

盘石头水库泄洪洞、导流洞进出口 高边坡稳定性分析

祁生文 伍法权 兰恒星

(中国科学院地质与地球物理研究所工程地质力学开放实验室 北京 100029)

摘要 首先分析了边坡工程地质条件,对边坡岩体进行了工程地质岩组划分,对岩体参数进行分析,提出该区边坡破坏模式,然后利用定性定量多种方法对边坡在各种工况条件下的稳定性进行了评价。

关键词 盘石头水库,高边坡,破坏模式,稳定性

分类号 TU 457

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2002)03-0353-07

1 引言

盘石头水库坝址位于河南省鹤壁市西南 15 km 的卫河支流淇河中游盘石头村附近。水库控制流域面积为 1 915 km², 2 000 a 一遇校核洪水水位为 275.0 m, 相应库容为 6.08×10⁹m³, 正常蓄水水位 254 m, 相应库容为 3.05×10⁹m³。拦石坝选用混凝土面板堆石坝方案, 坝顶高程为 275.7 m, 坝顶长度为 606 m, 最大坝高为 102.2 m。该水库以防洪、工业及生活供水为主, 兼顾农田灌溉发电, 是一座综合利用的大型水利枢纽工程^[1]。

该水库的泄洪洞、导流洞布置在右岸单薄的鸡冠山山体下(见图 1)。两洞进口高程均为 215 m, 出口高程有所不同, 导流洞出口高程为 178.68 m, 泄洪洞出口高程为 206.7 m。洞室开挖采用城门洞形, 成洞断面为 9.46 m×7.0 m。两洞进口处边墙位于中厚层灰岩 ϵ_1^3 处, 拱顶部分涉及页岩 ϵ_1^4 , 两洞出口分别位于页岩、页岩夹灰岩 ϵ_1^2 和中厚层灰岩 ϵ_1^3 处。

鸡冠山山体上部为中寒武系近直立的灰岩陡壁, 下部为下寒武系页岩, 形成上软下硬的地质结构。因此, 对于这样的水利枢纽工程, 其泄洪洞、导流洞的进出口高边坡稳定性问题尤为突出。本文首先分析了边坡工程地质条件, 对边坡岩体进行了工程地质岩组的划分, 提出了边坡的破坏模式, 然

后利用定性定量多种方法对边坡在各种工况条件下的稳定性进行了评价, 这对今后的设计、施工具有重要意义。

2 工程地质条件

水库位于太行山中高山与华北平原的过渡带, 大地构造单元属于中朝准地台山西台隆的太行山拱断束。拱断束内构造线近南北向, 整体为一宽缓的大型复式背斜。根据鹤壁市地震局提供的地震资料, 本区的地震基本烈度为 VII 度, 属于区域稳定性较好的地段。

水库坝址位于马鞍山背斜东翼。区内构造类型以断裂为主, 一般为 NE 向高角度正断层, 发育间距最密处 5~10 m/条。断层常以近平行的组合形态出现, 走向一般为 NE20°~50°, 横切河谷, 倾向 NW 或 SE, 倾角 50°~90°, 个别近东西向。断裂规模一般不大, 垂直断距除 F₇ 大于 100 m 外, 一般为 0.3~10 m。破碎带宽度最宽为 20 m, 其余宽为 0.05~6 m, 大多数为 0.3~2.0 m。断层影响范围内节理、裂隙较发育, 风化较严重。对于鸡冠山泄洪洞、导流洞进出口边坡及两洞本身来说, 由于断层走向与边坡走向及两洞轴线均成大角度相交, 因此, 断层对边坡及两洞本身影响不大。

坝址区属低山侵蚀地形, 地势起伏较大, 地貌条件复杂。坝址左岸山体宽厚, 山顶高程 319~325 m,

2000年8月21日收到初稿, 2000年10月9日收到修改稿。

作者 祁生文 简介: 男, 1975年生, 1996年毕业于原西安地质学院水工系, 现为中国科学院地质与地球物理研究所地质工程专业博士研究生, 主要从事岩土力学及数值模拟方面的研究工作。

与河床相对高差为 140 m 左右，山顶较平坦。高程在 270~280 m 以上为寒武系中统鲕状灰岩和豹皮灰岩，形成高达 30~50 m 的陡壁；以下为寒武系下统灰、页岩互层，形成缓坡，坡角 30°~35°，沟谷不甚发育。右岸鸡冠山山体单薄，三面临河，呈西北向展布，底宽 360~520 m，山顶高程 431~482 m，高出现代河床 250~300 m。高程约 300 m 以上由寒武系中统灰岩构成高达 90~160 m 的悬崖峭壁(见图 1)。山脊部分局部仅为宽 1~2 m 的狭窄石梁，两侧危岩耸立，摇摇欲坠。

区内出露寒武系中、下统及第三系地层。岩层产状平缓，受构造等因素影响，各处相应起伏变化，其中右岸鸡冠山北坡岩层走向为 50°~70°，倾向 SE，倾角 2°~6°；左岸近坝轴线附近岩层走向为 320°~340°，倾向 NE，倾角 4°~9°。

右岸岩体强风化带垂直深度为 3~20 m，弱风化带深度为 7~40 m，强风化带水平深度为 1~12 m。另据右岸导流试验洞观察，洞深 47 m 以外属弱风化岩体，且岩体的卸荷松动变形对页岩的风化具有明显影响。

区内地下水类型主要有基岩岩溶裂隙潜水、基

岩层间岩溶裂隙潜水、基岩层间岩溶承压水和第四纪孔隙潜水。其中基岩层间岩溶裂隙承压含水层顶板高程为 103.32~120.92 m。

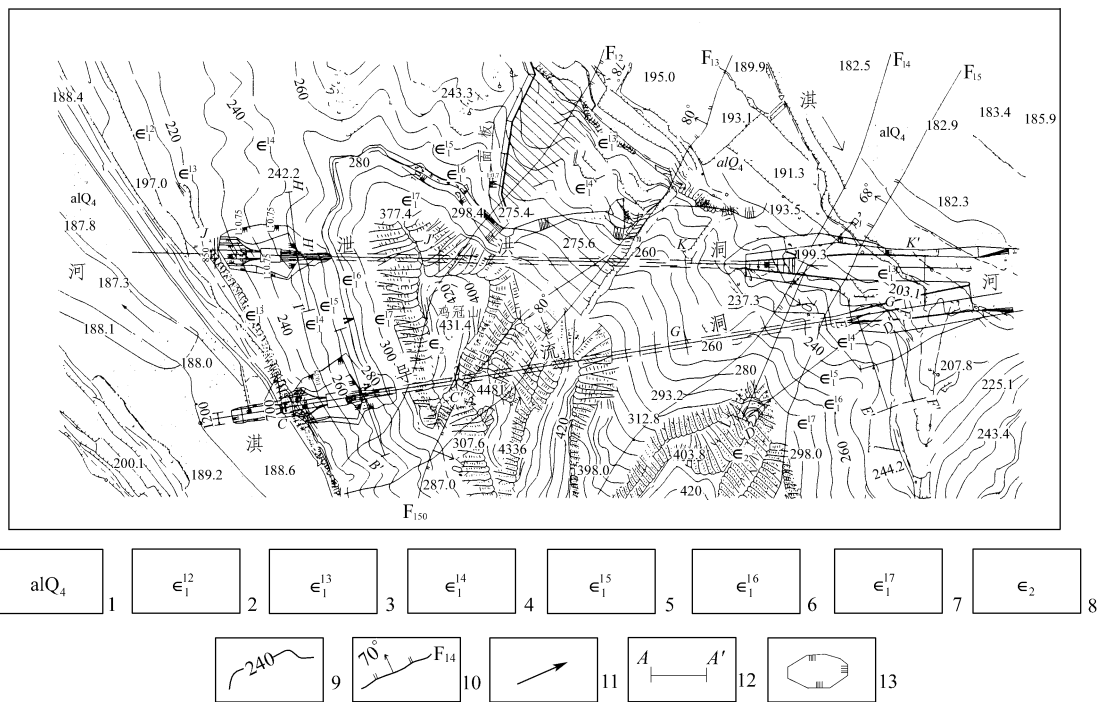
坝址区的灰岩、泥质灰岩和泥灰岩均不同程度地发育有溶洞、溶缝、溶孔。发育程度、规模与层厚、部位及构造有关。总的来讲，该区岩溶问题不是很突出。

3 边坡工程地质岩组的划分

泄洪洞、导流洞进出口边坡岩体主要由下寒武统及上覆中寒武统地层组成，根据岩体工程地质性质将其归并为 5 个工程地质岩组。各岩组的工程地质性质见表 1。

4 边坡岩体力学参数的选取

野外岩体力学原位试验是在弱风化和微风化岩体中进行，因此，对于弱风化和微风化岩体力学参数的取值以野外岩体力学的原位试验参数取值为依据。对于强风化岩体利用精测线法进行节理裂隙



1—全新世冲洪积地层 2—寒武系下统灰岩夹页岩 3—寒武系下统灰岩 4—寒武系下统页岩 5—寒武系下统页岩夹灰岩 6—寒武系下统灰岩夹页岩 7—寒武系下统泥质灰岩夹页岩 8—寒武系中统灰岩 9—等高线及高程 10—正断层及编号 11—河流流向 12—计算剖面及编号 13—水工建筑物开挖轮廓

图 1 盘石头水库坝区工程地质图

Fig. 1 Engineering geological map of Panshitou Reservoir, Henan province

表 1 边坡工程地质岩组划分一览表

Table 1 Classification of engineering geological rock groups of slope

工程地质岩组名称	工程地质岩组性质
页岩、页岩夹灰岩岩组	该岩组所涉及地层主要包括 ϵ_1^{10} , ϵ_1^{11} , ϵ_1^{12} , 厚约 17 m, 底部为紫红色页岩, 上部为灰岩夹页岩, 岩性较为坚硬。多呈层状结构或层状碎裂结构。顶板裸露高程在两洞进口处约 195 m。
中厚层灰岩岩组	该岩组由 ϵ_1^{13} 组成, 灰红色、中厚层状, 致密坚硬, 厚约 10~15 m。多呈块状结构。其底板裸露高程在进口边坡处 195 m, 在出口边坡处 190 m。
页岩岩组	该岩组由 ϵ_1^{14} 组成, 紫红色、暗紫红色, 局部灰绿色, 页理发育, 易风化剥落成碎片, 局部风化成泥状。由于卸荷和风化作用, 次生裂隙发育, 成为块状碎裂结构, 在强~弱卸荷和风化带内为碎裂结构。在进口边坡其底板裸露高程为 225 m, 在出口边坡底板其高程为 200 m 左右。
页岩、灰岩互层岩组	该岩组由 ϵ_1^{15} , ϵ_1^{16} , ϵ_1^{17} 组成, 页岩多为紫红色、灰绿色, 灰岩为中厚层状, 少量为薄层状, 岩性较弱。多呈层状结构或层状碎裂结构。在两洞进口边坡底板裸露高程为 260 m 左右, 在出口边坡底板裸露高程为 230 m。
厚层灰岩岩组	该岩组所涉及的地层由 ϵ_2 组成, 岩性为中厚层状鲕状灰岩和豹皮灰岩。岩石坚硬, 在地貌上形成直立的陡壁, 相对高差可达 130~180 m。多呈块状结构。由于周围的卸荷作用, 在陡壁周围形成许多危岩体。该岩组在进口边坡处裸露高程为 305 m, 在出口边坡底板裸露高程为 300 m。

表 2 边坡稳定性评价所采用的岩体力学参数值

Table 2 Rockmass mechanics parameters for slope stability evaluation

岩体参数	页岩、页岩夹灰岩岩组		中厚层灰岩岩组		页岩岩组			页岩、灰岩互层岩组			厚层灰岩岩组	
	弱风化	微风化	弱风化	微风化	强风化	弱风化	微风化	强风化	弱风化	微风化	弱风化	微风化
粘聚力/MPa	0.4	0.55	1.2	1.5	0.15	0.3	0.45	0.20	0.4	0.55	1.2	1.5
内摩擦角/(°)	36.9	38.7	50.2	50.2	25	30	36.1	25	36.9	38.7	50.2	50.2
容重/kN·m ⁻³	25.5	25.5	26	26	22.0	25.0	25.0	22.0	25.5	25.5	26.0	26.0
弹性模量/GPa	4.0	5.0	11	11	1.7	2.0	3.0	1.7	2.0	3.0	11	11
泊松比	0.28	0.28	0.24	0.24	0.39	0.35	0.33	0.39	0.35	0.33	0.24	0.24

的测量^[2, 3], 然后进行岩体力学参数的统计分析, 并在假设天然边坡处于稳定状态的情形下用反算进行校正, 由综合取值确定(见表 2)。

5 边坡岩体变形现状及可能破坏模式

5.1 边坡岩体变形现状

鸡冠山两侧斜坡岩体变形主要表现为卸荷松动变形。松动变形在鸡冠山基座下寒武统软岩和上覆中寒武统厚层块状灰岩中略有差别。

鸡冠山基座由下寒武统 $\epsilon_1^{10} \sim \epsilon_1^{17}$ 以页岩、页岩与灰岩互层地层构成, 除 ϵ_1^{13} 是总厚度为 10.8~14.5 m 较为坚硬的中厚层状灰岩外, 其余地层总体较弱, 其中 ϵ_1^{14} 是总厚度为 34.5~42.7 m 的页岩, 经密集裂隙切割、卸荷松动、风化作用, 工程性质较差。在鸡冠山基座临河部位, 由于 ϵ_1^{13} 相对较坚硬, 构成 25 m 高的陡坎, 但 ϵ_1^{12} 以下则相对较为软弱, 这种上硬下软的结构及其陡坎地形是鸡冠山基座部位产生卸荷松动的根本原因。

据右岸试验洞观察, 鸡冠山软岩基座岩体的卸荷变形水平深度不小于 50 m, 相当于鸡冠山南坡临河部位至鸡冠山陡崖脚部水平距离的 2/3~3/4。试验洞洞顶多处发生坍塌。0~35 m 段洞顶一侧出现

沿洞方向的拉张裂隙, 长达 10 m 左右, 张开宽度达到 1.5~3 cm, 向上延伸可见深度大于 1 m。洞深在 35 m 以内, 两侧洞壁普遍呈潮湿状, 沿裂隙带更甚, 在至洞深 75 m 处, 即相当于垂直河岸的水平深度约 50 m 处, 围岩裂隙壁面仍见黄色软泥膜, 表明该处裂隙呈松动张开状态, 卸荷带范围应不小于 50 m。

由于鸡冠山两坡软岩基座岩性基本一致, 卸荷带深度主要受基座地形影响。而西南坡总体坡角较东北坡大, 且存在 25 m 陡坎, 可以推断西南坡基座岩体卸荷松动带的宽度要大于东北坡。

鸡冠山上部山体高度约为 130~180 m, 西南坡为 100~150 m 高近直立陡崖, 东北坡为 100 m 以上高边坡, 坡度大于 75°, 局部直立。山体由 ϵ_2 中厚层灰岩组成, 岩层平缓, 倾向 NE60°, 倾角 5°, 因此, 西南坡略呈反向坡结构, 东北坡则略呈顺向坡结构。岩体主要发育两组近直立的构造节理, 其中一组走向为 NW327°~345°, 倾向 SW 或 NE, 倾角 86°~90°, 延伸平直, 长度达数十米; 另一组走向 NE18°~25°, 倾向 NW, 倾角 78°~89°。这两组节理将岩体切割成大量分离的柱状体。

目前, 鸡冠山上部山体东北坡岩体卸荷带水平深度可达 50 m 以上。各山头临坡部位岩体多沿 NW

走向的直立裂隙发生拉裂，或形成直立柱状，或形成上宽下窄的楔形状危岩体。危岩体与母体分离，拉裂宽度可达 50~100 cm，陡崖多处堆积崩塌块石，表明历史上陡崖曾经多次发生崩塌破坏。据调查，近 40 a 来，NE 坡坝轴线附近曾经发生过崩塌。山体 SW 坡为 100~150 m 直立陡崖，其卸荷带水平深度应不小于 50 m。从陡崖脚部观察，直立岩柱多处与山体分离，裂隙宽度可达 10~50 cm。

综观鸡冠山两侧，并考虑到东北坡有数道横向沟谷深切卸荷，可以推断，山体上部相当部分已处于卸荷状态，鸡冠山顶部狭窄山脊部分的岩体已经处于完全卸荷状态，构成若干危岩体。

5.2 边坡岩体可能破坏模式

鸡冠山上部灰岩山体和下部软岩基座是两个相互联系的部分，在变形破坏方面必将相互影响。上部山体的破坏将直接受下部软岩基座变形的影响，同时上部山体的重荷又直接影响着下部软岩的变形与破坏。

另一方面，上下两部分山体的破坏又各有不同的模式，下部软岩基座将以剪切滑移为主，上部岩体则以倾倒破坏和座滑破坏为主。

5.2.1 上部山体岩体破坏模式与稳定性估计

(1) 倾倒破坏

被陡倾节理切割的近直立岩柱，或因基座软岩岩层略向坡外倾斜，或因软岩坡面压缩变形大于坡内，均可能导致岩柱的重心在地面的投影落在岩体的脚趾之外，从而导致倾倒变形破坏(见图 2)。这种破坏模式在鸡冠山南、北坡均可能发生。但由于软岩基座岩层略向东北倾斜，西北向陡倾节理又多向东北倾，因此，陡立岩柱更可能在东北坡发生倾倒变形。当然，在水库蓄水后，由于鸡冠山基座岩体

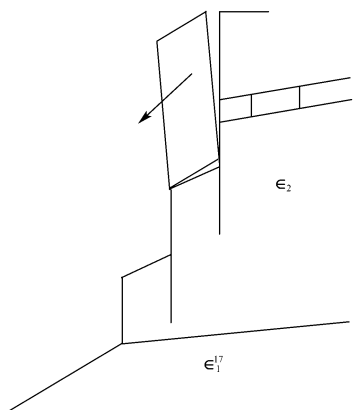


图 2 倾倒破坏模式

Fig.2 Toppling failure model

遇水软化及浪蚀掏空也可能引起西南坡岩体向库内倾倒变形。因此，在鸡冠山两侧均可能发生倾倒变形破坏，但以东北坡的可能性最大。

(2) 座滑破坏

几十米至上百米高的陡立岩柱重荷直接作用在下部薄层软岩基座上，在重力或其他外荷作用下，当基座岩体抗剪强度不够时，则可能发生剪断向下滑出，发生座滑破坏(见图 3)。

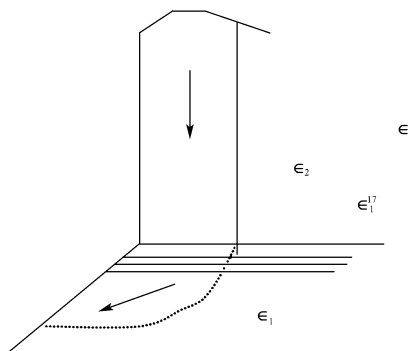


图 3 座滑破坏模式

Fig.3 Slide failure model

由于西南坡岩柱较东北坡高，下部基座地形较陡，未来基座受库水浪蚀与浸润软化，强度将降低，因此可能产生剪切座滑破坏，相比之下，东北坡发生座滑破坏的可能性稍小。

(3) 蠕滑拉裂破坏

由于近直立的两组主要结构面的切割分离，加之中寒武纪地层的底部 ϵ_2^8 较软弱岩层的作用，在中寒武纪地层中多处发生蠕滑拉裂变形，形成若干危岩体。这些危岩体在自然情形下接近于极限平衡状态，一旦受到外界因素的扰动必将发生破坏。

总之，由于山体上硬下软的结构，加之未来库水的作用，上部山体危岩体产生倾倒与座滑的可能性不能排除。考虑到本区为 VII 度地震烈度区，更兼下部基座内开挖两条水平隧洞，在洞-坡联合作用下，将更加增大了边坡破坏的可能性。

5.2.2 两洞进出口洞脸软岩边坡破坏模式

两洞进出口边坡开挖在相对软弱岩层中，局部以微风化岩体为基座。边坡岩体主要为较差的 IV 类岩体，一般为层状碎裂结构。

由于两洞进口处地层一般缓倾 NE，倾角 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，因此洞脸坡为反向坡，而两洞出口处右侧边坡亦构成反向坡，可见，地层-坡体结构对进口边坡及出口边坡的右侧坡是有利的。另一方面，由于进出口边坡处岩体结构面多为陡倾角节理，结构面组合线倾角一般大于 70° ，或者有个别为 20° ，不利于发

生块体滑动。

综合上述, 可以推知两洞进出口边坡以结构面组合滑动方式发生破坏可能性相对较小, 而更可能以弧状剪切滑移方式发生切层滑动破坏(这也是后面滑面搜索假定的根据之一)。由于天然斜坡坡角为 $28^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 且岩体性能较差, 若按 $1:0.75(53^{\circ})$ 的工程边坡设计, 在上覆岩体重荷作用下, 边坡发生破坏的可能性不能排除。

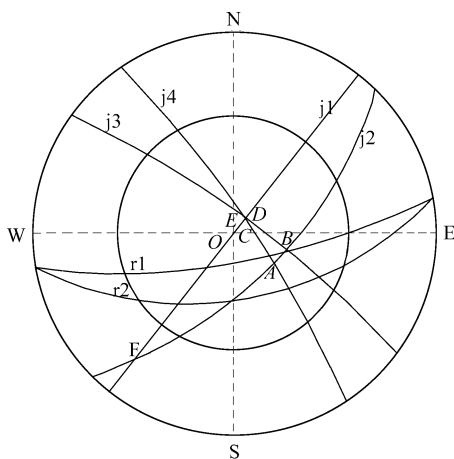
6 边坡稳定性评价

基于上述对边坡岩体变形现状和破坏模式的调查和分析, 采用一些半定量或定量的分析方法对边坡岩体的稳定性进行计算和评价。

6.1 赤平极射投影分析

在边坡稳定性分析中, 赤平极射投影是一种行之有效的半定量的评价边坡岩体稳定性的方法。利用赤平极射投影图可以简便地确定岩体中结构面、临空面的夹角和组合关系, 确定岩体的结构特征, 同时也可以把岩体的强度参数表示在赤平投影图上, 初步判断边坡发生结构面组合破坏的可能性。

这里利用赤平极射投影对泄洪洞、导流洞进出口的洞脸边坡、两侧边坡分别进行了评价。图 4 是导流洞进口右侧边坡结构面的赤平极射投影分析图。投影分析中 j 代表结构面, r 代表右侧边坡(从进口方向看), 1, 2, 3……代表编号, 图中小圆代表摩擦圆, 结构面内摩擦角为 30° [4]。



注: r_1 表示倾角为 73° 时的边坡, 而 r_2 表示倾角为 53° 时的边坡。

图 4 导流洞进口右侧边坡结构面赤平极射投影图

Fig.4 Stereographic projection of discontinuities of right side slope of diversion tunnel inlet

通过对两洞进出口边坡的赤平投影的详尽分析, 并对边坡角设计区间($53^{\circ} \sim 73^{\circ}$)进行了对比, 得出以下几点结论:

(1) 对于两洞出口边坡, 沿结构面发生组合滑动的可能性较小;

(2) 两洞进口左侧边坡沿结构面发生组合滑动的可能性不大;

(3) 两洞进口右侧边坡在边坡设计角为 73° 时, 边坡有沿 $N52^{\circ}W \angle 61^{\circ}$ 向滑动的可能, 但当边坡设计倾角为 60° 时, 边坡则无沿结构面发生破坏的可能;

(4) 两洞进口洞脸边坡在设计坡角不超过 60° 时, 基本不存在沿结构面进行组合滑动的可能。考虑到两洞进口边坡放缓受空间的限制, 若过分放缓边坡, 则边坡顶面距离中寒武系灰岩陡壁的距离将会减少, 从而可能牵动中寒武系灰岩的破坏, 因此, 建议边坡设计角也不可过小。

6.2 刚体极限平衡分析

两洞进出口各边坡的计算剖面参见图 1。由于导流洞、泄洪洞进口两侧边坡其剖面形态、地质情况基本相同, 因此, 只对导流洞进口左侧边坡 $A-A'$ 剖面稳定情况进行了分析。导流洞出口右侧边坡为一高度变化很大的边坡, 因此, 计算时取了三个具有代表意义的计算剖面。泄洪洞出口左侧边坡为一很矮的边坡, 没有进行分析。

对于无明显特定的软弱结构面控制的边坡, 其最可能破坏面都可以近似的表示为垂直裂缝加圆弧形型的边坡破坏模式[5]。考虑到本区岩体结构特征的实际情况(近直立结构面切割岩体)以及前面关于边坡岩体破坏模式的分析, 本次边坡破坏模式假定为垂直裂缝加圆弧形, 并且假定后缘裂缝呈张开状, 粘聚力为 0。在此假设条件的基础上, 程序利用穷举法对各边坡的各种工况进行了大量的最可能破坏面的搜索。搜索的方法参见文[5]。计算时考虑了 4 种工况, 正常蓄水位工况下又考虑了有震和无震的情形, 有震时的水平向地震加速度系数取为 0.1 [6], 铅垂向地震加速度系数取为水平向地震加速度系数的 $1/3$ [7]。计算结果见表 3, 表中未填的部分是指此种属于小概率事件或无这种情形。

从表 3 看, 各边坡的稳定性系数均大于 1.5, 这说明在各种工况下各边坡均处于稳定状态, 不会发生深层整体滑移。

6.3 三维有限差分法分析

由于刚体极限平衡假定边坡为刚体, 无法计算变形问题, 也无法了解边坡内部各部分的稳定情况,

表 3 剩余推力法计算的安全系数

Table 3 Safety factor calculated by residual pushing force method

剖面编号	导流洞						泄洪洞			
	进口		出口				进口	出口		
	C - C'	A - A'	G - G'	D - D'	E - E'	F - F'	J - J'	K - K'	L - L'	
施工开挖工况	1.78	2.48	2.78	1.74	2.21	2.69	2.39	2.73	1.93	
正常蓄水水位工况	无震	1.98	4.68	3.23	1.79	2.64	3.75	2.57	3.34	2.27
	有震	1.71	3.91	2.70	1.53	2.26	3.14	2.39	2.78	1.98
洪水水位工况		1.93	4.56				2.46			
水位升降工况	254~249 m	1.96	4.08				2.40			
	254~245 m	1.95	3.96				2.39			

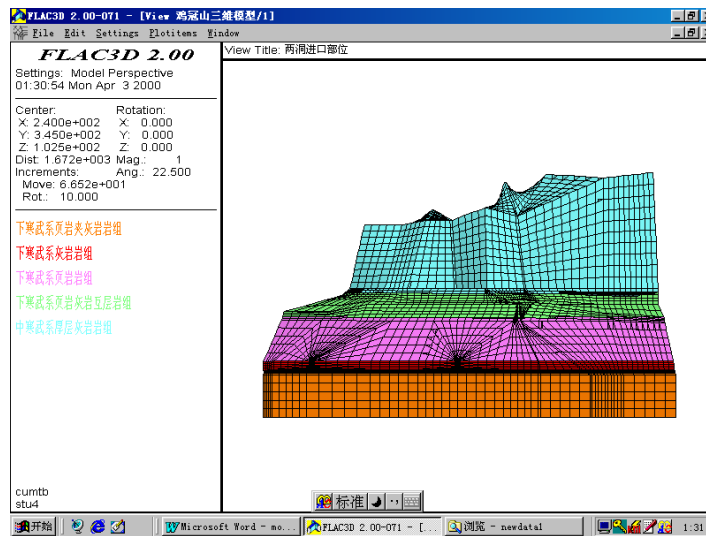


图 5 鸡冠山山体三维自然模型(两洞进口侧)

Fig. 5 Three dimensional model of Jiguan mountain before excavation of two tunnels' inlet side

这就要借助于数值分析来解决。

本次计算采用 FLAC^{3D}2.00 FOR WINDOWS 版 (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions) 进行分析。FLAC^{3D} 是一个专门针对岩土问题开发的计算机软件。它采用显式的有限差分技术来解决岩土问题, 可以模拟三维情形下, 岩、土体或者其他材料经历塑性流动到达它们的屈服极限时的行为。用户可根据模拟对象的实际形状, 选用不同的多面体基本单元来建立模型。每个单元的行为应根据模拟对象的实际变形破坏准则和实际边界条件而定。在计算过程中, 材料可以屈服, 对于大应变的情形甚至网格也可以变形和移动。因此, FLAC^{3D} 是一个理想的分析三维岩土问题的软件^[8-10]。

根据鸡冠山体的实际地貌形状, 采用 FLAC^{3D} 提供的基本单元, 考虑断层为无厚度的节理单元, 建立了鸡冠山体模型(见图 5)。该模型长 680 m, 宽 480 m, 河床以下取 50 m(相当于高程 155 m)。图 5 中呈放射状开挖的部位为两洞进口部位。

该模型的底面采用固定支座边界类型, 四面采用可动支座边界条件。破坏准则采用摩尔-库仑准则, 变形模式采用大应变变形模式。对于地震作用, 水平向地震加速度系数取为 0.1^[6], 铅垂向地震加速度系数取为水平向地震加速度系数的 1/3^[7]。

为了模拟施工实际, 了解洞室的开挖可能对边坡造成的影响, 采用了分步开挖模型, 先开挖边坡, 后开挖洞室。计算参数参见表 2。

分析表明^[4]:

(1) 在自然条件下, 鸡冠山基座基本稳定, 但是上部灰岩陡壁变形较为强烈; 两洞进口处的变形问题要比两洞出口严重; 导流洞上部灰岩的变形问题比泄洪洞严重。这与野外的调查相符, 表明建立的模型是可靠的。

(2) 在施工工况条件下, 边坡的开挖对上部灰岩陡壁的稳定性的影响不是很大, 但对于基座岩体的稳定性却有一定影响, 对于开挖的部位, 最大位移矢量达 5~7 cm。从塑性区的分布看, 边坡仍然处

于稳定状态。

(3) 两洞的开挖对于鸡冠山陡壁的灰岩影响很小,但是洞室的开挖对于鸡冠山基座稳定性有较大影响。洞室的开挖使得洞室两侧出现一些拉张塑性区,拱顶与侧壁的接触处出现一些剪切拉张共同作用塑性区和剪切塑性区。边坡的稳定性受到一定影响,边坡部位最大变形增量可达 2 cm。

(4) 在正常蓄水水位条件下,考虑地震作用,两洞进口部位洞壁部分地区出现塑性区,边坡需要进行治理。

(5) 未来水库运营期间,洪水对两洞进口边坡的稳定有一定威胁。

7 结论

本文通过对边坡工程地质条件的分析,把边坡岩体划分为页岩、页岩夹灰岩岩组、中厚层灰岩岩组、页岩岩组、页岩灰岩互层岩组及厚层灰岩岩组等 5 个工程地质岩组,指出该区边坡的破坏模式对于上部灰岩陡壁为倾倒破坏、座滑破坏、蠕滑拉裂破坏三种模式,对于基座则为座滑破坏模式。在此基础上,对岩体参数进行分析,利用赤平极射投影、刚体极限平衡理论、三维有限差分法等多种方法对边坡在各种工况条件下的稳定性进行了评价。评价得出:

(1) 当边坡设计坡角不大于 60° 时,沿结构面

组合发生破坏的可能性很小;

(2) 除水库运营期间,由于地震和洪水的作用,可能会导致边坡的局部失稳外,在各种工况条件下,边坡发生深层整体破坏的可能性不大。

参考文献

- 1 河南省水利勘测总队. 河南省淇河盘石头水库工程初步设计阶段水文工程地质勘察报告[R]. 郑州: 河南省水利勘测总队, 1999
- 2 徐光黎, 唐辉明, 潘别桐等. 岩体结构模型及应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993
- 3 伍法权. 统计岩体力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993
- 4 中国科学院地质与地球物理研究所. 河南省盘石头水库右岸导流洞、泄洪洞进出口及鸡冠山高边坡变形与稳定性问题研究[R]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2000
- 5 丰定祥, 吴家秀, 葛修润. 边坡稳定性分析中几个问题的探讨[J]. 岩土工程学报, 1990, 12(3): 1~9
- 6 林宗元. 岩土工程勘察设计手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996
- 7 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994
- 8 谢和平, 周宏伟, 王金安等. FLAC 在煤矿开采沉降预测中的应用及对比分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(4): 397~401
- 9 寇晓东, 周维垣, 杨若琼. FLAC-3D 进行三峡船闸高边坡稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 6~10
- 10 刘耀儒, 刘元高, 周维垣等. 应用三维 FLAC 方法进行动力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增 2): 1 518~1 522

STABILITY ANALYSIS ON HIGH SLOPES AT OUTLET AND INLET OF THE DIVERSION AND SPILLWAY TUNNELS OF PANSHITOU RESERVOIR

Qi Shengwen, Wu Faquan, Lan Hengxing

(Engineering Geomechanics Lab, Institute of Geology and Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029 China)

Abstract After systematically analyzing the engineering geological conditions of the high slopes at both the outlets and inlets of the two tunnels of the Panshitou Reservoir, Henan province, a classification of the engineering geological rock groups of the high slopes is made, then the slope failure models are proposed. The rockmass mechanics parameters of the slopes are also discussed. Based on these, stereographic projection method, limit equilibrium method and three-dimensional differential method (FLAC^{3D} 2.00 for Windows) are used for stability evaluation of the slopes.

Key words Panshitou reservoir, high slope, failure model, stability analysis