



成果	登记号	
登记	批准日期	

科学技术成果评价证书

中公评字[2020]第148号

成果名称: 公路隧道围岩爆破损伤评价及断层带施工
风险防控技术研究

完成单位: 绍兴市交通建设有限公司
长安大学
同济大学
中交二公局东萌工程有限公司
浙江省交通规划设计研究院有限公司
中铁隧道局集团有限公司市政工程公司
浙江八咏公路工程有限公司

评价形式: 会议评价

组织评价单位: 中国公路学会 (盖章)

评价日期: 2020年8月5日

评价批准日期: 2020年8月10日

中国公路学会

二〇一七年三月制



简要技术说明及主要技术性能指标

一、任务来源

本项目主要来源于以下 2 个课题：

1. 浙江省交通运输厅科研计划项目，爆破动载与卸荷对公路隧道结构的耦合效应研究，2015J22；
2. 浙江省交通运输厅科研计划项目，隧道穿越断层带施工力学特征与风险防控技术研究，2016019。

二、应用领域和技术原理

1. 应用领域

本项目成果主要应用在隧道工程建设领域。

2. 技术原理

通过测试爆破荷载下岩体内的波速，来计算表征岩体损伤程度的 GSI 值和扰动因子 D，并用于改进 Hoek-Brown 强度准则，以及通过岩体内波速的变化，判断隧道围岩爆破前后强度的变化，并通过计算岩体抗压和抗拉强度来评价岩体爆破的损伤情况。通过计算场地系数 k 值和衰减指数 α 值来评价爆破振动对隧道围岩损伤的累积效应。在隧道穿越破碎岩体时候，通过建立节理化离散元隧道开挖模型，分析隧道开挖导致围岩的变形、位移规律，及围岩变形作用于支护结构和超前支护结构上的荷载。设计带翼板钢拱架支护结构，通过带翼板钢拱架的支护作用，改善破碎带隧道围岩的变形和位移，可用于支护破碎岩体或塌方治理。基于研究成果编制的公路隧道穿越断层带风险防控技术手册，可以有效指导隧道穿越断层带施工。

三、性能指标

1. 选择依托工程典型区段，对卸荷与爆破施工各阶段围岩取样并进行声波测试，对围岩的爆破损伤与累积损伤进行了研究，提出了估计围岩爆破损伤评价的新方法。
2. 基于声波测试的数据，提出了改进的 Hoek-Brown 准则及岩体力学参数的计算方法，该方法可以快速、准确地确定岩体的各项参数，弥补了 Hoek-Brown 准则较难应用的局限。
3. 选择典型工程区段，通过现场获取了邻近爆破条件下的隧道衬砌响应，开展了不同爆破参数下隧道衬砌振动规律研究，根据实测及计算结果分析了衬砌的爆破动载响应，并据此给出了保护距离的建议。

4. 采用 Flac 和 Midas, 精细模拟公路隧道上方卸荷, 以及爆破条件下既有隧道结构的响应规律, 分析并总结了隧道结构的变形及应力响应规律。

5. 建立了一种新的隧道施工动态风险评估模型, 并基于 web 建立了隧道施工风险评估系统, 可实现动态施工、动态风险评估的目的。

6. 建立的互层岩体隧道离散元开挖模型, 能够有效计算出破碎带围岩变形、位移和支护结构受荷规律。

7. 设计的带翼板钢拱架支护结构, 能够有效改善破碎围岩的变形和治理隧道塌方。

8. 编制的公路隧道穿越断层带施工风险防控技术手册, 能够有效识别、预防和处
理隧道塌方、落石等安全事故。

四、与国内外同类技术比较

主要成果	本项目创新	国内同类技术	国外同类技术
爆破荷载下隧道围岩损伤计算新方法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用扰动岩体波速 V_p 和岩石纵波波速比值的平方计算扰动因子 D, 通过岩体纵波波速 V_p 与岩体 RMR 值的关系来计算岩体的 GSI 值; 2. 利用声波计算岩体爆破前后强度变化; 3. 利用抗压和抗拉强度评价岩体爆破损伤。 	围岩的爆破损伤主要由质点振动速度判据、动态应力比判据、爆破能力判据, 以及声波判据, 采用上述判据, 对于爆破重复荷载作用, 无法有效开展累积损伤评价。	国外提出了开挖方法影响系数等评价岩体损伤, 采用岩体剪切试验的结果确定扰动因子, 现有 Hoek-Brown 准则具有应用局限性。
爆破荷载下隧道围岩结构损伤累积效应评价新方法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建立基于场地系数 K 值的爆破累积效应评价方法; 2. 建立基于衰减指数 α 值爆破累积效应评价方法。 	针对隧道结构的爆破动荷载影响研究, 主要的手段包括数值模拟、现场监测等测试振动加速度时程曲线, 以及内力或位移, 综合分析结构的安全性能。由于结构性能受到外荷载条件的影响, 因此数值模拟或现场测试繁琐耗时。	建立了围岩分级与爆破施工质量的关系, 分析了爆炸荷载下地下共性结构与围岩相互作用。
节理化破碎岩体离散元数值计算新模型	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建立起互层带破碎岩体隧道开挖模拟及支护结构荷载分析离散元模型; 2. 建立起断续节理岩体颗粒流剪切模型。 	主要进行隧道围岩变形、位移的现场监测和数值模拟, 没有建立互层岩体隧道开挖的离散元模型。	主要运用数值模拟方法进行隧道开挖应力分布、位移的研究, 没有用离散元方法建立互层岩体开挖模型和节理化岩体剪切力学模型。
隧道穿越断层带围岩支护与施工风险防控技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 设计带翼板钢拱架支护结构; 2. 建立了一种新的隧道施工动态风险评估模型; 3. 编制断层带隧道施工风险防控技术手册。 	国内主要研究隧道各风险因素及其权重, 以及隧道风险处治技术, 但没有提出带翼板钢拱架这种支护方式。	国外主要研究隧道坍塌治理, 隧道施工风险、影响因素权重等。

五、成果的创造性、先进性

基于爆破动荷载对围岩和隧道结构损伤，以及爆破开挖时破碎围岩荷载分布和风险开展的研究，首次利用扰动岩体波速 V_p 和岩石纵波波速比值的平方计算扰动因子D，通过岩体纵波波速 V_p 与岩体RMR值的关系来计算岩体的GSI值，以评价围岩的爆破损伤，并建立了基于场地系数K值和衰减指数 α 值的隧道围岩结构爆破累积效应评价新方法。基于离散元方法，首次建立了隧道穿越互层岩体的离散元开挖模型，分析了互层岩体处隧道拱顶塌方力学机理，针对断层带隧道易落石、塌方的特点，首次设计出带翼板钢拱架支护体系，用于破碎带围岩支护和隧道塌方治理。基于传统指标体系法，引入动态权重概念，建立了一种新的隧道施工动态风险评估模型，并总结了隧道穿越断层带的施工风险特征，编制了穿越断层带隧道施工风险防控技术手册。

六、作用意义

1. 经济效益

项目研究成果为量化分析近接爆破施工对地下结构与岩体的影响提供了方法和依据。在竹家坞隧道施工中，光面爆破尺寸短，隧道掘进循环增加，掘进速度降低，采用研究成果优化了爆破设计和台阶长度，隧道施工效率提高约20%，带来经济效益约300万元。在陈家山隧道出口、镜岭隧道进口施工过程中，通过现场开展爆破试验，同时优化台阶长度及高度，隧道总体掘进速度提高20%，3年带来经济效益约1300万元。在陈家山隧道、大碓口隧道施工过程中，采用优化方案后，隧道总体掘进速度提高约18%，三年带来的经济效益约1050万元。高湖头隧道采用项目研究成果，优化爆破施工参数，取得良好效果，三年新增利润151.6万元，具有显著的经济效益。

2. 社会效益

隧道爆破施工和穿越断层破碎带易导致事故发生，项目分析了近距离爆破对隧道围岩和结构的损伤，提高了爆破施工的安全性、降低了公路隧道施工和运营风险。在王市岭隧道拓宽改造项目中，通过优化隧道上部岩体的开挖方案，实现了最短的封道施工时间，保障了从而最大化交通繁忙的杭金衢高速运营的社会效益；另一方面，由于缩短了整体拓宽工程的工期，车辆分流压力减小，降低了周边普通道路的交通事故率与社会综合影响。在山区修建公路隧道，出现穿越断层破碎带的情况较常见，研究总结了杭绍台高速公路隧道穿越断层带的施工风险，编制了风险防控技术手册，用于指导公路隧道穿越断层破碎带时施工方案设计，减少了安全事故，提高了施工效率。

综上，研究成果大大缩短了项目周期，降低了因施工给人民群众正常生活造成的影响，同时，减少了隧道穿越断层带工程事故，减少了安全事故，保障了生命财产的安全，并降低了因施工对人民群众正常生活的影响，具有显著的社会效益。

CHTS 科技成果评价证书

推广应用前景与措施

项目研究成果已成功运用于杭绍台高速公路竹家坞隧道、平水隧道、陈家山隧道、镜岭隧道、高湖头隧道施工中。在竹家坞隧道、大碓石隧道爆破掘进中，运用本项目围岩爆破损伤计算方法，优化了爆破参数设计，最大限度保护了隧道围岩和衬砌结构，施工效率得以提高约 20%，取得显著经济效益。在高湖头隧道、镜岭隧道修建过程中，运用本项目的风险防控技术，成功处治了涌水、塌方事故，隧道安全穿越了断层破碎带，取得良好的经济效益和社会效益。

本研究成果紧密结合于公路隧道工程建设，可服务于钻爆法山岭隧道新建或改扩建工程，用于爆破荷载下山岭隧道围岩、衬砌结构损伤评价、爆破参数优化、围岩稳定性控制、断层带施工风险评估与识别、施工方案制定与优化，可广泛服务于公路隧道、铁路隧道、水工隧道的钻爆技术优化。本成果的应用，可促进山岭隧道钻爆掘进技术的进一步发展，提升隧道工程使用寿命，提高工程施工安全性。

相比于其它技术，本项目研究成果在隧道围岩爆破损伤评价方面，具有爆破振动参数测试简单、测试时间短和花费少的特点，隧道塌方治理更加快捷，且治理后稳定、有效。由于不同隧道存在地质环境差异，在运用该技术时，应考虑地质环境导致的围岩力学参数差异，及该差异对爆破振动参数、声波速度、数值模型参数的影响。

主要技术文件目录及来源

技术文件一

“公路隧道围岩爆破损伤评价及断层带施工风险防控技术研究”研究报告——项目组

技术文件二

“隧道穿越断层带施工力学特征与风险防控技术研究”查新报告——教育部科技查新工作站

“爆破动载与卸荷对公路隧道结构的耦合效应研究”查新报告——教育部科技查新工作站

技术文件三

应用证明 1——浙江八咏公路工程有限公司

应用证明 2——浙江交工集团股份有限公司杭绍台高速公路绍兴金华段 3 标合同段项目经理部

应用证明 3——中交一公局第二工程有限公司杭绍台高速绍兴金华段 7 标合同段项目经理部

应用证明 4——中铁隧道局集团有限公司杭绍台高速公路绍兴金华段 HST-TJ08 合同段项目经理部

应用证明 5——中交第一公路工程局有限公司杭绍台高速公路绍兴金华 HST-TJ07 合同段项目经理部

应用证明 6——中交第二公路工程局有限公司

应用证明 7——中交四公局杭绍台高速绍兴金华段 HST-TJ04 合同段项目经理部

技术文件四

专利证书——国家知识产权局

1. 发明专利：“岩层小口径竖井内壁定位片气囊压贴装置”（ZL 2013 1 0674118.8）
2. 发明专利：“一种岩石地层多点位移激光测量方法及装置”（ZL 2013 1 0675051.X）
3. 实用新型专利：“一种辅助测试岩石压剪强度的装置”（ZL 2019 2 0337453.1）

计算机软件著作权——国家版权局

4. 计算机软件著作权：“基于 web 的隧道工程初步设计安全风险评估平台系统 V1.0”（2017SR304540）

5. 计算机软件著作权：“基于 web 的隧道、边坡工程施工期安全风险可视化系统 V1.0”

(2017SR292683)

6. 计算机软件著作权：“基于 web 的桥梁、隧道和边坡工程施工安全风险评估平台系统 V1.0” (2017SR309309)

7. 计算机软件著作权：“基于 Web 的专家调查问卷系统” (2017SR311052)

技术文件五

1. 陶建军, 陈浩, 孙振华, 陈航, 袁霏龙. 穿越断层破碎带公路隧道现场监测与分析 [J]. 山西建筑, 2018, 16: 133-136.

2. Fan Xiang, Lin Hang, Lai Hongpeng, Cao Rihong, Liu Jie. Numerical analysis of the compressive and shear failure behavior of rock containing multi-intermittent joints [J]. Comptes Rendus Mecanique, 2019, 347: 33-48.

3. Chen Hao, Fan Xiang, Lai Hongpeng, Xie Yongli. Experimental and numerical study of granite block containing two side flaws and a tunnel-shape opening [J]. Theoretical and Applied Mechanics, 2019, 104: 102394.

4. Fan Xiang, Li Kaihui, Lai Hongpeng, Zhao Qihua, Sun Zhenhua. Experimental and Numerical Study of the Failure Behavior of Intermittent Rock Joints Subjected to Direct Shear Load [J]. Advances in Civil Engineering Volume 2018, Article ID 4294501, 19 pages.

5. 崔志猛, 范祥, 谢永利. 非共面组合节理剪切破坏特征研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(06): 1411-1421.

6. 陈航, 孙振华, 芦杰, 王喆. 公路隧道周边眼聚能水压爆破技术应用[J]. 山西建筑, 2019 (21): 124-126.

7. 范祥, 谢永利, 来弘鹏, 陶建军. 含两条节理岩样压缩破坏行为的颗粒流模拟[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(2): 461-469.

8. 李硕标, 薛亚东. Hoek-Brown 准则改进及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(S1): 2732-2738.

9. 赵丰, 薛亚东, 李硕标, 赵瀚翔. 新建铁路隧道上跨既有公路隧道控制爆破安全距离研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(07): 1365-1371.

10. 杨睿, 薛亚东, 杨健. 雷达探测隧道壁后空洞的现场验证及空洞影响分析[J]. 隧道建设, 2017, 37(02): 185-191.

11. 李宜城, 薛亚东, 李彦杰. 一种基于动态权重的施工安全风险评估新方法[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(S1): 209-215.

12. 赵瀚翔, 薛亚东, 杨文亮. 基于协同破岩的 TBM 刀盘优化策略[J]. 地下空间与工

程学报, 2017, 13(1): 197-205.

13. 许李瑜, 薛亚东. 塑性应变强化修正模型与 TBM 刀具磨损精细模拟方法[J]. 2016 中国隧道与地下工程大会论文集.

技术文件六

经济社会效益报告——项目组

CHTS 科技成果评价证书

评 价 意 见

2020年8月5日，中国公路学会主持召开了“公路隧道围岩爆破损伤评价与断层带施工风险防控技术研究”项目成果评价会。评价委员会（专家名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了相关技术资料，经质询讨论形成评价意见如下：

一、项目组提供的资料齐全、内容完整、数据翔实，符合科技成果评价要求。

二、项目组通过理论分析、试验模拟、工程验证等手段，研究了爆破震动对隧道围岩结构的影响，以及隧道穿越断层带时围岩力学特征和风险防控技术，取得了以下创新性成果：

1. 在大量现场实测数据的基础上，系统研究了不同岩体不同爆破参数的爆破震动影响规律，提出了隧道工程爆破施工参数优化方法。

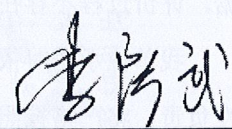
2. 建立了断层破碎带隧道开挖离散元数值模型，得出了破碎岩体隧道围岩力学特征。

3. 针对断层破碎带隧道开挖易坍塌与落石特点，研发了易坍塌断层破碎带的带翼板钢拱架初期支护和塌方处治技术。

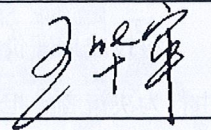
三、研究成果已在杭绍台高速公路隧道建设中得到成功应用，经济社会效益显著，应用前景广阔。

综上所述，该项目研究成果总体上达到国际先进水平。

评价委员会主任：



副主任：



2020年8月5日

评价机构意见

同意评价意见

主管领导签字：



2020 年 8 月 10 日

评价机构声明

我单位依据《中华人民共和国科学技术进步法》《中华人民共和国促进科技成果转化法》《科学技术评价办法》《科技评估管理暂行办法》，严格按照《科学技术评价办法》的有关规定和要求，秉承客观、公正、独立的原则，聘请同行专家对该项科技成果进行了评价。评价结论以客观事实为依据，评价过程不存在任何违反上述有关法律法规规定的情形。

我单位承诺对依据委托方提供的技术资料所做出的科技成果评价结论的客观性、真实性和准确性负责，将严格按照上述有关规定和要求，认真履行作为评价机构的义务并承担相应的责任。

科技成果评价结论不具有行政效能，仅属咨询性意见。依据评价结论做出的决策行为，其后果由行为决策者承担。

科技成果完成单位情况

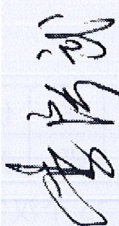
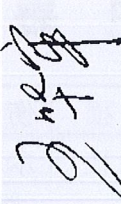
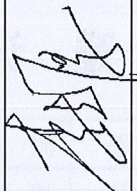
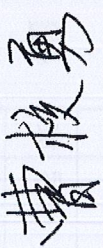
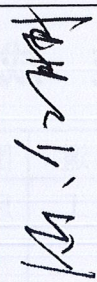
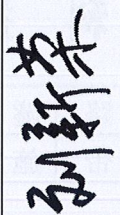
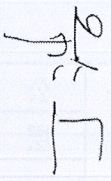
序号	完成单位名称	邮政编码	详细通信地址	隶属省部	单位属性
1	绍兴市交通建设有限公司	312000	浙江省绍兴市凤林西路 135 号	国资委	3
2	长安大学	710064	西安市南二环中段	教育部	2
3	同济大学	200092	上海市四平路 1239 号	教育部	2
4	中交二公局东萌工程有限公司	710000	西安市高新区信息大道 2 号企业壹号公园 19 号	国资委	3
5	浙江省交通规划设计研究院有限公司	310060	浙江省杭州市西湖区余杭塘路 928 号西溪园	国资委	3
6	中铁隧道局集团有限公司市政工程公司	310000	杭州市西湖区三墩镇紫宣路 158 号西城博司 4 幢	国资委	3
7	浙江八咏公路工程有限公司	321000	浙江省金华市金东区李渔东路 1111 号八咏大厦	浙江省	4

- 注：1.完成单位序号超过 8 个时可加附页。其顺序必须与评价证书封面上的顺序完全一致。
 2.完成单位名称必须填写全称，不得简化，与单位公章完全一致，并填入完成和名称的第一栏中。其下属机构名称则填入第一栏中。
 3.详细通信地址要写明省（自治区、直辖市）、市（地区）、县（区）、街道和门牌号码。
 4.隶属省部是指本单位和行政关系隶属于哪一个省、自治区、直辖市或国务院部门主管。并将其名称填入表中。如果本单位有地方/部门双重隶属关系，请按主要的隶属关系填写。
 5.单位属性是指本单位在 1.独立科研机构 2.大专院校 3.集体企业(央企、国企) 4.个体企业 5.其他, 五类性质中属于哪一类，并在栏中选填 1.2.3.4.5.即可。

主要研制人员名单

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	陶建军	男	1968.11	高级工程师	学士	绍兴市交通建设有限公司	总体负责各课题组织、实施、方案、进度等，在公路隧道围岩爆破监测和断层带防控技术方面有创造性贡献
2	侯义辉	男	1971.5	高级工程师	学士	绍兴市交通建设有限公司	在公路隧道围岩爆破动荷载响应规律方面有创造性贡献
3	范祥	男	1986.2	副教授	博士	长安大学	在带翼板钢拱架支护技术方面有创造性贡献
4	薛亚东	男	1971.11	教授	博士	同济大学	在隧道围岩爆破累积损伤评价方面有创造性贡献
5	孙振华	男	1982.7	工程师	学士	绍兴市交通建设有限公司	在爆破现场声波测试技术方面有创造性贡献
6	袁需龙	男	1982.12	高级工程师	学士	中交二公局东萌工程有限公司	在断层带施工风险防控技术方面有创造性贡献
7	谢永利	男	1961.5	教授	博士	长安大学	在隧道穿越断层带围岩力学机理分析方面有创造性贡献
8	王昌将	男	1971.10	教授级高工	学士	浙江省交通规划设计研究院有限公司	在隧道爆破设计方面有创造性贡献
9	张伟	男	1980.9	工程师	学士	中铁隧道局集团有限公司市政工程公司	在断层带隧道塌方治理方面有创造性贡献
10	叶如高	男	1972.12	高级工程师	学士	浙江八咏公路工程有限公司	在隧道围岩现场爆破测试方面有创造性贡献

评价委员会专家名单

序号	职务	姓名	工作单位	现从事专业	职称职务	签名
1	主任	李彦武	交通运输部公路局	隧道工程	教高/原局长	
2	副主任	王华牢	交通运输部公路科学研究院	隧道工程	教高/首席工程师	
3	委员	李志厚	云南省交通规划设计研究院	隧道工程	教高/副总经理	
4	委员	曹校勇	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	隧道工程	教高/隧道院长	
5	委员	陈仁朋	湖南大学	隧道工程	教授/院长	
6	委员	刘新荣	重庆大学	隧道工程	教授	
7	委员	丁浩	招商局重庆交通科研设计院有限公司	隧道工程	教高/隧道院长	

科 技 成 果 登 记 表

成果名称	公路隧道围岩爆破损伤评价及断 层带施工风险防控技术研究												
	限 35 个汉字												
研究起始时间	2014 年 9 月				研究终止时间	2019 年 6 月							
成果第一完成单位	单位名称	绍兴市交通建设有限公司											
	隶属省部	代 码	33		名 称	浙江							
	所在地区	代 码	3306		名 称	绍兴	单 位 属 性 (5)	1.独立科研机构 2.大专院校 3.集体 4.个体 5.其他					
	联系人	王烨人											
	邮政编码	312000		联系电话			1. 0575-88126206 2. 15051813108						
	通信地址	浙江省绍兴市越城区凤林西路 135 号交投大厦 807											
评价日期	2020 年 8 月 5 日				评价批准日期	2020 年 8 月 10 日							
组织评价单位名称	中 国 公 路 学 会												
	限 20 个汉字												
成果有无密级	(0)	0-无 1-有		密 级	()		1-秘密 2-机密 3-绝密						
成果水平	(2)	1-国际领先 2-国际先进 3-国内领先 4-国内先进											
任务来源	(2)	1-国家计划 2-省部计划 3-计划外											
应用行业大类	(04 05)	01-农、林、牧、渔、水利 02-工业 03-地质普查和勘探业 04-建筑业 05-交通运输、邮电通讯业 06 商业、饮食、物资供销和仓储业 07-房地产、公用事业居民和咨询服务业 08-卫生、体育、社会、福利业 09-教育、文化、艺术、广播和电视业 10-科学研究和综合技术服务业 11-金融、保险业 12-其他行业											
应用情况	(1)	1-已应用 未应用原因 A-无接产单位 B-缺乏资金 C-技术不配套 D-工业性实验前成果 E-其它											
转让范围	(3)	1-允许出口 2-限国内转让 3-不转让											
科 研 投 资 (万元)					应 用 投 资 (万元)								
国家投资					国家投资								
地方、部门投资		58			地方、部门投资								
其他单位投资		120			其他单位投资								
合 计		178			合 计								
本 年 度 经 济 效 益 (万元或万美元)													
新增 产值					新增 利 税					其中创收 外 汇			