附件1

《隧道（洞）工程优快分析理论与智能化设计》项目公示信息

**项目名称**

隧道（洞）工程优快分析理论与智能化设计

# 提名者与提名意见

提名单位：陕西省水利厅

提名意见：西安理工大学及其合作单位，通过近20年对27万条虚拟隧道进行系统全面的数值仿真试验研究，构建了复杂条件下各种隧道围岩的应力场、变形场知识库，形成了复杂条件下隧道（洞）围岩稳定性快速分析理论、方法与技术。提出了隧洞开挖变形的弹塑性分离理论，创建了复杂条件下隧道（洞）围岩弹塑性参数、松动区及岩溶区参数的快速反演技术。建立了围岩支护安全性与变形稳定性的内在机制，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快速优化技术。研发了复杂条件下隧道（洞）围岩的快速设计分析与智能评价系统。该项目成果已在我国多个重要的隧道工程中应用，且已获得了显著的社会和经济效益。该项目创新成果特显著，应用推广价值很高，拟提名该项目为陕西省科学技术进步一等奖。

# 项目简介

（1）项目的背景与意义

随着国民经济迅猛发展，我国水利、矿业和交通基建规模不断扩大，其中隧道（洞）工程占据着主导地位。然而，受制于前期勘察工作的局限性、地质条件的复杂性以及施工措施的多样性，当前国内外的隧道（洞）设计仍以经验为主，设计方案和支护参数难以科学量化。不仅造成了动态设计和信息化施工难以真正实施的困境，而且引发了巨大的经济损失和人员伤亡。其瓶颈在于当前的围岩设计分析与评价的时间与速度远远跟不上施工进度的要求。因此，开展复杂条件下隧道（洞）快速分析与设计理论、量化施工措施研究，研发适用于工程人员的隧道（洞）快速智能化设计系统，对提升我国隧道（洞）建设水平具有重要的理论意义和巨大的工程价值。

（2）研究的总体思路

隧道工程信息化设计与施工的核心科学问题是，现场围岩快速稳定性分析与快速支护优化设计技术。当前国内外的数值分析方法与软件在时间上无论如何也无法满足现场边开挖、边分析、边支护的信息化施工要求的。因此，本团队提出了，以预先进行系统围岩变形与应力量化规律分析替代现场及时计算，以工程需要为基准决定分析计算的内容与精度的两个新思路，并再此基础上进行了不断的完善与创新。以奥地利引进的大型隧道工程仿真软件FINAL为基本手段，基于大量系统的数值试验，研究并建立各因素与无断层下围岩变形场、位移场、应力场和支护结构内力等的关系数据库。以该关系数据库为主样本群，以专家经验作为边界样本群，基于“断层影响系数”的概念，借助神经网络，构建了洞室快速分析系统。在正分析的基础上，基于现场的收敛监测变形，借助神经网络智能分析的快速性，构建地下洞室围岩变形和强度参数快速反演系统。基于洞周关键点的变形和支护结构的受力，采用多种等，搭建了地下洞室支护结构受力分析与优化设计、围岩稳定性快速评价的单机与网络系统，其可出具分析报告，供现场设计施工人员决策。

（3）项目的创新成果

①系统地揭示了不同洞型尺寸的隧洞在不同围岩类型、不同结构面分布，不同地应力荷载、不同施工措施、不同支护条件下的变形规律和失稳机制；构建了复杂条件下隧道围岩的应力场、变形场知识库；形成了复杂条件下隧道（洞）围岩稳定性快速分析理论、方法与技术。

②基于复杂条件下隧道（洞）施工全过程的正向动态仿真模拟理论，结合现场收敛变形监测，在两个基本公理基础上，提出了隧洞开挖变形的弹塑性分离理论，创建了复杂条件下隧道（洞）围岩弹塑性参数、松动区及岩溶区参数的快速反演技术。

③基于隧道弹塑性解析解及系统数值试验成果，建立了围岩支护安全性与变形稳定性的内在机制，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快速优化技术。

④基于隧道复杂条件下隧道（洞）围岩的快速分析技术、参数快速反演技术、多维稳定性快速评价技术，借助大数据和交互智能理念，研发了复杂条件下隧道（洞）围岩的快速设计分析与智能评价系统。

（4）项目的社会经济效益

该系统简便易学，且其分析在精度与大型商业有限元分析结果相差不超过20%。该系统功能齐全，能够考虑两条主断层影响及施工措施的影响，且集围岩位移、应力分布与演化规律，支护结构受力分析与优化设计于一体，能够采用多种方法快速分析评判支护结构安全性和围岩稳定性，能够根据现场监测数据快速反演围岩的力学参数，能够进行支护结构快速优化设计。

该系统可实现单机应用和手机、平板等便携设备的远程登录操作。项目成果共发表学术论文100余篇，授权国家专利1 项，软件著作权5 项，培养博士研究生7名，硕士研究生26名。该系统2012年经过了钱七虎等六位院士组成的专家组的鉴定与肯定且被国内外专家给予高度评价。经过近年的发展与应用，在隧道工程（紫坪铺水利枢纽、拉西瓦水电站、西安黑河水利枢纽、引红济石、引汉济渭、西安地铁、巩义高速公路等）中广泛应用，且获得了显著的社会、经济效益。该系统也在水电总院、交通部科学研究院、中煤科工、中国电建、中交、中建、中铁、兰州寒旱所、武汉岩土所、中西部各大水电勘测设计研究院及高校等均有应用，且并受到了工程界的广泛好评。

# 客观评价

该系统通过了陕西省科学技术信息研究所科技查新中心的科技查新，并经过了钱七虎等六位院士专家组成的专家组的鉴定与肯定且被国内外专家给予高度评价。

（1）科技查新

2012年3月30日，西安理工大学委托陕西省科学技术信息研究所科技查新中心，就“地下洞室稳定性现场快速智能分析平台”项目进行科技查新。查新结果表明：除查新项目研究人员发表的论文外，中外文相关文献均未提及现场快速反演分析技术，未提及地下洞室围岩稳定性的快速分析与评判，未提及利用地下洞室稳定性预测智能分析模型对洞室围岩稳定性进行快速评价的技术内容，未提及快速分析具有断层的地下洞室围岩变形场、应力场及喷锚支护结构受力情况的地下洞室稳定性现场快速智能分析平台的技术内容等。

（2）成果鉴定

2012年4月11日，西安理工大学委托中国岩石力学与工程学会多位专家（钱七虎、王思敬、顾金才、冯夏庭、蔡美峰、李术才、方祖烈）组成的专家组，就“地下洞室稳定性现场快速智能分析评价系统”项目，在北京召开了成果鉴定会。鉴定结果表明：该系列成果在快速分析典型地下洞室围岩应力与位移场及支护结构内力，快速评判典型地下洞室围岩稳定性以及支护结构安全性，快速反演围岩力学参数等方面具有显著的创新性，实际应用中取得了显著地经济效益与良好的社会效果。该系列研究成果整体达到了国际先进水平，其中关于含断层地下洞室围岩稳定性与支护结构安全性现场快速分析与评判和围岩力学参数快速反演分析方面达到了国际领先水平。

（3）同行评价

①2011年，国际岩石力学与工程学会副主席，R. Zimmerman教授在西安学术交流时，对本团队展示的FAST分析系统十分感兴趣，并表明“从未发现国际上有如此快的围岩应力场、变形场的分析系统”。

②2013年，前国际岩土工程数值方法学会主席，Gunter. Swoboda教授来访时，对FAST系统评价到“从未有如此方法、如此快速的分析隧道稳定性系统”。

③2018年，国际知名期刊《Computer and Geotechnical》的主编Gviffith 教授来访时，对FAST系统很感兴趣，希望本团队能够赠送，并评价到“如此的快速，如此的简单，精度还能保证与大型专业分析结果相差在20%以内，实在是奇迹”。

④本团队李宁教授在北京交大、重庆大学、空军工程大学、中科院冻土工程国家重点实验室、成勘院、中南院、西北院、中铁二院、中交一院、中煤等五十多所大学、研究机构、设计院等作过关于FAST的学术报告，也应邀在2014年第三届全国岩土工程学术大会，2018年的Geosafe大会，2020年的绍兴软件论坛等作过关于FAST的学术报告，受到广大学者一致好评，从未受到质疑。

# 应用情况

隧道工程现场快速分析理论与快速设计技术及其配套FAST平台系统,经过近二十年的发展与更新，在我国大部分省市的隧道工程（如，引汉济渭、引红济石、西安黑河水利枢纽、西安地铁、巩义高速公路、拉西瓦水电站等）中广泛应用，且获得了显著的社会效益与经济效益。该系统也在水电总院、交通科学研究院、中国煤科、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均有应用。获得了显著的社会效益与经济效益，推广应用前景广阔。

# 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 | 20071121 | 第359738号 | 西安理工大学 | 李宁，常斌 |
| 2 | 论文 | 硐室设计与分析的新思路与新方法 | 中国 | 20065010304674 | 200610 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁，罗俊忠，常斌 |
| 3 | 论文 | 复杂地质中城门洞型隧洞围岩稳定性快速分析与设计方法 | 中国 | 20153101103432 | 20150715 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁, 刘乃飞, 张承客, 菅强 |
| 4 | 论文 | 地下洞室围岩稳定性评判方法新探讨 | 中国 | 20064510226559 | 200609 | 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 |
| 5 | 论文 | 软岩及土质隧洞围岩稳定性评价新方法 | 中国 | 20143900077010 | 20140915 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁，刘乃飞，李国锋 |
| 6 | 论文 | 围岩松动圈的弹塑性位移反分析方法探索 | 中国 | 20063710111766 | 200607 | 岩石力学与工程学报 | 西安理工大学 | 李宁，段小强，陈方方，袁继国 |
| 7 | 论文 | Influence of fault on the surrounding rock stability of a tunnel: Location and thickness | 中国 | 000390498600001 | 201609 | Tunnelling and Underground Space Technology | 西安理工大学 | Zhiqiang Zhang; Fangfang Chen; Ning Li;  Gunter Swoboda; Naifei Liu |
| 8 | 计算机软件著作权 | 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 | 20050808 | 软著登字第040340号 | 西安理工大学 | 李宁 |
| 9 | 计算机软件著作权 | 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 | 20120516 | 软著登字第0407904号 | 西安理工大学 | 李宁，菅强，孙宏超，张承客 |
| 10 | 计算机软件著作权 | 隧道围岩快速反演分析系统 | 中国 | 2012SR117638 | 20121201 | 软著登字第0485674号 | 西安理工大学 | 李宁，张承客，刘乃飞，王茜，刘院院 |

# 主要完成人情况

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排名** | **行政职位** | **技术职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对本项目的贡献** |
| 李 宁 | 1 | 无 | 教授 | 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。 |
| 李国锋 | 2 | 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。 |
| 张志强 | 3 | 校国际处副处长 | 教授 | 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。 |
| 刘乃飞 | 4 | 无 | 讲师 | 西安建筑科技大学 | 西安建筑科技大学 | 完成人对创新点三和四作出了突出贡献，进行支护结构分析模块研发，进行稳定性评价模块研发，建立了及时支护软岩隧道围岩稳定性评价方法，研发了支护结构和稳定性快速分析模块，对系统平台的完善、验证、应用等方面有重要贡献。 |
| 何 敏 | 5 | 无 | 副教授 | 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。 |
| 张承客 | 6 | 无 | 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。 |
| 孙宏超 | 7 | 副院长 | 高级工程师 | 四川省冶勘设计集团有限公司 | 西安理工大学 | 完成人对创新点一和四作出了突出贡献，进行了新平台的设计、研发与升级，重点突破了两条断层分析模块的设计理论与研发技术，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、升级、应用等方面有重要贡献。 |
| 刘小平 | 8 | 研究室主任 | 副研究员 | [中煤科工生态环境科技有限公司](http://gi.mnr.gov.cn/202008/P020200814527843304072.xls%22%20%5Ct%20%22_blank) | [中煤科工生态环境科技有限公司](http://gi.mnr.gov.cn/202008/P020200814527843304072.xls%22%20%5Ct%20%22_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。 |
| 田 进 | 9 | 党委书记 | 正高级工程师 | 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。 |
| 杨存龙 | 10 | 无 | 教授级高工 | 国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司 | 国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司 | 完成人对创新点三和四作出了重要贡献，进行了两条节理隧道围岩稳定性分析与验证，基于工程应用，通过神经网络及其自学习与修正功能，对评价模块进行完善，并进行了支护优化设计模块进行应用与推广。 |
| 王华牢 | 11 | 无 | 教授级高工 | 陕西省岩土力学与工程学会 | 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、升级、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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **完成单位** | **排名** | **创新推广贡献** |
| 西安理工大学 | 1 | 作为“ 隧道（洞）工程快速设计理论与智控施工技术”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7名，硕士研究生26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。 |
| 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 2 | 作为“ 隧道（洞）工程快速设计理论与智控施工技术”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。 |
| 西安建筑科技大学 | 3 | 作为“ 隧道（洞）工程快速设计理论与智控施工技术”项目完成单位，西安建筑科技大学参与了项目研究方案、技术路线及研究内容的制定与完善工作，主要负责支护结构模块和稳定性分析模块的研发以及科研成果的应用推广、实践，对本项目的主要贡献有：（1）建立了及时支护软岩隧道围岩稳定性评价方法，研发了支护结构模块和稳定性分析模块；（2）组织技术应用和工程实践，根据应用和实践情况对开发的分析系统进行了修正与完善；（3）组织实施科研成果的应用和实施工作，组织隧道快速分析系统的宣传、推广工作；（4）主要对创新点3、4有贡献。 |
| 中煤科工生态环境科技有限公司 | 4 | 作为“ 隧道（洞）工程快速设计理论与智控施工技术”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水平变形巷道维修加固工程”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。 |
| 国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司 | 5 | 作为“ 隧道（洞）工程快速设计理论与智控施工技术”项目完成单位，黄河上游水电开发有限责任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。 |

# 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(2016博)、张志强(2009博)、刘乃飞(2017博)、何敏(2013博)、张乘客(2015博)、孙宏超(2008硕)、刘小平(2015博)、田进(1985本)、 杨存龙(1983硕)、王华牢(2011博)等在西安理工大学求学期间的本、硕、博导师。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）工程优快分析理论与智能化设计”项目研发的核心成员。

完成人李宁、张志强、何敏现均为西安理工大学土木建筑工程学院教师。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。

完成人孙宏超和李宁在多断层围岩稳定性分析方面深度合作研究，在创新点1方面有突出贡献。何敏和李宁，王华牢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及系统平台换代研发等方面有深度合作，在创新点1和3方面有突出贡献。完成人刘乃飞、李国锋和李宁在软岩稳定性评价与系统平台研发方面与李宁合作完成了多篇科研论文，发表了多个软件著作权，在创新点3和4方面有突出贡献。

完成人刘小平、杨存龙、田进和李宁在系统平台的完善、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。