

2019 年度广东省科学技术奖公示表

项目名称	曲线管幕+水平控制冻结法的浅埋超大断面暗挖隧道成套建设技术
主要完成单位	<ol style="list-style-type: none"> 1. 港珠澳大桥珠海连接线管理中心 2. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司 3. 中铁十八局集团有限公司 4. 中国地质大学（武汉） 5. 同济大学 6. 北京交通大学 7. 广东省南粤交通投资建设有限公司
主要完成人 (职称、完成单位、工作单位)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 王启铜（职称：高级工程师，完成单位：港珠澳大桥珠海连接线管理中心，工作单位：广东省南粤交通投资建设有限公司） 2. 程勇（职称：教授级高级工程师，完成单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司，工作单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司） 3. 周先平（职称：高级工程师，完成单位：港珠澳大桥珠海连接线管理中心，工作单位：港珠澳大桥珠海连接线管理中心） 4. 潘建立（职称：教授级高级工程师，完成单位：中铁十八局集团有限公司，工作单位：中铁十八局集团有限公司） 5. 马保松（职称：教授，完成单位：中国地质大学（武汉），工作单位：中国地质大学（武汉）） 6. 胡向东（职称：副教授，完成单位：同济大学，工作单位：同济大学） 7. 黄宏伟（职称：教授，完成单位：同济大学，工作单位：同济大学） 8. 谭忠盛（职称：教授，完成单位：北京交通大学，工作单位：北京交通大学） 9. 王文州（职称：高级工程师，完成单位：广东省南粤交通投资建设有限公司，工作单位：广东省南粤交通投资建设有限公司） 10. 李剑（职称：高级工程师，完成单位：港珠澳大桥珠海连接线管理中心，工作单位：广东省公路建设有限公司） 11. 刘应亮（职称：高级工程师，完成单位：中铁十八局集团有限公司，工作单位：中铁十八局集团有限公司） 12. 张鹏（职称：副教授，完成单位：中国地质大学（武汉），工作单位：中国地质大学（武汉）） 13. 刘继国（职称：教授级高级工程师，完成单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司，工作单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司） 14. 高海东（职称：教授级高级工程师，完成单位：中铁十八局集团有限公司，工作单位：中铁十八局集团有限公司） 15. 任辉（职称：工程师，完成单位：港珠澳大桥珠海连接线管理中心，工作单位：港珠澳大桥珠海连接线管理中心）
项目简介	<p>珠海连接线项目作为港珠澳大桥五大独立建设主体之一，是港珠澳大桥海中桥隧主体与国家高速公路网连接的“唯一通道”。拱北隧道作为项目关键控制性工程，在国际上首创“曲线管幕+水平控制冻结”组合工法，穿越国内第一大陆路口岸—拱北口岸，隧址区位于珠海与澳门分界处，属于海相、海陆交互沉积地层，地质条件复杂多变，堪称“隧道施工技术博物馆”。</p>

	<p>项目前期对港珠澳大桥在珠海的登陆点进行了多次综合论证比选。其中九洲岛方案穿越商业中心,影响城市景观且造价高昂;横琴岛方案影响澳门航道及澳凼一、二、三桥,均难以实施。最终确定拱北区域为登陆点。拱北城区南端与澳门本岛间建(构)筑物密集,唯有珠海拱北口岸与澳门关闸口岸之间的地下带状区域及边防公路沿线可供使用。故项目仅允许以隧道形式下穿该区域,途经珠海连接线人工岛、边防五支队、拱北口岸、关闸口岸、广珠城轨珠海站、茂盛围军事管理区,涉及地方近三十个部门(单位)以及边检、海关、检验检疫、边防等多个中央垂直管理单位。其中,拱北口岸每天通关约40万人次,超1万辆车次,地理位置特殊,政治意义敏感。</p> <p>拱北隧道全长2741m,由海域明挖段、口岸暗挖段、陆域明挖段组成。其中口岸暗挖段全长255m,为避开区域内“星罗棋布”的管线和桩基(隧道外轮廓线距桩基最近处仅46cm),平面线型必须采用复合曲线方案,竖向采用上下叠层暗挖方案穿越24m宽的口岸狭长走廊带。隧道开挖扰动面积达413.2m²,覆土厚度不足5m,覆跨比约1/4,属于浅埋超大断面隧道。区域地质条件极差,具有高压缩性、高触变、高灵敏度、低强度等软土特征,属典型临海软弱富水地层,坍塌和涌水风险极高。最终决定采用“曲线管幕+水平控制冻结”的组合工法,首先在隧道周围顶进施工36根直径1.62m曲线钢管幕作为超前支护,管间距约为35.7cm,顶进精度要求不超过5cm,然后采用冻结法对管幕间土体进行水平控制冻结止水,最后在管幕冻土复合帷幕支护体系下采用多层时步开挖方法和三维交叉成洞技术实施暗挖。</p> <p>项目在充分调研的基础上,通过理论分析、数值分析、模型试验、现场试验和技术开发等研究方法,解决了复合地层长距离组合曲线顶管施工及管幕形成精准控制、临海环境高水压下超长水平控制冻结止水和冻胀融沉控制、复杂环境下浅埋超大断面隧道暗挖施工变形控制、临海环境下隧道结构防水等技术难题,形成了包括创新理论、重大技术、新型装备和材料的“曲线管幕+水平控制冻结法的浅埋超大断面暗挖隧道成套建设技术”成果。</p> <p>该成果解决了拱北隧道建设难题,在长达5年的隧道施工中从未影响拱北口岸的正常通关。项目研究成果总体达到国际领先水平,大幅提升了我国软弱富水地层浅埋超大断面隧道暗挖工法的科技含量和设计施工技术水平,为今后类似工程提供了借鉴,同时为环境要求苛刻的地下空间开发利用提出新的思路和解决方案,社会与经济效益显著,推广应用前景广阔。</p> <p>项目共完成技术指南/专著13本;发表学术论文143篇;授权专利41项;发表工法4项;申请软件著作权4项。</p>
<p>代表性论文 专著目录</p>	<p>论文1: Design of the Gongbei tunnel using a very large cross-section pipe-roof and soil freezing method</p>
	<p>论文2: In-Situ Test Study on Freezing Scheme of Freeze-Sealing Pipe</p>
	<p>论文3: Void-induced liner deformation and stress redistribution</p>
	<p>论文4: Key techniques for the largest curved pipe jacking roof to date A case</p>
	<p>论文5: 超浅埋暗挖隧道管幕冻结法积极冻结方案试验研究</p>
	<p>论文6: 临海大断面隧道结构防水系统试验研究</p>
	<p>论文7: 高水压复杂地质条件下管幕顶管接收技术优选</p>
	<p>论文8: 施工热扰动对管幕冻结止水帷幕影响研究</p>
	<p>论文9: 临海环境对衬砌混凝土结构自防水性能影响研究</p>
	<p>论文10: 管幕冻结暗挖工法冻结止水效果分析</p>

知识产权名称	专利 1: 高水压条件下顶管机接收装置及接收方法 (ZL 2014 1 0520452.2)
	专利 2: 三维管幕暗挖法 (ZL 2008 1 0047844.6)
	专利 3: 长距离曲线顶管及管幕施工工艺 (ZL 2013 1 0336338.X)
	专利 4: 一种管幕间水平动态控制性冻结止水法 (ZL 2014 1 0348926.X)
	专利 5: 高水压条件下顶管机始发洞口止水密封装置及方法 (ZL 2014 1 0524503.9)
	专利 6: 一种用于高水压复杂地质条件下的顶管机接收方法及装置 (ZL 2015 1 0102014.9)
	专利 7: 一种测试顶管施工装置密封性能的试验方法和装置 (ZL 2015 1 0031473.2)
	专利 8: 一种管间精准控制冻土帷幕的施工方法 (ZL 2015 1 0740869.4)
	专利 9: 高水条件下泥水平衡顶管机接收装置及工艺 (ZL 2015 1 0752859.2)
	专利 10: 一种液氮制冷盐溶液的冻结系统停电应急装置 (ZL 2018 2 0032415.0)
推广应用情况	<p>本项目研究成果可广泛运用于轨道交通、市政工程、矿井工程的建设中,如地铁车站的暗挖设计施工、地铁联络通道设计施工、煤矿的巷道设计施工,下穿公路、铁路或敏感建构物的隧道设计施工等工程中。主要应用情况如下:</p> <p>(1)黄浦江上游水源地连通管工程 C3 标段为青浦至松江泵站段的 JB-03 工作井到 JB-12 工作井,线路长度 5220.95m,采用 DN4000 钢顶管,施工穿越淤泥质粉质黏土、砂质粉土、粉质黏土等多层地层。拱北隧道的曲线管幕顶管技术研究成果为该大直径钢顶管工程的设计和施工提供了指导,特别是其中的顶管设备选型方法、顶管始发装置、精度控制技术、顶管泥浆配方,都为本项目的成功实施提供了有力的技术支持。截止 2016 年底,该工程全线贯通,黄浦江上游水源地原水工程日供水规模可达 351 万 m³,成为上海市四大集中式饮用水水源地之一,承担起西南五区饮用水原水供应的重任,受益人口约 670 万人,工程经济和社会效益显著。</p> <p>(2)绍兴城市北部区域供水保障工程包括袍江顶管段和滨海工业区顶管段,其中袍江顶管段长 1177m,滨海工业区顶管段长 1509m,采用直径 1620mm 的钢顶管施工。该工程顶管 2 次穿越曹娥江,4 次穿越曹娥江防汛墙,主要穿越淤泥质粉质黏土,覆土深度 18~20m,地下水位埋深在 0.6~1.4m 之间,顶管施工面临高地下水压力,施工条件与拱北隧道管幕顶管比较类似。在该工程实施过程中,参考拱北隧道曲线管幕顶管技术成果,选择与之类似的泥水平衡顶管设备和高水压顶管始发装置,在长距离顶进过程中借鉴了精度控制技术,采用了适用于淤泥质土顶管施工的泥浆,为该超长钢顶管工程的成功实施起到关键作用。该工程的顺利建成,使得该区域综合供水能力提升至 36 万吨/天,生活供水能力提升至 11.5 万吨/天,解决了绍兴城市北部区域的用水量逐年增长问题,提升了滨海新城江滨区、滨海工业区的供水保障能力,推进了绍兴市滨海新城和柯桥滨海工业区的建设及产业搬迁聚集,属于经济和社会效益显著的民生工程。</p> <p>(3)观景口水利枢纽工程输水线路工程位于重庆市巴南区东温泉镇,由中铁十八局集团和中水东北勘测设计院 EPC 总承包,线路总长 21.2km。线路包含 10 个隧洞,其中无压隧洞 8 座,总长 14604m,有压隧洞 2 座,总长 1571m。无压隧洞采用 AVN2000 泥水平衡型硬岩顶管机施工,管节采用预制钢筋混凝土管,内径 2.65m,单根长度 2.5m,单向顶进最长 1702m,单洞最长 3224m。截止 2019 年 5 月,已完成顶管施工隧洞 9200m。在该工程实施过程中,参考拱北隧道曲线管幕顶管技术成果,选择与之类似的泥水平衡顶管设备和泥浆润滑装置,在长距离顶进过程中借鉴了精度控制技术,借鉴了拱北隧道曲线管幕顶管施工触变泥浆关键技术,为该超长顶管工程的成功实施起到关键作用。通过借鉴拱北隧道曲线管幕顶管施工技术,解决了长距离大直径顶管顶进过程摩阻力问题,始发、接收及顶进精度控制等问题,</p>

现场实施效果良好，大大提高了工效、节约了工期，确保工程顺利实施。重庆市观景口水利枢纽工程输水线路工程为国内首例采用顶管施工的水利工程，该工程的成功实施，标志着顶管施工工艺在水利工程建设取得突破性进展，为后续国内外引水隧道施工提供参考与借鉴。

(4) 珠海市兴业快线(北段)起点位于梅华东路南侧的顶管井，主线向东绕过大镜山水库后进入凤凰山，并在山谷段分为东西线。其中，西线向北延伸至哈工大路，与高新互通立交工程顺接；东线则向北延伸至港湾大道与唐乐路交叉口，在中大珠海校区前接港湾大道。项目长约 17km(隧道 13.8km)，呈“Y”字形南北走向，由超长山岭隧道、山谷段高架道路及暗埋段道路等组成，技术和施工工艺复杂，同时还需穿越饮用水源保护区、国家森林公园和自然保护区，环境保护要求高。项目需下穿城市主干道梅华东路，沿线有运营中的有轨电车。为了减小施工期间对交通的影响，工程采用 10.4×7.5m 的超大断面矩形顶管施工，近距离穿越污水管线与有轨电车线路。在该工程方案论证过程中，借鉴了拱北隧道曲线管幕顶管技术成果，即长距离顶进过程中的顶管设备选型方法、顶管始发装置、精度控制技术，为该超长顶管工程的方案设计起到关键作用。通过借鉴拱北隧道曲线管幕顶管施工技术，特别是其中的顶管设备选型方法、顶管始发装置、精度控制技术，将很好的解决长距离大直径顶管顶进过程始发、接收及顶进精度控制等施工难题，提高工效、节约工期，确保工程顺利实施。兴业快线作为珠海“九纵五横”城市道路之一，建成通车后，届时将实现珠海主城区南北快速化出行，对接深中通道和港珠澳大桥，对完善城市路网主骨架具有重要的战略意义。