《隧道（洞）工程设计施工实时响应量化分析理论与关键技术》项目公示信息

**项目名称**

隧道（洞）工程设计施工实时响应量化分析理论与关键技术

# 提名者与提名意见

提名单位：陕西省水利厅

提名意见：隧道（洞）工程在“交通强国”和“国家水网”等骨干工程建设中占有极其重要的地位。针对当前隧道（洞）工程现场实时量化的正分析、反分析、稳定性评价及支护优化设计的理论方法与技术难题，西安理工大学及其合作团队通过20余年的努力，创建了面向隧道现场施工设计的，以“优、快、智”为特色的，集“量化分析、实时响应、智能系统”于一体的理论方法与技术体系。以不同复杂地质、洞型、荷载条件下的27万条隧道数值仿真试验、众多典型隧道的实测成果、完备的理论解析，整合形成了隧道体系的正分析方法；以隧道实测非线性变形的弹塑性解构为核心手段，提出了单/多介质围岩力学参数的快速反分析理论；以围岩塑性松动区与支护结构安全性相互作用机制的围岩临界变形确定方法提出了复杂条件下隧道稳定性快速定量的评价理论与方法；研发了面向工程现场、服务工程实际的隧道(洞)工程智能快速的支护优化设计技术。该项目成果已在我国130多条重要隧道工程中应用，获得了显著的社会和经济效益。经以原中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士为主任的评价委员会评价，均认为该项目成果达到国际领先水平，创新成果显著，推广应用价值很高。  
 成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖提名条件，同意推荐。

拟提名该项目为陕西省科学技术进步一等奖。

# 项目简介

国家2035年远景目标确定了水利水电、能源交通、地下空间开发等领域实施“国家水网骨干工程”和“交通强国建设工程”等，隧道(洞)工程在我国的发展中占有极其重要地位。而目前隧道（尤其是长大隧道）工程中经常发生的塌方等不安全事故，且90%以上都是在施工期。由于实际地质条件的复杂性、前期勘察工作的局限性、锚喷支护设计的盲目性、施工措施的多样性等，隧道工程至今难以实现现场实时科学定量设计。诸多隧道工程中一方面塌方事故频发，另一方面过度支护普遍，造成不少的人员伤亡、巨大的经济损失和资源浪费。而隧道工程围岩稳定现场实时量化分析理论方法及支护优化设计技术的研发是突破现有技术瓶颈的关键。因此，开展复杂条件下隧道（洞）工程围岩稳定性现场实时响应量化分析理论方法与智能化锚喷支护优化设计技术研究，对提升我国隧道（洞）建设水平具有重要的意义和价值。

本项目历经20余年的努力，以“工程需要为基准决定分析的内容与计算精度”的新思路，创建了面向隧道现场施工设计的，以“优、快、智”为特色的，集“量化分析、实时响应、智能系统”于一体的理论方法与技术体系。其以预先全面先进的仿真试验、众多典型隧道的实测、完备的理论解析，形成隧道最优的正分析方法；以隧道实测非线性变形的弹塑性解构为核心手段，形成围岩参数快速的反分析理论；以围岩塑性松动区与支护结构安全性相互作用机制的围岩临界变形确定方法，形成快速定量的隧道稳定性评价理论与方法；以“预先进行系统围岩变形与应力量化规律分替代现场大型计算分析”的新思路，研发面向工程现场、服务工程实际的隧道（洞）工程智能快速的支护优化设计技术。

取得了如下创新性成果：

1.提出了一系列先进的隧道开挖支护过程的精细化仿真模型，构建了复杂条件下27万条隧道围岩与支护结构的力学响应知识库。

2.构建了围岩弹塑性分离的变形现场监测方法，创立了具有逆解唯一性的单/多介质强度参数快速反演分析理论与方法。

3.提出了隧道围岩临界变形定量评价的理论与方法，建立了支护结构安全性间接评价方法，提出了复杂条件下隧道（洞）围岩稳定性快速定量评价理论与支护结构优化设计方法。

4.自主研发了隧道（洞）围岩稳定性快速分析与支护结构智能设计系统（FAST）。

发表SCI/EI检索学术论文400余篇, 专著11部。授权国家专利40余项（其中发明专利22项），软件著作权11项。培养博士22名、硕士83名。获“全国百篇优秀博士论文”提名奖1篇，省优博3篇。

研究成果解决了复杂条件下隧道（洞）工程盲目化、经验化设计与施工带来的诸多工程难题，显著提升了我国复杂地质条件下隧道工程动态响应、量化分析、智能设计评价的理论水平与技术，填补了隧道施工现场实时量化分析评价与优化设计的空白。同时培养了一大批隧道工程建设方面的专业人才，满足了信息化、科学化设计施工的急需，对行业发展具有巨大的推动作用。

本项目成果已推广应用到引汉济渭、引红济石、黑河引水、拉西瓦等90多条水利水电隧洞，杜公岭、巩义等20余条公路隧道；南吕梁、成达万等10余条铁路隧道；江仓、猫儿沟等10多个矿山巷道工程的现场设计施工与应急处置中，避免了上百次隧道施工的塌方，避免了大量的人员伤亡、财产损失与工期延误。

近3年仅10家单位的代表性工程的直接经济效益约2.4亿元。据统计，本项目研发实施的20年过程中，上百条隧道的现场设计施工与应急处置中，应用本成果产生的直接经济效益110亿元，社会效益更加显著。

# 客观评价

从1999年开始，项目组从理论分析、平台研发、现场测试以及工程应用多方面开展工作，形成了“隧道（洞）工程设计施工实时响应量化分析理论与关键技术”的理论方法技术体系与集成平台，贯穿了逐步研发、不断检验、同步应用的理念，在上100项大中型水电、公路、铁路、矿山等行业隧道（洞）工程中得到广泛应用，获得了普遍的认可和行业专家的高度评价。

该项目分别于2012年在陕西省科学技术信息研究所科技查新中心，于2021年在教育部科技查新工作站(Z08)进行科技查新。在国内外公开发表的中外文文献中，与本项目查新点完全相同的未见报道。科技查新表明，本项目的理论、技术以及平台均具有鲜明的独创性和领先性。

该项目在2012年经国家最高科学技术奖获得者——钱七虎院士为主任委员，王思敬、顾金才、蔡美峰、冯夏庭、李术才等多名院士为委员组成的专家组进行了首次评价，认为处于国际领先地位。经过近十年的创新、发展、应用、推广，在2021年经钱七虎院士为主任委员，杨更社、李国良、孙平安、王建杰、南亚林、李占斌等多名大师专家为委员组成的专家组进行了再次评价，认为处于国际领先地位。

该项目成果在引汉济渭、引红济石、陕西省水利电力勘测设计研究院、中煤科工生态环境科技有限公司、中铁建大桥工程局集团第五工程有限公司等单位进行了成功应用，认为该技术能够较好地解决复杂地质条件下不同类型洞室在施工现场快速稳定性分析与支护优化设计问题，提高了现场动态支护设计调整的及时性，明显防止了多起可能的塌方，避免了人员伤亡与财产损失，加快了施工进度，改善了现场工作的安全性与时效性，避免了大量的过量支护工程量，节省了大量投资。

该项目受到岩石力学界顶级学术期刊《International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences》主编、英国帝国理工学院R. W. Zimmerman教授，前国际岩土工程数值方法学会副主席、奥地利因斯布鲁克大学G. Swoboda教授，《Computer and Geotechnical》的主编、美国科罗拉多矿业大学D. V. Griffiths教授等国际知名专家好评。同时，项目第一完成人李宁教授在各大设计院、施工单位，高校及科研院所等五十多家单位及各种学术大会作过关于FAST的学术报告，受到与会学者一致好评。

# 应用情况

隧道（洞）工程现场优快分析理论方法与智能化支护设计技术及其配套平台FAST，经过近二十年的发展与完善，在我国大部分省市的隧道工程（如引汉济渭、引红济石、延安引黄工程、西安地铁、紫坪铺水利枢纽、积石峡水电站、西安黑河水利枢纽、巩义高速公路等）中广泛成功应用，且获得了显著的社会与经济效益。该课题成果也在水电总院、交通科学研究院、中煤科工、中国电建、中交、中建、中铁、兰州寒旱所、武汉岩土所、中西部各大勘测设计研究院所及科研高校等得到推广应用，且并受到了工程界的广泛好评。

# 主要知识产权和标准规范等目录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 洞室围岩稳定性分析智能模型的构建方法 | 中国 | ZL2005100430833 | 2007-11-21 | 第359738号 | 西安理工大学 | 李宁；常斌 |
| 2 | 发明专利 | 一种SCS组合式水电站压力埋管的设计方法 | 中国 | ZL200510042844.3 | 2007-05-23 | 第326489号 | 西安理工大学 | 李宁；钱军；徐彬；陈莉静 |
| 3 | 软著 | 两条任意断层下隧道围岩变形场、应力场快速分析系统 | 中国 | 2012SR039868 | 2012-05-16 | 第0407904号 | 西安理工大学 | 李宁；菅强；孙宏超；张承客 |
| 4 | 软著 | 节理断层地下洞室围岩应力场变形场智能化仿真分析平台系统 | 中国 | 2005SR08839 | 2005-08-08 | 第040340号 | 西安理工大学 | 李宁 |
| 5 | 软著 | 隧道围岩快速反演分析系统 | 中国 | 2012SR117638 | 2012-12-01 | 第0485674号 | 西安理工大学 | 李宁；张承客；刘乃飞；王茜；刘院院 |
| 6 | 论文 | 地下洞室围岩稳定性评判方法新探讨 | 中国 | 2006(25):1941-1944 | 2006-09-15 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁;陈蕴生;陈方方;张志强 |
| 7 | 论文 | 软岩及土质隧洞围岩稳定性评价新方法 | 中国 | 2014(33):1812-1821 | 2014-09-15 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁;刘乃飞;李国锋 |
| 8 | 论文 | 围岩稳定性评判方法适用范围探讨 | 中国 | 2014(36):382-389 | 2013-10-15 | 岩土工程学报 | 西安理工大学 | 李宁;张承客;刘乃飞 |
| 9 | 论文 | 硐室设计与分析的新思路与新方法 | 中国 | 2006(25):2155-2159 | 2006-10-15 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁;罗俊忠;常斌;张志强 |
| 10 | 论文 | 一种浅埋松散围岩稳定性离散化有限元分析方法探讨 | 中国 | 2009(28):3533-3542 | 2009-9-25 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁;朱才辉;姚显春;何敏 |

# 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 | 李宁 | 教授 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 完成人对创新点一、二、三和四均作出了卓越贡献，进行了平台搭建的总体规划与技术构想，提出了快速分析平台研发的新思路与总体设计，理清了研发路线，修正了总体方案部署等。在隧道工程快速分析理论与快速分析平台搭建方面突破瓶颈，引领快速化、科学化、信息化设计施工的潮流。在项目成果的转化、应用、推广等方面也有重要贡献。 |
| 2 | 李国锋 | 无 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 完成人对创新点三和四均作出了突出贡献，软岩稳定性评价方法的研究，进行了第二代在线平台的设计、搭建、调试、应用、推广，并进行了第三代平台的整体规划与初步设计等。对系统平台的完善与升级等方面有重要贡献。 |
| 3 | 张志强 | 教授 | 国际处副处长 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 完成人对创新点一、二、三和四均作出了突出贡献，进行一条断层的数值分析模块搭建，围岩参数快速反演模块搭建，稳定性评价模块研发等。对系统平台的设计、完善、验证、升级等方面有重要贡献。 |
| 4 | 何敏 | 副教授 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 完成人对创新点一和四作出了突出贡献，进行了无节理平台的设计与研发,并将项目成果成功应用在多个隧道工程中，对系统平台的完善、验证、应用等方面有重要贡献。 |
| 5 | 王明疆 | 正高级工程师 | 无 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 完成人对创新点二和四作出了重要贡献，进行了支护结构优化设计专家模块的研发与验证,并将项目成果进行应用与推广。在系统平台的完善、验证、推广、应用等方面有重要贡献。 |
| 6 | 张承客 | 高工 | 无 | 江西省交通科学研究院有限公司 | 西安理工大学 | 完成人对创新点一和四作出了突出贡献，进行了新平台的搭建、完善、升级,并进行了友好界面优化设计，进行计算精度控制与相应模块开发工作，重点突破了常见洞型的弹塑性解析解，并将项目成果成功应用在多个隧道工程中，对系统平台的完善、验证、应用等方面有重要贡献。 |
| 7 | 姚显春 | 副教授 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 完成人对创新点三和四作出了重要贡献，进行了支护结构优化设计专家模块的研发与验证,并将项目成果进行应用与推广。在系统平台的完善、验证、推广、应用等方面有重要贡献。 |
| 8 | 刘小平 | 研究员 | 研究室主任 | [中煤科工生态环境科技有限公司](http://gi.mnr.gov.cn/202008/P020200814527843304072.xls" \t "_blank) | [中煤科工生态环境科技有限公司](http://gi.mnr.gov.cn/202008/P020200814527843304072.xls" \t "_blank) | 完成人对创新点二和四作出了重要贡献，进行了初始平台研发与升级，并进行反分析模块建立与验证，并进行系统结构设计与软件测试，并将项目成果成功应用在多个煤矿巷道工程中，对系统平台的完善、验证、升级、推广、应用等方面有重要贡献。 |
| 9 | 田进 | 正高级工程师 | 党委书记 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 完成人对创新点三和四作出了重要贡献，进行了隧道稳定性评价模块的验证与完善，进行了支护优化模块的应用与推广。完成人将项目成果成功应用在引红济石工程输水隧洞、延安引黄工程输水隧 洞、引汉济渭三河口水库导流试验洞等工程建设和前期工作中，创造了巨大的经济社会效益。 |
| 10 | 何新红 | 正高级工程师 | 无 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 完成人对创新点三和四作出了重要贡献，进行了支护结构优化设计专家模块的研发与验证,并将项目成果进行应用与推广。在系统平台的完善、验证、推广、应用等方面有重要贡献。 |

# 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 | 西安理工大学 | 作为“隧道（洞）工程现场快速量化分析理论与关键技术”项目的主要完成单位，西安理工大学在国家自然科学基金等的资助下，围绕开展了较为系统深入的研究，负责制定项目总体方案、技术路线、研究内容和目标，负责为项目研究创造良好的环境、提供设备、试验条件、保证科研资金投入等，对项目的创新和应用做出了如下贡献:  (1)组织项目的总体计划、实施、开发、应用及推广工作；  (2)创建了隧道工程现场快速分析的相关理论与方法体系，搭建了快速分析的系统平台；  (3)获得授权国家专利1项，授权软件著作权5项；  (4)发表相关SCI/EI检索论文100余篇；  (5)培养大批高层次科研与技术人才，培养博士研究生22名，硕士研究生63名；  (6)组织领域内技术宣传和技术推广工作，多次组织全国学术交流会；  (7)组织技术应用和工程实践，完成工程应用，创造了巨大的经济和社会效益；  (8)对创新点1、2、3、4均有贡献。 |
| 2 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 作为“隧道（洞）工程现场快速量化分析理论与关键技术”项目完成单位，中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司参与了项目研究内容的实施、验证、应用与推广工作。主要负责隧道稳定性评价模块的验证与完善，支护优化模块的应用与推广。对本项目的主要贡献有:  (1) 将项目成果应用在多个隧道工程，在实践中验证和完善隧道稳定性评价方法与系统模块；  (2)将项目成果应用推广到多个隧道工程中，创造了巨大的经济和社会效益；  (3)参与了该项目的研究、开发、应用、宣传、推广工作；  (4)主要对创新点3、4有重要贡献。 |
| 3 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 作为“隧道（洞）工程现场快速量化分析理论与关键技术”项目完成单位，陕西省水利水电勘测设计研究院参与了项目研究内容的实施、应用与推广工作。主要负责隧道稳定性评价模块的验证与完善，支 护优化模块的应用与推广。对本项目的主要贡献有:  (1)建立了隧道稳定性评价模块，并将项目成果应用在多个隧道工程中，在实践中验证和完善隧道稳定性评价方法；  (2)建立了隧道支护结构优化设计方法，并将项目成果应用推广到多个隧道工程中，创造了巨大的经济和社会效益；  (3)参与了该项目的研究、开发、应用、宣传、推广工作；  (4)主要对创新点3、4有重要贡献。 |
| 4 | 中煤科工生态环境科技有限公司 | 作为“隧道（洞）工程现场快速量化分析理论与关键技术”项目完成单位，中煤科工生态环境科技有限公司主要承担了平台系统结构优化设计、测试、应用、推广等方面的工作，并先后在“青海中奥能源发展有限公司江仓一号井井下巷道维修加固工程”、“云南省龙陵 县勐糯铅锌矿"200m水平及150m水平变形港道维修加固工程”等项目中进行了工程应用。对本项目的主要贡献有:  (1)组织技术应用和工程实践，对开发的分析系统进行了修正与完善；  (2)组织 实施科研成果的应用、宣传、推广工作；  (3)主要对创新点3、4有贡献。 |

# 完成人合作关系说明

本项目第一完成人李宁为其他完成人李国锋、张志强、何敏、张乘客、姚显春、刘小平、田进等在西安理工大学求学期间的导师。完成人曾均为西安理工大学隧道工程数值仿真分析中心的课题组成员，且是“隧道（洞）工程现场快速量化分析理论与关键技术”项目研发的核心成员。

完成人李宁、李国锋、张志强、何敏、姚显春等现均为西安理工大学教师。张志强和李宁在裂隙围岩、参数反演方面合作完成了大量的科研论文，发表了多个软件著作权，在创新点1和2方面有突出贡献。何敏、姚显春和李宁在支护结构分析方面合作完成了多篇科研论文，在创新点3方面有突出贡献。

完成人张乘客、李国锋和李宁在隧道解析解、稳定性评价、系统平台换代研发等方面有深度合作，在创新点1、3和4方面有突出贡献。

完成人刘小平、田进、王明疆、何新红等和李宁在系统平台的研究、完善、验证、推广、应用等方面有长期深度合作，且对创新点3和4方面贡献较大。

**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 |
| 1 | 论文合著 | 李宁/1  李国锋/2 | 201309 | 201409 | 软岩及土质隧洞围岩稳定性评价新方法 |
| 2 | 论文合著 | 李宁/1  张志强/3 | 199901 | 201609 | 地下洞室围岩稳定性评判方法新探讨 |
| 3 | 论文合著 | 李宁/1  何敏/4  姚显春/7 | 200609 | 202007 | 一种浅埋松散围岩稳定性离散化有限元分析方法探讨 |
| 4 | 共同知识产权 | 李宁/1  张承客/6 | 200909 | 201212 | 隧道围岩快速反演分析系统 |
| 5 | 产业合作 | 李宁/1  刘小平/8 | 200909 | 202012 | 联合开发推广协议 |
| 6 | 产业合作 | 李宁/1  王明疆/5 | 201005 | 201912 | 联合开发推广协议 |
| 7 | 产业合作 | 李宁/1  田进/9 | 200404 | 202006 | 联合开发推广协议 |
| 8 | 产业合作 | 李宁/1  何新红/10 | 201005 | 201912 | 联合开发推广协议 |