

文章编号: 1673-9469 (2017) 03-0060-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.03.013

某水电站倾倒岩体基于 UDEC 变形评价方法研究

王蓓, 吕城腾, 纪南

(河海大学地球科学与工程学院, 江苏南京 210098)

摘要: 以澜沧江上游某水电站为例, 对区域内的勘探平硐进行详细的编录、统计和分析, 通过勘查和实地调查对库区倾倒变形体的位置、岩性及产状、结构面特征和规模进行详细分析, 发现水电站库岸的倾倒变形严重。借助 UDEC 软件采用最大水平位移、变形面积、总位移这三种方案对倾倒变形进行评价, 得出用总位移作为倾倒变形岩体变形的的评价方法更为准确。

关键词: 倾倒变形; 影响因子; 评价指标; UDEC

中图分类号: TU47

文献标志码: A

Study on the evaluation method of toppling rock mass of a hydro-power station based on UDEC

WANG Bei, LV Chengteng, JI Nan

(Hohai University, School of Earth Science and Engineering, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking a hydropower station in the upper reaches of Lancang River as an example, the detailed survey, statistics and analysis of the exploration Adit in the area are carried out, and the location, lithology, occurrence, structure and characteristics of the toppling deformation body are analyzed in detail. It is found that the toppling deformation of the reservoir bank is serious. With the passage of time, the dumping rock experience further deformation under the internal and external force. It seriously restricts the construction of hydropower station. The deformation of the correct methods of evaluation is of great significance to the safety of the bank. With the help of UDEC software, the maximum horizontal displacement, the deformation area and the total displacement are used to evaluate the toppling deformation. It is concluded that the method of evaluating the deformation of rock mass with total displacement is more accurate.

Key words: toppling deformation; Influence factor; evaluating indicator; UDEC

我国的西南地区地势高差大, 因此水能资源很丰富, 对这些水能资源的开发可以解决电力资源短缺的问题。但是, 这些区域的地质条件较复杂, 使得工程建设比较困难。倾倒变形体经常在这些工程岸坡中出现, 对岸坡的稳定性的影响较大。水位的升降、暴雨、地震等一些因素会导致倾倒体发生变形, 因此对倾倒变形程度选择正确的评价方案就显得尤为重要了。对于倾倒体变形的研究, 一直受到广泛学者的关注, 如极限平衡分析法 (G-B 法) 和解析法^[1-2], 这些方法往往都有很多假设条件作为基

础。随着计算机软件成熟, 数值模拟开始被大家运用^[3]。本文选择澜沧江上的某水电站为例, 对岸坡上的倾倒体进行仔细研究, 发现倾倒体的变形对水电站施工安全和后期运营都有很大的影响。采用数值模拟的方法, 选用不同的变形评价进行对比分析, 为后期对倾倒体变形的研究提供正确方法。

1 工程概况

水电站是澜沧江上游河段一库七级开发方

收稿日期: 2017-04-03

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2008BA29B03-2) 中国水利水电科学研究院开放基金资助项目 (IWHRO2009011)

作者简介: 王蓓 (1993-), 女, 江苏镇江人, 硕士, 主要从事岩体结构与工程稳定方面的研究。

案的最下游一个梯级电站^[4]。控制流域面积 $9.40 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，多年平均流量 $957 \text{ m}^3/\text{s}$ ，多年平均悬移质 2692 万 t/年 ，推移质 135 万 t/年 。两岸斜坡岩体主要以倾倒地体为主，变形影响范围较大，其对工程边坡稳定性影响显著。

水库区位于澜沧江断裂带（区域构造断层编号为 F8）以东，石登 - 中排复式背斜的南部，以陡立褶皱为主，库区岩层总体产状为 $N5^\circ \sim 20^\circ W$ ，NEE 或 $SWW \angle 75^\circ \sim 90^\circ$ ，强烈倾倒地体发育地段岩层倾角变缓为 $30^\circ \sim 50^\circ$ ^[2]，如图 1。

2 倾倒地体岩体特征

根据调查，水库两岸都有明显倾倒地体，岩体按照成因可以分为原生结构面、构造结构面和浅表生结构面^[3]。按照充填物组合类型又可以分为夹泥型、岩屑夹泥型、含砾岩屑型、角砾夹屑型、角砾、岩屑夹泥型和硬性结构面^[4]。库区内共统计 14 个倾倒地体，对这些倾倒地体的结构特征进行描述（表 1）。

水电站倾倒地体主要分布于纵向谷的一岸或两岸。这些倾倒地体分为倾倒地体、倾倒地体、倾倒地体、倾倒地体等四种类型。

其中倾倒地体岸坡表层岩体强烈倾倒地体、坠覆，整体张裂松弛，无法识别岩层产状，属于散体结构边坡，岩性主要为薄层板岩与泥岩，岩体风化非常严重，厚度 $2 \sim 20 \text{ m}$ 不等，稳定性差，但在库区分布相对较少。水库蓄水后，在库水的作用下，坡脚岩块被冲蚀，会导致边坡表层产生崩塌。倾倒地体岸坡浅表层岩体强烈倾倒地体，整体张裂松弛，局部架空，张裂隙张开度几厘米甚至十厘米左右，张裂隙有碎石或黏土填充，属于碎裂结构边坡。岩性主要为板岩泥岩或板岩间夹薄层变质砂岩，

岩层倾角 $20^\circ \sim 40^\circ$ 左右，岩体风化严重，倾向坡外的结构面非常发育，间距 $5 \sim 30 \text{ cm}$ 。顺向坡松动厚度 $2 \sim 20 \text{ m}$ ，反向坡松动厚度大于顺向坡 $5 \sim 40 \text{ m}$ 不等，最大可达 50 m ，其稳定性较差，水库蓄水后，在库水的作用下，倾倒地体程度加剧，可能会导致边坡表层局部产状崩塌。倾倒地体岸坡岩体倾倒地体较为强烈，岩体不仅发生层内张裂变形，局部也发生切层剪张破裂，张开宽度几毫米左右，属于层状结构边坡。岩性主要为板岩与变质砂岩或石英砂岩互层，岩层倾角为 $40^\circ \sim 50^\circ$ 左右，岩体风化较为严重倾向坡外的结构面较为发育，间距 $10 \sim 50 \text{ cm}$ 不等。仍存在顺向坡松弛发育厚度小于反向坡松弛厚度，顺向坡 $5 \sim 20 \text{ m}$ 左右，反向坡 $10 \sim 40 \text{ m}$ ，最大可达 $50 \sim 60 \text{ m}$ 。倾倒地体 - 松弛岸坡稳定性较好，水库蓄水后，在库水的作用下，岸坡表层覆盖层可能会发生局部崩塌，但岸坡整体稳定。倾倒地体蠕变岸坡岩体倾倒地体变形较弱，层内错动带剪切错位，层内岩体微量张裂变形，属于层状结构或块状结构边坡，岩性主要为石英砂岩、变质砂岩等，风化程度比较弱，岩层倾角为 $50^\circ \sim 80^\circ$ 左右，与基岩深部产状相差不大。倾倒地体 - 松弛岸坡基本稳定，水库蓄水对其岸坡整体稳定性无较大影响，可能发生局部块石崩塌。

3 倾倒地体评价方法

3.1 数值模拟方法

数值模拟方案所用的软件主要是 UDEC 软件，倾倒地体岩体边坡的简化模型如图 2。对各反倾倒地体数值模型迭代计算 50 万次，坡度的变化通过改变 B 点的位置。

边坡的变形是能量转化和消耗的过程，在宏观的变是岩土体发生位移变化^[5-6]，所以，评价斜坡

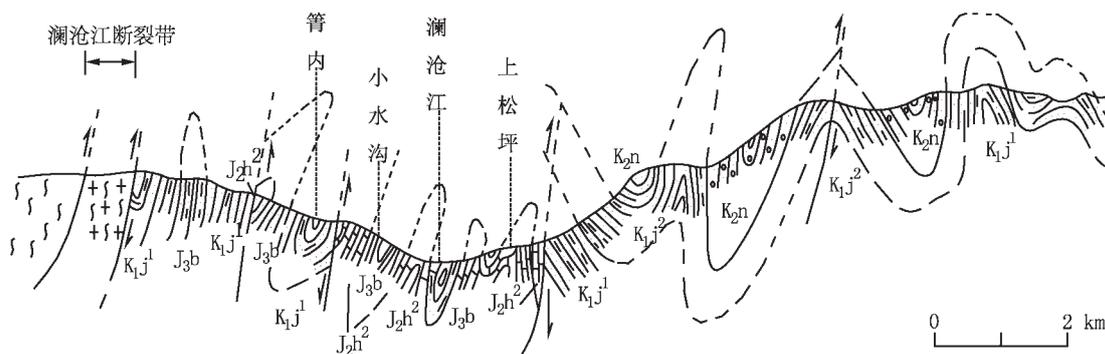


图 1 库区地质构造剖面图

Fig.1 Reservoir geological structure profile

表1 倾倒岩体基本特征
Tab.1 Basic characteristics of toppling rock mass

编号	位置	距下坝址/km	岩性及产状	结构面特征	长度/m	发育最低高程/m
QD1	右岸	62.8	为紫红色板岩为主, 倾角为 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 倾向山体	岩体呈碎块、碎片状, 夹泥型	330	1 415
QD2	右岸	54.1	为紫红色粉砂岩、板岩, 产状 $N10^{\circ}W$, $SW\angle 5^{\circ}\sim 25^{\circ}$, 公路已塌岸变形	表面风化部分破碎, 夹泥型	150	1 400
QD3	右岸	40.9	灰绿色板岩为主, 产状 $N35^{\circ}E$, $NW\angle 35^{\circ}$	呈强风化破碎, 公路边见裂缝, 硬性结构面	130	1 405
QD4	右岸	40.4	灰绿色板岩, 产状 $N35^{\circ}E$, $NW\angle 25^{\circ}$, 厚10~20 m	强风化破碎呈15~40 cm块状, 为落石区, 角砾夹屑型	330	1 400
QD5	右岸	39.9	紫红色板岩, 产状 $N10^{\circ}\sim 30^{\circ}E$, $NW\angle 50^{\circ}\sim 60^{\circ}$	破碎, 岸坡已产生塌岸, 角砾夹屑型	190	1 400
QD6	右岸	33.0	浅灰色板岩, 产状 $N20^{\circ}\sim 25^{\circ}E$, $NW\angle 50^{\circ}$	岩体破碎, 角砾夹屑型	120	1 380
QD7	右岸	22.2	紫红色板岩, 产状 $N45^{\circ}E$, $NW\angle 10^{\circ}\sim 35^{\circ}$	岩体破碎, 含砾岩屑型	230	1 390
QD8	右岸	21.5	为滑移后的滑坡体基座, 为紫红、灰绿色板岩, 产状 $N45^{\circ}E$, $NW\angle 30^{\circ}\sim 45^{\circ}$	岩体呈强风化破碎, 粒径10~70 cm, 为落石警示区, 角砾夹屑型	760	1 370
QD9	右岸	11.2	灰绿色板岩岩层产状 $N23^{\circ}E$, $NW\angle 83^{\circ}$	呈强—弱风化破碎, 卸荷裂隙较发育, 角砾夹屑型	390	1 350
QD10	右岸	8.8	为石英砂岩与灰绿色板岩互层, 产状 $N10^{\circ}\sim 20^{\circ}E$, $NW\angle 30^{\circ}\sim 85^{\circ}$	与卸荷裂隙组合, 局部形成崩塌, 角砾夹屑型	360	1 350
QD11	左岸	1.5	灰绿色板岩, 产状 $N10^{\circ}E$, $NW\angle 30^{\circ}\sim 50^{\circ}$	呈强—弱风化破碎, 规模中等, 含砾岩屑型	2 000	1 340
QD12	左岸	18.7	黄色板岩, 产状 $N66^{\circ}E$, $NW\angle 15^{\circ}$	岩体非常破碎, 大量块体崩落, 角砾夹屑型	170	1 360
QD13	左岸	33.8	砂板岩互层, 产状为 $N25^{\circ}E$, $NW\angle 58^{\circ}$	表面风化部分垮落, 坡顶上部岩体架空, 板岩部分节理发育, 角砾夹屑型	350	1 385
QD14	左岸	45.3	以黄色板岩为主, 夹青色砂板岩, 产状为 $N15^{\circ}E$, $NW\angle 40^{\circ}$	表面部分破碎, 节理发育, 倾倒体折断, 角砾夹屑型	270	1 400

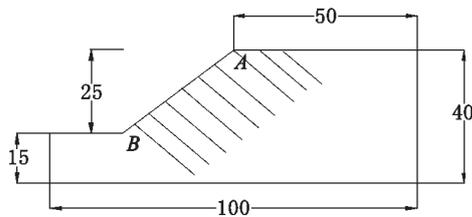


图2 数值模型简化图

Fig.2 A simplified diagram of numerical model

变形程度可以用变形位移和变形范围表示。一般大多数学者都是选取坡顶位移(图2中A点)作为评价指标, 也有的学者采用变形面积作为评价指标。所以本文将坡顶位移和变形面积这两个指标考虑在内, 还运用了一个新的评价指标——总位移, 分别分析这3种方案, 选择最优的评价方案。

3.2 影响倾倒变形的因子

倾倒岩体的变形受到外部诱因和地质内因综合影响, 其中地质内因主要有层理力学参数、斜坡结构和几何特征、岩块物理力学参数等, 外因主要包

含降雨、库水、地震和人类工程活动^[5]。

倾倒破坏是岩层在重力作用下向临空方向倾倒, 产生层间剪切错动, 当拉应力超过岩体抗拉强度, 产生拉裂缝, 拉裂缝进一步发育贯通岩层^[7]。边坡几何参数、岩体参数、层理参数共同控制倾倒变形的过程。对倾倒变形成因的考虑^[8], 分出12个影响因素构成了倾倒变形因子体系(图3)。

3.3 参数选择

选取水电站8组具有代表性的倾倒变岩体的物理力学参数, 见表2。

4 评价方法的分析

4.1 最大水平位移评价指标曲线特征分析

根据倾倒变形将点A用作最大水平位移点, 并在数值模拟期间观察点A的水平位移。读取点A的水平位移, 以获得每个方案的最大水平位移演化曲线(图4)。不同方案的最大水平位移曲线不同,

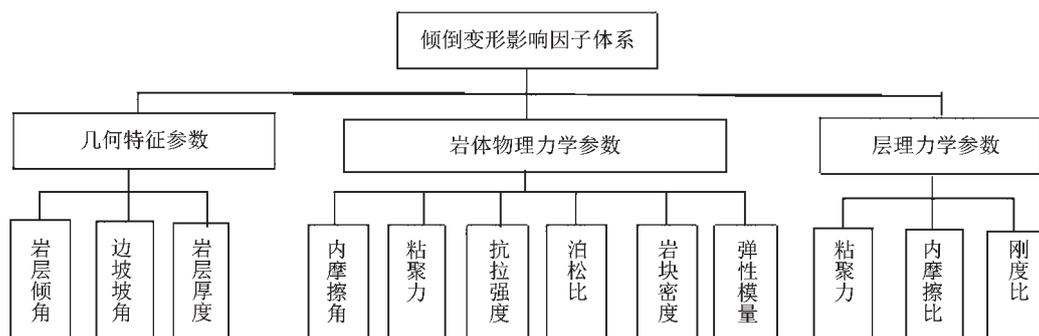


图3 影响反边坡倾倒变形的因子
Fig.3 Effect of reverse slope toppling deformation factor

表2 参数取值表
Tab.2 Parameter table

参数 序号	层理参数			几何参数		岩体参数				
	内摩擦角 /°	粘聚力 /kPa	刚度比	倾角 /°	坡度 /°	内摩擦角 /°	粘聚力 /kPa	抗拉强度 /kPa	弹性模量 /MPa	泊松比
1	9.4	1.9	3.0	39	37	36.7	4.6	7.5	3 119	0.25
2	11.0	0.6	7.2	58	68	33.0	13.1	0.5	6 238	0.23
3	11.6	0.2	3.1	78	44	36.2	12.0	4.3	2 463	0.30
4	17.0	0.8	34.4	79	51	26.0	8.5	1.9	601	0.24
5	15.2	0.4	2.2	38	48	36.8	6.2	6.4	7 181	0.32
6	13.8	0.5	2.2	42	33	38.7	2.7	3.3	4 187	0.24
7	10.8	0.6	4.2	70	74	31.9	13.5	7.6	2 397	0.34
8	6.6	1.5	2.4	36	74	27.1	43.9	8.7	1 502	0.24

方案3中每个方案的最大水平位移为3.74 m。根据水平位移值，最大位移曲线的大小分为三个等级：变形积明显、变形较大、变形不明显。

根据每个方案的最终水平位移值，可以把方案分为：位移大于2 m的倾倒变形明显——方案2和3；水平位移大于1.3 m的倾倒变形较大——方案4和7；倾倒变形不明显——方案1、5、6、8。

4.2 变形面积评价指标曲线特性分析

对倾倒岩体不同时间段的变形面积进行计算，对所有变形区的变形面积进行统计，得到不同方案的倾倒岩体变形面积变化曲线。图5显示，这些曲线除了一些曲线早期突然增加的情况外，大部分曲线几乎平行，曲线较少交错，但是变形面积差小，分布均匀，不容易区分。根据倾倒岩体变形面积大小分为三个等级：变形明显、变形较大、变形不明显。

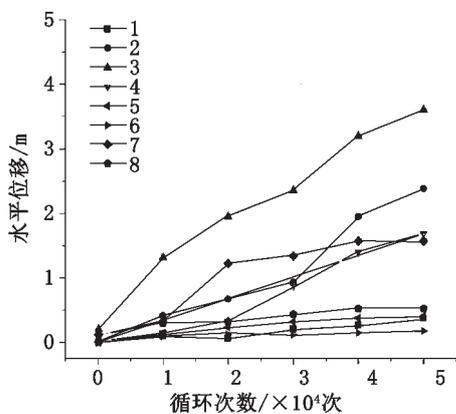


图4 倒变形最大水平位移变化曲线

Fig.4 The maximum horizontal displacement curve of toppling deformation

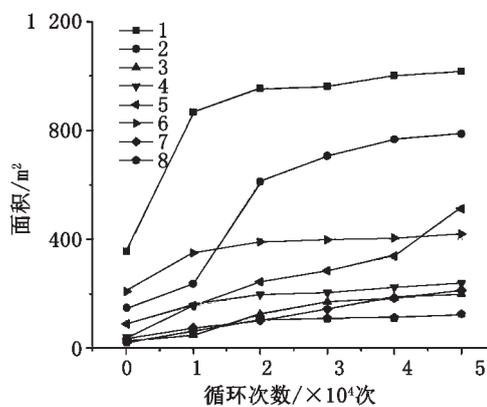


图5 倾倒岩体变形面积变化曲线

Fig.5 Deformation area curve of the toppling rock mass

根据最终的变形面积大小,将方案分为:变形面积大于 700 m^2 的,变形明显方案——方案1和2;变形面积 $380 \sim 600 \text{ m}^2$,变形较大方案——方案5和6;变形面积小于 230 m^2 ,变形不明显方案——方案3、4、7、8。

4.3 总位移评价指标曲线特性分析

总位移指标将变形面积(标量)与变形位移(矢量)综合考虑,对不同方案进行模拟得到不同时期倾倒总位移大小变化曲线(图6)。从图6可以看出,曲线几乎都匀速的变化,每条倾倒变形总位移曲线间的交错很少,而且随着循环次数的增多,每条曲线分布相对离散,可以容易地区分等级。根据倾倒岩体变形总位移大小分为三个等级:变形明显、变

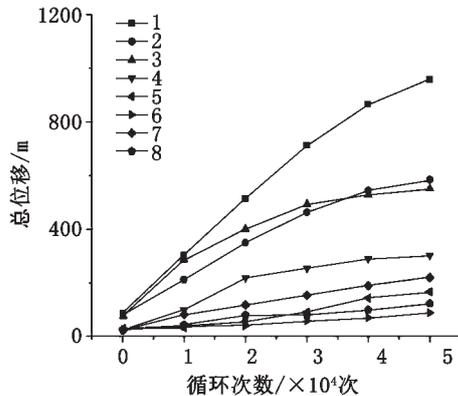


图6 倾倒岩体变形总位移变化曲线

Fig.6 Total displacement of the toppling rock mass

形较大、变形不明显。

依据总位移后期数值大小,将方案分为:总位移均大于 900 m ,变形明显——方案1;总位移小于 620 m 、大于 390 m ,变形大——方案2、3;总位移均小于 360 m ,变形不明显——方案4、5、6、7、8。

5 结论

1) 把最大水平位移用作倾倒岩体变形的评价指

标时,每个方案的变形程度区域可以更好地分离,可以较好地划分变形等级,可以反映倾倒变形演化过程。但是,缺点也比较明显。很多曲线是交错的,导致不同时间段倾倒变形分级结果会出现一些波动。

2) 把变形面积用作倾倒岩体变形的评价指标时,在岩体变形后期曲线交错少,相对位置也相对确定,但是缺点就是变形面积数值的差异较小,无法区分变形程度。

3) 把总位移用作倾倒岩体变形的评价指标时,优点突出,不仅曲线的交错很少,而且每个曲线的值之间的差异很大,易于区分。

4) 将基于最大水平位移、变形面积、总位移这三种方案得出的结果进行分析,发现把总位移作为评价指标可以改善另外两种评价指标的缺点,而且得到的结果更加符合实际。

参考文献:

- [1] 翟崇. 云南苗尾水电站溢洪道进水渠边坡倾倒岩体稳定性研究 [D]. 四川: 成都理工大学, 2015.
- [2] 张浴阳. 澜沧江苗尾水电站引水隧洞进水口边坡及围岩稳定性研究 [D]. 四川: 成都理工大学, 2016.
- [3] 韩贝传, 王思敬. 边坡倾倒变形的形成机制与影响因素分析 [J]. 工程地质学报, 1999, 7(3): 213-217.
- [4] 丁金财. 澜沧江某水电站左岸变形岩体引水隧洞群围岩应力-形变特征研究 [D]. 四川: 成都理工大学, 2015.
- [5] 程东幸, 刘大安, 丁恩保, 等. 层状反倾岩质边坡影响因素及反倾条件分析 [J]. 岩土工程学报, 2005(11): 127-131.
- [6] 徐佩华, 陈剑平, 黄润秋, 等. 锦屏水电站解放沟反倾高边坡变形机制的探讨 [J]. 工程地质学报, 2004, 12(3): 247-252.
- [7] 谢良甫. 反倾层状岩质斜坡倾倒变形特征及演化机理研究 [D]. 湖北: 中国地质大学, 2015.
- [8] 位伟, 段绍辉, 姜海清, 等. 反倾边坡影响倾倒稳定的几种因素探讨 [J]. 岩土力学, 2008(Z1): 431-434.