

长江三峡库区黄腊石边坡地下水作用规律 与动态稳定性评价

刘 燕¹, 王海平², 蒋永才², 贺可强³

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 济南市市政工程设计研究院, 山东 济南 250002,
3. 青岛理工大学 土木工程学院, 山东 青岛 266033)

摘要: 以黄腊石滑坡为例, 针对地下水在边坡失稳过程中的关键作用, 定量研究地下水渗透力对滑坡稳定性的影响。采用更接近于实际地下水位的渗透力计算方法, 计算了黄腊石边坡地下水渗流场在地下水位变化时的水头分布情况; 并对渗透力进行了计算, 从而定量地分析了地下水对滑坡的作用, 发现渗透力的峰值分布在应力集中的前缘段。在此基础上, 在剩余推力法中引入渗透力的算法, 根据地下水的月平均观测水位, 得出考虑渗透力和未考虑渗透力情况下稳定性系数与时间的关系。发现考虑渗透力的情况下黄腊石边坡稳定性系数有随时间逐渐减小的趋势, 最大降幅可达 0.202 0, 且出现在地下水位迅速降落之时。这说明地下水位突降时, 其引起的渗透压力最大, 且渗透力对黄腊石边坡稳定性的降低作用随时间有增大的趋势。根据地下水的作用机理和渗透力分布的计算分析结果, 结合该边坡的实际情况对黄腊石边坡的防治提出了相应的建议。

关键词: 边坡工程; 黄腊石边坡; 地下水; 渗透力; 动态稳定性

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2005)19 - 3571 - 06

GROUNDWATER ACTION LAW AND EVALUATION ON DYNAMIC STABILITY OF HUANGLASHI SLOPE IN THREE GORGES REGION

LIU Yan¹, WANG Hai-ping², JIANG Yong-cai², HE Ke-qiang³

(1. *Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;*

2. Jinan Municipal Engineering Design and Research Institute, Jinan 250002, China;

3. School of Civil Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: Taking the typical accumulative slope of Huanglashi as an example and considering the special role of groundwater in landslide, the effects of the groundwater seepage on the stability of the landslide are studied quantitatively. The calculating method of seepage is adopted in which the groundwater level approaches to the real situation; and the head of groundwater and the seepage pressure are calculated when the groundwater level changes in the seepage flow field of the Huanglashi slope. Therefore, the role of the groundwater in the Huanglashi slope is quantitatively analyzed. It is found that the maximum value of the seepage pressure is located in the former part of the slope. On the basis of the result, the calculation of seepage pressure is drawn into the Spush method. According to the mean monthly water level, the relationships of the stability coefficient with the time is calculated, respectively, when the seepage pressure is(or not) taken into account. According to the calculation results, the stability coefficient has the decreasing tendency under the periodic action of seepage, and the maximum reduction is seen to be 0.202 0 and it happens when underground water level declines rapidly. It shows that the abrupt decline of underground water level is the most disadvantage factor, and the effect of the seepage

收稿日期: 2005 - 04 - 25; **修回日期:** 2005 - 07 - 12

作者简介: 刘 燕(1978 -), 女, 2001年毕业于山东建筑工程学院建筑工程系建筑工程专业, 现为同济大学博士研究生, 主要从事岩土工程与地下结构方面的研究工作。E-mail: liuyan322@163.com。

pressure on the stability of the Huanglashi slope has increasing tendency. In terms of the former analysis results of the groundwater action law and the distribution of seepage pressure, as well as the actual local situation of the slope, the prevention and control methods are proposed.

Key words: slope engineering; Huanglashi slope; groundwater; seepage pressure; dynamic stability

1 引言

长江三峡库区崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害频繁发生, 其中滑坡灾害对三峡工程和该区人民生命财产安全造成极大威胁, 而三峡大坝蓄水工程将使滑坡危害加剧^[1]。三峡库区大多数滑坡都是以降雨下渗引起地下水状态变化为直接诱导因素的。黄腊石滑坡是三峡库区典型的堆积层滑坡, 1996 年以来对黄腊石滑坡进行了地下水治理并取得了一定的成果, 但随着地质环境和气候环境等的变化, 地下水对边坡的影响存在时间及空间上的变化。因此, 研究地下水对边坡作用的时空效应显得尤为重要。

国内外在地下水对边坡的作用方面作了大量的研究, 主要有: 文[2]对地下水引起的变化的孔隙水压力作用下的边坡破坏机理进行了研究; 文[3]对地下水渗流的程度、范围和速率进行了分析; 文[4]采用Fuzzy数学理论中的Fuzzy测度理论, 对地下水影响下岩质边坡总体稳定性和稳定程度进行预测; 文[5]对分层边坡在水位变化情况下, 进行了模拟实验, 并对这类滑坡中的地下水作用给出了定性解释; 文[6]对三峡库区滑坡防治工程设计中的渗透压力问题进行了研究, 认为渗透压力是库区滑坡防治设计必须考虑的重要因素。

总结前人成果不难发现, 虽然水与边坡稳定性的关系方面取得了一定成就, 但仍有 2 个基本问题^[7]需要解决: 地下水作用机理及其定量评价、水对滑带强度指标的影响。地下水作为一种敏感性因素, 以往大多用静态的观点进行研究。实践中发现, 边坡体内绝大多数地下水位随时间、空间有很大变化。另外, 降雨的大小随时间变化。因此, 很有必要用动态的观点来研究边坡体内的地下水作用, 这样才会更符合实际情况。本文采用改进的剩余推力法, 对地下水渗透作用下黄腊石滑坡群石榴树包滑坡的稳定性, 进行动态的评价。

2 滑坡概况简介

石榴树包滑坡位于长江西陵峡与巫峡之间, 湖

北省巴东县城下游 1.5 km 的长江北岸, 距三峡坝址 66 km, 是黄腊石滑坡群的重要组成部分。该滑坡是发生在三叠系巴东状组中统地层中的切层岩质滑坡, 滑坡物质除少量第四系崩坡积碎块石土外, 主要为散裂结构和碎裂结构岩体; 原岩为三叠系巴东组的红色泥岩、粉砂岩和灰绿色泥灰岩、灰岩经滑动强烈破坏而成, 在总体上仍显示一定的成层性, 地质剖面如图 1 所示。

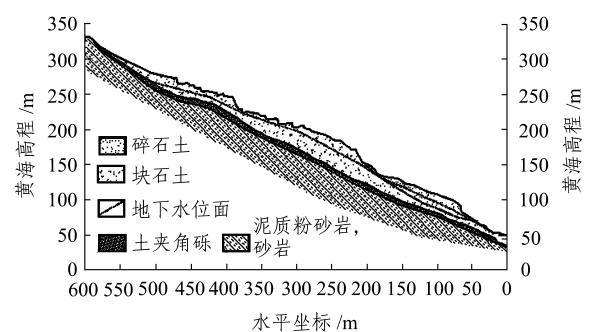


图 1 石榴树包滑坡工程地质剖面图(据湖北省水文队)
Fig.1 Engineering geology section of Shiliushubao Slope (according to the Hubei Hydrological Team)

石榴树包滑坡底界滑带沿滑床界面连续分布, 但厚度变化较大: 最薄 1.0 m, 最厚 4.9 m, 一般 2 m 左右。滑带为土夹角砾, 其物质组成和结构与底界滑带相似。通过整条剖面分析确定的滑床成舒缓波状。

3 剩余推力法(Spush)概述

剩余推力法^[8]作为边坡稳定性计算分析方法, 已经成为工程界普遍采用的方法, 并纳入了边坡计算的规范要求。该方法在计算边坡推力和稳定性时, 假定该滑面取单位宽度, 不计两侧摩擦力和滑体自身挤压力; 滑面按直线计算, 整体呈弧型滑动。

在主滑剖面上取序号为 i 的一个条块分析, 其几何边界与受力情况如图 2 所示, 其上作用有垂直荷载(W_i)和水平荷载(Q_i), 前者诸如重力和工程荷载等, 后者指向坡外的水平方向地震力 K_{wi} 以及水压力 P_{wi} 等。

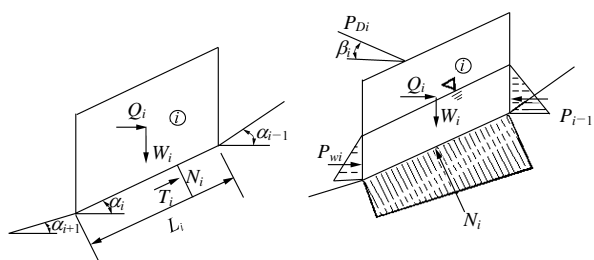


图 2 Spush 法采用的计算模型
Fig.2 Calculation model of Spush method

(1) 第 i 条块的下滑力为

$$T_i = W_i \sin \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (1)$$

(2) 第 i 条块的抗滑力为

$$N_i = c_i l_i + W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (2)$$

(3) 剩余抗滑力为

$$E_i = T_i - N_i = W_i \sin \alpha_i -$$

$$\frac{1}{K_s} (c_i l_i + W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i) + \lambda_i E_{i-1} \quad (3)$$

$$\lambda_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{1}{K_s} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (4)$$

(4) 第 n 条块的稳定性系数为

$$K_n = \frac{N_n}{T_n} =$$

$$\frac{c_n l_n + W_n \cos \alpha_n \tan \varphi_n + E_{n-1} \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n) \tan \varphi_n}{W_n \sin \alpha_n + E_{n-1} \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n)} \quad (5)$$

式(1)~(5)中: E_{i-1} 为第 $i-1$ 条块作用在第 i 条块的剩余推力(kN); E_i 为第 i 条块剩余下滑力的反力(kN); α_{i-1} 为第 $i-1$ 条块的滑面倾角($^\circ$); α_i 为第 i 条块的滑面倾角($^\circ$); P_{wi} , P_{wi-1} 分别为第 i 条块和 $i-1$ 条块的水压力(kN); W_i 为第 i 条块滑体重力及上部垂直荷载(kN); c_i 为第 i 条块的滑面粘聚力(kPa); l_i 为第 i 条块的滑面长度(m); φ_i 为第 i 条块滑面内摩擦角($^\circ$); K_n 为第 n 条块(最后条块)的稳定性系数; K_s 为边坡稳定系数。

4 考虑渗透力的剩余下滑力法

将地下水动力学中的 DuPuit 假定运用到斜坡堆积体潜水运动的分析中。DuPuit 认为对隔水底板水平的潜水层, 当潜水面平缓时, 可以将地下水视为水平流动、等水头面铅直, 含水层的饱和厚度即

可代表地下水的水头。以此为基础可建立描述潜水运动的 Boussinesq 方程, 对水平潜水层进行分析^[9]。把 DuPuit 假定推广到斜坡堆积体中的潜水, 假定地下水流向与潜在滑动面一致, 流网中等势面与潜在滑动面近垂直, 则只要确定了斜坡堆积体中饱和带的厚度, 就可以确定地下水的水头, 并由饱和带的厚度变化确定水力梯度, 计算渗透力。对斜坡堆积体进行条块划分时, 可把等势面作为分界面, 图 3 中的 1, 2 两个等势面, 以分界面处的地下水水头作为水头(h_1 , h_2), 同时假定平均流动途径长度等于分界面在潜在滑动面上的直线距离(L_{12})。这样, 在 1, 2 两个等势面分界面之间, 条块内地下水水力梯度的绝对值为 $j = (h_1 - h_2) / L_{12}$, 而渗透力为

$$J = \gamma_w j V_s = \gamma_w v_s (h_1 - h_2) / L_{12} \quad (6)$$

式中: J 为条块所受到的渗透力, 方向指向斜坡前缘, 与潜在滑动面平行; γ_w 为水的容重; V_s 为条块的饱和面积(单宽体积), 与饱和带的厚度成正比。

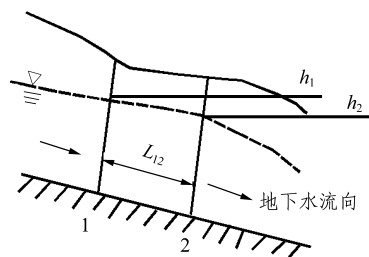


图 3 斜坡条块渗透力计算图
Fig.3 Seepage pressure calculation of the slope slice

对已知滑动体进行受力分析, 作用于滑动体的荷载主要有:

(1) 自重

根据剩余推力法原理, 由滑体条块自重产生的抗滑力为

$$R_i = (\gamma' V_s + \gamma V_{up})_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (7)$$

式中: γ' 为土体的浮重度, γ 为土体的天然容重, V_{up} 为条块的包气带面积(忽略毛细吸力作用)。

(2) 渗透压力

由条块自重和地下水渗透力组合形成的有效滑动力为

$$T_i = (\gamma' V_{sat} + \gamma V_{up})_i \sin \alpha_i + \gamma_w (V_s)_i (h_i - h_{i+1}) / l_i \quad (8)$$

稳定性系数为

$$k = \frac{\sum (\gamma V_s + \gamma V_{up})_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l}{\sum (\gamma V_{sat} + \gamma V_{up})_i \sin \alpha_i + \gamma_w (v_s)_i (h_i - h_{i+1}) / l_i} \quad (9)$$

式中: V_{sat} 为 i 条块地下水面以下的面积(单宽体积); h_i , h_{i+1} 分别为第 i 条块分界面处两侧的地下水水头; c , φ_i 分别为第 i 条块的粘聚力和内摩擦角。

实际计算时采用不断计算剩余推力, 迭代求解稳定性系数的方法。设边坡的稳定性系数为 K , 则第一个条块(滑坡后缘)的有效剩余推力为

$$P_1 = T_1 - R_1 / K = [(\gamma V_{sat} + \gamma V_{up})_1 (\sin \alpha_1 - \cos \alpha_1 \tan \varphi) - \gamma_w (V_{sat})_1 h_1 / l_1 - c_1 l_1] / K \quad (10)$$

中间第 i 条块的有效剩余推力

$$P_i = P_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) + T'_i - [R_i + P_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi] / K \quad (11)$$

利用最后一个条块(滑坡前缘)重新计算稳定性系数为

$$K = \frac{P_{n-1} \sin(\alpha_{n-1} - \alpha_n) \tan \varphi_n + R_n}{P_{n-1} \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n) + T_n} \quad (12)$$

如果该 K 值与先前设定值相差超过容许程度, 调整 K 值重新计算, 直到最后误差达到最小。

黄腊石滑坡群处于六度地震区, 可不考虑地震力的作用。

5 渗透力计算结果

根据石榴树包滑坡的工程地质情况, 取自 1996 年石榴树包滑坡采取排水治理以来地下水位最高值 1998 年 7 月的地下水位为例。土条划分和渗透力计算结果如图 4, 5 所示, 渗透力方向近似与基岩面平行。

由于滑带土成分复杂, 而试验值离散性较大, 因此以敏感性分析结果为基础, 以模糊数学方法为手段, 类比得出石榴树包滑坡体滑带土的力学参数。粘聚力 $c = 30 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 32.8^\circ$ 。

滑体土和基岩的力学指标选用中国环境监测院的反分析结果(见表 1)。其中, E 为弹性模量; μ 为泊松比; γ 为重度。

由计算结果可以得出以下规律:

(1) 在地下水水头高(图 5 中的⑧点处水头达到最高 26.78 m)的地方, 其相应的渗透力并非最大, 是因为渗透力的大小不仅与水头有关, 更重要的是

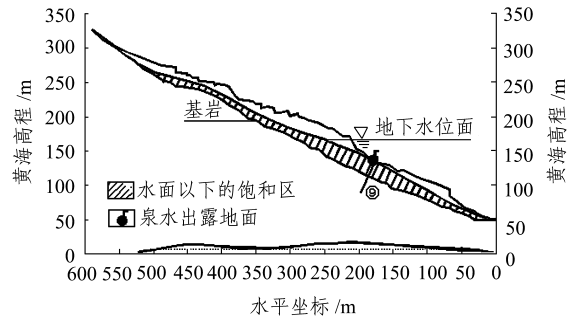


图 4 1998 年 7 月地下水压力水头分布图
Fig.4 Groundwater level distribution in July, 1998

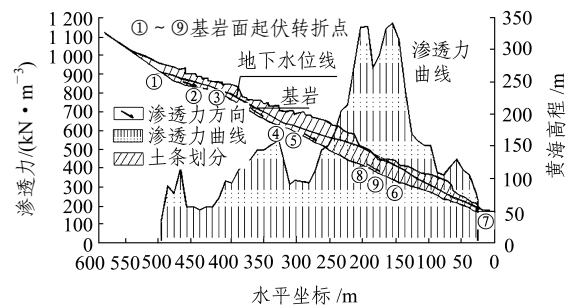


图 5 渗透力计算结果
Fig.5 Calculation results of seepage pressure

表 1 石榴树包滑坡及滑体物理力学参数表(据中国地质环境监测院)

Table 1 Physical and mechanical parameters of the Shiliushubao landslide(according to the Geologic Environment Monitor Institute of China)

土体性质	$E / 10^4 \text{MPa}$	μ	c / kPa	$\varphi / (^\circ)$	$\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	
					自然	饱和
滑带土	0.010	0.35	30	32.8	20.0	22.0
滑体土	0.100	0.35	50	40.0	20.2	22.4
基岩	2.317	0.22	100	45.0	25.0	26.0

与力坡降和土体的渗透性有直接的关系。在⑧点处有泉水涌出, 因而地下水的流动阻力有所降低, 故消耗了一部分渗透压力, 所以, 在⑧点处渗透压力并未达到最大值。

(2) 由图 5 可以看出, 石榴树包滑坡渗透力的大小与地下水位、基岩面缓倾程度等有关系。在基岩面平缓段(如图 5 的①~②; ③~④; ⑤~⑥段), 水力坡降变化不大, 渗透力沿基岩面从上向下逐渐增大; 在前缘接近地下水渗出点(图 5 中的⑦点)处, 渗透力逐渐减小直至 0; 与地下水位呈较好的趋势吻合性。

(3) 石榴树包滑坡基岩地势呈阶梯状, 由于滑体土的相对均匀性, 渗透压力总体也呈现阶梯状上升趋势, 在接近江面处逐渐减小。

(4) 在平缓段较长的前缘(图 5 中的⑤~⑥)段, 渗透力达到最大 1 092.11 kN/m³, 这种分布对滑坡的稳定最不利。如果不进行适当的治理, 极易引起前缘滑动, 而牵引后缘滑体引起大规模滑坡。

根据渗透力的以上分布规律, 渗透力的峰值分布在应力集中的前缘段, 由此可以推断石榴树包滑坡治理的重点在于滑坡前缘。

6 稳定性系数计算结果

将以上渗透力的计算方法, 运用于有效应力的剩余推力法, 根据地下水水位月平均资料, 取时间段 $\Delta t = 30 \text{ d}$ 计算其稳定性系数与时间的关系。

(1) 由图 6 的计算结果可知, 稳定性系数对渗透力的作用非常敏感, 最大降幅可达 0.202 0(1998 年 8 月), 考虑渗透力作用时, 稳定系数普遍低于不考虑渗透力时的情况, 最小降低值也在 0.0837(1998

年 4 月)。说明石榴树包滑坡的稳定性受渗透压力影响较大。

(2) 考虑渗透力和不考虑渗透力 2 种情况下, 石榴树包滑坡的稳定性系数均表现出周期性的特点, 且稳定性系数的变化与地下水水位的变化密切相关。地下水位的峰值期稳定性系数最小。可以看出, 地下水是影响石榴树包滑坡稳定的最不利因素。

(3) 考虑渗透力时稳定性系数明显下降, 其降低程度依据地下水水位的变化而定, 变幅在 0.083 7~0.202 0, 当地下水位由于短时强降雨快速增长时, 此时渗透力随之增大, 稳定性系数也相应减小; 降雨过后, 由于石榴树包滑坡的较好的渗透性, 地下水水位迅速下降, 造成较大的渗透压力, 所以此时的稳定性系数较不考虑渗透力时增长趋势缓慢。

(4) 由计算结果可知, 当地下水位迅速降落时, 渗透力的影响较大。在图 7 中出现三个峰值区, 分别为 0.202 0; 0.131 2 和 0.135 7, 即渗透力对边坡稳定是最不利的。此时由于先前的高水位使得滑体处于饱和半饱和状态, 自重增大, 且滑面土体软化强度降低, 因此, 此时的稳定性将进一步减小, 应特别予以重视。

(5) 取 1997 年不考虑渗透压力时的稳定性系数 K_2 与考虑渗透压力的稳定性系数 K_1 之差 ΔK_{97} 的平均值 $\overline{\Delta K}_{97}$ 作为参考值, 在图上标出水平参照线(见图 7)。每年的 $\overline{\Delta K}$ 与 $\overline{\Delta K}_{97}$ 之差可以看作渗透力对稳定性的贡献, 差值越大说明渗透力的影响越大, 对滑坡稳定越不利。由图 7 的参照线还可看出, 渗透力的影响有逐渐增大的趋势。这种趋势将会使渗透力在石榴树包滑坡稳定中的影响逐渐增大, 因而, 必须在滑坡治理设计中引起足够的重视。

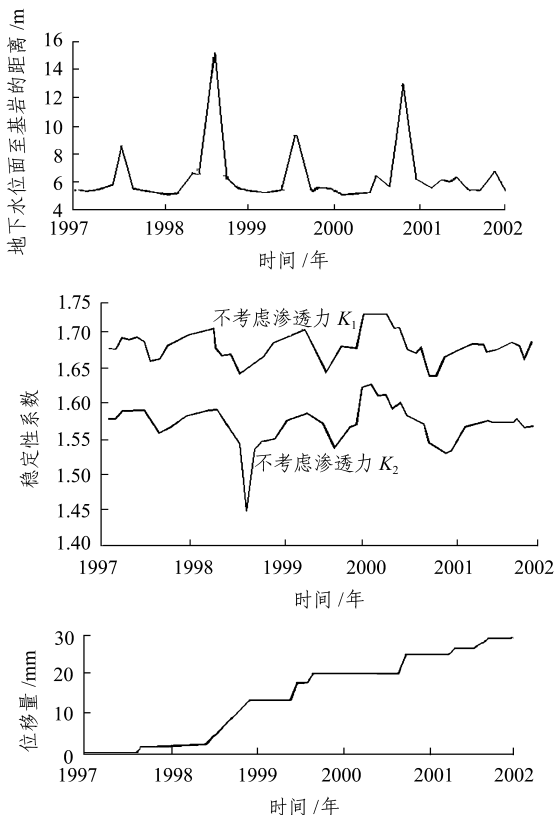


图 6 地下水水位、稳定性系数及某监测点水平位移与时间的关系

Fig.6 Relationships of the groundwater level, stability coefficient, horizontal displacement of a monitoring point and time

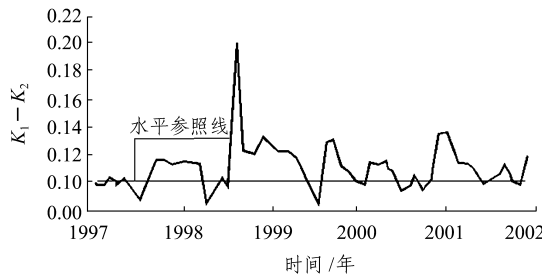


图 7 不考虑渗透压力时的稳定性系数(K_2)与考虑稳定性系数(K_1)之差 ΔK

Fig.7 Margin ΔK of the stability coefficients with/without considering the seepage pressure

(6) 根据石榴树包滑坡观测资料(见图 6), 后缘

某监测点 1997~1999 年总位移为 21 mm, 2000 年位移为 5 mm, 2001 年位移为 7 mm, 均发生在地下水涨落期间。石榴树包滑坡多年以来变形持续发展, 尤其是丰水年(1998 年)变形呈加剧之势。1998~1999 年石榴树包滑坡地表、地下深部均变形明显。总体上, 其上部平台前缘及前缘临江段变形速率高于中部, 应引起足够重视^[10]。

7 减小渗透压力的防治措施

(1) 减少雨水入渗

为避免强降雨引起的地下水位变幅过大导致产生较大的渗透压力, 须采取地表排水措施, 从而降低地下水位, 减小渗透力对稳定性的降低作用。

(2) 降低地下水位

为有效降低地下水位, 采取地下排水井和排水洞结合排水, 减少坡面入渗的同时, 降低地下水的不利作用。

(3) 增设降压井和连通井

由于渗透压力在前缘平缓段达到最大值, 降压井应主要设置在前缘区域。此外, 为了减小地下水位波动, 减小渗透压力的周期性作用, 可以采用连通井使得潜水与基岩下的无压水面连通, 经验证^[11], 石榴树包滑坡混合水位年变幅仅为 3.42 m。

8 结 语

根据以上地下水渗透力对黄腊石边坡滑坡稳定性的研究, 可以得出以下结论:

(1) 通过对渗透力的计算, 发现渗透力的峰值分布在应力集中的前缘段, 因此前缘段是治理的重点, 应引起重视。

(2) 考虑渗透力的情况下, 黄腊石边坡稳定性系数有随时间逐渐减小的趋势, 渗透力对黄腊石边坡稳定性的降低作用随时间有增大的趋势。地下水在边坡稳定性中将起越来越关键的作用。

(3) 由于渗透力对稳定性的作用有增大的趋势, 所以, 在丰水季节和库水位涨落期及其工况组合下的稳定性需进行进一步的研究。

参考文献(References):

[1] 王尚庆. 长江三峡滑坡监测预报[M]. 北京: 地质出版社, 1999.(Wang Shangqing. The Monitoring and Prediction of the Slopes

in the Three Gorges Region of Yangtze River[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.(in Chinese))

[2] Picarelli L, Urciuoli G, Russo C. Effect of groundwater regime on the behavior of clayey slopes[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41(3): 467 - 484.

[3] Uchida T, Asano Y, Ohte N, et al. Seepage area and rate of bedrock groundwater discharge at a granitic unchanneled hillslope[J]. Water Resources Research, 2003, 39(1): 10 - 18.

[4] 李文秀, 梁旭黎, 赵胜涛. 地下水影响下裂隙岩质边坡变形的Fuzzy测度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(2): 302 - 306.(Li Wenxiu, Liang Xuli, Zhao Shengtao. Fuzzy measures analysis for displacements and deformations of jointed rock slope under influence of groundwater[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(2): 302 - 306.(in Chinese))

[5] 张均锋, 孟祥跃, 朱而千. 水位变化引起分层边坡滑坡的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16): 2 676 - 2 680.(Zhang Junfeng, Meng Xiangyue, Zhu Erqian. Testing study on landslide of layered slope induced by fluctuation of water level[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2 676 - 2 680.(in Chinese))

[6] 殷跃平. 三峡库区地下水渗透压力对滑坡稳定性影响研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(3): 1 - 8.(Yin Yueping. Seepage pressure effect on landslide stability at the Three Gorges Reservoir Area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14(3): 1 - 8.(in Chinese))

[7] 张作辰. 滑坡地下水作用研究与防治工程实践[J]. 工程地质学报, 1996, 4(4): 80 - 85.(Zhang Zuochen. Mechanism of groundwater effect landslide stability and control construction[J]. Journal of Engineering Geology, 1996, 4(4): 80 - 85.(in Chinese))

[8] 王永平, 刘红星. 引入渗透力对边坡稳定性的分析[J]. 人民长江, 2002, 33(6): 19 - 21, 27.(Wang Yongping, Liu Xinxing. Analysis on sideslope stability in consideration of seepage force[J]. Yangtze River, 2002, 33(6): 19 - 21, 27.(in Chinese))

[9] Bear J. Dynamic of Fluids in Porous Media[M]. Amer: Elsevier Publishing Co., 1972.

[10] 聂邦亮, 杨宜军, 陈雪王, 等. 长江三峡黄腊石滑坡监测阶段性总结报告[R]. 武汉: 湖北省地质灾害防治工程勘察设计院, 黄腊石滑坡监测站, 2000.(Nie Bangliang, Yang Yijun, Chen Xuewang, et al. The staggered summarizing lecture of Huanglashi landslide monitoring in the Three Gorges Area of Yangtze River[R]. Wuhan: Geologic Disaster Prevention Engineering Exploring and Design Institute in Hubei Province, Monitoring Department of Huanglashi Landslide, 2000.(in Chinese))

[11] 陈崇希, 成建梅. 关于滑坡防治中排水模式的思考[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(6): 628 - 630.(Chen Chongxi, Cheng Jianmei. A new idea about drainage pattern in landslide prevention and treatment[J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(6): 628 - 630.(in Chinese))