

金川水电站左岸引水发电系统进水口 高边坡稳定性分析

唐良琴^{1,2}, 刘东燕¹, 余先华³, 唐奎⁴

(1. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆交通大学水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 3. 重庆市沙坪坝区国土资源管理分局, 重庆 400038; 4. 重庆理工大学数学与统计学院, 重庆 400050)

摘要: 金川水电站左岸引水发电系统进水口边坡开挖高度约160m, 边坡稳定性是该工程的主要地质问题之一。通过现场详细勘察, 在分析该边坡的地层岩性、坡体结构、结构面及其组合、风化卸荷等工程地质特征基础上, 建立了边坡和结构面的三维地质模型, 结合边坡的开挖设计, 进行平行和垂直轴向边坡方向的剖切, 从而得到块体组合情况。然后, 利用岩石边坡块体稳定性计算程序对各潜在不稳定块体进行计算。在现场统计坡比基础上, 就如何选定一个安全经济的坡比进行探讨。采用有限元法对不同工况下的边坡稳定性进行了分析与评价, 为设计和施工提供了科学依据。

关键词: 金川水电站; 高边坡; 块体稳定性; 边坡开挖坡比; 有限元法

中图分类号: P642; TV861

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2013)04-0099-07

岩质高边坡稳定性问题是我国20世纪70年代以来出现的最具特色的工程地质问题之一。其中, 水利水电工程领域的开挖高边坡具有最大的高度, 因此, 问题也最为突出。鉴于水电岩质高边坡的复杂性和重要性, 许多学者、科技工作者、工程技术人员进行了大量的研究^[1~3]。

随着我国西部大开发的持续深入, 在西南部水力资源丰富的大渡河地区逐步开展了大规模的水电水利工程建设。该地区地形高差大、沟谷深切、山势陡峻, 复杂的地质条件不仅给坝址确定和坝型选择带来了困难, 而且对工程高边坡的稳定性研究也是巨大的挑战。

从某种意义上而言, 水电工程岩体研究和高边坡的稳定性研究甚至比对坝体本身的研究更为重要^[4]。同时, 边坡的开挖坡比大小不仅关系到工程投资和开挖量, 而且对于边坡的稳定性都具有十分重要的现实意义。因此, 开展合理边坡坡比确定和边坡稳定性研

究, 具有重大意义。

1 工程概况

金川水电站工程坝址位于四川省金川县境内的大渡河上, 南距金川县城大约12km。电站装机容量 $86 \times 10^4 \text{ kW}$, 坝型为面板堆石坝, 最大坝高度约112m, 正常蓄水位为2253m。引水发电系统进水口位于大渡河的左岸, 其轴向边坡主要位于大槽沟(上游侧)和三朗沟(下游侧)之间的一座突出的单薄山脊上(图1)。根据设计方案, 边坡开挖后, 进水口将形成上游侧和轴向两个高边坡, 进水口平台位于轴向边坡底部, 宽92m。轴向边坡底部高程为2230m, 整个进水口边坡顶部高程在2390~2395m之间, 边坡开挖高度约160m。因此, 引水发电系统进水口边坡的稳定问题一直是该工程所研究的重大工程地质问题之一。

2 边坡工程地质特征

2.1 边坡岩性

左岸进水口边坡主要位于上三叠统杂谷脑组上段的 $T_3z^{2(6)}$ 和 $T_3z^{2(7)}$ 岩组中(图2~3)。 $T_3z^{2(6)}$ 岩组分布在进水口边坡的下游一侧, 厚60~70m, 岩性为夹少量薄层的中厚层状变质细砂岩; $T_3z^{2(7)}$ 岩组位于进水口边坡的上游侧, 厚73~90m, 岩性为夹灰黑色碳质千枚岩的灰色薄层状变质细砂岩; 变形体(Bxt3)位于进水口边坡的下部靠近河水面的位置, 厚度小于2m; 此外,

收稿日期: 2012-05-28; 修订日期: 2013-02-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41072229); 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室(四川大学)开放基金资助(201110); 重庆交通大学水利水运工程教育部重点实验室暨国家内河航道整治工程技术研究中心开放基金资助(SLK2011B04)

作者简介: 唐良琴(1975-), 女, 博士, 主要从事岩土工程、地质工程方面的科研教学工作。

E-mail: tlq129@sohu.com

在边坡底部和三朗沟内还有一些厚度小于 10m 的第四系崩、坡积堆积物(Q_4)。

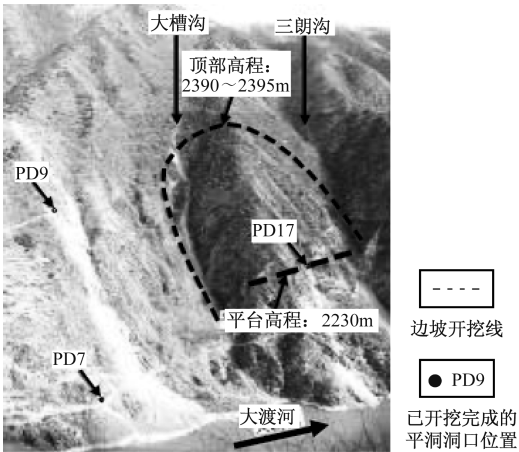


图 1 引水发电系统进水口边坡全景
Fig.1 Panorama of the diversion power system inlet slope

2.2 边坡结构面及其组合特征

左岸进水口边坡主要发育层面、裂隙、挤压带和层间错动带等几类结构面。它们的存在既破坏了边坡岩体的完整性,也大大降低了边坡的整体稳定性。

通过野外现场调查统计,边坡岩体中共发育 4 组优势裂隙(表 1)。倾向坡内的层面是最发育的一组裂隙。其次是倾向坡外的一组中陡倾裂隙,倾向为 NW、倾角大于 45° ,该组裂隙对边坡稳定性不利。其余两组裂隙都倾向坡内,倾向分别为 SE 和 NE。大多数挤压带和层间错动带都顺着层面发育,其产状为 $200^\circ \sim 230^\circ \angle 50^\circ \sim 70^\circ$,破碎带发育宽度变化较大,从几厘米到几十厘米,切层断层不发育。

由于岩层走向与进水口轴向边坡($335^\circ \angle 73^\circ$)走向之间的夹角为 65° ,所以,轴向边坡的坡体结构属于横向斜坡^[5]。而岩层的走向与上游侧边坡($245^\circ \angle 65^\circ$)走向之间的夹角为 25° ,并且二者倾向基本一致,因此,上游侧边坡的坡体结构为顺层斜坡^[5]。

表 1 进水口边坡裂隙优势方位					
Table 1 Dominant orientation of crack in inlet slope					
组号	范围值		优势方位		备注
	倾向($^\circ$)	倾角($^\circ$)	倾向($^\circ$)	倾角($^\circ$)	
①	205 ~ 245	40 ~ 80	222	53	层面,倾坡内
②	315 ~ 350	45 ~ 75	335	60	倾坡外
③	135 ~ 155	80 ~ 89	145	87	倾坡内
④	60 ~ 95	30 ~ 55	84	43	倾坡内

2.3 边坡岩体风化与卸荷特征

在岩质边坡的稳定性评价中,岩体风化与卸荷的

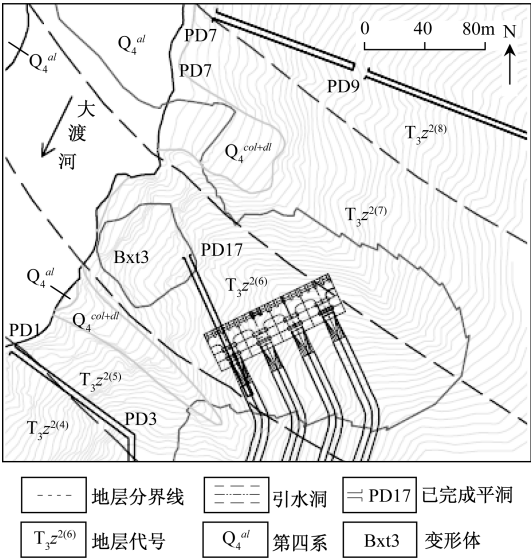


图 2 进水口边坡平面图
Fig.2 Diagram showing the water intake slope

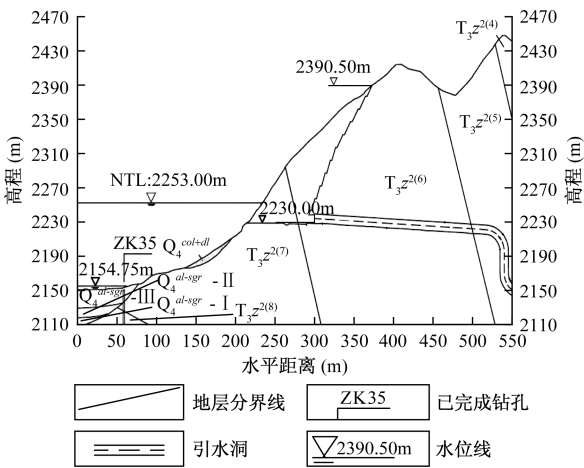


图 3 进水口边坡地质纵剖面图
Fig.3 Geological vertical section of the water intake slope

程度是一个重要因素^[6-7]。岩体风化与卸荷的程度直接影响到边坡开挖坡比的确定和边坡的整体稳定性以及支护措施的选择。在现场裂隙统计资料基础上,根据划分风化与卸荷的原则,并结合在平洞中的现场判断,对左岸各主要平洞的风化与卸荷程度进行划分,其划分成果见表 2。由表 2 可以看出,各平洞的风化卸荷深度有较大差异。究其原因,这现象主要是由左岸边坡形态变化所致。若边坡地形整齐,其风化与卸荷的深度则小一些,若山梁突出,其风化与卸荷的深度则大一些。平洞 PD17 恰好位于进水口边坡的单薄山梁处,因此,它的风化卸荷深度可以很好的代表进水口边坡山体的风化卸荷深度。

表 2 主要平洞风化卸荷深度

Table 2 Weathering and unloading depth of the main adits

平洞 编号	洞口高程 (m)	弱风化上段 深度(m)	弱风化下段 深度(m)	强卸荷 深度(m)	弱卸荷 深度(m)
PD1	2165.46	51	99	12	35
PD17	2230.8	48	86	42	64
PD7	2167.07	25	70	17	26
PD9	2266.6	60	143	26	55

3 边坡水文地质特征

由于边坡陡峻且地形单一,地表集水面积不大,地表水主要以面流的形式向瀑水排泄,只有少部分向地下入渗。地下水主要赋存于岩体的风化、卸荷裂隙之中,其分布受限于地形地貌,受大气降水补给,向大渡河排泄。

4 边坡块体稳定性分析

4.1 边坡局部块体构成及失稳模式分析

通过分析左岸进水口高边坡的数码拍摄影像和现场调查资料,并结合边坡岩体结构,可以对边坡上可能组合形成的块体模式、稳定状况进行预测。

分析表明,左岸进水口边坡的变形失稳模式主要有:①以底部弱面为滑动面的蠕滑拉裂失稳;②结构面组合构成的不稳定块体沿底部结构面向临空面滑移的块体滑动破坏;③顺岩层层面或边坡中长大结构面的倾倒变形失稳。

4.2 边坡岩体质量分级与力学参数

CSMR 分级方案在 RMR-SMR 体系的基础上,引入了高度修正系数和结构面条件修正系数,是一种适用于边坡岩体质量评价的方法^[8]。采用 CSMR 分级方案对进水口边坡上的平洞 PD17 岩体进行岩体质量分级划分,结果见表 3。在洞深 101m 以后,开始出现Ⅱ级岩体。

表 3 平洞 PD17 岩级划分结果

Table 3 Division results of rock grade of the PD17 adit

桩号	风化程度	RMR 分值	CSMR 分值	岩体级别	稳定性
0~26m	弱风化上带	48.67	48.00	Ⅲ2	基本稳定
26~42m	弱风化上带	40.50	38.27	Ⅳ	不稳定
42~48m	弱风化上带	51.00	41.75	Ⅲ2	基本稳定
48~90m	弱风化下带	54.25	46.56	Ⅲ2	基本稳定
90~101m	弱风化下带	66.00	60.82	Ⅲ1	稳定

根据坝址区的原位岩体(6组)及结构面(4组)大剪试验和岩体变形试验(14组)成果,以及室内岩体(17组)及结构面(18组)抗剪强度试验、岩体变形试

验(17组)、破碎带原状样剪切试验(9组)的成果,参考《水利水电工程地质勘察规范》^[9],同时考虑各种因素对边坡岩体和结构面力学性质的影响,给出左岸进水口边坡岩体及结构面在天然状态下的力学参数(表4)。

表 4 力学参数建议值

Table 4 Recommended value of mechanical parameters

名称	岩级	内摩擦系数	粘聚力(MPa)	变形模量(GPa)
岩体	Ⅱ	1.120	1.350	11.72
岩体	Ⅲ1	1.037	1.068	8.00
岩体	Ⅲ2	0.898	0.983	6.00
岩体	Ⅳ	0.675	0.350	3.00
硬性结构面		0.654	0.070	
软弱结构面		0.600	0.030	

4.3 边坡块体稳定性分析

首先利用三维模型程序将进水口边坡的地形、软弱面以及岩层等建立成三维地质模型,然后把在现场调查统计得到的所有长大结构面做成三维圆盘模型置入前述建立的模型中。依据该边坡的开挖设计要求,在三维地质模型中进行垂直和平行边坡轴向方向的剖切,从而得到结构面在上述两个方向上的空间相交组合情况。块体稳定性计算分析采用商用的块体稳定性分析软件 Swedge。将边坡在前述两个剖切方向上获得的结构面进行两两组合得到边坡岩石块体,然后将可能组合成不稳定块体的结构面对应的结构面参数一起输入块体稳定性分析软件中计算各块体的稳定性系数。计算结果见表5。

表 5 进水口边坡块体稳定性系数计算结果

Table 5 Block stability coefficients of the inlet slope

结构面 1	结构面 2	块体体积 (m ³)	天然 状态	暴雨 状态	地震 状态	块体破 坏方式
PD17-97.5	PD17-26	12744.9	3.11	2.60	2.48	块体下滑
PD17-97.5	PD17-52	12442.9	2.60	2.16	2.09	块体下滑
PD17-97.5	PD17-60	9348.86	2.46	2.04	2.01	块体下滑
PD17-97.5	PD17-62	9980.28	2.40	1.99	1.96	块体下滑
PD17-97.5	PD17-76	4834.02	2.07	1.68	1.74	块体下滑
PD17-97.5	PD17-45	4950.49	2.00	1.62	1.69	块体下滑
PD17-97.5	PD17-78	5181.81	2.02	1.63	1.70	块体下滑
PD17-97.5	PD17-42-1	6295.32	2.05	1.67	1.71	块体下滑
PD17-97.5	PD17-71	8694.39	2.18	1.79	1.80	块体下滑
PD17-97.5	JSK-19	13020.7	2.28	1.88	1.84	块体下滑
PD17-97.5	PD17-86	5927.78	1.87	1.51	1.57	块体下滑
PD17-91	JSK-20	780.778	2.42	0.72	2.14	块体下滑
PD17-91	PD17-97.5	226.781	0.70	0.38	0.61	块体下滑
PD17-91	PD17-42-2	10164.1	4.07	1.51	2.89	块体下滑

注:在地震条件下,地震水平加速度 $a=0.097g$ 。在暴雨条件下,充水高度取 100%。

(1)在天然和地震条件下,稳定性系数小于1的为结构面 PD17-91 和 PD17-97.5 组合形成的块体,其体积为 226.78m^3 。在开挖过程中,此块体可能产生滑动破坏,因此应予以重视。其他块体的稳定性较好,稳定性系数均大于1.5。

(2)在暴雨条件下,由结构面 PD17-91 和 PD17-97.5 构成的块体稳定性系数由天然状态的0.7降低到0.38。由结构面 PD17-91 和 JSK-20 组合形成的块体的稳定性系数由天然状态的2.42降低到0.72。这2块块体可能会出现滑动失稳现象。其他块体的稳定性系数都大于1.5,稳定性较好。

5 边坡开挖坡比的选定

在边坡开挖过程中,开挖坡比偏小会增加开挖量和工程投资,偏大则无法保证边坡的稳定性。因此,必须准确合理地确定开挖坡比。

现在自然坡比调查统计结果表明:轴向边坡坡比普遍介于 $1:0.5 \sim 1:1.2$,最大坡比为 $1:0.53$;上游侧边坡坡比普遍介于 $1:0.6 \sim 1:1.3$,最大坡比为 $1:0.63$ 。

根据野外现场调查:左岸进水口天然边坡现阶段没有出现大范围的变形破坏迹象,边坡整体上处于稳定状态。边坡表面为Ⅳ级岩体,在未来的开挖过程中将被挖出;开挖后的边坡表部除上部有小范围的稍差岩体分布外,其余表部岩体则为Ⅲ级岩体。同时还将采用一些支护措施来提高边坡的整体稳定性。因此,开挖边坡坡比取值大于最大天然边坡坡比是合理、可行的。根据《水利水电工程地质手册》开挖坡比建议值,本着安全、节约的原则,综合考虑边坡坡体结构、未来开挖高度、岩体质量以及现场坡比统计后,建议的开挖坡比如下:对轴向开挖边坡,上部的开挖坡比采用 $1:0.5$ (即高程在2320m以上),下部的开挖坡比采用

$1:0.3$ (即高程在2230~2320m之间);对上游侧开挖边坡,上部的开挖坡比采用 $1:0.5$ (即在高程2280m以上),下部的开挖坡比采用 $1:0.4$ (即高程在2230~2280m之间)。

6 边坡整体稳定性分析

边坡整体稳定性分析的思路是将边坡岩体作均一化处理,即忽略边坡岩性、结构面的差异,在边坡岩体分级的基础上以岩体力学参数来同一边坡岩体的差异性,岩体力学参数根据岩级给定,见前表4。

在本次整体稳定性计算采用平面有限元法。计算时考虑天然、暴雨和地震条件等三种工况。在暴雨条件下,计算参数取天然状态的0.9倍;地震状态下参数不变,地震水平峰值加速度取 $0.097g$ 。

6.1 进水口轴向开挖边坡整体稳定性分析

计算结果见图4~5(部分)。从图4~5可以得到以下结论:

(1)总体来讲,边坡开挖后将会出现向临空面的卸荷回弹趋势。在天然状态下,位移量最大值5.1cm出现在开挖平台处。在边坡表部,位移量最大出现在边坡的中部,达3cm,向开挖边坡上部 and 下部逐渐降低。在地震状态下,开挖平台处位移量基本没有什么变化,在边坡表部的位移量变化趋势也与天然状态基本一致,只是位移量明显地增加了2cm左右。

(2)在天然状态下,开挖边坡的破坏区主要分布在坡脚和边坡上部。坡脚处主要以剪破坏为主,边坡上部以拉破坏为主,且在边坡开口线上部自然边坡岩体中也出现了大量的拉破坏,这与现场调查的情况一致,应引起重视。在地震状态下,破坏区的分布类型基本没有变化,只是在坡脚处的分布范围有所扩大,但是破坏区并没有贯通,也就是说没有形成一个破坏的通道,因此整体稳定性较好。

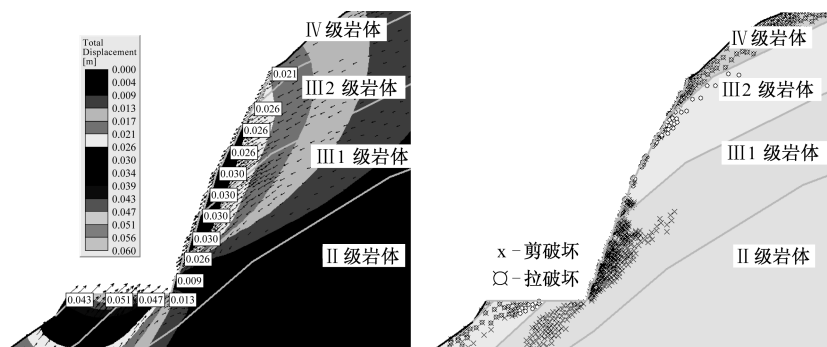


图4 轴向边坡天然状态下开挖后总位移(左)及破坏区(右)

Fig. 4 Total displacement(left) and failure zones(right) of the axial excavation slope under natural state

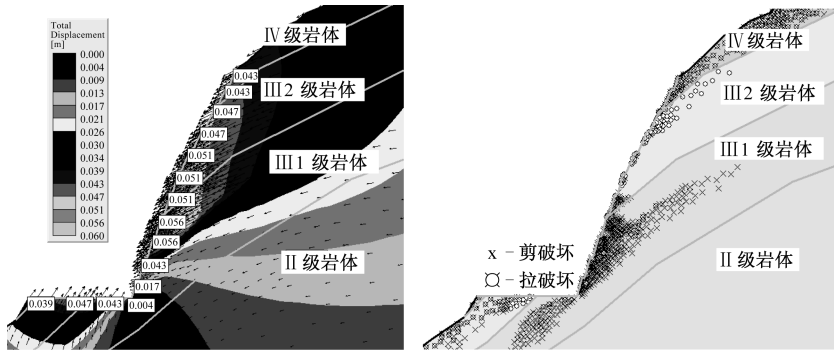


图 5 轴向边坡地震状态下开挖后总位移(左)及破坏区(右)

Fig. 5 Total displacement(left) and failure zones(right) of the axial excavation slope under earthquake state

6.2 进水口上游侧开挖边坡整体稳定性分析

计算结果见图 6~7(部分)。从图 6~7 可以看出:

(1)由于开挖边坡的高度较轴向边坡低一些,因此计算得到的位移量也相对低一些。在天然状态下,开挖平台处位移量最大,达到了 3.4cm,而在开挖边坡表部,位移量最大出现在边坡顶部,为 2.4cm,然后向边坡下部逐渐降低,在坡脚处仅为 0.7cm。地震状态下,开挖平台处的位移量有小幅度的降低,而在开挖边

坡表部位移量普遍增加了 1cm 左右。

(2)在天然状态下,破坏区主要分布在坡脚处,破坏类型为剪破坏,分布范围较小,显示边坡岩体有较好的整体稳定性。另外在边坡开口线上部的自然边坡岩体中出现了拉破坏区,但仅出现在边坡表部的 IV 级岩体中。地震状态下,开挖边坡各处破坏区的类型没有什么变化,只是坡脚处的剪破坏区分布范围有小幅度的增大。总体而言,破坏区的分布范围较少,且没有贯通,边坡的整体稳定性较好。

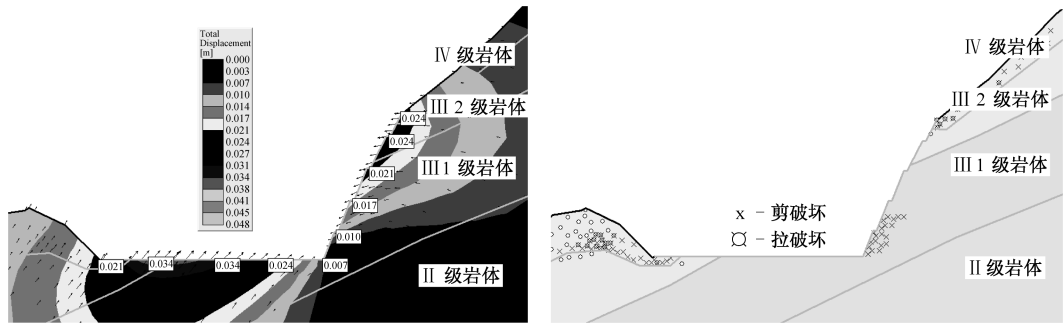


图 6 上游侧边坡天然状态开挖后总位移(左)和破坏区(右)

Fig. 6 Total displacement(left) and failure zones(right) of the upstream-side excavation slope under natural state

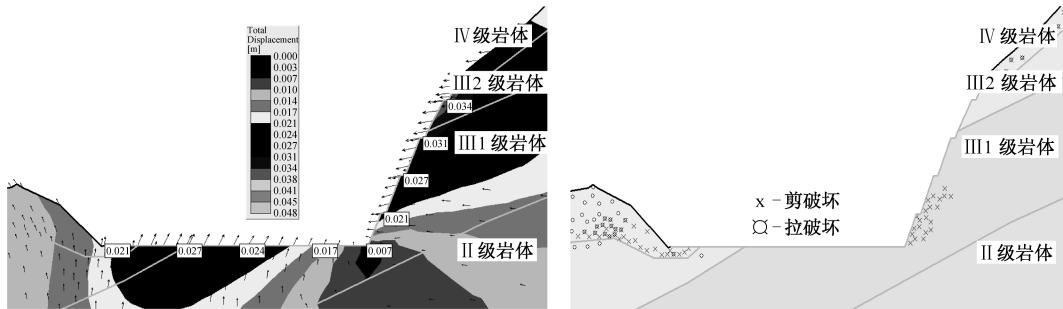


图 7 上游侧边坡地震状态开挖后总位移(左)和破坏区(右)

Fig. 7 Total displacement(left) and failure zones(right) of the upstream-side excavation slope in earthquake state

7 结论

(1)从宏观地质角度分析,层面裂隙(第一组)对上游侧边坡的稳定性不利,倾向山坡外的优势裂隙(第二组)对轴向边坡的稳定性不利。但从边坡的物质组成及地质结构特征分析结果可知,边坡的整体稳定性较好。

(2)边坡块体稳定性分析结果表明,边坡一共有14个组合块体,其中不稳定的块体有2个。除了在极端的工况下局部块体会失稳外,其他块体均较稳定。

(3)根据现场统计调查及地质分析:轴向边坡上部的开挖坡比采用1:0.5、下部的开挖坡比采用1:0.3,上游侧边坡上部的开挖坡比采用1:0.5、下部的开挖坡比采用1:0.4,都是合理可行的。

(4)有限元数值分析结果表明:轴向和上游侧开挖边坡的最大位移量均出现在开挖平台处,坡脚处都以剪切破坏为主,但轴向边坡的破坏区分布范围较上游侧大,且轴向开挖边坡上部岩体中分布一定范围的拉裂破坏区,两边坡开口线上部自然边坡岩体中均出现了拉裂破坏区,应引起重视。在各工况下,两开挖边坡的破坏区都没有贯通,因此边坡整体稳定性较好。

(5)尽管上游侧边坡坡体结构为对边坡稳定性不利的顺层斜坡,但稳定性分析结果表明上游侧边坡是稳定的。

参考文献:

- [1] 李天. 岩质工程高边坡稳定性及其控制的系统研究[D]. 成都:成都理工大学,2002. [LI T. Systematical research on the stability of high rock engineering slopes and its control [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2002. (in Chinese)]
- [2] 余成学,崔旋. 长河坝水电站右岸导流隧洞进口高边坡稳定性有限元计算分析[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(增2):3686 - 3691. [SHE C X, CUI X. Fem calculation of high inlet slope of diversion tunnel on right bank of Changheba hydropower station [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S2): 3686 - 3691. (in Chinese)]
- [3] 朱婷,黄宜胜,郭建. 基于优势结构面理论的高陡岩质边坡稳定性分析[J]. 水文地质工程地质,2010,37(2):83 - 86. [ZHU T, HUANG Y S, GUO J. Stability analysis of a high and steep rocky slope based on preferred plane theory [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(2): 83 - 86. (in Chinese)]
- [4] 沈金瑞,林杭. 岩质高边坡开挖优化及稳定性分析的复合方法[J]. 东华理工大学学报:自然科学版,2009,32(4):350 - 357. [SHEN J R, LIN H. The compound method for the excavation optimization and stability analysis of high rock slope [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2009, 32(4): 350 - 357. (in Chinese)]
- [5] 成都理工大学与国家电力公司西北勘测设计研究院. 金川水电站工程边坡稳定性研究[R]. 成都:成都理工大学工程地质研究所,2008. [Chengdu University of Technology and Northwest Survey and Design Institute of State Power Corporation. The engineering slope stability analysis of Jinchuan hydropower [R]. Chengdu: Engineering Geological Research Institute of Chengdu University of Technology, 2008. (in Chinese)]
- [6] 郑达,黄润秋. 高边坡岩体卸荷带划分的量化研究[J]. 水文地质工程地质,2006,33(5):9 - 12. [ZHENG D, HUANG R Q. Quantitative study on the classification of unloading zones of high slope [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 33(5): 9 - 12. (in Chinese)]
- [7] 蔡耀军,刘世斌,吴宏钧. 湖南皂市水利枢纽右岸高边坡稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(增2):4452 - 4457. [CAI Y J, LIU S B, WU H J. Study on stability of high slope of right bank of Zaoshi hydropower project, Hunan Province [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(S2): 4452 - 4457. (in Chinese)]
- [8] 杨天俊. 边坡岩体质量分类体系介绍[J]. 西北水电,2004(2):8 - 9. [YANG T J. Introduction of slope rockmass quality classification system [J]. Northwest Water Power, 2004(2): 8 - 9. (in Chinese)]
- [9] GB50487-2008 水利水电工程地质勘察规范[S]. [GB50487-2008 Code for engineering geological investigation of water resources and hydropower[S]. (in Chinese)]

Stability analysis of the high side slope near the inlet of the diversion power system on the left bank of the Jinchuan Hydropower Station

TANG Liang-qin^{1,2}, LIU Dong-yan¹, YU Xian-hua³, TANG Kui⁴

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. Shapingba Municipal Land and Resources Bureau of Chongqing, Chongqing 400038, China;

4. School of Mathematics and Statistics, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: The inlet excavation of the diversion power system of the Jinchuan Hydropower Station results in a slope of about 160 m height, whose stability is one of the main geological problems of the project. Through detailed investigation of the site, this paper analyzes the engineering geological characteristics of the intake slope, including lithology, slope structure, structural surface and its combinations, rock weathering and unloading, hydrology, etc. A 3-D geologic model of slope and structural surface is established with space coordinate. Under the consideration of the slope excavation design, slices of the parallel and vertical axial side slope are carried out. Thus, the block body combination situations are obtained. The stability of potentially unstable blocks is calculated by means of business analysis software for the stability of rock slope wedges. On the basis of site slope ratio statistics, the problem of how to select a safe and economic excavation slope ratio is studied. The finite element method is used to calculate and analyze the deformation and stress states and the safety factors for three kinds of working conditions (including natural condition, rainstorm condition and earthquake condition). The results of analysis and evaluation provide a scientific basis for the design and construction of the project.

Key words: Jinchuan hydropower station; high side slope; block stability; excavation slope ratio; finite element calculation

责任编辑:汪美华

(上接第92页)

Experimental analyses of strata movement deformation catastrophe caused by deep coal mining

LIU Shu-xian^{1,2}, WEI Xiao-gang², MA Feng-hai³, WANG Wei¹, WANG Hong-yi⁴

(1. College of Civil and Transportation Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Liaoning

Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 3. College of Civil Engineering and Architecture, Dalian University, Dalian, Liaoning 116622, China; 4. Fuxin Yucheng Company Limited of Architectural Design, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: Aiming at the safety problems of strata movement deformation caused by deep coal mining, the methods of theoretical analysis and similar material simulation experiment are used to monitor the displacement and stress conditions of overburden rock in the process of mining deep coal, to observe the fracture failure, bending and move deformation of stope overlayed strata in the process of deep mining coal in simulated mining, and to make a comparison and analysis of rock mass deformation, evolution of stress field and influence of mining stress area. The experimental results show that the area of stress increases, the area of stress reduces and the area of original rock stress is formed along the coal face in the process of deep mining coal. When making the exploitation of coal island face, the old and new mined-out areas become a whole one caused by strata movement and fall collapse, leading to mine power disasters caused easily by the fall collapse of mining strata. When decorating the position of roadway of the island, layout in the reducing stress area of the mined-out area should be considered first, and the width of coal pillar is not more than 10 m to 12 m, and the best choice is form 6 to 8 m.

Key words: deep coal mining; mining stress; similar material simulation experiment; strata movement

责任编辑:汪美华