

科技进步奖提名号：162-401

项目名称	桥梁群开采损害机理及监测防控技术研究
提名单位	冀中能源集团
项目简介	<p>随着煤炭资源开采重心向西部转移，开采影响区的地形也由平原向丘陵和山区转变。丘陵山地区河沟纵横，桥梁密布，桥梁在开采影响下的变形规律、破坏机理、防治技术措施等方面存在许多问题尚未解决，本项目以峰峰矿区典型桥梁（铁路桥、公路桥和公铁立交桥）为例，开展桥梁群开采损害机理、防治措施及变形监测研究。</p> <p>本项目属于能源技术领域中煤炭开发相关的矿山安全与矿山工程测量方向的科学技术问题研究。项目主要开展如下研究：</p> <p>（1）桥梁开采损害机理研究：结合典型桥梁的结构特征，开展桥梁开采变形及受力破坏分析，确定煤炭开采影响下桥梁的变形特点和破坏特征，明确桥梁开采损害的薄弱位置，给出桥梁破坏的临界变形值或允许变形值的计算方法。</p> <p>（2）桥梁开采损害防控措施研究：结合开采影响下桥梁的破坏特点和破坏程度，针对性的开展桥梁开采损害预防和治理措施研究，明确提出来不同状态桥梁的维修治理方案，满足桥梁正常使用的功能要求。</p> <p>（3）桥梁区域监测技术研究：针对传统监测外业工作量大、仅能获取少量测点数据和桥梁区域难以监测的问题，研发桥梁开采沉陷高精度监测技术，获取不同开采影响过程中桥梁特征部位的变形数据。</p> <p>（4）开采扰动下桥梁运行状态评估：针对开采对桥梁的扰动过程，依据实测桥梁区域移动变形数据，评估桥梁的加固效果和运行状态。</p> <p>项目的实施成功指导了峰峰集团羊东矿、九龙矿等多个矿井的桥梁群下压煤开采及桥梁保护问题工作，创造了良好的经济和社会效益，目前已在峰峰矿区各个矿井进行推广应用。截止 2017 年底，累计创造纯经济效益超过 1.2 亿元，并仍在持续创造经济效益中。项目成果有助于快速高效回收桥梁下压滞的煤炭资源，满足工农业的能源需要，保证矿井生产的正常接续，延长矿井服务年限，缓解就业压力，促进社会和谐发展。</p>
主要完成单位及创新推广贡献	<p>1、冀中能源峰峰集团有限公司：在厚煤层综采影响下桥梁损害机理研究基础上，通过三跨上承式石拱桥钢桁架加固、上承式空腹双曲拱桥主拱圈及上部结构截面加固、三孔框架结构箱式立交桥孔内加厚/孔外加挑梁加固方案的设计和实施，实现了井下工作面正常综采和加固后桥梁安全运行的协调统一。</p> <p>2、中国矿业大学：开发了地面三维激光扫描与短时 GPS 静态定位融合的 mm 级桥梁整体变形监测技术，获取了不同开采影响期各桥梁的完整精细点云数据，基于实测数据分析了开采影响下桥梁全局变形和自身结构变化两</p>

	<p>方面的变形特征，有效的掌控动态开采沉陷过程中桥梁的运行状态，为桥梁安全运行提供可靠的基础数据保障。</p> <p>3、石家庄铁路职业技术学院：以实测数据为基础，全面分析开采动态扰动下地表移动变形、桥梁结构特征、地形坡度变化等因素相互作用下桥梁墩台、拱架结构等典型部位损伤演化过程，明确开采扰动下桥梁损害机理，为优化同类结构桥梁加固设计提供依据。</p>
<p><b>推广应用及经济社会效益情况</b></p>	<p>截止 2017 年 12 月，依托本项目研究成果的支撑，峰峰矿区羊东矿共采出了三座桥梁（铁路桥、公路桥、公铁立交桥）煤柱下的 08201 和 08203 两个工作面煤炭资源 38.7 万吨，完成了三座桥梁的治理工程。在保证地面桥梁安全运行的前提下，顺利解放了桥梁群压占的煤炭资源。九龙矿已在新义公路桥、支线公路桥和矿区铁路桥煤柱下开采 15445、15449（S）和 14245（S）工作面桥梁煤柱资源 47.8 万吨，完成了对桥梁的治理工作，实现了桥梁安全运行与煤炭资源开采的协调统一。2018 年至今，羊东矿和九龙矿仍持续在进行桥梁群煤柱下开采，大社矿也正在开展乐意庄水库大桥煤柱开采、新屯矿正在开展八山青上山铁路桥煤柱开采等桥梁下压煤开采可行性论证及预研，实践表明，本项目研究成果具有广泛的推广应用前景。</p> <p>经济效益方面，除应用情况中已列出的 2014 年~2016 年已创造的效益外，近三年羊东矿桥梁煤柱累计新增销售额 49360 万元，新增利润 8613 万元。九龙矿桥梁煤柱累计新增销售额 31360 万元，新增利润 5364 万元。另外，大社矿、新屯矿、牛儿庄矿均也不同程度的在桥梁下进行了煤炭资源的开采，创造了良好的经济效益。</p> <p>社会效益方面，实现桥梁下煤炭资源综放开采，一方面有利于快速高效的回收压滞的煤炭资源，满足了国民经济发展的能源需要，促进了社会的可持续发展。另一方面，桥梁煤柱的有效开采，延长了煤矿企业及附属产业的服务年限，保持了矿区煤炭生产的可持续发展，保证矿井生产的正常接续，安置了大量职工，避免了失业问题的发生，有效的缓解国家就业方面的压力，保证了社会的稳定团结，促进了社会的和谐发展。</p>
<p><b>主要知识产权和标准规范等目录</b></p>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zhou Dawei, Wu Kan, Bai Zhihui, Hu Zhenqi, Li Liang, Xu Yuankun, Diao Xinpeng. Formation and development mechanism of ground crack caused by coal mining: effects of overlying key strata[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2019, 78: 1025-1044.</li> <li>2. Yuankun Xu, Kan Wu, Zhihui Bai, Zhenqi Hu. Theoretical analysis of the secondary development of mining-induced surface cracks in the Ordos region[J]. Environmental Earth Sciences, 2017, 76: 703</li> <li>3. Diao Xinpeng, Wu Kan, Chen Ranli, Yang Jun. Identifying the Cause of Abnormal Building Damage in Mining Subsidence Areas Using InSAR Technology[J]. IEEE ACCESS, 2019, 7: 172296-172304.</li> <li>4. 顾元元, 陈冉丽, 吴侃, 王瑞, 周大伟. 矿区桥梁变形监测的三维激光扫描技术[J]. 金属矿山, 2019(10): 188-193.</li> <li>5. 贺一波, 陈冉丽, 吴侃, 段志鑫. 基于 k-means 聚类的点云精简方法[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(09): 96-99</li> </ol>	

6. 赵玉玲,张兵,崔希民,李春意,白志辉,贺军亮.矿区复杂地形 3DEC 数值模型建模方法研究[J].煤炭科学技术,2018,46(09):202-207.
7. 韩小庆.基于 GPS-RTK 的矿山地形工程测量及具体方法分析[J].科技创新导报,2017,14(24):34-35.
8. 贾珂伟.矿产“三下”资源开采经济评价方法研究[J].世界有色金属,2019(09):46+48.

### 主要知识产权证明目录

1. 授权发明专利：周大伟、白志辉、李旺、吴侃、李亮. 一种动态沉陷区房屋就地重建时间和区域测定方法；201910114827.8
2. 授权实用新型专利：陈冉丽、张孝勇、魏向辉、陈义超. 一种便携式工程测量用照明灯具；201721710339.6

### 主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	贡献	曾获奖情况
1	孟宪营	高级工程师	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	分析开采动态扰动下桥梁墩台、拱架结构等典型部位损伤演化过程，明确开采扰动下桥梁损害机理，	多次获得省部级科技奖
2	李亮	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	开发了地面三维激光扫描与短时 GPS 静态定位融合的 mm 级桥梁整体变形监测技术	多次获得省部级科技奖
3	白志辉	教授级高工	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	实施石拱桥钢桁架加固、上双曲拱桥主拱圈及上部结构截面加固、箱式桥孔内加厚/孔外加挑梁加固方案	多次获得省部级科技奖
4	陈冉丽	副教授	石家庄铁路职业技术学院	石家庄铁路职业技术学院	优化了外业数据采集流程，提出了基于 k_means 聚类的点云精简方法，获取了桥梁完整的点云信息	多次获得省部级科技奖
5	王志军	高级工程师	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	确定桥梁敏感的变形破坏种类，给出桥梁破坏的临界变形值或允许变形值的计算方法	多次获得省部级科技奖
6	周大伟	副教授	中国矿业大学	中国矿业大学	提出结合井下工作面推进进度地面建筑物分阶段治理的技术思路，为桥梁治理工程的设计和施工提供依据	多次获得省部级科技奖
7	赵章	高级工程师	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	负责桥梁治理方案的设计及现场施工协调，确定了公铁立交桥的具体施工组织方式。	多次获得省部级科技奖
8	贾珂伟	工程师	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	对比分析不同桥梁治理方案的技术可行性及经济适宜性，协助确定桥梁治理方案现场实施	
9	韩小庆	工程师	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	计算获取桥梁数值模拟位移边界，协助进行桥梁加固方案可行性的数值模拟分析工作	
10	杜青龙	高级工程师	冀中能源峰峰集团有限公司	冀中能源峰峰集团有限公司	依据监测数据，分析地表及桥梁动态移动变形规律，协助开展采动影响下桥梁治理方案设计	多次获得省部级科技奖

### 完成人合作关系说明

孟宪营、白志辉、王志军、赵章、韩小庆和贾珂伟组成研究组，结合研究区域桥梁的结构状态和井下的开采规划，开展桥梁采动损坏数值模拟，确定桥梁临界变形状态，综合技术、经济及现场实施条件等因素，制定了桥梁整体维修加固方案。

李亮、周大伟、白志辉共同设计了桥梁及周边地表的监测方案，提出了采用短时静态 GPS 结合三维激光扫描技术进行桥梁及周边地表移动变形监测的实施过程，评估了该方法的精度。并通过对监测数据的处理获取了地表与桥梁移动变形的基本规律。

陈冉丽和周大伟等对外业数据采集方法进行改进实施，在获取了可靠基础数据的基础上，分析了加固后桥梁在不同影响阶段的形变特征，结合桥梁加固设计的抗变形能力，评估了桥梁整体的安全性。

通过对不同开采影响期地表沉陷影响特征的实测分析，从加快治理速度的角度出发，周大伟、白志辉、杜青龙和李亮共同进行了地表动态治理方面发明专利的申请。

最后，项目课题组全体成员在对现场实施效果进行系统评估后，综合进行项目成果的归纳总结，形成项目研究成果。

### 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	合作时间	合作成果	备注
1	共同知识产权	周大伟、白志辉、杜青龙、李亮	2014.4-2019.12	一种动态沉陷区房屋就地重建时间和区域测定方法	
2	论文合著	李亮、周大伟、白志辉	2014.4-2019.12	Formation and development mechanism of ground crack caused by coal mining: effects of overlying key strata	
3	论文合著	陈冉丽、周大伟	2014.4-2019.12	矿区桥梁变形监测的三维激光扫描技术	
4	共同立项	孟宪营、李亮、白志辉、陈冉丽、王志军、周大伟、赵章、韩小庆、贾珂伟、杜青龙	2014.4-2019.12	鉴定证书	

**注：所填报内容必须与推荐书中提交的完全一致，否则责任自负，可自行调整行间距。**