



近场动力学塑性模型及其边坡潜在滑动面 预测研究

张婷, 张建智

贵阳

2024.04.29



- 研究背景
- 近场动力学强度折减法
- 数值结果
- 结论

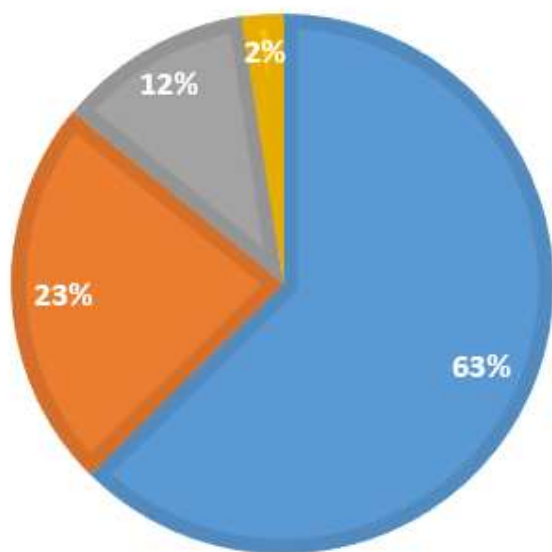
1.研究背景



福州大学

2020年全国不同地质灾害占比图

■ 滑坡 ■ 崩塌 ■ 泥石流 ■ 地面塌陷



2021年全国不同地质灾害占比图

■ 滑坡 ■ 崩塌 ■ 泥石流 ■ 地面塌陷

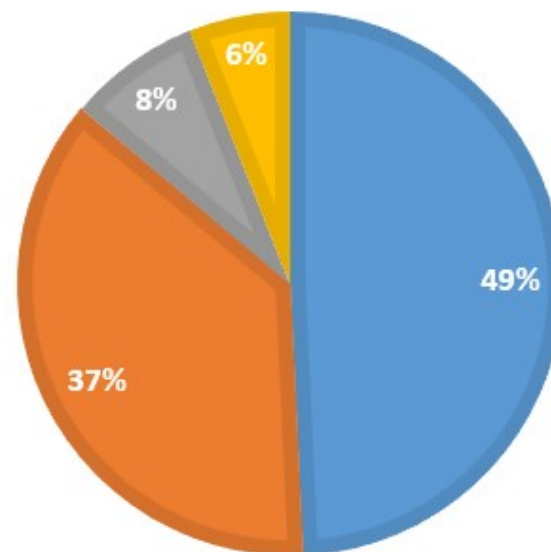


图1 不同年份全国不同地质灾害占比图



1.研究背景

边坡稳定性评价方法

解析方法

极限平衡法，滑移线场法

- ①无法考虑土体内部的应力应变关系
- ②无法模拟边坡破坏的发生和发展过程
- ③需要假定滑裂面

数值模拟方法

有限元强度折减法

- ①可以考虑土体内部的应力应变关系
- ②可以模拟边坡破坏的发生和发展过程
- ③无需假定滑裂面



1.研究背景

边坡稳定分析的有限元强度折减法利用不断降低岩土体强度，使边坡达到极限破坏状态，从而直接求出滑动面位置与边坡稳定安全系数。



$$c_m = c / F_r \quad (1)$$

$$\varphi_m = \arctan(\tan \varphi / F_r) \quad (2)$$

(a)位移不收敛；——→ 有限元等网格法由于网格畸变产生无法收敛的数值问题 ——→ 计算中断，无法模拟后续的变形情况

(b)特征位置位移突变。



2.近场动力学强度折减法

在任意时间 t 内，近场动力学（PD）物质点 $\mathbf{x}_i$ 的运动方程表示为：

$$\begin{aligned} & \rho \ddot{\mathbf{u}}[\mathbf{x}_i, t] \\ &= \int_{\mathcal{H}_{\mathbf{x}_i}} \mathbf{f}_{ij}[\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j, \mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j, t] dV_{\mathbf{x}_j} + \mathbf{b}[\mathbf{x}_i, t] \end{aligned} \quad (3)$$

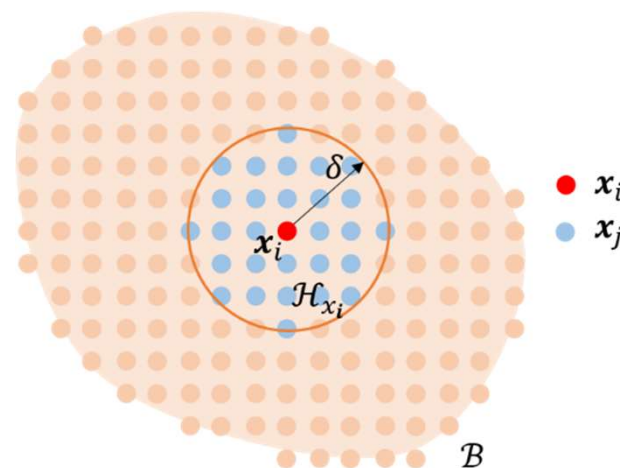


图2 近场动力学离散空间



福州大学

2.近场动力学强度折减法

International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 146 (2021) 104857



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijrmms



A two-dimensional ordinary state-based peridynamic model for plastic deformation based on Drucker-Prager criteria with non-associated flow rule

Xiao-Ping Zhou^{a,*}, Ting Zhang^a, Qi-Hu Qian^b

^a School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, China

^b PLA Univ Sci & Technol, Nanjing, Jiangsu, 210014, China



Engineering Failure Analysis 140 (2022) 106556



Contents lists available at ScienceDirect

Engineering Failure Analysis

journal homepage: www.elsevier.com/locate/engfailanal



Numerical estimate of critical failure surface of slope by ordinary state-based peridynamic plastic model

Ting Zhang^a, Jian-Zhi Zhang^{b,c,d,*}

^a School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China

^b Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China

^c Key Laboratory of Rock Mechanics and Geohazards of Zhejiang Province, Shaoxing 312000, China

^d Guizhou Provincial Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics and Engineering Safety, Guiyang 550025, China





2.近场动力学强度折减法

塑性屈服面

Drucker-Prager屈服准则：

$$F = \sqrt{J_2} + \alpha_{DP} I_1 - k_{DP} = 0 \quad (4)$$

式中 I_1 和 J_2 是主应力第一不变量和偏应力第二不变量， α_{DP} 和 k_{DP} 是与抗剪强度粘聚力 c 和内摩擦角 φ 相关的材料参数。



2. 近场动力学强度折减法

塑性屈服面

对于各向同性线弹性材料，应变能密度可以分为畸变能和体积应变能两部分，可以由应力不变量 I_1 和 J_2 表示：

$$W = W^k + W^u = aI_1^2 + bJ_2 \quad (5)$$

式中 $a = \frac{1-2\nu}{6E}$, $b = \frac{1+\nu}{E}$, W^k 和 W^u 分别表示体积应变能和畸变能。



2.近场动力学强度折减法

塑性屈服面

由于畸变能和体积能部分互不相关，所以：

$$I_1 = \text{sign}(I_1) \sqrt{\frac{W^k}{a}} \quad (6)$$

$$J_2 = \frac{W^u}{b} \quad (7)$$



2.近场动力学强度折减法

塑性屈服面

根据键的有效相对位移 η_{rij} ，对于线弹性各向同性材料，近场动力学弹性应变能密度为：

$$W = \frac{k'}{2} \Theta^2 + \frac{\alpha}{2} \omega \boldsymbol{\eta}_r^d \bullet \boldsymbol{\eta}_r^d \quad (8)$$

式中近场参数为 $\begin{cases} k' = k \\ \alpha = \frac{6u}{m} \end{cases}$ ， k 和 u 分别代表体积模量和剪切模量， $\Theta =$

$\frac{3 \int_{\mathcal{H}} \omega \boldsymbol{\xi}_r \bullet \boldsymbol{\eta}_r^i dV}{m}$ ， $m = \int_{\mathcal{H}} \omega \boldsymbol{\xi}_r \bullet \boldsymbol{\xi}_r dV$ ， ω 是影响函数， $\bullet$ 是Silling定义的一类积分符号。



2.近场动力学强度折减法

塑性屈服面

$$W = \frac{k'}{2} \Theta^2 + \frac{\alpha}{2} \omega \boldsymbol{\eta}_r^d \cdot \boldsymbol{\eta}_r^d \quad (9)$$


$$W_{PD}^k = \frac{k}{2} \Theta^2 \quad (6)$$

(PD体积能)


$$W_{PD}^u = \frac{3\mu}{m} \omega \boldsymbol{\eta}_r^d \cdot \boldsymbol{\eta}_r^d \quad (10)$$

(PD畸变能)



2.近场动力学强度折减法

塑性屈服面

近场动力学D-P屈服面：

$$F = \sqrt{\frac{3\mu}{m} \omega \boldsymbol{\eta}_r^d \cdot \boldsymbol{\eta}_r^d} + \alpha_{DP} \text{sign}(I_{1PD}) \sqrt{\frac{k}{2} \Theta^2} - k_{DP} \leq 0 \quad (11)$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/796201204211010131>