

奖项:	科学技术进步奖
学科专业评审组:	土木工程组
项目名称:	大型混凝土结构构件应急抢修加固新技术与应用
提名单位:	湘潭市科技局
提名意见:	该项目针对混凝土结构受到地震、海啸等灾害损毁后的应急抢修加固技术,在湖南省、河南省科学研究项目的资助下,运用实验室试验、工程现场施用等研究方法,开展了水平向预压应力、正交双向预压应力钢板加固病险混凝土立柱新技术及应用研究、自锚式预压应力钢丝绳-聚合物砂浆加固大型混凝土梁新技术与应用研究和新型预压应力复合材料加固混凝土梁新型锚具技术及应用研究。发明了水平向预压应力钢护筒加固混凝土立柱新技术和正交双向预压应力钢板加固病险混凝土立柱新技术,获国家发明专利3项,该法最大优点在于被加固结构无破损、不卸载且施加有预压力,确保了混凝土结构在线加固,特别适合于高铁、高速桥梁墩柱的在线加固。发明了自锚式预压应力钢丝绳-聚合物砂浆加固大型混凝土梁技术,将钢丝绳网片和桥梁结构体外预压应力加固法相结合,通过张拉钢丝绳对梁体施加预压力,聚合物砂浆包裹将体外预压力转换为体内预压力,实现对梁体主动加固;开发了对复合材料板材、筋材施加有效预压力的高效预压力夹具,锚固力强,具有理念和技术上的原创性。项目研究成果创新难度大、原创性高,总体技术水平和主要技术指标达到了国际先进水平,成果转化程度高,创造了1.3亿元的经济效益,社会效益、生态效益和国防安全效益,对行业的技术进步和产业结构优化升级有重大作用。项目研究内容真实可靠,主要完成单位、完成人排序及项目推荐公示无异议。提名该项目为湖南省科学技术进步奖贰等奖。

项目简介:



### 三、项目简介

项目属钢筋混凝土结构评价与加固技术领域,尤其是混凝土结构在受到地震、海啸及泥石流等灾害损毁后的应急抢修加固。解决的关键技术问题是在不破坏原有结构、不降低结构承载力的前提下实施对混凝土柱、梁的应急抢修加固。为此,项目组历经十余年攻关,在概念创新、技术创新及应用创新方面,取得了具有国际先进水平的研究成果,其主要技术创新成果如下:

**发明应用了水平向预压应力钢护筒不卸载在线无破损加固钢筋混凝土墩柱技术。**该技术用两块带法兰的半圆钢板通过螺栓直接对混凝土柱施加水平预压应力,水平向预压应力使柱体混凝土由被动三向应力变为主动三向受力,预压力最大可达钢护筒材料的抗拉屈服强度,确保了原柱和加固结构层受力同步。水平向预压应力使混凝土柱的承载力最大为加固前的3.4倍。该技术已应用于某大桥混凝土圆截面桥墩及墩下圆截面柱体的加固,节约资金3062.42万元。

**发明开发了正交双向预压应力在线抢修加固大型病险混凝土立柱技术。**该技术包括正交双向预压应力半圆钢板加固病险混凝土圆形截面立柱技术和正交双向预压应力角钢板加固病险混凝土矩形截面立柱技术。圆截面混凝土立柱每个加固

段用两块四边带法兰的半圆钢板,矩形截面混凝土立柱每个加固段用四块四边带法兰的角钢板。该技术正交双向预压应力大小可调,最大可达钢护筒材料的抗拉、抗压屈服强度。正交双向预压应力使混凝土柱的承载力最大为加固前的5.10倍,双向预压应力混凝土柱的承载力高于相应的钢护筒管柱承载力和混凝土柱承载力之和,双向预压力的施加带来的技术效果不只是两者的简单叠加。该技术已用于京港澳高速某混凝土桥墩的加固,带来的直接经济效益3200万元。

**提出应用了自锚式预压应力钢丝绳-聚合物砂浆加固大型混凝土梁技术。**该技术是钢丝绳网片加固法和桥梁体外预压应力法的结合,其技术的优势在于,桥梁运营过程中,预压应力钢丝绳的应力增量可不仅仅通过砂浆粘接传递,还可沿绳长分段设置锚固索夹,直接实现梁体与预压应力钢丝绳之间的荷载传递;预压应力张拉过程中,利用锚座作为反力支撑点,进行自锚张拉;通过可调锚夹具,实现张拉过程预压应力索直接传递荷载到端头锚座。该技术已用于京港澳高速公路某大桥混凝土T梁的加固,带来的直接经济效益1840万元。

**研发应用了新型复合材料预压应力新型锚具。**创立了对CFRP板材、筋材施加有效预应力的方法并研制出高效预压应力夹具。该技术重点开发研究了针对碳纤维板和碳纤维筋施加预应力的特种锚具。该技术已用于平煤集团十矿3座钢筋混凝土筒仓加固工程中,为平煤集团带来经济效益6300余万元。

项目获得国家级、省级资助项目12项,授权发明专利3项、实用新型专利13项,出版专著2部,发表论文140余篇(SCI/EI检索30篇)。成果技术已累计应用于多座高速公路/高速铁路桥梁、筒仓特种结构和房屋建筑工程中,近3年累计经济效益1.3亿元。社会效益、生态效益优秀,项目主体技术可用于战略投送与军交运输领域高大跨桥梁的快速化抢修,具有一定的国防安全效益。



## 五、客观评价

### 1. 湖南省科技交流交易中心（湖南省技术产权交易所）鉴定意见

2019年05月08日，湖南省科技交流交易中心在省科技厅主持召开了由湖南工程学院、湖南尚上公路桥梁建设有限公司和湖南省交通科学研究院有限公司完成的“大型病险混凝土结构构件应急抢修加固新技术与应用”项目科技成果评价会，鉴定专家组对“大型病险混凝土结构构件应急抢修加固新技术与应用”的鉴定意见为：“该项成果具有原创性，在技术应用方面达到国际先进水平。”同时建议删除项目名称中“病险”二字，认为要进行应急抢修加固的混凝土结构应该是存在“病险”的，所以鉴定意见书的题目改为了“大型混凝土结构构件应急抢修加固新技术与应用”。

### 2. 教育部科技查新工作站结论意见

由教育部科技查新工作站2019年4月22-30日，对项目“大型病险混凝土结构构件应急抢修加固新技术与应用”进行了国内外查新，“除本项目委托申请人自己的相关研究、专利及成果外，未见与本项目所述技术方案与研究（1.水平向预应力钢护筒并植筋扩大断面法加固混凝土柱新技术；不降低立柱的承载力、不影响结构在线使用；2.正交双向预应力钢板加固病险混凝土立柱新技术。该技术包括正交双向预应力半圆钢板加固病险混凝土圆形截面立柱技术和正交双向预应力角钢板加固病险混凝土矩形截面立柱技术。3.自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术，该技术将钢丝绳网片和桥梁结构体外预应力加固法相结合，通过张拉钢丝绳对梁体施加预应力，采用聚合物砂浆进行包裹，将体外预应力转变为体内预应力，实现对梁体主动加固，能有效提高梁桥承载能力。提出了新型复合材料预应力加固混凝土梁新技术及工程应用，4.创立了对CFRP板材、筋材施加有效预应力的方法并研制出高效预应力夹具。）”等相同的报道。

### 3. 实施“自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术”后桥梁荷载试验检测报告

G4京港澳高速耒阳至宜章段西河大桥，采用项目发明的自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术对其混凝土T梁实施加固，桥梁加固后经长沙理工大学公路工程试验检测中心检测，检测结论为：京港澳国家高速公路湖南省耒阳至宜章段大修工程k1759+698.6西河大桥经过加固改造后，在新的设计使用荷载（公路—I级）作用下，桥梁整体工作性能良好，处于弹性工作状态，各项检测指标满足设计要求，可以投入正常营运。

### 4. 国内外学术评价



项目研究成果在《complexity》、《土木工程学报》、《中国公路学报》、《建筑结构学报》、《工程力学》等国内外重要期刊上发表学术论文140余篇，国际会议特邀报告1次，土木工程领域有关专家给出了诸如“The results would be very useful for industry”、“developed a new technology named as emergency reinforcement by On-line and non-destructive repair of the large scale dangerous concrete column”、“对预应力纤维增强塑料（板或筋）加固混凝土梁的应变测试不精确问题进行了修正，具有理论指导意义”等正面评价。”

### 5. 省科技主管部门对项目的支撑计划项目验收鉴定意见

1) 项目“内嵌预应力碳纤维增强塑料筋混凝土梁弯曲特性研究”、“碳纤维增强塑料加固混凝土梁应变协调关系研究”、“内嵌CFRP加固混凝土梁界面特性研究的 $\pi$ 梁法及应用”、“内嵌碳纤维筋加固混凝土梁界面特性研究的一种新方法”均为同意验收。

2) 项目“粘贴预应力复合材料板加固混凝土梁补强机理的研究”、“粘贴纤维增强复合材料加固既有混凝土梁补强机理及应用研究”鉴定为国内领先水平。

## 6. 经济、社会、生态、国家安全效益

1) 项目产生的经济效益显著。项目技术已在平煤十矿 3 座煤筒仓加固、沪昆高速龙母河大桥加固、京港澳江坡头大桥和京港澳西河大桥四个工程中应用,由 4 个应用单位出具的应用证明表明,在工程直接费上节省资金达 9500 万元,2016 年至 2018 年三年因为项目整体技术的应用,新增销售额 12821 万元,新增利润 2578 万元。4 个工程从使用本项目技术至今产生的总经济效益 27762 万元。

2) 社会、生态效益。①项目的不停产加固技术确保了企业生产、交通运输不中断;②圆形煤筒仓的不停产加固,避免了筒仓拆建带来的煤矿停产,避免了上万矿山工人在矿山停产期间不能就业的问题,避免了矿山停产期间矿山的维护、通风等矿井不生产的维持问题;③项目的无破损在线加固技术减少了新建桥梁等工程带来的粉尘、噪声污染、水道污染和耕地占用,减少了旧桥等拆除带来的粉尘、噪声、建筑垃圾及垃圾处置费。

3) 项目抢修技术可用于战略投送与军交运输领域高大跨桥梁的快速化抢修,为高墩大跨桥梁快速抢修提供技术手段,具有适合高墩使用的轻量化结构形式与快速连接技术,实现轻量化快速抢修墩构筑,具有一定的国防安全效益。



## 六、推广应用情况及效益

### 1. 推广应用情况

项目“大型混凝土结构构件应急抢修加固新技术与应用”是多研究单位多年来联合攻关的成果,其在现场应用情况概述如下:

1) 由湘潭市市政工程公司施工的某公路,在开挖公路基础时,要下穿沪昆高速公路龙母河大桥,该桥下部构造采用柱式墩,3'、4'墩共 8 个桥墩,墩下桩用直径 1.5m 预应力钢护筒加固,工程直接加固费 298.44 万元,若拆除旧桥建新桥,则拆旧费、工程费及补偿费共计 3360.86 万,两者相比其经济效益 3062.42 万。

2) 2007 年 4 月,受平煤集团委托,用内嵌预应力碳纤维筋和螺旋筋的方法,对十矿 3 座混凝土煤筒仓进行加固,使用至今。加固费用 612.61 万元,建同样规格的筒仓要 1946.42 万元,两者相比节约 1333.81 万元。筒仓矿井年产褐煤 90 万吨,2008 年售价 280 元/吨,吨煤综合成本约为 190 元,吨煤利润约为 90 元。用预应力碳纤维筋加固这些混凝土圆形煤筒仓,矿井避免了 3 个月的停产,工程项目 2016 年新增销售额 6300 万元,新增利润 2025 万元。本研究项目的贡献率为 10%,则其 2016 年新增销售额 630 万、新增利润 203 万。

3) 受湖南省高速管理局耒宜高速公路大修工程项目部的委托,对 G4 京港澳高速公路耒阳至宜章段江坡头大桥的混凝土圆截面墩,实施正交双向预应力半圆钢板加固,加固后为公路-I 级,工程直接费用 1326.38 万元。若拆除旧桥建新桥,则拆旧费、工程费及补偿费共计 4558.36 万,两者相比其经济效益 3231.98 万。

4) 受湖南省高速管理局耒宜高速公路大修工程项目部的委托,2013 年 4 月应用该技术对京港澳高速耒阳至宜章段西河大桥全跨混凝土 T 梁进行了抢修加固,桥安全使用至今。该桥建成于 2001 年,桥梁中心桩号为 K1759+698.6,桥梁全长 289.6m,桥面总宽 27m。上部结构型式为 14×20m 预应力混凝土组合 T 梁桥,采用 40 号混凝土,该桥下部结构采用双柱式圆形墩,重力式桥台。普通混凝土桥面铺装,仿毛肋式伸缩缝,板式橡胶支座。采用自锚式体外预应力钢丝

绳-聚合物砂浆技术对 T 梁进行加固, 若更换这些 T 梁, 工期 90 天, 补偿高管局每天 20 万元, 工程及补偿费共计 3047.36 万, 加固费 1206.44 万元(2013 年), 两者相比节约 1840.92 万。用自锚式体外预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术使京港澳高速公路耒阳至宜章段避免了 90 天的停运。2016 年新增销售额 11680 万元, 新增利润 1936 万元。项目的贡献率为 10%, 则其 2016 年新增销售额 1168 万、新增利润 194 万。



5) 2006 年 4 月, 受义马煤业集团股份有限公司的委托, 对改建的义煤老电厂不明地下巷道和采空区实施探查, 提出电厂地下巷道、采空区及既有建筑的利用加固方案、新建厂房的布置规划, 对地震影响下建筑物结构安全性进行数值试验, 对地面建筑物及地下巷道实施外贴碳纤维布加固, 直接经济效益为 1480 万。

6) 2008 年 9 月, 受鹤壁煤业集团有限公司委托, 开展“采空区地表房屋采动设计理论及加固技术研究”项目。河南鹤壁矿区三矿、四矿, 因煤矿开采引起地表发生不均匀沉降, 引起地表村庄部分建筑物墙体开裂。为了保护村庄建筑物, 避免墙体开裂, 采取了基于概念加固的整体预应力加固技术, 直接效益 3460 万元。

7) 2009 年 01 月, 受山西潞安矿业(集团)有限责任公司委托, 开展“煤矿大型混凝土构件评估及加固技术研究”项目。项目对王庄线黄碾立交桥、浊漳河大桥、漳村线浊漳河大桥、漳村线 K2+30 涵洞, 提出了外贴预应力碳纤维、钢筋混凝土箍套、补设吊篮包裹混凝土加固和挂钢筋网喷射混凝土加固的方法进行加固, 三桥一涵的加固给企业带来了 1123.44 万的经济效益。

8) 2001 年 10 月, 受焦作市第三建筑工程公司的委托, 对河南省焦作市医药管理局医药局住宅大楼 YKB5562 型预应力空心板, 进行外贴碳纤维布加固, 经过为期 20 天的修复, 达到了预期目的, 为施工企业节约资金 381 万元。

各单位成果应用情况如下表所示。

主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用起止时间	应用单位 联系人/电话	应用情况
湘潭市市政工程公司	水平预应力钢护筒在线元破换抢修加固大型桥墩混凝土立柱技术	2013 年 07 月-2014 年 7 月	欧鹏 /15273285206	已用 5 年, 总效益 5700 万元
湘潭湘军建设有限公司	预应力碳纤维筋不卸载、不停产加固混凝土圆筒仓技术	2007 年 01 月-2007 年 12 月	李应德 /13707322609	已用 12 年, 总效益 7190 万元
耒宜高速公路大修工程项目部	双向正交预应力在线抢修加固混凝土圆筒墩技术	2012 年 6 月-2013 年 4 月	马洪杰 /18182103564	已用六年, 总效益 7774 万元
耒宜高速公路大修工程项目部	自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固大型桥梁技术	2012 年 6 月-2013 年 4 月	马洪杰 /18182103564	已用六年, 总效益 7098 万元

主要知识产权  
和标准规范等  
证明目录:



七、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权 (标准) 类别	知识产权 (标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准 编号)	授权 (标准 发布) 日期	证书编号 (标准批 准 发布部门 )	权利人 (标准 起草 单位)	发明人 (标准 起草人)	发明专 利(标准 ) 有效状 态
发明专利	预压应力钢护筒并植筋扩大断面的混凝土柱加固方法	中国	ZL 2014 1 081551 3.8	2015年 10月21日	1822113	湖南工程学院	任振华、曾完桃	有效专利
发明专利	双向预应力角钢板在线无破损加固矩形截面混凝土柱法	中国	ZL2016 109196 19.1	2018年 02月23日	2824779	湖南工程学院	曾完桃、任振华	有效专利
发明专利	双向预应力半圆钢板在线无破损加固混凝土圆柱法	中国	ZL2016 108978 10.0	2018年 02月23日	2824743	湖南工程学院	任振华、曾完桃	有效专利
实用新型专利	一种混凝土柱预压应力钢护筒	中国	ZL 2014 2 082846 6.6	2015年 05月20日	4319672	湖南工程学院	任振华、曾完桃	未缴费失效的专利
实用新型专利	一种用于混凝土梁弯曲特性和界面特性研究的宽缺口梁	中国	ZL 2015 2 035909 9.4	2015年 09月16日	4623482	湖南工程学院	曾完桃、任振华	未缴费失效的专利
实用新型专利	一种内嵌于混凝土梁的碳纤维增强塑料组合物	中国	ZL 2014 2 082941 5.5	2015年 05月20日	4319871	湖南工程学院	任振华、曾完桃	未缴费失效的专利
实用新型专利	表层内嵌桁架螺旋肋筋的混凝土梁	中国	ZL 2014 2 082962 83.7	2015年 05月20日	4320888	湖南工程学院	曾完桃、任振华	未缴费失效的专利
实用新型专利	异性纤维增强塑料筋混凝土梁	中国	ZL 2017 2 002893 3.0	2017年 07月28日	6341816	湖南工程学院	任振华、曾完桃	未缴费失效的专利

承诺: 上述知识产权和标准规范用于提名湖南省科学技术进步奖的情况, 已征得未列入项目主要完成人的权利人(发明专利指发明人)的同意。

第一完成人签名:

主要完成人:

- 姓名: 任振华  
排名: 1  
行政职务: 副处长  
技术职称: 副教授  
工作单位: 湖南工程学院  
完成项目时所在单位: 湖南工程学院  
对本项目技术创新性贡献: 任振华为该项目主要负责人, 对项目发明点1、2、4做出创造性贡献, 提出了预压应力钢护筒并植筋扩大断面加固混凝土柱的方法和原理, 并撰写了发明专利申请书; 提出了双向预应力半圆钢板在线无破损加固混凝土圆柱法的方法和原理, 并撰写了发明专利申请书。现场指导自锚式预压应力钢丝网-聚合物砂浆加固混凝土T梁施工, 参与其他工程的现场技术指导。
- 姓名: 曾完桃  
排名: 2  
行政职务: 处长  
技术职称: 教授  
工作单位: 湖南工程学院  
完成项目时所在单位: 湖南工程学院  
对本项目技术创新性贡献: 曾完桃为该项目主要负责人, 对项目发明专利做出了创造性贡献, 提出了概念加固理念; 发明了正交双向预应力角钢板在线无破损加固矩形截面混凝土柱法的方法和原理, 并撰写了发明专利申请书。提出了预压应力纤维增强塑料的锚固方法和新型锚具的研发, 对专利技术和自锚加固T梁技术进行了理论解析, 指导技术的现场应用。
- 姓名: 刘云付  
排名: 3  
行政职务: 总经理  
技术职称: 高级工程师

	<p>工作单位：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          完成项目时所在单位：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          对本项目技术创造性贡献：刘云付是该项目技术骨干，共同研发合作。提出了自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固混凝土T梁技术，组织正交双向预应力在线抢修加固混凝土圆截面桥墩技术应用京港澳高速江坡头大桥抢修加固施工，组织指挥锚式体外预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固西河大桥混凝土T梁的抢修加固施工。近些年共同推进了在线无损检测加固大型病险混凝土立柱技术的现场工程实践与产业合作工作。</p> <p>4. 姓名：董业奎          排名：4          行政职务：无          技术职称：高级工程师          工作单位：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          完成项目时所在单位：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          对本项目技术创造性贡献：董业奎是该项目技术骨干，共同合作对筒仓仓壁上开水平槽和竖向槽由下向上、内嵌预应力螺旋肋筋和碳纤维肋筋由上向下的施工工法，使加固改造的内嵌槽准备、嵌入施工一个往复循环施工完成，指导并组织了现场施工，指导施工竣工报告的编写工作。协助研发自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术，共同指导并组织自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固的现场施工。</p> <p>5. 姓名：肖健斌          排名：5          行政职务：无          技术职称：工程师          工作单位：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          完成项目时所在单位：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          对本项目技术创造性贡献：肖健斌是该项目技术骨干，共同致力于预应力加固技术的研究与开发工作，协助研发自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术，共同指导并组织自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固的现场施工。指导并组织京港澳高速公路江坡头大桥圆截面柱墩加固的现场施工，指导施工竣工报告的编写工作。</p> <p>6. 姓名：谢上飞          排名：6          行政职务：设计院副总工          技术职称：高级工程师          工作单位：湖南省交通科学研究院有限公司          完成项目时所在单位：湖南省交通科学研究院有限公司          对本项目技术创造性贡献：谢上飞为本项目技术骨干。提出自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术，研制锚具，指导施工，近些年共同推进了自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术的现场工程实践与产业合作工作。</p>
<p>主要完成单位</p>	<p>1. 单位名称：湖南工程学院          单位贡献：发明了水平向预应力钢护筒并植筋扩大断面法加固混凝土柱新技术和正交双向预应力钢板加固病险混凝土立柱新技术，获国家发明专利3项。此法最大优点在于被加固的结构无破损、不卸载且施加有预应力，确保了混凝土结构的在线加固，成功应用在桥墩柱体等加固领域；发明了新型复合材料预应力加固混凝土梁新技术，此法创立了对CFRP板材、筋材施加有效预应力并研制出高效预应力夹具，能帮助结构工程师正确处理工程实际问题，在此理论指导下完成煤矿开采引起地表村庄建筑物墙体开裂的整体预应力加固技术，具有概念和技术上的原创性；所研制的片材和筋材锚具，设计灵活、安装方便、锚固力强。项目研究成果在原理与技术上有重大创新，技术难度大，总体技术水平和主要技术经济指标达到了国际先进水平，成果转化程度高，创造了重大的经济效益，对行业的技术进步和产业结构优化升级有重大作用。对推广应用的贡献在于：成果应用于未宜高速公路大修工程项目部、湘潭市市政工程公司，湘潭湘军建设有限公司等10家单位中，经济效益、社会效益显著。湖南工程学院作为项目的牵头单位，对每个应用单位工程应用实施，首先是拟定工程实施技术方案，召集实施方案论证会，制定施工组织设计，负责施工方案、施工组织设计的贯彻实施，指导现场施工，技术实施期间，负责工程参数、工程状态的监测，从技术上确保施工安全，工程完工后，完成工程竣工报告，撰写工程总结，核算工程经济效益。</p> <p>2. 单位名称：湖南尚上公路桥梁建设有限公司          单位贡献：共同研发合作，提出了预应力螺旋肋筋加固混凝土筒仓的加固方法和原理，提出了沿筒仓竖向槽内嵌入碳纤维筋（CFRP）提高筒仓竖向刚度的加固理念。对自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固方案进行了论证修改，组织了工程施工队伍，对工程中出现的问题及时上报项目研究小组，进行方案整改。严格按照业主方对大桥承载力的要求对西河大桥的1座桥梁（G4北京-港澳高速公路耒阳至宜章段内），江坡头大桥的1座桥梁（G4北京-港澳高速公路耒阳至宜章段主线桥）进行加固改造。加固后，大桥承载力提升明显。近些年共同推进了在线无损检测加固大型病险混凝土立柱技术的现场工程实践与产业合作工作。</p> <p>3. 单位名称：湖南省交通科学研究院有限公司          单位贡献：发明了自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术，该技术将钢丝绳网片和桥梁结构体外预应力加固法相结合，通过张拉钢丝绳对梁体施加预应力，采用聚合物砂浆进行包裹，将体外预应力转变为体内预应力，实现对梁体主动加固，能有效提高梁桥承载能力。同时研制了预应力锚具，并在G4北京-港澳高速公路耒阳至宜章段施工现场指导施工。近些年共同推进了自锚式预应力钢丝绳-聚合物砂浆加固技术的现场工程实践与产业合作工作。配合工程检测单位，撰写并完善了桥梁加固后的验收试验检测报告。</p>
<p>完成人合作关系说明：</p>	<p>完成人合作关系说明：1</p>