国家科学技术奖提名公示

**一、项目名称**

公路隧道结构服役状态快速检测诊断技术与装备

**二、提名者及提名意见**

提名者：交通运输部

提名意见：

截至2017年，我国公路隧道运营里程突破15285公里，居世界首位，根据单洞1710座、总长1697km隧道的检测数据，平均每公里54处裂缝、15处渗漏水，状况值为2类需加强检查或监测的隧道占比71%，3类及以上需重点监测和维修的隧道占比9%，由此所带来的结构安全问题日趋严重，及时检查发现和实时监测病害极为必要。目前养护检查和病害检测依赖人工手段，效率低、严重影响交通、高空作业困难，研发快速检查技术和装备已成为行业迫切需求。本项目围绕公路隧道快速普查、重点监测与精细化诊断的技术和装备，发明了公路隧道车载全断面无干扰快速检测、隧道变形视频监测技术与装备以及隧道结构服役状态的“多源一体”分析方法，实现了隧道病害的精准感知和服役状态的精细化诊断，为科学养护提供关键技术支撑。

项目获授权发明专利32项、实用新型专利和软件著作权25项，参编国家行业标准3项，出版专著6部，发表论文86篇（SCI/EI检索66篇）。成果已累计应用于单洞3048座、总长3200多公里的公路隧道，近3年累计经济效益3.5亿元。获省部级科技奖励一等奖2项，引领了公路隧道自动巡检装备的研发，推动了公路隧道科学养护决策。

**提名该项目为国家技术发明 二 等奖**。

**三、项目简介**

**本项目属于土木建筑工程领域。**我国公路隧道规模居世界首位，养护任务与压力巨大。隧道结构高精度快速检测和实时监测技术及装备研发既是行业重大需求，也符合国家中长期科学和技术发展规划纲要的优先主题。项目组历经十余年攻关，发明了公路隧道结构服役状态的快速检测诊断技术和装备，主要发明成果如下。

**1、****发明了全断面、无干扰、高精度公路隧道车载快速检测装备。**针对高速移动模式下全断面可见光检测严重干扰交通运行、采集图像错位或丢帧严重、海量图像病害识别效率与精度低的技术难题，首创了基于高功率低热阻大热流散热红外光源的隧道表观成像技术，发明了基于纳秒级同步控制和千兆级视频流实时编码的隧道图像采集技术、海量图像病害快速智能筛查与高精度识别方法。**发明了集成上述技术的首台全断面、无干扰、高精度公路隧道车载快速检测装备**，实现了80km/h时速下裂缝、渗漏水、剥落剥离、轮廓变形的快速精准感知，裂缝宽度识别精度0.1mm。获发明专利10项。

**2、****发明了基于视频图像的自适应、高精度隧道变形实时监测技术。**针对现有隧道变形实时监测技术无法兼顾空间覆盖和高精度、以及近景摄影测量受复杂交通、光环境影响无法用于隧道变形监测的问题，创新性设计了多尺度强抗噪的九宫格图像监测标志点模板，建立了基于距离、角度、光照强度及镜头畸变参数的位移自适应修正模型，**发明了基于视频图像和红外频闪补光的隧道收敛变形自适应高精度实时监测技术及装备，**解决了隧道变形视频图像监测面临的复杂环境下目标检索效率低、无法连续监测的难题，50m监测范围内收敛变形精度1mm，实现病害前兆和发展的动态感知。获发明专利9项，参编国家行业标准2项。

**3、****发明了基于承载力与病害特征定量对应关系的隧道结构状态快速诊断技术，研制了精细化诊断平台。**针对结构服役状态诊断中承载力、健康度缺乏快速量化评价方法的问题，基于模型试验和大量工程实测提出了衬砌裂缝单元刚度退化模型，建立了隧道损伤结构承载力计算方法；结合海量检测监测数据，**首次挖掘了隧道结构健康度与承载力、变形及病害特征的量化对应关系**，发明了基于隧道结构病害与变形的健康度快速诊断方法。研制了集成结构病害、变形、围岩等多源数据和数字数值一体解析技术的建养平台，实现了基于建养一体的结构状态精细化诊断。获授权发明专利13项，参编国家行业标准1项。

项目获授权发明专利32项、实用新型专利和软件著作权25项，参编国家行业标准3项，出版专著6部，发表论文86篇（SCI/EI检索66篇）。成果已累计应用于1500余座公路隧道，近3年累计经济效益3.5亿元。

**四、客观评价**

（1）**以梁文灏院士、王复明院士等隧道工程领域专家组成的鉴定委员会**认为：成果总体达到**国际先进水平**，其中三维参数化设计及其与计算无缝对接、基于移动终端的施工安全风险快速评估及考虑二次受力的加固设计计算方法达到**国际领先水平**。

（2）**以岩土工程资深专家郑颖人院士等专家组成的鉴定委员会**认为：首次在隧道内实现了快速获取和识别开挖面岩体结构面信息，成果总体上达到**国际领先水平**。

（3）相关成果获2018年中国公路学会科学技术一等奖。

**五、应用情况**

**整体技术应用于2011-2015期间完成：**2011.1-2013.12期间，发明点2、3先后在江西省井冈山特长隧道、永莲隧道进行应用，结合三维数字化建养平台及前端的实时快速采集装备，实现了隧道收敛变形和结构内力位移状态的实时监测、掌子面地质信息的快速采集、结构安全的精细化诊断；2014.5-2015.12在江西陇首一号隧道和永莲隧道应用了发明1、2、3，高效、优质的服务于隧道技术状况评定和加固维修；2015.7-2015.10在贵州省259座高速公路隧道的定期检查工作中再次应用了核心发明点1，标志着整体技术应用的完成。

**推广应用阶段：**经过前期应用积累与完善，结合产学研一体的成果研发与转化模式，自2015.6以来，核心发明点在贵州、浙江、福建、江西、广东、甘肃、青海、重庆、河北等地获得了大范围推广，截止目前项目组搭建的公路隧道结构安全基础大数据管理平台已为1500余座的隧道提供建养安全多源数据管理的服务，实现了安全信息的集成管理和远程诊断服务。

**效益显著：**本项目攻克了隧道结构服役状态快速检测、实时监测和精细化诊断面临的若干瓶颈难题，显著提高了检测、监测及评价的效率和质量，节省了大量的人力物力成本，推动了隧道结构状态感知技术的进步，近3年经济效益3.5亿元。

**六、主要知识产权和标准规范等目录**

1. 基于机器视觉的高速公路隧道检测车系统，ZL201510247907.2，朱爱玺、朱伟佳、刘学增
2. 一种隧道衬砌裂缝测量方法及其测量装置，ZL200910055047.7，刘学增、叶康、罗仁立
3. 一种基于三维坐标互换的模型动态加载方法，ZL201310279353.5，俞文生、杨志峰、刘学增、杨伟、薛飞
4. 一种基于数字照相的岩土工程变形实时监测与预警方法，ZL201110349408.6，李元海、靖洪文、林志斌
5. 一种多功能多点位移计锚头，ZL201210468811.5，王建秀;刘笑天;马瑞强;郭清锋;邹宝平;姜韵骅
6. 一种非等深钻孔的地质剖面图自动成图方法，ZL201210036925.2，朱合华、刘学增、朱爱玺、朱伟佳、章哲颜、林小平
7. 一种空间多连通域的封闭面自动搜索方法，ZL201210592566.9，朱合华、刘新根、刘学增、林小平、周德成、齐磊、彭丹、张杰
8. 一种自动数据采集系统消除干扰的异常数据过滤方法，ZL201110093432.8，朱合华，刘学增，朱爱玺
9. 一种隧道掌子面三维点云模型的获取方法，ZL201510170976.8，李晓军、陈建琴、朱合华、林浩、洪弼宸
10. 一种GIS图层点数据叠加方法，ZL201210034967.2，朱合华、刘学增、朱伟佳、朱爱玺、章哲颜、林小平

**七、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排名** | **职务** | **职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对本项目技术创造性贡献** |
| 刘学增 | 1 | / | 教授级高工 | 同济大学 | 同济大学 | 技术发明的总负责人，对发明点1、2、3均有突出贡献，包括隧道结构裂缝快速高精度识别方法、监测数据自动降噪过滤方法和隧道结构健康度快速诊断方法，并牵头研发了公路隧道车载快速检测装备和集成多源数据与数字数值一体解析技术的公路隧道结构服役状态精细化诊断平台。 |
| 李晓军 | 2 | 科研管理部副部长 | 教授 | 同济大学 | 同济大学 | 对发明点1、3有重要贡献，包括隧道渗漏水的高精度快速识别技术、基于三维点云的隧道围岩信息快速采集识别技术与装置及三维地质动态更新方法，参与研发了公路隧道快速检测装备。 |
| 俞文生 | 3 | 副总经理 | 教授级高工 | 江西省高速公路投资集团有限责任公司 | 江西省高速公路投资集团有限责任公司 | 对发明点1、3有重要贡献，包括采集图像高效拼接算法与表观信息三维重构技术，参与研发了公路隧道快速检测数据分析系统和集成多源数据与数字数值一体解析技术的公路隧道结构服役状态精细化诊断平台。 |
| 王建秀 | 4 | / | 教授 | 同济大学 | 同济大学 | 对发明点1、2、3有重要贡献，包括基于病害运动特征的图像快速筛查方法、基于三角刀片切入式抗滑锚头的围岩内部位移、孔隙水压力和地温集成式同步监测装置、围岩结构面特征的便携式采集装置，参与研发了公路隧道快速检测装备数据分析系统 |
| 李元海 | 5 | / | 研究员 | 中国矿业大学 | 中国矿业大学 | 对发明点2有重要贡献，包括基于图像的隧道变形实时高精度监测技术，共同研发了基于视频图像的隧道及围岩变形监测装置。 |
| 武威 | 6 | / | 助理研究员 | 同济大学 | 同济大学 | 对发明点2、3有贡献，研发了隧道围岩内部位移和围岩压力的实时监测装置及系统，共同研发了隧道结构服役状态精细化诊断平台。 |

**八、完成人合作关系说明**

依托国家、省部级多项科技项目以及大量的工程实践，本技术发明6位完成人在公路隧道结构服役状态检测、诊断领域开展了大量的研究研发工作，建立了较为深厚的合作关系，其中：

（1）刘学增与李晓军在同一研究团队工作，自2000年起共同参与了同济曙光计算分析软件平台、厦门翔安海底隧道、上海长江隧道、交通部建设科技项目依托工程马鞍山隧道与深圳坪盐通道马峦山特长大断面隧道的建养安全控制及数字化关键技术研究、研发工作，并拥有共同获奖成果；

（2）刘学增、俞文生、王建秀自2005年起共同参与了江西省景婺黄高速、武吉高速、石吉高速等多条新建公路隧道的围岩稳定性评价与塌方风险预警技术研究工作，合著有多项论文、专著等成果，并拥有共同获奖成果；

（3）刘学增与李元海自1999年开始，共同在同济大学地下系开展公路隧道施工监测数据反演分析和数字照相图像识别处理方面的研究工作，并在近些年共同推动了数字图像处理技术的现场工程实践与产业合作工作。

（4）武威参与了交通部建设科技项目核心成果之一-围岩稳定性精细化分析技术的研究与成果转化工作，与刘学增合著论文多篇，并共同参与了多款计算分析软件的研发；同时，武威与李晓军共同致力于数字建养平台的研究与开发工作，合著有相关论文。