

# 公示内容

**推荐奖种：**高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术进步奖）

**项目名称：**深井软岩巷道钢管混凝土组合拱架支护关键技术研究及应用

**推荐单位：**山东建筑大学

**主要完成单位：**

山东建筑大学、华北科技学院、中国矿业大学（北京）、山东科技大学、山东英才学院、山西大同大学、山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿、新汶矿业集团有限责任公司华丰煤矿、山东深博巷道支护技术有限公司

**主要完成人：**主要完成人情况表见表 2 所列。

**项目简介：**

该项目属于矿山工程学科，涉及煤矿开采的矿山压力与支护工程技术领域。

## 1、成果内容

深井软岩巷道支护不易稳定的关键因素是支护结构承载力不足和支护-围岩作用关系处理不当。本课题组提出了基于钢管混凝土组合结构的复合支护技术，研发了一套高承载能力的钢管混凝土组合结构，包括标准断面拱架、交岔断面组合拱架和硐室群装配式组合拱架；配套研发了组合拱架支护装备形成了成熟的施工工法。钢管混凝土组合结构承载性能好，用于深井软岩巷道支护效果显著。

课题组从 2008 年 3 月份开始进行第一次工业性试验以来，已在全国 30 家企业 70 多条巷道推广应用，取得了良好的支护效果和显著的经济效益，为深井软岩巷道支护开创了一条新的技术途径。本项目主要研究成果如下：

### （1）提出了深井软岩巷道承压环支护力学模型与采动卸压支护理论

提出了巷道承压环力学模型，针对不同类型的深井软岩巷道，建立了三种承压环力学模型，形成了深井软岩巷道支护设计方法。提出了岩石流变扰动效应理论并研制了流变扰动试验仪，实验测试了深井软岩流变及其扰动效应；采用自主研发试验台进行了采掘扰动作用下深部支护模型实验研究，提出了适合深部采动支护的破壁卸压支护理论。

### （2）研发了高强钢管混凝土支架及其配套自移式智能安装机等装备

设计研发了多种支架结构架型、支架各段之间采用套管快速连接与混凝土井下顶升灌注工艺机械化作业系统；研究解决了支架注浆口局部弱化技术难题。研发了早强型钢管混凝土支架，设计了立椭圆形和扁椭圆形支架结构，能够更好地适应围岩变形特点。针对钢支架搬运不便和安装速度慢，研发了自移式智能支架

安装机和小空间作业用混凝土快速搅拌上料及泵送系统。

(3) 研发了巷道交岔口组合支架和泵房吸水井集约化装配式支护系统

针对深部巷道交岔口断面大难支护特点，发明了巷道交岔点钢管混凝土组合支架，由支撑架和搭接架构成；针对泵房吸水井巷道布置复杂、设备稳定要求高等特点，提出了集约化装配式支护系统，由三种支架结构通过标准连接件组合成整体支护系统。

(4) 揭示了钢管砼短柱壁厚效应及其圆弧拱中性层偏移规律和控制方法

实验研究了钢管混凝土短柱的塑形变形特征，以塑性角变化分析钢管砼短柱的壁厚效应，建立了钢管混凝土短柱后屈服段承载力准确计算公式，适于巷道可缩性计算。实验研究了钢管混凝土圆弧拱的压弯性能，建立了圆弧拱中性层偏移量与抗弯承载力相关函数，提出了通过控制中性层偏移提高圆弧拱抗弯承载力的技术方法，发明了抗弯型钢管混凝土支架。

## 2、成果特点

(1) 项目研究周期长

课题组历时 10 年，2004 年 8 月提出该技术，并从此展开了实验与理论研究。2005 年课题组设计出了最初的钢管混凝土支架，2006 年进行了第一次圆形钢管混凝土支架结构实验，2008 年进行了深部支护工业性试验，2009 年起钢管混凝土支架逐步在全国推广应用。

(2) 项目研究成果突出

课题组先后进行 30 多次钢管混凝土构件力学性能测试，研究成果获得了充分验证与实践检验；目前已授权发明专利 14 项，发表相关学术论文 70 余篇，发表学术专著 4 部，获批相关国家基金 6 项。

(3) 项目推广应用范围大

钢管混凝土组合拱架支护结构已用于全国 30 家矿山近 70 条巷道，支护巷道长度超过 25km。矿井涵盖煤矿、金矿和镍矿等，巷道类型涉及千米深井、软岩与极软岩、岩溶陷落带、断层破碎带及动压巷道等，为煤炭企业节省成本和创收利润超过 4 亿元。

**曾获得科技奖励情况：**无。

**主要知识产权目录：**主要知识产权证明目录见表 3 所列。

**表 1 主要完成单位创新推广贡献**

单位名称	排序	主要贡献
山东建筑大学	1	负责项目总体研发和技术实施，主要贡献为：在高延法教授研究基础上提出了钢管混凝土组合拱架系统支护技术，优化了拱架接头套管定位、相邻支连接、注浆孔及排气孔加固设计；提出了混凝土灌注工艺并改进了混凝土搅拌与泵送系统；研发了两巷交岔口支护用钢管混凝土组合支架、多巷交岔口支护用装配式钢管混凝土支护系统、采区巷旁支护用钢管混凝土墩柱及自移式智能支架安装机等产品；系统分析了钢管混凝土短柱壁厚效应、直梁中性层偏移规律、圆弧拱压弯破坏机理和支架系统承载性能，提出了深井软岩巷道承压环强化支护理论和支护设计方法，提出了深部采动作用下的破壁卸压支护理论。为本项目提供良好的实验条件，有计划地为本项目发展引进相关技术与实验人才，支持技术推广并与多家矿企建立合作关系。
华北科技学院	2	参与项目技术研发和应用推广，主要贡献为：设计并组织了钢管混凝土支架第一次承压性能试验，优化完善钢管混凝土支架支护现场施工工艺设计，推动钢管混凝土支架的研发制造和第一次工业性试验，指导钢管混凝土支架龙口北皂矿极软岩巷道中的推广应用。深入研究了巷道围岩的流变扰动效应。积极推进本技术在多家矿井进行应用，提供本项目所需的必要实验条件并给与相关技术与科研支持。
中国矿业大学（北京）	3	参与项目技术研发和应用推广，主要贡献为：培育了钢管混凝土支架复合支护技术，组织了钢管混凝土支架第一次实验和第一次工业性试验，有计划地改进了钢管混凝土支架施工工艺技术，系统分析了钢管混凝土短柱、直梁、圆弧拱和支架整体力学性能，提出了深井软岩巷道承压环强化支护理论和支护设计方法。为该技术提供良好的科研平台并支持发展，与多家矿企签订钢管混凝土支架复合支护技术合同，拥有多项相关发明专利，积极组织推广本项目技术。
山东科技大学	4	参与项目技术研发和应用推广，主要贡献为：负责制定了钢管混凝土支架力学性能测试的总体试验研究方案以及技术路线，并与课题组共同研究深井软岩巷道钢管混凝土组合结构支护成套技术，以及工程应用的具体实施工作，进行了钢管混凝土短柱试验和钢管混凝土直梁抗弯性能试验，为钢管混凝土支架设计选型提供试验依据；进行了深部软岩巷道的围岩长期流变扰动试验研究；研究了极软岩巷道基于钢管混凝土支架的支护技术；优化完善钢管混凝土支架支护现场施工工艺设计。

山东英才学院	5	参与项目技术研发和应用推广，主要贡献为：研究了钢管混凝土组合结构的生产加工工艺，参与研发了钢管混凝土墩柱、核心混凝土配比和支架安装机的研发工作，对钢管混凝土支架在邢东矿、平朔井工三矿、阳城煤矿等数十个矿井中的应用进行了方案设计、施工指导及现场监测，对钢管混凝土支架应用推广起到良好的推动作用。为钢管混凝土支架复合支护技术推广应用提供科研支持。
山西大同大学	6	参与项目技术研发和应用推广，主要贡献为：研究了巷道交岔点用钢管混凝土组合结构的设计与生产工艺，进行了钢管混凝土圆弧拱力学性能实验研究并研发了早强型钢管混凝土支架结构，对钢管混凝土支架在查干淖尔一号井、南山煤矿、平朔井工三矿等数十个矿井中的应用进行了方案设计、施工指导及现场监测，对钢管混凝土支架应用推广起到良好的推动作用。为钢管混凝土支架复合支护技术推广应用提供科研支持。
山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿	7	参与项目实施，主要贡献为：在-650南翼轨道大巷、-650南翼回风大巷、-650南翼制冷硐室、北三深部候车、北三深部车场、-1020泵房吸水井等近20条巷道应用钢管混凝土组合支护结构。结合软岩破碎带巷道破坏特征和围岩力学特征，优选钢管混凝土支架断面形状、支架型号和支架间距，保证了巷道支护稳定，总结了阳城煤矿巷道破坏机理并进行围岩荷载分析，推动了钢管混凝土组合结构在软岩破碎带中的推广应用，为其他类似特征巷道提供了良好的借鉴。
新汶矿业集团有限责任公司华丰煤矿	8	参与项目实施，主要贡献为：在-1100水平大巷、-1100中央泵房、-1080煤仓下口和五水平回风巷等近10条巷道应用钢管混凝土支架，实践验证了钢管混凝土支架的高承载力、安全可靠与合理工艺，结合其他地区钢管混凝土支架施工经验，总结了本矿钢管混凝土支架应用于深部软岩巷道支护的技术要点、施工工艺和监测方法。首次实践了采掘扰动作用下破壁卸压支护技术，取得了显著支护效果并在全矿大力推广，为同类巷道支护提供参考。
山东深博巷道支护技术有限公司	9	参与项目技术研发和应用推广，主要贡献为：研发并改进了钢管混凝土支架生产工艺，指导了钢管混凝土支架在阳城煤矿、邢东矿和清水营矿等全国数十条巷道的工程应用，改进了钢管混凝土支架实用断面结构，优化了钢管混凝土支架加工工艺，研发了生产配套装备，加快了钢管混凝土支架复合支护技术由理论走向实践的过程；对复合支护技术使用过程中出现问题及时反馈更改，推动了钢管混凝土组合拱架技术进步，对本项目应用推广贡献巨大。

表 2 主要完成人情况表

排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目主要学术和技术创造性贡献
1	王军	秘书长、所长	副教授	山东建筑大学	山东建筑大学	项目总负责人，专利 12 项，专著 2 部，论文 8 篇
2	王波	所长	教授	华北科技学院	华北科技学院	主要参加人员，专利 2 项，专著 1 部，论文 6 篇
3	刘德军	无	副教授	中国矿业大学(北京)	中国矿业大学(北京)	主要参加人员，专利 1 项，论文 2 篇
4	黄万朋	副主任	讲师	山东科技大学	山东科技大学	主要参加人员，专利 2 项，专著 1 部，论文 6 篇
5	王正泽	副主任	讲师	山东英才学院	山东英才学院	主要参加人员，专利 8 项，论文 2 篇
6	何晓升	副主任	讲师	山西大同大学	山西大同大学	主要参加人员，专利 4 项，论文 2 篇
7	毛庆福	总工程师	高工	山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿	山东济矿鲁能煤电股份有限公司阳城煤矿	主要参加人员，论文 2 篇，科研合同 1 份
8	魏礼刚	总工程师	高工	新汶矿业集团有限责任公司华丰煤矿	新汶矿业集团有限责任公司华丰煤矿	主要参加人员，论文 2 篇，科研合同 1 份
9	王振波	无	讲师	中国矿业大学(北京)	中国矿业大学(北京)	主要参加人员，论文 1 篇
10	王洪涛	副所长	副教授	山东建筑大学	山东建筑大学	主要参加人员，专利 1 项，论文 2 篇
11	丁厚刚	副总经理	工程师	山东深博巷道支护技术有限公司	山东深博巷道支护技术有限公司	主要参加人员，论文 2 篇，实验报告 1 份
12	李学彬	副主任	副教授	华北科技学院	华北科技学院	主要参加人员，论文 3 篇，实验报告 1 份
13	曲广龙	无	讲师	山东科技大学	山东科技大学	主要参加人员，专利 2 项，专著 1 部，论文 2 篇
14	朱绪文	副总经理	工程师	山东深博巷道支护技术有限公司	山东深博巷道支护技术有限公司	主要参加人员，专利 2 项，实验报告 1 份

表 3 主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	一种巷道交叉点用钢管混凝土组合支架	中国	ZL20171003 5533.7	2018-07-1 7	3002497	山东建筑大学	王军、王正泽、陈冰慧、何晓升、左建平	有效
发明专利	一种钢管混凝土支架 安装机及安装方法	中国	ZL20161068 4087.8	2018-07-1 0	2992847	山东建筑大学、山东深博巷道支护技术有限公司	王军、王正泽、陈冰慧	有效
发明专利	一种沿空掘巷煤柱双向加固方法	中国	ZL20171003 5988.9	2019-02-2 2	3263822	山东建筑大学	王军、朱绪文、王正泽、曲广龙、黄万朋、左建平	有效
发明专利	一种沿空留巷巷旁支护系统及其构筑方法	中国	ZL20171010 0400.3	2019-03-2 9	3311020	山东建筑大学	王军、陈冰慧、黄万朋、曲广龙、王正泽、左建平	有效
发明专利	新型钢管外壁除锈机	中国	ZL20151099 6942.4	2017-12-1 5	2740790	山东深博巷道支护技术有限公司	王军、王正泽、陈冰慧、曹国民、张振	有效
发明专利	一种煤柱双向加固用 伸缩型对穿锚索	中国	ZL20151099 7211.1	2018-02-2 3	2826645	山东深博巷道支护技术有限公司	王军、朱绪文、王正泽、陈冰慧	有效
发明专利	基于平面连杆机构原理的角度调整机构	中国	ZL20151076 7400.X	2018-01-2 3	2788220	山东深博巷道支护技术有限公司	王军、曹国民、王正泽、张振、陈冰慧	有效
发明专利	动压软岩巷道基于钢管混凝土支架的复合 支护装置	中国	ZL20091024 1815.8	2012-05-0 2	940484	中国矿业大学(北京)	高延法、王军、曲广龙	失效

发明专利	煤矿立井井筒钢管混凝土支架与混凝土管片支护装置	中国	ZL20131048 1625.X	2015-09-2 3	1799595	中国矿业大学(北京)、宁夏煤炭科学技术研究所有限公司	高延法、王军、何晓升	失效
发明专利	钢管混凝土支架断面及注浆口和排气孔结构	中国	ZL20131040 4232.9	2016-04-1 3	2025524	中国矿业大学(北京)	高延法、王军、何晓升、王正泽	失效
发明专利	钢管混凝土短柱矩阵排列批量灌注装置	中国	ZL20131064 8625.4	2016-01-2 0	1895849	济南深博矿山设备有限公司	王正泽、张飞、王军	有效
发明专利	排空开槽机	中国	ZL20141015 0971.4	2016-05-1 8	2080488	中国矿业大学(北京)	高延法、何晓升、刘珂铭、杨柳	有效
发明专利	带活动导向凹模体的钢管冲孔模具	中国	ZL20131064 6895.1	2015-09-0 9	1779454	济南深博矿山设备有限公司	张飞、王军、王正泽	有效
发明专利	极软岩巷道底板与两帮卸压窗口支护装置	中国	ZL20131048 2151.0	2013-10-1 5	2104624	中国矿业大学(北京)	高延法、曲广龙、杨柳	失效