

# 阿白冲水库输水隧洞进水口边坡治理方案探析

姜成俊

(云南省红河州水利水电勘察设计研究院, 云南 蒙自 661100)

**【摘要】** 阿白冲水库输水隧洞进水口边坡陡峻, 岩石破碎, 边坡易失稳。经对该边坡进行地质条件及稳定性分析计算, 提出了三种边坡治理方案。通过比较分析, 选择锚索框格梁结合整坡锚喷的治理措施。治理后边坡稳定, 至今已安全运行3年多时间, 其成功经验可供类似工程参考借鉴。

**【关键词】** 输水隧洞进水口边坡; 稳定性分析; 治理方案; 锚索框格梁; 阿白冲水库

中图分类号: TU213.1+58

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)06-063-05

## Analysis on water inlet slope control plan of water tunnel in Abaichong Reservoir

JIANG Chengjun

(Yunnan Honghe Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Mengzi 661100, China)

**Abstract:** Abaichong Reservoir water tunnel inlet slope is characterized by steep bank, rock crushing and slope instability. The geological conditions and stability of the slope are analyzed and calculated in the paper, and three slope control plans are proposed. The control measure of anchor cable frame lattice beam combined with whole slope anchoring shotcrete is selected through the comparison of three control solutions. The slope is stable after control. It has been operated safely for more than 3 years till present. Its successful experience can be used for reference in the similar projects.

**Key words:** water tunnel inlet slope; stability analysis; control plan; anchor cable frame lattice beam; Abaichong Reservoir

### 1 工程概况

阿白冲水库地处石屏县新城乡红河二级支流阿白冲河中下游河段, 是以农业灌溉为主的中型水利枢纽, 水库总库容 1538.0 万  $m^3$ , 灌溉面积 2.91 万亩, 年供水总量 1718.8 万  $m^3$ 。输水隧洞是水库唯一的输水设施, 其进水口的边坡安全关系到工程安全和水库灌溉供水效益的发挥。

### 2 输水隧洞进水口边坡地质概况

#### 2.1 地形地貌

进水口边坡属构造侵蚀高中山地貌, 岸坡坡度一

般  $35^\circ \sim 50^\circ$ , 局部地段达  $60^\circ$ , 边坡高度达 18 ~ 50m, 坡面多呈直线和折线型坡, 两侧为宽缓的季节性冲沟, 植被较发育, 进水口高程以下为自然边坡, 至河底高差约 20m。

#### 2.2 地层岩性

边坡所处区域主要为下元古界美党组 (Pt1m) 板岩, 岩体风化破碎, 完整性较差, 地层走向与斜坡坡向以大角度相交的斜向坡为主, 边坡自上至下由人工填土 (渣料) 及残坡积角砾组成。第四系 (Q) 人工填土 (Q4ml) 为含碎石粉质黏土—碎石土, 碎石含量 40% ~ 60%, 直径 0.2 ~ 15 cm, 以强风化板岩角砾及碎块为

主,厚0.5~2.5m;残坡积层(Q4el+dl)以碎石、角砾为主,含量35~60%,直径0.2~8cm,为强风化板岩,厚0.4~3.5m;崩积层(Q4col)以碎石、角砾及块石为主,砾石含量大于50%,直径0.2~20cm,为强风化板岩,厚3.0m;强风化板岩(Pt1m)呈坚硬状黏土一角砾,岩石极破碎,呈薄一中厚层状,节理裂隙极发育,易开裂崩解,厚0.5~5.5;中风化板岩:岩石较破碎,呈薄一中厚层状,节理裂隙较发育,多呈闭合状,易沿层理及裂隙面开裂,顶板埋深0~8.30m。

### 2.3 水文地质条件

边坡上部第四系残坡积层一般不含水,雨季以上层滞水为主。板岩(Pt1m)在强、弱风化岩体中含裂隙型潜水,主要为大气降水补给。松散堆积层孔隙水主要受大气降水补给,富水及透水性较弱,一般就地补给就近排泄;基岩裂隙水含水层为板岩(Pt1m),主要靠大

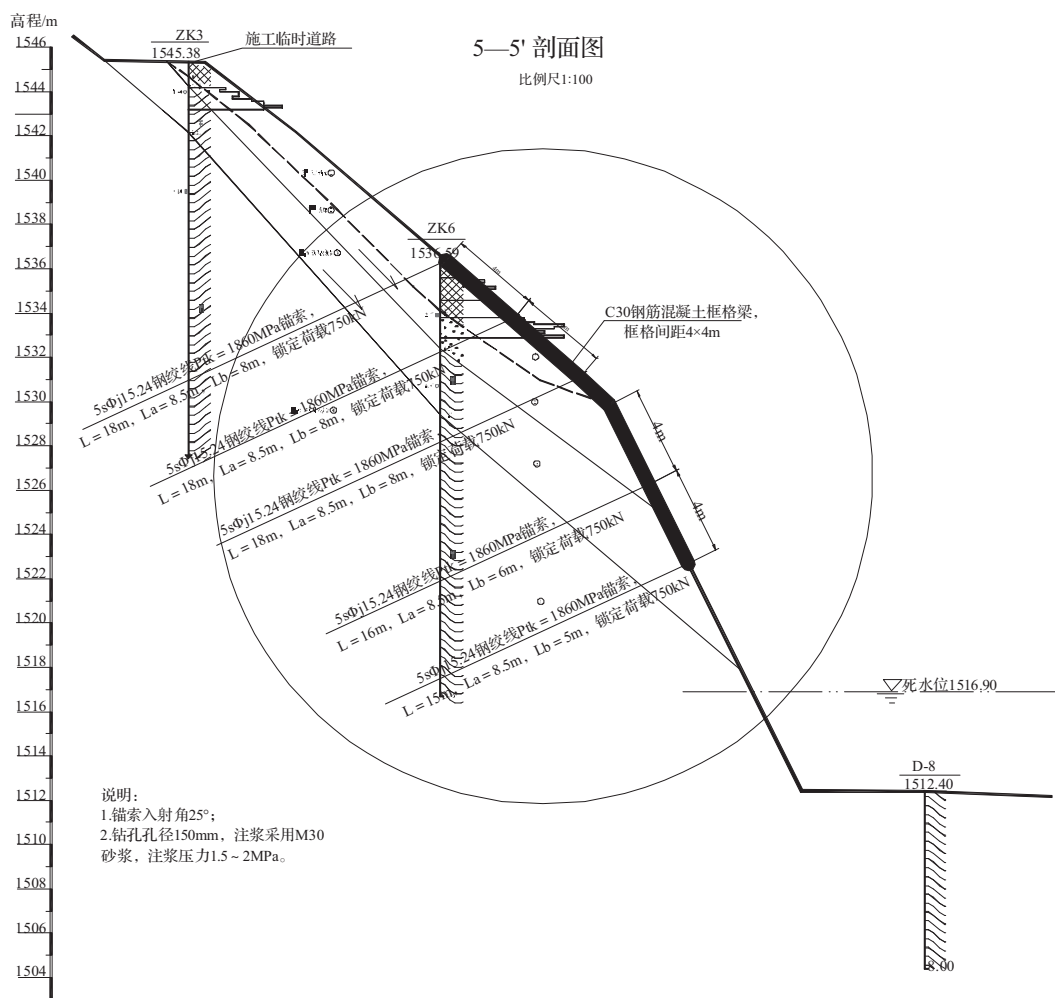
气降水和松散孔隙水垂向补给,储运通道主要为节理裂隙,岩层透水大,降水排出迅速,一般就近补给库区。

### 2.4 地震

边坡位于云南山字形构造石屏弧与通海弧之间,区间北东及北西向断裂构造较为发育,地块完整性较差,工程区地震动峰值加速度0.30g,地震动反应特征周期0.45s,地震基本烈度及抗震设防烈度为Ⅷ度。

## 3 进水口边坡稳定性分析

输水隧洞进水口边坡岩体节理裂隙发育,各结构面切割强烈,裂隙面较平直且多有薄层泥质充填;边坡天然状态下基本稳定,但因地势陡峻,地层孔隙较大、基岩破碎,饱水后临空面易失稳破坏,尤其在库水消落时的动水压力作用下,易引发边坡失稳,边坡治理范围平、剖面如下图所示。



输水隧洞进水口边坡防治处理剖面

### 3.1 计算参数

程实际综合确定,如表 1 所列。

进水口边坡计算参数以试验结果为依据并结合工

表 1 进水口边坡稳定计算参数取值

土 层	密度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$		黏聚力 $C/\text{kPa}$		内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$		备 注
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	
填土及残坡积层	20.3	21.6	24.5	21.2	14.4	13.2	
强风化板岩	24.5	25.2	45.0	41.0	28.0	26.5	
中风化板岩	26.7	26.8	100	80	40.0	32.0	

### 3.2 计算结果

定计算公式参照边坡设计规范有关公式进行,结果如表 2 所列:

选取最具代表性的 5—5', 剖面进行稳定计算, 稳

表 2 进水口边坡稳定性计算成果

剖面编号	计算断面	计算参数			块段编号	滑面形态 $\alpha/(\text{°})$	正常运用条件		非常运用条件 I		非常运用条件 II	
		$\gamma/(\text{kn}/\text{m}^3)$	$C/\text{kPa}$	$\psi/(\text{°})$			稳定系数/ $K_s$	剩余下滑力/ $(\text{kN}/\text{m})$	稳定系数/ $K_s$	剩余下滑力/ $(\text{kN}/\text{m})$	稳定系数/ $K_s$	剩余下滑力/ $(\text{kN}/\text{m})$
5-5'剖面	上部滑面	20.3 (21.6)	24.5 (21.2)	14.4 (13.2)	①	46	1.14	3.21	0.95	101.64	0.73	205.56
					②	37	1.13	14.92	0.95	183.01	0.70	404.27
	下部滑面	24.5 (25.2)	45.0 (41.0)	28.0 (26.5)	①	41	2.97	0	2.66	0	1.99	0
					②	48	1.39	0	1.24	0	0.92	313.71
					③	40	1.38	0	1.24	0	0.89	550.59

注 ( )内数值为饱和状态取值;上部滑面为土岩界面,下部滑面为强、中风化层交界面。

计算成果表明:正常运用条件下,进水口南侧、西侧边坡均稳定;非常运用条件 I 下,南侧及西侧边坡下段坡体稳定,而西侧边坡上段坡体不稳定,易沿土岩界面滑动;非常运用条件 II 下,南侧边坡下段坡体稳定,而上段坡体不稳定,易沿土岩界面滑动。而西侧边坡上、下段均不稳定,易沿土岩界面或强、中风化层交界面滑动。

## 4 边坡治理方案

### 4.1 治理方案比较

根据进水口边坡的地形地貌、地质结构、变形破坏特征和场地条件,结合治理方案的可行性与经济性,进行三种方案的比较,具体如下:

#### 4.1.1 方案一:锚索框格梁+整坡+锚喷工程

a. 锚索框格梁。在进水口西侧边坡上部设置 5 排锚索,长度自下至上分别为 15m、16m、18m、18m、

18m,其中锚固段长 8.5m,置于弱风化板岩中,自由段长 5~8m,入射角 25°,锚索间距 4m×4m,采用高强度、低松弛、公称抗拉强度 1860MPa 的钢绞线(1×7),每孔设 5φ15.24 钢绞线,设计锚固力 640kN,张拉锁定荷载值 750kN。框格梁为 C<sub>25</sub> 混凝土,嵌入坡体 40cm,框格间距 4m×4m。

b. 整坡。对上部三排锚索框格梁间的坡面进行整平,对进水口南侧边坡削坡至 1:1。

c. 锚喷工程。对南侧边坡进行锚喷支护,间距 2m×2m,锚杆长 6~8m,采用 1φ25 钢筋,锚孔为 φ42 钻孔,灌入水灰比 1:0.45 的 M<sub>30</sub> 砂浆,坡面挂 φ6.5 钢筋网片,φ16 钢筋压网,喷射 8~12cm 厚的 C<sub>20</sub> 混凝土支护。

d. 锚固计算。进水口边坡为临水边坡,边坡最大高度 18m,级别为 3 级,边坡锚固计算参数如表 3 所列,进水口边坡岩土体物理力学指标如表 4 所列,锚固

计算结果如表5所列。

表3 进水口边坡锚固计算参数

项目	抗滑稳定安全系数	锚固体与岩体黏结强度/MPa	钢筋与注浆材料摩擦系数	挡土墙基底摩擦系数 $f$	墙后填土	
					密度/( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	内摩擦角/( $^\circ$ )
数值	正常运用条件 I. 15-1. 20	500(中风化板岩)	0.50	0.6	21.6	35
	非常运用条件 I. 10-1. 15	260(强风化板岩)		0.5		
	非常运用条件 II. 05-1. 10					

表4 进水口边坡岩土体物理力学指标

土层编号	土层名称	密度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$		黏聚力 $Ck/\text{kPa}$		内摩擦角 $\phi k/(\text{^\circ})$		地基承载力特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$
		天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	
①	人工填土	19.0*	19.5*					
②	角砾	20.3	21.6	24.5	21.2	14.4	13.2	180
③	强风化板岩	24.5	25.2	45.0	41.0	28.0	26.5	300
④	中风化板岩	26.7	26.8	100	80	40.0	32.0	5000

表5 锚固计算结果

项目	计算结果
设计锚固力	640
注浆体与锚索间黏结长度/m	3.89
地层与注浆体间黏结长度/m	6.11

#### 4.1.2 方案二:抗滑桩+整坡+锚喷

a. 抗滑桩。在进水口边坡西侧顶端设置1排抗滑桩共12根,桩身间距5m、桩长22m、桩径1.5m×2m,桩体采用C<sub>30</sub>混凝土。

b. 整坡。与方案一相同。

c. 锚喷。与方案一相同。

d. 抗滑桩计算结果。经计算,抗滑桩最大弯矩为20523.959kN/m,最大弯矩位置为背侧距离桩顶12.62m。

最大剪力为3060.00kN,最大剪力位置为距离桩顶8.6m,最大桩顶位移为88mm。

#### 4.1.3 方案三:削坡+锚喷

a. 削坡。对进水口西侧边坡按分级高度10m、坡比1:0.75进行削坡,设置宽2m的马道;对进水口南侧边坡按坡比1:1.25进行削坡,设置宽2m的马道。

b. 锚喷。削坡后进行锚喷护坡,进水口西侧边坡锚杆间距2m×2m,南侧边坡锚杆间距3m×3m;锚杆

采用 $\phi 25$ 钢筋,长5~8m,锚孔为 $\phi 42$ 钻孔,灌注水灰比1:0.45的M<sub>30</sub>砂浆,坡面挂 $\phi 6.5$ 钢筋网片, $\phi 16$ 钢筋压网,喷射8~12cm厚的C<sub>20</sub>混凝土支护。

各方案工程量对比如表6所列:

## 4.2 治理方案选择

输水隧洞进水口边坡治理方案,从以下三方面进行选择:

a. 从技术角度考虑:方案一充分利用边坡自身岩土体强度,对边坡扰动更小,治理后风险较小;方案二采用坚固的抗滑桩支挡,安全性高;方案三须削坡,但因地形条件限制,不能削至允许坡率而需支护。

b. 从施工条件考虑:方案一钢筋制作工艺少,对场地要求低,仅须搭设脚手架即可施工;方案二须就近开挖一定面积的钢筋制作场地,要求较高;方案三削坡时须对边坡中部的施工便道进行开挖,施工便道切断后削坡渣料难于运出,且开挖过程中须对进水口加以保护,措施费用较高,故方案一、二明显优于方案三。

c. 从工程估算总投资考虑:方案一总投资79.15万元;方案二总投资149.71万元,方案三总投资167.55万元,以方案一最经济。

经综合比较,选择方案一(锚索框格梁+整坡+锚喷工程)作为进水口边坡治理方案。

表6 各方案工程量对比

方案一(锚索框格梁+整坡+锚喷)				方案二(抗滑桩+整坡+锚喷)				方案三(削坡+锚喷)			
序号	项 目	单位	数量	序号	项 目	单位	数量	序号	项 目	单位	数量
1	锚索框格梁工程			1	抗滑桩工程			1	削坡工程		
1.1	φ150 钻孔	m	810.9	1.1	土方开挖	m <sup>3</sup>	366.40	1.1	土方开挖	m <sup>3</sup>	12637.1
1.2	锚索	m	765	1.2	石方开挖	m <sup>3</sup>	855.08	1.2	石方开挖	m <sup>3</sup>	12224.8
1.3	M30 水泥砂浆注浆	m <sup>3</sup>	13.5	1.3	C30 混凝土	m <sup>3</sup>	792.0	2	锚喷工程		
1.4	C25 混凝土框格梁	m <sup>3</sup>	137.7	1.4	C25 混凝土	m <sup>3</sup>	429.48	2.1	φ42 钻孔	m	4283.6
1.5	HRB335 钢筋	t	21.1	1.5	HRB335 钢筋	t	92.58	2.2	φ25 锚杆钢筋	t	28.3
1.6	土方开挖	m <sup>3</sup>	86.4	1.6	HRB300 钢筋	t	3.02	2.3	φ25 锚杆制安	m	4041.1
2	锚喷工程			2	锚喷工程			2.4	M30 水泥砂浆注浆	m <sup>3</sup>	20.3
2.1	φ42 钻孔	m	413.4	2.1	φ42 钻孔	m	413.4	2.5	C20 混凝土喷射	m <sup>2</sup>	3671.5
2.2	φ25 锚杆钢筋	t	1.73	2.2	φ25 锚杆钢筋	t	1.73	2.6	φ16 钢筋	t	8.72
2.3	φ25 锚杆制安	m	390.0	2.3	φ25 锚杆制安	m	390.0	2.7	φ6.5 钢筋	t	9.07
2.4	M30 水泥砂浆注浆	m <sup>3</sup>	8.2	2.4	M30 水泥砂浆注浆	m <sup>3</sup>	8.2	3	脚手架工程	m <sup>2</sup>	2613.6
2.5	C20 混凝土喷射	m <sup>2</sup>	157.8	2.5	C20 混凝土喷射	m <sup>2</sup>	157.8	4	施工便道	m	350
2.6	φ16 钢筋	t	0.356	2.6	φ16 钢筋	t	0.356	5	钢筋制作场地整平	m	100
2.7	φ6.5 钢筋	t	0.39	2.7	φ6.5 钢筋	t	0.39				
2.8	土方开挖	m <sup>3</sup>	133.2	2.8	土方开挖	m <sup>3</sup>	133.2				
3	脚手架工程	m <sup>2</sup>	850	3	脚手架工程	m <sup>2</sup>	850				
4	模板工程	m <sup>2</sup>	1334	4	模板工程	m <sup>2</sup>	1334				
5	施工便道	m	200	5	施工便道	m	200				

#### 4.3 治理后边坡安全性评价

输水隧洞进水口边坡按方案一(锚索框格梁+整

坡+锚喷工程)进行治理后,边坡稳定,其安全性评价如表7所列。

表7 输水隧洞进水口边坡治理安全性评价

剖面	饱水状态		饱水+地震状态		工程附加应力/(kN/m)	治理后边坡稳定安全系数
	剩余下滑力/(kN/m)	稳定系数	剩余下滑力/(kN/m)	稳定系数	锚固工程	
5-5'	183.01	0.95	550.59	0.89	750	1.36

## 5 结 语

阿白冲水库输水隧洞是水库唯一的输水设施,隧洞进水口边坡的安全关系到工程安全和水库灌溉及供水效益的充分发挥,经方案比较,选择锚索框格梁结合整坡锚喷的综合治理方案,边坡治理工程于2014年3

月实施完成,至今已安全运行3年多时间,治理后边坡稳定。◆

#### 参考文献

- [1] 石屏县阿白冲水库工程初步设计报告[R].2011.
- [2] 阿白冲水库工程输水隧洞进口边坡勘察报告[R].2011.