

科学技术进步奖公示内容

一、项目名称：高速铁路隧道衬砌充填砂浆成套技术

二、提名者及提名意见（包含提名等级）：陕西省教育厅、陕西省科学技术进步奖三等奖

三、项目简介：

针对现有充填砂浆不能很好解决高速铁路隧道二次衬砌混凝土脱空、空洞、开裂等质量缺陷问题，项目团队对其进行功能和结构化设计，研究解决充填砂浆易堵管、均匀性差、强度低、收缩大、与衬砌混凝土结合性差、耐久性差、保质期短及成本高等问题。本项目历经6年攻关，在降黏型超支化减缩剂，适合普通硅酸盐—硫铝酸盐复合水泥体系（OPC-SAC）的功能外加剂，充填砂浆的原位生产及其应用技术标准化等方面取得了重大突破，主要研究成果有：

（1）发明了降黏型超支化减缩剂，降低了充填砂浆黏度，提高了可泵性，解决了充填砂浆易泌水、干缩大等问题，减缩率提高了20%。

（2）开发了适合OPC-SAC的功能外加剂，解决了OPC-SAC流变性难以调控的问题，制备了OPC-SAC的充填砂浆，具有微膨胀、早强、高强、耐严寒、抗腐蚀、与二衬混凝土结合性好等特性。发明了功能外加剂生产设备，提出了生产工艺控制指标，建成了高效生产线。

（3）首次提出充填砂浆“原位生产”关键技术，基于BP神经网络算法和数据库开发配合比设计平台，借助平台实现智能筛选最优充填砂浆配合比，发明的干料均化与制浆注浆一体化设备原位生产充填砂浆。“原位生产”无需烘干机制砂、就近利用胶凝材料，降低成本约50%，注浆效率提高了30%，随拌随用，保质期由3个月延长至1年，实现了节能降耗与绿色低碳的协调发展。

（4）编制了T/CECS《隧道衬砌拱顶带模注浆材料应用技术规程》，革新了充填砂浆结合性试验方法。开发了虚拟仿真平台，打造了隧道衬砌拱顶带模注浆技术沉浸式体验模式。

本项目授权发明专利2项、实用新型3项、软件著作权3项，在Ceramics International等本领域期刊上发表相关论文13篇，形成了材料研发、生产到工程应用的成套技术。西北工业大学李克智教授、西安轨道交通集团有限公司教授级高工杨晓强等组成的评审委员会认为，本项目成果总体达到国内领先水平。

建成年产1万吨生产线1条，高铁隧道充填砂浆制备技术已分别

应用于银西客专贾源隧道、弥蒙铁路中哨隧道、兴泉铁路灯峰隧道、贵南铁路朝阳隧道等 12 个国家重大工程建设项目中的 20 多座隧道，获得用户高度评价。

预计 2025 年高铁网规模将达 3.8 万公里以上，同时伴随高铁“走出去”，将有更多的隧道工程。该项目研究主要针对高铁隧道衬砌缺陷问题，其研究成果同样适于我国普速铁路、公路隧道及深井巷道建设，亦可拓展用于桥梁支座注浆、设备基础加固灌浆、后张法预应力孔道灌浆以及混凝土结构裂缝修补，可显著提高结构服役寿命，具有巨大的经济、社会和环境效益，应用前景广阔。

四、 客观评价：

该项目获授权专利 5 项、软件著作权 3 项（见主要知识产权目录），覆盖了材料合成、工艺集成、设备改造等多个方面，并得到较为广泛的应用，提高了填充砂浆在该领域的核心竞争力，得到国内知名专家和应用单位的好评。

（1）成果鉴定和权威机构评价

“高速铁路隧道二次衬砌注浆结合料制备与工程应用成套技术”课题成果于 2021 年 11 月通过教育部科技查新工作站查新，证实该成果具有独创性，填充砂浆经过国家金属制品质量监督检验中心和中国中铁航空港建设集团有限公司试验检测中心检测，其性能指标均满足《隧道衬砌拱顶带模注浆技术要求》规范要求，部分性能代表本领域最高水平。由西北工业大学李克智教授、长安大学王振军教授及西安建筑科技大学李国新教授等组成的评审委员会认为，该项目成果“拥有从材料研究到产品生产和应用的全部自主知识产权”，“有重大创新，总体达到国内先进水平，在超支化减缩剂、功能外加剂研究领域达到国内领先水平”。项目组与中铁十二局集团联合中国建筑科学研究院等单位制定了 T/CECS《隧道衬砌拱顶带模注浆材料应用技术规程》，并通过国家标准委员会立项，充分说明该项目技术在该行业中的地位。

（2）应用单位评价

该成果在贵南客专、银西铁路、兴泉铁路等 20 余条线路应用后，获得广泛好评。西安市轨道交通集团有限公司教授级高工杨晓强、广州轨道监理公司总监张世杰及中铁一局城市轨道交通有限公司高级工程师吴龙对充填砂浆的使用性能进行了评价，指出“采用该充填砂浆能够有效改善注浆堵管问题，比国内同类产品应用效果好”“该充填砂浆对于复杂地质的适应性比较高，填补了该领域的技术空白”“该充

填砂浆‘原位生产’成本较低，为企业创造了经济效益”“应用该充填砂浆后，拱顶脱空问题得到了进一步改善，耐久性较好”。

与国内同类产品相比较，该充填砂浆在结合性、塑性膨胀率、28天抗压强度等方面有显著提高，详细指标见表1，在经济成本上也有很大优势，成本上降低了47.5%，详细指标见表2。

表4 充填砂浆的主要技术参数对比

试验项目	技术指标	自研产品	国内某产品
拌合物表观密度 (kg/m ³)	2260±40	2220	2280
出机流动度 (mm)	350~410	380	365
90min 流动度保留值 (mm)	≥300	370	360
分离度 (%)	-1.0~1.0	-1.0	-1.0
泌水率 (%)	0	0	0
塑性膨胀率 (%)	0.3~2	1.85	0.4
抗压强度(MPa)	12h	≥3.5	4.5
	1d	≥18.0	22.6
	28d	≥50.0	56.2
抗折强度 (MPa)	12h	≥1.0	1.3
	1d	≥4.0	8.2
	28d	≥10.0	12.3
抗渗性 (MPa)	≥1.5	1.7	1.6
结合性能测试	强度比	111 (7d)	111 (7d)
	(%)	106 (28d)	106(28d)
	结合性	多次测试稳定	多次测试不稳定

表2 充填砂浆材料成本分析

对比项目	自研产品制备	国内产品制备
生产设备投资/万元	25	300
占地面积/m ²	100	300
所需人员配置/人	5	20
总成本/(元/吨)	1050	2000

五、应用情况：

项目形成了铁路隧道二次衬砌充填砂浆“原位生产”的关键技术、装备及工艺，研究成果全部转化为生产力，指导了1条生产线的建设，并在银西高铁、贵南客专等12个国家级重大工程建设中得到应用，直接经济效益上千万元，见表3，有力推动我国高速铁路隧道二次衬

砌充填砂浆的发展与应用。

表 3 推广应用情况

序号	应用单位名称	应用技术	应用时间	应用单位联系人电话	应用情况
1	中铁十二局四公司贵南客专	微膨胀大流动早强高强充填砂浆	2017年7月至今	宋小兵 13309290588	采用“外加剂体系+现场配料”技术，利用施工现场水泥、粉煤灰和细砂等材料制备填充砂浆，提高功能外加剂母料对施工现场材料的适应性，降低运输费用30%以上。
2	中铁十二局四公司银西高铁	填充砂浆干料均化与注浆制浆一体机	2017年9月至今	杜博渊 13636711706	采用集填充砂浆干料均化与注浆制浆一体机，减少了干料搅拌操作人员，提高了施工效率及质量，节省施工成本10%以上。
3	中铁十二局四公司兴泉铁路	微膨胀大流动早强高强充填砂浆	2018年3月至今	宋小兵 13309290588	隧道全长18836m，现场使用充填砂浆7200吨左右，与国内其他品牌产品相比节约成本300余万元。
4	中铁十二局四公司弥蒙铁路	微膨胀大流动早强高强充填砂浆	2018年5月至今	张恒亮 18602936287	注浆结束后，经过测试，24h抗压强度达19MPa、抗折强度达4.5MPa，28天抗压强度达52MPa、抗折强度达12.6MPa。
5	中铁一局五公司银西铁路	采用降黏型超支化减缩剂配制的填充砂浆	2017年7月至今	孙耀国 13020719543	采用降黏型超支化减缩剂制备填充砂浆，流动性达到380mm以上，降低浆料黏度，增强浆料可泵性，解决易堵管等问题。
6	中铁隧道局集团玉磨铁路	采用降黏型超支化减缩剂配制的填充砂浆	2018年7月至今	蔡文秀 13698801777	隧道全长14835m，采用二衬拱顶带模注浆技术，经无损检测结果显示，填充砂浆与衬砌混凝土结合性良好，直接成本节约120元/m。
7	中铁北京工程局一公司新成昆铁路	填充砂浆干料均化与注浆制浆一体机	2017年5月至今	刘长江 15991171289	采用集充填砂浆干料搅拌与制浆注浆一体化设备，简化了充填砂浆干料搅拌过程，增加乳化设备，解决了充填砂浆均匀性差的难题，并大大提高了现场注浆效率。
8	中铁北京工程局一公司蒙华	微膨胀大流动高强早强充填砂浆	2017年9月至今	谭少华 13720677156	生产的核心材料独立包装，保质期由3个月延长至1年，随用随拌填充砂浆，减

	铁路				少浪费，就近选用胶凝材料、砂等材料，降低运输成本 30%以上。
--	----	--	--	--	---------------------------------

六、主要知识产权和标准规范等目录：（限 10 条，所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2021 年 12 月 31 日之前。）

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	一种超支化减缩剂的制备方法	中国	ZL201710679223.9	2020-11-24	第 4113449 号	陕西铁路工程职业技术学院	彭磊，何文敏，王闯
2	发明专利	CFRC 薄板制备工程中碳纤维的均匀分散方法	中国	ZL201610074770.X	2020-08-03	第 302090 9 号	陕西铁路工程职业技术学院	王闯，何文敏，彭磊，李炳良
3	实用新型专利	一种砂石分离装置	中国	ZL202022246071.3	2021-06-15	第 13439114 号	陕西铁路工程职业技术学院	王永维，高妮，何文敏，彭磊，李炳良
4	实用新型专利	一种简易砂石分离回收装置	中国	ZL202022247202.X	2021-09-03	第 14092749 号	陕西铁路工程职业技术学院	王永维，高妮，何文敏，彭磊，李炳良
5	软著	配合比设计平台 V1.0	中国	2021SR0115432	2020-11-04	软著登字第 6839749 号	陕西铁路工程职业技术学院	何文敏，彭磊，高妮
6	软著	现代混凝土配合比设计系统 V1.0	中国	2021SR0152331	2020-11-20	软著登字第 6876648 号	陕西铁路工程职业技术学院	何文敏，王永维，李炳良
7	软著	土木工程检测虚拟仿真实训平台手机 APP 版 V1.0	中国	2021SR0604378	2020-11-29	软著登字第 7327004 号	陕西铁路工程职业技术学院	何文敏，李炳良，夏雨

七、 主要完成人情况：

排名	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	何文敏	教授	测绘与检测学院副院长	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	项目负责人，负责项目总体规划，制定项目研究大纲，提出了微膨胀、早强、高强、大流动的注浆结合料的配制技术，协调现场试验段应用，对现场试验段的实施制定了施工指导手册，负责开发现场用注浆料配合比设计平台，并对施工后的质量检测结果进行了学术分析。负责总报告、施工技术方案的最终审定，对课题成功完成起到关键性作用。
2	彭磊	副教授	无	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	项目主要参与人员，参与项目的立项、申报、实施、鉴定以及课题总报告的编写等；负责对项目方案进行执行、分析与现代混凝土配合比设计系统的开发，在项目执行过程中，提出了一种超文化减缩剂的制备方法，降低了浆料黏度、减少泌水、提高与其他

						外加剂相容性，增强浆料可泵性，减少易堵管问题。开发了适合 OPC-SAC 的功能外加剂。
3	高妮	副教授	无	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	项目主要参与人员，参与项目的立项、申报和实施；针对功能外加剂含超支化减缩剂等 7 种外加剂，混合困难，提出混合复配的生产设备。同时参与了现场技术方案的工作。
4	李炳良	副教授	实践教学科科长	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	项目参与人员，参与项目试验研究和研究报告的撰写，负责虚拟仿真平台手机 APP 的开发，探索了注浆结合料生产设备均匀性评价指标、混合时间、装载系数等生产工艺控制指标，提出了配套上料、包装等设备，得到了功能外加剂生产工艺。同时参与了规程《隧道衬砌拱顶带模注浆工程技术规程》的编写。
5	王永维	工程师	无	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	项目参与人员，参与项目的实施、鉴定以及课题总报告的编写等；采取“外加

						剂体系+现场配料”技术，利用施工现场水泥、粉煤灰和细砂等原位制备注浆结合料。
6	王闯	教授	无	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	项目参与人员，参与项目立项、大纲以及结题汇报的指导，对现有注浆结合剂组成进行机理分析，指导注浆结合剂配方组成，指导项目实施。
7	孔令昌	高级工程师	检测部部长	陕西卓信工程检测有限公司	陕西卓信工程检测有限公司	项目参与人员，主要负责现场注浆剂生产线的建设，提出现场注浆料生产的工艺参数。

八、 主要完成单位及创新推广贡献：

排 名	完成单位	创新推广贡献
1	陕西铁路工程职业技术学院	发明了功能外加剂，制备了微膨胀、早强、高强、大流动的充填砂浆，提出“外加剂体系+现场配料”技术，研发集干料均化与制浆注浆一体化设备。
2	中铁一局集团陕西卓信工程检测有限公司	主要负责注浆剂在现场试验推广，现场注浆剂生产线的建设，提出现场充填砂浆生产的工艺参数。

九、 完成人合作关系说明：（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同获奖	孔令昌/9	2015-2021	2020	2021年高校科学技术成果奖二等奖：	证明

					高速铁路隧道二次衬砌注浆结合料制备与工程应用成套技术	
2	专利合著	孔令昌/7	2014-2018	2020	发明专利：一种超支化减缩剂的制备方法	专利
不限条目						

注意：专家提名项目还应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业。