

项目名称	多场耦合环境下煤岩介质损伤破裂机制及双孔隙介质渗流理论
推荐单位	徐州工程学院
申报项目	自然科学奖
项目简介	
随着煤炭资源的不断开采，浅部资源逐渐趋于枯竭。据专家预测，5~10年后我国煤炭的深部开采将成为常态。深部煤岩赋存环境普遍呈现“三高”特征，即高地应力、高地温、高岩溶水压，给煤矿安全生产带来了严峻挑战。与浅部、常温、静载环境条件相比，“三高”及煤岩突出（冲击地压、瓦斯爆炸等）动力作用等复杂工程环境下煤岩结构的力学响应存在着显著差异，包括：物理力学特性、本构关系、破裂机制、煤岩结构（宏观、微）特征、瓦斯等气体的渗透运移规律等。本项研究的主要科学发现和贡献如下： （1）揭示了高温与地应力耦合作用下煤岩的破裂机制，建立了相应的蠕变损伤本构模型 实现了高温及地应力实时耦合作用下煤岩力学性能的宏、微观测试，揭示了实时高温及高地应力耦合作用下煤岩的破裂机制，建立了高温及高地应力耦合作用下煤岩介质的损伤演化方程及本构模型。 澳大利亚莫纳什大学土木工程系学术带头人 Ranjith P. G.教授评价本成果中砂岩的测试结果为“目前仅有的关于砂岩在 800℃下实时高温的测试结果。 （2）揭示了高温及高应变率下煤岩介质的损伤破裂机理，建立了相应的损伤本构模型 系统测定了高应变率载荷作用下煤岩介质的变形及破裂特征，得到了煤岩介质的力学特性随应变率的变化规律，给出了高温作用对高应变率下煤岩介质力学性能及破裂特征的影响关系，建立了考虑应变率及高温作用效应的煤岩损伤演化方程及本构模型。 （3）提出了一种含瓦斯煤层双孔隙介质多物理场耦合作用模型，揭示了煤层中多元气体的耦合作用机制 提出了一种多物理场耦合作用模型，定量地描述了裂隙间距和原位地应力对煤岩基质变形的影响，揭示了气体运移过程中煤层基体、孔隙、裂隙的多物理场耦合作用机制。建立了包含裂隙和孔隙中气体对流扩散耦合作用模型，揭示了煤层中 CO₂ 封存及驱替煤层气（CH₄）的耦合作用机制。 澳大利亚西奥大学 Liu J S 教授评价本成果提出的模型为“目前最符合煤基体渗透特性的模型之一”。法国东巴黎大学 Patrick Dangla 教授引用了本成果中提出的双孔隙和渗透率模型，并基于该模型提出了一种煤基体的热物理特性的双孔隙模型。 美国工程院院士 Derek Elsworth 教授评价本成果“在山西沁水盆地的无烟煤	

炭煤试验中，成功模拟了一种现有的单井-ECBM 试验”，并在本成果提出的煤基体孔隙率方程的基础上研究了二氧化碳注入对煤层渗透性的影响。

多物理场耦合作用下煤系岩层的变形及损伤破裂机制、多孔介质中煤层气的运移规律，是深部煤炭资源的安全开采亟待解决的关键基础科学问题。围绕上述科学问题所研究取得的成果在《Rock Mechanics and Rock Engineering》等期刊上发表论文 51 篇，其中：被 SCI 收录 21 篇，EI 收录 26 篇。8 篇代表性论文在 Web of Science 平台下被引 454 次，其中：在 SCI 论文数据库被引用 333 次；单篇最高被引 127 次。

主要完成人情况表

排名	姓名	性别	职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获奖励情况
1	张连英	女	教授	徐州工程学院	徐州工程学院	项目负责人，主持项目研究的全过程，第1及第2代表性论文作者，研究成果一主要贡献者。具体贡献包括：得到了实时高温作用下煤岩介质力学性能的变化规律；揭示了高温与应力共同作用下煤系岩层介质的损伤演化及破坏机理；建立了温度与应力共同作用下煤系岩层介质的损伤演化的本构方程；构建高温作用下煤岩介质蠕变模型，揭示实时高温下煤岩介质损伤破裂机理。	奖励：华夏建设科学技术科技进步一等奖（排名第1）；中国商业联合会科学技术奖一等奖（排名第1）；淮海科学技术奖二等奖（排名第1）；徐州市科技进步奖一等奖（排名第1）；淮海科学技术奖一等奖（排名第1）。 人才：江苏省“333 工程”高层次人才培养对象；江苏省“六大人才高峰”高层次人才选拔培养对象；江苏省“333 工程”高层次人才培养对象；江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人培养对象
2	吴宇	男	副研究员	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，第3、4、5、6代表性论文作者，研究成果三主要贡献者，具体贡献为：基于煤系岩石破坏过程中的微破裂演化特征，结合煤系岩石裂隙和孔隙系统之间的相互作用，建立了适合各自特点的渗透率变化模型；根据多孔介质弹性理论的有效应力原理建立了煤系岩石的变形方程，并根据流体在煤系岩石中的流动和吸附特点建立了裂隙和孔隙中流体的流动方程。	2016 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第1）；2015 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第5）。 2011 年江苏省优秀博士学位论文

3	李明	男	助理研究员	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，第8代表性论文作者，研究成果二主要贡献者，具体贡献为：给出了高温热处理对煤系岩层介质动态力学特性的影响特征；探究了 温度加载速率对煤系岩层介质动态力学特性的影响特征；揭示高温热处理对煤系岩层介质损伤破裂机理；建立了高温高应变率下煤系岩层介质损伤演化本构方程。	2016 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第 2）；2015 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第 5）；淮海科学技术二等奖（排名第 3）
4	唐芙蓉	女	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，第7代表性论文作者，研究成果一主要参与者，具体贡献为：研究了实时高温作用下的煤岩热物理及热破裂特性，明确给出不同岩石热导率等特性参数的临界突变温度。	2011 年国家安全生产科技成果二等奖，（排名第 4）；2010 年江苏省科技进步三等奖，（排名第 4）；2009 年教育部科技成果，（排名第 4）
5	郭晓倩	女	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，研究成果一主要参与者，具体贡献为：系统研究高温作用下煤岩介质的蠕变特性；构建开展蠕变本构模型的及参数识别。	2017 徐州市科技进步奖一等奖（排名第 6）；2015 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第 7）
6	茅献彪	男	教授	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，全部研究成果主要参与者，具体贡献为：整体项目试验方案制定；揭示了宏观损伤破坏机理和微损伤破坏机理；建立了温度与应力共同作用下煤系岩层介质的损伤演化的本构方程；揭示高温高应变率下煤岩介质损伤破裂机理。	

7	张凯	男	教授	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，研究成果一与三主要参与者，具体贡献为：研究了深部围岩结构失稳特征的影响因素；建立了深部煤岩介质损伤演化本构模型；提出了深部煤岩原位物理力学特性参数的测试方法。	2016 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第 9）；2015 年中国煤炭工业协会二等奖（排名第 3）。 2011 年湖北省优秀博士学位论文。
8	张志镇	男	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	项目主要完成人员，参与项目研究的全过程，研究成果一主要参与者，具体贡献为：获得了岩样物理力学参数随温度的变化规律，揭示了诱导物理力学性质变化的高温相变机制；获得了高温作用下围压对岩石力学性能的影响规律，揭示了岩石高温环境下脆延性转化的围压效应；研究了花岗岩试样破坏过程中微破裂演化特征及破坏后断口形貌特征，揭示了岩石破裂的分形与能量机制	2018 年江苏省科学技术奖三等奖（排名第 5）；2016 年中国煤炭工业协会科学技术奖三等奖（排名第 2）； 2017 年入选江苏省力学优秀科技工作者

代表性论文专著目录

序号	论文论著名称 /刊名/作者	影响 因子	年卷页码 (XX 年 XX 卷 XX 页)	发表时间 (年月日)	通讯作 者	第一作 者	是否国 内完成
1	Experimental Study on the Mechanical Properties of Rocks at High Temperature. /Science China-Technological Sciences. /LianYing Zhang, XianBiao Mao, AiHong Lu	1.938	2009,52(3):641-646	2009.07	张连英	张连英	是
2	The mechanical properties of mudstone at high temperatures: an experimental study. /Rock Mechanics and Rock Engineering. /Lianying Zhang, Xianbiao Mao, Ruixue Liu , Xiaoqian Guo	2.819	2014,47(4): 1479-1484	2014.07	张连英	张连英	是
3	Dual poroelastic response of a coal seam to CO ₂ injection /International Journal of Greenhouse Gas Control. /Wu Y, Liu J, Elsworth D, Chen Z W, Connell L, Pan Z J.	4.078	2010, 4(4):668-678	2010.07	刘继山	吴宇	是
4	Development of anisotropic permeability during coalbed methane production /Journal of Natural Gas Science & Engineering. /Wu Y, Liu J, Elsworth D, Miao X X, Mao X B.	2.803	2010, 2(4):197-210	2010.09	刘继山	吴宇	是
5	A dual poroelastic model for CO ₂ -enhanced coalbed methane recovery /International Journal of Coal Geology. /Wu Y, Liu J, Chen Z W, Elsworth D, Pone D.	4.13	2011,86(2):177-189	2011.05	刘继山	吴宇	是
6	Evolution of coal permeability: Contribution of heterogeneous swelling processes /International Journal of Coal Geology. /Wu Y, Liu J, Elsworth D, Siriwardane H, Miao X X.	4.13	2011,88(2):152-162	2011.11	刘继山	吴宇	是
7	Thermophysical properties of coal measure strata under high temperature	1.435	2015,73(10):6009-6	2015.05	唐芙蓉	唐芙蓉	是

	/Environmental Earth Sciences. /Tang F, Wang L, Lu Y, Yang X.		018				
8	Effects of thermal treatment on the dynamic mechanical properties of coal measures sandstone / Rock Mechanics and Rock Engineering Li Ming, Mao Xian-biao, Cao Lili, Pu Hai, Mao Rong, Lu Aihong	2.819	2014,14(5): 04014023	2014.10	茅献彪	李明	是