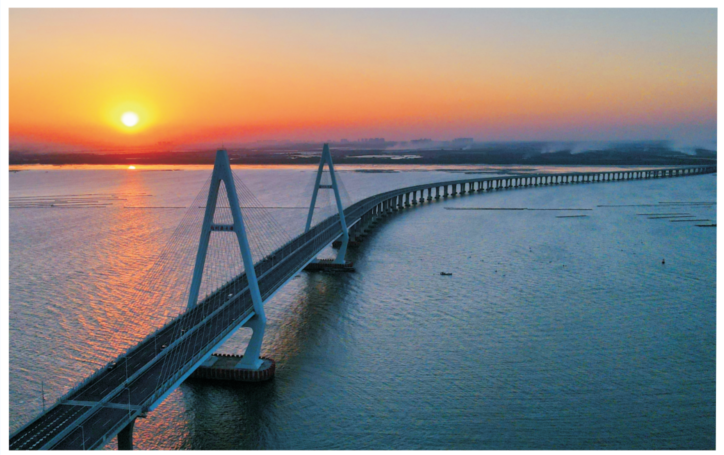
廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN



2021 4 总第184期

技术交流　信息共享

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

地　　址：广州市天河区兴华路22号
邮政编码：510507
电　　话：020-3739 3079
E-mail：kjzl@ghdi.cn
网　　址：http://www.ghdi.com.cn

准印证号：(粤O)L0150076号

获奖喜报

2021年第四季度，集团公司优秀工程项目、科技创新和专利申请再创佳绩，共获得电子行业优秀工程设计奖项目电子系统工程类一等奖、中国公路学会“交通BIM工程创新奖”、中国勘察设计协会第十二届“创新杯”建筑信息模型（BIM）应用大赛BIM应用新秀奖等奖项；获得省级科学技术奖1项，国家知识产权局发明专利1项，实用新型专利14项。

广东省市政行业协会
科学技术奖励
证　书

为表彰广东省市政行业协会科学技术奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：拱桥吊杆快速更换施工工法研究

奖励类别：应用技术

奖励等级：一等奖

获奖单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

证书号：2021-1-024-D01

公司级项目评审会

10月29日召开“顺德区七滘大桥提升改造工程初步设计”公司级评审会

11月5日召开“惠城区金山湖片区一号桥、二号桥建设工程施工图审查”公司级评审会

11月23日召开“梧州-玉林-钦州公路（苍梧至容县段）NoSJ5设计合同段定测阶段2×520m悬索桥咨询项目”公司级评审会

12月15日召开“阳江雅韶至山外东段公路工程北津港特大桥”公司级评审会

软件测试验收评审会

10月18日上午召开《常规预支桥梁（20m、30m小箱梁）通用图出图程序（测试阶段）》和《交通部数量表参数化程序技术研究方案》评审会

10月18日下午召开《（扶壁式、悬臂式）挡土墙设计出图程序》（测试阶段）、《BIM展示汇报技术》评审会

11月18日召开《常规预制桥梁（40mT梁）通用图出图程序（测试阶段）》评审会（函审）

12月16日召开《盖梁出图程序》、《等高现浇箱梁设计计程序》、《桥台（柱式、肋板式）出图程序》测试阶段验收评审会

广东交通规划设计

（每季出版）

2021 年 12 月 30 日印刷

2021 年第 4 期

（总第 184 期）

内部资料　免费交流

准印证号：（粤 O）L0150076 号

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：东雷高速通明海特大桥

目　次

一图读懂广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划

近日，广东省人民政府办公厅印发《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》。

“十四五”时期，广东将立足新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，聚集总定位总目标，紧扣“双区”建设，“双城”联动，“一核一带一区”区域发展格局等重大战略布局，构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通运输体系，为广东在全面建设社会主义现代化国家新征程中走在全国前列、创造新的辉煌提供有力支撑。

总体布局

打造“一中心三极点”综合交通枢纽布局

- 以粤港澳大湾区枢纽集群为中心。
- 汕头、湛江、韶关为极点，建设汕头、湛江全国性综合交通枢纽，提升韶关综合交通枢纽能级。

完善“三横四纵两联”省域交通主骨架

- 加快建设沿海运输大通道、沪广–广昆通道、粤北区域通道，形成东联海峡西岸、联系长三角，西接北部湾、联通大西南的三条横向通道；
- 构建粤港澳大湾区、沿海经济带联系北部生态发展区的南北纵向通道，完善京港澳通道、京九通道、粤东北向通道、粤西北向通道等四条纵向通道以及粤湘渝、粤贵川等两条联络通道。

建设多向联通的国内外运输通道

- 东向通道
  完善沿海经长三角城市群至东北亚、跨太平洋至美洲通道。
- 北向通道
  依托京港澳和京九通道，构建经京津冀城市群对接中蒙俄经济走廊。
- 西向通道
  依托粤湘渝、粤贵川、西部陆海新通道，构建经成渝都市圈对接新亚欧大陆桥经济走廊、中国–中亚–西亚经济走廊、中巴经济走廊。
- 南向通道
  衔接海上丝绸之路，完善经广昆通道对接中国–中南半岛经济走廊、孟中印缅经济走廊以及经东南亚至大洋洲等。

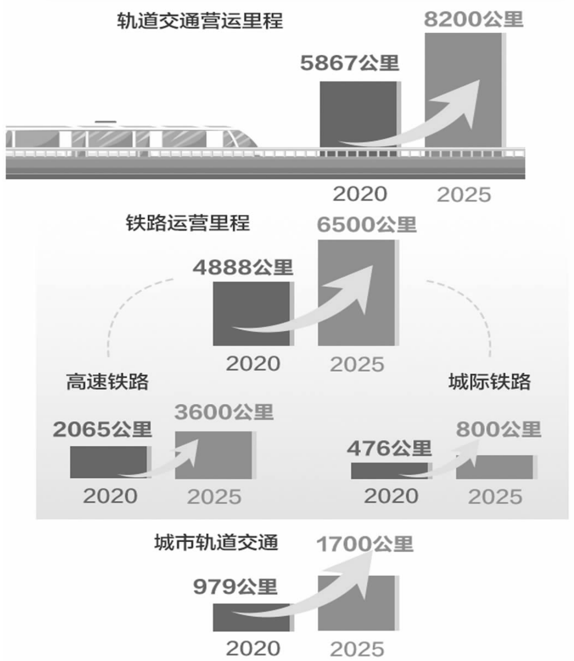
发展目标

到2025年

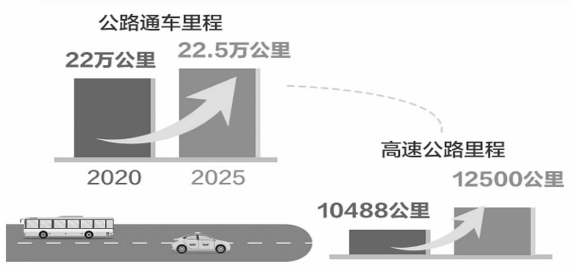
总体建成贯通全省、畅通国内、连接全球的现代综合交通运输体系，交通运输高质量发展走在全国前列。

网络更加通畅开放

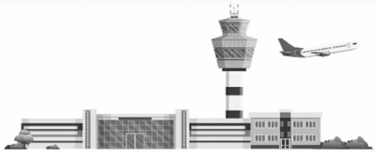
- 铁路：实现高标准铁路“市市通”

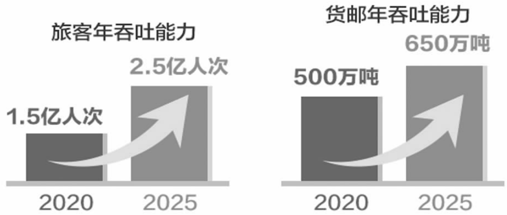


- 公路：路网规模质量全国领先

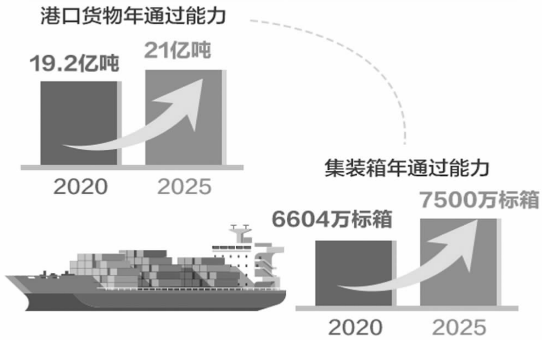


民航：世界级机场群综合服务能力显著提升



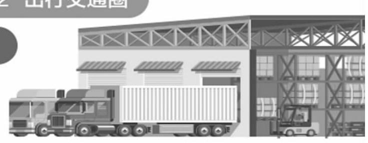


港口：加快形成世界一流港口



服务更加便捷优质

基本实现 "12312" 出行交通圈 "123" 快货物流圈



"12312"出行交通圈

- 1 小时通达：珠三角地区内部主要城市间
- 2 小时通达：珠三角地区与粤东粤西粤北地区
- 3 小时通达：与国内及东南亚主要城市
- 12 小时左右通达：与全球主要城市

"123"快货物流圈

- 1 天送达：省内
- 2 天送达：国内及东南亚主要城市
- 3 天送达：全球主要城市

运行更加智能高效

5G网络基本覆盖高速公路干线及主要服务区、高铁站和机场。

重要通道、重要枢纽场站和重点运载装备实现数字化监测全覆盖。

"一卡通"县级及以上节点覆盖率达到100%。

发展更加绿色安全

运输能耗水平和二氧化碳排放强度明显下降

城区常住人口300万以上城市绿色出行比例达到80%；营运车辆单位运输周转量能耗、二氧化碳排放下降率达到4.0、3.5%。

交通网络韧性和应对各类重大风险能力显著提升

"两客一危一重"车辆实时监控覆盖率达到100%，较大以上等级道路运输行车事故万车死亡人数下降率至20%。

到2035年

- 率先全面建成现代综合交通运输体系
- 一流设施、一流技术、一流管理、一流服务总体形成

主要任务

（一）打造国际一流的综合交通枢纽

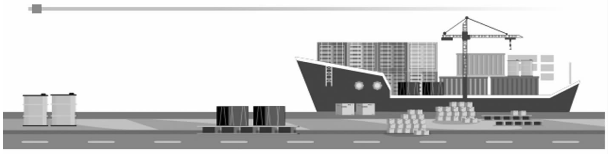
建设"3+4+8"世界级机场群

广州白云机场、深圳宝安机场、珠三角枢纽（广州新）机场等3个国际航空枢纽机场

珠海金湾机场、揭阳潮汕机场、湛江吴川机场、惠州平潭机场等4个地区性枢纽机场

梅州梅县、韶关、阳江、云浮、肇庆怀集、清远连州、河源、汕尾等8个支线机场

建设世界一流港口



建设珠三角世界级港口群

强化广州、深圳国际枢纽海港功能，带动珠海、东莞、惠州、中山、江门、汕尾等周边港口加快发展，携手港澳共同构建优势互补、互惠共赢的港航服务体系。

强化粤东港口群发展合力

以汕头港为核心，构建布局合理、功能互补的港口群发展格局。

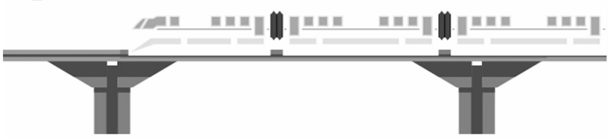
增强粤西港口群竞争力

结合粤西地区大石化、大钢铁产业布局，构建以湛江港为龙头、茂名港和阳江港为支撑的港口群发展格局。

提升内河港口能力

推动内河港口实现规模化、专业化、集约化发展，依托内河航道强化内河港口与沿海港口联动发展。

建设现代铁路客货运枢纽



打造粤港澳大湾区铁路枢纽集群

强化广州国际铁路枢纽和深圳全国性铁路枢纽功能，统筹推进珠江口西岸铁路枢纽规划建设。

推动汕潮揭枢纽场站互联共享

支持汕头建设区域铁路枢纽。

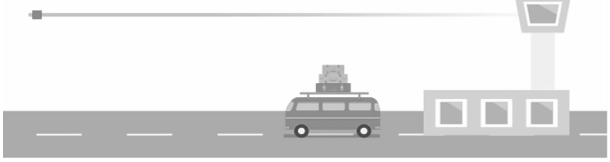
建设以湛江为中心的粤西铁路枢纽

增强联系粤港澳大湾区、海南自由贸易港、北部湾城市群的多向连通功能。

增强铁路运输对北部生态发展区的集聚和辐射能力

完善韶关、梅州、河源、清远、云浮等枢纽布局。

推动公路枢纽转型升级



优化整合公路客运枢纽，完善县域地区公路客运枢纽布局；建设现代公路物流园区，强化物流功能。

（二）构建立体互联的综合交通网络

建设辐射国内外的航空航运网

以世界级机场群和港口群为依托，积极拓展航空网络，完善专业航运网络，提升空港、海港全球联通水平。

完善内联外通的干线交通网

铁路网

打造沿海高铁通道

加快深圳至江门铁路建设，高标准建设广州经汕头至漳州、广州经湛江至海口（合浦）铁路。

拓展西南腹地运输通道

推进贵广铁路提速。

强化北向运输能力

加快建设赣州至深圳高铁，规划建设广州经清远至永州高铁。

加快货运铁路通道及疏港铁路、铁路专用线建设

推进柳州至广州、瑞金至梅州等铁路建设。

公路网络

高速公路

加快出省通道建设。到2025年高速公路出省通道达36条（通福建6条，通江西7条，通湖南6条，通广西11条，通海南1条，通香港3条，通澳门2条）。推进路网加密线和联络线建设，实施高速公路繁忙路段改扩建，提高路网运行可靠性。

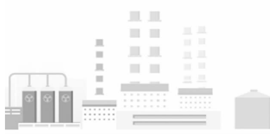
普通国省道

积极推进普通国省道升级改造，整体提升路网通行能力和效率。

内河航道网

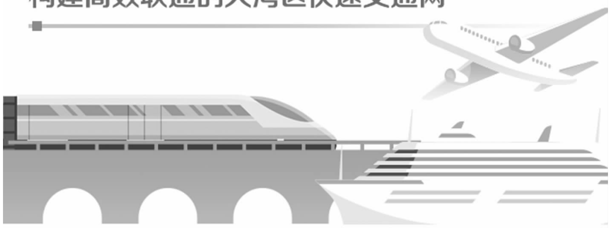
加密和延伸珠三角高等级航道网，构建四通八达的珠三角航运网络体系。

油气管网



重点推动成品油管道互联互通和天然气管道“县县通”。

构建高效联通的大湾区快速交通网



以强化极点联系、联通珠江口两岸、连接内地与港澳为重点，构建以高速铁路、城际铁路、高等级公路为骨干的大湾区快速交通网。

- **打造“轨道上的大湾区”**

  建设广深、广珠快捷走廊；构建佛山经广州至东莞城际、佛肇城际-佛莞城际-莞惠城际、肇顺南城际-中南虎城际-塘厦至龙岗城际等3条横向铁路通道。全面推动轨道交通多网融合。

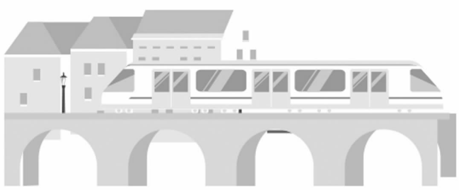
- **推动形成公路、铁路、水路等多方式跨江通道集群**

  加快深中通道、黄茅海跨海通道、狮子洋通道、莲花山通道等公路通道建设。

- **实现内地与港澳更便捷联通**

  提升香港与深圳、珠海与澳门联通水平。

织密便捷惠民的城乡交通网



- **推进都市圈交通一体化**

  以增强轨道交通、公路等连接性贯通性为重点，建设广州、深圳、珠江口西岸、汕潮揭、湛茂等都市圈1小时通勤圈。

- **提升城市交通品质**

  积极改善城市支路微循环，打通城市路网断头路、瓶颈路，形成通畅便捷的城市路网系统。推进停车设施建设，完善城市绿道、步行道、自行车道等慢行交通系统。

- **推进“四好农村路”提档升级**

  基本实现双车道公路“村村通”。完善农村公路服务设施，建设具有当地特色的农村驿站。推进实现县乡道安全隐患治理率达100%。

（三）发展高品质的运输服务

提高客运服务质量

- 打造“零距离换乘”的综合客运枢纽，提升客运枢纽综合服务水平。
- 加快发展旅客联程运输，支持发展一体化联运服务平台，推进联程客运票务一体化。
- 完善城市基本公共交通服务网络，提升农村客运服务水平，推动形成城区、城乡、镇村三级公共交通服务网络。
- 更好满足无障碍设施、适应老年人设施等特殊人群出行需求，打造更具人文关怀、更加人性化的出行环境。

优化货物运输组织

- **优化运输服务供给**

  加强铁路和航空货运能力建设，优化公路水运货运功能，拓展邮政服务网络，更好满足货物运输需求。

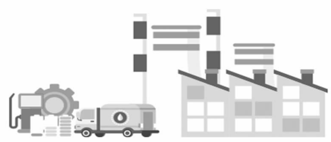
- **大力发展多式联运**

  充分发挥省内各种运输方式齐全优势，加强方式间衔接转运，加快发展多种形式的多式联运，提升货物运输综合服务效率。

- **完善城乡配送服务网络**

  引导城市配送节点设施一体化布局，打造都市圈共同配送平台。加快补齐农村物流发展短板，完善县、乡、村三级物流节点体系。

支持新业态新模式发展



- 支持开展定制化出行服务，引导共享交通规范发展，探索开展“空中的士”等城市通勤新模式。
- 拓展无人机、无人车的城市配送应用场景，研究利用城市地下交通空间发展城市地下物流配送。
- 整合交通科技产业链资源，培育交通科技产业生态圈。

（四）推动综合交通运输体系高质量发展

建设面向未来的智能交通系统

顺应新一轮科技革命和产业变革，全面提升交通运输智能化水平，打造适应智能经济和智能社会需要的智能交通系统。

推动交通绿色发展

落实碳达峰碳中和目标，推动交通运输转变发展方式，加快形成交通运输发展与生态文明建设相互促进、与资源环境承载力相匹配的可持续发展格局。

提升交通运输安全应急保障能力

统筹发展和安全，着力提升交通运输安全发展水平和应急保障能力，不断增强系统稳定性和抗风险能力。

推动交通运输与关联领域融合发展

打破传统发展边界，推进交通运输与关联领域资源共享、协同联动，进一步拓展交通运输发展新空间。

提升交通运输现代化综合治理能力

以制度建设为主线，加大改革创新力度，不断完善综合交通运输现代化治理体系，全面提升行业治理能力和水平。

规划实施保障

- 加强组织实施
- 加强规划衔接
- 加强要素保障
- 加强项目支撑

（来源：广东省人民政府网）

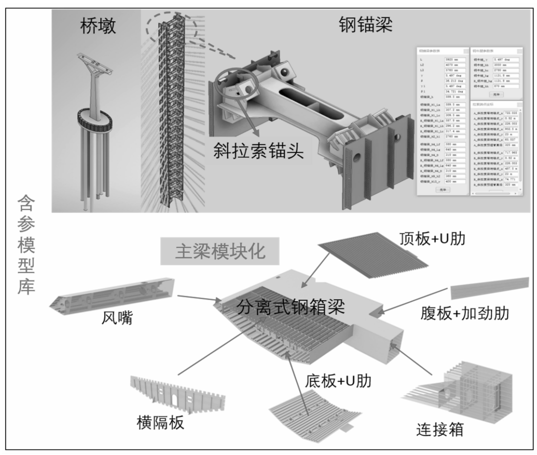
我公司《黄茅海跨海通道工程 A1 标设计 BIM 技术研究》荣获中国公路学会“交通 BIM 工程创新奖”一等奖

近日,2021 年度中国公路学会“交通 BIM 工程创新奖”评审结果公布。经专家初审和现场复审答辩,我公司《黄茅海跨海通道工程 A1 标设计 BIM 技术研究》从全国四大交通领域 212 个申报项目的激烈竞争中脱颖而出,荣获一等奖。

“交通 BIM 工程创新奖”由中国公路学会设立,旨在推动和引领 BIM 技术在我国交通领域的创新和应用,申报范围为 BIM 技术在公路、铁路、轨道、水运及附属设施等交通基础设施工程中的应用项目。该奖项为中国交通行业 BIM 最高奖项。

黄茅海跨海通道是继港珠澳大桥、深中通道之后,粤港澳大湾区又一跨海通道工程。项目起于珠海市高栏港区,东连港珠澳大桥,西连新台高速并与西部沿海高速相交,止于台山市斗山镇。路线全长约 31 km,项目总投资 1 298 482. 11 万元,采用双向 6 车道高速公路标准,设计时速 100 km/h。

依据黄茅海跨海通道项目的特点,我司数字化技术研究院进行了设计阶段桥梁工程数字化的实践,完成了高栏港枢纽立交、东引桥、中引桥等常规桥梁工程的参数化出图和快速自动化建模,成功探索出一套高效的复杂桥梁 BIM 正向设计解决方案并成功应用于高栏港大桥主桥,成功融合了“BIM + GIS”方案综合展示、重点结构方案可视化比选、钢结构精细化设计、三维设计校审、钢筋深化设计等 BIM 技术应用。



本项目创造性地提出了桥梁结构模型参数化、模块化、结构化的建模方法论,借助自主研发的工程设计软件建立设计数据库,突破了常规桥梁参数化建模与传统设计出图的技术瓶颈。这套与时俱进的工程信息化、数字化解决方案和流程,将设计过程数字化,极大程度地减少了设计人员重复的建模、出图工作,使设计人员得以将主要精力投入在设计方案上,提高了设计质量,满足高标准的数字化交付要求,得到了业主方的肯定。本项目 BIM 技术的成功实践,标志着我司在数字化技术应用发展上向前迈进了一大步。

（报道者:傅海堂）

“2021 首届国际城市桥梁建设技术与艺术创新论坛”在广州召开

2021 年 10 月 15 至 17 日,我集团公司作为承办单位之一,参与了由广东省工程勘察设计行业协会、广东省市政行业协会、广东省土木建筑学会和《桥梁》杂志社联合主办的“2021 首届国际城市桥梁建设技术与艺术创新论坛”。全国 128 家单位,近 500 位专家、领导、学者和行业代表共同参与了本次创新论坛学术盛会。

大会以“城市桥梁建设技术与艺术”为主题,围绕城市桥梁结构设计新技术、景观艺术设计、智能建造、新材料、新设备等热点问题展开深入交流和探讨。

本次论坛在线下和线上同时进行,线下设主论坛(主旨报告)和两场分论坛(城市桥梁艺术与美学设计、城市桥梁建设技术创新),线上通过《桥梁》杂志云课堂直播平台向全行业直播,点击量超过 4000 人次。

集团公司总工程师梁立农在主论坛上做题为《东莞滨海湾大桥技术与艺术创新实践》的主旨报告,同时担任了 17 日主论坛嘉宾主持人。集团公司副总工程师孙向东在第二分论坛做题为《超高性能混凝土梁桥工业化建造关键技术》的主题报告。集团公司共 40 多名技术人员到现场聆听报告,同时参加了对广州海心桥、广州明珠湾大桥、东莞滨海湾大桥(我集团公司设计)等工程项目的现场观摩,零距离体会新时代岭南桥梁的建设之美,第一视角发现桥梁技术与艺术创新带来的全新视觉体验。

梁立农总工程师—《东莞滨海湾大桥技术与艺术创新实践》

孙向东副总工程师—《超高性能混凝土桥梁工业化建造关键技术》

论坛组织嘉宾到“东莞滨海湾大桥”工程项目现场参观

本次论坛行业内近 20 家单位参展，参会嘉宾在论坛期间共同参观了展厅，各参展商及参观人员在现场进行交流和产品展示，我集团公司精心挑选了 9 个代表性桥梁工程项目，以图片、展板和视频播放等方式在展区内展出，与其他单位不同的是，我们还特别设置了 VR 场景展示区，由数字化院建模设计的“东莞滨海湾大桥”VR 场景展示体验，科技感十足，为嘉宾们带来了 4D 全新视听盛宴，嘉宾们带上 VR 头盔，手持控制手柄，身临其境般如同在真实的大桥上行走，引来众多嘉宾体验观看。

我集团公司宣传展位及“东莞滨海湾大桥”VR 实景展示现场

我集团公司参会人员合影留念

桥梁被誉为土木工程领域“皇冠上的明珠”，有“人间彩虹”的美誉。近年来，城市桥梁建设日新月异，大量风格各异的城市桥梁不断涌现，呈现出技术与艺术不断创新、与城市景观融合提升的良好发展态势。

本次论坛向行业各界展示了一道道桥梁这人间亮丽的人文风景线，以及背后无数桥梁设计建设者的智慧和汗水。论坛将启发更多美术元素、艺术元素应用到城乡规划建设理念中，进一步推动我国城市桥梁的高质量建设，促进城市桥梁品质提升与技术、艺术双创新。

（报道者：技术质量部）

我公司与华为公司签署战略合作协议 携手助力“交通强国”建设

2021 年 11 月 3 日，为加强数字与智慧领域合作，共同助力“交通强国”建设，我公司与华为技术有限公司在华为南方基地隆重举行了战略合作协议签订仪式。公司党委书记、董事长李江山带队赴华为公司进行了签约和参观交流。公司副总经理刘桂红、公司总经理助理兼规划与智慧交通设计院院长汪超、规划与智慧交通设计院副院长郭月利、研发管理部副主任李红中以及“数字交通”创新平台两中心技术团队参加了本次活动。

当天，李江山董事长一行陆续参观了华为公司坂田总部企业 ICT 技术展厅与东莞松山湖研发基地，深入了解华为“无所不及的智能、无处不在的联接、数字平台和个性化体验”的智能世界构建理念及数字化转型实践技术方案。

随后，双方就企业文化、内部管理及智慧交通发展等相关话题进行了深入交流座谈，并由双方代表共同签署战略合作协议。

李江山董事长在签约仪式上代表我公司致辞。他表示，华为公司是优秀的民族企业，拥有令人尊敬的企业文化和世界领先的 ICT 技术；我公司在交通勘察设计领域拥有七十年的发展沉淀，具备深厚的智慧交通应用场景设计和构建能力，双方技术互补性强、合作潜力巨大，并希望以本次签约为契机，“携手共进，合作共赢”，加强数字技术与交通领域的创新应用与发展，共同把握时代机遇，在助力建设“交通强国”之路上取得丰硕成果，实现共同发展。

目前，我司规划与智慧交通设计院、智慧交通创新与应用研究中心和交通大数据研究中心，与华为公司在项目技术支撑、智慧交通创新解决方案、产品研发和行业标准制定等领域已开展了全方位的合作。近期，由我司智慧交通创新与应用研究中心牵头，联合华为公司成功申报了中国公路学会技术标准《智慧公路云控平台设计指南》，相关工作正有序推进中。

（报道者：童 杰）

潮起风劲立千帆，湾区之源领华章
——我公司助力广州东部公铁联运枢纽起步区一期工程

近日，在广州东部公铁联运枢纽起步区一期项目建筑概念方案竞赛中，我公司完成的“湾区之源”方案从国内外多家著名建筑设计单位的激烈角逐中脱颖而出，并成功中标广州东部公铁联运枢纽起步区一期项目建筑概念方案及工程可行性研究报告编制服务。

广州东部公铁联运枢纽起步区一期项目选址位于广州市增城西站北面、广汕南路南侧，总建筑面积 18 万 m^2，建筑高度 247m，属于被枢纽主体包围的核心区域。该项目建设对配合枢纽主体建设，形成运、产、贸一体化枢纽经济格局，打造战略性全球资源配置节点具有重要意义。

“湾区之源”方案以“天下万物生于有，有生于无”为设计主题，由塔楼和裙楼两部分组成，长短相形，高下相倾，前后相随。塔楼功能以办公和商住为主，外立面造型灵感来自竹节，象征“生生不息，坚韧不拔”；裙楼平面布置可塑性强，可满足会议、会展、商演等多功能需求，形似容器，通体浑圆，寓意“包容并蓄，有容乃大”。同时，方案围绕“绿色、环保”进行了多项创新设计。

本方案彰显了中华传统文化的丰厚底蕴，融合了先进的西方建筑设计理念，寄托着建设者创新驱动发展的期望，助力大湾区核心引擎区域综合交通枢纽建设发展更进一步。

（报道者：张靖欣）

省交通运输厅“交通强国”项目督导专班到公司检查指导工作

2021 年 12 月 15 日，省交通运输厅“交通强国”项目督导专班刘广主任等一行五人到公司检查指导工作。公司刘桂红副总经理、汪超总经理助理，以及公司技术质量部、规划与智慧交通设计院、第五设计院、市政设计院、轨道与地下工程设计院相关代表参加了座谈。

专班听取了公司承担的广东省交通强国建设试点项目“城市群地区（都市圈）公路与城市道路一体化融合发展机制研究”的进展情况汇报，对于课题组现阶段对公路与城市道路不同的体制机制分析、不同的技术标准分析等工作表示了充分肯定；同时，建议课题组下阶段重点以工程技术标准分析为抓手，尽快形成初步书面成果，并进一步突出研究成果的创新性及可推广性，力争把课题打造成“交通强国”示范项目。

（报道者：冯心宜）

我公司承担的南沙大桥(原称虎门二桥)工程机电设计施工总承包项目荣获全国电子行业优秀工程设计一等奖

近日,我公司承担的“广东省南沙大桥(原称虎门二桥)工程机电设计施工总承包”项目荣获工业和信息化部工程建设管理中心“2021 年度电子行业优秀工程设计项目”电子系统工程类一等奖。这是公司首次获得电子行业设计奖项,标志着我公司的智慧化设计能力在电子系统工程领域获得了外部肯定和认可。

作为广东省首批智慧公路试点示范工程,本项目在机电工程深化设计阶段,结合新一代国家控制网及智慧公路试点示范广东省试点工作的总体要求,针对车路协同、智慧收费、智慧管理平台、智慧供电等方面,在调研国内外相关技术发展情况的基础上进行了精心设计,为广东省智慧公路建设提供了重要的应用示范。

工业和信息化部工程建设管理中心

关于 2021 年度电子行业优秀勘察设计项目评选结果的通知

各有关单位:

根据中国勘察设计协会《关于评选 2021 年度工程勘察、建筑设计行业和市政公用工程优秀勘察设计奖的通知》(中设协字(2021)76 号)有关要求,切实做好优秀项目推荐工作,持续推动电子行业工程设计技术进步,鼓励企业创作高质量设计成果,工业和信息化部工程建设管理中心组织开展“2021 年度电子行业优秀工程设计项目”评选推荐活动。

经评审,共评选出建筑综合、专项类优秀工程设计项目 25 项;电子行业优秀工程设计项目 83 项,包括电子工业工程类项目 21 项、电子系统工程类 62 项。

该评审结果已于 2021 年 10 月 21 日至 2021 年 10 月 27 日予以公示。现将评审结果正式发布。

附件:2021 年电子行业优秀工程设计项目清单

工业和信息化部工程建设管理中心

2021 年 10 月 29 日

电子系统工程类

1	上海邮电设计咨询研究院有限公司	中国电信上海公司 2019 年 5G 网络建设项目	一等奖	唐烨、冯芒、陆四维、李辰、须佳昀、金晓华、黄力青、韩婉璐、王铁生、苏晨、黄天波、卢晶、王啸、刘宏扬、李一鸣
2	中交公路规划设计院有限公司	海口市白驹大道改造及东延长线项目(智慧道路系统)	一等奖	刘芳亮、李娜、孙小飞、王淼、田龙飞、刘洋、王宇、杨璐,李小龙、韩飞扬、毛幸全、金耀、徐文城、崔营营,李文云
3	世源科技工程有限公司	西藏宁算科技集团拉萨一体化项目数据中心(一期)工程项目	一等奖	戴兵、任志鸿、王志强、任文、程丽萍、吴晓龙、张冬梅、田艳、张哲、李杰、牛悦、史新、于景淇、刘璐、欧丽
4	太极计算机股份有限公司	腾龙重庆两江云计算数据中心项目	一等奖	孟凡池、敖俊、林凡鲁、强万恒、秦晓三、胡宇婷、李建国、唐秘、吴伟伟、王广锋、王占林、李和锋、高岩、司端宁、田利玲
5	广州杰赛科技股份有限公司	北京理工大学珠海学院体育文化综合馆智能化工程项目	一等奖	欧阳秉炎、赵雁、杨海锋、孟新予、熊伟、施萍、方慧霆、杨伟锋、唐开华、熊珊、陈璐瑶、敬科军、刘燕玲、梁明杰、刘新金
6	太极计算机股份有限公司	北京大兴国际机场临空经济区(北京部分)规划建设信息平台项目	一等奖	樊会永、张剑、单晨、黄圆圆、侯军、史登连、王肖虎、韩伟青、冯璧瑄、颜秉彦、王子晔、陈雪娇、杨帆、曹高山、彭方方
7	中国电子工程设计院有限公司	具有动态模拟演示功能的居家适老化改造专家辅助系统	一等奖	鲁卫华、韩涵、陈文、申颖洁、李百合、李鹏、江莹、李晓晨
8	广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司	广东省虎门二桥工程机电设计施工总承包	一等奖	曾盛、黄宇东、赵文文、汪超、王继芳、姚杰、杨轩、杨枫、关小杰
9	世源科技工程有限公司	新建浙报传媒富春云互联网数据中心项目(一期)	一等奖	钟景华、王亮、刘金一、史新、毛欣、王志强、刘剑锋
10	广州杰赛科技股份有限公司	中国电信内蒙古分公司(存续)2017 年东部区域 100G 波分系统扩容工程	一等奖	谢广荣、刘仲明、刘振栋、赵殿伟、晏鹏、胡才敏、李建、李鑫、宫辉、孙建斌、高强、胡兆波、刘春艳、苏龙嘎娃、范天雷
11	北京中网华通设计咨询有限公司	2017 年中国联通湖南 LTE 室内网络系统一期工程	一等奖	陈滨、孙辉、罗忠威、向迪、王祖飞、黄智彬、李理、朱诚、张泓波、康冬、方征、易梦翔
12	广州杰赛科技股份有限公司	承德市森林和草原防火视频监控服务项目	一等奖	叶杨、康同海、杜金凯、李壮、逯艳杰、黄星辉、陈三龙、杜翠凤、宋玉飞、董亮、王二军、杨柏学、沈智超、熊珊、吴亚楠
13	中铁信弘信(北京)信息工程咨询有限责任公司	铁路货运电子商务系统一期工程总公司级施工图	一等奖	苏亚、皮晓峰、付鹏、杨珺、宗芳、张维、刘谦、尹博、田杨、董凝、房岩、孟醒、战鑫、刘琳琳、李楠

(报道者:黄宇东)

我公司在 2021 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再获佳绩

12 月 12 日,在 2021 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,我公司依托广州机场高速主线收费站升级改造项目,打造智能化、网联化、品质化、人性化收费站,推出可落地、可复制、可推广的智慧收费站“广东模式”,联合广州快速交通建设有限公司、广州交投机电工程有限公司、天翼云科技有限公司以《基于全域感知的数字孪生品质收费站》为题参赛,经过多轮激烈角逐,最终以晋级赛排名第 1 的成绩进入决赛并荣获二等奖。

项目名称	参赛团队名称	奖项
“智慧交通大数据+车主出行服务”双轮驱动的高速公路网差异化收费技术与服务体系	骋行粤通大数据团队	一等奖
基于全域感知的数字孪生品质收费站	广州快速交通建设有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、广州交投机电工程有限公司、天翼云科技有限公司	二等奖
交通大数据实时智能分析	广州天长信息技术有限公司	
基于数字全息三维检测技术的道路病害智能识别技术和智慧养护辅助设计平台	广东交科技术研发有限公司	三等奖
基于数字孪生的高速公路交通运行安全风险评估及管控技术	中国公路工程咨询集团有限公司	
BIM 智慧建设平台在城市复杂高速公路立交改造和综合空间开发上的应用	深圳高速工程顾问有限公司、广东省公路建设有限公司、广深新塘立交改造工程管理处	

此外,我公司依托广明高速祈福隧道智慧化提升项目,聚焦高速公路数字化发展和服务需求,将人工智能、BIM、3DGIS、大数据、云计算等技术创新性地应用在隧道监控管理和服务上,打造隧道数字孪生应用示范项目,形成体现科技引领、标准化、可复制的数字隧道新模式,与广州广明高速公路有限公司、北京万集科技股份有限公司、广州市坤龙信息系统有限公司、广州交投机电工程有限公司联袂打造的《基于全息感知和数字孪生的自动巡检数字隧道》项目荣获优胜奖。

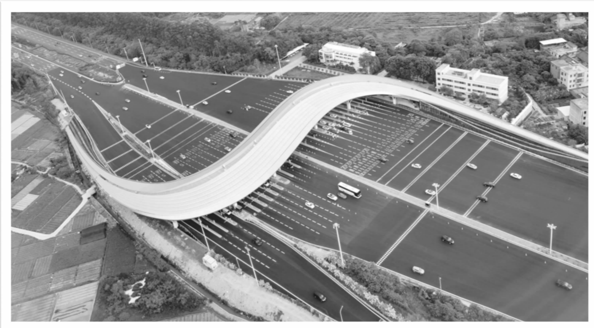
项目名称	参赛单位	奖项
公路隧道智慧巡检监测预警与应急处置系统	交通运输部公路科学研究院（牵头单位）、北京交跃通达检测科技有限公司	优胜奖
基于全息感知和数字孪生的自动巡检数字隧道	广州广明高速公路有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、北京万集科技股份有限公司、广州市坤龙信息系统有限公司、广州交投机电工程有限公司	优胜奖
基于智能网联车路协同的城市公交智慧管控与决策系统平台	广州交信投科技股份有限公司	优胜奖
基于AI的服务区重点（危化品）车辆智能检测系统	广东省南粤交通仁博高速公路管理中心新博管理处、广州交嵌信息技术有限公司	优胜奖
智慧高速数字化车道解决方案	深圳成谷科技有限公司，阿里云计算有限公司	优胜奖
智慧高速跟随式安全照明智能调光节能系统	广州博路电子设备有限公司、广东省南粤交通大丰华高速公路管理中心	优胜奖
探索构建交通“云网数”新基建创新支撑平台	云网数创团体	优胜奖
基于"云+链+AI"的车道收费机器人	招商华软信息有限公司/佛山市高速公路营运管理有限公司	优胜奖
智慧公路养护预警机器人产业化	浙江远昂智能机器人有限公司	优胜奖
高速公路“数字化”智能网联节点监测系统解决方案	广东利通科技投资有限公司智能交通研究院	优胜奖

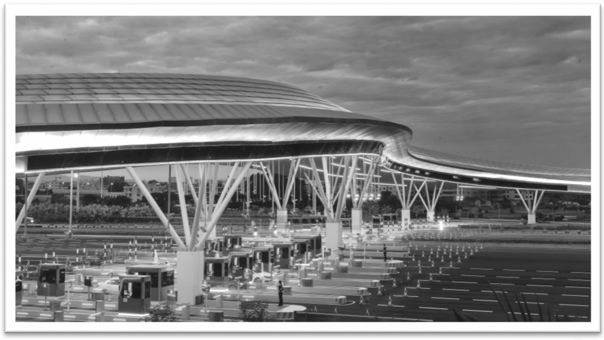
广州机场高速——机场主线站

本次荣获大赛二等奖的《基于全域感知的数字孪生品质收费站》所依托的广州机场高速主线收费站升级改造项目由我公司规划与智慧交通设计院主持设计，以提高广州空港经济区集疏运能力、展现广州美丽花城形象、彰显广州“老城市新活力”城市魅力为目标，全力打造集大数据、5G 应用、云计算、数字孪生等高新技术于一体的智能化、品质化样板收费站，实现提质、降本、增效要求，发挥正面引导作用。

项目改造后，常规 ETC 交易范围从 6 ~ 12m 拓展到 500m，ETC 交易成功率由行业平均的 98% 提升至 99.9%；ETC 车道车辆的平均通行速度约为 50km/h，最快可达 70km/h，远高于 ETC 车道的行业设计标准 20km/h；非 ETC 车道的车辆平均过车时间提升约 3s，混合车道单车道通行能力提升约 40%。

机场主线站的建设成效得到了公众和相关部门领导专家的高度认可，并被多家主流媒体报道、刊发，成为行业里智慧化建设的典范工程。





新华网总网首页刊载、报道

中国新闻网报道

广东新闻联播详细报道

广视新闻详细报道

广州日报专题报道

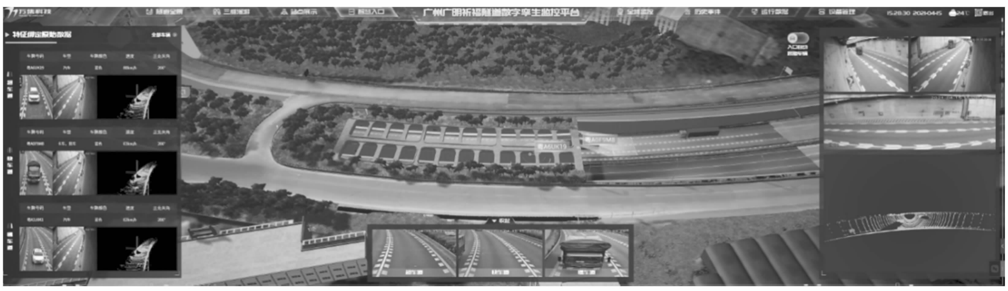
南方日报头版报道

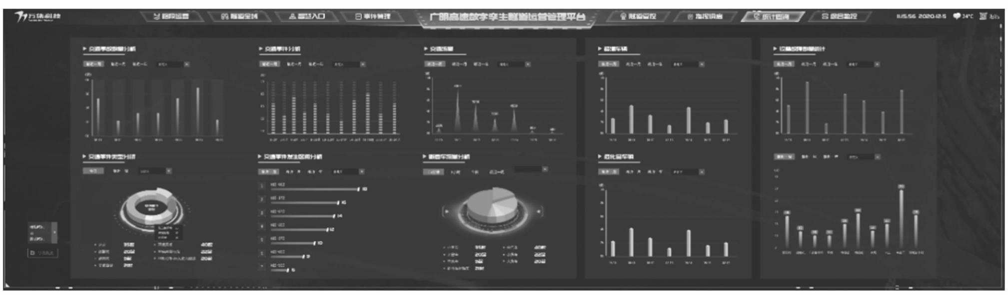
广明高速——祈福隧道

本次荣获大赛优胜奖的《基于全息感知和数字孪生的自动巡检数字隧道》所依托的广明高速祈福隧道智慧化提升项目由我公司规划与智慧交通设计院主持设计。

项目改造后,可实现对隧道内通行车辆特征信息的自动识别、交通事件智能识别预警、交通事件位置定位、交通流量监测等功能,并通过高精地图和三维建模技术,全局可视化地实时呈现隧道内的交通态势和预警信息,方便营运管理业主对隧道进行可视化监控和智能管理,减少人工轮巡观测,使事故发现更及时。

项目落成后,减少了隧道交通拥堵,提升了隧道通行能力与隧道主动安全防控水平,为道路管理者提供了隧道安全高效管理的经验,为群众提供了安全便捷的出行体验,是数字孪生在高速公路领域的又一次创新尝试。





(报道者:席嘉鹏)

粤港澳大湾区高速公路互通立交通行能力分析*

冯心宜
（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： 近年来粤港澳大湾区高速公路交通量增长迅速，而部分高速公路互通立交通行能力的不足，已经成为影响高速公路服务水平的主要因素；本文结合大湾区交通流及路网特点，针对性地提出了互通立交通行能力的分析思路及方法，重点对匝道分合流区域的服务水平进行了分析计算，并提出了改进措施。

关键词： 粤港澳大湾区；互通立交；通行能力；服务水平

粤港澳大湾区是中国开放程度最高、经济活力最强的区域之一；2019 年，湾区以占全国不足 1% 的土地，约 5% 的人口，创造了全国 12% 的国内生产总值，是全国经济的重要增长极。大湾区城市群联系密切，城际间交通出行需求规模巨大，当前大湾区 11 个城市之间的城际交通日均出行总量约 980 万人次左右，常住人口城际交通出行率为 0.14 人次日，机动车保有量为 1 688 万辆。

大湾区同时也是全国高速公路网密度最大的地区，至 2020 年底，大湾区内地实现高速公路通车里程 5 000 km，且大多为双向六车道或以上标准，部分前期修建的双向四车道高速公路近期正开展改扩建研究。随着高标准高速公路网的全面覆盖，高速公路与地方道路相接的节点即互通立交通行能力不足的问题日益突出。

1　大湾区交通流及路网的主要特点

以下以京港澳高速广州至深圳段（以下简称“广深高速”）、京港澳高速南沙至珠海段（以下简称“广珠东线”）、珠三角环形高速东莞至深圳段（以下简称“莞深高速”）等三个典型项目，对大湾区的交通流及路网主要特点进行分析：

1.1　出行交通量大且增速快

2019 年大湾区中广州客货出行总量最大、达到 206.1 万 pcu/d，其次深圳出行总量达 162.9 万 pcu/d，东莞出行总量达 99.7 万 pcu/d；近二十年来，广州与深圳间的通道交通量增长幅度达 546%；同时远景年预测交通量还将大幅增长（详见表 1）。

表 1　典型高速公路全线平均交通量（单位：万 pcu/d）

	2010 年	2019 年	2046 年
广深高速	10.4	12.3	18.2
莞深高速	–	12.3	18.1
广珠东线	6.0	9.1	14.9

1.2　小型车占比高

随着区域 GDP 及人口总量的快速增长，以及产业的转型升级，大湾区的主要高速公路通行的车型比例，已逐渐演变为小型车（即一类车）占绝对多数。

表 2　典型高速公路一类车占比

	2000 年	2010 年	2019 年
广深高速	58.5%	75.7%	86.2%
广珠东线	52.6%	71.0%	85.5%

1.3　高峰小时不明显

由于湾区已高度城市化，其全天交通量分布较为均衡，高峰小时系数小，多数项目均小于规范推荐值 0.085；特别是在 8：00～21：00 时段，多数项目交通量均维持在相对高位，导致拥堵发生时，往往持续时间较长。

表 3　典型高速公路高峰小时系数

	广深高速	莞深高速	广珠东线
高峰小时系数	0.068	0.074	0.078

* 本文已在《中外公路》发表。

1.4 出行里程短

如 2019 年车辆在广深高速上的平均出行距离为 19.4 km；出行距离小于 20 km 的车辆占总交通流的 2/3；其中东莞段平均出行距离为 8.19 km，不到 2 个立交间距；深圳段平均出行距离为 13.8 km，大致 3 个立交间距。如下图所示。

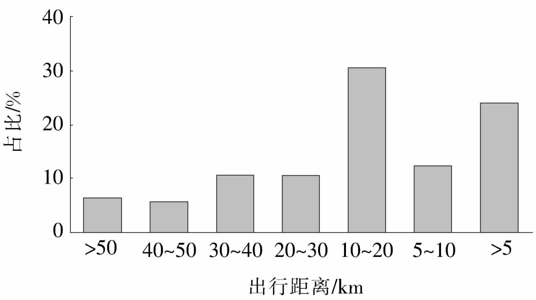


图 1 2019 年广深高速车辆出行距离分析

2019 年车辆在广珠东线上的平均出行距离为 26.3 km；出行距离小于 30 km 的车辆也约占总交通流的 2/3。

1.5 互通立交密度大且出入口交通流量大

由于交通量大，且出行里程短，湾区内各典型高速公路互通立交布设密度大（详见表 4），且各互通立交出入口的交通流量大；部分高速公路互通立交出入口的拥堵，经常引发主线拥堵，降低路网的服务水平。

表 4 典型高速公路互通立交间距

	路线长/km	立交数（座）	平均间距/km
广深高速	118.2	24	4.9
莞深高速	47.8	12	4.0
广珠东线	49.7	10	5.0

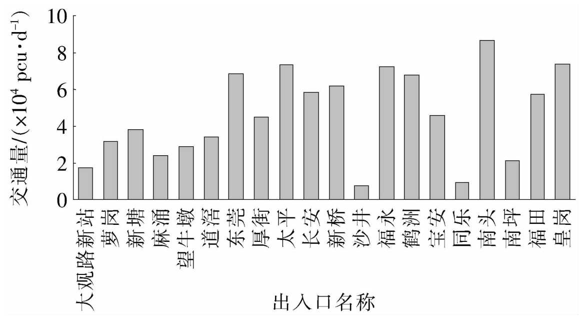


图 2 2019 年广深高速出入口交通量（万 pcu/d）

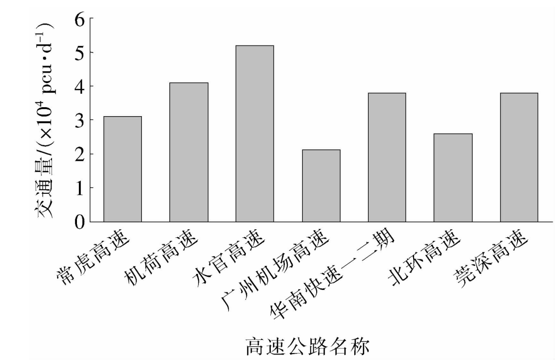


图 3 2019 年湾区相关高速出入口平均交通量（万 pcu/d）

2 影响高速公路互通立交通行能力的主要因素

根据以上交通流及路网特点分析，湾区各高速公路的服务水平，高度依赖互通立交的通行能力，而影响互通立交通行能力的主要因素有：

2.1 匝道本身的通行能力

根据现行《公路立体交叉设计细则》（JTG/T D21－2014）（以下简称《细则》），匝道基本路段单车道和双车道的设计通行能力如下：

表 5 匝道基本路段的设计通行能力

设计速度（km/h）	80	70	60	50	40	35	30
单车道（pcu/h）	1 500	1 400	1 300	1 200	1 000	900	800
双车道（pcu/h）	2 900	2 600	2 300	2 000	1 700	1 500	1 300

2.2 主线和匝道分合流连接部的通行能力

由于湾区高速公路互通立交密集且交通流量大，主线和匝道连接部的通行能力是对路段服务水平及互通立交通行能力影响最大的因素；该部分通行能力主要受设计速度、主线外侧第 1、2 车道的交通量、匝道交通量、变速车道长度等因素确定。在湾区的高速公路，由于匝道分合流区域通行能力不足，导致主线外侧 1、2 车道拥堵，从而影响路段通行能力的现象时有发生，这在双向六车道高速公路上表现尤为明显，本文将重点分析此

部分通行能力。

2.3　主线和匝道连接部存在交织区时的通行能力

根据湾区路网特点，不可避免出现部分互通立交间距较近的情况；根据《公路路线设计规范》(JTG D20－2017)(以下简称《规范》)规定，互通立交最小间距不宜小于 4 km，净距不应小于1 000 m；而受限于征地拆迁等客观建设条件，部分新建高速公路与已建高速公路间设置枢纽立交时，难免出现与已建高速公路上服务型立交净距小于 1 000 m 的情况，此时除了按《规范》要求设置辅助车道或集散车道外，还应验算两互通相邻出入口间交织段的通行能力。

2.4　服务型互通匝道收费站的通行能力

服务型立交即与地方道路连接的一般互通立交，在交通运输部大力推行高速公路 ETC 收费之前，部分连接主要城镇的收费站常年拥堵，湾区多个高速公路的收费站均开展了改扩建。但随着 ETC 普及率的逐渐提高，问题得到了极大缓解；2019 年底，湾区多数城市的 ETC 安装率已达到 80%，小客车 ETC 安装率更高，而大湾区高速公路通行的小客车比例多数已超过 80%；以通行小客车的收费车道为例，ETC 车道一般情况下平均通行时间不足 6 秒，而原有的人工收费车道平均通行时间约 18～20 秒，通行效率提高了 3 倍有余；以原有车道数改造为 ETC 车道后，大多数匝道收费站通行能力已不再是瓶颈。

2.5　服务型互通匝道与地方道路连接处的通行能力

在匝道收费站通行能力大幅提高后，随着而来的是匝道与地方道路连接处的通行能力不足，特别是部分采用平面交叉型式连接的交叉口；由于地方道路连接型式多样且各不相同，通行能力也与地方采取的交叉口管理措施相关，因此本文暂不讨论此部分内容。

3　湾区高速公路互通立交通行能力分析及服务水平验算

3.1　匝道技术标准选择及其设计通行能力

根据《规范》要求，当匝道交通量大于等于 1 200 pcu/h 时，应采用双车道；当匝道交通量小于 1 200 pcu/h 时，可采用单车道或满足超车需要的双车道，此时采用单车道出入口。同时广东省交通运输厅也在 2019 年发文要求湾区互通立交匝道原则上采用双车道标准。

各匝道基本路段设计通行能力可参照本文表 5；在立交匝道普遍采用双车道标准的情况下，匝道自身的通行能力均得到了较大的提升，此时通行能力的瓶颈主要集中在匝道与主线的分合流区域，特别是采用单车道出入口时。

3.2　主线和匝道分合流连接部的通行能力分析

本文重点分析湾区最常见的主线双向六车道且匝道采用单车道出入口的情况。连接部通行能力分析时，《规范》虽允许采用四级服务水平，但由于湾区互通立交间距小密度大，若连接部均采用四级服务水平则串联起全线的服务水平也将下降为四级，因此连接部应与一般高速公路主线路段采用相同的服务水平，即不低于三级。

本文参照美国交通研究委员会《道路通行能力手册》(以下简称《手册》)中提供的相关公式，对连接部通行能力及服务水平进行计算。

3.2.1　匝道合流的服务水平计算

以下以设计速度 120 km/h 的双向六车道高速公路单车道入口为例，验算不同匝道合流交通量下合流连接部的交通流密度；假设该连接部合流后下游主线交通已达到三级服务水平的下限，参考《规范》为每车道 1 650 pcu/h，即单向总交通量 4 950 pcu/h(若超过此数值则主线本身服务水平不能满足要求)；加速车道长度采用《规范》值 $L_A = 230$ m。

根据《手册》，首先应确定合流区上游主线外侧第 1、第 2 车道的交通量(V12)，再计算合流区的车流密度 D_R：

$$V_{12} = V_F \times P_{FM} \tag{1}$$

式中：V_F 为合流区上游交通量，交通量单位为 pcu/h，下同。

六车道高速公路：

$$P_{FM} = 0.5775 + 0.000092 L_A \tag{2}$$

式中：P_{FM}为交通量比例。

$$D_R = 3.402 + 0.00456V_R + 0.0048V_{12} - 0.01278L_A \quad (3)$$

式中：V_R 为匝道交通量。

根据《规范》及《手册》中的相关规定，互通立交连接部的车流密度不大于 17 pcu/km/车道时，可满足三级服务水平要求。此时计算结果如下：

表 6　六车道合流区车流密度验算结果

（$L_A = 230$，合流后交通量 4 950）

V_R	P_{FM}	V_{12}	D_R
1 200	0.599	2 245	16.7
1 100	0.599	2 305	16.5
1 000	0.599	2 365	16.4

根据上表，在主线及单车道匝道交通量均较为饱和时，连接部的服务水平也接近三级服务水平下限 17 pcu/km/车道。同时由式 3 可知，在交通流不变的前提下，影响车流密度的主要控制因素是加速车道长度；而一般情况下匝道驾驶员均倾向于提早汇入主线，未能充分利用加速车道，此时将影响合流区的通行：

表 7　六车道合流区车流密度验算结果

（$L_A = 160$，合流后交通量 4 950）

V_R	P_{FM}	V_{12}	D_R
1 200	0.592	2 221	17.5
1 100	0.592	2 280	17.3
1 000	0.592	2 339	17.1

如上表所示，若匝道交通流均提早至加速车道前 160 m 汇入主线，则服务水平不能满足三级。因此在合流连接部，应采取相关措施，提醒驾驶员充分利用加速车道，合理汇入。

同时若对连接部匝道采用双车道入口，则其通行能力将大幅提升，参照《手册》，P_{FM} 可取 0.555，加速车道长度采用《规范》值 400 m，计算结果如下：

表 8　六车道合流区车流密度验算结果

（$L_A = 400$，合流后交通量 4 950）

V_R	P_{FM}	V_{12}	D_R
2 800	0.555	1193	16.8
2 400	0.555	1415	16.0
1 200	0.555	2081	13.8

此时即使合流区匝道交通量达到双车道的饱和状态，也能满足三级服务水平要求。

3.2.2　匝道分流的服务水平计算

同样以设计速度 120 km/h 的双向六车道高速公路单车道出口为例，验算不同匝道分流交通量下连接部的交通流密度；假设该连接部分流前上游主线交通量已达到三级服务水平的下限，即单向 $V_F = 4\ 950$ pcu/h；减速车道长度采用《规范》值 $L_D = 145$ m。此时：

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) \times P_{FD} \quad (4)$$

式中：V_{12}、V_F 与 V_R 的含义同前文，P_{FD} 为交通量比例。

六车道高速公路：

$$P_{FD} = 0.760 - 0.000025V_F - 0.000046V_R \quad (5)$$

$$D_R = 2.642 + 0.0053V_{12} - 0.0183L_D \quad (6)$$

表 9　六车道分流区车流密度验算结果

（$L_D = 145$，合流后交通量 4 950）

V_R	P_{FM}	V_{12}	D_R
1 200	0.581	3 379	17.9
800	0.599	3 288	17.4
400	0.618	3 211	17.0

参照表 9，除非分流交通量下降至 400 pcu/h（实际较难实现），否则分流区已不能满足三级服务水平；同时由于一般驾驶员均倾向于较迟驶入减速车道，实际减速长度较短，因此实际车流密度还将增大。以上计算结论解释了为何部分高速公路一般路段不拥堵、而出口拥堵的原因；对于湾区高速公路互通密度大、且车流高峰持续时间长的情况，拥堵还将加剧。

而当分流区上游主线交通量下降为单向4 600 pcu/h 时，方可满足三级服务水平要求：

表 10　六车道分流区车流密度验算结果

（$L_D = 145$，合流后交通量 4 600）

V_R	P_{FM}	V_{12}	D_R
1 200	0.590	3 205	17.0
1 100	0.594	3 180	16.8
1 000	0.599	3 156	16.7

若对连接部采用双车道出口，即使主线单向交通量达 4 950 pcu/h，分流区通行能力也将大幅提升；参照《手册》，P_{FD} 取 0.450，LD 取《规范》值 225 m，计算结果如下：

表 11　六车道分流区车流密度验算结果

（L_D = 225，合流后交通量 4 950）

V_R	P_{FM}	V_{12}	D_R
2 800	0.450	3 768	18.5
2 300	0.450	3 493	17.0
1 200	0.450	2 888	13.8

在双车道分流交通量不超过 2 300 pcu/h 时，分流区能满足三级服务水平要求。

3.2.3　分合流连接部通行能力及服务水平的改进

根据以上分析，改善湾区互通立交分合流连接部通行能力及服务水平的措施有：

（1）通过主线改扩建，增加主线车道数，降低主线交通流饱和度，从而减少分布在主线外侧第 1、2 车道的交通量，降低连接部车流密度，提高服务水平。

（2）部分项目在全线改扩建时机尚未成熟，而局部路段交通流饱和度大、部分互通立交出入口拥堵严重时，则可通过将互通立交改建为双车道出入口，从而提高通行能力。

（3）在受征地拆迁等客观建设条件影响，出入口的双车道改建也难以实施时，则只能通过延长加减速车道长度，并设置相关设施，引导分合流车辆更加均匀分布，提高服务水平。

3.3　交织区的通行能力分析

当互通立交入口匝道后方紧跟出口匝道时，就构成了交织区。影响高速公路交织区通行能力的主要因素有：交织区长度、交织区宽度（即车道数）、交织区总交通量、参与交织的交通量及其与总交通量的比值、交织区主线设计速度等。

当交织区的最大长度超过 750 m 时，一般认为交织将不再是路段通行能力的控制因素，而是本文 3.2 节中分析的匝道分、合流连接部的通行能力。因此互通立交设计阶段，当互通立交净距小于 1 000 m、交织难以避免时，一般尽量控制交织区长度大于 750 m。

同时为提高交织区通行能力，可采取的主要措施有：增长交织区长度、增加交织区宽度、提高路段设计速度等。由于湾区各高速公路存在交织长度小于 750 m 的交织区相对较少，且各交织区的长度、宽度、设计速度、交通量等各不相同，因此本文不再赘述。

4　结语

对于一般高速公路项目，由于其交通流饱和度相对较低、高峰时间短，因此互通立交通行能力不足引起的问题不甚突出；而粤港澳大湾区的交通流及路网特点，却使互通立交的通行能力容易成为部分项目的瓶颈，因此对其进行全面系统的分析是十分必要的；本文提出的相关思路及方法，可供下阶段相关问题分析时参考。

参考文献：

[1] 公路工程技术标准 JTG B01－2014[S]. 北京：人民交通出版社，2014.
[2] 公路路线设计规范 JTG D20－2017[S]. 北京：人民交通出版社，2017.
[3] 公路立体交叉设计细则 JTG/T D21－2014[S]. 北京：人民交通出版社，2014.
[4] 美国交通研究委员会. 道路通行能力手册[M]. 2000 年版. 任福田等译. 北京：人民交通出版社，2007.
[5] 广东省交通规划设计研究院股份有限公司. 京港澳高速公路广州至深圳段改扩建工程可行性研究报告[Z]，2020.

黄茅海跨海通道工程高栏港大桥结构体系设计*

杜　磊，梁立农，孙向东，万志勇，徐德志

（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：黄茅海跨海通道工程高栏港大桥为主跨 700m 大跨径斜拉桥，需克服强台风、高烈度地震、强海水腐蚀、高船撞力等不利的建设条件。设计过程中，研究了其在百年风、温度、活载、地震等作用下的受力特点，确定了其合理的结构体系。纵向在塔梁连接处设置动力阻尼加刚性限位装置以控制塔身内力以及塔顶、梁端位移。横桥向在辅助墩、过渡墩处设置摩擦摆减隔震支座，使辅助墩、过渡墩墩身及基础在静、动力荷载作用下内力及位移均较为合理。通过合理的梁段划分、拉索布置及索力调整，不设塔梁连接处竖向支撑，降低了施工难度，提升了桥梁景观及经济性。

关键词：黄茅海跨海通道；高栏港大桥；斜拉桥；结构体系；动力阻尼加刚性限位；摩擦摆支座

1　前言

斜拉桥结构体系指的是塔、墩、梁、索等主要构件的连接方式及传力途径。国内外已经建成多座大跨径斜拉桥，结构体系也不尽相同[1-2]，设计过程中应结合建设条件及技术标准，综合考虑结构的静力、动力特性，选择适宜的约束体系，以实现结构安全、耐久、经济等重要目标。

2　概况

2.1　项目概况

黄茅海跨海通道起点在珠海市平沙前西社区与鹤港高速顺接，终点于台山斗山镇，与西部沿海高速相交，对接新台高速，路线全长 31.11km。跨越崖门出海航道东东航道处设置高栏港大桥。根据通航条件专题研究成果及航道批复，东东航道主跨要求不小于 700m。基于这一跨径，结合自然条件，斜拉桥是最合适的桥型。

2.2　主要技术标准

（1）公路等级：高速公路；

（2）设计速度：100 km/h；

（3）行车道数：双向六车道；

（4）设计使用寿命：100 年；

（5）主桥宽度：全宽 50 m；

（6）设计荷载：公路－I 级；

（7）设计通航净空：东东航道（538×64）m。

（8）通航水位：最高通航水位＋3.320 m，最低通航水位：－0.788 m。

（9）桥址设计基本风速：$U_{S10}=46$ m/s；

（10）地震设防标准：通航孔桥 E1 基准—100 年超越概率 10%，E2 基准—100 年超越概率 4%。

（11）船舶撞击力：见表 1。

表 1　高栏港大桥船撞力

桥墩	防撞船型 DWT	设计防撞力/MN	
		设防前	设防后
Z1	5 000 t 50 000 t（复核）	25.6	20.4
Z2	5 000 t 50 000 t（复核）	30.7	24.6
Z3	50 000 t	94.6	77.1
Z4	50 000 t	94.6	77.1
Z5	10 000 t 50 000 t（复核）	47.3	37.9
Z6	10 000 t 50 000 t（复核）	34.2	27.6

2.3　建设条件分析

（1）桥梁抗风要求高

位于台风多发地区，设计基准风速达 46 m/s，

* 本文已在《公路》发表。

先例较少，结构承受风荷载明显大于同跨径的桥梁。

(2)桥梁抗震要求高

桥梁跨径大，桥墩高，区域地震动峰值加速度为 0.10 g；且地震设防标准高。

(3)船撞力大

2.4　高栏港大桥总体布置

根据建设条件及相关专题结论，结合航道区域布置即项目跨海段跨径总体设计，高栏港大桥跨径布置为 110 + 248 + 700 + 248 + 110m = 1 416 m，边中跨比为 0.51。采用独柱式桥塔 + 分体式钢箱梁方案，总体布置如图 1。

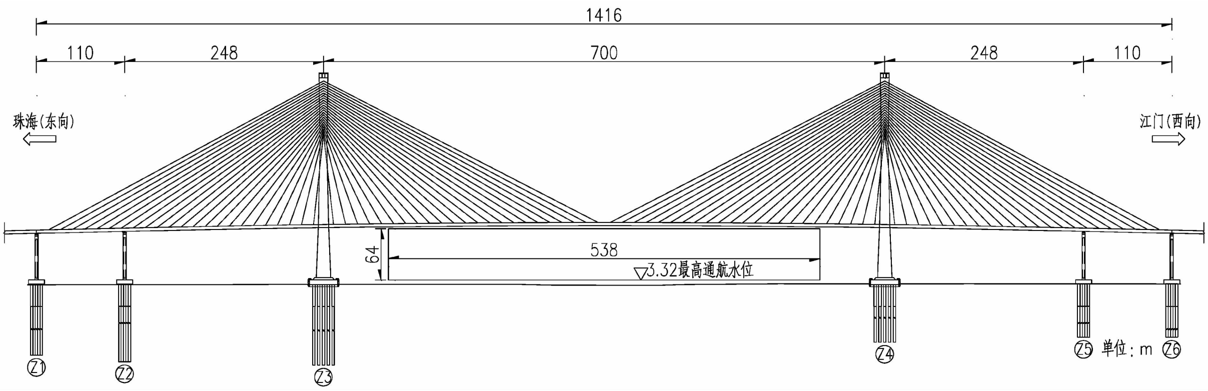


图 1　高栏港大桥立面布置

针对高栏港大桥，纵向约束体系设计主要关注桥塔的弯矩及梁端的位移[3]；横向约束体系设计主要关注的是辅助墩、过渡墩及其基础的受力[4]，因此，仅对关注构件的相关设计信息做简要介绍。

索塔采用独柱塔，塔柱总高度 254.7 m，如图 2 所示。

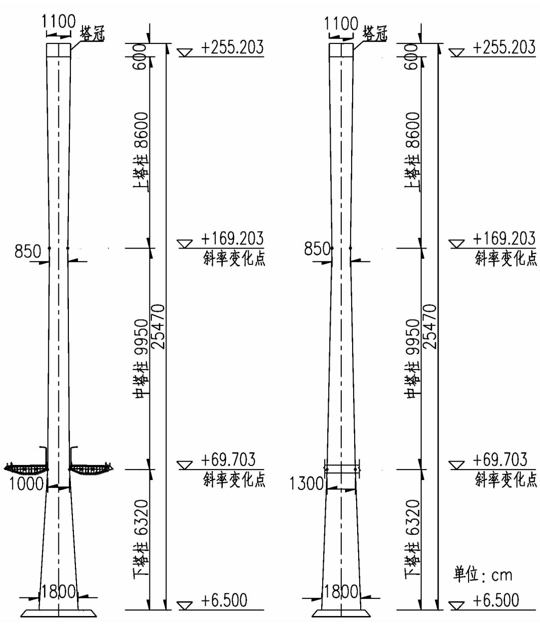


图 2　高栏港大桥桥塔结构

辅助墩过渡墩采用悬臂 Y 型墩，如图 3 所示。

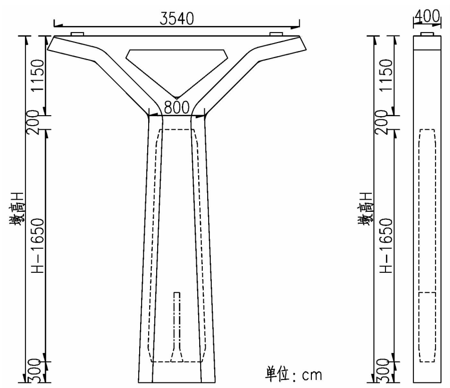


图 3　高栏港大桥辅助墩、过渡墩墩身结构

基础根据受力及地质条件不同，区分设计。东过渡墩(Z1)、东辅助墩(Z2)基础均为 10 根钻孔灌注桩，单桩直径为 ϕ3.0 m。西侧辅助墩(Z5)过渡墩(Z6)基础为 13 根同类型桩基。

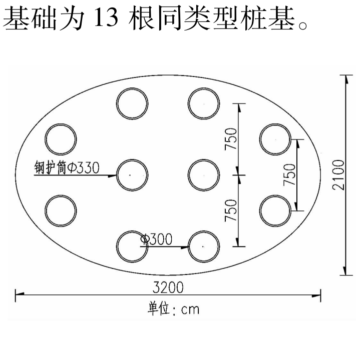


图 4　高栏港大桥东辅助墩、过渡墩基础布置

3　结构体系设计

高栏港大桥结构体系的控制目标为：

（1）保证结构在静力及极限动力荷载作用下的安全度；

（2）改善结构在极限风、地震等偶然荷载作用下的内力和位移反应，减小伸缩缝、支座等装置的位移量和动力磨损[5]。

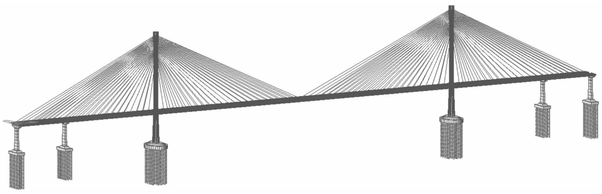


图 5　计算分析模型

3.1　纵向结构体系

纵向先以全漂浮体系为例，梁端纵向位移计算结果如表 2 所示。计算过程已考虑几何、材料、边界三重非线性的影响。对于纵向变形，负号表示指向跨中，正号表示远离跨中。

如采用全漂浮体系，主梁产生较大的纵向漂移，主要由百年风引起，导致伸缩缝规模较大；索塔塔顶也产生了较大的纵向水平位移，会使桥塔内产生过大的弯矩，受力极为不利。

如采用塔梁固结体系，可有效改善百年风引起的过大水平位移，但对于温度、地震等荷载工况而言，桥塔及主梁受力也非合理状态。

表 2　纵向全漂浮体系梁端及塔顶位移

项目	部位	荷载	位移/mm
纵向	梁端	汽车荷载	346/ －346
		升温/降温	212/ －212
		运营风	369/ －369
		100 年风	1 581/ －1 581
	塔顶	汽车荷载	206/ －402
		升温/降温	150/ －150
		运营风	391/ －391
		100 年风	1 698/ －1 698

从约束装置在结构使用阶段发生作用的机理出发，进一步提出永久弹性约束方案和动力阻尼加刚性限位方案进行比选。对于永久弹性约束的刚度值，设计过程中按 1 e^4 kN/m ~ 10 e^4 kN/m 分 13 档计算，综合结构受力、弹性索自身承载力富余度等因素考虑，确定弹性索刚度 3 e^4 kN/m[6]。对于动力阻尼加刚性限位方案，每个桥塔处设 4 个阻尼器，如图 6 所示。经比选，单个阻尼器的速度指数 $\alpha = 0.3$，阻尼常数 $C = 3\ 500$ kN/(m/s)$^{0.3}$，刚性限位的限位间隙取 45 cm，弹簧刚度取 400 MN/m[6-7]。

不同结构体系计算结果如表 3 和表 4 所示，索塔纵向受力较为不利的工况为百年风组合和地震组合。表 3 中所列结果均为标准组合，考虑承载能力极限状态的相关系数后，百年风组合效应均大于 E2 地震效应，为结构纵向受力的控制工况。

表 3　不同结构体系在静力百年风荷载＋温度作用下效应比较

百年风＋温度	全漂浮体系	永久弹性约束	阻尼加刚性限位	塔梁固结体系
梁端水平位移/m	1.793	0.62	0.539	0.289
塔顶水平位移/m	1.848	0.565	0.525	0.137
塔底弯矩/(kN · m)	3 011 462	1 670 254	1 435 251	2 429 853
塔底弯矩比例	2.10	1.16	1.00	1.69

表 4　不同结构体系在 E2 地震（纵向＋竖向）作用下效应比较

E2 地震	全漂浮体系	永久弹性约束	阻尼加刚性限位	塔梁固结体系
梁端水平位移/m	1.72	0.675	0.202	0.156
塔顶水平位移/m	1.79	0.725	0.259	0.222
塔底弯矩/(kN · m)	2 180 000	2 615 385	1 697 738	3 550 000
塔底弯矩比例	1.28	1.54	1.00	2.09

从比较结果来看，安装永久弹性约束装置或阻尼加刚性限位装置可使梁端水平位移、塔顶水平位移及塔底弯矩都较小，相对较优。其中，动力阻尼器加刚性限位方式改善了结构的动力响应，同时能较快地衰减主梁震动，耗能效果要优于水平弹性约束。并且刚性限位后结构在纵向极限风荷载等作用下的静力响应也大大减小，梁端位移从漂浮体系的 1.793 m 降低至 0.539 m，降幅达 70%；塔底弯矩从 3 011 462 kN · m 降低至1 435 251 kN · m，降幅达 52%。经综合比较，推荐采用动力阻尼器加刚性限位的结构体系。纵向阻尼器的构造如图 7 所示。

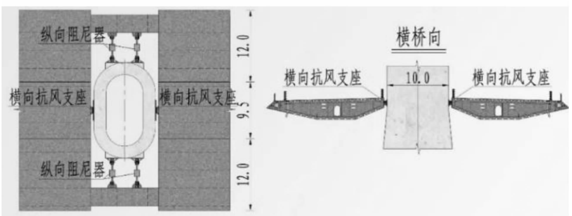


图 6　塔梁连接处支座及阻尼器布置示意

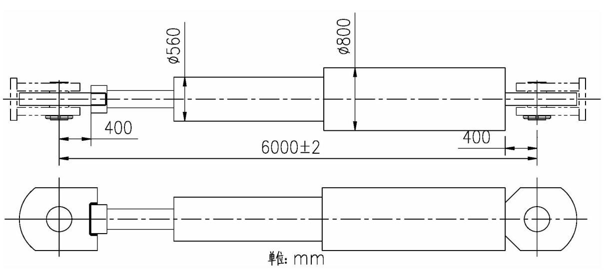


图 7　纵向阻尼器构造

施工图阶段，对动力阻尼器加刚性限位的结构体系的相关参数做了进一步研究，如表 5 所示。应注意静力限位力计算需考虑非线性以及多个限位装置受力异步性的影响。

3.2　横向结构体系

就高栏港大桥横向受力体系而言，主塔与主梁

表 5　阻尼器加刚性限位装置参数

动力阻尼参数	力与速度函数	$F = CV$
	额定阻尼力/kN	3 500
	速度指数	0.3
	阻尼系数	5 000
	最大反应速度/(m/s)	0.3
	极限位移/mm	±650
弹簧参数	限位刚度/(MN/m)	400
	弹簧力/kN	8 000
	弹簧位移量/mm	20
阻尼系统正常使用极限状态安全系数		1.5
限位系统正常使用极限状态安全系数		1.5
阻尼器水平转动角度(度)		±3

间需要设置横向抗风支座以控制二者的相对运动。经计算分析，桥塔横向受力为百年风组合控制，塔底截面永久作用 + 温度 + 横向百年风基本组合下弯矩效应值达到 5 521 594 kN · m，永久作用 + E2 地震横竖组合的弯矩值为 3 089 751 kN · m，远小于百年横风组合。

辅助墩及过渡墩受力为 E2 地震控制。因此，研究主要集中在辅助墩、过渡墩横向采取何种约束方式。进行横向结构体系比选，主要分析以下四种横向结构体系对结构的影响：

体系一：过渡墩、辅助墩、塔梁连接处均设横向约束；

体系二：过渡墩、塔梁连接处设横向约束；

体系三：仅在塔梁连接处设横向约束；

体系四：过渡墩、辅助墩处设摩擦摆支座，塔梁连接处均设横向约束。

（1）梁端位移

4 种体系在横向 E2 地震荷载作用下的梁端位移值见表 6。

表 6　不同结构体系在 E2 地震(横向 + 竖向)作用下位移

项目	纵向位移/m	横向位移/m	竖向位移/m	横向转角/Rad	纵向转角/Rad	竖向转角/Rad
体系一	0.017	0.224	0.082	0.007	0.004	0.001
体系二	0.02	0.25	0.082	0.005	0.005	0.002
体系三	0.046	0.632	0.047	0.005	0.004	0.003
体系四	0.025	0.375	0.038	0.004	0.004	0.001

由表 6 可知,体系一和体系二位移基本一致,体系一位移均最小;体系四采用摩擦摆支座,梁端横向位移略有增加,梁端横向位移最大为 0.375 m;由于体系三仅塔梁连接处横向约束,地震作用下梁端横向位移最大,达到 0.632 m,百年风工况下更是达到 1.62 m,因此,体系三不是本桥的合理受力体系。

(2)辅助墩、过渡墩墩身及基础受力

E2 地震作用下,墩身关键截面内力如表 7 所示。

体系四采用摩擦摆支座后,辅助墩和过渡墩墩身横向内力明显减小,弯矩可由体系一的 831 884 kN·m 降为 429 304 kN·m,降低比例达 50%。经分析,E2 地震作用外,过渡墩在百年风能工况下是最不利受力状态,最大弯矩为 327 940 kN·m,体系二的弯矩为其 2.44 倍,两种不利工况差值过大,受力体系不甚合理。采用减隔震设计后,体系四的弯矩仅为其 1.13 倍,较为合适。

表 7 不同结构体系在 E2 地震(横向+竖向)作用下墩底内力

截面位置		轴力/kN	横向剪力/kN	横向弯矩/(kN·m)
体系一	Z1 墩底	14 593	19 009	831 884
	Z2 墩底	12 064	13 603	724 593
体系二	Z1 墩底	14 449	19 534	800 330
	Z2 墩底	12 326	12 422	387 106
体系三	Z1 墩底	14 467	11 708	486 683
	Z2 墩底	12 379	12 758	426 772
体系四	Z1 墩底	15 629	9 050	429 304
	Z2 墩底	12 792	10 716	369 175

表 8 不同结构体系在 E2 地震(横向+竖向)作用下桩基内力

截面位置		轴力/kN	横向剪力/kN	横向弯矩/(kN·m)
体系一	Z1 桩基	23 588	4 248	36 300
	Z2 桩基	17 692	3 380	27 911
体系二	Z1 桩基	25 595	3 769	32 258
	Z2 桩基	13 571	3 000	26 012
体系三	Z1 桩基	14 900	3 200	28 500
	Z2 桩基	14 523	3 320	28 540
体系四	Z1 桩基	12 121	2 880	25 189
	Z2 桩基	12 475	3 261	27 595

E2 地震作用下,桩基关键截面内力见表 8。对于过渡墩基础,横向内力及动轴力均有较为明显的降低,弯矩可由 36 300 kN·m 降低至 27 595 kN·m,降低比例达 24%,动轴力可由 25 595 kN 降低至 12 121 kN,降低比例达 53%。辅助墩基础横向内力并无明显降低,但动轴力降低较为明显,可由 17 692 kN 降低至 12 475 kN,降低比例达 29%。由于 E2 作用与恒载组合后,桩基为拉弯构件,降低动轴力,减小桩基所受拉力,可降低桩基配筋率,是更为合理的受力体系。

对于百年风工况而言,无论从内力还是位

移角度出发,辅助墩处和过渡墩处支座处于横向约束状态受力更为有利,但 E2 地震作用下,该体系却不是最优选择。采用体系四,通过设置剪力销,支座的剪断力设置为百年风工况响应的 1.3 倍,可保证百年风工况辅助墩处和过渡墩处支座处于横向约束状态,当地震发生时,且地震力超过给定值时,辅助墩及过渡墩支座限位约束被解除,支座发生水平滑动。百年横风作用下支座力见表 9。

体系四采用摩擦摆支座,摩擦摆支座具有摩擦耗能作用,能减小结构的地震响应,并把横向位移限制在可接受范围内。经比选,横向约束体系采用体系四:过渡墩、辅助墩处设摩擦摆支座,塔梁连接处均设横向约束。支座相关参数如表 10 所示。

表 9　百年横风作用下支座力

位置	竖向/kN	横向/kN	纵向/kN
左侧过渡墩	528	1 116	0
左侧辅助墩	2 475	2 039	0
右侧辅助墩	2 478	2 117	0
右侧过渡墩	798	1 076	0

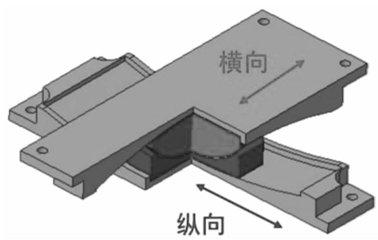


图 8　摩擦摆支座结构示意

表 10　辅助墩、过渡墩摩擦摆支座参数

支座型号	竖向承载力/kN	设计剪断力		水平极限承载力		设计滑移位移		等效半径	
		纵向/kN	横向/kN	纵向/kN	横向/kN	纵向/mm	横向/mm	纵向/m	横向/m
XFPB－8.0ZX	8 000	—	1 600	2 000	2 000	±900	±350	6	5
XFPB－8.0SX	8 000	—	—	2 000	2 000	±900	±350	6	5
XFPB－16.0ZX	16 000	—	3 200	4 000	4 000	±900	±350	6	5
XFPB－16.0SX	16 000	—	—	4 000	4 000	±900	±350	6	5

3.3　竖向结构体系

高栏港大桥采用独柱式桥塔＋分体式钢箱梁方案,辅助墩及过渡墩处均设置竖向支撑。塔梁连接处如设置竖向支撑,需设置牛腿,施工难度大,景观差;支撑点处主梁应力集中,同时出现负弯矩峰值;且对结构刚度并无明显提升。

在满足横梁设置、阻尼器安装空间的前提下,合理设计边、中跨 1#索的间距,并通过索力调整,可使塔梁连接处无索区范围内主梁应力满足规范要求。高栏港大桥边、中跨 1#索距 25 m,考虑第二体系叠加后,基本组合下,钢主梁应力 210 MPa,可满足规范相关要求。

经分析,高栏港大桥竖向约束体系采用索塔处不设置竖向支座;每个辅助墩和过渡墩处设置 2 个竖向支座。

3.4　小结

高栏港大桥全桥约束体系如图 9 所示。

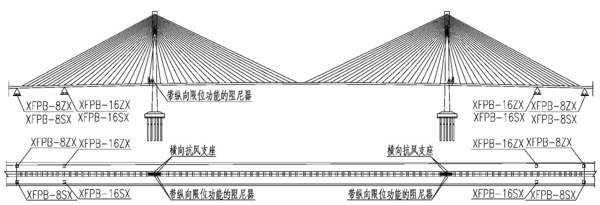


图 9　高栏港大桥约束体系布置

(1)竖向约束体系:索塔处不设置竖向支座;每个辅助墩和过渡墩处设置 2 个竖向支座。

(2)横向约束体系:在每个主墩处设有 2 个横向支座,起抗风、防震、限位作用。辅助墩及过渡墩的横向支座在 E2 地震外的工况,一个固定,另一个放开。在 E2 地震工况下,地震力超过给定值时,横向固定支座剪力销剪断,支座限

位约束被解除，辅助墩及过渡墩处所有支座可双向滑动。

（3）纵向约束体系：索塔和主梁之间采用动力阻尼加刚性限位的结构体系；边墩及辅助墩处设置纵向活动支座。

4　结语

高栏港大桥为主跨 700 m 的大跨径斜拉桥，位于珠江口海域，建设条件极为复杂，需克服强台风、高烈度地震、强海水腐蚀、高船撞力、浅覆水施工等不利的建设条件，合理的结构约束体系是其受力的关键，经设计过程研究，得到以下结论：

（1）纵桥向通过设置动力阻尼器加刚性限位装置，有效降低了桥塔静、动力荷载作用下的内力。控制工况百年风作用下，与纵向全漂浮体系相比，塔底弯矩从 3 011 462 k N · m 降低至1 435 251 kN · m，降幅达 52%，处优化了塔身受力，降低了基础规模；同时，限制了梁端位移，降低了伸缩缝及支座的位移量；梁端位于从漂浮体系的 1. 793 m，降低至 0. 539 m，降幅达 70%；

（2）横桥向通过设置摩擦摆支座可使辅助墩、过渡墩墩身及基础在静、动力荷载作用下内力及位移均为较为合理，同时可有效控制主梁的横向位移。采用摩擦支座后，辅助墩和过渡墩墩身横向内力明显减小，弯矩由 831 884 kN · m 降为 429 304kN · m，降低比例达 50%。对于过渡墩基础，横向内力及动轴力均有较为明显的降低，弯矩可由 36 300 kN · m 降低至 27 595 kN · m，降低比例达 24%；动轴力可由 25 595 kN 降低至 12 121 kN，降低比例达 53%。

（3）通过合理的梁段划分、拉索布置及索力调整，可不设塔梁连接处的竖向支撑，避免在 60 m 高的桥面处设置牛腿，降低了施工难度，提升了桥梁景观性及经济性。

参考文献：

[1] 严国敏. 现代斜拉桥[M]. 成都：西南交通大学出版社，1996.
[2] 徐利平. 超大跨径斜拉桥的结构体系分析[J]. 同济大学学报（自然科学版），2003. 31，(4)：400 – 403.
[3] 张喜刚，陈艾荣. 千米级斜拉桥 – 结构体系、性能与设计[M]. 北京：人民交通出版社，2010
[4] 叶爱君，范立础. 超大跨度斜拉桥的横向约束体系[J]. 中国公路学报，2007，20(2)：63 – 67.
[5] 卢永成，邵长宇. 长大公轨合建桥梁新技术[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2015.
[6] 广东省交通规划设计研究院股份有限公司. 黄茅海跨海通道工程 A1 标初步设计文件[R]. 广州：2020.
[7] 广东省交通规划设计研究院股份有限公司，中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司. 黄茅海跨海通道大跨桥梁抗震性能及减震措施研究（初步设计阶段）（分报告一）[R]. 广州：2020.

半柔性路面材料的抗裂性能研究

吴佳洪
（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：半柔性路面因其优异的抗车辙性能已被广泛应用于中国的道路建设中。由于基体沥青混合料与水泥砂浆间体积稳定性差异较大，半柔性路面材料内部应力集中而易发生开裂。为探究不同影响因素对半柔性路面材料的抗裂性能影响，本论文采用正交设计方法，开展水泥砂浆配合比设计，并掺入水性环氧树脂、硅灰、乳化沥青等外掺剂对水泥砂浆进行性能优化，制备有特殊性能的水泥砂浆。然后本文以水泥砂浆类型、基体空隙率、基体集料类型、基体沥青类型为影响因素，对半柔性路面材料抗裂性能进行影响因素分析。研究表明，水泥砂浆类型、基体空隙率、基体沥青类型、基体集料类型对半柔性路面材料的抗裂性能有着不同程度的影响。基体空隙率对低温抗裂性能的影响程度最大，基体沥青类型和水泥砂浆类型次之，集料类型影响程度最低。增强水泥砂浆柔性和增强基体弹塑性有利于半柔性路面低温性能提高。

关键词：水泥砂浆；正交试验；半柔性路面；抗裂性能

0　引言

半柔性路面是在大空隙路面结构中灌注高性能水泥砂(净)浆而形成的新型路面结构，由于结构中填充了水泥砂(净)浆，半柔性路面结构强度高，抗车辙性能优异[1-4]。近年来，半柔性路面已广泛应用于中国的交叉路口，公交车站，快速公交(BRT)车道等区域[5-7]。由于基体沥青混合料与水泥砂浆间体积稳定性差异较大，在水泥砂浆水化反应或温差变化较大时，若基体沥青混合料和水泥砂浆的变形无法协同，半柔性路面材料内部将出现应力集中现象，而易发生开裂，因此半柔性路面抗裂性能研究尤为重要。胡曙光[8]采用减水剂和膨胀剂优化水泥砂浆性能和半柔性路面抗裂性能。蔡安兰[9]探讨了化学减缩剂和各种功能的减水剂对水泥砂浆干缩性能的影响。胡曙光[10]对半柔性路面的体积稳定性和抗裂性能进行影响因素分析，并开发了流动性强、收缩变形小的聚合物水泥胶浆。张大可，成长庆，吴国雄等[11]对半柔性路面材料的低温抗裂性进行了系统研究和评价。王伟明[12]采用三点半圆弯曲试验评价半柔性路面抗裂性能。王端宜等[13]基于内部应力控制法探索研究了半柔性路面材料内部开裂机理。

半柔性路面材料的结构特征和材料类型都对抗裂性能产生不同程度的影响。本文先基于正交试验获取普通水泥砂浆的配合比，然后从工程应用角度选定硅灰、乳化沥青、水性环氧树脂作为水泥砂浆外掺剂，对水泥砂浆性能进行优化设计，制备三种特殊水泥砂浆，最后以水泥砂浆类型、基体空隙率、基体集料类型、基体沥青类型为影响因素，对半柔性路面抗裂性能进行影响因素分析。为半柔性路面的抗裂性能优化提供可操作性的技术参考。

1　原材料准备

1.1　水泥

试验采用 P. O32. 5 硅酸盐水泥，依规范[14]检测其性能如表 1。

表 1　P. O 32. 5 性能指标

指标	细度	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		初凝时间/min	终凝时间/min
		7 d	28 d	7 d	28 d		
P. O32. 5	1. 2	25. 5	36. 1	175	350	175	350

1.2　标准砂

本试验成型水泥砂浆采用标准砂，其级配如表 2。

表 2　标准砂级配

筛孔尺寸	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	含泥量/(%)
通过率(%)	100	97.2	90.5	53.6	2.5	0.4

1.3　矿粉

本试验成型基体沥青混合料采用石灰岩矿粉，如下表 3 所示。

1.4　外掺剂

(1)硅灰成分及指标如表 4。

(2)乳化沥青成分及指标如表 5。

(3)水性环氧树脂成分及指标如表 6。

表 3　矿粉质量技术指标

试验项目	表观密度/(g/cm^3)	含水量/(%)	筛分试验			
试验结果	2.65	0.23	筛孔尺寸/mm	0.3	0.15	0.075
技术标准	≥2.5	≤1	通过率/(%)	100	97.7	87.5

表 4　硅灰化学成分及指标

项目	评定标准	试验结果	单项评定
总碱量/(%)	≤1.5	1.0	合格
SiO_2 含量/(%)	≥85.0	87.5	合格
氯含量/(%)	≤0.1	0.7	合格
含水率(粉体)/(%)	≤3.0	2.1	合格
烧失量/(%)	≤4.0	3.2	合格

表 5　乳化沥青技术指标

试验项目		设计评定标准	试验结果	单项评定
筛上剩余量/(%)		≤0.1	0.02	合格
电荷		阳离子(+)	阳离子	合格
破乳速度		慢裂	慢裂	合格
粘度(沥青标准粘度计 C25,3)/s		12～60	25	合格
蒸发残留物	含量/(%)	≥62	63.5	合格
	针入度(25℃)/(0.1mm)	40～100	70	合格
	软化点 $T_{R\&B}$/℃	≥57	58.0	合格
	延度(5℃)/cm	≥20	23	合格
	溶解度/(%)	≥97.5	99.3	合格
贮存稳定性	1 d/(%)	≤1	0.28	合格
	5 d/(%)	≤5	3.29	合格

表 6　水性环氧树脂性能指标

项目	试验结果	标准	检测方法
粘度/(Pa·s,20℃)	452	A 组分(100～600)	GB/T 9751
	73	B 组分(50～80)	
细度/μm,≤	38.8	A 组分(40)	GB/T 1724
	39	B 组分(40)	
固含量/(%)	50.2	A 组分(50±2)	GB/T 1725
	50.7	B 组分(50±2)	
表干时间/(min,20℃),≥	140	120	GB/T 1728
涂层硬度,≥	0.50	0.49	GB/T 1730
附着力(级)	2	1～2	GB/T 1720

1.5　沥青

本试验采用的沥青技术性能如下表 7 所示。

1.6　集料

本试验采用的集料技术性能如下表 8 所示。

表 7　沥青技术指标

试验项目	基质沥青	SBS 改性沥青	环氧改性沥青
针入度 25℃,100g,5s/(0.1mm)	73.6	63.5	58.2
软化点 $T_{R\&B}$/℃	60.5	79.0	91.2
延度 5℃,5cm/min　/cm	30	38	23
密度 15℃ /(g/cm^3)	1.059	1.033	1.043
溶解度(三氯乙烯)/(%wt)	99.97	101.3	100.4
闪点(COC) /℃	284	275	280
含蜡量/(%wt)	1.70	1.70	1.68

表 8　集料性能

项目	石灰岩	凝灰岩	玄武岩	技术指标要求
压碎值/(%)	13	10.5	9.2	≤26
洛杉矶磨耗值/(%)	14	12	11.4	≤28
针片状含量/(%)	4.5	6.8	5.6	≤15
砂当量/(%)	77	78	77	≥60
石料磨光值/BPN	45	48	51	≥42
坚固性/(%)	8	9.2	7	≤12

2　水泥砂浆配合比设计

2.1　正交试验设计

本试验参照日本道路协会《ァスファルト鋪装工事共通仕様書解說》指标要求,如表 9 所示。

表 9　水泥砂浆性能要求

指标	范围	条件
抗压强度/MPa	10~30	
抗折强度/MPa	>3.0	标准条件下养生 7 d
流动度/s	10~14	

根据已有的研究[15-16],水泥砂浆一般由水、水泥、标准砂和矿粉组成,水泥砂浆性能受水灰比、矿粉用量及标准砂用量因素共同影响。为简化试验设计,本文设计不同的水灰比、矿粉用量及标准砂用量参数进行正交设计,制备相应水泥砂浆。并结合规范要求,测试水泥砂浆的流动度、强度及干缩量指标。正交设计表如下表 10、表 11 所示,试验数据见表 12。

表 10　正交试验设计

水平	A 水灰比	B 矿粉用量/(%)	C 标准砂用量/(%)
1	0.5	4	8
2	0.6	8	16
3	0.7	12	24

表 11　L9(3^3)正交表

试验编号	A:水灰比	B:矿粉用量/(%)	C:标准砂用量/(%)
1	0.5	4	8
2	0.5	8	16
3	0.5	12	24
4	0.60	4	16
5	0.60	8	24
6	0.60	12	8
7	0.7	4	24
8	0.7	8	8
9	0.7	12	16

表 12　水泥砂浆试验结果

编号	流动度/s	7 d 强度/MPa		28 d 干缩量(0.001)
		抗折	抗压	
1	15.52	2.22	15.1	241
2	19.45	3.43	25.05	182
3	26.98	4	28.23	215
4	14.64	2.35	14.65	197
5	17.68	3.12	18.38	170
6	15.55	3.05	20.12	191
7	10.32	2.37	16.28	203
8	9.01	3.25	20.47	200
9	13.4	2.77	17.32	151

2.2 试验分析

水泥砂浆流动度数据的极差分析如下表13所示。

表13 水泥砂浆流动度极差分析

因素	流动度		
	A 水灰比	B 矿粉用量	C 标准砂用量
K_{1j}	61.95	40.48	40.08
K_{2j}	47.87	46.14	47.49
K_{3j}	32.73	55.93	54.98
$\overline{K}_{1j}$	20.65	13.49	13.36
$\overline{K}_{2j}$	15.96	15.38	15.83
$\overline{K}_{3j}$	10.91	18.64	18.33
R_j	9.74	5.15	4.07
敏感性	(A >B>C) R1>R2>R3		
最佳水平	3	1	1

由表13的数据分析可知,仅以流动度指标作为参考,水泥砂浆最佳配合比为:水灰比0.7、矿粉用量4%及标准砂用量8%。这说明水灰比指标对水泥砂浆的流动性能影响最显著。

对水泥砂浆7 d强度进行极差分析,如下表14所示。

从表14可以看出,以7 d抗折强度和7 d抗压强度作为参考,水泥砂浆最佳配合比为:水灰比0.5、矿粉用量12%及标准砂用量24%。这说明矿粉用量指标对水泥砂浆的强度性能影响最显著,水灰比次之,标准砂用量影响最小。

对水泥砂浆的干缩量进行极差分析,如下表15所示。

表14 水泥砂浆7 d强度极差分析

因素	7 d抗折强度			7 d抗压强度		
	A 水灰比	B 矿粉用量	C 标准砂用量	A 水灰比	B 矿粉用量	C 标准砂用量
K_{1j}	10.15	8.44	9.02	68.38	46.03	55.69
K_{2j}	9.02	9.8	9.25	53.15	63.9	57.02
K_{3j}	9.09	10.02	9.99	54.07	65.67	62.89
$\overline{K}_{1j}$	3.38	2.81	3.01	22.79	15.34	18.56
$\overline{K}_{2j}$	3.01	3.27	3.08	17.72	21.3	19.01
$\overline{K}_{3j}$	3.03	3.34	3.33	18.02	21.89	20.96
R_j	0.37	0.53	0.32	5.07	6.55	2.40
敏感性	(B> A>C) R2>R1>R3			(B> A>C) R2>R1>R3		
最佳水平	1	3	3	1	3	3

表15 水泥砂浆干缩量极差分析

因素	干缩量		
	A 水灰比	B 矿粉用量	C 标准砂用量
K_{1j}	638	641	632
K_{2j}	558	552	530
K_{3j}	554	557	588
$\overline{K}_{1j}$	212.67	213.67	210.67
$\overline{K}_{2j}$	186	184	176.67
$\overline{K}_{3j}$	184.67	185.67	196
R_j	28.0	28.67	34.0
敏感性	(C > B >A) R3>R2>R1		
最佳水平	3	2	2

由表15干缩量极差分析可知,以干缩量作为参考,水泥砂浆最佳配合比为:水灰比0.7、矿粉用量8%及标准砂用量16%。这说明水灰比指标对水泥砂浆的收缩性能影响最显著,矿粉用量与标准砂用量两因素的重要性差异不大。

2.3 确定最佳配合比

根据正交试验分析,砂浆流动性能随着水灰比的增大而增强,并在水灰比为0.62~0.7达到流动度规范要求;砂浆强度随着水灰比的增大而总体下降,但水灰比为0.5~0.7时强度值均能达到规范要求;砂浆收缩性能则随水灰比的增大影响较小,且在水灰比为0.7时,砂浆干缩值最小。因此推荐砂浆水灰比为0.7。

矿粉用量对于砂浆流动性的影响较大，矿粉用量越大，导致砂浆的流动性能变弱；对 7 d、28 d 的强度有较大影响，然而适量的矿粉用量能有利于提高砂浆强度；矿粉用量对砂浆干缩性能也有较大影响，矿粉用量为 9% 时，砂浆干缩量达最小值。综合考虑砂浆矿粉用量为 8%。

标准砂用量对砂浆的强度和流动性的影响程度最小，当标准砂用量越大时，砂浆的流动性越弱，强度越小；适量的标准砂可降低砂浆干缩量。最终决定标准砂用量为 16%。

综上分析，正交试验设计的水泥砂浆配合比为：水灰比为 0.7，标准砂用量为 16%，矿粉用量为 8%。

3　水泥砂浆配合比优化设计

目标市场上存在很多外掺剂可显著提高水泥砂浆的的相关性能。为了进一步提高水泥砂浆和半柔性路面的性能，本研究在水泥砂浆配合比设计基础上，采用了硅灰、乳化沥青和水性环氧树脂三种外掺剂，优化水泥砂浆配合比设计，水泥砂浆优化设计方案与试验结果如表 16、表 17 所示。

表 16　水泥砂浆优化设计

编号	水灰比	矿粉/(%)	砂用量/(%)	硅灰占水泥百分比/(%)	乳化沥青占水泥百分比/(%)	水性环氧树脂占水泥百分比/(%)
①	0.7	8	16	0	0	0
②	0.7	8	16	5	0	0
③	0.7	8	16	10	0	0
④	0.7	8	16	15	0	0
⑤	0.7	8	16	0	4	0
⑥	0.7	8	16	0	8	0
⑦	0.7	8	16	0	12	0
⑧	0.7	8	16	0	0	3
⑨	0.7	8	16	0	0	6
⑩	0.7	8	16	0	0	9

表 17　水泥砂浆优化试验结果

编号	流动度/s	7 d 强度/MPa		干缩量(0.001mm)
		抗折	抗压	
①	11.1	3.58	18.2	135
②	9.8	4.14	20.4	130
③	11.8	4.41	21.99	124
④	14.3	4.93	23.33	118
⑤	11.2	4.58	17.1	121
⑥	14	4.73	16	108
⑦	17.5	4.95	15.3	112
⑧	10.8	4.75	25.12	110
⑨	9.51	4.91	28.24	82
⑩	8.33	5.21	31.45	94

(1) 由表 17 可知，硅灰用量为 0 ~ 15%，乳化沥青用量为 0 ~ 8%，水性环氧树脂用量为 0 ~ 10%，都流动度符合规范要求。硅灰用量与流动度呈现抛物线状，流动度表现先减小后增大的趋势，这表明硅灰用量存在最佳值，即当硅灰用量为 5% 时，流动度达极小值；而乳化沥青掺量与流动度指标正相关，水性环氧树脂用量与流动度负相关。

（2）由表 17 可知，硅灰、乳化沥青及水性环氧树脂的掺入，都可提高水泥砂浆的抗折强度；硅灰及水性环氧树脂的掺入，提高水泥砂浆的抗压强度，但是乳化沥青的掺入降低了抗压强度。从数据分析知，掺入外掺剂乳化沥青后，水泥砂浆的抗折强度缓慢增大，但抗压强度却呈下降趋势，表明了乳化沥青可降低水泥砂浆的压折比。由于水泥砂浆为刚性材料，沥青混合料基体为柔性材料，降低水泥砂浆的压折比，可提高水泥砂浆的柔性，这对半柔性路面的抗裂性能和耐久性是十分有利的。通过数据计算，表明硅灰也降低了水泥砂浆的压折比，水性环氧树脂却提高了水泥砂浆的压折比。综上所述，硅灰和乳化沥青能改善水泥砂浆的柔性，而水性环氧树脂则提高了水泥砂浆的脆性。

（3）由表 17 可知，硅灰、乳化沥青及水性环氧树脂的掺入，都进一步降低了水泥砂浆的收缩量，掺入量越大，水泥砂浆收缩量的降幅越大，对改善水泥砂浆的收缩性能是有利的。但是从数据上分析知，水性环氧树脂的掺入对水泥砂浆收缩量的降幅最大，乳化沥青次之，硅灰最小。这说明水性环氧树脂对降低水泥砂浆的收缩性能影响程度最大，可作为改善水泥砂浆收缩性能的外掺剂。

综合考虑流动性、强度、收缩性能影响，最终设计了三种优化型水泥砂浆，水泥砂浆Ⅰ的配合比为：水灰比 0.7，标准砂用量 16%，矿粉用量 8%，乳化沥青 4%；水泥砂浆Ⅱ的配合比为：水灰比 0.7，标准砂用量 16%，矿粉用量 8%，硅灰 5%；水泥砂浆Ⅲ的配合比为：水灰比 0.7，标准砂用量 16%，矿粉用量 8%，水性环氧树脂 6%，用于后续半柔性路面灌浆材料。

4　基体沥青混合料级配设计

本研究采用主骨料空隙填充法（CAVF）[18-19]进行多孔沥青混合料级配的设计。CAVF 法主要机理是先确定粗集料主骨架矿料间隙率，使沥青、细集料、矿粉与设计孔隙体积之和等于主骨架的孔隙体积。基体混合料级配如下表 18 所示。

表 18　基体混合料级配

通过率	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
24%	100	75.1	55.5	19.3	18.4	15.7	13.9	12.0	8.4	5.2	3.0
28%	100	73.1	52.3	14.6	12.0	10.6	9.6	8.2	6.2	4.3	2.9
32%	100	71.2	49.9	8.5	7.5	6.6	6.2	5.6	4.5	3.5	2.9

5　抗裂性能试验分析

5.1　低温弯曲试验

本研究采用低温弯曲试验[20-21]进行半柔性路面材料抗裂性能分析，试验条件为：试验温度 -10℃，加载速率 5mm/min。根据式（1）~（3）计算试件破坏时的抗弯拉强度，最大弯拉应变和弯曲劲度模量，作为抗裂性能评价指标用于后续分析。

$$R_B = \frac{3LP_B}{2bh^2} \tag{1}$$

$$\varepsilon_B = \frac{6hd}{L^2} \tag{2}$$

$$S_B = \frac{R_B}{\varepsilon_B} \tag{3}$$

式中：R_B、ε_B、S_B 分别为抗弯拉强度（MPa）、最大弯拉应变、弯曲劲度模量（MPa）；b、h 分别为试件跨中断面的宽度（mm）和高度（mm）；P_B、d 分别为试件破坏的最大荷载（N）和跨中挠度（mm）。

5.2　水泥砂浆外掺剂影响

采用空隙率 24% 的级配曲线，基质沥青，凝灰岩集料制备半柔性路面基体混合料，然后将普通水泥砂浆和三种特殊性能的水泥砂浆（硅灰 5%，乳化沥青 4%，水性环氧树脂 6%）灌入基体，成型半柔性路面试件，进行低温弯曲试验。试验结果如下图所示。

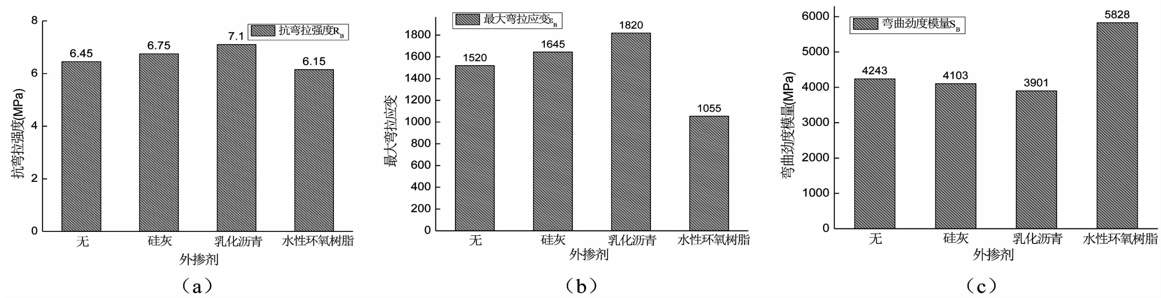


图1　低温弯曲试验结果

由图 1 数据可知：

在基体空隙率 24% 下，水泥砂浆掺入硅灰、乳化沥青及水性环氧树脂后，对半柔性路面材料的抗弯拉强度具有一定程度的影响，其中外掺剂乳化沥青和硅灰提高了原半柔性路面材料的最大弯拉应变和抗弯拉强度，降低了弯曲劲度模量；而水性环氧树脂则降低了其抗弯拉强度和最大弯拉应变，提升了弯曲劲度模量。这表明乳化沥青和硅灰提高了半柔性路面的抗裂性能，其中乳化沥青与半柔性路面抗裂性能相关性更强，水性环氧树脂反而降低了原半柔性路面的抗裂性能。从工程应用的角度而言，可采用在水泥砂浆中掺入乳化沥青的方式提升半柔性路面材料的抗裂性能。

分析其原因可知，水性环氧树脂为热固性材料，提升了水泥砂浆的强度，增强了其刚性，进一步加大了水泥砂浆与基体沥青混合料的模量比，加剧了水泥砂浆与基体沥青混合料的体积协调性，致使水泥砂浆与基体沥青混合料的界面更易开裂，协同变形能力更弱，因此水性环氧树脂的掺入增大了半柔性路面材料开裂易感性。也间接说明水性环氧树脂可用于提升水泥砂浆的强度和流动性等性能，但不适于改善半柔性路面材料的抗裂性能。而硅灰细度高，表面光滑，具有一定的润滑作用，可提高水泥砂浆的致密性，改善了水泥砂浆的体积稳定性，这对半柔性路面抗裂性能是有利的；乳化沥青能够提高水泥砂浆的柔性，并增强水泥砂浆与半柔性路面基体的体积协同变形能力，进而提高半柔性路面结构的抗裂性能。因此硅灰和乳化沥青的掺入对提高半柔性路面的抗裂性能有着显著作用。

5.3　基体空隙率影响

采用基体级配设计曲线（空隙率 24%、28%、32%），基质沥青，凝灰岩集料制备半柔性路面基体混合料，然后灌注普通水泥砂浆，成型半柔性路面试件，进行低温弯曲试验。试验结果如下图所示。

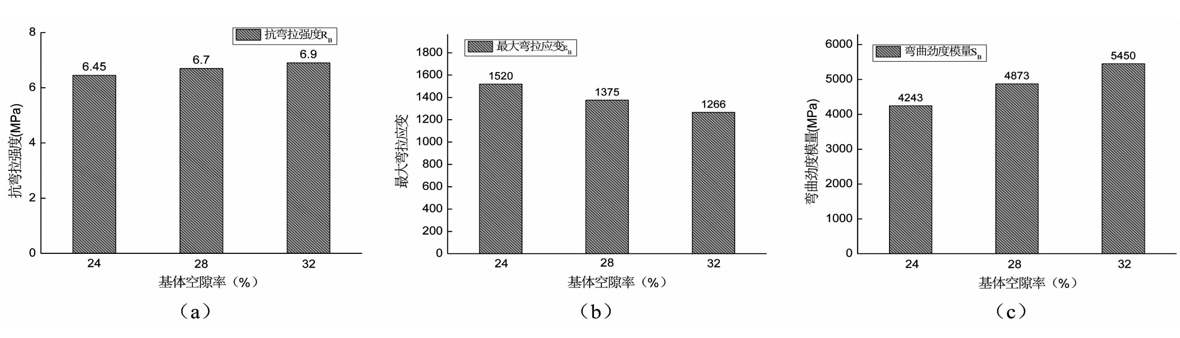


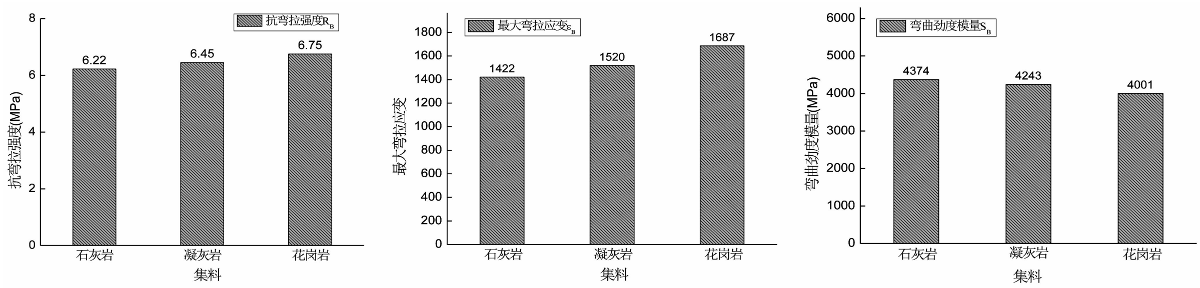
图2　低温弯曲试验结果

由图 2 的数据可知，半柔性路面基体空隙率不同，低温弯曲试验数据呈现差异性。基体空隙率的增大会导致半柔性路面的抗弯拉强度、弯曲劲度模量增大，最大弯拉应变缓慢减小。数据表明基体空隙率增大导致半柔性路面的低温抗裂性能逐渐下降，也就是说空隙率 24% 时的半柔性路面低温抗裂性能最优。究其原因在于，基体空隙率大小决定了水泥砂浆的灌浆量，对半柔性路面

结构的刚度模量产生不同程度的影响，水泥砂浆灌浆量越大，半柔性路面结构的整体模型趋于刚性化，导致抗裂性能下降。另一方面，空隙率增大，水泥砂浆与基体的接触界面增大，应力集中区域更多，导致半柔性路面结构内部开裂易感性增大。因此从抗裂角度考虑，半柔性路面的空隙率不宜过大。

5.4　集料类型影响

采用空隙率 24% 的级配曲线，基质沥青，集料（石灰岩、凝灰岩、花岗岩）制备半柔性路面基体混合料，然后灌注普通水泥砂浆，成型半柔性路面试件，进行低温弯曲试验。试验结果如下图所示。



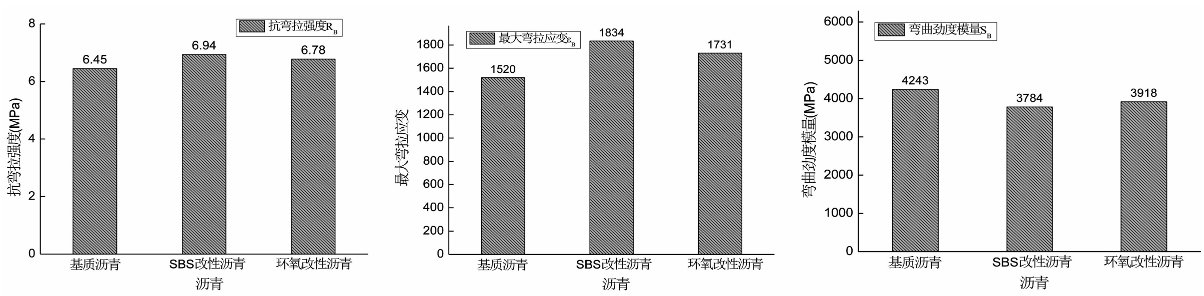
（a）　（b）　（c）

图 3　低温弯曲试验结果

集料类型不同直接导致沥青 - 集料的裹覆效果不同，对半柔性路面基体内部结构产生一定程度的影响。从图 3 可以看出，基体集料类型对半柔性路面抗裂性能产生差异化的影响。从抗弯拉强度数据看，花岗岩最大，凝灰岩次之，石灰岩最小，从最大弯拉应变上讲，石灰岩最大，凝灰岩次之，花岗岩最大，从弯曲劲度模量上讲，石灰岩最大，凝灰岩次之，花岗岩最大，综合考虑上述数据可知，花岗岩集料的半柔性路面低温抗裂性能最佳。

5.5　基体沥青类型影响

采用空隙率 24% 的级配曲线，三种沥青类型（基质沥青、SBS 改性沥青、环氧改性沥青），凝灰岩集料制备半柔性路面基体混合料，然后灌注普通水泥砂浆，成型半柔性路面试件，进行低温弯曲试验。试验结果如下图所示。



（a）　（b）　（c）

图 4　低温弯曲试验结果

从图 4 数据分析知，不同基体沥青类型对半柔性路面低温抗裂性能产生不同程度的影响。相比于环氧改性沥青和基质沥青，半柔性路面基体沥青采用 SBS 改性沥青时，抗弯拉强度最大，最大弯拉应变最大，弯曲劲度模量最小。综合考虑上述数据可知，SBS 改性沥青的半柔性路面低温抗裂性能最佳。经分析原因知，基质沥青的弹塑性较弱，低温性能较弱，SBS 改性沥青的弹塑性较强，低温性能较好，而环氧改性沥青的刚性模量太强，导致低温性能有所下降，因此半柔性路面基体的弹塑性增强有利于低温性能的提高。

综上所述，水泥砂浆类型、基体空隙率、基体沥青类型、基体集料类型等影响因素对半柔性路面低温抗裂性能都有一定程度的影响。从弯曲劲度模量数据角度分析，基体空隙率对低温抗裂性能的影响程度最大，基体沥青类型和水泥砂浆类型次之，

集料类型影响程度最低。由于基体空隙率涉及到半柔性路面结构设计范畴,不宜随意改动。另一方面基体沥青的改善往往会导致造价不断攀升,经济性较差。而水泥砂浆可通过掺入外掺剂进行性能改善,且掺量较低,对造价影响较小。因此提升半柔性路面低温抗裂性能可从水泥砂浆类型入手,通过筛选水泥砂浆外掺剂,优化水泥砂浆性能,以提高半柔性路面低温抗裂性能。

6　结论

(1)采用正交试验方法,设计了用于半柔性路面结构灌注的水泥砂浆配合比(水灰比 0.7,矿粉用量 8%,砂用量为 16%)。并以水泥砂浆的流动性、强度及收缩性能为评价指标,确定了外掺剂的最佳掺配量(硅灰 6%,乳化沥青 4%,水性环氧树脂 6%)。

(2)水泥砂浆类型、基体空隙率、基体沥青类型、基体集料类型对半柔性路面材料的抗裂性能有着不同程度的影响。水泥砂浆外掺剂——硅灰和乳化沥青可提升半柔性路面的抗裂性能,水性环氧树脂反而降低了半柔性路面的抗裂性能。基体空隙率越小,半柔性路面的抗裂性能越强。SBS 改性沥青和花岗岩集料对应的半柔性路面低温抗裂性能最优。增强水泥砂浆柔性和增强基体弹塑性有利于半柔性路面低温性能提高。

(3)根据半柔性路面低温抗裂性能影响因素分析,基体空隙率对低温抗裂性能的影响程度最大,基体沥青类型和水泥砂浆类型次之,集料类型影响程度最低。综合性能和经济性考虑,建议通过筛选水泥砂浆外掺剂,进行水泥砂浆优化设计,以改善半柔性路面抗裂性能。根据本文所采用的水泥砂浆外掺剂,推荐采用乳化沥青为水泥砂浆外掺剂。

参考文献:

[1] Al – Qadi, I. L., Gouru, H., and Weyers, R. E. (1994). “Asphalt Portland Cement Concrete Composite: Laboratory Evaluation”. J. Transp. Eng., 120(1), 94 – 108.
[2] Pei, J., Cai, J., Zou, D., Zhang, J., Li, R., Chen, X., and Jin, L. (2016). “Design and Performance Validation of High – performance Cement Paste as a Grouting Material for Semi – flexible Pavement”. Constr. Build. Mater., 126, 206 – 217.
[3] Afonso, M. L., Dinis – Almeida, M., Pereira – de – Oliveira, L. A., Castro – Gomes, J. and Zoorob, S. E. (2016). “Development of a Semi – flexible Heavy Duty Pavement Surfacing Incorporating Recycled and Waste Aggregates – Preliminary Study”. Constr. Build. Mater., 102, 155 – 161.
[4] Cai, J., Pei, J., Luo, Q., Zhang, J., Li, R., and Chen, X. (2017). “Comprehensive Service Properties Evaluation of Composite Grouting Materials with High – performance Cement Paste for Semi – flexible Pavement”. Constr. Build. Mater., 153, 544 – 556.
[5] 王素勤,林绣贤,楼海祥. 新型路面的复合材料 – – 特种沥青混合料的研究. 华东公路,1989,(2):76 – 81.
[6] Du, Y., Chen, J., Han, Z., and Liu, W. (2018). “A review on solutions for improving rutting resistance of asphalt pavement and test methods”. Constr. Build. Mater., 168, 893 – 905.
[7] Gong, M., Xiong, Z., Chen, H., Deng, C., Chen, X., Yang, J., Zhu, H., and Hong, J. (2019). “Evaluation of the cracking resistance of semi – flexible pavement mixture by laboratory research and field validation”. Constr. Build. Mater.,168,893 – 905
[8] 胡曙光,张荣鹃,丁庆军,黄绍龙. 半柔性路面灌注水泥胶浆的性能研究. 公路,2009 年 7 月,第 7 期.
[9] 蔡安兰. 高性能水泥干缩的测试方法及机理研究. 南京工业大学博士论文,2005.
[10] 黄冲. 半柔性路面材料的体积稳定性与抗裂性能研究. 武汉理工大学硕士学位论文,2010.
[11] 张大可,成长庆,吴国雄,胡玲玲,张洋. 半柔性路面水稳定性及低温抗裂性能分析,重庆交通学院学报,2007. 26(3):55 ~ 57.
[12] 王伟明,吴旷怀. 基于 J 积分的半柔性路面材料抗裂研究. 公路,2016:63 ~ 66.
[13] Wang D, Liang X, Li D, et al. Study on Mechanics – Based Cracking Resistance of Semiflexible Pavement Materials[J]. Advances in Materials Science and Engineering,2018,2018:1 – 10.
[14]《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTGE30. 2005). 北京:人民交通出版社.
[15] 杨宇亮,邹桂莲,张肖宁. 半柔性混合料灌入式水泥胶浆的研究. 公路,2002 年 11 月,第 11 期.
[16]梁遐意. 基于泡沫沥青的温拌混合料基体的半柔性路面试验研究[D]. 华南理工大学,2013.
[17] 郇连河,张家平. 新型道路建筑材料. 北京:化学工业出版社,2003,06.
[18] 张肖宁,王绍怀,吴旷怀,王端宜. 沥青混合料组成设计的 CAVF 法[J]. 公路, 2001 年 12 月第 12 期: 17 – 20.
[19] 吴旷怀,张肖宁. 沥青混合料设计的主骨料空隙体积填充法研究及应用[J].
[20] 李文珍,李亮,曾伟. 沥青混合料低温抗裂弯曲试验研究. 特种结构增刊
[21] 贾敬鹏. 高性能沥青混合料低温抗裂性能研究. 重庆交通大学硕士论文,2008.

牛田洋大桥主桥结构设计

杨　钻,王　雷,王景奇,孙向东,梁立农
(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: 汕头牛田洋大桥主桥为公轨两用半飘浮体系双塔斜拉桥,跨径布置为(77. 5 + 166. 1 + 468 + 166. 1 + 77. 5) m。公轨分层布置,上层通行 8 车道公路,下层通行双线跨座式轨道。主桥采用了纵、横向正交分离的减隔震约束体系。主梁采用带副桁的板桁结合钢桁梁,空间三角形桁式,桁高 11 m, 桁宽 16 m,标准节段长 15. 1 m,采用大节段全焊制造。中跨、次边跨桥面采用正交异性钢桥面板,边跨桥面采用混凝土桥面板。塔柱采用厝角头造型,全高 182. 9 m,设 3 道横梁。塔柱基础采用哑铃型承台接大直径变截面钻孔灌注桩。斜拉索采用 ϕ7 mm 平行钢丝索,强度等级为 1 770 MPa。理论分析和试验研究表明,大桥具备良好静、动力性能。

关键词: 公轨两用桥;斜拉桥;钢桁梁;板桁结合;全焊节段;约束体系;桥梁设计

1　工程概况

牛田洋大桥主桥是汕头市牛田洋快速通道上的一座公轨两用钢桁梁斜拉桥,跨越榕江,连接汕头市南、北两岸城区。该桥上层为 8 车道城市快速路,下层为双线跨座式轨道交通。桥梁建设条件有设计风速大、地震烈度高、公轨两用、对结构刚度要求高的特点。

2　主要技术标准

(1)公路:一级公路兼城市道路,双向 8 车道,设计行车速度 100 km/h,设计荷载公路 I - 级。

(2)轨道:双线跨座式单轨[1],轴重 140 kN,按照 6 辆编组设计,设计行车速度 30 ~ 80 km/h,线间距 4. 8 m。

(3)设计基本风速:100 年重现期 10 min 平均最大风速 V_{10} = 41. 2 m/s。

(4)通航:最高通航水位 + 2. 873 m;10000 t 级海轮通航净空 390 m × 38 m。

(5)地震:抗震设防基本烈度 8 度,地震动峰值加速度 0. 194 g。

3　主桥结构设计

3. 1　主桥总体布置

桥位处水面宽约 2. 5 km,桥梁主跨跨径需在 400 ~ 500 m,通行汽车和单轨列车。经比选,主桥最终采用经济性好、整体刚度大、施工方便、景观效果好的钢桁梁斜拉桥,跨径布置为(77. 5 + 166. 1 + 468 + 166. 1 + 77. 5)m,立面布置见图 1。

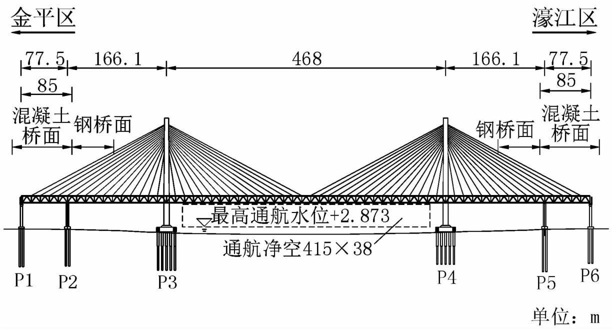


图 1　牛田洋大桥主桥立面布置

3. 2　约束体系

约束体系对下部结构受力、梁端位移、行车条件有很大影响[2-3]。该桥采用半飘浮体系,在桥塔、辅助墩、过渡墩与主梁之间均设置竖向支座,纵向可活动,横向采用剪力销约束(正常使用工况下固定,地震工况下剪力销剪断,支座横向可活

基金项目: 交通运输部科技司面上项目,2018 - MS1 - 007。

动)。为减小地震作用下下部结构横向受力,在塔梁、墩梁之间设置横向弹塑性钢阻尼器,桥塔处设 4 个,每个屈服力为 2 500 kN,辅助墩、过渡墩处各设 2 个,每个屈服力为 2 000 kN,设计位移均为 300 mm。为减小地震作用下桥塔纵向受力和主梁纵向位移,在每个塔梁连接处安装 8 个粘滞阻尼器。粘滞阻尼器最大额定行程 ±600 mm,阻尼力为 2 000 kN, 对脉动风、刹车和地震引起的动荷载具有阻尼耗能作用,而对温度、徐变等长期效应引起的位移不予限制。

3.3　钢桁梁

3.3.1　整体构造

钢桁梁采用带副桁的空间三角形桁式[4-5],钢材材质为 Q345qD。为满足公路双向 8 车道及双线轨道交通的总体布置需求,钢桁梁采用双层桥面布置,上层为公路,下层为轨道交通。上层中跨、次边跨公路桥面采用正交异性钢桥面板[6-8],边跨公路桥面采用 C60 混凝土板,均设置 2% 横坡;轨道交通为跨坐式单轨,无桥面板。钢桁梁主桁高(上、下弦杆轴线垂直距离)11.0 m,2 片主桁水平距离 16.0 m,上层桥面宽 38.2 m,一个节间长 15.1 m,重 400 t~425 t。为方便制造、吊装,钢桁梁节段划分为 4 种类型,共 35 个节段,采用全焊节段制造[9-10]。将桁架结构、桥面系结构、连接系及斜拉索锚拉板等在工厂焊接成整体后运输至工地进行整节段吊装。标准节段为 2 个节间,长 30.2 m,最大吊重 850 t。1 个标准节间的空间结构见图 2。主桁节点位置横断面布置见图 3。

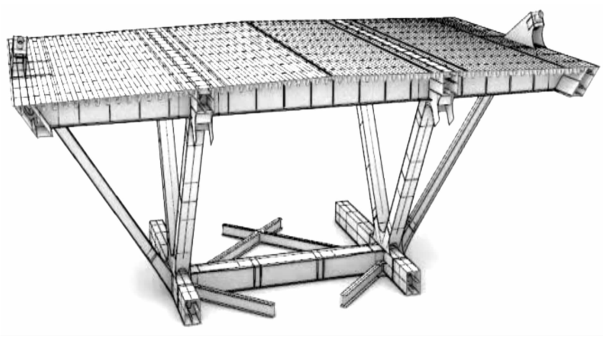


图 2　1 个标准节间空间结构

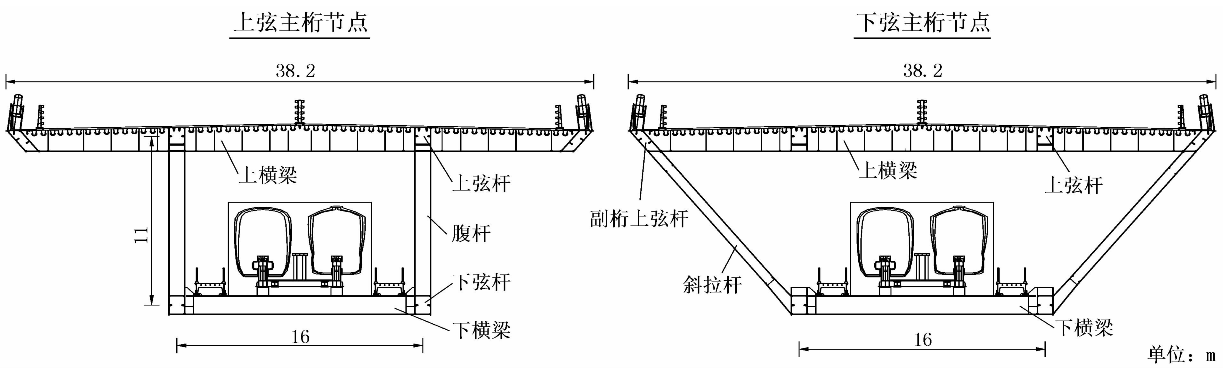


图 3　主桁节点位置横断面布置

3.3.2　组成构件

钢桁梁标准节段由主桁上弦杆、下弦杆、腹杆;副桁上弦杆、斜拉杆;上横梁、下横梁、下纵联、正交异性钢桥面板、锚拉板等构成。

主、副桁上弦杆既是钢桁梁的主体构件,又是公路桥面系的纵梁,为压(拉)弯构件,采用箱形截面。下弦杆为拉压构件,亦采用箱形截面。腹杆根据内力大小采用箱形、工字形截面。斜拉杆为受拉杆件,采用工字形截面。

上横梁杆件采用倒 T 形截面,腹板厚度根据所处位置而有所不同,拉索处、上弦节点处横梁腹板厚度分别为 28 mm、20 mm,其余节间横梁腹板厚度为 16 mm。

下横梁承受置于其上的轨道及列车荷载,为受弯构件,采用箱形截面。下纵联杆件采用工字形截面。

正交异性钢桥面板由桥面板、纵向 U 肋和横梁组成。桥面板厚 16 mm;U 肋厚 8 mm,横向中心距 600 mm;横梁间距 2.517 m。

节段内各构件之间的连接均为焊接,在工厂

完成。节段间的工地连接,除桥面板为熔透对接焊连接外,其余杆件均为高强螺栓连接。

3.3.3　索梁锚固构造

为便于工厂制造及后期养护,采用锚拉板式索梁锚固构造,锚拉板与副桁上弦节点腹板内侧对齐,焊接在副桁上弦节点顶板上。

3.3.4　压重构造

在活载作用下,桥塔、辅助墩、过渡墩处支座均会出现负反力,因此需要采取措施避免支座脱空。考虑到采用负反力索或拉力支座存在后期养护及耐久性问题,且集中力大、细节繁琐,综合比较后采用压重方案。为减小压重重量、简化结构设计,同时兼顾经济性,将辅助墩、过渡墩之间 5 个节间的公路桥面设置为 40 cm 厚的 C60 混凝土桥面板(图 4),同时将桥塔支座附近 4 个节间、辅助墩支座附近 2 个节间的检修道设置为混凝土结构(换算压重荷载为 60 kN/m),不设置其他压重。进行该处理后,正常使用状态下支座不出现负反力且有一定的压力储备。

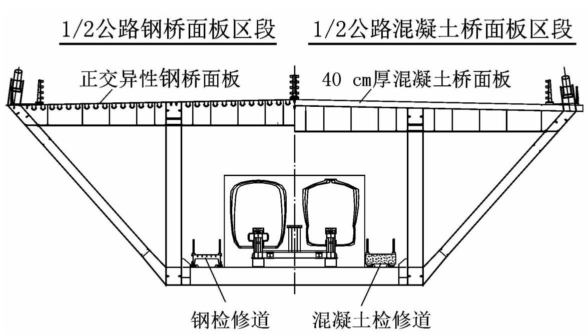


图 4　公路桥面系构造

3.4　斜拉索

斜拉索采用平行钢丝索,钢丝直径为 7 mm,强度等级为 1770 MPa。全桥共 2 ×4 ×15 = 120 根斜拉索,根据索力不同分为 LPES7 - 151、LPES7 - 187、LPES7 - 223、LPES7 - 241、LPES7 - 265、LPES7 - 283、LPES7 - 313、LPES7 - 337 共 8 种规格,最大索长 255.2 m,最大单索重 27.6 t,边跨斜拉索最小倾角 28.2°,中跨斜拉索最小倾角 26.9°。斜拉索设计寿命为 30 年,应力安全系数大于 2.5,活载应力幅值控制在 120 MPa 以内。

由于振动尤其是过大的振动易导致斜拉索的疲劳和防护结构的破坏[11-12],影响其安全使用寿命,为抑制斜拉索在施工、使用阶段可能出现的风雨振和涡振,该桥采用以下斜拉索减振措施:(1)在斜拉索外层 PE 设置双螺旋线;(2)每根斜拉索的两端均设内置阻尼器,每根斜拉索的梁端均设外置阻尼器(阻尼器须为斜拉索提供 3% 以上的附加阻尼,使用寿命不低于 20 年,且便于检查、更换)。

3.5　桥塔及基础

桥塔采用彰显汕头民居地方特色的厝角头造型,采用 C55 钢筋混凝土结构。塔柱全高 182.9 m,桥面以上高 130.6 m,高跨比 1/3.583。桥塔设上、中、下 3 道横梁,将塔柱分为上塔柱、中塔柱、下塔柱 3 段。上塔柱布置钢锚梁、钢牛腿,用以锚固斜拉索。桥塔构造见图 5。

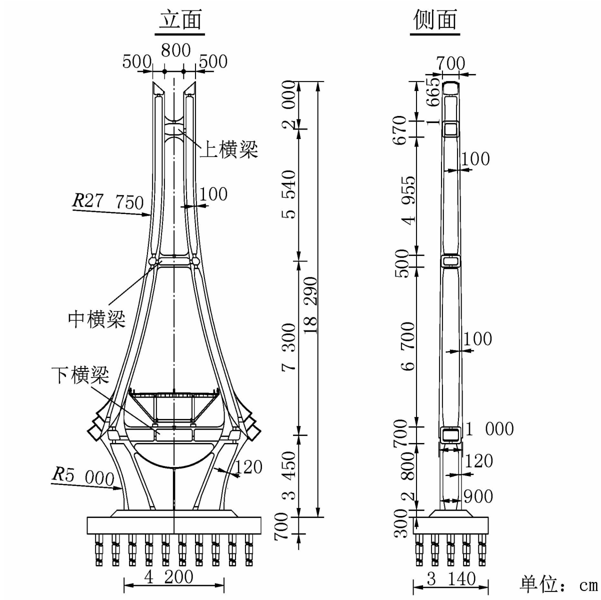


图 5　桥塔构造

3.5.1　塔柱

上、中塔柱的轴线由 2 条直线、1 条圆曲线构成,圆曲线半径为 280 m。上、中塔柱采用单箱单室截面,横桥向尺寸桥面以上为 5 m,桥面以下出于造型、受力需要逐渐加宽;顺桥向尺寸在塔顶为 7.0 m,线性渐变至中塔柱底 10 m。标高 +68.767 m 以上塔柱横桥向、顺桥向壁厚均为 1.0 m,向下逐渐加厚至横桥向 1.2 m、顺桥向 1.3 m。

下塔柱采用单箱单室截面,顺桥向尺寸为 9 m,横桥向尺寸为 8.7 ~ 12.3 m(以满足造型需要)。下塔柱截面壁厚均为 1.2 m。横桥向两下塔柱之间设置了后浇带,壁厚 60 cm,该部分结构在主桥合龙后浇筑。塔柱截面外轮廓角点处采用半径 0.5 m 的圆弧倒角,以提高景观效果,同时增强抗腐蚀能力。

塔柱在下、中横梁的顶、底板对应位置设置横隔板,隔板厚 1.5 m,隔板上留有人孔,上下连通,便于维护检修。

塔顶设梯形塔冠,塔冠高 6.3 m,塔冠内安装相关附属设施,并作为外壁维护作业的操作室。

3.5.2　横梁

下横梁设在主梁下方,采用箱形截面,高 7.0 m、宽 8.50 m,顶、底、腹板壁厚均为 1.0 m,在 2 个支座处各设 1 道壁厚 0.8 m 的竖向隔板。下横梁为全预应力混凝土结构,顶、底、腹板内布置预应力钢绞线,锚固点均设在塔柱外侧,并采用深埋锚工艺,减少与塔柱钢筋的冲突。

中横梁设在上、中塔柱直线延长线的交点处,以优化塔柱受力,减小塔柱节点弯矩。中横梁、上横梁均采用单箱单室截面,均为全预应力混凝土结构。

3.5.3　钢锚梁与钢牛腿

斜拉索在塔端采用钢锚梁锚固。每套钢锚梁锚固 1 对斜拉索,单个塔柱设 15 套钢锚梁。钢锚梁梁长 4.696 ~ 5.837 m,跨中高 0.7 m,由侧面拉板、端部承压板、腹板、锚板、锚垫板、加劲肋等构件组成。

钢牛腿是钢锚梁的支承结构,每根钢锚梁支承在 1 对钢牛腿顶板上。钢牛腿由上承板、聚四氟乙烯滑板、腹板、腹板加劲板、塔壁钢板、剪力钉及 PBL 加劲钢板组成,顶面宽 0.84 m,高 0.94 m。钢牛腿顶面粘贴聚四氟乙烯板条,采用高强螺栓与钢锚梁连接。

钢锚梁、钢牛腿三维模型见图 6。

3.5.4　塔柱基础

塔柱底部设置塔座、承台和钻孔灌注桩基础。塔座高 3 m,棱角处采用半径 10 cm 的圆弧面连接,以增强结构防腐蚀能力。承台平面呈圆端哑铃形,轮廓尺寸为 73.0 m(横桥向) ×31.4 m(顺桥向),厚 7.0 m。承台顶面设有 1.5% 的排水坡,避免积水。每个承台下设 40 根 ϕ3.0 m – ϕ2.5 m 的变截面钻孔桩,桩长 81 ~ 115 m,桩端进入中风化或微风化花岗岩。

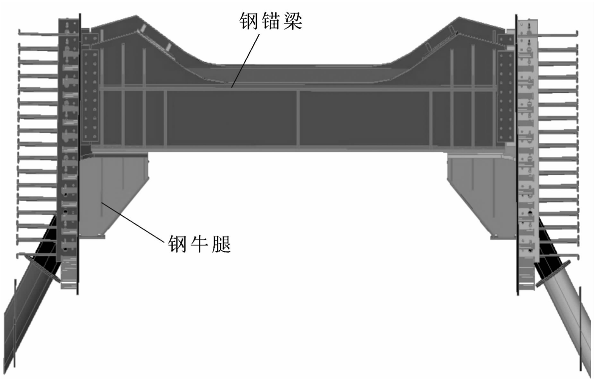


图 6　钢锚梁、钢牛腿三维模型

由于地震效应大,桩基采用钢管复合桩[13]。钢管长度按穿过淤泥层 2 m 且在最大弯矩点以下长度不小于 3 倍桩径的原则确定。钢护筒内径为 3300 mm,材质为 Q345C,壁厚分 2 种:下部约 3 m 范围壁厚为 36 mm,其余壁厚为 25 mm。钢护筒对接时内壁对齐,采用全熔透焊接方式。在顶部一定区段钢管内壁设置 15 道剪力环,防止钢管与混凝土出现滑移。

3.6　辅助墩、过渡墩及基础

辅助墩墩身采用左、右分离的空心薄壁墩,墩身截面外轮廓尺寸为 7.5 m(横桥向) ×4 m(顺桥向),壁厚 0.8 m。两墩柱中心距为 13.25 m,墩顶安装有支座、弹塑性钢阻尼。辅助墩顶设置横梁,单箱单室截面,高 4.7 m、宽 4 m、壁厚 0.8 m,为普通钢筋混凝土构件。辅助墩位于水中,高水位时存在船撞风险,采用抗撞能力强的整体式承台,辅助墩承台平面轮廓尺寸为 28.8 m(横桥向) ×11.6 m(顺桥向),高 4.5 m,其下布置 10 根 ϕ2.8 m 钻孔灌注桩。

过渡墩墩顶靠引桥侧设置实心薄壁墩,厚 2 m,高 9.9 m,其上放置有引桥组合梁支座。其余构造与辅助墩相同。

4　结构静力分析

4.1　计算模型

采用空间有限元软件 midas civil2012 建立全桥有限元模型。桥塔、桥墩、横梁、钢桁梁杆件均采用空间梁单元模拟，桥面板采用板单元模拟，斜拉索采用索单元模拟。设计作用考虑恒载及汽车、列车、温度、风荷载等，并按规范规定进行组合。

4.2　主要计算结果

4.2.1　结构刚度

在汽车、列车荷载共同作用下，主梁跨中最大竖向挠度值为 0.37 m，竖向挠跨比为 1/1265，轨道梁梁端转角为 0.9‰ rad；在列车摇摆力、横向有车风、温度作用下，主梁跨中横向挠度为 0.074 m，横向挠跨比为 1/6324。计算结果表明：大桥具有足够的竖向刚度，满足汽车、列车的行车条件；同时也具有较好的横向刚度，能适应桥址处设计风速大的建桥条件。

4.2.2　塔柱内力

基本组合作用下塔柱关键截面内力见表 1。根据规范进行相关计算，结果表明：基本组合作用下塔柱各关键截面的抗弯承载力、抗剪承载力，以及频遇组合作用下塔柱各关键截面的裂缝宽度均满足规范要求。

表 1　基本组合作用下塔柱关键截面内力

截面位置	弯矩/(kN·m)		轴力/kN	剪力/kN	
	横桥向	顺桥向		横桥向	顺桥向
上横梁下截面	74 887	35 849	−50 910	1 710	3 491
中横梁上截面	233 530	372 783	−145 782	26 289	8 050
中横梁下截面	349 767	400 986	−151 846	29 405	8 050
下横梁上截面	210 924	1 057 153	−208 138	26 633	8 050
下横梁下截面	409 636	980 985	−253 870	51 756	11 374
塔柱底截面(单侧)	1 168 551	1 201 245	−312 115	142 060	13 653

4.2.3　主梁内力

基本组合作用下钢桁梁杆件内力见表 2。根据规范进行强度、整体稳定验算，结果表明：钢桁梁各杆件强度、整体稳定均满足规范要求。

表 2　基本组合作用下钢桁梁杆件内力

钢桁梁杆件	基本组合(轴力最大)			基本组合(弯矩最大)		
	轴力/kN	弯矩/kN·m		轴力/kN	弯矩/kN·m	
		绕截面 y 轴	绕截面 z 轴		绕截面 y 轴	绕截面 z 轴
边弦杆	−15 315	−3 078	−487	−6 138	−3 436	−1 559
上弦杆	−13 432	4 216	73.3	−10 061	−6 133	161
下弦杆	−26 126	−2 825	−100	−14 790	−3 422	−84.9
腹杆	−17 360	−1 780	−736	−4 911	495.9	1 614
斜拉杆	5 116	537	23	5 026	550	11.3

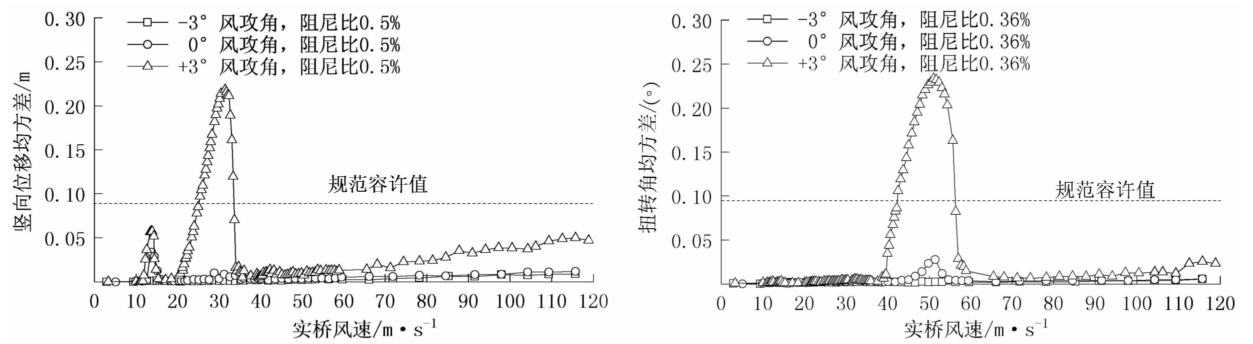
5　结构动力分析

5.1　抗风性能试验

动力分析结果表明，成桥状态下主梁一阶正对称竖弯频率为 0.349 Hz，一阶正对称扭转频率为 0.900 Hz，扭弯频率比为 2.578。由于桥址处设计风速大，成桥颤振检验风速高达 89.7 m/s，因此需重点研究结构的抗风性能。

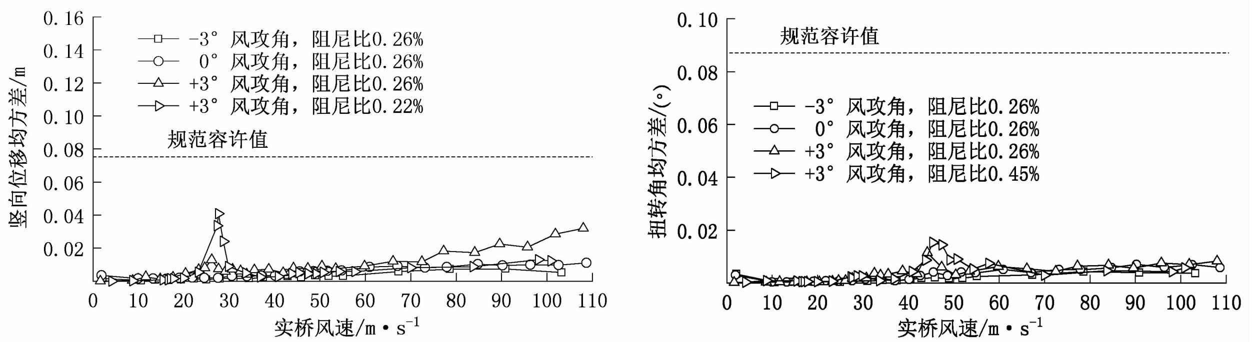
为测试结构的抗风性能,制作比例尺为 1 ∶60 的节段模型,进行最大单悬臂状态、成桥状态、采取多种抑制涡振气动措施状态下的测振试验[14]。试验结果表明:最大单悬臂状态主梁未出现明显涡振,原始断面气动外形良好;成桥状态在桥梁正常运营最大风速范围内(U≤25 m/s)、+3 风攻角下主梁发生竖向涡振,涡振响应曲线见图 7;采取按 4 ∶2 间隔封闭桥面外侧防撞栏杆的措施后,主梁涡振基本消失,涡振响应曲线见图 8。

试验结果表明,在 -3 ,0 和 +3 风攻角下,成桥状态主梁的颤振临界风速均高于 120. 2m/s,按 4 ∶2 间隔封闭桥面外侧防撞栏杆后主梁的颤振临界风速均高于 108 m/s, 二者均大于颤振检验风速 89. 7 m/s,主梁具有良好的抗风性能。



(a) 竖向位移均方差　　(b) 扭转角均方差

图 7　成桥状态主梁涡振响应曲线



(a) 竖向位移均方差　　(b) 扭转角均方差

图 8　采取抑制涡振气动措施后主梁涡振响应曲线

5. 2　风 - 车 - 桥耦合振动分析

基于多体动力学与有限元法,根据风 - 车 - 桥耦合振动分析理论,对该桥开展风 - 车 - 桥空间耦合动力分析,评价其动力性能及列车运行平稳性能[15]。研究结果表明:当桥面平均风速不超过 30 m/s 时, 跨座式单轨列车单线、双线均可按设计最高速度 80 km/h 运行,桥梁与车辆的动力性能良好。

6　结语

牛田洋大桥主桥是目前国内最大跨径的通行跨座式单轨交通的钢桁梁斜拉桥,其技术特点主要体现在:(1)采用横向限位支座搭配弹塑性钢阻尼器,降低下部结构的地震响应;(2)采用上宽下窄、带副桁的空间三角形桁式,经济、美观;(3)采用混凝土桥面板 - 钢桁架组合钢桁梁,不设置专门压重(4)桥塔为厝角头造型,优美且彰显地方特色;(5)桩基采用钢管复合桩,优化了桩基钢筋布置。理论分析与试验表明,该桥具备良好的静、动力性能,能适应地震烈度高、设计风速高和通行轨道交通等建设条件。牛田洋大桥主桥效果图见图 9。

图 9 牛田洋大桥主桥效果图

参考文献:

[1] GB 50458 - 2008, 跨座式单轨交通设计规范[S].

[2] 冯鹏程,付坤,陈毅明. 池口长江公路大桥主桥设计关键技术[J]. 桥梁建设,2017,47(2):7 - 12.

[3] 阮怀圣,徐恭义,张燕飞,胡辉跃,孔令俊. 武汉青山长江公路大桥主桥结构横向约束体系设计[J]. 桥梁建设,2020,50(S1):75 - 81

[4] 曹正洲,沈逢俊. 粉房湾长江大桥主桥结构设计[J]. 桥梁建设,2012,42(S1):17 - 06.

[5] 赖亚平,张智勇,邓宇. 重庆红岩村嘉陵江大桥景观设计[J]. 世界桥梁,2018,46(5):21 - 26.

[6] 张清华,崔闯,卜一之,李乔. 港珠澳大桥正交异性钢桥面板疲劳特性研究[J]. 土木工程学报, 2014,47(9).

[7] 胡会勇,赵健,任延龙,安路明,刘银涛. 广州明珠湾大桥主桥总体设计[J]. 桥梁建设,2021,51(3):93 - 99.

[8] 徐伟,苑仁安,王强,郑清刚,傅战工. 常泰长江大桥主航道桥结构体系及钢梁设计[J]. 桥梁建设,2021,51(3):1 - 8.

[9] 康晋,段雪炜,徐伟. 平潭海峡公铁两用大桥主桥整节段全焊钢桁梁设计[J]. 桥梁建设,2015,45(5):1 - 6.

[10] 李军堂. 沪苏通长江公铁大桥主航道桥钢桁梁整体制造架设技术[J]. 桥梁建设,2020,20(5):10 - 15.

[11] 李东超,赵海威,杨林. 大跨度斜拉桥施工期斜拉索减振技术研究及应用[J]. 世界桥梁,2021,49(3):91 - 96.

[12] 张为,刘庆宽,刘小兵. 长安街西延永定河大桥斜拉索风雨振及减振措施研究[J]. 世界桥梁,2020,48(3):48 - 52.

[13] 孟凡超,吴伟胜,刘明虎,马建林,邓科. 港珠澳大桥桥梁钢管复合桩设计方法研究[J]. 工程力学, 2015,32(1).

[14] 湖南大学风工程试验研究中心. 汕头市牛田洋快速通道工程牛田洋特大桥主桥结构抗风性能研究[R]. 长沙,2020.

[15] 西南交通大学. 汕头市牛田洋快速通道工程牛田洋特大桥车桥共振与风 - 车 - 桥耦合振动研究[R]. 成都,2020.

2021 数字化转型及应用技术论坛暨交通 BIM 协同创新共同体年会

2021 年 10 月 13 日,由中国公路学会、安徽省交通控股集团有限公司主办的 2021 数字化转型及应用技术论坛暨交通 BIM 协同创新共同体年会在安徽合肥高速开元国际大酒店成功举办。会议分为不同会场,由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,围绕“数字化转型,BIM 技术全周期应用”展开交流与讨论。

13 日上午的开幕式,安徽省院胡可、长安大学王建伟分别就安徽省公路数字化转型实践、数字化转型思路与发展做了精彩的报告,中交二院陈楚江对 2021 – 2020 年中国公路交通 BIM 产业发展研究进行了的概述,中交一院张峰分享了对公路行业 BIM 标准的解读、香港大学潘巍介绍了智能模块组合建造及基建创新。

13 日下午,举行了“BIM 示范项目论坛”,介绍了德上高速合枞段、都匀至安顺高速公路、德上高速赣皖界至婺源段、京沪高速公路莱芜至临沂段改扩建工程、G102 国道、徐州城东大道高架快速路工程、京台高速公路泰安至枣庄(鲁苏界)段改扩建项目等项目全生命周期 BIM 技术应用实践的最新成果。会后,我司副总经理刘桂红(常务理事)、数字化技术研究院院长万欢(理事)参加了交通 BIM 协同创新共同体一届二次理事会,共话 BIM 技术落地现状、最新成果和先进经验,探讨交通基础设施数字化转型发展方向。

14 日上午分为“BIM 技术协同化发展及全生命周期应用论坛”和“数字化转型及技术应用论坛”两个不同的分论坛,数字化领域的大师、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。应中国公路学会的邀请,我司数字化技术研究院院长万欢担任“BIM 技术协同化发展及全生命周期应用论坛”的主持人,以其幽默风趣的台风和独到的行业见解,把各个主讲人的汇报顺畅地串联在一起,出色地完成了中国公路学会交给我司的任务。

(报道者:傅海堂)

第四届全国公路平安百年品质工程论坛胜利召开

2021 年 10 月 20 日，第四届全国公路平安百年品质工程论坛暨大广高速南康至龙南段扩容工程现场观摩会胜利开幕，来自全国各地一百多家单位的 800 余位嘉宾和代表参加了会议。

本次会议由中国公路学会主办，江西省交通运输厅、江西省交通投资集团有限责任公司、赣州市人民政府、江西省公路学会、江西省交通投资集团项目建设管理公司、江西省交通投资集团南康至龙南高速公路扩容工程建设项目办公室等单位协办。

会议由中国公路学会副理事长兼秘书长刘文杰主持，赣州市政府副市长张鹏，江西省交通运输厅党组成员、副厅长刘震华，江西省交通投资集团有限责任公司董事长王江军，江西省交通投资集团有限责任公司副总经理俞文生，江西省公路学会理事长孙茂刚，全国工程勘察设计大师、港珠澳大桥总设计师、中交建副总工程师孟凡超等领导和专家出席会议。

多年来，交通运输部高度重视品质工程创建工作，持续推动出台相关政策，全面引领和推进品质工程建设。各省级交通运输主管部门都在组织创建示范项目，开展技术创新和管理创新，通过建立现代工程质量安全管理体系，全面提升本地区工程质量安全水平。“全国公路平安百年品质工程论坛”，原名称“全国品质工程论坛”，是中国公路学会的品牌学术会议之一，自 2018 年以来，先后在北京、广东、河北成功举办了三届，会议讨论交流品质工程建设的理念更新、科技创新与工程实践等方面取得的先进成果和宝贵经验，充分梳理和全面推广我国品质工程建设的创新成果与实践经验，打造平台，以点带面，实现公路交通品质工程建设的高质量发展，取得了良好的社会效应，得到广大公路工程项目建设者的认同和参与。

会议还隆重举行了“第二届全国公路微创新大赛”表彰活动。微创新大赛由中国公路学会主办，旨在引导广大工程技术人员发扬科学家精神，将设备微改造、工艺微改进、工法微改良作为提高生产效率、保障工程质量安全的重要措施，形成更多可复制可推广的优秀微创新技术成果，促进公路技术发展。本届大赛共收到参赛项目 449 个，经过专家初评、终评，136 个项目分获金、银、铜奖。其中金奖 25 个、银奖 46 个、铜奖 65 个。

会议由主旨报告、专题交流和现场参观等三部分组成。在主旨报告环节，教育部长江学者、同济大学特聘教授朱合华围绕“高速公路隧道数字化快速运维技术现状与发展”，全国工程勘察设计大师、港珠澳大桥总设计师、中国公路学会首席科学传播专家、中交建副总工程师孟凡超围绕“超级工程整体把控与管理”，江西省交通投资集团有限责任公司副总经理俞文生围绕“江西高速公路品质工程实践及展望”，中交第一公路勘察设计研究院有限公司董事长吴明先围绕“进藏通道建设面临的挑战”，做了精彩的学术报告。10 月 20 日下午和 10 月 21 日上午按“品质工程设计与实践”、“安全与管理”、“新材料与新技术”、“微创新与大工程”等 4 个专题内容进行学术交流；下午代表们实地参观了大广高速南康至龙南段扩容工程现场，纷纷为项目的一项项品质工程创新点赞。

（报道者：张修杰）

2021 年测量与测绘技术交流会报道

2021 年 11 月 26 ~ 27 日，由中国勘察设计协会、广东省工程勘察设计行业协会、广东省测绘学会联合指导举办，中国勘察设计协会岩土工程与工程测量分会和广东省工程勘察设计协会工程测量与监测专业委员会主办的全国性学术交流会——2021 年测量与测绘技术交流会在广州市黄埔区科学城会议中心举行。本次大会共有来自全国各地近 250 多名代表参加，我司由岩土勘察院苏绍锋副院长和黄宏副总工兼检测所所长参加。

本次大会由广东省重工建筑设计院有限公司、广州地铁设计研究院股份有限公司、广州市城市规划勘测设计研究院承办，大会开幕由专委会秘书长、广东省重工建筑设计院有限公司总工程师颜小锋主持，广东省工程勘察设计行业协会党支部书记兼副秘书长罗振城、广东省测绘学会秘书长唐力明、专委会主任委员单位、广东省重工建筑设计院有限公司总经理赵旭出席并致辞。省工程勘察设计行业协会综合部部长吴花，广东省重工建筑设计院有限公司副总经理连长江，专委会副主任委员张华、李广平、赵骕、吴太成、傅晓珊，常务副秘书长李建平等参加了会议。

本次会议主题为“创新融合、智测智监——为生态文明建设保驾护航”。会议期间邀请了 18 位专家，包括史海欧、杨爱明、王长进、马海志等全国工程勘察设计大师，武汉大学姜卫平、中国矿业大学汪云甲、西南交通大学刘成龙、中山大学夏林元、辽宁工程技术大学宋伟东、广州大学林本海等著名院校教授，以及包括广州地铁集团有限公司建设事业总部副总经理兼总工程师黄辉、深圳市勘察设计大师、深圳市建设综合勘察设计院有限公司总经理王双龙在内的众多行业知名专家与会作了技术报告。报告主题涵盖轨道交通、铁路、高铁、水利、公路、超高层建筑、地下工程、卫星导航、北斗等行业或专业领域的最新研发成果、难点突破、创新思维等课题，内容精彩，引人入胜。

专委会秘书长、广东省重工建筑设计院有限公司总工程师颜小锋作主持

专委会常务副秘书长、广东省重工建筑设计院有限公司岩土分院院长李建平代为宣读贺词

广东省测绘学会秘书长唐力明致辞

全国工程勘察设计大师史海欧作题为
《城市轨道交通地下结构技术创新》的报告

全国工程勘察设计大师杨爱明作题为《新一代
信息技术赋能水工程智慧监测》的报告

全国工程勘察设计大师王长进作题为《轨道
交通工程智能勘测与检测监测新技术》的报告

大会现场

本届大会的学术报告展示了相关行业的测量与监测前沿技术，分享了测量及监测相关领域的最新研究成果，开阔了测量和监测从业人员的视野，启迪了参与者的创新研发思路，报告内容丰富，学术水平高。通过参加本次盛会，我们收获颇多，受益匪浅，也加强了与各单位测量与监测工程师之间的交流。

（报道者：黄 宏）

2021 年模型信息专题会议暨行业研究报告发布会

2021 年 12 月 10 日，由深圳市城市交通规划设计研究中心、中国城市规划学会城市交通规划学术委员会、上海市城乡建设和交通发展研究院联合主办的“2021 年模型信息专题会议暨行业研究报告发布会”在深圳成功举办。

此次大会邀请了国内交通模型行业顶尖专家学者、规划设计研究院代表以及智慧交通行业标杆企业代表，以“数模赋能 共生成长”为主题，旨在促进国内交通模型的交流与发展，推进规划定量分析和重大基建科学决策，探索当前交通模型发展面临的关键问题和未来趋势，为交通模型构建全流程提供指引和借鉴。

10 号上午，北京交通发展研究院研发中心主任缐凯介绍了北京交通仿真平台的建设；上海市城乡建设和交通发展研究院总工陈必壮针对上海新一轮综合交通调查技术与模型改进思路做了主题报告；广州市交通规划研究院副院长马小毅分享了基于国土空间规划的广州交通模型更新的实践经验；深圳市城市交通规划设计研究中心模型专业总师段仲渊则针对新时期区域交通模型概述了发展现况和对策；武汉市交通发展战略研究院交通仿真中心主任郑猛以世行贷款智能交通示范项目为例，深入探讨了武汉出行链模型的构建；中国城市规划设计研究院城市交通研究分院数据应用与创新中心副主任吴克寒基于“中规智绘”解决方案介绍了数据与模型的联合应用和开发实践。在大会上，深圳市城市交通规划设计研究中心发布了联合国内多家机构编写的《基于出行链的城市交通建模技术导则》；同时发布了 WebTAG 中文版的上线报告。

10 号下午，阿里云城市大脑首席科学家张磊做了《数字交通进程中数据和模型标准化的思考与实践》的主题报告，介绍了阿里云城市大脑的架构体系和阿里云数字交通的场景实践；腾讯交通平台产品部总经理苏奎峰以“构建交通数字底座 助力发展智慧交通”为题做了主题报告，介绍了腾讯以动态感知、实时数据为基础的数字孪生技术；上海市城市规划设计研究院交通分院副院长张天然介绍了交通可达性的表现形式和交通可达性在上海规划中的应用情况；深圳市城市交通规划设计研究中心模型院院长助理屈新明分享了云上交通模型/算法中台建设方面的探索与实践的经验。在高峰对话环节，陈必壮总工主持了首场对话，围绕“宏观模型体系建设技术指南讨论”议题，同济大学原副校长杨东援教授、南京市城市与交通规划设计研究院总经理钱林波、马小毅副院长、段仲渊总师、中国城市规划设计研究院城市交通研究分院院长助理伍速锋和深圳市规划国土发展研究中心综合交通所所长周军发表了各自的看法，探讨了国内交通模型发展的痛点和规范化路径；第二场对话由深圳市城市交通规划设计研究中心党委副书记吕国林主持，广州市交通规划研究院信息模型所副所长陈先龙、深圳市城市交通规划设计研究中心模型院院长丘建栋、张天然副院长、北京交通发展研究院模型所负责人马毅林、郑猛主任、上海市城乡建设和交通发展研究院项目主任沈云樟和南京理工大学副教授何流分享了各自宝贵的交通模型从业经验，并给青年模型师们提出许多中肯的发展建议。

（报道者：蔡秀挺）