

浙江省交通运输科技成果推广目录申报表

一、成果概况

成果名称	波形钢腹板自承重悬臂施工技术
成果类型	<input checked="" type="checkbox"/> 技术 <input checked="" type="checkbox"/> 工艺 <input type="checkbox"/> 材料 <input type="checkbox"/> 装备
专业领域	桥梁工程
申报单位	浙江省交通运输科学研究院
联系人及电话	李晓娅, 15990006084
推广应用起止时间	2022年01月 ~ 2025年12月
申报单位意见	<p>我单位申请将上述成果列入《浙江省交通运输科技成果推广目录》，并承诺所有关于申请单位与成果的文件、证明、陈述均真实、准确。如有违背，我单位将承担由此产生的一切后果。</p> <p style="text-align: center;">申报单位法人代表签字： 申报单位公章：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>
主管部门推荐意见	<p>市级交通运输主管部门或厅属单位或省级有关单位意见</p> <p style="text-align: center;">公 章：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>

二、成果简介（可另附页）

成果简介

为决传统悬臂浇筑施工方法中顶底板同时浇筑互相干扰、工期长、挂篮构造复杂、用钢量大等问题，推广悬臂错位浇筑新型施工方法在波形钢腹板组合桥梁施工中的应用，依托 2019 年浙江省交通运输厅项目——《波形钢腹板组合桥施工方法研究》（2019049）的研究，在资料收集、现场调研、理论分析、工程验证相结合等研究基础上，形成本成果：波形钢腹板自承重悬臂施工技术。

一、主要成果

（1）本成果在分析现有波形钢腹板组合桥梁常用施工方法优缺点和适用性基础上，提出新型波形钢腹板自承重悬臂施工工法并研发配套挂篮结构形式，完善施工工艺流程，形成成果《SCC 异步挂篮简易改装用于波形钢腹板梁桥施工工法》、《组合箱梁桥波折钢腹板自承重悬臂施工指南》；

（2）本成果结合有限元软件模拟施工过程和依托工程应用，通过现场测试数据与理论计算值的相互验证，并针对顶板混凝土前端局部应力集中问题，提出增设缓刚型结合键及防裂钢筋两种施工优化措施；

（3）本成果设计和提出了一种缓刚型结合键，获得了缓刚型结合键对混凝土主拉应力影响的变化规律，并基于缓刚型结合键的抗剪推出试验、理论分析和数值模拟，研发了刚度可控的缓刚型结合键，提出了缓刚型结合键屈服剪力和抗剪承载力计算方法。

二、关键技术

（1）新型波形钢腹板自承重悬臂施工工法研发。在开展调研的基础上，结合工程实际提出了新型的波形钢腹板自承重悬臂施工工法，该法可以充分发挥钢腹板的承载能力，并大幅减轻挂篮自重，提高施工安全性。

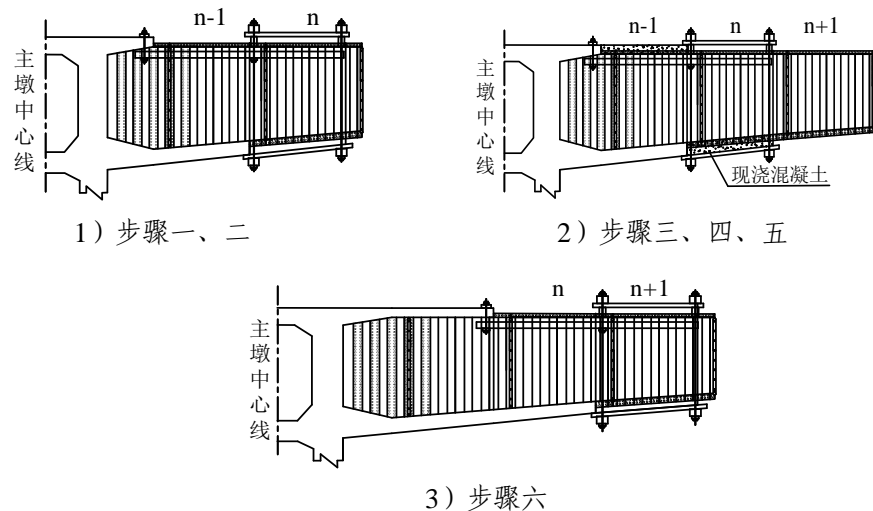


图 1 波形钢腹板自承重悬臂施工流程示意图

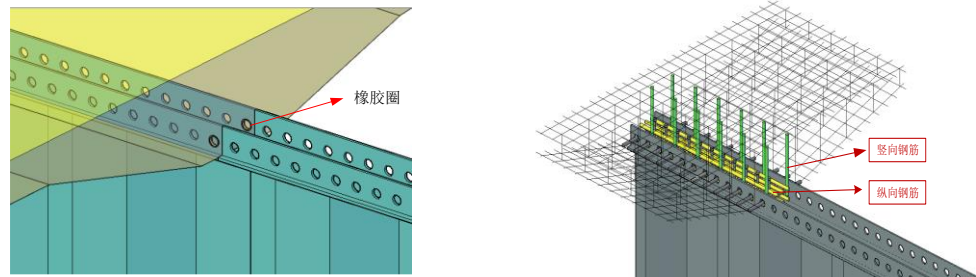
(2) 配套挂篮设计。设计了一种与施工工法相适应的波形钢腹板自承重可伸缩式挂篮，其特点是施工安全性较高，无需设置复杂的后锚固体系，可多节段多作业面平行施工，提高施工效率，可适应不同横向波形钢腹板间距和悬臂节段长度的施工需求，提高挂篮重复利用率。



图2 波形钢腹板自承重挂篮

(3) 施工侧向稳定性与施工工法流程研究。基于悬臂波形钢腹板构件的施工侧向稳定性，提出并设计了一种易拆卸和可循环利用的带焊接耳板的节段腹板桁架式横撑结构体系，形成了波形钢腹板自承重悬臂施工全过程的施工工法流程。

(4) 施工过程模拟。采用通用有限元程序 ANSYS 对依托工程最不利施工节段的受力性能进行分析。针对局部应力较大的区域，利用有限元软件 ABAQUS 建立局部模型进行精细化分析。结合有限元分析结果，提出了增设缓刚型结合键和增设防裂钢筋的优化方案，并进行了计算验证，结果表明具有较强的可行性。



1) 增设缓刚型结合键

2) 增设防裂钢筋

图3 施工过程优化方案示意图

(5) 缓刚型结合键抗剪性能研究。开展了插入式推出试验来进一步研究缓刚型结合键的抗剪性能。建立了实体非线性有限元模型，讨论了各个构件的抗剪机理和橡胶圈厚度对抗剪性能的影响。同时，提出了一种抗剪刚度可控的新型橡胶圈，并提出了缓刚型结合键屈服荷载、抗剪承载力以及抗剪刚度的计算公式。

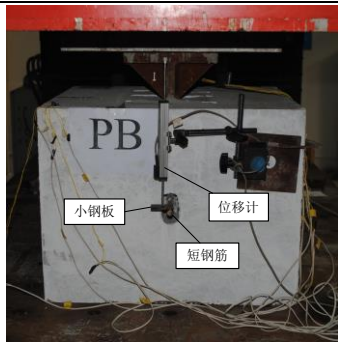


图4 插入式推出试验

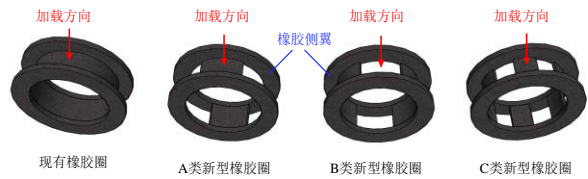


图5 新型橡胶圈概念设计

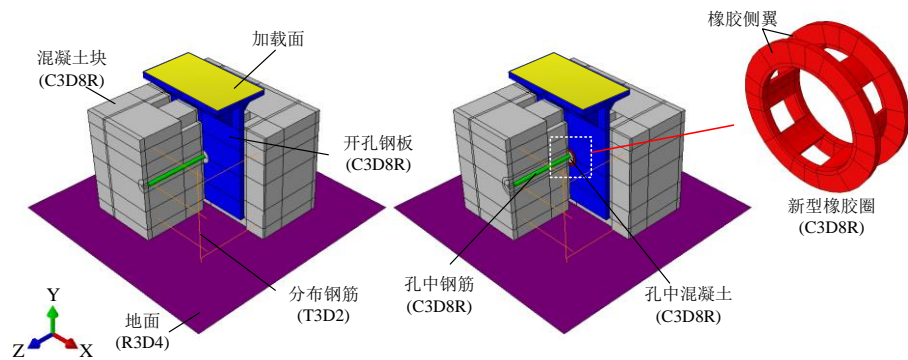
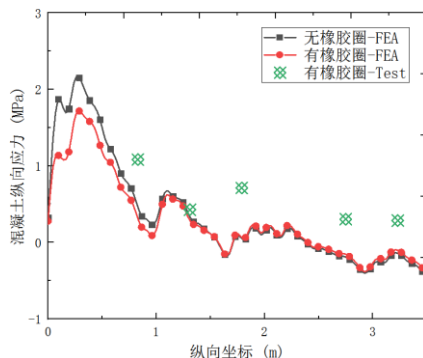
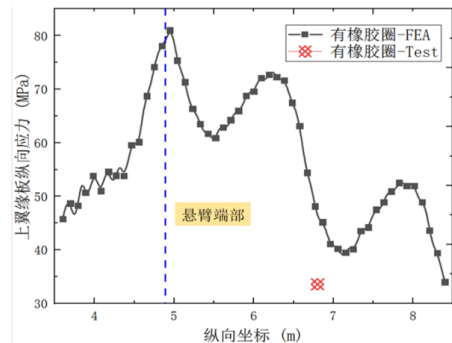


图6 新型橡胶圈开孔板连接件有限元模型

(6) 实桥施工过程中测试。依托葛溪大桥左线1号桥项目，针对最不利施工节段的关键部位进行各种工况下的测试分析，进一步探究工法的合理性。针对提出的优化方案进行验证，结果表明设置缓刚型结合键可有效降低悬臂前端的局部应力。



1) 混凝土纵向应力变化曲线



2) 上翼缘板纵向应力变化曲线

图7 实桥测试结果反馈

(7) 施工指南编写。整合研究成果形成一套完整的悬臂错位浇筑施工工法，并编写了施工指南——《组合箱梁桥波折钢腹板自承重悬臂施工指南》。

三、技术特点

对于大跨变截面组合折腹梁桥最常用的施工方法是悬臂浇筑法，但采用传统悬臂浇筑法施工时，顶底板同时浇筑相互干扰，顶底板先后浇筑延长工期的经济性问题突出；挂篮设计高度大，力臂长易倾覆的安全性问题显现，而后锚固体系的设置又会使得挂篮构造复杂，用钢量增加。

	<p>此外,传统悬臂浇筑法中,波形钢腹板不作为承载结构,其优越的抗弯性能得不到发挥。而波形钢腹板自承重悬臂施工工法利用波形钢腹板承担施工荷载,充分发挥材料的使用效率的同时,将工作面增加到3个,极大地提高了施工效率。挂篮形式也由传统的悬臂体系转换为简支体系,提高了施工安全性。</p> <p>本成果在传统悬臂浇筑工法的基础上,开发了适用于大跨径波形钢腹板组合梁桥的新型波形钢腹板自承重悬臂施工工法,与传统的悬臂施工方法相比,波形钢腹板自承重悬臂施工的主要技术特点如下:</p> <p>(1)由原来的单一工作面扩展到三个,即第n-1节段顶板混凝土、n节段底板混凝土和n+1节段波形钢腹板同时施工,可大幅度缩短工期,提高经济效益;</p> <p>(2)利用波形钢腹板作为主要承重结构,可以充分发挥波形钢腹板构件在施工时的抗弯承载力;</p> <p>(3)挂篮自重大幅减轻,节省钢材,提高施工安全性。</p> <p>四、适用性分析</p> <p>本成果结合山区高速公路的运输、场地及拼装特点,开发了一套完整的波形钢腹板组合梁桥波形钢腹板自承重悬臂施工工法及配套通用挂篮形式,明确施工过程中各关键构件的受力机理,给出施工优化措施,提高组合折腹桥梁施工效率和施工质量,并编写波形钢腹板自承重悬臂施工指南。本成果适用于主梁采用波形钢腹板的连续梁桥和连续刚构桥的波形钢腹板自承重悬臂施工。</p> <p>(1)本成果波形钢腹板自承重悬臂施工工法是结合山区高速公路的运输、场地及拼装的特点开发,适用于类似环境及施工条件桥梁;</p> <p>(2)本成果适用于主梁采用波形钢腹板的连续梁桥和连续刚构桥的波形钢腹板自承重悬臂施工;</p> <p>(3)本成果形成的《SCC异步挂篮简易改装用于波形钢腹板梁桥施工工法》、《组合箱梁桥波折钢腹板自承重悬臂施工指南》,可为相似结构桥梁施工提供借鉴。</p>
专利	无
软件著作权	<p>无</p> <p>(登记号、发表日期、权利取得方式及范围、简介等)</p>
标准规范	<p>无</p> <p>(名称、编号、发布时间、主要内容、应用情况等)</p>

其它已取得的成果	基于本项目研究, 发表论文 1 篇, 涉及波形钢腹板组合桥施工、受力性能研究等方面: 《葛溪大桥悬臂错位浇筑施工关键技术》
----------	---

三、有关指标 (可另附页)

技术指标	<p>随着波形钢腹板组合箱梁桥在我国建设规模逐渐扩大, 其施工方法也逐渐丰富。本成果在传统悬臂浇筑工法的基础上, 开发了适用于大跨径波形钢腹板组合梁桥的新型波形钢腹板自承重悬臂施工工法。</p> <p>本成果研发了波形钢腹板自承重浇筑施工新工法及配套挂篮结构, 提高了施工工效及施工安全性; 研发了一种刚度可控的缓刚型结合键, 获得了缓刚型结合键对混凝土主拉应力影响的变化规律, 提出了缓刚型结合键屈服剪力和抗剪承载力计算方法, 改善了连接件的结构受力状况; 提出了易拆卸和可循环利用的横撑结构体系, 分析了带焊接耳板的节段腹板桁架式横撑应用于波形钢腹板桥施工的影响机理, 增强了施工过程中钢腹板的侧向稳定性。</p> <p>本成果提出的工法可对第 $n-1$ 节段顶板混凝土、n 节段底板混凝土和 $n+1$ 节段波形钢腹板同时施工, 可大幅度缩短工期, 提高经济效益; 利用波形钢腹板作为主要承重结构, 可以充分发挥波形钢腹板构件在施工时的抗弯承载力; 挂篮自重大幅减轻, 节省钢材, 提高施工安全性。</p>
经济指标	<p>通过开发波形钢腹板自承重悬臂施工工法, 与传统的悬臂浇筑方法相比, 充分发挥波形钢腹板等材料的使用效率, 节省工程造价。同时, 挂篮结构形式由具有复杂后锚固体系的悬臂结构转换为利用波形钢腹板承载的简支体系, 施工安全性显著提高, 菱形挂篮构件多, 自重大, 每套挂篮需要型钢约 70 吨, 利用波形钢腹板承重的挂篮构件少, 自重轻, 每套挂篮需要型钢约 25 吨, 挂篮自重可减轻 64%, 节省大量钢材。</p> <p>该工法可显著提高施工效率, 标准节段施工工期由传统的 12.5 天缩短为 9.5 天, 全桥共有 8 个标准节段, 可节省施工工期 24 天, 经济效益显著。</p> <p>通过开展施工全过程的有限元模拟及关键部位精细化局部模型分析, 可进一步优化组合折腹桥梁波形钢腹板自承重悬臂施工过程, 提高施工质量与科学性。同时, 总结形成组合折腹桥梁波形钢腹板自承重悬臂施工指南, 为该种桥梁的建设提供理论与实践经验, 促进了该种桥型在国内的进一步发展, 推动了我国钢混组合结构桥梁技术的进步, 具有良好的社会效益。</p>

<p>可采取的推广应用措施</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1、组织业主、设计、施工等相关单位至已完成的工程项目进行实地考察，充分了解本成果的优势； 2、将现有施工指南进行细化出版，使施工有指导，质量检验有标准； 3、利用本单位作为交通行业研究院的优势，选择合适的工程进一步推广本成果的应用； 4、以本成果研究成果为基础，进一步开展相关结构形式桥梁的研究和应用推广工作。
<p>申报单位及其推广能力简介</p>	<p>浙江省交通运输科学研究院创始于1979年，省属科研院所，浙江省交通运输厅下属公益二类事业单位。2016年3月，启用浙江现代交通运输科技创新基地。2018年7月，省交通运输厅党组实施交科院融合提升重大决策部署，整合浙江公路水运工程咨询公司等行业科创资源，打造全省交通科技创新主力军和主平台。2021年，科研、经营板块，以“一体两翼、双轮驱动”发展宗旨深度融合，在战略规划政策、智慧交通（人工智能）创新研究、通用航空发展、轨道交通发展、公路水运技术创新研究、运输与绿色安全发展研究、工程技术审查评估、产业发展与成果转化等领域开展科研与技术服务；在公路水运工程咨询管理（全过程咨询，规划研究、勘察设计、咨询评估、招标代理、建设管理、施工监理）、高速公路智能收费管理及拓展业务、信息化（开发、运营、维护、应用）、工程检测、港航经济、物业管理、电子口岸开展经营业务。</p> <p>截至2021年10月，交科院共有在职员工1700余人，其中高级职称370多名（含正高55名），拥有部省级专家60名，浙江省151人才3名，交通运输部科技英才3名，加盟院士首席科学家3名、领军人才6名、中国公路学会百优工程师4人。科研板块下设6所2中心，经营板块下设12个公司。形成交通战略与政策研究、智能交通、人工智能、桥梁健康监测技术研发等特色科研团队，工程试验检测、安全评估等技术服务在行业内享有盛誉。</p> <p>本院拥有交通运输部“新一代人工智能技术交通运输行业研发中心”、浙江省道桥检测与养护技术研究重点实验室等科研平台10个，是浙江交通科技资源集聚地和浙江交通科技成果转化、应用示范和培训基地。拥有工程咨询甲级（公路、港口河海工程）、公路工程综合检测甲级、交通建设工程监理（公路、水运工程）甲级等19项资质，省级博士后工作站1个。已初步形成交通战略与政策研究、交通信息化研发、长大桥梁安全运维关键技术研发三个特色科研团队，工程咨询、道路桥梁检测、交通建设工程监理、招标代理等10余支技术服务团队，在行业内外享有良好声誉。2015年以来，依托浙江交通系统唯一的浙江省道桥检测与养护技术研究重点实验室（实验用房3243m²，仪器设备原值超过5000万元）、历年积累的海量行业数据以及浙江省在人工智能领域的人才与技术优势，浙江交科院启动了人工智能在交通运输领域应用技术与装备研发及产业化工作，取得了巨大的成效，相关领域成果获得省部级以上科技奖项5项；在国内外核心学术期刊发表50余篇高水平</p>

	<p>论文, 其中 EI/SCI 检索 7 篇; 获得软件著作权 19 项。同时, 依托交科院在浙江交通基础设施检测市场的龙头地位, 开展相关科研成果的转化与产业化, 相关技术服务产值由原来的不到 1000 万元增长到 4000 余万元。</p>
<p>推广应用实例</p>	<p>(详细说明应用单位信息、应用工程信息、应用规模、时间、地点、经济社会效益分析、综合评价等)</p> <p>推广应用实例一:</p> <p>1.应用单位: 浙江交工集团股份有限公司</p> <p>2.工程名称: 浙江省文成至泰顺(浙闽界)公路的葛溪大桥左线 1 号桥</p> <p>3.应用规模: 葛溪大桥左线 1 号桥(55+100+55m)</p> <p>4.时间和地点: 浙江温州, 2019.9~2020.4.</p> <p>5.经济社会效益:</p> <p> 我院承接了葛溪大桥的施工任务, 葛溪大桥左线 1 号桥采用了本项目的研究成果, 即采用悬臂错位浇筑施工方法。我院熟悉和掌握了该工法, 为保障葛溪大桥的施工质量提供了技术支撑, 且对今后承建类似工程具有极大的技术借鉴作用。该工法的应用前景是十分明确和广阔的, 提高了桥梁的建设质量与科学性, 节省了工程造价, 具有良好的社会效益。</p> <p> 项目中葛溪大桥左线 1 号桥采用悬臂错位浇筑施工方法, 利用波形钢腹板承重的挂篮, 构件少, 自重轻, 每套挂篮需要型钢约 25 吨, 相比传统悬臂施工工法的菱形挂篮, 每套挂篮需要型钢约 70 吨, 挂篮自重可减轻 64%, 节省大量钢材, 节省了工程造价, 经济效益显著。同时, 项目标准节段施工工期由传统的 12.5 天缩短为 9.5 天, 全桥共有 8 个标准节段, 节省施工工期 24 天, 显著提高了施工效率, 具有良好的社会效益。</p> <p>6.综合评价:</p> <p> 本成果在传统悬臂浇筑施工的基础上提出新型悬臂错位浇筑施工工法, 形成了完整的施工工艺流程并开发了适用于该种工法的通用挂篮形式, 为山区同类波形钢腹板桥梁施工方案及工艺选择提供有效借鉴, 为该种桥型在我国进一步的推广应用奠定了理论基础, 积累了实践经验。建议进一步推广应用。</p>