

某水电站开关站边坡稳定性分析

闵勇章, 凡亚, 刘永波

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:通过地表地质调查及自然边坡现状对某水电站开关站边坡稳定性进行宏观判断, 并采用极限平衡法对边坡在天然、地震、暴雨、暴雨+地震等工况下的稳定性进行定量计算, 辅以赤平投影对工程开挖边坡稳定性进行分析, 依据计算与分析成果针对性提出边坡开挖处理建议, 为工程施工及安全管理提供科学依据。

关键词:边坡工程; 地质条件; 稳定性分析; 赤平投影分析

中图分类号: [TM622]; TV733; TD824.7

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2019)05-0120-04

Slope Stability Analysis of Switch Station of a Hydropower Station

MIN Yongzhang, FAN Ya, LIU Yongbo

(Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Based on the surface geological survey and the current situation of natural slope, this paper makes a macro judgment on the slope stability of the switchyard of a hydropower station, and uses the limit equilibrium method to quantitatively calculate the stability of the slope under the conditions of natural, earthquake, rainstorm, rainstorm + earthquake, with the help of stereographic projection to analyze the stability of the excavation slope of the project. According to the calculation and analysis results, the excavation suggestion of the slope is proposed to provide scientific basis for engineering construction and safety management.

Key words: slope construction; geological condition; stability analysis; stereographic projection analysis

0 引言

开关站作为水力发电系统的重要组成部分, 负责接受和分配水力发电机组发出的电能, 经主变压器升高至规定电压后, 实现远距离外送输电, 尤其是大渡河干流上作为全国能源基地、落实“西电东送”战略的重要项目之一的某大型水电站, 其开关站的选址和工程边坡的稳定性研究与评价便显得尤为关键。本文在参阅相关文献的基础上^[1-3], 通过地表地质调查及自然边坡现状对开关站边坡稳定性进行宏观判断, 并采用极限平衡法对多种工况下的边坡稳定性进行定量计算, 辅以赤平投影进行分析, 提出边坡开挖处理建议, 为工程施工安全及永久安全提供设计依据^[4-5]

1 边坡工程的地质条件

1.1 边坡状况

开关站位于左坝肩心墙下游侧 f₂₁ 断层与 f₂₄ 断层之间的略凸起斜坡段(图 1), 天然坡度总

体 45°~50°, 地形略有起伏, 具有一定的台阶状地貌特征, 处于上部陡坡与下部缓坡之间, 上部陡坡平均坡度约 60°, 下部缓坡坡度约 40°。工程边坡为直立开挖, 开挖坡高约 10 m~30 m。

1.2 边坡岩体结构特征

边坡出露基岩岩性主要为澄江—晋宁期中粗粒花岗岩($\gamma_2^{(4)}$), 坡体无区域性断裂通过, 地质构造以次级小断层、节理裂隙为主; 断层发育有 f₂₀、f₂₁、f₂₃₋₁、f₂₃₋₂、f₂₄ 等(表 1), 裂隙主要发育 J₁(N20°~40°E/SE \angle 15°~32°)、J₃(N30°~60°E/NW \angle 45°~55°)、J₄(N60°~65°W/NE \angle 66°~88°)、J₆(N20°W/NE \angle 10°~20°)等; J₁ 组延伸长大, J₃、J₄ 组常以密集带形式出露, 延伸较短, J₆ 组发育程度不均, 局部较高, J₇ 组(N10°E/SE \angle 80°)零星发育。岩体结构总体以镶嵌状结构为主, 局部呈次块状结构。

1.3 边坡岩体变形破坏特征

边坡岩体变形破坏主要受 f₂₁、f₂₄ 断层及同组

收稿日期: 2019-08-12

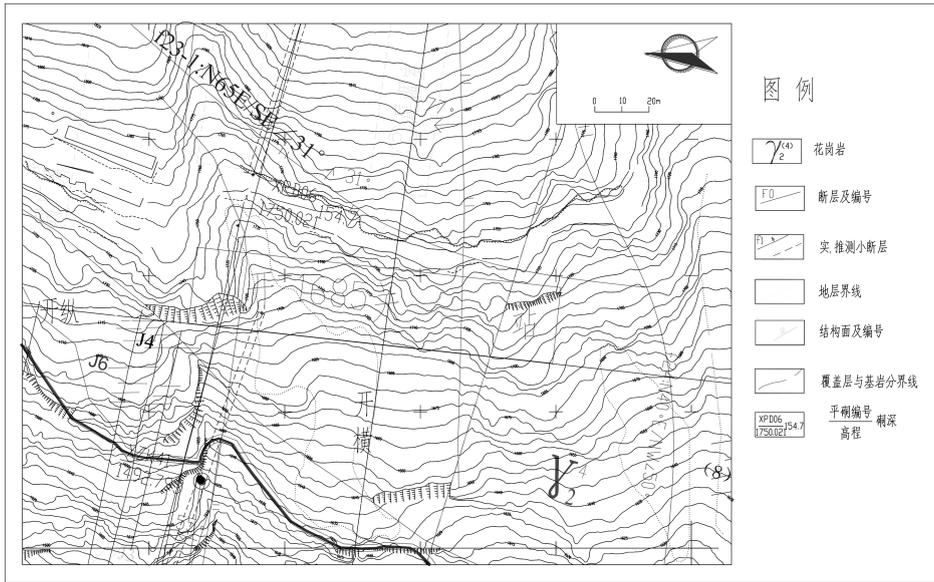


图1 开关站工程地质平面图

表1 次级小断层发育统计表

编号	产状	延伸长度 /m	破碎带宽度 /cm	构造岩特征	级别
f ₂₀	SN/E∠63°	>300	0.01~0.03	碎裂岩、次生泥	IV
f ₂₁	N20°~50°E/NW∠50°~60°	>200	0.01~0.2	碎块、糜棱岩,充填石英脉	IV
f ₂₃₋₁	N10°E/SE∠31°	>100	0.01~0.03	糜棱岩,充填石英脉	IV
f ₂₃₋₂	N85°E/NW∠77°	>100	0.05~0.2	糜棱岩,充填石英脉	IV
f ₂₄	N64°E/NW∠66°	>300	1.5~2.0	片状岩,碎裂岩	IV

结构面控制,多表现为旋转滑移拉裂破坏,其中发育较密集的J₄组构成旋转滑移拉裂的侧向切割面;浅表部岩体主要受J₁、J₆组缓倾角裂隙控制,多产生滑移拉裂,或受结构面切割形成滑移拉裂变形块体,在地表形成规模较小的空腔和危岩体。

高程XPD6#平测(位置见图1)揭示,坡体内存在一定程度变形,深度达100m;变形主要集中在32m~36m、59m~73m、94m~97m处,具有明显的分带特征;坡体在50m深处沿垂向陡倾角裂隙产生倾倒拉裂变形,拉裂缝宽3~4cm。

2 边坡稳定性分析

2.1 宏观判断

根据地表地质调查及坡体变形破坏迹象判

断,自然边坡整体处于基本稳定—稳定状态;但工程边坡岩体受f₂₁、f₂₄断层及同组长大结构面控制,多表现为滑移拉裂破坏,当开挖揭露到该组断层及长大裂隙导致底滑面临空时,边坡失稳破坏风险较大。

2.2 极限平衡法计算

选取开关站横向剖面(图2)进行稳定性计算。

2.2.1 计算方法及参数选取

采用极限平衡法对开关站边坡进行稳定性定量评价,计算采用一般条分法、毕肖普法和简布三种方法;计算工况分天然、地震、暴雨及暴雨+地震四种;各级岩体和结构面物理力学指标建议参数(表2、表3)。

表2 岩体物理力学指标建议值表

类别	天然密度	单轴湿抗压	变形模量	泊松比	抗剪(断)强度		抗剪强度		边坡比
	ρ /g·cm ⁻³	R_w /MPa	E_0 /GPa	μ	f'	c' /MPa	f	c	
II	2.70	80~100	15~20	0.25	1.2~1.3	1.5~1.8	0.90~1.0	0	1:0.3
III	2.65	60~80	8~10	0.30	1.0~1.2	1.0~1.5	0.8~0.9	0	1:0.5
IV	2.60	40~50	1~3	0.35	0.55~0.8	0.3~0.5	0.45~0.65	0	1:0.75
V	2.2~2.5	5~15	≤1	>0.35	0.35	0.05	0.3	0	1:1.25

表 3 结构面力学指标建议值表

结构面类型	结构面抗剪断力学参数		备注
	f'	c' / MPa	
刚性结构面	硬接触	0.5~0.6	0.10~0.15
	岩块岩屑	0.45~0.5	0.10~0.15
软弱结构面	岩屑	0.40~0.45	0.05~0.10
	岩屑夹泥	0.35~0.4	0.05~0.07

2.2.2 计算方案

据前文分析知,开关站横向剖面(后缘边坡)主要受控于 J_3 组中陡倾角顺坡裂隙或与其同组的 f_{24} 断层,稳定性计算主要以该组结构面建模;此外考虑开关站上下部位 J_7 组陡倾角结构面的发育情况,选取 J_7 、 J_3 组合进行稳定性计算(表 4)。

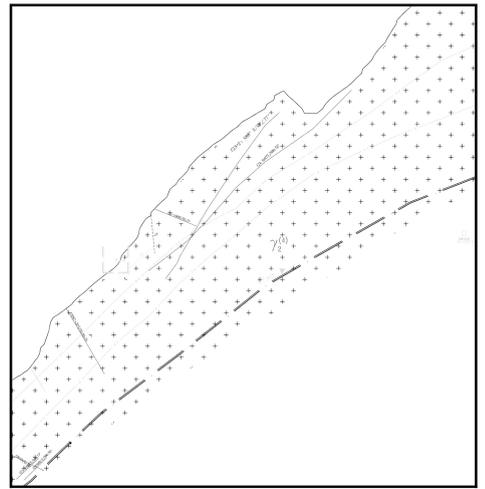


图 2 开关站横向剖面图

表 4 潜在控制面及组合模式一览表

位置	编号	产状	性 状	模式组合
开关站 横剖面	f_{24}	$N64^\circ E / NW \angle 66^\circ$	强卸荷底线 延伸长度 > 300 m, 破碎带宽 1.5~2.0, 充填有片状岩, 碎裂岩	1. f_{24} + 剪断强卸荷岩体(自然, 原始参数) 2. f_{24} + 剪断强卸荷岩体(自然, 综合参数)
	J_7	$N10^\circ E / SE \angle 80^\circ$	较平直, 稍糙; 延伸 30 m~50 m, 间距 10 m~20 m	3. f_{24} + 剪断强卸荷岩体(开挖) 4. $J_7 + J_3$
	J_3	$N30^\circ E / NW \angle 55^\circ$	稍起伏、稍粗糙; 延伸一般数十米, 间距 2 m~5 m	

表 5 边坡稳定性极限平衡分析成果表

计算剖面	模型组合	计算方法	计算参数			工 况				备注
			C /kPa	φ /°	γ /kN·m ⁻³	天然	地震	暴雨	暴雨+地震	
开关站 横向剖面	f_{24} + 剪断 强卸荷岩体 (自然)	一般条分	290	30.1		1.322	1.011	1.252	0.960	断层取 综合参数
		毕肖普	500	35	26	1.293	1.013	1.222	0.958	
		简布				1.286	0.963	1.217	0.913	
	f_{24} + 剪断 强卸荷岩体 (开挖)	一般条分	290	30.1		1.219	0.933	1.153	0.884	
		毕肖普	500	35	26	1.177	0.920	1.11	0.869	
		简布				1.197	0.892	1.131	0.845	
	$J_7 + J_3$	一般条分	150	29	26	0.985	0.773	0.929	0.732	
		毕肖普				1.028	0.832	0.973	0.789	
		简布				1.014	0.756	0.959	0.718	

计算成果(表 5)表明,开关站横向剖面开挖边坡整体(f_{24} + 坡脚剪断强卸荷岩体)在天然或暴雨工况下处于基本稳定状态,在地震或地震 + 暴雨的不利工况下处于不稳定状态; $J_7 + J_3$ 组合模式在地震、暴雨、暴雨 + 地震等工况下稳定性系数均小于 1,表明后侧边坡局部稳定性较差,处于欠稳定状态。

3 工程边坡块体稳定性赤平投影分析

通过赤平投影对开关站后缘及上、下游侧开挖边坡的块体稳定性进行分析。

3.1 后缘边坡

据横向(后缘边坡)赤平投影图(图 3)分析得出: J_3 组与横向(后缘)边坡小角度相交,中倾坡外,边坡岩体易沿该组顺坡裂隙产生滑移拉裂破坏;其中 J_4 组为侧向控制面, J_7 、 J_2 组为后缘拉裂面,倾向坡内的 J_1 、 J_6 组缓倾角结构面则构成块体失稳的顶部割裂面。

3.2 上游侧边坡

据上游侧边坡赤平投影图(图 4)分析得出: J_4 组与上游侧边坡小角度相交,倾角陡立,易产生倾倒变形,在 J_4 组裂密带部位发生倾倒可能性较大;局部发育的 J_2 、 J_7 组可与 J_3 组组合形成楔

形滑移拉裂破坏块体。

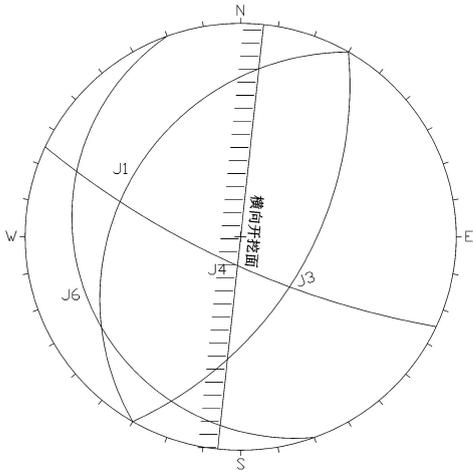


图3 横向边坡赤平投影图

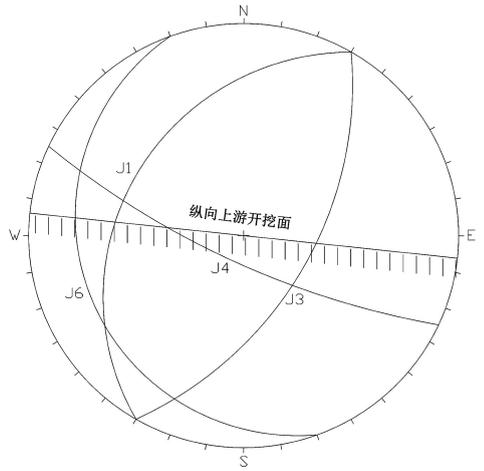


图4 上游侧边坡赤平投影图

3.3 下游侧边坡

据下游侧边坡赤平投影图(图5)分析得出: J_4 组与下游侧开挖面小角度相交,陡倾坡外,而开关站边坡属直立开挖,易沿 J_4 组产生顺坡滑移破坏, J_3 组构成侧向滑移面。

4 结语

开关站工程边坡的整体稳定性主要受 f_{21} 、 f_{24} 断层及同组长大结构面的控制,破坏方式为滑移拉裂破坏;后缘边坡在天然状况下整体处于基本稳定状态,在地震作用下处于欠稳定状态,局部块体失稳的可能性较大;当开挖切露到该组断层及长大裂隙导致底滑面临空时,边坡岩体极易产生失稳破坏。

开关站后缘边坡局部稳定性较差,易沿 J_3 组中陡倾裂隙发生滑移拉裂变形破坏;上游侧边坡受 J_4 组结构面控制,易发生倾倒拉裂破坏,且在 J_2 、 J_7 组裂隙发育部位,可与 J_3 组合形成楔形滑移拉裂型不稳定块体;下游侧边坡主要受控于 J_4 组陡倾顺坡结构面,稳定性差,易发生滑移破坏。

5 处理建议

(1)可通过灌浆改善 f_{24} 断层性状,或采取预应力锚索支护以改变坡体受力条件等措施,强化后缘边坡的整体稳定。(2)在系统锚杆支护基础上,对潜在失稳块体尤其是 J_3 、 J_4 组裂隙密集发育部位采取针对性加强支护措施,强化局部块体稳定。(3)开挖中应辅以必要监测手段,动态掌握坡体稳定状态,为工程施工及安全管理提供科学依据。

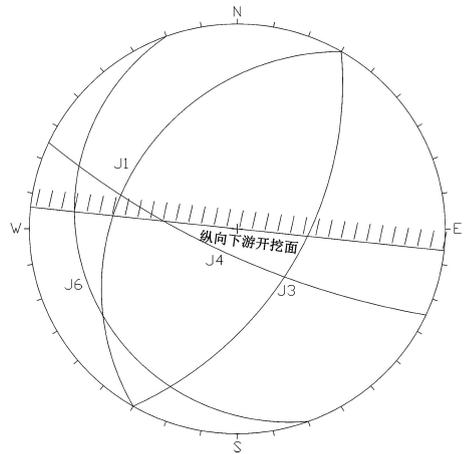


图5 下游侧边坡赤平投影图

参考文献:

- [1] 刘永波,胡金山,唐世明,凡亚.长河坝水电站放空洞进口边坡变形机制研究[J].人民长江,2017,48(s1):134-137.
- [2] 谷江波,闵勇章.黄金坪水电站引水隧洞及泄洪洞进口区边坡岩体变形特征分析[J].水电站设计,2015,31(4):73-76.
- [3] 刘永波,曹建平,胡金山,闵勇章.长河坝水电站进水口边坡破碎岩体发育特征[J].人民长江,2016,47(S2):48-51.
- [4] 中国电力企业联合会.水力发电工程地质勘察规范(GB 50287-2006).北京:中国计划出版社,2008.
- [5] 彭土标,袁建新,王惠明.水力发电工程地质手册[M].北京:中国水利水电出版社,2011.

作者简介:

闵勇章(1982-),男,湖北孝感人,高级工程师,主要从事水电站工程地质勘察设计工作;
 凡亚(1983-),男,湖北荆州人,高级工程师,主要从事工程地质勘察与设计管理工作;
 刘永波(1981-),男,河南许昌人,高级工程师,主要从事水电站工程地质勘察设计工作。

(责任编辑:卓政昌)