

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2018.03.05

# 水压力分布作用下楔形体稳定性分析

管国安

(江西省乐安县水利局,江西 乐安 344300)

**摘要:**不同的裂隙岩体中水压力的分布形式不同,研究水压力分布规律对坡体稳定性分析极其重要.传统的裂隙水压力分布规律存在问题,本文就几种特殊情形提出了合理的水压力分布规律,利用 Swedge 软件,分析有无张拉裂缝情况下的楔形体岩质边坡,在不同水压力分布形式下的坡体稳定性.计算结果表明:当楔形体结构面无水压力分布时,楔形体稳定性在有张拉裂缝情况下比无张拉裂缝情况下低.水压力分布形式对楔形体稳定性影响很大,不同结构面其水压力分布形式不同,如果按照统一水压力分布形式计算,将会产生很大的误差.

**关键词:**稳定性分析;楔形体;水压力分布

**中图分类号:**U 213.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2018)03-0171-05

## 0 引言

许多研究及统计资料表明,影响库岸边坡稳定性的重要因素是地下水.地下水的渗流作用会影响边坡中作为渗流骨架的岩体力学性质,从而来影响岸坡稳定性<sup>[1-3]</sup>.不同裂隙岩体中水压力分布形式也不一样,而对于岩质边坡来说,裂隙岩体中的水压力就是增加下滑力,减小抗滑力,在降雨作用下,岩质边坡的失稳主要是裂隙岩体中水压力增加所导致的.研究裂隙中水压力分布对边坡稳定性极其重要<sup>[4-7]</sup>.

在楔形体稳定性分析中,定性分析方法赤平极射投影是一种重要的分析方法,将三维的边坡数据投射到二维平面中,能够直观准确的判别坡体稳定性及优势结构面.在现行的楔形体稳定性分析方法中,Swedge 作为一种极限平衡法分析软件,能够快速对四面体的楔形体进行稳定性分析.

本文分析了裂隙岩体中不同的水压力分布,利用 Swedge 极限平衡法软件,计算不同水压力分布作用下有无张拉裂缝情况下楔形体岩质边坡的稳定性.

## 1 楔形体稳定性分析

边坡受两个相交的结构面切割时,构成的可能滑移

体多数是楔形体,在自重作用下,一般是由两个结构面组合交线的倾斜方向控制.

楔形体稳定性分析中,单纯地只考虑的楔形体几何方向,很难准确地得到楔形体安全系数.1973年 Hoek 等在对楔形体极限稳定性分析中,考虑了楔形体的几何尺寸、结构面的抗剪强度和地下水分布.图1为楔形体分析要素和水压力分布图.

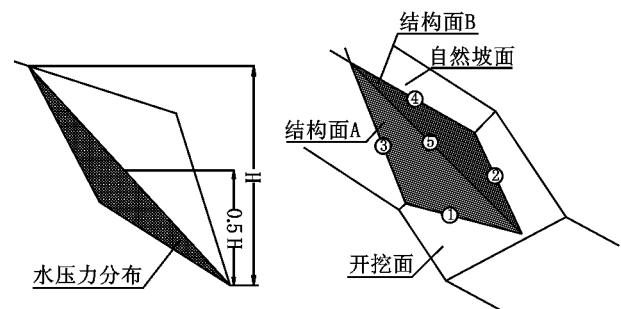


图1 楔形体分析要素和水压力分布图

根据图1楔形体的分析要素及水压力分布图,将其进行极限平衡法分析.图2为赤平极射投影的楔形体稳定性分析赤平极射投影图.

图2中:①为开挖面与结构面A的交点,②为开挖面与结构面B的交点,③为自然坡面与结构面A的交点,④为自然坡面与结构面B的交点,⑤为结构面A与

收稿日期:2017-12-14

作者简介:管国安(1989-),男,大学本科,助理工程师.

结构面 B 的交点。

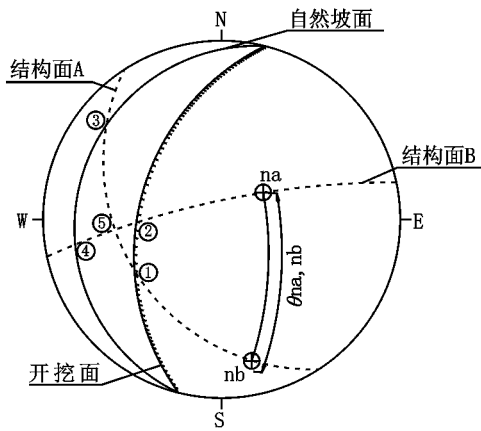


图2 赤平极射投影楔形体稳定性分析

Hoek 等所进行的楔形体的稳定性分析,稳定性系数  $FS$  可计算为:

$$FS = \frac{3}{\gamma_c H} (c_a X + c_b Y) + P \tan \varphi_a + Q \tan \varphi_b - \frac{\gamma_w X \tan \varphi_a + \gamma_w Y \tan \varphi_b}{2\gamma_r} \quad (1)$$

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cos \theta_{2,na}} \quad (2)$$

$$Y = \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cos \theta_{1,nb}} \quad (3)$$

$$P = \frac{\cos \psi_a - \cos \psi_b \cos \theta_{na,nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na,nb}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na,nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na,nb}} \quad (5)$$

$$\alpha_5 = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \psi_a \cos \alpha_a - \tan \psi_b \cos \alpha_b}{\tan \psi_b \sin \alpha_b - \tan \psi_a \sin \alpha_a} \right) \quad (6)$$

$$\psi_5 = \tan \psi_a \cos(\alpha_a - \alpha_5) = \tan \psi_b \cos(\alpha_b - \alpha_5) \quad (7)$$

式(1)~(7)中: $\alpha_a, \psi_a$ 分别为结构面 A 的倾向和倾角; $\alpha_b, \psi_b$ 分别为结构面 B 的倾向和倾角; $\alpha_5, \psi_5$ 为结构面 A 和结构面 B 的交线 5 的倾向和倾角; $na, nb$ 分别为结构面 A 和结构面 B 的极点; $\theta_{13}, \theta_{24}, \theta_{45}, \theta_{35}, \theta_{na,nb}$ 分别为图 2 中赤平极射投影图交线的交点的夹角; $c_a, \varphi_a$ 分别为结构面 A 的黏聚力和内摩擦角; $c_b, \varphi_b$ 分别为结构面 B 的黏聚力和内摩擦角; $\gamma_c$ 为楔形体岩体容重; $\gamma_w$ 为水容重; $H$ 为楔形体高度。

## 2 传统水压力分布

在楔形体岩质边坡稳定性分析中,裂隙常分为潜滑

裂隙和张开裂隙两部分,张开裂隙为垂直于地表的裂隙,而滑移裂隙为倾斜滑移面的裂隙。如图 3 所示,传统的裂隙水压力分布中,张开裂隙的水压力分布为线性分布,从上到下依次增大,潜滑裂隙中水压力从下端出口到上端依次增大,潜滑裂隙上端的静水压力与张拉裂隙下端

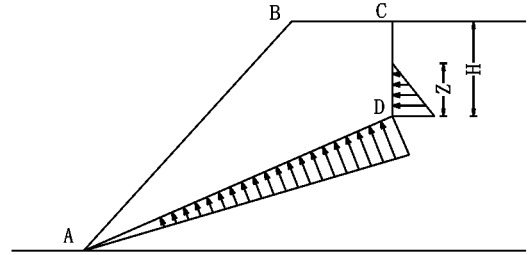


图3 传统裂隙水压力分布规律

如果在裂隙岩体中,按照传统的水压力分布规律考虑,这在理论上是无法解释的。

在张拉裂隙中,如果计算水压力,则坡体的下滑力增加,抗滑力减小,因此坡体的安全系数减小。而在实际工程中,裂隙不一定贯通,水压力也不一定照此分布,对于水压力的计算错误,势必会使安全系数的计算产生误差。

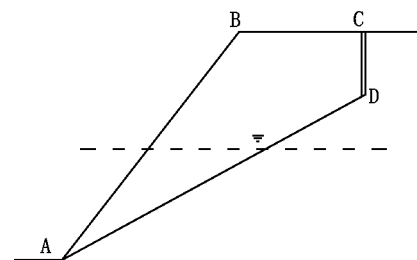


图4 地下水位低于垂直张拉裂隙下端

对于具有张拉裂隙的岩体,如图 4 所示,当地下水位低于张拉裂缝下端时,则张拉裂缝的水压为零,其水压也为零。但是如果按照传统水压力分布形式分析,则潜滑裂隙 AD 中的水压力也为零,这与事实是不符的,而按照传统的方法计算坡体稳定性时是偏于危险的。

## 3 水压力分布类型

在楔形体的岩质边坡中,Swedge 是楔形体一种常用的分析软件。在 Swedge 中,不同水压力分布的区别

主要是不同裂隙的贯通程度和峰值水压力所在的位置。图5为楔形体的不同水压力分布规律示意图。

①水压力分布1:对于岩体裂隙具有充分泄水能力,即岩体裂隙下端的泄水能力大于张拉裂隙上端补水能力的情形,裂隙中不会形成稳定的水位,这时的静水压力为零,而流水的动压力又不会形成稳定的水位,故在确定边坡稳定系数时可不考虑裂隙水压力的作用。

②水压力分布2:对于潜滑裂隙下端具有较大的泄

水速度,但泄水能力不大于张拉裂隙上端补给能力,即在裂隙中保持有稳定的水位的情形,鉴于水面与泄水口出的水压力均为零,宜取裂隙全高的中点处为水压力最大点,其水压力的大小按静水压力计算方法计算,其水压力分布如图5(a)和图5(b)所示。

③水压力分布3:对于岩体潜滑面下端没有张开,不存在泄流的情形,裂隙水压力可按裂隙中水位全高静水压力计算,如图5(c)和图5(d)所示。

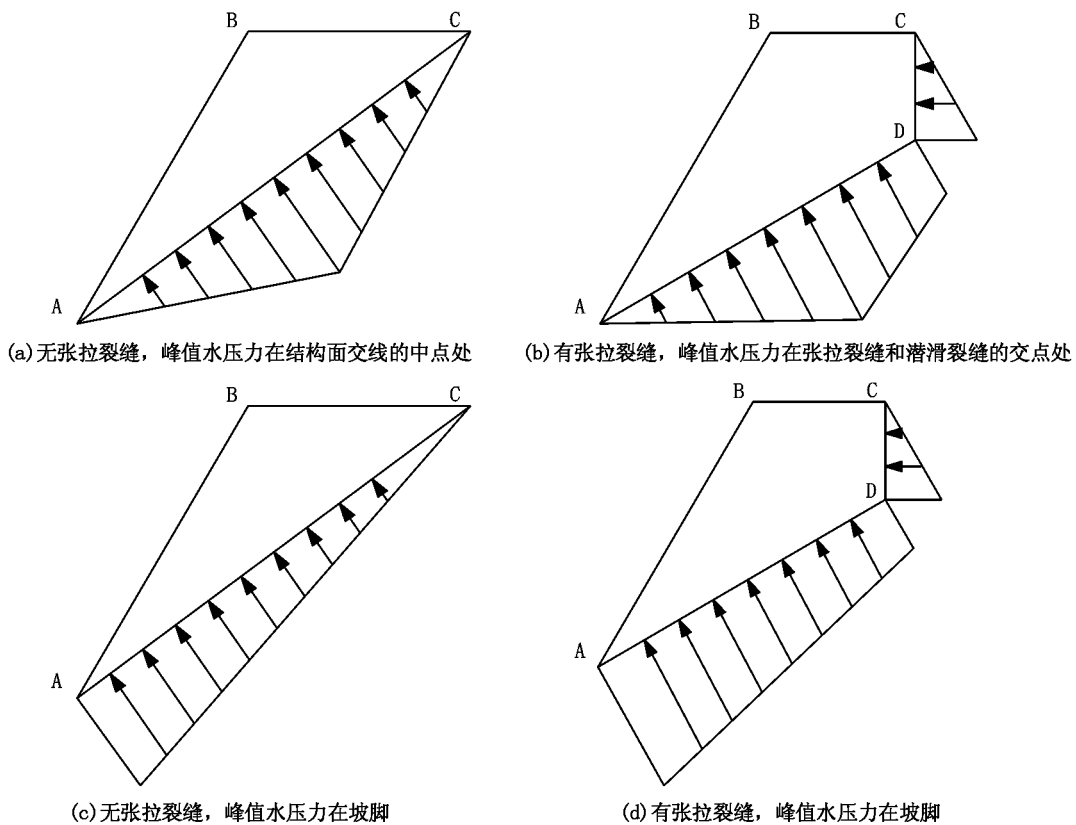


图5 不同水压力分布类型

由于楔形体是由两个结构面相互切割而形成,两个结构面的水压力也不一定是相同的,因此对于不同的楔形体,在稳定性分析中,对于其水压力分布应根据实际情况,测定相关的结构面的含水率等相关参数再决定其水压力分布。下面就某楔形体模型对不同水压力分布下的岩质坡体进行稳定性分析。

#### 4 典型案例

某山区楔形体岩质边坡,由于库区道路开挖,坡体易发生失稳破坏,先对其进行稳定性分析。根据地质勘

查资料,查阅周边区域地质资料及现场调查情况,确定其结构面、层面和自然坡面的产状要素,相关数据见表1,倾向为从正北方向为基准顺时针旋转得到的角度。图6为该坡体的赤平极射投影图。

表1 楔形体产状要素

产状	倾向/(°)	倾角/(°)	相关参数
结构面 $J_1$	105	45	岩体容重 $\gamma_c = 26 \text{ kN/m}^3$ 水容重 $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$ 坡体高度 $H = 33 \text{ m}$
结构面 $J_2$	235	70	
开挖面	185	65	
自然坡面	195	12	

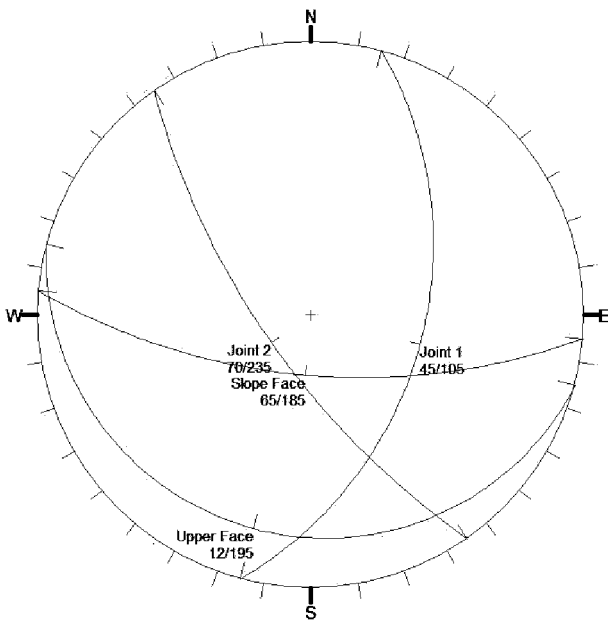


图6 坡体赤平极射投影图

由于现场条件有限,对结构面的水压力分布无法准确测定,现假定楔形体在不同水压力分布作用下,对其进行稳定性分析。

## 5 楔形体稳定性分析

### 5.1 无张拉裂缝

在无张拉裂缝情况下,假定楔形体结构面水压力分布不同,对图5中部分水压力分布规律的楔形体进行稳定性分析。

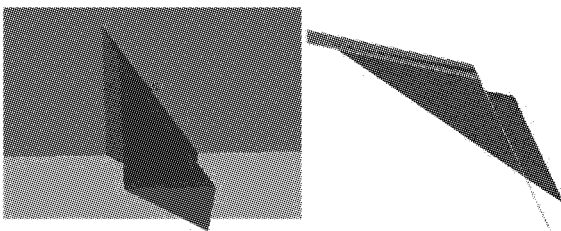


图7 无张拉裂缝情况时楔形体稳定性分析

图7为利用Swedge软件极限平衡法对该楔形体岩质边坡进行稳定性分析,当楔形体两个结构面无水压力分布时,计算得到的安全系数为1.751。

①两个结构面水压力分布相同,水压力为分布形式2时,即图5(a)中水压力分布形式,计算得到楔形体安全系数为1.432。

②两个结构面水压力分布相同,水压力为分布形式3时,即图5(c)中水压力分布形式,计算得到楔形体安全系数为1.432。

③两个结构面均为平均水压力,但两个结构面水压力分布不同。当结构面1的均布水压力为 $10 \text{ t/m}^2$ ,结构面2的均布水压力为 $5 \text{ t/m}^2$ 时,计算得到坡体安全系数为1.151;当结构面1的均布水压力为 $5 \text{ t/m}^2$ ,结构面2的均布水压力为 $10 \text{ t/m}^2$ 时,计算得到坡体安全系数为1.052。

### 5.2 有张拉裂缝

在有张拉裂缝情况下,假定楔形体结构面水压力分布不同,对图2中部分水压力分布规律的楔形体进行稳定性分析。

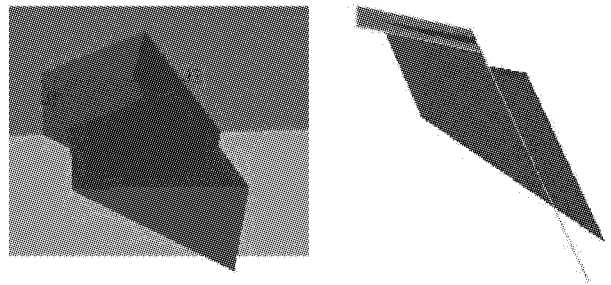


图8 有张拉裂缝情况时楔形体稳定性分析

图8为利用Swedge软件极限平衡法对该楔形体岩质边坡进行稳定性分析,当楔形体两个结构面无水压力分布时,计算得到的安全系数为1.655。

①两个结构面水压力分布相同,水压力为分布形式2时,即图5(b)中水压力分布形式。计算得到楔形体安全系数为1.231。

②两个结构面水压力分布相同,水压力为分布形式3时,即图5(c)中水压力分布形式。计算得到楔形体安全系数为1.012。

③两个结构面均为平均水压力,但两个结构面水压力分布不同。当结构面1的均布水压力为 $10 \text{ t/m}^2$ ,结构面2的均布水压力为 $5 \text{ t/m}^2$ 时,计算得到坡体安全系数为1.165;当结构面1的均布水压力为 $5 \text{ t/m}^2$ ,结构面2的均布水压力为 $10 \text{ t/m}^2$ 时,计算得到坡体安全系数为1.056。

### 5.3 小结

对不同裂缝形式和不同水压力分布形式下的楔形体岩质边坡进行稳定性分析,计算结果见表2。

表2 计算结果对比

张拉裂缝形式	水压力分布类型	安全系数
无张拉裂缝	无水压力分布	1.751
	水压力分布形式2	1.432
	水压力分布形式3	1.432
	结构面1:10 t/m <sup>2</sup> 结构面2:5 t/m <sup>2</sup>	1.151
	结构面1:5 t/m <sup>2</sup> 结构面2:10 t/m <sup>2</sup>	1.052
有张拉裂缝	无水压力分布	1.655
	水压力分布形式2	1.231
	水压力分布形式3	1.012
	结构面1:10 t/m <sup>2</sup> 结构面2:5 t/m <sup>2</sup>	1.165
	结构面1:5 t/m <sup>2</sup> 结构面2:10 t/m <sup>2</sup>	1.056

## 6 结论

传统的裂隙水压力分布规律在研究边坡的稳定性问题中,由于对潜滑裂隙中水压力计算值偏低,计算得到的坡体稳定性偏于危险。

对于不同的裂隙岩体,其水压力分布形式不同,利用 Swedge 软件,分析楔形体岩质边坡在不同水压力分布形式下的坡体稳定性,不同水压力分布形式下的坡体安全系数计算结果有很大差异。

当楔形体结构面无水压力分布时,楔形体稳定性在有张拉裂缝情况下比无张拉裂缝情况下低。当楔形体无张拉裂缝时,水压力分布形式2和水压力分布形式3计算得到的坡体安全系数相同。当楔形体有张拉裂缝时,水压力分布形式3下的坡体安全系数比水压力分布形式2下的坡体安全系数低。不同结构面其水压力分布形式不同,如果按照统一水压力分布形式计算,将会产生很大的误差。

### 参考文献:

- [1] 刘明维,郑颖人.基于有限元强度折减法确定滑坡多滑动面方法[J].岩石力学与工程学报,2006,25(8):1544~1549.
- [2] 陈从新,黄平路,卢增木.岩层倾角影响顺层岩石边坡稳定性的模型试验研究[J].岩土力学学报,2007,28(3):476~481.
- [3] 肖志勇,邓华锋,李建林.库水位间歇性下降对堆积体滑坡稳定性的影响[J].长江科学院院报,2016,33(8):114~119.
- [4] 李伟,肖蓉,吴礼舟.岩质边坡中结构面上水压分布假设的改进研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(3):0599~0608.
- [5] 张金平.考虑强降雨影响的路堑边坡稳定性分析[J].公路,2007,2(2):0054~0058.
- [6] 张俊,殷坤龙,王佳佳.三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(2):0284~0297.
- [7] 姚环,郑振,简文彬,等.公路岩质高边坡稳定性的综合评价研究[J].岩土工程学报,2006,28(5):558~563.

编辑:张绍付

## Stability analysis of wedge in water pressure distribution

GUAN Guoan

(Water Conservancy Bureau of Le'an County Jiangxi Province, Jiangxi Lean 344300, China)

**Abstract:** The distribution of water pressure in different fractured rock masses is different. It is important to study the water pressure distribution to the analysis of slope stability. Problems are existed in the distribution law of the traditional fissure water pressure distribution. A reasonable law of water pressure distribution is proposed for several special cases. The stability of wedge rock slope is analyzed by Swedge software in different water pressure distribution and with tension crack whether or not. The results show that the stability of wedge with tension crack is lower than without tension crack when the wedge discontinuity without water pressure distribution. The distribution of water pressure has a great influence on the stability of wedge. The distribution of water pressure in different discontinuity is different. If it is calculated in the form of uniform water pressure distribution, there will be a lot of error.

**Key words:** Stability analysis; Wedge; Water pressure distribution

翻译:管国安