

2019 年国家科学技术进步奖项目提名 公示内容

提各单位：湖南省科学技术厅

一、项目名称：复杂悬索桥计算理论与架设新技术及其应用

二、提各单位意见：

该项目针对复杂悬索桥受力计算现有主缆找形与有限元理论存在不收敛、不精细等理论难题，其索股架设、体系转换（吊索张拉）和加劲梁架设的已有或常规施工技术存在工时长、投入大、适应范围窄，甚至有较大安全风险等技术难题，进行了系统的试验、理论、设计及建造关键技术研究，形成了复杂悬索桥精细计算理论与架设新技术。发现了索段状态方程无解情形，提出了带惩罚因子搜索的 E-M 法；创立了空间缆索鞍座设计位置确定的分离算法；导出了各情形索单元杆端力公式，构建了适应混凝土等的“时变止效应”CR 列式梁单元、滚轴式支承单元、考虑剪切变形的波折腹板梁单元等单元模型；提出了合理成桥状态确定方法；研发了解析法与有限元法有机结合的复杂悬索桥非线性分析软件。发明了垂度适应性广的主缆架设简便精细调索技术、自锚式悬索桥的散索套无支撑体系转换技术、中跨斜拉-边跨悬吊三塔组合索桥的“先合梁后架缆”体系转换技术、双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术，提出了双塔大横向倾角主缆自锚式悬索桥的少临时索体系转换技术。研发了钢主梁架设的无应力构形拼接自适应控制的相位变换技术，创立了变曲率竖曲线梁体顶推滑道标高确定的单步模数搜索合成方法。高质量地建成了多座具有世界影响且各具特色的特大跨度桥梁，并在广州黄埔大桥、青岛海湾大桥等特大桥建设中推广。成果亦可用于斜拉扣挂施工拱桥、顶推施工梁桥等架设与控制，应用前景广阔，显著推动行业科技进步，促进社会、经济发展。

对照国家科技进步奖授奖条件，提名该项目申报 2019 年国家科技进步奖二等奖。

三、项目简介：

复杂悬索桥即缆索系统可采用自锚、空间缆或悬吊-斜拉组合等形式，加劲梁可采用钢、砼或者钢-砼组合等材料的悬索桥，构件与材料可灵活组合，材性尽、造型美、创意新的空间巨大。但复杂悬索桥受力计算现有主缆找形与有限元理论存在不收敛、不精细等理论难题，其索股架设、体系转换（吊索张拉）和加劲梁架设的已有或常规施工技术存在工时长、投入大、适应范围窄，甚至有较大安全风险等技术难题。针对该理论与技术难题，在国家级课题和重大工程项目资助下，开展联合攻关，历经十八年，得以有效解决，并形成了具有国际领先水平的创新成果。

1) 建立了复杂悬索桥计算理论，研发了具有自主知识产权的软件。理论上论证了索段状态方程的无解情形，提出了带惩罚因子搜索的 E-M 法；创立了空间缆索鞍座设计位置确定的分离算法；率先导出了各情形索单元的杆端力，构建了适应混凝土等的“时变止效应”CR 列式梁单元、滚轴式支承单元、考虑剪切变形的波折腹板梁单元等单元模型；提出了合理成桥状态确定的“渐进模型法”；发明了新型主缆锚固系统，设计了无锚跨三跨超大跨径自锚式悬索桥；研发了基于解析法与有限元法有机结合的复杂悬索桥非线性分析软件，有效解决了其设计与架设过程的计算问题，极大丰富和发展了悬索桥理论。

2) 发明了复杂悬索桥主缆架设与体系转换系列关键技术。发明了垂度适应性广的主缆（猫道承重索）索股简便精调技术，节约索股架设工时 40% 以上；发明了自锚式悬索桥散索套无支撑体系转换技术、中跨斜拉-边跨悬吊三塔组合索桥的“先合梁后架缆”体系转换技术和双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术，提出了双塔大横向倾角自锚式悬索桥的少临时索体系转换技术和独塔单跨自锚式悬索桥多点同步连续调索体系转换技术，显著减少了施工步骤、体系转换投入及安全风险，节约成本 20%~50%。

3) 首创了复杂悬索桥钢梁架设的一系列关键技术。首创了钢梁匹配检验的虚拟装配方法、钢梁顶推架设的无应力构形拼接自适应控制的相位变换技术、变曲率竖曲线梁体顶推滑道标高方案确定的单步模数搜索合成法，以节省 20% 以上时间和资源消耗，保证了顶推梁体无应力构形高精度实现和变曲率竖曲线梁体安全就位；发

明了大偏角吊装的跨缆吊机及其吊装技术，成倍地扩大了跨缆吊机荡移吊装的水平距离范围，适应性显著增加，架设费用节省 30% 以上。

成果保障了当时世界最大跨度自锚式悬索桥—佛山平胜大桥、世界首座中跨斜拉-边跨悬吊组合索桥—汉中西二环大桥、世界最大主缆横向倾角悬索桥—杭州江东大桥、典型超千米跨悬索桥—珠江黄埔大桥等高效高质量建成，社会经济效益显著。获发明专利 14 项、实用新型专利 4 项、软件著作权 6 项；纳入行业规范 2 部；发表论文 111 篇（SCI48 篇，EI42 篇），出版专著 4 部；获省科技进步一等奖等；为近 20 年复杂悬索桥在我国多地的不断涌现做出了决定性贡献，其进一步应用前景广阔。

四、客观评价：

1、成果鉴定

1) 2014 年 7 月，由清华大学聂建国院士等组成的鉴定委员会对“复杂悬索桥施工控制计算理论与架设技术”做出评价：“该项目取得的主要创新型成果如下：**1、构建了复杂悬索桥设计与施工控制精细计算理论，研发了相应软件。2、发明了复杂悬索桥主缆架设与体系转换系列关键技术。3、建立了自锚式悬索桥钢梁架设新理论与新技术。**研究成果在世界上最大横向倾角自锚式悬索桥——杭州江东大桥、世界上首座边跨悬吊-中跨斜拉三塔组合索桥——汉中西二环大桥、当时世界最大跨度独塔双跨自锚式悬索桥——广州猎德大桥等多座悬索桥的建设中得到了成功应用，取得了显著的经济和社会效益，具有广阔的推广应用前景。鉴定委员会一致认为：**总体上达到了国际领先水平。”**

2) 2016 年 6 月，由湖南大学陈政清院士等组成的鉴定委员会对“超大跨径自锚式悬索桥成套技术”做出评价：“……，二、采用理论研究、数值计算、模型试验相结合的方法，依托桃花峪黄河大桥建设工程，开展了超大跨径自锚式悬索桥关键构造、施工技术、控制方法研究，取得了如下主要创新成果：……**3.发明了超大跨双塔三跨平面主缆自锚式悬索桥“边中共进、逐步推进”体系转换控制的新技术，减少了体系转换的施工机具用量，缩短了工期，方便了施工。……三、研究成果在世界上最大跨径的自锚式悬索桥——郑州桃花峪黄河大桥的建设中得到了成功应用，取得了显著的经济和社会效益，具有广阔的推广应用前景。综上所述，项目研究成果**

总体上达到了国际领先水平。”

3) 2008年4月,由清华大学聂建国教授等组成的鉴定委员会对“平胜大桥独塔自锚式悬索桥施工控制计算理论与施工成套技术”做出评价:“……,该项目依托佛山平胜大桥工程,针对独塔自锚式大跨度悬索桥施工控制计算理论与施工成套技术开展多项研究,取得了以下主要创新成果:(1)基于全新的滚动式支承单元模型和杆系非线性有限元“时变止效应”分析思路,提出了主缆系统快速收敛的数值分析改进算法,丰富和发展了主缆找形和非线性有限元计算理论,并研发了拥有自主知识产权的相关软件,成功地应用于平胜大桥的施工监控。……,(4)提出了独塔自锚式大跨度悬索桥体系转换方案确定的原则,改进了吊索张拉工艺,开发了“装配式延长杆”,修正了拉索频率与索力关系求解的迭代算法,发展了自锚式大跨度悬索桥体系转换的施工技术。……,研究成果对确保平胜大桥的建造质量、工程安全、缩短工期、节约成本发挥了重要作用。研究成果得到了成功应用,取得了显著的经济效益和社会效益,总体上达到国际先进水平,其中在大跨度钢箱梁滑道与斜交顶推技术、悬索桥施工控制技术方面达到国际领先水平,鉴定委员会一致同意通过鉴定。”

2、验收意见

2011年,由湖南大学陈政清、同济大学陈艾荣等教授组成的验收委员会对交通部课题“混合梁悬索桥非线性精细计算理论及其应用”验收意见如下:“项目组在开展深入细致的理论研究、软件开发、算例论证和实桥应用的基础上,取得了以下创新成果:1、提出了一种空间主缆的悬索桥缆索系统解析法求解的高效算法;2、构建了时变空间梁单元,提出了混合梁悬索桥初始构形修正的多时刻目标法;3、建立了形式上统一、节点少、精度高的悬索桥鞍座-索单元,提出了空间主缆悬索桥鞍座设计位置的精确计算方法;4、开发了具有自主知识产权的解析法与有限元法有机结合的高效高精度的混合梁空间缆索悬索桥精细计算软件;5、提出了一种自锚式悬索桥合理成桥状态与施工状态确定方法。项目所提出的混合梁悬索桥非线性精细计算理论创新性突出,并已在多项实际工程中成功应用,社会和经济效益显著,应用前景广阔。”

3、学术性评价

1) Sun Yuan、Xu Dong 教授等在国际著名期刊美国土木工程师协会(ASCE)

的《Journal of Bridge Engineering》发表的论文“New Method for Shape Finding of Self-Anchored Suspension Bridges with Three-Dimensionally Curved Cables”高度评价了项目完成人李传习等的工作“the cable segment equation is unsolvable (Li et al.2008) when...,Li et al.(2010) improved SCM by....”（发现了索段状态方程无解情形，提出了带惩罚因子的搜索算法...）

2) 中国公路学会桥梁和结构工程分会理事长张喜刚教高对本成果评价为：“李传习带领...显著推动了桥梁行业技术进步，有力促进由桥梁大国向强国迈进”。

3) ASCE 《Journal of Bridge Engineering》副主编 Suren Chen 高度评价李传习等在该刊所发文章《Control of Self-Adaptive Unstressed Configuration for Incrementally Launched Girder Bridges》：“.... Such advanced technology proposed by Prof. Li is innovative and unique”（...所提出的顶推钢梁无应力构形拼接自适应控制的相位变换理论与技术，独一无二，技术先进，...）

4、科技奖励

1) “复杂悬索桥施工控制计算理论与架设技术及其应用”，荣获 2015 年湖南省科学技术进步一等奖；

2) “佛山平胜大桥施工控制计算理论与施工成套技术”，荣获 2008 年广东省科学技术进步二等奖；

3) “超大跨径自锚式悬索桥成套技术研究及应用”，荣获 2018 年河南省科学技术进步二等奖。

五、推广应用情况：

项目主体技术在佛山平胜大桥、广州猎德大桥、杭州江东大桥、湖南张花高速澧水大桥、郑州桃花峪黄河大桥、汉中西二环大桥、广州珠江黄埔大桥等复杂悬索桥的建设中得到全面应用，各关键技术成功推广到青岛海湾大桥大沽河航道桥、张花高速猛洞河大桥、长沙市福元路湘江大桥、四川泸州沱江四桥、湖南株洲枫溪大桥中，取得了巨大的经济效益和显著社会效益。

六、主要知识产权和标准规范等目录（不超过10件）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	边跨散索套无支撑的独塔双跨自锚式悬索桥吊索张拉方法	中国	ZL201010301437.0	2012.1.18	898987	长沙理工大学	李传习；柯红军；董创文；张玉平
2	发明专利	一种边跨悬吊-中跨斜拉三塔自锚式组合索桥的架设方法	中国	ZL201110123691.0	2012.12.5	1092711	长沙理工大学	李传习；柯红军；李斌
3	发明专利	钢箱梁虚拟装配中图像采集的编码系统及方法	中国	ZL201510748160.9	2015.11.06	2315274	山东省交通规划设计院	白秀忠
4	发明专利	一种顶推变曲率竖曲线梁支点标高确定的单步模数搜索合成法	中国	ZL 201410445250.6	2017.09.26	2636886	长沙理工大学	李传习；董创文；柯红军；张玉平；刘智侃；胡硕；
5	发明专利	顶推变曲率数曲线梁支点标高确定方法	中国	ZL201410445233.2	2016.01.20	1923810	长沙理工大学	董创文；李传习；柯红军；张玉平；胡硕；郑亮亮
6	发明专利	一种小垂度基准索股垂度控制方法	中国	ZL201210360970.3	2014.7.23	1445583	长沙理工大学	李传习；董创文；柯红军；胡硕；陈思阳；张玉平
7	发明专利	顶推施工梁体无应力线形高精度实现的施工控制方法	中国	ZL201210343870.X	2014.7.23	1445700	长沙理工大学	李传习；董创文；李尧；张玉平；柯红军；王琛；彭亮
8	发明专利	大偏角吊装的跨缆吊机	中国	ZL200910205045.1	2012.8.22	1025254	长沙理工大学	董创文；李传习；赵朝阳；张玉平；柯红军；郭彤；曹水东；刘建；杨美良
9	发明专利	一种高临时墩顶推方法	中国	ZL201110384952.4	2011.11.28	1366062	中铁大桥局股份有限公司；中铁大桥局集团第一工程有限公司；中铁大桥局集团有限公司	李艳哲；秦顺全；夏学军；周功建；唐明；曹振杰；王同民；任文辉；方寅
10	软件著作权	复杂悬索桥缆索系统解析法计算软件	中国	2011SR095285	2011.12.14	0358959		李传习；柯红军

七、主要完成人情况

排序	姓名	主要贡献	工作单位	完成单位	技术职称	行政职务
1	李传习	<p>第 1 完成人。</p> <p>项目整体成果的主要构思、组织者，大部分创新成果的主要完成人。构建了复杂悬索桥计算理论，研发了相应的具有自主知识产权的软件，对创新点 1 做出了贡献；发明了复杂悬索桥主缆架设与体系转换系列关键技术，对创新点 2 做出了贡献；首创了钢梁顶推架设的相位变换技术与单模数搜索合成法，发明了钢梁大偏角吊装的跨缆吊机，对创新点 3 做出了贡献；指导完成了多座各具特色的特大跨度复杂悬索桥施工监控。</p>	长沙理工大学	长沙理工大学	教授	院长
2	柯红军	<p>第 2 完成人。</p> <p>负责子课题研究内容和技术路线制定。提出了双塔大横向倾角主缆自锚式悬索桥的少临时索体系转换技术，参与发明了自锚式悬索桥的散索套无支撑体系转换技术和中跨斜拉-边跨悬吊-塔组合索桥的“先合梁后架缆”体系转换技术。参与提出了自锚式悬索桥合理成桥状态的确定方法，研发了复杂悬索桥非线性分析软件。作为分项负责人参与了多座各具特色的特大跨度复杂悬索桥施工监控工作。</p>	长沙理工大学	长沙理工大学	副教授	无
3	刘扬	<p>第 3 完成人。</p> <p>负责子课题研究内容和技术路线制定。参与构建了复杂悬索桥计算理论，对创新点 1 做出了贡献；负责“一种小垂度基准索股垂度控制方法”在依托工程-南溪长江大桥的现场实施和测试，对创新点 2 做出了贡献。作为负责人或分项负责人参与了多座各具特色的特大跨度复杂悬索桥施工监控工作。</p>	长沙理工大学	长沙理工大学	教授	副校长
4	王中文	<p>第 4 完成人。</p> <p>参与子课题研究内容的现场组织与实施。负责“一种小垂度基准索股垂度控制方法”和“大偏角的跨缆吊机”在依托工程——广州珠江黄埔大桥的现场实施和测试方案，对创新点 2 和 3 做出了贡献。</p>	广东省长大公路工程有限公司	广东省长大公路工程有限公司	教授级高工	总工
5	贺君	<p>第 5 完成人。</p> <p>参与子课题研究内容的现场组织与实施。构建了考虑剪切变形的波折腹板梁单元等单元模型，对创新点 1 做出了贡献。参与构建了钢主梁架设的无应力构形拼接自适应控制的相位变换理论与技术，对创新点 3 做出了贡献。参与了多座各具特色的特大跨度复杂悬索桥施工监控工作。</p>	长沙理工大学	长沙理工大学	副教授	无

6	高荣堂	<p>第 6 完成人。</p> <p>负责课题的规划和协调，负责工程的组织和实施；负责“一种小垂度基准索股垂度控制方法”及“钢梁顶推架设的相位变换技术”在依托工程-佛山平胜大桥的现场实施和测试方案，对创新点 2 和 3 做出了贡献。</p>	佛山市路桥建设有限公司	佛山市路桥建设有限公司	教授级高工	无
7	姬同庚	<p>第 7 完成人。</p> <p>参与子课题研究内容的现场组织与实施。参与研究、设计了新型结构体系超大跨度自锚式悬索桥，对创新点 1 做出了贡献；负责“散索套无支撑体系转换技术”和“双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术”及“钢梁顶推架设的相位变换技术”在依托工程-郑州桃花峪黄河大桥的现场实施，对创新点 2 和 3 做出了贡献。</p>	河南省桃花峪黄河大桥投资有限公司	河南省桃花峪黄河大桥投资有限公司	教授级高工	无
8	李怀峰	<p>第 8 完成人。</p> <p>负责子课题研究内容和技术路线制定，参与子课题研究内容的现场组织与实施。发明了新型主缆锚固系统，解决了北岸不宜布设锚固跨的难题；设计与周边地形、地质、水文、景观相适应的新型结构体系超大跨度自锚式悬索桥，对创新点 1 做出了贡献。</p>	山东省交通规划设计院	山东省交通规划设计院	研究员	院长
9	李艳哲	<p>第 9 完成人。</p> <p>负责子课题研究内容和技术路线制定，参与子课题研究内容的现场组织与实施。作为施工方总工负责了“钢梁顶推架设的相位变换技术”和“双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术”在依托工程-郑州桃花峪黄河大桥的现场实施和测试方案，对创新点 2 和 3 做出了贡献。</p>	中铁大桥局集团有限公司	中铁大桥局集团有限公司	教授级高工	副总工
10	王邵锐	<p>第 10 完成人。</p> <p>负责子课题研究内容和技术路线制定。参与构建了复杂悬索桥计算理论，建立了悬索线形和内力计算带惩罚因子搜索的 E-M 法，对创新点 1 做出了贡献。</p>	重庆交通大学	重庆交通大学	副教授	无

八、主要完成单位及创新推广贡献：

(1) 长沙理工大学，第 1 完成单位

负责制定研究大纲，提出项目研究的技术路线及实施方案，承担理论及方法研究和实桥测量、测试及反馈控制工作，组织项目研究报告的编写，负责研究成果的推广应用。

在复杂悬索桥计算理论构建、相应软件研发、复杂悬索桥主缆架设与体系转换系列关键技术发明、钢主梁（钢箱、槽、波折腹板梁）顶推架设的新理论与新技术建立、钢主梁大偏角吊装的跨缆吊机发明、多座各具特色的特大跨度桥梁施工监控等方面均有实质性创新，对创新点 1~3 均有主要贡献，显著推进了行业科技进步和桥梁工程学科的发展。

(2) 广东省长大公路工程有限公司，第 2 完成单位

协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作，提出需解决的工程问题及任务目标，负责提供研究的依托工程，组织“垂度适应性更广的主缆（及猫道承重索）架设简便精细调索技术”及“钢梁大偏角吊装的跨缆吊机”等成果在广州珠江黄埔大桥的实施，对本项目创新点 2 和 3 的验证与推广应用做出了重要贡献。

(3) 山东省交通规划设计院，第 3 完成单位

协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作，提出需解决的工程问题及任务目标，针对桃花峪黄河大桥主桥独特的桥位特点，综合考虑各方面的因素，确定采用主跨 406m 的双塔自锚式悬索桥。在此基础上，通过大量研究和试验，提出了（无锚跨）带“翼型”主缆锚固构造的超大跨高桥墩自锚式悬索桥适宜结构体系，设计了世界最大跨度的自锚式悬索桥，对创新点 1 做出了贡献。

(4) 佛山市路桥建设有限公司，第 4 完成单位

协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作，负责组织“一种小垂度基准索股垂度控制方法”及“钢梁顶推架设的相位变换技术”在依托工程-佛山平胜大桥的现场实施，对创新点 2 和 3 做出了贡献。

(5) 中铁大桥局集团有限公司，第 5 完成单位

协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作。承担本项目的工程之一——郑州桃花峪黄河大桥的施工，负责本项目所取得的“双塔三跨自锚式悬索桥“边中共

进”的逐步推进体系转换技术”、“散索套无支撑体系转换技术”、“钢梁顶推架设的相位变换技术”及“新型主缆锚固系统”等成果在桃花峪黄河大桥中的应用、实施，大大加快了桃花峪黄河大桥的建设步伐，为创新点 2、3 做出了贡献。

(6) 重庆交通大学，第 6 完成单位

协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作。建立了悬索线形和内力计算的带惩罚因子搜索的 E-M 法，对创新点 1 做出了贡献；通过开展施工过程全桥模型试验研究和理论研究，论证了桃花峪黄河大桥结构体系的合理性和施工过程的安全性，对创新点 1 做出了贡献。

(7) 河南省桃花峪黄河大桥投资有限公司，第 7 完成单位

协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作。参与第三完成单位的研究工作，论证了“一种适用于无锚跨自锚式悬索桥的外悬式主缆锚固构造”的合理性，并指导设计了目前世界上最大跨度的自锚式悬索桥-郑州桃花峪黄河大桥，组织了“双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术”、“钢梁顶推架设的相位变换技术”等成果在该桥的顺利实施，为创新点 1~3 做出了贡献。

九、完成人合作关系说明：

本项目完成人由七个完成单位的相关人员组成。

项目第一完成单位长沙理工大学承担了与复杂悬索桥计算理论、架设及控制技术相关的三项国家自然科学基金面上项目及 2 项省部级项目的研究工作，并承担了本项目的依托工程——多座复杂悬索桥（包括佛山平胜大桥、广州猎德大桥、杭州江东大桥、郑州桃花峪黄河大桥、汉中西二环大桥、张花高速澧水大桥、株洲枫溪大桥等）的施工监控工作。在整个项目研究中，负责制定研究大纲，提出项目研究的技术路线及实施方案，承担理论及方法研究和实桥测量、测试及反馈控制工作，组织项目研究报告的编写，负责研究成果的推广应用。在复杂悬索桥计算理论构建、相应软件研发、复杂悬索桥主缆架设与体系转换系列关键技术发明、钢主梁（钢箱、槽、波折腹板梁）顶推架设的新理论与新技术建立、钢主梁大偏角吊装的跨缆吊机发明、多座各具特色的特大跨度桥梁施工监控等方面均有实质性创新，对创新点 1、2 和 3 均有主要贡献，显著推进了行业科技进步和桥梁工程学科的发展。

项目第二完成单位广东省长大公路工程有限公司为广州珠江黄埔大桥的施工方，在本项目中协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作，负责提供研究的依托工程，组织“垂度适应性更广的主缆（及猫道承重索）架设简便精细调索技术”及“钢梁大偏角吊装的跨缆吊机”等成果在广州珠江黄埔大桥的实施及测试，对本项目创新点 2 和 3 的验证与推广应用做出了重要贡献。

项目第三完成单位山东省交通规划设计院为本项目依托工程之一-郑州桃花峪黄河大桥的设计方。该院针对桃花峪黄河大桥主桥独特的桥位特点，综合考虑各方面的因素，发明了带“翼型”的无锚跨自锚式悬索桥主缆锚固构造，设计了世界最大跨度的自锚式悬索桥，对创新点 1 做出了贡献。

项目第四完成单位佛山市路桥建设有限公司作为本项目的依托工程之一-佛山平胜大桥的建设主管方，负责组织了“一种小垂度基准索股垂度控制方法”及“钢梁顶推架设的相位变换技术”在该桥的现场实施，对创新点 2 和 3 做出了贡献。

项目第五完成单位中铁大桥局集团有限公司作为本项目的依托工程之一-郑州桃花峪黄河大桥的施工方，负责本项目所取得的“双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术”、“散索套无支撑体系转换技术”、“钢梁顶推架设的相位变换技术”及“新型主缆锚固系统”等成果在桃花峪黄河大桥中的具体应用、实施，大大加快了桃花峪黄河大桥的建设步伐，为创新点 2、3 做出了贡献。

项目第六完成单位重庆交通大学作为本项目的依托工程之一-郑州桃花峪黄河大桥的模型试验方，协助第一完成单位进行计算理论研究及模型试验工作。建立了悬索线形和内力计算的带惩罚因子搜索的 E-M 法，对创新点 1 做出了贡献；通过开展施工过程全桥模型试验研究和理论研究，论证了桃花峪黄河大桥结构体系的合理性和体系转换施工过程的安全性，对创新点 1 和 2 做出了贡献。

项目第七完成河南省桃花峪黄河大桥投资有限公司作为本项目的依托工程之一的业主，协助第一完成单位制定子课题研究大纲和实施方案，参与部分研究工作。参与第三完成单位的研究工作，论证了“一种适用于无锚跨自锚式悬索桥的外悬式主缆锚固构造”的合理性，并指导设计了目前世界上最大跨度的自锚式悬索桥-郑州桃花峪黄河大桥，组织了“双塔三跨自锚式悬索桥“边中共进”的逐步推进体系转换技术”、“钢梁顶推架设的相位变换技术”等成果在该桥的顺利实施，为创新点 1~3 做出了贡献。

所有完成人均全程参与了项目研究，对项目成果的贡献见“主要完成人情况表”。

完成人合作关系情况表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同获奖	李传习/1, 李怀峰/3, 姬同庚/4, 李艳哲/6, 柯红军/7, 王邵锐/9	2011-2016	超大跨径自锚式悬索桥成套技术研究及应用	获奖证书	
2	共同获奖	李传习/1, 柯红军/2, 贺君/5,	2006-2014	复杂悬索桥施工控制计算理论与架设技术及其应用	获奖证书	
3	共同获奖	李传习/1, 高荣堂/2, 柯红军/8,	2001-2007	平胜大桥独塔自锚式悬索桥施工控制计算理论与施工成套技术	获奖证书	
4	论文合著	李传习/1, 贺君/2, 刘扬/4, 柯红军/5	2016-2018	An Improved Analytical Algorithm on Main Cable System of Suspension Bridge	论文	
5	论文合著	王中文/1, 李传习/2, 柯红军/5	2016-2017	虎门二桥坭洲水道桥猫道设计与静力安全复核	论文	
6	项目合作	李传习、刘扬	2008-2015	广州猎德大桥施工监控、四川南溪长江大桥施工监控	业绩证明	
7	项目合作	李传习、王中文	2007-2010	虎门二桥坭洲水道桥施工辅控	业绩证明	