

基于复杂网络的裂隙岩体表征单元体积与等效渗透系数估算

A complex-network-based estimation of the representative elementary volume and equivalent permeability coefficient for fractured rock masses

许倩^{1,2} 郑俊^{3,4} 张伯虎¹ 郭吉超⁵ 吕庆³

Qian XU^{1,2} Jun ZHENG^{1,2} Bohu ZHANG^{1,2} Jichao GUO³ Qing LV^{1,2}

(1.西南石油大学 地球科学与技术学院, 四川 成都 610500;

2.浙江大学 平衡建筑中心, 浙江 杭州 310007;

3.浙江大学 土木工程系, 浙江 杭州 310058

4.浙江大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310063

5.厦门大学 建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005)

(1.School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Sichuan Chengdu 610500, China;

2.Center for Balance Architecture, Zhejiang University, Zhejiang Hangzhou 310007, China;

3.Department of Civil Engineering, Zhejiang University, Zhejiang Hangzhou 310058, China;

4.The Architectural Design & Research Institute of Zhejiang University Co., Ltd, Zhejiang Hangzhou 310063, China;

5.School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Fujian Xiamen, 361005, China)

摘要: 确定裂隙岩体的表征单元体积 (REV) 和等效渗透系数 (EPC) 对研究工程岩体的水力行为至关重要。复杂网络源于图论, 是 21 世纪快速发展的跨学科领域。在本文中, 我们提出了一种基于复杂网络参数的新方法, 用于估算裂隙岩体的 REV 和 EPC。在该方法中, 裂隙及其交点分别被视为复杂网络的节点和边。我们提出了将离散裂隙网络 (DFN) 转化为复杂网络的转换过程, 并在 MATLAB 中执行相应的算法。随后, 我们获得了复杂网络, 并使用 Gephi 软件计算了多个基于复杂网络的参数, 如平均度、平均聚类系数和图密度。我们利用平均度来估算 DFN 模型的 REV 尺寸, 而变异系数则用于定量评估多个随机模型平均度的变化。此外, 我们基于小尺度 DFN 模型的 EPC, 建立了一个包含平均度、平均聚类系数和图密度的经验公式, 用于估算大尺度 DFN 模型的 EPC。为了验证所提出的方法, 我们利用 FracMan 软件中的 MAFIC 求解器进行了数值实验, 计算出 EPC 并据此确定 REV。结果表明: (a) 通过平均度估算的 REV 尺寸与数值模拟得到的 REV 尺寸在各向同性和各向异性 DFN 模型中一致; (b) 通过经验公式计算的平均 EPC 与数值模拟所得结果之间的误差率在 10% 以内。因此, 所提出的渗流参数估算方法是有效的。

关键词: 离散裂隙网络, 复杂网络, 表征单元体积, 等效渗透系数, 岩体