

广东清连高速公路岩质边坡岩体 结构面特征及其组合研究

徐郝明, 王家鼎, 张雨晴

(西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069)

摘要:采用普遍测网法对广东省清连高速公路岩质边坡结构面进行测量, 利用“赤平投影结构数据分析软件包”对参数统计分析, 并以二维网络模拟程序进行模拟。研究了结构面特征及其组合关系对边坡稳定性的影响, 结果显示结构面组合关系对边坡稳定性影响显著。

关键词:清连高速公路; 结构面; 边坡; 结构面组合关系; 网络模拟

中图分类号: P642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2007)01-0045-04

Study on Characteristics and Combination Relationship of Rocky Slopes Structural Planes in Qinglian Highway, Guangdong Province

XU Hao-ming, WANG Jia-ding, ZHANG Yu-qing

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Using survey grid method the structural plane in rocky slope alongside the Qingyuan—Lianzhou Highway in Guangdong province are measured. The survey parameters are counted and analyzed by the "structural equator projection data analysis package", and simulated by the 2-D network simulation program. Based on this works the characteristics and combination relationship of the structural planes, as well as their influence on the slopes' stability, are researched. The result shows that the influence of the combination relationship on the slopes' stability is obvious.

Key words: Qingyuan—Lianzhou Highway; Structural plane; Slope; Combination relation of structural plane; Network simulation

0 引言

清(远)—连(州)一级公路升级改造(高速)工程是广东省的重要建设项目之一。公路沿线的地质条件十分复杂, 岩质边坡多达数百处, 而且在高陡岩质边坡中节理、裂隙等结构面极其发育, 边坡上的危岩体直接威胁着公路的正常运营。所以对沿线岩质边坡中的结构面特征及其组合关系进行研究, 以评价边坡稳定性, 进而采取切实可行的治理措施是十分有意义的。

本文采用普遍测网法对该线数百个岩质边坡中的结构面进行测量和统计分析, 并对结构面进行了

二维网络模拟, 研究结构面特征及其组合关系。文章仅展示其中 K2131+560~K2132+400 段边坡的分析结果。

1 边坡岩体结构面产状及组合关系

1.1 结构面的产状实测

针对清连高速公路沿线数量众多的岩质边坡结构面, 难以逐条实测, 故采用普遍测网法进行实测。普遍测网法是在工程区范围内布置大量的岩体结构面测网, 对各部分工程岩体实施有效的控制与覆盖;

收稿日期: 2006-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572157); 高等学校博士点专项科研基金(20050697013)

作者简介: 徐郝明(1980—), 男(汉族), 陕西大荔人, 硕士生, 从事工程地质及岩土工程研究。

在通过现场的精细测量获得单个测网的详细工程岩体结构面特征指标的前提下,采用统计方法获得工程岩体结构面参数所服从的分布函数,然后由分布函数进行推测,提出工程区各区段或各具体工程部位的岩体结构面参数^[1-2]。

K2131+560~K2132+400(左)边坡坡长 840 m,平均高度 30 m。坡体基岩为斜交层状结构,岩性为中风化灰岩。岩石较完整,局部松弛,有危岩、崩塌、落石。局部坡顶有残坡积层,植被稀少。坡面产状为 $200^{\circ}/65^{\circ}$ 。该边坡发育三组结构面,数据参数见表 1。

表 1 结构面调查表

组次	类型	平均产状	延伸长度/m	充填物	线密度/条·m ⁻¹	发育程度
1	节理	$210^{\circ}/74^{\circ}$	4	无	2	发育
2	裂理	$20^{\circ}/78^{\circ}$	4	无	1	发育
3	节理	$200^{\circ}/81^{\circ}$	6	无	2	发育

1.2 结构面产状及其组合关系

产状是结构面的重要参数,与边坡稳定性关系密切。除了裂隙很密集的碎散岩体或节理不发育、岩性完整这两种极端情况外,结构面所切割的岩体破坏机制往往受结构面产状的组合与力作用方向所控制。在边坡岩体内,结构面倾向坡内,即反坡向时构成块体的切割面;顺坡向时,成为块体的滑动面^[3-4]。

K2131+560~K2132+400(左)边坡发育的三组结构面(表 1)倾角较陡,其中节理组 3 为顺坡向,成为潜在的块体滑动面,其平均产状服从正态函数分布。

岩体存在多组结构面,其产状和密度可用玫瑰花节理图和极点密度图表示,结构面的组合关系及其与边坡岩体作用力之间的关系可用赤平极射投影进行分析。结构面的组合对岩质边坡的稳定性有很大的影响,往往后者受前者的控制。经过分析研究,清连高速公路沿线边坡结构面产状组合有以下三种情况。

(1) 稳定结构边坡

边坡岩体中的结构面(节理、裂理、层理等)的倾向或它们的组合交线的倾向与边坡坡面倾向相反。这种结构形式对边坡破坏直接影响较小,或者说不易产生边坡破坏,一般情况下边坡可处于稳定状态,系稳定结构边坡(图 1(a))。

(2) 基本稳定结构边坡

边坡岩体中的结构面倾向或组合交线的倾向虽然与边坡倾向一致,但结构面的倾角或结构面组合

较小的倾角都大于边坡坡角。这种结构通常是稳定的,但稳定程度比前者要差(图 1(b))。

(3) 不稳定结构边坡

边坡岩体中的结构面或组合交线的倾向方向与边坡坡面倾向一致,但它们的倾角小于边坡坡角,这种结构边坡对稳定性有直接影响,甚至导致边坡发生大规模滑动(图 1(c))。

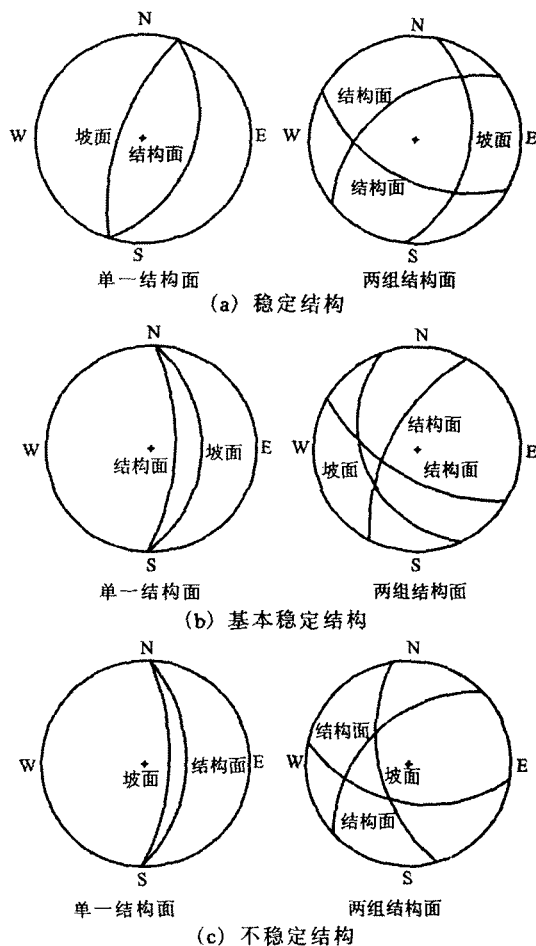


图 1 不同稳定性结构的赤平投影(下半球投影)

Fig. 1 Equator projections for structural planes with different stabilities.

K2131+560~K2132+400(左)边坡发育的三组结构面中节理和裂理的组合(图 2)对边坡的稳定性影响属于第二种情况,即为基本稳定结构边坡。

2 结构面的统计分析

对边坡的实测结构面统计,主要是对结构面的优势方位、平均方向、间距、迹长等进行统计分析,通过作结构面的玫瑰花图、极点密度图和频率密度直方图,从而获得岩体结构面的优势方位和平均方向。

对边坡结构面进行测量,然后根据现场测量所得的不连续面各种参数的概率分布来推求服从这些

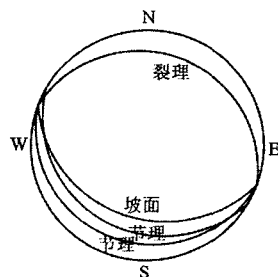


图2 K2131+560~K2132+400(左)边坡3组结构面组合关系赤平投影(下半球投影)

Fig. 2 Equator projection for combination of three group structural planes in slopes of K2131+560 to K2132+400(left).

分布规律的其它结构面的参数,即根据有限的天然露头或人工开挖面上结构面参数来推求岩体内部或更大范围的不连续面参数分布,实现这一过程通常采用 Monte-carlo 方法^[9-6]。清连公路 K2131+560~K2132+400(左)边坡发育的三组结构面参数服从正态分布,可用加拿大多伦多大学土木工程系岩石工程研究室 M. S. Diederichs 和 E. Hoek 开发的“赤平投影结构数据分析软件包”进行带偏差(即按各参数的分布规律)分析统计,作出结构面的玫瑰花图、极点密度图和频率密度直方图(见图3~5)。

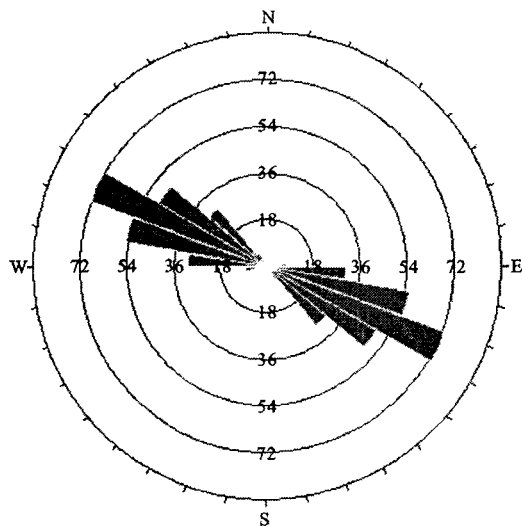


图3 结构面走向玫瑰花图

Fig. 3 Rose map of structural planes' direction.

从图3~5中可以清晰地看出此段边坡岩体结构面主要沿南西方向发育,优势方位走向北偏西60°,占总节理数的13%左右,倾角平均77.16°,最小41°,最大90°。

3 结构面的二维网络模拟

结构面网络的 Monte-carlo 模拟,即根据有限

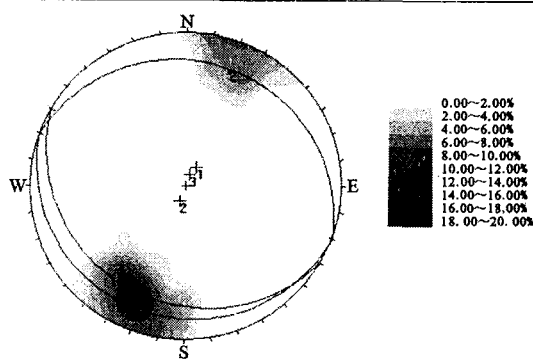


图4 结构面极点等密度图

Fig. 4 Equidensite graph of structural plane's pole.

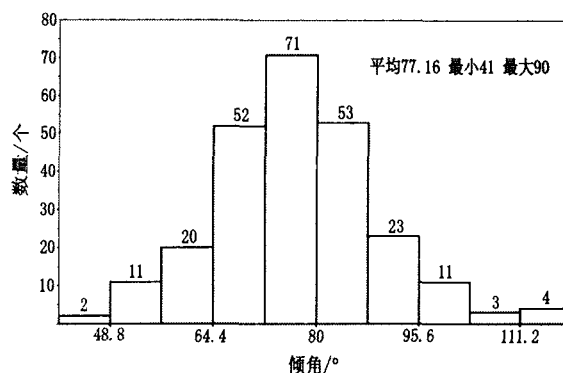


图5 结构面倾角频率密度直方图

Fig. 5 Equidensite histogram of structural plane's dip angle frequency.

的天然露头或人工开挖面上结构面几何参数来推求岩体内部或更大范围的不连续面参数分布,拟合出结构面产状、迹长、间距、断距的概率密度函数分布形式及其特征参数,然后利用计算机成图原理形成结构面网络^[1],其基本步骤如下。

3.1 随机数的产生

Monte-carlo 法是指由统计过程所确定的物理状况在计算机上用随机数进行模拟,其关键是如何产生 $[0,1]$ 之间均匀分布的随机数。常用的生成随机数的计算机方法是同余法,递推公式为

$$x_i = (ax_{i-1} + c) \pmod{m} \quad (1)$$

其中: a, c 为常数,计算前给定; m 为模数,一般取机器最大数。若给定初值,可迭代出均匀随机数 $x_1, x_2, \dots, x_n$,再将它们除以 m 进行正规化,即可得到 $[0,1]$ 区间上均匀分布的随机数 r_i :

$$r_i = \frac{x_i}{m} \quad (i = 1, 2, \dots, n)。 \quad (2)$$

3.2 随机变量的产生

结构面几何参数为服从一定分布的随机变量,在产生均匀随机变量后,还要产生满足某种分布的随机变量。每一种产生随机变量的方法,基本要求

是 $[0,1]$ 上的随机变量源。目前有很多方法可以用于产生随机变量,其中反函数法是利用随机变量 x 的分布函数 $F(x)$ 的反函数 $F^{-1}(x)$ 来推求随机变量。K2131+560~K2132+400(左)边坡发育的结构面参数服从正态分布,正态分布密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad (-\infty < x < +\infty) \quad (3)$$

式中: μ_x 为期望; σ^2 为方差;分布函数为

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] dx \quad (4)$$

$F(x)$ 是非可积函数,无解析显式,用李雅普诺夫中心极限定理作近似解:

$$\frac{x-\mu_x}{\sigma_x} = \sqrt{\frac{12}{n}} \left(\sum_{i=1}^n r_i - \frac{n}{2} \right) \quad (5)$$

当 $n=12$ 时,可达到良好精度,所以

$$x = \left(\sum_{i=1}^{12} r_i - 6 \right) \sigma_x + \mu_x \quad (6)$$

r_i 是 $(0,1)$ 之间随机数的第 i 个元素。

3.3 结构面网络的生成

对每一组结构面,分别拟合出产状、迹长、间距、断距的分布形式和分布参数,由此分别产生各几何参数的随机变量,计算出结构面的起点和终点坐标;判断生成的结构面中点是否在取样区内,如果在则存放该结构面,否则放弃该结构面;接着生成下一个结构面。一般是先生成断距方向上的结构面,然后生成间距方向上的结构面;当取样区内该组结构面生成完毕,再生成第二组结构面,直至所有的结构面组都生成完毕。读取存放的结构面数据,显示结构面网络图形,最后把图形输出(图6)。

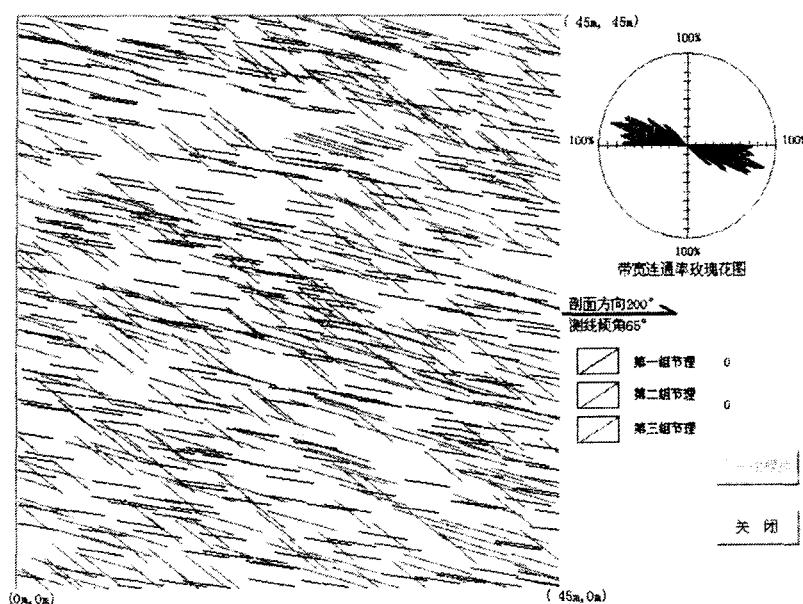


图6 节理网络模拟图

Fig. 6 Simulated network of joints.

从图6中不但可以清晰的看出结构面在边坡岩体中的分布及其规模,还可以看出结构面的发育方位、延伸长度、密集程度等。

4 结论

通过对清连高速公路 K2131+560~K2132+

400(左)段岩质边坡中的结构面及其组合关系的工程地质研究,得到以下结论:(1)研究段的结构面参数服从正态分布,从二维网络模拟图可以清晰展现结构面在边坡岩体中的分布及其规模,以及结构面的发育方位、延伸长度、密集程度等。

(下转 57 页)

该场地上部土层含水量较高,强度较低,在夯击振动作用下,孔隙比降低,土层达饱和状态,土的结构遭到破坏,抗剪强度降低,土体液化导致喷水、冒砂。

2 结语

黄土是一种多孔隙、弱胶结的第四纪沉积物,因其独特的亚稳定结构具有极强的易损性,常引发滑坡、液化和震陷等工程地质灾害,造成无数的工程事故。国内外历史震害和室内实验都已证实黄土具有很高的液化势,在7度地震动强度下,饱和黄土可发生液化和震陷。在工程施工机械振动或冲击荷载作用时,高湿度黄土地基也发生液化和震陷,并使所处理的地基下沉,周围地面开裂。黄土的工程地质灾害虽然已为人们所熟知,但对其在动荷载作用下表现出的易损性和灾害性尚缺乏全面深入的了解。随着经济建设的飞速发展和西部大开发战略的实施,在我国西北广泛分布的黄土液化和震陷灾害日益显著。目前对黄土的液化缺乏详细的评价资料和尚无

公认的液化判别方法,黄土液化问题未列入相关规范。因此很有必要对黄土的液化和震陷开展研究工作,弄清黄土液化产生的条件、液化机理和液化判别方法,制定出液化震害预测和工程预防措施,杜绝黄土液化和震陷灾害,以适应工程建设的要求。

[参考文献]

- [1] 建筑抗震设计规范(GB50011—2001)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [2] 岩土工程勘察规范(GB 20021—2001)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [4] 姜朴. 土动力学[A]//第6届全国土力学及基础工程学术会议论文集[C]. 上海:同济大学出版社;北京:中国建筑工业出版社,1991:53-62.
- [5] 刘汉龙,余跃心,王兰民,等. 强夯黄土地基液化试验研究[A]//土动力学与岩土地震工程[C]. 北京:中国建筑工业出版社,2002:218-224.
- [6] 王兰民,刘红玫,李兰. 饱和黄土液化机理与特性的试验研究[J]. 岩土工程学报,2002,20(1):89-94.

(上接48页)

(2) 被结构面切割岩体的破坏机制往往受结构面产状的组合与力作用方向所控制。清连高速公路边坡岩体中的结构面(层理、节理、裂理等)的倾向或它们的组合交线的倾向与边坡的坡面倾向相反时,边坡一般趋于稳定;边坡岩体中的结构面倾向或组合交线的倾向虽然与边坡倾向一致,但结构面的倾角或结构面组合较小的倾角都大于边坡坡角时,边坡一般趋于基本稳定;边坡岩体中的结构面或组合交线的倾向方向与边坡坡面倾向一致,但它们的倾角小于边坡坡角时,边坡一般不稳,甚至导致边坡发生大规模滑动。

(3) 用结构面玫瑰花图和极点密度图可以对岩体多组结构面的产状和密度很好的表示。从结构面玫瑰花图和极点密度图可以清楚的展现边坡岩体结构面发育的优势方位和密集程度。

对岩体结构面特征及其组合关系的研究,是分析评价清连公路边坡稳定性和岩体稳定性的重要依

据。各类岩体结构面的分布规律、发育密度、表面特征、连续特征及其空间组合形式控制了岩质边坡坡体稳定性和破坏形式,对其更深入研究十分必要。

[参考文献]

- [1] 黄润秋,胡卸文. 金沙江溪洛渡水电工程岩体结构模型及其工程应用研究[M]. 成都:成都理工学院,1997.
- [2] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [3] 孔宪立. 岩体工程地质及其灾害[M]. 上海:同济大学出版社,1993.
- [4] 孔宪立,石振明. 工程地质学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [5] 陈剑平. 随机不连续面三维网络计算机模拟原理[M]. 长春:东北师范大学出版社,1995.
- [6] 方再根. 计算机模拟何蒙特卡洛方法[M]. 北京:北京工业学院,1988.