

# 陕西省科学技术进步奖提名书

## (2025年度)

### 一、项目基本情况

项目名称	微生物水泥性能调控机制与工程应用关键技术
主要完成人	王剑云 王振军 张凯峰 张芮 马泉 刘刚 杨利民 任乐平 范冬冬
主要完成单位	西安交通大学 长安大学 陕西省建筑科学院有限公司 中建西部建设第九有限公司 中建三局集团有限公司 安徽中铁工程材料科技有限公司

## 二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 二等奖及以上 <input type="checkbox"/> 三等奖及以上
提名意见： <p>本项目基于我国双碳国家战略和建筑业绿色可持续发展的重大需求，依托国家自然科学基金项目、陕西省自然科学基金项目、陕西省住建厅等国家级/省部级项目，创新性利用微生物技术赋能绿色建材，将微生物矿化沉积碳酸钙（俗称微生物水泥）用于材料缺陷修复，从而实现对固废基再生骨料的强化以及混凝土微裂缝的修复，实现建筑垃圾资源化和高值化利用，以及混凝土结构长寿命维护的双重目标。主要创新点包括：（1）揭示了微生物水泥粘结强度形成及调控机制，创新性利用控释矿化菌酶活的方法提高生物碳酸钙的粘结强度，建立了多场景应用的微生物水泥粘结强度的调控理论与方法；（2）提出了微生物碳酸钙原位沉积修复再生骨料多尺度裂隙缺陷设计方法，发明了“由里及表，双重改性”强化技术，实现对再生骨料缺陷全尺度修复，形成了再生骨料微生物改性强化关键技术，改性强化后各类再生骨料性能均显著提升；（3）开发了混合型微生物水泥修复剂，解决了矿化沉积速率与粘结强度成反比造成的修复周期长的瓶颈难题，形成混凝土微裂缝快速修复关键技术。</p> <p>本项目成果形成过程中，发表高水平学术论文 90 余篇，授权发明专利 12 项，完成 4 项标准编制，培养硕博研究生 8 名。成果应用于陕西、安徽等地的实际工程，取得了良好的经济、社会和环境效益。</p> <p>提名该项目为科学技术进步二等奖。</p>			
说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

## 二、提名意见（适用于专家提名）

姓    名			
专家类型	<input type="checkbox"/> 国家最高科学技术奖获得者 <input type="checkbox"/> 中国科学院院士 <input type="checkbox"/> 中国工程院院士 <input type="checkbox"/> 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） <input type="checkbox"/> 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） <input type="checkbox"/> Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上 <input type="checkbox"/> 三等奖及以上
责任专家	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
提名意见：			
<p>说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

### 三、项目简介

固废资源化利用和延长现有混凝土结构服役寿命是目前混凝土行业实现碳减排和绿色可持续发展的两大重要途径。本项目创新性利用微生物技术赋能绿色建材，将微生物矿化沉积碳酸钙（俗称微生物水泥）用于材料缺陷修复，从而实现对固废基再生骨料的强化以及混凝土微裂缝的修复，实现建筑垃圾资源化和高值化利用，以及混凝土结构长寿命维护的双重目标。项目团队在国家自然科学基金、陕西省自然科学基金等项目支持下，围绕“微生物水泥性能调控机制及其应用关键技术”开展理论和技术攻关研究，突破现有的微生物矿化沉积理论体系，揭示了基于多场景应用环境下微生物水泥强度形成及调控机制，形成了基于微生物水泥的再生骨料改性强化以及混凝土裂缝修复关键技术，并得到工程应用。取得的系列创新成果包括：

1. 揭示了微生物碳酸钙沉积过程中粘结作用产生机制，提出基于矿化沉积动力学过程的粘结强度调控方法，为多场景应用提供理论支撑。项目揭示了控制微生物水泥粘结强度的核心影响因素，建立了矿化活性-碳酸钙沉积动力学-碳酸钙力学性能的定量关联，创新性利用控释矿化菌内酶活的方法来提高生物沉积碳酸钙的粘结强度，形成了多场景应用的碳酸钙粘结强度的调控理论与方法。
2. 提出了微生物碳酸钙原位沉积修复再生骨料多尺度裂隙缺陷设计方法，发明了“由里及表，双重改性”骨料强化技术，实现对再生骨料缺陷全尺度修复，形成了再生骨料微生物改性强化关键技术。率先提出利用纳米尺度微生物游离脲酶渗入深层裂隙，实现基体深层修复并强化再生骨料。构建基于海藻酸钠协同微生物沉积碳酸钙的表面覆膜技术，解决现有微生物处理技术存在的碳酸钙在骨料表面分布不均的难题；进一步降低混凝土再生骨料吸水率和压碎值，达到 I 类再生骨料等级标准，促进了废弃再生骨料的大面积推广应用。
3. 形成了动态流场环境下微生物碳酸钙粘结强度调控方法，发明了微裂缝快速修复的混合型微生物碳酸钙修复剂，成功将修复周期从 14d 缩短至 3d，强度恢复率超 80%，解决了目前微裂缝修复周期长，效率低的瓶颈难题，实现了多场景的工程应用。

项目执行过程中在高水平期刊上发表 SCI 论文 90 余篇，授权发明专利 12 项，完成了国家自然科学基金、陕西省自然科学基金（面上）、陕西省住建厅、校企合作项目共 5 项。项目成果实现了微生物诱导碳酸钙理论研究和工程应用的国际引领，促进了绿色微生物技术在土木建筑领域的前沿应用。同时与企业建立了良好的产学研合作关系，研究成果在建筑工程中得到实际应用，社会经济效益良好。

## 四、客观评价

### 1.项目研究水平评价

依托的国家自然科学基金项目“脲酶诱导碳酸钙沉积原位修复再生骨料缺陷及其机理研究”、陕西省自然科学基金“生物碳酸钙强化废弃混凝土再生骨料机理”，陕西省住建厅项目“建筑垃圾再生砖骨料高效利用关键技术研究与应用”和校企项目“混凝土微裂缝生物修复技术研究”等，均以丰硕的成果结题。

### 2.代表性论文评价

(1) 澳门大学教授 Wai-Meng Quach 教授在混凝土领域顶级期刊《Cement and Concrete Composites》2024 年第 152 期上发表的文章“The impact of seawater ions on urea decomposition and calcium carbonate precipitation in the MICP process”中采用了代表性论文【1】中研发的微生物碳酸钙粘结强度的表征方法。(The bond strength of calcium carbonate with the crack wall surface can be used to determine if the calcium carbonate can seal the cracks in the long term, which can be assessed by the ultrasonic impact test [42])。【附件 8, 32】

(2) 固废资源化领域权威专家，Journal of Hazardous Materials、Journal of Cleaner Production 等国际期刊的副主编，香港科技大学 Daniel Tsang 教授在《Construction and Building Materials》2024 年第 451 卷上发表文章“Microbial-induced carbonate precipitation (MICP) modified biochar for low-carbon cementitious materials”引用代表作【1】，将本项目研究的 MICP 改性再生骨料作为代表性研究成果，并称赞其具有广阔的应用前景。(As a promising technology, microbial-induced carbonate precipitation (MICP) has been increasingly proposed to modify the geological properties [17], fibers [18], concrete healing [19–24], recycled concrete aggregate [25])

(3) 伊拉克巴格达理工学院 Ziyad Tariq Abdulla 教授在《Results in Engineering》2024 年第 24 期上发表文章“Remanufacturing construction and demolition waste and incineration ashes into eco-blocks: Quantitative sustainability assessment”引用代表作【2】，高度评价道：基于酶促诱导碳酸钙沉积的生物改性是一种创新性的可有效减少再生骨料缺陷并提高品质的方法。(Enzyme-induced carbonate precipitation is a novel bio-deposition method that can increase the quality of recycled concrete aggregates and reduce the number of defects in the adhered mortar [18])。

(4) 混凝土结构领域著名教授，山西省土木工程灾害防治重点实验室张家广教授在绿色可持续领域权威期刊《Journal of Cleaner Production》2024 年第 472 期上发表文章“A practical enhancing method of recycled concrete aggregates via combination of mechanical grinding and microbial consortia-spraying: Preliminary tests”引用代表作【3】，称赞基于生物改性强化技术是环境友好且具有经济效益。(Moreover, these bio-deposition enhancement methods possess environmentally friendly and relatively

cost-effective characteristic (Zhang et al., 2023a))。

(5) 微生物矿化领域权威专家，以色列理工学院的 Varennyam Achal 教授在《Case Studies in Construction Materials》2024 年第 21 期上发表文章“Enhanced steel corrosion inhibition through microbially induced carbonate precipitation with facultative anaerobic denitrifying bacterium”引用了代表作【4】里关于微生物碳酸钙中含有微量细菌分泌的蛋白质的结论。(Besides the distinctive peaks of calcite, some weak diffraction peak could attributable to the protein secreted by bacteria [14,15])。

(6) 微生物修复领域著名学者太原理工大学李珠教授在混凝土领域顶级期刊《Cement and Concrete Research》2024 年第 183 期上发表文章“Crack-healing ability of concrete enhanced by aerobic-anaerobic bacteria and fibers”引用代表作【5】，称受代表作【5】中关于微生物矿化沉积研究的启发，研究人员正在利用细菌矿化能力修复混凝土裂缝。(Inspired by the phenomenon of microbial mineralization and diagenesis [10,11])。

(7) 印度理工学院 Smruti Sourava Mohapatra 教授在《Construction and Building Materials》2023 年第 368 期上发表文章“A systematic review exploring the utilization of coal mining and processing wastes as secondary aggregate in sub-base and base layers of pavement ” 引用代表作【6】，称煤矸石在建筑中最关键的缺点是吸水率高，通过碳酸盐矿化菌的应用可以解决煤矸石骨料吸水率高的难题。(The most critical drawback of coal waste in construction is the high-water absorption. However, the limitation has been overcome by adding carbonate-precipitating bacteria to coal waste [94].)

(8) 太原理工大学李珠教授《Construction and Building Materials》2024 年第 441 期上发表文章“Influence of carbonate-inducing bacteria on desulfurization effect of medium and high sulfur coal gangue under spraying and preparation of desulfurized coal gangue mortar”引用代表作【6】，称利用 MICP 在煤矸石骨料表面沉积碳酸钙后，其物理性能和力学性能得到显著提升，而且将矸石中的重金属进行了固定，这非常有利于矸石废弃物的资源化利用。(Zhang et al. [45] used MICP to generate the biological calcium carbonate deposited on the surface of coal gangue, improving the physical and mechanical properties of the gangue aggregates. And it is very helpful to fix the heavy metals in the gangue, which is conducive to the resource utilization of the gangue waste.

### 3.成果鉴定意见

2025 年 8 月 26 日，陕西省土木建筑学会组织，长安大学原副校长赵均海教授为组长，西安理工大学土木学院副院长郭宏超教授为副组长的评审委员会，对项目团队形成的科技成果“微生物水泥性能调控机制与工程应用关键技术”进行了评价，认定项目成果整体达到国际先进水平。

## 五、应用情况

### 1. 应用情况（限 2 页）

研究团队作为重要科研技术支撑，与中铁四局有限公司就微生物技术修复混凝土微裂缝方面联合完成了中国中铁股份的重点项目。完成人王剑云作为第一发明人与企业联合申请了一项中国发明专利【一种快速修复混凝土微裂缝的生物材料及其制备方法，ZL 202211361503.2，授权日期 2023.10.27，证书号 6437507.】，后续将针对此专利产品进行产业化合作。中国中铁四局集团科学技术委员会组织的专家委员会对成果“混凝土微裂缝生物修复技术的研究”进行评审后一致认为成果达到国际先进水平。完成过程中，研发的混凝土微裂缝修复用微生物修复液通过了第三方检测，抗折强度达到了 5.7MPa，同时初步应用于结构墙面微裂缝和仓库地面微裂缝修复加固，用户评价良好，在修复液渗透能力，修复材料的粘结性方面具有突出的技术优势，并且彰显出很好的经济效益。

再生骨料改性的关键技术的研究也获得了众多企业的关注，并开始了初步的应用研究，交大研究团队一直以来与中建西部建设第九有限公司建立了良好的交流与合作关系，成果第一时间被中建西部建设第九有限公司用于泵送混凝土的配制与生产，发现改性后的再生骨料可完全取代天然骨料，且不影响其工作性能，新拌混凝土均质性好，便于浇筑施工，尤其强度得到显著提升。基于良好的应用前景，交大团队与中建西部建设第九有限公司建立了持续性合作关系。生物碳酸钙强化再生骨料也被用于中建三局集团西北有限公司用于西安航空职业技术学院新校区扩建项目（一期），用户普遍反映施工过程中，使用改性的再生骨料混凝土浇筑性能非常好，硬化后各项指标均符合国家标准要求，用户认为该成果技术的应用，既节约了天然砂石资源，更促进了废弃混凝土再生骨料的大宗量消纳利用，符合建筑业碳减排的可持续发展目标，具有很好的推广价值

## 六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	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
1	论文	Optimization of deposition process for a productive and cohesive bio-CaCO <sub>3</sub> to repair concrete existing cracks	欧洲	DOI: 10.1007/s00253-023-12531-2	2023-4-28	Applied Microbiology and Biotechnology	西安交通大学	王剑云、刘刚等
2	论文	Optimization of sodium alginate aided bio-deposition treatment of recycled aggregates and its application in concrete	欧洲	DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2023.105031	2023-3-13	Cement and Concrete Composites	西安交通大学	王剑云、张芮等
3	发明专利	一种快速修复混凝土微裂缝的生物材料及其制备方法	中国	ZL20211361503.2	2023-10-27	6437507	安徽中铁工程材料科技有限公司、西安交通大学等	王剑云、范冬冬等
4	论文	The influence of environmental factors and precipitation precursors on enzyme-induced carbonate precipitation (EICP) process and its application on modification of recycled concrete aggregates	欧洲	DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136444	2023-2-16	Journal of Cleaner Production	西安交通大学	王剑云、张芮等
5	论文	Quantitative evaluations on influences of aggregate surface texture on interfacial adhesion using 3D printing aggregate	欧洲	DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127022	2022-3-11	Construction and Building Materials	长安大学	王振军等
6	论文	The prediction of compressive strength for recycled coarse aggregate concrete in cold region	欧洲	DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02546	2023-10-05	Case Studies in Construction Materials	中建三局集团有限公司等	马泉等



7	发明专利	一种改性再生砖渣和再生湿拌砂浆	中国	ZL20210523577.5	2022-12-02	5624324	中建西部建设第九有限公司	张凯峰等
8	发明专利	一种基于微生物诱导技术改性煤矸石骨料的方法	中国	ZL202110352628.8	2023-4-25	5915822	西安交通大学	王剑云、张芮等
9	发明专利	一种基于脲酶诱导碳酸钙法改性混凝土再生骨料的方法	中国	ZL20210102954.8	2022-11-01	5554528	西安交通大学	王剑云、张芮等
10	行业标准	混凝土用建筑垃圾再生轻粗骨料	中国	JC/T2772-2024	2024-3-29	中华人民共和国工业和信息化部	中建西部建设北方有限公司等	张凯峰等

## 七、主要完成人情况表

姓 名	王剑云	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 完成人全面负责项目的科学研究与关键技术应用，对创新点一、二、三有创造性贡献。揭示了多场景应用时微生物水泥强度形成机理及调控机制，构建了基于微生物水泥的骨料强化及裂缝修复关键技术体系。			

姓 名	王振军	排 名	2
行政职务	材料科学与工程学院党委书记		
技术职称	教授		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
对本项目主要学术贡献： 完成人负责再生骨料改性后用于普通混凝土后的工作性能、力学性能等宏观性能与微观结构的研究并进行设计优化，参与改性再生骨料技术应用关键技术研发，并提出改性效果评价指标，对创新点二有重要贡献。			

姓 名	张凯峰	排 名	3
行政职务	技术质量部副经理，技术中心主任		
技术职称	高级工程师		
工作单位	中建西部建设第九有限公司（原中建西部建设北方有限公司）		

完成单位	中建西部建设第九有限公司（原中建西部建设北方有限公司）
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>完成人负责再生砖混骨料改性关键技术的应用研发，组织实施改性再生骨料技术的在工程项目中的应用，促进再生骨料的高值化应用，对创新点二有重要贡献。</p>	

姓 名	张芮	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 完成人参与微生物水泥强度形成机理及调控机制研究，重点聚焦废弃混凝土再生骨料、砖混骨料和煤矸石骨料的改性强化关键技术研究，对创新点一和二有重要贡献。			

姓 名	马泉	排 名	5
行政职务	中建三局集团有限公司西北分公司第三分公司总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	中建三局集团有限公司		
完成单位	中建三局集团有限公司		
对本项目主要学术贡献： 完成人聚焦改性强化后的再生骨料用于普通混凝土配制后实际服役性能，发明了生物改性再生混凝土力学性能预测方法，对创新点二有重要贡献。			

姓 名	刘刚	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 完成人参与微生物水泥强度调控机制的研究，主要负责了矿化活性与生物碳酸钙粘结性能定性定量关联的建立，对创新点 3 有重要贡献。			

姓 名	杨利民	排 名	7
行政职务	建材与节能研究所副所长		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	陕西省建筑科学研究院有限公司		
完成单位	陕西省建筑科学研究院有限公司		
对本项目主要学术贡献： 完成人负责混凝土微裂缝修复现场应用关键技术研发与实施，组织现场混凝土结构微裂缝的检测，构建修复效果评价体系，对创新点三有重要贡献。			

姓 名	任乐平	排 名	8
行政职务	中建三局集团有限公司西北分公司科技研发中心副主任		
技术职称	高级工程师		
工作单位	中建三局集团有限公司		
完成单位	中建三局集团有限公司		

对本项目主要学术贡献：

完成人参与混凝土微裂缝修复现场应用关键技术研发，并对注浆工艺优化。对创新点三有重要贡献。

姓 名	范冬冬	排 名	9
行政职务	总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	安徽中铁工程材料科技有限公司		
完成单位	安徽中铁工程材料科技有限公司		
对本项目主要学术贡献： 完成人参与微生物修复混凝土裂缝关键技术研发，以及微裂缝修复现场应用技术体系的构建，对创新点三有重要贡献。			

## 八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>申报单位西安交通大学是项目第一完成单位，对创新点一、二、三有突出贡献。负责项目总体规划、研究内容和关键技术开发。揭示了微生物水泥的应用机理，开发了微生物水泥强化再生骨料以及修复混凝土微裂缝关键核心技术，并为现场应用提供重要技术支撑，取得了良好的应用效果，产生了重要的社会经济和环境效益，对本项目创新成果具有突出贡献。</p>	

单位名称	长安大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>申报单位长安大学对创新点二有重要贡献。负责再生骨料以及再生骨料混凝土（改性强化前后）工作性能、力学性能和耐久性能全方位研究与测评，形成了改性再生骨料混凝土性能优化与保障技术体系，为再生骨料混凝土工程应用提供技术支持，对本项目创新成果二有重要贡献。</p>	

单位名称	陕西省建筑科学研究院有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>申报单位陕西建筑科学研究院有限公司是创新点三的重要完成单位之一，对项目的主要贡献如下：构建了适于微生物修复剂的混凝土微裂缝现场修复技术应用、检测与评价体系，并形成了相应的专著、软著和技术规程，促进微生物修复技术在实际工程项目中的应用。</p>	

单位名称	中建西部建设第九有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>申报单位中建西部建设第九有限公司对创新点二有重要贡献，对项目的主要贡献如下： 参与研究废弃混凝土再生骨料和废弃砖混骨料改性技术研究，研发了有效的砖混改性材料与技术以及砖混再生骨料利用关键技术，实现了再生骨料混凝土在工程中的规模应用。</p>	

单位名称	中建三局集团有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>申报单位中建三局有限公司为本项目形成的两项关键技术的应用和推广做出了重要贡献，具体表现在，开展了改性强化再生骨料混凝土在实际服役环境条件下的研究与性能预测，为再生骨料混凝土的应用和混凝土微裂缝修复技术提供了多种应用场景，验证了工程应用效果并大力推广。</p>	

单位名称	安徽中铁工程材料科技有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>安徽中铁工程材料科技有限公司是创新点三的重要完成单位之一，对项目的主要贡献如下： 参与构建了适于微生物修复剂的混凝土微裂缝现场修复技术体系，包括注浆工艺的现场应用以及现场修复效果评价等，并提供了工程应用场景。</p>	

## 完成人合作关系说明

参加本年度陕西省科学技术进步奖申报和评审的“微生物水泥性能调控机制与工程应用关键技术”项目成果，申报主要完成人包括王剑云、王振军、张凯峰、张芮、马泉、刘刚、杨利民、任乐平、范冬冬共9人。其中，张芮和刘刚为王剑云课题组核心研究成员，共同进行课题研究并有共同的论文、专利等成果。2019-2022年期间，西安交通大学王剑云团队与安徽中铁工程材料科技有限公司开展了校企合作，共同攻关中国中铁股份有限公司重点项目《2020-重点-28 混凝土微裂缝生物修复技术研究》，并形成了合著文章和共同知识产权。自2021年开始，西安交通大学王剑云团队与长安大学王振军团队，以及中建西部建设第九有限公司（原中建西部建设北方有限公司）张凯峰在混凝土服役性能提升以及固废资源化方面保持紧密的产学研合作，共同完成了科研项目《高层建筑地下室剪力墙裂缝成因分析及防裂关键技术研究》，并实现了房建、道路等应用场景的工程应用。中建西部建设第九有限公司（原中建西部建设北方有限公司）张凯峰联合中建三局集团有限公司马泉、任乐平等开展混凝土结构裂缝防控技术相关研究并共同完成科技成果《超长地下室外墙裂缝控制成套关键技术研究及应用》。2022-2024年，张凯峰与杨利民共同完成了陕西省住建厅科研项目《城市建筑垃圾高效循环利用关键技术》。

本项目人员排序考虑在项目中理论研究和工程技术应用及关键技术问题解决等方面的工作量、承担工作的重要性承担等因素，客观反映本项目成果每个完成人的贡献，经充分协商后一致确定。



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同立项	王振军/2	2021.1.1	2023.12.31	高层建筑地下室剪力墙裂缝成因分析及防裂关键技术研究	立项证明
2	共同立项、产业合作	张凯峰/3	2021.1.1	2023.12.31	高层建筑地下室剪力墙裂缝成因分析及防裂关键技术研究	立项证明
3	论文合著	张芮/4	2020.1.1	2024.12.31	Optimization of sodium alginate aided bio-deposition treatment of recycled aggregates and its application in concrete	代表性论文
4	科研合作	马泉/5	2021.1.1	2024.12.31	超长地下室外墙裂缝控制成套技术研究及应用	科技成果评价证书
5	论文合著	刘刚/6	2020.1.1	2024.12.31	Optimization of deposition process for a productive and cohesive bio-CaCO <sub>3</sub> to repair concrete existing cracks	代表性论文
6	共同立项	杨利民/7	2022.1.1	2024.12.31	城市建筑垃圾高效循环利用关键技术	立项证明

7	科研合作	任乐平/8	2021.1.1	2024.12.31	超长地下室外墙裂缝控制成套技术研究及应用	科技成果评价证书
8	共同知识产权	范冬冬/9	2019.1.1	2023.12.31	一种快速修复混凝土微裂缝的生物材料及其制备方法	发明专利