**2023年度山东省科学技术进步奖申报项目公示**

**一、项目名称**

赤泥基路用材料制备关键技术及应用

**二、提名单位**

山东省交通运输厅

**三、提名意见、提名等级**

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部申报材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术奖励的填写要求。

该项目以山东省重大科技创新工程项目、山东省自然科学基金重大基础研究项目、山东省交通运输厅科技计划等项目为牵引，历经近十年科研攻关与工程实践，提出了赤泥基路用材料制备关键技术，创新点如下：

1. 首创了赤泥基路用材料制备理论。构建了多源固废“协同利用-余热重构-尾气处置”三位一体的特色理论；建立了硅酸盐、铁铝酸盐、铝酸盐矿物相平衡制度；开发了固废协同尾气处置与余热重构核心装备。

2. 创新了赤泥基路用材料性能动态调控方法。建立了地聚物凝胶、铁铝酸盐相、硅酸盐矿相的匹配设计方法；提出了以实际工程需求为导向的赤泥基路用材料浆体性能优化方法与应用技术体系；建立了赤泥基胶凝材料自胶结-固化剂强化的协同固化/稳定化方法；研发了新的路用材料等系列赤泥基土木功能材料。

3. 创新了赤泥基胶凝材料路用关键技术。形成了赤泥基胶凝材料稳定碎石组成设计方法；建立了赤泥基胶凝材料稳定碎石长期服役性能和生态环保性能的预测模型；提出了赤泥基胶凝材料用于路面基层建设的施工技术与工艺。

项目成果在我国公路、矿山、隧道、能源和海工等领域成功应用，整体成果应用至全国4个省份、数十个国家重难点工程，近两年产生经济效益超5亿元。

该项目授权国家发明专利62项、软件著作权1项，受理国际PCT专利2项，编制标准4项、立项标准6项，出版专著4部，发表论文53篇，获山东省新旧动能转换高价值专利一等奖。郑健龙、彭永臻、缪昌文等五位院士评价专家一致认为成果整体达到国际领先水平，为赤泥在交通基础设施建设领域大规模环保消纳开拓了新路径，极大提升了我省赤泥利用水平，引领了我国交通建设绿色发展。

提名该项目为2023年度山东省科学技术进步奖一等奖。

**四、项目简介**

本项目属交通运输领域。

伴随我国经济快速发展，制铝产业废渣（赤泥）年排放超1亿吨，累计堆存量超10亿吨，生态环境和社会发展压力巨大。然而，国内外相关技术仍存在技术就绪度低、综合利用率低、材料与结构服役性能差等问题，难以打破赤泥“不敢用，无法用，不想用”的跨世纪僵局。与此同时，在我国建设“交通强国”战略与实现“双碳”目标的背景下，水泥行业资源能耗大、污染严重等成了绿色发展的堵点，打通堵点，破解僵局，势在必行。

本项目依托山东省重点研发计划项目以及一批重难点工程项目为支撑，历经十余年理论研究、科技攻关与工程实践，解决了赤泥高掺量高值化绿色利用理论、技术、应用等一系列科技难题，形成了赤泥基路用材料制备及关键应用技术，是全国首创的破题，带动了交通-材料-冶金-环境多领域的链条式协同发展。

（1）首创了基于“协同利用-尾气处置-余热重构”的赤泥协同多固废利用理论。揭示了赤泥与多类型固废化学组成、矿相成分、物理性状多尺度协同作用规律，提出了以Na/Al、Si/Al、Ca/Si为控制参数的赤泥基胶凝材料组成设计方法，解决了赤泥成分复杂多变而导致无法高效利用的难题；利用工业余热实现赤泥矿相重构，研发了赤泥基高铁相胶凝材料，实现了硅酸盐相与铁铝酸盐相含量动态可控，开发了赤泥协同利用余热重构核心装备，实现了赤泥价值跃迁；建立了工业尾气处置赤泥的反应动力学模型，自主开发了工业尾气碳化处置核心装备，解决了赤泥预处理困难、反应活性低和体积安定性不良的问题。

（2）创建了基于“分子设计-微观改性-宏观调控”的赤泥基土木功能材料多尺度性能动态调控方法。建立了赤泥基土木功能材料凝结时间调控方法，构建了浆体流变时变动力学模型，实现了赤泥基土木功能材料流动特性的高效调控；研发了基于材料自胶结-磷酸盐类-糖类协同的污染因子固化技术，建立了污染因子的吸附固化动力学模型，产品重金属浸出量满足《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) (IV类)，实现了赤泥中碱性组分、重金属等污染因子的高效固化。建立了基于清洁生产和无废排放的赤泥基土木功能材料制备工艺，实现了赤泥基土木功能材料闭路循环生产工艺设计与中试试验线建设。

（3）提出了基于不同应用结构部位的赤泥-多源固废一体化协同设计方法，形成了赤泥基胶凝材料路用关键技术。提出了赤泥基土木功能材料性能技术要求、施工工艺与质量控制标准，建立了赤泥基土木功能材料多指标施工质量状况综合评价体系，提高了质量检评的测试效率和可靠性；构建了基于赤泥-多源固废协同利用的“弯沉响应-疲劳轴次-永久变形”等多指标控制与评价技术体系；形成了工程应用环境地下水、地表水、土壤的监测项目、分析方法和含量限值环境监测体系，保障了赤泥基材料路用绿色环保性能。

项目获国家发明专利62项、软件著作权1项，编制/立项标准10项，出版专著4部，发表论文53篇。成果应用至全国4个省份、数十个国家重难点工程，近两年产生经济效益超5亿元。研究成果达到国际领先水平。

**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** | **第一完成人是否参与** | **第一完成单位是否参与** |
| 专著 | 赤泥基地质聚合物胶凝材料组成设计与工程实践 | 中国 | ISBN 978-7-03-074680-1 | 2022-12-01 | 科学出版社 | 山东高速集团有限公司 | 周勇、李召峰、张健、左志武、王川、汲平 | 出版 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种路用赤泥基稳定材料及其制备方法与应用 | 中国 | ZL202111552697.X | 2022-09-23 | 第5473253号 | 山东高速集团有限公司、山东大学 | 周勇、李召峰、左志武、王川、游浩、马川义、张健、王凯、高益凡、张宁、周志浩 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种多孔囊体降噪隔音材料及其制备方法与应用 | 中国 | ZL202111354916.3 | 2022-12-23 | 第5663651号 | 山东大学、山东高速集团有限公司、山东省交通科学研究院 | 周勇、张健、左志武、李召峰、王川、于婷婷、栗剑、惠冰、王凯、陈朋、张宁、张文俊、孟祥龙、付建村、马士杰 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种半刚性建筑固废自养护路基及其制备方法和应用 | 中国 | ZL202010219403.0 | 2022-04-29 | 第5121990号 | 山东大学、山东高速集团有限公司、山东高速路桥集团股份有限公司 | 李召峰、邹泰、裴文晶、周新波、林春金、张宁 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 一种砂粒式铁尾矿沥青混合料配合比设计方法 | 中国 | ZL202011622342.9 | 2022-05-20 | 第5168625号 | 山东高速工程检测有限公司 | 王鑫洋、汲平、辛公锋、王洪国、李立平、张民、高宾、吴思、顾瑞海、刘健、褚峰 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种赤泥基固废透水混凝土及其制备方法与应用 | 中国 | ZL202010468769.1 | 2021-06-01 | 第4457323号 | 山东高速集团有限公司、山东大学 | 王川、李召峰、申全军、林春金、栗剑、张健 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 橡胶沥青改性剂、改性沥青、沥青混合料及其制备和应用 | 中国 | ZL202010115838.0 | 2021-08-31 | 第5156052号 | 山东高速材料技术开发集团有限公司、山东建筑大学 | 张树文、王立志、曲恒辉、朱辉、张圣涛、赵品晖、徐强、任瑞波、王鹏、耿立涛 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种增强增韧的道路快速修复材料及制备方法 | 中国 | ZL201910712541.X | 2021-03-26 | 第4324493号 | 山东高速集团有限公司、长安大学、山东高速交通建设集团股份有限公司 | 张西斌、陈谦、姜成岭、王朝辉、李洪印、高志伟、姜海龙、张文武、刘鹏、王飞、王珊珊、刘伟、杨希安、邢兵、余四新 | 有效 | 否 | 是 |
| 地方标准 | 公路工程赤泥（拜耳法）路基应用技术规程 | 山东省 | DB 37/T 3559-2019 | 2019-05-29 | 山东省市场监督管理局 | 山东省交通科学研究院、山东高速股份有限公司、山东省交通运输厅公路局、中铝环保节能集团有限公司、中铝山东有限公司、山东海逸交通科技有限公司、山东魏桥铝电有限公司 | 马士杰、吕思忠、孙兆云、刘甲荣、程钰、苏建明、李英勇、杨伟刚、陈婷婷、韦金城、李彬、李庶安、李兴峰、孙杰、余四新、胡家波、杜心、张占明、刘凤海、周晓峰、刘世杰、张跃东、赵宁、王娜、董昭 | 有效 | 否 | 否 |
| 论文 | Feasibility of preparing red mud-based cementitious materials: Synergistic utilization of industrial solid waste, waste heat, and tail gas | 英国 | Journal of Cleaner Production | 2021-02-20 | 10.1016/j.jclepro.2020.124896 | 山东大学 | Zhaofeng Li\*, Jian Zhang, Shucai Li, Chunjin Lin, Yifan Gao, ChaoLiu | 有效 | 否 | 否 |

**六、主要完成人情况**

1、姓名：周勇 排名：1

行政职务：董事长

技术职称：研究员

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：作为技术总负责人，对项目创新点1赤泥协同利用理念，创新点2浆体性能调控方法以及创新点3赤泥基路用胶凝材料应用关键技术均做出了创造性贡献，主要贡献包括：主持完成了赤泥协同多固废组成设计理论，建立了赤泥基路用材料多尺度性能调控方法，形成了赤泥基胶凝材料稳定碎石路用关键技术，并提出了赤泥路用耐久性评价方法。

2、姓名：李召峰 排名：2

行政职务：无

技术职称：教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：对项目创新点1赤泥协同多固废矿相重构理论，创新点2赤泥基路用材料污染因子固化方法与创新点3赤泥基路用材料力学损伤模型均做出了创造性贡献，主要贡献包括：主持完成了赤泥协同多固废制备高铁相胶凝材料的基础研究与装备开发工作，揭示了硅酸盐、铝酸盐、铁铝酸盐多矿相平衡机制。参与研发了赤泥基路用胶凝材料污染因子控制方法，研发了基于材料自胶结-固化剂协同固化的新型污染因子固化剂，参与设计了基于清洁生产的赤泥基路用材料生产工艺。

3、姓名：左志武 排名：3

行政职务：执行总监

技术职称：研究员

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：对创新点2赤泥基路用胶凝材料性能调控方法与创新点3赤泥基路用胶凝材料应用关键技术做出了创造性贡献，主要贡献包括：建立了赤泥基胶凝材料浆体性能调控方法，创新开发了工业尾气碳化协同处置赤泥核心装备，建立了应用于不同道路结构的赤泥基路用材料组成设计方法与配套施工工艺体系。

4、姓名：王川 排名：4

行政职务：科技创新发展部部长

技术职称：研究员

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：对创新点2赤泥基路用胶凝材料性能调控方法与创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了创造性贡献，主要贡献包括：研发了适用于赤泥的新型高效固化剂，揭示了赤泥中污染因子的迁移和浸出规律。提出了赤泥基胶凝材料稳定土组成设计方法，建立了赤泥基路用材料耐久性评价模型。

5、姓名：林春金 排名：5

行政职务：副主任

技术职称：副教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：对项目创新点1赤泥协同利用理念，创新点2浆体性能调控方法，主要贡献包括：主持完成了工业尾气碳化处置赤泥相关研究，协助开展了赤泥基胶凝材料性能调控方法研究。建立了工业尾气碳化赤泥动力学模型，提出了赤泥基路用材料力学强度提升方法。

6、姓名：辛公锋 排名：6

行政职务：创新研究院副院长

技术职称：研究员

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：对项目创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了创造性贡献，主要贡献包括：揭示了赤泥基胶凝材料稳定碎石强度形成机理，提出了赤泥基路面基层服役性能损伤模型。

7、姓名：张健 排名：7

行政职务：无

技术职称：无

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：对项目创新点1赤泥协同利用理念做出了创造性贡献，主要贡献内容包括：建立了赤泥协同多类型固废胶凝活性数据库，揭示了赤泥基胶凝材料水化硬化机理，提出了赤泥基胶凝材料组成设计方法。

8、姓名：张宁 排名：8

行政职务：业务经理

技术职称：高级工程师

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：对项目创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了创造性贡献，主要贡献包括：开发了赤泥基路用材料污染因子长期检测平台，提出了赤泥基路用材料环保性能的长效评价方法。

9、姓名：张树文 排名：9

行政职务：董事长

技术职称：高级工程师

工作单位：山东高速建材集团有限公司

完成单位：山东高速建材集团有限公司

对本项目贡献：对项目创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了贡献，主要贡献包括：负责了赤泥基胶凝材料稳定碎石、稳定土等相关工程应用的开展工作。

10、姓名：汲平 排名：10

行政职务：二级公司总经理

技术职称：高级工程师

工作单位：山东高速工程咨询集团有限公司

完成单位：山东高速工程咨询集团有限公司

对项目创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了创造性贡献，主要贡献包括：构建了赤泥基胶凝材料稳定碎石混合料优化设计方法，提出了赤泥基路面基层配套施工工艺与效果检测方法。

11、姓名：孙兆云 排名：11

行政职务：无

技术职称：高级工程师

工作单位：山东省交通科学研究院

完成单位：山东省交通科学研究院

对本项目贡献：对项目创新点2赤泥基路用材料性能调控方法和创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了贡献，主要贡献包括：研发了适用于赤泥的高效改性固化剂，负责了赤泥基路用材料填筑路基等相关工程应用的开展工作。

12、姓名：裴文晶 排名：12

行政职务：总经理

技术职称：高级经济师

工作单位：山东省水利工程局有限公司

完成单位：山东省水利工程局有限公司

对本项目贡献：对项目创新点2赤泥基路用材料性能调控方法做出了贡献，主要贡献包括：参与研发了赤泥基胶凝材料生产装备体系，设计了基于清洁生产的赤泥基胶凝材料生产工艺流程。

13、姓名：张圣涛 排名：13

行政职务：业务经理

技术职称：高级工程师

工作单位：山东高速建材集团有限公司

完成单位：山东高速建材集团有限公司

对本项目贡献：对项目创新点2赤泥基路用材料性能调控方法和创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了贡献，主要贡献包括：参与设计了基于清洁生产的赤泥基胶凝材料生产工艺流程，参与了赤泥基路用材料填筑路基等相关工程应用的开展工作。

14、姓名：孟祥龙 排名：14

行政职务：业务经理

技术职称：助理人力资源师

工作单位：山东高速集团有限公司

完成单位：山东高速集团有限公司

对本项目贡献：对创新点3赤泥基路用材料应用关键技术做出了贡献，主要贡献包括：参与了赤泥基路用材料填筑路基等相关工程应用的开展工作。

15、姓名：高益凡 排名：15

行政职务：无

技术职称：无

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目贡献：对创新点1赤泥协同利用理念做出了贡献，主要贡献包括：参与了赤泥基胶凝材料组成设计方法、工业尾气碳化处置赤泥等相关研究工作。

**七、主要完成单位情况**

1、山东高速集团有限公司 排名：1

山东高速集团有限公司作为本项目第一完成单位，负责总体技术攻关以及技术成果的推广应用，协调各合作单位共同开展技术攻关，提供系列科技创新发展政策支持与工作平台支撑，全面管控项目周期与进度，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）围绕赤泥基路用材料性能需求，组织确定本项目的总体建设目标，制定了多源固废协同利用制备路用胶凝材料的技术理念。

（2）总体负责项目核心关键技术攻关与创新研发，系统创新了赤泥基路用材料组成设计、性能调控、制备工艺、应用技术等内容，完成了核心关键技术的创新设计、研发、集成与工程应用。

（3）与合作单位紧密配合，推动项目赤泥基路用材料制备与应用关键技术在山东省济青高速、济高高速、临临高速等多条省内高速公路的广泛应用，并高效推广到全国10余个省市。

2、山东大学 排名：2

山东大学作为本项目第二完成单位，参与项目整体思路和技术路线的确定以及项目整体规划，参与赤泥协同多固废利用理论、赤泥基路用材料性能调控方法、赤泥基道路结构组成设计方法等部分研究内容，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）负责研发了赤泥协同多固废制备胶凝材料的组成设计方法、赤泥协同工业余热处置技术、赤泥协同工业尾气处置技术，建立了赤泥基胶凝材料性能调控方法，完成了终端产品在华润水泥集团有限公司、山东能源集团有限公司的应用验证。

（2）参与开发了赤泥基路用材料生产核心装备，设计了基于清洁生产的赤泥基路用材料生产工艺流程，并参与建成了年产50万吨的生产示范线。

（3）揭示了赤泥基道路结构强度形成机理，建立了赤泥基道路结构服役性能预测模型，参与了成果在济高高速、临临高速等工程中的推广工作。

3、山东高速股份有限公司 排名：3

山东高速股份有限公司是本项目的第三完成单位，参与项目整体思路和技术路线的确定以及项目整体规划，参与赤泥基路用材料应用关键技术的研发工作，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）参与研发了适用于赤泥的新型高效改性固化剂，提出了赤泥基路用材料浆体性能调控方法。

（2）负责赤泥基路用材料在济青高速改扩建等工程中的推广应用工作。

4、山东省交通科学研究院 排名：4

山东省交通科学研究院是本项目的第四完成单位，参与项目整体思路和技术路线的确定以及项目整体规划，参与赤泥基路用材料性能调控与制备工艺的研发工作，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）负责研发了适用于赤泥的新型高效改性固化剂，提出了赤泥基路用材料浆体性能调控方法。

（2）参与了赤泥基路用材料应用关键技术的研发工作，建立了赤泥基改良路床土服役性能评价方法。

5、山东高速工程咨询集团有限公司 排名：5

山东高速工程咨询集团有限公司是本项目的第五完成单位，参与项目整体思路和技术路线的确定以及项目整体规划，负责赤泥基路用材料应用关键技术的研发工作，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）负责研发了赤泥基路面基层应用关键技术，揭示了复杂场景下的赤泥基道路基层性能演化规律。

（2）提出了赤泥基胶凝材料稳定碎石施工工艺，参与了成果在济高高速、临临高速等工程中的推广工作。

（3）与合作单位精密配合，共同完成项目成果的实施落地与推广应用。

6、山东高速基础设施建设有限公司 排名：6

山东高速基础设施建设有限公司是本项目的第六完成单位，参与项目整体思路和技术路线的确定以及项目整体规划，参与赤泥基路用材料应用关键技术的研发工作，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）负责赤泥基路用材料在济高高速、临临高速等工程中的推广应用工作。

7、山东高速建材集团有限公司 排名：7

山东高速建材集团有限公司是本项目的第七完成单位，参与项目整体思路和技术路线的确定以及项目整体规划，参与赤泥基路用材料应用关键技术的研发工作，对本项目科技创新和应用推广情况具体贡献如下：

（1）负责赤泥基路用材料生产示范线建设以及终端产品生产、推广等相关工作。