

陕西省科学技术进步奖公示

(2025年度)

成果登记号：9612024Y2847

一、项目基本情况

项目名称	大跨度桥梁施工质量及效能双向提升的成套技术开发及应用		
主要完成人	张学钢，曾绍武，郝付军，庞维福，杨勃，廖文华		
主要完成单位	陕西铁路工程职业技术学院		
所属国民经济行业	其他道路、隧道和桥梁工程建筑		
所属陕西省重点发展领域	交通运输业		
任务来源	<input type="checkbox"/> 国家计划 <input type="checkbox"/> 国家基金 <input type="checkbox"/> 部委计划 <input type="checkbox"/> 省级计划 <input type="checkbox"/> 省市基金 <input checked="" type="checkbox"/> 委厅局和设区市级计划 <input type="checkbox"/> 其他企业 <input type="checkbox"/> 国际合作 <input type="checkbox"/> 自选 <input type="checkbox"/> 其他		
具体计划、基金的名称和编号：优化组合预测模型在大跨度桥梁施工控制中的研究与应用(2017JCYJ-3-5)；桥梁深水基础施工装备—浮式平台升沉补偿装置的设计研究(18JK0178)；基于 BIM 技术的高大支架群三维设计与平台应用研究(ZDYF-JCYJ-zsg)；杭黄铁路项目 BIM 技术应用研究(2014STYHXKY042)；崇左至靖西高速公路胡润 1 号大桥 BIM 技术应用研究(2013STYIIXKY025)。			
已呈交的科技报告编号：			
授权发明专利（项）	6	授权的其他知识产权（项）	4
项目起止时间：	起始：2013 年 6 月 1 日	完成：2023 年 9 月 30 日	

二、提名意见

提名者	渭南市人民政府		
通讯地址	渭南市科学技术局	邮政编码	714000
<p>提名意见：</p> <p>项目依托 3 项省级及市厅级课题，系统开发了大跨度桥梁施工质量及效能双向提升成套技术。主要技术创新包括：科技创新一：提出 RBF 神经网络组合模型的预测方法与技术思路；同时利用层次分析法构建桥梁上部结构施工风险评价体系，采用专家法分析风险隶属度，以 P×C 法对桥梁的上部结构进行了施工风险评估，实现对桥梁施工的线形精准控制与风险精准管控。科技创新二：提出大跨度桥梁构件信息编码规则与技术标准，实现对施工过程质量与工程材料数量的精细化管控。科技创新三：研发了一种浮式平台不平衡荷载补偿装置和一种基于桥梁施工用顶升装置等多项发明专利，解决了深水基础施工浮式平台不平衡荷载动态补偿与高桥墩支架精准智能控制顶升高度等系列施工技术难题。科技创新四：自主底层研发了铁路桥梁工程施工虚拟仿真系统 V1.0 教学软件，创设虚实结合、理实一体立体化教学资源与空间，突破了大跨度桥梁施工教学的重点与难点问题。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。</p>			
提名项目奖励等级意向			
一等奖			
二等奖			
三等奖		√	

三、项目简介

1 立项背景

长期以来，由于施工技术难度大、风险多、工期长等因素，处于河流、海湾的高桥墩、大跨径桥梁成为交通建设中的重难点工程、控制性工程。高墩大跨深水桥梁工程具有施工现场高危作业密集，危险源众多，风险控制难度大；施工工艺与工序复杂，技术要求高；工程规模大、工期长，成本高，质量标准严格；参与单位众多，协调难度大；项目信息来源广泛、类型繁杂、管理难于精细化等问题。传统的施工与管理模式导致作业效率低下、返工率高、信息化水平不足，难以满足交通强国背景下对基础设施建设质量与效能的更高要求。因此，亟需对大跨度桥梁施工过程进行系统性提升，以实现质量、效率与管理的全面优化。“大跨度桥梁施工质量及效能双向提升成套技术”针对高墩大跨深水桥梁工程面临的技术难题，采用 BIM+GIS+虚拟仿真技术优化桥梁施工方案，旨在解决大跨度桥梁施工线性与应力精准控制、施工精细化管理与成本精确管理、施工配套实用装置和设备自主研发等系列技术问题，并通过自主底层开发将研究成果嵌入虚拟仿真教学软件以全面系统提升教学质量与教学效果，实现科学技术成果反哺教育教学的目标。

2 主要科技创新

为解决高墩大跨深水桥梁工程施工技术难题，针对施工风险大、施工工艺复杂、信息化管理滞后、施工设备智能化程度低等系列问题，系统开发了大跨度桥梁施工质量及效能双向提升成套技术。主要技术创新包括：

科技创新一：针对大跨度桥梁施工线形与应力应变控制精度要求高，创建大跨度桥梁的 MC 误差修正优化组合预测模型，提出 RBF 神经网络组合模型的预测方法与技术思路；同时利用层次分析法构建桥梁上部结构施工风险评价体系，采用专家法分析风险隶属度，以 P×C 法对桥梁的上部结构进行了施工风险评估，实现对桥梁施工的线形精准控制与风险精准管控。

科技创新二：针对大跨度桥梁传统施工管理方法信息化水平滞后、工程材料数量不透明、施工成本高、浪费大等问题，研发大跨度桥梁 BIM 协同信息管理平台，提出大跨度桥梁构件信息编码规则与技术标准，实现对施工过程质量与工程材料数量的精细化管控。

科技创新三：针对深水高墩大跨桥梁施工外部环境差，水文地质条件复杂，高空深水作业危险源多施工风险控制难度大等问题，研发了一种浮式平台不平衡荷载补偿装置和一种基于桥梁施工用顶升装置等多项发明专利，解决了深水基础施工浮式平台不平衡荷载动态补偿与高桥墩支架精准智能控制顶升高度等系列施工技术难题。

科技创新四：针对大跨度桥梁结构普通钢筋数量多，三向预应力管道空间上纵横交错，施工工艺与工序复杂，教学难度极大，自主底层研发了铁路桥梁工程施工虚拟仿真系统 V1.0 教学软件，创设虚实结合、理实一体立体化教学资源与空间，突破了大跨度桥梁施工教学的重点与难点问题。

3 经济技术指标

(1)创建大跨度桥梁的 MC 误差修正优化组合预测模型,提出 RBF 神经网络组合模型的预测方法与技术思路,利用层次分析法+P×C 法预测施工风险,进一步减小了预测误差,优化后预测结果的相对误差期望值为 0.86%,方差值为 0.0973mm²,施工过程中线形最大偏差在±2.0cm 以内,所有合龙点的相对误差在±1.5cm 以内,实现对桥梁施工的线条精准控制与变形精确预测;

(2)大跨度桥梁 BIM 协同信息管理平台,提出大跨度桥梁构件信息编码规则与技术标准,实现桥精细化主要部件与钢筋模型的构建与精细化管理,解决施工图纸复核与材料用量核算问题,BIM 建模速度提升 2.5 倍,材料节省率提高 15%,质量安全事故率降低 35%;

(3)研发的一种浮式平台不平衡荷载补偿装置使得施工工期进度提升 16%,研发的一种基于桥梁施工用顶升装置使得施工精度控制在 0.0035m 之内;

(4)自主底层研发了铁路桥梁工程施工虚拟仿真系统 V1.0 教学软件,使得学习抬头率参与度提高 2 倍,学习成果提交率提高 25%,学习成果准确率提升 33%。

4 促进行业科技进步作业及应用推广

项目依托 3 项陕西省市厅级纵向课题,2 项国有大型铁路、公路企业委托的技术研发横向科研课题,通过基础理论研究和关键技术开发,在大跨度桥梁施工质量及效能双向提升关键技术与产业化应用方面取得丰硕的成果,先后编制建筑信息模型(BIM)职业技能等级标准 1 部、

方技术规程 2 部、工法 3 部,授权发明专利 4 项,实用新型专利 20 余项;发表学术论文 120 余篇,EI、CSCD、北大核心期刊 30 余篇;培养博士生 3 名、硕士 18 名;获得中国建筑业协会全国二等奖以及职业教育优秀科技成果一等奖。

2018 年 9 月 26 日,中国中铁股份有限公司组织专家对其中部分成果“高铁站场现浇梁高支架群信息化技术应用研究”进行了网络评审,参加评审鉴定的有中铁四局、中铁大桥局、中铁隧道局、中铁二院等单位的专家,专家一致认为:(1)基于 Revit 软件按照施工阶段的工程信息需要,开发适用于桥梁结构参数化族库,研发出桥梁工程 BIM 建模与设计优化方法,解决了桥梁工程的 BIM 建模难题;(2)根据 BIM 模型的转换为 Midas 模型并进行受力分析,实现 BIM 模型与 MIDAS 软件之间数据的对接;(3)对施工计划进行动态模拟实时获取人员、机械、材料的投入情况,并对滞后的工期进行合理调整,确保科学、合理完成工作计划;(4)依托 BIM 模型,从支架系统到梁体、钢筋及预应力管道的空间进行分析,提前发现空间碰撞关系,并在现场施工时进行合理规避,提高了生产效率。专家组认为该研究成果已在杭黄铁路得到全面应用,社会、经济效益优良。专家委员会认为该成果达到国内领先水平。

项目组通过开展各类技术服务,在杭黄高铁、商合杭铁路、南天高速公路等多个项目通过成果应用为企业节省和挽回损失产生的直接或间接经济价值达 3600 余万元,涉及到的大跨度桥梁产值 320 余亿元。

四、客观评价

本项目基于大跨度桥梁施工质量与效能提升关键技术问题，从施工线形控制、施工信息化管理、施工装置设备研发、虚拟仿真系统软件开发四方面入手，结合大跨度桥梁施工行业技术需求，开发了“大跨度桥梁施工质量与效能双向提升的成套技术”，在我国大跨度桥梁建设工程领域中得到广泛的推广应用。

(1) 成果鉴定结论

2018年9月26日，中国中铁股份有限公司组织专家对“高铁战场现浇梁高支架群信息化技术应用研究”成果进行了网络评审，参加评审鉴定的有中铁四局、中铁六局、中铁八局、中铁大桥局、中铁隧道局、中铁二院、中铁山桥等单位的专家，专家委员会认为该

(2) 成果验收意见

2020年6月18日，渭南市科技局组织有关专家，对陕西铁路工程职业技术学院完成的渭南市科技计划项目“优化组合预测模型在大跨度桥梁施工控制中的研究与应用”（项目编号：2017JCYJ-3-5）进行了验收。验收委员会审阅了项目工作及技术总结报告，资金到账和支出凭证等相关资料，经过质询和讨论，形成验收意见如下：1. 验收资料齐全，符合验收要求；2. 项目构建了桥梁的MC误差修正优化的组合预测模型，基于非定权组合中的RBF和BP神经网络模型，提出了大跨度桥梁施工变形预测方法；3. 项目发表核心论文1篇，授权专利1项。按照《渭南市科技计划项目管理办法》的要求，验收委员会一致认为该项目基本完成了合同规定的指标，专项资金使用合理，同意通过验收。验收人为技术专家组长西安建筑科技大学博士生导师黄炜教授，技术专家长安大学博士生导师毛雪松教授，技术专家西南交通大学博士生导师任娟娟教授，技术专家陕西铁路工程职业技术学院张碧教授，财务专家陕西兴和会计师事务所唐爱军注册会计师。

2022年10月26日，渭南市科学技术局组织有关专家对曾绍武承担的（一般科研发展计划项目、科技创新和中小企业创新扶持资金）项目基于BIM技术的高大支架群三维设计与平台应用研（项目编号：ZDYF-JCYJ-72zsg）进行验收。验收委员会听取了项目工作及技术总结报告，审阅了相关资料。经过质询和讨论，形成如下验收意见：1. 验收资料基本齐全，符合验收要求。2. 项目资金使用合理。3. 经济、社会效益良好。按照《渭南市科技计划项目管理办法》的要求，验收委员会一致认为该项目基本完成了合同规定的指标，专项资金使用合理，同意通过验收。验收人为技术专家组长西北工业大学博士生导师李克智教授，技术专家西安理工大学赵钦教授，技术专家长安大学庄建琦教授，技术专家陕西工业职业技术学院刘引涛教授，财务专家陕西金鹏会计师事务所有限责任公司徒淑敏注册会计师。

(3) 科技查新结论

2019年8月16日，山西省科学技术情报研究所经对比，“高铁战场现浇梁高支架群信息化技术应用研究”项目与已有报道的区别为：1) 根据人工设计的支架方案建立BIM模型，通过模拟施工进行优化，确定支架周转材料的使用峰值及总量；2) 研发软件插件使BIM模型可直接导入Midas软件中进行力学分析计算，避免重复建模；3) BIM技术对特大桥施工进行4D施工进度控制

模拟，并跟踪进度，及时修正，指导施工。在检索范围内，除该项目委托人发表的论文外，未见与上述研究内容相同的其他公开文献报道。

(4) 成果科技奖励

研究相关成果得到了行业、企业、协会、专业委员会以及渭南市人民政府的认可，获得各类奖励如下：

[1]2015年，工程项目施工仿真综合教学平台的开发与应用，职业技术教育优秀科研成果一等奖，中国职业技术教育学会轨道交通专业委员会；

[2]2016年，杭黄高铁车站异型现浇梁高支架群施工 BIM 技术应用，中国建设工程 BIM 大赛二等奖，中国建筑业协会。

(5) 重要媒体报道

新华网、中国桥网、中隧桥网等新闻媒体对应用本项目成果的国家“十三五”建设规划重点工程“杭黄铁路”“南天高速”等项目进行了报道，项目团队成员被中国青年报以“活跃在施工企业一线的 BIM 技术尖兵”为标题进行了长篇幅报道，获得社会的广泛认可，提升了学校和社会的综合影响力。

五、应用情况和效益

1. 应用情况（限 2 页）

项目组先后通过开展各类技术服务，在杭黄高铁、商合杭铁路、南天高速公路等多个项目通过成果应用为企业节省和挽回损失产生的直接间接经济价值达 3600 余万元，涉及到的大跨度桥梁产值 320 余亿元，实现了大跨度桥梁施工生产过程中良好的社会效益与经济效益。

项目以解决大跨度桥梁应力应变与线形控制精度要求高、施工工艺复杂、施工难度高、施工管理信息化水平要求高、高墩大跨深水环境下施工设备要求智能化程度高等系列技术难题，形成了服务于大跨度桥梁施工质量与效能提升的成套新技术，研究成果已转化为生产力，在中铁三局等十余家企业深度应用，为工程单位产生了良好的经济效益和社会效益。

成果在中铁三局集进行了转化，形成了集团级别的项目信息协同管理平台。针对杭黄高铁建德站站场地形地貌复杂，桥墩高度变化大，18 种现浇非标准箱梁型式各异，支架搭设、拆除、周转施工组织难度大，提出采用 Revit 建立支架贝雷梁 BIM 模型进行三维审查细化支架布置方案，三维技术交底，工程材料数量提取，虚拟推演施工过程，4D 施工进度动态控制，材料周转方案优化，采用 Midas.civil 进行力学分析计算，优化支架设计方案，确保支架布置形式合理，支架结构安全稳定。

成果在中交隧道局承建的商合杭铁路太和特大桥项目上进行了试用。商合杭铁路太和特大桥为连续刚构拱桥，该桥跨度大，预埋件多，工序繁琐，工艺流程复杂。运用 BIM 技术快速提取统计工程量，实现材料精细化管理，减少浪费；钢筋与管道碰撞检查，合理避让冲突，提高绑扎工效；精确定位拱脚预埋劲性骨架，模拟施工确保拱圈精准安装；4D 施工进度控制，配合项目部做好施工进度管控。同时利用灰色控制理论优化组合预测模型确保施工线形精度，采用支架智能顶升和浮式平台不平衡荷载补偿装置确保大桥施工安全。

表 1. 主要应用单位情况

序号	单位名称	应用技术	应用起止时间	应用对象及规模	单位联系人 /电话
1	中铁三局集团有限公司	创新点 1、 2、3	2015 年 3 月至 2015 年 8 月	杭黄铁路项目 BIM 技术应用研究, 投资约 38 亿元	赵永锋 /135136495 07
		创新点 1、 2、3、4	2021 年 3 月至 2021 年 12 月	沪苏湖铁路工程站前 I 标项目部工程技 术咨询服务, 投资约 46 亿元	
2	中铁一局集团有限公司	创新点 1、 2、3、4	2020 年 7 月至 2021 年 1 月	南天项目 BIM 技术应用研究, 投资约 22 亿元	李季晖 /186091756 767
		创新点 1、	2014 年 8 月至	崇左至靖西高速公路湖润 1 号大桥 BIM	

		2、3	2015年3月	技术应用研究,投资约25亿元	
		创新点2、3、4	2020年7月至2021年2月	绥延高速土建3、路面1标档案资料技术服务项目,投资约28亿元	
3	中铁十四局集团有限公司	创新点1、2、3、4	2020年7月至2020年10月	济莱高铁6标项目部一工区工程技术咨询服务,投资约52亿元	秦绪彬 /183137372
		创新点2、3、4	2019年3月至2019年6月	BIM技术在北京丰台站改建站区站前工程施工中的应用研究,投资约24亿元	53
4	中交隧道局集团有限公司	创新点1、2、3、4	2017年4月至2017年10月	太和特大桥BIM技术应用研究,投资约36亿元	王明强 /188318889 17
5	中铁大桥局集团有限公司	创新点1、2、3、4	2019年7月至2020年3月	杭绍台铁路项目小舜江特大桥(86+164+86)曲弦钢桁加劲连续梁BIM技术服务,投资约48亿元	田树坤 /152150735 36
6	陕西中辉岩土建筑工程有限公司	创新点2、3、4	2021年9月至2022年3月	中国西部科技创新港高端人才生活基地南洋东院一支护桩施工技术服务项目,投资约0.8亿元	郭伟 /188915331 13
7	西安中勘工程有限公司	创新点2、3	2022年3月至2022年11月	志丹县第八幼儿园建设项目工程(勘察标段)技术服务,投资约0.4亿元	王玉波 /159029268 33
8	陕西天度云激光科技有限公司	创新点2、4	2021年6月至2022年6月	基于数字孪生的中车青岛四方股份公司虚拟工厂集成技术研究,投资约2.8亿元	杨文龙 /181619315 17

2. 经济效益和社会效益（限 2 页）

项目依托 3 项陕西省市厅级纵向课题、2 项国有大型铁路、公路企业委托的技术研发横向科研课题，通过基础理论研究和关键技术开发，在大跨度桥梁施工质量及效能双向提升关键技术与产业化应用方面取得丰硕的成果，先后编制建筑信息模型（BIM）职业技能等级标准 1 部、地方技术规程 2 部、工法 3 部，授权发明专利 2 项，实用新型专利 20 余项；发表学术论文 120 余篇，EI、CSCD、北大核心期刊 30 余篇；培养博士生 3 名、硕士 18 名；获得中国建筑业协会全国二等奖以及职业教育优秀科技成果一等奖。

（1） 创建大跨度桥梁的 MC 误差修正优化组合预测模型，提出 RBF 神经网络组合模型的预测方法与技术思路，进一步减小了预测误差，优化后预测结果的相对误差期望值为 0.86%，方差值为 0.0973mm²，施工过程中线形最大偏差在 2.0cm 以内，所有合龙点的相对误差在 1.5cm 以内，实现对桥梁施工过程的线形精准控制与变形精确预测；

（2） 大跨度桥梁 BIM 协同信息管理平台，提出大跨度桥梁构件信息编码规则与技术标准，实现桥梁精细化主要部件与钢筋模型的构建与精细化管理，解决施工图纸复核与材料用量核算问题，BIM 建模速度提升 2.5 倍，材料节省率提高 15%，质量安全事故率降低 35%；

（3） 研发了一种浮式平台不平衡荷载补偿装置使得施工工期进度提升 16%，研发了一种基于桥梁施工用顶升装置使得施工精度控制在 0.0035m 之内；

（4） 自主底层研发了铁路桥梁工程施工虚拟仿真系统 V1.0 教学软件，使得学习抬头率参与度提高 2 倍，学习成果提交率提高 25%，学习成果准确率提升 33%。

（5） 项目组通过开展各类技术服务，在杭黄高铁、商合杭铁路、南天高速公路等多个项目通过成果应用为企业节省和挽回损失产生的直接间接经济价值达 3600 余万元，涉及到的大跨度桥梁产值 320 余亿元。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种浮式平台不平衡荷载补偿装置	中国	ZL201810070846.0	2019-09-13	第3527893号	陕西铁路工程职业技术学院	廖文华
2	发明专利	一种基于桥梁施工用顶升装置	中国	ZL201910278023.1	2021-03-20	第4281779号	陕西铁路工程职业技术学院	杨勃、陈艳茹、杨江朋
3	发明专利	一种用于桥梁悬臂浇筑施工的物资与进度信息化管理系统	中国	ZL201811629719.6	2022-02-25	第4958815号	陕西铁路工程职业技术学院、渭南铁科健工程科技有限公司	庞维福、高虎军、张洪伟、刘显超、张涛、强长林
4	发明专利	一种用于预制构件场的三维动态生产管理系统	中国	ZL201811631320.1	2023-09-19	第6335834号	陕西铁路工程职业技术学院、渭南铁科健工程科技有限公司	庞维福、林鸿州、齐红军、强长林、
5	发明专利	一种基于 BM 定位连续箱梁预应力管道的方法	中国	ZL201510131642.X	2018-01-30	第2799496号	陕西铁路工程职业技术学院	曾绍武、张学钢、张林、李季晖、罗建华
6	发明专利	一种基于 BIM 解决普通钢筋与预应力管道冲突的方法	中国	ZL201510130931.8	2017-12-12	第2735610号	陕西铁路工程职业技术学院	曾绍武、张学钢、张林、李季晖、罗建华
7	实用新型专利	一种标识台座编号用于定位预制构件的施工指示牌	中国	ZL202020099988.2	2020-06-26	第10832093号	陕西铁路工程职业技术学院	庞维福、齐红军、张学钢、张碧、窦晗、

								贺永乐、 郝小堂、 潘小虎
8	论文	BIM 技术在兰州地铁东岗站施工中的应用研究	中国	2017, 54(02):46-54	2017-04-15	现代隧道技术	陕西铁路工程职业技术学院； 2. 中国中铁航空港建设集团第一工程有限公司	张学钢，曾绍武，王朋
9	论文	预应力连续刚构桥梁 BIM 精细化建模实例	中国		2016-01-19		陕西铁路工程职业技术学院	曾绍武, 张学钢, 张林
10	论文	基于 BIM 的杭黄高铁建德东站现浇梁支架方案研究	中国		2016-12-19		陕西铁路工程职业技术学院	曾绍武, 王学峰, 张学钢

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
张学钢	1	副校长	三级教授	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	主要完成发现、发明创新点所列的第2、4项科技创新。
曾绍武	2	无	副教授	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	主要完成发现、发明创新点所列的第1、3项科技创新。
郝付军	3	科技处处长	教授	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	主要完成发现、发明创新点所列的第3、4项科技创新。
庞维福	4	无	讲师	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	主要完成发现、发明创新点所列的第1、4项科技创新。
杨勃	5	处长	副教授	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	主要完成发现、发明创新点所列的第1项科技创新。
廖文华	6	无	教授级高工	陕西铁路工程职业技术学院	陕西铁路工程职业技术学院	主要完成发现、发明创新点所列的第3项科技创新。

八、主要完成单位情况

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
陕西铁路工程职业技术学院	1	<p>解决服务大跨度桥梁施工质量与效能提升的成套技术开发与应用中的关键技术问题，开发铁路桥梁工程施工虚拟仿真系统 V1.0 和总结一套与之对应的 BIM 技术在复杂桥梁工程施工项目中的应用流程及应用价值体系。中铁一局集团有限公司、中铁三局集团有限公司、中交隧道局集团有限公司、中铁十四局集团有限公司与陕西铁路工程职业技术学院联合启动专项课题《服务大跨度桥梁施工质量与效能提升的成套技术开发与应用》，旨在开发适应于复杂桥梁工程施工的协同管理平台，针对现有复杂桥梁的施工技术难点和痛点问题，在桥梁施工线形监控量测、深水复杂桥梁基础浮式平台设计优化、桥梁 BIM 技术应用拓展等一系列领域展开了深入的研究与实践。</p>

九、完成人合作关系说明

本项目完成人包括张学钢、曾绍武、郝付军、庞维福、杨勃、廖文华，均为陕西铁路工程职业技术学院。本项目主要完成人张学钢与曾绍武合作完成代表性《BIM技术在兰州地铁东岗站施工中的应用研究》；曾绍武与杨勃合作立项《优化组合预测模型在大跨度桥梁施工控制中的研究与应用》；曾绍武与廖文华合作立项《深水裸岩条件下浮式平台锚碇的设计研究立项文件》；郝付军与曾绍武合作立项《杭黄铁路项目 BIM 技术应用研究》。

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	证明材料
1	论文合著	张学钢/2, 曾绍武/4	2017-1-1	BIM技术在兰州地铁东岗站施工中的应用研究	论文-BIM技术在兰州地铁东岗站施工中的应用研究
2	共同立项	曾绍武/2, 杨勃/5	2017-11	优化组合预测模型在大跨度桥梁施工控制中的研究与应用	纵向科研-优化组合预测模型在桥梁变形预测中的应用立项文件
3	共同立项	曾绍武/2, 廖文华/6	2017-11	深水裸岩条件下浮式平台锚碇的设计研究	纵向科研-深水裸岩条件下浮式平台锚碇的设计研究立项文件
4	共同立项	郝付军/2, 曾绍武/4	2016-3-1	杭黄铁路项目 BIM 技术应用研究	横向课题-杭黄铁路项目 BIM 技术应用研究