

附件 1

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	公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术
成果类型	☒ 技术 ☐ 工艺 ☐ 材料 ☐ 产品
专业领域	公路隧道工程
申报单位	浙江省交通工程管理中心
联系人及电话	顾森华 18167153768
推广应用起止时间	2020 年 3 月 ~ 2023 年 3 月
申报单位意见	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。 申报单位法人代表签字： 申报单位公章： 年 月 日
主管部门推荐意见	市交通运输局（委）或厅管厅属单位或省级有关单位意见 公 章： 年 月 日

二、成果简介（可另附页）

成果简介

一、成果的主要技术特点

（一）通过对多臂凿岩机隧道开挖、初期支护湿喷机械手和自行式移动栈桥施工工艺优化，多功能拱架台车、多功能防水作业台车、新型二衬台车、电缆沟槽台车的机械装备优化改进，以及自主研发的二衬厚度预检台车、二次养护台车，形成了以基于智能化、信息化装备的公路山岭隧道成套机械施工及质量检验的关键技术。

（二）提出了不同地质条件、不同宽度下山岭公路隧道钻爆法施工关键设备的选型及优化配置方法，建立了基于“九台套”的机械化集群配置模型。

（三）建立了山岭公路隧道机械化集群配置的各施工作业线技术经济评价指标分级及统计模型，以基于技术测定与二次平均的耦合分析方法系统分析理山岭公路隧道钻爆法施工关键设备在不同围岩等级下的全工序机械化作业中的工效及其定额水平。

二、研究原理

（一）多臂凿岩机的选型往往受限于地层特性、围岩级别、洞室尺寸和开挖工法影响。一般对于硬质岩层全断面开挖最为适用，对于IV、V级软弱围岩，应注重结合“新意法”隧道设计施工理论，通过采用新型的掌子面核心土预支护和围岩补强技术，来提高设备适用性，从而保证施工效率。由于隧道断面边界位置的钻孔角度难于控制，对于大断面隧道配置两台凿岩机可以有效降低施工的超挖量，但同时也增加了购置成本。因此，要充分考虑综合各种因素和性价比，来确定多臂凿岩机的使用和选型。

（二）湿喷机械手的使用可以有效降低劳动强度，减少掌子面作业人员，提高工人施工作业安全保障能力；喷射效率高、能有效提高混凝土密实度，保证施工质量控制，同时降低回弹率，提高了经济性，有效改善了作业环境。采用湿喷机械手进行施工现场只需3人；每循环（3m左右）用时4-5h，节约用时2-3h；回弹率由50%降低到20%左右；呼吸粉尘由21.7mg/m³降低到0.4mg/m³，全尘由102mg/m³降低到1.5mg/m³。

（三）传统拱架台车适用于所有断面支护形式，多功能拱架台车适用于全断面支护形式，拱架安装机适用于半/全断面支护形式。采用多功能拱架台车，具备拱架自动提升功能，同时采用液压支腿来保证整体稳定性，同时为立拱作业提供充足的作业空间，可以有效避免了由于传统立拱台车造成的工字钢单元拼装精度不足问题。采用立拱支护台车与传统台车相比，劳动强度明显降低，根据调查，每循环可以节约8min；采用拱架安装机，每循环实践可以节约14min。

（四）传统简易栈桥稳定性差、安全性低，且桥下施工困难，移动困难且移动时对下部混凝土极易造成结构性损伤。配置自行式移动栈桥，通过液压系统及行走系统控制栈桥实现自动行走，移动方便、对施工干扰较低、有利于仰拱尽早封闭成环；同时具有更大的桥下作业空间及通行长度，有利于减少仰拱填充层施工缝及收面作业。循环时间缩短50%以上，优化施工环境，明显提高了工程质量，可以真正实现掌子面

和仰拱的平行施工，同时大大增加了施工安全性。

(五)二衬厚度不足问题是山岭隧道施工中普遍存在的难点，欧美各国、日本等发达国家采用了高精尖的仪器进行测量，节省了人力、时间的同时，也支付了较高的设备成本；国内隧道施工中普遍采用全站仪以及全断面扫描仪，经济成本较低，但是耗费大量人力、物力，延缓了施工进度，并且难以全面覆盖检测。采用自主设计研发的二衬厚度预检台车，在控制了设备购置成本的同时也简化了检测流程，降低了人工成本，加快施工进度，而二衬混凝土的厚度实现了“刚性”控制，提高了施工质量，可在隧道施工中应用推广。

(六)多功能防水作业台车不需要装载机等设备的配合，采用机械自动铺设，有效降低劳动强度，单次铺设门幅由常规的 2m 提高到 6m，大大降低了焊缝工作量，也一定程度上减少了防水板搭接损耗，更重要的是大大提升了整条线路的防水性能。每 100m 可节约 44.3m² 防水板，同时施工只需 3 人，减少了一半以上，时间从 5h 减少到 4h，比常规的人工铺设效率提高 20% 左右；红外线定位和超声波热熔垫片焊接工艺，并配合台车自带顶压功能，能有效提高防水板整体平整度和铺设质量，减少了由于防水板松动而产生的衬砌混凝土空洞；台车配备的二衬钢筋定位胎架，可以使二衬钢筋安装变的更加简单准确。工人仅需在合适位置焊接，可以选用单张纵向长度更长的防水板，接缝少，选用纵向 6m 防水板，尤其针对长（特长）隧道施工经济效益显著。

(七)新型二衬台车采用模板总成和框架总成构成，模板总成是独立和稳定的结构，通过增大弧肋的截面尺寸，模板刚度得到大幅度提高。通过 ANSYS 有限元计算分析，新型二衬台车的应力和位移明显小于传统台车，说明新型二衬台车结构更加合理。采用自主设计研发的二衬浇筑布料逐窗入模布料，混凝土统一泵送到顶部运料小车，再分级逐窗入料，有效改善了混凝土离析、堵塞等问题，减少了冷缝等内在和外观质量通病；逐窗入模简化了混凝土输送管的拆接工序，避免传统浇筑过程中人员频繁上下台车、在低矮狭窄空间行走更换入仓口的安全隐患；设计预留了风、水、电管路通道，相比传统的二衬台车显著增大了通行空间，风、水、电管路从台车底部穿过不受挤压；起拱线至边墙部位面板采用整体加工成型，窗口面板弧度与模板一致，且台车面板底部高程低于电缆沟顶面高程，减少了台车纵向拼缝。

(八)采用传统的人工养护方法往往导致隧道二衬养护不能全面及时，混凝土的水化热反应就无法进行，混凝土强度不能及时达到设计强度要求，表面很容易产生裂缝，直接影响混凝土的耐久性和使用功能。采用自主设计研发的二衬养护台车，可形成全范围雾状喷淋养护，台车操作、行走方便。在效率、安全、经济、节能等方面都有很大的改善，取得了良好的效益。本台车养护方法可为今后的隧道二衬养护提供参考依据，且二衬养护效果明显提升。

(九)隧道电缆沟槽是一项外观质量及运营安全系数要求非常高的工程，其施工质量的好坏直接影响隧道的施工进度及后期的运营安全，对公路隧道运营具有深远的意义。电缆沟槽台车施工技术相比传统模板水沟电缆槽施工技术在材料利用、现场施工、质量保证、结构外部美观

	等方面均具有显著的优点,能有效保证车道净宽,将4道墙身一次浇筑成型,成品具有线型平顺、尺寸精准的优点,同时有效减少接缝、错台。 三、适用性分析 近2年来,课题组通过不断总结与提炼,所编制的《公路山岭隧道机械化施工操作手册》和《公路山岭隧道机械化施工技术指南》,符合我省山岭隧道机械化施工的实际,为我省山岭公路隧道机械化施工提供了行之有效的技术支撑,推动了隧道施工行业机器换人进程,初步实现了山岭隧道由传统钻爆法施工向机械化施工的产业转型升级,同时,研究成果可以有效预防施工期间各种伤亡事故的发生,保护施工人员生命财产安全提供技术支撑。	
专利	1. 实用新型专利: 型钢拱架连接板定位器 (ZL 2018 2 0518472.X) 2. 实用新型专利: 隧道二次衬砌表面养护喷头及养护台车 (ZL 2018 2 1079611.X) 3. 实用新型专利: 混凝土布料系统装置 (ZL 2018 2 1781396.8)	
软件著作权	/	
标准规范	/	
其它已取得的成果	1	浙江省公路山岭隧道机械化装备应用指导手册 (浙江省交通运输厅, 2017)
	2	公路山岭隧道机械化施工及成套设备应用技术指南 (浙江省交通运输厅, 2020)
	3	大断面隧道传统和新型二衬模板台车变形与应力分析 (防护工程, 2018 第 26 期)
	4	大断面公路隧道湿喷混凝土施工关键技术研究 (现代隧道技术, 2018.11)
	5	降低机制砂湿喷混凝土回弹率技术研究 (现代隧道技术, 2018.11)
	6	新型二衬模板台车及其分料系统在隧道中的应用 (施工技术, 2018 第 28 期)
	7	提高钢拱架连接板一次定位合格率 (中交企协质字〔2018〕33号)
	8	降低湿喷机喷射混凝土回强率 (中交企协质字〔2018〕33号)
	9	减少隧道拱顶二衬混凝土人字形色差 (浙江省质量建设协会)
	10	隧道二衬混凝土逐窗入模布料装置的研制 (浙工质协〔2019〕10号)

三、有关指标（可另附页）

技术指标	通过研究，撰写完成项目研究报告（包括 3 个子课题），编制完成了相应的技术指南与操作手册，编制完成了补充预算定额，形成实用新型专业 4 项，QC 成果 4 项，累计公开发表核心论文 4 篇。主要技术性能指标如下： 1. 研究报告：公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究 （1）子课题一：公路山岭隧道机械化施工成套配置技术及经济性分析研究 （2）子课题二：公路山岭隧道钻爆开挖及初期支护作业机械化施工成套技术研究 （3）子课题三：公路山岭隧道二次衬砌作业机械化施工成套技术研究 2. 指南：公路山岭隧道机械化施工成套技术研究施工指南 3. 操作手册：公路山岭隧道机械化施工成套技术研究施工操作手册 4. 补充预算定额：浙江省公路工程隧道成套机械化施工补充预算定额 5. QC 成果： （1）提高钢拱架连接板一次定位合格率（中交企协质字【2018】33 号） （2）降低湿喷机喷射混凝土回弹率（中交企协质字【2018】33 号） （3）减少隧道拱顶二衬混凝土人字形色差（浙江省质量建设协会） （4）隧道二衬混凝土逐窗入模布料装置的研制（浙工质协[2019]10 号） 6. 实用新型专利： （1）型钢拱架连接板定位器（证书号第 8109004 号） （2）隧道二次衬砌表面养护喷头及养护台车（证书号第 8541985 号） （3）混凝土布料装置（证书号第 201821781396.8） （4）隧道二衬混凝土厚度预检台车（证书号第 4474733 号） 7. 学术论文 （1）大断面隧道传统和新型二衬模板台车变形与应力分析（防护工程，2018 第 26 期） （2）大断面公路隧道湿喷混凝土施工关键技术研究（现代隧道技术，2018.11） （3）降低机制砂湿喷混凝土回弹率技术研究（现代隧道技术，2018.11） （4）新型二衬模板台车及其分料系统在隧道中的应用（施工技术，2018 第 28 期）
经济指标	本课题研究成果的应用与推广，经济效益与社会效益显著。 首先，研究成果的应用将提高隧道施工总体工作效率在 35%以上，有效控制包括钻爆法施工的超欠挖、湿喷混凝土施工的回弹率等一系列的质量通病问题。同时，通过隧道机械化配置及成套设备的进一步开发

	与应用,可以有效降低施工现场的劳动力需求 20%以上。因此,中远期的工程成本预期在减少 20%以上。 其次,研究成果的应用充分体现了隧道施工标准化与工厂化,有效减少山岭隧道施工过程中的质量通病,提升了施工质量,避免了因工程质量差进行返工,导致的经济浪费。 第三,研究成果的应用为施工现场创造了良好的安全、文明施工环境,降低了安全风险隐患。 因此,成果的应用推广所产生的经济效益与社会效益十分可观。
可采取的推广应用措施	以我省在建的山岭隧道项目为载体,充分利用项目承担单位及合作单位优势,将隧道“九台套”设备纳入项目招标文件中,提升项目资金投入。同时,隧道施工机械化配置不仅仅是简单的资金上的投入、装备上的购置,更重要的是对于专业技术人员的培养以及机械化施工理念的推广,尤其对于多臂凿岩机、湿喷机械手等一系列高端机械设备,操作、维护人员团队的打造,必须深入贯彻机械化施工理念,让现场施工人员形成一种“机械优先”的理念和思考角度,确保先进机械设备的良性运转,从而全面开展山岭隧道全机械化施工关键技术研究成果的推广工作,进一步优化隧道全机械化优化配置及隧道全机械化快速施工技术,提升我省山岭区公路隧的全机械化施工整体技术水平,不断提高隧道施工整体质量,有效降低隧道施工风险与劳动强度,提高效率。
申报单位及其推广能力简介	浙江省交通工程管理中心前身省交通厅工程质量监督站于 1996 年 2 月成立,同时挂省交通厅工程造价管理站牌子,两块牌子一套班子,为财政全额拨款的行政监督类事业单位。2006 年 8 月,经省编委批复同意,更名为“浙江省交通厅工程质量监督局”,成为全国交通系统首家更名为局的省级交通质监机构。2015 年 7 月,更名为“浙江省交通建设工程监督管理局”,并加挂“浙江省交通建设工程造价管理站”牌子。2019 年 1 月,更名为“浙江省交通工程管理中心”,受省交通运输厅委托,承担全省交通建设工程质量和安全生产监管、公路水运养护工程质量安全监管的行政辅助工作,承担全省公路水运工程造价、监理和检验检测行业管理的行政辅助工作,协助做好交通建设工程安全生产和应急管理的行政辅助工作,以及其他相关行政辅助工作。 近年来完成的科研项目有:《浙江省公路水运建设工程施工安全管理系统研究项目》、《浙江省公路建设工程施工现场安全标志和安全防护设施设置指南》、《支架结构安全监控综合管理系统开发及关键技术研究》、《高速公路深长隧道监控量测关键技术研究》等 40 余个省部级科研项目,主持起草交通运输部行业标准《公路工程基桩检测技术规程》、浙江省地方标准《雷氏夹膨胀测定仪检定规程》、《水泥安定性试验用沸煮箱检定规程》和《水泥净浆搅拌机检定规程》等多项规范标准。多次荣获省科技进步奖和部公路学会科技进步奖。 申报单位凭借平台及人才优势,及其多年来对公路工程的建设管理经验,对本课题研究成果的推广优势显著。

推广应用实例	附：长春至深圳高速公路（G25）浙江建德至金华段、溧阳至宁德国家高速公路浙江省淳安段、G25 长深高速德清至富阳段扩容杭州段、杭绍台高速公路绍兴金华段工程、G25 长深高速德清至富阳段扩容湖州段工程用户使用报告。
--------	--

项目成果用户使用报告

项目名称	《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》 (浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001)
项目编号	2018001
应用单位	浙江建金高速公路工程建设指挥部
通讯地址	兰溪市创业大道 13 号
应用情况及社会效益	
建金高速, 北起建德市杨村桥镇, 接入已建成的杭新景高速公路, 南至金东区二仙桥东枢纽, 接入已建成的杭金衢高速公路, 并衔接金丽温高速公路, 全长 58.09 公里。路基宽度 26 米, 采用双向四车道, 设计时速为 100 公里。 大青尖隧道和目科里隧道在施工中为最大限度实现隧道施工机械化、自动化, 在确保安全的前提下最大限度加快施工进度、提高施工质量, 降低工人劳动强度, 在建设过程中采用了《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》(浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001)。采用了隧道机械化施工成套设备优化配套技术, 对隧道机械配置进行了选型和方案优化。该技术成果的采用, 提高了隧道施工效率, 减少了施工工期, 提高了施工质量, 降低了工人劳动强度。 通过《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》相关技术的采用, 取得了较好的经济和社会效益。 特此证明。	



应用单位 (盖章)

2019 年 11 月 21 日

项目成果用户使用报告

项目名称	《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》 (浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001)
项目编号	2018001
应用单位	千黄高速公路淳安段工程建设管理处
通讯地址	杭州市淳安县千岛湖镇东源路 316 号
应用情况及社会效益	
千黄高速淳安段西接拟建的溧阳至宁德国家高速公路安徽段, 东连已经通车的杭新景高速千岛湖支线, 全长 51.422 公里。该项目的云头 3 号隧道为长隧道, 左右线分离布设, 云头 3 号隧道左线隧道全长 2771m; 云头 3 号隧道右线长度为 2685m。黄山端及淳安端洞门采用端墙式洞门。云头 3 号隧道间距最小约为 26m, 岩性为强-中风化钙质泥岩。 为最大限度实现隧道施工机械化、自动化, 在确保安全的前提下最大限度加快施工进度、提高施工质量, 降低工人劳动强度。云头 3 号隧道在建设过程中采用了《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》(浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001), 采用了隧道机械化施工成套设备优化配套技术, 对隧道机械配置进行了选型和方案优化。该技术成果的采用, 提高了隧道施工效率, 减少了施工工期, 提高了施工质量, 降低了工人劳动强度 通过《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》相关技术的采用, 取得了较好的经济和社会效益。 特此证明。	



项目成果用户使用报告

项目名称	《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》 (浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001)
项目编号	2018001
应用单位	杭州绕城高速公路西复线杭绍段工程建设指挥部
通讯地址	杭州市余杭区圣地路 18-1 号
应用情况及社会效益	
G25 长深高速德清至富阳段扩容杭州段工程起自湖州德清与杭州余杭交界的姜家山附近的唐家畈村, 起点桩号为 YK51+565.952, 接拟建长深高速公路扩容工程湖州段, 经瓶窑、径山、汪家埠、春建、鹿山, 止于富阳市中埠, 接已建长深高速公路杭新景段 (终点桩号 K114+114.357), 全长 62.715 公里。该工程的奇坑隧道, 左洞全长 2430 米, 右洞全长 2430 米。隧道围岩由 V 级、IV 级、III 级三种级别组成。隧道几何线形与净空按 100km/h 设计; 隧道照明设计速度按 100km/h 设计, 隧道净高 5m, 净宽 14.75m, 拱墙断面为五心圆。沙坑里隧道 (双洞总长 3106m), 混凝土方量约 32.2 万方, 喷射砼 4.1 万方, 钢筋用量 7712 吨, 工字钢用量 3932 吨。隧道开挖断面 III 级围岩 128.8~130.26 m²、IV 级围岩 131.04~154.53 m²、V 级围岩 163.51~165.93 m²。 为最大限度实现隧道施工机械化、自动化, 在确保安全的前提下最大限度加快施工进度、提高施工质量, 降低工人劳动强度。在建设过程中采用了《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》(浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001), 采用了隧道机械化施工成套设备优化配套技术, 对隧道机械配置进行了选型和方案优化。该技术成果的采用, 提高了隧道施工效率, 减少了施工工期, 提高了施工质量, 降低了工人劳动强度。 通过《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》相关技术的采用, 取得了较好的经济和社会效益。 特此证明。	
应用单位 (盖章)	
年 月 日	

项目成果用户使用报告

项目名称	《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》 (浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001)
项目编号	2018001
应用单位	绍兴市交通建设有限公司
通讯地址	绍兴市凤林西路 135 号交通投资大厦

应用情况及社会效益

杭绍台高速公路工程绍兴金华段起于钱江通道南接线与杭甬高速公路交叉的齐贤枢纽(K0+000), 路线往南跨杭甬运河, 下穿杭甬客运专线后, 沿绍齐公路延伸至鉴湖镇附近与绍诸高速公路交叉, 路线继续往南至甘霖与甬金高速公路交叉, 经新昌澄潭镇、镜岭镇、磐安胡宅乡, 终于白尖岭隧道进口(K116+748), 路线全长约 112.8 公里。该项目的平水特长隧道, 左洞全长 4254.71 米, 右洞全长 4259 米。隧道断面为三心圆(曲墙半圆拱)断面, 拱半径为 5.80m、曲墙半径为 4.75m、净空面积为 70.53m²。

为解决隧道钻爆法施工整体机械化程度较低、施工环境恶劣和工人劳动强度大等问题, 平水隧道在建设过程中采用了《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》(浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001), 过程中采用机械化施工, 对隧道机械配置进行了优化。该技术成果的采用, 提高了隧道施工效率, 减少了施工工期, 提高了施工质量, 降低了工人劳动强度。

通过《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》相关技术的采用, 取得了较好的经济和社会效益。

特此证明。



项目成果用户使用报告

项目名称	《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》 (浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001)
项目编号	2018001
应用单位	杭州绕城高速公路西复线杭绍段工程建设指挥部
通讯地址	杭州市余杭区圣地路 18-1 号
应用情况及社会效益	
G25 长深高速德清至富阳段扩容杭州段工程起自湖州德清与杭州余杭交界的姜家山附近的唐家畈村, 起点桩号为 YK51+565.952, 接拟建长深高速公路扩容工程湖州段, 经瓶窑、径山、汪家埠、春建、鹿山, 止于富阳市中埠, 接已建长深高速公路杭新景段 (终点桩号 K114+114.357), 全长 62.715 公里。该工程的奇坑隧道, 左洞全长 2430 米, 右洞全长 2430 米。隧道围岩由 V 级、IV 级、III 级三种级别组成。隧道几何线形与净空按 100km/h 设计; 隧道照明设计速度按 100km/h 设计, 隧道净高 5m, 净宽 14.75m, 拱墙断面为五心圆。沙坑里隧道 (双洞总长 3106m), 混凝土方量约 32.2 万方, 喷射砼 4.1 万方, 钢筋用量 7712 吨, 工字钢用量 3932 吨。隧道开挖断面 III 级围岩 128.8~130.26 m²、IV 级围岩 131.04~154.53 m²、V 级围岩 163.51~165.93 m²。 为最大限度实现隧道施工机械化、自动化, 在确保安全的前提下最大限度加快施工进度、提高施工质量, 降低工人劳动强度。在建设过程中采用了《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》(浙江省交通运输厅科技项目, 编号 2018001), 采用了隧道机械化施工成套设备优化配套技术, 对隧道机械配置进行了选型和方案优化。该技术成果的采用, 提高了隧道施工效率, 减少了施工工期, 提高了施工质量, 降低了工人劳动强度。 通过《公路山岭隧道机械化施工及成套设备关键技术研究》相关技术的采用, 取得了较好的经济和社会效益。 特此证明。	
应用单位 (盖章) 年 月 日	