

附件 2

2022 年湖南省科技进步奖提名公示

项目名称：大跨径城市桥梁服役性能分析理论及工程应用

提名单位：益阳市科技局

提名等级：湖南省科学技术进步二等奖

主要完成人：曹国辉、张学兵、刘劲、刘热强、李克忠、唐盛华、唐皇、王鹏、谢海鹏

主要完成单位：湖南城市学院，湘潭大学，广东省建筑工程机械施工有限公司，湖南大学设计研究院有限公司

一、项目名称

大跨径城市桥梁服役性能分析理论及工程应用

二、提名意见

针对大跨径城市桥梁服役性能退化机理不明确，损伤状态评估方法不完善，复杂条件下大跨径城市桥梁服役性能提升技术亟需补充等问题。项目立足大跨径城市桥梁服役性能保障的重大需求，依托国家自然科学基金等课题，结合工程实践，取得以下创新成果：

（1）形成了大跨径城市桥梁长期力学性能分析理论。建立了钢筋混凝土、钢管约束混凝土及腐蚀与荷载耦合作用下混凝土的收缩徐变计算模型，揭示了普通/缓粘结/CFRP 预应力混凝土梁和钢-混凝土组合梁的长期受力性能时变规律，形成了材料-构件-结构多维度的大跨径城市桥梁长期力学性能分析理论。

（2）提出了大跨径城市桥梁损伤状态评估方法。构建了基于静动力参数的混凝土桥梁损伤识别方法，改进了预应力混凝土梁、钢-混凝土组合梁等受弯构件承载能力评估方法，完善了配筋混凝土柱、钢管混凝土柱承载能力评估方法。

（3）研发了复杂条件下大跨径城市桥梁服役性能提升关键技术。提出了异形钢管混凝土拱桥整体和局部空间受力性能分析方法，研发了混凝土梁桥体外预应力加固、复杂施工条件下混凝土梁桥施工等关键技术，改进了桥梁支座更换技术。

研究成果形成了具有自主知识产权的大跨径城市桥梁服役性能工程应用成套技术，社会和经济效益显著。经专家鉴定为“该成果整体居国内领先水平，混凝土结构长期受力性能研究成果达到国际先进水平”。

三、项目简介

我国现有城市桥梁 20 余万座，由于车辆疲劳荷载等因素造成的损伤，引起桥梁长期力学性能退化，严重威胁在役桥梁的运营安全。大跨径城市桥梁存在施工作业条件复杂、施工难度大等诸多突出问题亟需解决。针对大跨径城市桥梁服役性能劣化机理研究不足，损伤状态评估方法有待改进，复杂条件下城市桥梁设计方法与施工关键技术亟需完善等问题，本项目历时 18 年，开展了大跨径城市桥梁服役性能系统研究，取得了以下创新性成果：

(1) 形成了大跨径城市桥梁长期力学性能分析理论。建立了钢筋混凝土、钢管约束混凝土、腐蚀与荷载耦合作用下混凝土的收缩徐变计算模型，揭示了普通/缓粘结/CFRP 预应力混凝土梁、腐蚀与荷载耦合作用下钢-混凝土组合梁的长期力学性能时变规律，形成了材料-构件-结构多维度的大跨径城市桥梁长期力学性能分析理论。**解决了混凝土桥梁服役状态的收缩徐变计算难题，奠定了大跨径城市桥梁服役状态损伤评估分析的理论基础。**

(2) 提出了大跨径城市桥梁损伤状态评估方法。构建了基于静动力参数的混凝土桥梁损伤识别方法，改进了预应力混凝土梁、钢-混凝土组合梁等受弯构件承载能力评估方法，完善了配筋混凝土柱、钢管约束混凝土柱等受压构件承载能力评估方法。**解决了大跨径城市桥梁服役状态损伤评估技术难题，提供了大跨径城市桥梁服役性能提升关键技术的优化分析方法。**

(3) 研发了复杂条件下大跨径城市桥梁服役性能提升关键技术。构建了异形钢管混凝土拱桥的整体和局部空间受力性能分析方法，研发了混凝土梁桥体外预应力加固关键技术，提出了下部结构承载力不足与非常规运输条件的现浇箱梁施工关键技术，开发了基于微顶升-局部顶升原理的桥梁支座更换新技术。**解决了复杂条件下大跨径城市桥梁承载能力提升的技术难题，研究成果应用于国内多座城市桥梁的建设。**

项目依托国家及省级科研课题 16 项，授权发明专利 12 项、实用新型专利 15 项，省级工法 4 项，出版专著 1 部，发表论文 112 篇，获各类行业奖 11 项。成果应用于常德沾天湖龙头拱桥、广州白云国际机场扩建工程 T2 航站楼出港高架桥工程和岳阳七里山高架桥等 480 余座桥梁的设计与施工，产生经济效益 1.02 亿元。形成了具有自主知识产权的大跨径城市桥梁服役性能工程应用成套技术，为大跨径城市桥梁的安全运营提供保障。

四、客观评价

1、成果评价

2022 年 11 月 20 日，益阳高新技术企业协会主持召开了“大跨径城市桥梁服役性能分析理论及工程应用”项目成果评价会，湖南大学李立峰教授、长沙理工大学彭晖教授等专家组成的评价委员会一致认为：“该成果整体居国内领先水平，混凝土结构长期受力性能研究成果达到国际先进水平。（附件 36）

2、成果获奖

（1）获全国优秀工程勘察设计奖二等奖 1 项、三等奖 2 项，其他省级奖励 10 项。其中常德市沾天湖东岸栈桥工程、常德环湖路分别获 2017 年度全国优秀工程勘察设计奖二等奖和三等奖。常德大道（江北城区段）改扩建工程获 2015 年度全国优秀工程勘察设计奖三等奖及 2015 年度教育部优秀市政（道路、桥隧）设计一等奖。下部结构承载力不足与非常规运输条件的现浇箱梁施工技术和预应力箱梁斜面穿丝张拉施工技术获 2019 年度广东省市政行业协会三等奖。（附件 26，27）

（2）2010 年曹国辉教授以第 1 作者身份撰写的论文《体外 CFRP 筋预应力混凝土箱梁长期受力性能试验研究》被评为湖南省第 13 届自然科学优秀学术论文一等奖。（附件 35）

3、科技查新报告

长沙理工大学教育部科技查新工作站经文献对比分析，对本项目提出的腐蚀与荷载耦合作用下钢-混凝土组合梁长期力学性能、基于支座反力和倾角斜率的梁结构损伤识别方法、空心板桥梁支座更换施工技术等出具了查新结论：“除该查新课题申请单位及其合作单位公开的论文与专利外，未见有所述综合技术特点与该查新课题‘大跨径城市桥梁服役性能分析理论及工程应用’技术特点完全相同的研究报道”。（附件 37）

4、用户评价

（1）项目成果在中国二十冶集团有限公司、广东省机场管理集团有限责任公司、湖南天鹰建设有限公司、东莞市城建工程管理局、惠州市公用事业管理局、湖南磐固建设工程有限公司、湖南信重技术有限公司等单位推广与应用。累计经济效益 1.05 亿元。（附件 4~12）

（2）异形钢管混凝土拱桥静力性能设计方法在常德沾天湖东岸栈桥工程龙头拱桥项目中应用，提出了曲线梁-直线拱受力状态下的拱、梁中心偏心距合理范围，建议了钢结构规范等未明确规定的超大宽高比箱梁设计合理参数，降低了建设成本，经济社会效益显著。（附件 4）

（3）局部顶升支座更换技术在岳阳七里山高架桥等桥梁改造加固中使用，顶升过程中不影响桥面交通，避免桥面结构开裂，缩短施工工期，节省工程成本，具备良好的经济效益与社会效益。（附件 11~12）

（4）广东省建筑工程机械施工有限公司承建了广州白云国际机场 T2 航站楼出港高架桥工程，开展了下部结构承载力不足及非常规运输条件下现浇箱梁施

工技术等课题研究，节省成本 725.5 万元，缩短工期 120 天，获批广东省省级工法 4 项，经济效益和社会效益显著。（附件 8~10）

5、知识产权及同行评价

（1）授权发明专利 12 项、实用新型专利 15 项，发表论文 112 篇，出版专著 1 部。（附件 1~3，16~17，7~10，19~20，28~34）

（2）清华大学聂建国院士在 2015 年 32 卷 11 期《工程力学》发表的论文《系杆拱桥拱脚连接结构受力性能分析的多尺度有限元建模方法》中，引用了曹国辉教授在 2006 年 39 卷 12 期《土木工程学报》发表的《CFRP 吊索钢管混凝土系杆拱桥模型试验研究》成果，认为研究“较好揭示了拱脚连接结构的受力性能机理”。（附件 41）

重庆大学周绪红院士在 2009 年 9 卷 2 期《交通运输工程学报》发表的论文《大跨径简支转连续箱梁桥收缩徐变效应》中，引用了曹国辉教授在 2008 年 39 卷 9 期《土木工程学报》发表的《混凝土连续箱梁长期受力性能试验研究》成果，认为研究“在混凝土结构的徐变效应分析方面取得了丰硕的研究成果”。（附件 41）

北京工业大学杜修力院士在 2011 年 41 卷 10 期《工业建筑》发表的论文《预应力碳纤维增强材料筋混凝土梁的应力损失研究》中，引用了曹国辉教授在 2008 年 23 卷 10 期《公路交通科技》发表的《体外配置 CFRP 预应力筋混凝土箱梁受力性能试验研究》成果，认为研究“国内一些研究机构都对预应力 FRP 筋混凝土结构的应力损失开展了一些研究”。（附件 41）

中国五矿集团首席科学家曾滨在 2020 年 41 卷《建筑结构学报》发表的论文《基于数据融合的张弦桁架多位置损伤识别与抗噪性分析》中，引用了唐盛华副教授在 2019 年 36 卷 6 期《计算力学学报》发表的《基于均匀荷载面曲率的简支裂纹梁损伤识别》成果，认为“基于振动测试的损伤识别方法广泛应用于结构的多位置损伤识别中”。（附件 41）

同济大学薛伟辰教授（长江学者）在 2008 年 25 卷 9 期《公路交通科技》发表的论文《纤维塑料筋混凝土梁长期性能研究进展》中，引用了曹国辉教授在 2007 年 40 卷 2 期《土木工程学报》发表的《体外 CFRP 筋预应力混凝土箱梁长期受力性能试验研究》成果，认为研究“揭示了体外预应力 CFRP 筋混凝土箱梁的长期性能”。（附件 41）

韩国成均馆大学 Sung-Han Sim 教授在 2020 年 140 卷 6 期《Mechanical systems and signal processing》(IF=6.11)发表的论文《Long-term displacement measurement of full-scale bridges using camera ego-motion compensation》中，引用了曹国辉教授在 2018 年 22 卷 4 期《KSCE, Journal of Civil Engineering》发表的《Long-term deflection test and theoretical analysis on cracked prestressed concrete box beams》成果，认为研究“较好呈现了预应力混凝土梁在持续 470 天荷载作用下的挠度发展”。（附件 41）

6 行业工法

预应力箱梁斜面穿丝张拉工法、下部结构承载力不足与非常规运输条件的现浇箱梁施工工法等 4 项施工关键技术获批广东省省级工法。（附件 18）

五、推广应用情况

主要应用单位情况

序号	单位名称	应用的技术	应用起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
1	湖南天鹰建设有限公司	大跨径城市桥梁长期力学性能分析理论、预应力混凝土梁桥	201306~201408	王杰 13787899874	沾天湖东岸栈桥工程，21 座
2	湖南天鹰建设有限公司		201307~201410	王杰 13787899874	常德市柳叶大道西延线桥梁项目，6 座
3	中建五局第三建设有限公司	钢管混凝土拱桥设计优化	201612~201505	罗荣德 13975881180	长沙黄花综合保税区综一路、综二路跨线桥，2 座
4	广东省机场管理集团有限责任公司	复杂施工条件下混凝土梁桥承载力增强方法	201403~201507	吴飞 13622215525	广州白云国际机场扩建工程 T2 航站楼出港高架桥项目，3 座
5	惠州市公用事业管理局		200704~200904	刘月兰 13556659764	惠州市金山大桥新建工程（北桥标段）项目，10 座
6	东莞市城建工程管理局		201205~201401	曾维泉 13502286152	东莞市环莞快速路常虎立交桥项目，7 座
7	江门市新中路桥有限公司		201205~201509	阳霖 13609724409	新中公路（三江、睦洲段）睦洲大桥项目，1 座
8	湖南信重技术有限公司	桥梁支座更换技术	201901~202012	陈爱明 13975165526	S353 线汝城至外沙段桥梁等项目，230 座
9	湖南磐固建设工程有限公司		201901~202012	崔志兵 18874210070	岳阳市七里山高架桥等项目，200 座
10	湖南磐固建设工程有限公司	桥梁预应力加固技术	201705~201801	崔志兵 18874210070	岳阳市七里山高架桥项目，1 座

六、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

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	空心板式 桥梁支座 更换方法	中国	ZL201 510805 259.8	201611 30	第 2300106 号	湖南城 市学院	曹国辉, 阳亮,何 敏,蔡文 武,贺冉, 张旺	有效专 利
发明专利	均匀荷载 面曲率的 简支梁裂 纹损伤识 别方法	中国	ZL201 711146 887.5	201907	第 3445534 号	湘潭大 学	唐盛华, 苏彬建, 张学兵, 秦付倩, 罗承芳, 楚加庆	有效专 利
发明专利	基于支座 反力和应 变的梁结 构损伤识 别方法	中国	ZL201 910800 633.3	202101	第 4216507 号	湘潭大 学	唐盛华, 杨文轩, 张学兵, 秦付倩, 成鹏,刘 宇翔,张 佳奇	有效专 利
发明专利	一种基于 支座反力 和倾角斜 率的梁结 构损伤识 别方法	中国	ZL201 910801 911.7	202102	第 4250956 号	湘潭大 学	唐盛华, 刘宇翔, 张学兵, 秦付倩, 杨文轩, 成鹏,张 佳奇	有效专 利
发明专利	空心板式 桥梁空心 板的顶升 方法及在 支座脱空 处理中的 应用	中国	ZL201 510805 644.2	201703 22	第 2426075 号	湖南城 市学院	曹国辉, 阳亮,何 敏,蔡文 武,贺冉, 张旺	有效专 利
工法	下部结构 承载力不 足与非常 规运输条 件的现浇 箱梁施工 工法	中国	GDGF 130-20 17	201712 28	第 3636 号	广东省 建筑工程 机械施 工有限 公司	刘热强, 高翔,冯 亦文,王 鹏,谢海 鹏,黄瑞 明,余荣 东,陈嘉 杰	其他有 效知识 产权

论文	An experimental study on the flexural behavior of local prestressed steel-concrete composite continuous box beams	香港		202102	Advances in Structural Engineering	湘潭大学,湖南城市学院	张学兵,张展维,曹国辉,莫东山	其他有效知识产权
论文	Creep test and analysis of concrete columns under corrosion and load coupling	美国		201911	ACI Structural Journal	湘潭大学,湖南城市学院,长沙理工大学	曹国辉,韩传昌,彭鹏,张旺,唐皇	其他有效知识产权
论文	不同开裂状态下预应力混凝土连续箱梁受力性能评估试验研究	中国		202012	中南大学学报(自然科学版)	湖南大学,长沙华艺工程有限公司,湖南城市学院,湘潭大学	李克忠,曹国辉,杨李根	其他有效知识产权
专著	钢-混凝土组合梁抗震耗能研究	中国		201912	中南大学出版社,第287719号	湖南城市学院	刘劲,张再华,王露	其他有效知识产权

七、主要完成人情况

姓名	排名	职务	职称	工作单位	主要完成单位	对本项目的贡献
曹国辉	1	土木工程学院院长	教授	湖南城市学院	湖南城市学院	负责项目总体设计、任务分工、人员调配和方案实施等
张学兵	2	教师	副教授	湘潭大学	湘潭大学	对项目创新点二做出重要贡献
刘劲	3	土木工程学院副院长	副教授	湖南城市学院	湖南城市学院	对项目创新点二做出重要贡献
刘热强	4	工程总监	正高级工程师	广东省建筑工程机械施工有限公司	广东省建筑工程机械施工有限公司	对项目创新点三做出重要贡献
李克忠	5	全咨市政院院长	高级工程师	中科高盛咨询集团有限公司	湖南大学设计研究院有限公司	对项目创新点二~三做出贡献
唐盛华	6	教师	副教授	湘潭大学	湘潭大学	对项目创新点二做出贡献
唐皇	7	系主任	副教授	湖南城市学院	湖南城市学院	对项目创新点一做出贡献
王鹏	8	项目总工	高级工程师	广东省建筑工程机械施工有限公司	广东省建筑工程机械施工有限公司	对项目创新点三做出贡献
谢海鹏	9	项目总工	高级工程师	广东省建筑工程机械施工有限公司	广东省建筑工程机械施工有限公司	对项目创新点三做出贡献

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

1、湖南城市学院作为项目第 1 完成单位，负责项目的基础理论分析、试验研究、技术研发与成果推广应用等工作，主要贡献如下：

(1) 完成了素混凝土柱及考虑钢筋、钢管约束效应的混凝土柱等长期受力性能试验研究。完成了矩形、T 形、箱形等截面形式和钢筋混凝土、普通预应力混凝土、CFRP 预应力混凝土等结构形式的简支梁长期受力性能研究。完成了钢筋混凝土梁、预应力混凝土梁等结构形式的连续梁长期受力性能试验研究。完成了腐蚀与荷载耦合作用下钢筋混凝土柱、钢-混凝土组合梁、栓钉剪力连接件等受力性能研究。提出了大跨径城市桥梁长期力学性能分析理论。

(2) 完成了钢管混凝土柱轴压或纯弯荷载试验、钢-混凝土组合梁低周往复荷载试验。开展了矩形、T 形、箱形、组合结构等截面形式的简支（连续）梁极限承载力试验研究。形成了大跨径城市桥梁承载力评估方法。

(3) 授权发明专利 3 项，出版专著 1 部，发表论文 65 篇。

(4) 作为牵头单位，与湖南大学设计研究院有限公司合作，将大跨径城市桥梁长期受力性能分析理论、大跨径城市桥梁静动力性能分析方法在 20 余座设计项目中应用，与广东省建筑工程机械施工有限公司合作，在 20 余座城市桥梁施工中开展技术研究，与湖南磐固建设工程有限公司等单位合作，推动桥梁支座局部顶升更换技术在 430 余座桥梁维修加固中应用。

2、湘潭大学作为项目第 2 完成单位，负责项目的基础理论分析、试验研究工作，主要贡献如下：

(1) 提出了大跨径城市桥梁损伤状态评估方法，解决了大跨径城市桥梁全寿命服役状态损伤评估技术难题，提供了大跨径城市桥梁设计、施工与维护方法的优化分析手段。

(2) 授权发明专利 8 项，发表论文 35 篇。

(3) 在岳阳七里山高架桥等桥梁支座更换与维护施工中，推广应用项目损伤识别与状态评估研究技术成果。

3、广东省建筑工程机械施工有限公司作为项目第 3 完成单位，负责施工技术研发和推广应用，主要贡献如下：

(1) 研发了下部结构承载力不足与非常规运输条件的现浇箱梁施工、预应

力箱梁斜面穿丝张拉等 4 项广东省级工法。

(2) 下部结构承载力不足与非常规运输条件的现浇箱梁施工、预应力箱梁斜面穿丝张拉施工等 4 项技术获广东省行业协会奖励。

(3) 授权发明专利 1 项、实用新型专利 15 项、发表论文 8 篇。

(4) 在广州白云国际机场扩建工程 T2 航站楼出港高架桥、惠州市金山大桥新建工程（北桥标段）项目、东莞市环莞快速路常虎立交桥等 20 余座桥梁施工中，推广应用项目研究技术成果。

4、湖南大学设计研究院有限公司作为项目第 4 完成单位，负责桥梁设计关键技术研发及成果推广应用，主要贡献如下：

(1) 研发了梁桥体外预应力加固应用关键技术，完成了复杂异形空间受力钢管混凝土拱桥的整体和局部空间受力试验研究与理论分析。

(2) 成果“常德市沾天湖东岸栈桥工程项目”获 2017 年度全国优秀工程勘察设计奖市政公用工程道路桥隧二等奖，成果“常德环湖路项目”获 2017 年度全国优秀工程勘察设计奖市政公用工程道路桥隧三等奖，成果“常德大道（江北城区段）改扩建工程”获 2015 年度全国优秀工程勘察设计奖市政公用工程道路桥隧三等奖，并获其他省级行业设计奖 6 项，发表论文 4 篇。

(3) 在常德市沾天湖龙头拱桥、常德柳叶大道西延线内河桥、常德紫缘路北延立交桥等 20 余座桥梁设计中推广应用项目研究技术成果。

九、主要完成人合作关系说明

项目负责人曹国辉与其他项目完成人有着长期的科学研究与技术开发合作。

(1) 项目第 2 完成人张学兵，长期同曹国辉进行本项目相关的科研，双方研究生导师均为湖南大学方志教授，研究方向相近，并合作发表学术论文。与项目第 6 完成人唐盛华为工作单位同事，合作申请多项发明专利。

(2) 项目第 3 完成人刘劲，与曹国辉为工作单位同事，双方研究生导师均为湖南大学方志教授，研究方向相近，长期合作从事本项目相关的科研，并合作发表学术论文。

(3) 项目第 4 完成人刘热强，长期同曹国辉进行本项目相关的科研和技术推广，2015 年合作研究成果“沿海深厚海相软土地基的塑料排水板和袋装砂井联合加固技术研究”获湖南省科技进步三等奖，并合作发表学术论文。

(4) 项目第 5 完成人李克忠，长期同曹国辉进行本项目相关的科研和技术推广，2006 年双方签订技术服务合同书，开展梁桥体外预应力加固科研项目合作，在湖南城市学院结构试验室完成了 1:4 比例（3×8.16m）的三跨预应力混凝土箱梁桥试验研究，并合作发表学术论文。

(5) 项目第 6 完成人唐盛华，与曹国辉研究生导师同为湖南大学方志教授，研究方向相近。与张学兵为工作单位同事，合作申请多项发明专利。

(6) 项目第 7 完成人唐皇，与曹国辉为工作单位同事，合作开展科研工作，并发表学术论文。

(7) 项目第 8 完成人王鹏、第 9 完成人谢海鹏，长期同曹国辉进行本项目相关的科研和技术推广，曹国辉所在的湖南城市学院与王鹏、谢海鹏所在的广东省建筑工程机械施工有限公司分别于 2011 年、2016 年签订校企合作协议。王鹏、谢海鹏同刘热强为工作单位同事，他们对本项目工法研发、专利申请以及项目推广发挥了重要作用。

主要完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/排名	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	论文	张学兵/1 曹国辉/3	2021	An experimental study on the flexural behavior of local prestressed steel-concrete composite continuous box beams	附件 11	

2	论文	曹国辉/1 刘热强/2 刘劲/3	2019	Application of temporary reinforcement technology in insufficient construction of the understructure bearing capacity of viaduct	附件 18	
3	科研获奖	曹国辉/1 刘热强/5	2015	沿海深厚海相软土地基的塑料排水板和袋装砂井联合加固技术研究（湖南省科学技术进步奖三等奖）	附件 28	
4	科研合同	曹国辉/1 李克忠/2	2006	梁桥体外预应力加固模型科研试验	附件 27	
5	发明专利	唐盛华/1 张学兵/3	2019	均匀荷载面曲率的简支梁裂纹损伤识别方法	附件 10	
6	论文	曹国辉/1 唐皇/5	2019	Creep test and analysis of concrete columns under corrosion and load coupling	附件 29	
7	工法	刘热强/1, 王鹏/4, 谢海鹏/5	2017	下部结构承载力不足与非常规运输条件的现浇箱梁施工工法	附件 14	
8	工法	谢海鹏/1, 刘热强/2, 王鹏/3	2018	预应力箱梁斜面穿丝张拉工法	附件 14	