

花石崖2#挠曲的稳定性分析与治理

赵雄¹, 朱信波², 赵颖³

(1. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010; 2. 长江三峡勘测研究院有限公司, 湖北 武汉 430074;
3. 四川省能投攀枝花水电开发有限公司, 四川 攀枝花 617068)

摘要:在水平或平缓的岩层中由一般岩层突然变陡而表现出的膝状弯曲或是由于岩层翘曲或其他和缓变形所形成的弯曲均称挠曲。挠曲的形成机制、变形特点和稳定状态与边坡的稳定性有着密切关系, 正确认识挠曲的成因、评价其稳定性、合理制定治理措施对工程建设与安全高效运行具有重大意义与作用。因此, 对挠曲的形成机制及演化规律进行研究不仅在工程地质方面具有重要的理论意义, 同时对类似工程的稳定性分析也具有借鉴及指导意义。

关键词:挠曲; 稳定性分析; 治理; 金沙水电站

中图分类号: TV7; TV22; TV51

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2018)02-0042-03

1 概述

金沙水电站花石崖2#挠曲体从坝址右岸坝肩穿过, 对枢纽建筑物安全影响大。挠曲体边坡有别于一般的岩体边坡, 其在形成过程中受到强烈的地质构造运动作用, 后期河谷下切及卸荷改造作用使挠曲体边坡的地质结构、岩体力学参数、变形机制与变形特点、失稳模式与稳定性评价方法等方面都具有独特的特点与个性化特点。花石崖2#挠曲历史上发生过顺层滑塌, 金沙水电站工程建设期在其下部施工, 改善了其赋存条件, 挠曲前缘坡角将形成陡坡, 局部坡脚将临空; 同时, 施工爆破震动、降雨等因素造成挠曲段岩体卸荷变形加剧, 挠曲段边坡稳定性将进一步降低, 对整个边坡的稳定性将产生不利影响。由于该边坡的稳定性直接关系到金沙水电站明渠边坡开挖的施工安全以及明渠与大坝永久运行安全, 鉴于此, 笔者对花石崖2#挠曲的稳定性进行了研究分析, 并根据分析结果合理制定出具体的治理措施。

2 花石崖2#挠曲的基本特征

2.1 地质环境背景

花石崖2#挠曲分布区所在的金沙水电站工程区属中山峡谷地貌, 河谷呈不对称“V”型。花石崖2#挠曲从坝址右岸山坡高程1 150~1 200 m穿过, 上游尖灭, 下游向冷轧厂南侧山坡上部延伸。挠曲高30~70 m, 深30~55 m, 地表可见长度大于600 m。所在部位基岩为三叠系上统大莽

地组中段地层。挠曲内基岩倾坡外, 倾角为 43° ~ 56° , 与边坡走向交角为 25° ~ 35° 。岩体完整性较好, 表部岩体曾发生顺层滑塌现象(图1)。



图1 花石崖2#挠曲示意图

2.2 花石崖2#挠曲的几何分析与分段

根据挠曲深度、卸荷变形情况及其对边坡稳定的影响等不同, 该挠曲大致可分为上、中、下三段(图1), 其中以挠曲中段边坡稳定条件最差, 位置最为重要, 此次分析主要以挠曲中段为主。

挠曲中段(坝轴线上、下游60 m段)长120 m, 位于坝肩正上方, 所在坡面总体较平整。沿边坡走向看, 中间地形隆起, 上下游地势略低且分布冲沟。挠曲坡面被堆积物覆盖。

据地质测绘和勘探平硐、钻孔揭露, 挠曲高50~72 m, 深度达40~55 m。挠曲内岩层倾向坡外, 倾角为 30° ~ 50° ; 岩体完整性较好, 呈中厚~厚层状结构; 断层不发育, 平硐深11 m处发现1条层间剪切带, 岩屑夹泥型; 裂隙不甚发育; 浅表部岩体卸荷强烈, 平硐揭露强卸荷水平深度达20 m。

收稿日期: 2018-02-10

该段挠曲边坡稳定条件最差,边坡为顺向坡,强卸荷水平深度达 20 m,在其下方牛筋树堆积体清挖、施工爆破、降雨等因素影响下,不仅易产生表部顺层塌滑,而且挠曲内的岩体卸荷变形会进一步加剧,故需进行加强处理。平硐深 20 m 以里未发现倾坡外的层间剪切带、缓倾角断层等不利于边坡稳定的结构面,不具备发生深层顺层塌滑或大规模失稳的地质条件。

3 花石崖 2#挠曲体的成因及稳定性宏观分析

3.1 花石崖 2#挠曲体的成因分析

挠曲的形成方式与其形成环境(受力状态、外界条件)和岩层的变形行为密切相关。该挠曲体内的岩层横断面呈“Z”形弯曲,从内部岩层看,仍保留原层序,岩体完整程度较两侧围岩差别不大,完整性较好,与两侧正常岩层呈过渡关系,未发现大的断层和层间剪切带等构造现象。

从挠曲中岩层的变形行为看,岩石多呈软硬相间,韧性差比较显著;但挠曲内部各岩层层序未改变,各岩层间没有明显、不协调的突变现象,各软硬岩层层厚在各部位基本保持一致,岩层的力学性质并未积极控制褶皱的发育。

从花石崖 2#挠曲形成的地质环境背景看,上三叠系以来,挠曲周边以北西向水平挤压作用为主;挠曲孕育于三叠系上统大乔地组中段的砂岩、灰岩及泥页岩之中,在受到顺层挤压力的作用下发生纵弯褶皱作用,硬岩厚度大于泥页岩高韧性层,且泥页岩厚度较小,纵弯褶皱以弯滑褶皱为主,局部具有弯流褶皱的特征。由于能干性比大,层厚比低,多层岩层在定向水平压力的作用下逐渐向尖棱褶皱~膝折褶皱形态演化,进而形成花石崖 2#挠曲。

3.2 花石崖 2#挠曲体的稳定性宏观分析

花石崖 2#挠曲从右岸较高处通过,岩层倾向坡外,沿线表部岩体曾发生过顺层塌滑,勘察过程中未发现开裂、沉降等变形迹象,边坡现状稳定性较好。

2#挠曲及上、下边坡坡面较规则平整,没有较大的陡崖等分布,平硐 60 m 深度内规模较大、性状差、倾坡外的中缓倾角断层、层间剪切带等不利结构面不发育,岩层层序清楚,岩体完整性较好,挠曲上、下边坡为横向坡,边坡整体稳定性较好,发生深层次顺层滑动或大规模失稳的可能性不大。

因挠曲内岩层倾坡外且为中倾角,表部有强卸荷现象,故其边坡表部稳定性较差,易在下方牛筋树堆积体挖除、降雨等因素影响下产生表层顺层塌滑或变形失稳。

总体来看,挠曲带来的问题实际上是高位顺向坡局部稳定问题,其整体稳定性较好,发生深层次顺层滑动或大规模失稳的可能性不大,但局部稳定问题较突出,主要表现为因前缘有临空、发育缓倾角断层、表部卸荷作用较强烈而引起前缘临空的表部岩层塌滑、表部岩体蠕动变形、不利结构面形成的块体滑动三种破坏模式,对边坡的稳定不利。

4 稳定性计算与分析

4.1 花石崖 2#挠曲体稳定性计算工况与力学模型

自重、地下水、降雨、工程开挖、地震等通常是边坡稳定分析所涉及到的主要荷载。据金沙水电站地下水位观测资料,其右岸地下水位很低,故计算分析时不考虑地下水的影响。攀枝花市每年 6~9 月为雨季,降雨量占全年的 88% 以上。研究模型区域因降雨产生的地表水多由坡面向冲沟汇集后排入金沙江,笔者在综合考虑 2#挠曲边坡区域的地形地质情况和降雨历时及地表蒸发情况后认为,雨水难以入渗到岩体深部区域,降雨作用的影响主要是增加地表第四系松散堆积物及表层裂隙岩石的含水量(容重)。工程区 5 km 范围内地震活动微弱,历史上未发生过 5 级以上的破坏性地震,故本研究仅在验算花石崖 2#挠曲边坡加固后的长效安全性时方考虑地震荷载。

为满足花石崖 2#挠曲边坡安全性评估及工程加固方案优化的需要,本研究计算分析了边坡在开挖前、堆积体和明渠开挖、加固后等四种工况(表 1)。

表 1 计算分析工况及主要荷载表

工 况	主要荷载	偶然荷载
开挖前 (原始自然状态)	自重、降雨	/
坡表堆积体开挖	自重、开挖	/
明渠开挖	自重、开挖	/
工程加固(对未满足 安全标准部位)	自重、降雨、 锚固力	地震 (基本烈度Ⅶ)

根据挠曲的形成机理,挠曲在形成过程中受挤压作用形成两个轴面,其上轴面为边坡的滑移

剪出破坏提供了后缘裂隙面,岩层的层面为底滑面,前缘牛筋树堆积体开挖后形成临空面,从而构成了顺层失稳的边界条件,研究选 1-1 剖面(坝轴线)作为代表性剖面(图 2)。

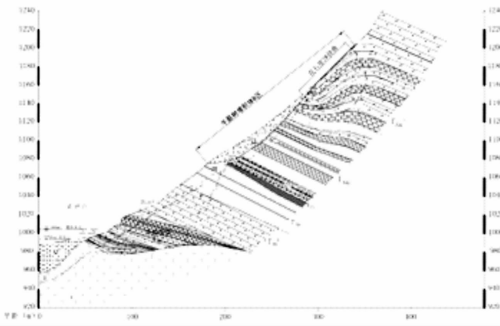


图 2 花石崖 2# 挠曲 1-1 地质剖面图

表 2 岩体力学参数取值表

岩性	风化程度	方向	变形参数 /GPa	泊松比	天然容重 /kN · m ⁻³	抗拉强度 /MPa	<i>f</i>	<i>c</i> /MPa
粉砂岩	强风化	水平	1.5	0.36	25.4	0.9	0.5	0.2
		铅直	1.1	0.38	25.4	0.6	0.4	0.15
	弱风化	水平	5	0.3	26	1.2	0.7	0.75
		铅直	4.5	0.35	26	1	0.6	0.65
		水平	7	0.27	26.8	2.25	0.8	0.9
		铅直	6.5	0.28	26.8	1.8	0.7	0.8
微风化								

位移增量均较小,说明开挖对花石崖 2# 挠曲变形影响不大。

4.4 花石崖 2# 挠曲体稳定性计算分析

根据失稳模式分析得到花石崖 2# 挠曲体边坡可能的破坏模式为前缘临空的表部浅层滑移、深层蠕变变形、不利结构面形成的块体滑动三种破坏模式。本研究主要分析表部浅层滑移和不利结构面形成的块体滑动两种失稳模式,其中表部浅层滑移失稳为整体稳定,不利结构面形成的块体滑动为局部稳定。

(1) 整体稳定性分析。

采用有限元强度折减法及剩余推力法计算得出的花石崖 2# 挠曲体中段坡体整体稳定性分析计算结果见表 3。计算所得的安全系数在开挖后均不能满足规范要求。

表 3 花石崖 2# 挠曲体坡体整体稳定性安全系数统计表

边坡状态	ARAQUS	FLAC	剩余推力法	允许最小安全系数
自然边坡	1.41	1.4	1.33	
堆积体开挖	1.25	1.28	1.23	1.25
明渠开挖	1.2	1.24	1.23	

(2) 局部稳定性分析。

4.2 岩体力学参数取值

花石崖 2# 挠曲中段岩性以粉砂岩为主。岩体力学参数研究采用工程岩体分类法、数值分析与物理试验等多种方法进行比较选择。最终确定计算所采用的岩体力学参数见表 2。

4.3 花石崖 2# 挠曲体的变形特点与变形规律

通过三维非线性有限元计算得知,自重荷载作用下可得花石崖 2# 挠曲边坡总的变形方向沿坡面向下,略微斜向上游,最大变形值发生在牛筋树堆积体区域。

在考虑开挖荷载作用时,覆盖层和明渠开挖后开挖引起的水平向位移朝向坡外,说明工程开挖总体上不利于 2# 挠曲边坡的稳定。但各方向

根据对花石崖 2# 挠曲体中段边坡破坏模式进行分析计算得知:在优势结构面所组成的可能失稳模式中,有五种组合方式可能存在楔形体滑动,依据楔形体滑动计算模型的计算分析,得到五种楔形体组合下的安全系数(表 4)。计算所得的安全系数均满足规范要求。

表 4 楔形体滑动模式下挠曲边坡稳定性计算结果表

楔形体组合	结构面	<i>f</i>	<i>c</i> /MPa	计算高度 /m	安全系数
组合 1	②	0.5	0.15	50	4.12
	③	0.35	0.12		
组合 2	②	0.5	0.15	50	3.22
	⑥	0.4	0.1		
组合 3	③	0.35	0.12	50	6.76
	⑥	0.4	0.1		
组合 4	②	0.5	0.15	50	3.7
	⑤	0.45	0.1		
组合 5	③	0.35	0.12	50	9.7
	⑤	0.45	0.1		

5 加固治理措施研究

依据花石崖 2# 挠曲体边坡稳定计算分析与加固治理效果的计算研究结论、挠曲体的空间分布及其与枢纽建筑物的相互关系,挠曲体中段稳

(下转第 86 页)

该区位于规划区域北部,通过引入鱼凫文化、水文化等,规划建设成为一个集湿地生态保护、旅游观光为一体的水文化展示区,重点设置双活水公园、鱼塘湿地科普展示区、景观跌水溪流、鱼凫文化展示空间、滨水游步道、湿地婚礼、摄影写生、河流景观生态溢流堰,使其成为大众走进湿地、亲近湿地、了解湿地、认识湿地、欣赏湿地和体验湿地的场所,以及湿地文化展示的平台和生态文明宣教的基地。

3.5 金马湖湿地观赏区

金马湖湿地观赏区规划位于景区西侧金马河区域,通过对江河溪流湿地进行适度地科学疏浚,对河滩、岛洲等水禽栖息地进行一定程度的修复,形成滨水绿道、鱼凫桥、立体景观游道、金马河、扬帆标志、景观闸坝、湿地彩叶林、湿地观鸟基地等项目,打造集景观梳理、生态培育、湿地观岛、滨水休闲等水域风光片区。

4 结语

金马湖水利风景区的规划建设是融合湿地景观、滨水休闲、水利风景于一体的生态文明绿色发展产业集聚区,推出了丰富、多元的旅游产品,增加了温江区城市休闲空间;景区的规划建设将实现温江水利工程从单一的防洪功能向生态保护、

(上接第44页)
定性相对稍差且位于坝轴线正上方,位置重要,一旦发生滑塌失稳对工程影响严重,而挠曲体的上、下段稳定性稍好且远离枢纽建筑物。因此,确定2#挠曲体边坡的治理原则为“重点加固中段,适当加固上下段”的分区加固原则。根据该原则并考虑其他因素,最终确定2#挠曲体边坡综合治理措施为:整体浅层支护、中段深层加固、边坡支挡防护、边坡排水等。

根据上述加固原则及治理措施,花石崖2#挠曲最终采取的具体治理措施为:为防止施工过程中花石崖2#挠曲以上边坡零星碎块石崩落,处理前应在其上方布置被动柔性防护网,然后对花石崖2#挠曲范围内的牛筋树堆积体覆盖层进行挖除;对出露的坡面或断层清理干净,采用挂网喷混凝土并布置系统锚杆支护;在2#挠曲体中段边坡整体系统锚杆支护的基础上,增设系统锚索深层加固;坡面设系统排水孔。

6 结语

观光旅游、休闲娱乐、文化体验等多元的社会功能转变,将成为温江人水和谐发展的典范;金马湖水利风景区以人为本,水清为要,以水为介质串联了所有片区,突出了护水、养水、用水等特色,对修复水生态、改善水环境具有十分重要的支撑功能。

参考文献:

- [1] 黄金文,张阳. 水利工程旅游开发存在的问题及对策研究[J]. 水利经济, 2009, 27(4): 51-54.
- [2] 邓伟,陈立河. 万年县水利风景区建设发展规划浅析[J]. 江西水利科技, 2017, 43(2): 149-152.
- [3] 王建文. 永定县龙湖水利风景区总体规划方案探讨[J]. 中国城市林业, 2015, 13(3): 48-51.
- [4] 马云,单鹏飞,等. 水文化传承视域下城市水利风景区规划探索[J]. 规划设计, 2017, 41(2): 104-109.
- [5] 王建文. 基于水生态文明视角的水利风景区建设探讨[J]. 现代园艺, 2016, 32(11): 68-70.
- [6] 朱燕芳,吴宁,等. 基于地域文化的城市河湖型水利风景区规划[J]. 南昌工程学院学报, 2017, 36(2): 16-21.

作者简介:

任化准(1985-),男,四川绵阳人,工程师,硕士,从事水资源、水环境及水生态研究工作;
李军(1974-),男,四川成都人,局长,学士,从事涉水事务管理工作;
白强林(1970-),男,四川苍溪人,副局长,高级工程师,学士,从事涉水事物管理工作;
肖明(1983-),女,四川宜宾人,高级工程师,硕士,从事水环境治理、水生态研究及政府与社会资本合作推进水环境治理建设相关工作。

(责任编辑:李燕辉)

笔者以金沙水电站右岸边坡花石崖2#挠曲体为研究对象,通过稳定性计算及分析,制定并采取了相应的加固治理措施。经验算,加固后的边坡稳定性满足安全要求,边坡由不稳定状态或极限状态转变为稳定状态,说明治理方案有效。

花石崖2#挠曲边坡自2015年12月治理工程施工完成至今,通过观测,边坡未出现不利变形、破坏,保证了下部施工的安全及明渠与大坝永久运行安全。

参考文献:

- [1] 水利水电工程边坡设计规范,SL386-2007[S].
- [2] 工程岩体分级标准,GBT50218-2014[S].

作者简介:

赵雄(1991-),男,山西五寨人,助理工程师,学士,从事水利水电工程设计工作;
朱信波(1986-),男,河北邢台人,工程师,学士,一级建造师,从事地质勘察工作;
赵颖(1986-),女,四川成都人,工程师,学士,从事行政管理工

(责任编辑:李燕辉)