

# 论边坡两类优势面的概念 及其研究方法

罗国煜 王培清 蔡钟业 吴 浩

(南京大学)

## 提 要

岩石边坡的变形与破坏,通常沿着岩石中存在的不连续面出现,故分析这些不连续面的分布、特征及其相互关系是至关重要的。本文在应用已有研究模式的基础上,提出两类优势面的概念及我们的研究模式,即通过边坡地质优势面和统计优势面的分析,求得真正优势面以评价边坡的稳定性。实践表明应用这一研究模式和程序使力学和地质分析有机地结合起来,有利于边坡问题的解决。

## 一、边坡不连续面研究模式评述

岩石边坡的变形和破坏,通常是沿着岩体内存在的地质不连续面——结构面发生的。因此,研究分析这些不连续面的产状、特征及其组合关系,对于边坡稳定性的分析和评价是最为重要的,这是国内外研究者几乎一致的认识。

如何认识不连续面的类型和特性,正确反映它们对边坡稳定的影响,建立系统的认识和工作方法,以求作出最合乎实际的评价是各个研究者努力的方向。

通常强调的模式是:不连续面或结构面→软弱面或构造软弱面。

对这些结构面所采用的研究方法,有作节理玫瑰图、赤平极射投影图以及在赤平投影图基础上作实体比例投影图等多种图解方法。实践表明这些方法各有特点,但仅能对边坡不稳定地段作出定性判断。如:节理玫瑰图能简明形象地表示节理统计结果,反映出测区主要节理的方向;赤平投影以及由此发展起来的实体比例投影图用图解的方法表示主要的不连续面,它表明了可能有问题的地段和滑动的大致边界条件,为力学验算提供了依据。但它仅能表示出测区可见的几条不连续面的投影,而对于通过各种方法确定的边坡潜在的、大量的不连续面,便无法进行随机分析,也不能判断其潜在破坏的可能性。

霍克(E·Hoek, 1974)和布雷(J·Bray, 1977)<sup>[1]</sup>提出优势面统计方法,将统计的不连续面反映在极点图及等密图上,使大量分散的观测结果集中到复合图解中的一个单一的原点周围,由于发挥了统计学的优点,因而也能较客观地反映节理发育规律。

霍克模式是:不连续面→优势中心→优势面

用图解确定的优势面来分析边坡稳定性,其作法如表1所示

表 1

霍克等边坡优势面图解分析方法简表

| 工作步骤     | 使用工具                | 方 法                                                           |
|----------|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1.详细线测量  | 罗盘、皮尺、记录表           | 在坡面或平洞壁 $20 \times 2\text{m}^2$ 范围内,对不连续面逐条进行测量记录。            |
| 2.极点图    | 极式等面积赤平投影网          | 将不连续面法线作下半球投影,并以不同符号区分断层、节理、层面等。                              |
| 3.等密图    | 丹尼斯(Denness)曲线方格记数网 | 先统计极点数于丹氏网格中心,再换算成百分数,最后连等值线。                                 |
| 4.优势面赤平图 | 赤平等面积网              | 等密图上等值线最密者,表示该方位不连续面最发育,称为优势中心,把优势中心视为极点,在赤平投影网上作出其对应的面——优势面。 |

这一方法的要点是:

①“详细线测量”即按柯尔(R·D·Call)<sup>[2]</sup>等人创立的方法对节理裂隙进行统计。取长为20m、宽为2m的“基准线”,测量此范围内出露的各种不连续面。

②采用极式赤平网投影,把每个裂面用极点表示出来。

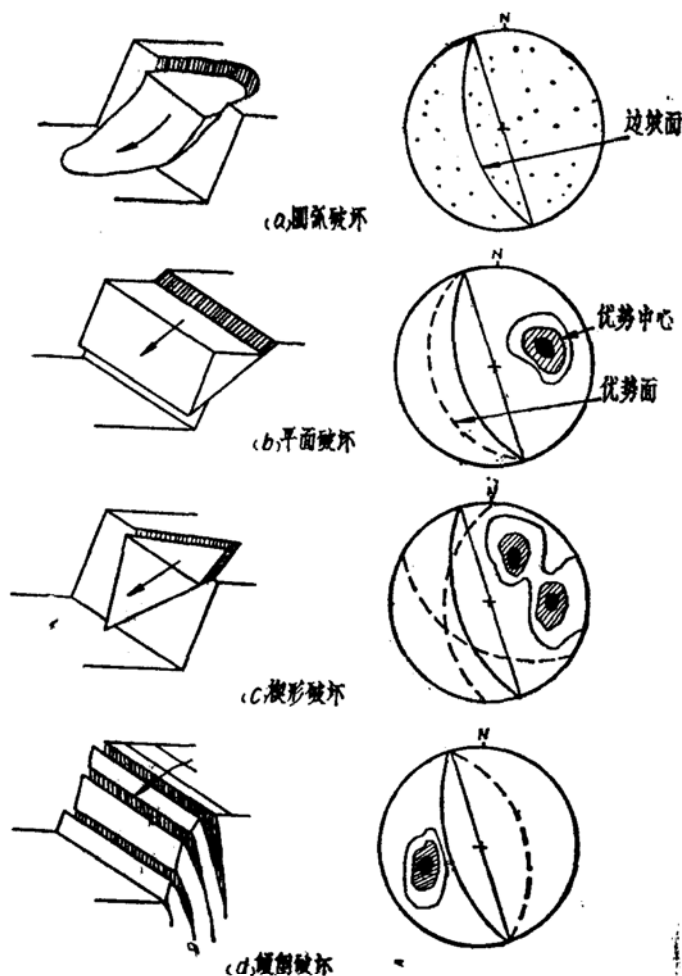


图1 边坡变形破坏形式及其图解

③对不同类型的不连续面,可用不同大小的符号表示。

④作等密图时有许多方法,岩矿上用普络宁(А.Б.Пронин)网,以保持投影中晶轴方位不变。构造地质中,常用的是方格网。这里用丹尼斯记数网统计极点数作出等密图。

⑤等密图上等值线间可以涂上颜色或画上线条,以使图面醒目,帮助快速辨别出极点的优势方位。

⑥在等密图完成之后,便可用赤平投影网(等面积网)将极点的优势中心,选取适当点作为统计优势面并作出赤平图。将边坡面与优势面作于同一图上即可判断边坡稳定状态和属于四类变形型式中的那一类(见图1)。

霍克还介绍了马克兰德(J.T.Markland)<sup>[4]</sup>关于岩石边坡楔形破坏的快速判断准则,使认识得到了深化。其方法是基于一个最简单的破坏条件:组合交线的倾向与坡面一致,楔形破坏体的组合交线出露在边坡面,其倾角小于坡角;不连续面的抗剪强度只考虑摩擦角 $\phi$ ,认为 $\phi$ 小于组合交线的倾角时,便发生破坏。其数学表达式即:

$$\psi_f > \psi_i > \phi \quad (1)$$

式中  $\psi_f$ ——边坡坡角;

$\psi_i$ ——组合交线倾角;

$\phi$ ——不连续面的内摩擦角。

值得称道的是马克兰德把内摩擦角用摩擦圆的形式引入稳定性分析中,不仅可以快速判断边坡稳定性,而且使定量地进行力学计算成为可能。

按照上述概念,把构造楔形体的两组优势面,边坡面和摩擦角作在同一赤平投影图上,则图中阴影面为不稳定区。组合交线的交点落于该区中时,即满足 $\psi_f > \psi_i > \phi$ 条件,表明边坡将发生危险,如图2。

根据楔形破坏的解析,很容易得出其稳定计算公式

$$K = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2} \xi} \cdot \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \psi_i} \quad (2)$$

式中  $K$ 为稳定系数;角度关系如图3;其它符号同前。

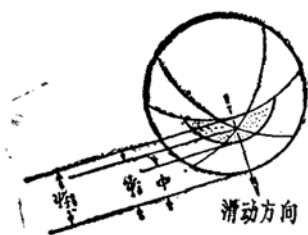


图2 楔形破坏条件图示

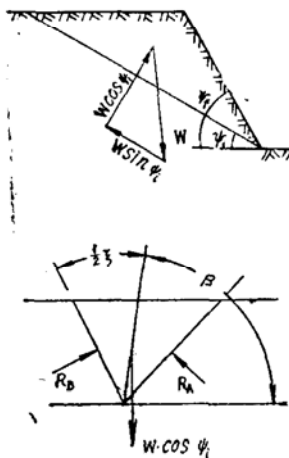


图3 楔体几何要素

从不连续面分析到优势面统计是边坡研究中的一个有意义的进步,优势面分析十分简单明确,可取之处甚多。然而在实践中由岩石力学家所提出的优势面统计方法存在着一些地质上的弱点,我们提出的两类优势面的分析方法将有助于改进霍克方法,在推动地质与力学分析结合和建立工程地质边坡研究程序上将具有一定意义。

## 二、两类优势面的概念及其确定方法

### (一)两类优势面的概念

霍克和布雷所介绍的方法,简单明晰,具有实用性价值。

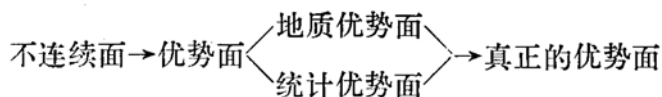
这一方法表明了岩石力学家重视地质学的可喜趋势,但从地质的角度来看,对此法给予补充,使其完善也确有必要和可能。例如武钢大冶铁矿曾利用霍克优势面方法进行边坡稳定分析,取得了一定的成效。然而有三个问题却是不应忽视的,这就是:按照霍克方法平行坡面的不连续面如何反映出来?节理裂隙分布的集散性规律如何考虑?缓倾角弱面如何突出?我们还认为定量分析应不但能反映边坡的破坏形式和稳定状态,而且还应反映出破坏规模的大小。但这些问题霍克介绍的优势面分析法中都没有给予解决。此外,快速判断和计算又常会出现与实际边坡现状不相符的结果,即 $K$ 值大的边坡失稳了,而 $K$ 值小的边坡却处稳定状态,这些都有待研究解决。

工程实践表明,建立边坡两类优势面的概念,即地质优势面(性质优势面)和统计优势面(数量优势面),将有助于上述问题的解决。

霍克所分析的优势面是通过统计得到的,我们称为“统计优势面”,它在某种程度上把不同特性的结构面等量齐观了。其实一个断层和一条节理其影响显然是不同的。许多工程实践证明,统计图解所得到的优势面是一种“平均”状况的反映,有时可能反映不出那些数量少性质差的软弱结构面对边坡稳定性的影响。而一个特定场地的控制因素往往不是“平均”状况,却是一个单独的危险方位和性质差的不连续面——地质优势面,如控制稳定性的是平行坡面、缓倾角的弱面。我们提出的地质优势面是通过地质研究和分析所显示的优势面,尽管它数量少,但其影响和作用大,因而是一种性质上的优势面。

实际上,霍克在其著作中也注意到断层较节理重要,他称其为较主要的不连续面,但在概念上不够明确,且实际作法上又没有反映。

两类优势面的作法是:先确定地质优势面,再作统计优势面,二者综合分析从而确定真正的边坡优势面,其模式是



### (二)地质优势面确定方法

#### 1. 按结构面的成因

- ①原生结构面——沉积岩层理、层面、软弱夹层、变质岩片理、页理、火成岩原生节理等;
- ②构造结构面——断层、节理、裂隙等;
- ③外生结构面——风化、卸荷裂隙、风化夹层等。

不同成因的结构面,其规模、连续性、结构面物质组成、力学性质都不同,对不同结构边坡的稳定性影响也不同。中国科学院谷德振等对此有较多论述<sup>[6]</sup>。

## 2.按结构面时间划分

从时间上区分三类构造,即划分老断裂、新断裂、活断裂<sup>[6]</sup>,这是十分必要的。

①老断裂——燕山期(J—K)以前所产生的、近期无明显再活动性的断裂构造;

②新断裂——喜山期(E—Q)形成和活动的断层。它是新构造产物,对地区工程地质条件的形成往往起控制作用。

③活断裂——影响到全新世 $Q_4$ 的断裂,这种活动构造对区域稳定性和边坡稳定性都构成严重威胁,因而必须仔细予以鉴定和区分出来。

三类构造的划分说明,并不是任何断层都具有相同的意义。只有新构造断裂,特别是活断裂,因其形成时间新、胶结不好、导水性强,对工程地质具有重要意义,因而它们成为工程地质研究的重点。对于边坡来说,正因为其形成时间新、胶结不好、导水富水,数量虽少,影响却很大,往往构成边坡的地质优势面。

## 3.按结构面与边坡变形关系的密切程度

不同产状的不连续面不仅对边坡变形机制起控制作用,同时对岩体内应力分布与变形的时间效应也有着密切的关系。为确定边坡变形,破坏方式,必须研究优势面的组合规律及其与边坡的依存关系。如同向优势面的边坡,其变形类型为顺坡滑动,变形机制为剪破裂;反向优势面的边坡,其变形类型为崩坍、倾倒和局部滑动,变形机制为张破裂,逆剪变形和蠕动倾倒。一些顺坡缓倾断层,层间错动面,反倾节理,大断裂均可能构成为边坡优势面。

从上述三方面去找地质优势面,我们认为突出了时间划分这个主要因素。总的观点是:依据成因分析,突出新构造(时间分析)观点,注意弱面与边坡变形的空间几何关系。

## (三)统计优势面确定方法

对于统计优势面,基本上如上述按霍克方法去作。为了解决我们在大冶铁矿所提出的三个问题,克服其弱点,我们将“详细线测量”改为“空间详细线测量”,即作统计群测量。在坡面上,要取多剖面、多层次;在空间上,要沿着探洞的不同深度进行,这样就使统计中的弱点得到了改善。两类优势面的互为补充,可以准确地定出真正优势面,初步判定不同测区的破坏形式和稳定状态,但应该指出对于边坡破坏体的位置和大小,看来可以从地质优势面的剖面分析中得到解决。

# 三、应用两类优势面研究边坡稳定性的程序

基于上述认识,我们在一些工程边坡的研究中,初步建立了边坡分析程序<sup>[7]</sup>。内中,A线的实质是以构造分析为基础,通过结构面的时间划分确定地质优势面。B线则通过空间详细线测量找出统计优势面,二者结合再按后续程序完成边坡评价过程。

按照这样的程序分析边坡稳定性,实践表明效果尚好,是可行的。

这里以湖南资水敷溪口电站边坡研究做一示例来简略说明上述原理。

敷溪口电站位于湖南资水安化县敷溪镇下游约2 km,这里河床宽300 m,常水位高程60 m左右,左岸山包高程120 m,右岸山顶高程330 m,相对高差达270 m,形成险峻高边坡。组成物质为下元古界板溪群马底驿组的板岩、变质砂岩和第四纪的厚层坡崩积层。边坡岩性较

软弱, 构造复杂, 已发现边坡有大型滑坡体和大量松动变形岩体的存在, 因此边坡稳定问题成为工程的关键。

在工程单位的密切配合下, 按照上述程序, 我们调查发现场区主要地质优势面是: ①层面及层间滑动面; ②NEE向顺坡新F<sub>3</sub>断层; ③缓倾角节理:  $290^{\circ}/NE \angle 20 \sim 30^{\circ}$  的反倾节理; ④强风化的边坡岩体松动带底面。

应用霍克统计优势面方法, 进行详细线测量, 由图解得到的只是①②两类优势面, 用改进了的“空间详细线测量”方法也只能得到①②③三类优势面, 这说明不加上地质优势面的分析, 只用统计的方法, 便找不出真正优势面来。经统计证实的地质优势面则使人感到更有把握了。

所以, 通过两类优势面的分析使我们感到: 地质优势面的确立, 可以突出边坡变形破坏类型和机制, 了解真正的不稳定体的边界条件和破坏规模, 突出了工作重点; 统计优势面的图解, 进行了随机分析, 可防止主观臆断和遗漏。

边坡真正优势面确定之后, 其变形破坏机制和稳定状态又如何呢? 能否出现数百万方滑塌体的整体破坏而引起涌浪呢? 这是工程上极其关切的问题。

通过4个坝线空间详细线的测量和统计优势面的图解, 我们得到坝区边坡破坏的一个重要形式: 不对称的楔形滑动(图4, 5, 6)并按霍克的楔形破坏公式分别予以验算, 反映边坡局部可能有潜在破坏。再结合边坡具有不同结构和特征的认识, 我们得出了初步结论: 如果不过多扰动坡脚, 不可能出现同步整体的大滑动。地质优势面的图解结论也是相同的。相反, 通过两类优势面的分析, 证明人们未注意的左岸边坡倒完全有楔形破坏的可能, 如图7。

又从坝区不同地质横剖面的对比分析中发现具有大量的崩塌堆积体, 松动岩体的边坡上有基岩裸露的局部地段, 它显示了地质历史上那里曾出现过“半坡切出”滑动, 如图8中虚线所示。

一旦发生“半坡切出”滑动后, 边坡上便不复存在松动岩体了。可见, 边坡内的松动岩体与表层的坡残积崩积物有关, 表层物质的重力滑动使下部岩体发生拖曳、倾倒, 这种情况在图9中亦可见到, 这是本区通过两类优势面分析发现的边坡又一变形机制。

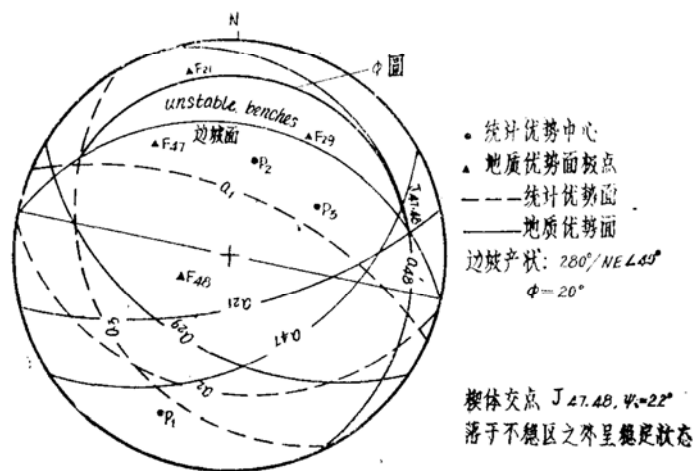
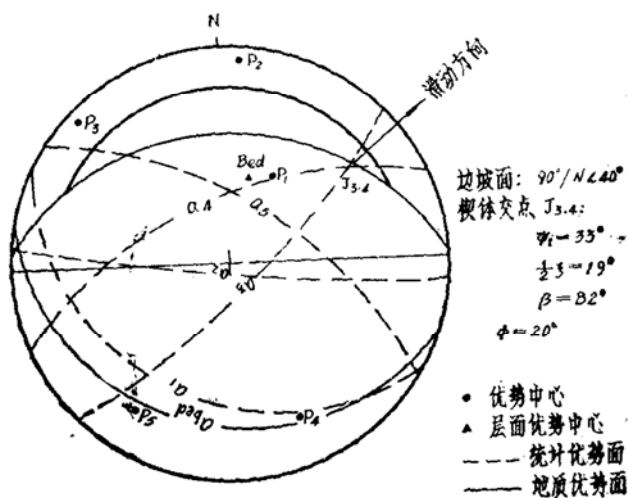
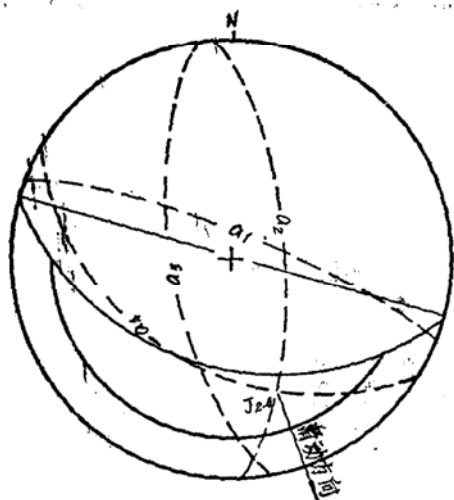
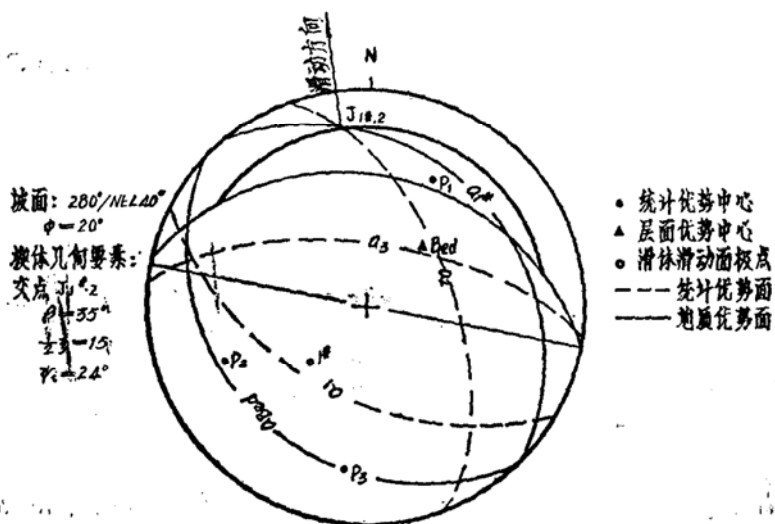


图4 右岸■坝线洞6, 7, 24, 25优势面图解



快速判断:  $\psi_1 > \psi_2 > \phi$ , 交点不落在危险区内为稳定  
 力学验算:  $K = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2}\psi} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \psi_1} = 2.77$  为稳定

图6 右岸Ⅰ坝线洞13,14优势面图解



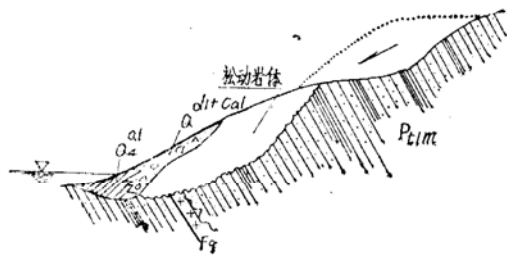


图8 I-I 边坡剖面

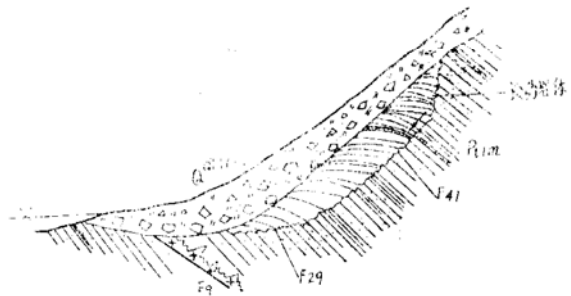


图9 II-II 边坡剖面

实践中还发现用统计优势面图解法研究边坡的稳定性,如不加地质分析,会得出与客观实际不相符的结论。例如在图6中,由1\*滑体的滑动面和优势面 $a_2$ 组成的楔形体稳定系数为 $K=1.38$ ,按霍克楔形破坏公式计算 $K<2$ 表示存在潜在破坏的可能。而在历史上1\*滑体曾发生过滑动,但由于新构造升降运动的影响,滑坡前缘被阶地反压(图10)不可能滑动,滑体与阶地堆积物均已固结,表明现状稳定。所以说,统计优势面不能反映不连续面的时间性和地质历史上的活动性,而只有以地质优势面为主导,从断层的时间划分和新构造历史的分析去研究,才能客观反映边坡的真实情况。

优势面的找出,边坡变形破坏机制的确认,就为边坡稳定性的全面评价提供了基本依据。根据前述的认识程序不难对边坡作进一步论证,从而与设计部门共同作出了敷溪口建坝是可能的结论,并确定了相应的处理方案<sup>[8]</sup>。

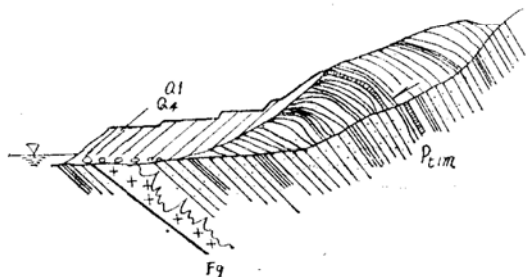


图10 I 坝线1\*滑体剖面

关于霍克的边坡稳定性的“快速判断法”问题,我们在江苏栖霞山和安徽马鞍山地区边坡研究中,陆续发现一些与实际情况不符合的事例,同样可以通过地质优势面特性的研究加以修正(确定相应的 $K$ 值指标)解决。这将在另文论述。

通过以上分析可见,两类优势面的分析显示了它对认识边坡变形边界条件和机制互为补充的优越性。

#### 四、结 语

边坡真正优势面的确定对于研究边坡的破坏类型和变形机制有重要意义,它为确定边坡变形破坏机制和边界条件进行相应的力学计算奠定了地质基础。本文通过工程实践和研究,对霍克所介绍的优势面统计法作了必要的改进,提出了两类优势面的概念,确定真正优势面的分析方法和边坡工程地质研究程序。为岩坡稳定性的评价提出了一些看法并以实例做了说明。

我们的工作和认识还是初步的,工作还在继续进行,期望得到同志们的帮助和指正。

## 参 考 文 献

- [1] Hoek, E. and Bray, J. W., Rock Slope Engineering, 1974, 1977.
- [2] Call, R. D., Savely, J. P. and Nicholas, D. E., Estimation of Joint Set Characteristics from Surface Mapping Data, 17th, U.S.Sym. on Rock Mech., Proc. Publ. by Unit. of Utah, 1976.
- [3] Goodman, R. E., Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, 1976.
- [4] Markland, J. T., A Useful Technique for Estimating the Stability of Rock Slope When the Rigid Wedge Sliding Type of Failure is Expected, Imperial College, Rock Mechanics Research Report, No.19, 1972.
- [5] 谷德振, 岩体工程地质力学基础, 科学出版社, 1979.
- [6] 罗国煜, 关于地基区域稳定性和评价的几个问题, 首届工程地质学会论文集.
- [7] 罗国煜等, 工程勘察, 中国建筑工业出版社, 1981年第3期.
- [8] 罗国煜等, 湖南水利, 湖南省水利厅, 1981年第1期.

## On the Concept of two Preferred Planes and Its Analysis Methods

*Luo Guo-yu, Wang Pei-qing, Cai Zhong-ye and Wu Hao*

(Nanjing University)

### Abstract

The deformation and failure of the rock slopes usually occur along the discontinuities that exist in the rocks. It is of extreme importance to analyse the occurrence, characteristics and cooperation with each other of these discontinuities.

From the information that we know it is recognized that there exist various research models or ways:

1. Simple model

From discontinuities to structural weakness plane.

2. E. Hoek's model

From discontinuities through centre of pole concentration to preferred plane.

There is no doubt that E. Hoek's model is of great value.

According to these models, through the studies of rock slopes, such as Fuxikou of Hunan province, Qixiashan of Jiangsu etc. A new model has been gained from which we can explained as follows:

From discontinuities to preferred plane:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{statistical preferred plane} \\ \text{Geo-preferred plane} \end{array} \right\} \text{ True preferred plane}$$

Two preferred planes are to be considered when analysing the stability. From the studies of these two surfaces as the sum the true preferred plane is determined at last.

The programme for engineering-geological investigation of geo-preferred plane is:

- a. Analysis of regional structural line;
- b. Research local compress fault;
- c. Measure three element of fault;
- d. Dividing faults into old, new and active;
- e. Seat for geo-preferred planes.

The programme investigation of statistical preferred plane is:

1. Space detail line survey;
2. Pole equilibrium stereo-projection;
3. Contour diagram;
4. Find out pole concentrations;
5. Seat for statistical preferred planes.

Practice has shown that if we take the analysis methods mentioned in this paper, it will be effective and helpful to our work.

## 国际会议消息(续)

(本刊注:国际会议消息本刊1981年第4期已作过报导,以下为增补消息)

1983年1月19日

Design and Performance of Structures Subjected to Ground Movements

承受地基位移的结构设计和性状会议

英国 伦敦

1983年3月2~4日

Advances in Piling and Ground Treatment for Foundations

桩工和地基处理进展会议

英国 伦敦

(沈慧容)

## 第二届国际土工编织物会议\*

根据美国材料试验协会下的定义,“土工编织物”(Geotextiles)是指一种透水织物,用它和土石料一起构成种种人造的工程、建筑物或系统。现在土工编织物的应用越来越广泛,新产品日益增多,试验方法、理论分析和设计方法的研究日趋深入。为交流经验、推广这项新技术,曾于1977年在巴黎召开了第一届国际会议。第二届国际会议将于1982年8月1日至6日在美国拉斯维加斯(Las Vegas,前译为拉斯—佛加斯)举行。参加论文有170多篇。讨论主题有:公路、铁道、坝、排水、控制冲刷、规范及标准、测试方法、斜坡与路堤、新用途等。同时还有一个丰富多采的产品及其应用的展览会。

(盛崇文)

\*本刊注:本会议消息本刊于1981年第4期作过报导