的优化。

### (二) 省道路肩(省道以上)支护桩设计

在省道外侧路肩,将一排直径1.0m钻孔灌注桩,设计采用长短桩间隔布置形式,长桩打穿J2夹层(保证沿J2夹层的稳定),短桩打穿土石分界线(保证覆盖层稳定),桩顶设置120cm $\times$ 60cm冠梁,沿桩中心线每隔20m,在临坡侧设一道支护桩,以增强桩群整体稳定性,设置横撑,同时限制桩顶水平位移,确保路基变形在允许范围内。在使用钻孔桩法施工之后,可以在省的外侧使用现有的排桩法作支护,对省的边坡进行修整,

并隔离了边坡处理机械施工对省的干扰；降低了施工对边坡的冲击；在此基础上，采用长、短桩间排布方式，以达到对入岩锚固长度的要求。长桩长为20米，通过J1, J2两个层位。间隔在1.5-3.0米之间。在弯道上施加的荷载以土压和车辆荷载为主，在弯道上施加的离心力对弯道的影响较大。采用坝轴线0+000，坝轴线0+030，轴线0+050，轴线0+100的四个计算剖面，按各剖面的土壤特性，计算出相应的抗滑桩的配筋。结构的计算使用的是Sap84软件，各个截面的内力的统计情况是这样的，受力钢筋的使用是不对称的，按照等效矩形来进行计算；成果如下表1所示。

表1 省道路肩支护灌注桩结构计算成果表

断面	计算悬臂高度 (m)	间距 (m)	弯矩 (kN.m)	剪力 (kN)	抗弯钢筋 (mm <sup>2</sup> )
断面0+100	3	3	799.8	385.6	3470.62
断面0+050	6	1.5	1107	489.7	4953.51
		1.8	1328	587.6	6087.64
断面0+030	5	1.8	853	311.1	3720.44
断面0+000	4	1.8	977.9	409.2	4318.11

(三) 边坡削坡减载及喷锚防护设计

对省道以下将左岸边坡削成三段，一级和二级的坡度比为1: 1.75，三级的坡度比为1: 1.88~1: 2.62，并于910.5米、901米和889米的高度，设3米宽的马道，每段马道的内侧都设一条截流沟，截流沟的底部宽度为50厘米；高度为50厘米，厚度为20厘米的C15混凝土。该边坡采用二次配C20混凝土10cm厚度的喷砼挂网+锚杆支护。在有覆盖层的斜坡上，采用φ20号锚杆，长度4.5米，排距2.0米。在强烈风化的边坡上，采用φ20锚固，长度3.0米，排距2.0米。对于部分边坡在剥落后盖板厚度较大时，采用6mφ20、9.0mφ25两种长度为2m，间距为2.0m。

由于溢洪道在875米高度下的开挖和爆破，必然会对坡体造成一定的干扰，且J3夹层在溢洪道坡体中暴露，因此，为了确保溢洪道坡体的稳定性，必须与溢洪道边壁联合支护；另外，水库蓄水后，地下水水位升高，对溢洪道底部和边壁产生了一定的压力，需要对其进行抗浮校核；经计算，拟在溢洪道的边槽、过渡段底板和边墙的中、下段各布置3根φ25的锚桩，长度9米，深度8米，间距2mX2m。在边堰段和边墙上浮压力小的地方，用φ25锚杆进行支护，间距2mX2m。

(四) 边坡中部抗滑桩及左岸灌浆平洞洞口支护桩设计

1. 边坡中部抗滑桩设计

(1) 中部抗滑桩布置

中部抗滑桩的布置范围为6-6截面（坝轴线0+000）上游12m、下游18m，平面布置如图5.5-5所示。在889米高度处，计划设置14根直径1.0米的钻孔桩，长度为15米，打入强风化线以下2米处的土岩边界；以2.5m为间隔，主要对局部未清除的覆盖层进行支护。

(2) 中部抗滑桩结构尺寸拟定

在这一次的设计中，选择了圆形抗滑桩，首先拟定了抗滑桩的直径为1.0m，以剩余下滑力设计值及单根桩的承载力为依据，经计算，桩间距取为2.5m。

(3) 中部抗滑桩设计

抗滑桩的计算采用了悬臂桩的方法，以三角形的形式进行了荷载的计算，并用SAP84软件对其进行了计算。受力钢筋均为非对称布置，并按等价长方形布置。如表2所示。

表2 抗滑桩内力计算成果表（宽2.5m）

断面位置	剩余下滑力	剪力	抗剪钢筋	弯矩	抗弯钢筋
	kN	kN	mm <sup>2</sup> /mm	kN.m	mm <sup>2</sup>
6-6	254.79	316.00	构造配筋	733.6	3360.70

2. 左岸灌浆平洞洞口支护桩设计

(1) 灌浆平洞洞口支护桩布置

依据左岸灌浆平洞入洞前20m处有强风化岩层，为降低左岸灌浆平洞入口爆破对左岸坡体的影响，保证左岸坡体的安全性，在灌浆平洞入口前的明挖段，在入口16m处各设置10根支护桩，以保证左岸坡体的稳定性。

(2) 灌浆平洞洞口支护桩设计

根据左岸灌浆平洞的地质资料，左岸灌浆平洞进入边坡前20m处的洞口被开挖，洞口宽度3m处高3.5m处，挖出后在坡脚形成一个临空面，为了降低灌浆平洞的爆破施工对边坡造成的干扰，本项目拟在此区域进行钻孔桩支护，并在此基础上降低坡脚处的开挖深度，以保证左岸边坡的安全。在支护桩的设计中，选择了圆形灌注桩，第一步是将灌注桩的直径定为1.0m，桩间距1.8m，使用悬臂桩法对桩的最小锚固进行了计算，荷载按照矩形分布，计算出最小锚固长度为5.28m，并选择锚固长度5.5m。考虑到边坡的后期削坡，洞口支撑桩的设计分别为12米和16米。

(五) 下部抗滑桩设计

1. 抗滑桩布置

通过分析，得出了相同情况下，锚索抗滑桩与一般抗滑桩的内力计算值，并与一般抗滑桩进行了比较，得出最大剪力为一般抗滑桩的78.3%。与常规抗滑桩相比，锚索抗滑桩的最大弯矩为常规抗滑桩的80.5%。因此，采用锚杆抗滑桩可以有效地减小抗滑桩的体积，并且随着桩长的增加，减小的比例也随之增大。在这个工程的左岸边坡上，主滑段的下滑力达到了4448.79~5549.23kN/m，在进行了削坡减载和上、中部抗滑桩阻滑后，降低为3023.41~3924.60kN/m，下滑力降低了25%以上。如表3所示。

表3 主滑段剩余下滑力计算成果表

项目	剩余下滑力 (kN/m)		
	天然状态	削坡减载+上中部抗滑桩阻滑后	减少百分比
断面5-5	4448.79	3292.81	-25.98
断面6-6	4639.45	3023.41	-34.83
断面E-E	5549.23	3924.60	-29.28

2. 结构尺寸拟定

鉴于左岸边坡的地质情况比较复杂，土体沿着土石

分界线、强风化和软弱夹层的滑移方向都偏向于外河和下游的冲沟，有可能有多个滑移方向，因此选择圆桩的受力条件是比较合适的。同时，利用大型旋挖机械进行一次成孔，可极大地提高圆桩的施工效率。所以在本次设计中，选择了圆形抗滑桩，最初拟定尺寸为直径1.2m，以剩余下滑力设计值及单根桩的承载力为依据，经计算，桩间距取为3m。

3. 灌注桩承载力验算

下抗滑桩设置于斜坡上，其底板穿过J1、J2两个夹层，并承担了沿滑面的水平剪切与垂直张力。由于下层抗滑桩之间的间隔比较小，因此要考虑到群桩的不完整性，按《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)的有关抗滑桩的承载力为：

$$N_k \leq T_{uk} / 2 + G_p$$

公式中：N<sub>k</sub>—基础桩的拉拔力，单位为kN；T<sub>uk</sub>—当群桩出现非整体失效时，基桩的极限承载力(kN)；G<sub>p</sub>—基桩自重，地下水位以下取浮重度；

群桩呈非整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按式计算：

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i$$

其中：T<sub>uk</sub>—以kN表示的基础桩抗拔极限承载力的标准值。u<sub>i</sub>是桩的周长，如果是等直径的桩，取u = πd (m)。q<sub>sik</sub>—桩身表面第i层土体抗压极限侧阻力的标准值。λ<sub>i</sub>为拔出率，在表中取0.8。根据软弱夹层滑动的计算成果，5-5'断面桩所在的滑块剩余下滑力为1973.04kN/m，在将滑面倾角考虑进去之后，对垂直分量进行计算，可以得知单桩最大竖向上拉力N<sub>k</sub>=2373.50kN。取桩的长度为18m，在上述公式的基础上，计算出了基桩的抗拔极限承载力标准值T<sub>uk</sub>/2+G<sub>p</sub>=3124.58kN，达到了垂直承载力的要求。

4. 抗滑桩锚固长度计算

以抗滑桩间距3.0m为依据，选取6-6'及E-E'剖面来计算抗滑桩长度，计算采用悬臂桩法来计算桩的最小锚固长度，荷载呈矩形分布，6-6'抵抗段长度为8m，计算得6-6'剖面最小锚固长度9.57m，选用锚固长度10.0m。E-E断面的阻力段长为9.0米，经计算得出E-E断面的最小锚索长度为9.16米，因此选择了10.0米的锚索长度。在此基础上，对溢洪道交通桥的上端设置了18米的抗滑桩，对溢洪道交通桥的下端设置了19米的抗滑桩。

5. 内力及配筋计算

抗滑桩内力计算成果表如下表4所示：

表4 抗滑桩内力计算成果表(宽3.0m)

断面位置	滑面倾角	剩余下滑力	剪力	拉力
	a (°)	kN	kN	kN
5-5'	-23.64	5919.13	5422.41	-2373.50
6-6'	-11.55	6989.18	6847.65	-1399.39
E-E'	-17.30	7605.92	7261.84	-2261.81

注：桩身所在滑块剩余下滑力

根据《水工混凝土结构设计规范》SL191-2008的计

算公式，选择了一根直径1.2米的圆形抗滑桩，每根之间的距离为3.0米，在此基础上，考虑了下层抗滑桩和预应力锚索的共同效应，将锚索的预应力降低到0.85倍，并将其转换成抗滑力，经过计算，下层抗滑桩的抗剪承载力及受拉承载力如下表5所示：

表5 抗滑桩配筋计算成果表(宽3.0m)

断面位置	抗剪钢筋	受拉钢筋
	mm <sup>2</sup> /mm	mm <sup>2</sup>
5-5'	13.91	9098.43
6-6'	18.50	5364.35
E-E'	19.83	8670.27

根据剪切力的分布情况，拟设置肢箍(φ22@75)，考虑到肢箍施工中的钢筋绑扎困难，拟在夹层上部和下部9m区域内，以钢(拟设置4个Q235工字钢32B)代替箍筋，并在此基础上设置φ20双肢箍，螺纹箍筋选用φ10@100/150，并将工字钢与箍筋对称排列，以保证箍筋的安全。按照受拉控制，纵向受力筋为20根φ22受力筋，受拉钢筋按照对称配筋的原则，另外，在靠山侧和临河侧各设置5根φ22加强钢筋。

(六) 预应力锚索设计

预应力锚索施工在水库工程建设中应用广泛，以亲身实践，遵循锚索施工规范及设计控制指标，对施工工艺、参数、控制措施及要点及时进行动态调整和优化控制，体现了原则性和灵活性相结合的原则，3个施工马道均进行了整平及砼浇筑，布设排水系统及监测设施，锚拉板浇筑后外观质量整体美观，实现了高边坡锚索施工的安全、经济、合理目标，边坡治理取得了应有效果。

三、结语

省道以上边坡处理中，采取的是省部分地区的改移法+路肩支护桩法。在省区以下，采取三层削坡减荷，喷锚支护，浅层排水和深层排水，在中、下两个方向，在下边坡上布置抗滑桩，在下半部分布置预应力锚索，在溢洪道侧沟槽内开挖边坡，在上半部分布置锚筋桩。该设计方案在技术上是可行的，在经济上是合理的，在实际应用上是可行的。

参考文献

[1]李其虎.两河口水电站库区特大桥边坡稳定性复核与治理[J].人民长江,2023,54(2):159-164.  
 [2]徐博,李凯.某水库厂房边坡蠕滑体稳定性分析[J].水电能源科学,2022,40(4):125-128.  
 [3]湛正刚,程瑞林,孙卫,等.水库区大型堆积体灾变分析及对策研究[J].岩土工程学报,2022,44(1):194-200.  
 [4]姚仕明,胡呈维,渠庚.三峡水库下游河道演变与生态治理研究进展[J].长江科学院院报,2021,38(10):16-26.  
 [5]潘苏锋,徐康,张慧颖,等.强降雨作用下某水库边坡稳定性分析与治理评价[J].矿产与地质,2021,35(2):330-335.