DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.1986.02.018

问题讨论

与“暴雨时边坡稳定性计算实例”文的商榷

姚祺昌（冶金工业部马鞍山矿山研究院）

“暴雨时边坡稳定性的计算实例”一文（以下简称“实例”）*，提出了水对边坡稳定性影响这样一个重要而复杂问题。水是滑坡的主要诱因。地下水对边坡的作用，包括静水压力和动水压力。用考虑静水压力的极限平衡边坡稳定性计算法来考察《实例》，至少有以下三个问题值得商榷。

一、滑动面的确定

滑动面的形状和位置的确定，是边坡稳定性计算的关键。若是滑体反算，可根据实测资料或推断确定滑动面；若是边坡稳定性计算，滑动面依坡体介质类型而定，大致可分两种情况：一种是多层岩土组成的块裂型介质边坡，滑动面一般受软弱结构面控制，其形状为平面或折线形，因此在确定可能滑动面时，首先要考虑不利于边坡稳定性的结构面，然后考虑作图法。另一种是简单土坡（包括废石堆）或岩石风化层边坡，可视为松散介质，滑动面为圆弧形，用作图法确定。

根据上述原则，考察《实例》图2的实际情况，文中采用W．费兰纽撕法确定滑动面，值得斟酌。因为：

（一）该文图2所示边坡，由三层不同岩土组成，有两个明显层面，并且这两个弱面与边坡倾向一致，对边坡稳定性很不利。所以，在确定边坡破坏模式时，首先要考虑这两个层面作为滑动面的中下部，其上部用作图法或实测确定。

目前国内外趋于一致的看法，并且为越来越多的事实所证明的，是边坡在滑动时或滑动前，滑动面的顶部为近铅垂方向拉断，其余部份为剪切破坏，因此，在确定滑动面时，分两种情况考虑：

1．边坡平面破坏时

滑动面的下部为结构面，即已知滑动面的倾角，上部的拉断高度Z，如图1所示，按Markland[1]公式稳定：

$$t = H(\sqrt{\cot\alpha \cdot \cot\beta} - \cot\alpha) \qquad (1)$$

式中 t—边坡边线到铅垂拉断处之水平距离；

H—边坡高度；

α—边坡角；

β—滑动面倾角。

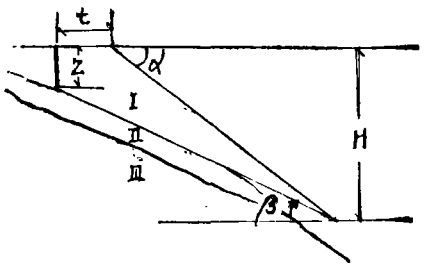

图1 确定z的示意图

求得 t 后用作图法确定 Z。

或按下式确定 Z，

$$Z = H(1 - \sqrt{\cot\alpha \cdot \tan\beta}) \qquad (2)$$

若边坡无明显结构面可选为滑动面时，滑动平面倾角可用下式确定，$\beta = \frac{1}{2}(\alpha + \varphi)$，式中$\varphi$为岩石摩擦角，$Z$用式（1）或（2）确定。

2．边坡圆弧面破坏时

一般均质土坡或风化层边坡，可用圆弧形滑动面。作圆弧面的方法很多，但从滑动面顶部有一拉断高度这一事实出发，目前露天矿边坡，一般都采用Г．Д．ФЦСЕНКО[2]方法确定滑动面，此滑动面安全系数最小，一个剖面计算一弧即可，比其他方法简便。此法作图先按下式求出坡顶铅垂拉断高度Z，然后作图，如图2所示，

$$Z = \frac{2c}{\gamma}\tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (3)$$

式中 c，γ—分别为岩（土）的内聚力和容重，其它

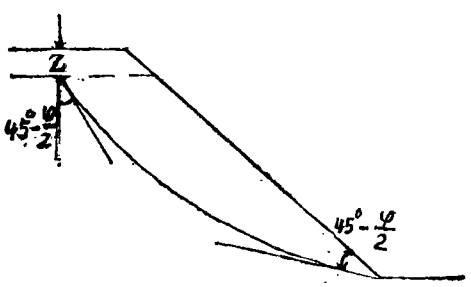

图2按Г．Д．Фцсенко法作的示意图

* 暴雨时边坡稳定性的计算实例，水文地质工程地质，1985年第2期，32—36页。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

符号意义同前。

（二）《实例》用 W. 费兰纽斯法所作的图 3 滑动弧似乎有误。文中（第33页右顺 3 行）："再从 A 点为起点，以水平距离 4.5H 的端点与 D 点相连并加以延伸，……。"这两句之间应插入一句"向下铅垂方向取坡高 H，向左以水平距离4.5H的……。"由于作图错误，随之而来的计算结果也欠妥。我们根据《实例》图 3 数据，按费氏法所作的对比图，如图 3 所示。

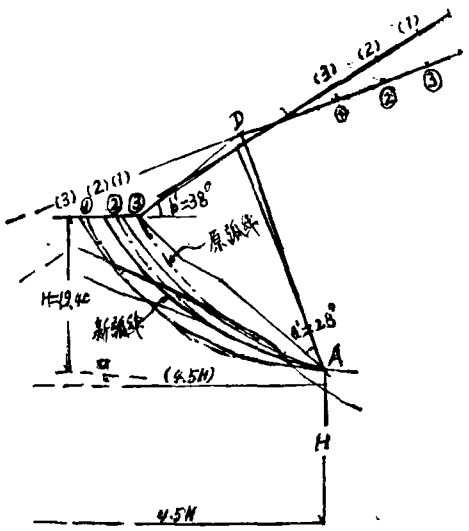

图 3　按费兰纽斯法作的图

当计算一个边坡安全系数时，能用圆弧滑动面尽量应用，因为在边坡几何形状不变，介质类型、计算参数和计算公式都相同时，圆弧滑动面算得的安全系数比平面滑动面的小。

二、怎样考虑地下水对边坡稳定性的影响

《实例》把滑动面比作地下洞室的衬砌，静水压力对滑动面和对衬砌的作用相似，实在不敢苟同。因滑动面与地下洞室衬砌，在水理性质和物理力学性质方面几乎没有类似之处，尽管对水头损失和面积作了折算，也难免失实。

从《实例》的实际情况出发，举出几种有关的边坡地下水分布模型及计算公式，以供参考。

（一）地下水对平面破坏边坡的影响

图 4 为坡顶垂直裂缝内大雨时期充水至深度 Z_w 的模型。

$$\text{安全系数}\quad F=\frac{CA+(W\cos-u-V\sin\beta)\tan\varphi}{W\sin\beta+V\cos\beta} \qquad (4)$$

式中 $A=(H-Z)\operatorname{cosec}\beta$，为滑动面积；$Z$ 一用式(2)

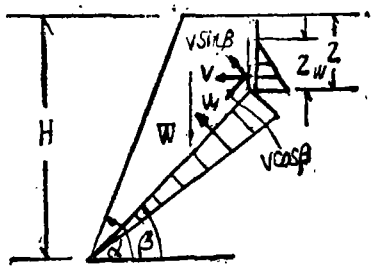

图 4　坡顶张裂缝大雨时充水模型

计算；W一条块重量；$u=\frac{1}{2}\gamma_w\cdot Z_w\cdot A$，滑动面上水压力；$V=\frac{1}{2}\gamma_w\cdot Z^2_w$，裂缝内水压力；$\gamma_w$一水的容重。

图 5 为边坡位于含水层中的模型。

$$F=\frac{CA+(W\cos\beta-u)\tan\varphi}{W\sin\beta} \qquad (5)$$

式中 $u=\frac{1}{4}\gamma_w H^2_w\operatorname{cosec}\beta$

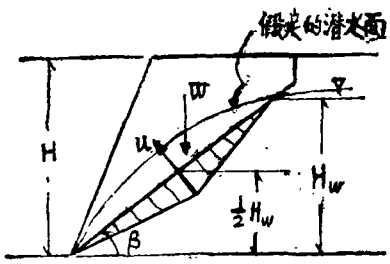

图 5　边坡位于含水层的模型

（二）地下水对圆弧形破坏面边坡的影响

图 6 为暴雨时大量补给饱水边坡模型，其安全系数按 Han[3] 用电算绘制的图表解算。由上观之，《实例》边坡在地下水位以上，若考虑边坡在暴雨时有大量补给，张裂隙充水，可选用图 4 模型；若考虑暴雨时，边坡完全饱水，可选用图 6 模型。

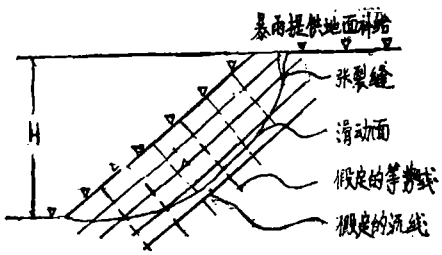

图 6　暴雨提供大量补给饱水边坡中地下水流形式

（下转第59页）

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

我国第一个国家级地质自然保护区在天津蓟县建立

天津市蓟县城北山峦重叠，这里有一条中、上元古界地层剖面。经国务院批准，列为我国第一个国家级地质自然保护区。于1985年10月2日在蓟县下营乡常州村的中上元古界地层剖面自然保护区的起点，隆重举行了立碑揭幕仪式。

这条剖面，以其岩层齐全、出露连续，保存完好、顶底清楚、构造简单、变质极浅和古生物化石丰富，厚近百米的特点，显示出得天独厚的本色。这条地层剖面简称蓟县剖面。自北向南层层迭复，它真实地记录了地球演化中距今约19亿年至8亿年这段时期的地质历史，好像一部巨厚的"石头记"赋存着反映当时的古地理、古气候、古生物、古构造、古地磁等大量自然信息以及各种金属、非金属矿产资源。

蓟县剖面的研究已有较长的历史，自1934年我国地质学家高振西教授发现并研究以来，便成为我国北方这一时期地层的有代表性的剖面。1959年全国地层会议明确将蓟县剖面定为我国中、上元古界标准剖面。曾先后有许多中外学者从不同角度都作过大量工作，使其研究程度达到较高的水平。这条剖面早已闻名于世，为世界各国所赞誉，自1978年以来美、英、法、澳、苏、加等十几个国家和地区的著名地质学家前来参观、考察、普遍获得好评。

今年8月份，经天津市政府批准，确定了蓟县中、上元古界自然保护区地层剖面核心保护区范围约8平方公里，剖面走向长约24公里，平均宽度350米。这一保护区的建立填补了我国这类自然保护区的空白，对前寒武纪地质和古生物科学研究有着重要意义，在展旅游和开发矿产资源等方面也有一定经济价值。

当地质矿产部部长朱训和天津市长李瑞环共同为纪念碑揭开帷幕时，一块金碧辉煌的纪念碑"蓟县中上元古界国家自然保护区"立刻展现在人们面前，它将展现着古老地层新生命的来临。

（上接第57页）

5．方法的精密度和准确度　按照前述操作手续，对三个不同含量硫化物水样分别进行了8次分析，其重现性列于表6。

按照前述操作手续，对不同含量的标准硫化物水样进行测定。

从标准硫化物水样的回收可见，本法准确度和精密度均较好，回收率在95%以上，完全满足于水文地质工作的要求。

6．本法与醋酸镉沉淀一碘量法结果比较　用本法和按《岩石矿物分析》所介绍的醋酸镉沉淀一碘量法对几个水样中的硫化物含量进行了对比测定。

从结果可见，本法与醋酸镉沉淀一碘量法结果很吻合，而在精密度和准确度上还优于精心操作的碘量法结果。

（上接第48页）

三、计算方法

边坡稳定性计算有极限平衡法，有限单元法，图解法和可靠性分析等方法，这里只谈极限平衡垂直条分法。

当滑动面和地下水分布模型确定之后，计算公式也就随之而定，具体计算不难，这里就不赘述了。只对与计算有关的几个问题略提一下。

参与稳定性计算的岩土抗剪强度指标，应在室内外分别测定弱面指标和岩土体残余强度指标。若考虑震动对边坡影响时，计算公式应加进震动力。

安全系数要根据边坡工程地质条件，岩土强度，地下水和震动等的研究程度，以及工程的重要性来确定，国外一般选用1.20—1.30；中科院岩土所在大冶铁矿边坡稳定性研究中，分别选用1.15，1.10，1.00；我门在海南铁矿边坡稳定性研究中，分别选用1.25，1.15的安全系数。

在边坡设计时，拟用的边坡角，根据统计资料[4]：硬岩坡角小于45°；软岩和土坡角宜小于40°。

在边坡稳定性计算过程中，要反复调整坡角，使算得的最小安全系数大于选定的安全系数。

总之，边坡稳定性研究是综合性课题，它包括地质构造、岩土强度、地下水、震动和工程条件等的研究。边坡稳定性计算时，确定边坡破坏模式是关键，岩土强度指标是依据，地下水和震动的影响是重要因素。

参考资料

〔1〕 CordING, E.J., 1972, Stability of ROCK Slopes, New York.

〔2〕 Фисенко, г. л, 1965, Устойчивость Боров КАРЬЕРОВ И ОТВАДОВ, Москва.

〔3〕 Hoek, E. 等著，卢世宗等译，1983，岩石边坡工程，冶金工业出版社。

〔4〕 姚祺昌，1964，露天矿边坡稳定性研究，《钢铁》，11。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net