在聚合物领域，断裂相场法的应用主要集中在研究和模拟材料在宏观和微观层面的裂纹演化行为，引入了不同的相场模型，如渐进损伤相场模型或是符合热力学统一框架的相场模型。

Bourdin等[[1](#_ENREF_1)]和Miehe等[[2](#_ENREF_2), [3](#_ENREF_3)]将Ginzburg-Landau理论引入连续介质力学，提出了能够描述材料断裂的渐进损伤模型。Ambati等[[4](#_ENREF_4)]和Borden等[[5](#_ENREF_5)]通过将相场方法应用于聚合物和其他韧性材料的断裂问题，在宏观尺度上可以预测裂纹核和识别复杂裂纹路径（包括分支和合并）。断裂相场法在模拟聚合物断裂过程中特有的细观结构存在一些缺陷，如链段取向、交联密度和微观相分离等因素的显式考虑上。Amor等[[6](#_ENREF_6)]通过引入链段取向对于断裂能量的影响进一步优化了相场法，提高了对聚合物材料断裂机制的预测精度。通过控制断裂界面宽度和演化方程中参数，Kuhn等[[7](#_ENREF_7)]采用了修正的变分形式研究断裂的动态过程。Shen等[[8](#_ENREF_8)]为考虑聚合物断裂时的粘性效应，提出了符合热力学一致性的粘弹性相场模型，其中聚合物的断裂是由总能量中的弹性和粘性分量共同驱动的。此外，考虑聚合物材料应用场景的复杂性也驱使断裂相场法不断发展，尤其是考虑各向异性、速率依赖性、侵蚀老化效应等因素在内的多物理场模型。为了将断裂相场法应用到聚合物动态失效过程，Loew等[[9](#_ENREF_9)]提出了一种具有速率依赖的有限线性-粘弹性模型，探究了率相关效应对相场损伤演化和裂纹扩展机制的影响。Russ等[[10](#_ENREF_10)]为研究3D打印聚合物复合材料在大变形下的失效行为，建立了含能量阈值的断裂相场模型，分析了复合材料复杂的失效过程，如裂纹停止条件和基体中的二次起裂。

现阶段断裂相场法对计算资源的需求较大，且在模拟聚合物材料非均质性、复杂微结构、多尺度效应和动态失效等方面还需要进一步的发展。

## 参考文献

[1] BOURDIN B, FRANCFORT G A, MARIGO J-J. The Variational Approach to Fracture [J]. Journal of Elasticity, 2008, 91(1-3): 5-148.

[2] MIEHE C, HOFACKER M, WELSCHINGER F. A phase field model for rate-independent crack propagation: Robust algorithmic implementation based on operator splits [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2010, 199(45-48): 2765-2778.

[3] MIEHE C, WELSCHINGER F, HOFACKER M. Thermodynamically consistent phase-field models of fracture: Variational principles and multi-field FE implementations [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2010, 83(10): 1273-1311.

[4] AMBATI M, KRUSE R, DE LORENZIS L. A phase-field model for ductile fracture at finite strains and its experimental verification [J]. Computational Mechanics, 2015, 57(1): 149-167.

[5] BORDEN M J, HUGHES T J R, LANDIS C M, et al. A phase-field formulation for fracture in ductile materials: Finite deformation balance law derivation, plastic degradation, and stress triaxiality effects [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2016, 312: 130-166.

[6] AMOR H, MARIGO J-J, MAURINI C. Regularized formulation of the variational brittle fracture with unilateral contact: Numerical experiments [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2009, 57(8): 1209-1229.

[7] KUHN C, MüLLER R. A continuum phase field model for fracture [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2010, 77(18): 3625-3634.

[8] SHEN R, WAISMAN H, GUO L. Fracture of viscoelastic solids modeled with a modified phase field method [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2019, 346: 862-890.

[9] LOEW P J, PETERS B, BEEX L A A. Rate-dependent phase-field damage modeling of rubber and its experimental parameter identification [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2019, 127: 266-294.

[10] RUSS J, SLESARENKO V, RUDYKH S, et al. Rupture of 3D-printed hyperelastic composites: Experiments and phase field fracture modeling [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2020, 140.