

## 2025 年新疆维吾尔自治区自然科学奖提名公示内容

### 一、项目名称

矿用韧性组合支护结构环向增稳理论及设计方法

### 二、提名单位意见

提名单位：新疆大学

**提名意见：**本项目面向矿山复杂灾害环境下支护结构安全服役与长寿命设计的重大需求，属于矿山工程、材料科学、结构力学及防灾减灾等多学科交叉前沿领域。传统支护结构设计往往过于追求强度和刚度，而忽视了在深部开采、冲击地压、围岩大变形等灾害下的能量吸收与变形适应能力。本项目创新性地引入“韧性”理念，研发出具有“增阻大变形”特性的矿用组合支护结构，揭示了组合支护结构环向增稳机理，提出了面向矿山工程全生命周期的组合支护结构设计方法。

项目组在多年研究基础上，突破了传统支护结构设计理论的瓶颈，开发了纤维增强复合材料（FRP）-混凝土-钢组合支护结构，系统揭示了湿热-应力-火灾多场耦合作用下组合结构的损伤演化规律，建立了结构寿命预测模型，构建了结构耐久性设计理论架构；揭示了矿用韧性组合支护结构环向增稳机理，提出了复合材料（FRP、钢）约束混凝土本构模型，实现了复杂截面、多路径加载条件下组合支护结构力学性能的精确预测；创立了面向多源灾害的矿用组合支护结构全周期韧性设计理论与协同调控方法，形成了以 FRP-混凝土-钢双壁空心结构为代表的矿用高韧性组合支护体系，在典型矿山工程中实现了承载力提升 95%、支护成本降低 60%的应用效果。

项目研究聚焦国际前沿热点课题，契合新疆“十大产业集群”高质量发展需求，具备重大理论创新，具有重要科学价值，为矿山深部资源安全开采、绿色高效开发提供了关键理论与技术支撑。项目取得的系列原创性成果发表在 *International Journal of Mining Science and Technology*、*Composites Part B: Engineering* 等知名刊物，累计发表学术论文 40 篇。其中，8 篇代表性论文均发表在本领域顶级刊物，SCI-EXPANDED 引用 697 次，他引 508 次，单篇论文最高他引 168 次。

研究成果得到了国内外专家的充分肯定和认可，被国内外著名专家（如杜修

力院士、邢锋院士、滕锦光院士、加拿大工程院外籍院士 V. Kodur 教授、加拿大工程院院士 M. Green 教授、国际土木工程复合材料学会 (IIFC) 主席 S.T.Smith 教授、IIFC 杰出青年奖获得者 J. Correia 教授、国家千人计划学者赵晓林教授、长江学者冯鹏教授) 正面评价。研究成果同时被国家标准 (GB 50608 2020) 大规模采纳。依托研究内容与成果, 团队人员主持国家级项目 15 项, 省部级项目 20 余项。

该项目提供的材料真实可靠, 完成单位、完成人排名顺序无争议, 建议提名新疆维吾尔自治区自然科学二等奖。

### 三、项目简介

本项目属于矿山工程和结构工程交叉领域, 聚焦地下矿山动力灾害频发、强腐蚀和火灾等多源灾害环境下传统支护结构过于注重强度与刚度, 难以应对冲击地压、围岩大变形等突发灾害的实际工程问题, 本项目创新性地引入“韧性”理念, 研发出具有“增阻大变形”特性的矿用组合支护结构, 揭示了组合支护结构环向增稳机理, 提出了面向矿山工程全生命周期的组合支护结构设计方法。

主要创新与贡献如下:

(1) 多场耦合作用下的工作机理与耐久性理论: 揭示了 FRP 组合支护构件在应力-湿热或应力-火灾多场耦合作用下的损伤演化与界面破坏机制, 提出了基于微观劣化和宏观响应的寿命预测方法, 解决了材料长期退化与高温失效的关键问题。

(2) 约束本构模型与环向增稳理论: 建立了适用于不同 FRP 和填充材料的约束本构关系, 提出了新型屈服准则与高精度形状系数公式, 阐明了非均匀约束下的应力分布规律, 显著提高了复杂截面和多路径加载下的预测精度。

(3) 面向多源灾害的矿用组合支护结构全周期韧性设计与协同调控: 基于环向增稳理论和韧性理念, 构建了以 FRP-混凝土-钢双壁空心结构为代表的矿用高性能组合支护体系, 研发了适应不同工程背景的增阻大变形组合支护结构, 形成了模块化装配式施工与设计方法, 在典型矿山应用中实现了承载力大幅提升与成本的有效控制。

本项目研究成果具备重大理论创新, 具有重要科学价值, 为矿山深部资源安

全开采、绿色高效开发提供了关键理论与技术支撑，具有重要科学价值和广阔应用前景。研究成果 8 篇代表性论文均发表在本领域顶刊，其中 *Composites Part B: Engineering* 1 篇（影响因子 14.2）、*Engineering Structures* 1 篇（影响因子 6.4）、*Computers and Geotechnics* 1 篇（影响因子 6.2）、*Composite Structures* 2 篇（影响因子 7.1）、*Construction and Building Materials* 1 篇（影响因子 8.0）、*Journal of Building Engineering* 1 篇（影响因子 7.1）、*International Journal of Mining Science and Technology* 1 篇（影响因子 13.7）。代表性论文包括 1 篇 ESI 热点论文，2 篇 ESI 高被引论文。截至目前，8 篇代表性论文已经被包括欧美英澳加日韩印等 40 多个国家和地区的 SCI-EXPANDED 引用 697 次，最高单篇 SCI 引用次数为 184 次，引发一系列的后续研究。研究成果被国家标准（GB 50608 2020）大规模采纳。同时，依托本项目形成了 5 项国家发明专利，7 项实用新型专利。

#### 四、代表性论文专著目录

1. Jun-Jie Zeng, Yong-Chang Guo\*, Wan-Yang Gao, Jian-Zhang Li, Jian-He Xie, Behavior of partially and fully FRP-confined circularized square columns under axial compression, *Construction and Building Materials*, 2017, 152, 319-332.
2. Wan-Yang Gao, Jian-Guo Dai, Jin-Guang Teng\*, Guang-Ming Chen, Finite element modeling of reinforced concrete beams exposed to fire, *Engineering Structures*, 2013, 52, 488-501.
3. Hongchao Zhao\*, Ting Ren, Alex Remennikov, A hybrid tubular standing support for underground mines: Compressive behaviour, *International Journal of Mining Science and Technology*, 2021, 31(2): 215-224.
4. Jun-Jie Zeng, Wan-Yang Gao\*, Zhi-Jian Duan, Yu-Lei Bai, Yong-Chang Guo, Li-Jun Ouyang, Axial compressive behavior of polyethylene terephthalate/carbon FRP-confined seawater sea-sand concrete in circular columns. *Construction and Building Materials*, 2020, 234, 117383.
5. Jun-Jie Zeng, Yu-Yi Ye, Wan-Yang Gao, Scott T. Smith, Yong-Chang Guo\*, Stress-strain behavior of polyethylene terephthalate fiber-reinforced polymer-confined normal-, high- and ultra high-strength concrete, *Journal of Building Engineering*, 2020, 30, 101243.

6. Jun-Jie Zeng, Yu-Yi Ye, Yong-Chang Guo\*, Jun-Fan Lv, Yi Ouyang, Cheng Jiang, PET FRP-concrete-high strength steel hybrid solid columns with strain-hardening and ductile performance: Cyclic axial compressive behavior, Composites Part B: Engineering, 2020, 190, 107903.
7. Jin-Jing Liao, Jun-Jie Zeng\*, Cheng Jiang, Jia-Xing Li, Jian-Song Yuan, Stress-strain behavior and design-oriented model for FRP spiral strip-confined concrete, Composite Structures 2022, 293, 115747.
8. Cai-Long Ma, Dai-Yu Wang, Zhen-Yu Wang\*, Seismic retrofitting of full-scale RC interior beam-column-slab subassemblies with CFRP wraps, Composite Structures 2016, 159, 397-409.

### 五、主要完成人情况:

| 姓名  | 排名 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位   | 完成单位   | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|------|------|--------|--------|--|
| 曾俊杰 | 1  | 无    | 教授   | 新疆大学   | 新疆大学   | 项目第一完成人,领导和完成了本项目中所有研究内容及科学发现,是代表性论文1、4、5、6的第一作者,本项目国家自然科学基金项目的主持人。                                    |
| 高皖扬 | 2  | 无    | 副教授  | 上海交通大学 | 上海交通大学 | 项目第二完成人,完成了FRP加固混凝土结构耐高温/火灾安全设计理论研究,是代表性论文2的第一作者,本项目国家自然科学基金项目的主持人。                                    |
| 赵红超 | 3  | 无    | 副教授  | 新疆大学   | 新疆大学   | 项目第三完成人,完成了面向多源灾害的矿用组合支护结构全周期韧性设计与协同调控研究,是代表性论著3的第一作者。是本项目国家自然科学基金、新疆维吾尔自治区高校科研计划、新疆维吾尔自治区天山青年计划项目主持人。 |

|     |   |   |    |                |                |   |
|-----|---|---|----|----------------|----------------|---|
| 马财龙 | 4 | 无 | 教授 | 新疆<br>大学       | 新疆<br>大学       | 项目第四完成人，完成了FRP加固钢筋混凝土节点的受力性能研究，是代表性论著8的第一作者。是本项目中新疆自治区高校科研计划青年项目、天山青年计划项目主持人。 |
| 袁健松 | 5 | 无 | 教授 | 河南<br>工程<br>学院 | 河南<br>工程<br>学院 | 项目第五完成人，完成了FRP加固支护结构环向增稳及条带约束机理的研究，是代表性论著7的作者。                                |