

# 广东交通规划设计

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2  
总第186期

2022



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：020-3739 3079  
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

2022年第二季度，集团专利申请再创佳绩，获得发明专利4项，实用新型专利10项，外观专利1项；第二季度“宽幅分层矮塔斜拉桥动力行为及工程应用研究”荣获广东省公路学会科技奖三等奖。



## 公司级项目评审会



4月14日召开“中山市长洲大街延长段工程（拱桥结构体系）初步设计”公司级评审会



4月29日召开“惠肇高速白云至三水段（路线总体和立交）的初步设计”公司级评审会



4月29日召开“南海至新会高速的初步设计”公司级评审会



5月5日召开“汕昆高速公路揭阳新亨至梅州畚江段及梅州高速公路梅州江至畚江段改扩建工程——路线、总体及互通立交方案”公司级评审会



6月13日召开“揭普惠高速公路南延线工程初步设计”公司级评审会



6月23日召开“南新高速公路-佛山段桥梁方案初步设计”公司级评审会



6月27日召开“惠州惠城至惠阳霞涌高速公路工程——东江特大桥初步设计”公司级评审会



6月30日召开“广澳高速公路南沙至珠海段改扩建工程SJ2合同段初步设计”公司级评审会

## 标准化建设评审会



5月7日召开“等高箱梁通用图（二期）”评审会议



6月23日召开“路面设计通用图”评审会

# 广东交通规划设计

(每季出版)

2022年6月30日印刷

2022年第2期

(总第186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 冯心宜

刘吉福 张修杰 陈志翔

陈新富 陈潮锐 周震

梁志勇 (按姓氏笔画排序)

主编: 孙向东

副主编: 林敏

责任编辑: 杨雪

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: 020-37393079

E-mail: kjzl@ghdi.cn

发送对象: 公司及行业内部

本期印刷数量: 600本

印刷单位: 广州市艺彩印务有限公司

封面: 湛江市调顺跨海大桥工程

## 目次

### 部委政策

交通运输部关于印发《“十四五”公路养护管理发展纲要》的通知 ..... 交通运输部 (1)

### 公司动态

集团2021年度技术质量分析会顺利召开 ..... (7)

白云区投资促进局甘显超局长来我集团调研慰问 ..... (9)

至高荣誉,集团荣获“全国五一劳动奖状” ..... (10)

集团承担设计的连拱分岔隧道创新项目荣获第三届全国公路“微创新”大赛银奖 ..... (11)

踔厉奋发启新程,笃行不怠向未来——集团召开2021年度工作总结暨表彰大会 ..... (12)

集团负责设计的江门市首座公路悬索桥——南镇大桥顺利通过施工图设计评审 ..... (14)

集团与广东省公路学会联合主办的“牛田洋快速通道工程、京灶大桥现场技术交流会”顺利召开 ..... (16)

### 技术论文

深埋隧道断裂带涌水量预测分析 ..... 程小勇,黄勤健 (20)

基于MH的阻燃改性沥青上面层(SMA-13)路用性能研究 ..... 袁玲 (25)

长寿命沥青路面设计指标研究及正交试验分析 ..... 唐健娟,李钊 (30)

### 专委会活动

景观专业技术分委会2022年技术调研主题活动——第29届广州园林博览会技术调研 ..... 景观专业技术分委会 (37)

专业技术委员会桥梁专业技术分委会“25米先张法预应力工字型UHPC-NC组合梁足尺破坏试验”观摩交流活动 ..... 桥梁专业技术分委会 (41)

创新造价实践,助力品质工程——2022年工程造价分委会牛田洋快速通道项目参观交流活动 ..... 工程造价专业技术分委会 (43)

2022年地质勘察、岩土专业技术分委会武深高速始兴联络线施工现场考察暨高边坡勘察设计交流会 ..... 地质勘察、岩土专业技术分委会 (46)

深中通道现场调研与技术交流活动圆满完成 ..... 隧道专业技术分委会、城市轨道交通专业技术分委会 (49)



# 交通运输部关于印发《“十四五”公路养护管理发展纲要》的通知

交公路发〔2022〕46 号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团及计划单列市交通运输厅(局、委)：

为全面加强“十四五”公路养护管理,推动公路养护管理高质量发展,部编制了《“十四五”公路养护管理发展纲要》。现印发给你们,请结合实际,认真贯彻落实。

交通运输部

2022 年 4 月 3 日

## “十四五”公路养护管理发展纲要

为适应新的形势要求,促进公路养护管理高质量发展,更好地服务公众安全便捷出行,服务加快建设交通强国,根据《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》以及《公路“十四五”发展规划》,制定本纲要。

### 一、发展基础

#### (一) 发展成就。

“十三五”时期,全国公路养护管理工作围绕“改革攻坚、养护转型、管理升级、服务提质”精准发力,成效明显,为推动公路养护管理高质量发展奠定了基础。

基础设施持续优化。全国公路总里程达到 519.8 万公里,其中高速公路 16.1 万公里,覆盖 99% 城镇人口超过 20 万以上城市和地级行政中心;二级及以上公路里程达到 70.2 万公里,通达 97.6% 的县城。养护投入不断加大,其中日常养护投入 2587 亿元,养护工程投入 7898 亿元,公路技术状况处于良好水平。

安全水平稳步提升。累计实施公路安全生命防护工程 115.1 万公里,改造危桥 4.75 万座,基本完成乡道及以上行政等级公路安全隐患治理,四、

五类桥梁总数较“十二五”末下降 4.5 万座。完成 15.75 万公里路面技术状况检测、250 座重点桥梁监测。公路隧道提质升级等专项行动成效显著。

管养体系不断健全。承担行政职能事业单位改革和交通运输综合行政执法改革深入推进。国务院办公厅印发《关于深化农村公路管理养护体制改革的意见》,部修订出台《公路养护工程管理办法》《超限运输车辆行驶公路管理规定》,发布《公路养护预算编制导则》《公路养护工程质量检验评定标准》等技术标准。

路政执法更加规范。路政管理规范化建设持续推进,案件结案率超过 95%。全面实施高速公路入口称重检测,推行普通公路治超联合执法常态化制度化,加快推进治超系统全国联网。公路超限治理成效显著,高速公路超限率控制在 0.5% 以内,普通公路违法超限超载得到有效遏制。

路网运行平稳有序。取消高速公路省界收费站攻坚任务圆满完成,开创了高速公路“一张网运行、一体化服务”的全新局面。ETC 用户累计达到 2.3 亿。全面完成国家公路网命名编号调整工作。大力推进公路交通情况调查数据自动化采集体系建设,建成近 1.1 万个自动化交调站。高效完成重大活动和重要时段交通运输保障工作。

应急保障更加有力。修订印发《公路交通突发事件应急预案》，12个国家区域性公路交通应急装备物资储备中心建成投入使用。每年度组织全国公路交通军地联合应急演练，跨区域、跨部门协同保障能力显著提升，积极有效应对各类自然灾害和突发事件。联合国气象局发布气象预警信息，对阻断公路及时发布绕行信息，有力保通保畅。

服务能力不断增强。推进新改建普通公路服务设施4870个，深化高速公路服务区文明服务创建。完成收费公路发票“营改增”改革。完成跨省大件运输并联许可全国联网。全面落实鲜活农产品运输“绿色通道”和重大节假日小型客车免费通行政策，在疫情防控期间实施阶段性收费公路全面免费政策，累计减免通行费约5800亿元，保障重点物资和能源运输通道畅通。

精神文明成果丰硕。大力弘扬以“两路”精神等为代表的新时代交通精神，组织开展了“沿着高速看中国”“我家门口那条路”等主题宣传，积极开展文明创建和“两优一先”等活动，加强养护管理人才的引进、培养和使用，行业凝聚力和战斗力进一步提高。筑牢党风廉政建设“防火墙”，弛而不息整治“四风”，加强对工程招投标、设计变更、材料设备采购等重点廉政风险点的防控，全力打造“阳光公路”。

## （二）存在问题。

面对人民群众美好出行新期待、面对公路交通高质量发展要求，公路养护管理仍然存在一些明显的短板和弱项：一是“重建轻养”“以建代养”的现象仍比较普遍。二是公路养护管理资金保障能力不足，管养资金持续投入呈现较大压力。三是高速公路行业监管有待加强，普通国省道管理体制需要进一步理顺，养护管理“三基”工作仍然较为薄弱。四是公路桥梁面临危病桥梁多、老旧桥梁多、低荷载桥梁多等问题，隧道运行管理有待加强，安全隐患仍然存在。五是公路“一张网”运行监测体系尚不健全，路网运行精准感知与精确分析能力不强，出行信息发送、交互式体验等出行服务高品质供给

有待加强。

## （三）形势要求。

“十四五”期是我国开启第二个百年奋斗目标新征程的第一个五年，也是加快建设交通强国的第一个五年。在世纪疫情冲击下，百年变局加速演进，外部环境更趋复杂严峻和不确定。公路交通作为国民经济的基础性、先导性、战略性产业和服务性行业，我们要坚定不移推动公路行业高质量发展，加快建设交通强国。必须更加坚持可持续发展，全面落实“公路建设是发展，公路养护管理也是发展，而且是可持续发展”的理念，注重做优存量稳住基本盘，提高发展的质量效益；必须更加坚持安全发展，注重建设可靠耐久的公路基础设施供给体系；必须更加坚持保通保畅，注重发挥公路畅通国内大循环、促进国内国际双循环的纽带作用，不断提高公路通行效率；必须更加坚持转型升级，注重科技创新与公路交通发展深度融合，全面提高公路养护管理效能；必须更加坚持以人民为中心的发展思想，注重满足多样化、个性化、全方位的公众出行需求；必须更加坚持统筹发展和安全，注重风险评估与隐患排查，强化应急处置和保通保畅，发挥公路交通“生命线”作用。

## 二、总体要求

### （一）指导思想。

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，坚持以人民为中心，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，服务加快构建新发展格局，以推动高质量发展为主题，以深化供给侧结构性改革为主线，以改革创新为根本动力，以满足人民日益增长的美好生活需要为根本目的，着力推进设施数字化、养护专业化、管理现代化、运行高效化、服务优质化，全面提升公路养护管理水平，促进公路交通可持续健康发展，切实发挥公路在加快建设交通强国中的主力军、主战场、排头兵作用，为努力当好中国现代化的开路先锋提供坚实支撑。

## (二) 发展目标。

到 2025 年,实现以下目标:

—高速公路技术状况(MQI)优等路率保持在 90% 以上。普通国道 MQI 优良路率达到 85% 以上,其中东、中、西部分别达到 90%、85%、80% 以上。普通省道 MQI 优良路率达到 80% 以上,其中东、中、西部分别达到 85%、80%、72% 以上。农村公路 MQI 优良中等路率达到 85% 以上,年均养护工程实施比例不低于 5%。

—高速公路路面技术状况(PQI)优等路率保持在 88% 以上。普通国道 PQI 优良路率达到 80% 以上,其中东、中、西部分别达到 88%、80%、72% 以上。普通省道 PQI 优良路率达到 75% 以上,其中东、中、西部分别达到 80%、75%、70% 以上。

—高速公路一、二类桥梁比例达到 95%,普通国省干线公路一、二类桥梁比例达到 90%。到 2023 年底和 2025 年底,分阶段完成国省干线公路和农村公路 2020 年底存量四、五类桥梁(隧道)改造。国省干线公路新发现四、五类桥梁(隧道)处治率达 100%。

—高速公路、普通国省道沥青路面材料循环利用分别达到 95%、80% 以上。

—高速公路视频监测设施覆盖率东、中、西部分别达到 100%、90%、80%,接入率和在线率均不低于 95%;普通国省干线重要节点视频设施覆盖率达到 100%,接入率和在线率均不低于 95%;自动化交调站在线率不低于 90%;省级路网云平台建设及部省联网率达到 100%。公路阻断信息报送及时率达到 95% 以上,重大突发事件的出行信息发布及时率达到 100%。

—高速公路联网收费交易成功率、交易数据上传及时率均达到 99.9%。联网收费服务满意度进一步提高。

—高速公路货车违法超限超载率持续控制在 0.5% 以内,入口称重检测数据上传及时率、准确率达到 100%;治超系统省级平台建设及部省联网率达到 100%;普通公路超限检测站实现电子抓拍和

联合执法全覆盖,站点实时联网率和数据联网上传率均不低于 90%。

—公路服务区服务质量达标率达到 100%。

## 三、推进设施数字化

### (一) 推进基础数据归集。

构建标准统一、信息全面、融合共享的数据体系。推进公路基础数据库升级改造,重点汇集基础地理信息、路基路面、桥梁、隧道等静态数据。继续推进高速公路视频云平台、交调系统、长大桥梁结构健康监测单桥系统及数据平台建设,不断收集完善公路基础设施及路网运行管理动态数据。结合全国自然灾害综合风险普查,健全公路承灾体灾害风险点数据库。

### (二) 提升养护管理数字化水平。

以数字化引领公路养护管理转型升级。结合改扩建、养护工程推进高速公路数字化升级改造,逐步实现对高速公路网全要素动静态信息的数字化呈现和精细化管理,为车路协同、北斗应用、自动驾驶等提供支持。加快公路技术状况检测监测及养护装备研发,重点是公路桥隧、交安设施等自动化快速检测装备、无人化养护施工装备研发。研制推广公路养护智能化应用,重点是基于人工智能(AI)的自动化巡查、基于物联网的养护工程质量管理等应用。加强公路养护科学决策方法研究,重点研发各类设施养护评价、预测、决策等分析算法与模型,通过算法模型汇集分析数据,提高决策水平,提升公路养护管理工作效能。

### (三) 推进路网运行管理数字化。

通过数字化提高路网运行监测管理与服务能力。推动路网运行感知网络与公路基础设施建设改造工程同步规划、同步实施,在重点运输通道和节点布局完善感知设备设施,实现对路网全天候、多要素的状态感知。推动路网运行监测管理与服务平台建设,推进 ETC 服务提升及拓展应用、门架系统升级应用以及路网运行状况基础数据分析应用。推动实现智能监测与预警、实时交通诱导、路

网协同调度和出行服务引导等技术及场景应用,提升监管和服务效能。

#### 四、推进养护专业化

##### (四) 强化养护科学决策。

研究出台公路养护科学决策指导意见,加快构建涵盖技术状况检测评定、目标设定、需求分析和养护计划编制的科学决策体系。探索推广新型无损检测装备,开发推广应用经济高效自动化检测装备。农村公路基本实现路况自动化检测全覆盖。按年度开展国家公路网技术状况监测,强化各类检测监测数据的决策分析,形成数据驱动型养护科学决策工作机制。加强科学决策成果的应用,构建国家公路养护工程项目库,并实现动态管理。

##### (五) 提高养护供给能力。

总结梳理交通强国建设试点中的公路养护任务,强化系统思维,加强技术创新和管理创新,形成一批可复制、可推广的先进技术经验。持续开展公路基础设施长期性能科学观测与研究,推动构建符合我国实际的公路养护理论体系。完善公路预防养护技术体系,健全标准规范和技术指南,强化预防养护效果跟踪评价。加强养护工程的专业化设计,提升技术方案的科学性和适用性。创新公路养护组织模式,在国省干线公路大流量路段探索推广集中养护模式。加强公路养护工程的质量控制,强化质量检验评定,严格交竣工验收,确保实施效果。积极在农村公路养护领域推广以工代赈,通过设置多种形式的公益性岗位,吸收农民群众参与农村公路日常养护,带动当地农村劳动力就业增收。

##### (六) 提升公路安全保障水平。

实施公路危旧桥梁(隧道)改造行动,重点对四、五类桥梁(隧道)进行改造,统筹推进船舶碰撞公路桥梁隐患治理。实施公路安全设施和交通秩序管理精细化提升行动,全面提升高速公路安全防护能力,改造普通国省道穿城镇路段和平面交叉路口等关键节点,大力推进村道安全生命防护工程实施。全面完成自然灾害综合风险公路承灾体普查,

加强普查成果应用,推进干线公路灾害防治工程,有效提升公路防灾减灾抗灾水平。

##### (七) 规范养护市场建设。

贯彻落实《公路养护作业单位资质管理办法》,深入推动公路养护作业单位资质许可实施。研究制定公路养护招投标制度,建立健全公路养护信用体系,强化养护市场准入管理和秩序监管,加快构建统一开放、规范有序的养护市场。完善养护市场供给模式,探索检测评定、设计、施工一体化的养护总承包模式,引导养护市场主体专业化、规模化健康发展。

##### (八) 推动绿色养护发展。

健全绿色养护的评价方法和评价标准,加强绿色养护技术的研发与推广。大力推动废旧路面材料、工业废弃物等再生利用,提升资源利用效率。进一步提升养护作业机械化水平,推动公路养护降本增效。发挥公路养护领域科技创新平台作用,强化关键技术攻坚,持续开展长寿命基础设施建养技术研究。

#### 五、推进管理现代化

##### (九) 完善法律法规制度体系。

积极推动《中华人民共和国公路法》《收费公路管理条例》修订和《农村公路条例》制订工作。按照“控规模、调结构、防风险、降成本、强监管、优服务”的总体思路,进一步调整完善收费公路政策,构建与交通强国相适应的收费公路制度体系。修(制)订《超限运输车辆行驶管理规定》《大件运输许可服务与管理办法》《路网运行管理办法》等制度文件。提升公路依法治理能力和水平。

##### (十) 巩固拓展公路领域改革成果。

进一步厘清省级交通运输主管部门与公路管理机构、交通运输综合执法机构的职责边界,建立健全适应改革需要的高效工作运行机制。完善公路交通执法、许可审批、路产保护部门协作和联动机制,实现路产路权保护、审批服务与执法监管信息开放共享、互联互通。完善农村公路治理体系,



深入推进农村公路管养体制改革,全面落实县、乡、村三级“路长制”,进一步夯实县级人民政府农村公路管理养护主体责任。

#### (十一)强化桥隧安全运行管理。

完善公路桥梁养护管理制度,建立健全“政府主导、行业监管、部门协同、运行单位负责”的公路桥梁管养责任体系。研究制定推进公路隧道高质量发展的指导意见,提升公路隧道设施安全耐久水平、运行监测能力、应急处置能力、车辆通行安全水平和技术装备保障水平。加强公路桥隧区域保护执法,加大对危及桥隧安全行为的打击力度。

#### (十二)深入推进车辆超限超载治理。

完善高速公路入口治超,实现精确称重、自动识别、自动疏导。坚持和优化治超联合执法工作机制,推进治超系统与公安交管系统联网对接。加强源头治超,建立货物装载源头倒查机制和货车非法改装联动治理机制。积极探索非现场执法。加大信用治超力度。加快实施全国治超“一张网”工程,构建以“互联网+”为核心的智慧治超新模式,推动治超工作由人工执法向科技监管转变,由末端管理向源头治理转变,由以罚为主向综合治理转变。

#### (十三)加强大件运输服务和管理。

全面推行分类许可,不断完善许可系统功能,推进跨省大件运输许可“掌上办”,推动许可服务走访常态化,健全完善主动服务对接机制,持续开展跨省大件运输许可“好差评”,定期开展业务培训和考核。合理改造收费站超宽车道和称重检测设施,提升大件运输自动核查能力。压实大件运输生产和运输企业安全生产主体责任,加强许可审查和现场核查,强化车辆动态监管和途中检查,加强通行数据分析比对、企业信用风险分类管理,实现大件运输全过程智能审批、全环节公正监管、全链条优质服务。

## 六、推进运行高效化

#### (十四)构建路网监测体系。

持续完善路网运行监测体系,推动视频、交

调等监测设施与公路基础设施同步规划建设,加强既有公路监测设施建设和改造,统筹存量和增量、传统和新型监测设施,实现标准化布局与一体化应用。推进高速公路视频云联网工作,选择具备条件地区和路段开展普通国省道视频云联网试点工作,建立隧道结构安全和运行状况监测体系,研究移动式、无人化监测设施,提升监测网络整体效能。

#### (十五)强化路网疏堵保畅。

开展易拥堵收费站治理工作,完善公路阻断事件报送与调度制度,升级公路阻断信息报送系统,加强公路突发舆情监测能力建设,提高突发事件响应时效。健全跨层级、跨区域、跨部门、跨方式协调联动机制,完善鲜活农产品、防疫物资、重点生产生活物资等运输通道,优化鲜活农产品运输绿色通道查验,强化疫苗运输免费通行服务保障,进一步强化常态化疫情防控下公路网运行服务保障能力。

#### (十六)完善应急体系建设。

完善公路交通应急预案体系,深化联合预警工作机制建设,健全公路网预警预防体系,开展恶劣天气高影响路段优化提升工作。完善国家区域性公路交通应急装备物资储备中心布局并推进建设,进一步提升公路交通应急装备物资储备管理与调度水平。制定公路交通应急演练规范化要求,模拟典型突发事件,指导地方开展“行业+属地”联合的层次丰富、形式多样、科目齐全的应急演练。开展重大公路突发事件影响与应急能力评估工作,强化跨区域、跨部门的多方公路交通应急联动机制建设,重点提升巨灾场景的应急处置和交通运输保障能力。

## 七、推进服务优质化

#### (十七)优化公路交通出行服务。

打造集成信息服务、客户服务、救援服务等等的综合出行服务体系,研究推广预约通行、定制出行、点单式服务等公路出行服务新模式。细分用户群体,分析用户画像,为用户提供精准化、体验式、伴

随式的高品质出行服务。开发应用“e路畅通”APP,提升公路出行“一站式”服务体验感与公众满意度。完善高速公路车辆救援体系,安全规范高效提供车辆救援服务。

(十八)健全高速公路联网收费体系。

持续加强联网收费系统优化升级。优化计费规则,提升计费服务精准性,避免重复扣费、同程不同费等问题产生。便捷开具发票,缩短开票时间,更好满足用户个性化需求。加强系统运维保障,即时修复完善联网收费系统运行中发现的问题,确保系统高效稳定运行。优化ETC服务,着力解决ETC服务中的突出难点和痛点问题,进一步提升ETC服务便利化水平,提升用户使用体验。

(十九)提升服务区服务体验。

推动公路服务区设施提档升级,优化货车停车位供给,加强服务区污水、垃圾等污染治理,鼓励老旧服务区开展节能环保升级改造。加强服务区无障碍设施建设,完善适老化、人性化服务设施。积极配合相关部门推进公路服务区充(换)电设施、加气站、加氢站、光伏发电等新能源设施建设。大力发展“服务区经济”,加强与物流、文化、旅游、乡村振兴等产业的融合。创新公路服务设施运营模式,鼓励社会力量参与公路服务区运营,推动服务区由基本保障型发展模式向“精细化、标准化、特色化、主题化、规模化、智能化”的高质量发展模式转变,进一步提升服务区服务品质和公众体验。

## 八、保障措施

(二十)加强党的全面领导。

坚持和加强党的全面领导,发挥党建引领作用,将党的领导贯穿公路养护管理全过程。引导地方各级政府及其交通运输主管部门高度重视公路养护管理工作,坚持目标导向、问题导向,结合实际,制定本地区“十四五”公路养护管理规划或纲要,加强监督管理,及时评估总结,切实推进重点任务的落实。

(二十一)加强资金保障。

稳定资金保障,推动全面落实各级政府公路领域财政事权和支出责任,推动建立养护管理资金投入增长机制。严格落实成品油消费税转移支付资金用于公路养护的相关规定和车购税既有资金支持政策,用好政府还贷二级公路取消收费后补助资金“以奖代补”支持政策。拓宽公路投融资渠道,创新投融资模式,吸引社会资本投入。指导收费公路经营单位依法落实收费公路管理和养护资金,加强运行服务保障。预研预判公路领域能源结构调整、消费市场结构调整的趋势和规律,进一步研究通过征收车辆里程税的方式筹集公路建设、养护、管理、偿债资金的可行性,及时研究并提出调整完善公路领域相关的财税政策建议。

(二十二)加强人才培养。

着力培养具有较高技术能力和业务管理水平的复合型人才。加快培养引进一批精通智慧公路、熟悉跨界融合的急需紧缺人才。打造素质优良的技能型、创新型公路基层养护人才队伍。构筑公路行业高层次、高技能人才专家库。

(二十三)加强典型引领。

充分发挥示范试点的标杆引领作用,全面推动现代养护样板路、公路安全精品路创建,继续推进“四好农村路”全国示范县创建。总结和发布各地公路养护管理工作典型案例。鼓励各地结合公路养护管理的发展,因地制宜打造典型试点,总结和推广先进工作经验。

(二十四)加强宣传引导。

充分利用各类新闻媒体和“沿着高速看中国”“我家门口那条路”“最美公路人”等载体,通过开展“情暖回家路”服务提升等行动,广泛展示公路行业的发展历史、工作成就,大力宣传公路行业先进人物事迹和基层公路人“尽精微”的点滴小事,加强对宣传工作规律的认识把握,不断推动内容形式、方法手段、渠道载体等创新,增强宣传工作的针对性有效性和吸引力感染力,讲好公路故事,凝聚社会共识,为“十四五”公路养护管理发展营造良好社会氛围。

## 集团 2021 年度技术质量分析会顺利召开

2022 年 6 月 2 日上午,集团在南洋长胜酒店会议中心召开 2021 年度技术质量分析会,会议主题为“狠抓勘察设计全过程质量控制,努力提升设计品质,为早日成为中国领先的工程咨询集团而奋斗!”。集团领导、集团副总工程师,各相关单位负责人及全体技术人员约 770 人以现场和视频形式参加了本次会议。



集团总工程师孙向东做主持发言



集团副总工程师冯心宜做“建设品质工程,提高总体设计水平”主题报告



科技质量部主任林敏做“2021 年集团技术质量总体报告”



集团副总工程师万志勇做“确保结构安全,提升桥隧品质”主题报告

剪	固结不排水剪				固结排水剪	
	$c_{cu}/kPa$	$\varphi_{cu}/^\circ$	$c'/kPa$	$\varphi'/^\circ$	$c'/kPa$	$\varphi'/^\circ$
6.6	9.5	15.4	6.4	30		
7.8	11.5	15.5	5.6	30.9		
7.6	12.6	16	5.7	31		
7.3	11.2	15.6	5.9	30.6		
5.5	8.0	15.8	9.0	16.7	28.0	
5.6	6.0	14.9	7.0	16.5	28.4	
5.3	8.0	21.5	9.0	23.1	31.9	
5.2						
5.2	7.3	17.4	8		29.4	
15.1						
5						

集团副总工程师刘吉福做“岩土工程设计缺陷与建议”主题报告



数字化技术研究院院长万欢做“数字化创新应用与设计质量提升”主题报告



集团总经理黄湛军对本次技术质量分析会作了总结讲话,强调要警钟长鸣,树立生命安全重于泰山的理念,守住质量安全底线。并从“切实落实勘察设计全过程质量管控”“努力提升设计品质”和“加强全体技术人员在勘察设计全过程的质量管控意识和设计责任感”等三方面提出相关要求。优秀的勘察设计品质是我们的核心竞争力,展望“十四五”时期,高质量发展将成为未来相当长一段时期内我国经济社会发展的主题,打造品质工程是我们每一个有幸参加交通建设的设计人的神圣使命,在通往高质量发展的道路上,还有许多事情需要去做,有许多问题需要解决,我们广东交通院全体员工将不忘初心、坚定前行,为早日成为中国领先的工程咨询集团而奋斗!

(本期供稿:科技质量部)

## 白云区投资促进局甘显超局长来我集团调研慰问

2022 年 3 月 30 日,白云区投资促进局党组书记、局长甘显超一行莅临我集团开展调研慰问活动。集团总工程师梁立农,集团副总经理、工会主席陈贤文等参加了慰问活动。



活动现场,甘局长介绍了白云区经济发展区域规划及“广州设计之都”建设情况,关切了解集团业务发展现状及存在的难点问题,看望慰问了集团总工程师梁立农,并送上慰问金。



集团对区投资促进局一直以来的关心和支持表示了诚挚的感谢。作为白云区设计产业集群龙头企业,集团将坚持以创新引领发展,踔厉奋发、开拓进取,发挥自身在交通和城市建设领域的综合优势,为白云区完善基础设施建设贡献智慧与力量。

(报道者:曹菁菁)

## 至高荣誉,集团荣获“全国五一劳动奖状”

4月28日,全国总工会召开2022年庆祝“五一”国际劳动节暨全国五一劳动奖和全国工人先锋号表彰大会,广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司荣获“全国五一劳动奖状”。集团总经理黄湛军代表集团在广东分会场领奖。



黄湛军总经理在大会现场

澎湃七秩,一路辉煌。在省总工会、省交通工会委员会和各级领导、社会各界的关心支持下,集团凭借在改革创新、业务发展、企业文化、市场诚信等方面的突出表现,先后荣获“全国交

通运输系统先进集体”、“全国工人先锋号”、全国勘察设计行业“庆祝新中国成立70周年优秀勘察设计企业”、“公路交通优秀勘察设计企业”、“广东省文明单位”、“广东省先进集体”、“广东省五一劳动奖状”、“广东省守合同重信用企业”、“纪念改革开放40年广东省勘察设计行业最具影响力企业”、“广东省土木建筑科技创新先进企业”等多项荣誉称号。

本次获奖适逢党的二十大胜利召开之际,是集团发展史上的里程碑事件,必将进一步激励集团全体员工励精图治、拼搏奋进。集团将倍加珍惜荣誉,再接再厉,坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,继续弘扬劳动精神、劳模精神、工匠精神,努力践行“创造精品,服务社会”的企业使命,秉承“至诚至善,求实创新”的企业核心价值观,围绕“成为中国领先的工程咨询企业集团”的企业愿景,坚定做走在时代前列的奋斗者、开拓者、奉献者,积极投入国家交通基础设施建设事业,为加快建设交通强国贡献更多智慧与力量!



(报道者:金为政)

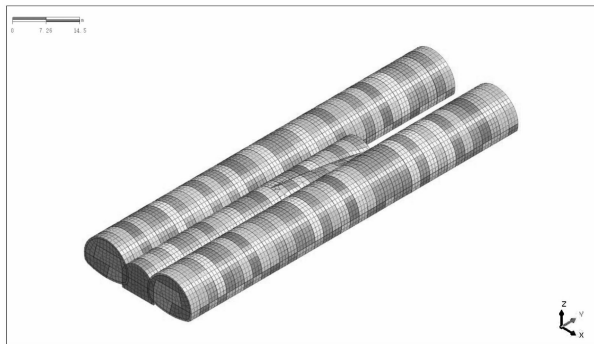
## 集团承担设计的连拱分岔隧道创新项目荣获 第三届全国公路“微创新”大赛银奖

近日,在中国公路学会举办的第三届全国公路“微创新”大赛中,集团“连拱端高陡边坡进洞分岔隧道连拱段双向开挖法”项目荣获佳绩,摘得银奖。

由集团轨道与地下工程设计院承担设计的广东省河源市连平县公路局“6·10”“6·12”灾毁恢复重建工程内莞隧道是广东省第一座一级公路双连拱变截面、分岔山岭隧道。受进口条件限制,隧道不得不在高陡边坡条件下进洞,工期难以控制。



进口连拱端高陡边坡进洞洞门图



辅助导洞、主洞连拱段、主洞分离段位置关系



折线型辅助导洞施工现场

为有效解决上述技术难点,轨道与地下工程设计院创新性地提出了“折线型辅助导洞法”,将分岔隧道施工工作面顺畅地从分离段过渡至连拱段,增加了连拱段隧道施工作业面,缓解了连拱端进洞缓慢对隧道连拱段施工工期的影响,极大提高了施工效率。

同时,项目还采用了高陡边坡条件下进洞技术、连拱与分离式隧道形式顺接过渡、洞内折线型辅助导洞设计及多工况二衬模板台车等创新性设计,为破解脆弱生态环境中复杂地形地质条件下的山区高等级公路选线难题提供了新的设计思路和设计手段。

经工程实际检验,上述创新设计成果实用效果良好,确保了抢险救灾工程按时完工,对 G105 国道道路保通具有极大的社会意义,为集团赢得了良好的社会声誉。

(本期供稿:轨道与地下工程设计院)

## 踔厉奋发启新程，笃行不怠向未来 ——集团召开 2021 年度工作总结暨表彰大会

2022 年 5 月 27 日下午，集团在珠岛宾馆珠岛会堂隆重召开了 2021 年度工作总结暨表彰大会。集团董事、全体经营班子均出席了本次大会。



会上，集团总经理黄湛军作了题为《峥嵘七十载，辉煌新征程，以高质量发展理念引领集团发展再上新台阶》的工作总结报告，对 2021 年各项工作进行总结，并对 2022 年的工作做出整体部署。



大会对 2021 年度在各项工作中表现出色的各类先进集体和个人进行了集中表彰。此次共有 13 个先进集体、56 名杰出个人、292 名优秀个人受到表彰。







我们要以获奖集体和个人为学习榜样,继续弘扬“至诚至善,求实创新”的核心价值观,秉承“一路领先”的企业精神,戮力同心、和衷共济,推动集团各项工作再上新台阶!

(报道者:曹菁菁)

## 集团负责设计的江门市首座公路悬索桥 ——南镇大桥顺利通过施工图设计评审

2022 年 5 月 31 日,由集团第一设计院负责设计的江门市首座公路悬索桥——南镇大桥(省道 S272 肇珠线睦洲至南镇段改建工程)施工图设计顺利通过江门市交通运输局组织的专家评审。集团总工程师孙向东,第一设计院院长、副院长、总工程师等主要领导以及项目组成员参加了现场会议并对本项目施工图设计工作进行了汇报和答疑。



南镇大桥的建设将取代省道 S272 睦洲渡口轮渡过江的方式,消除渡船过江的安全隐患。主桥一跨跨越西江虎跳门水道(规划内河 I 级航道),能大幅提高通行效率,并进一步完善区域路网,加强江门和珠海的联系,对于促进地方经济发展具有重要作用。

南镇大桥主桥为(63.5 + 218 + 82)m 单跨吊组合梁地锚式悬索桥,建成后将成为江门市首座公路悬索桥。在施工图设计阶段,针对本项目建设条件复杂、建设资金受限、景观效果要求高、管养要求简单便捷等特点,集团在中小跨径悬索桥缆索系统、主梁结构形式、锚碇设置、锚固系统和景观创意等方面进行了深入研究。



南镇大桥主桥采用空间双索面主缆,矢跨比 1/8,两根主缆横向中心距 25.5 m;主梁采用双边箱钢砼组合梁,全宽 28.5 m,中心处梁高 2.467 m;两岸锚碇均为完全重力式锚碇、明挖扩大基础,主缆锚固采用钢框架锚固系统;主塔采用门式框架结构,设计元素取自新会大新路-仁寿路历史文化街区骑楼连廊建筑,将侨乡建筑与睦洲自然环境融为一体,塑造“侨乡特色、五邑风华”的桥梁景观,助力周边石板沙水乡风情岛旅游开发,致力成为地方地标性和景观性建筑。

本项目施工图设计成果赢得了与会领导、专家和业主的高度评价。专家组一致同意通过评审。集团在江门市的品牌影响力得以进一步提升。



(报道者:魏文龙)

## 集团与广东省公路学会联合主办的“牛田洋快速通道工程、京灶大桥现场技术交流会”顺利召开

6 月 17 日,集团与广东省公路学会联合主办的“牛田洋快速通道工程、京灶大桥现场技术交流会”在广东汕头、揭阳顺利召开。会议通过现场观摩、座谈交流结合的方式,对两个项目的关键技术开展了交流。省公路学会理事长、省交通集团副总工洪显诚,省交通集团总工程师鲁昌河,省交通集团基建部部长王安福,省公路学会专家委员会主任陈冠雄以及全省公路交通建设、设计、施工、科研教学等 20 多个单位 40 多人参加了本次活动。集团总工程师孙向东、集团首席专家梁立农参加活动并分别作了专题报告。

### 牛田洋快速通道工程现场观摩及技术交流

汕头市牛田洋快速通道工程起点位于汕头市城区西侧,路线长 15.8 km,主线桥梁总长 14.2 km。项目设计施工难度大,涉及抗风、抗震、防腐、防撞、公轨合建等复杂因素。牛田洋大桥采用主跨 468 m 半漂浮体系双塔双索面钢桁梁斜拉桥,上层公路、下层轨道断面布置方式;轨道交通采用跨座式单轨制式。水中引桥为 70~80 m 分层布置钢混组合梁,采用上、下层同步顶推施工方案;陆上引桥为 30~75 m 钢混组合梁,采用双槽型无中横梁体系。钢混组合梁为广东省首次大规模采用。



牛田洋快速通道采用 30 m 钢-混组合梁,标准桥宽 16.14 m、17.14 m;采用双槽形梁断面,梁高 2 m;采用在梁场地面叠合,整体吊装,浇筑纵向湿接缝。该方案能较好地保证施工质量,加快施工进度,方便现场管理。设计过程中进行了钢混组合梁合理构造专项研究,通过专项研究弱化次要构件,强化主受力构件,采用无中横梁的构造体系,使用钢量指标做到最优,同时桥下景观简洁,在设计评审时被评价为国内领先。墩顶采用结构面板连续构造,在充分利用钢-混组合结构的优点时,保证结构的耐久性。引桥组合梁的设计研究,使得集团对于钢结构、组合梁设计与施工的认识显著提升,已被集团内多个项目参考引用。



牛田洋大桥主桥采用上层公路、下层轨道断面布置方式,是国内首座公路与跨座式单轨合建斜拉桥。针对该桥技术难度大、建设条件复杂和景观要求高的特点,深入开展了景观、抗风、抗震及车桥耦合、钢桁梁斜拉桥设计等关键技术专题研究,并采取了高性能海工混凝土、ECC 砬、疏水化合孔栓物(克汰)、硅烷浸渍与环境腐蚀等级相匹配的耐久性措施。结合边跨水位及施工条件,因地制宜,合理选择桥型、结构体系及施工方案,以边跨钢-混组合结构代替压重;结合边孔水浅的特点,边跨钢桁梁充分利用结构自身优势创新采用顶推施工,中跨采用桥面吊机双节段起吊。



牛田洋大桥水中引桥在平台处拼装,采用顶推法施工钢梁,使用架板机架设面板,并通过顶落梁等方式解决墩顶负弯矩区的开裂问题,通过正交分离的减隔震体系确保地震作用下的结构安全。



现场观摩后,与会代表在牛田洋快速通道工程项目部开展了技术交流。交流会由省公路学会专家委员会主任陈冠雄主持。集团首席专家梁立农作了“汕头市牛田洋大桥设计关键技术与设计特色”专题报告,对牛田洋大桥公铁合建桥型比对、桥梁造型、设计难点与创新进行了介绍。中铁大桥局集团有限公司汕头牛田洋项目部经理吴小俊作了“牛田洋大桥施工关键技术”专题报告。



### 潮汕环线高速公路(含潮汕联络线)三期工程京灶大桥挤扩支盘桩挤扩施工现场观摩及技术交流

潮汕环线高速公路(含潮汕联络线)三期工程京灶大桥项目起于汕头市潮阳区金灶镇欧厝村,与潮惠高速公路相交,设金灶(枢纽)互通立交,向北跨越榕江南河,终于揭阳市榕城区京冈街道京南村,长约 3.113 km。全线共设桥梁 2 座、互通立交 1 处。其中,控制性工程京灶大桥主桥为主跨 350 m 双塔钢-砼组合梁斜拉桥。



与会代表在京灶大桥引桥挤扩支盘桩挤扩施工现场听取了京灶大桥项目挤扩支盘桩的应用情况介绍,并现场观摩了引桥 11#墩桩基挤扩支盘桩的施工流程和关键工艺控制情况。

现场观摩后,与会代表在京灶大桥土建二标项目部开展了技术交流。京灶大桥建设管理处主任蒲春平作了“潮汕环线高速公路项目桥梁挤扩支盘桩应用”专题报告,详细介绍了潮汕环线高速公路对支盘桩研究的应用情况以及支盘桩设计、施工、检测等关键技术要点,并通过潮汕环线一、二期运营阶段成桩的监测检测情况以及挤扩支盘桩与常规桩的经济性对比分析,展示了该技术的良好应用前景。

集团总工程师孙向东作了“挤扩支盘桩广东团体标准实施情况”专题报告,对挤扩支盘桩技术设计理论、施工工艺、设备能力、质量检测等方面的创新及其在广东省交通建设领域的应用情况进行了详细介绍,并展望了该技术在节能减排与国家“双碳”目标背景的应用前景。

挤扩支盘桩适用于沿海深厚软土、基岩埋置深厚、有合适覆盖层岩溶等地质条件复杂区域以及改扩建工程的桥梁拼接工程。目前,广东省在潮汕环线高速公路、南中高速公路等项目中大规模开展了实施应用及相关研究,并获得了一系列技术成果。挤扩支盘桩实践应用可有效缩短桩长、控制沉降、节约造价和缩短工期等,取得了良好的社会效益和经济效益。



## 广东省公路学会

粤公学函〔2022〕21号

### 致 谢 函

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司:

在 2022 年 6 月 16-17 日学会与贵司共同举办的“牛田洋快速通道工程、京灶大桥现场技术交流会”中,贵司认真筹划、精心安排,先后组织观摩了牛田洋快速通道项目和京灶大桥项目,贵司梁立农首席专家作了题为“汕头市牛田洋大桥关键技术与设计特色”、孙向东总工程师作了题为“挤扩支盘桩广东团体标准实施情况”的专题讲座。本次活动主题鲜明、内容丰富,全省公路交通建设、设计、施工、科研教学等 20 多个单位 40 多人参加,得到了参会人员的一致好评,取得圆满成功。

在此,谨向贵司对本次活动的鼎力支持表示衷心的感谢,并以此向贵司梁立农首席专家、孙向东总工、科技质量部、第二设计院、第一设计院相关人员的大力支持提出表扬!

希望在今后的工作中,继续得到贵司的支持与协助,为推动我国公路交通科技创新及推广活动做出更大的贡献!



本次交流活动促进了广东省公路行业技术人员对大跨公轨合建斜拉桥、组合结构桥梁设计建造技术、挤扩支盘桩等关键技术的认识了解,将进一步推动组合结构桥、挤扩支盘桩技术在广东省公路桥梁上的应用,得到了省公路学会和参会人员的一致好评与充分肯定。

(报道者:杨雪)

# 深埋隧道断裂带涌水量预测分析\*

程小勇<sup>1</sup>, 黄勤健<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. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 深埋特长隧道是高速公路建设当中的控制性工程, 开挖过程中如遇到高压涌水, 必定对工程施工造成不利影响。鸿图特长隧道因其受到莲花山深大断裂构造影响, 隧道开挖过程中在火成岩张性裂隙中出现了强烈的高压大流量涌水。以鸿图特长隧道为例, 选取受断裂构造带控制涌水的代表性洞段, 采用古德曼经验式对基岩段与断裂带涌水量分别进行统计计算。结果显示: 隧道 K91 + 010 ~ K91 + 550 段主要断层 F2 系列的预测最大涌水量为 192 258 m<sup>3</sup>/d, 与实际开挖最大涌水量 189 576 m<sup>3</sup>/d 基本吻合。该计算方法所得的涌水量更加贴合工程实际情况, 对于该地质条件下的涌水量计算有着更强的适配性。

**关键词:** 涌水量预测; 古德曼经验式; 鸿图特长隧道; 莲花山断裂

隧道涌水预测研究已经有近半个多世纪的历史, 在涌水量预测问题上, 人们根据隧道环境地下水所处地质体的不同性质、水文地质条件的不同复杂程度、施工的不同方式及生产的不同要求等因素, 提出了隧道涌水量预测计算的确定性数学模型和随机性数学模型两大类方法。其中确定性数学模型方法<sup>[1]</sup>包括水文地质比拟法<sup>[2]</sup>、径流模数法<sup>[3]</sup>、简易水均衡法<sup>[4][5][6]</sup>、地下水动力学法<sup>[7][8][9]</sup>和数值模拟法等。其中王建秀(2001)<sup>[10]</sup>、Hwang(2006)<sup>[11]</sup>、左乾坤(2011)<sup>[12]</sup>、罗雄文(2014)<sup>[13]</sup>等学者对隧道涌水机制及其涌水量的预测进行了研究, 推动了隧道涌水问题的发展, 并且丰富了涌水量预测计算的相关方法。

深埋隧道的涌水量预测由于其具有埋深大, 地质勘察难度大等特点, 在预测上难度较大。本文以鸿图特长隧道为例, 由于其穿越莲花山断裂带核部, 在开挖时产生了高压大流量涌水, 其进口段左线 ZK91 + 163、右线 K91 + 169 涌水量高达 3 000 m<sup>3</sup>/h 以上, 瞬时最大水压达 4.8 MPa, 加之其位于火成岩地区, 在工程案例中十分罕见, 涌水量预测具有一定的难度, 因此, 使用合适的涌水预测方法对于隧道涌水类型、部位、准确预测其强度及其涌水量对隧道建设而言至关重要。

## 1 隧址区地质条件概述

大(埔)丰(顺)(五)华高速公路是广东省拟规划高速公路网中的加密联络线, 是梅州市南部区县相互连接的交通主干线, 也是梅州市高速路网的横向连接线。鸿图特长隧道起点位于丰顺县汤西镇高己石以北约 500 m 山坡, 终点位于五华县郭田镇三渡水水库南侧的下麻石东约 120 m 山坡。

鸿图特长隧道位于构造抬升侵蚀剥蚀中低山地貌区, 山体宽厚、起伏较大, 隧道的最大埋深达 740 m。隧址区的地层岩性主要为侏罗系熔结凝灰岩和燕山期花岗岩<sup>[14][15]</sup>。隧道洞身以中、微风化岩为主, 围岩等级为 II ~ V 级。受区域性莲花山深大断裂多期次活动影响, 隧址区整体呈现南东 - 北西两侧断陷中间抬升的地垒式地貌特征。隧道洞身断层构造等十分发育, 又穿越熔结凝灰岩与花岗岩以及不同期次花岗岩的接触带, 形成一个交错的区域构造网络, 其中的岩性和构造条件都较为复杂, 在隧道施工中出现了高压大流量涌水问题, 严重影响工程施工安全。

该地区属亚热带季风气候区, 光照充足, 雨量充沛, 年平均气温 21.2℃(五华) ~ 21.7℃(丰顺), 多年平均降雨量 1 519.7mm(五华) ~ 1 865.6mm(丰顺), 位于韩江和榕江两大水系的分水岭区域,

\* 本文已在《人民长江》发表。



溪沟发育,多年平均径流量  $27.356 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

隧址区地下水类型根据其形成自然条件,运移规律、赋存空间特征,可分为两类,即松散岩类孔隙水和基岩构造裂隙水,松散岩类孔隙水呈局部分布,基岩裂隙水广泛分布于工作区。其中有赋存于断层破碎带及影响带中的构造裂隙水和风化带中的孔隙裂隙水,根据资料,该地区的岩(土)层按风化强度依次可分为<sup>[16]</sup>:

(1)地表风化残积层:包括粉质粘土、碎石、(砂质)粉质粘土等,厚度 8~15.5 m,渗透系数经验值  $K=0.1 \text{ m/d}$ 。碎石的渗透系数经验值  $K=50 \text{ m/d}$ 。

(2)全风化带:黄褐色,岩芯呈坚硬土状,结构清晰,岩石已完全风化,手捏易散。零星分布,厚度 6~8.5m。渗透系数经验值  $K=0.1 \text{ m/d}$ 。

(3)强风化带:岩质较软,半岩半土状岩芯遇水易软化。局部分布,厚度 1~40 m。渗透系数经验值  $K=0.05 \sim 0.1 \text{ m/d}$ 。

(4)中风化带:岩石节理裂隙很发育,裂隙面多见铁锈浸染,岩质较硬,局部分布厚度 4~30 m。渗透系数经验值  $K=0.03 \text{ m/d}$ 。

(5)微风化带:岩体坚硬,节理裂隙发育,风化程度低,呈块状结构,最大揭示厚度为 25 m。渗透系数经验值  $K=0.008 \text{ m/d}$ 。

由于区域受到莲花山深大断裂带的影响,该地区呈现南东-北西两侧断陷中间抬升的地垒式

地貌特征<sup>[17]</sup>,主要表现为由复式向斜以及广泛发育的以北东向断裂带为主、北西、东西向断裂为次的构造格局,隧址区的涌水构造大都是与北东向主干断裂带有关的次一级束状平行或斜切断裂,而次一级的北西向断裂和东西向断裂则将多条北东向主干断裂连通了起来,这些断裂互相交错连通,构成了区域构造网络,为地区的基岩裂隙水提供了发育条件,而错综复杂的构造也使得该区域的水文地质条件复杂多变<sup>[18]</sup>,隧道涌水变得难以预测,对施工也造成了很大的困扰。

## 2 隧道早期涌水量预测

鸿图特长隧道的最大涌水量预测主要使用了古德曼经验式<sup>[19][20]</sup>,见公式(1),对鸿图特长隧道各个区段内的最大涌水量进行了计算,结果见下表 1。

$$Q_0 = L \frac{2\pi \cdot K \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}}$$

式中: $Q_0$ —隧道通过含水地段的最大涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$K$ —含水层渗透系数( $\text{m/d}$ );

$H$ 为静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离( $\text{m}$ ,本次采用块段平均距离);

$d$ 为洞身横断面等价圆直径( $\text{m}$ );

$L$ 为隧道通过含水体的长度( $\text{m}$ )。

表 1 古德曼经验式涌水量预测结果

分段序号	分段里程	$K/(\text{m/d})$	$H/\text{m}$	$d/\text{m}$	$L/\text{m}$	最大涌水量预测/ $(\text{m}^3/\text{d})$
1	K89+400~K89+540	0.10	20	11.77	140	917.85
2	K89+540~K89+900	0.10	65	11.77	360	4 748.59
3	K89+900~K90+210	0.03	100	11.77	310	1 656.60
4	K90+210~K90+470	0.008	131	11.77	260	450.83
5	K90+470~K90+010	0.03	314	11.77	540	6 833.71
6	K91+010~K91+380	0.171	530	11.77	370	40 548.38
7	K91+380~K91+550	0.171	565	11.77	170	19 619.04
8	K91+550~K91+820	0.008	560	11.77	270	1 447.31
9	K91+820~K92+370	0.008	608	11.77	550	3 151.54
10	K92+370~K92+650	0.171	645	11.77	280	35 982.70
11	K92+650~K92+840	0.03	623	11.77	190	4 164.66
12	K92+840~K93+850	0.008	484	11.77	1 010	4 809.81
13	K93+850~K94+930	0.03	238	11.77	1 080	11 024.03
14	K94+930~K95+270	0.10	85	11.77	340	5 396.77
15	K95+270~K95+740	0.10	26	11.77	470	3 523.24
合计	K89+400~K95+740				6 340	144 274.74

本次预测的隧道正常涌水量为单线涌水量,由于该隧道设计为分离式隧道,左右线洞室间距约为35 m,故整体隧道洞室建议正常涌水量按2倍计算,即按26 484.36 m<sup>3</sup>/d考虑。另外,在特大暴雨等极端情况下,预测整体隧道洞室的最大涌水量总和达144 274.74 m<sup>3</sup>/d(22.76 m<sup>3</sup>/(d·m))。

### 3 开挖后实际涌水量及其影响因素

#### 3.1 开挖后涌水量变化

隧道开挖后,涌水地段可见图1,在K91+010~K91+380段的涌水量较大,根据古德曼经验公式的计算该段单线最大涌水量为40 548.38 m<sup>3</sup>/d。实际开挖中,在2019年11月14日,左线出现最大涌水量为66 456 m<sup>3</sup>/d;2020年1月13日,右线K91+343处出现最大涌水量为80 520 m<sup>3</sup>/d,2019年11月14日,该地段施工中双线最大涌水量最高达到107 256 m<sup>3</sup>/d,此时左洞该区段涌水量为66 456 m<sup>3</sup>/d,右洞该区段为40 800 m<sup>3</sup>/d,在开挖过程中在此段揭露断层F2-1。

K91+380~K91+550段,根据古德曼经验公式的计算单线最大涌水量为19 619.04 m<sup>3</sup>/d。实际开挖中,在2020年5月20日,左线于ZK91+465处出现该段最大涌水量,为38 448 m<sup>3</sup>/d;在2020年4月23日,右线于K91+397处出现最大涌水量,为64 800 m<sup>3</sup>/d,同时在这一天出现了该区段的双线最大涌水量,最高达到82 320 m<sup>3</sup>/d,此时左洞涌水量为17 520 m<sup>3</sup>/d,断层F2-2~F2-5、F2-6和F4-5经过该区段。

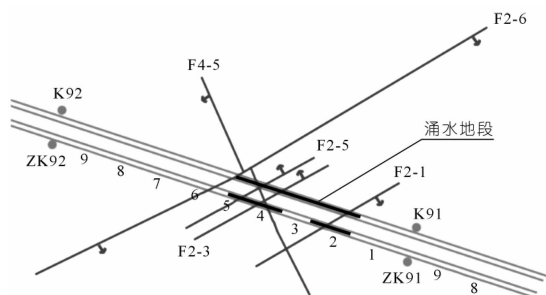


图1 K91+010~K91+550段构造分布及涌水地段简图

可以看出实际涌水量与前期古德曼经验式预测的数值相差较大,其原因主要是鸿图特长隧道位处火成岩,岩体本身的渗透系数较小,主要的涌

水多来自于该区域的富水断裂带,因此对断裂带的研究分析对解明这一区域高压大流量涌水的由来十分重要,而原预测方法未凸显出富水断裂带在涌水量计算中的主体地位。

#### 3.2 相关断层概况

断层F2-1~F2-5都为F2-6的次级断裂面,F2-1、F2-3和F2-5这三条断裂在隧道开挖过程中均有揭露且都有程度不一的渗水漏水现象。

F2-1断层走向北东,倾向南东,倾角63°,为张性断层,大概位置为K91+300左120 m处,破碎带的可见宽度大于3 m,其中发育构造岩,并且有明显渗水现象。

F2-3断层走向北东,倾向北西,倾角80°,为张性断层,大概位置为K91+400处,位于高压富水段落中,破碎带的可见宽度大于3 m,其中发育构造岩,断裂带中岩体破碎,裂隙十分发育,并且有着明显的渗水现象。

F2-5断层走向北东,倾向北西,倾角65°,为张性断层,大概位置为K91+424处,位于高压富水段落中,其在鸿图特长隧道上部的引水隧洞中揭露,破碎带可见宽度大于5 m,其中发育构造岩,断裂带中有强烈的蚀变现象,并且漏水较为严重。

F2-6断层走向北东东,倾向南东,倾角83°,为张扭断层,断层硅化带长大于1 km,位于高压富水段落中,与隧道在K91+500位置呈约45°角相交,宽约6~15 m,断层中可见块状石英脉、碎裂岩和硅化破碎火山岩等,渗透系数经验值 $K=20$  m/d。在ZK91+320附近,根据地面物探显示,该处电阻率等值线陡倾,发育该断层。

F4-5断层走向北北西,倾向多变,北段倾向南西,南段倾向北东及东,倾角84°,为张性断层,自风门坳以北往南东经油鱼坝坑、礞肚一带延伸,断层中可见辉绿岩脉、块状石英脉、断层角砾岩等,断层局部裂隙较发育,出露宽度约为6~10 m。

### 4 预测涌水量计算对比

由于鸿图特长隧道位于火成岩区域,区域基岩的渗透系数相对较小,因此在对涌水量进行预测的

时候,应加大断裂带在涌水计算中的权重,本文以古德曼经验公式的计算为基础,对上述区段内的涌水量进行补充计算,将区段内的涌水量计算分为基岩和断裂带两部分,对于两部分进行分别计算,最终将二者相加得到该区域的最大涌水量值。

#### 4.1 相关断层概况

在基岩段部分根据古德曼经验公式进行最大涌水量的计算,由于该区段在目前隧道开挖部分

中属于涌水量最为异常的部分,在该区段开挖揭露了断层 F2-1~F2-5、F2-6 与 F4-5,该区段的主要涌水都集中于这几条断层及其周边的次级断裂和裂隙,因此将断裂涌水量单独计算,剩余基岩段则看作微风化岩体进行计算,取其平均渗透系数经验值  $K=0.008\text{ m/d}$ ,另外隧道通过含水体的长度  $L$  也将减去断裂带的宽度进行计算。计算得到下表 2。

表 2 古德曼经验式基岩部分涌水量

分段里程	$K/(\text{m/d})$	$H/\text{m}$	$d/\text{m}$	$L/\text{m}$	最大涌水量/ $(\text{m}^3/\text{d})$
K91+010~K91+380	0.008	530	11.77	359	1 841.49
K91+380~K91+550	0.008	565	11.77	151.5	818.36
总计					2 659.49

#### 4.2 断裂涌水量计算

由于 K91+010 至 K91+550 段埋深较大,在断裂涌水中体现的承压性强,因此使用承压含水层裘布依理论公式<sup>[21]</sup>,即公式(2)对断裂涌水量进行计算,得到表 3 结果。

$$Q_s = 2.73 \frac{KM_s}{\lg R - \lg r}$$

式中: $Q_s$ —计算段的隧道正常涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$K$ —含水层渗透系数( $\text{m/d}$ );

$S$ —含水层水位降深( $\text{m}$ );

$R$ —影响半径( $\text{m}$ ,一般可利用经验公式计算);

$r$ —洞身横断面等价圆半径( $\text{m}$ );

$M$ —含水层厚度( $\text{m}$ )。

其中断裂带的渗透系数  $K$  值为前期勘探报告中总结的经验值,含水层厚度是根据该区域风化层厚度资料结合隧道地形剖面图计算得出的微风化部分与新鲜基岩段的厚度选取,影响半径是通过水文地质条件大致所取的平均值。

表 3 承压含水层裘布依公式计算断层涌水量

断层	$K/(\text{m/d})$	$M/\text{m}$	$R/\text{m}$	$S/\text{m}$	$R/\text{m}$	最大涌水量/ $(\text{m}^3/\text{d})$
F2-1~F2-5	15	450	5000	11	5	67 567.5
F2-6	20	450	5000	10.5	5	85 995
F4-5	10	495	5000	8	5	36 036
总计						189 598.5

根据以上数据可看出,在 K91+010~K91+550 这一区段处,该区段隧道左右线的最大涌水量为断层涌水量与基岩涌水量之和,192 258  $\text{m}^3/\text{d}$ ,实际测得的最大涌水量 189 576  $\text{m}^3/\text{d}$ ,在总量上二者较为相近。但将区段分离为 K91+010~K91+380 段与 K91+380~K91+580 段时可以看出前者的最大涌水量较之后者多出 24 936  $\text{m}^3/\text{d}$ ;而在计算结果中可以看出,K91+380~K91+580 段的最大涌水量则是远远大于 K91+010~K91+380 段。

这说明了断层之间存在着水力联系,当开挖到某一断层时会导致该断层联动周边甚至是外开挖区段断层中的构造裂隙水,从揭露的断层中一同涌出,出现大于预期的涌水量,这也解释了在开挖至 K91+380 段之后,虽然导水断裂更加发育,涌水量却未能达到预测值这一现象。

古德曼经验公式计算中将各个区段都概化为均质含水层,而实际的涌水量则取决于该区段的断层揭露位置、宽度和断层间水力联系等因素,因

此与实际涌水量比起来数值偏小。同时整个计算区段的最大涌水量计算值与实际涌水量相近也可以体现出该区段的断层虽然分布不均,但是其在总体上涌水量则符合实际,可以看出这些断层在隧址区内存在着一定的水力联系。

## 5 结论及建议

(1)由于隧址区地处莲花山断裂的核部,区域呈地垒式构造,其中发育有纵横交错的构造网络,因此在针对类似涌水问题时,由于基岩裂隙水占隧道涌水的主要部分,在涌水量的计算上应当以断裂带为涌水的主要影响因素,增加构造裂隙水在其中的权重,方能使计算结果更加契合实际工程应用。

(2)估算涌水量时将含水层概化为均质各向同性的理想状态,实际上隧址区含水层(体)为非均质的各向异性岩体,且隧道埋深大,受地形地貌及构造等因素影响,难以准确界定隧道开挖时的汇流面积,且隧道开挖时地下水流场变得复杂,在计算中易产生误差。

(3)在计算中可以看出,当区域构造网络发达时,对于单一断裂带涌水量的计算往往会因为其连通了周边富水断裂中的构造裂隙水而使得实际涌水量偏大,甚至远远超过预期值,而区域构造网络的一体化以及隧道的大埋深也使得涌水呈现出压力高,大流量等特点。

### 参考文献:

- [1] Heuer, Ronald E. Estimating rock tunnel water inflow [J]. Proceedings - Rapid Excavation and Tunneling Conference, 1995, p41 - 60
- [2] 陈宏峰,夏日元,梁彬. 鄂西齐岳山地区岩溶发育特征及其对隧道涌水的影响[J]. 中国岩溶, 2003, (04): 33 - 37.
- [3] 潘明明. 地下径流模数法参数优化研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文, 2011.
- [4] 徐国锋,杨建锋,陈侃福. 台缙高速公路苍岭隧道水文地质勘察与涌水量预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, (S2): 5531 - 5535.
- [5] 王媛,秦峰,李冬田. 南水北调西线工程区地下径流

模数、岩体透水性及隧洞涌水量预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, (20): 75 - 80.

[6] 王振宇,陈银鲁,刘国华,等. 隧道涌水量预测计算方法研究[J]. 水利水电技术 2009,40(07): 41 - 44.

[7] S. Lei. An Analytical Solution for Steady Flow into a Tunnel[J]. Groundwater 2010, 37(1):23 - 26.

[8] J. Moon, G. Fernandez. Effect of Excavation - Induced Groundwater Level Drawdown on Tunnel Inflow in a Jointed Rock Mass[J]. Engineering Geology, 2010, 110(3): 33 - 42.

[9] L. Zhang, J. A. Franklin. Prediction of water flow into rock tunnels: an analytical solution assuming an hydraulic conductivity gradient [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1993, 30(1): 37 - 46.

[10] 王建秀. 大型地下工程岩溶涌(突)水模式的水文地质分析及其工程应用. 水文地质工程地质, 2001, 4:49 - 52.

[11] Jin - Hung Hwang, Chih - Chieh Lu. A semi - analytical method for analyzing the tunnel water inflow [J]. Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, 2006, 22(1).

[12] 左乾坤. 达陕高速公路隧道涌突水机制及防治措施研究[D]. 成都理工大学, 2011.

[13] 罗雄文. 深长隧道突水突泥致灾构造及其致灾模式研究[D]. 中国铁道科学研究院, 2014.

[14] 赵希林,余明刚,刘凯,毛建仁,叶海敏,邢光福. 粤东地区早白垩世花岗岩浆作用及其成因演化[J]. 地质论评, 2012, 58(05): 965 - 977.

[15] 邱元禧,邱津松,李建超,钟宏平. 广东莲花山断裂带中、新生代多期复合变形变质带的基本特征及其形成机制的探讨[J]. 中国地质科学院地质力学研究所文集, 1991 (00): 93 - 106.

[16] 李红中,张修杰,马占武,刘祥兴. 花岗岩地区深埋长大隧道工程勘察关键技术研究 - - 以粤东地区某隧道工程为例[J]. 公路工程, 2018, 43(05): 110 - 119.

[17] 黄玉昆,张珂. 广东莲花山断裂带的新构造运动特征[J]. 华南地震, 1990(02): 25 - 34.

[18] 刘明富,刘清泉,夏忠君,邓嫫. 花岗岩地区地下水水文地质特征分析[J]. 四川地质学报, 2012, 32(04): 454 - 457.

[19] 黄良俊. 水工隧洞涌水量预测方法[A]. 云南省水利学会. 云南省水利学会 2018 年度学术交流会议论文集[C]. 云南省水利学会:云南省科学技术协会, 2018:5.

[20] 魏成武. 大相岭隧道典型地段水文地质模型及其涌水量预测研究[D]. 西南交通大学, 2009.

[21] TB10049 - 2004 铁路工程水文地质勘察规程 [S].

# 基于MH的阻燃改性沥青上面层(SMA-13)路用性能研究\*

袁玲

(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:**为了研究MH对SBS改性沥青的阻燃性能及SMA-13路用性能的影响,结合某高速公路隧道实体工程,采用室内极限氧指数试验、马歇尔试件燃烧试验、马歇尔试验、车辙试验、水稳定性试验,研究了单一MH阻燃剂对SBS改性沥青的燃烧性能及MH与膨胀型阻燃剂复配对SMA-13沥青混合料燃烧性能及路用性能的影响。试验结果表明:1)MH具有良好的抑烟效果和阻燃性能;当单一的MH掺量为沥青量的30%时,极限氧指数才达到23.6%,表明单一的MH不宜作阻燃剂;2)30%的MH与10%的APP/MA/PER[20:5:1]复配作为阻燃剂,混合均匀后等量替代矿粉加入SMA-13改性沥青混合料中,与未添加的相比,空隙率、矿料间隙率、稳定度分别增大了4.88%、0.59%、10%,浸水后稳定度残留强度比和劈裂残留强度比分别减小了4.51%和5.17%,车辙动稳定度提高了7.8%,表明30%的MH与10%的APP/MA/PER[20:5:1]复配作为阻燃剂,可提高改性沥青混合料的高温稳定性,具有一定的阻燃性能,同时也降低了水稳定性。结论是添加MH复合阻燃剂的SMA-13改性沥青混合料具有一定的阻燃性能,同时其路用性能均能满足公路相关设计及施工规范要求,可供类似工程参考。

**关键词:** 阻燃 SBS 改性沥青; 氢氧化镁; 极限氧指数; 阻燃性能; 路用性能

近年来,随着全国高速公路的快速发展,长大公路隧道的比例迅速上升。与水泥混凝土路面相比,沥青混凝土路面具有抗滑性能好、噪音低、表面平整性好、行车舒适、维修迅速等优点,逐渐用于隧道路面。但因隧道半封闭空间及沥青燃烧产生的大量有毒浓烟,致使在隧道路面中的全面推广受到一定的制约,因此针对沥青材料的阻燃改性处理方面开展了诸多研究<sup>[1-3]</sup>,如卤系、磷系等阻燃剂被添加至沥青中,这些阻燃剂阻燃效果显著,但却释放出大量有毒的气体和烟尘,给施工人员的身心健康带来严重威胁,大力开展研究环保的阻燃剂是沥青混凝土隧道路面推广应用的趋势<sup>[4]</sup>。

目前,无机阻燃剂年消费量较多的是氢氧化铝(ATH),它不仅具有阻燃、抑烟和填充等优点,还无毒、无腐蚀。而氢氧化镁(MH)既有ATH优点,又制作简单、储量丰富、价格低廉、分解温度高达

320℃,且能与多种成分复配,性价比更高等特点<sup>[5]</sup>。因此,在大力发展环境友好型阻燃剂的趋势下,MH在隧道沥青路面的应用越来越受到关注。本文结合某高速公路隧道实体工程,采用MH和膨胀型阻燃剂复配为阻燃剂,研究单一MH掺量对SBS改性沥青的燃烧性能及MH与膨胀型阻燃剂复配时对SMA-13改性沥青混合料燃烧性能、路用性能的影响<sup>[6]</sup>。

## 1 原材料选择及技术指标

沥青采用广东新粤PG76-22 SBS改性沥青,集料采用自产凝灰岩,矿粉采用石灰岩矿粉,水泥采用PoO 42.5水泥,原材料的物理性能指标见表1、表2。纤维稳定剂采用0.3%的木质素纤维。氢氧化镁(MH)的粒径在3 μm~5 μm,视密度为2.36 g/cm<sup>3</sup>。

表1 SBS改性沥青的物理性能

技术指标	针入度(25℃)/(0.1 mm)	延度(5℃)/cm	软化点/℃	粘度(135℃)/(Pa·s)
试验结果	54	36	86	1.3
规范要求	40~60	≥20	≥70	≤3

\* 本文已在《公路交通技术》发表。

表 2 集料物理性能

集料规格	10mm ~ 15mm	5mm ~ 10mm	3mm ~ 5mm	0 ~ 3mm	水泥	矿粉
表观相对密度	2.750	2.746	2.745	2.748	3.020	2.721
吸水率/%	0.24	0.24	0.54	0.70	—	—
水洗法 (<0.075mm)/%	0.2	0.3	0.5	9.0	—	—
针片状颗粒含量/%	5.6	7.3	—	—	—	—
压碎值/%	13.8	—	—	—	—	—

## 2 试验方案

本文选取单一阻燃剂 MH、APP、MA、PER 及复配阻燃剂来验证其对 SMA-13 阻燃性能和路用性能的影响。

单一阻燃剂 SBS 改性沥青制备:将称量好的 MH、膨胀型阻燃剂(聚磷酸胺(APP)、三聚氢胺(MA)、季戊四醇(PER))分别缓慢加入到(170 ± 5)℃的 SBS 改性沥青中,以 2 000 r/min 的转速恒温搅拌 30 min。

极限氧指数试件的试样制备:先制作一块长 15 cm、宽 15 cm、厚 5 mm 的钢模板,放在规格为 150 g/m<sup>2</sup> 的玻璃纤维毡上,钢模板底部及内壁均匀涂抹隔离剂,将阻燃沥青加热到 170℃ ~ 180℃ 搅拌均匀后浇附在模板内,再在沥青表面覆盖一层玻璃纤维毡。待冷却至室温后,将其剪成长 12 cm、宽(6.5 ± 5) cm 的氧指数试样<sup>[7]</sup>。

## 3 MH 阻燃性能的试验结果与分析

### 3.1 单一阻燃剂对 SBS 改性沥青阻燃性能的影响

选取单一的 MH、APP、MA、PER 分别添加至沥青中,掺量范围为 0% ~ 35%,研究不同掺量下 SBS 改性沥青极限氧指数的变化情况。试验过程参考 GB/T2406-2006《塑料燃烧性能试验方法氧指数法》。

通过室内极限氧指数试验可知:4 种不同阻燃剂对 SBS 改性沥青的阻燃效果分别是 APP > PER > MA > MH。掺加 10% APP 时,SBS 改性沥青极限氧指数已经为 32.7%,而掺加 10% MH 时,SBS 改性沥青极限氧指数仅为 21.7%,只比纯沥青提高了 1.4%。当 MH 掺量为 30% 时,氧指数达到 23.8% > 23%,对于隧道阻燃沥青,已满足阻燃要求<sup>[2]</sup>。通过试验过程中观察试样的生烟情况,APP

生烟量较少,而 MH 几乎没有生成黑烟,说明 MH 具有良好的抑烟性能。试验结果见图 1。

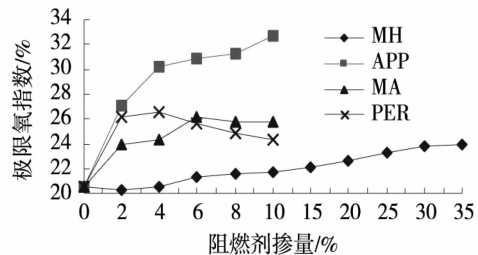


图 1 单一阻燃剂对 SBS 改性沥青 LOI 影响

### 3.2 复合阻燃剂对 SMA-13 沥青混合料阻燃性能的影响

由图 1 可知,将 MH 单独添加至沥青中,当含量小于 30% 时,阻燃效果改善不明显。而当加入的 MH 含量超过 30% 后,其氧指数大于 23%,满足阻燃要求。说明较小含量 MH 的加入对沥青的阻燃性能达不到要求,只有当掺量超过 30% 后,才可满足阻燃要求。因此 MH 不适合直接添加至沥青中去改善沥青的阻燃性能。综合考虑阻燃沥青需具备阻燃、抑烟、环保的特点,本文采用在膨胀型阻燃剂(APP/MA/PER)中添加 MH 并等量替代矿粉的方式来研究阻燃性能。不同试验方案见表 3。

#### 3.2.1 SMA-13 级配选择

依据 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》及《广东省高等级公路沥青路面施工技术指南》要求,并结合本项目施工实际特点,确定最终混合料目标合成级配。

#### 3.2.2 最佳沥青量确定

根据设计级配,按 4.76%、5.21%、5.66%、6.10%、6.54%、6.90% 五个不同沥青含量制备马歇尔试件,矿料的加热温度为 180℃,沥青加热温度为 165℃,击实成型温度为 170℃。计算各项体积指标,确定最佳油石比,其试验结果见表 4。

表3 不同MH替代量阻燃沥青混合料SMA-13研究方案

方案编号	SMA-13(SBS改性沥青)中阻燃剂含量
方案1	0
方案2	添加10%的APP/MA/PER(20:5:1),同时用沥青质量10%的MH混合均匀,等量替代矿粉
方案3	添加10%的APP/MA/PER(20:5:1),同时用沥青质量20%的MH混合均匀,等量替代矿粉
方案4	添加10%的APP/MA/PER(20:5:1),同时用沥青质量30%的MH混合均匀,等量替代矿粉
方案5	添加10%的APP/MA/PER(20:5:1),同时用沥青质量40%的MH混合均匀,等量替代矿粉
方案6	添加10%的APP/MA/PER(20:5:1),同时用沥青质量50%的MH混合均匀,等量替代矿粉

表4 马歇尔试验结果

沥青含量/%	理论相对密度	毛体积相对密度	空隙率VV/%	矿料间隙率VMA/%	饱和度VFA/%	稳定度/kN
4.76	2.591	2.422	6.3	17.1	63.1	9.61
5.21	2.572	2.437	5.1	17.0	70.3	9.94
5.66	2.554	2.446	4.1	17.1	75.9	9.60
6.10	2.536	2.453	3.3	17.4	80.9	8.53
6.54	2.519	2.453	2.6	17.7	85.3	6.92
规范要求 <sup>[17]</sup>	-	-	3~4.5	≥17	75~85	≥6

根据广东省的气候条件及施工经验,确定最佳沥青含量为5.66%。

### 3.2.3 复合阻燃剂的SMA-13阻燃沥青混合料制备

复合阻燃剂的阻燃沥青混合料试件制备:

(1)以SBS改性沥青为基准,计算出掺量为0%、10%、20%、30%、40%、50%的6种含量的MH。先将APP、MA、PER三种阻燃剂按比例20:5:1充分混合均匀后,以SBS改性沥青为基准,添加10%的APP/MA/PER与6种不同含量的MH混合均匀,制备出APP/MA/PER/MH复合阻燃剂等量替代矿粉。

(2)将制备出的APP/MA/PER/MH复合阻燃剂与矿粉混合均匀后,再与集料、沥青进行拌和,按照规程T0701、T0702制备出表3中的6种阻燃沥青混合料试件<sup>[8~10]</sup>。

### 3.2.4 试验结果与分析

(1)准备2组马歇尔试件A、B,燃烧模拟隧道路面着火的状态,以测试MH阻燃沥青混合料的阻燃性能;

(2)浇洒适量的汽油到试件A上点火燃烧,待其自熄冷却,重复操作3次。通过测试稳定度残留强度比结果可知,阻燃剂添加量为0%、30%、50%时,沥青混合料稳定度残留强度比分别为83.95%、85.26%、86.24,随着MH掺量的增加,稳定度残留强度比显著提高。由此可见,MH与膨胀性阻燃剂复配时可有效改善沥青混合料的阻燃性能。

## 4 SMA-13阻燃沥青混合料路用性能的试验结果与分析

### 4.1 马歇尔试验

对制备的阻燃沥青混合料试件进行马歇尔试验,结果见表5。

表5 MH掺量对SMA-13沥青混合料马歇尔试验结果的影响

SMA-13中MH掺量/%	空隙率VV/%	矿料间隙率VMA/%	饱和度VFA/%	稳定度/kN
0	4.1	17.1	76	9.6
10	4.0	17.1	76	10.1
20	4.0	17	76	10.3
30	3.9	17	76	10.56
40	3.8	16.9	76.5	8.6
50	3.7	16.8	76.7	8.5
规范要求 <sup>[17]</sup>	3~4.5	≥17	75~85	≥6

从表 5 可见,随着复合阻燃剂中 MH 掺量的增大,沥青混合料的空隙率和矿料间隙率减小。当掺量为 50% 时,空隙率下降了 0.6%,矿料间隙率下降了 0.3%。这是因为 MH 的粒径小于 0.048 mm,较矿粉的粒径小,MH 等量替代矿粉后填料的细度增大,致使沥青混合料试件的矿料间隙率减小<sup>[11]</sup>。MH 掺量从 0% 变化到 30%,稳定度增加了 10%,从 40% 变化到 50% 时稳定度有所减小。

表 6 MH 掺量对 SMA-13 沥青混合料动稳定度的影响

SMA-13 中 MH 掺量/%	试验温度/℃	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )	设计要求/(次·mm <sup>-1</sup> )
0	60	7 958	≥5 000
10		8 212	
20		8 357	
30		8 579	
40		8 733	
50		8 987	

从表 6 可知,随着 MH 掺量的不断增加,车辙动稳定度逐渐增大,且均满足设计要求。MH 掺量为 0 时,车辙动稳定度为 7 958 次/mm;掺量为 50% 时,车辙动稳定度提高了 12.93%。这是因为 MH 属于碱性化合物,它的加入增强了沥青与矿粉间的化学吸附作用;同时 MH 的粒径远比矿粉小,一定量的 MH 代替矿粉添加至沥青混合料中,使沥青混合料变成较硬的细质沥青砂

饱和度变化很小,加入到 40% 时,饱和度稍有增大。掺量大于 30% 后,除矿料间隙率外,空隙率、饱和度、稳定度指标均能满足《广东省高等级公路沥青路面施工技术指南》及相关规范要求。

#### 4.2 车辙试验

MH 掺量与膨胀型阻燃剂(APP/MA/PER)复配并等量替代矿粉对 SMA-13 沥青混合料车辙动稳定度试验结果见表 6。

胶<sup>[11]</sup>,增强了沥青混合料的粘聚力,从而提高了抗车辙性能<sup>[12]</sup>。

#### 4.3 水稳定性试验

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验<sup>[14~16]</sup>,研究 MH 掺量与膨胀型阻燃剂(APP/MA/PER)复配并等量替代矿粉对 SMA-13 水稳定性的影响,试验结果见表 7。

表 7 MH 掺量对 SMA-13 沥青混合料水稳定性的影响

SMA-13 中 MH 掺量/%	浸水马歇尔			冻融劈裂		
	常规稳定度 /kN	浸水 48 h 稳定度 /kN	浸水残留稳定度 /%	常规劈裂强度 /MPa	冻融劈裂强度 /MPa	残留强度比 /%
0	9.6	8.68	90.4	0.72	0.64	89.5
10	9.5	8.54	89.91	0.73	0.65	88.48
20	9.5	8.40	88.45	0.74	0.64	86.53
30	9.4	8.11	86.32	0.76	0.65	84.87
40	9.2	7.48	81.17	0.78	0.63	80.27
50	9.0	7.13	79.24	0.80	0.63	79.36
规范要求 <sup>[17]</sup>	—	—	≥85	—	—	≥80

由表 7 可知:随着复合阻燃剂中 MH 掺量的增加,SMA-13 阻燃沥青混合料的浸水残留稳定度和残留强度比都在不断减小。当 MH 掺量为 10%、30%、50%,阻燃沥青混合料常规稳定度和浸水残留稳定度分别下降了 1% 和 0.54%、2% 和

4.51%、6.25% 和 2.35%;且当 MH 掺量大于 30% 时,SMA-13 阻燃沥青混合料的浸水残留强度和残留强度比不满足规范要求。说明复合阻燃剂中 MH 掺量对阻燃沥青混合料的水稳定性影响较大,MH 掺量不宜大于 30%。



## 5 某隧道实体工程案例应用

广东某隧道长310 m(右幅),333 m左幅,双向六车道高速公路标准,整体式路基宽度33.5 m,分离式路基宽16.75 m,设计速度100 km/h。该隧道阻燃沥青路面试验路于2016年11月5日-11月16日进行施工,左幅路面采用添加MH复配阻燃剂,右幅为不加阻燃剂的沥青路面。试验路铺筑前进行了上述试验,通过室内试验可知,添加MH复配阻燃剂的沥青路面高温稳定性增大,阻燃性能有所提升,由于隧道路面现场不宜进行燃烧试验,后续应进一步跟踪及研究该隧道阻燃沥青路面的阻燃性能及路用性能,并与室内试验数据进行对比且互相验证。现场施工照片见图2。



图2 阻燃沥青路面试验路施工

## 6 结束语

(1)MH作为单一阻燃剂,抑烟效果优良,当MH掺量为30%时,SBS改性沥青的极限氧指数即才达到23.8%,表明MH不宜单独用作阻燃剂。

(2)当MH与膨胀型阻燃剂(APP/MA/PER)复配使用时,复合阻燃剂等量替代矿粉后,提高了阻燃沥青混合料燃烧前后稳定度残留强度比,显著改善了沥青混合料的阻燃性能。

(3)综合考虑阻燃性能、抑烟性能、物理性能及沥青混合料的路用性能,采用MH与膨胀型阻燃剂(APP/MA/PER)复配等量替代矿粉时,MH掺量为30%时最佳。

(4)参加30%的MH与膨胀型阻燃剂(APP/MA/PER)复配等量取代矿粉,SMA-13沥青混合料与未取代的相比,空隙率减小了4.88%、矿料间隙率减小了0.59%、稳定度提高了10%,浸水后残留稳定度比减小了4.51%,劈裂残留强度比减小

了5.17%,车辙动稳定度提高了7.8%。说明掺量30%的MH等量替代矿粉的SMA-13沥青混合料,其高温稳定性增大,阻燃性能有所提升,水稳定性稍有降低,但其路用性能均能满足JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求,可在实际工程中进一步推广应用。

### 参考文献:

- [1] 陈辉强,郝培文.公路隧道沥青阻燃技术研究现状及应用前景[J].公路交通技术,2009(4):115-118.
- [2] 任梵,张晓娇,孙海斌,等.国内外路用阻燃沥青的研究现状与展望[J].长安大学学报(自然科学版),2012,32(6):1-10.
- [3] 郭如新.镁质阻燃剂的现状与前景[J].塑料助剂,2011(2):1-6.
- [4] 张锐,黄晓明,赵永利.隧道路面使用状况调查与分析[J].公路隧道,2007(1):12-16.
- [5] 王全杰,段宝荣,孙根行,等.Mg(OH)<sub>2</sub>阻燃剂的现状及研究方向[J].塑料助剂,2005,54(6):1-5.
- [6] 陆学元,张素云,孙立军.隧道阻燃改性沥青上面层(AC-13C)路用性能研究[J].中外公路,2008,4(2):180-185.
- [7] 凌天清,张睿卓,宁华宇,等.膨胀型沥青阻燃剂阻燃性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2011,10(5):948-951.
- [8] 余剑英,程松波,吴冬生.ATH阻燃改性沥青SMA路用性能研究[J].公路,2008,1(1):184-187.
- [9] 贺海,王朝辉,刘志胜.新型无机阻燃改性沥青的制备与路用性能研究[J].公路交通科技,2014,31(7):45-52.
- [10] 张笛.新型阻燃沥青的制备与性能研究[J].公路交通科技(应用技术版),2014(11):221-223.
- [11] 扈惠敏,沙爱民.矿粉细度及用量对沥青混合料性能的影响[J].安徽建筑,2004(2):108-109.
- [12] 张益,郭宏伟,谭玲.纤维对AC-13C和SMA-13路用性能的影响研究[J].公路交通技术,2018,34(6):39-43.
- [13] 王辉.SMA-13沥青路面抗滑表层抗滑性能分形评价方法研究[J].公路交通技术,2018,34(1):28-31.
- [14] 李丹.阻燃环氧沥青混合料性能研究[J].公路,2020,1(1):217-220.
- [15] 王伟,魏如喜,孟庆营.阻燃沥青及混合料的阻燃性能试验研究[J].公路,2015,3(3):173-176.
- [16] 黄志义,武斌,康诚.复合氢氧化物改性沥青阻燃和路用性能[J].浙江大学学报(工学版),2016,50(1):27-32.
- [17] 广东省高等级公路沥青路面施工技术指南(试用)[S].广州:广东省交通运输厅,2010.

# 长寿命沥青路面设计指标研究及正交试验分析\*

唐健娟,李 钊

(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:**通过中法美三国长寿命沥青路面设计指标的对比,分析我国半刚性基层沥青路面设计指标的局限性,依据我国最新版的公路沥青路面设计规范《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017),结合长寿命沥青路面的特点,推荐适合的我国长寿命沥青路面典型结构,并选取沥青混合料层层底拉应变、无机结合料稳定层层底拉应力以及沥青混合料层永久变形量作为设计指标,分别用以控制沥青混合料层疲劳开裂、无机结合料稳定层疲劳开裂损坏以及沥青路面变形。运用多因素多指标的正交试验方法,分析各个路面结构层参数对指标的影响程度,数据表明沥青层厚对指标的影响最为显著。最后,结合工程实际给出一定的建议。

**关键词:**长寿命沥青路面;沥青层层底拉应变;半刚性层层底拉应力;沥青层永久变形量;正交试验;显著性分析

## 0 引言

目前,“强基、薄面、稳路基”的半刚性基层沥青路面<sup>[1]</sup>一直以来是我国高速公路沥青路面结构的主要形式,但是由于我国在沥青路面结构设计过程中,过于强调半刚性基层的重要性,导致半刚性基层刚度过大,往往是初期的验收弯沉很小,而由于半刚性材料自身的收缩特性,导致在路面后期运营过程中,在沥青面层产生大量的反射裂缝,路面结构力承载能力急剧下降,后期对沥青路面频繁的维修,不仅浪费道路建设资源,同时施工也对环境产生了污染,从而造成了巨大的经济浪费以及产生不良的社会影响。

长寿命沥青路面结构作为一种耐久性路面结构,在欧洲以及美国被广泛运用,其设计的根本理念是实现路面损坏模式的转变,即从“自下而上”的损坏转变为“自上而下”转变<sup>[2]</sup>。因此,按照这种理念设计的沥青路面,在使用期内不会产生结构性破坏,路面的损坏仅发生在表面层。然而由于国情的不同,国外的长寿命沥青路面<sup>[3]</sup>采用的结构一般为柔性基层路面结构或者全厚式沥青路面结构,设计指标采用的是沥青层层底拉应变和路基顶面压应变。而我国高速公路沥青路面的典型结构为半刚性基层路面,因此有必要针对我国半刚性基层路面结构,选择合适的沥青路面设计

指标来行长寿命沥青路面结构设计。

基于此,本文通过对国内外长寿命沥青路面设计指标的对比,分析我国半刚性基层沥青路面设计指标的局限性,从而确定出适用于我国的长寿命沥青路面的典型结构及设计指标,然后采用多因素多指标的正交试验方法,进行长寿命沥青路面结构组合设计,综合分析各结构参数的改变对路面结构层力学响应的影响,得出对长寿命沥青路面设计指标的显著性影响因素,并优选出合适的设计范围,从而为我国长寿命沥青路面设计提供一定的理论依据。

## 1 长寿命沥青路面设计指标研究

### 1.1 中法美三国沥青路面设计指标对比

我国的沥青路面设计经过多年的发展,逐渐形成了一套完整的符合我国国情的设计体系和设计方法。目前最新版的设计规范为《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017)(以下简称2017版规范),已经具有较高的标准水平,但是我国大多数高速公路半刚性基层路面设计时采用的是《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2006)(以下简称2006版规范),2006版规范设计采用双圆垂直均布荷载作用下的多弹性层状体系理论进行计算,以设计弯沉值、沥青层层底拉应力及半刚性材料层层底拉应力为主要设计指标。

\* 本文已在《上海公路》发表。

美国 AASHTO 沥青路面设计方法<sup>[4]</sup>是全球影响最大的设计方法之一,其是在力学-经验方法的基础上,为公路设计人员提供一种新建路面结构的设计指南,其中核心内容之一是建立路面损坏预估模型,以沥青层层底拉应变、沥青永久变形(车辙)、半刚性稳定基层疲劳破坏以及路基顶面变形为主要设计指标。欧洲国家的沥青路面设计

规范,本文以法国为例,其设计规范采用的是《公路路面结构设计-新建道路》(NF P98-086),其主要设计指标为沥青材料的允许变形、水泥混凝土的允许应力及土基累计永久变形。

通过对上述中、美、法的沥青路面设计指标的总结,分析我国沥青路面设计指标的局限性,表1为三个国家的沥青路面设计指标对比表。

表1 不同国家沥青路面设计指标对比表

规范类型	沥青路面结构设计指标			
中国《公路沥青路面设计规范》 (JTG D50-2006)	沥青层层底拉应力	半刚性材料层层底拉应力	设计弯沉值	\
美国 AASHTO2002 设计方法 (新建柔性路面设计)	沥青层层底拉应变	半刚性稳定基层疲劳破坏	沥青永久变形(车辙)	路基顶面变形
法国公路路面结构设计 (NF P98-086)	沥青层层底拉应变	水泥混凝土的允许应力	\	土基累计永久变形

由表1可以分析出:

(1)我国2006版的设计规范还是以设计弯沉值为主要设计指标,而欧美国家都未将其列入沥青路面的设计指标,这是因为以弯沉值作为最主要的指标,会使基层强度越来越强,从而造成对沥青路面设计产生一定的误导。弯沉值大小与路面使用情况之间没有必然的联系,这是因为整个路面结构<sup>[5]</sup>的损坏,可能是由于某一结构层或整个结构的过量塑性变形,也可能起因于结构层内某处的应力或应变变量超出了该处材料的疲劳强度或疲劳应变值,随着重复荷载和环境因素的继续作用,使塑性变形不断积累,或者是破坏点不断延伸、扩展,路面结构便随之出现了不同形态的破坏,继而反映到路表,表现出较大的变形。而路表弯沉值(总变形量)仅是路面结构对作用荷载的一个综合的或表现的响应量。因此,在长寿命沥青路面设计中,建议取消设计弯沉值作为主要设计指标,将其作为检验指标。

(2)我国2006版设计规范以沥青层层底拉应力对路面结构受力状态进行验算,而欧美国家都采用的是沥青层层底拉应变这一指标进行验算,根据相关的研究、对比发现,沥青混凝土层底的弯

拉应变指标的目的是保证沥青混凝土层本身不会产生疲劳破坏,以确保整个路面结构的正常使用寿命,采用沥青层层底拉应变,更能准确反映沥青层的疲劳特性,尤其对于长寿命沥青路面来说,更应关注沥青混合料的疲劳极限,因此,建议采用沥青层层底拉应变作为设计指标。而对于半刚性基层,因其属于脆性材料,相当于应变而言,在进行疲劳损失研究时,应力更容易控制,因此,仍然建议采用半刚性层层底拉应力作为设计指标。

## 1.2 长寿命沥青路面设计指标的确定

结合我国的基本国情,借鉴国外优秀的长寿命沥青路面<sup>[6,7]</sup>设计经验,提出我国长寿命沥青路面的设计理念为:具有较长的服务年限(一般为30年~40年),在路面服役期间,沥青路面损坏只发生在面层,整个结构层在车辆累计当量轴次的作用下发生结构性破坏,只需要在服务年限期间类,定期的进行罩面养护以及更换破损的沥青面层即可。

在我国最新的2017版规范中,相对于原有的设计指标,增加了沥青混合料层永久变形量、路基顶面竖向压应变及路面低温开裂指数设计指标,保留了无机结合料稳定层层底拉应力设计指标,沥青混合

料层设计指标由层底拉应力改为层底拉应变,将路表弯沉由设计指标改为检验指标,具体如表 2 所示。

考虑不同的路面结构组合类型,因选取相应的路面设计指标,具体指标选取如表 2 和表 3 所示。

表 2 我国最新版的沥青路面结构设计指标

规范类型	沥青路面结构设计指标				
中国《公路沥青路面设计规范》(JTG D50 - 2017)	沥青混合料层	无机结合料稳定	沥青混合料层	路基顶面竖	低温开裂验算和防冻厚度
	层底拉应变	层层底拉应力	永久变形量	向压应变	验算(季节性冻土地区)

表 3 不同结构组合沥青路面结构设计指标

基层类型	底基层类型	设计指标
无机结合料稳定类	粒料类	无机结合料稳定层层底拉应力、沥青层永久变形量
	无机结合料稳定类	
沥青结合料类	粒料类	沥青层层底拉应变、沥青层永久变形量、路基顶面竖向压应变
	无机结合料稳定类	沥青层永久变形量、无机结合料稳定层层底拉应力
粒料类	粒料类	沥青层层底拉应变、沥青混合料层永久变形量、路基顶面竖向压应变
	无机结合料稳定类	沥青层层底拉应变、沥青层永久变形量、无机结合料稳定层层底拉应力
水泥混凝土	\	沥青混合料层永久变形量

通过对国内外长寿命沥青路面的研究<sup>[3]</sup>,总结出国外常用的长寿命沥青路面典型结构主要有如下几种:全厚式沥青路面、柔性基层沥青路面结构以及组合式基层沥青路面,对于全厚式沥青路面来说,一般要求沥青层的厚度达到 500mm,投资较大,不适合在我国大规模推广使用,而对于柔性基层沥青路面以及组合式基层沥青路面我国也有一定的经验,因此,结合我国的基本国情,借鉴国外成功的长寿命沥青路面,本文建议我国的长寿命沥青路面结构采用组合式基层沥青路面,即采用沥青混凝土面层+级配碎石过渡层+半刚性底基层的沥青路面形式。在半刚性基层与沥青层之间加入粒料类材料(级配碎石等)可以有效的改善<sup>[7]</sup>沥青路面的抗车辙以及疲劳开裂性能,级配碎石具有松散粒料结构,能够充分吸收半刚性基层裂缝所示范的应变能,从而有效抑制面层的反射裂缝,同时级配碎石层兼具排水的作用,可以改善整个路面结构的温度和湿度状况,从而提升路面的耐久性,延长其使用寿命。

对于长寿命沥青路面的设计指标,通过参考欧美国家的沥青路面结构设计指标,并依据我国最新的 2017 版规范,最终选取以下设计指标:

- (1)采用沥青混合料层层底拉应变指标控制沥青混合料层疲劳开裂损坏;
- (2)采用无机结合料稳定层层底拉应力指标控制无机结合料稳定层疲劳开裂损坏;
- (3)采用沥青混合料层永久变形量设计指标。长寿命沥青路面结构及设计指标如图 1 所示。

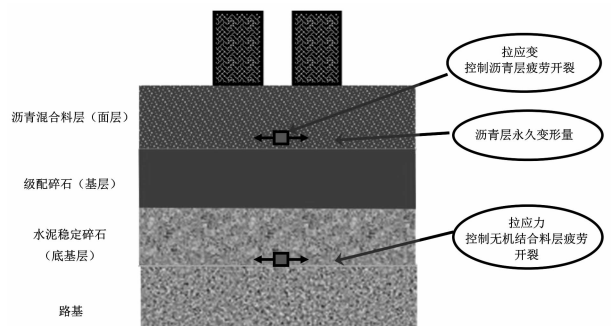


图 1 长寿命沥青路面结构及设计指标

## 2 正交试验方案设计

### 2.1 路面计算模型建立

路面力学结构分析示意图如图 2 所示,荷载形式选用双圆标准荷载 BZZ - 100,荷载作用半径  $\delta = 10.65 \text{ cm}$ ,两荷载圆中心间距为  $31.95 \text{ cm}$ ,荷载应力为  $0.7 \text{ MPa}$ 。本文利用路面设计软件 HP-

DS2017 版软件计算路面力学指标,运用正交试验方法对影响指标大小的因素影响程度进行分析。

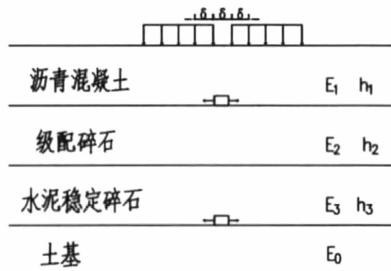


图 2 路面力学结构分析示意图

2.2 因素水平表及正交试验表

在正交试验中,各种因素所在的不同状态称之为水平或位级,试验参数的不同取值对应了正交设计中各因素的不同水平。本试验选取沥青层厚度及模量、级配碎石基层的厚度及模量、水泥稳定碎石底基层的厚度及模量、土基模量这 7 种因素,每种因素采用三种水平,综合分析各结构参数的改变对路面结构层力学响应的影响,具体的正交因素设计表如表 4 所示。

表 4 正交设计因素水平表

水 平	影响因素						
	A	B	C	D	E	F	G
	沥青层厚 /mm	沥青混合料 20℃ 动态 压缩模量/MPa	级配碎石 层厚/mm	经湿度调整后的集配 碎石回弹模量/MPa	水稳层厚 /mm	水稳模量(结构 层模量)/mm	土基模量(折减 后)/MPa
1	200	9 000	200	400	200	9 000	50
2	300	10 000	300	500	300	10 000	60
3	400	11 000	400	600	400	11 000	70

综合以上考虑,本文采用  $L_{18}(3^7)$  表,表头设计与试验结果见表 5。

表 5 正交试验结果

试验 编号	A	B	C	D	E	F	G	沥青层底 拉应变 /με	无机结合料 稳定层层底 拉应力/KPa	沥青层 永久变形量 /mm
	沥青 层厚	沥青 模量	级配碎 石层厚	级配碎 石模量	水稳 层厚	水稳 模量	土基 模量			
1	200	9 000	200	400	200	9000	50	191.2	143.9	11.76
2	200	10 000	300	500	300	11 000	60	146.7	90.07	8.27
3	200	11 000	400	600	400	13 000	70	120.2	55.64	5.14
4	300	9 000	200	500	300	13 000	70	99.48	75.85	6.17
5	300	10 000	300	600	400	9 000	50	82.57	52.63	6.24
6	300	11 000	400	400	400	11 000	60	110.3	39.19	5.28
7	400	9 000	300	400	400	11 000	70	84.48	48.11	5.86
8	400	10 000	400	500	200	13 000	50	67.44	73.57	6.78
9	400	11 000	200	600	300	9 000	60	54.99	34.87	5.12
10	200	9 000	400	600	300	11 000	50	128.3	69.58	6.89
11	200	10 000	200	400	400	13 000	60	169.9	70.28	7.23
12	200	11 000	300	500	200	9 000	70	142.9	107.2	10.34
13	300	9 000	300	600	200	13 000	60	87.49	75.8	8.78
14	300	10 000	400	400	300	9 000	70	119	60.5	7.17
15	300	11 000	200	500	400	11 000	50	85.46	87.58	8.23
16	400	9 000	400	500	400	9 000	60	71.91	32.24	5.21
17	400	10 000	200	600	200	11 000	70	59.06	94.54	9.26
18	400	11 000	300	400	300	13 000	50	70.46	52.04	6.34

### 3 正交试验结果分析

#### 3.1 显著性分析

##### (1) 沥青混合料层层底拉应变影响因素分析

表 6 给出了各沥青层底拉应变影响因子的直观分析,其中  $K_i$  代表在某列取第  $i$  个水平时对应的所有试验结果的平均值; $R = \max \{K_i\} - \min \{K_i\}$ ,代表某列的极差。

表 6 沥青混合料层层底拉应变影响因素直观分析表

试验结果	A	B	C	D	E	F	G
	沥青层厚	沥青模量	级配碎石层厚	级配碎石模量	水稳层厚	水稳模量	土基模量
均值 $K_1$	129.867	110.477	110.015	124.223	109.732	110.428	104.238
沥青混合料层 层底拉应变 均值 $K_2$	97.383	107.445	102.433	102.315	103.155	102.383	106.882
均值 $K_3$	88.057	97.385	102.858	88.768	102.420	102.495	104.187
极差 $R$	41.810	13.092	7.582	35.455	7.312	8.045	2.695
显著性排序	A > D > B > F > C > E > G						
最优组合	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub> D <sub>3</sub> E <sub>3</sub> F <sub>2</sub> G <sub>3</sub>						

极差的大小,反映了因素变化时对试验结果的影响幅度,因素的极差越大,就说明该因素的影响越大,该因素越重要,表中可以看出各个因素对沥青层底拉应变显著性影响主次顺序为:(A)沥青层厚 > (D)级配碎石模量 > (B)沥青模量 > (F)水稳模量 > (C)级配碎石层厚 > (E)水稳层厚 >

(G)土基模量。

##### (2) 无机结合料稳定层层底拉应力影响因素分析

表 7 列出了各结构层因素对无机结合料稳定层层底拉应力影响。

表 7 无机结合料稳定层层底拉应力影响因素直观分析表

试验结果	A	B	C	D	E	F	G
	沥青层厚	沥青模量	级配碎石层厚	级配碎石模量	水稳层厚	水稳模量	土基模量
均值 $K_1$	89.445	79.883	84.503	71.89	82.501	63.843	62.753
无机结合料 稳定层层底 拉应力 均值 $K_2$	65.258	66.298	70.975	71.511	63.818	77.751	73.598
均值 $K_3$	55.895	73.64	55.12	67.196	52.565	69.003	74.246
极差 $R$	33.55	13.585	29.383	4.693	29.936	13.908	11.493
显著性排序	A > E > C > F > B > G > D						
最优组合	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub> E <sub>3</sub> F <sub>1</sub> G <sub>3</sub>						

由表 7 中可以得出各因素对无机结合料稳定层层底拉应力显著性影响次序为:(A)沥青层厚 > (E)水稳层厚 > (C)级配碎石层厚 > (F)水稳模量 > (B)沥青模量 > (G)土基模量 > (D)级配碎石

模量。

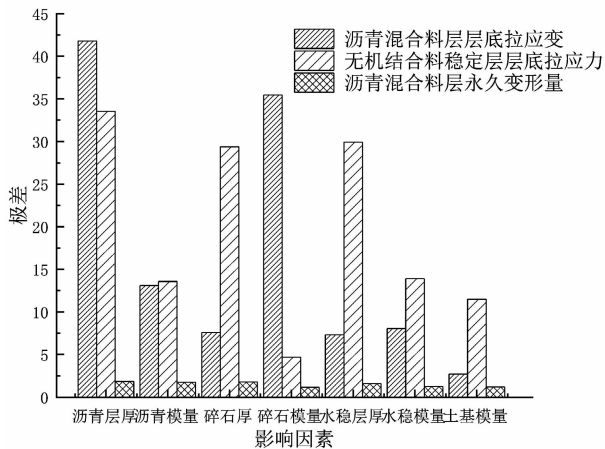
##### (3) 沥青混合料层永久变形量影响因素分析

各结构层因素对沥青混合料层永久变形量的影响如表 8 所示。

表 8 沥青混合料层永久变形量影响因素直观分析表

试验结果		A	B	C	D	E	F	G
		沥青层厚	沥青模量	级配碎石层厚	级配碎石模量	水稳层厚	水稳模量	土基模量
均值 K1		8.272	8.445	7.962	7.820	8.273	7.907	7.940
沥青混合料层	均值 K2	6.978	7.492	7.638	6.660	7.500	6.648	7.298
永久变形量	均值 K3	6.428	6.742	6.178	7.198	6.905	7.323	6.740
	极差 R	1.843	1.750	1.784	1.160	1.595	1.258	1.200
显著性排序				A > C > B > E > F > G > D				
最优组合				A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>2</sub> E <sub>3</sub> F <sub>2</sub> G <sub>3</sub>				

由表 8 中可以得出各因素对沥青混合料层永久变形量显著性影响次序为:(A)沥青层厚 > (C)级配碎石层厚 > (B)沥青模量 > (E)水稳层厚 > (F)水稳模量 > (G)土基模量 > (D)级配碎石模量。



### 3.2 极差分析

图 3 极差数据图

将各结构层对半刚性基层长寿命沥青路面的设计指表影响的极差数据绘制成柱状图,分析图 3 中的数据可以得出:

(1) 沥青层厚对三项指标的影响最为显著,增加沥青层厚度能使沥青层底拉应变和沥青层永久变形及半刚性层层底拉应力减小,但沥青层厚度不能盲目的增加,要考虑工程实际和经济性,可通过选用 AH-30 硬质沥青制备的高模量 SAC 系列沥青混凝土或者使用 SMA 混合料作为面层铺筑材料,这样不仅可以有效的降低沥青层厚度,而且可

以以提高沥青层的疲劳极限,进而有效延长路面的使用寿命。

(2) 级配碎石模量对沥青层底拉应变影响比较显著,然而级配碎石的模量变化范围非常小,一般在 300 ~ 500 MPa,因此通过提高级配碎石模量来减小沥青层底拉应变就很难实现。另外,提高半刚性层模量会导致半刚性基层底部拉应力增加,可能会引起反射裂缝,因此对于底基层而言,并非是模量越高的材料越好,应该在合理的范围内考虑采用模量稍高的材料作为路面的底基层,对于路面结构的长久使用是有益的。

(3) 虽然土基模量的增加对沥青层底拉应变和沥青层永久变形量减小作用并不很明显,但从成本效益角度出发,土基处理又最具有实际可操作性,通过对建成道路的调研,相当多的路面破坏形式都和路基处理不当有关,因此在路面施工过程中,对于土基的处理显得尤为重要,例如对于承载力较弱的土基,要进行相关的加固处理等。

### 4 结语

本文以长寿命沥青路面设计指标为研究对象,展开路面破坏形式和路面设计指标之间的关联研究,并运用正交试验方法分析了沥青层厚、沥青模量、级配碎石层厚、级配碎石模量、水稳厚度、水稳模量及土基模量这七个因素的变化与指标的相关性。并通过极差计算分析了其对指标的影响程度,结论如下:

(1) 通过对中法美三国沥青路面设计指标的

对比,并依据我国最新的 2017 版规范,确定沥青层层底拉应变、无机结合料稳定层层底拉应力及沥青层永久变形量作为我国长寿命沥青路面的设计指标。

(2)建议现阶段我国的长寿命沥青路面设计使用年限可以为 30 年,采用沥青混凝土面层+级配碎石过渡层+半刚性底基层的沥青路面形式,沥青层厚度不小于 250mm,采用这种组合式基层路面结构,既可以发挥半刚性基层强度高的优点,同时因为级配碎石层的存在,可以有效的吸收半刚性基层裂缝应力,消除反射裂缝,保证沥青路面的耐久性。

(3)通过极差分析,各结构层参数对沥青层层底拉应变影响主次顺序为:(A)沥青层厚>(D)级配碎石模量>(B)沥青模量>(F)水稳模量>(C)级配碎石层厚>(E)水稳层厚>(G)土基模量;对无机结合料稳定层层底拉应力显著性影响次序为:(A)沥青层厚>(E)水稳层厚>(C)级配碎石层厚>(F)水稳模量>(B)沥青模量>(G)土基模量>(D)级配碎石模量;对沥青混合料层永久变形量显著性影响次序为:(A)沥青层厚>(C)级配碎石层厚>(B)沥青模量>(E)水稳层厚>(F)水稳模量>(G)土基模量>(D)级配碎石模量。

(4)合理的长寿命沥青路面结构设计实质上就是在经济、适用之间寻求最佳平衡点。综合各因素的影响,笔者认为可从增加沥青层厚、采用硬质沥青配制高模量沥青混凝土或者使用 SMA 混合

料、适度降低无机结合料稳定层模量、重视路基处理等方面入手,以得出较为合理的长寿命沥青路面结构组合设计方案。

#### 参考文献:

- [1] 许迪,许志鸿,张东升. 基于正交理论的长寿命沥青路面力学指标分析[J]. 上海大学学报(自然科学版),2008, 14(06):622-628.
- [2] Leslie Ann Myers, Reynaldo, Roque. Evaluation of Top-Down Cracking in Thick Asphalt Pavements and the Implications for Pavement Design. Transportation Research Circular [C]. Washington, D. C. : Transportation Research Board National Research Center,2001,79-87.
- [3] 徐鸥明. 长寿命沥青路面设计指标与设计方法研究[D]. 长安大学,2008.
- [4] Samuel B. Cooper, Mostafa A. Elseifi, and Louay N mohammad. Parametric Evaluation of Design Input Parameters on the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Predicted Performance[J]. International Journal of Pavement Research and Technology, 2012, 5(4): 218-224.
- [5] 钟梦武,吴善周,谢立新,等. 我国现行沥青路面设计方法存在问题分析[J]. 湖南交通科技,2007(01):7-9+38.
- [6] Asphalt Pavement Alliance(APA). Perpetual Pavements: A Synthesis[Z]. NO. 101; 2002.
- [7] 沈金安. 国外沥青路面设计方法总汇[M]. 北京:人民交通出版社,2004:293.
- [8] 沙爱民. 路基路面工程[M]. 北京:高等教育出版社,2010:261.



## 景观专业技术分委会 2022 年技术调研主题活动 第 29 届广州园林博览会考察

阳春三月,万物复苏,繁花次第开。海心沙迎来第二十九届广州园林博览会暨 2022 年广州国际花卉艺术展,本届园博会以“花容粤貌”为主题,分为精品园林展、国际花艺展、大湾区城市花园展、一带一路竹艺作品展、岭南盆景展、“花倾城”新优花卉展及户外休闲方式展七大板块。参展团队阵容强、范围广,有来自大湾区 6 个城市花园展区、11 个区代表精品园林展区、企业展区,8 个东南亚国家竹艺作品展,还有 60 余位国内外花艺大师共同参与本次盛会。



调研活动安排了参展单位的技术人员带领委员代表参观讲解。为使参观活动更有收获,安排一名技术代表集中采集一组作品,注明植物品种,特色亮点,新工艺新材料等内容,调研后每人提供 2 页的技术总结至委员会秘书处,作为技术资料汇总。

参观过后组织各技术代表与委员进行深入交流,就景观专业未来发展方向以及与桥梁等跨专业交融的可能性深入探讨。

### 本次活动技术亮点

1. 技术亮点一:“广州花园”获得英国切尔西花展最高奖项的园艺作品。



切尔西花展由英国皇家园艺学会(RHS)举办,是全世界最著名、最盛大的园艺博览会,被誉为“园艺界的奥斯卡”。2021 年切尔西花展上,由中国广州组织建设的“广州花园”获得金奖,同时荣获本届花展最高奖项——最佳展示花园奖,这是切尔西花展历史上中国花园首次获此殊荣。

“广州花园”由英国著名园艺设计专家 Peter Chmiel 设计打造。花园讲述了生态系统与城市

生活和谐共存的故事,表达广州在城市“生态文明”构建上的探索与前瞻性的布局。花园里,林地的溪谷(肺)和水池(肾)净化了空气、水;竹层压网格壳结构(心)为人类提供了社会空间和绿色家园。在花园建造上,结合广州气候、场地等条件,因地制宜进行调整,选取乡土树种水石榕、人面子、铁冬青等,运用植物近 100 余种,营造森林、湿地景观,在呈现原作品精髓的同时,展示出岭南特色风貌。

2. 技术亮点二:香港、澳门、深圳、珠海、东莞、佛山等 6 个大湾区城市花园联动,打造大湾区魅力 IP。

6 座城市花园通过园林的手法,融合科技、创新元素将历史文化、自然风貌、可持续发展等理念完美呈现。向我们展现着大湾区团结发展、创新前进的无限动力,传递生态文明理念,引领美好的生活方式。



香港园——璀璨耀香港



澳门园——海上花园,莲花宝石



深圳园——莹露园



珠海园——花开湾区,珠澳同心



佛山园——魅力佛山花海泛舟

3. 技术亮点三:广州 11 区的园圃别有生趣,创意非凡。能够感受到广州作为千年古城、海上丝绸之路起点的文化底蕴、激发每一个人对守护生态自然的呼唤,以及对未来广州科技发展、低碳宜居探索的向往。



海珠园——霞岸流光



增城园——灵山仙境



白云园——画中白云



广建园——扬帆载梦

4. 技术亮点四:在海心沙中轴线两侧来自东南亚国家(泰国、马来西亚、印度尼西亚、斐济)的 8 组竹艺作品,代表自然野趣的竹子与建筑设计创意碰撞,组合出灵动巧思的竹构建筑。



入口处的“花容粤貌”门楼将立体花艺装置与门楼的设计相结合,风格简洁,现代感强。“花心思”花卉馆采用了环形布置,设置了 41 组花艺作品。“花时间”花卉馆造型刚劲有力,由太空架和大红色冲孔板搭建而成,馆内布置了 18 组大型花艺作品。



5. 技术亮点五:广州盆景协会的岭南盆景展。



岭南盆景,是中国盆景主要艺术流派之一。以其苍劲雄秀、清新高雅、潇洒自然、百态千姿的特色而深受中外人士的赞赏。此次共展出 52 件作品,大部分作品在全国展中都获得重要奖项。

#### 6. 技术亮点六:“花倾城”——新优花卉展。



设置有沙漠植物区、宿根植物区、球根植物区、月季展示区、兰花展示区、新优品种展示区、花卉专项竞赛展示区七大板块。其中广州市林业和园林科学研究院新发布品种矮牵牛“广州一号”与“广州二号”“均为研究团队经过多年自交

纯化选育的矮牵牛自交系为父母本,通过杂交培育的 F1 代多年生草本品种。同时,在本届园博会上首次举办的花卉专项竞赛部分获奖作品也在本展区亮相。



(景观专业技术分委会供稿)

## “25 米先张法预应力工字型 UHPC - NC 组合梁足尺破坏试验”线下、线上观摩交流活动

2022 年 5 月 16 日,桥梁专业技术分委会部分专业技术人员,前往中路杜拉国际工程股份有限公司江门 UHPC 研发生产基地,观摩交流了“25 米先张法预应力工字型 UHPC - NC 组合梁足尺破坏试验”。



超高性能混凝土(UHPC)作为目前世界范围内最先进的水泥基材料,已在工程上广泛应用。以往工程中应用的梁体主要以后张法预应力体系为主,为加速推进国内 UHPC 桥梁工业化进程,中路杜拉公司成功开发出 25 米先张法预应力工字型 UHPC - NC 组合梁。为更全面验证该结构的可靠性,组织开展 25 米先张法预应力工字型 UHPC - NC 组合梁足尺破坏试验。



本次活动以线上视频直播 + 线下现场观摩的方式同时进行。对于本次交流活动,桥梁专业技术人员参与热情很高,其中参加线下现场观摩

人员共 23 人,线上观摩人员约 40 人。

参加线下现场观摩人员到达现场后,首先听取了现场技术人员对于生产基地的总体介绍以及 UHPC 材料和构件生产工艺流程的介绍,参观了 UHPC 研发生产基地,详细查看了现场存放的部分 UHPC 预制梁、预制件的情况,并与基地技术人员进行了细致深入的交流。



在基地会议室,听取了本次试验梁结构设计介绍以及试验梁结构试验方案介绍,对 UHPC 梁设计思路、试验方案及试验结果的预测有了深入的了解。



随后,现场观摩了 25 米先张法预应力工字型 UHPC - NC 组合梁足尺破坏试验现场,并就相关试验细节与现场技术人员进行了深入的探讨。

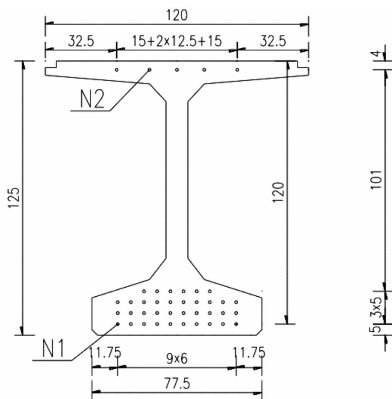
通过本次交流活动,桥梁专业技术人员对于 HUPC 的材料性能有了更全面的了解,对 HUPC 结构及其应用场景也有了更多的认识,为后续项目的结构选型提供了更多的工具,收获颇丰。



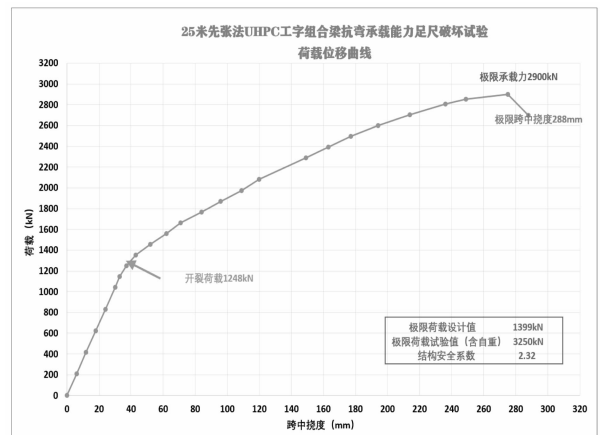
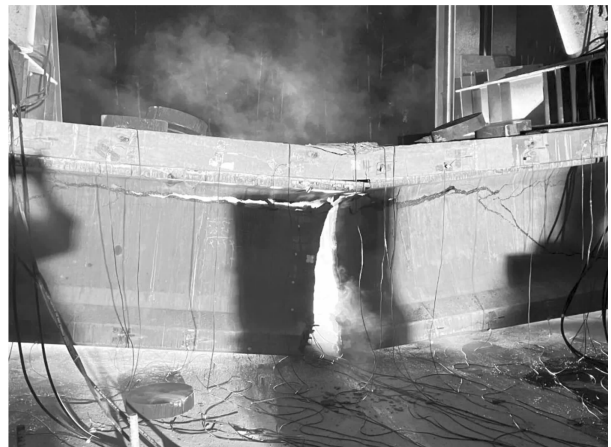
试验情况介绍:

该试验是以中路杜拉国际工程股份有限公司开发的 25 米无腹筋先张法工型 UHPC - NC 组合梁为对象,自主开展的足尺破坏试验。

该组合梁的 UHPC 梁高 125 cm,腹板厚度 10 cm,底缘和上缘分别布置 36 根和 5 根先张法钢绞线,桥面板采用 20cm 厚 C50 钢筋混凝土。



当晚 20 时 23 分,试验梁破坏,试验初步获取数据如下:破坏荷载 2900 kN,跨中挠度 288 mm,结构安全系数 2.32。



(桥梁专业技术分委会供稿)

## 创新造价实践,助力品质工程

### ——2022 年工程造价分委会牛田洋快速通道项目参观交流活动

为提高造价专业技术水平,明晰先进桥梁施工工艺,领会造价理论与实际差异,助力品质工程建设,6月9至11日,在集团工程造价专业技术分委会的组织下,分委会主任(集团副总工程师)陈潮锐、分委会秘书(第四设计院副院长)杜燕群、市政设计院副院长胡文斐、市政设计院造价所所长姜静及各院造价人员组成的造价团队前往汕头市牛田洋快速通道项目开展现场参观交流活动。



(参观交流活动合影)

## 城市名片,独具匠心

牛田洋快速通道项目位于汕头市西侧,线路总长 15.791 km,其中跨越榕江特大桥主桥为跨径 241.6 + 468 + 241.6 m 双塔双索面公轨合建双层钢桁梁斜拉桥,水中引桥为 70 m 跨双层钢混组合梁,陆上引桥为高架桥下设置辅道,主线与辅道采用一级公路结合城市道路技术标准。全线桥梁 14043 m/10 座,桥梁占比 88.93%,设互通立交 5 处,管理中心、养护工区各一处。主桥设计融合汕头建筑特点,形成城市一道亮丽的风景线。



(牛田洋特大桥效果图)

## 参观学习,实践真理

6月9日下午,造价团队出发前往汕头市,到达目的地后对活动安排进行确认。6月10日,造价团队参观项目施工现场,在张东河项目经理、王维项目总经济师等现场技术人员和驻地设计代表的带领和讲解下,加深大家对组合梁提升架、大挑臂盖梁支架、引桥钢梁、桥面板、主梁大型悬臂吊机、主桥双层钢桁梁、索塔等的认识;对造价编制内容与施工差异、双层钢桁梁斜拉桥施工技术、钢混组合梁预制工艺、预制场平面布置及稳定土拌合站等进行参观学习。

牛田洋特大桥主梁形式多样、主桥钢桁梁斜拉桥结构特殊、公轨双层设计、海上施工影响因素多等,对造价人员的技术能力要求高,需要对定额、施工条件和施工工艺有深入了解,因此也极具学习价值。



(参观交流活动现场)



## 交流提升, 共创精品

现场参观学习后,11 日上午造价团队在项目部与项目公司业主和施工单位开展造价交流会,项目公司领导根据现场施工情况对项目进行概述,总结经验并提出建议,对集团公司的设计实力与服务水平给予高度评价。

我们对项目造价情况进行沟通交流,协助解决项目公司提出的造价问题和定额疑问,还请教王维总经济师等现场技术管理人员有关软土就地固化和海工砼成本、钢护筒按打入深度和回收情况、钻渣弃运数量、集中加工钢筋形状、海上钢管摊销量等问题,参会人员踊跃发言,并结合现场与定额的套用情况,对施工技术、造价编制等内容进行深入探讨,对目前施工工艺与定额的运用加深了认识和理解。

未来,项目各参建方将继续一同努力,力争将牛田洋快速通道打造成为具有影响力的精品工程。



(项目部造价交流会现场)

## 后 记

本次造价交流活动创新形式,理论联系实际,让造价人员感触颇丰、收获良多,增强了对造价定额的理解,加深了对四新技术的认识,提升了造价专业的技术能力,积累知识和经验,为今后品质工程的打造提供有效保障。

(工程造价专业技术分委会供稿)

## 2022 年地质勘察、岩土专业技术分委会武深高速始兴联络线 施工现场考察暨高边坡勘察设计交流会

2022 年 6 月 10 日至 11 日,广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司所属地质勘察、岩土专业技术分委会委员及代表一行 35 人、为期两天,对武深高速始兴联络线高边坡及红砂岩路堤施工现场进行了考察交流,始兴联络线总工程师刘小飞及施工单位代表陪同考察并,进行了深入的沟通交流。

6 月 10 日中午考察团到达始兴县后,首先来到了 TJ3 标 K5 + 622 ~ K5 + 734 右侧凝灰岩边坡现场,该边坡位于右幅两座桥之间,长约 80 m,两端桥梁为本项目沿线最高墩,地势陡峭。施工单位负责人陈经理对该边坡工程的设计及施工进展情况进行了介绍,重点讲解了抗滑桩的人工挖孔施工技术难度及处理措施,并与考察团进行了互动交流。通过交换施工和设计经验,更有利于以后类似项目勘察设计工作的开展。



照片 1-2 K5 + 622 ~ K5 + 734 路堑高边坡

随后,考察团来到了 TJ2 标 K15 + 795 ~ K15 + 980 右侧的煤系地层边坡施工现场,该边坡目前已完成抗滑桩施工,正在实施绿化工作,边坡经过连续的雨季天气,证明了设计方案的有效性和施工措施的合规合理性。考察团在此进行了合影留念,和立岩土公司王成中同志介绍了该抗滑桩与路线斜交布置桩位的方案,该方案充分利用了地质勘察资料,确保抗滑桩底端穿过煤系地层,并尽量节省了造价。



照片 3-4 K15 + 795 ~ K15 + 980 煤系地层边坡

之后,来到了 TJ2 标 K17 + 200 ~ K17 + 535 右侧煤系地层边坡现场,该边坡目前正在进行抗滑桩头锚索孔注浆及张拉施工。地质勘察专业技术分委员会主任张修杰对该边坡原详细勘察时地质情况进行了介绍,对煤系地层岩质软、力学性质差、稳定性不足等特点进行了说明。TJ2 标项目部总工程师介绍了该边坡开挖的地质情况、施工过程中煤系地层的失稳垮塌、抗滑桩施工情况、锚索孔注浆工艺及注浆材料的性能等。



照片 5-6 K17 + 200 ~ K17 + 535 煤系地层边坡

最后,在天黑前来到了 K23 + 300 ~ K23 + 700 段的红砂岩填筑路堤处。本项目路线尾端约 10 km 均为红层砂岩,岩土专业技术分委员会主任刘吉福对红砂岩的形成、力学性质、路堤设计要点及崩解施工注意事项进行了介绍,与考察设计人员进行了专业技术分享,大家对这种新型特殊性岩土路堤有了进一步,加强了勘察及设计水平。



照片 7-8 K23 + 300 ~ K23 + 700 段红砂岩路堤

6 月 11 日上午考察团到达始兴联络线 TJ1 标项目经理部(保利长大)会议室进行了专业技术培训交流,会议首先由始兴联络线管理处刘小飞总工程师对项目概况及相关技术条件进行了介绍,随后集团公司张修杰、刘吉福和和立岩土公司王成中分别对工程滑坡勘察、红砂岩路堤设计与施工、长缓自然斜坡路堑边坡病害及设计,与大家进行了分享与深入交流,与会技术人员对滑坡、红砂岩路堤等有了进一步的了解与提升,更有利于以后类似项目勘察设计工作的开展。



照片 9 会议室现场



照片 10 集团副总工程师张修杰介绍滑坡勘察



照片 11 和立岩土总工王成中介绍边坡设计



照片 12 集团副总工程师刘吉福介绍红砂岩路堤

武深高速公路始兴联络线全线的路堑边坡共计 166 处,其中属于高边坡的共 20 处,含 4 处改扩建高边坡及 9 处抗滑桩高边坡,并首次大规模采用了红砂岩土填筑路基。在该项目开展现场考察及岩土勘察设计交流,对提高公司地质勘察及岩土专业技术水平意义重大。

(地质勘察、岩土专业技术分委会供稿)

## 深中通道现场调研与技术交流活动圆满完成

2022 年 6 月 16 日,为加强技术交流,提升我院沉管隧道设计技术水平,隧道专业技术分委会和城市轨道交通专业技术分委会(下统称专委会)联合开展了深中通道项目现场调研与技术交流活动。专委会主任、集团副总工梁淦波,轨道与地下工程设计院副院长温玉辉带专委会委员及代表赴广州南沙深中通道 GK01、S08 标与现场技术人员进行了技术交流与经验分享。



深中通道是集“桥、岛、隧、水下互通”于一体的超级跨海集群工程,其中海底隧道长约 6.8 公里,沉管段长约 5 公里,采用国内首次应用、国际首次大规模应用的钢壳混凝土组合结构形式,由 32 节管节和 1 个最终接头组成。双向八车道特长海底沉管隧道具有五大技术难点,分别是超宽、变宽、深埋、回淤量大、挖砂坑区域地层稳定性差,是目前为止世界技术难度最大的工程之一。

活动开始,交流团队在深中通道总工办副主任金文良的带领下,参观了广船国际船厂发展历程及深中通道钢壳智能制造生产线。广船国际有限公司是中国船舶集团有限公司属下华南地区最大、最现代化的综合舰船造修企业,船厂占地 302 万平方米,深水码头岸线 5200 米,配置 2 座 40 万吨级造船坞,2 座 30 万吨级修船坞,2 座 5 万吨级造船平台,1 台 900 吨龙门吊,4 台 600 吨龙门吊及多条智能生产线,年造船能力达 360 万载重吨,广船国际 2018 年成功承接了深中通道沉管隧道钢壳制造项目,进一步巩固了市场地位。



随后,交流团队参观了 S08 标钢壳混凝土智能浇筑系统及管节浇筑施工现场,钢壳混凝土智能浇筑系统涵盖了现场监控、进度及气象预警、运输调度及智能浇筑管控等多个模块。钢壳混凝土管节浇筑对 C50 自密实混凝土的时效性提出了极高要求,项目部通过对施工过程信息化和智能化,有效地把控施工过程中各个环节,成功保障了管节混凝土浇筑施工质量。



最后,交流团队参观了 S08 项目部深中通道项目展示区,现场技术人员介绍了深中通道项目中超宽变宽管节、管节浮运、隧道基础工程等重难点及相应技术措施。S08 标项目部大楼主体结构是对管节结构试验段的二次利用,积极响应了绿色环保工程理念。



本次专委会现场调研及技术交流活动让参与人员受益匪浅,尤其是针对大跨度沉管海底隧道设计技术理念及施工技术措施有了深入的了解。通过理论联系实践的现场调研活动,有效促进我院沉管隧道技术创新,提升我院沉管隧道设计质量与技术水平。

(隧道专业技术分委会、城市轨道交通专业技术分委会联合供稿)