

叶巴滩水电站枢纽区自然边坡危险源的基本发育特征

刘 云 鹏， 许 明 轩

(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:自然边坡危险源在自然工况或人类工程活动的影响下,具有失稳下落的可能,直接影响下部工程建筑物施工及运行安全。为消除安全隐患,保障工程的顺利施工和长期运行特别是施工期车辆、设备和人员的安全,对影响工程枢纽区的边坡危险源基本发育特征进行调查和稳定性分析评价显得尤为重要。

关键词:控制条件;发育特征;评价标准;调查成果;防治措施

中图分类号:[TM622];TV61;U416.1+4 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2019)01-0043-05

1 概 述

叶巴滩水电站位于四川省与西藏自治区界河——金沙江上游干流上,处于金沙江上游中部河段,上游水库回水至波罗水电站,下游与拉哇水电站衔接,对整个金沙江上游梯级电站的开发起作承上启下的作用。电站的开发任务以发电为主,同时具有环境保护、旅游等方面的综合效益。

该电站枢纽区的自然边坡高陡,浅表卸荷较为强烈,岩体局部松弛,局部冲沟切割突出小山脊边坡岩体松弛卸荷较为明显,并受结构面切割,局部构成不利组合。枢纽区的自然边坡经历了地质历史时期的长期考验,未曾受到人类工程活动影响,边坡整体稳定。但是,在长期风化、卸荷等物理地质作用下,多处形成危岩体和不稳定块体,时有滚石和崩塌发生,尤其“高悬”于枢纽区建筑物上部坡体的岩体,即使局部较小范围的“危岩体”失稳,形成高位崩塌,也会对施工安全带来重大威胁,运行期还可能给枢纽区建(构)筑物带来重大破坏,甚至严重后果。

2 基本地质条件

叶巴滩水电站坝址区两岸山体雄厚,山势巍峨,自然边坡地形陡峭,山顶高程大于 4 000 m,相对高差大于 1 000 m,属高山地貌。坝址区河谷狭窄,谷坡陡峻,一坡到顶,缓坡平台不发育,为基本对称的深切“V”型峡谷。坝址区 2 740 m 低高程谷宽 70~110 m,2 889 m 高高程谷宽 350~460 m。左岸岸坡坡度 45~55°,局部为陡崖地貌,地形总体较完整,局部浅沟与山脊相间。右岸

坡度 40~45°,较左岸稍缓。尾水出口区边坡坡度 40~45°,自然边坡地形较完整,地表冲沟不发育。

枢纽区覆盖层主要为河床冲积层(alQ4)及两岸坡脚与缓坡地带的崩、坡积层(colQ4、col+dlQ4),局部冲沟沟口分布少量洪积堆积(plQ4)。枢纽区出露基岩地层单一,为华力西期中酸性侵入石英闪长岩($\delta\delta_1^3$)与花岗闪长岩($\gamma\delta_1^3$)组成的简单复式岩株。坝址区出露基岩主要为石英闪长岩($\delta\delta_1^3$),自俄德西沟一带向下游,基岩岩性逐渐过渡为花岗闪长岩($\gamma\delta_1^3$),尾水出口区自然边坡基岩为石英闪长岩。

枢纽区在区域上位于金沙江断裂带分支竹英—山岩断裂与斜插于金沙江断裂带的波罗—沙玛断裂之间,无区域性断裂通过,枢纽区及外围构造线方向总体为 NW 向,基本与区域构造格架吻合,区内褶皱构造不发育。枢纽区构造主要分为断层、挤压破碎带及节理裂隙。

3 枢纽区自然边坡危险源基本特征

3.1 自然边坡危险源控制条件

3.1.1 卸荷风化控制

在地形陡峻或沟道侧壁地带,边坡岩体多强烈卸荷风化,松弛张裂。由于边坡侧向应力削弱后(例如河谷下切),卸荷回弹,坡面产生张裂隙,这种张裂隙多与陡峻的坡面平行,或追踪原生陡裂隙的结构面发育;当河谷进一步深切,卸荷裂隙愈向深部发展,裂隙顶部张开度愈来愈宽。由于卸荷差异回弹,还可能产生与坡面大角度相交或近于垂直的剪切裂隙。随着卸荷裂隙由坡面向坡

内发展,在边坡坡表一定范围内形成了卸荷带或松弛张裂带,加之后期水的影响、温度变化、生物参与等风化作用,坡表局部区域的岩体结构会更加破碎。

3.1.2 不利结构面控制

对于顺向边坡而言,由于存在外倾结构面,边坡岩体在结构面临空或坡脚岩体被剪断的情况下,沿一组结构面整体向下滑移,因此,更多形成顺外倾结构面失稳的平面型滑动。边坡岩体在两组或两组以上结构面组合条件下,当两个滑动面交线方向指向坡外,就会沿两个滑动面交线方向失稳的楔形体滑动。若遇到缓倾角结构面与中陡倾角互相组合,则可能在底部失去支撑块体后,形成逐渐向上发展的临空坠落。

3.1.3 时效变形控制

岩、土体由于时间效应,在一定时间内变形逐渐积累,当达到一定程度以后就会发生量变到质变的转换,最终发生失稳。倾倒和溃屈就是时效变形的结果。在发育有中陡倾坡内或陡倾坡外结构面的边坡前缘临空面,表层岩体易向临空方向倾倒变形并拉裂。而顺倾向层状结构的边坡,岩层倾角与坡角大致相似,边坡下部岩层逐渐向上鼓起,产生层面拉裂和脱开的溃屈。倾倒和溃屈本身属于岩体结构的蠕变作用。

3.1.4 不利工况控制

暴雨、地震、人为扰动等都是引起危险源变形破坏的不利工况。该电站枢纽区自然边坡冲沟内大多分布有崩坡积及残坡积块碎石土,由于冲沟

坡降较大,在暴雨情况下,沟内块碎石土存在随地表径流顺势而下的可能,将对道路及工程边坡产生威胁。修整道路过程中,对坡脚的切坡造成前缘临空、抗滑力下降,在无支挡防护条件下,具有局部垮塌的可能;爆破振动对近平衡状态的危险源岩体威胁最大。地震工况是最不利工况,由于震动荷载的周期性扰动,可造成边坡岩体的进一步损伤并导致危险源被震动松弛从而发生解体破坏,波及广、范围大、影响强烈。

3.2 自然边坡危险源分类及发育特征

3.2.1 按成因及变形破坏类型分类

叶巴滩水电站枢纽区自然边坡危险源按成因及变形破坏类型分为三大类:一类是边坡表层岩体受各种结构面切割后,特别当岩体表浅部位侧向及顺坡向的卸荷拉裂后,在自重应力、孔隙水压力等作用下沿一组或多组结构面产生拉裂(或剪切)破坏,而使被切割的结构体处于极限平衡状态(或近极限平衡状态),一般具有岩体架空、松动现象,并呈块裂一碎裂结构,按主要发育特征定义为“危岩体”、“危石”或“危石群”;另一类为坡面上零星分布、具有一定体积的(一般大于 1 m³)、孤立的岩石块体。若以单体形式呈现的则称为孤石;若以群体形式呈现、块石之间相互重叠、集中连片分布的则称为孤石群;还有一类为自然边坡冲沟内的块碎石土,在暴雨情况下,有可能顺势而下,该工程中定义为“沟谷堆积块碎石”。上述地表危险源具体分类见表 1。

表 1 自然边坡危险源类型分类表

危险源类型	特 征	备 注
危岩体(WY)	由于结构面不利组合和切割,在重力或其它外力作用下易脱离母体或离开原位,突然从陡坡以坠落、滑落、弹跳、滚动等方式顺坡向下剧烈快速运动的岩块,其规模一般 200 m ³ 以上。	(1)不利组合完备的块体,确定性块体。 (2)不利组合较完备的块体,半确定性块体。 (3)不利组合不完备的块体,不确定性块体。
危石(WS)/ 危石群(WSQ)	同危岩体,规模一般 200 m ³ 以内。	
孤石(GS)/ 孤石群(GSQ)	已遭受崩塌作用,暂时稳定在斜坡上,完全脱离母体的块体	零星分布在斜坡稍缓地带,覆盖层堆积体前缘及中部分布较多。
沟谷堆积块 碎石(GK)	在暴雨情况下,沟内块碎石土伴随地表径流顺势而下,将对道路及工程边坡产生掩埋及冲击破坏。	主要分布自然边坡冲沟内

3.2.2 按规模分类

现场调查表明,枢纽区自然边坡危险源规模一般不大,根据本工程的实际情况,危险源规模分级标准见表 2。

3.3 自然边坡危险源稳定性评价标准

表 2 危险源规模分级标准

规模等级	大型	中型	小型
体积 V(m ³)	V≥2 000	2 000>V≥200	V<200

危险源是一个多因素相互作用、协调发展的复杂系统。处于极限平衡状态(或近极限平衡状态)的危险源,重力是其控制因素,降雨、振动(地震或爆破等)是危险源失稳的诱发因素。根据叶巴滩水电站枢纽区危险源发育的工程地质条件、

可能失稳模式,评价工作中以宏观定性为主。

评价因素对于基岩危险源(本工程中主要为危岩体)主要包括地形坡度及植被发育特征、结构面特征和危险源类型等三方面,叶巴滩水电站基岩危险源定性评判标准见表 3。

表 3 自然边坡基岩危险源稳定性评价标准

稳定性判断	地形坡度	结构面特征	控制性结构面或组合交线倾角	危险源类型
稳定性极差	地形陡,坡度大于 40°	结构面卸荷普遍张开,部分充填岩屑及次生泥,结构面不利组合完备或较完备	大于 40°	多为确定性危岩体及危岩体群、危岩体,部分为半确定性危岩体,或为覆盖层上孤石及孤石群
稳定性差	地形坡度 35°~40°	结构面张开,无充填或部分充填,结构面不利组合完备或较完备	35°~40°	多为半确定性危岩体及危岩体群、危岩体,部分为确定性,或为覆盖层上孤石及孤石群
稳定性较差	地形坡度 30°~35°	结构面多闭合无充填,结构面不利组合多不完备	30°~35°	多为不确定性危岩体及危岩体群、危岩体,部分为确定性、半确定性,或为覆盖层上孤石及孤石群

注:可根据植被发育情况,对危险源稳定性程度进行适当调整

对于覆盖层危险源(本工程主要为沟谷块碎石)评价因素主要为冲沟坡比降、汇水面积、流域

特征及堆积物特征等四个方面,叶巴滩水电站沟谷块碎石危险源定性评判标准见表 4。

表 4 自然边坡覆盖层危险源稳定性评价标准

稳定性判断	冲沟坡度	汇水面积	流域特征	沟口堆积物特征
稳定性极差	地形陡,坡度大于 39°	汇水面积大,暴雨时地表径流易汇集	流域植被覆盖较少,沟内覆盖层堆积较丰富,结构较松散	沟口覆盖层堆积中块碎石含量较多,结构松散
稳定性差	地形坡度 34°~39°	汇水面积中等,暴雨时地表径流较易汇集	流域植被覆盖一般;沟内覆盖层堆积少,结构较松散或覆盖层堆积丰富,但结构密实	沟口覆盖层堆积中块碎石含量较多,结构密实或者块碎石含量较少但结构松散
稳定性较差	地形坡度 30°~34°	汇水面积小,暴雨时地表径流不易汇集	流域植被覆盖较多,沟内覆盖层堆积较少,结构较密实	沟口覆盖层堆积中块碎石含量较少,结构密实

注:可根据冲沟威胁对象情况,对危险源稳定性程度进行适当调整

稳定性评价分为稳定性极差、稳定性差、稳定性较差三类,由于叶巴滩水电站枢纽区自然边坡高陡,凡是危险源都或多或少存在安全隐患。对危岩体除采用上述定性标准外,还采用赤平投影法判定危岩体的的稳定程度。

3.4 前期主要调查成果

枢纽区自然边坡发育危险源的主要有左右岸缆机平台自然边坡、右岸电站进水口及开关站自然边坡、左岸和右岸坝肩自然边坡、右岸尾水洞出口自然边坡。

经现场地质调查,枢纽区范围内自然边坡共发育 93 处危险源,其中左岸 23 处、右岸 70 处。首次根据危险源类型统计出危岩体(WY)57 处,危石(WS)10 处,危石群(WSQ)11 处,孤石(GS)1 处,沟谷堆积块碎石(GK)3 处。后采用无人机技术对枢纽区危险源进行复核,又增加危险源 11 处,左岸新增 3 处,其中有 1 处危石群,2 处沟谷

堆积块碎石区;右岸新增的 8 处,其中有 5 处危石群,3 处沟谷堆积块碎石区。枢纽区危险源类型以危岩体(WY)为主,其占比达 60.2%;根据野外稳定性初步评价,93 处危险源中,25 处稳定性极差,47 处稳定性差,21 处稳定性较差;据枢纽区危险源规模、方量的统计与归纳结果,选取 200、2 000 作为规模分级的界限值,大、中、小型危险源数量比例约为 1.9 : 3.3 : 1.0,发育大型危险源 28 处,其中左岸 13 处、右岸 15 处;中型危险源 50 处,其中左岸 6 处、右岸 44 处;小型危险源共计 15 处。

经综合分析判断,枢纽区分布 30 处危险性大(Ⅰ级)危险源,其中左岸 11 处、右岸 19 处;55 处危险性中等(Ⅱ级)危险源,其中左岸 12 处、右岸 43 处;8 处危险性小(Ⅲ级)危险源,均发育于右岸。

枢纽区自然边坡大部分基岩裸露,植被发育

较差,岩体卸荷强烈,部分山脊表部形成危岩体或危石群,危险源分布较广,其中 79 处危险源对枢纽区内主要建筑物有直接影响,另外 14 处危险源由于其发育部位与自然边坡距离较远或不位于重要建筑物自然边坡范围内,仅对道路交通、施工期安全等存在一定影响。

需要强调的是,不能仅从危险源数量上说明右岸比左岸发育,因为岸坡度相对于左岸要缓,植被相对发育,因此危险源较为分散,而左岸 3000m 高程以上,地形陡峻,基岩裸露,造成连片发育的特征,这与枢纽区左、右岸基本地质条件包括两岸岩性、风化卸荷及构造断裂发育程度及规律基本一致。

4 自然边坡危险源防治措施建议

叶巴滩水电站枢纽区自然边坡危险源主要可分为岩质危险源和土质危险源两大类,具体可细分为危岩体、沟谷堆积块碎石等,危害对象涉及到左右岸坝肩及缆机平台、开关站、电站进水口及尾水洞出口、导流洞进出口等。自然边坡的治理不同于工程边坡,多数危险源分布于高位,施工交通道路极为不便,而且危险源的类型、破坏方式不同,另外所影响水工建筑物的类型也有所差异;对枢纽区自然边坡各个危险源均进行较为系统的工程处理措施,治理难度和代价极大,因此,对自然边坡危险源的防治措施和防治强度应有所区分。

(1)根据受威胁对象的不同,危险源防治程度应做到“分区对待”的原则:

永久性建筑,防治措施要保证在整个水电站施工和正常运营期间危险源均不会对其相应的水工建筑产生重大危害,不能影响水电站正常运营,所以对于危险源除巡检、指示牌预警外,尚需要采取一定的工程措施防护,其防治强度相对临时建筑物要高。

临时边坡,需保证在水电站建设期间,不会由于危险源的失稳破坏影响工程的进展、人员和设备的安全;但对于治理难度较大、研究深度尚不深入的临时边坡而言,进行大强度的工程防护无论是从经费上还是集中力量建设大坝这一战略上均不现实。因此,在保证建设期间人员、设备安全的前提下,可适当降低治理强度,但要加强巡检、预警、调度控制方面的投入。

(2)对于同样的受威胁对象,例如都是永久性

建筑,应根据危险源的危害程度采用不同的治理手段。在对危险源的治理过程中,建议先治理危险性等级大、受危害对象等级较高的危险源,因为此类危险源的危险程度相对较高,治理需求也相对较迫切,如右岸导流洞进口、右岸电站进水口及开关站、左岸导流洞进口等;应采用主动治理和被动防护相结合的方式消除化解危险源或提高危险源的稳定性,从而降低危险源的危害程度。

(3)当危险源危害程度大体相近时,应根据危险源稳定性大小采用不同的治理手段。首先对稳定性极差或差的危险源进行治理。因为这些危险源天然状态下已经处于不稳定状态,当受到降雨作用、人工开挖爆破等扰动作用时,极易诱发崩滑、坠落,对施工期的建设造成巨大影响,需要及时并提前根据危险源具体特点,采用清除、支撑、灌浆、锚固或必要的排、挡、导等处理措施进行治理。

(4)由于地质条件和危险源的复杂性,不可能对研究区所有危险源进行主动治理,也可能由于漏调或主动加固技术施工难度大而没有进行主动加固治理,因此,被动防护就显得尤为重要,尤其需在建筑物开口线附近外侧,设被动防护网,以保障施工安全;同时,在开口线处应加强锁口,对天然边坡地表植被应尽量保护。在危险源未得到治理加固的情况下,施工时要加强排查及巡检,以便发现问题及时上报。

值得注意的是,降雨是工程建设期间最常遇也是最有可能导致潜在危险源失稳的工况,因此危险源的治理应做好地表及危险源内部排水措施。根据危险源类型、危险性等级及危害程度,结合叶巴滩水电站坝址区地质特点,对危险源提出处理措施的地质建议见表 5。

5 结 语

(1)叶巴滩水电站枢纽区的自然边坡高陡,局部地形完整性差,岩体松弛,尤其是三面临空或地形相对突出的山脊部位和高高程的边坡岩体,临空条件较好,浅表卸荷强烈,易形成风化、卸荷拉裂危岩体,其破坏形式主要表现为崩塌、滑动,个别部位岩体见倾倒破坏现象。

(2)考虑对枢纽建筑物施工及运营期的安全影响程度不同以及施工处理的难易程度,将一级谷肩至分水岭一带的自然边坡作调查对象,勘察

评价范围重点为对工程有直接影响的自然边坡。一般是对主要的、较集中的、危害较大的危险源进

表 5 自然边坡危险源防治措施建议

危险源类型		稳定性评价	建议处理措施	备 注
危石及危石群	确定性危石	稳定性极差或差	清除为主,个别支撑或锚固	
	半确定性危石	稳定性差或较差	锚固,成片时可主动网防护	
危岩体		稳定性极差	清除或锚固、表面排水	
		稳定性差或较差	锚固或表面排水	1、对危险源处理建议为原则性建议,可根据具体情况作针对性调整
孤石(群)		稳定性极差	清除或锚固	2、边坡开口线上部可采取被动网拦护
		稳定性差或较差	被动网防护、成片时可用主动网防护	
沟谷堆积块碎石		稳定性极差	清挖或在冲沟内布置必要的排、挡、导处理措施,定时人工清理	
		稳定性差或较差	定时清理为主,如危害性分级大时,可采取必要的导、排措施	

行了勘察及评价,一些小型的、分布零星的危险源需要在后期调查过程中逐渐排查。

(3)在对危险源的治理过程中,首先应治理稳定性极差或危害程度大的危险源,因为此类危险源危险程度相对较高,治理需求也相对较迫切,如右岸导流洞进口、右岸电站进水口及开关站、左岸导流洞进口;其次对稳定性差、危害性中等的危险源进行治理。在危险源未得到治理加固的情况下,施工时要加强排查及巡检,以便发现问题及时上报。同时,在建筑物开口线附近外侧,设被动防护网,以保障施工安全;在开口线处应加强锁口;对天然边坡地表植被应尽量保护。注重过程控制,特别是施工过程中应配备危险源安全监测和管理人员,加强施工及运行期边坡巡视和监测。

(4)受勘察条件及各种因素所限,除本报告所列危险源外,枢纽工程区内仍可能存在一定数量、且具有一定规模的危险源未予以发现、调查,需要在施工期枢纽工程区各工程边坡场内交通、道路等勘察条件具备时,对各工程部位自然边坡进一

=====

(上接第 42 页)

参考文献:

[1] 王仁超,石英,李名川,郭旺. 混凝土高拱坝浇筑施工仿真[J]. 天津大学学报,2005(7):625—629.

[2] 郑家祥,何友忠,陈万涛. 溪洛渡水电站大坝混凝土施工与计算机仿真分析研究[J]. 中国三峡建设,2008(3):31—37.

[3] 王仁超,石英,李名川. 小湾大坝混凝土浇筑施工仿真研究[J]. 四川大学学报,2004(7):10—14.

[4] 钟铮. 小湾水电站坝体混凝土浇筑仿真程序的应用[J]. 云南水力发电,2001(3):87—91.

作者简介:

李 鹏(1990-),男,四川内江人,硕士,工程师,现供职于中国电

步复核、排查,为下一步自然边坡治理设计工作提供可靠、详实的地质资料与依据。

参考文献:

[1] 李华,李崇标,李辉,等.金沙江上游叶巴滩水电站可行性研究报告(工程地质)[R].成都:中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,2016.

[2] 刘云鹏,王皓,李华等. 叶巴滩水电站枢纽区自然边坡危险源调查及稳定性研究专题报告[R].成都:中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,2015.

[3] 刘云鹏.叶巴滩水电站枢纽区自然边坡危险源调查复核专题报告[R].成都:中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,2017.

[4] 中国电力企业联合会.GB 50287—2006,水力发电工程地质勘察规范[S].北京:中国计划出版社,2008.

作者简介:

刘云鹏(1982-),男,内蒙古通辽人,博士,高级工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,从事水电工程勘察设计工作;

许明轩(1970-),男,贵州安顺人,高级工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,从事水电勘察设计工作.

(责任编辑:卓政昌)

=====

建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织;

杜长劼(1991-),男,甘肃陇南人,硕士,助理工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织;

李心睿(1991-),男,四川绵阳人,硕士,助理工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织;

蒋林魁(1975-),男,湖南宁乡人,学士,教高,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程施工组织.

(责任编辑:卓政昌)