

项目基本情况表

项目名称	黄土隧道湿陷灾变理论与防控关键技术及应用
提名单位意见	该项目针对黄土高原地区隧道工程建设面临的地基湿陷性土层厚度大、湿陷等级高、潜在危害强，缺少合理的地基湿陷变形评价方法及安全高效处理技术等问题，课题组依托国家自然科学基金等多项课题支持，经历近十余载的科研攻关与工程实践，揭示了黄土隧道地基湿陷性灾变理论及结构力学特性，创立了黄土隧道地基湿陷性变形评价体系，研发了黄土隧道湿陷性地基无振动挤密处理关键技术及装备，成功应用于宝兰、银西、中兰、兰张三四线、延榆、平庆等黄土地区十余条干线铁路，填补了行业空白，为确定经济合理、安全可靠的黄土隧道处理方案提供了有力的技术支撑和决策依据，确保了厚层湿陷性黄土隧道优质建成和运营安全。获授权发明专利 18 件、实用新型专利 15 项，发表论文 36 篇，主（参）编制技术规范（标准）2 部，获中国铁道学会科学技术进步一等奖 1 项、中国交通运输学会科学技术进步一等奖 1 项，中国铁建科学技术一等奖 1 项。 该项目践行“产、学、研、用”协同创新模式，培育了一批高素质创新型人才，建立了一支黄土隧道工程建设关键技术研究与应用队伍，为技术持续创新和成果产业化奠定了坚实基础。 该项目的项目简介、完成单位、完成人员、知识产权等已在参与申报单位公示，无异议。该成果符合陕西省科技进步奖提名要求，中铁第一勘察设计院集团有限公司同意推荐。
项目简介	随着国家“交通强国”和“西部大开发”战略的深入推进，陕西省作为西北地区交通枢纽，正加速构建以西安为中心、辐射全国的“米”字形高铁网，规划建设了宝兰、银西、西延、延榆等多条高速铁路，其中穿越黄土地层的隧道工程超 460km。湿陷性黄土具有大孔隙和强水敏性特征，遇水后土体结构迅速破坏，引发“米级”突发沉陷，易造成隧道结构变形、开裂、掉块，甚至垮塌等灾害，严重影响高速铁路运营安全与结构耐久性，是制约陕西高铁网高质量发展的关键问题。 高速铁路对线路平顺性要求极高，工后沉降要求严格控制在毫米级（≤15mm），而黄土浸水湿陷可能产生米级沉陷，高标准的建设要求和特殊岩土的不良性质给工程建设者提出了巨大的挑战。总体而言，隧道建设面临三大技术难题：一是灾变机制不明。区别于地表建（构）筑物，湿陷性黄土隧道受开挖卸荷应力重分布与复杂渗流等耦合作用，浸水入渗、应力传递和灾变过程呈现显著的时空演化特征，传统建筑湿陷灾变理论无法适配隧道地下工程场景。二是评价体系缺失。现行《湿陷性黄土地区建筑标准》中的湿陷性评价及处理方法无法适配高速铁路隧道工程，缺乏隧道基底埋深普遍超 20m

工况的地基湿陷变形预测、评价方法和标准，工程设计与施工管控无据可依。**三是高效处置难度大。**传统黄土地基处理技术存在设备体型大、施工扰动强等问题，极易引发隧道围岩失稳，无法适用于隧道内部狭小空间，亟需研发适配性强、安全高效的湿陷性黄土隧道专用地基处理技术与配套装备。

鉴于此，本项目由中铁第一勘察设计院集团有限公司牵头，联合有关高校和施工单位，依托 10 余项国家、省部级科研课题以及一批重大工程建设项目，历经 10 余年系统研究与工程实践，攻克了湿陷性黄土隧道地基湿陷灾变、变形评价及处理关键技术难题，取得如下三大创新成果：

1. 建立了黄土隧道工程地基湿陷灾变理论体系。首次自主设计并完成了既有隧道上方大型试坑浸水原位试验，系统探明了降雨、灌溉及长期浸水三类环境条件下黄土隧道场地的水分时空运移规律；揭示了浸水湿陷条件下隧道衬砌结构的力学响应特征及灾变演化机制，阐明了“地层浸水→土性骤变→土拱效应衰减→围岩压力增大与负摩阻力产生→基底应力调整→墙脚应力集中及不均匀沉降→结构变形开裂”的链式灾变路径；提出了考虑隧道开挖卸荷效应的地基湿陷应力解析计算方法，突破了将天然场地自重应力直接用于隧道地基湿陷评价导致结果失真的理论局限。研究成果为黄土隧道地基潜在湿陷变形的科学评价及精准防控奠定了理论基础。

2. 建立了基于“可能湿陷势”的黄土隧道地基湿陷变形评价体系。提出了基于隧道地基实际应力状态的湿陷变形室内试验评价方法，明确了隧道地基湿陷量起算位置及不同埋深条件下室内湿陷试验压力的取值原则，实现了实际应力状态下湿陷变形的科学预测。自主研发了砂井浸水试验技术，以小口径探井作为深部测试通道，通过砾石回填配重实现目标地层应力等效还原，结合可控注水与动态监测，实现了目标地层湿陷变形的原位测试，该方法具有测试精度高、实施周期短、场地适应性强、成本低等优点，突破了传统大型浸水试验占地大、耗水多、持时长等技术局限。建立了基于地形地貌、场地环境、浸水条件的隧道场地湿陷性环境分级标准，以及考虑场地环境和结构适应能力的隧道地基湿陷变形分级标准。该体系实现了黄土隧道地基湿陷变形从“全域保守估算”到“分区精准评价”的转变，大幅缩减了非必要的地基处理工程量，填补了隧道工程黄土湿陷评价标准的空白。

3. 研发了湿陷性黄土隧道狭小空间地基处理关键技术及装备。基于黄土隧道场地湿陷环境等级与隧道地基湿陷等级双重判据，构建了“控制水分迁移为主、地基处理措施为辅”的分级处治技术体系，形成了涵盖阻隔水、洞内排水、灰土换填及局部或整体挤密等措施的分级处治技术，突破了现行标准以消除隧道地基湿陷为主的处理思路。研发了集无振动挤密器、轻型卷扬系统、小型液压系统及智能操作系统于一体的自进式挤密成套设备，实现了隧道内狭小空间地基的安全、高效处理。通过 270 余组多场地、多参数现场

	试验，提出了无振动挤密桩的关键设计参数，建立了“预成导向孔→无振动挤密成孔→素混凝土灌注成桩→质量检测”的标准化施工工艺链。研究成果解决了隧道内狭小空间地基处理作业空间受限、安全风险高、施工效率低的工程难题。 研究成果经专家评审，总体达到国际领先水平。依托成果编制了国内外首部《铁路黄土隧道技术规范》，并已纳入《铁路隧道设计规范》、《湿陷性黄土地区土工试验规程》等行业、地方标准，获中国铁道学会、国铁集团等科技进步、优秀勘察设计一等奖 7 项；项目授权发明专利 18 项、实用新型 15 项，发表 SCI、EI 等高水平论文 36 篇，培养了大批专业技术人才。 成果成功应用于宝兰、银西、大西、西延、延榆等高速铁路及兰张三四线、中兰、西成等铁路隧道工程，并推广至西安地铁 1 号线、2 号线、8 号线、16 号线等城市轨道交通工程，以及陇西至漳县高速公路、卓尼至合作高速公路等公路隧道工程，近三年节约工程投资 17.39 亿元，经济效益显著。尤其是支撑了穿越我国黄土湿陷性等级最强（Ⅳ级）、湿陷土层最厚（50m）的宝兰高速铁路，开通以来，运营状态良好，被评为我国高铁标准示范线。 项目成果为我国西部地区高速铁路网建设提供了重要支撑和保障，解决了困扰业界多年的黄土隧道“是否湿陷、如何湿陷”的科学问题，以及地基湿陷“如何预测、如何处理”等多项技术瓶颈，为湿陷性黄土地区高速铁路科学设计、绿色建造和安全运营等奠定了坚实基础，具有良好的示范和引领作用。 项目成果支撑建设了陕西“米”字型高铁网，对形成以西安为中心的都市经济圈，助力我省高质量发展，服务国家“交通强国”和“西部大开发”战略发挥了重要作用，同时对我国黄土地区隧道工程建设具有重要的指导意义和推广价值。
客观评价	1. 成果鉴定评价意见 （1）陕西省岩土力学与工程学会成果鉴定意见（陕岩评字[2026]第 002 号） 2026年6月，陕西省岩土力学与工程学会组织刘厚健、郑建国等专家对该成果进行技术评审，认为：项目成果解决了大厚度黄土隧道湿陷变形评价及防控关键技术难题，填补了行业技术空白，编制了《铁路黄土隧道技术规范》等行业标准。成果在宝兰高铁、银西高铁、西延高铁、延榆高铁等国家重大工程得到了应用，经济、社会和环境效益显著，推广应用前景广阔，项目成果总体达到国际领先水平。 （2）中国铁道学会成果鉴定意见（学评字[2020第06号]） 2020年7月，中国铁道学会组织卢春房、张建民院士等专家，对“厚层湿陷性黄土隧道地基变形评价及处理新技术”进行技术评审，认为：项目成果显著提升了厚层黄土隧道基底湿陷变形评价和处理技术水平，纳入了《铁路

	黄土隧道技术规范》，在我国铁路黄土隧道的建设中广泛应用，技术和经济效益显著，项目成果总体达到国际先进水平，其中“黄土隧道场地及隧道基底的湿陷性评价标准”和“无振动挤密处理设计施工技术”达到国际领先水平。 2. 曾获科技奖励 项目研究成果“厚层湿陷性黄土隧道地基变形评价及处理新技术”获 2020 年度中国铁道学会科学技术一等奖、2020 年中国铁道建筑总公司科学技术一等奖、2021 年度中国交通运输协会科学技术进步奖一等奖；“处理高铁隧道湿陷性黄土地基的无振动挤密机”获 2021 年中国好设计提名奖；“宝兰客专高含水率黄土大断面隧道关键技术研究”获 2019 年度中国铁道建筑总公司科学技术一等奖。 3. 工程验收评价意见 新建宝鸡至兰州铁路客运专线工程初步验收委员会验收意见：“宝兰客专静态、动态验收达到了 250 公里/小时标准，新建宝鸡至兰州铁路客运专线满足设计文件要求，工程质量合格，工程验收程序符合规定，同意通过初步验收。” 4. 项目应用效果评价 银西铁路有限公司评价：银川至西安高铁全线由北向南横穿整个黄土高原，途经黄土沟壑塬梁区等五大地貌单元，地形地质条件异常复杂，多数隧道面临着严重的地基湿陷性问题，隧道项目在建造过程中应用“黄土隧道湿陷灾变理论与防控关键技术及应用”整体技术成果，有效降低湿陷性黄土地基处理工程量和施工难度、控制了施工风险和投资，社会经济效益显著。自 2020 年 12 月开通以来，经 4 年多的运营检验，隧道结构安全可靠，总体情况良好。 兰新铁路甘青有限公司评价：宝兰客专沿线黄土分布广泛，天水至兰州段穿越黄土高原沟壑梁峁区，是我国黄土湿陷性最强的地区，多数隧道面临着严重的地基湿陷性问题。研项目经联合攻关所取得的“黄土隧道湿陷灾变理论与防控关键技术及应用”研究成果提高并深化了建设者对湿陷性黄土隧道的认知，为确定经济合理、安全可靠的处理方案提供了有力的技术支撑和决策依据，在现场施工过程中的应用取得了良好的效果，确保了湿陷性黄土隧道优质建成和运营安全。 5. 媒体报道 截至目前，《人民日报》、《朝闻天下》、《人民网》、《中国财经报道》、《中国新闻网》等多家重要新闻媒体对宝兰高铁、银西高铁等工程的成功建设运营开展了广泛报道：“宝兰高铁通车——大西北全面融入高铁大家庭”，“宝兰高铁——穿越湿陷性最强烈地区的高铁”，“银西高铁：穿越黄土高原的红色动脉，赓续革命老区的奋进新篇”，“银西高铁助力锻造西部发展“金钥匙””。
--	--

	6. 成果编入标准规范 依托研究成果编制《铁路黄土隧道技术规范》（Q/CR9511-2014）；研究成果纳入《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016）和《湿陷性黄土地区土工试验规程》（DBJ61/T 134-2017）等标准。
推广应用情况	研究成果对于宝兰客专湿陷性黄土隧道的建设起到了直接的理论指导和技术支持，为确定经济合理、安全可靠的湿陷性黄土隧道地基处理方案提供了有力的技术支撑和决策依据，有效解决了宝兰客专全线 44 座黄土隧道进、出口浅埋段穿越湿陷性黄土地层的地基湿陷变形问题，大规模优化隧道地基湿陷处理范围和措施，经济效益显著，确保了湿陷性黄土隧道优质建成和运营安全。宝兰高铁自运营以来，黄土隧道安全稳固，列车顺畅运行，被评为我国高铁标准示范线。 同时，进一步完善了我国黄土地区地下工程湿陷性问题的研究工作，为国内其他黄土地层地下空间工程的建设提供有益参考，应用前景非常广泛，主要表现在以下几个方面： （1）揭示的黄土隧道湿陷灾变机制及力学响应特征，对黄土隧道通过区域的场地湿陷特性勘察及评估提供了新的思路和科学依据。 （2）发明的黄土湿陷变形原位测试方法-砂井浸水试验，解决了传统室内压缩试验与实际湿陷情况的差异，弥补了试坑浸水试验用水量大、周期长、费用高的不足，可广泛用于黄土隧道基底深厚层黄土湿陷变形特性的试验评价。 （3）创立的黄土隧道地基湿陷变形评价技术体系，针对隧道工程特点对地基黄土湿陷特性进行了合理评价，填补了国标《湿陷性黄土地区建筑标准》不能适用于隧道工程的技术空白，为黄土隧道地基湿陷性的勘察、设计、施工建立了科学的技术标准，可在黄土地区隧道工程建设中推广应用。 （4）基于黄土隧道地基湿陷性评价体系建立的地基分级处理技术标准，为保证黄土隧道结构安全稳定、控制工后沉降变形，同时实现隧道安全快速施工，提供了经济合理的处理技术，可有效指导黄土地区隧道工程地基处理的设计与施工。 （5）发明的无振动挤密加固技术及设备，解决了隧道内狭小空间湿陷性地基处理安全快速施工的技术难题，亦在中马专用线李家隧道中成功应用，可在隧道工程及类似狭小空间的工程中推广应用。 相关研究成果为《铁路黄土隧道技术规范》（Q/CR 9511-2014）中湿陷性评价和地基处理部分的修编提供了理论支撑，并纳入《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016）和《湿陷性黄土地区土工试验规程》（DBJ61/T 134-2017）等规范。同时，为铁路黄土隧道工程选线及设计施工上如何防治地基湿陷对衬砌结构的不利作用提供参考和依据。近年来，随着黄土高原地区铁路建设项目的日益增多，本项目研究成果已进一步推广应用于银川至西安高铁、西安至延安高铁、兰张三四线铁路、中川机场枢纽环线铁路、兰州至合作铁路、

	西宁至成都铁路、平凉至庆阳铁路等多条铁路干线工程，以及陇西至漳县高速公路、卓尼至合作高速公路等公路工程项目，涉及湿陷性黄土隧道工程累计长度约 80km，依据本项目研究提出的黄土隧道地基湿陷变形评价方法和处理原则，对隧道地基湿陷性处理范围进行了大幅度优化，且在暗洞段采用了无振动挤密技术，有效降低隧道湿陷性地基处理工程量和施工难度、控制了施工风险、减少了工程投资，经济与社会效益显著。
--	--

主要完成人情况表

排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	李国良	全国重点实验室主任	正高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	科研课题组组长，全面负责宝兰客专湿陷性黄土隧道系列科研课题，首创了既有隧道黄土场地大型试坑浸水试验，揭示了隧道长期浸水条件下地层水分入渗和湿陷变形规律以及衬砌结构的力学响应特征；提出黄土隧道的湿陷性环境等级及地基湿陷性等级评价划分标准。对创新点一、二、三均有突出贡献。
2	薛海斌	西安理工大学土木学院副院长	副教授	西安理工大学	西安理工大学	课题组成员，黄土隧道地基湿陷特性试验研究子课题负责人，完成子课题的组织协调、研究实施和成果报告的编写工作。开展厚层黄土隧道湿陷变形的新型原位测试试验，对隧道浸水湿陷衬砌结构力学响应和灾变演化机制、隧道地基变形评价体系做出了巨大贡献，并负责项目研究成果的推广应用。对创新点一、二有突出贡献。
3	王新东	集团公司副总工程师	正高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	担任宝兰客专隧道专业负责人，科研课题两个子课题的负责人，完成子课题的组织协调、研究实施和成果报告的编写工作。对黄土隧道地基湿陷性评价方法、既有隧道黄土场地大型试坑浸水试验和新型原位测试方法-砂井浸水试验、隧道地基分级处理标准和技术等研究成果做出了巨大贡献，并负责项目研究成果的推广应用。对创新点一、二、三均有突出贡献。
4	靳宝成	桥隧院院长	正高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	课题组成员，宝兰客专隧道专业主管处副总工程师，负责隧道工程设计方案的审查和现场重大技术问题的处理工作，审查、指导了黄土隧道湿陷灾变理论与防控关键技术及应用课题的研究工作，提出了黄土隧道地基湿陷变形分级地基处理原则及处理

						技术，组织协调项目研究工作整体有序推进，指导并推动项目成果转化与推广应用。对创新点二、三做出了突出贡献。
5	邵帅	无	副教授	西安理工大学	西安理工大学	负责项目子课题的研究工作，修正传统黄土场地湿陷变形评价方法提出；开展厚层黄土隧道湿陷变形的新型原位测试试验；首次开展了既有隧道黄土场地大型试坑浸水试验，揭示了隧道长期浸水过程中地层水分入渗和湿陷变形规律以及衬砌结构的力学响应及破坏特征。对创新点一、二做出了突出贡献。
6	李骏	无	高级工程师	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	课题现场试验负责人，设计砂井浸水试验及黄土隧道试坑浸水试验方案，并在现场负责实施，通过试验数据资料分析，论证了砂井浸水试验用于测试黄土隧道基底深埋黄土地层湿陷变形的合理性及优势，揭示了既有黄土隧道场地地表水分入渗规律及围岩浸水湿陷隧道结构力学响应特征。对创新点一、二有突出贡献。
7	米维军	特殊土治理科创中心主任	正高级工程师	中铁西北科学研究院有限公司	中铁西北科学研究院有限公司	隧道基底湿陷变形处理技术研究负责人，通过现场试验，提出了适用于小空间、无振动条件的湿陷性黄土隧道基底的挤密处理技术；成功研制了自进式无排土无振动挤密成套设备，通过实体工程的应用，验证了无振动挤密成孔方法与专用设备的先进性和适用性。对创新点三做出了突出贡献。
8	孙长江	国家重点实验室常务副主任	正高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	课题组成员，指导湿陷性黄土隧道地基变形评价及地基处理技术课题的研究工作，组织项目科研整体推进和有序进行，研究、审查技术方案，督导研究成果及时应用并转化为现场工程实体。对创新点三做出突出贡献。
9	刘建红	无	正高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	课题组成员，宝兰客专隧道专业工点设计负责人，参与课题的研究工作，编制湿陷性黄土隧道地基处理试验实施方案，负责隧道地基压缩应力、湿陷变形对结构的危害等数值分析研究工作，同时负责研究成果转化应用的工点设计工作，为构建厚层黄土地基湿陷性评价关键技术、地基处理新技术等研究成果做出了贡献。对创新点二、三有突出贡献。

10	郭军	董事	正高级工程师	中铁十五局集团第一工程有限公司	中铁十五局集团第一工程有限公司	课题组成员，担任现场施工准备技术负责人，主要负责现场试验前期准备现场施工的技术工作，指导开展试验准备工作，收集、整理和分析试验数据，保证了各项施工质量均满足试验要求，达到了试验的预期目标，为地基处理新技术等研究成果做出了贡献。对创新点二、三做出了突出贡献。
11	黄炬银	项目总工程师	正高级工程师	中铁二十一局集团第三工程有限公司	中铁二十一局集团第三工程有限公司	课题组成员，兼任现场施工技术负责人，牵头组织落实各项试验筹备任务，开展试验数据的采集、梳理与研判工作，保障各分项施工质量符合试验技术指标，顺利实现试验预设目标，为地基处理新技术相关研究成果形成提供有力支撑，对本课题创新点二、三作出重要突出贡献。
12	邓国华	无	正高级工程师	西安理工大学	西安理工大学	课题组成员，参与课题研究，揭示了日常降雨和灌溉、极端大面积长期浸水条件下隧道场地水分运移规律，揭示黄土浸水湿陷诱发隧道负摩阻力的力学机制；提出黄土隧道负摩阻力荷载确定方法；建立考虑黄土浸水性质演变的隧道结构设计方法。对创新点一、二有突出贡献。
13	杜以苓	总经理	高级工程师	中铁十四局集团第三工程有限公司	中铁十四局集团第三工程有限公司	课题组成员，担任现场施工准备技术负责人，主要负责试验前期准备现场施工的技术工作，严格按照试验方案现场组织和指导开展试验准备工作，试验过程中参与试验数据的收集、整理和分析，保证了各项施工质量均满足试验要求，达到了试验的预期目标，为本项目的顺利实施提供了技术保障。对创新点三做出了突出贡献。
14	韩红	无	副教授	山东交通学院	山东交通学院	课题组成员，参与黄土隧道地基湿陷特性试验研究课题研究工作，编制试验方案和湿陷性黄土隧道地基处理试验实施方案，提出了黄土隧道地基竖向压缩应力计算方法，构建了隧道地基湿陷量理论计算方法和原位实测新技术，对创新点二有主要贡献。
15	曹国栋	无	高级工程师	中铁第一勘察设计院集团有限公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	课题组成员，编制浸水试坑试验方案和湿陷性黄土隧道地基处理试验实施方案，负责湿陷性黄土隧道地基处理加固效果等数值分析研究工作，对厚层黄土隧道湿陷性评价体系、地基处理新技术等研究成果做出了重要贡献。对创新点二、三有主要贡献。

主要完成单位情况表

排序	单位名称	对本项目的创新及推广贡献
1	中铁第一勘察设计院集团有限公司	本项目主持单位，全面负责整个项目的研究、组织协调、推广应用等工作，对创新点一、二、三均做出了突出贡献。 （1）首创了隧道工程厚层湿陷性黄土地大型试坑浸水试验，探明了湿陷性黄土隧道地表长期浸水条件下的水分运移规律和衬砌结构力学响应特征； （2）提出了黄土隧道地基竖向压缩应力计算方法及湿陷量计算方法，提出了黄土隧道地基湿陷变形分级标准及地基处理原则。 （3）参与研发了湿陷性黄土隧道地基无振动挤密处理关键技术及装备。 同时，将本项目研究成果成功推广应用于后续勘察设计的黄土高原地区铁路工程，确保了宝兰客专、银西高铁等湿陷性黄土隧道工程安全建成及正常运营，并在兰张三四线、兰合铁路等西部地区多条在建铁路干线中成功应用，在确保湿陷性黄土隧道地基安全稳定的前提下，有效降低基础湿陷变形处理工程量和施工难度、控制了施工风险和投资。
2	西安理工大学	课题主要研究单位，通过对厚层湿陷性黄土隧道岩土环境及水环境调研分析，提出了黄土隧道湿陷性环境分级标准；收集整理国内多个试坑浸水试验资料，并结合大量湿陷性黄土试样室内试验结果，对传统黄土地湿陷变形评价方法提出修正；通过数值仿真及现场试验，揭示了降雨、灌溉及地表长期浸水条件下黄土隧道围岩湿陷变形规律及衬砌结构力学响应特征；结合理论分析，提出了黄土隧道基底卸荷条件下的压缩应力计算方法；研发了针对厚层黄土隧道基底深埋黄土地层湿陷变形的新型原位测试方法-砂井浸水试验。对本项目创新点一、二有创造性贡献。
3	中铁西北科学研究院有限公司	课题主要研究单位，从湿陷性黄土隧道基底稳定性要求出发，确立了基底无振动挤密处理原则，通过理论分析和现场试验，首次提出了适用于小空间、无振动条件的湿陷性黄土隧道基底的挤密处理技术；成功研制了自进式无排土无振动挤密成套设备，设备包括首次研发得到的无振动挤密器、组合式无振动挤密机、分离式无振动挤密机等，并通过实体工程的应用，验证了无振动挤密成孔方法与专用设备的先进性和适用性；提出了湿陷性黄土隧道基底无振动 挤密处理中桩孔间距的合理布置形式，确定了挤密孔中成桩方法，形成了挤密处理工艺。对本项目创新点三有创造性贡献。
4	中铁十四局集团第三工程有限公司	课题主要研究单位，本项目的现场试验地点位于中铁十四局集团第三工程有限承建宝兰线的榆中县范家窝隧道。主要负责试验场地征地、清除场地内障碍、大范围填方、平整场地、试坑开挖、探井钻设、试验元器件的埋设、试验供水和提供所需机械、劳务等工作。为本试验的顺利进行和完成起到了重要作用。对创新点三做出了突出贡献。
5	山东交通学院	课题主要研究单位，参与黄土隧道地基湿陷特性试验研究课题研究工作，编制试验方案和湿陷性黄土隧道地基处理试验实施方案，开展室内试验，分析试验数据，开展隧道地基压缩应力、湿陷变形对结构的危害等数值分析，提出了黄土隧道地基竖向压缩应力计算方法，构建了隧

排序	单位名称	对本项目的创新及推广贡献
		道地基湿陷量理论计算方法和原位实测新技术。对本项目创新点一、二有创造性贡献。
6	陕西铁路工程职业技术学院	课题主要研究单位，协助开展了黄土隧道场地现场试坑浸水试验及测试结果分析，揭示既有黄土隧道在地表大面积长期浸水条件下湿陷机制及衬砌结构力学响应特征，并参与研究成果的总结及其在工程项目中的推广应用。对创新点一、二中黄土隧道湿陷评价方法的建立和推广应用具有重要贡献。
7	中铁二十一局集团第三工程有限公司	课题主要研究单位，参与并配合完成了湿陷性黄土隧道地基处理技术研究及成果推广应用工作，将项目成果推广至平庆铁路，对黄土隧道工程地基湿陷变形评价体系、湿陷性黄土隧道地基处理技术等研究成果做出了重要贡献。
8	中铁十五局集团第一工程有限公司	课题主要研究单位，参与并配合完成了湿陷性黄土隧道地基处理技术研究及成果推广应用工作，将项目成果推广至兰州至张掖三四线铁路中川机场至武威段，对黄土隧道工程地基湿陷变形评价体系、湿陷性黄土隧道地基处理技术等研究成果做出了重要贡献。
9	中铁三局集团有限公司	课题主要研究单位，负责将湿陷性黄土隧道地基处理技术研究及成果推广应用至兰州中川国际机场综合交通枢纽环线铁路，对黄土隧道工程地基湿陷变形评价方法、湿陷性黄土隧道地基无振动挤密处理关键技术等研究成果做出了重要贡献。确保湿陷性黄土隧道地基施工安全稳定，有效降低施工难度、控制了施工风险和投资。对创新点二、三有突出贡献。

完成人合作关系情况表

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
1	科研项目合作	李国良/1、薛海斌/2、王新东/3、靳宝成/4、邵帅/5、李骏/6、米维军/7、孙长江/8、刘建红/9、郭军/10、黄炬银/11、邓国华/12、杜以苓/13、韩红/14、曹国栋/15	2011.12	2026.06	共同完成“黄土隧道湿陷灾变理论与防控关键技术及应用”项目，获陕西省岩土力学与工程学会评价证书，（报告编号：陕岩评字[2026]第 002 号）
2	科研项目合作	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4、邵帅/5、李骏/6、米维军/7、孙长江/8、刘建红/9	2011.12	2020.07	共同完成“厚层湿陷性黄土隧道基底变形评价及处理新技术研究”项目，获铁道学会评价证书，（报告编号：学评字（2020）第 06 号）
3	科研项目合作	李国良/1、薛海斌/2、王新东/3、靳宝成/4、邵帅/5、李骏/6、孙长江/8、刘建红/9、邓国华/12、曹国栋/15	2016.04	2017.12	《黄土隧道地基湿陷特性试验研究》BLKZHT-01
4	科研项目合作	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4、邵帅/5、李骏/6、刘建红/9	2014.06	2016.12	《宝兰客专黄土隧道湿陷变形机理及安全保障技术研究》院科 14-10

5	科研项目合作	李国良/1、王新东/3、孙长江/8、刘建红/9	2011.12	2013.05	《湿陷性黄土隧道基础处理技术研究》院科 11-48
6	论文合著	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4	2014.07	2015.12	《黄土隧道地基的湿陷性问题研究》
7	论文合著	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4、邵帅/5、李骏/6	2017.05	2018.08	《大厚度湿陷性黄土隧道现场浸水试验研究》
8	发明专利	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4	2015.01	2019.10	《湿陷性黄土隧道浸水试验方法》
9	规范标准	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4	2011.12	2014.06	《铁路黄土隧道技术规范》
10	论文合著	李国良/1、邵帅/5、李骏/6、邓国华/12	2014.03	2015.06	《大厚度自重湿陷黄土湿陷变形评价方法的研究》
11	论文合著	李国良/1、李骏/6	2016.06	2018.01	《黄土隧道的湿陷变形规律及其对衬砌结构的作用》
12	论文合著	邵帅/5、李骏/6	2018.07	2021.07	Collapsible deformation evaluation of loess under tunnels tested by in situ sand well immersion experiments
13	论文合著	邵帅/5、李骏/6	2016.01	2019.08	Collapsible characteristics of loess tunnel site and their effects on tunnel structure
14	共同获奖	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4、李骏/6、米维军/7	2011.12	2020.12	2020 年度中国铁道学会科学技术奖一等奖
15	共同获奖	李国良/1、李骏/6、米维军/7	2020.06	2021.12	2021 年度中国交通运输协会科学技术进步奖一等奖
16	共同获奖	李国良/1、王新东/3、靳宝成/4、李骏/6、米维军/7	2011.12	2020.12	2020 年度中国铁建股份有限公司科学技术奖一等奖

主要知识产权、标准、论文等目录

(一) 专利

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	有效状态
1	发明专利	湿陷性黄土隧道浸水试验方法	中国	ZL201610815097.0	2019.01.11	第 3212289 号	中铁第一勘察设计院集团有限公司	李国良;靳宝成;黄双林;王新东;孙兵;刘小刚;田鹏;孙春华;苏晓峰;陈花顺;张旭珍;刘陆拓	有效
2	发明专利	黄土湿陷性试验方法	中国	ZL202210707082.8	2024.08.27	第 7326518 号	西安理工大学	邓国华;康佐;亢佳伟;罗俊忠;高虎艳;王军琪	有效
3	发明专利	可移动自进式无排土无振动成孔挤密设备	中国	ZL201210493623.8	2014.08.27	第 1471655 号	中铁西北科学研究院有限公司	米维军;熊治文;郑静;贾鋆;孔德刚;马周全;武小鹏;屈耀辉;魏水梁	有效
4	发明专利	隧道结构的施工方法	中国	ZL202010606810.7	2022.05.10	第 5143931 号	中铁第一勘察设计院集团有限公司	李国良;张景;刘国庆;陈绍华;陈敬军;朵生君;刘陆拓;张鹏;郭利民;许宇;向亮	有效
5	发明专利	一种黄土地基的湿陷敏感性评价方法及系统	中国	ZL202411365750.9	2025.01.28	第 7704273 号	西安理工大学	李宏儒;薛文瑶;王神尼;薛海滨;魏超	有效
6	发明专利	浅埋隧道围岩压力计算方法	中国	ZL202210927663.2	2025.09.23	第 8291459 号	中铁第一勘察设计院集团有限公司	徐冲;李宁;王飞;史先伟;李国良	有效
7	发明专利	隧道结构	中国	ZL202010607919.2	2022.03.22	第 5010929 号	中铁第一勘察设计院集团有限公司	李国良;李宁;李雷;刘国庆;司剑钧;杨木高;郭利民	有效

8	标准规范	铁路黄土隧道技术规范	中国	Q/CR 9511-2014	2014.06.26	中国铁路总公司	中铁第一勘察设计院集团有限公司	李国良；赵勇；倪光斌；喻渝；李响；黄双林；邵生俊；靳宝成；方利；王新东等	有效
---	------	------------	----	----------------	------------	---------	-----------------	--------------------------------------	----

（二）专著及论文

序号	知识产权类别	题目	刊物名称/出版社	刊物类型	发表日期	著作/发表单位	作者	备注
1	论文	黄土隧道地基的湿陷性问题研究	铁道工程学报	EI	2015.12.16	中铁第一勘察设计院集团有限公司	李国良；邵生俊；靳宝成；王新东；徐冲	
2	论文	Collapsible deformation evaluation of loess under tunnels tested by in situ sand well immersion experiments	Engineering Geology	SCI	2021.07.01	西安理工大学	邵帅；邵生俊；李骏；朱丹丹	