

毛尔盖水电站渔巴渡变形体加固技术研究

程能文, 张强

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川成都 611730)

摘要:高边坡的治理一直是工程界和学术界讨论的热点问题之一,其失稳对周围建筑物均可能产生极大的破坏与影响。结合毛尔盖水电站实际工程,对渔巴渡变形体失稳可能出现的风险进行了分析,根据变形体目前存在的问题,通过地质情况以及加固所需锚固力的计算,形成了针对性的加固技术,实现了对渔巴渡变形体的有效加固,使边坡变形得到有效控制,对类似变形体制定加固措施时具有借鉴意义。

关键词:水电站;变形体;边坡失稳;加固技术

中图分类号:[TM622];U457+.3;U213.1+58 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-2184(2023)03-0125-04

Study on Reinforcement Technology of Yubadu Deformable Body of Maoergai Hydropower Station

CHENG Nengwen, ZHANG Qiang

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611730)

Abstract: The treatment of high slopes has always been one of the hot topics discussed in the engineering and academic fields. Their instability may cause great damage and impact on surrounding buildings and structures. Based on Maoergai Hydropower Project, the potential risks of instability of the Yubadu deformable body were analyzed. Based on the current problems of the deformable body, targeted reinforcement techniques were carried out through the analysis of geological conditions and the calculation of required anchoring force for reinforcement. This effective reinforcement for the Yubadu deformable body was achieved, and the slope deformation was well-controlled. It could provide reference for the reinforcement measures of similar deformation bodies.

Key words: hydropower station; deformable body; slope instability; reinforcement technology

1 概述

作为黑水河干流水电规划“二库五级”开发方案的第三个梯级电站——毛尔盖水电站,有效改善了阿坝高原生态环境,提高了地方经济发展水平。该电站以生产电力为主,并兼顾为成都和都江堰两大灌区提供水源。毛尔盖水电站为混合式开发,具有年调节能力。电站正常蓄水位 2 133 m,死水位 2 063 m,正常蓄水位以下库容 5.35 亿 m^3 ,调节库容 4.43 亿 m^3 ,装机规模 42 万 kW,为二等大(2)型工程。

拦河大坝、泄水、引水发电等主要永久建筑物位于工程枢纽区,拦河大坝采用砾石土心墙堆石坝,与引水发电建筑物及岸边开敞式溢洪道、泄洪放空洞一起设于黑水河左岸。

2 渔巴渡变形体

库首右岸渔巴渡变形体距坝址约 500 m,位于渔巴渡沟上游山脊,是典型的近坝库岸边坡。该变形体地处三面临空的单薄山脊,高程分布在 2 000~2280 m,水平深度约 40~60 m,总方量为 380 万 m^3 ,S302 茂黑公路从近坡脚位置穿过。

变形体平均坡度为 $40^\circ\sim 45^\circ$,冲沟侧地形较陡。岩体风化卸荷强烈,坡体中上部节理普遍张开,岩层反倾山里,2 045 m 高程以下的坡体局部岩层产状正常,为 $N40^\circ\sim 50^\circ W/NE\angle 65^\circ\sim 75^\circ$,河床偏下游的地层陡倾,属斜顺向坡,岩层倾角大于坡角,岩性主要为砂质千枚岩,仅含有少量薄层炭质千枚岩。

渔巴渡变形体紧邻坝前右岸,规模较大,稳定性差,其失稳对水电站尤其是坝体将有重要的安

全隐患,对 S302 茂黑公路也构成重要威胁。

鉴于此,2007年8月对2155 m高程以上进行了紧急卸载挖除处理。开挖高程2155~2307 m,开挖总量约113万 m^3 ,2008年10月其后的支护工作完成。经过卸载开挖、分设7级马道后形成了高差约150 m边坡,坡面采用喷锚支护措施,处理后效果见图1。

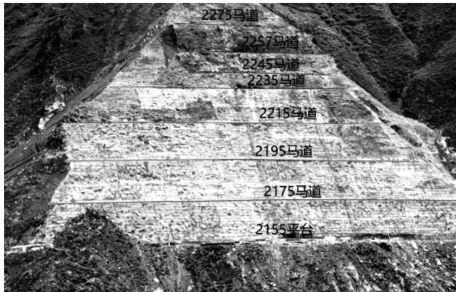


图1 处理后效果图

按以上方式处理后,整个边坡变形相对稳定,但2010年5月以来,工程区地表及卸载边坡喷层新出现了裂缝、错台、脱空、鼓包并产生局部塌滑破坏(图2)。卸载边坡上游段喷层也出现了水平裂缝,一般延伸约5 m。

随后加强了边坡监测,通过监测发现,2010年9月开口线以外山脊地表覆盖层相继出现了弧形拉裂缝,张开15~20 cm,延伸长约30 m,最大错台约10~15 cm。蓄水后开口线以外已有裂缝不断加宽加长。2011年5月,开挖平台2155 m省道改线 S305 公路路面出现横向、斜向拉裂缝,2011年6月,公路内侧新发现斜向拉裂缝,边坡局部出现小规模垮塌,边坡在蓄水后出现了明显的变形加速迹象^[1]。

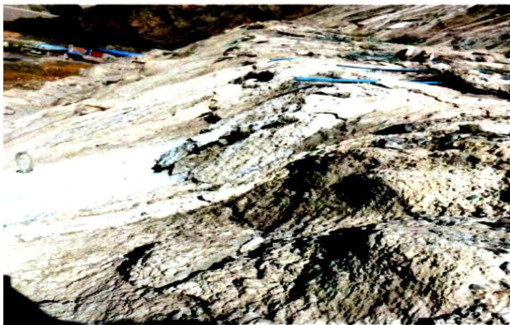


图2 边坡裂缝、错台、脱空、鼓包并产生局部塌滑破坏现象

3 边坡失稳的风险

由于渔巴渡变形体自身稳定性差,2011年6

月前已经出现裂缝并有失稳的迹象,后期在水电站发电不断蓄水作用以及暴雨等因素的影响下,渔巴渡变形边坡可能会发生局部失稳或整体失稳^[2],变形体紧邻水电站工程枢纽区,边坡一旦失稳,可能存在以下风险:

(1)边坡失稳将会对高程2155 m平台上的 S302 茂(县)一黑(水)改线公路造成安全性影响,如果变形体边坡失稳方式是前缘牵引式逐渐塌滑,通过一定的应急处理措施和交通疏导,可以保证公路交通不中断;如果变形体边坡失稳方式是整体下滑,公路断道后只能采取绕行其他线路。

(2)库区随时可能遇到较大洪水,受水电站泄流能力限制,在遭遇大洪水时,水库水位势必抬升,因此,需进行坝体失稳情况下的浪涌分析,以推算出危险水位值。

根据潘家铮法^[3]进行浪涌计算分析,渔巴渡变形体在不同水库水位、不同滑动模式下在坝址处产生的涌浪高度计算成果见表1。

从表1可以得出结论:

①当水库水位位于正常蓄水位2133 m时,渔巴渡变形体边坡失稳在坝址处产生的涌浪高度超过坝顶高程;

②整体第二种滑动模式产生的涌浪高度对大坝的影响最大;

③涌浪分析表明,当水库水位超过2093 m时,渔巴渡变形体边坡失稳下滑产生的涌浪对大坝影响较大。

通过以上风险性分析,可见渔巴渡边坡一旦发生失稳将同时对 S302 公路及水电站大坝造成不可逆转的影响,因此,探寻适用且可靠的边坡加固技术迫在眉睫。

4 变形体加固技术

根据前期对渔巴渡变形体边坡稳定分析及处理效果来看,仅通过锚固措施对变形体边坡整体稳定性的提高非常有限。现阶段边坡仍存在重大的安全隐患,急需对高程2155 m平台以上开挖边坡上进行及时的加固。

根据地质钻孔揭示的地质情况,边坡坡体下部为较完整的厚层砂岩地层,其岩体结构完整、工程特性较好可作为锚索的锚固段,通过查阅资料借鉴类似工程处理案例的经验,并对比研究和分析,拟采用“卸载+预应力锚索+框格梁+截排

表 1 涌浪高度计算成果表

滑动模式	水库水位 /m	滑动速度 /m·s ⁻¹	初始浪高 /m	坝址浪高 m	浪顶高程 /m	坝顶高程 /m	是否漫坝
整体滑动 第一种模式	2 063	30.3	36.8	32.8	2 095.8	2 138	否
	2 093		34.1	27.5	2 120.5	2 138	否
	2 133		28.0	18.8	2 151.8	2 138	是
整体滑动 第二种模式	2 063	33.4	62.9	46.2	2 109.2	2 138	否
	2 093		53.9	35.8	2 128.8	2 138	否
	2 133		46.5	24.3	2 157.3	2 138	是
整体滑动 第三种模式	2 063	23.7(上) 21.3(下)	18.7(上) 35.1(下)	22.4	2 085.4	2 138	否
	2 093		15.7(上) 29.6(下)	17.4	2 110.4	2 138	否
	2 133		12.7(上) 25.7(下)	11.2	2 144.2	2 138	是

注:整体滑动第一种模式:整体边坡(2 155 m 高程平台以上开挖边坡、2 155 m 高程平台以下变形体)失稳下滑至水库;整体滑动第二种模式:高程 2 155 m 平台以上开挖边坡首先滑动,堆积在 2 155 m 平台上,再随高程 2 155 m 平台以下变形体全部失稳下滑至水库;整体滑动第三种模式:高程 2 155 m 平台以下变形体失稳下滑至水库,高程 2 155 m 平台以上开挖边坡随即也失稳下滑至水库,整体滑动第三种模式实际是两次滑动,在坝址处的涌浪高度为两次涌浪高度的叠加。

水”的综合措施对边坡进行加固。具体处理措施如下:

(1)处理范围:变形体中部横Ⅲ—Ⅲ剖面(下游开口线附近 1 个监测剖面)以上至上游侧边界、高程 2 155 m、2 155~2 175 m、2 195~2 215 m、2 235~2 255 m 以及 2 275 m 以上开挖边坡。

(2)边坡锚固:设计锚固力要通过计算,并根据设计荷载在锚索结构物上的分配来确定。预应力锚索用于滑坡加固时,锚索力计算示意图 3,一般通过边坡稳定性分析、并采用求锚索附加力(抗滑力)的方法来确定锚固力^[4-5],计算公式如下:

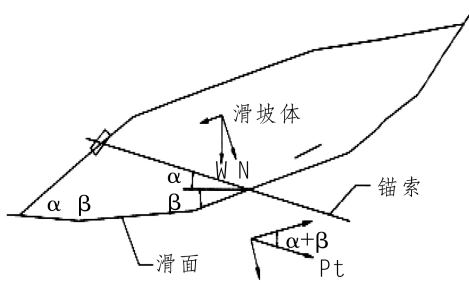


图 3 锚索力学计算示意图

$$P_t = \frac{F}{\sin(\alpha \pm \beta) \tan \Phi + \cos(\alpha \pm \beta)}$$

式中 F 为滑坡下滑力,可采用极限平衡法或传递系数法计算,稳定系数采用 1.05~1.25; P_t 为设计锚固力,kN; Φ 为滑动面内摩擦角, $^\circ$; α 为锚索与滑动面相交处滑动面倾角, $^\circ$; β 为锚索与水平面的夹角(锚固角), $^\circ$,以下倾为宜,不宜大于

45 $^\circ$ 。公式中锚索下倾时取“+”,上仰时取“-”。

根据公式(1)进行锚固力的计算,最终设计锚索吨位 $P_t=1\ 500$ kN,锚索间排距 5 m,长度 50~65 m,锚索之间采用截面尺寸 50×50 cm 的混凝土框格梁进行连接,锚索加固处理剖面布置见图 4。

基础加固:设计灌浆孔深 3 m,孔距 2 m,对混凝土框格梁及锚墩基础进行固结灌浆处理。

(4)截排水:坡面排水孔全面检查在坡面锚索框格梁施工完成后进行,对于被封堵的排水孔进行重新打孔,并对损坏的坡面排水沟、开口线以外截水沟进行修复,并在边坡后缘拉裂缝以外 1~2 m 的位置布置一条截面为 60 cm×60 cm 的 M7.5 浆砌石截水沟。

(5)在锚索框格梁施工期间以及水库运行期间,应加强渔巴渡变形体(包括 2 155 m 高程以上开挖边坡、2 155 m 高程以下变形体)的监测。

5 加固处理的效果

渔巴渡变形边坡“卸载+预应力锚索+框格梁+截排水”综合加固方案于 2011 年 11 月开始实施,于 2012 年 4 月底施工完成。根据边坡高程 2 155 m 平台以上开挖边坡实施锚索框格梁支护后应力应变分析成果,以及工程区岩性、岩体结构和风化卸荷情况,结合 2012 年监测资料分析,锚索可把作用力有效传递到坡体内部,坡体的变形特征发生一定程度的改变,高程 2 155 m 以上开挖边坡,变形体整体边坡潜在滑面不突出。高程 2 155 m 平台以下边坡表层失稳下滑的可能性较

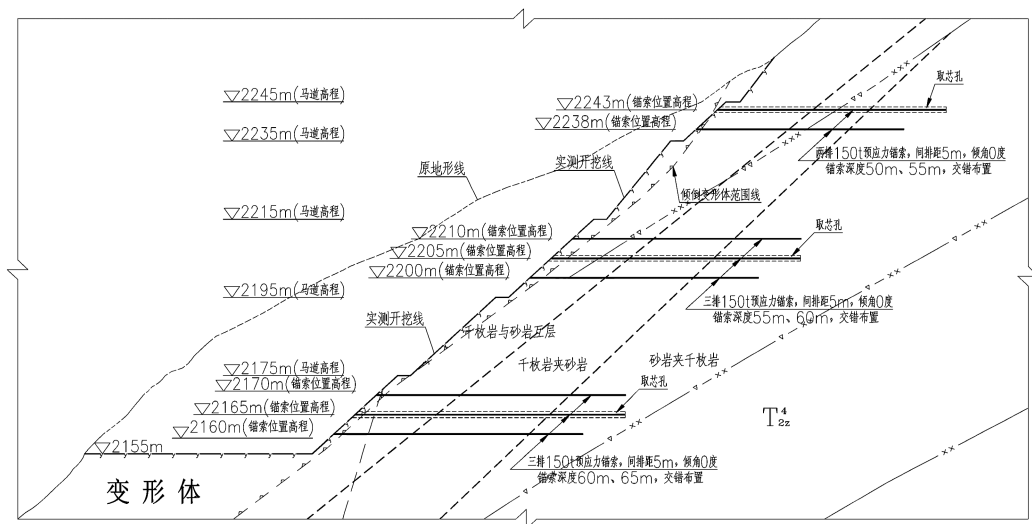


图4 锚索加固处理剖面布置图

大,但其失稳下滑对变形体整体边坡稳定性影响极为有限,对水库蓄水发电影响较小。

边坡变形监测资料表明,从2010年雨季以来边坡开始出现变形,2011年蓄水以来边坡变形迹象进一步发展;边坡变形与降雨、水库蓄水有一定关系。且在2011年10月锚索施工张拉后,对边坡的变形起到了一定的稳定作用。

6 结语

高边坡的治理一直是工程界和学术界讨论的热点问题之一,其失稳对周围建构筑物均可能产生极大的破坏与影响。结合毛尔盖水电站实际工程,对渔巴渡变形体失稳可能出现的风险进行了分析,根据变形体目前存在的问题,通过地质情况以及加固所需锚固力的计算,形成了针对性的加固技术,实现了对渔巴渡变形体的有效加固,使边坡变形得到有效控制,且使变形体的稳定性有了相对的提升。但是,变形体的岩土条件复杂且水库水位随调节发生抬升和下降,因此,对变形体单一进行加固不能完全消除变形体对大坝的威胁。建议结合“防治结合,以防为主”的原则,加强监测

频次和资料整理分析,发现问题及时处理。同时,制定在边坡变形出现异常情况下,开启左岸开敞式溢洪道、泄洪放空洞迅速减低库水位调节机组引用流量控制水位下降速率的水库紧急调度运行预案。

参考文献:

- [1] 王晓安,嵇红刚. 渔巴渡变形体失稳风险分析、预测及预警控制[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(S2): 926-930.
- [2] 王晓安,许韬,索慧敏. 风险分析及控制在水库边坡治理工程中的应用[J]. 四川水力发电, 2013, 32(5): 95-97.
- [3] 潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M]. 北京:水利出版社, 1980.
- [4] 何凤. 渔巴渡变形斜坡稳定性、成灾危害性及防治措施研究[D]. 四川:成都理工大学, 2017.
- [5] 张桥. 四川毛尔盖水电站麻窝集镇高边坡稳定性及支护方案研究[D]. 西南交通大学, 2011.

作者简介:

程能文(1979-),男,湖南醴陵人,工程师,本科,从事水利水电工程安全监测及实验检测技术与管理的相关研究;
张强(1970-),男,河南巩义人,工程师,本科,从事水利水电工程混凝土缺陷处理及试验检测、材料研究工作。

(责任编辑:卓政昌)

(上接第124页)

锚定状态的抗倾覆稳定性,而本文所述的技术措施是提高门机运行时的抗倾覆稳定性。本技术措施可供水利水电工程建设中的类似问题处理参考借鉴。

参考文献:

- [1] 中国机械工业联合会. 起重机设计规范:GB/T3811-2008

[S]. 北京:中国标准出版社, 2008: 17.

作者简介:

王宜奇(1966-),男,四川成都人,高级工程师,本科,从事水利水电工程闸门、固定卷扬式启闭机、台车式和门式启闭机、清污机的设计、制造工作;
王小慧(1982-),男,浙江东阳人,高级工程师,硕士,从事水利水电工程闸门及启闭机的设计研究工作。

(责任编辑:卓政昌)