

金沙水电站花石崖危岩体稳定性分析与治理

赵明华¹, 朱信波¹, 赵雄²

(1. 长江三峡勘测研究院有限公司, 湖北 武汉 430074; 2. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

摘要:花石崖危岩体位于金沙水电站坝址上游0.9~1.5 km处的右岸崖顶,规模较大,前缘稳定性较差。该危岩体不断崩塌,崩塌物质大部分运动到其下方江边花石崖崩塌堆积体前缘,对其形成加载,进而影响到堆积体的稳定,造成崩塌堆积体失稳,影响工程建设和运营期间的安全。从危岩体形成机理、分区及破坏模式分析入手,采用刚体极限平衡法和有限单元法对各分区典型剖面进行了稳定性分析后对危岩体提出了防治措施与建议。

关键词:金沙水电站;危岩体;边坡;稳定性分析;刚体极限平衡;有限元

中图分类号:TV7;TV22;TV51

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)02-0045-03

1 概述

花石崖危岩体分布于金沙水电站坝址上游0.9~1.5 km处的右岸崖顶,地形为一条大冲沟,山坡陡峻,沟谷切割较深。基岩为大荞地组含煤地层,岩性以含炭粉砂质泥岩等软质岩为主,与中粗粒岩屑砂岩等硬质岩交互分布,表现为逆向坡。

该危岩体区域构造稳定性评价分区属稳定性较差区,主要遭受外围地区强震和场地附近中强地震的影响,历史上的地震对工程区的最大影响烈度为Ⅵ度;地震基本烈度为Ⅶ度,50 a超越概率10%的基岩水平峰值加速度值为120 cm/s²(0.122 g)。

2 危岩体具有的特征及分区

(1)危岩体具有的基本特征。

该危岩体位于花石崖冲沟顶部近山脊陡崖处,高差近200 m,顺江长230 m;边坡陡峻,局部近直立或崩塌形成负地形;危岩体范围内基岩大多裸露,东侧坡顶有厚3~5 m的残积土。坡顶缓坡发育13条裂缝(图1),呈锯齿状延伸,走向大多与危岩体边坡走向呈大角度相交,其中东侧裂缝多呈小角度斜交。

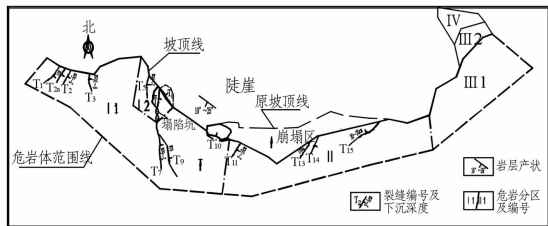


图1 危岩体坡顶裂缝分布与稳定性分区图

危岩体后缘以裂缝为界,前缘以坡下第一层含炭粉砂质泥岩为底界,平面上呈沿坡走向的长条状,东西长约230 m、南北宽15~35 m,面积约4 500 m²,高度为14~34 m,估算总体积约10 × 10⁴ m³。危岩体物质以中粗粒岩屑砂岩为主,局部为残积土和崩塌堆积物。

(2)危岩体分区。

危岩体按规模及稳定性特征分为7个区(包括两个亚区),如图1所示。

I 1、II、III 1区规模较大,方量分别为6.5万 m³、1.6万 m³和0.6万 m³,整体稳定性较好,前缘较差;I 2、III 2、IV区方量分别为0.5万 m³、0.2万 m³和0.2万 m³,稳定性很差;V区方量为0.4万 m³,整体稳定性较好,表部较差。

3 危岩体失稳原因及破坏模式分析

花石崖危岩体岩性以软质岩为主,与硬质岩交互分布;边坡高陡,坡面表部岩体卸荷较强,坡顶陡倾角裂隙发育,多张开。

软质岩易风化崩解,剥落后形成岩腔,致使其上部临空岩体重心向外侧偏移,加上陡倾角裂隙切割,地表水入渗,在重力作用下产生崩塌失稳物并堆积于下部缓坡上;另外,挖煤采空导致坡顶岩体变形,加剧了危岩体的崩塌破坏进程,从而使坡面岩体不断产生崩塌,导致坡面不断后退。

笔者对危岩体分布区的地形、地质构造、变形特征等进行分析得知:花石崖危岩体的主要破坏模式为崩塌(图2)。其崩塌形式可以分为倾倒崩塌和自由坠落两种。另外也存在残积土塌滑。

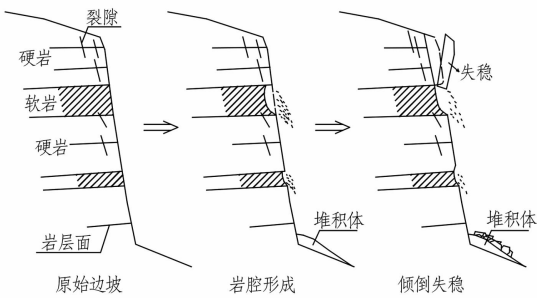


图2 花石崖危岩体主要失稳模式示意图

(1) 倾倒崩塌。

由于坡面陡峻、岩石软硬相间,软弱岩石易风化崩解剥落,随着其下部软弱基座被掏蚀,岩腔不断扩大,上部岩体重心逐渐外倾,最终向坡外发生转动而产生倾倒崩塌,其中尤以 I 区比较典型(图 3)。

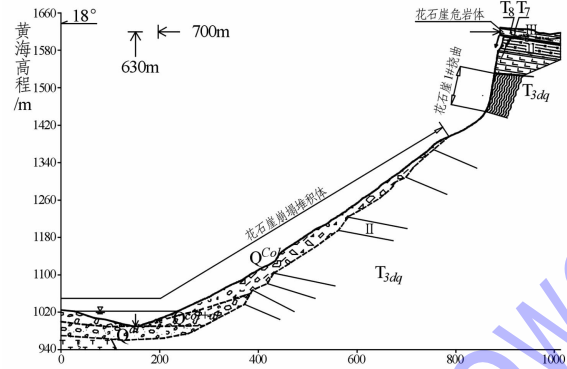


图3 I区地质模型图

(2) 残积土塌滑。

由于边坡较陡,残积土结构较松散,在降雨等因素影响下,其自身稳定性变差,土体产生顺坡向塌滑,花石崖危岩体 II 区即为此类破坏模式(图 4),坡顶有厚 3~5 m 的残积土,加上其边坡较陡,时有小规模土体塌滑发生。

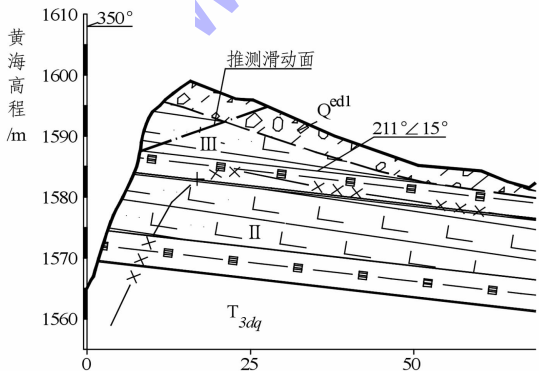


图4 II区地质模型图

(3) 自由坠落崩塌。

由于边坡陡峻,岩体表部卸荷强烈、裂隙发育,受降雨等其它外力因素影响,沿张开裂隙产生自由落体式的崩落。此类破坏方式在整个危岩体边坡都有可能发生,但其规模小,呈零星的块石坠落形式,其中尤以 III 区比较典型(图 5)。由于边坡后缘裂隙宽张,其下坡形呈倒坡,易发生此类破坏。

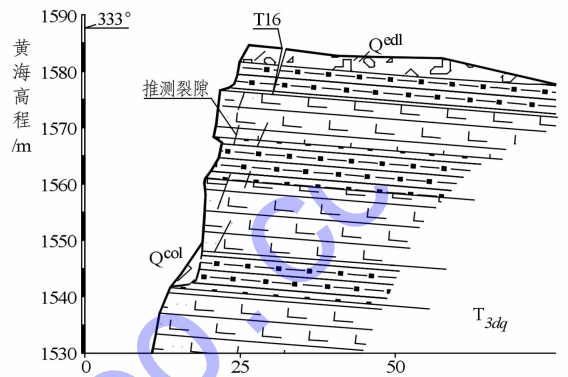


图5 III区地质模型图

4 危岩体稳定性分析

(1) 稳定性宏观分析。

花石崖危岩体总体积约为 10 万 m³,岩层平缓,为逆向坡;裂隙发育,但多延伸不长且以与边坡走向呈大角度相交的 NNW、NE 组陡倾角裂隙为主,缓倾角裂隙不发育,未发现长大结构面的不利组合;坡顶裂缝多与边坡呈大角度相交;底部较软岩风化剥落较缓慢;近 30 a 来未发生较大规模的崩塌,仅以小规模崩塌为主。由此可见,危岩体不具备整体或大规模失稳的地质条件,整体稳定性较好,破坏模式为小规模解体崩塌。

(2) 稳定性计算分析。

① 计算工况及计算剖面。

为对花石崖危岩体进行安全评估,笔者研究计算并分析了危岩体所处的 3 种工况(表 1)。

表1 危岩体边坡计算工况表

工况分类	编号	荷载组合		
		自重	降雨	地震
持久工况	1	✓		
短暂工况	2	✓	✓	
偶然状况	3	✓		✓

计算剖面根据各分区的失稳模式图选定(图 5)。

② 计算选用的力学参数。

计算涉及的岩石材料主要包括:碎石夹土、泥质粉砂岩夹含炭泥质粉砂岩、中粗粒岩屑砂岩等。

依据相关的地勘资料及力学试验成果以及参

数敏感性分析,确定计算所采用的各地层的主要物理力学参数见表2。

③计算结果及稳定性评价。

表2 花石崖危岩体边坡岩(石)体物理力学参数取值表

岩性	风化带	块体密度 /g·cm ⁻³	变形模量 /GPa	泊松比	抗剪断强度	
					f'	c' /MPa
中粗粒岩 屑砂岩	全Ⅳ	2.5	0.7	0.4	0.4	0.2
	强Ⅳ	2.55	2	0.35	0.7	0.6
	弱Ⅲ	2.7	9	0.3	1	1.1
含炭粉砂质 泥岩夹泥质粉砂岩	全Ⅴ	2.4	0.2	0.5	0.3	0.1
	强Ⅳ	2.45	1	0.4	0.4	0.1
	弱Ⅳ	2.55	2	0.32	0.5	0.2

基于刚体极限平衡法和非线性有限元法,考虑到危岩体Ⅰ区、Ⅱ区和Ⅲ区的破坏模式,计算得到的各剖面稳定性统计结果如表3所示。

表3 危岩体边坡典型剖面各工况稳定安全系数统计表

计算剖面	计算方法	工况组合		
		持久状况: 自重	短暂状况: 自重+降雨	偶然状况: 自重+地震
Ⅰ区	有限元折减法	1.2	1.1	1.05
	M-P法	1.23	1.1	1.05
Ⅱ区	有限元折减法	1.5	1.3	1.2
	M-P法	1.79	1.73	1.31
Ⅲ区	有限元折减法	1.8	1.4	1.56
	M-P法	1.53	1.47	1.23
允许最小安全系数值		1.15	1.1	1.05

根据刚体极限平衡法和非线性有限元法的计算结果得知,各区剖面在各工况下的边坡稳定性均满足规范要求;Ⅰ区在短暂工况下的安全系数较低,在地震工况下的安全系数刚刚满足规范要求,安全储备亦很低;由于岩体的劣化及各种不确定性因素,Ⅰ区需要进行加固,以提高其长效安全性。

5 花石崖危岩体对金沙水电站的影响

危岩体崩塌后其将进入下方的冲沟中,沟道两侧的山脊能够很好地约束崩塌块石的运动方向;加之堆积体沟道坡度相对较缓、坡面较长(图3),能对运动的块石起缓冲消能的作用,崩塌体在运动过程中会逐渐崩解、减速,崩塌体直接入江的方量有限,因而造成崩塌堵江或产生巨大涌浪的可能性亦不大,只有少量的块石顺坡翻滚飞溅入江。另外,危岩体距金沙水电站坝址区较远(0.9~1.5 km)且与坝址区之间金沙江河道由SE转为NE向,危岩体失稳崩塌对电站工程的直接影响不大。

但是,花石崖危岩体及其下方冲沟两侧的边坡不断崩塌,崩塌物质顺沟堆积,大部分会运动到堆积体后缘,将对其形成加载而影响到堆积体的稳定性,进而影响到工程建设和运营期间的安全。

6 工程处理措施建议

根据花石崖危岩体的成因、破坏模式、稳定性及其对电站工程的危害性,地质人员认为有必要对其进行治理。

治理措施有两种方案:一是对危岩体边坡采取削坡、喷锚等综合措施进行治理,该方案为较为彻底的治理方案;二是在其下方冲沟内修建落石槽、拦石墙等被动防护措施。无论采取何种方案进行治理,都应加强变形监测,以便在出现不利情况时及时采取有效的对策。

7 结语

(1)研究结果表明:危岩体不具备整体或大规模失稳的地质条件,整体稳定性较好,破坏模式主要为小规模解体崩塌,造成堵江或产生巨大涌浪的可能性不大。但危岩体不断崩塌,且崩塌物质大部分会运动到花石崖崩塌堆积体后缘对其形成加载,进而影响到堆积体的稳定性及工程建设和运营期间的安全,因此,有必要对危岩体进行治理。

(2)根据刚体极限平衡法和非线性有限元法的计算结果,各区剖面在各工况下的边坡稳定性均满足规范要求;但Ⅰ区在短暂工况下的安全系数较低,在地震工况下的安全系数刚刚满足规范要求,安全储备亦很低;由于岩体的劣化及各种不确定性因素,Ⅰ区需要进行加固,以提高其长效安全性。

(下转第63页)

骨料廊道出口新设置了排水沟,将水引入高程 1 065 m 平台主排水沟。

(2)在成品骨料仓廊道出口设置排水措施。

虽然成品骨料仓两侧设置有纵向排水沟,但由于部分骨料自然脱水后通过下料口进入了地弄,汇集后通过廊道出口自然外排,顺高程 1 050 m 平台坡面流淌,进而将影响环水保。因此,监理工程师要求承包人在廊道出口设置一个沉淀池,将废水初步沉淀后接入废水排水主管道后引入废水处理系统进行处理。

对表 1、2、3 相关检测数据进行分析得知:通过采取上述措施,将整个砂石系统的生产废水引入废水处理系统,经过“机械预处理”+“辐流沉淀池”+“机械压滤脱水”的生产工艺,生产废水处理后的回收率达 76.9% 以上,回收水质满足生产再利用要求,达到了零排放目标。

表 1 废水回收率检测结果表

统计时段	砂石骨料产量 /t	生产水量 /m ³	骨料水量单耗 /m ³ ·t ⁻¹	回收总量 /m ³	回收率 /%
20160521 - 0620	70 779.98	73 490	1.04	56 500	76.9

表 2 废水固形物含量检测结果表

取样地点	原液重 /g	烘干后重量 /g	固形物含量 /%
配水井	2 350	98	4.2

表 3 回收水质检测结果表

取样地点	浊度 (NTU)
高位生产水池	11

注:废水处理能力试验采用时间段统计数据,生产废水固形物含量采用烘干法检测,回收水质采用全自动水质浊度检测仪测定。

5 所实施的水土保持措施

5.1 系统场区水土保持设计

(1)在距边坡开口线 3 m 的位置设置截水沟,纵向坡度根据地形设置,对于坡度较陡的位置设置消力坎;在公路开挖侧和场内局部位置设排水沟,纵向坡度根据公路和场地设置。通过设置

截排水沟,减少了雨水对场区的冲刷,避免了场内水土流失。

(2)在高程 1 072 ~ 1 065、1 065 ~ 1 052 以及 1 060 m 平台立轴制砂车间边坡脚设置了 2 m 高的浆砌石挡墙,上部设置框格梁;在框格梁内覆土种植芭蕉树固土护坡,并利用芭蕉树的宽大叶面形成隔音及防尘屏障,从而进一步降低了噪音及扬尘,起到了良好的效果。

(3)针对金沙水电站所处的地理位置和气候特征(全年大部分时间干燥少雨,降雨量集中在 5 ~ 10 月),在场内道路边及各车间外沿裸露区域砌筑花台,种植较耐干旱的三角梅及草种,以起到水土保持作用。

通过实施上述措施,对施工开挖的边坡等进行挡护,保护了场地周围的林草和水土,尽量减少了其对地表的扰动。从系统运行情况看,其对避免或减少因施工造成的水土流失起到了良好的效果。

6 结语

金沙水电站砂石系统作为较大规模的人工砂石生产系统,其所处的地理位置距离攀枝花市区较近,环保水保方面的压力较大,对于环保水保,在技术方面需要通过实际运行不断地摸索与总结分析,进行相应的改进。该系统所采用的环保水保技术取得了较为明显的成效,通过自检及第三方对相关数据的检测(成都综合岩矿测试中心),基本实现了国家相关行业对环保水保的要求,其设计思路及所采取的措施可为今后同类人工砂石系统的建设提供借鉴。

作者简介:

覃定海(1974-),男,四川射洪人,工程师,一级建造师,注册安全工程师,从事水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 47 页)

参考文献:

- [1] 水利发电工程地质勘察规范,GB50287-2006[S].
- [2] 水利水电工程边坡设计规范,SL386-2007[S].
- [3] 张倬元,王士天,等.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,2007.
- [4] 王卫,李天斌,王兰生.溪洛渡水电站拱肩槽高边坡稳定性的三维有限元分析[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,33(5):527-530.

- [5] 黄润秋,许模,陈剑平,等.岩体结构精细描述及其工程应用[M].北京:科学出版社,2004.

作者简介:

赵明华(1971-),男,湖北枝江人,高级工程师,学士,从事地质勘察工作;

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;

赵雄(1991-),男,山西五寨人,助理工程师,学士,从事水利水电建筑工程设计工作。

(责任编辑:李燕辉)