

2025 年度陕西省科学技术奖提名公示

一、项目名称

镁渣的资源化利用关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省土木建筑学会

提名意见：金属镁是二十世纪发展起来的新型轻质耐腐蚀金属材料。我国对于金属镁的需求量很高，全球 80%的镁由我国生产。用硅热还原法每生产 1 吨金属镁的同时就会产生 5-6 吨的镁渣。目前府谷县原镁产能约 35 万吨/年，年产镁渣近 300 万吨。镁渣堆放和填埋会对生态环境和人类健康产生危害，其资源化利用已经成为迫在眉睫的难题。

该项目针对镁渣关键技术创新及工程应用，采用理论分析、室内试验和工程实践等方法开展了持续研究。提出了通过调整镁渣水化产物和碳化产物比例，提高胶凝材料的致密度、强度及稳定性，来保障镁渣陶粒碳化工工艺的低能耗特性，并建立了强度预测模型与机理解释框架；制备了 La-EDTA 改性玄武岩纤维作为镁渣基胶凝材料的增强体，并揭示其增强机制；提出了壳聚糖等协同催化镁渣水化和碳化反应的方法，并研究了镁渣基压实型固化土和镁渣基流态固化土的土壤固化关键技术。该项目制订标准 1 部，发表论文 7 篇，授权发明专利 12 项。项目成果应用于“中大国际玖玖康养健康城项目固化土回填工程项目”、“西安市第九医院改扩建项目工程总承包（EPC）肥槽流态固化土回填工程”等多个公建项目中，取得了显著的经济、社会和环境效益，具有很好的推广应用价值。

该项目创新性强，成果系统，内容丰富，实用性强。提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。

三、项目简介

金属镁是二十世纪发展起来的新型轻质耐腐蚀金属材料。镁的应用主要集中在镁合金生产、铝合金生产、炼钢脱硫、航空军工四大领域，广泛应用于汽车制造业、轻工业、冶金工业、化学工业、电子工业和仪表制造业等。我国对于金属镁的需求量很高，全球80%的镁由我国生产，而陕西省陕北地区的金属镁产量占世界四分之一。用硅热还原法每生产1吨金属镁的同时就会产生5-8吨的镁渣。目前榆林市境内正常投入运行的原镁产能约50万吨/年，年产镁渣约250万吨。其中府谷县原镁产能约35万吨/年，年产镁渣近200万吨。镁渣堆放和填埋会对生态环境和人类健康产生危害，其资源化利用已经成为迫在眉睫的难题。目前的法律手段和技术方法收效甚微，镁渣在厂区堆存一段时间后送到野外沟壑以直接填埋的方式进行处理，只有少量被用作水泥添加剂，或通过添加水泥制成建筑用砖。将镁渣在建设领域进行资源化再利用既能够解决目前镁渣的污染问题，又能够变废为宝，提供价格相对低廉的建筑材料，兼具深远的社会效益和巨大的经济效益。

镁渣是一种含有水化活性成分和碳化活性成分的二级工业固废，具有价格低廉（只需运费）、易磨且无需高温加工的优点，应用于建设领域，不仅能够降低施工成本，还能够取得较好的使用效果。但是其中含有的氧化镁（MgO）、和游离氧化钙（f-CaO）直接制备建筑材料时极易产生过量的膨胀，导致工程质量的下降甚至造成严重的安全问题。因此，镁渣的安定性问题一直是其作为建筑制品亟需解决的难题。在本项目组前期的不断探索中，已经证明，采用二氧化碳中和MgO和f-CaO制备轻集料是一种行之有效的解决安定性问题的方法；此外，我省和“一带一路”沿线的省份多属于湿陷性黄土地区，建设工程首要解决的问题就是湿陷性黄土可能造成的工程问题，经常的，采用石灰土和水泥土能够改良黄土避免工程问题的产生。然而，石灰的开采逐渐受到限制导致石灰的价格逐年增加，水泥不仅价格较高并且生产过程的耗能高，因此，亟需一种能够代替石灰或水泥的黄土改良剂，镁渣的低廉价格和良好的水

化活性使其具有出色的竞争性。本项目组成员通过前期实验证明，在完全不处理的情况下，镁渣在一定掺量时已能够代替石灰用于黄土的改良。无论是碳化镁渣制备轻集料还是镁渣改良黄土的关键技术研究，在现有“双碳”政策和可持续发展发展背景下，不仅有利于新型绿色建材新型产业链的形成，创造就业岗位，产生经济效益，还能够使固体废弃物“变废为宝”，解决陕北地区的污染问题；于此同时，制备碳化镁渣轻集料消耗大量工业废气中的二氧化碳，对我省的节能减排也具有不可忽略的深远意义。项目组依托数项科研项目及工程实践应用，针对镁渣资源化利用关键技术及工程应用，采用理论分析、室内试验和现场试验等方法开展了系统研究，主要内容有：

(1) 揭示了镁渣水化反应和碳化反应的协同作用机制。提出了通过改变水渣比和预养护龄期调整镁渣水化产物和碳化产物比例的方法，即，水化反应和碳化反应改变了镁渣制品的孔结构、孔分布和水化产物、碳化产物的比例，镁渣陶粒的平均孔隙率为由 36.06%降低为 18.57%， Ca(OH)_2 含量由 3.41 wt%增加到 6.21 wt%， CaCO_3 含量由 0 wt%增加到 19.34 wt%。建立了以低水渣比和 7d 预养护为核心的制备工艺，将镁渣的碳化产物筒压强度从 4.39MPa 提高至 9.25MPa，增长率为 110.7%，保障了镁渣陶粒碳化工艺的低能耗特性。

(2) 建立了碳化温度和 CO_2 浓度联合优化的参数窗口，阐明了碳化温度和 CO_2 浓度协同作用对镁渣陶粒性能的影响规律。明确了适度升温协同高浓度二氧化碳可显著提升二氧化碳与镁渣的反应速率与镁渣制品致密化水平的规律。提出了通过调整碳化温度和 CO_2 浓度实现水化产物氢氧化钙和碳化产物方解石的比例的精确调控方法，优化了镁渣陶粒的宏观性能，试样筒压由 3.21MPa 提升至 9.29MPa，增长率 189.4%，堆积密度从 1130kg/m^3 提升至 1186kg/m^3 ，增长率为 5.0%，将碳化反应时间缩短至 20min。阐明了龄期-温度-孔结构-强度的关联效应，明确了碳化反应相对于水化反应对镁渣陶粒强度的贡献优势，揭示了碳化初始时水化产物的增加对后续

碳化反应速率的显著提升作用机制，建立了以氢氧化钙和碳化初始孔隙率为自变量的强度预测模型与机理解释框架，用于指导工程化温度与二氧化碳浓度的选择。

(3) 提出了利用壳聚糖、硅酸钠和碳酸氢钠协同催化镁渣水化反应和碳化反应的方法，揭示了壳聚糖、硅酸钠和碳酸氢钠协同对镁渣的协同激发强度提升效应（7d 抗压强度由 2.63 MPa 提升至 5.64 MPa，提升率为 114%），阐明了改性壳聚糖、硅酸钠和碳酸氢钠对硅热法炼镁镁渣的反应促进机制：壳聚糖促进了镁渣中 CaO、 γ -C₂S 和 β -C₂S 等含钙化合物中钙离子的溶出，并促进钙离子与无机组分碳酸钠或碳酸氢钠生成碳酸钙，保证了 γ -C₂S 和 β -C₂S 碳化反应和水化反应的进行，提高了镁渣低碳胶凝材料的致密度和强度以及其制品的尺寸稳定性。制备了 La-EDTA 改性玄武岩纤维作为镁渣基胶凝材料的增强体，揭示了稀土元素 La 对纤维表面和胶凝材料基体之间的桥接与增强机制，即，La-EDTA 的同时提高了纤维的粗糙度和羟基含量，降低了镁渣基胶凝材料的需水量，提高了增强后复合材料的强度和韧性。

(4) 制备了镁渣和改性壳聚糖为核心组分的镁渣基土壤固化剂，并创建了镁渣基压实型固化土和镁渣基流态固化土的土壤固化关键技术，为湿陷性黄土的改良提供了新的思路，代替传统水泥和白灰等高能耗、高碳排放胶凝材料在回填工程、砌筑工程中的使用，阐明了压实系数和镁渣掺量对固化土微观成分和结构的影响。揭示了镁渣基土壤固化剂对的重金属污染土的改良机理，采用水化介孔硅作为载体负载氨基改性壳寡糖提高了修复剂中氨基改性壳寡糖的负载率，氨基改性壳寡糖中具有的大量—NH₂、—NH、—OH 基团捕获、螯合重金属污染土壤中的重金属离子，将络合物中氨基改性壳寡糖富集的重金属离子包埋进入水化硅酸钙晶体中，实现了对重金属污染土壤中重金属离子的富集固定。

该项目制订标准 1 部，发表论文 7 篇，授权发明专利 12 项，创新性提出了镁渣的资源化利用，开展了碳化镁渣制备轻集料、蒸压镁渣板材和镁渣改良黄土（镁渣改良黄土制备土壤固化剂）的关键技术研究，在现有“双碳”政策和可持续发展

发展背景下，不仅有利于新型绿色建材新型产业链的形成，创造就业岗位，产生经济效益，还能够使固体废弃物“变废为宝”，解决陕北地区的污染问题；于此同时，制备碳化镁渣轻集料消耗大量工业废气中的二氧化碳，对我省的节能减排也具有不可忽略的深远意义。

四、客观评价

1、鉴定结论及验收意见

2025年7月25日，陕西省自然科学学会研究会在西安组织召开会议，对陕西省建筑科学研究院有限公司、西安交通大学、陕西建工基础建设集团有限公司、绿聚能居建筑科技有限公司、陕西建研结构工程股份有限公司、陕西建科建设特种工程有限公司完成的“镁渣的资源化利用关键技术及应用”课题进行成果评价。以全国工程勘察设计大师徐张建为主任委员的评价委员会认为“该成果总体达到国际先进水平，其中“镁渣基固化剂土壤固化关键技术”达到国际领先水平。”。

2022年12月6日，陕西省建筑科学研究院有限公司组织有关专家对本公司课题“镁渣的胶凝材料的开发与应用”（编号2020-10-334）课题进行了验收，并形成如下验收意见：项目针对镁渣的水化特性和碳化特性在建设工程中的应用展开了实验和分析研究，得出了水化工艺参数和碳化工艺参数对镁渣碳化制备轻集料筒压强度的影响规律，并结合微观表征结构分析了宏观性能变化规律的原因；在水化研究方面，结合湿陷性黄土的成分特点，研制出镁渣基黄土固化剂，并成功应用于实际工程，具有显著的经济社会效益。项目组超额完成了合同书规定的工作内容，达到预期目标。发表学术论文3篇，其中SCI检索1

篇，EI检索1篇，中文核心1篇。授权发明专利3件。该项目的研究成果达到国内先进水平，其中镁渣改良湿陷性黄土技术成果达国内领先水平。

2024年6月14日，陕西省科学技术厅组织有关专家，对陕西省建筑制备镁渣轻集料的技术研究（项目编号：2022KJXX-23）”进行了验收。验收委员会审阅了项目研究报告，经讨论，形成以下验收意见：项目研究中高温动态碳化工艺制备镁渣轻集料，建立不同温度二氧化碳浓度和湿度下制备镁渣轻集料的宏观力学性能和微观性能碳化模型，解决了碳化设备成本高且放置环境要求苛刻的问题；将镁渣运用到蒸压加气混凝土制备，提高了加气混凝土强度和固碳量，解决镁渣堆积造成的土地资源浪费和环境污染问题。

2、科技成果查新

项目主要内容于 2025 年 7 月 18 日进行了国内外科技成果查新，冶金工业信息标准研究院在 22 个国内外文献库、数据平台文献检索后形成科技查新报告，并得出结论：除本查新项目的研究成果外，在国内外公开发表的中外文文献未见与本查新项目创新点完全相同的文献报道。

五、应用情况

土壤固化剂及流态固化土施工技术应用于“中大国际玖玖康养健康城项目固化土回填工程项目”、“建国路固化土回填项目”、“儿童公园地下人防空间流态固化土回填项目”、“西安市第九医院改扩建项目工程总承包（EPC）肥槽流态固化土回填工程”、“福安永泰中心项目流态固化土回填工程”、“三兆村城中村改造项目 DK1 流态固化土施工项目”等陕西地区多个公建项目中推广应用，解决了如肥槽、房心、管槽、桥台背、涵洞背等紧邻结构物、构造物的回填工程压实困难、空间狭小无法作业，导致回填质量差，进而引发沉降、渗水、开裂，甚至坍塌等严重事故等关键核心问题。

与榆林市靖边县富润新型建材有限责任公司合作，解决了其产品开裂、抗压强度低和生产成本高的问题，并取得显著的经济、社会和环境效益，具有很好的推广应用价值。

六、主要知识产权和规范目录

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	发明专利	一种硅热法炼镁渣胶凝材料的匀质性碳化制备方法	中国	ZL202110573716.0	2022年8月12日	第5385949号	陕西省建筑科学研究院有限公司	朱苗淼; 仁普亮
2	发明专利	一种硅热法炼镁渣制备轻集料的方法	中国	ZL202111330445.2	2022年11月29日	第5615172号	陕西省建筑科学研究院有限公司; 西安建筑科技大学	朱苗淼; 李辉; 李妍; 任普亮; 孙永民; 黄琪; 曹静
3	发明专利	一种适用于硅热法炼镁渣基胶凝材料的外加剂及其应用	中国	ZL202210710314.5	2023年3月14日	第5782528号	陕西省建筑科学研究院有限公司	朱苗淼; 朱武卫; 李纪明
4	发明专利	一种环保再生回填料及其制备方法	中国	ZL202210710323.4	2023年5月9日	第5957931号	陕西省建筑科学研究院有限公司	朱武卫; 朱苗淼; 索军森; 侯威; 杨海鹏
5	发明专利	一种应用于黄土地基处理的	中国	ZL202110573703.3	2022年6月17日	第7206782号	陕西省建筑科学研究院有限公司	朱苗淼; 朱武卫

		镁渣土制备方法						
6	发明专利	一种镁渣基综合修补砂浆及其制备方法	中国	ZL202311477736.3	2024年5月28日	第7032975号	陕西省建筑科学研究院有限公司	朱苗淼; 朱明明; 李纪明; 朱武卫; 崔庆怡; 侯嘉豪; 李忠育
7	发明专利	一种重金属污染土壤修复剂及其制备方法和应用	中国	ZL202210708794.1	2023年3月17日	第5787350号	陕西省建筑科学研究院有限公司	朱苗淼; 王文昭; 朱武卫; 李纪明
8	论文	Evaluating Alkali Activation in Magnesium Slag Carbonization and Its Mechanism	中国	doi.org/10.3390/cryst14100847	2024年9月28日	Crystals	陕西省建筑科学研究院有限公司; 西北有色金属研究院	朱苗淼; 翟若昕; 朱明明; 贺加贝
9	论文	Basalt fiber modified with lanthanum-ethylenediaminetetraacetic acid as potential reinforcement of cyanate	中国	doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.09.129	2019年1月15日	Applied Surface Science	西安交通大学; 陕西省建筑科学研究院有限公司	朱苗淼; 马建勋

		matrix composites						
10	规范	蒸压镁渣板应用技术规程	中国	T/CECS 1697-2024	2024年8月28日	T/CECS 1697-2024	西安交通大学；陕西省建筑科学研究院有限公司	马建勋；朱苗淼

七、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	对该项目贡献
朱苗淼	1	工业废渣资源化研究与应用事业部副部长（主持工作）	高级工程师	陕西省建筑科学研究院有限公司	陕西省建筑科学研究院有限公司	该项目总负责人，负责制定总体研究思路、实施方案和研究计划，对项目进行进度与工程控制管理，组织项目课题研讨、技术培训及应用推广，建立管理制度及绩效考核指标。在创新点一、二、三、四中有创造性的贡献。
马建勋	2	无	教授	西安交通大学	西安交通大学	该项目技术负责人，协助项目负责人做好项目过程管理与总体技术路线把控，进行阶段性总结。在创新点一、二、三中有创造性的贡献。
牛新会	3	董事长	正高级工程师	陕西建工基础建设集团有限公司	陕西建工基础建设集团有限公司	主要进行流态固化土施工技术，极大推动了本项目成果应用，在创新点四中有突出贡献。
秦杏春	4	勘察设计研究所所长，技术研发中心主任	高级工程师	陕西建工基础建设集团有限公司	陕西建工基础建设集团有限公司	主要进行流态固化土施工技术，极大推动了本项目成果应用，在创新点四中有突出贡献。
鲁佳晨	5	副总经理	工程师	绿聚能居建筑科技有限公司	绿聚能居建筑科技有限公司	为镁渣在建材（碳化镁渣制备轻集料、镁渣基胶凝材料及板材制备研究做出重要贡献，并组

						织实施了科研成果的工程推广应用。在创新点一、二、三中有突出贡献。
刘义	6	董事长	正高级工程师	陕西省建筑科学研究院有限公司	陕西建研结构工程股份有限公司	主要进行流态固化土施工技术，极大推动了本项目成果应用，在创新点四中有创造性贡献。
张瑶	7	无	工程师	陕西省建筑科学研究院有限公司	陕西省建筑工程质量检测中心有限公司	主要进行流态固化土施工技术，推动了本项目成果应用，在创新点四中有突出贡献。
朱明明	8	无	工程师	陕西省建筑科学研究院有限公司	陕西省建筑科学研究院有限公司	主要进行镁渣在建材（碳化镁渣制备轻集料、镁渣基胶凝材料及板材制备）与土壤固化领域（镁渣改良黄土制备土壤固化剂）的高值化应用基础研究与技术应用，在创新点一、二、三、四中有突出贡献。
翟若昕	9	无	工程师	陕西省建筑科学研究院有限公司	陕西省建筑科学研究院有限公司	主要进行镁渣在建材（碳化镁渣制备轻集料、镁渣基胶凝材料制备）应用基础研究与技术应用，在创新点一、二中有突出贡献。
王洁	10	无	正高级经济师	陕西建科建设特种工程有限公司	陕西建科建设特种工程有限公司	主要进行流态固化土施工技术，对技术成本测算等工作做出的贡献，推动了本项目成果应用，在创新点四中有突出贡献。

八、主要完成单位及创新推广贡献

完成单位	排名	对该项目科技创新和应用推广情况的贡献
陕西省建筑科学研究院有限公司	1	陕西省建筑科学研究院有限公司作为第一完成单位，项目中负责研究总体方案、制定技术路线定和协调项目顺利完成，组织召开专家审查会议，并形成科研课题鉴定意见，技术优化和产品定性及研究结果推广应用等，保障了研究工作的顺利开展。与参与单位一起，合作完成了镁渣在建材（镁渣基流态

		固化土、预制和浇筑节能保温一体化墙体材料、碳化镁渣制备轻集料、镁渣基胶凝材料及板材制备)与土壤固化领域(镁渣改良黄土制备土壤固化剂)的高值化应用基础研究与技术应用等关键问题。对创新点一、二、三和四做出了重要贡献,授权发明专利10项,发表论文7篇。
西安交通大学	2	西安交通大学为该项目的研究合作单位,在镁渣基胶凝材料及板材制备、玄武岩纤维作为镁渣基胶凝材料的增强体方面做出了重要贡献,并主编《蒸压镁渣板应用技术规程》,为蒸压镁渣板的大规模应用奠定基础。对创新点一、二、三做出了重要贡献,授权发明专利2项,主编协会标准1部。
陕西建工基础建设集团有限公司	3	陕西建工基础建设集团有限公司为该项目的研究合作单位,组织实施了科研成果的工程推广应用,对土壤固化剂及流态固化土施工技术的推广应用具有重要贡献。
绿聚能居建筑科技有限公司	4	绿聚能居建筑科技有限公司为该项目的研究合作单位,为镁渣在建材(镁渣基流态固化土预制和浇筑节能保温一体化墙体材料、碳化镁渣制备轻集料、镁渣基胶凝材料及板材制备研究做出重要贡献,并组织实施了科研成果的工程推广应用。
陕西建研结构工程股份有限公司	5	陕西建研结构工程股份有限公司为该项目研究合作单位及应用单位,在该项目技术的应用方面提供了巨大的支持,对土壤固化剂及流态固化土施工技术的推广应用具有重要贡献。
陕西建科建设特种工程有限公司	6	陕西建科建设特种工程有限公司为该项目的研究合作单位,组织实施了科研成果的工程推广应用,对土壤固化剂及流态固化土施工技术的推广应用具有重要贡献。

九、完成人合作关系说明

第二完成人马建勋为西安交通大学教授，是本人的博士导师，与本人在论文合著、共同参与制定标准规范方面开展合作。

第三完成人牛新会为陕西建工基础建设集团有限公司党委书记兼董事长，与本人在产业合作方面开展合作。

第四完成人秦杏春为陕西建工基础建设集团有限公司勘察设计研究所所长、技术研发中心主任，与本人在产业合作方面开展合作。

第五完成人鲁佳晨为绿聚能居建筑科技有限公司副总经理，与本人在产业合作方面开展合作。

第六完成人刘义为陕西建研结构工程股份有限公司董事长，与本人在产业合作方面开展合作。

第七完成人张瑶为陕西省建筑科学研究院有限公司工程师，与本人在产业合作方面开展合作。

第八完成人朱明明为陕西省建筑科学研究院有限公司工程师，与本人在共同知识产权方面开展合作。

第九完成人翟若昕为陕西省建筑科学研究院有限公司工程师，与本人在论文合著方面开展合作。

第十完成人王洁为陕西建科建设特种工程有限公司正高级经济师，与本人在产业合作方面开展合作。