技术交流　信息共享

广东省交通规划设计研究院股份有限公司

地　　址：广州市沙河兴华路22号
邮政编码：510507
电　　话：020-3739 3172
传　　真：020-3739 3172
E-mail　：841622401@qq.com
网　　址：www.ghdi.com.cn

廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

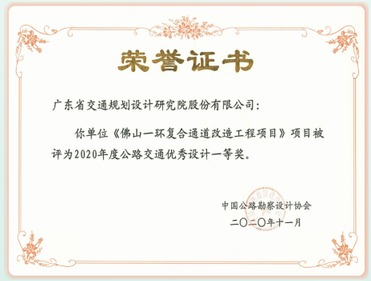
2020 4 总第180期

准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料　免费交流

获奖喜报

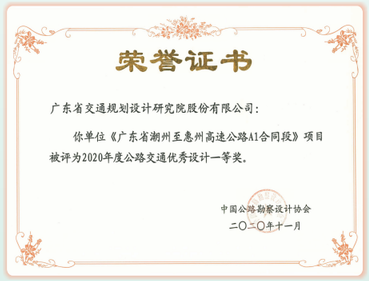
根据中公设协字[2020]16号关于公布2020年度公路交通优秀勘察设计奖评选结果的通知，公司所承担的《佛山一环复合通道改造工程项目》、《广东省潮州至惠州高速公路A1合同段》等九个勘察设计项目获得2020年度中国公路勘察设计协会公路交通优秀勘察设计奖，其中一等奖4项，二等奖2项，三等奖3项，一、二等奖获奖项目如下：


荣誉证书

广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

你单位《佛山一环复合通道改造工程项目》项目被评为2020年度公路交通优秀设计一等奖。

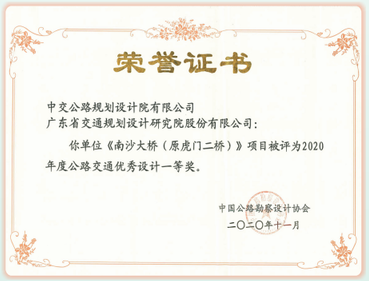
中国公路勘察设计协会
二〇二〇年十一月


荣誉证书

广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

你单位《广东省潮州至惠州高速公路A1合同段》项目被评为2020年度公路交通优秀设计一等奖。

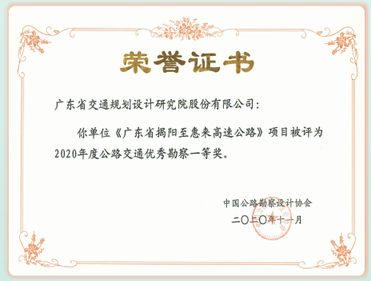
中国公路勘察设计协会
二〇二〇年十一月


荣誉证书

中交公路规划设计院有限公司
广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

你单位《南沙大桥（原虎门二桥）》项目被评为2020年度公路交通优秀设计一等奖。

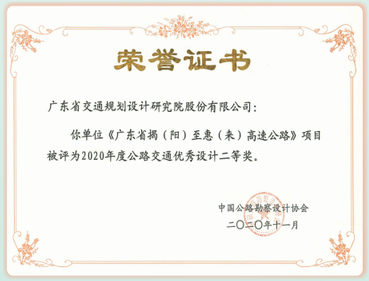
中国公路勘察设计协会
二〇二〇年十一月


荣誉证书

广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

你单位《广东省揭阳至惠来高速公路》项目被评为2020年度公路交通优秀勘察一等奖。

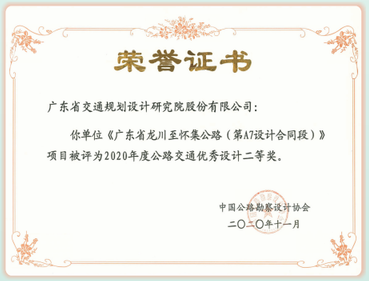
中国公路勘察设计协会
二〇二〇年十一月


荣誉证书

广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

你单位《广东省揭（阳）至惠（来）高速公路》项目被评为2020年度公路交通优秀设计二等奖。

中国公路勘察设计协会
二〇二〇年十一月


荣誉证书

广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

你单位《广东省龙川至怀集公路（第A7设计合同段）》项目被评为2020年度公路交通优秀设计二等奖。

中国公路勘察设计协会
二〇二〇年十一月

根据中国测绘学会“2020年全国优秀测绘工程奖”评选结果公告，公司承担的“佛山市富龙西江特大桥工程综合测量”获得中国测绘学会优秀测绘工程奖铜奖。

CSGPC

全国优秀测绘工程奖

证 书

为表彰全国优秀测绘工程奖获奖单位，特颁发此证书。

项目名称：佛山市富龙西江特大桥工程综合测量

奖励等级：铜 奖

获奖单位：广东省交通规划设计研究院股份有限公司

证书号：2020-03-03-32

2020 年 10 月

2020年全国优秀测绘工程奖

铜 奖

项目名称：佛山市富龙西江特大桥工程综合测量

获奖单位：广东省交通规划设计研究院股份有限公司

证书号：[illegible]

2020年10月

技术质量部于9月23日召开“广深高速公路改扩建工程复合式立体方案”公司级设计评审会议。

会议由梁志勇副总工程师主持

项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家为完善设计献计献策

技术质量部于11月6日召开“湛江机场高速公路工程”初步设计、“湛江环城高速公路南三岛至东海岛跨海通道”工程可行性研究公司级评审会议。

会议由冯心宜副总工程师主持

项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家听取项目组设计情况汇报

技术质量部于12月8日召开“汕头南澳至潮州潮安高速公路”初步设计公司级评审会议。

会议由孙向东副总工程师主持

项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家为完善设计献计献策

技术质量部于12月14日召开“镇巴(川陕界)至广安高速公路通广A2标段工程鸡公石渠江特大桥主桥”公司级评审会议。

会议由孙向东副总工程师主持

项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家听取项目组设计情况汇报

广东交通规划设计

（每季出版）

2020 年 12 月 30 日印刷

2020 年第 4 期

（总第 180 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： 梁立农　王　强

委　员： 彭向荣　陈潮锐　孙向东
王景奇　陈新富　梁志勇
刘吉福　万志勇

主　　编： 梁立农

副 主 编： 王　强

责任编辑： 刘祥兴

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股份有限公司

地　　址： 广州市沙河兴华路 22 号

邮政编码： 510507

电　　话： 020 - 37393079

传　　真： 020 - 37393172

E - mail：841622401@qq.com

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

封面封底： 佛山一环复合通道改造工程项目

目　次

部委政策

交通运输部关于广东省开展交通基础设施高质量发展等交通强国建设试点工作的意见 …… （1）

公司动态

热烈庆祝公司四川分院揭牌仪式圆满完成 …… （6）

公司喜获国家人社部批准设立博士后科研工作站 …… （7）

科技治堵，行业先锋——公司荣获 2020 年中国（小谷围）“互联网 + 交通运输”智慧公路主题赛二等奖 …… （8）

公司“东江门户，山水丰镜”跨东江大桥方案喜获惠州市交通运输局“丰”字交通主框架跨江（河）大桥系列方案概念设计竞赛一等奖 …… （9）

公司联合交通运输部路网监测与应急处置中心成立“广东省及环粤地区交通规划与仿真实验室” …… （10）

公司与南粤公司隆重举行湛江机场高速公路工程勘察设计合同签约仪式 …… （11）

公司总经理助理、第四设计分院院长罗旭东喜获省委、省政府授予“广东省劳动模范”荣誉称号 …… （12）

公司与山东金鲁班集团有限公司签署战略合作协议 …… （15）

践行“万企帮万村”企业责任，助推乡村振兴齐奔小康——公司帮扶清远市回正村亮灯工程建设 …… （17）

技术论文

全封闭钢混组合箱梁整体吊装纵隔板配置研究 …… 孙　颖（18）

大潮高速公路某边坡病害稳定性分析研究 …… 张修杰，邓阐述（22）

玄武岩纤维沥青混凝土优选及疲劳寿命预估 …… 吕耀华（29）

日本水泥搅拌桩强度变异性研究进展 …… 周　震，姜　钰（35）

沿海低路堤高速公路大型排水蒸发池应用研究 … 陈　力，黄蕾鸣（40）

信息专栏

2020 桥隧发展科技创新大会暨桥隧创新成果展报道 …… （46）

2020 中国隧道与地下工程大会报道 …… （47）

中国公路学会工程地质和岩土分会 2020 年学术年会会议报道 …… （48）

中国图学会第六届 BIM 学术会议报道 …… （49）

中国公路学会桥梁和结构工程分会 2020 年全国桥梁学术会议报道 …… （49）

第三届品质工程论坛·延崇高速河北段绿色示范工程现场观摩会报道 …… （50）

“广东省环境咨询专家委员会高端论坛”会议报道 …… （52）

中国公路勘察设计协会第六届第六次理事会议报道 …… （54）

交通运输部关于广东省开展交通基础设施高质量发展等交通强国建设试点工作的意见

广东省交通运输厅：

《广东省交通运输厅关于上报〈交通强国建设广东试点实施方案〉的请示》（粤交规〔2020〕102 号）收悉。为重在落实《交通强国建设纲要》中相关领域的目标任务，根据《交通运输部关于开展交通强国建设试点工作的通知》（交规划函〔2019〕859 号），经研究，主要意见回复如下：

一、原则同意在交通基础设施高质量发展、交通与旅游等产业融合发展、智慧交通建设、枢纽服务效率提升、综合交通运输管理体制机制改革等方面开展试点（具体要点附后），请进一步完善试点实施方案，细化试点任务，落实具体举措，明确阶段目标和时间进度，并及时向我部报备。

二、加强对试点工作的组织领导，建立健全试点工作推进机制，明确责任分工，强化政策支持。加强上下联动，强化协同配合，鼓励各方积极参与。

三、统筹推进、突出重点，力争在关键工程技术突破、交旅融合发展实施路径、交通管理智慧化水平提升、白云国际机场服务效率提升、区域交通一体化发展、港口船舶岸电建设使用、旅游航道、绿色航道等方面取得突破性进展，形成一批先进经验和典型成果，充分发挥示范引领作用，为交通强国建设提供经验借鉴。

四、加强跟踪、督导和总结，试点工作中出现的重大问题以及取得的阶段性成果、成功经验模式及时报告我部和广东省人民政府。每年 12 月底之前向我部报送年度试点工作总结。

我部将会同有关部门、单位、专家对试点工作积极指导，在相关“十四五”规划编制等工作中加强支持。适时开展跟踪调研、监测评估和经验交流。在试点任务实施完成后组织开展考核、成果认定、宣传推广等工作。

交通运输部

2020 年 10 月 10 日

附件：

交通强国建设广东省试点任务要点

一、交通基础设施高质量发展

（一）试点单位。

广东省交通运输厅。

（二）试点内容及实施路径。

1、推进高速公路改扩建关键技术研发应用。以深汕西、开阳、阳茂、茂湛、粤赣惠河、广深、江中等国家高速公路改扩建工程作为支撑，开展关键技术标准、交通组织与交通安全防护标准、全过程建筑信息模型（BIM）技术、复杂条件下超深超厚软基关键技术等研发和应用。

2、推动综合枢纽服务能力提升。推动共建粤港澳大湾区世界级机场群，推动珠三角枢纽（广州新机场）建设，推进广州、深圳、珠海、惠州、揭阳机场扩建，加快推进湛江机场迁建和韶关机场建设，开展梅县机场迁建前期工作，规划建设云浮、阳江、怀集、连州等支线机场，推动通

用航空发展。加快提升广州、深圳国际综合航运服务能力，构建以珠三角港口为主体、粤东和粤西港口为两翼的发展格局。强化汕头港、湛江港枢纽辐射作用，提升粤东地区、西南地区对外开放能力。

3、推进轨道交通“四网融合”。科学布局轨道交通枢纽，强化综合交通枢纽规划建设，提高联程联运水平和效率。推进轨道交通运输管理模式协同，推动运输组织、安全应急、设备设施维护协调统一管理。强化制度创新、服务创新，推动建立大湾区轨道协调机制，统筹服务标准、管理流程，推动安检互信，提升“四网融合”服务质量。

4、提升广深港综合运输通道效能。科学开展通道规划研究，创新城市群综合运输通道内线路配置规划技术方法。加大通道内高速磁浮、共享交通等新技术、新模式应用力度，推动城际协同、方式协同、产业协同。

5、探索开展跨海交通集群工程建设关键技术研究及应用。推进跨海交通集群工程智能建造，在钢壳智能制造、钢壳混凝土智能浇注、钢箱梁智能制造、智慧梁场、沉管管节智慧安装、智慧工地等方面加快应用。探索应用双向八车道钢壳混凝土组合结构沉管隧道。推动建立跨江（湖）越海交通基础设施安全保障技术体系，创新海底钢壳沉管和互通式隧道火灾防控及智能交通管控技术，研发灾变控制技术。开展 BIM 技术开发应用研究，推动数据全寿命周期共享应用。深入推进桥梁工程、港口工程平安百年品质工程建设研究，完善工作机制，引导科研成果有效转化，提高工程耐久性和使用寿命。

6、探索开展中小跨径钢桥建设技术研究及应用。贯彻全预制化理念，推动轻型、快速、短周期全预制拼装建造技术研究。研发新型运架设备，积极推广中小跨径钢桥应用，推进装配化桥梁研究成果标准化。

（三）预期成果。

通过 1－2 年时间，深汕西、开阳等国家高速公路改扩建工程建设取得重要进展，在高速公路改扩建关键技术研究上取得有效突破。机场、港口枢纽辐射能力有效增强。“四网融合”成效显著，并形成相关行业规章制度、标准规范。在城市群综合运输通道内线路配置规划技术研究、跨海交通集群工程建设等方面形成相关理论、方法、标准。在公路钢结构桥梁等方面形成标准图，在中小跨径钢桥标准化、装配化、信息化方面取得成套技术和研究成果。

通过 3－5 年时间，基本完成国家高速公路改扩建工程，基本实现桥梁、隧道等结构物构件施工机械化及预制装配化，在项目全过程 BIM 技术、智慧工地建设等方面形成高速公路改扩建成套关键技术。基本建成科学合理的轨道交通体系，综合交通枢纽服务能力、广深港综合运输通道效能明显提升。在跨海交通集群工程建设理论、标准上取得显著突破，并形成钢壳混凝土沉管隧道受力机理计算方法、设计指南、耐火极限标准等。在钢壳沉管隧道结构构造、超宽特长隧道排烟、强台风区海中超大跨悬索桥主梁抗风等方面形成相关技术标准。公路常规跨径钢结构桥梁建造技术广泛应用，在装配化桥梁设计、制造、安装、运营、维护等方面形成相关技术标准。

二、交通与旅游等产业融合发展

（一）试点单位。

广东省交通运输厅。

（二）试点内容及实施路径。

1、推动交旅融合发展。科学规划建设旅游公路，稳步推进滨海旅游公路和粤北生态旅游公路建设，重点推动梅州、云浮、河源、阳江等区域旅游公路发展。科学制定旅游公路技术方案，推进沿线旅游资源开发和产业园区建设。提升公路安全绿色发展水平，以鹤港高速、洪鹤大桥为

重点打造绿色公路、品质工程。以惠清高速公路建设为依托，开展生态敏感山区高速公路绿色建设关键技术研究，推进智慧建造信息一体化，加强安全生产创新集成。

2、加大跨境电商仓储物流发展力度。推动共建邮政跨境电商仓储物流中心，提升跨境电商仓储、打包、清关等物流全环节全产品的一体化服务能力。

3、推动新能源等交通产业发展。以佛山市为重点，加快氢燃料电池公交车推广应用，推动氢能有轨电车应用，有效集聚氢能企业及相关人才。以珠江旅游为重点，有序推动电动船投入应用。

（三）预期成果。

通过 1－2 年时间，完成南岭生态旅游公路规划，建成一批旅游公路，在旅游公路规划、设计等方面形成技术指引、标准规范等成果，在生态敏感山区高速公路绿色建设方面形成成套关键技术。跨境电商仓储物流中心建设取得有效进展，实现货物仓储、分拣、发运、清关等全环节集约化处理。佛山市投入应用 1000 辆氢燃料电池公交车，在使用维护上取得典型经验，并形成氢燃料电池公交车维护保养和安全使用操作指南等相关成果。

通过 3－5 年时间，建成鹤港高速“绿色公路”“品质工程”，跨境电商仓储物流发展取得显著成效，广州市跨境电商企业高效集聚。氢燃料电池公交车推广应用程度大幅提升，整车及部件、基础设施配套建设、维修与服务等相关产业链基本形成，地铁和现代有轨电车产业发展迅速，电动船舶基本建造完工下水并在运营使用上取得典型经验。

三、智慧交通建设

（一）试点单位。

广东省交通运输厅。

（二）试点内容及实施路径。

1、提升交通管理智慧化水平。加强公路智能运营养护管理，以无人机及配套专业设备（可见光、热成像、多光谱相机等）为依托，推进高速公路主要构造物状态信息数据采集、巡检数据管理，应用大数据、图像识别、神经网络等人工智能技术，提升数据分析能力。加强港珠澳大桥智能运维，突破基础设施全息立体感知、服役状态评估及智能维养、智能运行与应急处置、桥岛隧多模态数据协同互联及知识化、智联平台构建等关键技术。加强城市智慧交通服务，优化交通运输组织智能分析，创新城市交通服务保障模式，推进出行信息个性化精准触达，优化出行路径分配。提升静态交通管理水平，健全停车管理体制机制，优化停车资源供给结构。构建公路信息化建管养系统平台，加强桥梁智能防撞预警。加强道路运政服务，推动道路运输经营者年审业务办理“零上门”，推进道路运输车辆事中事后监管服务一体化。以省交通集团有限公司为重点，整合出行服务资源，搭建智能化一体化运营平台，推动道路出行服务全链条提质升级。

2、提升设施智慧化水平。推动建设南沙自动驾驶测试基地、庆盛片区自动驾驶测试区等，建立高速公路网一体化智慧运营管理模式及控制平台，推动南沙城市道路网与高速公路网融合发展。研发以 ETC 技术为核心的车路协同系统，推动 ETC 和 5G 高效融合。打造智慧航道体系，推广北斗卫星导航系统应用，建设航道大数据中心，构建物联感知网络、无缝通信网络，打造电子航道图支撑平台、航道综合运行监测平台、航道通一体化服务平台，推进建设、管理、养护、运行、调度、服务等应用场景建设。

3、提升安全管理智慧化水平。提升航空安全管理业务各类数据采集、数据治理、数据分析和深度应用能力。构建以数据治理为核心的道路运输行业安全治理体系，打造数字化安全监管和风险预警处置信息管理平台，建设企业级主动

安全生产风险控制信息系统。建立驾驶员培训师安全管理体系，落实安全规程、统一操作规范，提高道路运输风险点识别和预防能力。

4、打造现代高技能交通工匠队伍。推进丝路港口城市航运人才培训基地建设。以广东省交通运输技师学院为依托，打造现代高技能工匠综合性培养平台。以高速公路施工班组建设及工程从业人员实名制系统应用为载体，推进交通建设工程产业工人队伍建设。建设高水平专业化产教融合实训基地和综合航空培训中心，培养职业教育“双师型”教师队伍及航空专业人才。

（三）预期成果。

通过 1－2 年时间，交通管理智慧化水平有效提升，无人机在高速公路营运管理方面初步投入应用，港珠澳大桥智能运维基本实现应急救援协同化、交通组织精准化和路政巡查无人化，建成跨海集群设施人工智能运行管理技术体系及平台，在城市交通智能化定位识别、分析研判、辅助决策等方面实现突破，有效支持交通疏运组织监测、管理、调度、指挥一体化等综合决策，建成道路交通安全信息即时交互与诱导管控系统平台、桥梁防撞预警视频监控系统。车联网建设取得显著成效，基本建成基础设施监测体系、路网运行感知体系、通信资源保障体系、预报预警体系、应急保障体系、出行服务体系以及安全防护体系。安全管理智慧化水平有效提升，数字化安全监管和风险预警处置信息管理平台全面推广，形成基于数据治理的道路运输行业业务规则与实施细则等政策成果。

通过 3－5 年时间，交通管理智慧化水平显著提升，静态交通网络便捷高效，形成停车治理指导意见等政策文件成果。设施智慧化建设取得显著成效，实现大湾区与南沙城市片区交通基础设施数字化，基于 ETC、5G 等技术的车路协同装备及系统研发应用效果明显，在交通安全、信息服务等方面基本实现车路协同，车联网产业链初步形成。安全管理智慧化程度显著提升，在智能化航空交通安全管理方面取得典型经验，智慧航道基本实现数字化，电子航道图导航、船舶高效过闸、航运实时信息等服务水平全面提升，建成驾驶员培训师安全管理体系并完成全面推广应用，出台相关服务标准、技术规范与指标体系。

四、枢纽服务效率提升

（一）试点单位。

广东省交通运输厅。

（二）试点内容及实施路径。

1、提升白云机场国际航空枢纽辐射能力。推动白云机场三期扩建工程建设。推进云服务工程、物联网工程、地理信息系统（GIS）工程、一证通关服务平台（One ID）工程。提升机场治理能力，构筑绿色运营管理体系。拓展国际及地区航线网络。完善综合交通设施配套，推动广中珠澳高铁、广河高铁等高速铁路，新白广城际、广佛城际等城际铁路，高速地铁、高速公路等多种交通方式引入机场。强化空铁联运，加强机场轨道专线建设，建立空铁联运信息互通机制，创新“白云机场－广州北站”一体化空铁联运模式。

2、提升港口智慧、绿色发展水平。推动广州港南沙港区四期工程全自动化集装箱码头建设，探索应用单小车自动化岸桥、自动化智能导引车、堆场水平布置侧面装卸，推动港区全自动化。全面推进港口船舶岸电建设和使用，强化互联网统计分析能力，创新岸电使用监管模式。

3、提升口岸通关便利化水平。加强粤澳口岸合作和科技运用，着力建设集人流、物流于一体的横琴新口岸，优化通关环节，推动旅客和客货车辆“一次排队、一次查验、一次放行”。

（三）预期成果。

通过 1－2 年时间，初步建成白云机场绿色运营管理体系，白云机场综合枢纽功能逐步提升，空铁联运一体化格局初步形成。完成广州港

南沙港区四期工程全自动化集装箱码头建设，国产码头生产操作系统（TOS）投入应用，港口智慧化水平显著提升。全省港口 70% 码头泊位覆盖岸电设施，船舶受电设施覆盖率显著提升，码头岸电总体使用率达 20% 以上，港口岸电使用数据实现实时监测。

通过 3 - 5 年时间，白云机场服务效率显著提升，绿色运营管理体系成熟完备，空铁联运体系基本建成，与主要铁路枢纽站点实现直达轨道连接。港口岸电覆盖率和使用率、码头装卸效率大幅提升。横琴新口岸“合作查验、一次放行”通关模式深入推广，全省旅客、车辆通关水平和效率显著提高，在口岸通关便利化等方面形成相关指导意见、标准指南等政策成果。

五、综合交通运输管理体制机制改革

（一）试点单位。

广东省交通运输厅。

（二）试点内容及实施路径。

1、完善管理体制机制。统筹推进综合交通运输体系规划、建设和管理体制机制改革，建立健全跨部门、跨区域的综合交通运输运行协调机制。

2、推进区域交通一体化。加快推动跨珠江口过江通道规划建设、高速公路瓶颈路段扩容、高速公路与城市道路的衔接转换，探索城市群地区（都市圈）公路与城市道路融合发展机制、广深港通道跨市建设运营管理一体化协调机制。

3、提升通道综合开发水平。以广深高速新塘互通立交交通优化改造、综合开发利用为具体项目依托，运用 BIM 技术、“互联网 +”、5G 技术强化土地使用规划、布局和综合开发科学性，提升公路和城市道路走廊带资源综合利用水平。

4、创新监管机制。加强行业信用体系建设，强化事中事后监管。建立健全交通建设项目电子档案管理制度及实施方案。推动巡游车转型升级，加大网约车规范管理力度。

（三）预期成果。

通过 1 - 2 年时间，综合交通运输管理机制更加完善，规划建设管理更加高效。在公路与城市道路融合发展等方面取得典型经验，并形成相关标准规范。交通基础设施建设电子档案管理水平显著提升，有效降低管理成本，电子档案编制效率明显提高。

通过 3 - 5 年时间，区域通道建设运营管理一体化协调机制基本完善，广深高速新塘项目交通改造基本完成，在高速公路沿线交通改造和土地空间复合利用等方面取得典型经验，并形成意见指南等政策成果。出租汽车行业整体服务水平明显提升，巡游车转型升级成效显著，网约车市场更加规范。行业事中事后监管机制更加成熟，信用体系更加健全，文明服务水平显著提升。

热烈庆祝公司四川分院揭牌仪式圆满完成

2020 年 10 月 22 日，公司四川分院在成都正式挂牌。公司总经理黄湛军、副总经理蔡小杨、总会计师古信中、公司副总经理兼翔飞监理公司总经理田可耕、总经理助理兼第二设计分院院长罗火生以及总院管理部门、专业部门、分院相关负责人和分院相关骨干员工共同参加了揭牌仪式。

总经理助理兼第二设计分院院长罗火生主持揭牌仪式并致欢迎词。仪式上，四川分院院长黄俊翔简要介绍了四川分院的筹建过程及发展情况。

随后，黄湛军总经理作了总结讲话。他表示，成立四川分院是完善公司全国化战略市场布局、把握“成渝双城经济圈”国家战略机遇的重要战略举措，希望四川分院坚持和发扬公司“顾客至上”的服务理念，将公司“产品优质、技术领先、服务高效、顾客满意”的品牌发扬光大，争做公司品牌传播、价值传递的标杆，争做公司省外分院标杆，不断茁壮成长，创造佳绩。

（报道者：曹菁菁）

公司喜获国家人社部批准设立博士后科研工作站

根据人力资源和社会保障部、全国博士后管理委员会批准，公司正式获批设立博士后科研工作站。

近年来，公司以省级工程中心、博士后创新实践基地为平台，以重大工程项目为依托，充分发挥高新技术企业的优势，不断加大科技研发投入，在科研平台建设、研发投入、科技成果转化等各方面均取得了突出成绩。

未来，公司将以获批设立博士后科研工作站为契机，进一步贯彻落实国家和省市关于博士后工作的有关要求，不断完善博士后工作管理机制，多专业引进博士后技术人才，加快培养一批跨学科、复合型、战略型和创新型的专业技术人才队伍，为我省推进粤港澳大湾区战略、人才强省战略和创新驱动发展战略作出积极贡献。

（报道者：曹菁菁）

科技治堵，行业先锋

——公司荣获 2020 年中国（小谷围）“互联网 + 交通运输”智慧公路主题赛二等奖

12 月 6 日，在 2020 年中国（小谷围）“互联网 + 交通运输”创新创业大赛之智慧公路主题赛上，公司依托广州机场高速三元里收费站智慧通道项目，积极将智慧交通新技术产业化、实用化推动形成可推广、可复制的成功经验，与广州快速交通建设有限公司、广州交投机电工程有限公司、高新兴科技集团股份有限公司联合打造的《基于泛在车路协同的智慧收费站 AR 诱导与跟踪系统》项目经过初赛与决赛的激烈角逐，最终从 59 个参赛项目中脱颖而出，得到由 40 名专家组成的评委团一致认可，荣获总排名第 2、大赛二等奖的好成绩。

本次获奖项目通过创新性地使用 AR 增强现实技术，将监控系统与 ETC 收费系统打通，实现车辆全程跟踪、精准诱导和主动管控。该项目所依托的广州机场高速三元里收费站智慧通道由公司规划与交通工程分院主持设计，自今年四月份运营以来，通行效果显著，成功摘掉了“交通运输部 183 个黑点收费站”的帽子，收费站排队拥堵时间由原来的每天 3.2 小时基本降至为 0 小时，ETC 车道通过率达到 99.9%，社会反响热烈，获得全国交通运输部、广东省交通运输厅等主管部门的一致好评，并得到了国内多家媒体的广泛报道。

（报道者：关小杰）

我司“东江门户，山水丰镜”跨东江大桥方案喜获惠州市交通运输局“丰”字交通主框架跨江（河）大桥系列方案概念设计竞赛一等奖

近日，公司与华南理工大学建筑设计研究院有限公司何镜堂建筑创作研究院联合体共同设计的“东江门户，山水丰镜”方案喜获惠州市交通运输局组织开展的“‘丰’字交通主框架跨江（河）大桥系列方案概念设计竞赛”一等奖。

“东江门户，山水丰镜”方案由公司第四设计分院与何镜堂建筑创作研究院团队共同完成。该方案经过投票评选、专家评审等多轮评选，从全国 20 家单位、141 个桥型方案中脱颖而出，荣获跨东江桥型一等奖。该方案设计提取了古体“丰”字为要素，意在打造城市门户新地标，其造型如四通八达的脉络，亦如山峦叠影立于江上，蕴含惠州山水并美的丰富意境。

“丰”字交通主框架是《惠州市“丰”字交通主框架总体布局规划》的核心内容。该规划由公司第四设计分院牵头编制，并已于 2020 年 6 月获惠州市人民政府批复同意。《规划》中的一号公路（惠州湾高速）是“丰”字交通主框架的重要一“竖”，是南北交通轴线快速通道。目前一号公路已由公司完成工可编制，并已顺利通过评审。一号公路的跨东江大桥将采用该“东江门户，山水丰镜”方案。

（报道者：谭巨良）

公司联合交通运输部路网监测与应急处置中心成立“广东省及环粤地区交通规划与仿真实验室”

2020 年 8 月 17 日，公司与交通运输部路网监测与应急处置中心、广州国交润万交通信息有限公司签署技术战略合作协议，联合成立“广东省及环粤地区交通规划与仿真实验室”，就广东省区域交通规划与仿真平台开发开展技术战略合作。

随着“一路一带”倡议、粤港澳大湾区、深圳建设中国特色社会主义先行示范区等国家战略的相继推行，广东成为新时期引领科创发展和深化改革开放的前沿与先锋，具有广阔的发展前景。

交通是经济发展的先导，以粤港澳大湾区为核心，以广东省及环粤地区（广西、湖南、江西、福建等周边省域）为范围，依托大数据，从宏观出发，宽视野、广范围构建广东省及环粤地区交通规划与仿真模型，对全面掌握广东省及环粤地区交通运行规律，服务广东交通发展、促进区域经济融合等具有重要意义。

为立足时代潮头，展现公司应有的责任与担当，公司联合交通运输部路网监测与应急处置中心、广州国交润万交通信息有限公司成立“广东省及环粤地区交通规划与仿真实验室”，三方于 8 月 17 日在北京举行了战略合作签约暨实验室揭牌仪式，公司总经理助理兼规划与交通工程分院院长汪超、规划与交通工程分院总工向前忠等相关负责人出席了本次仪式。汪超院长与交通运输部路网监测与应急处置中心信息与技术保障处处长陈智宏、广州国交润万交通信息有限公司董事长吕洪燕，共同为“广东省及环粤地区交通规划与仿真实验室”揭牌。

（报道者：曹菁菁）

公司与南粤公司隆重举行湛江机场高速公路工程勘察设计合同签约仪式

2020 年 10 月 23 日，公司与广东省南粤交通投资建设有限公司在利通广场 42 层隆重举行了湛江机场高速公路工程勘察设计合同签约仪式。

公司董事长李江山、第三设计分院院长李旭华、分院副院长林泽宏、分院总工程师（道路）程正刚，以及南粤公司董事长李晋峰、副总经理陈子建、副总工程师陈记、副总经济师兼投资经营部部长李史华、项目负责人许银、项目技术负责人黄琛出席了签约仪式。

公司董事长李江山和南粤公司董事长李晋峰分别代表双方在签约仪式上致辞。

签约仪式上，双方就如何加快推进项目勘察设计进度以满足项目建设工期目标进行了热烈而深入的交流。

（报道者：林泽宏）

公司总经理助理、第四设计分院院长罗旭东喜获省委、省政府授予“广东省劳动模范”荣誉称号

近日，2020 年广东省劳动模范、先进工作者和先进集体表彰大会在广州隆重召开。会上，省委、省政府表彰了五年来全省各行各业涌现出的劳动模范、先进工作者和先进集体。公司总经理助理、第四设计分院院长罗旭东被省委省政府授予“广东省劳动模范”荣誉称号。

此次获奖，是对罗旭东同志爱岗敬业、精益求精、无私奉献、拼搏奋进的模范精神的肯定，也是对公司广大员工劳动成果的肯定，彰显了广东交通院人坚守始终、锐意进取、求实创新、服务社会的精神风貌。

2020 年度广东省交通系统省级劳模，右起第二位：罗旭东

新时代是奋斗者的时代，南粤大地上不断涌现出一批批勤学苦练、奋发进取、致力“中国创造”的时代劳模，主动投身社会各项建设。公司总经理助理、第四设计分院院长罗旭东同志正是这新时代奋斗者中的优秀代表。罗旭东同志自 1991 年本科毕业后分配至公司从事路桥设计工作，现任公司总经理助理兼第四设计分院院长。罗旭东同志坚持三十年如一日，始终以高度的事业心和责任感，用自己的青春、智慧与心血，为广东交通建设贡献了诸多精品工程。其任职期间主要参与或主持完成了广梧高速公路河口至平台段、广东省东山（闽粤界）至潮州古巷公路、江门至罗定高速公路、广佛江快速通道江顺大桥、黄茅海大桥、中江高速改扩建等多个重点工程项目，在推进全面建成小康社会，推动国家和省重大工程建设、重要区域发展以及粤港澳大湾区建设做出了积极贡献，其主持或参与的项目先后获得中国公路交通优秀设计一等奖、建国 70 周年经典设计项目奖、省优秀工程勘察设计一等奖、广东省科学技术奖等各级奖励 10 余项。

与此同时，罗旭东同志作为分院带头人，为分院技术和管理人才队伍的培育和成长呕心沥血，培养了众多行业技术专家，为交通建设事业输送了大量骨干人才。此外，罗旭东同志热心参与社会事务，具有良好的学术研究能力，目前担任华南理工大学和广东工业大学的校外硕士研究生导师，为广大学子传道解惑，培养交通事业的接班人。

罗旭东同志表示：“此次获得省级劳模荣誉，对于自己是极大的肯定和鼓励。‘劳动模范’不仅是荣誉称号，更是社会责任和担当。我一定会倍加珍惜，再接再厉，在以后的工作中继续奋发有为，继续为广东交通事业的发展发光发热！”

（报道者：金为政）

公司与山东金鲁班集团有限公司签署战略合作协议

2020 年 12 月 9 日，为推动优势互补、促进业务合作，公司与山东金鲁班集团有限公司隆重举行了战略合作协议签约仪式。公司总经理黄湛军、副总经理陈贤文、总经理助理兼规划与交通工程分院院长汪超、人力资源部主任李玉春、数字化技术研究院院长万欢、山东分院院长陆冠钊、相关管理部门及分院领导、同事出席了本次签约仪式。公司总经理黄湛军和山东金鲁班集团有限公司党委副书记马忠峰代表双方共同签署了战略合作协议。

会上，双方围绕业务发展、BIM 数字化、智慧交通以及大数据等主题展开了深入交流和探讨。公司围绕上述几个主题进行了专题汇报展示。数字化技术研究院院长万欢介绍了公司 BIM 技术在黄茅海跨海通道、滨海湾大桥、广深高速改扩建等主要工程项目的应用情况以及公司在 BIM 技术及平台的探索研究等情况；规划与交通工程分院机电与智慧交通所所长关小杰围绕智慧交通主题，重点结合公司承担的南沙大桥智慧高速设计、湖南湘江新区开放道路智能化改造项目、广州机场高速三元里智慧收费站等项目进行了分享；规划与交通工程分院交通规划所雷永巍结合高速公路交通规划仿真平台研究进行了大数据研究应用相关分享。山东金鲁班集团对公司在 BIM、智慧交通及大数据研究方面的建设成果表示肯定，并希望进一步加强合作、优势互补。

双方均表示，未来将建立长期、稳定、可持续的全面战略合作伙伴关系，不断加强沟通衔接，深入开展合作，增强双方竞争优势，构建双赢发展新局面，促进双方业务实现高质量发展。

山东金鲁班集团有限公司成立于 2006 年，现有职工 2000 余人，总资产近 300 亿元，为德州市人民政府国有资产监督管理委员会管理的大型企业集团，拥有公路工程施工总承包特级资质、市政公用工程总承包壹级、交通工程专业承包壹级、公路工程设计甲级、工程勘察测量甲级、工程监理甲级等多项资质，经营领域涵盖：政府采购项目，道路路网规划设计，交通基础设施、水利工程、港口工程、市政公用工程、园林绿化工程、城市开发、园区等项目投资建设和运营管理，土木工程、机电工程建设项目的勘察、设计、咨询、施工、监理，绿色交通、智能交通的研发、应用、推广及销售等，综合施工能力超过 50 亿元，累计完成 3000 余公里高速公路及国省干线公路建设，地产园区开发总建筑面积近 400 万平方米，业务水平在山东省内长期处于领先地位。

（报道者：曹菁菁）

践行“万企帮万村”企业责任，助推乡村振兴齐奔小康

——公司帮扶清远市回正村亮灯工程建设

全面实施乡村振兴战略是党中央做出的重大决策部署。为响应党中央的战略决策，践行公司“至诚至善，求实创新”的核心价值观，公司积极响应清远市委和市交通运输局《清远市推进“万企帮万村”行动助力乡村振兴战略实施方案》文件精神，主动参与到清远乡村振兴的大潮中，努力践行企业饮水思源、反哺乡村的社会责任和光荣使命。为此，公司第二设计分院主动与清远市当地政府联系沟通，实地了解当地政府和村民民生需求，最终确定与清远市山塘镇回正村结对帮扶，爱心资助该村安装村道路灯工程。

回正村位于清远市清新区山塘镇北部，距离清新城区 9 公里，共有 910 户 4083 人。经实地考察，以前的回正村是“溪涨清风拂面，月落繁星满天”，但目前与回正村村民生产生活和安全出行息息相关的主村道缺少路灯，晚上道路昏暗难行，安装路灯成为了村民们最期盼解决的现实问题。为此，公司发动员工筹集 20 万元资金支持回正村主村道路灯建设。该项工程于今年国庆前完成了路灯安装并已投入使用。这项亮灯工程方便了回正村 4000 多名村民的日常生产和生活，点亮了村民内心的幸福感和安全感，得到了当地村民的认可和赞誉，助力回正村的“脱贫致富，乡村振兴”之路越走越宽，越走越敞亮。

此次精准扶贫帮扶工作，充分体现了公司强烈的社会责任感和企业担当。公司将继续践行“创造精品，服务社会”的企业使命和“至诚至善，求实创新”的核心价值观，持续与山塘镇回正村开展结对帮扶工作，村企结对，同心合力，共同谱写“万企帮万村”行动的精彩华章，为党中央全面实施乡村振兴战略贡献粤交院的力量。

（报道者：王 同）

全封闭钢混组合箱梁整体吊装纵隔板配置研究

孙　颖
（广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州 510507）

摘　要：以某新建钢混组合梁斜拉桥为例，分析了在整体吊装工况下全封闭钢混组合箱梁中设置纵隔板对桥面板受力的影响，同时对比了不同形式的纵隔板对桥面板受力和吊装拼接时错口效应的影响。设置纵隔板可有效减小钢箱梁板件拼接时的错口效应，桁架式纵隔板加劲效果与开口率为 0.414 的实腹式纵隔板相当。

关键词：全封闭钢混组合箱梁；整体吊装；纵隔板；开口率；错口效应

1　引言

斜拉桥采用钢混组合箱梁时，桥面板受力为单向板，组合箱梁整体刚度大，成桥阶段从设计角度出发可不设纵隔板[2]，但从施工角度看，纵隔板的设置需要考虑施工吊装方式。裴岷山[3]对宽幅扁平钢箱梁设置纵隔板的作用进行了分析，认为纵隔板可提高钢箱梁的整体刚度，改善悬拼时钢箱截面的相对变形。对比钢箱梁，组合箱梁采用节段整体吊装主梁时，重量比钢箱量大得多，同时需要限制桥面板的拉应力避免开裂，应力方面较钢箱梁宽容度小，纵隔板的设置仍有必要。为进一步验证纵隔板在整体吊装对组合箱梁的加劲作用，本文对某钢混组合斜拉桥施工过程中主梁整体吊装进行实体建模分析计算，承吊主梁截取大桥主梁两个拉索间节段，分析在整体吊装下组合箱梁设置纵隔板的必要性，以及纵隔板的结构形式对整体受力的影响。

2　工程概况

某新建钢混组合梁斜拉桥跨径组合为 147.5 +296 + 147.5 m，主梁采用全封闭钢混组合箱梁，其标准断面梁高 3.5 m，其中砼桥面板等厚 28 cm。断面全宽 37.5 m，其中砼桥面板宽 35 m。钢箱梁顶板厚 20 mm，底板厚 12 mm，斜底板厚 16 mm，底板处 U 肋厚 8 mm。拉索处横隔板厚 16 mm，一般横隔板厚 12 mm，拉索处纵隔板厚 32 mm，纵隔板的纵向加劲肋厚 28 mm。主梁截面如图 1 所示。

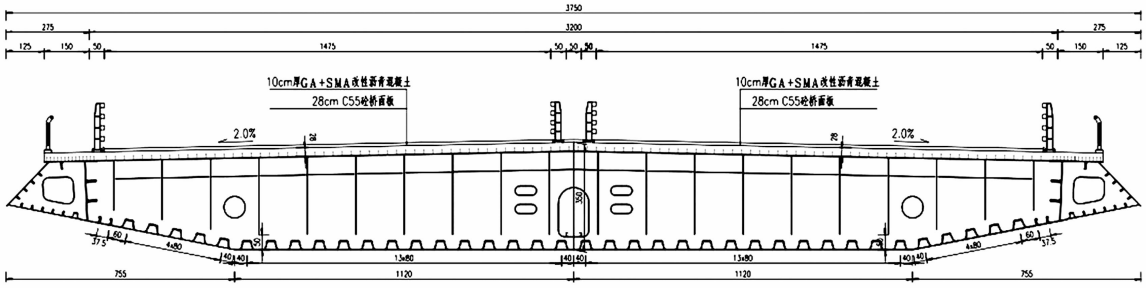


图 1　主梁横断面图

两个桥梁节段顺桥向共长 24 m，每个横隔板节段长 4 m，拉索横隔板纵向位置分别是 2 m 和 14 m。桥面吊机采用两台吊重 500 t 的吊机，吊机横向间距 21.6 m，一台吊机有前支点 4 个，后锚点一个，前后支点间距 16 m，分别作用在纵向 2 m 和 18 m 的横隔板位置处。主梁节段及吊机

平面布置如图 2 所示。

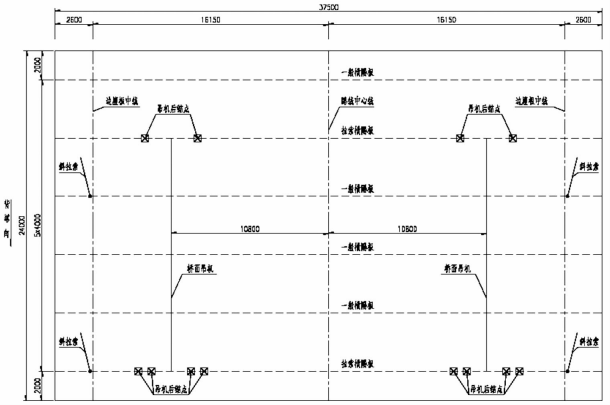


图 2　主梁节段及吊机平面布置

3　有限元模型建立

实体模型通过通用有限元软件 ANSYS 建立，承吊主梁截取大桥主梁两个拉索间节段，长度为 24 m。其中钢板采用 SHELL63 板单元模拟，砼采用 SOLID65 块单元，钢板与砼桥面板通过约束方程连接模拟剪力钉。整体模型如图 3 所示：

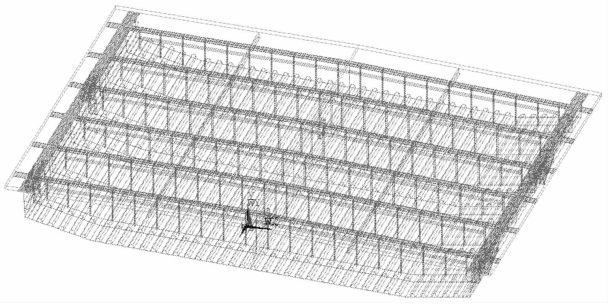


图 3　有限元计算模型

模型考虑结构自重，桥面板预应力及两个节段的拉索力。

起吊梁段自重 4 550 kN，并在计算中考虑 0.2 的吊装动力系数。桥面吊机自重合计 198 t，经计算，每个前支点的竖向压力为 1 313.9 kN，每个后支点的竖向拉力为 767.8 kN，以节点力的形式施加于模型相应位置。

4　纵隔板设置位置对整体受力的影响

纵隔板暂定为采用 V 撑的桁架式，将箱室分为单箱双室（单纵隔板）和单箱三室（双纵隔板）两个方案，与无纵隔板的方案进行对比。

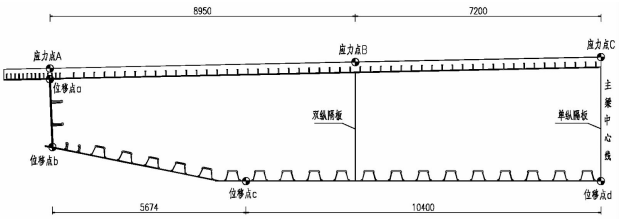


图 4　应力和位移读取点

如图 4 所示，计算选取桥面板三个应力点（应力点 A、B、C）观察桥面板顶缘纵向应力。

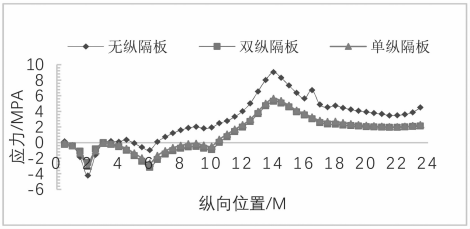


图 5　A 点应力图

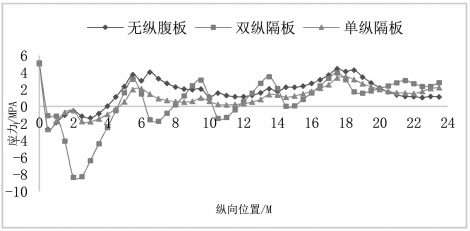


图 6　B 点应力图

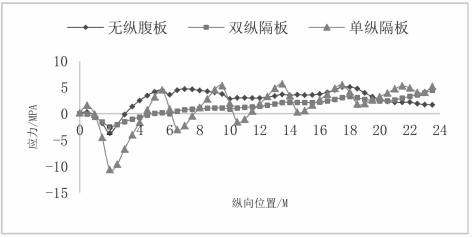


图 7　C 点应力图

由图 5 可以看出，无纵隔板的主梁边腹板处桥面板顶缘拉应力水平较大，在拉索处应力水平达到峰值，而增加纵隔板后，拉应力均有显著减小，其中峰值最大降幅达 40%。可见纵隔板的设置起到了横隔板受力的分配梁作用，使各横隔板的受力趋于均匀，从而减少了边腹板顶缘桥面板的拉应力，单纵隔板和双纵隔板作用区别不大。

从图 6 和图 7 中砼桥面板顶面的应力可见，与无纵隔板的工况相比，桥面板顶面板拉应力，在设置纵隔板后拉应力峰值未有改善，但拉应力在对应横隔板位置附近的桥面板顶缘出现应力的急剧

变化,拉应力峰值范围很小,属于局部应力集中,分析认为这是因为纵隔板的角点受力引起后,详见本文后续分析。

同时,分别读取桁架式纵隔板 V 撑的杆件受力,单纵隔板和双纵隔板杆件承受的最大压力分别为 1 990 kN 和 1 450 kN,从杆件强度和稳定方面看,单纵隔板杆件尺寸要求更高,节点板设计较复杂。

5　纵隔板形式对整体受力的影响

主梁箱梁横断面的畸变,可通过设置横隔板的方式进行控制,对于采用整体吊装的斜拉桥主梁,桥面吊机支点引桥的主梁纵断面箱室的畸变不能忽略,与主梁横隔板类似,控制主梁梁纵断面箱室的畸变也可采用设置纵隔板的形式加以控制。目前纵隔板的形式有实腹式和桁架式两种,纵隔板形式对整体受力的影响实际体现在纵隔板的刚度上。对于采用双纵隔板的单箱三室的断面,参考日本公路钢桥设计指南[1]关于横隔板刚度的计算公式,对比桁架式和不同挖空率的实腹式纵隔板的刚度与纵隔板的最小刚度之比。

表 1　纵隔板刚度对比

工况	桁架式	实腹式(开口率)			
		0.315	0.414	0.531	0.646
刚度比	3.845	3.25	1.145	0.618	0.363

由表 1 的数据可见,桁架式纵隔板刚度最大,实腹式纵隔板的刚度随开口率的增大而减小,满足纵隔板最小刚度的实腹式纵隔板开口率为 0.414。

对比桁架式和不同开口率的实腹式纵隔板,同样考察图 4 中桥面板三个应力点(应力点 A、B、C)的桥面板顶缘纵向应力,可以看出:(1)A 点应力在桥面吊机的前支点范围不敏感,在后支点范围有所区别,刨除主梁在背塔向端部约束边界的影响,在后一拉索隔板处的桥面板应力差值在 1 MPa以内,影响较小;(2)B 点位于纵隔板位置的桥面板顶缘,在横隔板的两侧出现应力的急剧变化,拉压应力交替,说明纵隔板斜对角受力,起到了防止横隔板之间箱室畸变的作用,这一点从实腹式纵隔板主应力流可以看出(图 11)。另外,由图 9 可以看出,随纵隔板刚度的增大,B 点应力幅值越小,桁架式与开口率 0.414 的实腹式纵隔板应力水平相当,实腹式纵隔板开口率大于 0.414 后,应力幅值增大明显;(3)C 点应力各种形式的纵隔板应力幅值差别不大,均在 1 MPa 以内。

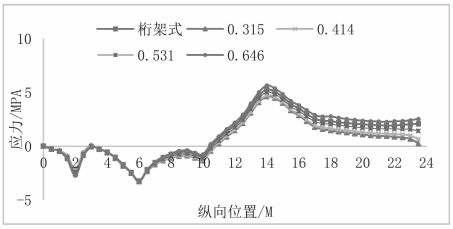


图 8　A 点应力图

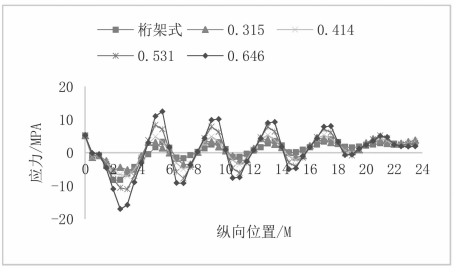


图 9　B 点应力图

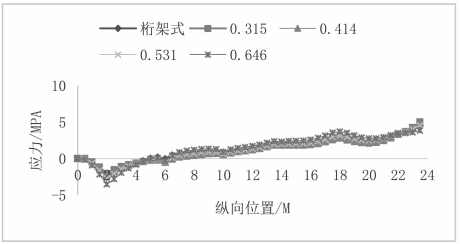


图 10　C 点应力图

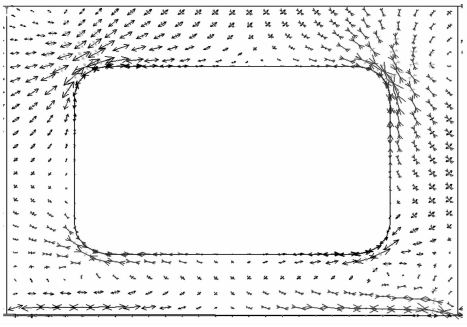


图 11　实腹式纵隔板主应力流

6　纵隔板形式对悬拼接口相对位移的影响

整体吊装主梁时,起吊节段主梁在自重作用下截面向上拱曲,而承吊主梁受桥面吊机前支点

压力、起吊主梁重力和自身重量截面向下挠曲，箱梁截面拼接时经常发生箱梁断面钢板错口效应而影响焊接质量，对于自重较大组合箱梁来说更值得关注。为此，计算选取图 3 中边腹板两个位移点（a、b 点）观察横向位移，底板两个位移点（c、d 点）观察竖向位移。

表 2　纵隔板位移点位移对比（单位：mm）

工况	a 点横向	b 点横向	a－b	c 点竖向	d 点竖向	c－d
起吊节段	－0.07	0.06	－0.13	0.66	－0.50	1.16
无纵隔板	3.16	－7.32	10.48	－4.82	－26.56	21.74
单实腹纵隔板	0.45	－4.11	4.56	18.57	16.21	2.36
单桁架纵隔板	0.81	－5.48	6.30	10.51	9.71	0.81
双实腹纵隔板	1.28	－3.67	4.94	18.24	9.23	9.02
双桁架纵隔板	0.63	－4.72	5.35	14.67	2.65	12.02

注：实腹式纵隔板开口率为 0.414。

由表 2 可见，起吊节段边腹板横向相对变位 0.13 mm，底板竖向相对变位为 1.16 mm，基本可以忽略，因此主梁拼接中的错口效应关键在于承吊主梁的截面相对变位。设置纵隔板后，承吊主梁的边腹板和底板的相对位移较无纵隔板的工况均减小 50% 以上。对于边腹板横向相对变位来说，单或双纵隔板相当，均在 4～6 mm 之间，实腹式要稍好于桁架式。对于底板的竖向相对变位来说，单纵隔板主梁相对变位很小，而双纵隔板最大有 10 mm 的相对变位，因拼接过程中先焊接边腹板后拉索卸载，该变位可以恢复，在此仅作为参考。从纵隔板的形式来看，实腹式较桁架式的刚度更大，相对变位更小一些。

7　总结

（1）组合箱梁采用整体吊装工法时，设置纵隔板可有效降低混凝土桥面板的应力水平，尤其可以削弱边腹板拉索位置桥面板顶缘的应力集中效应；

（2）单纵隔板受力较双纵隔板大，杆件尺寸大且节点设计难度较高；实腹式纵隔板刚度随开口率增大而减弱，桁架式纵隔板加劲效果与开口率为 0.414 的实腹式纵隔板相当，而钢材可减少 20% 以上，因此建议采用双桁架式纵隔板；

（3）设置纵隔板可有效减小钢箱梁板件拼接时的错口效应，提高主梁对接时的钢板焊接质量。

参考文献：

[1] 吴冲. 现代钢桥（上册）[M]，人民交通出版社，2006.

[2] 邵长宇. 索承式组合结构桥梁[M]. 人民交通出版社股份有限公司，2017.

[3] 裴岷山，郝超. 宽幅扁平钢箱梁设置纵隔板的作用分析[J]. 公路，2001，11(11)，74－77.

[4] 刘新华. 计入边箱约束刚度的斜拉桥主梁索区横隔梁简化计算方法，中外公路，2017(5).

[5] 宁立. 斜拉桥扁平钢箱梁混合有限元分析[J]. 中外公路，2009(05).

[6] 彭元诚，刘新华. 大跨度混合式叠合梁斜拉桥设计特色与关键技术[J]. 中外公路，2017(2).

[7] Pei Minshan，Hao Chao. Analysis of Effect on Longitudinal Space Plate in Wide Flat Steel Box Girder[J]. High Way，0451－0712(2001)11－0074－04 (in Chinese).

大潮高速公路某边坡病害稳定性分析研究

张修杰,邓阐述
(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

摘　要: 路基高边坡的失稳破坏主要表现为路堤边坡及路堑边坡的滑塌。导致路基边坡失稳破坏的原因主要有自然因素和人为因素两个方面。本文通过对大埔至潮州高速公路第七标 K47 +500 路堑右侧边坡滑坡进行检测,并对边坡位移侧桩累计位移、深部位移等监测结果进行了分析,给出了合理的支护方案,为类似地质条件下高边坡支护提供参考。

关键词: 滑坡;支护;稳定分析;位移监测

1　引言

路基高边坡的失稳破坏主要表现为路堤边坡及路堑边坡的滑塌[1-4]。导致路基边坡失稳破坏的原因主要有自然因素和人为因素两个方面。为了确保公路路基高边坡的稳定性,在施工的时候需要采取一些防护措施,常见的有工程防护、生态防护、冲刷防护等,但是在实际施工的时候,会因为施工难度大、地质条件复杂等问题而导致工程质量不合格,防护效果差[5-10]。因此,必须结合现场的实际情况,采取有效的防护措施,而且要注重对周边环境的保护,确保公路建设的可持续发展[11-16]。

本文通过对大埔至潮州高速公路第七标段 K47 +500 路堑右侧边坡滑坡进行检测,并对边坡位移侧桩累计位移、深部位移等监测结果进行了分析,给出了在类似地质条件下高边坡的支护方案。

2　工程地质概况

2.1　工程概况

大埔至潮州高速公路第七标 K47 +500 路堑右侧边坡滑坡,长约 130 m,最大坡高约 35 m,线路走向约 150°,边坡倾向 65°,开挖坡面揭露为坡残积粉质粘土,表层夹块石,地表见大量滚石,直径 0.5 ~500 cm 不等,路堑顶地形较缓,两侧为自然冲沟,种植茶树、荔枝等经济作物,植被发育。如图 1 所示。

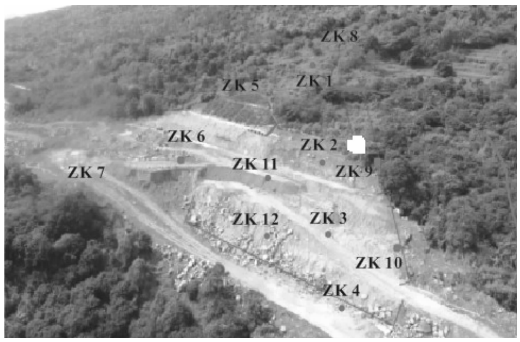


图 1　K47 +500 路堑右侧边坡滑坡及钻孔布置图

2.2　工程地质概况

滑坡所在山体地貌单元为丘陵,地形起伏较大,滑坡体地面标高约 121.0 ~ 154.0 m。山体植被发育,生长荔枝及各种灌木、蕨类植物,山体高差达约 33 m,边坡后山体自然坡度约 12°,地形较缓。ZK1、ZK3 和 ZK4 钻孔表明,区内地质构造主要为饶平 ~ 大埔 ~ 松源断裂带,断层破碎带内岩芯破碎,石英脉充填,局部混入花岗岩质矿物,有被挤压破坏。饶平 – 大埔 – 松原断裂构造带主要影响主线 K20 – K47 里程区间,部分隐伏状通过,表现形式为基岩破碎或者存在构造碎裂岩。附近岩体较破碎,对滑坡体有一定影响。

根据野外地质调查,该路段地层为第四系坡残积粉质粘土;基底由侏罗系熔结凝灰岩及其风化层组成,个别钻孔揭露燕山期花岗岩,见区域地质图。表层崩坡积土较厚,最大厚度约 17 m,坡积层夹块石,块石成分主要为熔结凝灰岩,坡积层下有厚度不均匀的熔结凝灰岩残积土。

大埔、饶平常年雨水充沛,无霜期长,春季潮

湿,阴雨日多;初夏气温回升,冷暖多变,常有暴雨,盛夏虽高温而少酷暑,常受台风袭击;秋季凉爽干燥,天气晴朗,气温下降明显;冬无严寒,但有短期寒冷。年日照 2 000 ~ 2 500 小时,日照最短为 3 月份。年降雨量 1 300 ~ 1 800 mm,多集中在 4 ~ 9 月份。年平均气温 21℃ ~ 22℃,最低气温在 0℃以上;最高气温 36℃ ~ 40℃,多出现于 7 月中旬至 8 月初受太平洋副热带高压控制期间。区内气候较温和,雨量充沛,山体范围内地下水类型为第四系松散层潜水及基岩裂隙水,松散层潜水主要分布在第四系坡残积粉质粘土中,赋水量一般 ~ 较少,小里程端雨季地表汇水较大,干旱一段时间后水消失。

3　滑坡概述

3.1　病害特征

本滑坡主滑方向为 87°,前缘高程约 120.1 m,后缘高程 154.5 m,相对高差 34 m。滑坡纵向长约 139 m,从 K47 + 400、K47 + 430 处剪出。前部宽约 130 m,后缘宽约 60 m,中部宽约 100 m,圈定的滑坡体面积约 8 858 m^2。滑体最大厚度约 23.0 m,平均厚度约 15 m,滑坡总方量约 13.287 万 m^3,属中型滑坡。

本段山体滑坡主要为牵引式中型土体滑坡,后缘出现明显裂缝,左、右周界出现明显裂缝。2019 年 3 月 25 日发现后缘及周界裂缝宽度约 20 ~ 30 cm,深度约 50 cm,2019 年 3 月 30 日发现后缘及周界裂缝宽度约 40 ~ 60 cm,深度约 170 cm,有加剧变形破坏的趋势,未见前缘剪出口。其各部分变形特征如下:

(1)滑坡后缘

滑坡后缘位于 K47 + 450 右 117 m,位于堑顶往右 50 m,后缘出现明显张开裂隙,宽度 0.4 cm 左右,2019 年 3 月 30 日发现后缘及周界裂缝宽度增加到 40 ~ 60 cm,深度约 170 cm,如图 2 所示。

(2)滑坡左、右周界

滑坡左、右周界见明显剪切裂隙,如图 3 所示。

图 2　滑坡后缘滑坡壁

图 3　滑坡右周界剪切裂缝

(3)滑坡剪出口

剪出口位于 K47 + 400、K47 + 430 处,滑面镜面擦痕明显,滑面厚度约 8 mm,如图 4 所示。

图 4　剪出口裂缝

(4)滑坡周界外区域

对滑坡周界以外 100 ~ 200 m 进行了详细地质调绘,结合现有资料分析,滑坡体后缘周界 50 m 外,地表未见裂隙,整体处于稳定状态。

据调绘及钻探揭示,ZK2、ZK3、ZK4 位于滑坡坡体范围,主要岩性上部为崩坡残积熔结凝灰

岩，地表分布大量块石、滚石，土层孔隙比较大，土体松散。崩坡积粉质粘土厚约 8.50～11.0 m，坡积土厚度较厚，局部夹块石。一般情况下，在滑坡范围内进行钻探时，出现以下两种情况，有可能是滑动面或滑动带的位置：钻探过程中出现钻进加快、塌孔及漏水等异常位置；岩芯土体松散、层位变化、粘性土含量较高，含水量明显偏高等位置。

本滑坡滑动面的确定，除了考虑以上钻探过程中变化情况外，还综合考虑地层分布发育情况、联合滑坡周界特征、地面及深度变形观测综合判定。

钻孔 ZK2 在勘探过程中，深度在 8m 处全孔漏水漏浆，泥浆在靠沟一侧水沟流出，推断该层为滑面；钻孔 ZK3 在成孔后下测斜管时，在深度 8.5 m 处卡管，推断该层为滑面；ZK3 号钻孔在 12.5 m 处见镜面擦痕，可推断为滑面。

该滑坡滑床主要为黄褐色、灰黄色全风化熔结凝灰岩。

3.2　滑坡监测

一般情况下，在滑坡范围内进行钻探时，出现以下两种情况，有可能是滑动面或滑动带的位置：钻探过程中出现钻进加快、塌孔及漏水等异常位置；岩芯土体松散、层位变化、粘性土含量较高，含水量明显偏高等位置。本滑坡滑动面的确定，除了考虑以上钻探过程中变化情况外，还综合考虑地层分布发育情况、联合滑坡周界特征、地面及深度变形观测综合判定。

钻探过程中在 ZK3 号钻孔在 12.5 m 处见镜面擦痕，以镜面可推断为滑面。加之 ZK3 号钻孔测斜管在 12.5 m 处被剪断，后续再修复 ZK3 号监测孔时增加 ZK12 号，从 ZK3 和 ZK12 的监测资料分析，可以进一步印证 12.5 m 为滑动面。综合 ZK3 和 ZK12 的监测资料分析，可以进一步印证该两孔位处 15.5 m 为滑动面。ZK9 号钻孔测斜管在 15.5 m 处被剪断，后增加 ZK14 号钻孔做监测，从两者的监测资料分析，可以进一步印证 15.5 m 为滑动面。

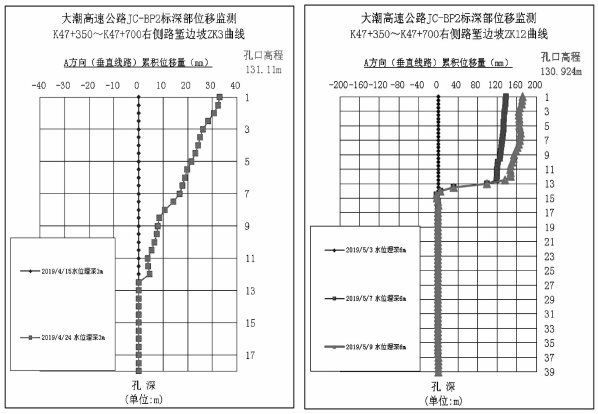


图 5　ZK3 号测斜孔在剪断后，补充 ZK12 号，同样在 12.5 m 左右被剪断

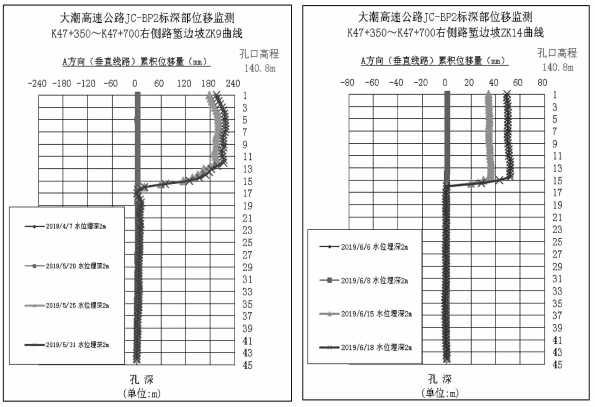


图 6　ZK9 号测斜孔被剪断后，补充 ZK14 号，同样在 15.5 m 处（标高 125.3 m）变形突变

4　稳定性计算

4.1　定性分析

滑坡形成后，对滑坡进行了多次踏勘调查，滑坡破裂缘的台阶仍在缓慢下沉、下降，仍处于变形发展中。截止 2019 年 5 月底，根据监测数据，有的深层位移观测点仍处在蠕动状态，滑坡仍处于缓慢变形的不稳定状态。

除了已形成的贯通滑坡 K47＋400 剖面外，随着雨季的进行，K47＋515 右侧四级坡顶新产生了裂缝，处于蠕动变形阶段。

4.2　极限平衡法定量分析

（1）1－1 工程地质剖面（K47＋400 剖面）

根据地质调绘、钻孔地质、以及各断面深孔位移监测结果，推测存在滑动面 1 条，主要位于

K47 + 400 断面,以下以 1 - 1′工程地质剖面(K47 + 400 断面)为例,对滑坡滑动面凝聚力、内摩擦角进行反演计算,在目前工况下,滑坡处于缓慢变形的不稳定状态,取稳定系数为 0.98,主要分为下滑段 1、下滑段 2、反倾段三个滑段,各滑段滑面凝聚力、内摩擦角反算结果如下表。

根据工程的重要性及《公路路基设计规范》(JTG D30 - 2004)的规定,安全系数暴雨工况下为 1.20,采用理正软件按简化 Bishop 法对折线滑动的 1 - 1′剖面进行下滑力计算,结果如下表。

(2)新发生裂隙 K47 + 515 三至四级坡剖面

K47 + 515 右 77 m,沿四级坡坡顶纵向新产生了裂缝,缝宽约 5 mm,延伸长度大于 5 m,该裂缝的产生,说明坡面处于蠕动变形,暂未见明显的剪出口,稳定系数取 1.01。通过对坡面的详细调绘、结合岩土层进行分析,预判剪出口位于三级坡坡脚、或二级坡面(目前开挖标高),滑面可能为圆弧形滑动、折线、或折线 + 圆弧 3 中情况。

表 1　滑动面各滑段反算参数

滑面编号	安全系数 K	反算参数结果			参数选取		
		下滑段 1	下滑段 2	反倾段	下滑段 1	下滑段 2	反倾段
滑面	0.99	C = 7 kPa ϕ = 9°	C = 7 kPa ϕ = 9°	C = 8 kPa ϕ = 11°	C = 7 kPa ϕ = 9°	C = 7 kPa ϕ = 9°	C = 8 kPa ϕ = 11°

表 2　下滑力计算成果

滑面编号	安全系数 K	反算参数结果			剩余下滑力
		下滑段 1	下滑段 2	反倾段	
滑面	0.95	C = 7 kPa ϕ = 9°	C = 7 kPa ϕ = 9°	C = 8 kPa ϕ = 11°	1 461.34 kN/m

备注:反压 4 m 后不考虑后缘推移延伸滑面剩余下滑力。

表 3　圆弧滑面反算参数

工况	条块号	重度/(kN/m³)	面积/m²	重量/kN	长度/m	倾角/(°)	内聚力/kN	内摩擦角/(°)	下滑力/(kN/m)	累积下滑力/(kN/m)	抗滑力/(kN/m)	累积抗滑力/(kN/m)	传递系数	稳定系数	备注
自重 + 暴雨	1	19.00	2.81	53.39	1.87	58.00	10.20	13.50	45.28	45.28	25.82	25.82			
	2	19.00	2.03	38.52	1.63	51.00	10.20	13.50	29.94	73.55	22.45	47.31	0.96	0.64	
	3	19.00	2.78	52.77	1.59	45.00	10.20	13.50	37.32	108.62	25.18	71.04	0.97	0.65	
	4	19.00	3.12	59.23	1.47	40.00	10.20	13.50	38.07	144.01	25.84	95.12	0.98	0.66	
	5	19.00	3.84	72.91	1.62	34.00	10.20	13.50	40.77	180.38	31.04	123.25	0.97	0.68	
	6	19.00	3.68	69.87	1.51	28.00	10.20	13.50	32.80	207.67	30.21	149.70	0.97	0.72	
	7	19.00	3.62	68.83	1.58	22.00	10.20	13.50	25.78	227.10	31.39	176.51	0.97	0.78	
	8	19.00	3.29	62.56	1.74	16.00	10.20	13.50	17.24	237.40	32.18	203.29	0.97	0.86	
	9	19.00	1.92	36.48	1.53	10.00	10.20	13.50	6.33	236.48	24.23	221.31	0.97	0.94	
	10	19.00	0.68	12.97	1.52	4.00	10.20	13.50	0.90	230.15	18.61	233.15	0.97	1.01	

表 4　折线滑面反算参数

工况	条块号	重度/(kN/m³)	面积/m²	重量/kN	长度/m	倾角/(°)	内聚力/kN	内摩擦角/(°)	下滑力/(kN/m)	累积下滑力/(kN/m)	抗滑力/(kN/m)	累积抗滑力/(kN/m)	传递系数	稳定系数	备注
自重+暴雨	1	19.00	2.64	50.23	4.60	75.00	0.00	35.00	48.52	48.52	9.10	9.10			
	2	19.00	13.22	251.13	3.56	30.00	10.00	11.50	125.56	152.89	79.80	84.92	0.56	0.56	
	3	19.00	13.64	259.21	3.92	30.00	10.00	11.50	129.60	282.50	84.87	169.80	1.00	0.60	
	4	19.00	11.53	219.12	3.55	30.00	10.00	11.50	109.56	392.05	74.11	243.90	1.00	0.62	
	5	19.00	13.36	253.84	4.27	30.00	10.00	11.50	126.92	518.97	87.38	331.28	1.00	0.64	
	6	19.00	20.33	386.27	4.98	8.00	11.50	13.50	53.76	488.27	149.05	426.41	0.84	0.87	
	7	19.00	7.10	134.81	4.66	8.00	11.50	13.50	18.76	507.03	85.58	511.99	1.00	1.01	

表 5　折线 + 圆弧滑面反算参数

工况	条块号	重度/(kN/m³)	面积/m²	重量/kN	长度/m	倾角/(°)	内聚力/kN	内摩擦角/(°)	下滑力/(kN/m)	累积下滑力/(kN/m)	抗滑力/(kN/m)	累积抗滑力/(kN/m)	传递系数	稳定系数	备注
自重+暴雨	1	19.00	2.64	50.16	4.60	75.00	0.00	35.00	48.45	48.45	9.09	9.09			
	2	19.00	11.47	217.93	3.37	45.00	9.50	11.00	154.10	191.35	61.97	68.96	0.77	0.36	
	3	19.00	19.39	368.41	4.74	45.00	9.50	11.00	260.51	451.86	95.67	164.63	1.00	0.36	
	4	19.00	17.13	325.47	3.17	31.00	11.50	13.50	167.63	579.82	103.43	253.61	0.91	0.44	
	5	19.00	16.57	314.83	3.07	22.00	11.50	13.50	117.94	668.84	105.39	346.34	0.95	0.52	
	6	19.00	13.80	262.20	2.64	14.00	11.50	13.50	63.43	703.42	91.44	422.84	0.96	0.60	
	7	19.00	18.79	357.01	3.32	6.00	11.50	13.50	37.32	710.39	123.42	528.02	0.96	0.74	
	8	19.00	11.46	217.74	2.99	-2.00	13.50	16.00	-7.60	667.52	102.76	604.57	0.95	0.91	
	9	19.00	3.32	63.08	2.65	-10.00	13.50	16.00	-10.95	623.44	53.59	628.15	0.95	1.01	

①圆弧滑动

推测剪出口位于三级坡坡脚,可能的滑动形态为圆弧滑动。根据滑带滑动面反算的结果,c 值 10.2 kPa,ϕ 值 13.5°。

②圆弧滑动

推测剪出口位于二级坡面(目前开挖标高),滑面可能为折线滑动。根据滑带滑动面反算的结果,主要(中部)下滑段 c 值 10.0 kPa,ϕ 值 11.5°,下部下滑段 c 值 11.5 kPa,ϕ 值 13.5°。

③圆弧滑动

推测剪出口位于二级坡面(目前开挖标高),滑面可能为折线 + 圆弧滑动。

通过计算分析,主滑动面 c 值 7 kPa,ϕ 值 9°,与新发生裂隙滑面 c 值 10 ~ 11.5 kPa,ϕ 值 11.5 ~ 13.5°,相差较大,原因是:主滑动面在滑动之前受地质构造(如破碎带、贯通不利结构面、或结构面充填石膏、高岭土等易滑物质)、差异风化、地下水等长期软化等因素影响,存在着软弱面,若坡面开挖卸荷,应力松弛而未能及时支护,

则软弱面将会贯通剪出而形成了滑坡,故反算的 c、ϕ 值较低;而 K47 + 515 右侧二至四级坡新发生裂缝,为坡体松弛蠕动变形、滑坡形成的前期,贯通的软弱结构面尚未形成,故反算出的 c、ϕ 值和试验的饱和抗剪强度统计值较为接近。

5　病害原因分析

地质构造:本段线路与区域内饶平 ~ 大埔 ~ 松源断裂带平行,见区域地质构造图。受构造次级断裂影响,对右侧边坡影响较大。其中 ZK1、ZK2、ZK4 钻孔揭露断层破碎带,见石英脉发育,局部见花岗质物质与熔结凝灰岩混合,岩体破碎。

地层岩性:构成坡体的岩层上部主要为崩坡残积粉质粘土,厚度较厚。

雨水的作用:根据地质调绘,浅部崩坡积块石较多,加之近期降雨较大,地表滚石层为降雨入渗提供了良好通道。

人类工程活动:坡体未开挖之前,处于稳定状态,当进行路堑开挖后形成了临空面,即破坏了原来坡体平衡条件,对坡体产生拉裂。

坡体地形起伏较大,滑坡段发育在坡体低矮段,自然地形较平缓,呈侧向滑动,坡度 10 ~ 12°,自然坡面孤石较多,地表汇水面积大,地表径流条件差,地表水容易下渗,下伏残积及风化层长期受水浸泡易形成软弱带。滑坡段地层结构较软、松散,残积层厚度变化较大,差异风化强烈,边坡开挖卸荷后,边坡松弛变形较大。地下水位随强降雨的急剧抬升,水位变化较大,水压力增加影响显著,降低边坡稳定性。在这些因素综合作用下,形成了滑坡地质灾害。

综上所述,该路段山体滑坡的形成是地质构造、地层岩性及路堑开挖作用的结果。总体属于崩坡残积土的滑体结构松散,当在一定的条件下,如路堑边坡的开挖破坏了原来山体的平衡条件,当滑体下滑力大于滑面的粘阻力时,就开始逐渐形成了滑坡,滑坡总体处于拉裂蠕动状态。

6　结论

通过利用“资料收集与利用、工程地质及水文地质调绘、钻探、原位测试、水文观测、室内试验”等综合研究方法,本文基本确定了滑动面的位置,地质资料符合部颁规范要求,满足加固设计的需要。根据滑坡周界、形态及变形特征综合判定,滑坡运移方式为牵引式,滑体最大厚度约 23.0 m,平均厚度约 15 m,滑坡总方量约 13.287 万 m^3,属中型滑坡。通过本次研究并进行综合分析,基本查明了滑坡产生的原因。滑坡体结构松散;主要外因是路堑开挖破坏了原坡体的平衡条件,为滑坡滑动提供了凌空面。

为防止雨水下渗对滑坡产生进一步破坏,建议先对坡体裂缝进行填塞、破裂缘之外 3 ~ 5m 采取排水天沟截水排水,同时对下方左侧坡脚进行反压。路线右侧主滑坡体路段建议采用路堑埋入式抗滑桩 + 反压 + 锚索的综合治理方法;建议采用锚索对边坡进行加固处理,并进行持续监测,如有变形再根据监测成果进行相应处理。应采取有效的边坡防护和综合排水防水措施,可以设置排水盲沟、盲洞等方式。坡面锚索根据稳定性计算,按需采用。根据钻探工程中的异常情况,结合滑坡周界进行综合分析,建议对滑坡进行长期观测,以准确分析滑坡变形的趋势,为变形破坏提供预警,为滑坡治理提供准确的数据。加强监测及巡查工作,发现新增裂缝及时封闭防止雨水渗入加剧路堑边坡滑坡病害。

参考文献:

[1] 林凯明, 高婷, 范俊瑛,等. 公路路基高边坡稳定性及工程对策研究[J]. 甘肃科技, 2010, 26(22):137 - 138.

[2] 庞乾华. 公路路基高边坡影响因素及防护措施[J]. 西部交通科技, 2018, 135(10):71 - 73.

[3] 甘露, 李良. 公路路基高边坡锚杆防护技术实践[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(1):97 - 98.

[4] 苏勉. 路基高边坡稳定性与加固措施探讨[J]. 江西

建材，2014(8):206 – 206.
[5] 张红日，王桂尧，兰素恋，等. 坡顶建筑与顺层软岩共同作用的滑坡机制及抢险处治研究[J]. 中外公路，2018，38(2)：25 – 30.
[6] 孔金玲，杨笑天，赵之胜，等. 基于 RIA/JavaScript 技术的高速公路滑坡监测预警系统[J]. 公路交通科技，2016，33(10)：44 – 52.
[7] 李晓旭. 高速公路隧道洞口滑坡稳定性分析及治理研究[J]. 公路，2017，62(12)：292 – 295.
[8] 韦生根，罗筠. 贵州晴兴高速公路 K30 路基边坡滑坡分析与治理[J]. 公路，2016，61(5)：47 – 50.
[9] 陈祥军，汤劲松. 用 FLAC^ 3D 进行马崖高边坡稳定性分析[J]. 石家庄铁道学院学报，2002，15(3)：76 – 79.
[10] 黄润秋. 岩石高边坡发育的动力过程及其稳定性控制[J]. 岩石力学与工程学报，2008，27(8)：1525 – 1544.
[11] 陈玲玲，陈敏中，钱胜国. 岩质陡高边坡地震动力稳定分析[J]. 长江科学院院报，2004，21(1)：33 – 35.
[12] 舒大强，何蕴龙. 岩质高边坡开挖爆破震动荷载及其对边坡稳定性影响的研究[J]. 工程爆破，1996，2(4)：39 – 43.
[13] 杨金旺，陈媛，张林，等. 基于地质力学模型试验综合法的顺层岩质高边坡稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报，2018，37(1)：131 – 140.
[14] 刘瑞懿，肖碧，李洪斌，等. 某岩质高边坡稳定性分析及预应力锚索加固设计[J]. 人民长江，2016，47(21)：77.
[15] 狄宇天，杨晓华. 基于 Midas – GTS 的某高边坡稳定性分析及加固措施研究[J]. 公路交通科技（应用技术版），2016 (5)：37.
[16] 叶帅华，时轶磊. 降雨入渗条件下多级黄土高边坡稳定性分析[J]. 工程地质学报，2018，26(6)：1648 – 1656.

玄武岩纤维沥青混凝土优选及疲劳寿命预估

吕耀华

（广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州 510507）

摘　要： 通过熵权法加权的灰靶理论，对 6 组不同长度、掺量的玄武岩纤维沥青混凝土路用性能进行综合评价分析，得到最优玄武岩纤维长度及掺量；对其最优组进行疲劳试验，以劲度模量及荷载作用次数为参数，建立 BP 神经网络模型。结果表明：经过玄武岩纤维改性的沥青混凝土其各项路用性能均得到提高，其中掺加 0.3% 的 6 mm 玄武岩纤维后，沥青混凝土路用性能综合评价最高；采用 BP 神经网络模型进行玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命预测可得到较为准确的结果，最大误差小于 1%，相比之下 Levenberg - Marquardt 训练算法收敛速度较快，泛化能力好，且误差平方和明显低于其他两种算法，最大相对误差为 0.064% ~0.485%。

关键词： 玄武岩纤维沥青混凝土；熵权法；灰靶理论；BP 神经网络；寿命预估

0　引言

玄武岩纤维由于其高强度、高模量、耐高温、耐老化及良好的稳定性成为沥青混合料优良的外掺材料[1-2]，目前对于沥青混凝土中掺加玄武岩纤维后的路用及疲劳性能已存在大量研究。玄武岩纤维应用于沥青混凝土的最初目的是抑制其裂缝的产生及扩展，Sim 等[3]在旧路面上应用了玄武岩纤维，发现其对沥青混合料抗裂性能具有良好的改善效果；Lee S J[4]从细观及宏观角度对玄武岩纤维沥青混凝土进行研究，发现玄武岩纤维的加入可以同时提高沥青混凝土的抗裂能力及路面性能；郭寅川、覃潇等人[5-7]发现不同玄武岩纤维类型对沥青的吸附能力有较大的不同，掺入玄武岩纤维后，沥青胶浆的抗裂性能增强显著，其极限拉力可提高 4.5 倍，高温流变性亦有较大的提高；在路用性能方面，吉林大学文月皎[8]及大连交通大学徐刚[9]等人研究了短切玄武岩纤维对沥青混合料的影响，发现玄武岩纤维的加入明显改善了沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等路用性能，其对高温稳定性的改善效果最为显著，相比普通沥青混合料可提高 40% 左右；陈建荣[10]研究发现短切玄武岩纤维可改善沥青混合料的疲劳性能，增加其耐久性；张伟喜[11]研究表明掺加纤维的沥青混合料相比之下受外力的影响较小，纤维能够明显改善沥青混合料抵抗外力的能力；周航研究发现玄武岩纤维沥青混合料具有较好的自愈和能力，其自愈和性能相比基质沥青提高了 67%，相比 SBS 改性沥青可提高 400%。

总体而言，玄武岩纤维能够明显改善沥青混合料的路用性能及疲劳性能，郭寅川、覃潇及许珊珊等人[5-7,13]发现，玄武岩纤维的长度、掺量均对沥青胶浆的粘结性及混合料的路用性能及疲劳性能有较大的影响，然而目前研究多在于玄武岩纤维沥青混凝土试验研究和分析变化规律，对材性特征优选的数学分析不深入，同时寿命预估相关研究尚且不足。基于此，本研究通过对加入不同长度、掺量玄武岩纤维的沥青混凝土的路用性能进行试验，采用熵权法进行加权，利用灰靶决策理论综合评价分析动稳定度、最大弯拉应变、残留稳定度、冻融劈裂抗拉强度等路用性能指标，优选出基于路用性能的最优玄武岩纤维长度及掺量，并对最优组进行疲劳性能试验，以劲度模量及荷载作用次数为参数，利用 BP 神经网络模型进行玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命预估，BP 神经网络通过训练

能够准确模拟参数指标之间的隐形规律,并依靠遗传迭代,使优化结果更为精确。研究结果将对实际工程的施工及寿命预测提供依据。

1　试验

1.1　原材料

本试验选用 SBS 改性沥青,其各项性能指标见表 1 所示。粗集料选用玄武岩碎石,细集料选用石灰岩碎石,矿粉选用磨细石灰岩。试验选用 SMA－13 骨架密实型级配,集料级配见表 2 所示。玄武岩纤维为浙江海宁安捷公司所产,其各项技术指标如表 3 所示。

表 1　SBS 改性沥青性能指标

指标		单位	试验结果
针入度(25℃)		0.1 mm	44.5
延度(5℃)		cm	31.5
软化点		℃	87.0
密度(25℃)		g/cm^3	1.033
弹性恢复(25℃)		%	85.2
旋转粘度(135℃)		Pa·s	2.4
闪点		℃	315.0
离析,48h 软化点差		℃	2.2
薄膜加热	针入度比,不大于	%	74
老化试验	残留延度(5℃,5cm/min)	cm	21
(163℃,5h)	质量损失,不大于	%	0.5

表 2　集料级配

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	95.3	66.8	28.2	22.7	18.8	14.0	11.2	9.7	7.2

表 3　玄武岩纤维技术指标

指标	单位	参数
直径	μm	17
长度	mm	6、9
熔点	℃	1050
弹性模量	GPa	90
断裂伸长率	%	>3.2
抗拉强度	MPa	4000～4850

1.2　路用性能试验

本试验采用马歇尔设计方法进行配合比设计,确定最佳油石比为 5.8%,并对掺加 2 种长度 3 种掺量玄武岩纤维的 6 组试验组及 1 组无纤维对照组的沥青混凝土进行高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等性能测试。

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20－2011),高温稳定性试验采用轮碾法成型 300 mm×300 mm×50 mm 的试件,试验荷载为 0.7 MPa,试验温度为 60℃,试验时车辙板成型方向行走。低温抗裂性能试验按照规范成型车辙板试件,并切割成 250mm×35 mm×30 mm 的小梁试件,利用 MTS 进行试验,加载方式为单点加载,加载速率为 50 mm·min^{-1}。浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验均按照规范要求进行。

1.3　疲劳试验

为进一步研究不同应变水平下玄武岩纤维沥青混凝土的疲劳性能,本试验基于路用性能利用熵权法加权的灰靶决策选择最优组长度及掺量,并选择 600 με·m^{-1}、800 με·m^{-1}、1 000 με·m^{-1}三种应变水平,采用澳大利亚生产的 BFA 疲劳试验装置及 UTM 控制采集系统进行应变控制的四点弯曲疲劳试验。本试验由轮碾成型 400 mm×300 mm×70 mm 的沥青混凝土面板,并用双面切割锯将其切割成 380.0 mm×63.5 mm×50.0 mm 的小型梁式试件(如图 1 所示)。按照规范要求,试验温度设定为 15℃,采用偏正弦加载方式,加载频率为 10 Hz,以 50 次循环加载时的劲度模量作为初始劲度模量计算,并以 30% 初始劲度模量值所对应的循环次数作为疲劳寿命的判定值,最大循环次数为 1 000 000 次。试验中每组均进行 3 次试验,取其平均值作为最终试验结果。

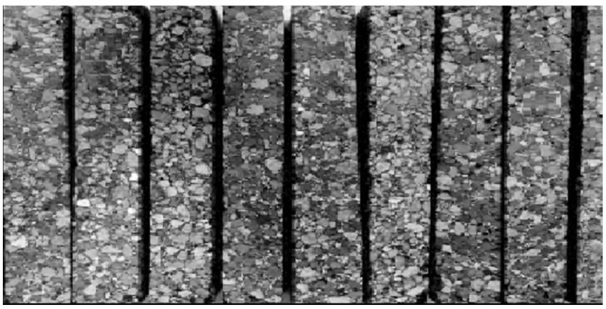


图 1　四点弯曲疲劳试验

2　结果分析

2.1　基于灰靶决策的纤维长度及掺量优选

路用性能试验结果分别见表 4 所示。

由表 4 可知，掺加玄武岩纤维后，沥青混凝土的路用性能均得到了较大的提高，但由于对于不同的路用性能指标，玄武岩纤维的长度及掺量的最优选择不同，因此本研究采用灰靶理论，以 2 种长度 3 种掺量组成 6 种模式，利用动稳定度、最大弯拉应变、残留稳定度、冻融劈裂抗拉强度比 4 种评价指标优选 6 种模式中的最优路用性能组。

表 4　不同长度、不同掺量下玄武岩纤维沥青混凝土路用性能试验结果

组别	纤维长度 /mm	纤维掺量 /%	动稳定度 /(次/mm)	最大弯拉应变 /(m·m^{-1})	残留稳定度 /%	冻融劈裂抗拉强度比/%
0#	0	0	6221	2530	88	80.8
1#	6	0.2	7674	2844	89.8	82.7
2#		0.3	8645	3158	91.4	88.9
3#		0.4	7956	3081	92.6	86.4
4#	9	0.2	7079	2753	90.9	84.5
5#		0.3	8493	2986	92.7	91.2
6#		0.4	7808	2864	94.5	89.4

(1)确定指标模式序列

令　W_i 为多极性指标序列，$W_i(k)$ 为模式 i 指标 k 的数据，$W(k)$ 为 k 的指标模式序列。

则　$W_i = [W_i(1), W_i(2), W_i(3), W_i(4),]$

$W_i(k) = [W_1(k), W_2(k), \cdots, W_6(k)]$

$i = 1, 2, \cdots, 6.$

$k = 1, 2, 3, 4.$

(2) 构建标准模式 W_0。对于沥青混凝土的动稳定度、最大弯拉应变、残留稳定度、冻融劈裂抗拉强度比四个指标均用极大值来确定。

$$W_0(k) = \max W_i(k) = \max[W_1(k), W_2(k), \cdots, W_6(k)]$$

因此可得标准模式：

$$W_0 = (W_0(1), W_0(2), W_0(3), W_0(4)) = (9645, 3158, 92.7, 91.4)$$

(3) 灰靶变换。

$$x_1(1) = \frac{\min[W_1(1), W_0(1)]}{\max[W_1(1), W_0(1)]} = \frac{\min[7274, 9645]}{\max[7274, 9645]} = 0.745$$

同理可得，

$x_1(2) = 0.901$，$x_1(3) = 0.980$，$x_1(4) = 0.960$

$x_2(1) = 1.000$，$x_2(2) = 1.000$，$x_2(3) = 0.986$，$x_2(4) = 0.984$

……

$x_6(1) = 0.781$，$x_6(2) = 0.907$，$x_6(3) = 1.000$，$x_6(4) = 1.000$

因此可得矩阵 X 为：

$$X = \begin{bmatrix} 0.888 & 0.901 & 0.950 & 0.907 \\ 1.000 & 1.000 & 0.967 & 0.975 \\ 0.920 & 0.976 & 0.980 & 0.947 \\ 0.819 & 0.872 & 0.962 & 0.927 \\ 0.982 & 0.946 & 0.981 & 1.000 \\ 0.903 & 0.907 & 1.000 & 0.980 \end{bmatrix}$$

(4) 确定灰色关联差异信息空间

令差异信息集元素为 $\Delta_i(k) = |1 - x_i(k)|$，因此可求得差异信息集 Δ 为：

$$\Delta = \begin{bmatrix} 0.112 & 0.099 & 0.050 & 0.093 \\ 0 & 0 & 0.033 & 0.025 \\ 0.080 & 0.024 & 0.020 & 0.053 \\ 0.181 & 0.128 & 0.038 & 0.073 \\ 0.018 & 0.054 & 0.019 & 0 \\ 0.087 & 0.093 & 0 & 0.020 \end{bmatrix}$$

其中，$\max\Delta_i(k) = 0.181$，$\min\Delta_i(k) = 0$。

（5）计算靶心系数

靶心系数计算公式为：

$$Y(x_0(k),x_i(k)) = \frac{\min\Delta_i(k) + 0.5\max\Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + 0.5\max\Delta_i(k)}。$$

由此可得出靶心系数组成的矩阵 Y 为：

$$Y = \begin{bmatrix} 0.447 & 0.478 & 0.644 & 0.493 \\ 1.000 & 1.000 & 0.733 & 0.784 \\ 0.531 & 0.790 & 0.819 & 0.631 \\ 0.333 & 0.414 & 0.704 & 0.554 \\ 0.834 & 0.626 & 0.826 & 1.000 \\ 0.510 & 0.493 & 1.000 & 0.819 \end{bmatrix}$$

（6）熵权法确定权重系数

本研究对各个指标的权重系数采用熵权法进行计算，计算方法为

$$f_k(i) = \frac{X_i(k)}{\sum_{i=1}^{6} X_i(k)},$$

$$H_k = -\frac{1}{\ln 6}\sum_{i=1}^{6} f_k(i)\ln f_k(i),$$

$$\alpha_k = \frac{1 - H_k}{\sum_{k=1}^{4}(1 - H_k)}$$

式中：$f_k(i)$ 为专家 i 对指标 k 的打分。

计算所得指标权重为：

α_k =（0.5217，0.2609，0.0435，0.1739）。

（7）靶心度计算

靶心度计算公式为：

$$Y(x_0,x_i) = \sum_{k=1}^{4} \alpha_k Y(x_0(k),x_i(k)),$$

因此可得，

$$Y(x_0,x_1) = \sum_{k=1}^{4} \alpha_k Y(x_0(k),x_1(k)) = 0.4717,$$

$Y(x_0,x_2)$ =0.9508，$Y(x_0,x_3)$ =0.6285，

$Y(x_0,x_4)$ =0.4087，$Y(x_0,x_5)$ =0.8083，

$Y(x_0,x_6)$ =0.5806。

因此可知长度为 6 mm 掺量为 0.3% 的 2#组玄武岩纤维沥青混凝土综合路用性能最优。

2.2　疲劳性能

综合路用性能最优组玄武岩纤维沥青混凝土在三种应变水平下的劲度模量如表 5 所示，三种应变水平下的四点弯曲疲劳试验结果如图 2 所示。

表 5　最优组玄武岩纤维沥青混凝土劲度模量

纤维长度（mm）	纤维掺量（%）	应变水平（μm · m^{-1}）	初始劲度模量（MPa）	终止劲度模量（MPa）
6	0.3	600	5973	1793
		800	5521	1654
		1000	5016	1518

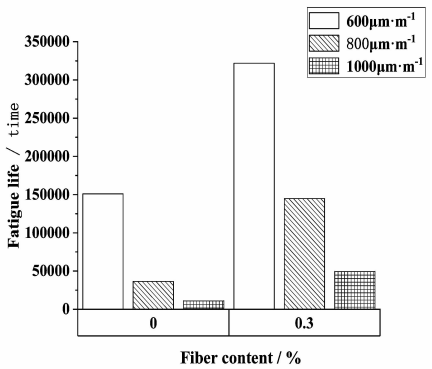


图 2　最优组玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命

由图 2 可知，长度为 6 mm 掺量为 0.3% 的玄武岩纤维加入后，对于 600 μm · m^{-1}、800 μm · m^{-1}、1 000 μm · m^{-1}三种应变水平下沥青混凝土的疲劳性能均得到了显著增强，相对于不掺纤维组分别提升了 113.13%、295.98%、342.12%。

分析原因在于，经过充分拌合，玄武岩纤维能够均匀分散，从而增大纤维与沥青及集料的搭接作用，再加上玄武岩纤维本身对沥青优良的吸附性能，使得沥青模厚度增加，同时使玄武岩纤维与沥青混合料形成更为坚固的空间网状结构，配合纤维的加筋作用，能够有效提高混合料的整体性，抑制裂缝的扩展，降低由于混合料疲劳损伤而导致的能效损耗，增强其疲劳性能。另一方面，由于玄武岩纤维使沥青混合料的柔性增加，同时纤维分散了部分应力，从而降低裂缝产生的可能性，增

强混合料的疲劳性能。

3　基于神经网络模型的疲劳寿命预估

3.1　神经网络模型建立

由于在不同应变水平下沥青混凝土疲劳损伤过程差异较大，固定函数模型难以准确预测疲劳寿命，因此本文采用具有高度自学习和自适应能力的 BP 神经网络模型进行疲劳寿命预估，当拥有足够多的隐含层节点，模型可以高精度拟合具有有限间断点的非线性函数（图 3 为具有一个隐含层的三层 BP 神经网络拓扑结构图）。图 3 中，T 为输入向量，对应沥青混凝土的劲度模量，P 为输出向量，对应沥青混凝土的疲劳加载次数（本文以劲度模量降低至 30% 时的疲劳次数做为判定标准），由经验公式 $J=\sqrt{m+n}+\alpha$（α 为 1 – 10 的常数）对隐含层节点数 J 进行设定，根据模型训练情况在 3 – 11 之间取值。

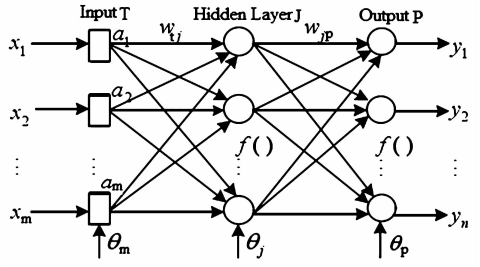


图 3　BP 神经网络拓扑结构图[14]

3.2　疲劳寿命神经网络模型分析

本文利用 Gradient Descent with Adaptive Learning Rate、Levenberg – Marquardt、Scaled Conjugate Gradient 三种训练算法及迭代次数、最大相对误差、误差平方和作为神经网络模型的预测性能评价指标对其进行优化并提高泛化能力。表 6 为不同训练算法对玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命的预测结果。可知，对于玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命，三种训练算法的预测结果具有一定的差异，但三种算法的最大误差均小于 1%，因此此三种算法对于玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命的预估均有较为准确的结果，相比之下 Levenberg – Marquardt 训练算法收敛速度最快，泛化能力最好，只需 31 ~ 82 次训练便可结束，且其误差平方和相对更低，最大相对误差仅为为 0.064% ~ 0.485%。由图 4 可知，实际值与预估值的误差基本服从标准正态分布，正负误差分布相当，且约 87.24% 的疲劳次数预估结果误差集中分布在为 – 200 ~ 200 次之间，约有 3.19% 的结果误差值大于 600 次，由此可见，此神经网络具有较小的预测误差及较高的预测准确度，利用其预估玄武岩纤维沥青混凝土的疲劳寿命得到的结果较为准确。

表 6　不同训练算法神经网络疲劳寿命预测结果

应变水平（$\mu m \cdot m^{-1}$）	评价指标	Gradient Descent with Adaptive Learning Rate	Levenberg – Marquardt	Scaled Conjugate Gradient
600	迭代次数（次）	3751	82	127
	R^2	0.99910	0.99875	0.99921
	最大相对误差（%）	0.075	0.064	0.071
	误差平方和	8.0485×10^4	6.0598×10^3	7.6859×10^4
	预测值（次）	309564	321824	315899
800	迭代次数（次）	2712	49	159
	R^2	0.99897	0.99726	0.9792
	最大相对误差（%）	0.91	0.275	0.76
	误差平方和	2.0125×10^6	2.7758×10^4	1.1254×10^6
	预测值（次）	141958	144729	144562
1000	迭代次数（次）	4095	31	113
	R^2	0.99951	0.99776	0.9869
	最大相对误差（%）	0.521	0.485	0.498
	误差平方和	3.19×10^6	7.4852×10^4	5.27×10^5
	预测值（次）	49013	49547	49245

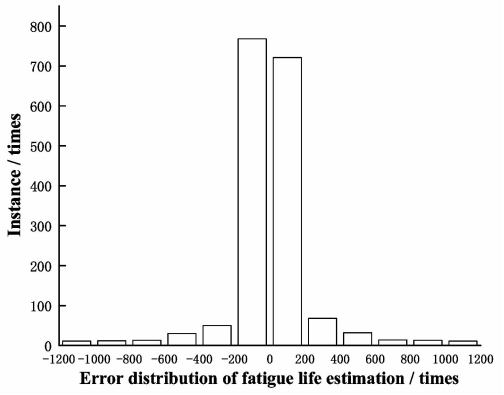


图 4　疲劳寿命预估误差分布

4　结论

（1）通过对掺加 2 种长度、3 种掺量玄武岩纤维的沥青混凝土路用性能进行试验，得到了动稳定度、最大弯拉应变、残留稳定度、冻融劈裂抗拉强度比 4 种评价指标，通过与基准对比，结果表明掺入玄武岩纤维后，沥青混凝土的各项路用性能均得到了较大提高，玄武岩纤维沥青混凝土路用性能良好。

（2）通过熵权法加权的灰靶理论对 6 组的路用性能综合评价计算，结果表明同等条件下掺加 0.3% 的 6 mm 玄武岩纤维后沥青混凝土的路用性能综合性能最好。

（3）通过对路用性能最优组及基准组进行四点弯曲疲劳试验，结果表明相对于无纤维组，玄武岩纤维组沥青混凝土的疲劳寿命显著增强，最大可提高 342.12%。

（4）采用 BP 神经网络模型对玄武岩纤维沥青混凝土疲劳寿命预测可得到较为准确的结果，最大误差小于 1%。相比之下 Levenberg－Marquardt 训练算法收敛速度最快，泛化能力最好，且其误差平方相对更低，最大相对误差仅为 0.064% ~ 0.485%。

参考文献：

[1] 韦佑坡，张争奇，司伟，李洪波. 玄武岩纤维在沥青混合料中的作用机理[J]. 长安大学学报（自然科学版），2012，32(02)：39－44.

[2] 张万磊，孙雪伟，唐建亚. SMA 矿物纤维用量比选与评价[J]. 现代交通技术，2006(01)：8－11.

[3] Jongsung Sim，Cheolwoo Park，Do Young Moon. Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures[J]. Composites Part B，2005，36(6).

[4] Lee S J，Rust J P，Hamouda H，et al. Fatigue cracking resistance of fiber－reinforced asphalt concrete[J]. Textile Res J，2005，75(2)：123.

[5] 郭寅川，李震南，申爱琴，覃潇，魏自玉. 玄武岩纤维沥青胶浆优化设计及机理分析[J]. 建筑材料学报，2018，21(01)：47－53.

[6] 覃潇，申爱琴，郭寅川. 基于关联性的玄武岩纤维沥青胶浆及其混合料性能研究[J]. 材料导报，2016，30(12)：124－128＋152.

[7] 覃潇，申爱琴，郭寅川. 玄武岩纤维沥青胶浆性能试验研究[J]. 建筑材料学报，2016，19(04)：659－664.

[8] 文月皎. 玄武岩纤维沥青混合料增强机理及路用性能研究[D]. 吉林大学，2017.

[9] 徐刚. 纤维沥青混合料增强机理及性能研究[D]. 大连交通大学，2012.

[10] 陈建荣，叶俊，吴逢春，童庆. 短切玄武岩纤维沥青混合料疲劳性能研究[J]. 公路，2013，58(11)：188－191.

[11] 张伟喜，党曼丽，张江威. 纤维增强 AC－16I 型沥青混合料疲劳性能试验研究[J]. 公路交通科技（应用技术版），2014，10(08)：132－134.

[12] 周航. 玄武岩纤维沥青混合料疲劳自愈合性能研究[D]. 内蒙古工业大学，2018.

[13] 许珊珊. 玄武岩纤维沥青胶浆性能及其界面粘结特性研究[D]. 扬州大学，2018.

[14] 申爱琴，喻沐阳，周笑寒，吕政桦，宋攀. 橡胶沥青混合料疲劳损伤及全周期寿命预估[J]. 建筑材料学报，2018，21(04)：620－625.

日本水泥搅拌桩强度变异性研究进展

周　震[1]，姜　钰[2]

（1. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州　510507；2. 中南大学土木工程学院，湖南长沙　410075）

摘　要： 水泥搅拌桩在日本已有近 60 年的发展历史，由于受原位土性质、搅拌效率及其它因素的影响，在同一根桩的不同位置也会有差异，而这种差异会影响水泥搅拌桩的整体性能。本文在广泛调研日本相关文献资料的基础上，对日本在水泥搅拌桩强度变异性的研究进展做一个介绍。对两种不同组分组成的四种水泥浆搅拌桩进行了无侧限压缩试验，结果表明：平均强度无法代表水泥搅拌桩的真实强度和压缩特性，搅拌桩混合物成分的空间变异性对承载特性有影响。

关键词： 水泥改良土；强度；无侧限压缩；实验室试验；有限元分析

1　引言

由于深层混合处理工法构筑的水泥改良体中存在强度上的误差，因此明确该误差对改良体的力学行为的影响，是构筑深层混合处理工法合理设计方法的重要课题。以水泥改良体为对象，进行了基于有限单元法分析的蒙特卡洛模拟试验（图 1），明确了强度的空间误差对改良体整体强度的影响[1,2]。然而到目前为止，从未有人做过强度分布对改良体整体强度的影响的试验。

在基于有限单元法分析的蒙特卡洛模拟试验中，因素尺寸的强度设置十分重要。Fenton-nand Vanmarcke（1991）在某个因素大小的概率采样法中，提出了局部平均细分的演算法[3]。在局部平均细分法中，即使因素尺寸有所变化，因素强度的平均值不会改变，且因素尺寸越大，因素强度的标准误差越小。虽然局部平均细分法广泛用于基于有限单元法分析的蒙特卡洛模拟试验中，但在该方法中即使因素尺寸发生变化，强度的平均值也不会改变，所以该方法对于水泥改良土这种在达到峰值应力后会出现应变软化现象的材料的强度研究是否适用，尚不清楚。

本研究的目的是研究由强度不同的部分构成的水泥改良试样的力学行为。对水泥改良试样进行了无侧限压缩试验，并使用基于有限单元法分析的蒙特卡洛模拟试验进行了解析。在无侧限压缩试验中，制作了由不同混合物构成的试样，研究强度分布对整体强度的影响。此外，通过试验结果和模拟试验的分析结果的比较，验证了有限单元法分析的可行性。

图 1　水泥土柱试样随机有限元分析，较暗的区域表示较强的部分

2　无侧限压缩试验

试验测试过程如下。由两套树脂玻璃板和钢板组成的沉箱模型被竖立在平台上，为了监测注浆情况，水箱底部也采用有机玻璃板制作。用砂砾（直径 200 mm）模拟真实地面的粗糙表面条件。水槽的两侧用沟盖加固，以防止水泥浆的破裂，其它两侧不加固。同时，通过不加沟槽盖的侧板测量了流动距离和填充高度。在排气口的上、下两侧分别安装两套自动监测仪表，用于检测灌装率和温度。在框架上安装一个灌

注管和四个水下泵，用于产生人工潮汐。注浆依次注入每个注浆孔，流动距离和流动梯度是通过对附在水箱内外的水垢进行目测来测量的。同时，通过自动监测系统进行自流平和偏析测量，并在水箱外进行目视测量。通过对可视化监测系统和自动监测系统的数据比较，对充填过程进行监测。

在室内制作由不同强度组分构成的试样，并进行了无侧限压缩试验，研究了不同强度的空间分布对应力—应变关系及强度的影响。本试验中试样的混合情况如图 1 所示。试样均由沙、高岭土、硅酸盐水泥、水等制作而成。将表 1 中的材料搅拌混合后，一边将其震动一边往圆筒模具中填充，在湿润状态下养护 7 天后进行试验。试样的尺寸为直径 50 mm，高 100 mm。混合物 1、混合物 2 的无侧限压缩强度 q_u 分别为 1.0 MPa、2.0 MPa 左右。

由不同强度混合物构成的试样的分布如图 2 所示，即改变了表 1 中所示的 2 种混合物的空间分布。把搅拌混合后的材料分隔开，并填充进设有隔板的圆筒模具中，之后撤掉隔板形成试样。各组中组成试样部分的 q_u 的平均值都为两种混合物的平均值 1.75 MPa。各分布情况均对 5 个试样进行试验。在进行无侧限压缩试验时，将试样端部用石膏进行密封。载荷速度定为 0.04 mm/min，荷重用负荷传感器测量，位移用外部位移计和局部位移计（LDT）进行测量。

由无侧限压缩试验得到的试样的应力—应变关系如图 3 所示。应变值由 LDT 的位移值算出，并可知各组试样的结果位于均质的试样混合物 1 和混合物 2 之间。另外，虽然各试样的构成部分的 q_u 的平均值相同，但因混合物 1 和混合物 2 的分布不同，应力—应变关系也不同。

各组无限侧压缩试验得到的最大应力值 σ_{max} 如图 4 所示。类型 1（上下强度不同）中，试样的性能由强度较低的混合物 1 的部分决定，σ_{max} 与混合物 1 的强度相近。类型 2（左右强度不同）中，由于载荷荷重分配给了混合物 1 和混合物 2 两部分，因此 σ_{max} 近似于混合物 1 与混合物 2 的平均值。类型 3 的 σ_{max} 为类型 1 与类型 2 的中间值，而类型 4 的 σ_{max} 的值稍大于类型 3。试验结果表明：虽然各组中构成试样的部分的 q_u 的平均值均为混合物 1 与混合物 2 的 q_u 的平均值，但因其分布情况不同，无限侧压缩试验得到的 σ_{max} 不同。

表 1　水泥改良土的混合比例

混合物	沙	高岭土	水泥	水
1	69.3%	5.0%	7.0%	18.7%
2	66.0%	4.8%	10.5%	18.7%

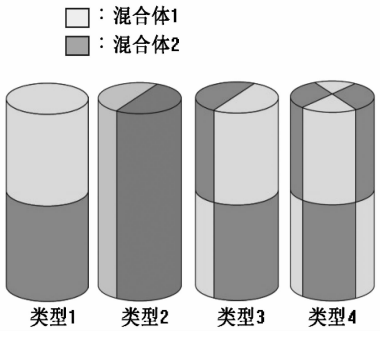


图 2　由两个不同部分组成的试样

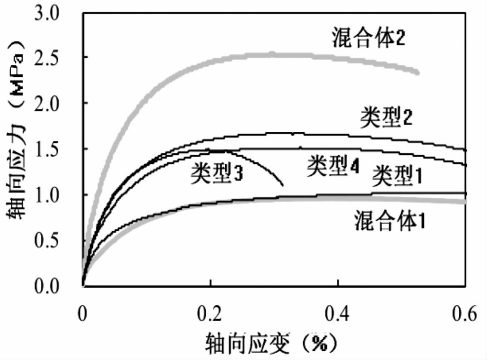


图 3　典型应力—应变关系

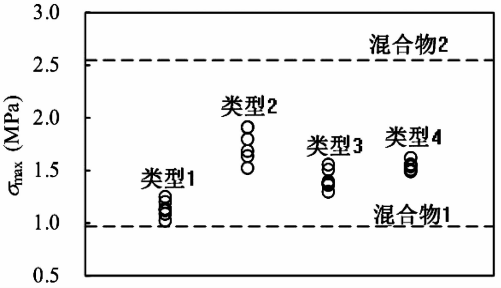


图 4　由两个不同部分组成试样的无侧限压缩强度

3　无侧限压缩试验的模拟分析

采用 FEM 分析（有限元分析）对无限侧压缩试验进行了模拟。本研究中采用了发明的弹塑性模型作为本构方程。从水泥改良土的拉伸到剪切等的变形破坏行为，都可用该弹塑性模型来表示。该弹塑性模型在通用 FEM 分析软件 IDINA 中以用户子程序的形式进行嵌入式分析。在非线性分析的计算中采用了高斯—牛顿法，其有限元网格如图 5 所示。试样表面以外的因素为边长 5 mm 的立方体。由于试验中密封了试样端部，因此试样端部的边界条件可以认为是近似于固定条件，将试样设置了两种边界条件，固定条件（Fixed）和无摩擦条件（Free），并进行了分析。

分析所用的材料参数如表 2 所示。在均质试样的无侧限压缩试验中得到的应力—应变关系中，应变等级为 10^{-4} 的初始刚度决定了弹性系数 E。抗剪角 ϕ 使用之前研究[4]中的 30 度，各混合物的 q_u 决定了粘聚力 C。假定拉伸强度 T_f 和断裂能 G_f 与 q_u 成正比，硬化参数 e_y 由均质试样的应力—应变关系决定。泊松比 v、硬化参数 α、剪切破坏后的软化参数 e_r、剪切破坏后的剪胀性系数 Dc、剪切宽度 t_{s0} 皆为之前研究[4]中所获得的值。特性长度 l_c 为立方体因素的边长。

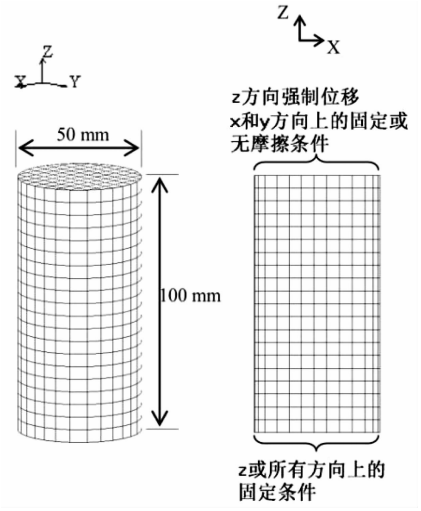


图 5　FEM 网格

表 2　FEM 分析中使用的材料参数

参数	混合物 1	混合物 2
弹性系数 E（MPa）	2250	3960
泊松比 v	0.167	0.167
抗剪角 ϕ（度）	30	30
粘聚力 c（MPa）	0.276	0.734
拉伸强度 T_f	0.215	0.572
硬化参数 α	1.05	1.05
硬化参数 e_y	0.00015	0.00015
断裂能 G_f	5.1	13.5
软化参数 e_r	0.4	0.4
剪胀性系数 Dc	−0.4	−0.4
剪切宽度 t_{s0}	0.6	0.6
立方体边长 l_c	5	5

4　无侧限压缩试验模拟的分析结果

均质试样的无侧限压缩试验的分析结果如图 6 和图 7 所示。在两混合物中，分析所得的应力—应变关系和试验结果都较好地呈现。此外，在均质试样模拟中，端部边界条件对分析结果的影响较小。

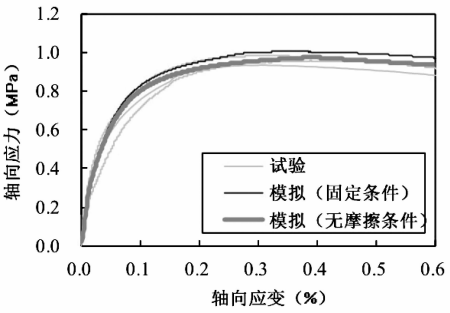


图 6　混合物 1 的应力—应变关系

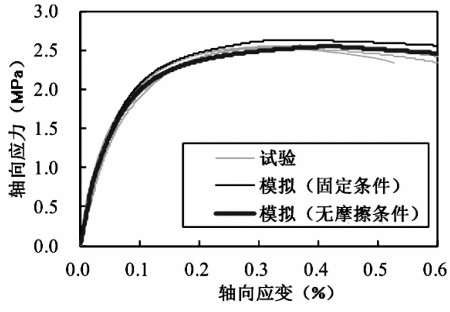


图 7　混合物 2 的应力—应变关系

各组试验和分析的应力—应变关系的比较如图 8 ~ 图 11 所示。在类型 1(上下强度不同)中,因试样端部的边界条件不同,分析结果也不同。和无摩擦条件相比,固定条件下由端部的约束效果产生的峰值强度变大,因此可以得知端部的约束条件对分析结果的影响较大。在类型 1 中,只有试样上半部的混合物出现了损坏,因此可以推断端部的约束条件的影响变大。此外,在类型 1 中试验结果在分析结果之间。在类型 2(左右强度不同)中,端部的约束条件对分析结果的影响变小。并且可以得知其分析结果是试验结果的平均结果。和类型 1 相同,类型 3 的分析结果会随试样端部的边界条件变化。并且试验结果在类型 1 和 2 的分析结果之间。

比较试验结果和分析结果可知:最大应力时的应变的大小不同。认为,在类型 3 中,设置在对角处的薄弱部分的斜方向上形成了单一的剪切破坏面,所以破坏速度较快,最大应力时的应变变小。在图 5 中,FEM 分析中被分割的网格很难表现出在斜方向上形成的面状破坏面的情况。因此,可以认为最大应力时的应变比试验结果大。类型 4 中,端部的限制约束条件对分析结果的影响小,分析结果与试验结果基本相同。

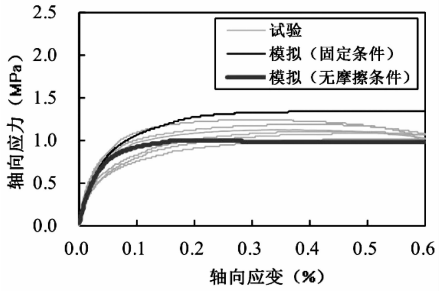


图 8　类型 1 的应力—应变关系

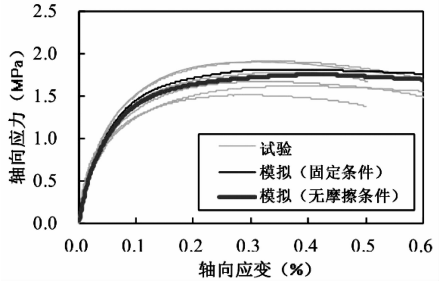


图 9　类型 2 的应力—应变关系

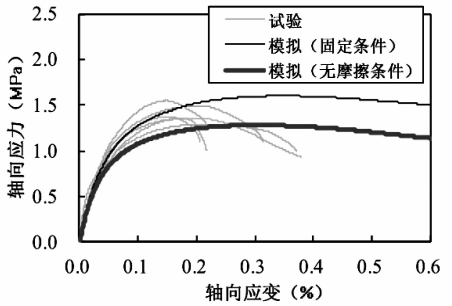


图 10　类型 3 的应力—应变关系

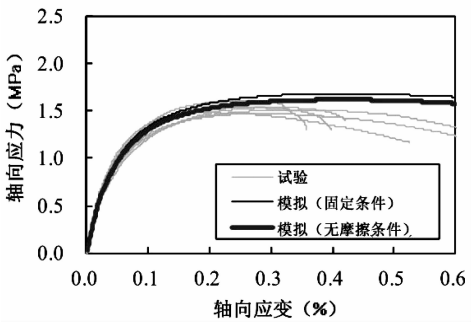


图 11　类型 4 的应力—应变关系

类型 1、2、4 的 FEM 分析和试验中的应力应变关系基本一致。虽然在类型 3 中发现了两者在最大应力时的应变差异,但如前所述,可以认为该差异是由于 FEM 分析中的网格划分造成的。

各组关于最大应力 σ_{max}(强度)的试验结果和分析结果的比较如图 12 所示。如前文所述,各组中构成试样的部分的 qu 的平均值都是混合物 1 和混合物 2 的平均值(1.75 MPa),但是由于其分布不同,通过无侧限压缩试验得到的 σ_{max} 是不同的。另外分析结果与试验结果基本一致,可知分析结果可以正确描述强度分布差异给 σ_{max} 带来的差异。

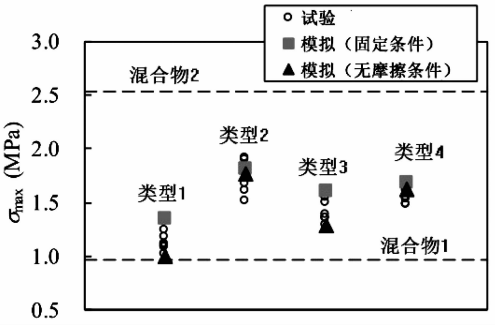


图 12　试验强度与模拟强度的比较

试样端部的边界条件给 σ_{max} 带来的影响在每组中不同，但各组中固定条件（Fixed）的 σ_{max} 都比无摩擦条件（Free）的 σ_{max} 大。试验结果大致位于两个条件的结果之间，这表明虽然实施了密封，但试验中的试样的端部边界并不是完全固定的条件。

5　结语

为了研究具有误差的水泥改良体的行为，对由不同强度构成的水泥改良试样进行了无侧限压缩试验。将平均强度设为相同，采用四种不同强度分布的试样进行试验，试验得到的最大应力（强度）会因强度分布不同而不同。该结果表明：水泥改良土的强度具有明显的空间变异性，其强度不能由构成部分的平均强度来表示。为了验证有限单元法解析的精度，对无侧限压缩试验进行了模拟分析。在最大应力（强度）下，试验结果与分析结果基本一致。

参考文献：

[1] T. Namikawa and J. Koseki, "Effect of spatial correlation on the compression behavior of a cement – treated column", Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE Vol. 139, No. 8, pp. 1346 – 1359 (2013).

[2] T. Namikawa, "Conditional probabilistic analysis of cement – treated soil column strength", International Journal of Geomechanics, ASCE, Vol. 16, No. 1, 0415021 (2016).

[3] G. A. Fenton and E. H. Vanmarcke, "Simulation of random fields via local average subdivision", Journal of Engineering Mechanics ASCE, Vol. 116, No. 8, pp. 1733 – 1749 (1990).

[4] T. Namikawa and S. Mihira, "Elasto – plastic model for cement – treated sand", International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 31, No. 1, pp. 71 – 107 (2007).

沿海低路堤高速公路大型排水蒸发池应用研究

陈　力[1]，黄蕾鸣[2]

（1. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州　510507；2. 广东省高速公路有限公司，广州　510100）

摘　要：广东湛江雷州半岛某高速公路地处华南沿海台风区，鉴于该地区降雨量和蒸发量较大、地势平缓、地表水系不发达、土源短缺且广泛分布玄武岩残积高液限土，采用对沿线景观破坏较小的低路堤方案。针对低路堤方案产生的部分涵洞排水困难的问题，在公路沿线设置超大型蒸发池，解决沿海低路堤高速公路线外排水困难的难题。所设计的蒸发池在“贝碧嘉”热带风暴期间排、蓄水效果良好，验证了其设计的合理性。

关键词：公路；高速公路；排水蒸发池；低路堤；沿海地区

1　工程概况

雷州半岛地处广东省湛江市，三面临海。某高速位于雷州半岛南部，全线以台地为主，间夹冲积平原或台间洼地，偶有低山丘陵。地形较平缓，起伏不大。属亚热带季风气候，年均温 22 ~ 23℃，降水量较充沛，但也是广东省陆地蒸发最高值区，且蒸发量和降水时空分布极不均匀，文献描述雷州半岛“十年九旱”。该项目沿线水系不发育，无天然河流，降雨多沿地表漫流，地表冲沟较少，遇台风或连续暴雨天气地表排水困难。地下水相对丰富，但地表水贫乏，农作物灌溉基本靠抽取地下水。另外，所在地区路基填土土源稀缺，广泛分布玄武岩残积土。

该项目路基借土方量较大，为了最大限度地减少对已有植被的大量开挖，节约土地资源，使公路很好融于周边自然环境，采用低路堤绿色公路方案。路基填方高度为 2 ~ 6 m，以减少路基外借填筑土方；优化路线平纵面设计，尽量压低路线纵断面高程，如下穿省道，以增加挖利用土方；合理调整桥梁长度，采用下穿铁路方案，不仅线形指标较好，更有利于与地方道路相接，且工程规模较小，造价较低（见表 1）。

由于采用了低路堤方案（大部分路堤填土高度约 4 m），为了保证涵洞和桥下改路净空要求，部分涵洞出水口或改路低于原地面 1 m 左右。产生的问题是雨水积在涵洞口排不出（见图 1、图 2），淤泥沉积在涵洞内阻碍村民出行，部分涵洞孔雨水冲毁道路、庄稼地，严重的浸泡主线路基，影响高速路基稳定性。原方案 200 ~ 400 m 左右的线外排水沟终点多为庄稼地或宅基地附近，自流排水方式无法实施。如何处理高速线外排水难题，是一个急需要解决的民生问题。

表 1　投资节省情况

工程名称	原设计方案	实际设计方案	节省投资（万元）	备注
省道段	上跨	下穿	6 000	减少桥梁长度 1 000 m
铁路段	上跨	下穿	6 000	减少桥梁长度 1 000 m
主线填方路堤	高路堤平均高约 7 m	低路堤平均高约 4 m	1 800	减少填筑土方 120 万 m^3
高液限土	改良	直接填筑	9 750	65 万 m^3

图 1　涵洞口积水排不出

图 2　某桥下改路积水

2　下挖式通道线外排水困难解决方案

2.1　沿线水系分布

该项目沿线范围地形较为平坦,降雨多沿地表漫流,地表冲沟较少,水系不发育,无天然河流,仅有 2 条人工修筑的灌溉渠,零星分布有小型沼泽地。遇到台风或连续暴雨天气,庄稼地被雨水冲毁、地方公路积水时有发生。地下水类型为松散岩类孔隙承压水,基岩裂隙水不丰富;地下水位局部埋藏较深,当地农民均通过打井抽取地下水到蓄水池,再通过滴灌系统抽水对农作物进行灌溉,通过现场调查发现公路沿线分布有大量人工挖的灌溉蓄水池和水井(见图 3)。

图 3　当地农民灌溉蓄水池图

2.2　下挖式通道排水方案比选

查阅相关文献,结合山东、河北、山西、陕西等省高速公路通道的调查结果,下挖型通道积水是北方平原区高速公路的常见问题,其解决方案有设置蒸发池、排水泵站、雨棚、渗井。各种方案的比较见表 2。针对雷州半岛沿海高速公路特点,拟定采用蒸发池方案。

表 2　主要排水方案比较表

方案	特点	适应性	高速案例
排水泵	常见城市下挖式隧道,配套排水泵房,抽水量大、速度快,但施工难度大,需专人管理	造价昂贵,后期养护管理难度较大,不适应于高速	无
雨棚	常见城市地下停车库,遮挡局部雨水的下挖进出口通道,占地少,施工简单	造价最低,无法满足雷州台风期间蓄排水要求,容易损坏维护难度大	无
渗井	地下水低、含水层渗透性好且埋深不超过 10 m 的通道,用地小,但施工、后期养护难度较大,污染地下水	造价昂贵,适用北方降雨量小于 600 mm 地区,无法满足雷州台风期间蓄排水要求	大广高速
蒸发池	排蓄水效果好,施工和养护简单,缺点是用地较大,需设计护栏设施	费用较低,后期管理维护简单,在北方高速已实施多年	西咸高速

2.3　雷州半岛蒸发池方案可行性分析

在北方干旱、半干旱地区,高速设计常遇到地势平缓、短距离找不到恰当排水出口的情况,通常在高速主线两侧红线外一定距离设置开敞式蒸发池,将汇集的雨水汇入蒸发池渗透和蒸发。蒸发池多为方斗形,采用浆砌片石建造。如西安至咸阳机场高速公路,禹闫高速公路,永寿至长武、凤翔路口高速公路沿线均设计有有蒸发池[6];呼和浩特至包

头高速在东兴互通式立交必须在立交圈内设置蒸发池;济南至青岛高速在下挖通道积水严重的地方设置散排蒸发池。

2.3.1　蒸发量

雷州半岛年平均降水量约 1 500 mm,大于 JTG D30 – 2015《公路路基设计规范》的相关要求(蒸发池排水方式可用于降雨量小于 400 mm、蒸发强度大、地下水位低的通道排水)。虽然该地区降雨量大,但其蒸发量也较高,年平均水面蒸发量为 1 100 mm。特别在夏季阳光充足,酷暑晴热,秋季天气干燥,沿海风大,为年内蒸发量的高峰期,最大年蒸发量为 1 312 mm,最小年蒸发量为 842 mm。且蒸发分布很不均匀,4 ~ 8 月蒸发量大、易出现干旱,是广东省陆地蒸发最高值区,有利于蒸发池中的水快速蒸发。

2.3.2　土壤渗透性

土壤渗透系数对蒸发池容积大小的影响较大,渗透系数越大,蒸发池的容积较小,比较经济。除北方特别干旱地区外,在南方广东地区设置蒸发池,在雨季特别台风影响期间其一个月的蒸发量通常小于汇入池中的降雨量,因此,仅仅靠蒸发耗散池中水分非常困难,修建蒸发池的条件除了气候干燥、地下水位低、蒸发大外,更重要的是土壤的渗透性要大。

雷州半岛土壤渗透性空间差异较大(0.04 ~ 8.83 m/d)。该项目位于半岛南部,沿线用地基本是桉树、苗圃、菜地、菠萝地,土壤渗透性较好,特别桉树地(0.12 m/d)、苗圃地(0.14 m/d)、菜地(0.28 m/d),有利于蒸发池中的水量能及时完成渗透。

2.3.3　经济性分析

选择该项目 K514 + 012、K515 + 300、K516 + 600 处 3 个蒸发池与原设计线外排水沟作经济性对比分析。即取消 4 条线外排水沟(合计长 666 m),变更为在涵洞口附近分别增设蒸发池,将涵洞出口水汇集到蒸发池中。通过比较,蒸发池方案的建安费比原线位排水沟方案减少约 2.68 万元,经济性可行(见表 3)。

表 3　蒸发池与排水沟造价对比

工程名称	主要工程量			差值(万元)
	挖土方(m^3)	M7.5 浆砌片石(m^3)	造价(元)	
4 条线外排水沟	2 154	1 384	50.594	–2.68
3 个蒸发池	12 980	998	47.910	

综上,在降水量、蒸发量较大的雷州半岛地区的低路堤高速公路外侧设置蒸发池的方案可行。

3　蒸发池设计

3.1　蒸发池容量计算

3.1.1　规范要求

根据 JTJ018 – 97《公路排水设计规范》和《公路低路堤设计指南》,蒸发池的容量以一个月内地表水汇入池中的水量能及时完成渗透和蒸发作为依据,每个池的容量不宜超过 200 m^3 ~ 300 m^3,蓄水深度不应大于 1.5 m ~ 2.0 m。JTG/T D33 – 2012《公路排水设计规范》中规定,蒸发池的容积应能满足及时完成渗透和蒸发的要求。

规范均只对蒸发池的设计作了简单 说明,对蒸发池容量的计算没有明确的方法。且 JTG/T D33 – 2012 去掉了一个月的规定,对蒸发池的大小和蓄水深度也没有限制要求。

3.1.2　容量计算案例

金继伟针对河南地区某高速,采用重现期为 15 年一遇连续 3 d 的最大降雨强度计算被交道路最大汇水量 Q[见式(1)]。渗透池最大汇水量需小于渗透池最大储水量 + 最大渗透水量,而蒸发量可忽略不计。

$$Q = S \cdot \gamma \tag{1}$$

式中:S 为汇水面积(m^2);γ 为 15 年一遇连续 3 d 最大降水量。

宋武生等针对吉林地区,分别采用式(2)、式(3)、式(4)计算 12、18 h 和 1、3、7、15、30 d 等时段的汇水径流总量、蒸发量以及下渗量。得出 3 d 时蒸发池面积最大。设计蒸发池面积 F_z 需满足 $Q_s \leqslant Q_Z + Q_Y + Q_C/2$ 的要求,暨留有一半空间的安全余量。

$$Q_S = q_s \cdot \psi \cdot F \tag{2}$$

式中:Q_S 为径流总量(m^3);q_s 为多年平均最大降雨量(mm);ψ 为径流系数(无量纲);F 为汇水面积(m^2)。

$$Q_Z = q_z \cdot F_Z \tag{3}$$

式中:为 Q_z 为蒸发池径流总量(m^3);q_z 为蒸发量(mm);F_z 为池口平面面积(m^2)。

$$Q_Y = K \cdot F_z \cdot J \cdot t \tag{4}$$

式中:Q_Y 为蒸发池中水的下渗量(m^3);K 为土的渗透系数(m/d);h_w 为水头高差(m);L 为渗流长度(m);J 为水力坡度,$J = h_w/L$;无量纲;t 为每个月的天数(d)。

上述两个案例均为北方地区,且蒸发池容积均在 400 m^3 左右,无法满足广东雷州半岛台风期间蓄、排水要求。

3.2　蒸发池设计示例

选取 K516 + 600 蒸发池、K515 + 300 蒸发池作为工程实例进行说明。雷州半岛南部 3 d 最大平均降雨量 q_s 均值为 220 mm;沥青混凝土路面径流系数 ψ 选用 0.95,路面外径流系数取均值 0.45;平均蒸发量为 1 186.8 mm/年,取蒸发量 q_z 为 99 mm/月[7];菜地选取渗透系数 K 为 0.28 m/d;蒸发池深度均为 3.0 m,蓄水深度为 1.5 m,水力坡度取值 J = 4。计算 3 日最大平均降雨量情况下蒸发池的容积。

(1) K516 + 600 蒸发池。该项目主线 K516 + 380 ~ K516 + 900 段长 520 m 填方路基排水困难。原设计公路右侧涵洞线外排水沟(长 140 m)、涵洞改路两侧排水边沟(长 539.6 m)均排到农民庄稼地(见图 4),即这两个涵洞的线外排水沟终点均找不到排水出口,故在涵洞附近增设一蒸发池(深 3 m,体积约 2 700 m^3,见图 5)。

(2) K515 + 300 蒸发池。该项目 K515 + 293 ~ K516 + 380 段长 1087 m 路基排水困难。原设计涵洞线外排水沟(长 68 m)终点周围几公里均为庄稼地,变更在涵洞口附近增设蒸发池(深 3 m,体积约 3 700 m^3,见图 6、图 7)。

图 4　K516 + 600 排水沟排水方案

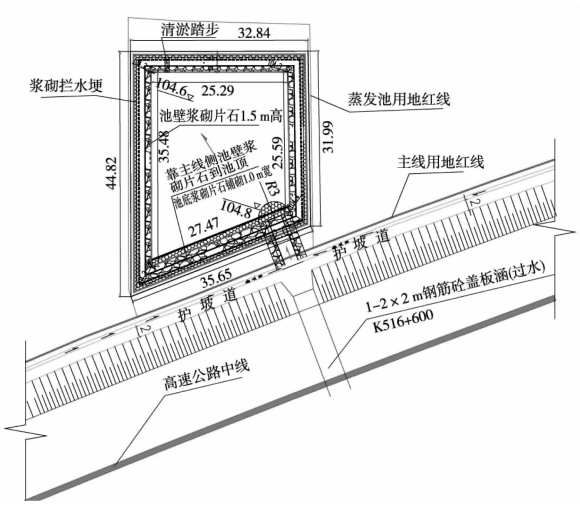


图 5　K516 + 600 蒸发池排水方案(2 700 m^3)

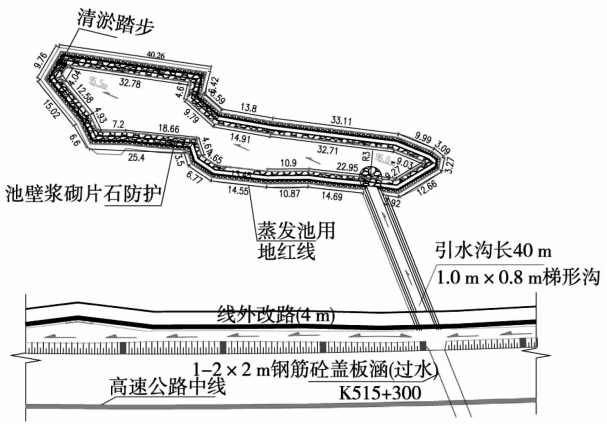


图 6　K515 + 300 蒸发池排水方案(3 700 m^3)

图 7　K515 +300 蒸发池航拍图

4　蒸发池效果

4.1　路堤稳定性

K514 +012 位置右侧设置一蒸发池(长约 97 m,宽约 37 m,深 3 m,体积约 6 500 m^3)。该段路基采用高液限土填筑,填土高度约 4.2 m,路堤边坡坡率 1∶1.5,蒸发池坡率 1∶0.75,坡脚到蒸发池距离 7 m。基本动峰值增加速度 0.2 g 地区浸水路堤应验算抗震稳定性,蓄水前后路堤稳定性安全系数计算结果见图 8、图 9,均满足规范要求。

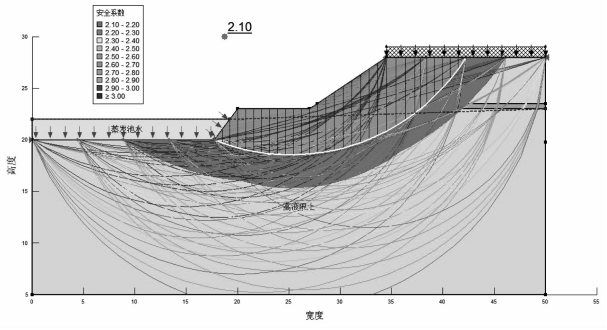


图 8　路堤安全系数云图(正常工况)

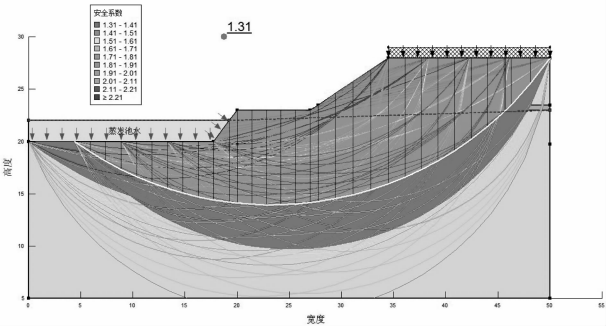


图 9　路堤安全系数云图(地震工况)

4.2　效果验证

2018 年第 16 号台风“贝碧嘉”先后 3 次登陆雷州沿海,中心附近最大风力 9 级(23 m/s),累计过程最大点降雨量海南高岭站 802 mm、广东江门扫管塘站 606 mm、广西涠洲岛站 249 mm,琼州海峡累计停航 96 h。受“贝碧嘉”风暴影响,雷州半岛连续近 2 周下雨,蒸发池排蓄水效果良好,蓄水深度约为 1.5 m 左右,还留有一半安全存量空间(见图 10、图 11),与拟定的蒸发池容积计算结果相符,验证了该项目蒸发池设计的合理性。

图 10　K514 +012 蒸发池(蓄水前)

图 11　K514 +012 蒸发池(贝碧嘉风暴蓄水后)

图 12　K515 +300 蒸发池(蓄水前)

图 13　K515 +300 蒸发池(贝碧嘉风暴蓄水后)

5　结论

(1)依据雷州半岛地形特点和气候条件,通过路线线形优化、调整桥梁长度、采用低路堤方案,减少了占地面积和工程投资,最大限度地减少了对沿

海自然景观的破坏,实现了资源节约、生态环保的绿色公路设计理念。

(2)针对低路堤方案导致部分涵洞口、桥下改路积水的问题,在年平均降水量大(1 500 mm)、蒸发量大(1 100 mm)的雷州半岛地区,采用在高速公路路基外侧设置大型线外排水蒸发池(最大体积约 6 500 m^3)解决低路堤公路线外排水的难题。

(3)雷州半岛南部大部分是桉树、菜地、菠萝地,土壤渗透性较好(池中水消散主要靠渗透进入地下,蒸发量较小),有利于蒸发池中的水量能及时完成渗透;另外,该区域地下水位较深,蒸发池中的水能快速下渗。经过对比分析,将长距离(一般大于 200 m)线外排水沟变更为蒸发池具有一定的经济优势,在雷州半岛高速公路外侧设置大型排水蒸发池可行。

参考文献:

[1] 黄湛军. 绿色公路在广梧高速公路中的设计实践[J]. 中外公路,2018,(4)

[2] 张胜华. 雷州半岛地表水与地下水联合利用浅析[J]. 广西水利水电,2016,(1)

[3] 张先伟,孔令伟,臧濛. 雷州半岛玄武岩残积土的工程地质特性研究[J]. 岩土工程学报,2014,(5)

[4] 吴健,江兴旺,李刚,张协. 下挖型通道排水方案的探讨[J]. 中外公路,2011,(2)

[5] 张洪亮,王秉纲,张春雷,郝华玺. 平原区低路堤高速公路排水系统研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2010,(2)

[6] 仇佩华. 高速公路蒸发池设计改革模式[J]. 水土保持通报,2006,(2)

[7] 肖仕鼎,黄其叙,陈红宏. 湛江市水文特征[J]. 广东水利水电,2008,(2)

[8] 梁冬梅,赵新锋,陈建耀,黎坤. 雷州半岛土壤渗透性及其与地下水补给关系[J]. 热带地理,2016,36(6)

[9] JTG/TD33 – 2012. 公路排水设计规范[S]

[10] 金继伟. 平原区高速公路通道排水系统研究及应用[J]. 交通标准化,2012,(9)

[11] 宋武生,刘忠雨. 新规范下蒸发池面积计算方法研究[J]. 北方交通,2014,(S2)

[12] 2018 年 8 月全国汛情、旱情、灾情[J]. 中国防汛抗旱,2018,(9)

[13] JTG/D30 – 2015 公路路基设计规范[S].

2020 桥隧发展科技创新大会暨桥隧创新成果展报道

2020 年 11 月 14 日，由《桥梁》杂志社、国际桥梁及结构工程协会（IABSE）中国团组国际结构控制与监测学会（IASCM）、国际桥梁抗震协会（IABEE）、国际拱桥大会永久性学术委员会（PSC－iCAB）、东亚－太平洋结构工程及施工会议国际学术委员会（EASEC－ISC）主办的 2020 桥隧发展科技创新大会暨桥隧创新成果展在西安召开。会议分为不同会场，有多位业内专家分别主持，来自全国多个省份的代表参加会议。

此次交流会探讨了桥梁与隧道创新发展、大跨径拱桥、桥隧结构智能监测与检测、桥梁抗震与防灾减灾、长大桥隧工程养护与管理、桥隧钢结构创新设计与智能制造等关键技术，并举行了“2019－2020 年度十大桥梁人物”颁奖仪式及 2020 桥隧产业技术及产品科技创新成果发布会暨第五届桥隧技术及产品创新大赛。

14 日上午的开幕式，陈湘生院士、邓文中院士分别就地下空间数字化智能建造、两千米级跨度大桥做了精彩的报告，冯夏庭院士分享了深埋隧道围岩破坏过程与控制的心得、林鸣针对漂浮技术在国内外的应用进行了介绍及展望。（内容详见 PPT）。

14 日下午及 15 日上午，举行了“2019－2020 年度十大桥梁人物”颁奖仪式及 2020 桥隧产业技术及产品科技创新成果发布会。获得“2019－2020 年度十大桥梁人物”荣誉称号的专家围绕各自领域的桥梁工作和心得作了精彩的报告。

15 日下午分为大跨径拱桥建设与技术、桥隧结构智能监测与检测技术、桥梁抗震与防灾减灾技术、长大桥隧工程养护与管理、桥隧钢结构创新设计与智能制造五个不同的分论坛，五个领域的大师、专家分别针对该领域的技术创新及行业动态进行了汇报交流，现场座无虚席。其中，四川省院总工牟廷敏基于强劲骨架的钢筋混凝土拱桥技术进行了汇报，展示了我国大跨拱桥近年来的进步与发展。哈尔滨工业大学李惠教授介绍了基于人工智能的桥梁监测、检测和养护技术近年来的发展与进步。同济大学李建中教授介绍了震后功能可恢复桥梁体系的研究进展。湖南大学邵旭东教授介绍了型钢－钢板条－UHPC 组合桥面板新结构在大跨径桥梁的应用，该新型桥面板结构有望取代“正交异性钢桥面板”成为大跨径钢桥的“第二种”桥面体系，从而解决“正交异性钢桥面板”容易疲劳开裂的世界性难题。

（报道者：傅海堂）

2020 中国隧道与地下工程大会报道

2020 年 11 月 27 日 – 29 日,“020 中国隧道与地下工程大会暨中国土木工程学会隧道及地下工程分会第二十一届年会”在深圳成功举办。本次大会由中国土木工程学会隧道及地下工程分会和深圳大学主办,由中铁第四勘察设计院集团有限公司和中铁南方投资集团有限公司特约主办,旨在推动隧道及地下工程规划、设计、施工、运营等技术与管理进步,促进隧道及地下工程中新理念、新技术、新工艺、新材料等新成果的广泛交流。

围绕着“现代隧道和地下工程的挑战和机遇:绿色、智能、安全、高效”这一主题,本次大会邀请了包括孙钧、钱七虎、谢和平、周福霖、聂建国、缪昌文、冯夏庭、王复明 8 位院士在内的多位专家学者做特邀报告,内容涵盖了人工智能应用、地下空间规划、基础力学理论、隧道运维、地下工程工程防灾减灾等多个方面,其中有对既有典型工程实践案例和已取得研究成果的总结分享,也有对未来发展趋势的前沿性展望。此外,还有来自全国各地各行各业的一千余人参加了本次会议。我院金烨、谢卓雄、孟哲玮和易琼参加了此次大会。

大会在执行主席陈湘生院士的主持下拉开帷幕,在随后 2 天的学术报告环节中,大会邀请了包括孙钧院士和钱七虎院士等 8 位院士在内的百余位专家学者做了精彩的学术报告(共 237 篇),他们当中有的来自高校、有的来自设计施工单位、有的来自业主单位,分别从不同的领域以不同的视角为我们分享了国内国际上隧道和地下工程领域的最新进展,展示了新技术、新工艺、新材料等成果在工程领域中的应用情况,并深入剖析了当前隧道工程设计施工中存在的问题与困境。

参会的两天当中,通过聆听学术报告以及参观会展产品,主要体会如下:

1. 经过数十年的发展,我国的隧道无论在数量上还是里程上都位居世界前列,已然成为了名副其实的隧道大国。然而,以往的隧道工程设计施工往往都是只谈工程、不谈力学,重视实践、弱化理论的经验主义在地下工程领域泛滥。基础理论研究的滞后已成为我国迈向隧道强国之路上的掣肘。创新是促进地下工程可持续发展的不竭动力,机制创新、理念创新、、科技创新、设计创新、施工创新和管理创新六位一体协同创新推动地下工程结构形式与施工技术的不断革新和高性能新材料的大规模应用仍是未来一段时间内地下工程的重点发展方向。

2. 从单一隧道来看,我国的隧道工程有以下发展趋势:由单一地层向复杂地层发展;由大直径、大跨度向超大直径、超大跨度发展;由浅埋、中等埋深向深埋、超深埋发展;由一般地质条件向不良地质条件发展;由单一工法向多工法结合发展。从整体视角来看,隧道工程已由传统的单点设计转变为综合规划,加强顶层设计、增强宏观整体布局概念,让隧道更好地服务于国家交通路网规划和城市发展战略是今后地下工程的发展趋势。因此,身为隧道工作者,熟练掌握钻爆法、盾构法、沉管法等多种隧道施工工法工艺,提高复杂条件下的隧道设计能力,以及培养不同功能地下空间协同规划思维是新时代背景下地下工程发展所提出的必然要求。

3. 在可持续发展的浪潮下,合理开发利用地下空间是我国节约土地资源,实现绿色发展的必然选择。同时,由于地下岩土介质材料的随机性、不确定性等灰箱属性,地下工程相比道桥、建筑等领域来说对信息化的需求更大,人工智能、大数据分析、图像识别、5G 等高新技术将得以发挥更大作用。引入信息技术新兴产物对土木工程领域进行数字革新是对设计、施工、管理、运维等领

域的全方面重塑，势必会经历阵痛磨合期。以BIM 技术为例，目前我国正处于期望膨胀破裂后的稳步爬升期，相关标准规范正在逐步制定。随着智慧城市概念的提出，市政工程和城市轨道工程的数字化设计施工和智慧运营是接下来的主要趋势。谁能更早实现数字化和智慧化转型，谁就能在今后的发展中占据更大的主动权。

（报道者：易　琼）

中国公路学会工程地质和岩土分会 2020 年学术年会会议报道

中国公路学会工程地质和岩土分会 2020 年学术年会于 2020 年 11 月 4 日－11 月 5 日在广东省广州市召开，会期 2 天，我公司岩土勘察分院院长张修杰、总工李水清、副院长张金平、邓超文、林少忠等代表参加了会议。

本次会议以“数字化岩土赋能交通新基建”为主题，采取会议交流与专题论坛相结合的形式进行。第一天室内技术交流，会议邀请了日本工程院院士（外籍）、深圳大学陈湘生院士团队、东南大学、深中通道、香港大学及公路行业知名专家分享成功经验。主要包括岩土工程早期损伤智能检测、地下空间数字化智能建造新发展、现代数字式岩土工程原位测试技术（CPTU）研发与应用、深中通道工程工业化建造及智能制造实践、公路滑坡灾害防控与应急抢险、珠江三角洲地区软土特征与地基处理技术等。

第二天分两个专题开展专题论坛，论坛一：交通行业标准规范宣贯，主要报告了《公路工程物探规程》（JTGT3222－2020）总体情况及通用部分介绍、重点修订内容详解等。论坛二：优秀科技论文成果与实践专题论坛，主要报告了南方地区特殊性路基处治关键技术、精细化勘察在港珠澳大桥项目中的应用探讨与展望、软土地区刚性桩复合地基路堤研究进展、桥梁荷载作用下隐伏岩溶顶板稳定性研究、复杂水文地质条件下隧道涌水量预测分析、公路滑坡自动监测预警与应急处置分析等内容。与会专家分享了行业新技术、新手段以及当前数字化技术时代带给交通领域的新改变，专家们的精彩分享，不时引来大家的阵阵掌声。

技术交流会现场

专题论坛现场

（报道者：张金平）

中国图学会第六届 BIM 学术会议报道

2020 年 11 月 7 日 ~11 月 ~8 日,中国图学学会建筑信息模型(BIM)专业委员会在山西省太原市举办的“第六届全国 BIM 学术会议”。会议重点探讨了“GIS + BIM”在土木工程中的研究和应用,参加交流的包括公路、地铁、水利电力、石油等行业的设计院、建设单位等。我公司派数字化技术研究院钟东升、陈斯荣两位同志参加。

11 月 7 日上午,中国图学学会理事长、中国工程院院士、清华大学孙家广教授视频致辞,中国图学学会副理事长兼秘书长、北京航空航天大学党委副书记赵罡教授,山西省交通运输厅党组书记、厅长闫晨曦,山西交控集团总经理武艺,山西路桥集团党委书记、董事长杨志贵出席会议并致辞。BIM 专委会主任委员、清华大学张建平教授出席开幕式, BIM 专委会秘书长、清华大学胡振中副研究员主持会议。

11 月 7 日下午的论文宣读环节,共分为三个分会场进行,国内数十家设计院、建设单位以及科研院校分别围绕 BIM 技术研究、BIM 平台研发、BIM 项目应用三个主题作了精彩的报告,与会听众也一同展开了充分的交流和热烈的讨论。

本届会议被中国知网纳入全国重要学术会议名录,共收到国内外专家学者及各行各界的投搞论文 104 篇,经专家评审录用了 70 篇,由“中国建筑工业出版社”正式出版,每篇论文均可在中国知网中被检索。投稿论文的内容涵盖基础研究、技术创新、系统研发、应用推广、项目级和企业级的 BIM 实施与建设等,充分展示了 BIM 技术的广泛应用和最新进展。

本次大会作为一次高规格、高质量的 BIM 行业的年度盛会,搭建了全国 BIM 技术专家与企业的交流对话平台,共同研究探索数字化转型发展之路。BIM 专委会将以此次大会为契机,把握数字化、网络化、智能化融合发展趋势,促进 BIM 技术的创新、普及应用和相关人才的培养,提升行业科技水平,为推动 BIM 及相关学科的发展而不断努力。

(报道者:钟东升)

中国公路学会桥梁和结构工程分会
2020 年全国桥梁学术会议报道

2020 年 12 月 5 - 6 日,中国公路学会桥梁和结构工程分会 2020 年全国桥梁学术会议在广州召开(以下简称“桥梁和结构工程分会”)。会议由中国公路学会桥梁和结构工程分会、广东省公路学会及深中通道管理中心主办。会议分为不同会场,有多位业内专家分别主持,来自全国多个省份的代表参加会议。公司梁立农、孙向东、万志勇等参加了会议。

此次会议围绕跨海大桥综合工程的建、管、养、监测技术;钢结构及组合结构桥梁关键技术;桥梁快速建造、维护和更换技术;桥梁智能化建造技术以及桥梁品质工程和桥梁发展等主

要议题，进一步展示了我国桥梁工程的建设成就。

开幕式后的主报告由中国公路学会桥梁和结构工程分会副理事长、广东省交通运输厅总工程师黄成造和中国公路学会桥梁和结构工程分会副理事长、同济大学教授陈艾荣主持。中国工程院院士，广州大学工程抗震研究中心主任周福霖、中国工程院院士、工程力学专家陈政清、中国工程院院士，工程结构专家，北京科技大学教授，城镇化与城市安全研究院院长岳清瑞、广东省公路建设有限公司总经理陈伟乐、深中通道管理中心副主任兼总工程师宋神友分别做了以《桥梁结构隔震减震与振动控制技术新体系》《悬索桥多阶涡振及其防治》《碳纤维复材及其创新发展》《粤港澳大湾区跨江跨海桥梁发展综述》《深中通道关键技术与挑战》为主题的大会报告。

5 日下午，“深中通道建设专场”、“长大桥建设及养护专场”、“装备制造/新技术/新材料专场”三场分论坛举办。来自全行业各个领域的嘉宾围绕三大论坛主题展开深度对话，在“长大桥建设及养护专场”，公司孙向东副总工程师作了《牛田洋通道关键技术和创新》的主题分享。

6 日下午，与会人员分成三组，分别参观了深中通道项目的桥梁工程智慧梁场、伶仃洋大桥主塔锚碇和钢壳沉管预制厂。深中通道是国家“十三五”重大工程和《珠三角规划纲要》确定建设的重大交通基础设施项目，是粤东通往粤西乃至大西南的便捷通道，是未来珠三角乃至粤港澳大湾区的产业脊梁，更是一条产业升级的走廊。

（编辑：刘祥兴）

第三届品质工程论坛·延崇高速河北段绿色示范工程现场观摩会报道

2020 年 9 月 28 日，由中国公路学会主办的“第三届品质工程论坛·延崇高速河北段绿色示范工程现场观摩会”在冰雪之城河北崇礼隆重开幕。公司陈新富及梁志勇两位副总工参加了会议。

本次交流会以“绿色发展·品质创建”为主题，吸引了全国各地 500 余名代表到会交流。通过开展技术交流和学术研讨，充分梳理和全面推广我国品质工程与绿色公路建设的创新成果和实践经验，共同为推动公路品质工程建设的高质量发展提供新的思路和重要建议。

中国工程院院士杜彦良，交通运输部安全与质量监督管理司巡视员黄勇，河北省交通运输厅副厅长侯智敏，中国公路学会副理事长兼秘书长刘文杰，河北高速公路集团有限公司局长康雄伟、河北省交通规划设计院院长何勇海，中国公路学会副秘书长梅君等领导、专家出席了开幕式。开幕式由中国公路学会副秘书长梅君主持，河北省交通运输厅副厅长侯智敏、中国工程院院士杜彦良分别致辞，中国公路学会副理事长兼秘书长刘文杰发表讲话。

交通运输部安全与质量监督管理司原巡视员黄勇、河北省高速公路延崇管理中心张志刚、荷兰国家应用科学院陈玉森，分别就交通运输部品质工程创建整体设计、实践与思考，延崇高速建设绿色公路品质工程实践，面向未来的车路协同技术应用与案例等内容作了深刻前卫、内容丰富的主旨报告。9 月 28 日下午，河北省交通规划设计院朱冀军，中铁大桥局集团有限公司陈程、河北省交通规划设计院王朝杰等 6 位专家分别围绕“绿色延崇 · 创新突破”主题作了精彩的专题报告，与代表们展开深入的技术交流。9 月 29 日上午，浙江省交通投资集团公司副总工程师方明山等 6 位专家将分别围绕“品质创建 · 跨越提升”作专题报告。

9 月 29 日下午，与会代表们还将现场考察延崇高速金家庄螺旋隧道（世界最长的公路螺旋隧道）、太子城特大桥（冬奥冰雪五环桥）。

（编辑：刘祥兴）

“广东省环境咨询专家委员会高端论坛”会议报道

2020 年 11 月 24 日，由广东省生态环境厅主办，广东省环境科学学会承办的“2020 年广东省环境咨询专家委员会高端论坛”以及广东省环境科学学会主办的“广东省环境科学学会 2020 年科学技术年会”在广州市华泰宾馆召开。会议主题为：强化科技支撑，引领“十四五”生态环境持续改善。整个会议主要分为两大进程：

一、开幕式及主旨报告

中国环境科学学会侯雪松副秘书长和广东省生态环境厅陈金銮副厅长等出席开幕式，并就我国环保领域和广东省环保领域的发展及现状进行致辞，肯定此次大会的积极性和作用性。

特邀主旨报告由院士和专家代表进行报告。

（1）中国工程院院士陈勇分享“关于环保与能源领域研究的思考”，阐述环保不应以距离，规模，方式为监控标准，而应以环保指标为监控标准；环保首要考虑保护，其次是治理，在环保发展过程中“需求牵引，问题导向；勇于创新，善于创新；加强学科交叉，领域交叉”，为环境保护做全方位的服务。

（2）中国科学院院士彭平安与中国工程院院士曲久辉分别就“二噁英的污染问题”和“水环境治理—挑战与路径”向我们展示了目前我国存在的大气污染问题和水污染问题，为大气污染和水污染方向环境治理研究提供了新的思路与方向。

（3）暨南大学校长助理、环境与气候研究院院长邵敏为我们带来他的特邀主旨报告“空气污染与气候变化协同应对的启示”。介绍了大气污染的变化过程，从 SO2 到 O3，一次污染物到二次污染物的转化原理，并针对此发表了空气污染物环境治理的新观念。

（4）生态环境部环境信息中心傅宁作出报告“生态环境信息化改革与创新发展”。展示了生态环境部在生态环境信息化发展上取得的成果，并提出了生态环境信息化发展的新思路，新架构和新蓝图。积极贯彻落实习近平总书记关于网络强国的重要思想，大力加强对信息化工作的集中统一领导。

二、专题论坛

下午开展了九个专题论坛，分别是“流域生态环境保护与修复专题”、“固体废物处理处置与资源化专题”、“农业农村环境污染治理专题”、“海洋生态环境保护专题”、“粤港澳自然保护与生态修复专题”、“新形势下的环境影响评价管理与技术专题”、“生态毒理与环境毒理专题”、“污染物暴露与健康风险控制专题”、“生态环境青年科技工作者的使命与担当专题”。

根据我们部门环保发展需求，选择了“新形势下的环境影响评价管理与技术专题”进行学习。

（1）专题论坛伊始，广东省环境科学学会环境影响评价分会进行揭牌仪式，环境影响评价分会正式成立。

（2）专题论证由各位专家就环境影响评价管理与技术范围内的不同角度作出报告。广东省环境科学研究院王明旭就：“广东省‘三线一单’技术方法研究”进行报告。“三线一单”指生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线以及生态环境准入清单。在我省“三线”分析基础上，综合叠加生态、水、大气和土壤等要素管控分区和行政区域、工业园区、城镇规划边界等，统筹划定了优先、重点和一般三类环境管控单元。针对管控单元，总体采用结构化的清单模式，从省域、区域、市域不同层级，对环境管控单元提出了具体生态环境准入要求，基本达到了宏

观管控的制度设计要求。

(3)中山市环境保护科学研究院有限公司高工彭少邦进行了他的报告:“公路项目环境影响评价技术分享”。彭工就此做了三个部分的分享:公路项目及环境影响评价特点、公路项目环境影响评价方法和近年来公路项目环评的关注点和难点。

近年来公路项目环评的主要关注点与难点就在于:

①声环境敏感点调查

声环境现状调查应覆盖评价范围内建成区以及已获规划部门审批但尚未建成的声环境保护目标。敏感点调查应注重对现有门,窗面积和隔声量的调查。声环境现状调查点要具有代表性。

②车流量换算

交通量换算可根据工程可行性文件提供的标准小客车按照不同折算系数分别换算成大、中、小型车,车型及车辆折算系数按照《公路工程技术标准》(JTG B01)的相关规定执行。通过计算获得公路项目的自然车流量,环境影响预测是,各型车根据《建设项目竣工环境保护验收技术规范 公路》(HJ552)进行归并。

③公众参与过程要充分

对重大和敏感公路项目,政府应引导和支持,关注舆情,及时释放和疏导;通过向公众解惑,消除公众疑虑,争取公众的理解和支持;公众参与要全过程开展,即使积极反馈给公众关心的信息,同时吸纳公众提出的合理建议和要求。

(4)广东省生态环境厅环评处韩静的报告:“深化环评改革,提高环评质量,严守绿水青山第一道防线”。韩静通过新形势下环境影响评价创新管理报告提出:

①简政放权,优化环评分类分级管理

②优化服务,提高环评审查审批效率

③强化监管,不断提高环评编制质量

强调环评的改革重要性,探索创新性改革,让环境影响评价发展更好。

三、总结

在本次“新形势下环境影响评价管理与技术”专题论坛的分享下,我们了解环评发展趋势及行业发展形势,更加深入了解公路环评中关于建设项目环境影响评价的技术方法及环境影响评估的重点和难点。从规划方面宏观着手,将“三线一单”融入到交通规划环评、国土空间规划中关于生态环境保护专题报告,使交通规划环评与公路建设项目环评更好地衔接。

我们在提高环评、环保相关业务专业和技术水平基础上,结合总院交通规划设计等主营业务,发展高速公路、市政路等建设项目环评、环保验收业务,路网规划环境影响评价等环保业务,更好地发展交通规划设计相关的上下游咨询业务。

(报道者:邓燕军)

中国公路勘察设计协会第六届第六次理事会议报道

2020 年 12 月 5 日，中国公路勘察设计协会第六届第六次理事会议在京召开。交通运输部原总工程师、交通运输部专家委员会主任周伟，交通运输部原副总工程师王玉，交通运输部科技司司长庞松，交通运输部公路局副局长王太，交通运输部政策研究室副主任、交通运输部新闻发言人孙文剑，交通运输部公路局工程管理处副处长王恒斌、调研员张冬青，中国交通建设股份有限公司党委常委、副总裁、中国公路勘察设计协会理事长裴岷山等出席会议，会议由副理事长李志军主持。来自全国 30 个省份，共 200 余名代表参加了此次会议，公司李江山董事长、陈贤文副总经理参加了会议。

交通运输部公路局副局长王太在致辞中首先肯定了协会近年来充分发挥桥梁纽带作用，与各会员单位一道，在提升勘察设计技术水平，加快公路建设转型升级，促进行业健康发展等方面做了大量卓有成效的工作。他还围绕公路建设发展取得的新成就、公路高质量发展面临的新发展形势以及共同推进勘察设计行业更好更高质量发展等方面进行了深入交流。王太指出，过去的一年，公路行业围绕加快建设交通强国总体目标，服务全面建成小康社会和脱贫攻坚，加快推进重点项目建设，一批重大工程相继建成。特别是今年上半年，面对突如其来的新冠疫情，高速公路投资呈现出比去年同期高速增长的态势。广大公路勘察设计从业人员坚定信心，迎难而上，努力克服疫情冲击，全面完成各项工作任务，体现了勘察设计行业的责任心和担当精神。王太表示，“十四五”期间，行业面临新的发展形势。具体表现在，一是新发展格局为公路基础设施建设注入活力；二是补短板成为公路建设的重点方向；三是新基建与传统公路基础设施建设协调发展，智慧公路建设加快推进；四是投资模式多元化将成为常态；五是养护市场规模不断扩大；六是安全要求不断提升。最后，在共同推进勘察设计行业更好更高质量的发展方面，王太要求各勘察设计单位和广大从业人员，一要提升勘察设计的理念；二要提升勘察设计的水平和设计质量；三要积极应用勘察设计新技术；四要深刻理解、主动参与新基建；五要注重做好关键技术储备；六要规范勘察设计市场。

裴岷山代表协会第六届理事会做了工作报告。报告总结了 2019 年、2020 年协会发展的成绩和经验，部署了 2021 年重点工作。在工作总结中，他指出，受疫情影响，此次会议延期至年底召开。在此次疫情中，协会积极发挥平台协调作用，快速组织应对，夺取疫情防控阻击战阶段胜利。近两年来，协会积极开展调查研究，发挥参谋助手作用，服务政府取得了新成绩；拓展服务领域，发挥桥梁纽带作用，服务行业迈出了新步伐；组织评优工作，发挥机制导向作用，行业进步取得了新成果；加强党建工作，不断夯实内部管理，会员服务取得了新成效。

2021 年是我国“十四五”的开局之年。协会作为行业发展的参与者、实践者，要努力带领全行业清醒认识当前面临的挑战和机遇，科学研判、妥善应对，牢牢抓住发展机遇，促进公路勘察设计行业在“十四五”实现高质量持续健康发展。

孙文剑就“加快建设交通强国思考”，周伟就“以新基建推动交通运输高质量发展”，庞松就“我国智慧公路发展概述”，郭刚就“交通设计企业‘十四五’战略规划思考”等内容，四位行业专家向大会作了交流报告。

会议期间，还发布了《中国公路勘察设计行业发展研究报告（2019）》，隆重表彰了 2020 年度公路交通优秀勘察设计奖获奖单位，公司共九个项目获得奖励。

（报道者：刘祥兴）