

三峡工程库区巴东县赵树岭 滑坡稳定性与防治对策研究

唐辉明, 马淑芝, 刘佑荣, 贾洪彪

(中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 赵树岭滑坡是三峡工程库区的重要滑坡, 其稳定性直接关系到巴东新县城沿江大道的安全, 并对新县城土地利用意义重大. 在阐述赵树岭滑坡基本特征的基础上, 运用水岩耦合三维有限元数值方法模拟了滑坡稳定性, 预测了三峡水库蓄水后滑坡稳定性发展趋势和渗流特征. 研究表明, 水库蓄水及水位波动是影响滑坡稳定性的主要因素, 三峡水库蓄水后, 滑坡将发生局部失稳, 必须加以治理. 提出了滑坡防治的原则与对策.

关键词: 三峡工程; 赵树岭滑坡; 滑坡稳定性; 滑坡防治.

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)05-0621-05

作者简介: 唐辉明(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地质工程、岩土工程的教学与研究.

赵树岭滑坡位于三峡工程库区巴东县云沱, 其稳定性直接关系到新县城沿江大道安全, 对新县城土地利用意义重大. 赵树岭地区位于三峡中段巫峡与西陵峡间的过渡地带, 属峡谷区相对宽谷段. 地形剖面呈缓坡平台与斜坡相间的折线形, 地形上后部及前缘江边较陡, 中部见上、下李家坡和饿肚子坡等3个坡度平缓的缓坡平台, 平均坡度 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 左右, 缓坡平台之间为陡坡, 其坡度大于 35° , 局部更大. 区内冲沟两侧沟壁也很陡, 局部坡度可达 50° 以上, 是近期斜坡变形及潜在不稳定部位.

赵树岭及邻近地区岩体褶皱轴线近东西向, 与斜坡走向一致, 斜坡以顺向坡为主, 与区内黄土坡地区甚至区外巫山、奉节地区十分相似. 区内基岩岩性主要为三叠系巴东组(T_2b)泥质灰岩、泥灰岩及粉砂质泥岩、粉砂岩, 是三峡地区典型的易滑地层.

1 滑坡基本特征

1.1 滑坡周界及形态特征

赵树岭滑坡总体上为一巨型勺状滑坡, 是经多次局部滑移和弯曲倾倒滑移形成的综合滑体, 滑体

平面上呈不太规则的长方形, 中前部大致等宽. 滑体东西宽约550 m, 南北长约900~950 m, 面积约50万 m^2 . 滑体表面总体呈阶梯状, 其中可见2级缓坡平台. 高程150 m以下至长江边为陡坡, 坡度 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}$; 高程170~200 m间为第1级缓坡平台, 380~400 m间为第2级缓坡平台, 高程200~380 m间坡度较陡, 400 m以上为滑坡后缘陡坡.

1.2 滑坡体物质结构特征

赵树岭地区物质结构也是由表层崩滑体层向完整基岩逐渐过渡, 滑坡区物质总体上可分为二大层, 即表层崩滑体层和基岩. 表层崩滑体层主要由岩体经滑移形成的块裂、碎裂岩、含泥碎块石及碎块石组成, 主要来源于巴东组第三段. 基岩则以巴东组第二段紫红色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主. 滑移块裂、碎裂岩主要分布在中部高程225~350 m部位, 岩体呈层状结构, 层序基本正常, 岩性为灰、灰黄色泥质灰岩、泥灰岩. 含泥碎块土分布于下李家坡等地, 其成因主要为残坡积层. 碎块石土分布范围较广, 特别是在陡坡前缘分布较多, 成因上主要为不同时期崩坡积层或崩滑堆积层. 崩滑体层最大厚度约50~65 m. 滑坡区出露的巴东组第三段地层中可见多层软弱破碎带, 这些破碎带具有不顺层、不连续、厚度变化大等特点, 且各层软弱破碎带也互不平行, 各具特

点,它们构成了各不同期次滑坡的滑动面(或滑带),其中最低一个滑带位于巴东组第二、三段界面附近,该滑带形状上基本与地形起伏一致,前部及中部较缓,后部及下部较陡。

1.3 滑坡变形破坏现状与稳定性影响因素

滑坡体内已发现 5 处小型崩滑体,规模一般数百至数千 m^3 不等,滑体厚度一般几十 cm 至几 m 不等,主要分布于中环路及沿江大道内侧开挖边坡及冲沟或长江岸边陡坡处,前者主要与人工开挖有关,即由于人工开挖边坡过陡或切脚而引起崩滑,如饿肚子坡东侧滑坡,就是由于公路开挖致使岩层切脚而引起的顺层滑动;后者主要与地形坡度过陡及降水等因素密切相关,如赵树岭村西小滑坡,就位于云沱东沟陡壁部位。概括起来,这些崩滑变形有如下特征:(1)发生时代新,大多是近几年内产生的;(2)多为浅层局部土体崩滑;(3)其成因多与地形坡度、人工开挖及降雨有关。

影响滑坡稳定性的因素中,除地层岩性、地质结构和地形地貌外,水文地质条件对滑坡稳定性影响极大,特别是三峡水库蓄水及水位波动,将极大地改变滑坡体内的水文地质条件,是影响滑坡整体稳定性的主要因素。暴雨和地震是 2 个难以确定的因素,虽然对滑坡稳定性有一定的影响,但赵树岭滑坡自形成以来,已经历了暴雨与地震的考验,已趋于稳定。因此,单一的暴雨或地震一般不会引起滑坡整体重新失稳破坏,但常造成局部变形失稳,特别是在一些陡坡处,容易产生一些小型崩滑。人类工程活动虽然也是斜坡变形破坏的常见触发因素,但它一般只影响局部斜坡稳定性,对滑坡的整体性影响不大。

2 滑坡稳定性分析

在各种地质因素作用下,赵树岭滑坡目前整体处于基本稳定状态,但其前缘在今后三峡水库水位波动及城市建设等因素作用下,稳定性将产生变化。尤其是水对斜坡(包括滑坡)稳定性的影响,它既能降低斜坡岩土体及滑动面的物理力学性质,还会产生静水压力和动水压力,作用于滑动岩体,降低斜坡的稳定性。因此,水文地质条件是影响斜坡稳定性的重要因素。

三峡水库正常高水位 175 m 且常年在 175~145 m 水位间波动,这将对滑坡稳定产生重大影响,特别是如果水库水位下降叠加地震等不利因素,将

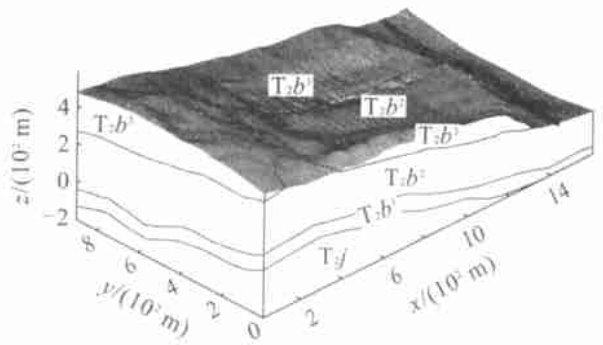


图 1 计算区域地质模型

Fig. 1 Geological model of computing area

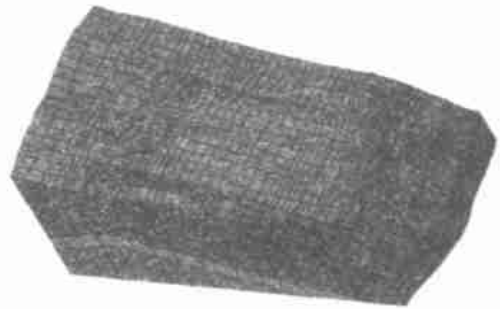


图 2 有限元计算网格

Fig. 2 Meshes of finite element model

严重恶化滑坡的稳定性。本次研究采用三维渗流—应力耦合场有限元模拟评价滑坡稳定性,为滑坡治理提供依据。

2.1 计算模型的建立

根据赵树岭滑坡工程地质条件,选择计算区域为北至长江中心,南至斜坡后缘上李家坡,南北长约 150 m ,东至田家梁子—狮子包,西至黄家屋场,东西宽 900 m 。建立计算区域的三维地质模型(图 1)。选择 NNW345°为 x 轴正方向,NEE75°为 y 轴正方向,竖直向上方向为 z 轴正方向,从地表到高程—200 m 的空间内进行三维有限元计算的网格剖分。共剖分为 9 271 个单元,10 435 个结点(图 2)。计算模型的应力场边界条件确定为:南北边界和东西边界水平方向上固定,竖直方向上自由;底边界竖直方向上固定,水平方向上自由。渗流场边界条件确定为:南边界为定水头边界;北边界为零流量边界;东西边界为零流量边界;底边界为零流量边界。

2.2 计算工况

综合考虑未来三峡水库水位的变化和可能的地震作用等因素,确定了以下 7 种计算工况。工况一:目前状态(60 m 枯水位);工况二:目前状态(90 m 洪水水位);工况三:145 m 水位;工况四:175 m 水位;工

表1 有限元计算参数

Table 1 Coefficients of finite element simulation

岩性	滑带	残坡积	滑体	泥岩	泥灰岩	灰岩
弹性模量/MPa	80	150	3 000	2 000	4 000	4 500
泊松比	0.4	0.38	0.3	0.35	0.2	0.18
内聚力/MPa	0.02	0.08	0.19	0.2	0.36	0.4
内摩擦角/(°)	20	25	24	23	32	35
残余内聚力/MPa	0.015	0.032	0.17	0.15	0.28	0.32
残余内摩擦角/(°)	18	21	20	20	25	30
抗拉强度/MPa	0.001	0.001	0.03	0.03	0.1	0.15
天然密度/(kg·m ⁻³)	2 000	2 100	2 500	2 300	2 550	2 580
饱和密度/(kg·m ⁻³)	2 200	2 300	2 600	2 590	2 690	2 680
孔隙率/%	20	25	15	4	3	1
渗透系数/(m·d ⁻¹)	3	10	10	0.05	5	10
饱和内聚力/MPa	0.012	0.04	0.13	0.12	0.20	0.28
饱和内摩擦角/(°)	18	23	22	21	30	32
饱和残余内聚力/MPa	0.01	0.02	0.1	0.08	0.15	0.20
饱和残余内摩擦角/(°)	16	19	18	18	23	28

况五:175 m 水位向 145 m 水位快速泄水(水位在 1 周内从 175 m 降到 145 m);工况六:175 m 水位+地震作用(烈度:Ⅶ度);工况七:175 m 水位降至 145 m 水位+地震作用(烈度:Ⅶ度).

2.3 计算参数选取

本研究充分考虑了地层岩性的差异,计算区域中所涉及的岩土体有以下几种类型:T_{2j} 泥质灰岩;T_{2b¹} 泥质灰岩及灰岩;T_{2b²} 粉砂质泥岩;T_{2b³} 泥质灰岩及灰岩;T_{2b³} 灰岩破碎层(滑体);滑带土;Q^{el+dl}残坡积物.通过岩土体物理力学试验、钻孔注水试验及工程地质类比,最后确定各类所涉及到的岩土体的计算参数(表 1).计算中同时考虑地下水的自重、静水压力和动水压力.对处于地下水位以下

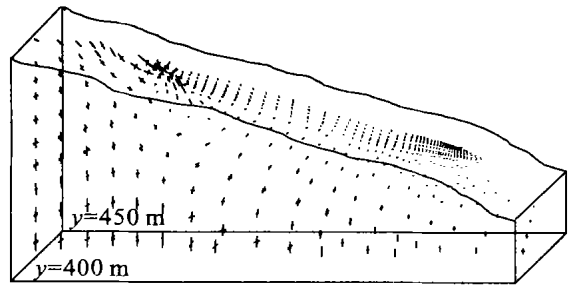


图3 工况五泄水 15 d 时纵剖面主应力矢量图

Fig.3 Vectogram of principal stress in situation 5

的关键岩土体采用饱和状态时的有效抗剪强度.根据地震地质条件,地震烈度按Ⅶ度计,取地震加速度为 125.0 cm/s².

2.4 计算过程

模拟计算采用增量弹塑性有限元分析方法,其应力-应变关系满足相关流动法则的理想弹塑性本构关系,破坏判据采用 Drucker-Prager 塑性屈服准则.计算中考虑岩土体的渗透系数与应力的耦合作用.通过计算可以得到每一计算方案的位移、水头、应变、应力等的大小及分布状况(图 3—图 5).

3 滑坡稳定性评价

根据上述三维渗流-应力耦合场的有限元计算结果可知,在现状条件下,无论枯水期还是洪水期,滑坡中的塑性区范围有限,尚难以危及滑坡整体的稳定性,但滑坡后缘附近水力梯度较大,渗流力较大,使滑坡后缘附近局部出现拉应力,导致滑坡后部稳定性较差,因此不排除滑坡后部局部位置出现小

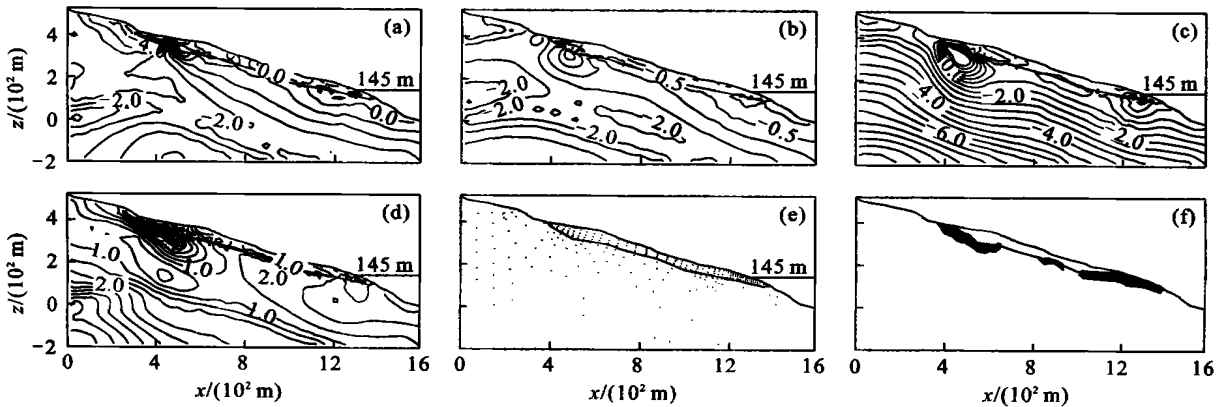


图4 工况五泄水 15 d 时纵剖面应力场模拟结果

Fig.4 Modeling results of stress field in situation 5

a. x 方向应力等值线; b. y 方向应力等值线; c. z 方向应力等值线; d. 最大剪应力等值线; e. 由 175 m 水位泄水 15 d 时位移矢量; f. 塑性区

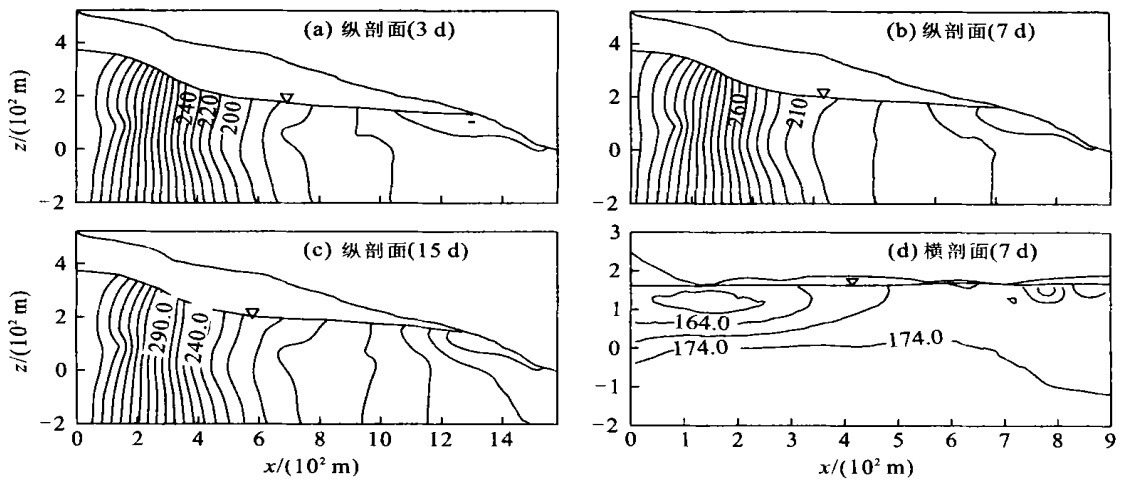


图 5 工况五泄水不同时间的渗流场模拟结果

Fig. 5 Modeling results of permeability field in situation 5

规模变形破坏的可能。

当长江水位变化时,斜坡应力分布特征发生变化。当水位升高到 175 m 时,塑性区范围有所扩大,在斜坡前缘地带也出现了塑性区,说明滑坡整体稳定性降低,尤其是滑坡前缘稳定性变差,有局部失稳的可能性。当库水位从 175 m 降到 145 m 时,位移以水平方向位移为主,方向向外,位移量有所增加。塑性区范围进一步扩大,在滑坡前缘、中部、后缘均出现塑性区,滑坡整体稳定性进一步下降,特别是塑性区接近于相互贯通,因此,可以断定滑坡整体稳定性接近极限状态,安全储备较小。对比不同泄水时间的渗流场和应力场的变化,可以发现泄水 7 d 左右时,滑坡稳定性与其他时间相比最差。

4 滑坡防治对策

4.1 防治原则

(1)防治工作必须以滑坡稳定性评价、预测和建筑适宜性分区为依据,针对影响滑坡稳定性的主要因素,分清轻重缓急,采取不同的对策。(2)防治工作坚持先勘察设计、设计,后施工的原则。(3)防治工作应统筹安排,统一规划。(4)应以防为主,防治结合。(5)对于土地的利用,应进行合理规划,避免密集的高层建筑群,应以轻型建筑(如集贸市场等)和园林为主,限制边坡开挖规模,严禁大开大挖。(6)防治工程应与城市建设有机结合,考虑防治工程的综合利用。(7)防治工程应与环境保护、库岸再造的防治有机结合。(8)坚持防治专门工程与群测群防相结合。

(9)重视排水工程的建设,禁止废水弃渣随意排放。(10)防护结构设计,应考虑就地取材、易于施工、方便养护、造价低廉的建材和工艺。

4.2 防治对策及措施

由稳定分析可知,滑坡前缘、滑体内冲沟两侧、滑坡中部陡峭部位及人工边坡稳定性差,除前缘 175 m 水位以下被库水淹没外,其他应是斜坡防治的重点坡段。具体措施如下:

(1)对于 175 m 高程上下(145~210 m 左右)的条带,因为该地段受三峡水库库水位的波动影响最大,在暴雨、水库降水等因素的综合作用下,有可能会首先从该地段开始出现破坏,甚至会发展到较大规模滑坡的破坏。因此对该地段的防治是重中之重,可以考虑采用预应力锚杆或格子梁锚杆支护。

(2)对于滑体内几条冲沟的两侧,由于该处受地表水体的冲蚀严重,沟壁陡峭,岩土体松散,加之人类工程扰动严重,容易发生小规模的变形破坏,除限制人类工程活动的扰动外,应避免乱堆乱弃乱排,工程建设应避免这些地段,在必要的位置可以考虑设置挡墙或挡墙锚杆等支挡建筑或采用格子梁护坡。

(3)对于滑坡中部陡峭部位,如果不是从滑坡前缘开始的整体滑动,那么,在这个地段发生的只可能是浅层的小规模的滑塌,因此建议采用格子梁护坡或挡墙支挡。

(4)对于人工边坡,一方面应避免开挖高陡人工边坡,另一方面应在人工边坡开挖之前进行演算评价设计,制订合理的方案,必要时应采用一定的加固措施,但原则上不应与滑坡整体的支护方案冲突,不

应恶化滑坡的整体稳定性,在保证滑坡整体稳定的情况下,对局部的人工边坡进行加固.

除此之外,还应进行下面3个方面的工作:(1)库岸防护.库岸防护应与滑坡支护有机结合起来,统筹安排,建议的方案有:①抛石(或堆石)防护;②干砌片石护坡防护;③浆砌片石护坡防护;④预制板护坡防护;⑤挡土墙防护;⑥锚固、抗滑桩防护;⑦土工合成材料护坡;⑧土钉护坡;⑨锚喷支护护坡;⑩锚定板护坡;⑪微型桩群;⑫格构锚固护坡.(2)排水措施.①地表排水.鉴于降水、山洪及地表水入渗对斜坡稳定性的影响,建议沿公路布置多条近东西向延伸的截水沟(尤其在滑坡后缘、中部台阶等部位布置),将地表水引入两侧冲沟及纵向排水沟内,然后排入长江,同时设置纵向的排水沟.排水工程宜采用浆砌块石,严格控制工程质量,防止漏水现象.②地

下排水.地下排水管网应结合市政建设统一考虑.③支挡工程排水.支挡工程应根据设计要求设置排水孔及反滤层.(3)建立滑坡监测系统.

参考文献:

- [1] 唐辉明,晏鄂川,胡新丽.工程地质数值模拟的理论与方法[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
TANG H M, YAN E C, HU X L. Principles and applications of numerical modeling in engineering geology [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001.
- [2] 殷跃平.长江三峡工程库区滑坡防治工程设计与施工技术规程[M].北京:地质出版社,2001.
YIN Y P. The technology criterion of prevent engineering designing and constructing of landslides in Three Gorges Reservoir Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.

Stability and Control Measures of Zhaoshuling Landslide, Badong County, Three Gorges Reservoir

TANG Hui-ming, MA Shu-zhi, LIU You-rong, JIA Hong-biao

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The safety of the Zhaoshuling landslide, one of the most important landslides in the Three Gorges Reservoir, is directly related to that of Yanjiang Road which is located along the Changjiang River, and is also important to the land use of the Badong County, a new-established county. This paper first describes the essential features of the Zhaoshuling landslide, and then presents the simulation of landslide stability using 3D finite element method for water-stress coupling, and the forecasting of the landslide stability trend and permeability features after the Three Gorges Reservoir is in operation. The research shows that the change in the reservoir water is the major factor to affect the stability of the landslide. After the Three Gorges Reservoir is in operation, some parts of the landslide will turn instable. In this sense, this paper offers some principles and counter-measures to prevent and treat the landslide.

Key words: Three Gorges Reservoir project; Zhaoshuling landslide; landslide stability; landslide control.