



# 广东交通规划设计

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2023 **2** 总第190期

## 技术交流 信息共享

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

地址：广州市天河区兴华路22号  
邮政编码：510507  
电话：020-37393018  
E-mail：kjzl@ghdi.cn  
网址：http://www.ghdi.com.cn



准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料 免费交流

# 获奖喜报

2023年第二季度，公司共获得工程奖5项，其中部级二等奖4项，三等奖1项；专利申请获得国家知识产权局外观专利3项、实用新型专利1项。



## 公司级项目评审会



2023年4月27日召开“顺鹤高（滨江大道至高明交界段）快速通道工程初步设计”公司级评审会议。



2023年5月26日召开“隐式盖梁参数化设计参考图设计大纲”。



2023年6月2日“阅江大桥南岸世纪互通立交桥应急修复工程施工图设计”公司级评审会议。



2023年6月25日召开“国道G228线福安乌山特大桥公路工程施工图设计”公司级评审会议。

## 标准化建设评审会



2023年4月14日召开《智能报告撰写系统》（勘察专业一期）评审会议。



2023年4月28日召开《附属结构通用图》（一期）评审会议。



2023年5月24日召开《轨道交通地下标准车站结构通用图》评审会议。



2023年5月25日召开《公路工程地质勘察工作量布置及大纲编制指南（修编）》的评审会议。

## 软件测试验收评审会



2023年4月14日召开《智能勘察报告撰写系统》软件测试验收评审会议。



2023年6月19日召开《数字测绘系统（二期）》软件测试验收评审会议。

# 广东交通规划设计

(每季出版)

2023年6月30日印刷

2023年第2期

(总第190期)

内部资料 免费交流

准印证号: (粤O) L0150076号

## 编辑委员会

主任: 黄湛军

副主任: 孙向东

委员: 万志勇、王景奇、卢绍鸿、  
刘吉福、杜燕群、张修杰、  
陈志翔、陈新富、陈潮锐、  
邱赞富、周震、梁志勇

主编: 孙向东

副主编: 林敏

责任编辑: 黎敏

编辑: 《广东交通规划设计》编辑部

编印单位: 广东省交通规划设计研究院  
集团股份有限公司

地址: 广州市天河区兴华路22号

邮政编码: 510507

电话: 020-37393018

E-mail: kjzl@ghdi.cn

发送对象: 公司及行业内部

本期印刷数量: 350本

印刷单位: 广州市艺彩印务有限公司

封面: 大埔至潮州高速公路

# 目次

## 部委政策

广东省激发企业活力推动高质量发展的若干政策措施 ..... (1)

## 公司动态

公司承担的广东省西向辐射高速公路改扩建项目—G80广昆高速公路粤境横江至马安段改扩建工程顺利通过初测初勘外业验收 ..... (6)

公司副总工程师张修杰、万志勇分别获授2022年度广东省工程勘察设计行业协会科技创新领头人、科技创新先进工作者荣誉称号 ..... (8)

公司承担的柳州高速过境线公路(罗城经柳城至鹿寨段)项目施工图设计顺利通过评审 ..... (9)

公司受邀参与第七届(2023)华南智能交通论坛 ..... (11)

## 技术论文

考虑开挖宽度效应的基坑受力变形分析  
..... 陈国雄, 贺佐跃, 黄仕平 (14)

软岩隧道钢拱架间钢板纵向连接支护结构研究  
..... 李国安, 王永东, 聂玉文, 燕新, 万善通, 王琛悦 (21)

基于耦合SPH-FEM方法的落石冲击双缓冲层钢棚洞系统的缓冲能力研究  
..... 柳春, 廖鸿钧 (28)

## 专委会活动

“第30届广州园林博览会”现场技术交流活动小结 ..... (36)

金琴快线北延线综合管廊技术交流活动小结 ..... (37)

公路、市政行业预制桩技术交流活动小结 ..... (40)

大断面长距离矩形顶管工程技术交流活动小结 ..... (42)

## 信息专栏

中国公路学会桥梁和结构工程分会2022年全国桥梁学术会议报道 ..... (43)

第十三届中国风景园林学会年会 ..... (45)

广东省高速公路改扩建技术交流暨深汕西高速公路改扩建工程现场观摩会报道 ..... (46)

第二十五届中国高速公路信息化大会报道 ..... (48)

“全国道路桥梁绿色建造与智慧运维技术交流会暨富龙西江特大桥观摩会”报道 ..... (50)



## 广东省激发企业活力推动高质量发展的若干政策措施

为深入贯彻党的二十大和中央经济工作会议精神,全面落实省委十三届二次全会、省委经济工作会议、全省高质量发展大会部署,进一步提振市场主体信心,激发企业活力,扎实推动经济运行整体好转,实现质的稳步提升和量的合理增长,制定本政策措施。

### 一、加大财税金融支持

(一)落实落细国家减税降费措施。对月销售额 10 万元以下(含本数)增值税小规模纳税人免征增值税、增值税小规模纳税人适用 3% 征收率的减按 1% 征收增值税,适用 3% 预征率的减按 1% 预缴增值税。实施增值税小规模纳税人、小型微利企业、个体工商户减征“六税两费”政策。对高新技术企业、技术先进型服务企业、小型微利企业按规定减免企业所得税。(省财政厅、省税务局、深圳市税务局负责)

(二)落实落细增值税行业支持政策。对国家规定的特定行业或小微企业继续按月全额退还增值税增量留抵税额。允许生产性服务业纳税人按照当期可抵扣进项税额加计 5% 抵减应纳税额,允许生活性服务业纳税人按照当期可抵扣进项税额加计 10% 抵减应纳税额。(省税务局、深圳市税务局、省财政厅负责)

(三)按照国家统一部署,延续实施阶段性降低工伤、失业保险费率政策,执行期限至 2023 年 4 月 30 日。其中,失业保险基准费率延续按 1% 实施,继续实施浮动费率政策;工伤保险在执行行业基准费率和浮动费率政策的基础上,统一阶段性下调单位缴费费率 20%。(省人力资源社会保障厅、财政厅、省税务局、深圳市税务局负责)

(四)对 2022 年阶段性缓缴的养老、失业、工伤保险费,允许企业在 2023 年底前采取分期或逐月等方式补缴。补缴期间免收滞纳金。(省人力资源社会保障厅、财政厅、省税务局、深圳市税务局负责)

(五)鼓励金融机构单列小微企业信贷计划,运用普惠小微贷款支持工具等引导小微企业贷款继续

扩面、增量、降价。对地方法人金融机构发放的普惠小微贷款,按余额增量的 2% 提供激励资金。(人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深圳银保监局,省地方金融监管局负责)

(六)减轻小微企业融资担保费用负担,对江门、惠州、肇庆市和粤东粤西粤北地区政府性融资担保机构,今年新增的单户担保金额 1000 万元以下、平均年化担保费率不超过(含)1.5% 的小微企业融资担保业务,按业务发生额的 0.5% 给予补助。(省地方金融监管局、财政厅负责)

(七)优化融资再担保代偿补偿机制和降费补助机制,对今年省融资再担保机构纳入国家融资担保基金授信范围内的小微企业融资担保业务,实际代偿损失给予 50% 分担补偿,再担保费给予适当补助。(省地方金融监管局、财政厅负责)

(八)对符合条件的,通过广东省中小企业融资平台发放的制造业中小微企业贷款,给予一定的利率贴息支持。(省地方金融监管局、财政厅负责)

(九)优化科技信贷风险准备金政策,逐步扩大科技信贷风险准备金的范围和规模,对银行机构为各类科技创新主体开展科研活动提供的债务性金融支持产生的不良贷款本金给予一定的补偿。(省科技厅、地方金融监管局、财政厅负责)

(十)指导金融机构支持中小微企业应收账款质押等融资。2023 年 6 月 30 日前,对符合条件帮助中小企业实现应收账款融资的供应链核心企业,通过中征应收账款融资服务平台在线确认,按实现应收账款融资年化金额不超过 1% 的额度给予奖励。(人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深圳银保监局,省地方金融监管局、财政厅、工业和信息化厅负责)

### 二、加快恢复和提振消费

(十一)落实好阶段性免征新能源汽车车辆购置税等政策,鼓励有条件的市出台支持汽车以旧换新、汽车下乡、新能源汽车购置等政策,举办全省性汽车主题促消费活动,鼓励汽车企业开展新能源汽车

车下乡惠民活动。广州、深圳优化小汽车总量调控管理,阶段性放宽小汽车指标申请资格。(省发展改革委、商务厅、生态环境厅、公安厅、工业和信息化厅,省税务局、深圳市税务局负责)

(十二)优化新能源汽车充电桩(站)投资建设运营模式,出台城市停车设施建设地方标准,既有停车位安装充电设施的,免予办理规划、用地、建设许可手续,逐步实现有条件的小区 and 经营性停车场充电设施全覆盖。加快推进高速公路服务区等区域充电桩(站)和公路沿线充电基础设施建设,2023 年新增建成公共充电桩超过 2.1 万个。(省住房城乡建设厅、能源局、交通运输厅、自然资源厅负责)

(十三)全面落实取消二手车限迁政策,“珠江三角洲区域内在用国五排放标准轻型汽车可以互迁”政策在 2023 年 6 月 30 日到期后继续执行。支持广州、深圳、东莞开展汽车整车平行进口业务。(省商务厅、发展改革委、生态环境厅、公安厅,省税务局、深圳市税务局负责)

(十四)优化二手车市场流通管理,取消对开展二手车经销的不合理限制,全面落实符合要求二手车经销企业销售旧车交易增值税由 2% 下调至 0.5% 减税政策,落实允许企业反向开具二手车销售统一发票政策。广州市、深圳市汽车销售企业购入并用于销售的二手车不占用号牌指标。(省商务厅、市场监管局、交通运输厅、公安厅,省税务局、深圳市税务局负责)

(十五)鼓励各市组织家电等生产、销售企业推出惠民让利促消费活动,支持家电生产企业开展回收目标责任制行动,引导金融机构提升金融服务能力,加大对绿色智能家电、智能手机、可穿戴设备等的促销力度。对综合消费情况较好的地市给予奖励。(省商务厅、发展改革委、工业和信息化厅、财政厅负责)

(十六)坚持“房住不炒”定位,落实城市主体责任,不断完善房地产调控政策工具箱,及时优化房地产政策,因城施策,大力支持刚性和改善性住房需求。调整完善土地出让政策。落实居民换购住房个人所得税政策,住房公积金贷款重点支持职工首次购房。(省住房城乡建设厅,人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深

圳银保监局、省税务局、深圳市税务局,省自然资源厅、财政厅负责)

(十七)支持房地产业合理融资需求,重点推进支持开发贷款、信托贷款、公司债券等存量融资合理展期政策落地见效,支持房地产企业用好股权融资政策措施。用足用好国家专项借款,鼓励金融机构加大配套融资力度,全力以赴保交楼,切实维护购房者利益。(人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深圳银保监局、广东证监局、深圳证监局,省地方金融监管局、住房城乡建设厅负责)

(十八)指导并督促各地根据国家要求,优化调整商品房预售资金监管政策,加强监管额度内的资金监管,保障资金专款专用,超出监管额度的资金可由房地产开发企业提取使用,补充企业资金流动性。(省住房城乡建设厅,人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深圳银保监局负责)

(十九)用好文化、旅游、体育发展等专项资金,促进文化产业、旅游产业和体育产业加快恢复。对符合条件的旅行社,2024 年 3 月 31 日前继续按照 100% 比例暂退、缓交旅游服务质量保证金,促进出入境旅游有序恢复。(省文化和旅游厅、体育局、商务厅负责)

(二十)加快推进县域商业建设行动,推动“一个上行(农产品上行)”和“三个下沉(供应链下沉、物流配送下沉、商品和服务下沉)”。支持开展县域流通服务网络建设提升行动,建设县域集采集配中心,布局建设农产品综合服务站。引导零售企业拓展县域市场、下沉品质商品和服务。(省商务厅、交通运输厅、财政厅、农业农村厅,省供销社负责)

### 三、着力扩大有效投资

(二十一)充分发挥省重大项目专项指挥部统筹协调作用,制定省重大项目专项指挥部重大项目清单,细化分解落实全年重点项目 1 万亿元的投资任务,强化项目建设督导和跟踪服务。(省发展改革委负责)

(二十二)谋划储备一批战略性的重大项目纳入国家“盘子”,积极争取国家土地、资金等政策支

持。衔接推进国家“十四五”规划 102 项重大工程涉粤项目的建设实施工作,力争更多项目纳入国家重大工程项目库。(省发展改革委负责)

(二十三)印发实施水利、交通、能源、生态环境、市政、民用建筑、新型基础设施等七大领域项目前期工作标准化指引,开展重大项目前期工作“前延”服务试点,切实提高项目前期工作质量。(省发展改革委负责)

(二十四)强化省重大项目并联审批工作专班机制,优化项目审批环节和时序,依法依规实施建设项目豁免环评手续、告知承诺制审批、简化环评编制内容等措施;探索扩大“承诺制”适用范围,“一项目一策”商议可容缺事项,全面提高审批效率。(省发展改革委、自然资源厅、生态环境厅负责)

(二十五)依托省重大项目用地用海用林资源要素支撑联席会议,制定年度重大项目自然资源服务保障清单,统筹保障重大项目所需的土地利用计划指标、林地定额等自然资源要素。(省自然资源厅负责)

(二十六)有序实施重大项目能耗单列,保障国家和省布局重大项目合理用能需求。对新上单位工业增加值能耗优于全省 2025 年单位工业增加值能耗控制水平的项目,全力保障项目用能需求。通过淘汰落后产能、节能技术改造和大力发展可再生能源等方式保障强链补链延链项目用能需求。(省发展改革委、能源局负责)

(二十七)积极争取地方政府专项债券、政策性开发性金融工具等中央政策,加大省重大项目前期工作经费支持,按照“一项目一方案”制订资金筹措方案,全力保障项目建设资金需求,确保项目资金形成闭环。(省发展改革委、财政厅负责)

(二十八)完善促进民间投资的政策支撑体系,制定我省支持民间投资发展实施方案,鼓励民间资本参与重大项目建设,常态化向民间资本推介优质投资项目,通过政府投资和政府激励有效带动民间投资。(省发展改革委负责)

(二十九)围绕新能源及智能网联汽车、生物医药等战略性支柱产业集群和半导体及集成电路、高端装备、新型储能、海上风电、氢能等战略性新兴产业集群,梳理一批新技术、新产业、新模式应用场

景和创新需求,打造一批吸引社会资本参与的投资标的,提振民间投资信心。(省发展改革委负责)

(三十)支持民间投资项目参与基础设施领域不动产投资信托基金(REITs)试点,规范有序推进政府和社会资本合作(PPP)。(省发展改革委负责)

#### 四、全力稳住外贸外资

(三十一)推动粤港陆路运输全面恢复常态,清理取消一切限制性措施,进一步简化流程、便利通行。鼓励各地新增或加密以广东为始发地或目的地的国际海、空货运航线,直通欧美、日韩、东盟、金砖国家等重点市场。(省商务厅、交通运输厅,海关总署广东分署、民航中南地区管理局负责)

(三十二)支持企业参加广交会等重要展会线下展,办好超 100 场“粤贸全球”境外展,支持超 1 万家企业出海拓市场,重点开拓出口超千亿美元的重点市场。为企业赴境外参展、国际采购商入境采购提供便利化服务,助力企业抢抓海外订单。(省商务厅、财政厅、贸促会、工商联负责)

(三十三)优化进口贴息产品目录,做到应贴尽贴,促进先进技术和设备进口。制定落实六大进口基地实施方案,有效扩大大宗商品、电子元器件、飞机、汽车、农副产品、中高端消费品进口。(省商务厅、工业和信息化厅、财政厅负责)

(三十四)省市联动打造一批“产业集群+跨境电商”试点,培育 15 个跨境电商产业园、15 家超 10 亿级跨境电商龙头企业,出台海外仓专项支持政策。做好全省加工贸易 200 强企业“一对一”服务,进一步优化加工贸易监管模式。(省商务厅,海关总署广东分署负责)

(三十五)优化重点产业、重点市场出口信用保险服务和保单融资业务,2023 年支持承保规模不低于 1000 亿美元。支持有意愿、经备案的保险公司依法开展短期出口保险业务。(省商务厅、地方金融监管局,海关总署广东分署、人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深圳银保监局,中国信保广东分公司负责)

(三十六)加快推进埃克森美孚惠州乙烯项目、巴斯夫(广东)一体化基地项目、中海壳牌三期等重大外资项目,充分发挥省领导联系跨国公司直

通车机制作用,建立完善与在粤外国商协会、外资企业常态化交流机制。(省发展改革委、工业和信息化厅、科技厅、商务厅负责)

(三十七)全面落实《鼓励外商投资产业目录》,外资企业可凭在发展改革、商务等部门获得的鼓励类项目信息确认结果到海关办理相关减免税手续。支持外商投资设立高科技研发中心,对符合条件的外资研发中心,进口符合规定的科技开发用品免征进口关税和进口环节增值税、消费税。(省发展改革委、科技厅、工业和信息化厅、商务厅,海关总署广东分署负责)

(三十八)进一步拓宽企业跨境融资渠道,支持符合条件的高新技术企业和“专精特新”企业开展外债便利化额度试点。(省地方金融监管局,人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、外汇局广东省分局、外汇局深圳市分局负责)

(三十九)建立外资制造业领域标志性项目清单,对投资总额 1 亿美元以上的在谈、在建和已投产制造业项目,纳入省利用外资工作联席会议机制协调,重点解决用海、物流、用工用能、环评以及外籍员工入境等方面问题。及时推荐符合条件的外资项目列入国家重大外资项目。(省商务厅、发展改革委、工业和信息化厅负责)

## 五、促进产业优化升级

(四十)国内外高校、科研机构 and 行业龙头企业建立的研发机构被认定为省级新型研发机构的,省财政按规定给予支持。(省科技厅、财政厅负责)

(四十一)实施工业投资跃升计划,推动 2023 年全省工业投资实现两位数增长。建立省领导同志牵头联系重大项目工作机制,优化重大产业项目建设全流程服务。(省工业和信息化厅、发展改革委负责)

(四十二)实施广东工业技术改造“双增”行动,2023 年推动 9000 家工业企业开展技术改造,推动 5000 家规上工业企业实施数字化转型。落实设备购置与更新改造贷款贴息政策,对符合条件的项目给予 2.5 个百分点的贴息、期限不超过 2 年。(省工业和信息化厅、发展改革委、财政厅、地方金融监管局负责)

(四十三)推进现代农业产业园、农业现代化示范区建设。累计建设省级现代农业产业园 300 个以上,高质量建成 100 万亩高标准农田。推进百万亩养殖池塘升级改造和渔港建设。出台专项措施大力发展现代化海洋牧场和深远海养殖,培育一批现代化海洋牧场企业。(省农业农村厅负责)

(四十四)大力发展研发设计服务、现代物流与供应链管理、数字贸易、软件与信息技术服务等,实施工业设计赋能广东专项行动,新增培育建设 30 家以上省级工业设计中心,办好“省长杯”工业设计大赛。(省工业和信息化厅、发展改革委、科技厅、商务厅、交通运输厅负责)

(四十五)推进产业有序转移,高标准建设 15 个承接产业有序转移主平台和 7 个大型产业集聚区,提升省产业园承载能力,配套完善园区功能。制定实施全省高新区、经开区、产业转移园等平台差异化支持政策,通过评价监测、定向考核落实正向激励、末位淘汰等奖惩措施,倒逼各园区提升建设质量。(省发展改革委、工业和信息化厅、科技厅、商务厅负责)

(四十六)建立健全招商引资“一把手”负责制,实施全球招商顾问计划,打造品牌化招商引资活动,机制化办好粤港澳大湾区全球招商大会、世界粤商大会、珠三角与粤东西北经贸合作招商会等重大招商活动。建设招商引资对接平台,动态更新招商数据库和招商地图,提高招商引资工作效率。(省商务厅、发展改革委、工业和信息化厅、国资委、政务服务数据管理局、工商联负责)

(四十七)加大优质企业梯度培育专项计划,重点遴选 40 家以上省级“链主”企业、200 家以上省级“单项冠军”企业、250 家以上“专精特新”小巨人企业、2000 家以上省级“专精特新”中小企业,给予各项政策资源要素倾斜。推动 7000 家小微工业企业上规模发展。(省工业和信息化厅负责)

(四十八)出台进一步强化企业创新主体地位的若干措施,优化企业创新生态。推动高新技术企业树标提质,大力培育科技领军企业,实施企业基础研究补助,引导高校、科研机构、省实验室、重大科技基础设施向企业开放共享仪器设备,新培育一批省级工程技术研究中心、省级企业技术中心等研

发平台,优化科技风投、信贷、保险、多层次资本市场助力科技企业创新发展的支持措施。(省科技厅、工业和信息化厅、财政厅、发展改革委、教育厅、地方金融监管局,人民银行广州分行、人民银行深圳市中心支行、广东银保监局、深圳银保监局、广东证监局、深圳证监局负责)

(四十九)对符合条件的制造业企业、科技型中小企业开展研发活动中实际发生的研发费用,未形成无形资产计入当期损益的,在按规定据实扣除的基础上,再按照实际发生额的 100% 在税前加计扣除;形成无形资产的,按照无形资产成本的 200% 在税前摊销。(省税务局、深圳市税务局,省科技厅、财政厅负责)

(五十)企业新购进的设备、器具,单位价值不超过 500 万元的,允许一次性计入当期成本费用在计算应纳税所得额时扣除,不再分年度计算折旧,执行期限至 2023 年 12 月 31 日。(省税务局、深圳市税务局负责)

## 六、优化提升营商环境

(五十一)出台推动我省民营经济发展的意见,保障民营企业公平参与市场竞争,保护民营企业合法权益。加强各类公共服务体系建设,提高服务民营经济发展能力。及时了解反映民营企业和民营经济人士合理诉求,切实保护其依法维护合法权益。(省工业和信息化厅、工商联负责)

(五十二)积极推动构建亲清政商关系,完善政府企业沟通协调机制,完善省级跨部门涉企政策“一站式”网上发布平台,进一步强化市场主体诉求响应平台服务,健全中小企业维权工作体系,畅通中小企业诉求表达渠道,统筹解决企业发展相关问题。(省工业和信息化厅、政务服务数据管理局、工商联负责)

(五十三)落实促进中小企业发展的政府采购政策,政府采购工程根据项目特点、专业类型和专业领域合理划分采购包,积极扩大联合体投标和大企业分包,降低中小企业参与门槛。对适宜由中小企业提供的,预留采购份额专门面向中小企业采购。(省财政厅、工业和信息化厅负责)

(五十四)全面推进信用分级分类监管,出台建

设高标准信用服务市场的政策措施。制定涉企轻罚免罚清单,对市场主体违法行为情节显著轻微或者无明显危害后果的,依法不予处罚或者从轻减轻处罚。(省发展改革委、市场监督管理局、司法厅负责)

(五十五)紧密结合整治涉企违规收费与落实助企纾困政策、优化营商环境、激发市场活力,深入开展涉企违规收费整治。落实机关、事业单位、大型企业逾期未支付中小微企业账款信息披露制度,建立协同治理和失信惩戒机制。(省发展改革委、工业和信息化厅、市场监管局、财政厅、民政厅负责)

(五十六)降低企业运输成本,鼓励有条件的地市通过政府购买服务等方式,针对辖区内高速公路实施多种方式的通行费优惠措施;支持高速公路经营管理单位以省人民政府批准的车辆通行费收费标准为上限实行差异化下浮。(省交通运输厅负责)

(五十七)深入开展“千名就业服务专员助万家重点企业”活动,为企业提供见习组织、余缺调剂、专场招聘、招才引智、技能培训等服务,鼓励有条件的地区实施支持重点用工企业招工用工的激励措施。推进新粤商培训工程,每年免费培训中小企业和服务机构中高层管理人员、技术骨干 5000 人次以上。(省人力资源社会保障厅、工业和信息化厅负责)

(五十八)支持广州、深圳国家营商环境创新试点建设,开展省级营商环境综合改革示范点建设。建立营商环境对口帮扶机制,推动粤东粤西粤北城市对标珠三角先进城市提升营商环境量化指标。(省发展改革委负责)

(五十九)加快全省一体化政务服务平台建设,全面提升省统一申办受理平台支撑能力,推动与各级部门业务系统互联互通、业务协同,涉企政务服务事项全省无差别受理、同标准办理,全面实现涉企政务服务“一网通办”。(省政务服务数据管理局负责)

各地、各部门要强化责任意识,结合工作实际,细化实施细则,确保政策措施落地落实;要强化实施督导,加强政策宣传解读和跟踪服务,推动政策直达基层,直接惠及市场主体,最大程度释放稳增长、推动高质量发展的信心和决心。

以上政策措施自公布之日起实施,有效期至 2023 年 12 月 31 日。具体政策措施有明确执行期限或国家有明确规定的,从其规定。

## 公司承担的广东省西向辐射高速公路改扩建项目

### —G80 广昆高速公路粤境横江至马安段改扩建工程顺利通过初测初勘外业验收

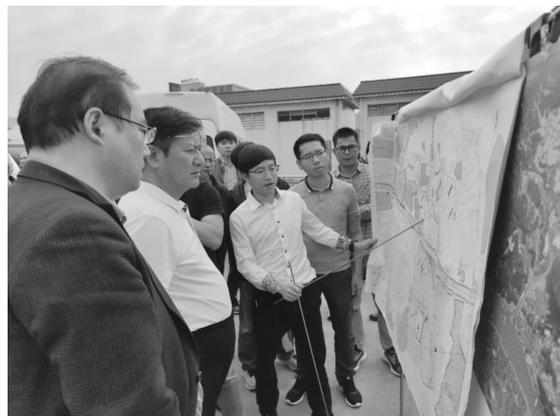
4 月 12 日至 13 日,公司承担的广东省重要的西向辐射高速公路改扩建项目—G80 广昆高速公路粤境横江至马安段改扩建工程(以下简称“广肇高速改扩建工程”)顺利通过了广东省交通运输厅组织的初测初勘外业验收。公司总工程师孙向东,副总经理罗火生,副总工程师梁志勇,第二设计院院长丘燊、总工程师池坤敏、王雷和项目组成员参加了现场会议,对本项目初测初勘外业工作进行汇报和答疑,并就项目主要控制性工点进行讲解。



广肇高速改扩建工程是 G80 国家高速公路网的组成部分,也是广东省重要的西向辐射高速通道,作为广东“十二纵八横两环十六射”骨架网中的纵线组成部分,是广佛肇核心区连接粤西地区的重要枢纽通道,将为推动粤西地区乃至广东省的经济及社会发展发挥重要作用。

本项目总体为东西走向,起点位于佛山市南海区丹灶镇横江,通过横江枢纽互通连接广州西二环高速公路;路线自东向西经佛山市南海区、三水区、肇庆市高要区金利镇、蚬岗镇、白土镇、莲塘镇和新桥镇,终

点位于新桥镇接广云高速公路,全长 51.127 km。公司第二设计院承担了本项目总体组及 SJA1 标,起点至蚬岗路段的勘察设计任务,路线长 23.754 km。本项目控制性工程为金马大桥,旧桥为  $60 + 2 \times 283 + 60$  m 斜拉与 T 构协作体系,左侧分离增建主桥推荐采用  $85 + 2 \times 283 + 85$  m 组合梁斜拉桥与组合连续梁的协作体系。主桥拟在大跨度双幅桥气动干扰效应、独塔斜拉 - 连续协作体系设计施工关键技术等作深入研究,旨在打造公司西江又一座代表性作品。



本项目已被纳入国家高速公路网规划、省高速公路网规划、省重点建设项目清单。本次初测初勘外业验收会议的顺利召开是本项目推进的重要阶段性成果,为后续工作的开展和今年 9 月开工的目标打下了坚实基础。接下来,项目组将结合本次会议精神 and 具体专家意见,优化完善相关设计方案,尽快开展初步设计工作,确保本项目按时顺利开工建设。

(报道者:王同)

## 公司副总工程师张修杰、万志勇分别获授 2022 年度广东省工程勘察设计行业协会科技 创新领头人、科技创新先进工作者荣誉称号

近日,广东省工程勘察设计行业协会公布了 2022 年度广东省工程勘察设计行业协会科技创新领头人、科技创新先进工作者表彰名单。公司副总工程师张修杰、万志勇分别获授“科技创新领头人”、“科技创新先进工作者”荣誉称号。

广东省工程勘察设计行业协会科技创新领头人、科技创新先进工作者奖项由广东省工程勘察设计行业协会设立,旨在表彰和鼓励在工程勘察设计科技创新工作方面作出突出贡献的集体和个人。

特此报喜。



(报道者:李文贵)

## 公司承担的柳州高速过境线公路(罗城经柳城至鹿寨段) 项目施工图设计顺利通过评审

4月25日,由公司第三设计院承担主体设计工作的柳州高速过境线公路(罗城经柳城至鹿寨段)项目施工图设计顺利通过了广西壮族自治区高速公路发展中心组织的专家评审。公司副总工程师周震,第三设计院副院长李维杰、桥梁总工程师郭文华,建筑设计院院长熊珺,轨道与地下工程设计院总工程师李国安,广西分公司总经理刘佳辉以及项目组成员、各业务机构相关人员出席了评审会,对本项目施工图设计工作进行汇报和答疑。



鹿寨北枢纽立交效果图

本项目已在3月初完成现场踏勘并顺利通过定测外业验收,为项目施工图设计评审会议的召开奠定了基础。

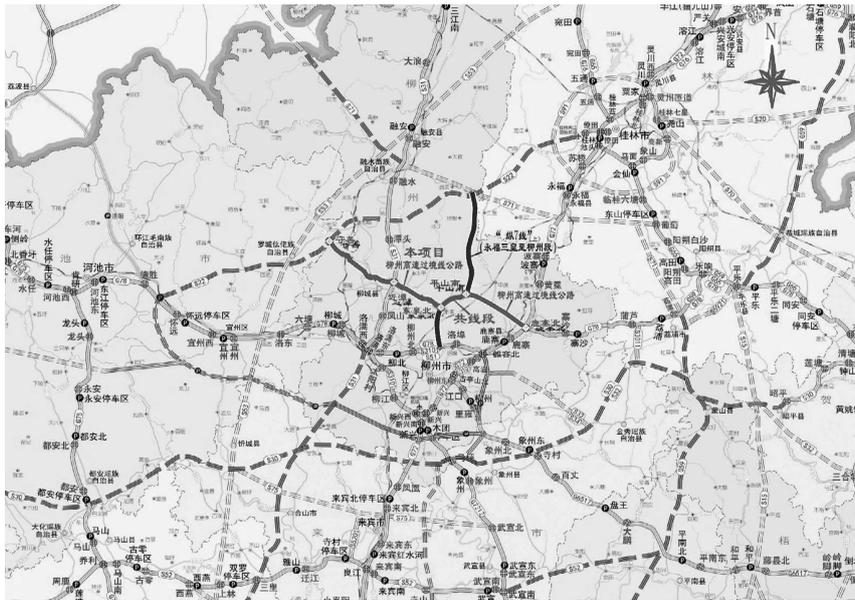
评审会议的参会领导和专家听取了建设单位关于项目推进情况的介绍,设计单位关于项目施工图设计成果的分专业详细汇报,安评单位、代厅审查单位对本项目的咨询审查评价,并对施工图设计文件进行了充分的讨论和研究。本项目是广西壮族自治区高速公路发展中心对施工图设计审查会议提出新要求后、公司作为总体设计单位参加评审会的首个项目。公司所准备的会议资料详实充分、汇报内容清楚全面,相关设计成果赢得了与会领导、专家和业主的高度评价。

本项目是《广西高速公路网规划(2018-2030年)》中“联3线+城市过境线”的重要组成部分,是构建和完善广西高速公路网、充分发挥高速公路网络连通效应的需要,是加快珠江-西江经济带建设发展、扩大柳州市工业强市辐射作用的需要,是完善桂中城镇区域路网、带动周边乡镇同城化发展的需要。

项目路线基本呈东西走向,起点位于河池市罗城县小长安镇,途径河池市罗城县、柳州市柳城县与鹿寨县,终点位于鹿寨县北侧上跨泉南高速并顺接阳鹿高速;路线全长97.348 km(其中与“永柳高速”共线11.5 km),实际建设里程约85.848 km;全线采用双向四车道高速公路标准,设计速度120 km/h,路基宽度26.5 m;全线共设置主线桥梁18657 m/51座,其中特大桥8066.3 m/6座、隧道6977.5 m/5座,桥隧比为29.86%;设互通式立交10处(枢纽互通5座、服务型互通5座),服务区2处,停车区1处。



施工图设计审查会议现场



项目地理位置图

本项目共分为两个施工图勘察设计合同段。公司作为总体设计单位,承担了第2设计合同段的土建工程勘察设计工作以及全线的交安、机电、房建的设计工作。项目地形地质条件复杂(岩溶发育)、控制因素多(油气管线众多)、协调难度大。公司领导高度重视本项目,在接到生产任务后立即成立项目组进行方案研究与现场踏勘,并随着设计方案的深化,适时召开公司内审会,对特殊工点进行充分研讨;同时,为更高效地为业主排忧解难,公司派遣了项目负责人与分项负责人前往柳州驻地设计,攻坚克难,最终顺利完成了本项目的勘察设计任务。

本次施工图设计审查会议的圆满召开,标志着项目设计工作进入了最后冲刺阶段,同时也为后续项目在新要求下开展施工图设计审查会议积累了宝贵经验。接下来,公司将继续秉承“创造精品,服务社会”的企业使命,以更加饱满的热情和高度负责的态度,认真落实专家组意见,稳步推进后续设计修编工作,为广西自治区的建设发展贡献广东交通院的品牌力量。

(报道者:李维杰)

## 公司受邀参与第七届(2023)华南智能交通论坛

4月13日~14日,由广东省交通运输厅指导,广东省智能交通协会、赛文交通网联合主办的“第七届(2023)华南智能交通论坛”在广州成功举办。论坛为期两天,以“思·路”为主题,设有1场主论坛、6场分论坛,涵盖交通运输数据大脑、MaaS、高速公路出行服务、车路协同、路网智慧管控、行业数字化转型等多专业领域。众多一线用户、专家学者在此交流探讨智能交通市场走势,共同促进华南地区智能交通高质量发展。公司副总经理汪超,交通安全与智慧交通设计院院长孙卫华、副院长关小杰等人参加了论坛。



2023年第七届华南智能交通论坛现场

活动伊始,广东省交通运输厅党组成员、副厅长黄成造为大会致辞。他表示,广东省交通运输厅坚决贯彻落实国家和省委、省政府的工作部署,加快构建新发展格局,坚持创新驱动,深入推进智慧交通发展,不断为交通运输高质量发展注入新的活力和动力,并希望大家利用好本次平台,深入交流研讨,促进技术进步,实现共赢发展。



广东省交通运输厅党组成员、副厅长黄成造致辞

公司副总经理汪超应邀发表了“《广东省智慧高速公路建设指南》解读”主题演讲。汪总首先抛出了智能交通行业的经典路径分歧——技术优先或场景优先,随即结合国内外试点反馈,提出了“场景优先,服务当前;技术优先,着眼未来”的智慧高速公路建设思考,并介绍了去年10月发布的“广东省

智慧高速建设指南”在技术、区域特色、场景务实等方面的亮点。本次演讲现场反响热烈,引发了业内人士的广泛讨论。



公司副总经理汪超解读《广东省智慧高速公路建设指南》

本届论坛上还举办了颁奖盛典。公司获广东省智能交通协会授予“2022 年度十佳会员单位”奖项。公司交通安全与智慧交通设计院院长孙卫华参与了颁奖仪式。



广东省智能交通协会“2022 年度十佳会员单位”颁奖仪式

论坛第二日,“智慧交通 AI 安全应用创新联合体”正式成立。该联合体由广东省智能交通协会作为指导单位,由广州市属国有独资企业广州无线电集团广州广电信息安全科技有限公司牵头,与我公司以及国家工业信息安全发展研究中心、华南理工大学未来技术学院、广东龙芯中科电子科技有限公司、广州市路联信息科技有限公司、视云融聚(广州)科技有限公司、广州交嵌信息技术有限公司共 8 家单位联合共建。



“智慧交通 AI 安全应用创新联合体”成立仪式

智慧交通 AI 安全应用创新联合体立足华南、面向全国,依托由广州市人民政府指导、广州无线电集团投资建设和运营的广州人工智能公共算力中心、广州人工智能融合赋能中心、广东省数字政府信创适配测试中心等公共技术服务平台,为交通行业提供普惠 AI 算力及信创适配测试认证服务,以 AI 算法、AI 安全及信创安全赋能,联动智慧交通产业链上下游企事业单位,共同研发打造 AI 安全应用创新技术与产品,依托国家级检测机构——国家语音及图像识别产品质量检验检测中心,在智慧交通数据质量、数据治理工具、数据安全、数据合规等领域开展技术评测、应用创新、安全检测、标准制定、政策研究、咨询服务等工作,并将通过科技赋能、安全赋能、服务赋能,为智慧交通产业发展提供建设指导、规划咨询、方案设计、项目实施、营运保障等全方位服务,推动智慧交通产业高质量发展。

同期还举办了“区域路网智慧管控论坛”、“交通行业数字化转型论坛”与“高速公路安全出行创新服务论坛”。多位业内专家大咖带来了诸多行业精彩内容。公司交通安全与智慧交通设计院副院长关小杰受邀作了以《粤港澳大湾区改扩建工程智慧高速面临的新挑战与新机遇》为主题的演讲,围绕当前大湾区高速公路改扩建大规模开展热潮的公路发展新阶段,提出了对智慧高速发展的新场景、新挑战、新机遇等关键问题的思考与展望。



关小杰解读《粤港澳大湾区改扩建工程智慧高速面临的新挑战与新机遇》

本届华南智能交通论坛内容精彩,受到了业界的广泛关注。通过参加本次论坛,与会人员深化了对智慧交通行业发展的思考,提升了对行业最新理念、技术及解决方案的认识,吸收了业界单位优秀的经验做法。接下来,公司将继续以推动交通行业高质量发展、助力“交通强国”建设为己任,聚焦智慧交通领域的重点、热点和难点,不断贡献专业技术力量。

(报道者:关小杰)

# 考虑开挖宽度效应的基坑受力变形分析

陈国雄<sup>1</sup>, 贺佐跃<sup>1</sup>, 黄仕平<sup>2</sup>

(1. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广州 510507; 2. 华南理工大学, 广州 510641)

**摘要:**随着城市地下空间开发的规模化和综合化, 基坑的尺寸、形状也多种多样。本文依托金琴快线某实际基坑工程, 对桩水平位移、桩轴力、桩弯矩、横向支撑轴力、地表水平位移、地表竖向位移和坑底竖向位移等随基坑宽度的变化规律进行数值分析。结果表明: 桩最大水平位移随基坑宽度增加逐渐增加, 桩顶水平位移随基坑宽度增加逐渐减小。桩最大负轴力绝对值总体上随基坑宽度增加逐渐增加, 并趋于平稳。基坑宽度越大, 桩弯矩绝对值也越大。随基坑宽度增加, 横向支撑轴力先快速增加、再逐渐趋于平稳并保持恒定。随基坑宽度增加, 地表最大正水平位移逐渐增加并趋于平稳, 地表最大沉降逐渐增加; 坑底竖向位移先增加、再减小, 整体形状也逐渐由单峰向双峰转变。坑底最大正竖向位移先增加、再减小, 并在基坑宽度为 10.0 m 时达到最大值, 约为 227 mm。本文揭示考虑宽度效应的基坑受力变形变化规律, 为软土区基坑工程的设计施工提供一定的参考。

**关键词:** 基坑; 开挖宽度; 受力; 变形; 安全

## 0 引言

随着城市地下空间开发的规模化和综合化, 基坑的尺寸、形状也多种多样。高层建筑地下室、地下商城和市政工程等建设, 不断刷新着基坑工程的规模、深度和宽度; 而一些地铁车站风井、出入口及顶管工作井基坑宽度很窄, 其数量也占基坑工程一定比例<sup>[1-2]</sup>。这些都迫切需要解决基坑宽度效应对变形的影响问题。

董洁<sup>[3]</sup>通过有限宽度内支撑+排桩支护结构模型试验, 研究了在开挖过程中, 桩身内力、桩顶水平位移及整体稳定性等的变化规律。王宝存<sup>[4]</sup>通过合肥某基坑室内缩尺模型, 揭示了水体对深大复杂基坑开挖的作用过程、模式和效果, 得到了基坑整体稳定性及周围土体变化的变化规律。郭少坡<sup>[5]</sup>通过某地铁基坑的室内试验, 得到了考虑土结相互作用的基坑变形及稳定性变化规律。唐益群和栾长青<sup>[6]</sup>通过对上海地铁九号线宜山路站的室内降水试验, 得到了降水井水位流量、孔隙水压力对基坑施工的安全性和稳定性影响规律。李广信<sup>[7]</sup>通过固结不排水三轴试验对应力路径进行了研究, 结果表明对应的强度指标在计算土压力与整体稳定性分析时偏于不

安全, 对于饱和黏性土基坑抗力自重应采用浮重度。刘娟<sup>[8]</sup>通过毛竹管和钢管单排微型桩的室内试验发现, 可采用毛竹排桩支护结构进行支护时, 对浅基坑的临时支护效果较好。数值分析是基坑整体稳定性研究的重要手段之一, 能够有效弥补窄基坑稳定性现有理论分析的不足, 现有文献已开展了相关基坑开挖宽度效应的数值研究<sup>[9-18]</sup>。然而, 在基坑开挖过程中, 针对基坑宽度效应对基坑受力、变形的影响规律研究较少。沿海地区由于普遍存在深厚软土层<sup>[19-22]</sup>, 基坑宽度对变形和受力的影响具有独特的规律, 尤其要引起重视<sup>[24-26]</sup>。

本文依托金琴快线某实际基坑工程, 对桩水平位移、桩轴力、桩弯矩、横向支撑轴力、地表水平位移、地表竖向位移和坑底竖向位移等随基坑宽度的变化规律进行数值分析, 揭示考虑宽度效应的基坑受力变形变化规律, 为软土区基坑工程的设计施工提供一定的参考。

## 1 基坑宽度分析方案

金琴快线北延段工程位于珠海市高新区, 场区主要由杂填土、淤泥、淤泥质粉质黏土、砾砂、砾质粘性土、全风化花岗岩、强风化花岗岩 1 和

强风化花岗岩 2 组成,土层厚度分别为:1.8、6.5、5.0、4.5、2.5、6.0、2.0 和 21.7 m。

市政给排水管道直径常为 0.4~2.0 m,考虑支撑厚度、工作面宽度时的基坑规范开挖宽度位于 1.3~4.0 m 之间。管道直径为 2.0 m 时,满足规范要求的最小基坑深度为 3.4 m。为考虑基坑宽度对管道基坑变形的影响,本文基坑宽度设计方案如表 1 所示,其中基坑深度均为 3.4 m。拉森 IV 型钢板桩桩长 8.3 m,φ508×9 mm 横向钢支撑 1 道、水平间距 4 m。无坑周荷载,无坑底加固。

表 1 基坑宽度分析方案

序号	基坑宽度/m	基坑深度/m
1	0.1	3.4
2	0.5	3.4
3	1.3	3.4
4	2.0	3.4
5	2.7	3.4
6	3.6	3.4
7	4.0	3.4
8	5.0	3.4
9	7.5	3.4
10	10.0	3.4
11	11.0	3.4
12	12.5	3.4
13	15.0	3.4
14	17.5	3.4
15	20.0	3.4

修正莫尔-库伦模型能够很好地用于模拟基坑开挖过程,各土层模型参数如表 2 所示。对于修正莫尔-库伦模型,土层基本力学参数假定满足以下规定:①割线刚度与土体压缩模量相等;②切线刚度与割线刚度大致相等;③卸载模量等于 5 倍割线刚度。拉森 IV 型钢板桩弹性模量均为  $2.06 \times 10^8$  kPa,重度均为  $78.5 \text{ kN/m}^3$ 。模拟工况如下:

- (1) 初始静力平衡,位移清零。
- (2) 拉森 IV 型钢板桩施工。
- (3) 第一步开挖,0.5 m。

(4) 0.5 m 深度处横向支撑施工。

(5) 后续开挖步依次进行。

表 2 基坑宽度分析方案

土层名称	天然重度 /( $\text{kN/m}^3$ )	割线刚 度/kPa	粘聚力 /kPa	内摩擦 角/( $^\circ$ )
素填土	18	3 500	8	8
淤泥	16	2 000	3	4
淤泥质粉质黏土	17	2 000	4	5
砾砂	19	10 000	0	32
砾质粘性土	20	7 000	18	20
全风化花岗岩	20	15 000	21	22
强风化花岗岩 1	22	16 000	30	30
强风化花岗岩 2	22	18 000	32	32

## 2 结果分析

### 2.1 桩水平位移

桩最大水平位移及其位置随基坑宽度的变化如图 1 所示,其中正负值与 X 坐标一致,即指向坑内为正。由图可以看出,桩最大水平位移随基坑宽度增加逐渐增加,最大可达 187 mm 左右,最小仅略大于 0 mm。增加趋势总体表现为三个阶段:

(1) 基坑宽度较小时,桩最大水平位移曲线较为平缓,随基坑宽度缓慢增加。

(2) 基坑宽度继续增加,桩水平位移曲线较为陡峭,随基坑宽度快速增加。

(3) 基坑宽度较大时,桩水平位移曲线再次平缓,随基坑宽度缓慢增加。

桩最大水平位移所在位置,即其 Y 坐标值也随基坑宽度逐渐变化。当基坑宽度小于 5.0 m 时,桩最大水平位移对应的 Y 坐标值逐渐减小,即桩最大水平位移发生位置逐渐向桩下部转移;当基坑宽度大于 5.0 m 时,桩最大水平位移对应的 Y 坐标值均为 -8.3 m,即发生在桩端位置。本文分析模型的基坑深度均为 3.4 m,而桩最大水平位移对应的最浅位置为地表下约 2.83 m,略高于基坑深度,且位于横向支撑位置以下。

桩顶水平位移对坑周构筑物的稳定和安全

有着直接影响,根据坑周构筑物控制要求的不同,应限制桩顶的允许水平位移。由图 2 可以看出,桩顶水平位移随基坑宽度增加逐渐减小,即水平变形逐渐增加。当基坑宽度为 0.1 m 时,桩顶水平位移接近于 0 mm;随基坑宽度增加,桩顶水平变形先快速增加再逐渐趋于平稳,桩顶水平变形最大可达 13.8 mm 左右。可以预想,当基坑宽度继续增加时,桩顶水平位移的变化幅度会非常小。这意味着基坑宽度对桩顶水平位移的影响具有一定的范围。

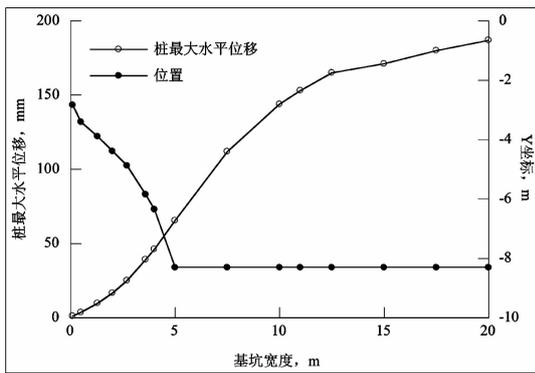


图 1 桩最大水平位移及其位置

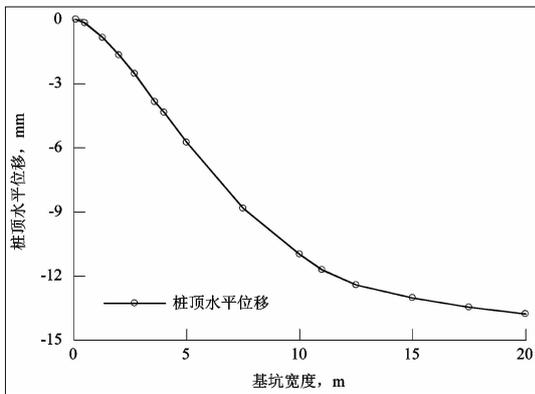


图 2 桩顶水平位移

### 2.2 桩轴力

桩最大负轴力随基坑宽度的变化规律如图 3 所示,负值表示受压。由图可以看出,桩最大负轴力绝对值总体上随基坑宽度增加而逐渐增加,并逐渐趋于平稳。这说明:基坑宽度对桩最大负轴力的影响先显著、再趋于稳定。桩最大负轴力绝对值最小仅为 2.45 kN(基坑宽度为 0.1 m),最大可达 21.3 kN(基坑宽度为 20.0 m)。此外,桩最大负轴力所对应的位置,在基坑宽度较小

时,深度略有减小,但总体相差不大并保持在 3.2 m 左右,略高于基坑开挖深度;在基坑宽度较大时,深度保持稳定在 5.12 m 处。在基坑宽度为 7.5、10.0 m 之间,深度显著增加,在曲线上呈现出突变。

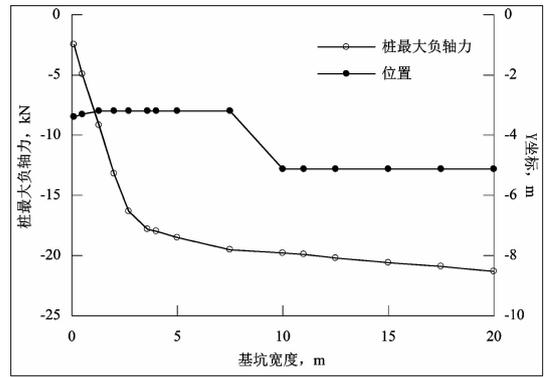


图 3 桩最大负轴力

### 2.3 桩弯矩

拉森 IV 型钢板桩弯矩如图 4 所示。Midas GTS 中规定:一维单元弯矩以上压下拉为正,正方向符合右手螺旋准则,即右手四指沿弯矩作用线,大拇指方向即为弯矩作用正方向。由图可以看出,在横向支撑位置以上,桩弯矩为正值,并在横向支撑位置处达到极值。而在横向支撑以下,总的来说基坑宽度越大,桩弯矩绝对值也越大;桩弯矩由正值逐渐向负值转变,桩弯矩绝对值先随深度逐渐增加,到达某一深度后再逐渐减小,并在桩端位置弯矩均约为 0 kN·m。对于基坑宽度为 0.1、0.5 和 1.3 等三个水平,除具有上述一般规律外,在桩下半段,桩弯矩会重新随深度转变为正值、再减小至约 0 kN·m。

桩身大部分受负弯矩作用。桩最大负弯矩及其位置随基坑宽度的变化规律如图 5 所示。由图可以看出,总体上来说,桩最大负弯矩绝对值随基坑宽度增加逐渐增加,但增加速率逐渐减小,在曲线上表现为逐渐趋于平缓。基坑宽度为 0.1 m 时,桩弯矩约为 -23.7 kN·m;基坑宽度为 20.0 m 时,桩弯矩约为 136 kN·m。这说明基坑宽度较小时,对桩最大负弯矩的影响较为显著。此外,与桩最大负弯矩对应的位置也表现出类似的规律。当基坑宽度较小时,桩最大负弯矩

深度随基坑宽度逐渐增加;当基坑宽度较大时,即达到 2.7 m 以后,桩最大负弯矩深度保持在 4.14 m。但总的来说,深度均处于 2.8 m 至 4.14 m 之间,即均位于坑底附近。

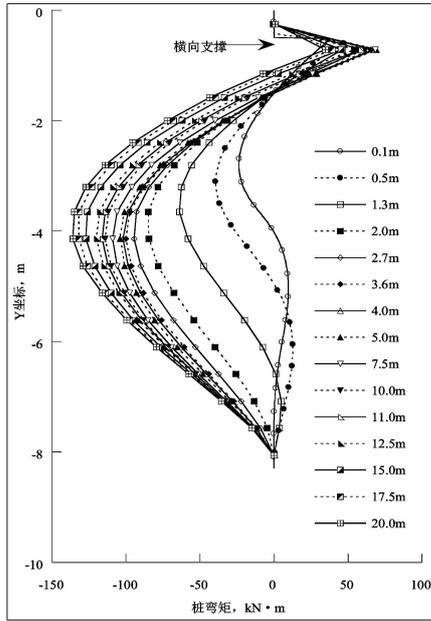


图 4 桩弯矩

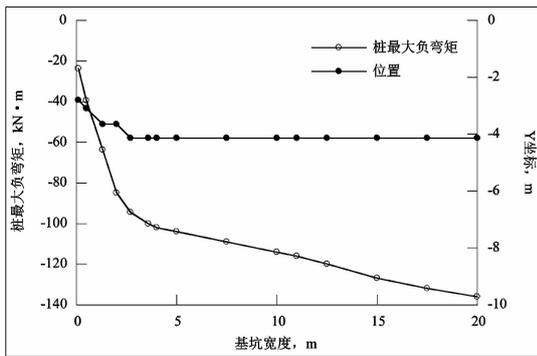


图 5 桩最大负弯矩及其位置

桩最大正弯矩及其位置随基坑宽度的变化规律如图 6 所示。由图可以看出,随基坑宽度增加,桩最大正弯矩总体上先增加、再减小,并在基坑宽度为 5.0 m 时达到最大值(69.1 kN·m)。桩正弯矩处于 34.7 kN·m 至 69.1 kN·m 范围之间,但相对于桩负弯矩,桩正弯矩数值上要较小。此外,与桩最大正弯矩对应的位置变化很小,处在基坑宽度较小时深度略有下降为,在基坑宽度为 1.3 m 后始终保持不变。事实上,横向支撑的位置为地表以下 0.5 m 深度处,理论上弯

矩最大正弯矩位置也应在此位置。但由于在进行数值建模时,为提高计算效率,网格单元尺寸通常不宜太小;而若网格单元尺寸太大,则会影响计算精度。本章所有数值模型的网格单元尺寸均为 0.5 m,但在网格单元的边长略有差异,且计算结果均以单元中心为基准,这在一定程度上会导致某些深度的数据缺失。因此,本节计算深度均在横向支撑位置附近,结果仍然是可以接受的。

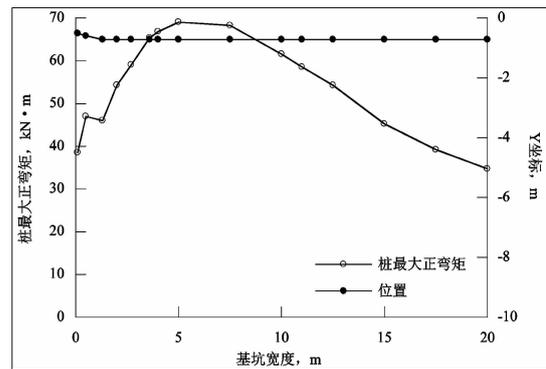


图 6 桩最大正弯矩及其位置

## 2.4 横向支撑轴力

横向支撑轴力如图 7 所示。由图可以看出,总的来说无论基坑宽度取值多少,横向支撑轴力均为负值,说明横向支撑均处于受压状态。此外,随基坑宽度增加,横向支撑轴力先快速增加、再逐渐趋于平稳并保持恒定。当基坑宽度为 0.1 m 时,横向支撑轴力约为 -187 kN;当基坑宽度为 17.5 m 或 20.0 m 时,横向支撑轴力约为 -476 kN。这表明:当基坑宽度较大时,尽管横向支撑轴力增加有限,但仍要尤其注意横向支撑的设计,保证能够承受足够的轴力。实际工程设计时,应予以重视。

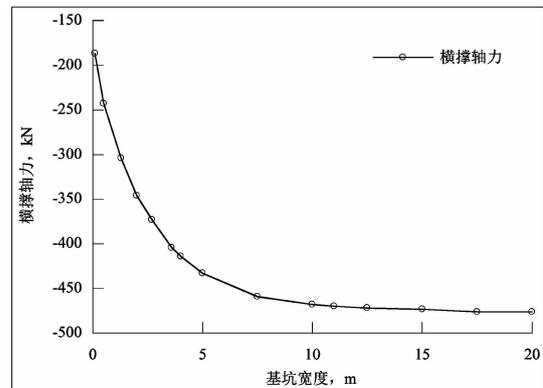


图 7 横向支撑轴力

### 2.5 地表最大水平位移

地表最大正水平位移随基坑宽度的变化规律如图 8 所示,正值表示位移指向坑内。由图可以看出,随基坑宽度增加,地表最大正水平位移逐渐增加并趋于平稳,且绝对值较地表最大负水平位移更大,处于 1.08 mm 至 51.9 mm 范围之内。此外,与地表最大正水平位移对应的位置,或相应的与基坑边缘的距离,随基坑宽度增加先增加、再保持不变、最后在基坑宽度为 7.5 m 时略有下降并再次保持不变。总的来说,与基坑边缘的距离处于 5.0 m 至 7.0 m 范围内。这表明在该范围以内,对水平位移要求严格的构筑物要引起足够重视。

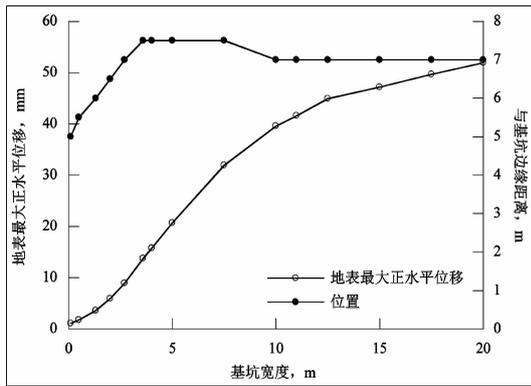


图 8 地表最大水平位移

### 2.6 地表最大沉降

地表最大负竖向位移或沉降及其位置随基坑宽度的变化规律如图 9 所示。由图可以看出,随基坑宽度增加,地表最大沉降逐渐增加,但增加速率逐渐减小。地表沉降在基坑宽度为 20.0 m 时达到最大值,约 137 mm。与地表最大沉降对应的位置或与基坑边缘的距离,随基坑宽度增加,先增加、在基坑宽度为 3.6 ~ 15.0 m 时保持不变、在基坑宽度为 15.0 m 时略有下降并最终再次保持不变。与基坑边缘的距离总体上处于 1.5 m 至 5.0 m 范围内。这表明:在此范围之内,对于沉降要求严格的构筑物,也应当引起足够重视并采取合理的防治措施,保证足够的稳定性和安全性。

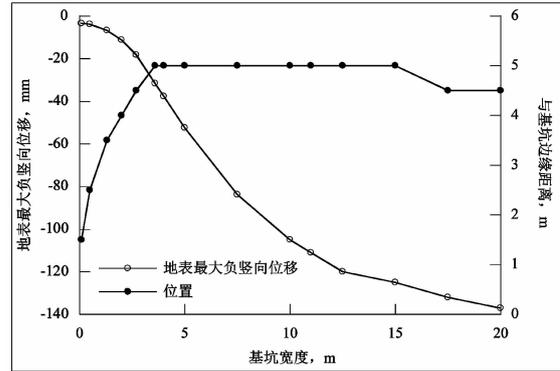


图 9 地表最大沉降及其位置

### 2.7 坑底竖向位移

坑底竖向位移如图 10 所示。由图可以看出,在所有基坑宽度水平下,坑底竖向位移同样均以坑底中心对称分布。总的来说,随基坑宽度增加,坑底竖向位移先增加、再减小。坑底竖向位移的形状随基坑宽度变化显著,坑底竖向位移在邻近基坑边缘的上升段逐渐向右偏移,即上升段斜率逐渐减小。此外,坑底竖向位移整体形状,也逐渐由单峰向双峰转变。当基坑宽度不大于 12.5 m 时,坑底竖向位移均为单峰形状;当基坑宽度大于 12.5 m 时,坑底竖向位移均为双峰形状,且基坑宽度越大,双峰形状越明显。拉森 IV 型钢板桩的变形、开挖时坑底土层的回弹变形,是导致坑底竖向位移形状改变的主要原因。当基坑宽度较小时,这两种变形共同导致在坑底中心产生最大竖向位移;而当基坑宽度增加到某一值时,桩的作用逐渐减弱,导致坑底竖向位移开始减小。

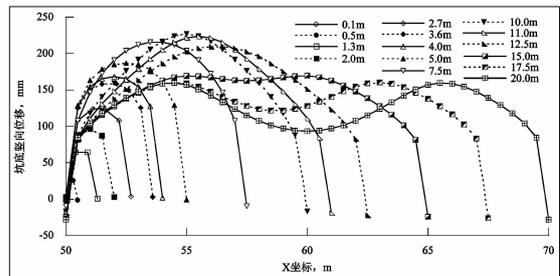


图 10 坑底竖向位移

以单侧坑底为分析对象,坑底最大正竖向位移(或隆起)及其位置随基坑宽度的变化规律如图 11 所示。由图可以看出,随基坑宽度增

加,坑底最大正竖向位移先增加、再减小,并在基坑宽度为10.0 m时达到最大值,约为227 mm。需要注意的是,坑底最大正竖向位移随基坑宽度增加段,增加速率逐渐减小;而在减小段,减小速率也逐渐减小。相较于单峰形状时,双峰形状时的坑底最大正竖向位移要更小。此外,与坑底最大正竖向位移对应的位置,或与基坑边缘的距离,先随基坑宽度增加线性增加;而当基坑宽度大于12.5 m,即当坑底竖向位移开始呈现双峰形状时,与基坑边缘距离随基坑宽度增加逐渐减小,但减小速率同样逐渐减小,并最终稳定在4.5 m。这表明:当坑底竖向位移由单峰形状转变为双峰形状时,峰值及其对应的与基坑边缘距离均会减小。

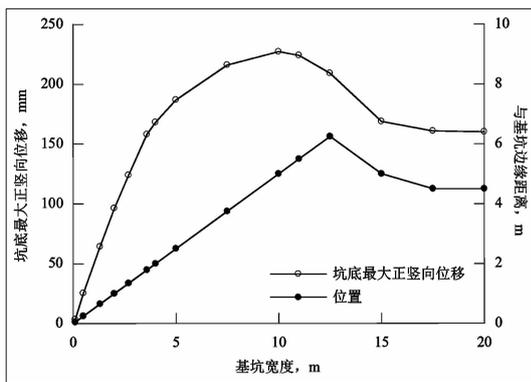


图11 地表最大隆起及其位置

实际监测数据表明:当基坑宽度为4 m、基坑深度为3.4 m时,桩顶水平位移为4.52 mm,地表最大沉降为39.6 mm,坑底最大隆起为172.4 mm,分别与本文模拟值4.35 mm、37.6 mm和168 mm大致相同,这验证了本文数值模拟结果的有效性。

### 3 结论

本文依托金琴快线某实际基坑工程,对桩水平位移、桩轴力、桩弯矩、横向支撑轴力、地表水平位移、地表竖向位移和坑底竖向位移等随基坑宽度的变化规律进行数值分析,得到结论如下:

(1) 桩最大水平位移随基坑宽度增加逐渐增

加,桩顶水平位移随基坑宽度增加逐渐减小。桩最大负轴力绝对值总体上随基坑宽度增加逐渐增加,并趋于平稳。基坑宽度越大,桩弯矩绝对值也越大,桩最大负弯矩绝对值随基坑宽度增加逐渐增加,而桩最大正弯矩总体上先增加、再减小。随基坑宽度增加,横向支撑轴力先快速增加、再逐渐趋于平稳并保持恒定。

(2) 随基坑宽度增加,地表最大正水平位移逐渐增加并趋于平稳,相应位置随基坑宽度增加先增加、再保持不变、最后在基坑宽度为7.5 m时略有下降并再次保持不变。随基坑宽度增加,地表最大沉降逐渐增加,但增加速率逐渐减小,相应位置随基坑宽度增加,先增加、在基坑宽度为3.6~15.0 m时保持不变、在基坑宽度为15.0 m时略有下降并最终再次保持不变。

(3) 随基坑宽度增加,坑底竖向位移先增加、再减小。坑底竖向位移的形状随基坑宽度变化显著,坑底竖向位移在邻近基坑边缘的上升段逐渐向右偏移,即上升段斜率逐渐减小;坑底竖向位移整体形状,也逐渐由单峰向双峰转变。坑底最大正竖向位移先增加、再减小,并在基坑宽度为10.0 m时达到最大值,约为227 mm。

### 参考文献:

- [1] 李邛,周金苗,黄耀福,等. 从巨型城市区域视角审视粤港澳大湾区空间结构[J]. 地理科学进展, 2018, 37(12): 1609-1622.
- [2] 刘全林,杨有莲. 加筋水泥土斜锚桩基坑维护结构的稳定性分析及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 024(02): 5331-5336.
- [3] 董洁. 有限宽度基坑内支撑+排桩支护结构室内土工模型试验及数值分析[D]. 中北大学, 2016.
- [4] 王宝存. 合肥某邻水基坑开挖稳定性分析与模型试验研究[D]. 合肥工业大学, 2016.
- [5] 郭少坡. 考虑土-结相互作用地铁基坑变形及稳定性研究[D]. 沈阳建筑大学, 2018.
- [6] 唐益群,栾长青. 上海地铁宜山路站室内降水大型模型试验分析[J]. 地下空间与工程学报, 2008, (3): 483-488.

- [7] 李广信. 基坑中土的应力路径与强度指标以及关于水的一些问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 31(11): 2269 - 2275.
- [8] 刘娟. 软土层环保型基坑支护结构研究[D]. 湖北工业大学, 2018.
- [9] 王洪新, 孙玉永. 考虑基坑开挖宽度的杆系有限元算法及试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(9): 2781 - 2795.
- [10] 侯景军, 何俊, 汤正俊, 等. 软土基坑中内插 H 型钢重力式挡土墙支护的变形及稳定性的有限元研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(S1): 431 - 436.
- [11] 何超, 陈沛, 周顺华. 软土基坑宽度效应对坑底隆起的影响[J]. 华东交通大学学报, 2015, 32(6): 86 - 91.
- [12] 张雷, 刘振宏, 钱元运, 等. 深基坑宽度对周围建筑影响的有限元分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(S1): 1312 - 1315.
- [13] Hamdy, Faheem, And, et al. Two - dimensional base stability of excavations in soft soils using FEM[J]. Computers & Geotechnics, 2003, 30: 141 - 163.
- [14] Nianqing Zhou, Vermeer Pieter - A, Lou Rongxiang, et al. Numerical simulation of deep foundation pit dewatering and optimization of controlling land subsidence[J]. Engineering Geology, 2010, 114(3): 251 - 260.
- [15] Chuang Zhang, Li Jian - Zhong, Yong H - E. Application of optimized grey discrete Verhulst - BP neural network model in settlement prediction of foundation pit[J]. Environmental Earth sciences, 2019, 78(15): 441 - 450.
- [16] Xuemin Zhang, Yang Junsheng, Zhang Yongxing, et al. Cause investigation of damages in existing building adjacent to foundation pit in construction[J]. Engineering Failure Analysis, 2017, 83: 117 - 124.
- [17] J - H Wang, Xu Z - H, Wang W - D. Wall and Ground Movements due to Deep Excavations in Shanghai Soft Soils[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2010, 136(7): 985 - 994.
- [18] Yong Tan, Wei Bin. Observed Behaviors of a Long and Deep Excavation Constructed by Cut - and - Cover Technique in Shanghai Soft Clay[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2011, 138(1): 69 - 88.
- [19] 秦坤元, 刘五一, 肖育斐, 等. 深基坑开挖对邻近边坡稳定性影响与控制[J]. 中外公路, 2019, 39(04): 23 - 27.
- [20] 王继槐. 管廊深基坑大间距支护桩数值模拟及施工监测[J]. 中外公路, 2020, 40(03): 39 - 42.
- [21] 胡凤明, 宋健, 闫磊, 等. 危岩带下深基坑开挖关键技术及仿真分析[J]. 中外公路, 2020, 40(04): 11 - 15.
- [22] 刘建威, 于鹏, 李德建. 大型深基坑紧邻磁浮高架桥和站场结构施工影响分析[J]. 中外公路, 2020, 40(06): 32 - 36.
- [23] 李浩, 贺祖浩, 杨钊, 等. 软弱地层临近深基坑工程房屋沉降注浆控制研究[J]. 中外公路, 2021, 41(01): 26 - 30.
- [24] 王洪新. 基坑宽度对围护结构稳定性的影响[J]. 土木工程学报, 2011, 44(06): 128 - 134.
- [25] 王洪新. 基坑的尺寸效应及考虑开挖宽度的抗隆起稳定安全系数计算方法[J]. 岩土力学, 2016, 37(S2): 433 - 441.
- [26] 应宏伟, 王小刚, 张金红. 考虑基坑宽度影响的基坑抗隆起稳定分析[J]. 工程力学, 2018, 35(5): 127 - 133.

# 软岩隧道钢拱架间钢板纵向连接支护结构研究

李国安<sup>1</sup>,王永东<sup>2</sup>,聂玉文<sup>1</sup>,燕新<sup>2,3</sup>,万善通<sup>2</sup>,王琛悦<sup>4</sup>

(1.广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司 第二设计院,广州 510507;

2.长安大学公路学院,西安 710064; 3.新疆交通规划勘察设计研究院有限公司,乌鲁木齐 830006;

4.长安大学长安都柏林国际交通学院,西安 710064)

**摘要:**基于软弱围岩隧道施工过程中出现的初支开裂、拱脚凸起和拱架变形等问题,选取其古顶炭质泥岩隧道作为研究对象,提出一种钢拱架间钢板纵向连接支护结构体系。从理论上分析了钢拱架间钢板纵向连接支护结构增强初期支护纵向整体性、环向承载力和防止局部变形破坏的作用机理;通过现场试验对钢板纵向连接结构和普通钢筋作为钢拱架间纵向连接结构的支护效果进行了比较。结果表明:钢拱架间钢板纵向连接支护结构能够有效提高初期支护的环向承载能力、纵向整体性和支护结构局部刚度,改变围岩应力分布,减小钢拱架变形、拱顶下沉和周边收敛,对控制软岩隧道变形效果显著,可为其它类似工程提供参考。

**关键词:**隧道工程;软弱围岩;钢板纵向连接支护;作用机理;现场试验

## 0 引言

随着我国国民经济的快速发展,对基础设施特别是公路交通设施的需求越来越大,隧道等地下工程建设方兴未艾。与此同时,在隧道施工过程中遇到的问题也越来越多。不良地质区域隧道稳定性问题<sup>[1-3]</sup>一直是国内外专家研究热点,其中软岩隧道一直是隧道施工中的难点,支护结构设计不当、施工工艺选用不妥不仅会带来大量的经济损失,还可能威胁施工人员的生命安全。从目前来看,软岩隧道围岩稳定性研究还不完善,需要进一步探究其变形破坏机理,进而研究不同破坏模式下的支护加固措施。

软弱围岩隧道施工一直是工程界的重点研究课题。国内外学者主要从围岩变形规律和支护措施两个方面来进行研究。张志强等<sup>[4]</sup>运用FLAC数值模拟分析了在高地应力条件下软弱围岩隧道变形机理,认为最大变位方向和最大主应力方向存在互相垂直的变形规律。孙钧等<sup>[5]</sup>研究了高地应力条件下隧道软弱围岩发生挤压大变形的力学行为,提出了非线性二维弹塑性本构模型与大变形三维弹粘塑性本构模型,并研发了相关专用程序。赵勇<sup>[6]</sup>基于兰渝铁路桃村坪软岩隧道,采用数值模拟和监控量测相结合的方法,提出了软弱

围岩变形的空间分布规律,并将软弱围岩进行分级。朱合华等<sup>[7]</sup>综合模型试验和数值模拟的结果,研究了不同埋深下软弱破碎隧道围岩的应力场特征。Mandal S K等<sup>[8]</sup>采用相似模型试验,研究了软岩隧道围岩变形破坏规律及灾变演化机制,并应用于隧道工程实践中。韩常领等<sup>[9]</sup>基于施工监测数据,对比了不同钢拱架支护方案下软弱围岩隧道围岩变形规律和力学特征。来弘鹏等<sup>[10]</sup>利用先加载后开洞的模型试验方法,研究了不同支护时机下软弱围岩隧道力学特征变化。汪波等<sup>[11]</sup>依托木寨岭隧道,提出了针对软岩大变形隧道的快速预应力锚固系统,并开展技术应用试验研究。杜耀辉<sup>[12]</sup>将现场监测、数值模拟和室内试验等方法相结合,从支护变形及其受力特性角度出发,进行了炭质板岩大变形隧道结构受力特性及变形控制技术研究。陈建勋等<sup>[13]</sup>对比了不同初期支护形式下绿泥石片岩隧道支护变形控制效果,提出了大跨度公路隧道软岩大变形控制方法和支护体系。王星等<sup>[14]</sup>以山子顶软岩隧道为依托,验证了扩挖支护措施对软岩隧道初期支护结构受力特性影响的优越性。

已有的研究多是以现场监测为基础,结合数值模拟和模型试验对深埋软岩隧道的变形机理进行研究。针对软岩隧道施工大变形问题,传统的

加固措施一般为打设锁脚锚杆,其主要目的是约束局部围岩的变形,改变支护结构的受力特点,增强支护结构的整体性。但是在某些大变形地段,锁脚锚杆作用有限,因此本文针对依托工程炭质泥岩隧道施工出现的大变形问题,提出了一种以纵向钢板作为钢拱架间纵向连接的支护结构方案,并分析其作用机理,然后利用现场试验验证纵向钢板作用效果,以期能较好地应用于实际工程。

## 1 钢拱架间钢板纵向连接支护结构

为了解决软弱围岩隧道施工过程中出现的

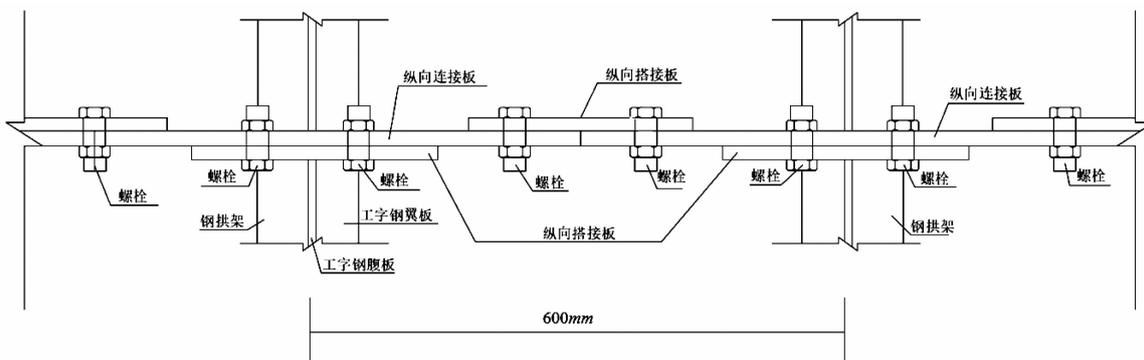


图1 钢拱架间钢板纵向连接结构示意图

## 2 作用机理分析

软弱围岩强度较低,受隧道开挖扰动后,易产生松弛变形,初期支护被迫承受较大围岩荷载。由于台阶法施工时间的差异性,在自重和围岩应力作用下,纵向钢拱架间将产生不均匀沉降;台阶处受力复杂,搭接处是一环钢拱架最薄弱的地方,容易产生断裂、变形。因此,钢拱架在台阶连接处应该改善纵向连接结构,加强连接处的稳定性。钢拱架间钢板纵向连接支护结构,可以较好地解决软岩隧道出现的上述问题。

### (1) 增强纵向整体性

钢板纵向连接支护结构主要连接相邻钢拱架,使得不同断面的钢拱架形成一个整体。由于上下台阶施工时间的差异性,相邻钢拱架受到的围岩压力不同,产生纵向不均匀沉降,钢拱架间纵向连接受到剪力作用。钢板纵向连接支护结构相

大变形问题,本文提出一种钢拱架间钢板纵向连接结构,见图1。钢拱架间钢板纵向连接系统主要由纵向连接板、螺栓、纵向搭接板以及钢拱架组成。

隧道采用台阶法开挖时,为了将纵向相邻两榀钢拱架连接起来,在上台阶开挖架设钢拱架后,在钢拱架拱脚处用装配螺栓固定纵向连接钢板,前一榀上台阶钢拱架底端处同样固定纵向连接板,使用预制的纵向搭接板连接相邻连接板,并采用螺栓固定;中台阶与下台阶钢拱架连接方式同上。

比一般螺纹钢筋的刚度更强,使不同断面的钢拱架形成一个整体,增加了支护结构的纵向整体性,降低单榀钢拱架受力值,防止出现应力集中现象,保证了支护结构的有效性。

### (2) 提高环向承载力

钢拱架间钢板纵向连接系统设置在同一断面的台阶处和仰拱处,在软岩隧道使用台阶法开挖时,可以及时提供较大的支护抗力,增强支护结构的环向承载力,约束了围岩的形变,使得围岩尽快恢复应力平衡状态,发挥承载拱的作用,保证了隧道的安全性。

### (3) 提高局部变形抵抗能力

在支护结构施作时,由于施工或爆破不当的原因,容易造成钢拱架连接处断裂,影响支护结构的整体性。上下两层连接板、搭接板相叠,固接在钢拱连接处,加强了单榀钢拱架的刚度,降低施工爆破对钢拱架连接处的扰动,从而提高了整体支护结构的支护效果。

### 3 现场试验

#### 3.1 工程概况

为了进一步探究钢拱架间钢板纵向连接支护结构对软弱围岩隧道开挖大变形的控制效果,本文以其古顶隧道为工程依托,开展现场试验。隧道位于广东梅州,为高速公路双向四车道。左线起讫桩号为 ZK9+368~ZK11+519,长 2 151 m,其中 IV 级围岩段落长 1 040 m, V 级围岩段落长 1 077 m;右线起讫桩号为 YK9+364~YK11+528,长 2 164 m,其中 IV 级围岩段落长 904 m, V 级围岩段落长 1 224 m。隧道以“新奥法”支理论为基础进行设计,施工采用三台阶的方式开挖,每循环进尺约 0.6 或 1.2 m(视围岩情况而定)。隧道穿过丘陵地貌区,地形起伏大,最大埋深约 229.5 m。隧址内炭质泥岩层理比较发育,完整性很差,暴露后很快就分解为鳞片状或粉末状,岩体的抗剪强度低且对振动影响敏感。受揉皱影响,岩体扭曲、褶

皱现象明显,节理裂隙发育,岩体节理面光滑亮泽,多为曲面,见图 2。



(a)全风化炭质泥岩 (b)中风化炭质泥岩

图2 施工现场围岩岩性揭示

洞口 V 级浅埋段隧道衬砌支护结构按照相关规范要求设置,具体参数见表 1,但在开挖扰动后,围岩强度急剧下降,产生较大松动压力作用于初期支护上;初期支护结构刚度较小,局部连接强度较小,难以约束围岩变形,增加了局部应力集中现象,使得初期支护产生严重破坏,特别是洞口断面处出现拱腰混凝土开裂、拱脚凸起等问题,见图 3。

表1 V级浅埋段隧道衬砌支护参数表

围岩等级	初期支护				二次衬砌	辅助施工
	锚杆	钢筋网	C25 混凝土	钢拱架		
V级浅埋	$\phi 25$ mm 中空注浆锚杆 $L=3.5$ m(纵) $0.6 \times 1.0$ m(环)	$\phi 6$ mm 钢筋网 $20 \times 20$ cm	26 cm	I20a 工字钢 @60 cm	拱、墙 50 cm (C30 钢筋混凝土)	超前小导管



(a)拱脚鼓包外凸 (b)初支混凝土开裂

图3 隧道支护病害情况

#### 3.2 断面选取以及试验内容

为了进一步探究不同纵向连接对炭质泥岩围岩变形的控制作用,本次采用现场试验的方法。选取围岩条件基本相同的 2 个断面 YK10+330、ZK10+360,前者采用普通钢筋作为钢拱架纵向连接,后者采用钢板纵向连接,具体支护参数见表 2。

试验监测内容包括:三台阶处三条收敛测线,拱顶三个竖向沉降观测点,围岩压力和钢拱架应变,具体监测元件布置方案见图 4。根据现场试验数据,分析拱顶、拱腰、边墙以及拱脚处变形规律和支护效果。

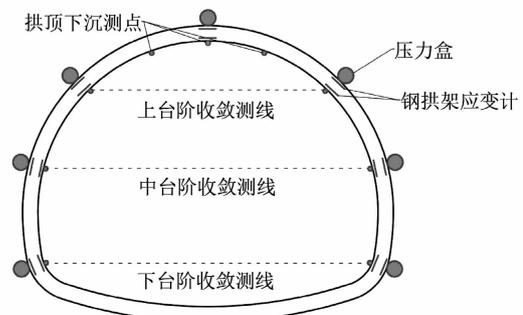


图4 初期支护监测元件布置方案

表 2 监测断面初期支护参数

编号	断面编号	钢拱架形式	系统锚杆	喷射混凝土	超前支护	连接方式
1	YK10 + 330	I20b 工字钢 @ 60 cm	Φ42 mm 中空注浆锚杆 L = 3.5 m(纵) 0.6 × 1.0 m(环)	C25 混凝土 26 cm	Φ42 mm 超前注浆小导管, 外倾角 12°, 长 4.0 m, 环向间距 40 cm	普通钢筋
2	ZK10 + 360	I20b 工字钢 @ 60 cm	Φ42 mm 中空注浆锚杆 L = 3.5 m(纵) 0.6 × 1.0 m(环)	C25 混凝土 26 cm	Φ42 mm 超前注浆小导管, 外倾角 12°, 长 4.0 m, 环向间距 40 cm	纵向钢板

### 3.3 数据分析

#### 3.3.1 围岩压力

YK10 + 330 断面和 ZK10 + 360 断面的围岩压力监测见图 5, 各步序围岩压力特征值见图 6。

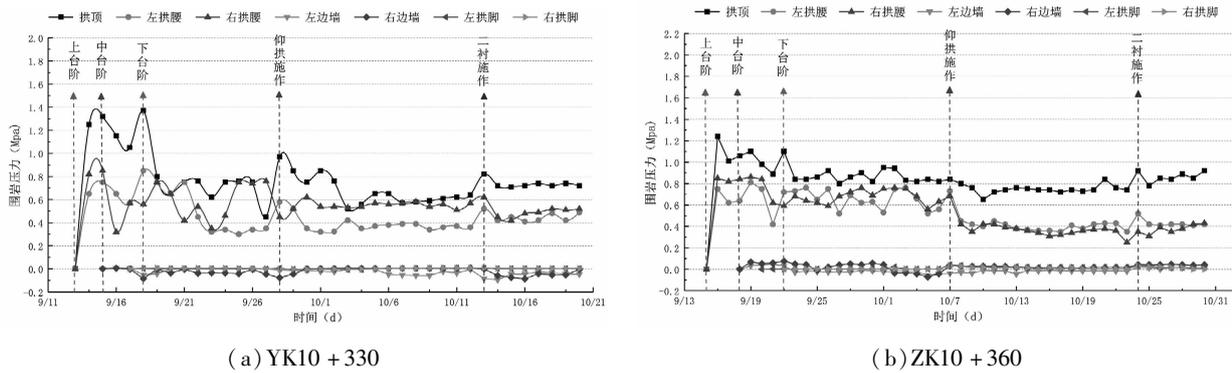


图 5 断面围岩压力时态曲线

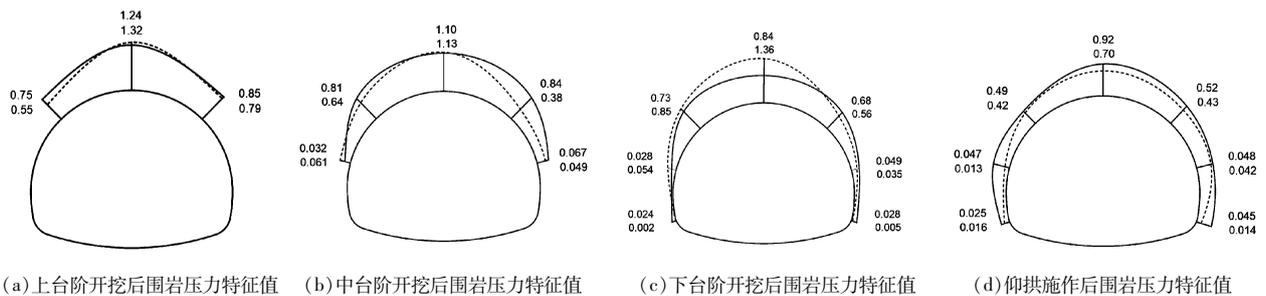


图 6 各步序围岩压力特征值 (单位: MPa)

注: 实线代表 ZK10 + 360 断面监测值(上面数值); 虚线代表 YK10 + 330 断面监测值(下面数值)。

由图 5 可以看出, 围岩压力在监测初期隧道分步开挖时波动较大: 围岩压力在上台阶开挖后迅速增长, 拱顶围岩压力在中台阶开挖前达到最大值, ZK10 + 330 断面拱顶最大围岩压力为 1.32 MPa, YK10 + 360 断面拱顶最大围岩压力为 1.24 MPa; 中、下台阶开挖后拱顶、拱腰围岩压力有所回落; 仰拱施作后围岩压力有所下降; YK10 + 330 断面围岩压力在仰拱施作后 10 d 趋于稳定, ZK10 +

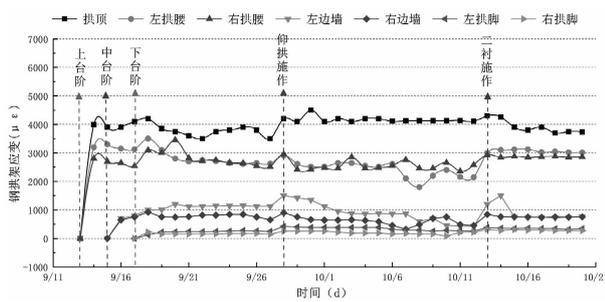
360 断面围岩压力于仰拱施作后 4 d 趋于稳定。出现上述现象的原因是: 炭质泥岩隧道开挖扰动后顶部应力释放较快, 使得上台阶支护后支护结构承受较大的围岩压力; 钢拱架间钢板纵向连接支护结构增强了钢拱架的环向承载力, 在受到隧道开挖扰动后, 施作钢拱架间钢板纵向连接支护结构的断面初期支护能够快速恢复围岩稳定状态, 减少对已做支护结构的影响。

由图 6 可以看出,两断面的围岩压力监测值在上台阶开挖后大小基本一致;中台阶开挖后, YK10 + 330 断面左右拱腰处围岩压力分别为 ZK10 + 360 断面拱腰处的 79%、45%;下台阶开挖后, YK10 + 330 断面左右拱脚处围岩压力分别为 ZK10 + 360 断面拱脚处的 8%、17%;仰拱施作,围岩压力恢复稳定后, ZK10 + 360 断面各处的围岩压力值均比 YK10 + 330 断面的围岩压力值大。围岩压力存在上述变化主要原因是钢拱架间钢板纵向连接

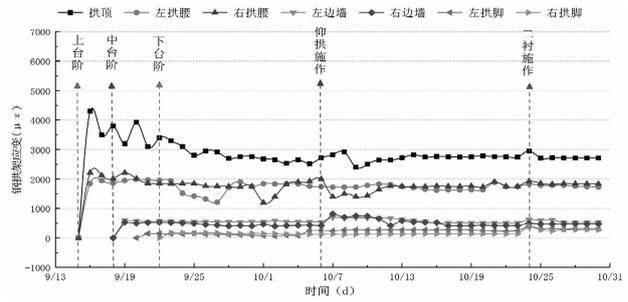
支护结构在隧道开挖扰动瞬间,限制了围岩应力的释放,约束了围岩的形变,故增加了围岩产生的抗力;钢拱架间钢板纵向连接支护结构提高了每一榀钢拱架连接处强度,增加了支护结构整体刚度,防止出现局部变形破坏。

### 3.3.2 钢拱架应变

YK10 + 330 断面和 ZK10 + 360 断面的钢拱架应变监测见图 7,各步序钢拱架应变特征值见图 8。

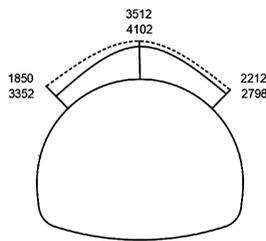


(a) YK10 + 330

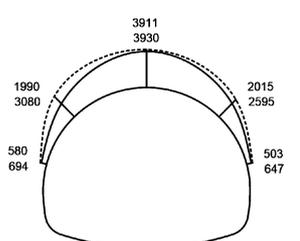


(b) ZK10 + 360

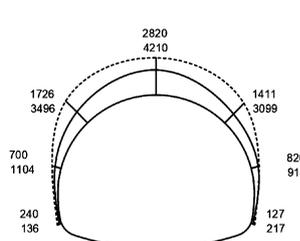
图 7 钢拱架应变时态曲线



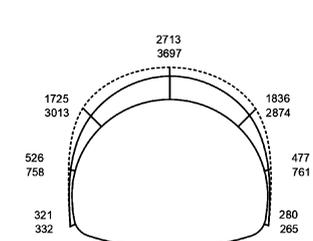
(a) 上台阶开挖后钢拱架应变特征值



(b) 中台阶开挖后钢拱架应变特征值



(c) 下台阶开挖后钢拱架应变特征值



(d) 仰拱施作后钢拱架应变特征值

图 8 各步序钢拱架应变特征值 (单位:  $\mu\epsilon$ )

注:实线代表 ZK10 + 360 断面监测值(上面数值);虚线代表 YK10 + 330 断面监测值(下面数值)。

由图 7 可以看出,断面钢拱架应变的变化趋势基本一致,变形值较大,整体波动性小。仰拱施作 4 d 后, ZK10 + 360 断面拱腰和拱顶处的钢拱架应变值趋于稳定;仰拱施作 4 d 后, YK10 + 330 断面拱顶处钢拱架应变值趋于稳定,二衬施作后, YK10 + 330 断面钢拱架拱腰处应变值趋于稳定。由图 8 可以看出, ZK10 + 360 断面的钢拱架应变在各步序施作后均比 YK10 + 330 断面小。仰拱施作后,拱顶处钢拱架应变值最大, ZK10 + 360 断面的钢拱架应变值为 YK10 + 330 断面钢拱架应变值的 73.3%;拱脚处钢拱架应变最小,两断面拱脚处应变值基本相同。

钢拱架应变存在上述变化,主要原因是钢板纵向连接增加了支护结构的刚度和钢拱架的抗力,约束了围岩的变形;钢拱架间钢板纵向连接支护结构充分增强了围岩的承载拱效应,发挥围岩的自承载能力,使得拱顶和拱腰处围岩更快恢复应力平衡状态;钢拱架间钢板纵向连接结构提高了支护结构的纵向整体性,约束了钢拱架的竖向变形。

### 3.3.3 拱顶下沉以及周边收敛监测

YK10 + 330 断面和 ZK10 + 360 断面拱顶下沉、周边收敛监测见图 9,2 个断面周边收敛累计值对比见表 3。

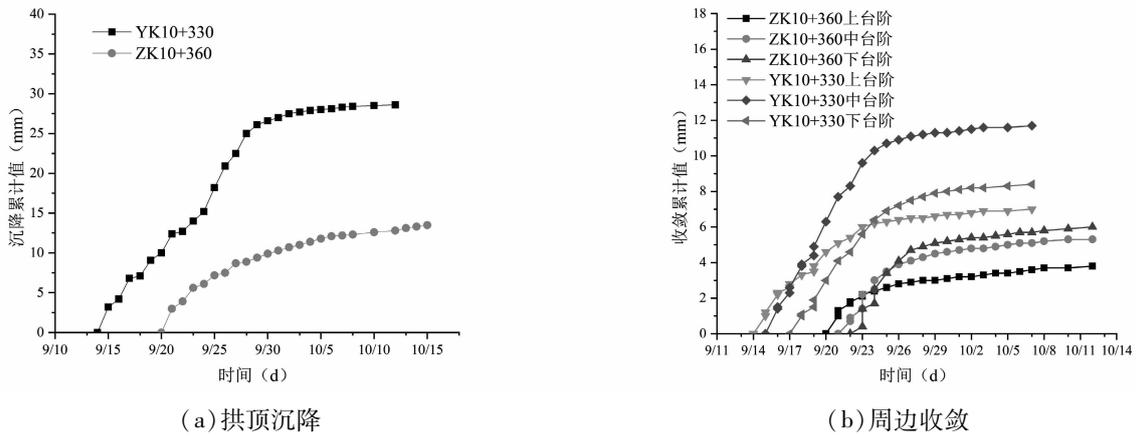


图9 拱顶沉降和周边收敛累计值

表3 周边收敛累计值对比

监测断面	上台阶累计收敛/mm	上台阶最大变形速率/(mm/d)	中台阶累计收敛/mm	上台阶最大变形速率/(mm/d)	下台阶累计收敛/mm	下台阶最大变形速率/(mm/d)
YK10+330	6.2	0.7	12.7	1.3	7.3	0.8
ZK10+360	4.0	0.5	5.4	0.6	6.2	0.8
减小率	35.5%	-	57.5%	-	15.1%	-

由图9(a)可以看出,ZK10+360断面拱顶沉降在前4d内增加较快,然后快速稳定,拱顶累计值沉降为12.1mm,最大拱顶沉降变化速率为2.3mm/d;YK10+330断面在前10d内增加较快,其后增加速率迅速减小,最后趋于稳定,拱顶累计值沉降为27.4mm,最大拱顶沉降速率为2.7mm/d。ZK10+360断面相比YK10+330断面拱顶沉降减少56%。

由图9(b)与表3可以看出,ZK10+360断面各位置累计收敛值均比YK10+330断面的收敛值低,钢拱架间钢板纵向连接支护结构对上台阶、中台阶及下台阶的变形量和变形速度均有显著控制作用。

综合拱顶沉降与周边收敛监测值可知,钢拱架间钢板纵向连接支护结构增加了钢拱架的纵向整体性,减少了支护结构的拱顶竖向累计沉降,加快了稳定速度;同时提高了钢拱架连接处的力学性能,减小了各台阶施作后的周边累计收敛值,提高了变形速率,降低了施工因素对断面

变形的影响。

## 4 结语

本文针对炭质泥岩隧道出现的大变形问题,提出了钢拱架间钢板纵向连接支护结构,对钢板纵向连接支护结构作用机理进行了理论分析,并通过现场试验验证了该支护的有效性。结论如下:

(1)通过分析钢板纵向连接支护结构的作用机理,包括其增强初期支护的纵向整体性、环向承载力和防止局部变形的作用。钢板纵向连接支护结构充分增强了初期支护的承载能力,减小了隧道在台阶法开挖时初期支护的纵向沉降和变形。

(2)选取典型断面进行现场试验,分析围岩压力和钢拱架应变数据表明:稳定状态下,普通钢筋作为钢拱架纵向连接的断面最大围岩压力为0.7MPa;施作钢拱架间钢板纵向连接支护结构的断面最大围岩压力为0.92MPa。上述结果

可以说明钢板纵向连接支护结构作为软岩隧道钢拱架间的纵向连接可以有效增强初期支护的环向承载力,承受较大围岩荷载;同时,提高了支护刚度,限制了围岩早期变形。

(3) 经过对监测断面拱顶下沉和周边收敛数据的分析,钢板纵向连接支护结构作为钢拱架纵向连接的断面拱顶累计沉降减小56%;断面各位置累计收敛也均有所减小。结果表明在软岩隧道中钢板纵向连接支护结构作为纵向连接可以减小钢拱架竖向变形,增强钢拱架纵向整体性;也可以增强钢拱连接处刚度,避免支护结构产生局部变形破坏。

#### 参考文献:

- [1] 赵善鹏. 隧道穿越高压富水断层破碎带施工技术[J]. 施工技术,2019,48(S1):771-774.
- [2] 郭小龙. 高地应力软岩隧道变形分级控制技术及其二次衬砌施作时机研究[D]. 北京交通大学,2019.
- [3] 何满潮,王博,陶志刚,乔亚飞,肖颖鸣. 大变形隧道钢拱架自适应节点轴压性能研究[J]. 中国公路学报,2021,34(05):1-10.
- [4] 张志强,关宝树. 软弱围岩隧道在高地应力条件下的变形规律研究[J]. 岩土工程学报,2000,(06):696-700.
- [5] 孙钧,潘晓明. 隧道软弱围岩挤压大变形非线性流变力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(10):1957-1968.
- [6] 赵勇. 隧道软弱围岩变形机制与控制技术研究[D]. 北京交通大学,2012.
- [7] 朱合华,黄锋,徐前卫. 变埋深下软弱破碎隧道围岩渐进性破坏试验与数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2010,v.29;No.227(06):1113-1122.
- [8] Mandal S K, Singh M M. Evaluating extent and causes of overbreak in tunnels[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2009, 24(1):22-36.
- [9] 韩常领,张天,徐晨,夏才初. 大断面软岩隧道变形特征及多层初支控制研究[J]. 公路,2021,66(01):335-339.
- [10] 来弘鹏,林永贵,谢永利,杨晓华. 支护时机对软弱围岩公路隧道力学特征影响的试验研究[J]. 岩土工程学报,2009,31(03):390-395.
- [11] 汪波,王振宇,郭新新,朱安龙,王智佼. 软岩隧道中基于快速预应力锚固支护的变形控制技术[J]. 中国公路学报,2021,34(03):171-182.
- [12] 杜耀辉. 炭质板岩大变形隧道结构受力特性及变形控制技术研究[D]. 西安:长安大学,2018.
- [13] 陈建勋,刘伟伟,陈丽俊,罗彦斌,武云飞,石州. 绿泥石片岩地层大跨度公路隧道大变形控制及合理支护形式现场试验[J]. 中国公路学报,2020,33(12):212-223.
- [14] 王星,师江涛,柴伦磊,韩兴博,胡强. 山子顶公路隧道软弱围岩施工方案优化研究[J]. 地下空间与工程学报,2018,14(S1):185-192.

# 基于耦合 SPH - FEM 方法的落石冲击双缓冲层钢棚洞系统的缓冲能力研究

柳春<sup>1,2</sup>, 廖鸿钧<sup>1</sup>

(1. 广东和立土木工程有限公司, 广州 511400; 2. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:**本研究旨在寻找动荷载作用下公路钢棚洞中聚苯乙烯(EPS)垫层与土层组合的双缓冲层的最佳厚度组合。采用耦合的光滑粒子流体动力学法(SPH)和有限元法(FEM),研究了落石冲击双缓冲层钢棚洞系统的缓冲性能。将数值计算结果与试验数据进行对比,验证了耦合数值模型的准确性。通过验证的数值模型,进行了一系列模拟试验,以寻找双缓冲层的最佳厚度组合。在6个工况中,EPS层厚度占缓冲系统总厚度的百分比分别为0%(P1)、20%(P2)、40%(P3)、60%(P4)、80%(P5)和100%(P6)。结果表明,SPH - FEM耦合方法是模拟落石冲击钢棚洞的有效方法;P4(EPS垫层厚度为0.6 m,土层厚度为0.9 m)组合效果最好,可显著降低结构位移响应的43%。双缓冲层可有效吸收约90%的落石冲击能。所得结果为进一步研究钢棚洞抗落石设计提供科学指导。

**关键词:**缓冲能力;落石;双缓冲层;耦合的SPH - FEM方法;优化组合

## 1 引言

落石灾害是山区的自然灾害之一。其对道路、桥梁、建筑物等工程结构构成严重威胁,落石的巨大冲击力可能摧毁这些结构<sup>[1-2]</sup>。目前主要有两种防护结构用于最大限度地减少这种危险:主动结构(主动网)和被动结构。由于很难判断落石的潜在来源区,所以很难实施主动防护,工程师通常选择被动防护。钢棚洞被视为一种被动保护结构。与钢筋混凝土棚洞相比,具有自重小、施工速度快等独特优势,被广泛用于道桥工程以防止落石<sup>[3-4]</sup>。大多数钢棚洞由钢柱、钢梁、钢顶板和结构顶部的土垫层组成<sup>[5]</sup>。土层可以有效吸收和消散落石的冲击能量,从而减少对棚洞的冲击力<sup>[6-8]</sup>。

价格便宜的砂子和土被用作传统的缓冲垫层材料,然而这种垫层有许多缺点。砂层必须非常厚,以形成足够的抵抗能力,这反过来又会使棚洞的自重过大,造成棚洞基础设计过大,这在山区中很难施工。此外,清除落石和重新铺设垫层材料也很困难。近年来,出现了一种由聚苯乙烯(EPS)垫层和土层组成的双缓冲层系统。研究

表明,双缓冲层系统提供了更好的抗冲击效果,同时使结构自重更小。然而,对于EPS垫层厚度占双缓冲层系统总厚度的百分比却很少研究,这导致该系统在实际工程中缓冲效果不佳<sup>[6,9]</sup>。因此,为指导钢棚洞双缓冲层系统的设计,迫切需要对双缓冲层系统进行优化。

近年来诸多学者在棚洞防护领域进行了试验研究。Schellenberg等人研究了各种类型的缓冲层,以寻求更好的缓冲效果<sup>[10]</sup>。Calveti等人进行了一系列物理试验,以研究土层的缓冲效果,包括落石冲击高度、质量和垫层厚度等各种参数的影响<sup>[11]</sup>。Bhatti等人进行了落石冲击钢筋混凝土棚洞的足尺试验,以研究其动态响应<sup>[1]</sup>。Wu等人设计了落石冲击双缓冲层系统的钢棚洞的缩尺试验<sup>[12]</sup>。上述研究对棚洞防落石冲击具有积极意义。然而,这些研究主要集中在单个缓冲层上,很少有关于双缓冲层系统的厚度组合优化的研究。迄今为止,在工程实践中,已经提出了几种经验方法来评估落石冲击力,如中国、瑞士和日本的设计规范<sup>[13-15]</sup>。He等人提出了基于弹塑性碰撞理论和赫兹接触理论的冲击力计算公式<sup>[16]</sup>。Yu等人建立了冲击力模型<sup>[17]</sup>,

使用白金汉模型分析了落石的动能、冲击角和弹性模量对冲击力的影响, 结果表明, 缓冲层对冲击力的大小有显著影响。这些方法对于单个缓冲层有用, 却不适用于双缓冲层系统<sup>[12]</sup>。

数值方法逐渐成为研究这类问题的主要方法。目前分析组合缓冲系统的数值方法主要如下: (1) FEM(有限元法)。Wu 等人用数值模拟比较了单层土层和双缓冲层系统获得的冲击力<sup>[12]</sup>。Ouyang 等分析了缓冲层强度和厚度等各种因素对冲击力的影响<sup>[6]</sup>。然而土层的有限元模拟容易出现网格畸变, 从而导致结果不稳定。(2) DEM(离散单元法)。Zhang 等人使用三维 DEM 模型来研究块体冲击颗粒介质时的能量传播<sup>[18]</sup>。Shen 等研究了不同落石形状对落石冲击土层响应的影响<sup>[19]</sup>, 然而 DEM 很难校准粒子参数<sup>[20]</sup>。而且土层由大量细颗粒组成, 计算效率会降低。这些数值研究有助于理解落石冲击钢棚洞的力学机理, 然而这些方法不适合用于模拟落石冲击双缓冲层钢棚洞。此外, 也很难定量地得出落石冲击下双缓冲层的最佳厚度组合。

目前的研究表明双缓冲层系统对落石冲击钢棚洞的动力响应有显著影响, 但对 EPS 垫层和土层结合的双缓冲层系统的最佳厚度组合的定量研究却非常缺乏。因此, 迫切需要基于更好的鲁棒性数值工具来研究双缓冲层系统的最佳厚度组合。

光滑粒子流体动力学(SPH)是一种无网格粒子方法, 很方便描述颗粒特征和捕捉土壤的大变形<sup>[20,21]</sup>。对于钢柱、钢梁和钢顶板可以用有限元模拟, 其算法成熟, 可以保证足够的精度。耦合的 SPH-FEM 方法结合了 SPH 模拟土壤大变形的优势和 FEM 模拟结构的优势<sup>[20,22]</sup>。

本研究中, 使用 SPH-FEM 耦合方法来优化动态荷载作用下 EPS 垫层与土层之间的最佳厚度组合。主要内容概述如下: 第二节介绍了 LS-DYNA 平台中的 SPH-FEM 耦合方法。第 3 节介绍了落石冲击钢棚洞的试验, 耦合的 DEM-FEM 方法能再现试验全过程。第 4 节进行了一

系列数值模拟试验, 以优化双缓冲层系统的最佳厚度组合。第 5 节进行了总结。

## 2 模拟方法

### 2.1 SPH 简介

SPH 方法的基本思想是使用一组任意分布的粒子为偏微分方程提供精确和稳定的数值解, 该方程包含场变量, 如密度、质量和应力张量<sup>[23]</sup>。SPH 方法可以通过跟踪每个粒子在任何时刻的运动特性来描述整个系统的运动状态。控制方程可以分两步转换为 SPH 形式, 包括核近似和粒子近似。场变量可以表示为<sup>[23]</sup>:

$$\langle f(r_i) \rangle = \int_{\Omega} f(r') W(r - r', h) dr' \quad (1)$$

其中  $f(r)$  是粒子位置向量  $r$  的函数, 是中的相邻粒子位置向量, 是位置向量为  $r$  的粒子的支持域,  $W$  是光滑核函数。在本研究中, 选择三次 B 样条函数作为光滑核函数<sup>[24]</sup>:

$$W(q, h) = \alpha_D \begin{cases} 1 - \frac{3q^2}{2} + \frac{3q^3}{4}; & 0 \leq q < 1 \\ \frac{1}{4}(2 - q)^3; & 1 \leq q < 2 \\ 0; & q \geq 2 \end{cases} \quad (2)$$

其中  $q$  是粒子  $r$  与  $r'$  之间的归一化距离,  $q = |r - r'|/h$ ,  $h$  是定义  $W$  影响区域大小的平滑长度。 $\alpha_D$  是归一化因子; 在三维空间中,  $\alpha_D = 10/(7\pi h^2)$ 。

粒子近似通过评估支持域内粒子的场变量, 将 SPH 核近似的连续形式离散化为相邻粒子的总和, 如下式所示<sup>[24]</sup>:

$$\langle f(r_i) \rangle = \frac{m_j}{\rho_j} \sum_{j=1}^N f(r_j) W(r_i - r_j, h) \quad (3)$$

其中  $N$  是点  $r$  处粒子影响域内的粒子总数,  $\rho_j$  是相邻粒子的密度,  $m_j$  是相邻颗粒的质量。

流体动力学的控制方程可以写成一组偏微分方程<sup>[24]</sup>:

$$\begin{cases} \frac{d\rho_i}{dt} = m_i \sum_{j=1}^N v_{ij} \cdot \nabla_i W_{ij} \\ \frac{dv_i}{dt} = \sum_{j=1}^N m_j \left( \frac{p_i}{\rho_j^2} + \frac{p_j}{\rho_j^2} \right) \nabla_i W_{ij} + F_i^{external}/m_i \end{cases} \quad (4)$$

其中  $W_{ij}$  是粒子  $i$  相对于粒子  $j$  的影响域。 $V_{ij}$  是粒子  $i$  相对粒子  $j$  的速度矢量。 $F_i^{external}$  是外力<sup>[25]</sup>。

### 2.2 SPH – FEM 耦合算法

SPH – FEM 耦合方法的关键问题是处理颗粒与有限元之间的接触面。接触方式为点面接触，通过摩擦定律获得切向冲击力。通过罚函数算法获得法向冲击力<sup>[24]</sup>。SPH – FEM 耦合方法的流程图如图 1 所示。在每个时间步骤开始时，确定是否有 SPH 颗粒穿透 FEM 表面。如果没有穿透则不需要处理，这些系统作为两个独立的过程工作。否则如图 2 所示，满足穿透条件的 SPH 颗粒之间会产生接触力，颗粒和单元的参数将更新<sup>[22]</sup>。

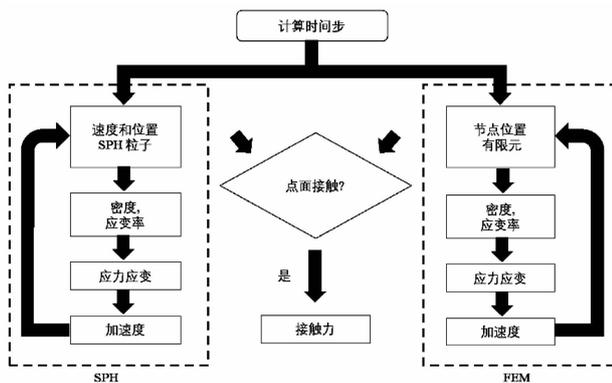


图 1 耦合 SPH – FEM 方法流程图<sup>[27]</sup>

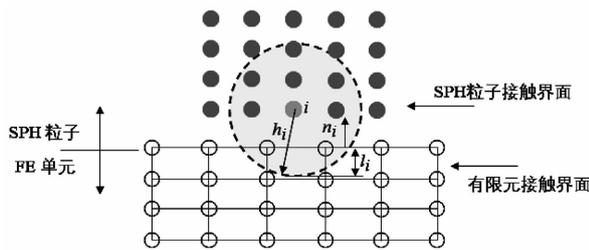


图 2 有限元与 SPH 粒子接触

法向接触力  $f_n$  计算如下<sup>[22]</sup>：

$$f_n = (k_n \delta + c_n \delta^{\kappa}) n \quad (5)$$

其中  $\delta$ ,  $c_n$ ,  $\delta^{\kappa}$ ,  $k_n$ , 和  $n$  分别为法向过盈量、法向阻尼系数、相对法向速度、法向弹簧刚度和单位法向位移矢量。

切向接触力  $f_t$  计算如下<sup>[26,27]</sup>：

$$f_t = \begin{cases} (k_t \delta_t + c_t \delta_t^{\kappa}); & \text{if } |f_n| \mu > |k_t \delta_t + c_t \delta_t^{\kappa}| \\ \frac{(k_t \delta_t + c_t \delta_t^{\kappa})}{|k_t \delta_t + c_t \delta_t^{\kappa}|} |f_n| \mu; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

其中  $k_t$ ,  $\delta_t$ ,  $\mu$  和  $c_t$  分别为切向弹簧刚度、切向增量位移、摩擦系数和切向阻尼系数。在本文中  $c_n$  和  $c_t$  都设置为 0<sup>[26]</sup>。

$k_n$  和  $k_t$  计算如下<sup>[27]</sup>：

$$k_n = k_t = k_1 \frac{Ks^2}{V} \quad (7)$$

其中  $k_1$  是比例因子，设置为 0.1<sup>[26]</sup>， $s$  是段面积， $K$  是体积模量， $V$  是单元体积。

### 3 SPH – FEM 耦合模型的验证

#### 3.1 试验概述

试验的棚洞结构如图 3 所示。棚洞结构模型由钢柱、主梁、次梁、钢顶板和双缓冲层系统组成。双缓冲层系统由 EPS 垫层 (30 cm 厚) 和砂子 (40 cm 厚) 组成，其中 EPS 垫层铺设在砂子下面。试验棚洞构件的规格和材料参数如表 1 所示<sup>[12]</sup>。高 0.7 m 的钢柱底部固定在地面上，钢柱顶部用钢板焊接。钢板通过螺栓与主梁下翼缘连接，次梁与主梁焊接，主梁与钢顶板焊接。每次冲击试验后重新布置缓冲材料。冲击器是混凝土多面体块<sup>[28]</sup>。试验过程中测量主梁和次梁的轴向应变，以反映冲击器冲击下棚洞的动态响应。如图 4 所示，应变计 1 和 2 分别安装在距棚洞底部中心 0.09 m 和 0.17 m 的主梁下翼缘上<sup>[12]</sup>。

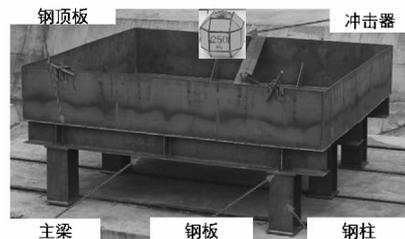


图 3 钢棚洞结构试验模型

表 1 主要部件规格

组件名称	规格	材料
钢柱	HW300 × 300 × 20 × 20	Q345
主梁	HW300 × 300 × 6 × 6	Q345
次梁	HW150 × 150 × 6 × 6	Q345
钢顶板	6 mm 厚	Q345
双缓冲层系统	30cm 厚 EPS 垫层 + 40cm 厚砂	EPS + 砂
冲击器	标准化试块	混凝土 + 复合钢板

根据欧洲规范进行冲击试验<sup>[28]</sup>。冲击器为混凝土多面体块, 质量为 0.25 t, 冲击器的冲击位置为棚洞顶部的中心位置<sup>[12]</sup>。通过起重机, 冲击器分别被提升至 3 m (7.5 kJ 冲击能量)、6 m (15 kJ 冲击能) 和 8 m (20 kJ 冲击力) 的高度。在试验模型的正前方放置了一台高速摄像机, 以 500 Hz 的频率记录冲击过程。通过动态采集系统, 获得梁的应变时程曲线, 采集频率为 1000 Hz<sup>[12]</sup>。

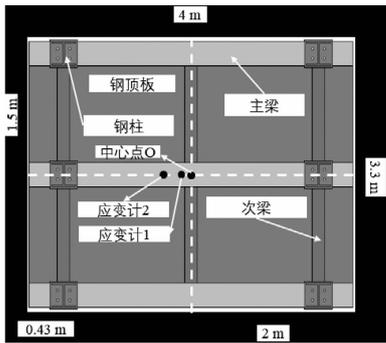


图4 钢棚洞底视图和应变测量点布置

### 3.2 数值计算模型

#### 3.2.1 数值模型描述

计算模型如图 5 所示。钢柱、主梁、次梁和钢顶板采用 3 节点/4 节点壳单元模拟, 网格尺寸为 0.05 m。EPS 垫层和冲击器采用 6 节点实体单元模拟, 网格大小分别为 0.06 m 和 0.04 m。由于冲击器的直接冲击, 砂垫层将经历较大的变形, 这容易导致网格畸变, 并导致计算不稳定<sup>[20,27]</sup>。因此, 砂采用 SPH 模拟, 相邻 SPH 粒子之间的间距约为 0.05 m。

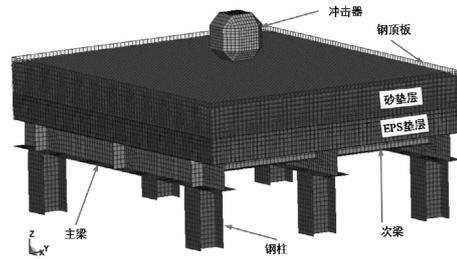


图5 钢棚洞结构的数值模型

#### 3.2.2 本构材料模型

材料特性如表 2 所示。图 6 为砂、EPS 垫层和钢材料的应力-应变关系。本构模型概述如下。

砂垫层。图 6a 为砂垫层的本构模型。应力-应变关系描述如下表达式<sup>[1]</sup>:

$$\sigma_{sand} = 50 \varepsilon_{sand}^2 \quad (8)$$

其中  $\sigma_{sand}$  是压力,  $\varepsilon_{sand}^2$  是体积应变。使用 LS-DYNA 的材料模型 MAT\_CRUSHABLE\_FOAM 模拟, 模型具有良好的模拟效果<sup>[1,20]</sup>。

EPS。如图 6b 所示, 在单轴压缩试验下, EPS 材料将经历三个阶段: 线性弹性阶段、以平台应力为特征的屈服阶段和应力随应变快速增加的压实阶段<sup>[29]</sup>。用 MAT\_CRUSHABLE\_FOAM 材料模型模拟, 以模拟冲击过程中 EPS 材料的力学性能<sup>[29]</sup>。

钢。如图 6c 所示, 对于钢柱、主梁、次梁和钢屋面板, 使用了弹塑性模型, 塑性硬化模量 H 设置为弹性模量  $E_s$  (杨氏模量) 的 1%<sup>[1,20]</sup>。

冲击器。刚性材料模型 (LS-DYNA 中的 \*MAT\_Rigid) 可用于模拟一些不需要过度关注的小变形结构, 这可大大缩短计算时间<sup>[27]</sup>。

表2 材料力学参数

材料	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	弹性模量/Pa	泊松比	参考文献
砂	2 000	10.0 × 10 <sup>9</sup>	0.060	[1]
EPS	22	0.0069 × 10 <sup>9</sup>	0.12	[29]
钢	7 850	200.0 × 10 <sup>9</sup>	0.300	[20]
冲击器	2 515	30.0 × 10 <sup>9</sup>	0.300	[27]

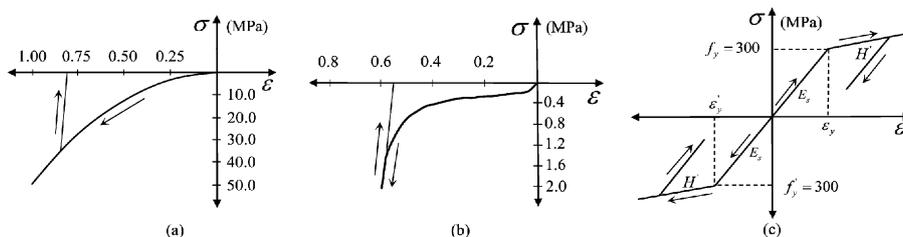


图6 材料的本构模型曲线:(a)砂;(b)EPS;(c)钢材

3.2.3 边界条件

钢柱底部受三个平动自由度的约束<sup>[12]</sup>。钢顶板和主梁/次梁、钢柱和主梁受焊接约束(LS - DYNA 中的 Contact\_Spotweld)<sup>[12]</sup>。冲击器和砂之间定义为侵蚀接触(LS - DYNA 中的 contact\_Eroding\_Nodes\_To\_Surface), 摩擦系数设置为 0.4<sup>[30]</sup>。EPS 和砂之间定义为点面接触(LS - DYNA 中的 Contact\_Automatic\_Nodes\_to\_surface), 摩擦系数设置为 0.4<sup>[30]</sup>。EPS 和钢顶板单元采用面面接触(LS - DYNA 中的 contact\_Automatic\_surface\_to\_surface), 摩擦系数设置为 0.3<sup>[12]</sup>。

在冲击之前, 对整个棚洞结构进行应力初始化<sup>[20]</sup>, 模拟了冲击高度为 8 m 的工况。当冲击器开始与砂接触时, 总冲击时间定义为 200ms<sup>[24]</sup>。在冲击过程中, 使用自动时间步长。这意味着程序自动计算时间步长的限值。此外, 考虑粘性阻尼常数 0.005<sup>[1]</sup>。

计算所用电脑具有 Intel Core i7 - 10700K 2.9 GHz 处理器和 8 GB 金斯顿 DDR4 RAM(随机存储器)。在该数值模型中, 运行计算时间约为 3 小时。

3.3 数值分模拟验证

将主梁和次梁应变时程的数值分析结果与钢棚洞试验进行对比。从图 7 中可以看出, 试验曲线和仿真曲线的波形非常相似。主梁下翼缘的最大应变仅为 520  $\mu\epsilon$ , 表明主梁仍处于弹性阶段(弹性极限应变为 1 500  $\mu\epsilon$ ), 仍具有较大的富余承载力, 主梁的最大应变远大于次梁的最大应变。

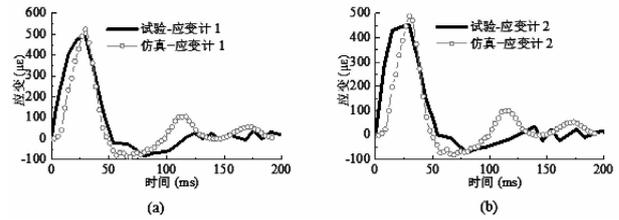


图 7 应变时程对比:(a)应变计 1;(b)应变计 2

更详细的对比如表 3 所示。从表 3 中可以看出, 数值模拟和试验中最大应变的最大误差仅为 9.0%, 最小应变的最大误差为 12.2%。在本研究中, 定义应变第一次为 0 到应变第二次为 0 之间的时间为波峰传播周期。从表中可以看出, 数值模拟和试验的波峰传播周期的最大误差仅为 -8.3%。对六组关键数据进行了比较, 其中只有一组的误差大于 10%, 但小于 13%。

表 3 试验和仿真应变峰值对比

应变计	最大应变/ $\mu\epsilon$			最小应变/ $\mu\epsilon$			波峰传播周期/ms		
	试验	模拟	误差	试验	模拟	误差	试验	模拟	误差
1	490.6	522.9	6.6%	-81.1	-88.1	8.6%	54.2	49.7	-8.3%
2	456.5	497.8	9.0%	-70.3	-78.9	12.2%	52.5	48.5	-7.6%

如图 8 所示为冲击器最终留在砂垫层凹坑深度。试验中的凹坑深度为 0.16 m<sup>[12]</sup>, 而模拟中的凹坑厚度为 0.17 m。试验和模拟之间的穿透深度误差为 6.25%。通过上述比较, 验证了数值模型准确性, 并可用于后续分析。

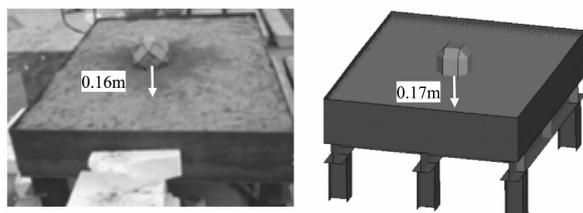


图 8 冲击器最终留在砂垫层凹坑深度

4 落石冲击钢棚洞的数值模拟

基于上述验证的数值模型, 研究不同组合缓冲系统对钢棚洞动态响应的影响, 重点对钢棚洞的冲击过程、跨中位移和耗能机理进行了分析。

4.1 计算工况

根据统计结果<sup>[20]</sup>, 90% 落石的平均冲击速度为 25 m/s。因此, 落石的冲击速度设定为 25 m/s。落石质量在设计能量水平(弹性极限)中设定为 0.75 t。规范棚洞顶板上铺设的垫层厚度不应小于 1.5 m<sup>[30]</sup>, 因此模型中的双缓冲层

系统的厚度设置为 1.5 m。EPS 垫层的厚度分别设置为双缓冲层系统总厚度的 0% (P1)、20% (P2)、40% (P3)、60% (P4)、80% (P5) 和 100% (P6)。

## 4.2 结果分析

### 4.2.1 冲击过程

图 9 为 0.75 t 落石的动态冲击过程 (EPS 厚度 = 缓冲层总厚度的 40%)。如图 9a 所示, 当  $t = 0.0$  s 时, 落石开始进入砂垫层。如图 9b 所

示, 当  $t = 0.013$  s 时, 可以观察到应力波从砂垫层中的冲击点径向向下传播。如图 9c 所示, 当  $t = 0.057$  s 时, 落石的竖向位移达到最大值 0.508 m。在应力波传播过程中, 材料的弹性模量在传播介质中由大变小, 最大应力位于 EPS 和砂垫层之间的接触区, 值为 5.07 MPa。如图 9d 所示, 当  $t = 0.2$  s 时, 落石的冲击过程趋于稳态, 落石竖向位移为 0.499 m。最后, 在砂层中形成碗状坑。EPS 缓冲垫中只出现了小的凹陷变形。

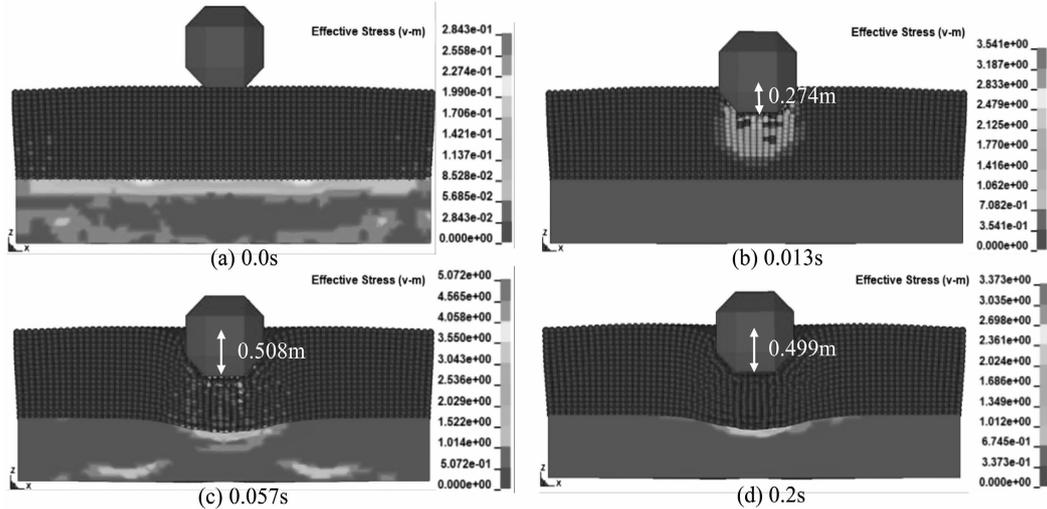


图 9 0.75 t 落石的动态冲击过程 (EPS 厚度 = 缓冲层总厚度的 40%) (应力单位: MPa)

(a)  $t = 0.0$  s; (b)  $t = 0.013$  s; (c)  $t = 0.057$  s; (d)  $t = 0.2$  s.

### 4.2.2 主梁中点位移

图 10 为钢棚洞主梁的中点位移。主梁的中点位移主要由两部分产生, 一部分是缓冲层的自重, 另一部分是冲击力。如图 10a 所示, 当  $t = 0$  时, 主梁中点位移不为 0, 这主要是由缓冲层自重引起的。随着时间的增加, 各工况下主梁的中点位移都先增大后减小。如图 10b 所示, 随着 EPS 垫层厚度的增加, 主梁的中心位移先减小后增大, 当 EPS 垫层厚度为缓冲层厚度的 40% 时, 主梁中心位移达到最小值 (6.9 mm)。与单砂垫层相比, EPS 垫层厚度为 0.6 m 的组合垫层将结构位移响应降低了 43%。砂垫层厚度越大, 冲击力越小, 但相应的垫层自重也会增加。当砂垫层的厚度为缓冲层的 60% 时, 对结构的不利影响将最小。

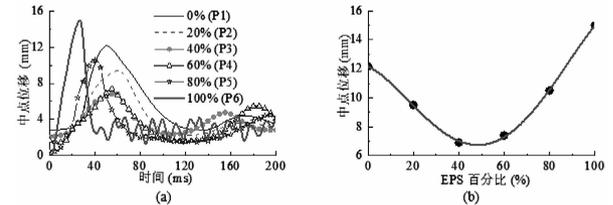


图 10 钢棚洞主梁中点位移

(a) 中点位移时程; (b) 各工况下的最大中点位移

### 4.2.3 钢棚洞耗能机理

落石的总能量 ( $E_T$ ) 主要转换为剩余落石动能 ( $E_K$ )、EPS 垫层的内能 ( $E_E$ )、砂层的内能 ( $E_S$ )、钢构件的内能 ( $E_B$ ) 和摩擦能 ( $E_F$ )。总能量 ( $E_T$ ) 定义为:

$$E_T = E_0 + M_0gh_0 \quad (9)$$

其中,  $M_0$  是落石的质量,  $h_0$  是块体的最终竖向位移,  $E_0$  是落石的初始动能。

以 P3 工况为例 (EPS 厚度 = 缓冲层总厚度的 40%), 所有能量组分的演变如图 11a 所示。冲击开始后,  $E_k$  迅速减少, 砂层消散了大部分  $E_k$ , 约占  $E_k$  的 76.3%。EPS 垫层还耗散了约 13.7% 的  $E_k$ 。钢构件几乎没有耗散冲击能量。双缓冲层消耗总能量的 90%。此外, 根据统计, 在六种工况下, 双缓冲层能耗占总能耗的百分比分别为 91.4% (P1)、90.1% (P2)、90% (P3)、88.8% (P4)、88.5% (P5) 和 88.2% (P6), 这表明双缓冲层在保护钢棚洞方面非常有效。

图 11b 为 EPS 垫层厚度对双缓冲层系统能耗的影响。随着 EPS 垫层厚度的增加, EPS 垫层的耗能量增加, 并且耗能量的增加率随着 EPS 垫层厚度增加而增加。此外, 可以看出, 砂缓冲层的耗能量效果优于相同厚度的 EPS 缓冲层, EPS 垫层的关键作用是降低自重。

恢复系数 (COR) 是材料耗能能力的一个指标<sup>[8]</sup>。COR 的计算公式为  $COR = V_i/V_{re}$ , 其中  $V_i$  是落石在与垫层接触时的冲击速度,  $V_{re}$  是回弹速度<sup>[8]</sup>。表 4 为某些工况下的 COR。从表 4 中可以看出, 本研究中的模拟与试验一致, 仿真与试验之间的最大误差为 5%。纯 EPS 层的耗能能力最差, 而纯土层的耗能能力最强。

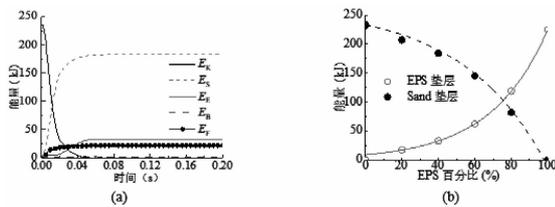


图 11 钢棚洞能量演变

(a) P3 工况能量的演变 (EPS 厚度 = 缓冲层总厚度的 40%); (b) 缓冲层的能量消耗

表 4 某些工况下的 COR

工况	EPS 厚度占比	COR		误差
		试验	模拟	
P1	0	0 <sup>[8]</sup>	0	0
P6	1	0.42 <sup>[8]</sup>	0.4	5%

## 5 结论

本研究旨在定量地优化动态荷载下 EPS 垫

层与土层之间的最佳厚度组合。引入了耦合的光滑粒子流体动力学方法 (SPH) 和有限元方法 (FEM), 解决了双缓冲层系统超大变形的难题。SPH 用于模拟超大变形的土层。建立落石冲击钢棚洞的数值模型, 并通过试验进行了验证。结论如下:

在落石冲击过程中, 应力波径向向下传播至缓冲层, 然后传播至钢结构。随着 EPS 垫层厚度的增加, 主梁的中点位移先减小后增大, 当 EPS 垫层厚度为缓冲层总厚度的 40% 时, 主梁中点位移达到最小值。与单层砂垫层相比, EPS 垫层厚度为 0.6m 的双缓冲层将结构位移响应降低了 43%。

双缓冲层系统消耗约 90% 的总能量, 这表明双缓冲层在钢棚洞防落石方面非常有效。砂垫层的耗能效果优于相同厚度的 EPS 层, EPS 层的关键作用是减轻自重。

在后续工程设计中, 可以研究和模拟更多不同缓冲层的最佳厚度组合。

## 参考文献:

[1] Bhatti, A Q; Khatoon, S; Mehmood, A; et al. Numerical study for impact resistant design of full scale arch type reinforced concrete structures under falling weight impact test. Journal of Vibration & Control, 2011, 18, 1275 - 1283.

[2] Ferrari, F; Giacomini, A; Thoeni, K. (2016) Qualitative rockfall hazard assessment: a comprehensive review of current practices. Rock Mech. Rock. Eng., 2016, 49, 2865 - 2922.

[3] Kawahara, S; Muro, T. Effects of dry density and thickness of sandy soil on impact response due to rockfall. Journal of Terramechanics, 2006, 43, 329 - 340.

[4] Mommessin, M; Perrotin, P; Ma, Y. Actions of snow avalanches on a protection gallery. Cold Regions Science and Technology, 2012, 83, 20 - 29.

[5] Kishi, N; Konno, H. Numerical analysis model for three layer absorbing system under falling weight impact loading. JSCE Journal of Structural Engineering, 2003, 49, 1323 - 1332.

[6] Ouyang, C; Liu, Y; Wang, D; et al. Dynamic Analysis

- of Rockfall Impacts on Geogrid Reinforced Soil and EPS Absorption Cushions. *KSCE journal of civil engineering*, 2019, 23, 37-45.
- [7] Zhong, H; Lyu, L; Yu, Z; Liu, C. Study on mechanical behavior of rockfall impacts on a shed slab based on experiment and SPH-FEM coupled method. *Structures*, 2021, 33, 1283-1298.
- [8] Yan, S; Wang, Y; Wang, D; He, S. Application of EPS geofilm in rockfall galleries: Insights from large-scale experiments and FDEM simulations. *Geotextiles and Geomembranes*, 2022, 50, 677-693.
- [9] Wu, Y; He, SM; Li, XP; et al. Dynamic response and optimization of an inclined steel rock shed by the graded energy dissipating method. *Journal of Mountain Science*, 2019, 16, 141-155.
- [10] Schellenberg, K; Volkwein, A; Roth, A; et al. Rockfall-falling weight tests on galleries with special cushion layers. 2006, 3rd International Conference on Protection of Structures Against Hazards.
- [11] Calvetti, F. Rockfall shelters covered by granular layers: Experiments and design approach. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2011, 15, 73-100.
- [12] Wu, JN. Seismic Vulnerability Analysis for Bridge Network and Algorithm Improvement. Southwest Jiaotong University. (In Chinese), 2018.
- [13] Ministry of Transport of the People's Republic of China. In: Specifications for Design of Highway Subgrades, (JTJ013-95). (In Chinese)
- [14] Labiouse, V; Descoeurdes, F; Montani, S. Experimental study of rock sheds impacted by rock blocks. *Struct Eng Int*, 1996, 6, 171-176.
- [15] Japan Road Association, 2000. Manual for Anti-impact Structures Against Falling Rocks. (Japan).
- [16] He, S; Liu, W; Li, X; Prediction of impact force of debris flows based on distribution and size of particles. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75, 298.
- [17] Yu, B; Yi, W; Zhao, H. Experimental study on the maximum impact force by rock fall. *Landslides*, 2018, 15, 233-242.
- [18] Zhang, L; Lambert, S; Nicot, F. Discrete dynamic modelling of the mechanical behaviour of a granular soil. *Int. J. Impact Eng.*, 2017, 103, 76-89.
- [19] Shen, WG; Zhao, T; Dai, F; et al. DEM analyses of rock block shape effect on the response of rockfall impact against a soil buffering layer. *Engineering Geology*, 2019, 249, 60-70.
- [20] Liu, C; Nguyen, Phuong; Zhao, SC. Dynamic response of RC sheds against the impact of rock block with different shapes and angles. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2022, 49.
- [21] Bui, HH; Fukagawa, R; Sako, K; et al. Lagrangian meshfree particles method (SPH) for large deformation and failure flows of geomaterial using elastic-plastic soil constitutive model. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2008, 32, 1537-1570.
- [22] Liang, S; Chen, Z. SPH-FEM coupled simulation of SSI for conducting seismic analysis on a rectangular underground structure. *Bull Earthquake Eng*, 2019, 17, 159-180.
- [23] Lucy, LB. A numerical approach to the testing of fusion processes. *Astron J*, 1977, 82, 1013-1024.
- [24] Hallquist, JO. LS-DYNA theory manual. Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 7374 Las Positas Road Livermore, California, 2017.
- [25] Xu, JX; Wang, J. Interaction methods for the SPH parts (multiphase flows, solid bodies) in LS-DYNA®. In: 13th International LS-DYNA users conference, 2014, 1-12.
- [26] Feng, SJ; Gao, HY; Gao, L; Zhang, LM; Chen, HX. Numerical modeling of interactions between a flow slide and buildings considering the destruction process. *Landslides*, 2019, 16, 1903-1919.
- [27] Liu, C; Yu, ZX; Zhao, SC. A coupled SPH-DEM-FEM model for fluid-particle-structure interaction and a case study of Wenjia gully debris flow impact estimation. *Landslides*, 2021, 18, 2403-2425.
- [28] EOTA: ETAG 027 - guideline for the European technical approval of falling rock protection kits, Tech. rep., European Organization for Technical Approvals, Brussels, 2008.
- [29] Wang, ZL; Zhu, B. Experimental Study on impact compression and energy absorbing property of expanded polystyrene foam. *Journal of Building Materials*, 2013, 16, 630-636. (In Chinese)
- [30] Li, LP. Research on energy dissipative mechanism of cushion material on shed under rockfall impact [D]. Chengdu: Sichuan University, 2015. (in Chinese)

## “第 30 届广州园林博览会”现场技术交流活动小结

2023 年 4 月 8 日,为加强我院景观专业外部技术交流,提升我院景观设计技术水平,景观专业技术分委会(下统称分委会)开展了“第 30 届广州园林博览会”现场技术交流活动。

本届园博会以“花容粤貌 绿美湾区”为主题,以绣球花为主题花卉。作为大湾区城市花园展示区,云台花园集合了广州、深圳、香港、澳门 4 个城市的主题花展。

本届园博会首创“1+1+3”全新游览模式,通过主游线-广州云道,串联主园址-白云山以及广州市儿童公园、流花湖公园、兰圃 3 个公园,展现“人与自然和谐共生”理念,呈现园林艺术和生态生活相融合的新理念、新方式。



分委员会主任带领分委员会委员及代表,选择本届园博会精华段进行参观,邀请了参展单位的外部专家文才臻现场讲解“花境配置要点”。参观线路主要包括:麓湖聚芳园(8 组作品:3 组区精品园圃、2 组大型企业花境、3 组小型企业花境)——云台花园(5 组作品:3 组区精品园圃、2 组大型企业花境)。参观过后分委会组织各技术代表与外部专家文老师进行深入交流,就花境设计要点、花境新品种、施工过程把控等进行深入探讨。

通过本次分委会现场调研及技术交流活动的开展,进一步加深了我院对花境营造技术的认知,尤其是在市政项目中优选长效性的品种和搭配方式提供了新的设计思路,有效提升我院景观绿化设计质量与技术水平。



(本期供稿:景观专业技术分委会)

# 金琴快线北延线综合管廊技术交流小结

## 一、交流会情况

2023 年 4 月 11 日,公司给排水、机电和智慧交通专业分委会组织开展金琴快线北延线综合管廊技术交流会。我院 14 名专业技术人员及施工单位中交四航局有限公司技术总工等参会并进行技术交流。



图 1 参会人员合影



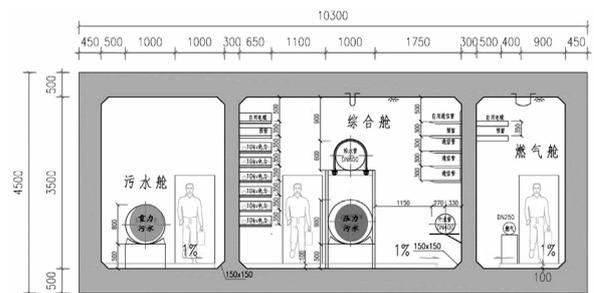
图 2 会议室讨论及现场观摩

在分委会成员葛晓光和黄宇东分别对金琴快线北延线综合管廊工程的工艺和机电设计概况进行汇报后,全体技术人员对管廊的综合舱、燃气舱、污水舱、管理站及海绵配套公园进行实地参观考察。参观结束后,中交四航局有限公司技术总工和我院技术人员在会议室就综合管廊的技术要点进行深入讨论交流,进一步加深综合管廊的了解和认识。

## 二、对综合管廊总体技术的认识和建议

与地下管线直埋相比,综合管廊能够保持路容完整和美观,降低路面翻修费用和工程管线维修费用,有利于保持各类管线的耐久性,同时便于各种管线的敷设、增减、维修和日常管理。

金琴快线综合管廊的入廊管线除了有传统的非重力管道,如给水,中水,通信,电力等,还包含了重力污水管道、压力污水管及燃气管道,另敷设有一座管理站,是管廊项目中的优质项目。



综合舱(非重力管道)+燃气舱+污水舱(重力污水) 10.3m×4.5m

图 3 综合管廊断面图

具体技术内容如下:

### 1、重力污水管道

重力污水管道入廊,在考虑管道自身纵向坡度及与上下游衔接的同时,还需满足周边街坊地块的污水搜集要求。本项目采用管廊顶板和相交道路排水箱涵底板共板设计,解决了竖向高程冲突的问题。此外,密闭性是重力管道入廊的另一大控制要素。按设计时采用的技术规范(《室外排水设计规范》2016 年版),传统的埋地污水管道项目要求的检查井间距较小(80 m 以内),检查井设置较密集,但综合管廊规范无相应入廊污水管道检查井间距要求。因此,在查阅相关文献资料和参考借鉴多个管廊项目的设计经验后,本项目决定适当增大检查井间距,在一个防火分区(200 m)内采用一个直通地面的检查井,其余检查井用检查阀门代替;检查井采用焊接钢管形式,保证节点的气密性;同时重力污水管道单独成舱,设置独立的气体检测设备,以此保证维护管理时工作人员的人身安全和减少重力污水管道入廊对其他管线的影响。



图 4 重力污水管道舱

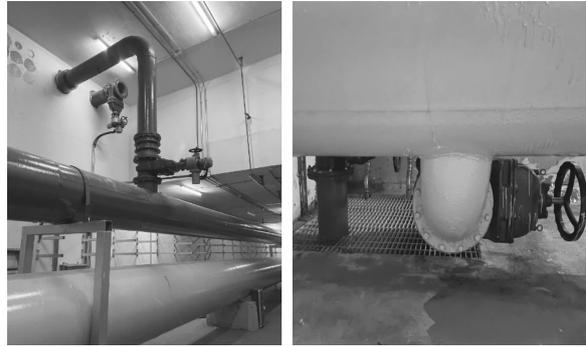


图 5 压力管道及其阀门

## 2、压力污水管道

本项目入廊的压力污水管属于非重力管道,全线无额外的支管,为转输管道,管材采用焊接钢管,密闭性良好,因此设计将压力污水管放置在综合舱中(包含给水、中水等其他非重力管道)。值得注意的是,除了排泥阀和排气阀外,压力管道每隔一定距离需要设置压力检查井或检修阀门。

## 3、燃气管道

考虑到发生灾害时可能造成的影响,燃气管道应单独成舱,其防护级别(防火防爆要求)和通风原则及次数较其他管线更加严格,设计时应参考相应的规范来设置。

## 4、人防工程

根据珠海市人防办要求,综合管廊工程需作为战时防护设施,防常规武器抗力级别为 6 级,防核武器抗力级别为 6 级。故设计时,管廊结构本体,口部位置,通风、给排水及电气均需满足珠海市人防办及国家相关规范的相关要求。此外,管廊通向外部的检查井盖及套管均有人防成套产品且价格较贵,设计时应预留足够费用。

## 5、管廊管理站

本项目配套建设一座地上三层、地下一层的管廊管理站,其中地下一层为消防泵房及进出管廊主出入口,地上一层为监控室,二层为办公室,三层预留其他用途。考虑到经济性,后续项目管廊管理站可考虑设置为 2 层。本项目地下一层的仅一半在使用,其余可考虑为储藏室使用。管廊管理站周边为海绵城市公园,可考虑在管理站内部设置管廊和海绵公园的展示厅或展板,对管廊进行总结介绍,形成展示效应,提高知名度。

## 6、消防系统

本项目电力管道位于综合舱,采用高压细水雾消防系统,并辅助了灭火器消防系统。火灾类型属于 E 类火灾。高压细水雾局部应用开式系统,对电缆沟进行系统方案设计。根据隧道断面,喷雾强度按照  $1.0 \text{ L/min} \cdot \text{m}^2$  设计。

细水雾属于高压消防系统,其起端设备的压力等级可到  $14 \sim 16 \text{ MPa}$ ,末端配件压力一般取  $1 \text{ MPa}$ ,喷头



图 6 燃气舱相关防爆配件

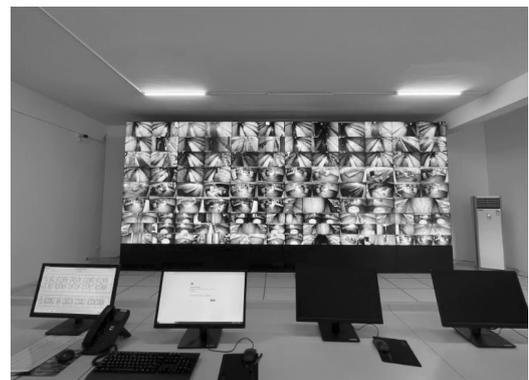


图 7 管理站内部监控

前要设置过滤网,其报警阀应设置在防火分区的外侧,本项目设置在隔壁舱室(重力污水舱)。

由于细水喷雾属于使用较少的消防设备,故本系统的设计借助了部分外部力量,建议相关设计人员加强此部分的学习,在后续的工程项目中做到举一反三。

### 7、申报课题及奖项

金琴快线综合管廊特色鲜明且已竣工,建议继续对管廊工程进行挖掘研究,同时考虑结合金琴快线北沿线项目的隧道等特色工程,进行课题的整合,后续建议开设院内科技立项及进一步的报奖工作的谋划。



图 8 消防水泵房

## 三、对综合管廊监控与报警、电气技术的认识和建议

### 1、对监控与报警、电气设施的认识

为监测管廊的工作环境、设施运行、安全防范等情况,在管廊内部设置温湿度检测传感器、氧气浓度检测传感器、水位探测器、视频监控、红外对射探测器、无线巡查、出入口控制、感温光缆、固定电话、无线对讲等设施,并配置完善的供电、照明和接地设施,确保管廊内部工作环境良好,对进入管廊的巡检、运维等人员进行实时的监控,对非法闯入、火灾探测异常等行为及时发现和告警。

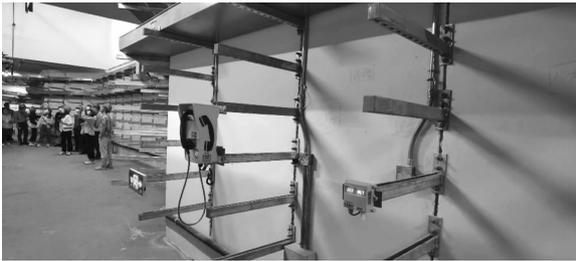


图 9 固定电话、温湿度探测器安装情况



图 10 感温光纤、摄像机、超声波水位探测器安装情况

### 2、对防爆型设施的认识

本项目设置燃气舱,为防范燃气泄露引起可能的燃爆,对电气和监控设施的选型、连接部件、外壳封装都提了特殊的要求,选用的设施需满足 ExdⅢBT4 防爆要求。通过现场回访,加深了对防爆设施和安装工艺的认识。



图 11 防爆型固定电话、机箱、连接部件



图 12 防爆型摄像机、连接部件

## 四、对给排水分委会交流活动的建议

目前集团下属二级分院多数都配备给排水设计人员,但除了市政设计院,其余分院给排水设计人员人数一般不多,多在 3 人以下且部分级别低,技术分委会联系较少。市政设计院部分给排水技术人员近期工作强度大,参与活动积极性不高。

此次技术交流活动,刚开始报名的人数较少,且存在报名后请假的情况,后经给排水分会负责人建议,联络了机电和智慧交通专业负责人,一起组织此次技术活动,并有暖通及结构人员参与,最终 14 人实际到场参与活动。活动得以顺利圆满组织。

因此,建议容许对活动有兴趣的其他专业的技术人员参加交流活动,尤其是暖通,水保及水利等相关相近专业的技术人员,且不限级别。同时建议开设钉钉或微信群,加强同专业不同部门同事的联系及技术上的讨论交流。

## 公路、市政行业预制桩技术交流活动小结

2023 年 4 月 12 日,在我院专业技术委员会岩土专业分委会与建华建材科技(广东)有限公司(下称“建华公司”)联合组织下,岩土分委会主任、集团副总工刘吉福带领团队前往建华公司中山生产基地及我院设计的珠海金琴快线北延段(至珠中边界)工程(二期)项目现场进行公路市政行业预制桩技术交流活动。参加本次技术交流活动的总人员超过 50 人,我院参加人员有 37 人。

### 一、建华公司中山生产基地

在建华公司中山生产基地,我们参观了管桩、方桩等预制桩的生产车间,详细了解了预制桩钢筋笼装模与混凝土浇筑、预应力张拉、离心成型、蒸气养护、脱模、压蒸养护、成品堆放等生产过程环节。



图 1 参观预制桩生产车间



图 2 PRC 管桩焊接接头载荷试验

对于技术人员普遍担忧的管桩焊接接头,建华公司在生产基地内安排了一个 PRC 管桩接头的载荷试验,增强了技术人员对管桩接头的信心。

参观完预制桩生产流程后,进行了预制桩在基坑支护及软基处理方面的技术交流。建华公司技术负责人蒋伟为作了“预制桩在基坑支护及软基处理中的应用技术”学术报告,详细讲解了预制桩在基坑支护及软基处理方面的应用、近几年建华研发的薄壁管桩、空心方桩等新型预制件;集团副总工刘吉福作了“排水刚性桩作用及其应用注意事项”学术报告,详细讲解了排水刚性桩的作用、适用情况、工后沉降计算方法等,并提出改进建议。与会领导和同事对 PRC 管桩、排水桩的技术要



图 3 预制桩技术交流会现场

点进行了深入研讨。

## 二、金琴快线北延段(至珠中边界)工程(二期)项目现场

金琴快线北延段工程(二期)是一个典型的的城市隧道群项目,全线共包含 4 座下沉式隧道,其中主线的北围隧道全长 1 115 m,在三条被交路各设一座隧道下穿主线。为预留项目对接规划伶仃洋通道的条件,在北围隧道内设置了出入口的隧道匝道,隧道暗埋段单侧最宽的跨度超过 10 车道,基坑最大开挖宽度超过 80 m。该项目在隧道的基坑支护、地基基础及道路软基中均大量使用了预制管桩,也是我院首次在基坑支护项目采用 PRC 预制管桩支护。该项目的土建部分由我院的市政设计院负责设计。



图 4 金琴快线北延段(二期)效果图

交流团先到二标段中建三局项目部,进行了合影留念。然后参观了三个施工标段,对基坑 PRC 支护桩、横撑、坑内加固土、止水帷幕等关键工序进行了观摩、询问,直观体会了 PRC 管桩基坑支护效果。

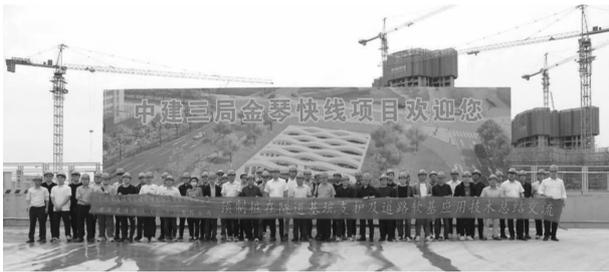


图 5 项目现场合影



图 6 现场观摩

现场观摩之后,交流团前往二标段项目部会议室,市政设计院贺佐跃博士做了“管桩在基坑中的应用及注意事项”的报告,设计代表屈锦康对 PRC 管桩基坑支护技术要点作了补充介绍。我院技术人员与施工单位、建华公司对管桩接头焊接及检测、管桩的垂直度控制、大深度送桩技术、被动区加固设计及基坑支护工程施工顺序、管桩施工偏差及冠梁尺寸、桩间封闭、桩身水平位移监测、支撑类型选择、PRC 管桩挤土效应监测、液压锤沉桩施工噪音监测等问题进行了深入的研讨。



图 7 项目现场技术交流会

经过一天的参观学习,技术人员加深了对 PRC 管桩基坑支护技术、排水刚性桩在软基处理应用的理解,增强了感性认识,有利于提升项目的设计质量。通过本次活动,技术人员对集团业务的多元化也有了更深的认识。

(本期供稿:岩土专业技术分委会)

## 大断面长距离矩形顶管工程技术交流活动小结

5 月 15 日下午,隧道专业技术委员会及轨道专业技术委员会联合开展了大断面长距离矩形顶管工程技术交流活动,活动由集团副总工梁淦波主持,并邀请了,广州金土岩土工程技术有限公司董事长,中南大学博士陈雪华,对大断面长距离矩形顶管相关关键技术进行了深入的交流。



现场交流照片

陈雪华博士身为广东省非开挖协会常务副理事长、中国地下空间工程学会学术委员会委员、中美联合非开挖工程研究中心专家委员会技术委员,长期致力于推动地下工程“机械法顶推暗挖技术”的工法研究、推广应用、设计咨询、工程施工、标准编制、科研攻关等,主/参编国家标准规范 20 余项,拥有各类专利 50 余项,出版学术专著 4 部,获各类省部级科技进步奖 5 项。

陈雪华博士分别从矩形顶管技术介绍及应用现状、矩形顶管典型工程案例分享、大断面长距离矩形顶管关键技术、大断面矩形顶管发展展望等方面与参会人员进行交流。

**广州金土岩土工程技术有限公司**

**矩形顶管工法:**是采用顶管机边切割,边排土,边顶进,将预制管节逐段向前推进的一种“绿色、环保、安全、高效”的非开挖施工技术,其核心就是高效地将预制管节空间与土体进行地下的空间体积置换,而对管节周边的地层产生低强度的扰动,对地面建筑物及地下管线产生可控的扰动或变形。

顶管技术介绍

**广州金土岩土工程技术有限公司** 大断面长距离矩形顶管设计与施工技术交流

车行隧道尺寸汇总表							
序号	外尺寸 (m)	净空尺寸 (m)	壁厚 (m)	序号	外尺寸 (m)	净空尺寸 (m)	壁厚 (m)
1	18.7×8.6	15.9×6.0	1.4	12	11.85×6.6	10.25×5.0	0.8
2	18.7×8.4	15.9×5.8	1.4	13	11.15×8.6	9.55×7.0	0.8
3	16.58×8.4	14.16×6.0	1.2	14	11.15×7.1	9.75×5.7	0.7
4	15.8×6.8	14.0×5.0	0.9	15	11.15×6.4	9.75×5.0	0.7
5	15.75×7.85	14.35×6.45	0.7	16	11.0×8.002	9.6×6.602	0.7
6	15.05×6.8	13.25×5.0	0.9	17	10.4×7.5	9.2×6.3	0.6
7	14.8×9.426	13.0×7.626	0.9	18	10.2×6.6	9.1×5.1	0.55/0.75
8	14.45×7.5	12.95×5.7	0.9	19	10.2×6.6	8.9×5.3	0.65
9	14.1×7.0	12.5×5.4	0.8	20	10.1×7.25	8.1×6.05	0.6
10	14.05×5.9	12.65×4.5	0.7	21	9.8×5.9	8.4×4.5	0.7
11	13.3×5.9	11.9×4.5	0.7	22	7.0×5.0	6.0×4.0	0.5

顶管设计关键参数

通过此次交流,参会人员深刻了解到矩形顶管法现阶段的应用范围。现阶段地下工程的建设遇到地质条件及对既有的地下管线、地上、地下建(构)筑物的影响等难题,迫切需要“绿色、环保、安全、高效”的地下工程建造技术。而矩形顶管法为以上难题提供了有效的解决方案,且随着技术的发展,矩形顶管法的顶管截面面积,顶管段长度也有了长足的发展。

陈雪华博士还结合了“苏州 233.6 m 综合管廊矩形顶管”、“深圳地铁 9 号线下沙出入口矩形顶管”、“北京大兴机场综合管廊 129 m 双孔顶管案例分享”等若干案例,向参会人员介绍了现阶段顶管减阻技术、土体改良、管节预制、机头网格化等关键技术,令参会人员对于顶管前沿技术有了更深入的了解。

(本期供稿:隧道专业技术委员会及轨道专业技术委员会)

## 中国公路学会桥梁和结构工程分会 2022 年全国桥梁学术会议报道

春过岭南逢盛会,光景愈新迎嘉宾。3 月 31 日至 4 月 2 日,由广东交通集团、广东省公路建设有限公司、中国公路学会桥梁和结构工程分会、广东省公路学会主办,黄茅海跨海通道管理中心、广东省交通院等近 20 家单位协办的 2022 年全国桥梁学术会议在珠海顺利召开。七名两院院士、千余名交通运输行业专家人士参加会议。

本次会议以长大桥梁智能建养与现代管理为主题,围绕长大桥梁建筑美学与结构设计;长大桥梁灾害作用与安全防控;长大桥梁智能建造技术与装备;长大桥梁耐久性长效保障技术;长大桥梁数字赋能及绿色低碳;现代管理与平安百年品质工程;跨江跨海通道建设关键技术;长大桥梁智能管养技术与装备等议题展开讨论。

开幕式上,优秀论文名单如期发布。经桥梁分会组织评审,共有 173 篇论文被 2022 年全国桥梁学术会议论文集录用,其中集团公司的论文《高栏港大桥设计关键技术》被评为 2022 年全国桥梁学术会议优秀论文(共 16 篇)。

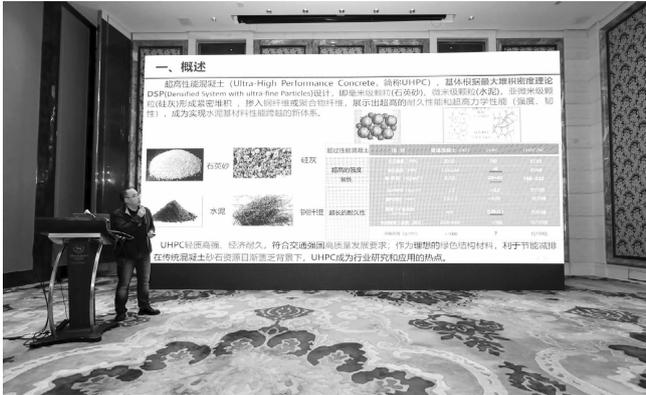


排序	论文题目	论文作者
1	黄茅海跨海通道建设情况综述	潘放, 朱超, 童俊豪
2	黄茅海跨海通道总体设计与关键技术	吴明远, 张文峰, 陈占力, 梅刚
3	结构措施对边箱钢-混凝土梁颤振性能的影响	华旭刚, 陈睿深, 陈政清
4	泰州大桥沉井基础局部冲刷动态演化规律分析	金世安, 杨程生, 高正荣
5	黄茅海大桥中塔纵向约束体系的设计——弹性索及锚固的受力分析	李亮, 赵磊, 何元涛
6	高栏港大桥设计关键技术	梁立农, 孙向东, 万志勇, 徐德志, 杜磊, 顾晓宇

本次会议以建设中的黄茅海跨海通道、深中通道、狮子洋通道为工程背景,紧紧围绕桥梁建设和养护管理中的重点、热点问题,展开交流和研讨。除了精彩的主报告外,各个分会场也是亮点纷呈。

4 月 1 日下午,在桥梁新技术、新产品、新装备专场,集团公司孙向东总工程师做了《UHPC 梁桥规模化应用研究与探索》报告,UHPC 因超高的强度、韧性和耐久性,成为实现水泥基材料性能跨越的新体系,同时作为理想的绿色结构材料,成为桥梁研究和应用的热点。孙总分享了我集团公司在桥梁

结构设计过程中积极探索桥梁新材料、新技术、新工艺的设计理念与工程案例,倡导聚焦绿色环保、工业化建造基础研究和整合,通过技术创新,践行可持续发展理念,分享的专题报告受到高度关注和认可。



4月1日下午,在黄茅海跨海通道分会场,第四设计院总工程师徐德志作为项目设计A1标代表分享了《黄茅海跨海通道工程高栏港大桥设计关键技术》主旨报告,黄茅海跨海通道工程高栏港大桥为主跨700m大跨径斜拉桥,在建设过程中需克服强台风、高烈度地震、强海水腐蚀、高船撞力等不利条件。在设计过程中,通过研究其在静动力荷载作用下的受力特点,确定了合理的结构体系。纵向在塔梁连接处设置动力阻尼加刚性限位装置以控制塔身内力以及塔顶、梁端位移。横桥向在辅助墩、过渡墩处设置摩擦摆减隔震支座,以控制其在荷载作用下内力及位移均较为合理。通过合理的梁段划分、拉索布置及索力调整,不设塔梁连接处竖向支撑,降低了施工难度,提升了桥梁景观及经济性。



会议期间,与会代表们前往黄茅海跨海通道和深中通道项目施工现场实地参观,4月2日下午,400余名与会代表实地参观了黄茅海跨海通道和深中通道,进一步了解了项目建设重难点、技术创新和先进经验。

(报道者:杜 磊)

## 第十三届中国风景园林学会年会

2023 年 4 月 15 ~ 16 日,第十三届中国风景园林学会年会在长沙成功举办。本届年会由中国风景园林学会主办,湖南省风景园林学会等单位承办,会议主题为“美美与共的风景园林:人与天调和谐共生”,共有来自风景园林及相关行业的高校、科研院所、企业等近 3000 人参会。

本次年会会议主题丰富,各个分会场总计有 231 个报告,精彩纷呈,来自全国各地高校、科研院所、设计院、工程公司等单位的发言人围绕国土景观领域的保护与开发、风景园林行业的标准化工作、城市生物多样性的保护规划和调查监测、新型城镇化背景下国家生态基础设施的发展方向、长江流域生态保护与城市绿地建设成果、风景园林设计施工一体化的实践探索、粤港澳大湾区生态保护、园林植物资源的保护与利用等内容与话题展开研讨与交流。

报告在不同的分会场进行,包括生态基础设施、城市风景园林、乡村风景园林、园林植物、青年学术创新 5 个分会场,风景园林学科发展、风景园林与高品质生活、风景园林与绿色低碳发展、风景园林管理、风景园林工程、风景名胜与文化景观、风景园林文化与美学、设计施工一体化、城市生物多样性规划和治理 9 个专题论坛,国土景观、以人民为中心的城市设计、园林城市三十年、风景名胜区制度四十年、风景园林与长江大保护、风景园林与黄河流域高质量发展、风景园林与粤港澳大湾区发展、风景园林与长株潭发展、风景园林标准化 9 个特别论坛。

本次年会是一次知识的盛宴,有幸可以聆听各位行业前辈、学者的重要发言,使我们在工作之余能够拓展视野,能够更全面的看待自己的专业发展,避免闭门造车。通过本次的学习交流,我们可以看到学术方面的学科建设,持续深入开展学科理论、内涵的发展研究,看到未来的人才发展培养方向。回顾自身工作的专业技术水平,意识到要加强科技的创新引领,重视产学研用一体化科技领域,往全领域多层次的行业人才体系发展。此外,风景园林工作者是一个致力于环境保护、治理、美化的匠人,应注重践行社会责任,坚持问题导向、目标导向、结果导向,与同行前辈们共同努力构建安全、韧性、绿色、宜居的城市生态环境,大力推进群众身边的绿色休闲空间建设和公园绿地开放共享试点等惠民举措,增强人民群众的获得感、幸福感和安全感。报告中也有来自上海、深圳等重要城市的城市管理者的管理智慧,贴合绿美主题的一些城市行动,为市民绘制一张美丽的城市画卷,从建设、管理运营的多维角度,制定了一些列举措,对我们设计工作有着重要的启发。

最后,行业的发展应立足于关注国家战略,凝聚行业力量,为美丽中国建设积极贡献风景园林专业智慧,坚持园林文化自信,讲好中国风景园林故事。



(报道者:陈秀银)

## 广东省高速公路改扩建技术交流暨 深汕西高速公路改扩建工程现场观摩会报道

2023 年 4 月 21 ~ 22 日,广东省高速公路改扩建高质量发展技术交流会暨深汕西高速公路改扩建工程现场观摩会在汕尾顺利召开,会议由广东省交通运输厅、广东省交通集团有限公司指导,广东省公路学会、广东省高速公路有限公司主办。来自全国各地的 600 多名行业专家和与会人员深入开展交流研讨。

本次会议以“安全耐久、绿色低碳、高质量发展”为主题,深汕西、开阳、茂湛、中江、汕梅等多个改扩建项目代表专家在会上详细介绍了相关创新技术和智慧化成果。



我院与会代表现场合影

4 月 21 日上午,集团公司孙向东总工程师以深汕西高速改扩建项目为背景分享了《高速公路改扩建工业化建造设计》主题报告。深汕西高速改扩建项目是目前广东里程最长、在建技术最复杂的高速公路改扩建项目,项目遵循“修旧如新、修旧超新”建设理念,推进研发了十项全国首创技术,打造“智造深汕,引领扩建”品牌,其中包括我院设计的桩梁一体化全预制拼装桥梁、超大跨工业化建造隧道、轻型全高度系列装配化挡墙和装配化高边坡格构等技术。孙总介绍了高速公路改扩建工业化建造的背景、设计理念和经济性准则等内容,围绕“新结构、新工艺、新装备、新材料”,重点分享了深汕西项目工业化建造创新设计内容和关键技术问题,倡导聚焦工业化建造基础研究和整合,通过技术创新,实现高速公路建设高质量发展,分享的专题报告受到高度关注和认可。



集团总工程师孙向东作主题报告

4 月 21 日下午,第三设计院结构所所长王诚作为茂湛项目代表分享了《茂湛高速改扩建工程桥梁拼接技术研究》主题报告,介绍了广东省目前应用的各结构类型拼接构造、预制梁和连续梁的拼接受力性能,并结合茂湛高速改扩建工程实践和科研成果,重点分享了错孔拼接、不中断交通条件下抗扰动混凝土新型拼接材料特性、拼接带受力性能和应用效果等内容。



第三设计院结构所所长王诚作主题报告

4 月 22 日上午,与会代表们前深汕西高速公路改扩建工程现场,参观了路基路面工程创新综合展示、桩梁一体化智能造桥机、桥梁预制构件智能制造生产线和单洞四车道山岭隧道全工序机械化施工等内容,进一步了解了项目建设重难点、技术创新和先进经验。



桩梁一体化智能造桥机现场



超大跨工业化建造隧道全工序机械化施工

截止 2022 年底,广东高速公路通车里程已达 1.12 余万公里,居全国首位。根据中长期发展规划,广东高速公路改扩建项目规划里程为 2000 多公里,高速公路改扩建已成为广东今后交通基础设施建设的重要工作任务。本次高水平的交流会议,有利于进一步总结提升,推广应用先进的管理和技术成果,促进高速公路改扩建工程建设守正创新,着力推动高质量发展。

(报道者:黄国清)

## 第二十五届中国高速公路信息化大会报道

第二十五届中国高速公路信息化大会于 3 月 30-31 日在福州举办,本次大会以“创新·融合·高质量发展”为主题,设置了主旨报告会和 26 个专题、主题论坛,150 多场专家分享,2 万余名业界同仁、企业界代表参会参展,深入探讨高速公路信息化规划、设计、建设、管理、服务的创新发展,集中展示我国高速公路信息化技术产品研发、应用的最新成果。

本次大会共设置智慧高速建设与发展、高速公路全生命周期数字化转型、感知融合技术发展、

多源数据融合分析及应用、ETC 拓展应用、收费系统创新发展、“一张网”管理、改扩建高速公路智能化提升、智能管控、高速公路治超技术、智能路侧边缘计算、智能运维、智慧隧道、新形势下网络安全创新发展等 26 场主题论坛,150 多场专家演讲,深入探讨了高速公路信息化发展趋势,新形势下高速公路信息化规划、设计、建设、管理、服务等创新发展及 5G、人工智能、大数据、云计算、智能联网、“互联网+”等新一代信息技术在高速公路的应用与展望等内容。



本次大会总体印象可以用“新”“多”“大”“热”四个字来概括。“新”:本届展会上各类新技术、新产品、新方案争奇斗艳,AI 数字人、GPT、AI、信创等新成果纷纷涌现;“多”:近 300 家展商,参会参展人数 2 万余人,论坛发声发言者多,展台上产品和解决方案多,无论是展馆还是论坛,摩肩接踵、高朋满座;“大”:四个展区四万余方平米,同时段还有 26 个论坛开讲。所展示的智慧高速内涵更大,包含安全、效率、服务、绿色等,涵盖建、管、养、运、应急方方面面;“热”:三月的福州,雨雾笼罩,但展馆内热闹非凡,充分体现了智慧高速向前发展的趋势不变、热度不减。与往年相比,大会总体风向有所微调,主要体现在以下几个方面。

### 1、理性思考多了,一味求新少了

今年大会一个明显变化就是普遍的理性思考,无论是行业主管部门还是高速运营单位,甚至是喜欢推陈出新的厂商们,都清醒地认识到上一轮(2017 至现在)“智慧高速”示范工程建设所反

映出的刚需不足、业务不紧、应用不深、渗透不强、模式不新、效益不明以及成本过高、技术过剩等普遍性问题。因此,业主与厂商之间对高端新技术与复杂场景应用不再“感冒”,接地气的解决方案、设备系统更吃香。

### 2、报告解读多了,概念创新少了

往年大会论坛报告的一个特征是“概念创新”,智能体、生命体等名词在今年的主旨报告以及分论坛报告中,更多体现的是方案解读与应用诠释。“智慧高速”终于从“名词创新”扎扎实实地回归为“应用创新”且更加注重质量与模式创新。此外,今年的论坛报告对技术路线的解读也更加透彻,各方都不再掩饰,从感知、传输、计算再到应用,看准方向再大量投入或深度应用,其成果成效也都十分可观。

### 3、方案下沉多了,贪大求全少了

既往的解决方案通常是从感知层到应用层,即使某个感知设备或系统集成厂商都要搞一套

“大而全”且“顶天立地”式的系统架构图或总体框架图等。实际上,此类解决方案恰恰在关键“痛点”上往往需要依赖其他系统或设备配合,“画大饼”式的解决方案反而掩盖了产品的突出亮点。相对而言,今年大会所提出的解决方案更加细化、精准,普适性功能+先进性特点+实用性优势的方案内容比比皆是。

#### 4、数据分析多了,硬件堆砌少了

数据赋能业务,强化路网大数据应用与分析,减少硬件设施过度布设,是今年信息化大会的基本共识。高速公路运行产生了用户、车辆、设备以及支付等海量动态数据,对强化高速公路交通流管控、突发事件监测预警、关键点段保通保畅,以及设施设备精准维护等都将发挥关键作用,如何提高数据质量、实现数据说话,使数据成为资产并产生更大价值是大会关注的重点。此外,智能交通和智慧公路建设行业更加注重解决方案,而不再是单纯硬件产品的堆砌。主要体现在:本次大会提供单纯产品宣传展示的少了,基本上都是产品+解决方案展示,提供综合解决方案的企业占参展企业的一半;另外,大会展示的解决方案落地案例多了,加强了从单纯概念化的解决方案向应

用落地效果的展示,新技术新产品结合行业需求的应用进一步做深做实。

#### 5、用户渗透多了,无效服务少了

今年大会的一大特点是“智慧高速”应用向 C 端的渗透力度空前,无论是高速经营单位推出的一键救援、智慧服务区等 APP 应用,或是联合互联网企业推出的基于数字孪生的车道级导航与车路协同服务,无不更加面向驾驶者提供更加精细化的伴随式信息服务及安全辅助驾驶应用。“交通守望者”更是将 ETC 2.0 服务通过语音提示等向司乘人员渗透。

#### 6、智慧收费产品多了,车路协同的关注少了

智慧收费产品主要涉及收费机器人、一体化栏杆机等产品;尤其是围绕匝道自由流和窄岛化、无人化、云收费系统可谓百家争鸣、百花齐放。不过,在此次大会上,高速公路车路协同的热点下降。仅有个别参展商和论坛报告涉及车路协同。根据行业反馈,前两年高速公路的车路协同示范可持续性差、C 端触达难、投入产出比低是主要原因,如何实现 C 端触达、增强体验感、形成封闭的商业模式,这为车路协同发展提出了新的挑战,车路协同进入多元化发展阶段,多种技术路径并行发展。



自 1999 年至今,中国高速公路信息化大会暨技术产品博览会已成功举办二十五届,见证和记录了我国从高速公路机电工程建设到信息化建设再到智慧化建设的发展历程,现已成为我国高速公路和智慧交通领域规模大、价值高、参与者众、影响力广的交通科技盛会,为推动我国高速公路信息化建设和发展发挥了积极作用。创新是引领发展的第一动力,实践是检验真理的唯一标准。行业进步需

要科技创新,科技链要转化为生产链、效益链需要不断实践检验。中国高速公路数字化、智慧化只有起点,没有终点。我院将在智能交通领域持续加大投入,与产业链上下游合作伙伴紧密合作,面向高速公路发展机遇,构建安全、便捷、高效、绿色的智慧高速。

(报道者:汪俊彬)

## “全国道路桥梁绿色建造与智慧运维技术交流会暨富龙西江特大桥观摩会”报道

2023 年 4 月 26 日~28 日,全国道路桥梁绿色建造与智慧运维技术交流会暨富龙西江特大桥观摩会在广东佛山顺利召开。会议由中国市政工程协会主办,中交特种工程有限公司协办。近两百余名领导和专家等业内人士参加了本次会议。公司首席专家梁立农以及各单位人员共计 15 人参加了本次会议。

大会会议主题为绿色建造助力道路桥梁绿色发展,会议邀请了行业内 13 名专家就道路桥梁低碳化发展与智能建造、智慧运维主旨做报告。公司首席专家梁立农应邀作主题报告。



公司部分与会代表合影



公司首席专家梁立农作主题报告

4 月 27 日上午,公司首席专家梁立农作了题为《大跨度斜拉桥技术和艺术创新与实践》的主题报告。报告详细介绍了公司多年来在大跨度斜拉桥技术和艺术创新方面的经验。

在本次大会上,诸位专家从绿色建造与智能建造创新技术、提升改造与智慧运维技术等方面,为与会人员带来了多场立意深远、极具价值的主题报告,对促进我国道路桥梁绿色发展和智慧运维发挥了积极作用。

4 月 28 日下午,与会代表们前往富龙西江特大桥项目施工现场进行实地观摩,现场总工为与会代表们详细介绍了富龙西江特大桥项目的基本情况和设计施工的关键技术。



公司部分与会代表在富龙西江特大桥项目施工现场合影

大会会议内容丰富,紧扣道路桥梁建造与运维先进技术的主题。与会人员通过参加此次会议,进一步提升了道路桥梁绿色建造与智慧运维先进技术的认识,加强了与业界人士的技术交流,并得以吸收各同行单位好的经验和做法,拓宽了视野和思路。

(报道者:汪伟浩)