

黄土边坡及其稳定分析图简介

周欣华 党进谦 李 靖

(西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 分析黄土滑坡与岩性的内在关系及其影响因素表明, 滑坡范围随地震烈度、孔隙水压力系数、粘聚力的增大而增大, 随土体内摩擦角的增大而减小; 采用简化毕肖普法, 借助计算机, 获得了简捷明快、使用方便的稳定分析图表。

关键词 黄土边坡, 边坡稳定性, 影响因素

分类号 TU 432

滑坡和滑塌是黄土重力侵蚀产沙的主要方式。每年黄土高原输入黄河泥沙 16 亿 t^[1], 使黄河下游成为闻名于世的地上悬河, 危及两岸千百万人民的生命及财产安全。另外, 滑坡也为山区另一自然灾害——泥石流的发生提供了大量的物质源。因而, 充分认识黄土边坡的特点, 对黄土边坡进行稳定分析尤为重要。

在黄土地区, 边坡稳定分析采用最多的方法是建立在极限平衡理论基础上的条分法^[2]。在该地区进行中小型工程设计及边坡稳定分析时, 大多仍延用已有稳定图表。由于黄土岩性的特殊性 & 地形地貌的复杂性, 现有图表还不能完全满足要求。因此, 针对黄土地区的具体情况, 进一步完善稳定图表分析方法就显得很有必要。

1 黄土边坡的特点

黄土是第四纪的沉积物, 垂直节理发育, 具有较强的结构性; 胶结物质形成的加固粘聚力是其强度的主要组成部分^[3]。受干旱影响, 黄土天然含水量普遍较低, 强度较高, 高陡的黄土边坡十分普遍。由于黄土颗粒间的胶结物质耐水性差, 土体含水量增大就会弱化加固粘聚力的作用, 使黄土的强度降低, 乃至出现许多工程破坏。

黄土沟谷塬地地形陡峭, 多大于 30°; 沟谷切割深度常在数十米^[4], 另外黄土沟谷的坡脚因受水流侵蚀, 岸边形成陡崖斜坡, 稳定性差。黄土岩性及地形地貌的这些特性决定了黄土边坡的特点:^① 人工开挖边坡高陡, 植被条件差, 常受雨水剧烈冲刷, 坡肩受雨水入渗影响; ^② 受地表径流冲刷, 黄土边坡多有冲沟、陷穴等; ^③ 土层中裂隙较发育, 使黄土边坡的整体强度差; ^④ 随自然条件的变化, 黄土边坡易发生剥落; ^⑤ 黄土滑坡变形急剧, 滑动速度快, 发生频次高, 分布群集, 常属老滑坡局部复活; ^⑥ 黄土滑坡规模和动能大, 破坏力强, 灾害损失惨重。

黄土滑坡的滑动面上部受黄土节理和裂隙影响, 其形状多为上陡下缓的折曲园弧型, 与园弧型极为接近。因此, 对黄土边坡而言, 假定滑动面为圆弧, 用简化毕肖普法分析其稳定性是比较理想而符合实际的。

收稿日期 1998-06-16

课题来源 国家教委留学生基金资助项目, 教留司研(1991)408

作者简介 周欣华, 女, 1972 年生, 硕士, 现在长江科学院土工所工作(武汉, 430010)

2 黄土边坡稳定性的影响因素

2.1 内在影响因素

(1) 地质构造 在黄土分布区, 由于新构造运动的间歇性、差异性上升, 形成了特殊的黄土台塬及黄土梁, 强烈的河流下切及后期黄土的堆积, 形成高陡的边坡外形, 为滑坡的产生提供了动力条件; 各种构造结构面(层面、断层面、节理面、不整合面等)控制了滑坡滑动面的空间位置及滑坡的时空分布。

(2) 黄土岩性 黄土岩性是影响坡体稳定性的主要内在因素。黄土结构疏松, 孔隙发育, 多大孔隙; 颗粒分选良好, 以接触胶结型为主; 垂直节理发育, 透水性强, 富含碳酸盐, 遇水浸湿后强度显著降低。而且, 在黄土边坡上, 受风化、卸荷和植物作用, 黄土边坡易被冲蚀破坏, 引起边坡失稳。

黄土的强度指标 c , φ 值对边坡最危险破坏面的影响如图 1、图 2 所示。由图可知, 当 φ 值一定时, 危险滑弧随 c 值的增大而向深远方向发展。也就是说, 坡体如果失稳, 滑坡范围将随 c 值的增大而增大。而当 c 值一定时, 随着 φ 值的增大, 危险滑弧则逐渐上移, 滑坡范围将随 φ 值的增大而减小, 也可以说, 深层滑坡的土体, φ 值一般比较小, 而浅层滑坡则相反。因为, 当 φ 值一定时, c 值越大, 抗滑力越大, 坡体如果失稳, 危险滑弧向深远方向发展, 下滑力增大; 当 c 值一定时, 滑坡范围小, 滑动面上的法向分力小, 抗剪强度小, 坡体的稳定差。

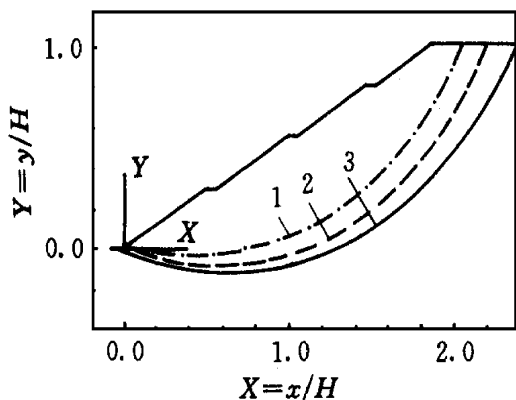


图 1 不同 c 值情况下的危险滑弧

1. $c = 50$ kPa; 2. $c = 110$ kPa; 3. $c = 170$ kPa

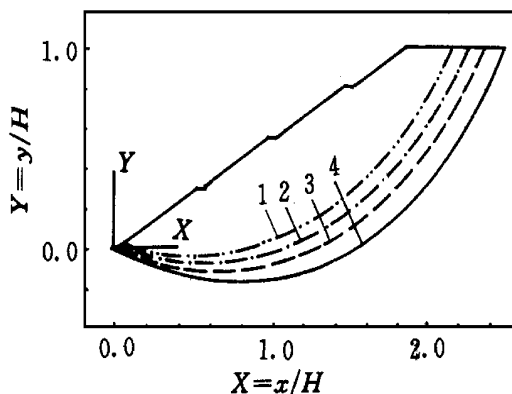


图 2 不同 φ 值情况下的危险滑弧

1. $\varphi = 35^\circ$; 2. $\varphi = 25^\circ$; 3. $\varphi = 15^\circ$; 4. $\varphi = 5^\circ$

(3) 地形地貌 地形地貌是滑坡发育的因素之一。沟谷的发育和切割程度直接影响滑坡的发生和发展, 一般沟谷越发育, 切割越严重, 滑坡就越多。黄土沟谷地形坡度陡峭, 沟谷切割较深, 沟谷的谷缘线以下地形坡度接近或大于黄土内摩擦角, 斜坡稳定性差。这种独特的黄土侵蚀地貌为滑坡的产生提供了场所。

2.2 外部影响因素

(1) 水的作用 地表水入渗和地下水位上升, 一是造成沟谷地表侵蚀严重, 使边坡稳定性减弱; 二使黄土含水量增大, 胶结物质形成的加固粘聚力减弱, 易产生滑坡; 三是水的

浸润使滑动面上岩土软化和水解,降低滑动面土的抗剪强度;四是降水渗入坡体,增加上覆土体重量,地表水沿黄土裂隙或节理下渗,往往在斜坡局部地区形成较高的水头,使土体内的静水压力和动力压力增高,引起土体下滑力的增大。

经系统计算,黄土边坡的最危险滑弧随着孔隙水压力系数(r_u)的增大逐渐向深远方向发展(图 3)。即如果坡体失稳,滑坡范围将随孔隙水压力系数的增大而增大。即在 c, φ 值相同的条件下,孔隙水压力系数越大,坡体的稳定性越差。

(2) 地震作用 地震是边坡失稳的重要诱发因素^[5]。由于黄土岩性松软,斜坡临空面大,受地震惯性力的作用,土体结构遭到破坏,从而丧失抗剪强度而滑坡。计算表明,随地震烈度的增大,滑裂面向土体深远方向发展,即滑坡范围随地震级数的升高而增大。

(3) 人为活动因素 人类活动是触发滑坡的一个重要因素^[5]。蓄水建筑物的大量渗漏,长期灌溉水下渗,引起地下水位大幅度上升,使塬边泉水流量增大,泉眼增多,斜坡土体强度降低,可能产生区域性滑坡或坍塌,或引起老滑坡体的复活;在坡脚开渠、修路、平地或开挖用土等,切减支撑土体,增陡自然坡面,使边坡失稳;人们大肆毁林毁草,修反坡梯田等,使地表水入渗量增高,亦加速坡体向失稳状态发展。

3 黄土边坡稳定性分析

3.1 稳定图计算原理

将简化毕肖普公式中的水平作用力项移到等式的右边,并将其化为无因次方程,可得:

$$\sum Q_i \frac{e_i}{R} = \sum \frac{\gamma H b_i}{\cos \alpha + \frac{\tan \varphi'_i}{F_s} \sin \alpha} \left[\frac{c'}{\gamma H F_s} + (1 - r_u) \frac{h_i}{H} \frac{\tan \varphi'_i}{F_s} \right. \\ \left. \frac{h_i}{H} \sin \alpha (\cos \alpha + \frac{\tan \varphi'_i}{F_s} \sin \alpha) \right] \quad (1)$$

由该式可知,当坡比 s 一定时,在不同的水平作用力 Q_i 及孔隙水压力系数 r_u 情况下, $\frac{c'}{\gamma H F_s}$ 与 $\frac{\tan \varphi'_i}{F_s}$ 存在着——对应的关系,从而可实现不同 s, r_u, Q_i 下的 $\frac{c'}{\gamma H F_s} - \frac{\tan \varphi'_i}{F_s}$ 关系曲线图,为稳定图解法奠定了理论基础。

3.2 稳定图表的实现

稳定图表以(1)式为基础,应用 Stab 软件^[6]进行大量系统计算而绘制。按地震烈度(0, 7, 8, 9)、孔隙水压力系数(0.0, 0.25, 0.5)以及孔隙水压力近似静压分布 4 种情况,共绘制稳定图 4 组 16 张,图 4 为地震烈度 $q = 8^\circ$ 孔隙水压力系数 $r_u = 0.5$ 的稳定图。黄土边坡坡比设定为 $0.4 \leq s \leq 3.7$,本文计算分 $s = 0.4 \sim 3.7$ 为 10 个坡比,其他可用内插法求

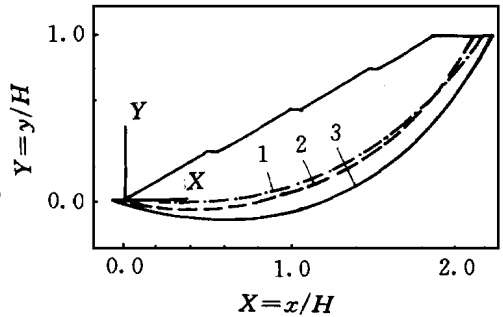


图 3 不同 r_u 值情况下的危险滑弧

1. $r_u = 0.0$; 2. $r_u = 0.25$; 3. $r_u = 0.5$

得。稳定图的纵坐标 $M = \frac{c}{\gamma H F_s}$ ，横坐标 $N = \frac{\lg \varphi}{F_s}$ ，图中曲线为 s, q, r_u 一定时的稳定曲线。稳定图的使用见文献[7]。

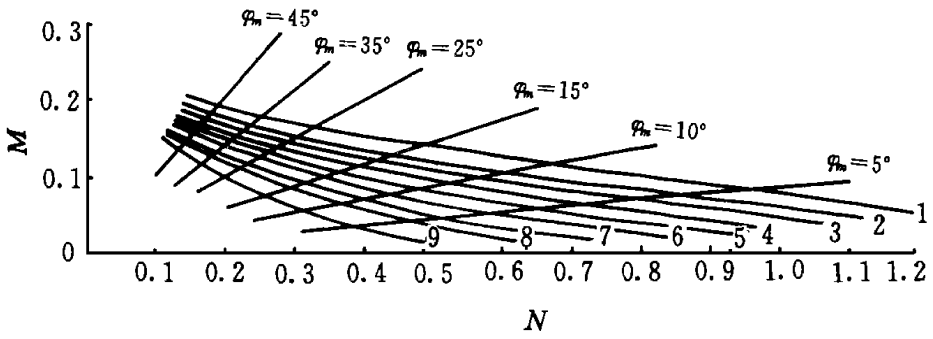


图 4 稳定图表($q = 8; r_u = 0.5$)

1. $s = 0.6$; 2. $s = 0.8$; 3. $s = 1.0$; 4. $s = 1.2$; 5. $s = 1.4$; 6. $s = 1.7$; 7. $s = 2.1$; 8. $s = 2.7$; 9. $s = 3.7$

利用该稳定图表，无论是已知坡比求安全系数 F_s ，还是已知安全系数求坡比 s ，都不需经过试算，可一步到位，克服了已有图表尚需试算的缺陷。实例验证表明，该稳定图使用方便，步骤简单。

参 考 文 献

1 李昭淑. 黄土高原滑坡及其利用的探讨. 灾害学, 1990, 5(2): 41 ~ 46
2 胡再强, 刘祖典. 铜川川口滑坡治理稳定分析. 西北水资源与水工程, 1994, 4(1): 57 ~ 60
3 刘祖典. 黄土力学与工程. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997. 6 ~ 10
4 秦志学. 黄河流域滑坡的发育规律. 见: 滑坡文集编委会编. 滑坡文集, 第 8 集. 北京: 中国铁道出版社, 1991. 92 ~ 95
5 雷祥义. 陕西关中人为黄土滑坡类型的研究. 水文地质工程地质, 1996(3): 36 ~ 39
6 陈祖煜. 土质边坡稳定分析程序 STAB95 使用手册. 中国水利电力科学研究院, 1994
7 李 靖, 周欣华, 党进谦. 黄土边坡稳定性图解法. 岩土工程学报, 1998, 20(4), 40 ~ 43

Loess Landslide Slope and Introduction of Stability Figure

Zhou Xinhua Dang Jinqian Li Jing

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwestem Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract Analysis of the inter-velution ship and its influence factor between Loess landslide slope failure and charecterisitics of soil and rock mass show that the range of landslide slope failure enlarges with the development of earthquake intensity, coeffient of pore pressure and cohesion. It delarges with the development of angle of internal friction; Use simplicity bishop method and computer to get simplicitely and quickly usable stability anlytic figures and data table.

Key word Loess landslide slope, stability, of landslide stoep, influence factor