

# 斜坡稳定性评价方法综述<sup>\*</sup>

冉恒谦

斜坡稳定性评价在工程地质工作中是一个非常课题。目前,国内外常用的和新近采用的斜坡稳定性评价方法大体可分为:(1)工程地质和类比法;(2)传统的计算稳定系数法;(3)数值分析法;(4)近代评价方法。

## 1 工程地质分析和类比法

工程地质分析、类比法实质上是对工程地质条件的分析,对已破坏斜坡信息的利用。前者是根据斜坡变形、破坏的基本规律,通过追溯斜坡演变的全过程,对斜坡稳定性发展的总趋势和区域特征作出评价和预测。类比法是把已有的斜坡的研究和设计经验应用到相似的新斜坡的研究中去。在进行类比时,不但要考虑斜坡结构特征的相似性,还要考虑斜坡所处自然环境的相似性,以及促使斜坡演变的主导因素和斜坡发展阶段的相似性。直到如今,地质分析、类比法仍有许多学者采用,而且内容比过去更丰富。地质分析已是其它方法必不可少的先行工作。

## 2 传统的计算稳定系数法

传统的定量评价方法即在极限平衡理论基础上计算稳定系数,关键是正确判定边界位置和选定计算参数。这种方法是应用岩土力学的理论与方法,分析计算特定条件下各类斜坡的稳定性。由于作用于斜坡的内、外因素的不同,计算稳定性系数的方法也多种多样。目前常用的方法有:瑞典圆弧

法,即菲兰纽斯法(Fellenius)、毕肖普法(Bishop)、扬布法(Janbu)、萨尔玛法(Sarma)、不平衡推力法、空间楔体滑动法、边坡破坏概率分析法等十几种方法。用上述方法得到的定量结果比较直观,易被人们理解。考虑到存在随机因素,增加一些安全余度,给出一个 $>1$ 的标准稳定系数,多数情况下评价斜坡稳定性能够满足生产和科研的需要。

## 3 数值分析法

近几十年来,随着电子计算机的广泛应用,解决工程地质问题的数值分析方法有了突飞猛进的发展。在工程地质问题分析中,最常用的数值方法包括有限单元法、离散单元法和边界单元法。此外,除较早的有限差分法外,新近还发展了半解析元法、无界元法和不连续变形分析法。这类方法的突出优点是能够较好地考虑诸如介质的各向异性、非均质特性及其时间的变化,复杂边界条件和介质不连续性等复杂地质条件,能够得出斜坡内各点、各部位的稳定状态,能描述应力—应变—稳定状态的发展过程,这有助于认识坡体变形机理,是前两类方法所办不到的,并且使斜坡稳定性评价的水平大大提高了一步。可以说,数值分析方法已成为斜坡稳定性评价不可缺少的手段。

## 4 近代评价方法

从80年代初开始,在斜坡稳定性分析中引入了一些新的概念和方法,并逐步得到了发展。在斜坡稳定性评价的近代方法中,

\* 地矿部科技司重点地质科技项目“岩体不连续的利用与加固技术研究”中的内容,项目编号:8505512。

主要以不确定方法即随机法(破坏概率法)和模糊理论法为先,近来又引入了灰色理论。

#### 4.1 随机法

近几十年来可靠度理论发展很快,已用于工程实践,但由于岩土性状参数的分散性和岩土中各种现象的复杂性,可靠性分析在岩土工程中的应用难度较大。尽管如此,仍将稳定系数引入了斜坡的稳定性评价中,许多学者认为,斜坡稳定系数实质是一系列不确定的或称随机的变量的函数,因此稳定系数本身也应是随机的。传统的方法仅用一个值(确定值)来表达,这个答案是不完全的。从概率的观点看,除应给出稳定系数  $F = F'$  外,还应给出  $F < F'$  的概率,即失效概率  $P_f(F < F')$ ,亦称破坏概率,  $P_f$  越小则该稳定系数的可靠度越高。但目前斜坡稳定性评价的  $P_f$  应取多大尚无公认的标准。传统方法的最大缺陷是只给出稳定系数,而不给出失效可能性的直接信息。单纯的稳定系数实质上是随机变量的某个平均值,因而给人们以假象,认定稳定系数  $F = 1.1$  的斜坡比  $F = 0.9$  的斜坡稳定,结果有时却适得其反。不过多数情况下传统的方法仍有效,这是因为:(1)它毕竟反映了客观情况(只是不完全);(2)采用了较保守的安全余度。

#### 4.2 模糊理论法

由于斜坡稳定性分级(即稳定与不稳定之分)的界线很不清楚,而且影响稳定性的因素众多而又十分复杂,很难用经典数学模型加以量度,也很难将复杂的影响因素集成为一个元素来进行评价。所以,近些年来,许多学者引入模糊理论对斜坡稳定性进行综合评判,并且把模糊理论与层次分析法相结合,对斜坡稳定性进行模糊分层综合评判,这样可使尽可能多的参数按其不同的层次进行综合考虑,这种方法得到了较快的发展。

#### 4.3 灰色理论法

隶属于系统论范畴的灰色理论在工程地质学中也得到了广泛地应用。在斜坡工程中主要用于滑坡滑动时刻的预测、坍塌规模的确定,取得了一定的效果。灰色理论与模糊理论相结合应用于地震预报上,取得了不错的效果。近年来,有的学者已把灰色理论与模糊理论结合在一起用于斜坡稳定性的综合评判。

#### 4.4 不确定方法之比较

众所周知,自然界和社会领域存在着许多不确定性的现象,这种不确定性主要表现在两个方面:一是随机性;二是模糊性。随机性是由于事物的因果关系不确定所造成的,常用概率统计方法进行研究;事物的模糊性是指其边界不清楚,即在质上没有确切的定义,在量上没有明确的界限,主要用模糊理论进行研究。从质和量两个方面来看,模糊性都是比随机性更为基础的不确定性。随机性是在事件是否发生的不确定性中表现出来的条件的不确定性,而事件本身的性态和类属是确定的。模糊性则是事件自身性态和类属的不确定性。大体上说,随机性是一种外在的不确定性,模糊性是一种内在的不确定性。随机现象服从排中律,在随机试验中,某个事件要么发生,要么不发生,不存在第三种可能性。模糊事件不服从通常的排中律,存在着许多的甚至无穷多的中间状况。模糊性是排中律的破缺,也就是某种不排中性。可以把随机性看作一类特殊的模糊性,即事件发生的可能程度的渐变性,但模糊性远不限于这一种表现形式。从信息观点看,随机性只是涉及信息的理,模糊性关系到信息的意义,模糊性是一种比随机性更深刻的不确定性。因此,用模糊理论来综合评价斜坡的稳定性应该比随机方法更有意义。

另外,模糊理论与灰色理论相比,也是着重于事物的不同方面。灰色理论着重于外延明确而内涵不明确问题的研究,模糊理

论则着重研究外延不明确而内涵明确的问题。斜坡稳定性分析作为一个复杂的系统工程,它既有内涵不明确的方面(因素众多且十分复杂,关系不清且信息不全),又有外延不清的方面(稳定性分级界线不清等)。因此,把模糊理论与灰色理论相结合用于斜坡稳定性综合评判可以解决斜坡稳定性问题中出现的既“灰”又“模糊”的两个方面。

## 5 结语

通过对目前国内外常用的斜坡稳定性评价方法的分析,可以认为,由于影响斜坡稳定性的因素很多,因素之间的关系十分复杂,任何一种方法要单独解决斜坡稳定性分析这样一个复杂的系统工程问题是办不到的。所以斜坡稳定性评价方法的多样化已成为必然。各种不同的方法都是从不同的

角度、方面以及不同的认识问题的深度对其进行分析研究。当涉及具体某一个斜坡稳定性问题时,必须根据其斜坡的具体情况来选择采用那几种方法进行分析。总之,斜坡稳定性评价方法将随着其广泛应用和科学技术的发展而不断完善和创新。

## 6 参考文献

- [1] 张倬元,王士天等. 工程地质原理. 地质出版社, 1981.
- [2] 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津科学技术出版社, 1983.
- [3] 易德生,郭萍. 灰色理论与方法. 石油工业出版社, 1992.
- [4] 潘别桐,黄润秋. 工程地质数值法. 地质出版社, 1994.
- [5] 冉恒谦. 斜坡稳定性分析的灰色—模糊综合评判. 中国地质大学(北京)硕士论文, 1995.

(上接第 118 页)

管都从靶区钻出地表为止。

## 5 回拉扩孔和铺管线技术

定向钻进回拉扩孔和铺管线技术与导向钻进回拉扩孔和铺管线技术基本相同。根据国内外资料,钻孔孔径  $D_H = 1.5D_N$  ( $D_N$  为管线外径)时,才能回拉穿越的管线。如果导向孔直径达不到这一要求,则应进行扩孔。如只需一次扩孔,后端通过万向分动接头与管线相连,一面扩孔,一面回拉管线。回拉时,钻机带动扩孔器旋转前进,泥浆通过扩孔器上的喷嘴射出,同时,管线被拉入扩大的孔内。当需要多次扩孔时,扩孔器后面连接钻杆。

## 6 螺杆钻定向钻进非开挖铺管线技术研究任务

(1)研制适用于钻进卵砾石、硬岩的配套钻具。(2)研究定向钻进导向孔施工工艺,其中包括导向孔轨迹设计、监控、研制造斜工具。(3)无缆随钻测量仪的研制。(4)研制用于硬岩的回拉扩孔器及相应的施工工艺。(5)长距离穿越孔铺管线技术。(6)研制与 GBS-10、GBS-18 型钻机相配套的定向钻进导向孔钻进用机具。

## 7 小结

研制采用螺杆钻定向钻进非开挖铺管技术是非常必要的,它将进一步完善非开挖铺管技术,同时将产生显著的经济效益和社会效益。