# Article information:

Frictional crack initiation and propagation analysis using the numerical manifold method - ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266352X1100142X>

# Article summary:

1. Crack growth prediction in rocks is a significant research topic, but previous studies have mainly focused on open flaws and have not fully understood the factors influencing crack growth in frictional crack problems.

2. Conventional Finite Element Method (FEM) has limitations in modeling arbitrary crack growth problems due to difficulties in mesh generation and remeshing. Meshless methods like the Element-Free Galerkin (EFG) method can predict crack propagation accurately but have challenges in enforcing boundary conditions and numerical integration.

3. The Numerical Manifold Method (NMM) combines FEM and Discontinuous Deformation Analysis (DDA) to deal with complicated crack problems, including closed flaws and shear cracks. It incorporates the Mohr-Coulomb crack initiation criterion and contact techniques to simulate crack initiation, propagation, sticking, sliding, and separation effects.

# Article rating:

May be slightly imbalanced: The article presents the information in a generally reliable way, but there are minor points of consideration that could be explored further or claims that are not fully backed by appropriate evidence. Some perspectives may also be omitted, and you are encouraged to use the research topics section to explore the topic further.

# Article analysis:

这篇文章介绍了使用数值流形方法进行摩擦性裂纹起始和扩展分析的研究。文章指出，岩石中裂纹的广泛和不受控制的传播可能导致岩体破坏，引发滑坡或隧道坍塌。之前的研究主要集中在开放缺陷相关问题上，而对于摩擦性裂纹问题，缺乏对其影响因素、次生裂纹演化以及缺陷表面间相互作用力等方面的理解。因此，需要进一步研究。

文章提到了传统有限元法（FEM）在建模裂纹扩展问题时存在的局限性，即需要与有限元网格重合。这使得生成网格变得非常困难，并且当涉及到裂纹扩展时，必然需要重新生成网格，使得FEM几乎无法模拟任意的裂纹增长问题。为了克服与网格生成和重新生成相关的困难，无网格方法成为一种替代方法。其中最显著的特点是，在给定一组点或节点时，在确定加权函数为零或非零时不需要定义元素。因此，该方法对于移动边界和强不连续问题非常有吸引力。基于移动最小二乘逼近，无网格Galerkin方法（EFG）可以高精度地预测裂纹扩展。然而，强制边界条件和数值积分的困难以及高计算成本限制了无网格方法的广泛应用。

最近，基于分离性原理（PU）的方法在PU框架下得到广泛发展，因为它们可以明确表示近似场中的跳跃或不连续性，而无需额外的重新网格化或假设。其中，扩展有限元法（XFEM）和广义有限元法（GFEM）是两种最常用的基于FEM的方法。通过引入适当的增强函数，这两种方法都可以成功地预测简单、任意形状的裂纹扩展。然而，在更复杂的问题中，如分支裂纹或多裂纹问题中定义增强函数可能非常具有挑战性。此外，在没有接触算法的情况下，这些方法很难考虑缺陷表面上的粘滞、滑动和分离效应。

离散元法（DEM）也成为研究岩石开裂行为的一种流行方法。通过在两个不同元素之间断开键合力来模拟断裂过程，DEM可以在不假设裂纹出现位置和方式的情况下建模。已经尝试使用DEM来模拟岩石中的断裂行为。然而，如[25]所提到的，以下限制仍然存在：1.尺寸效应。在2D分析中发现，断裂粗糙度取决于离散元素的半径，这意味着DEM预测的宏观断裂行为与元素有关。2.交叉效应。模型中使用的元素大小和形状与真实颗粒不同，导致与局部本构定律之间存在交叉效应。3.局部/宏观本构定律。虽然DEM不需要复杂的本构定律，但需要建立局部和宏观本构定律之间的关系。然而，仅使用从经典地质力学测试获得的数据来建立这些关系似乎是不切实际的。

数值流形方法（NMM）也是一种基于PU概念的方法，在数值分析中具有重要意义，因为它将广泛使用的FEM和基于接缝或块向导数变形分析（DDA）以统一形式结合起来。NMM背后的核心特点是采用两个覆盖层（网格）：物理覆盖层和数学覆盖层。通过简单地将数学覆盖层切割成不连续性，物理覆盖层将被分离，不连续性将被捕获，而无需进一步要求通过增强函数向相关节点引入未知量。这个特点使得NMM能够像处理简单的裂纹问题一样轻松地处理复杂的裂纹问题。此外，借鉴自DDA的接触技术，NMM可以轻松考虑裂纹表面之间的相互作用以及裂纹表面的分离。

基于NMM在处理不连续问题方面的能力，NMM不仅成功地模拟了简单的裂纹问题，还成功地模拟了复杂的裂纹问题，这对其他PU方法来说仍然具有挑战性。然而，上述大部分工作都集中在开放缺陷而非闭合缺陷上。此外，之前的工作都不能预测在物理测试中观察到的剪切裂缝发展[33] [34]。

总结起来，在本研究中，Mohr-Coulomb断裂起始准则被引入到NMM中，以研究主次裂缝的裂纹起始和扩展过程。基于这个准则，研究了裂纹生长与拉伸强度与剪切强度比、缺陷角度和摩擦角之间的依赖关系。通过继承自DDA的接触方法，并采用Coulomb摩擦定律，NMM被用来研究与闭合缺陷相关的裂纹起始和扩展过程中的粘滞、滑动或分离效应。

然而，文章存在一些潜在的偏见和不足之处。首先，文章没有提及其他方法（如FEM、XFEM、DEM）在处理岩石开裂问题方面的优势和局限性。其次，文章没有探讨NMM方法在处理复杂三维断裂问题时可能遇到的困难和挑战。此外，文章没有提供对所使用方法的验证或实例分析结果进行详细讨论。

总体而言，尽管该研究提出了一种新颖且有潜力的数值流形方法来模拟摩擦性裂纹起始和扩展问题，但仍需要进一步完善和验证该方法，并与其他现有方法进行比较以评估其优劣之处。

# Topics for further research:

* 岩石开裂行为的数值模拟方法
* 传统有限元法在裂纹扩展问题中的局限性
* 无网格方法在裂纹扩展问题中的应用
* 基于分离性原理的方法在裂纹扩展问题中的应用
* 离散元法在岩石开裂行为研究中的应用和局限性
* 数值流形方法在摩擦性裂纹起始和扩展分析中的应用和优势

# Report location:

<https://www.fullpicture.app/item/2f93b517f46ad188af7e84134188851f>