

边坡稳定性分析方法的研究

黄满刚 孙世国  
(北方工业大学)

摘 要:边坡岩体的变形和破坏严重地威胁到国家财产和人们的生命安全,对边坡安全性进行正确评价、对变形趋势进行准确预测,然后采取合理的治理措施是减少滑坡灾害与经济损失的一个重要途径。因此,正确的边坡安全评价方法与预测手段非常重要;就目前边坡工程常用的稳定性评价方法的优缺点进行分析,对未来研究方向及发展趋势进行展望。

关键词:边坡稳定;岩石;滑坡  
中图分类号:TD325 文献标识码:A 文章编号:1009-5683(2008)07-0034-03

Research on Analysis Methods of Slope Stability  
Huang Manggang Sun Shiguo  
(North China University of Technology)

Abstract: Deformation and destruction of slope's rock mass threatened seriously the state property and people's safety. It should correctly evaluate slope safety and accurately predict deformation trend, and then adopt reasonable control measures. These were important ways to reduce earth slip disaster and economic loss. Therefore, it was very important to use correct safety evaluation methods and prediction means for the slope. Advantages and disadvantages of the commonly used stability assessment methods for the slope engineering were analyzed, and the future research orientation and development trend were forecasted.

Keywords: Slope stability; Rock; Earth slip

随着我国的改革开放,国内基础建设蓬勃发展。但由于地震、洪水和崩塌滑坡泥石流三大地质灾害之一的滑坡危害到国家财产和人们的生命安全,每年国家在治理滑坡问题上投入大量的资金。所以对边坡进行稳定性研究的意义非常重要,它不仅可为工程施工提供科学的理论依据,而且对边坡加固和滑坡的预测预报也具有重要的指导作用。

1 边坡稳定性分析方法

边坡稳定性评价方法可分为定性和定量分析两大类。近年来,人们在前两种分析方法的基础上,又引进了一些新的学科、理论等,逐渐发展了一些新的分析方法,如可靠性分析法、模糊分级评判法、系统工程地质分析法、灰色系统理论分析法等。见图 1。

1.1 定性分析法

定性分析方法<sup>[1]</sup>主要是通过工程地质勘察,对影响边坡稳定性的主要因素、可能的变形破坏方式

及失稳的力学机制等的分析;对已变形地质体的成因及其演化史进行分析;从而给出被评价边坡一个稳定性状况及其可能发展趋势的定性的说明和解释。其优点是能综合考虑影响边坡稳定性的多种因素,快速地对边坡的稳定状况及其发展趋势作出评价。缺点是只能用于判断边坡是否处于稳定状态,而边坡稳定安全系数无法得知。

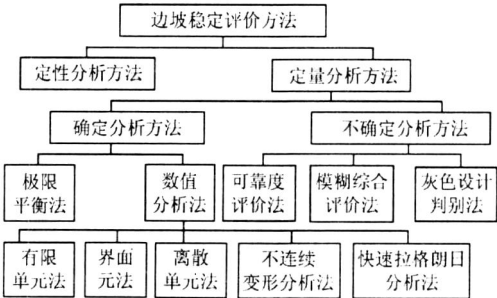


图 1 边坡稳定分析方法框图

1.2 定量分析法

1.2.1 确定性分析法

1.2.1.1 极限平衡法

黄满刚 (1981 - ),男,在读硕士研究生,100041北京市。

极限平衡法,是将有滑动趋势范围内的边坡土体沿某一滑动面切成若干竖条或斜条,在分析条块受力的基础上建立整个滑动土体的力或力矩平衡方程,并以此为基础确定边坡的稳定安全系数。这些方法均假设土体沿着一个潜在的滑动面发生刚性滑动或转动。在极限平衡法理论体系的形成过程中,出现过一系列简化方法,常见的有瑞典法、Bishop法、Spencer法、Janbu法、Morgenstern-Price法、Sarma法等。这些方法从不同的侧面进行了多余变量的简化(表1),因而有各自的适用条件和情况。

表1 极限平衡法的类型及安全情况

方法	安全系数
极限平衡条分法	条块间无作用力
Bishop法	条块间只有水平作用力
Spencer法	条块间水平与垂直作用力之比为常数
Janbu	假定条间作用力的位置
Sarma	条块间满足极限平衡条件
(Morgenstern-Price)	条间切向力和法向力之比与水平方向坐标之间存在函数关系: $X/E = Af(X)$

鉴于极限平衡法在计算中所作的种种假定:滑动土体是理想的刚塑性体,不考虑土的应力-应变关系,并认为沿滑动面上各点的强度发挥程度及抗剪强度折减安全系数相同,其安全系数的表述与滑坡体所在区域的变形特点和滑坡体外区域的地质情况、受力条件等完全不发生关系。在最危险滑裂面的搜索以及最小安全系数的确定上均存在许多的困难,随着理论体系更为严格的数值分析在岩土工程中的大量应用,一定程度上减少了极限平衡法的应用范围。

### 1.2.1.2 数值分析法

(1)有限单元法<sup>[2]</sup>。是目前使用最广泛的一种方法,在边坡稳定评价中也是用得最早的方法之一,优点是部分地考虑了边坡岩体的非均质和不连续性,可以给出岩体的应力、应变大小与分布,避免了极限平衡分析法中将滑体视为刚体而过于简化的缺点,能近似地从应力应变去分析边坡的变形破坏机制,分析最先、最容易发生屈服破坏的部位和需要首先进行加固的部位等。但是对于大的变形和位移不连续问题的求解还不理想。

对于大部分土质边坡及软弱岩体边坡问题,变形边坡自身的弹性变形、塑性变形或流变变形较大,使变形体在后缘张开、前缘压缩隆起,滑动面也早已不再是滑动前的形状,这种情况下,有限元法就是适应于变形介质的分析方法。

(2)界面元方法<sup>[3,4]</sup>。卓家寿教授和章青教授提出了基于累积单元变形于界面上的界面应力元模

型,建立了适用于分析不连续、非均质、各向异性和各类非线性问题、场问题,以及能够完全模拟各类锚件复杂空间布局和开挖扰动的界面元理论,为复杂岩土体的仿真计算提供了一种新的有效方法。因此,在边坡稳定分析中,该方法在模拟坡体内滑裂面开展情况有很大的优势。

(3)离散单元法<sup>[5]</sup>是处理结构控制型岩体工程问题最为成熟的技术之一。该程序不但允许有限位移和离散体的转动及脱离,而且在计算过程中可以自动判别块体之间可能出现的新的接触关系,因此它可以方便地实现对复杂结构体变形破坏的模拟,可以将所研究的区域划分为一个个多边形块体单元,单元之间通过接触关系,建立位移和力的相互作用规律,通过迭代使得每一个块体都达到平衡状态。在稳定分析中,它的功能在于反映岩块之间接触的滑移、分离和倾翻等大位移的同时,又能计算岩块内部的变形与应力,该法的另一个优点是利用显式时间差分求解动力平衡方程,可方便地求解非线性大位移和动力稳定。

(4)不连续变形分析法<sup>[6]</sup> DDA (discontinuum deformation analysis)是基于岩体介质、非连续性发展起来的一种崭新的数值分析方法。DDA中的本构关系为块体所受的合外力与块体位移之间的关系。它考虑了变形的不连续性和时间因素,既可以计算静力问题,又可以计算动力问题。它还可以计算破坏前的小位移,也可以计算破坏后的大位移,如滑动、崩塌、爆破及贯入等,特别适合于边坡极限状态的设计计算。但是此方法还有很大的缺点由于岩体种类繁多,性质极为复杂,计算时间步长大小对计算结果影响很大,且需耗用大量的计算机内存及时间,还引进一些过于简单的假定和接触面上的弹性刚度,使其在岩体工程中应用受到了一定影响。

(5)快速拉格朗日分析法<sup>[7]</sup>。有限变形问题是针对塑性变化历程及延性破坏机制等问题提出来的。在处理有变形问题时,对材料的非线性给予考虑,使由变形造成的对内外力平衡的影响在计算中得以实现,所以需要一种兼顾材料非线性和几何非线性的一般解析方法。为了克服有限元等方法在求解大变形问题时的缺陷,人们根据有限差分法的原理,提出了FLCA (fast Lagrangian analysis of continuum)数值分析方法,该方法较有限元能更好地考虑岩土体的不连续性和大变形特性,求解速度较快。其缺点是计算边界、单元网格的划分带有很大的随意性,在一定程度上影响计算的精确性。

### 1.2.2 不确定性分析法

不确定性分析方法在边坡稳定分析应用一方面是由于一些新理论方法可靠度的出现;另一方面是由于在边坡程设计和分析中涉及有大量不确定因素越来越被人们认识,如岩体性质、荷载等物理方面的不确定性、取样、试验的统计不确定性、计算模型的不确定性和人为过失造成的不确定等,这些不确定性造成的影响尽管通过提高岩石测试和算术的精度能在一定程序上减少,但局部试验的精确性、确定并不能消除岩石性状宏观判断上的随意性和模糊性,而且不能无限度提高单项试验的精度、规模和完善确定性计算方,因此用较简单的测试手段来提高对岩石工程质量状态判断精度,就显得十分必要,目前主要的不确定性方法包括可靠度方法、模糊数学法和灰色预测系统法等几种。

#### 1.2.2.1 可靠度评价法

边坡稳定性分析中常采用一种确定性方法,即将安全系数定义为作用在滑弧上的抗滑力矩与滑动力矩的比值。该法的原理是首先通过现场调查,以获得影响边坡稳性影响因素的多个样本,然后进行统计分析,求出它们各自的概率分布及其特征参数,再利用某种可靠性分析方法,如可靠指标法、统计矩法、随机有限元法等来求解边坡岩体的破坏概率即可靠度。近年来已把该方法应用到边坡稳定性评价中,对岩土体滑动过程的安全性进行研究。

#### 1.2.2.2 模糊综合评判法

最早将模糊数学引入岩石力学与工程研究领域借以分析天然岩石不确定性的是我国学者陶振宇<sup>[8]</sup>和王靖涛<sup>[9]</sup>,他们将模糊数学中的模糊评判系统应用于岩石工程分类之中,提出了建立在 Q 系统分类基础上,考虑岩体物理力学参数不确定性的岩石分类方法,同时将模糊数学应用于处理边坡问题,考虑了几何参数的模糊性对稳定性分析的影响,并提出了确定模糊安全系数的方法<sup>[12]</sup>。实践证明,模糊综合评判方法为多变量、多因素影响的边坡稳定性分析提供了一种行之有效的手段。这一方法主要应用于大型边坡的整体稳定性评价。

#### 1.2.2.3 灰色统计判别法<sup>[10]</sup>

灰色系统理论是研究信息不完全系统的有效方法,灰色系统分析和灰色模型是灰色系统理论的两大核心内容。在系统分析中,常用的定量方法大都是数理统计法,如回归分析、方差分析,其中以回归分析用得最多。而回归分析有要求大样本量要求样本有较好的分布规律、计算工作量大以及可能出现

量化结果与定性分析结果不符的现象等弱点。灰色系统理论则提出了一种新的系统分析方法,称为系统的灰色关联度分析方法。该方法可不受上述局限,它可在不完全的信息中,对所要分析研究的各因素,通过一定的数据处理,在随机的因素序列间,找出它们的关联性发现主要矛盾,找到主要特性和主要影响因素。

可靠度方法、模糊数学法和灰色预测系统法这些评价边坡稳定采用的新方法,由于大量的不确定性因素的存在,虽然能很好的广泛的应用于像边坡稳定性这种数据有限、没有原型、复杂而且具有不确定性问题的分析和评价,但是由此得出的结论和实际问题还有一定的距离,需要不断的完善和解决。

## 2 结 论

(1)多种稳定性方法并用,进行综合分析验证。力求得出一个更加客观、可靠、合理的评价结果。

(2)可靠度分析方法的不断完善,如失稳概率分析,模糊数学综合评价方法等可靠度分析方法研究和应用。

(3)随着数值分析方法的不断发展,不同数值方法的相互耦合成为一大发展趋势。如有限元,离散元与块体元等的相互耦合,数值解和解析解的结合,这些方法的耦合能充分发挥各自的优点,解决更复杂的边坡问题。

## 参 考 文 献:

- [1] 黄昌乾,丁恩保. 边坡工程常用稳定性分析方法 [J]. 水电站设计, 1999.
- [2] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 1996 (4).
- [3] 卓家寿,章 青. 不连续介质力学问题的界面元法 [M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [4] 章 青,卓家寿. 三峡船闸高边坡稳定分析的界面元与评标准 [J]. 岩石力学与工程学报: 2000.
- [5] 王泳嘉等. 离散元法及其在岩土力学中的应用 [M]. 辽宁:东北大学出版社, 1991.
- [6] 石根华. 任放等译. 块体系统不连续变形数值分析新方法 [M]. 北京:科学出版社, 1993.
- [7] 束善治,章 林. 复杂条件下露天采场边坡变形分析 [J]. 工程地质学报, 2000.
- [8] 陶振宁,彭祖赠. 模糊数学在岩石工程中的应用 [J]. 岩土工程学报, 1981.
- [9] 王靖涛. 模糊集合论在岩体的综合评价和工程分类上的应用 [J]. 岩土力学, 1980.
- [10] 洪海春,徐卫亚,叶明亮. 基于模糊综合评判的边坡稳定性分析 [J]. 河海大学学报, 2005.

(收稿日期 2008-03-05)