

科学技术进步奖公示内容

(2025 年度)

一、项目名称

深部巷道全空间主被动强化支护理论-装备-预警关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：杜时贵，宁波大学，教授，中国工程院院士

提名意见：

该项目针对深部软岩巷道灾害防控工程技术难题，采用室内试验、理论分析、数值模拟以及工程应用等研究方法，开展了理论-试验-研发-应用链条式研究，创新提出了深部定量损伤煤岩体试样制备测试方法，开发了深部围岩压剪耦合加载试验系统、裂隙岩体锚-注加固特性试验设备、岩土扰动综合模拟及锚杆(索)-组合拱架等支护结构精细化数值仿真计算试验平台，构建了软岩损伤-剪胀、流变扰动、非线性蠕变等系列本构模型及钢管混凝土组合支架支护系统设计方法，研发了新型中空注浆锚杆(索)、改性水泥基注浆材料、系列钢管混凝土组合支架及其专用安装机设备，搭建了主被动支护结构安全评价及失效预警信息化系统平台，形成了深部软岩巷道全空间锚注-钢管混凝土主被动协同支护关键技术及成套体系。项目研究成果在山东能源集团、济宁矿业集团等深井矿区权属企业成功推广应用，近两年累计新增利润(含节支创收)共计约 13.8 亿元。依托项目攻关研究，授权发明专利 48 件、软件著作权 5 件，主编煤炭行业标准 1 项、山东省地方标准 1 项、团体标准 2 项，获得煤炭行业（部级）工法 2 项，发表 SCI/EI 收录学术论文 86 篇。项目研究成果显著提升了深部软岩巷道支护水平，推动了井巷工程学科发展，具有广阔的应用前景及推广价值。

三、提名等级

提名该项目为 2025 年度山东省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介

深部“三高一扰动”复杂力学环境导致深部巷道支护面临诸多挑战，工程实践表明，单一的支护形式难以维持深地工程围岩稳定，采用锚注与钢管混凝土支架联合的主被动协同支护可有效控制深部围岩变形。但目前锚注-围岩协同稳控

机理不清，钢管混凝土结构压弯承载机制不详，主被动承载协同效果不佳，支护参数设计多依赖经验；支护效果评价手段单一、反馈不及时，支护施工专用装备技术落后。针对上述理论与技术难题，本项目依托国家、省部级及企业合作课题，联合多家高校和煤矿企业，系统性开展了理论-试验-研发-应用链条式研究，建立了深部巷道锚注-钢管混凝土全空间主被动强化支护理论-装备-预警关键技术及产业化应用，突破了传统支护设计理念，攻克了绝大多数深部巷道支护难题，取得了显著的经济与社会效益。项目主要创新成果如下：

创新点一：提出了深部定量损伤煤岩体试样制备测试方法，研制了深部围岩压剪耦合加载试验系统、裂隙岩体锚-注加固特性试验设备及岩土扰动综合模拟试验台，基于锚杆(索)-组合拱架等支护结构及软岩复杂力学行为数值计算程序开发建立了精细化数值仿真计算平台，实现了试验手段与计算功能革新扩展。

创新点二：提出了深部巷道钻孔裂隙发育程度定量表征方法，构建了软岩损伤-剪胀、流变扰动及非线性蠕变等本构模型，给出了锚杆(索)及支架被动支护时机判据，研发了适应深部软岩大变形及多尺度孔隙注浆要求的中空锚杆(索)、改性水泥基浆液等，开发了主被动支护结构安全评价与失效预警信息化系统平台，形成了深部软岩巷道高预应力锚注支护关键技术，突破了围岩主动强化支护瓶颈。

创新点三：研发了系列钢管混凝土组合支架及其专用安装机设备，阐明了钢管混凝土柱结构的壁厚效应、梁拱结构的中性层偏移规律和组合支架的压弯破坏机理，研发了举升式支架安装机和自移式支架安装机等专用施工装备，建立了钢管混凝土组合支架支护系统设计方法，与锚注主动支护关键技术结合，构建了深部软岩巷道全空间锚注-钢管混凝土主被动协同支护关键技术及成套体系。

项目研究成果在全国深部矿区、特别是山东深井矿区成功推广应用，近两年累计新增利润(含节支创收)共计约 13.8 亿元。依托项目攻关研究，授权发明专利 48 件、软件著作权 5 件，主编煤炭行业标准 1 项、山东省地方标准 1 项、团体标准 2 项，获得煤炭行业（部级）工法 2 项；发表 SCI/EI 收录学术论文 86 篇，入选 ESI 高被引论文 2 篇、F5000 中国精品科技期刊顶尖学术论文 3 篇。构成项目的 3 项关键技术成果，通过了科技成果鉴定，达到了国际领先水平。项目研究成果显著提升了深部软岩巷道支护水平，推动了井巷工程学科发展，具有广阔的应用前景及推广价值。

五、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权 (标准)类别	知识产权(标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号(标准 编号)	授权(标准 发布)日期	证书编号(标准 批准发布部门)	权利人(标准起 草单位)	发明人(标准 起草人)	发明专利(标准) 有效状态	第一完成人是否 为发明人(标准 起草人)	第一完成单位是否 为权利人(标准 起草单位)
发明专利	一种地下工程扰动相似模拟实验台及实验方法	中国	ZL2019107834 63.2	2020-10-02	4016422	山东建筑大学	王军; 李鑫; 刘国辉; 王靓	有效	是	是
发明专利	一种悬挂自移式全圆周旋转安装机及使用方法	中国	ZL2020102288 41.3	2022-08-17	4620908	山东建筑大学	王军; 刘颜磊	有效	是	是
发明专利	Composite support system based on steel-concrete support and shotcrete arch and construction process thereof (基于钢混组合支架及喷碇的复合支护系统及其施工工艺)	美国	US 11,753,936 B2	2023-09-12	/	山东建筑大学	Wang Jun, Zhu Chuan-gen, Zuo Jianping, Wang Bo, Huang wanpeng, Ding Hougang	有效	是	是
发明专利	一种循环式吸能让压大变形锚固装置及其使用办法	中国	ZL2022101661 85.8	2023-01-20	5704044	中国矿业大学	孟庆彬; 张梦良; 任利; 黄炳香; 岳中文; 王琦; 李明等	有效	否	否

发明专利	一种具有高吸能特性的锚喷支护托盘的拓扑结构优化方法	中国	ZL 2022 1 0439993.7	2023-06-30	6103024	安徽理工大学	张庆贺; 杨发旺; 章政; 梁致威; 王晓蕊	有效	否	否
发明专利	一种应力-岩性-构造三因素时空耦合调控支护方法	中国	ZL2020109784 17.0	2021-08-17	4623171	中国矿业大学(北京)	左建平; 刘海雁; 刘德军; 文金浩; 雷博; 张琪; 吴凯俊	有效	否	否
发明专利	Composite support structure, construction system, and method (一种复合支护结构、施工系统及方法)	美国	US 11,753,936 B2	2023.09.12	18/109268	山东建筑大学	Wang Jun, Zhu Chuangen, Zuo Jianping, Wang Bo, Huang wanpeng, Ding Hougang	有效	是	是
发明专利	一种用于煤层的裂隙注浆封堵装置	中国	ZL2021110436 16.3	2022-06-17	5238822	中国矿业大学	陈梁; 张东升; 范钢伟; 王旭锋; 张炜; 茅献彪; 张世忠; 范张磊	有效	否	否
发明专利	一种液压拼接式抗剪切吸能让压锚杆装置及其使用方法	中国	ZL2024107960 38.8	2024-06-20	7402804	中国矿业大学	陈梁; 孟庆彬; 辛学奎; 李为腾; 王洪涛; 肖猛; 孔正; 张加加	有效	否	否
部级工法	深部地下空间钢管混凝土支架施工工法	中国	/	2020-10-10	BJGF028-2020	山东建筑大学; 中国矿业大学(北京)	王军; 左建平; 丁厚刚	有效	是	是

六、主要完成人情况表

1 王军（山东建筑大学），2 陈梁（中国矿业大学），3 张庆贺（安徽理工大学），4 左建平（中国矿业大学（北京）），5 孟庆彬（中国矿业大学），6 孙会彬（山东建筑大学），7 丁希阳（山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿），8 毛庆福（汶上义桥煤矿有限责任公司），9 王利（济宁矿业集团有限公司霄云煤矿），10 何建新（山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿）

七、主要完成单位情况

1 山东建筑大学，2 中国矿业大学，3 安徽理工大学，4 中国矿业大学（北京），5 山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿，6 汶上义桥煤矿有限责任公司，7 济宁矿业集团有限公司霄云煤矿