

2024 年度四川省科学技术奖提名公示内容

1、推荐奖种

四川省自然科学奖

2、项目名称

岩石破裂应力波的双主频机制

3、提 名 者

四川大学

4、提名意见

项目着眼深地科学、能源强国与交通强国等国家重大战略实施，针对岩石破裂的应力波主频演化规律不明，影响应力波频谱的物理因素不清，难以有效阐明应力波双主频特征的普适性及物理力学机制的难题，围绕岩石破裂应力波的双主频特征及其物理力学机制这一科学问题，经过系统研究，取得了一系列原创性成果。首先，阐明了不同应力状态下岩石破裂的应力波主频演化规律，厘清了影响应力波频谱的物理因素，揭示了岩石破裂应力波信号的宏-细观联系，成功证明了应力波双主频特征是岩石破裂的固有属性这一重大实验发现。其次，探明了岩石破裂应力波信号的“宏-细”观联系，创造性地提出了应力波低主频带对应拉伸破裂、高主频带对应剪切破裂的学术观点，揭示了岩石破裂声发射双主频现象的力学机制。最后，构建了岩石类材料力学试验方法合理性和结构安全性评价新方法，初步形成了基于双主频机制的岩石类材料破裂分析理论。

项目成果获得了国内外同行的积极评价，相关研究成果共发表 SCI 论文 23 篇，EI 论文 9 篇。迄今，5 篇代表性论文在 Scopus 数据库中被他人引用 371 次，单篇最高他引 135 次；授权发明专利 18 项、软件著作权 2 项。本项目培养博士后 2 名、博士 7 名、硕士 6 名。

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合四川省科学技术奖励工作办公室的填写要求。

提名该项目为 2024 年度四川省自然科学奖。

5、项目简介

岩石类材料在长期地质演化过程中形成了复杂多样和随机的内部缺陷和裂

纹等，造成岩石类材料表现出明显的非线性、不连续性、各向异性、非均质性，岩石类材料破裂致灾具有突发性、隐蔽性、灾难性等特点。随着深地科学、能源强国、交通强国等国家战略实施，川藏铁路、滇中引水、雅江能源开发、深部能源开发等世界级工程相继开工，工程岩体赋存环境日趋复杂，工程建设和运维面临前所未有的挑战，其首要难题是岩体破裂问题。工程岩体破裂会引发岩爆、冲击地压、滑坡、塌方等地质灾害，严重威胁工作人员和机械设备的安全，造成工期延误和巨大的经济损失。因此，开展岩石类材料破裂机制研究具有重要的科学意义和工程应用价值。

开挖等强动力扰动下岩石类材料破裂诱发应力波的急剧释放并在周围岩体内传播，将这种应力波也称为声发射/微震。由于应力波信号携带大量材料破裂信息，对其分析可获取岩石类材料破裂的空间位置、发生时刻、释放能量以及力学机制。岩石类材料破裂应力波信号解译是岩石类材料破裂机制研究的共性基础科学问题。然而，当前岩石类材料破裂的应力波主频演化规律不明，影响应力波频谱的物理因素不清。物理力学原理一直是物理学和力学中最困难的问题，针对应力波双主频特征也需要回答了这个问题，即它的物理力学机制是什么？因此，亟需研究岩石类材料破裂双主频特征及其力学机制，进而构建岩石类材料破裂声学分析理论。

针对应力波主频演化规律不清、双主频特征的力学机制不明以及岩石类材料破裂过程难以定量表征的科学难题，本项目开展了系统研究，获得了以下主要成果：（1）岩石破裂的应力波双主频特征。厘清了影响应力波频谱的物理因素，阐明了不同应力状态下岩石破裂的应力波主频演化规律，发现了不同应力状态下岩石破裂应力波信号均存在明显的双主频特征，成功证明了应力波双主频特征是岩石破裂的固有属性这一重大实验发现；（2）岩石破裂双主频特征的物理力学机制。探明了岩石破裂应力波信号的“宏-细”观联系，创造性地提出了应力波低主频带对应拉伸破裂、高主频带对应剪切破裂的学术观点，攻克了岩石破裂应力波双主频特征物理力学机制不明的难题；（3）岩石类材料力学试验方法合理性和结构安全性评价新方法。阐明了不连续面对岩体强度降低和变形能力增强的作用机制，揭示了应变率和水软化对饱水岩石的竞争性作用机制，解决了传统基于声发射参数无法对裂纹分类进行定量表征的难题，初步形成了基于双主频机制的岩石

类材料破裂分析理论。为土木、水利、采矿、地质等学科领域岩石类材料破裂机理分析和监测预警提供了重要的基础理论支撑。

本项目获得了 973 计划课题、国家自然科学基金-区域创新发展联合基金(四川)、国家重点研发计划项目子课题等的资助。五篇代表性论文先后被美国、德国、法国、加拿大、意大利、澳大利亚、瑞士、荷兰、日本、挪威、西班牙和中国等二十多个国家的知名专家学者引用并给予了积极评价。

6、主要完成人

姓名	排名	技术职称	完成单位	工作单位
邓建辉	1	教授	四川大学	四川大学
张正虎	2	副教授	大连理工大学	大连理工大学
陈菲	3	副教授	成都大学	成都大学
朱俊	4	副研究员	四川大学	中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所
张伯虎	5	教授	西南石油大学	西南石油大学

7、主要完成单位

排名	单位名称
1	四川大学
2	大连理工大学
3	成都大学
4	西南石油大学

8、代表性论文专著目录

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页码 （xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时 间（年 月 日）	通讯作 者（含 共同）	第一作者 （含共 同）	国内作者	他引总 次数	检索数 据库	论文署名 单位是否 包含国外 单位
1	A new method for determining the crack classification criterion in acoustic emission parameter analysis/ International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences/张正虎，邓建辉	2020,130, 104323	2020.04. 08	张正虎	张正虎	张正虎，邓建辉	135	Scopus	否
2	Dominant Frequency Characteristics of Acoustic Emissions in White Marble During Direct Tensile Tests/ Rock Mechanics and Rock Engineering/李林芮，邓建辉，郑路，刘建锋	2017, 50: 1337-1346	2017.01. 17	郑路	李林芮	李林芮，邓建辉，郑路，刘建锋	125	Scopus	否
3	An Experimental Investigation of the Failure Mechanisms of Jointed and Intact Marble under Compression Based on Quantitative Analysis of Acoustic Emission Waveforms/ Rock Mechanics and Rock Engineering/张正虎，邓建辉，朱建波，李林芮	2018, 51: 2299-2307	2018.05. 08	邓建辉，朱建波	张正虎	张正虎，邓建辉，朱建波，李林芮	76	Scopus	否
4	Water Saturation Effects on Mechanical and Fracture Behavior of Marble/ International Journal of Geomechanics/朱俊，邓建辉，陈菲，黄弈茗，余志球	2020, 20(10), 04020191	2020.08. 07	邓建辉	朱俊	朱俊，邓建辉，陈菲，黄弈茗，余志球	21	Scopus	否
5	岩石拉伸破坏机制与应力波谱特征/岩土工程学报/张伯虎，刘玮丰，邓建辉,刘建锋	2016, 38(S2):336- 341	2016.08. 01	张伯虎	张伯虎	张伯虎，刘玮丰，邓建辉，刘建锋	14	Scopus	否