

长江三峡黄腊石滑坡稳走性评价

包惠明

(桂林冶金地质学院水文地质及工程地质系)

摘要 利用破坏概率和稳定系数相结合评价黄腊石滑坡的稳定性, 结果表明: 黄腊石滑坡目前具有低稳定系数, 高破坏概率。三峡水库蓄水后黄腊石滑坡有失稳滑动的可能。

关键词 工程地质; 稳定系数; 破坏概率; 滑坡; 变形体; 长江三峡

分类号 P642.22

0 前言

库岸稳定问题是长江三峡工程主要工程地质问题之一。据调查资料, 三峡水库干流段发育有大量滑坡, 黄腊石滑坡为三峡库区大型的滑坡之一。其位于湖北巴东县城东北约1km的长江北岸, 下距三斗坪坝址约64km。近年来有活动迹象, 其以位置敏感, 规模巨大, 稳定程度差而引起人们高度关注, 被视为长江三峡现今三大最不稳定地段之一。

黄腊石滑坡的稳定性, 特别是三峡水库蓄水后其稳定性, 严重地影响三峡工程的决策与运行。由于滑坡结构复杂, 滑动面埋深较大(最大可达102m), 现场试验和取样极为困难, 加以现有的用单一稳定系数评价滑坡的局限性, 难以准确地评价该滑坡的稳定性。本文试图利用破坏概率和稳定系数相结合评价黄腊石滑坡的稳定性, 并预测三峡水库蓄水后黄腊石滑坡的稳定性。

1 黄腊石滑坡变形破坏模式

1.1 滑坡产生的地质环境

1.1.1 地形地貌特征 黄腊石地段斜坡为逆向坡, 坡面呈阶梯状, 总体上为上缓下陡, 坡角一般为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 坡面沟谷发育。

1.1.2 地层岩性及地质构造特征 钻探揭露滑坡区主要由三叠系巴东组和第四系组成。巴东组岩性为紫红色粉砂岩、泥岩和灰色薄层泥质灰岩、泥灰岩互层或夹层, 厚612m, 第四系岩性主要为崩坡积物和滑坡堆积物, 最大厚度102m。

滑坡区地质构造较简单, 主要发育有四组节理裂隙($SN/W50^{\circ} \sim 60^{\circ}$; $N70^{\circ} \sim 80^{\circ} W/SW55^{\circ} \sim 80^{\circ}$; $N70^{\circ} \sim 80^{\circ} E/SE60^{\circ} \sim 80^{\circ}$; $EW/S65^{\circ} \sim 88^{\circ}$)。该区岩层走向近东西, 倾向北, 倾角 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。

1.1.3 水文地质特征 区内高程约65~80m, 200~215m, 330~350m, 450~480

1992年12月11日收稿, 1993年4月17日改回。

作者简介: 包惠明, 男, 1963年出生, 硕士, 讲师, 工程地质专业。

m, 600~700 m 处共有五排泉水出露, 泉水流量最大可达 $400\text{dm}^3/\text{min}$ 以上, 这些泉水的出露均与滑坡有关, 大都以滑动带 (或滑床) 作隔水层, 因而长期对滑带土进行软化、泥化作用, 对滑坡稳定性影响较大。

1.2 黄腊石滑坡的特征

通常所说的黄腊石滑坡主要由横坪滑坡和大石板变形体两部分组成 (图 1), 关于黄腊石滑坡的组成, 争议颇大⁽¹⁾。

横坪滑坡平面上呈喇叭状向外撒开, 前缘呈弧形向长江凸出, 滑坡体近南北向展布, 长约 1700 m, 宽约 300~620 m, 体积约 $17\,000\,000\text{m}^3$ 。勘探资料表明, 横坪滑坡滑动面上陡下缓, 最大埋深 102 m, 剪出口在长江枯水位附近 (图 2)。滑坡堆积物具有二元结构, 表层为松散堆积层, 大小混杂, 层序不清; 下层为滑坡碎裂岩层, 层序较清楚。

大石板变形体平面上呈南北向条带展布, 长约 700 m, 宽 250~300 m, 体积约 $4\,000\,000\text{m}^3$ 。

根据勘探资料, 大石板变形体的变形深度一般在基岩与堆积层分界面, 最深可达基岩强风化层。组成变形体的物质主要为崩坡积物和基岩强风化层, 厚一般为 8~30 m (图 2)。

1.3 滑坡变形破坏过程及方式

1.3.1 横坪滑坡 该滑坡的产生主要是由于河流凹岸的作用使坡脚临空, 斜坡岩层在重力作用下产生弯曲变形, 继而产生拉裂, 拉张裂隙扩展过程中与原构造节理以及卸荷裂隙发生追踪变形, 逐步形成追踪滑面。追踪滑面一旦形成, 斜坡体就进入极限平衡状态, 具有一触即发之势, 在暴雨等因素的诱发下, 斜坡体就沿追踪裂面发生急剧下滑破坏。

由此可见, 横坪滑坡变形破坏方式为: 弯曲→拉裂→追踪裂面破坏⁽²⁾。

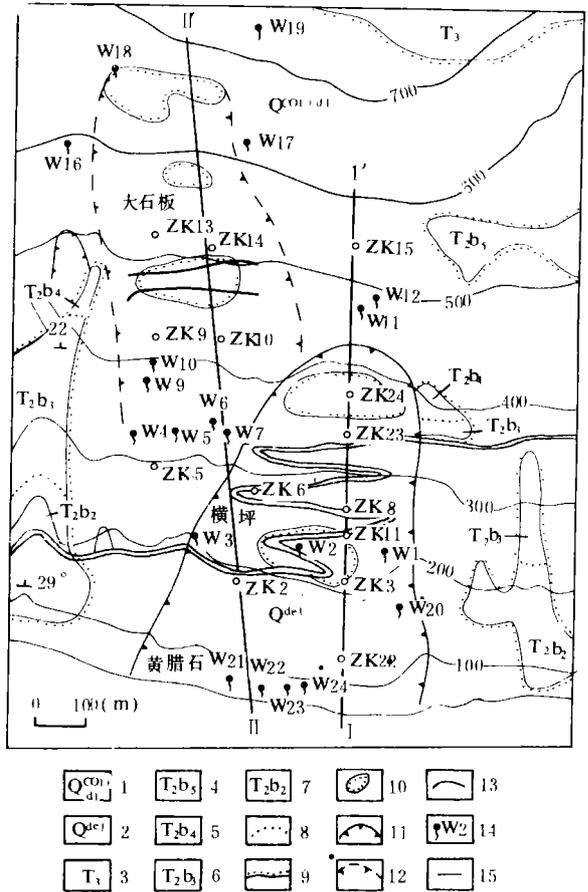


图 1 长江三峡黄腊石滑坡地质图

Fig. 1 The geological map of the Huanglashi landslide in Yangtze River Three-Gorge

1—崩积物-坡积物; 2—滑坡堆积物; 3—香溪群石英砂岩, 下部为炭质页岩、泥灰岩; 4—巴东组五段紫红色砂岩夹泥岩; 5—巴东组四段紫红色泥岩夹砂岩; 6—巴东组三段泥灰岩、泥质灰岩及灰岩; 7—巴东组二段紫红色泥岩夹粉细砂岩; 8—地层分界线; 9—地层不整合界线; 10—平台分布界线; 11—滑坡界线; 12—变形体界线; 13—地表裂缝; 14—泉水及编号; 15—剖面及编号

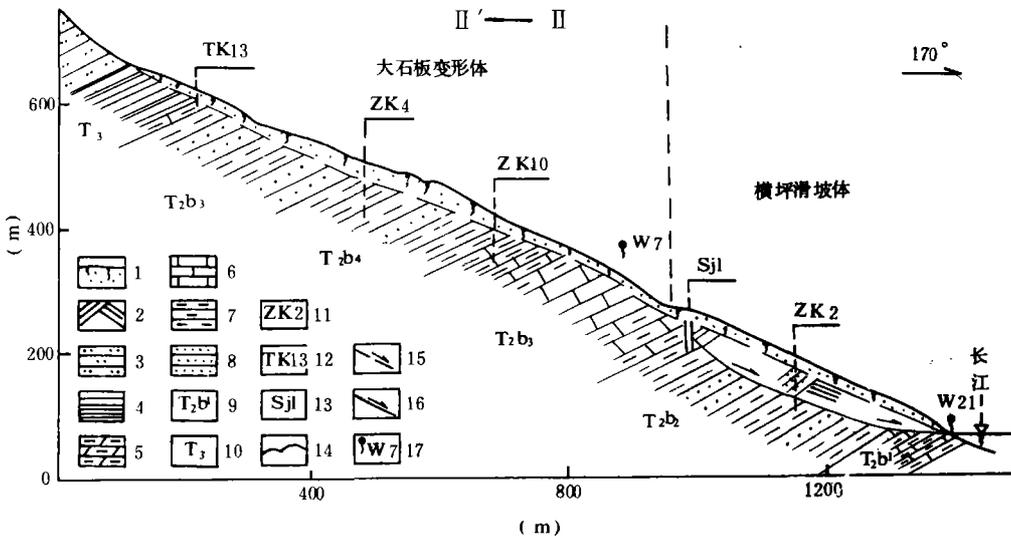


图2 黄腊石滑坡地质纵剖面图

Fig. 2 Geological cross-section of the Huanglashi landslide

1—碎块石及粘性土；2—滑坡碎裂岩；3—灰白色石英砂岩；4—炭质页岩；5—泥灰岩；6—泥质灰岩及灰岩；7—紫红色泥岩；8—紫红色粉细砂岩；9—巴东组代号及岩性段编号；10—香溪群代号；11—钻孔及编号；12—探坑及编号；13—竖井及编号；14—地表裂缝；15—推测滑动面；16—滑动面；17—泉水位置及编号

1.3.2 大石板变形体 该变形体的产生主要是崩坡积物在稳定调整过程中沿基岩面向下蠕动，蠕动时牵引其下伏基岩层，使岩层发生弯曲。岩层弯曲，在斜坡上部转为顺坡向的边坡结构，有利于蠕变的发展。坡体变形的积累，使坡脚和坡肩部位应力集中加剧。在抗拉应力较小的部位因应力集中而发生拉张破坏。1975年在高程560m左右出现一条拉张裂缝，就是这种作用的地面反映。1983年7月，在特大暴雨诱发下，在应力集中部位相继出现拉张裂缝，部分裂缝已贯穿整个变形体，在两侧的裂缝成羽状排列，前缘坡脚处常发生小崩滑，表明变形体变形加剧发展。近年来，坡顶平台后缘裂缝有明显变形现象，中部常发生下陷变形现象，表明变形体变形进一步加剧。

由此可见，目前变形体中已形成坡顶拉张段，中部锁固段和坡脚蠕滑段的潜在剪切滑动面的雏形，一旦锁固段剪断，变形体将急剧滑动破坏。因此，变形体变形破坏方式为：蠕滑→拉裂→剪断复合型。

2 黄腊石滑坡稳定性评价

目前斜坡稳定性评价中，多数是根据计算得的稳定系数值，来说明斜坡的稳定状态和发展趋势。事实上，由于地质条件的复杂性，计算得出的稳定系数值只是相对于平均值的稳定程度。在工程实践中，常出现稳定系数大的斜坡破坏了，而稳定系数小的斜坡反而是稳定的

矛盾现象^①, 故本文采用稳定系数和破坏概率相结合的方法, 评价黄腊石滑坡的稳定性。

2.1 横坪滑坡稳定性评价

2.1.1 稳定系数的确定 根据横坪滑坡的特征及变形破坏的地质模式, 横坪滑坡稳定系数计算采用传递系数法计算, 计算剖面利用主滑剖面 (图 3), 计算指标的确定主要利

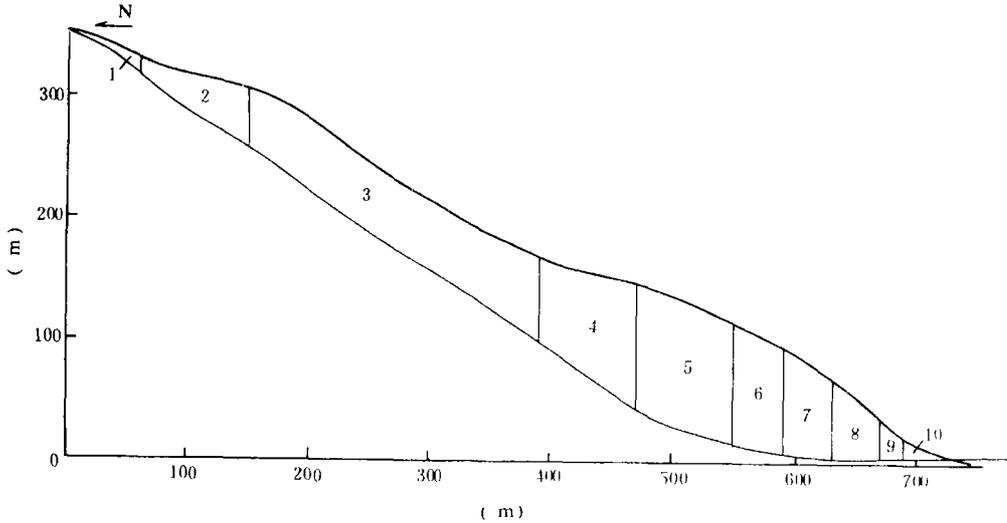


图 3 横坪滑坡计算剖面图

Fig. 3 Section of the Hengping landslide by using calculating

用室内试验结果 (表 1) 和工程类比所定, 其中 C 为 50KPa, Q 为 22° , R 为 $2.26g/cm^3$, 其它计算参数见表 2, 计算结果: 正常水位时, 稳定系数为 1.036; 水位为

表 1 横坪滑坡滑带土的抗剪强度

Table 1 Shearing Strength in the Hengping landslide

土样名称	天然含水量 (%)	天然容重 (g/cm^3)	抗 剪 强 度			
			峰 值	残 余 值		
			C (KPa)	φ (度)	C_1 (KPa)	φ_2 (度)
紫红色砂砾土	11.3	2.21	52	24°	30	21°
黄色亚粘土	15.2	2.19	40	$21^\circ 30'$	28	20°
紫红色砂砾土	13.2	2.08	42	22°	35	$20^\circ 30'$

99.50 m (历史最高洪水水位), 稳定系数为 1.003; 水位为 150 m, 稳定系数为 0.935; 水位为 175 m 时, 稳定系数为 0.913。

2.1.2 破坏概率 影响滑坡稳定性的因素很多, 如内聚力 (C)、内摩擦角(φ)、容重(R)和地下水位(h)等, 滑坡稳定系数(K)可表示为:

^①周叔举等, 边坡稳定性的破坏概率计算与分析. 边坡稳定的岩石力学分析学术讨论会议文集, 1987

$$K = G(\varphi, C, R, h, \dots)$$

式中的计算参数(C, φ , R, ...) 大多是通过测量或试验获得的随机变量, 因此 K 也是随机变量, 设随机变量的密度函数为 $f(K)$, 则滑坡破坏概率(P_f)可表示为:

表 2 横坪滑坡计算数据

Table 2 Calculating data of the Hengping landslide

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
YT (m)	348	326	304	170	149	118	96	72	38	20	8
YB (m)	348	316	358	97	49	19	9	4	3	4	8
YW (m)	348	316	258	97	49	20	10	7	6	6	6
L (m)	50	90	240	80	80	40	40	40	20	32	

$P_f(K < 1) = \int_0^1 f(x) dx$ 实际应用时常运用 (Monte-Carlo) 模拟方法求破坏概率 P_f . Monte-Carlo 法能模拟地产生计算中的参数而不需要通过大量的抽样试验, 其主要步骤为:

(1) 确定随机变量的分布。

在参与横坪滑坡稳定系数计算的参数中, 由于地下水位较深, 多在滑动面以下, 因此, 在破坏概率计算中不予考虑, 此外, 容重对斜坡稳定性影响较小, 在此亦不考虑, 因此, 本次计算仅考虑内聚力和内摩擦角两个随机变量。现有的研究表明, 滑带土的 C、 φ 值近似地服从正态分布。

(2) 对已知分布的随机变量取样。对正态分布的随机变量抽样, Naylor 等(1966) 提出的方程式为:

$$X = (\text{Var} [x])^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{12} R_i - 6.0 \right) + E(x)$$

式中 $\text{Var} [x]$ 为样本的方差

$E(x)$ 为样本的均值

R_i 为 (0, 1) 区间的随机数

利用置换式 $(\text{Var} [x])^{\frac{1}{2}} = V \times E(x)$ 代入上式可得

$$X = \left[1 + V \left(\sum_{i=1}^{12} R_i - 6 \right) \right] E(x)$$

为中 V 偏差系数

根据 Singh 和 Lee (1970) 研究表明, 内聚力和内摩擦角的偏差系数分别为 0.4 和 0.20 因此:

$$C = \left[1 + 0.4 \times \left(\sum_{i=1}^{12} R_i - 6 \right) \right] \times 50$$

$$\varphi = \left[1 + 0.2 \times \left(\sum_{i=1}^{12} R_i - 6 \right) \right] \times 22$$

(3) 破坏概率。将上述式中所得的随机样本值代入稳定系数表达式, 可求出足够数量的稳定系数值。然后求出稳定系数值的分布, 进而求出 P_f 。实际应用中, 如抽

样次数有限, 可将稳定系数小于1的次数除样本的总数, 作为破坏概率。

计算结果, 横坪滑坡的破坏概率为50%, 按瓦特(1976)提出的滑坡概率危险性分级(>60%为高级, 30%~60%为中级, <30%为低级)属中等破坏概率。

2.1.3 稳定性初步评价 综上所述, 在正常水位情况下, 横坪滑坡稳定系数为1.036, 破坏概率为50%, 属中等破坏概率, 滑坡目前整体尚处于稳定状态。

三峡工程兴建水库蓄水后, 滑坡稳定性下降, 按175 m水位方案, 蓄水后滑坡稳定系数为0.913, 有失稳下滑的可能。

2.2 大石板变形体稳定性分析

2.2.1 变形体变形发展特征 大石板变形体自1983年7月出现大量拉张裂缝后, 近年来变形不断发展。1987年雨季后650 m高程处的宋家房舍出现新的拉张裂缝, 裂缝走向N75°E, 宽0.5~2 cm, 中部的裂缝在1988年也发生变化, 下部380 m处的裂隙缝, 据当地群众一年多的观测(印象), 裂缝没有发生变化。

综合前述分析, 变形体目前已进入加速度变形阶段。

2.2.2 变形体破坏时可能剪出口位置 变形体下部为横坪滑坡, 因此其可能主滑方向及剪出口位置, 对横坪滑坡的稳定性影响较大。调查表明, 在330~350 m高程, 泉水呈线状出露, 表明该处地下水隔水层埋深相对较浅。隔水层面的岩土体由于受地下水长期作用, 岩土体发生泥化、软化, 形成相对软弱面, 为变形体剪出口提供优势软弱结构面。钻探表明, 该处基岩埋深较浅, 岩性为 T_2b^3 的灰岩、泥灰岩, 强度相对较高, 变形体下滑时可能因受基岩阻挡而沿基岩面剪出, 另外该地段地形变陡, 具有形成剪出口的优势地形条件和临空条件, 因此变形体失稳下滑, 其剪出口位置可能在330~350 m高程之间, 其主要方向可能为南南东向。

2.2.3 大石板变形体稳定性评价 根据推测的剪出口位置, 利用主剖面, 采用基岩接触带土的长期强度(即 $C=25\text{KPa}$, $\varphi=20^\circ$), 对变形体进行稳定性概算; 变形体稳定系数为1.003, 破坏概率为80%, 表明变形体已处于极限平衡状态。

2.3 大石板变形体破坏时对横坪滑坡稳定性的影响

变形体一旦破坏下滑, 按可能滑动方向估算, 可能涉及横坪滑坡西帮大部分面积。变形体失稳滑动时可能在330~350 m高程剪出, 因此对横坪滑坡的作用主要表现为在滑坡体上加加载和高位能的冲击作用。

对横坪滑坡进行静载分析表明, 变形体有5%的方量加入横坪滑坡, 滑坡体则进入极限平衡状态, 并且随荷载加大稳定系数明显降低, 考虑到所加的荷载具有动荷性质, 再加上高位能的冲击作用, 滑坡稳定性将进一步降低。因此, 变形体一旦破坏, 横坪滑坡有因变形体推动而发生再次活动的可能。

3 黄腊石滑坡稳定性综合评价

(1) 黄腊石滑坡目前尚处于稳定状态, 但上下部分稳定性有差异, 上部变形体稳定系数低, 破坏概率高, 下部横坪滑坡稳定性相对高些, 破坏概率为中级。总体说来, 目前黄腊石滑坡整体稳定性差, 属潜在不稳定型滑坡。

(2) 黄腊石滑坡稳定性发展趋势主要取决于上部大石板变形体的发展趋势, 变形体一旦破坏, 将有整体失稳滑动的可能。

- (3) 黄腊石滑坡失稳滑动的起动方式是大石板变形体先起动, 然后推动下部横坪滑坡体。
(4) 三峡工程兴建水库蓄水后横坪滑坡失稳滑动的可能性增大。

STABILITY EVALUATION OF THE HUANGLASHI LANDSLIDE IN YANGTSE RIVER THREE-GORGE

Bao Huiming

(Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Guilin College of Geology)

Abstract

According to the stability factor and failure probability to evaluate the Huanglashi landslide, it is indicated that the stability factor of Huanglashi landslide is low and the failure probability is high. Huanglashi landslide has possibilities of a loss of stability after water stored in Three-Gorge reservoir.

Keywordw Stability factor; failure probability; landslide; deformation mass; Three-Gorge project; Yangtse River

长江三峡是怎样形成的

长江三峡西起四川奉节的白帝城, 东止湖北宜昌南津关, 全长一百九十三公里。从上到下三个峡, 分别叫瞿塘峡、巫峡、西陵峡。

在距今一亿八千万年的侏罗纪, 川东鄂西一带是一片汪洋大海。侏罗纪后期, 我国东西部发生了一次影响最大的地壳运动——燕山运动, 这个运动使川鄂交界区地壳发生强烈褶皱, 海底崛起, 形成川鄂分水岭。那时(距今七千万年前), 四川还是个内陆湖。分水岭把水流分成两个水系, 西入四川盆地的内陆湖, 东入湖北宜昌附近的湖泊。从此, 地壳结束了海洋的发展史。

到了距今四千万年至三百万年期间, 由于喜马拉雅造山运动的影响, 川鄂一带地壳发生了一次急剧的隆起, 形成裂缝, 江水随裂缝不断往下切, 并产生向下和向两侧的侵蚀作用, 天长日久, 江水切穿了分水岭, 二水合一, 把长江水和四川内湖的水连接了起来。

二水合一以后, 奉节至宜昌一带的地壳仍在间歇性上升, 巨大的江水仍在不断地向下切。因三峡地段是由坚硬的石灰岩组成, 向斜部则是抗蚀力较弱的砂页岩组成, 因此江水下切背斜形成峡谷, 下切向斜处形成宽谷, 日久天长, 河床加深加宽, 陡峭险峻, 奇丽多姿, 形成举世闻名的长江三峡。直到今天, 江水还在继续不断往下切, 只不过是人们觉察不到而已。