

双坡面临空岩质边坡滑动破坏模式下的稳定性分析

周应华, 周德培, 邵江

(西南交通大学土木工程学院 四川 成都 610031)

摘要: 多数岩质边坡稳定性分析已基本解决了常走向单坡面临空的边坡平面滑动问题。然而, 在路堑边坡工程和自然边坡中有很多边坡坡面并不是平面, 它包含多个坡面。多坡面边坡包含两个或多个不同走向的坡面。多坡面边坡几何特征不同于单坡面边坡, 所以滑动条件也不一样。在赤平投影图上, 多坡面的滑动包络线是组成边坡的每个坡面单独投影包络线的组合。为了探讨方便, 只讨论了双坡面临空岩质边坡的滑动破坏模式, 并将其分为双坡面临空下的平面破坏和楔形体破坏。在赤平投影图上, 双坡面滑动区域定义为双坡面边坡滑动包络图中两侧坡面的真倾线之间的面积。如果有一两个节理面真倾向线落在滑动区内, 滑动破坏才可能发生。

关键词: 双坡面临空边坡; 单坡面临空边坡; 岩质边坡; 赤平投影; 稳定性分析

中图分类号: P642

文献标识码: A

在岩质边坡中, 岩体的失稳与破坏主要受岩体内结构面的控制, 它们相互之间的分布位置、组合关系(包括自然边坡或边坡开挖面的产状)和结构面的力学参数等, 对边坡的稳定都起着至关重要的作用。赤平投影方法正是基于这一点进行的, 应用这种方法可以帮助地质和工程技术人员对边坡的稳定性做出快速、定性的判断。

目前, 对岩质边坡的研究已基本解决了常走向单坡面临空的边坡平面滑动问题。然而, 在路堑边坡工程和自然边坡中有很多边坡坡面并不是平面。多坡面边坡包含两个或多个不同走向的坡面。对于两个或多个坡面临空的岩质边坡可能的破坏模式和稳定性分析资料却很鲜见。本文结合工程实践, 对有两个坡面临空的岩质边坡可能的破坏模式进行分析并利用赤平图对其稳定性进行评价。

1 单坡面临空岩质边坡滑动破坏

在此先回顾一下单一坡面临空的岩质边坡滑动

的情况, 对于上述单一坡面临空的滑动稳定性评价, 文献[1]中介绍了由Mackland和Hocking提出的用赤平投影图, 来判别在内聚力等于零的情况下发生平面破坏和楔形体破坏的可能性的方法, 其破坏模式与相应的结构面赤平投影图的对应关系可以概括为图1^[1]。在这种类型的边坡中只有一个临空面, 就是路堑开挖形成的坡面。其中图1(a)为平面破坏, 工程中易产生滑动破坏的顺层边坡就属于这种类型, 这种例子在顺层岩质边坡^[2,3]中很常见。图1(b)为楔形体破坏, 是两组以上结构面切割岩体形成的岩石块体沿结构面的交线下滑, 这种破坏形式在构造运动强烈的硬质岩石边坡中较为常见。同时Hoek和Bray^[1]给出了考虑内聚力、假定后缘有直立的张裂缝, 且滑动面及张裂缝的走向平行于坡面的平面破坏的安全系数, 和考虑内聚力和水压在楔形体破坏的安全系数详细计算公式。

在平面破坏和楔体破坏两种类型中, 其失稳或滑动的判别原则一般可简单归纳为: $\beta_p \geq \beta \geq \phi$ (图2), 其中 β 为结构面(或某两组结构面交线)的倾

收稿日期(Received date): 2006-01-11; 回收日期(Accepted): 2006-03-15.

基金项目(Foundation item):

作者简介(Biography): 周应华 简介: 男, 1976年生, 江西新建县人, 现为西南交通大学博士研究生, 主要从事岩土工程方面的研究和学。

[Zhou Yinghua(1976-), male doctor candidate with main research on geotechnical engineering]

角, β_p 为边坡面的视倾角 (考虑边坡的倾向与滑动方向并不完全一致, 而是有一个交角的情况), ϕ 为结构面的摩擦角。特别值得指出的是, 这一可能滑动的条件只考虑了结构面的摩擦角。如果有粘聚力存在的情况, 可以按照等代摩擦角的概念综合考虑粘聚力的影响。如果结构面或者两组结构面交线的倾向为 α_j , 倾角为 β_j , 坡面的倾向和倾角为 α_p 和 β_p , 则边坡面的视倾角可用下式表示

$$\tan\beta_p = \cos(\alpha_j - \alpha_p) \tan\beta_j \quad (1)$$

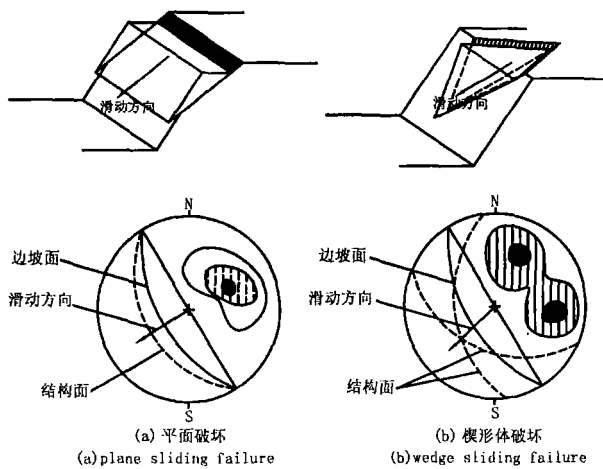


图 1 单一坡面临空的岩质边坡的破坏模式及其构造条件的赤平图

Fig 1 Sliding modes of single faced and stereographic projection of rock slope

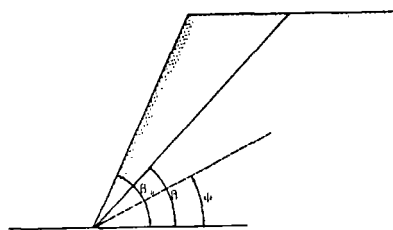


图 2 平面滑动和楔形体破坏的条件
Fig 2 Criterion for plane sliding failure and wedge sliding failure

由此可见, 单一坡面临空的滑动稳定性评价到目前为止已经比较成熟, 但是对双坡面临空的岩质边坡滑动稳定性却鲜有报道, 下面尝试对双坡面临空的岩质边坡滑动稳定性分析, 以求抛砖引玉。

2 双坡面临空岩质边坡滑动稳定性

在公路、铁路和水电等工程建设中遇到的许多

路堑边坡不止一个坡面临空, 比如说常见有一边是开挖面, 另一边是冲沟形成两坡面临空的情形。另外, 有很多边坡坡面不是平面的, 这对应用上述理论也会造成一定的困难。多坡面临空的边坡包含两个或多个不同走向的临空坡面。多坡面边坡几何特征不同于单坡面边坡, 所以滑动条件也不一样。

为了简便起见, 在此仅考虑双坡面临空的情形, 并且将两个临空面都假定为平面, 其破坏模式可以概化为图 3^[4]。很明显, 图 3 所示的两种破坏形式的稳定性分析都是三维问题, 无法处理成平面问题, 这给其稳定性评价带来了一定的困难。

笔者对这两种破坏模式的稳定性分析建议两种处理方法: (1) 三维数值分析; 这种处理方法可以较好地真实地反应原始的地形地貌, 只要岩体参数选择得当, 得出的结果因该是最精确可靠的, 但是数值计算费时费力, 而且对设计人员的计算机技能方面的要求很高, 就目前一般生产单位的条件来讲, 推广这种方法还存在相当大的难度, 对重大工程建议使用这种方法。(2) 赤平投影法, 这种处理方法不能考虑内聚力, 对于切割岩体的结构面和临空坡面产状较为稳定, 且结构面的粘结力比较弱的时候, 结果也应该比较可靠。下面就来详细阐述用赤平投影法评价双坡面临空的边坡稳定性。

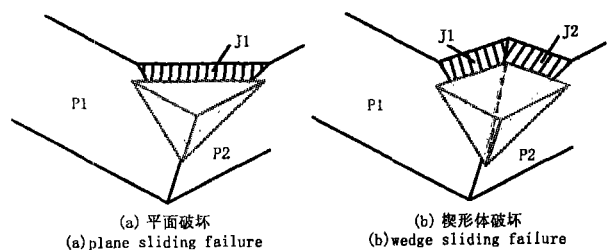


图 3 双坡面临空的边坡的破坏模式
Fig 3 Sliding modes of double faced slope

为了分析方便, 对一些常用的几何面的符号进行预定义, 其中 $P1$ 和 $P2$ 分别表示两个临空坡面; $J1$ 和 $J2$ 分别表示切割滑体的两组结构面, 对于平面破坏只有一组结构面 $J1$ 。接下来讲怎样用赤平投影图判别边坡是否可能出现失稳。假设个结构面的摩擦角相等 Φ , 按图 3 中结构面产状对应的赤平投影图为图 4。

图 4(a) 表明了双坡面临空的边坡发生平面破坏的条件: 如果结构面 $J1$ 的真倾角落在由结构面摩擦角组成的圆, $P1$ 和 $P2$ 大圆, $P1$ 和 $P2$ 的真倾向线

组成的阴影区域 (如图 4 (a))内, 则该类平面破坏就有可能发生。

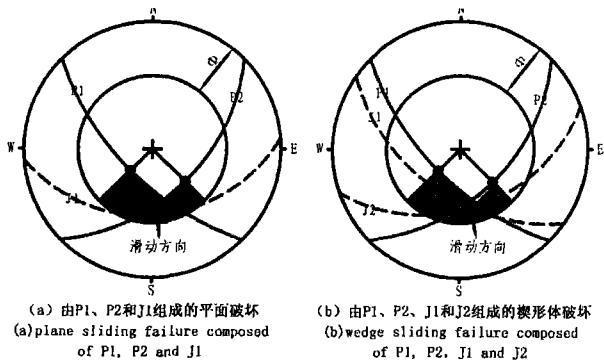


图 4 双坡面临空的边坡的破坏模式的赤平投影图

Fig 4 Stereographic projections for sliding modes of double faced slope

图 4(b)表明了双坡面临空的边坡发生楔形体破坏的条件: 如果结构面 J1和 J2大圆的交点的倾角落在由结构面 J1和 J2摩擦角组成的圆、P1和 P2大圆、J1和 J2的真倾向线组成的阴影区域 (如图 4 (a))内, 则该类楔形体破坏才有可能发生。

值得注意的是, 若上述的结构面的交线没有落在上述两类阴影区域并不说明该边坡就一定没有稳定问题, 这只能说明不会发生上述两类型的破坏, 此时还应该参考前面的第二节, 使用文献 [3] 中的方法分别对单一坡面临空的进行评价。

关于边坡稳定性系数的计算可采用如下方法: 假定楔体滑动的剪切力平行于结构面的交线, 来考察一个与交线 j垂直的剖面 (图 5), 图 5(a)和图 5 (b)分别代表单坡面临空和双坡面临空的情况, 在受力分析上两者没有什么区别, 具体计算可参考文献 [5]。

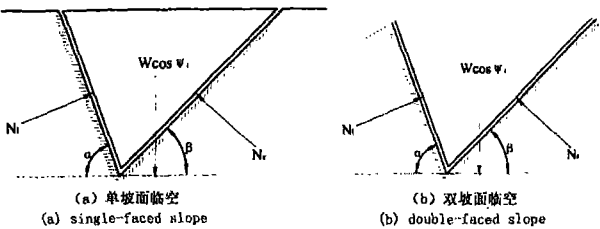


图 5 垂直于交线剖面的受力情况

Fig 5 Force distribution of Vertical section

3 实例分析

某水电站进场公路因拓宽在原有的边坡面上进行开挖, 结果在凸形的拐角处发生破坏, 破坏情况如图 6所示。下面根据该工点的结构面和破坏的产状通过赤平投影的手段来判断其破坏模式。

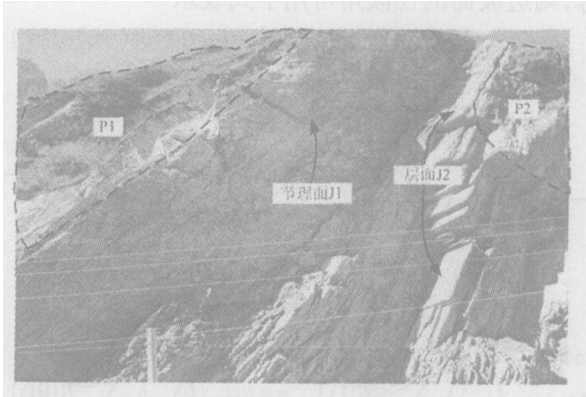


图 6 某水电站进场公路旁一边坡破坏情况
Fig 6 A slope failure along a road to hydroelectric station

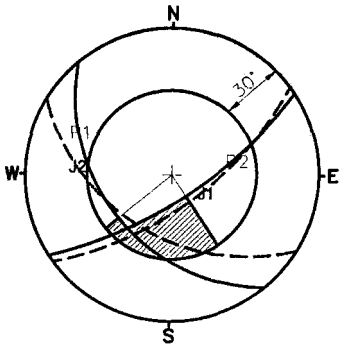


图 7 边坡稳定性的赤平投影评价
Fig 7 The slope stability judgment by stereographic projection

坡面 P1和 P2的产状分别为 $N40^{\circ}W \angle 40^{\circ}SW$ 和 $N56^{\circ}E \angle 70^{\circ}SE$ 层面 J2的产状为 $N59^{\circ}W \angle 45^{\circ}SW$, 节理面 J1的产状为 $N53^{\circ}E \angle 65^{\circ}SE$ 。根据上述产状, 同时取层面 J2和节理面 J1的摩擦角为 30° (不考虑粘结力), 绘出赤平投影图 (图 7)。

从图 7看出该边坡破坏模式属于双坡面临空下的楔形体破坏, 这与图 6的直观感觉是一致的。

4 小结

通过前面的分析, 对岩质边坡的稳定性评价有如下结论和建议:

采用赤平投影对双坡面临空的岩质边坡的稳定性进行评价是一种具有操作性的方法, 具有方便快捷的特点;

在双坡面临空的岩质边坡的赤平投影评价如要考虑粘结力的影响, 建议使用等代内摩擦角;

用赤平投影对双坡面临空的岩质边坡的稳定性进行评价, 若结构面的交线没有落在上述两类阴影区域并不说明该边坡就一定没有稳定问题, 还应该使用文献[3]中的方法分别对单一坡面临空的情况进行评价;

采用刚体极限平衡法计算双坡面临空的岩质边坡的稳定性系数与单坡面临空的岩质边坡类似。

参考文献 (References)

- [1] Hoek E and Bray J.W. Rock Slope Engineering Beijing Metallurgy Industry Publication House 1983. 142~145[1] Hoek E and Bray J.W. 岩石边坡工程[M]. 卢世宗等译. 北京: 冶金工业出版社, 1983 20~32]
- [2] Li Jinfeng Treatment of Shenzhen Shantou highway K44 high slope bedding slip disease engineering[J]. Guangdong Gonglu Jiaotong 1999 59(1): 49~52[2] 李晋峰. 深汕高速公路 K44高边坡顺层滑塌病害工程的整治[J]. 广东公路交通, 1999 59(1): 49~52]
- [3] Bai Yunfeng Zhou Depei Wang Ke et al Character of Chongqing - Huahua railroad slide development[J]. Railway Engineering 2004 (2): 42~44[3] 白云峰, 周德培, 王科, 等. 渝怀铁路沿线滑坡发育特征[J]. 铁道建筑, 2004 (2): 42~44]
- [4] W. S. Yoon U. J. Jeong J. H. Kim. Kinematic analysis for sliding failure of multi faced rock slopes[J]. Engineering Geology, 67 (2002): 51~61
- [5] Chen Zuyu Wang Xiaogang Yang Jian et al Rock Slope stability analysis Beijing China Hydropower Publication House 2005 519~522[5] 陈祖煜, 汪小刚, 杨健, 等. 岩石边坡稳定分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. 519~522]

Stability Analysis for Sliding Failure of Double faced Slope

ZHOU Yinghua ZHOU Depei SHAO Jiang

(School of Civil Engineering Southwest Jiaotong University Chengdu 610031 China)

Abstract Most analysis for rock slope stability have dealt with single faced slopes with a planar surface of a constant strike. However, there are many slopes with non-planar surfaces along road cuts and natural slopes. Multi faced slopes consist of two or more faces with different strikes. Multi faced slopes have different sliding conditions compared to single faced slopes because of their geometrical characteristics. On stereographic projection, a sliding envelope of a multi faced slope is a union of envelopes of individual faces formed on the slope surface. For convenience in discussing sliding modes of double faced slope have been discussed and was divided into two modes: plane and wedge sliding. On stereographic projection, a sliding zone of double faced slope is defined as the area between the true dip lines of two side slope faces in the sliding envelope of a double faces slope. If the true dip line of one or two joint planes plot within a sliding zone of double faced slope, a double faced sliding failure can be possible.

Key words double faced slope; single faced slope; rock slope; Stereographic projection; stability analysis