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
传　　真：020-3739 3172
E－mail：kjzl@ghdi.cn
网　　址：http://www.ghdi.com.cn

廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2021　3　总第183期

准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料　免费交流

获奖喜报

2021年第三季度，集团公司优秀工程项目、科技创新和专利申请再创佳绩，共获得国家优秀测绘奖、省优秀工程勘察设计奖和省土木工程詹天佑故乡杯奖等共计15项；获得省科学技术进步奖14项，国家知识产权局发明专利3项，外观设计专利6项，实用新型专利5项。

获奖证书

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司：
你单位 汕（头）湛（江）高速公路东海岛段及支线工程（沿海防护合同段） 项目
在二〇二一年度广东省优秀工程勘察设计奖评选中获得
工程勘察与岩土工程 一等奖。
特发此证，以资鼓励。

广东省工程勘察设计行业协会
2021年7月

获奖证书

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司：
你单位 广州市南沙凤凰一桥 项目
在二〇二一年度广东省优秀工程勘察设计奖评选中获得
市政公用（交通）工程设计 一等奖。
特发此证，以资鼓励。

广东省工程勘察设计行业协会
2021年7月

获奖证书

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司：
你单位 兴宁至汕尾高速公路兴宁至五华段 项目
在二〇二一年度广东省优秀工程勘察设计奖评选中获得
市政公用（交通）工程设计 一等奖。
特发此证，以资鼓励。

广东省工程勘察设计行业协会
2021年7月

获奖证书

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司：
你单位 东莞市东江黎川大桥工程 项目
在二〇二一年度广东省优秀工程勘察设计奖评选中获得
市政公用（交通）工程设计 一等奖。
特发此证，以资鼓励。

合作单位：广东省冶金建筑设计研究院有限公司

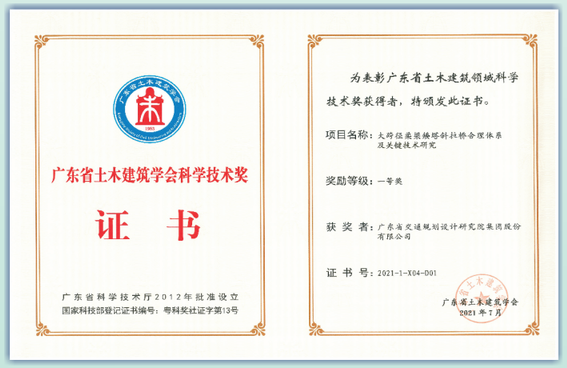
广东省工程勘察设计行业协会
2021年7月

获奖证书

株洲时代新材料科技股份有限公司：
你单位 大跨径矮塔斜拉桥关键技术研究 项目
在二〇二一年度广东省优秀工程勘察设计奖评选中获得
科技创新专项 一等奖。
特发此证，以资鼓励。

合作单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

广东省工程勘察设计行业协会
2021年7月


广东省土木建筑学会科学技术奖

证 书

广东省科学技术厅2012年批准设立
国家科技部登记证书编号：粤科奖社证字第13号

为表彰广东省土木建筑领域科学技术奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：大跨径矮塔斜拉桥合理体系及关键技术研究

奖励等级：一等奖

获 奖 者：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-X04-D01

广东省土木建筑学会
2021年7月

广东省土木建筑学会科学技术奖

证 书

广东省科学技术厅2012年批准设立
国家科技部登记证书编号：粤科奖社证字第13号

为表彰广东省土木建筑领域科学技术奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：交通干线工程路基工程地质勘察与典型地质灾害防治成套技术

奖励等级：一等奖

获 奖 者：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-X31-D01

广东省土木建筑学会
2021年7月

广东省工程勘察设计行业协会科学技术奖

证 书

为表彰2021年度广东省工程勘察设计行业协会科学技术奖获奖者，特颁发此证书。

项目名称：大跨径矮塔斜拉桥关键技术研究

奖励等级：一等奖

获 奖 者：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

粤勘设协字：[2021]9号
证书号：2021-103-1-04-01

广东省工程勘察设计行业协会
2021年7月

发明专利证书

发明名称：用于钢混杆体热塑体结构的抗风结构及抗风方法
发明人：梁志成;魏朝虹;何海;周宇
专利号：ZL 2019 1 0122033.6
专利申请日：2019年02月19日
专利权人：广东省交通规划设计研究院股份有限公司
地址：510507 广东省广州市天河区兴华路22号
授权公告日：2021年08月24日　授权公告号：CN 109894421 B

局长
申长雨
2021年08月24日

发明专利证书

发明名称：路基结构及路基施工方法
发明人：贺宏武;李红中;黄富军;何总平;邓梦天;徐佛君;赵建国;春明;梁志鹏
专利号：ZL 2018 1 1256377.1
专利申请日：2018年10月31日
专利权人：广东省交通规划设计研究院股份有限公司
地址：510000 广东省广州市天河区兴华路22号
授权公告日：2021年08月24日　授权公告号：CN 109037380 B

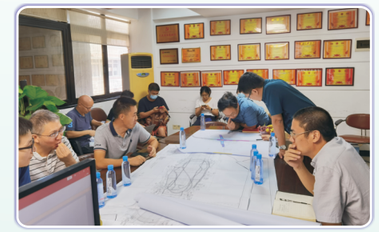
局长
申长雨
2021年08月24日

发明专利证书

发明名称：一种施工冲孔灌注桩地层参数确定方法
发明人：胡飘阳;赵锦杰;李红中;陈梦天;林小浩;邓富强;吴飞雄;徐佛君;周智恒;林冬;梁志鹏;何飞;刘锦;刘浩;何志军
专利号：ZL 2020 1 0108404.6
专利申请日：2020年08月14日
专利权人：广东省交通规划设计研究院股份有限公司
地址：510507 广东省广州市天河区兴华路22号
授权公告日：2021年08月24日　授权公告号：CN 110633280 B

局长
申长雨
2021年08月24日

公司级项目评审会



7月13日召开“广深高速公路萝岗立交改造初步设计”公司级设计评审会议

7月30日召开“省道S272肇珠线睦洲至南镇段(K133+900–K137+885) 改建工程初步设计”公司级设计评审会议

8月23日召开“粤桂黔高铁经济带合作试验区（广东园）中线公路工程建沙特大桥”公司级设计评审会议

设计参考图评审会

7月12日下午召开市政道路配套给排水管网工程（广州地区）设计参考图评审会

7月30日下午召开重力式挡土墙（垂直式、仰斜式、衡重式）设计参考图评审会

9月10日上午召开盖板涵通用图设计参考图评审

软件测试验收评审会

9月26日下午召开自动化建模Bim_Design 2.0软件测试验收评审会

广东交通规划设计

（每季出版）

2021 年 9 月 30 日印刷

2021 年第 3 期

（总第 183 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　林　敏

委　员：彭向荣　张修杰　陈潮锐　孙向东　王景奇　陈新富　梁志勇　刘吉福　万志勇　冯心宜

主　　编：梁立农

副 主 编：林　敏

责任编辑：杨　雪

编　　辑：《广东交通规划设计》编辑部

编印单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

地　　址：广州市天河区兴华路 22 号

邮政编码：510507

电　　话：020－37393079

传　　真：020－37393172

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：怀集至阳江港高速公路金装互通

封底：沈阳至海口国家高速公路阳江至茂名改扩建工程

目　次

部委政策

交通运输部关于印发《交通运输领域新型基础设施建设行动方案（2021－2025 年）》的通知 ……（1）

公司动态

公司喜获广东省市场监督管理局连续二十年广东省“守合同重信用”企业、广东省公路工程从业单位信用评价“AA 级单位”荣誉称号 ……（5）

我公司承担勘察设计的佛山市富龙西江特大桥工程入选交通运输部、广东省交通运输厅示范项目 ……（7）

广东交通设计大厦顺利完成地下土建部分主体工程施工 ……（8）

喜报——公司成功取得风景园林工程设计专项甲级资质 ……（10）

我公司勘察设计的广东省第一座双连拱变截面、分岔山岭隧道——内莞隧道顺利贯通 ……（11）

我公司勘察设计的四川省重大项目——镇巴至广安高速公路通江至广安段初步设计及控制性工程白马渠江特大桥施工图设计顺利通过评审 ……（13）

喜报——集团公司顺利取得广东省环保技术咨询服务能力评价证书 ……（15）

我公司梁立农创新工作室获广东省总工会授予“粤港澳大湾区劳模与工匠人才创新工作室联盟成员单位”证书 ……（16）

同心筑梦，扬帆起航——集团公司 2021 年度新员工入职培训顺利开展 ……（17）

集团公司召开交通强省建设专题学习会 ……（21）

技术论文

浅析存量土地释放的互通立交改造方案 …… 邝清娴（22）

基于广东省实际汽车荷载的钢板组合梁桥设计分析 … 谭巨良（27）

复合地基黏性土路堤土拱效应分析 … 刘吉福，郑　刚，余　列（32）

牛田洋大桥主桥结构设计 …… 杨　钻，王　雷，王景奇，孙向东，梁立农（40）

信息专栏

2021 粤港澳大湾区地铁产业大会报道 ……（47）

采空区处治勘察设计研讨会 ……（48）

2021 全国公路设计新思维技术交流会报道 ……（49）

全国预制装配式桥梁工业化建造技术交流大会暨绍兴品质工程观摩会报道 ……（49）

交通运输部关于印发《交通运输领域新型基础设施建设行动方案(2021－2025 年)》的通知

交规划发〔2021〕82 号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团交通运输厅(局、委),部属各单位,部内各司局:

为加快建设交通强国,推动交通运输领域新型基础设施建设,现将《交通运输领域新型基础设施建设行动方案(2021－2025 年)》印发给你们,请认真贯彻落实。

交通运输部

2021 年 8 月 31 日

交通运输领域新型基础设施建设行动方案(2021—2025 年)

为贯彻党中央、国务院决策部署,落实《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》总体要求,推动交通运输领域新型基础设施建设,根据《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》和“十四五”时期数字交通发展有关要求,制定本方案。

一、总体要求

(一)指导思想。

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神,立足新发展阶段,贯彻新发展理念,构建新发展格局,以推动交通运输高质量发展为主题,以加快建设交通强国为总目标,坚持创新驱动、智慧发展,以数字化、网络化、智能化为主线,组织推动一批交通新基建重点工程,打造有影响力的交通新基建样板,营造创新发展环境,以点带面推动新基建发展,促进交通运输提效能、扩功能、增动能,不断增强人民群众获得感、幸福感、安全感。

(二)基本原则。

——创新驱动,赋能增效。加快技术创新迭代,丰富拓展应用场景,积极培育交通运输领域新技术新产业新业态新模式,增强发展动能,发挥新型基础设施提质增效作用,巩固传统基础设施强基固本作用,促进运输服务智能升级。

——统筹协调,政企联动。更好发挥政府统筹协调和支持引导作用,营造良好发展环境。充分发挥企业作用,激发市场活力,促进产业链上下游紧密协作,扩展服务功能,提高服务水平。

——积极稳妥,远近结合。坚持问题导向、务求实效,加快成熟技术在交通基础设施重点领域的深化应用,注重经验成果总结和推广,支撑交通新基建系统化、规模化发展。积极跟踪新技术发展,适度超前开展相关技术研究及试点。

——标准支撑,安全发展。发挥标准化在新基建领域的基础性作用,优先制定关键环节的标准规范,结合工程实践经验逐步完善。筑牢安全防线,强化安全发展意识,提升网络安全保障能力,保障关键信息系统和公共数据安全。

(三)行动目标。

到 2025 年,打造一批交通新基建重点工程,形成一批可复制推广的应用场景,制修订一批技术标准规范,促进交通基础设施网与运输服务网、信息网、能源网融合发展,精准感知、精确分析、精细管理和精心服务能力显著增强,智能管理深度应用,一体服务广泛覆盖,交通基础设施运行效率、安全水平和服务质量有效提升。

二、主要任务

(一)智慧公路建设行动。

提升公路智能化管理水平。推动公路感知网络与公路基础设施建设养护工程同步规划、同步实施,提升公路基础设施全要素、全周期数字化水平。增强在役基础设施检测监测、评估预警能力。开展对跨江跨海跨峡谷等长大桥梁结构健康的实时监测,提升特长隧道、隧道群结构灾害、机电故障、交通事故及周边环境风险等监测预警和应急处置技术应用水平。建设监测、调度、管控、应急、服务一体的智慧路网平台,深化大数据应用,实现视频监控集成管理、事件自动识别、智能监测与预警、分车道管控、实时交通诱导和路网协同调度等功能。

提升公路智慧化服务水平。推广交通突发事件信息的精准推送和伴随式出行服务,在团雾、冰冻多发区域研究推进车道级雾天行车诱导、消冰除雪等应用,支持重点路段全天候通行。推进高速公路电子不停车收费(ETC)系统应用,推进与公路运行监测等数据融合,全面提升公路信息服务水平。准确定位车辆位置,提供“一键式”智能应急救援服务。提升服务区智能化水平,完善智能感知设施,为充换电设施建设提供便利,建设服务区综合信息平台,实现大数据在运营管理、安全应急、信息服务等应用。逐步丰富车路协同应用场景。

专栏 1　智慧公路重点工程

立足京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝双城经济圈和海南自贸港等重点区域发展战略,依托京哈、京港澳、杭绍甬、沈海、沪昆、成渝、海南环岛等国家高速公路重点路段以及京雄高速、济青中线等城际快速通道开展智慧公路建设,提升路网运行管理水平,降低事故发生率,缓解交通拥堵,提升通行效率。

推进港珠澳大桥等公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施工作,推动深中通道、常泰长江大桥等在建工程同步加强桥梁结构健康监测能力,动态掌握长大桥梁运行状况,防范化解公路长大桥梁运行重大安全风险。

依托天山胜利隧道、秦岭隧道群等开展智慧工地、智慧运营与应急管理等系统建设,增强隧道运行管理可靠性,提升应急救援能力。

推进江西等地高速公路智慧服务区建设,推广卡口车流和服务区客流监测、全景视频监控、停车位诱导等设备设施,提高服务区运营管理和出行信息服务水平。

(二)智慧航道建设行动。

提升航道运行保障能力。完善内河高等级航道测量测绘设施,加强航道尺度、水文、气象等在线监测,推动通航建筑物和航运枢纽大坝关键设施结构健康监测,提高内河电子航道图覆盖率,提高航道维护智能化水平。

提升航道协同监管能力。整合航道、海事、水运数据资源,提高航道突发事件应急联动效能。推广船舶污染物接收和监督系统,实现船舶污染物接收转运处置联合监管、船舶排放控制区现场监督检查等功能。

提高航道综合服务能力。开展传统导航设施数字化改造和虚拟航标应用。推广船舶北斗高精度位置服务。建设适应智能船舶的岸基设施,推进航道设施与智能船舶自主航行的配套衔接。推广船舶过闸智能调度,推进船闸设施自动化控制、智能调度、船舶通行、故障预警等一站式服务。推动水上绿色服务区建设。

专栏 2　智慧航道重点工程

立足全国高等级航道网“四纵四横两网”,依托长江干线、西江航运干线、京杭运河、乌江、涪江、杭申线等高等级航道开展智慧航道建设,实现重点通航建筑物的运行状况实时监测,推动高等级航道电子航道图应用,推进梯级枢纽船闸联合智能调度,有效提升航道通过能力,确保船舶通行安全。推进西部陆海新通道(平陆)运河等智能化应用,提升运河工程全过程的一体化管控能力。

(三)智慧港口建设行动。

推进码头作业装备自动化。加快新型自动化集装箱码头、堆场建设和改造,加强码头桥吊、龙门吊等设施远程自动操控改造,推进码头操作系统和

设备控制系统的深度融合。推进大宗干散货(矿石、煤炭、粮食等)码头堆取料机、装卸船机、翻车机等设施智能化升级。推进无人集卡、自动导引车等规模化应用。推动港口建设养护运行全周期数字化,实现建造过程智能管控。推动船舶靠港使用岸电,推进码头岸电设施和船舶受电设施改造,推进智能照明、供能和节能改造技术应用。

建设港口智慧物流服务平台。推进港口经营单位与相关部门、企业和社会团体间信息互联共享,推动物流作业协同,提高物流便利化和业务效率。以危险品码头作业为重点,建设危险品智能监测预警系统。开展区块链技术创新应用,推进电子单证、业务在线办理、危险品全链条监管、全程物流可视化等。

专栏 3　智慧港口重点工程
推进厦门港、宁波舟山港、大连港等既有集装箱码头的智能升级,建设天津港、苏州港、北部湾港等新一代自动化码头,加快港站智能调度、设备远程操控等应用,实现平面运输拖车无人化。建设港口智慧物流服务平台,加强港口危险品智能监测预警。推进武汉港阳逻铁水联运码头建设,应用智能闸口、智能理货、智能堆场、智能调度系统,探索内河传统集装箱码头自动化改造经验。

(四)智慧枢纽建设行动。

推动综合客运枢纽智能化建设。以便捷换乘为导向,完善智能联程导航、票务服务、标识引导、综合立体换乘等设施。推广应用车载便捷式安检设备,推动电子客票在综合客运枢纽的广泛使用,加强不同运输方式票务系统的有效衔接,实现“一站购票、一码(证)通行”。推动跨运输方式安检互认,提高行李直挂服务比例。加强事件监测、环境监测等系统建设,构建枢纽综合运行协调平台,推动城市公共汽电车、城市轨道交通、出租汽车(含网约车)与铁路、航空运行时刻、客流规模变化等运营信息有效对接,加强组织调度、运力安排等方面的协同衔接和应急响应,保障极端恶劣天气、重大突发事件、重点时段等情况下及时疏运旅客。

推动货运枢纽(物流园区)智能化建设。以高效衔接为导向,建设智能仓储等设施,推广智能安检、装卸、拣选等装备。推进多式联运信息采集交换,实现电子货运单证“一单制”。推广应用第三方物流信息平台,实现多种运输方式全过程的智能调度、高效运转、精准匹配,提供跨方式、跨区域的全程物流信息服务。

专栏 4　智慧枢纽重点工程
打造济南、长沙等航空主导型智慧综合客运枢纽,实现交通运行监测、智能分析决策、信息服务、综合交通协同等功能。打造重庆等铁路主导型智慧综合客运枢纽,实现场站联动、客流管控、一码通行、智慧停车、智能客服等功能。 推动北京、河北等开展智慧货运枢纽(物流园区)建设,推进仓储、运输、配送等设施设备的智能化升级,实现车货匹配、智能调度、共同配送、多式联运等服务。

(五)交通信息基础设施建设行动。

推进综合交通大数据中心体系建设。打造综合交通运输“数据大脑”。建强综合交通运输信息平台,增强综合交通运输运行动态掌控和突发事件应急指挥能力。鼓励和支持各地交通运输主管部门统筹开展综合交通运输信息平台建设,加强各级综合交通运输信息平台互联互通。

助力通信信息基础设施建设。开展 5G 等技术在重要交通基础设施的融合应用研究。结合 5G 商用部署,协同推进对高速公路重点路段、重要综合客运枢纽、港口和物流园区的网络覆盖。推广车联网、船联网技术应用,推动建设泛在感知、港车协同的智慧互联港口。统筹利用 5G、高速公路信息通信系统等社会和行业资源,整合建设天地一体的行业综合信息通信网络。

深化北斗导航系统应用。深化交通运输领域北斗系统高精度导航与位置服务应用,建设北斗全球海上遇险与安全支持系统,深化北斗全球航运示

范应用,完善北斗兼容的全球中轨卫星搜救地面支持系统。

加强网络安全保护。严格落实等级保护制度,加强关键信息基础设施保护,强化态势感知能力建设,保障数据共享安全可控。建立健全数据安全保护制度,加强基础设施数据全生命周期管理和分级分类保护,落实数据容灾备份措施。推进商用密码技术应用。

专栏 5　打造综合交通运输“数据大脑”
加快建设国家综合交通运输信息平台,构建以部级综合交通大数据中心为枢纽,覆盖和连接各省级综合交通大数据中心的架构体系。鼓励支持省级综合交通运输信息平台和综合交通大数据中心一体化建设,先行先试。建立健全交通运输数据资源共享机制和交换渠道,推动部省综合交通运输信息平台和综合交通大数据中心互联互通,推进交通运输数据资源的汇聚共享与智能应用,以数据赋能交通运输行业,提升管理服务能力。

(六)交通创新基础设施建设行动。

组织实施重大科技工程。加快交通基础设施长期性能科学观测网建设,实施交通基础设施数字化工程、交通运输装备关键核心技术攻坚工程、水上交通安全应急保障技术攻坚工程等,开展自动驾驶、智能航运、智慧工地等智能交通先导应用试点。

加强科技创新能力建设。加强新能源、人工智能、公共安全等领域重点科研平台布局,建设交通运输行业野外科学观测研究站。实施交通运输“一带一路”科技创新行动计划,支持建设中外联合实验室(研究中心),共建一批交通特色鲜明的科技园区、技术转移中心和技术示范与推广基地。推动公路交通安全、海上溢油应急处置、船舶污染防治、智能航运、智慧物流、综合交通规划数字化等领域综合实验基地和科研创新平台建设,配置基础研究和共性关键技术研究相关设备。

(七)标准规范完善行动。

完善新基建标准规范体系框架,加快研究制定关键性、基础性国家和行业标准,完善通信网络、北斗系统、环境感知、交通诱导与管理、BIM、数据融合等标准规范。鼓励地方交通运输主管部门、科研机构、企业、社会团体分类推进建立适应自动驾驶、自动化码头、无人配送的基础设施标准规范,形成一批地方标准、团体标准、企业标准。鼓励支持研究制定智慧公路、智慧航道、智慧港口、智慧枢纽等交通新基建工程建设指南。适应新基建发展,完善交通基础设施建设项目设计、监理、验收等管理要求。

三、保障措施

(一)强化组织实施。

部统筹交通新基建行动,完善工作机制,加强对省级交通运输主管部门各项行动落实情况的指导,每年开展一次阶段性评估,并结合规划政策要求,适时进行动态调整。各省级交通运输主管部门要高度重视,切实落实主体责任,加强组织协调,与交通强国试点相结合,加快推动重点工程建设,每年 12 月 10 日前将工作进展及重点工程实施情况报部。工程承担单位要落实具体责任,确保重点工程顺利实施、发挥实效。

(二)促进多元投入。

部对符合“十四五”时期投资政策的项目予以统筹支持,发挥好政府投资的引导带动作用。各省级交通运输主管部门应积极争取地方财政对新基建项目予以优先支持。充分运用市场机制,多元化拓宽投融资渠道,吸引社会资本积极参与投资建设和运营服务,更好发挥市场对新基建产业发展的支持作用,强化风险防控机制建设。

(三)鼓励创新推广。

按照包容审慎的原则,鼓励基于交通新基建的新业态新模式发展,鼓励产业链上下游协同攻关、融通合作,形成产学研协同创新格局。部发挥好典型引领作用,通过现场会议、经验交流、科技奖励等形式,总结推广重要成果和先进经验。

国家铁路局、中国民用航空局、国家邮政局根据职责,按照《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》(交规划发〔2020〕75 号)和本行动方案有关要求,自行研究组织开展智能铁路、智慧民航、智慧邮政等领域相关工作。

公司喜获广东省市场监督管理局连续二十年广东省“守合同重信用”企业、广东省公路工程从业单位信用评价“AA 级单位”荣誉称号

近日，公司被广东省市场监督管理局授予“连续二十年（2001 年度至 2020 年度）广东省‘守合同重信用’企业”荣誉称号；与此同时，公司被授予 2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价最高等级 AA 级信用评级荣誉，代表了公司的诚信建设得到了政府主管部门和社会各界的高度认可，进一步彰显了公司“至诚至善，求实创新”的核心价值观，展示了公司重信用的良好形象。

公 示：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

连续二十年

（2001 年度至 2020 年度）

广东省“守合同重信用”企业

公示机关：广东省市场监督管理局

2021 年 06 月 01 日

扫描二维码查看企业公示信息

（报道者：刘银色）

广东省交通运输厅文件

粤交基〔2021〕194 号

广东省交通运输厅关于公布 2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果（第一批）的通知

各地级以上市交通运输局，省公路事务中心，省交通集团有限公司：

按照《交通运输部办公厅关于做好 2020 年度公路建设市场信用评价工作的通知》（交办公路函〔2021〕90 号）和《广东省交通运输厅关于组织开展 2020 年度广东省在建公路工程从业单位信用评价工作的通知》（粤交基建字〔2021〕7 号）有关要求，依据《广东省交通运输厅关于印发公路工程施工、监理企业和试

验检测机构信用评价管理办法的通知》（粤交〔2018〕1 号）《广东省交通运输厅关于印发公路设计企业信用评价管理办法的通知》（粤交〔2018〕2 号）《广东省交通运输厅关于印发高速公路材料供应行为信用评价管理办法的通知》（粤交〔2018〕3 号），厅组织对 2020 年度广东省在建公路工程设计、施工、监理、试验检测以及材料供应等单位开展了信用评价工作，并按规定将综合评价结果进行了公示。现将公示无异议并经审定后的 2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果予以公布（详见附件），并提出如下要求，请各有关单位贯彻落实。

一、各有关单位要严格按照《广东省交通运输厅关于进一步贯彻广东省公路水运工程从业企业信用评价管理办法的实施意见的通知》（粤交基〔2014〕564 号）要求落实好信用评价结果的应用工作。

二、为便于新旧信用评价结果的应用衔接，自 2021 年 4 月 21 日 0 时起，在招标评标过程中应用 2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果，在此时间之前已递交投标文件的招标项目仍应用 2019 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果。

三、无 2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果的单位可延续使用 2019 年度信用评价结果（信用等级为 C、D 级的除外），但在递交资审文件（采用资格后审招标时为投标文件）时承诺使用 AA 或 A 级信用等级的使用次数应按照 2019 年度公布的信用评价结果顺延 2019 年度的使用次数，使用次数有关规定执行

粤交基〔2014〕564 号的要求。

四、为规范信用等级的使用管理，各招标人在评标结束后，除在中标候选人公示中将信用等级使用情况公开外，须公示所有承诺使用 AA、A 级投标人的年度信用等级使用情况。如发现投标人承诺使用次数与实际使用次数不符的，按有关规定处理，并记入该企业信用档案。

五、各项目建设单位及其上级管理单位、各地市交通运输局要进一步加强从业单位的信用管理，按照信用评价管理办法和有关要求，在招投标工作和项目日常管理工作过程中，安排专人做好从业单位的信誉台帐工作，并加强信用管理工作人员的业务培训，如实、客观、公正地记录和评价从业单位信用情况。同时做好从业单位信用评价动态管理工作，对有符合降级条件的不良信用行为的从业单位应及时上报。

附件：2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果

广东省交通运输厅

2021 年 4 月 19 日

附件：

2020 年度广东省公路工程从业单位信用评价结果

（第一批，单位排名不分先后）

一、AA 级单位（共 65 家）

序号	企业名称	备注
一、设计单位（10 家）		
1	北京交科公路勘察设计研究院有限公司	
2	广东省交通规划设计研究院股份有限公司	
3	湖南省交通规划勘察设计院有限公司	
4	华设设计集团股份有限公司	
5	中国公路工程咨询集团有限公司	
6	中交第二公路勘察设计研究院有限公司	
7	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	
8	中交公路规划设计院有限公司	
9	中铁大桥勘测设计院集团有限公司	
10	中铁二院工程集团有限责任公司	
二、施工单位（26 家）		
(一)土建工程施工单位（22 家）		
1	保利长大工程有限公司	
2	广东冠粤路桥有限公司	
3	广州市公路工程公司	
4	中国铁建港航局集团有限公司	
5	中化学交通建设集团有限公司	
6	中交第二公路工程局有限公司	
7	中交第二航务工程局有限公司	
8	中交第四航务工程局有限公司	
9	中交第一航务工程局有限公司	
10	中交二公局第三工程有限公司	
11	中交路桥建设有限公司	
12	中交一公局桥隧工程有限公司	
13	中铁大桥局集团有限公司	
14	中铁七局集团有限公司	
15	中铁十八局集团有限公司	
16	中铁十二局集团有限公司	
17	中铁十七局集团有限公司	
18	中铁十四局集团有限公司	
19	中铁十五局集团有限公司	
20	中铁十一局集团有限公司	
21	中铁四局集团有限公司	

第 1 页 共 9 页

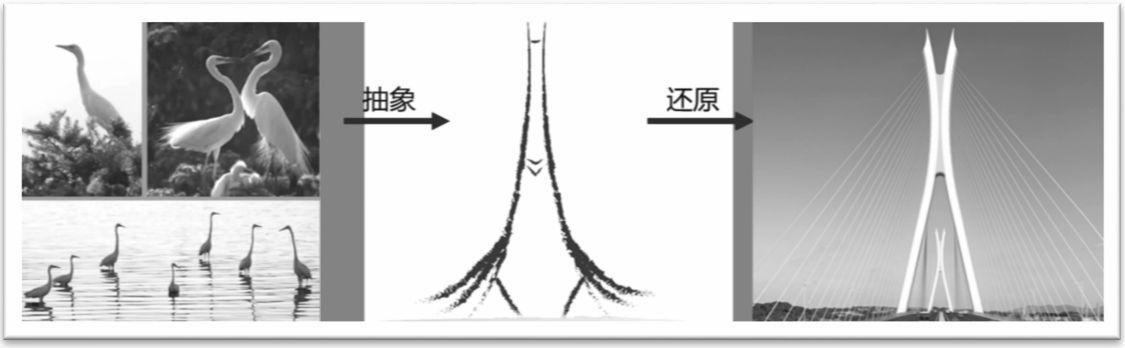
我公司承担勘察设计的佛山市富龙西江特大桥工程入选交通运输部、广东省交通运输厅示范项目

近日，由我公司承担勘察设计的佛山市富龙西江特大桥工程项目接连入选交通运输部首批“平安百年品质工程”创建示范项目、交通运输部 2020 年度“交通运输行业重点科技项目”以及广东省 2020 年度公路水运工程省级“平安工地”典型项目，是广东省唯一同时入选以上三项殊荣的项目。

佛山市富龙西江特大桥工程建设总里程为 5.81km，总投资 38.9 亿元，设计速度 80km/h，采用一级公路标准兼顾城市道路功能，双向 8 车道。该项目主桥采用主跨为 580m 的 UHPC 钢混组合梁斜拉桥，目前正处于主塔中塔柱爬模施工当中，计划 2022 年底建成通车。

主桥创新性地运用了超高性能混凝土（UHPC）桥面板，鉴于其高抗拉、高抗压、氯离子扩散系数低、吸水性低、蒸养后的收缩为零且徐变小、耐久性高、使用寿命长、后期维护费用低、经济性好等突出的高性能优点，以其代替正交异性钢桥面板及普通混凝土桥面板，有效解决长期困扰工程界的桥面板开裂及耐久性难题。该桥梁方案在同类组合梁斜拉桥中为世界首创。

桥塔采用了独创性的白鹭塔方案。创意灵感来源于佛山市白鹭湖风光，以优雅对唱的白鹭形象勾勒出桥塔柔和的外形，景观效果突出，与佛山文化高度契合。



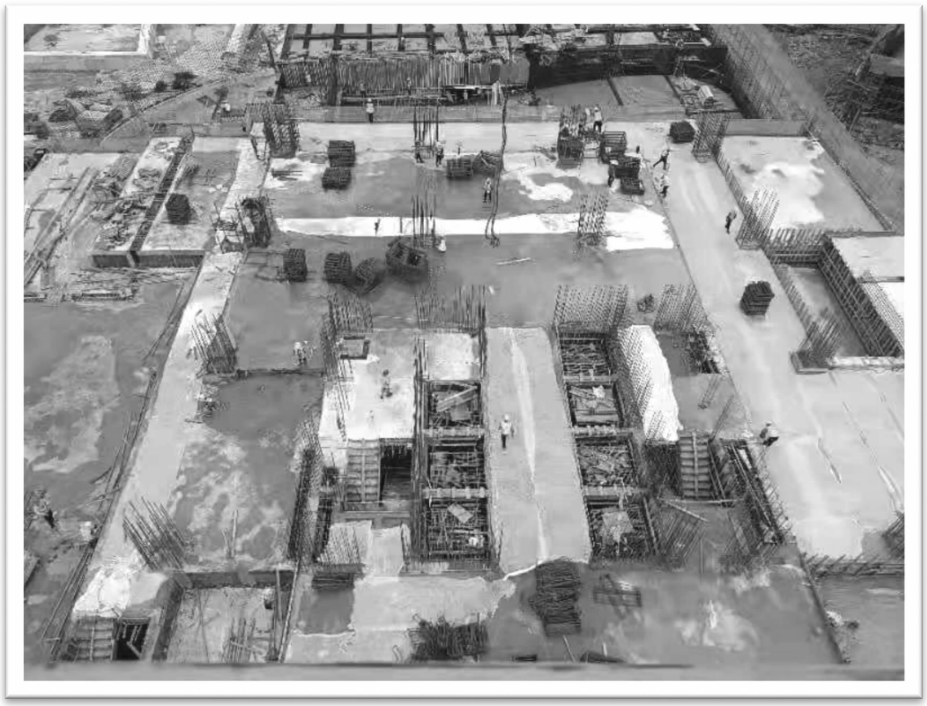
项目同时还应用了 BIM 技术构建全寿命周期的建筑信息模型，可实现 4D 动态模拟及全寿命周期的数字化信息共享，通过一种全新的协同工作方式实现项目参建各方的高效协作以及信息和成果的集成共享。

（报道者：傅海堂）

广东交通设计大厦顺利完成地下土建部分主体工程施工

2021 年 7 月 29 日晚，随着负一层顶板最后一车混凝土的顺利浇筑，集团公司新办公基地——广东交通设计大厦已顺利完成了地下土建部分主体工程施工。

2021 年 7 月 29 日晚，负一层顶板最后一车混凝土浇筑



负一层顶板浇筑完成后的现场图片

广东交通设计大厦自 2020 年 10 月 20 日正式开工建设，期间虽然受到了不良地质、新冠疫情等客观不利因素影响，但在集团公司领导的统一部署和亲自指挥下，通过参建各方团结协作和努力付出，最终克服了种种困难并实现了阶段性目标。

集团公司李江山董事长亲赴现场指挥项目建设

集团公司李斌总会计师现场指导项目建设

集团公司李江山董事长亲自协调项目建设进度

负一层顶板浇筑时，集团公司陈贤文副总经理带队现场检查指导

接下来，在集团公司领导的统一部署下，参建各方将再接再厉，争取在今年年底完成大厦主体结构封顶，尽早让广大同事入驻新家！

（报道者：罗勇慧）

喜报——集团公司顺利取得广东省环保技术咨询服务能力评价证书

近日，公司顺利通过了风景园林工程设计专项资质升甲审批，并于 2021 年 8 月 3 日成功取得了由广东省住房和城乡建设厅颁发的风景园林工程设计专项甲级资质证书。至此，公司已具备涉及公路、市政、建筑、电子通信广电四个行业及风景园林工程设计专项的 8 项设计甲级资质，分别为公路行业甲级、电子通信广电行业（电子系统工程）专业甲级、市政行业（排水工程、道路工程、桥梁工程、城市隧道工程）甲级、建筑行业（建筑工程）甲级、风景园林工程设计专项甲级。

风景园林工程设计专项甲级资质的取得，对公司发展多元化业务，提升风景园林业务市场竞争力，推动风景园林业务与公路、市政、建筑业务实现融合发展，具有重要的战略意义。近年来，在公司领导的指导和各相关单位的共同努力下，公司资质工作逐年取得新进展。接下来，公司将根据战略发展规划，继续提升资质实力，继续朝着“成为中国领先的工程咨询企业集团”的企业愿景不断迈进。

工程设计资质证书

证书编号：A244004356

企业名称：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

统一社会信用代码：91440000455857836N

法定代表人：李江山

注册地址：广东省广州市白云区黄边北路146号

有效期：至 2026年07月19日

资质等级：建筑行业建筑工程甲级
市政行业排水工程甲级
市政行业桥梁工程甲级
市政行业城市隧道工程甲级
市政行业道路工程甲级
风景园林工程设计专项甲级
******

先关注广东省住房和城乡建设厅微信公众号，进入“粤建办事”扫码查验

发证机关：广东省住房和城乡建设厅

发证日期：2021年07月19日

全国建筑市场监管公共服务平台查询网址：http://jzsc.mohurd.gov.cn
广东省建设行业数据开放平台查询网址：http://data.gdcic.net/dop

（报道者：曾子江）

我公司勘察设计的广东省第一座双连拱变截面、分岔山岭隧道——内莞隧道顺利贯通

日前，由我公司勘察设计的广东省第一座一级公路双连拱变截面、分岔山岭隧道——内莞隧道实现全线贯通。该隧道长 647.5m，位于广东省河源市连平县内莞镇以北，是“河源市连平县公路局‘6·10’‘6·12’公路抢险救灾工程”的重点控制性节点。隧道设计标准为一级公路双向四车道，设计速度为 60km/h。本项目结合地方需求，首次在一级公路隧道内设置了 1.5m 宽的慢行通道。隧道最大内轮廓宽度达到 32.38m。

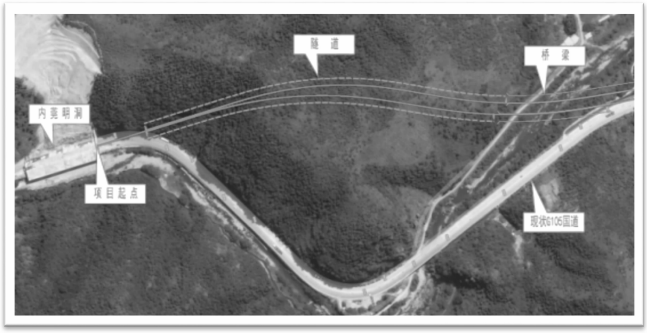


图 1　隧道总体平面图

图 2　隧道贯通现场图

该隧道所在的 G105 国道内莞镇显村至大陂村路段依山而建，每逢暴雨便极易发生泥石流、塌方等地质灾害，给群众出行带来极大不便和安全隐患。线路右侧为大席河，左侧为山体。山体极其陡峭，地质条件差。受地形影响，隧道洞口边坡高度达 50m，设计及施工难度极大。

针对本项目的特点和难点，我公司组织开展了多方案比选和论证，创新性地首次采用了“分岔隧道”方案。该方案综合了目前钻爆法山岭隧道连拱、小净距以及分离隧道等所有结构设计形式，为破解脆弱生态环境中复杂地形地质条件下的山区高等级公路选线设计提供了新的设计思路和设计手段。

大胆采用前置式进洞方案，确保高陡边坡条件下隧道进洞安全

受线位和地形条件限制，隧道必须在近似直立陡崖（高度近 50m）下进洞。我公司大胆采用了套拱外接前置式洞门的设计方案。该方案在减小仰坡扰动的同时，可最大化保证施工人员安全。

图 3　前置式洞门现场施工图

图 4　隧道进口图

连拱与分离式隧道形式顺接过渡，确保隧道安全美观内莞隧道要在山体中完成连拱到分离结构的顺接过渡。面对隧道结构转换中的各种困难，我公司组织设计力量反复研究设计方案，精准实施处

置对策，最终形成了内莞隧道从整体式直墙连拱、整体式直墙变宽连拱、整体式直墙渐变曲墙连拱、复合式连拱、超小净距隧道、较小净距隧道的设计布局，确保隧道设计施工过程中的结构安全与美观。

创新应用“折线型辅助导洞设计”加快施工进度

本项目建设周期非常紧张。针对连拱隧道施工进度天然较慢的特点，本项目创新性地实施了“折线型辅助导洞设计”：从隧道右洞左侧开辟一条辅助导洞至复合式连拱段中导洞，再由进口端、复合式连拱段相向开挖中导洞至贯通，中导洞隔墙由贯通里程向进口、出口方向双向施工，左、右侧主洞在中隔墙施工完成后从进口、出口端相向开挖，连拱段在洞内贯通，加快施工进度。

图 5　隧道导洞施工图

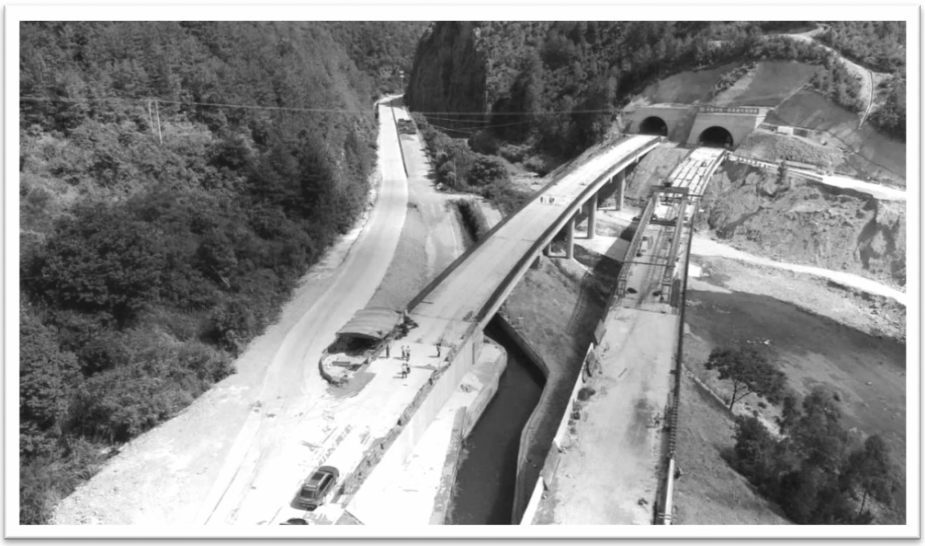


图 6　隧道出口图

内莞隧道于年底正式通车后，将极大增强 G105 国道内莞镇显村至大陂村路段的通行能力和安全水平。本项目的成功实施，为今后的类似项目积累了宝贵经验。相关设计研究成果也将极大提升我公司在复杂地质地形条件下大跨、变截面分岔隧道的设计水平，助力公司更好地为客户创造价值。

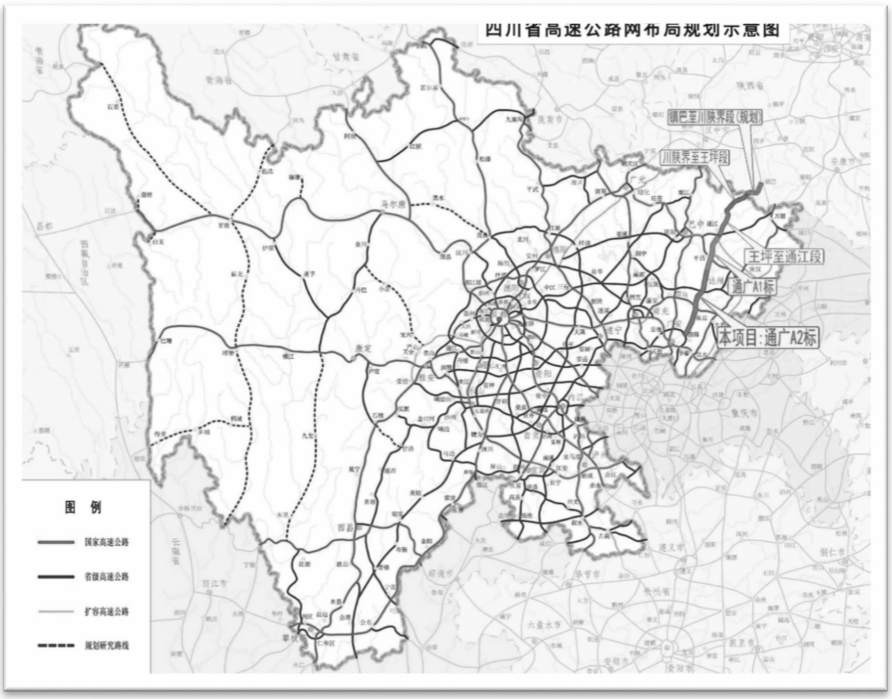
（报道者：温玉辉）

我司勘察设计的四川省重大项目——镇巴至广安高速公路通江至广安段初步设计及控制性工程白马渠江特大桥施工图设计顺利通过评审

近日，由我公司第二设计院勘察设计的四川省重大项目——镇巴至广安高速公路通江至广安段 A2 标初步设计及项目控制性工程白马渠江特大桥施工图设计顺利通过了四川省交通运输厅组织的评审。公司副总经理蔡小杨、公司副总工程师梁志勇、第二设计院总工程师王雷、四川分公司副总经理谭林以及项目负责人池坤敏、王同等项目组成员参加了现场会议。

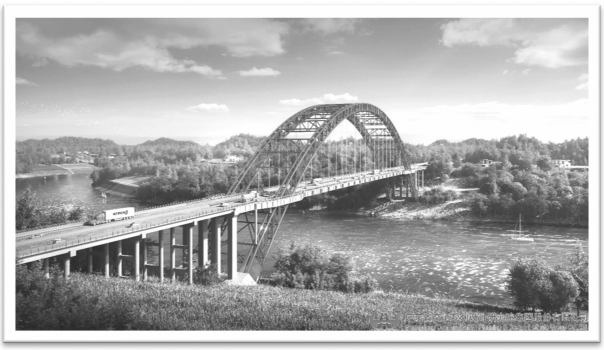
镇巴至广安高速公路是《四川省高速公路网布局规划（2019－2035 年）》中的第二纵，是纵贯川陕两省的交通要道，也是加强区域协调发展的重要扶贫通道，对完善区域路网、促进现代综合交通体系

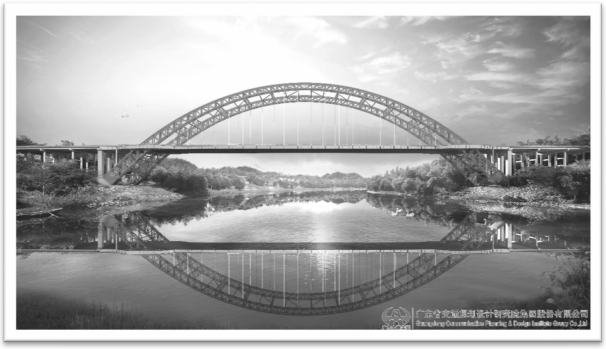
的构建具有重要意义。其中,通江至广安段 A2 标位于达州市和广安市,路线全长 94.776km,桥隧比共 22.3%,设互通立交 10 座(其中 3 座为枢纽立交)。



白马渠江特大桥为本项目控制性工程之一,位于广安市虎城镇,跨越渠江。主桥采用主跨 418.8m 的中承式钢管砼拱桥,拱肋为变截面钢管混凝土桁架,主梁采用钢格子梁叠合 25cm 混凝土预制桥面板的组合结构,两岸基础采用分离式扩大基础。

该桥是我公司第二设计院设计的一座主跨超 400m 的中承式钢管混凝土拱桥。在主桥设计过程中,我公司精心组织调研、认真消化吸收类似桥梁的研究成果、深入钻研关键技术,并在四川红层软弱互层扩大基础设计、桁架式拱抗风遮挡效应等方面进行了科研创新。主桥成果赢得了专家和业主的一致好评。该项目的顺利推进大大提升了我公司在省外市场的品牌影响力。





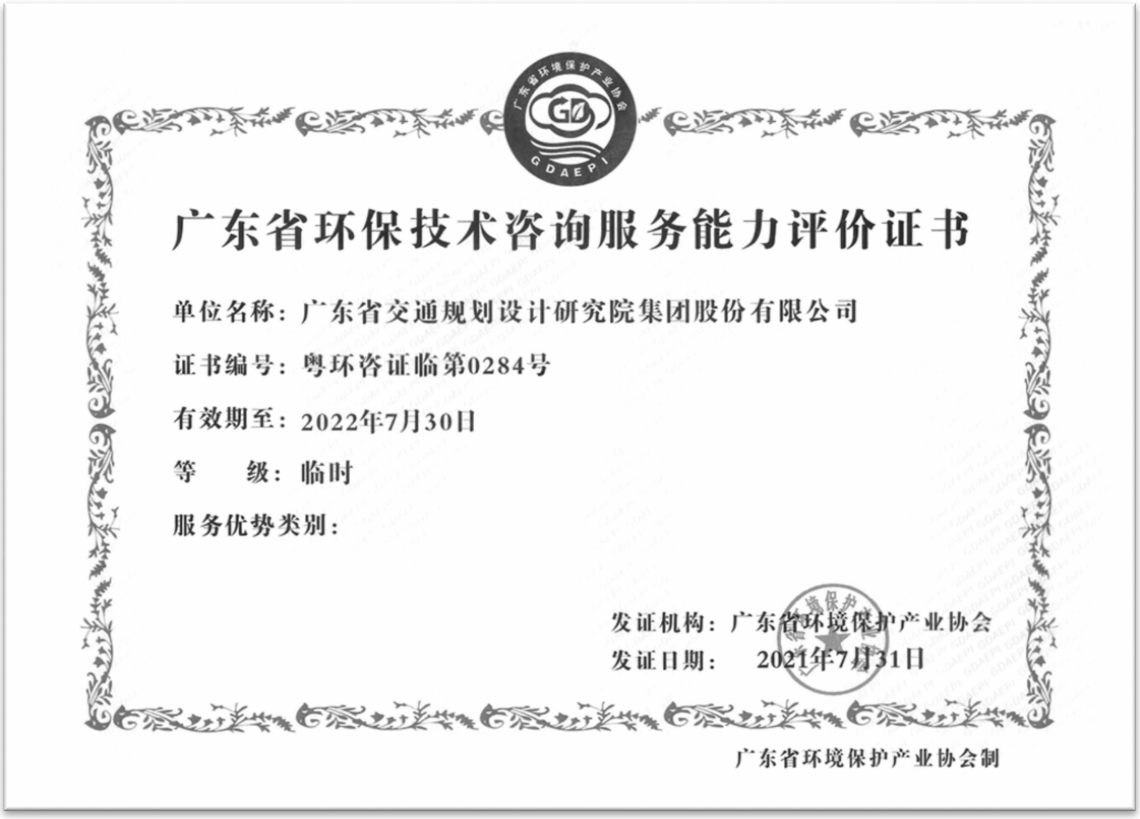
(报道者:池坤敏)

喜报——集团公司顺利取得广东省环保技术咨询服务能力评价证书

近日，集团公司顺利通过了广东省环境保护产业协会认证，取得了广东省环保技术咨询服务能力评价证书。

目前，集团公司环保咨询部已开展了多项环保咨询业务，包括城市道路和高速公路环境影响评价、交通道路噪声计算及污染防治措施评价、施工期环境监测、竣工环境保护验收、突发环境风险应急预案等。

本次顺利取得广东省环保技术咨询服务能力评价证书，对集团公司进一步开拓环保方面业务、进一步完善公司专业结构、加快多元化业务发展具有重要意义。


广东省环保技术咨询服务能力评价证书

单位名称：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

证书编号：粤环咨证临第0284号

有效期至：2022年7月30日

等　　级：临时

服务优势类别：

发证机构：广东省环境保护产业协会

发证日期：　2021年7月31日

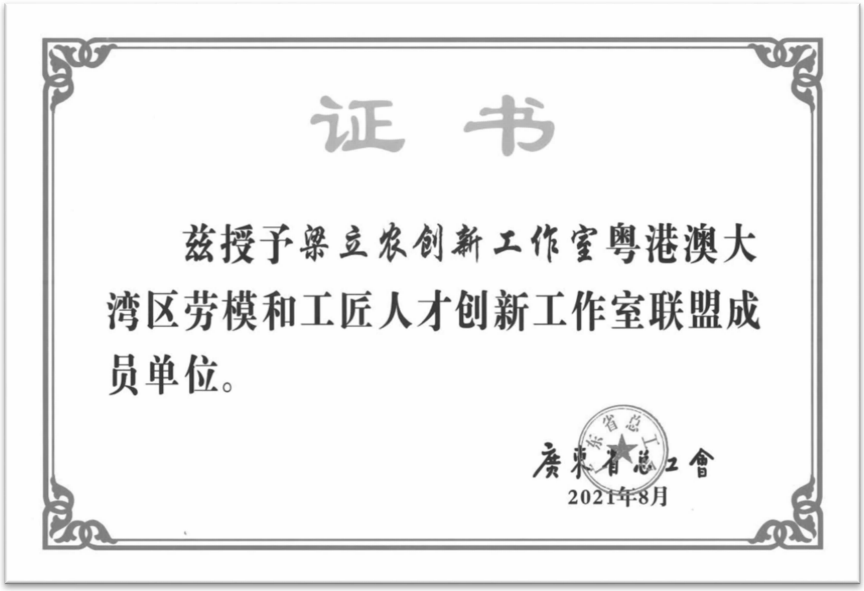
广东省环境保护产业协会制

（报道者：曾子江）

我公司梁立农创新工作室获广东省总工会授予“粤港澳大湾区劳模与工匠人才创新工作室联盟成员单位”证书

近日，我公司梁立农创新工作室获广东省总工会、香港工会联合会、澳门工会联合总会联合授予“粤港澳大湾区劳模与工匠人才创新工作室联盟成员单位”证书。

未来，公司将充分发挥劳模和工匠人才的示范引领作用，加快建设知识型、技能型、创新型的人才队伍，进一步激发职工创造潜能、提升职工技术水平，积极融入国家粤港澳大湾区发展大局，努力在“十四五”征程路上再创佳绩、再立新功。



（报道者：曹菁菁）

同心筑梦，扬帆起航
——集团公司 2021 年度新员工入职培训顺利开展

2021 年 9 月 13 日至 18 日，集团公司组织开展了 2021 年新员工入职培训工作。培训历时 6 天，共有约 200 名新员工参加培训。

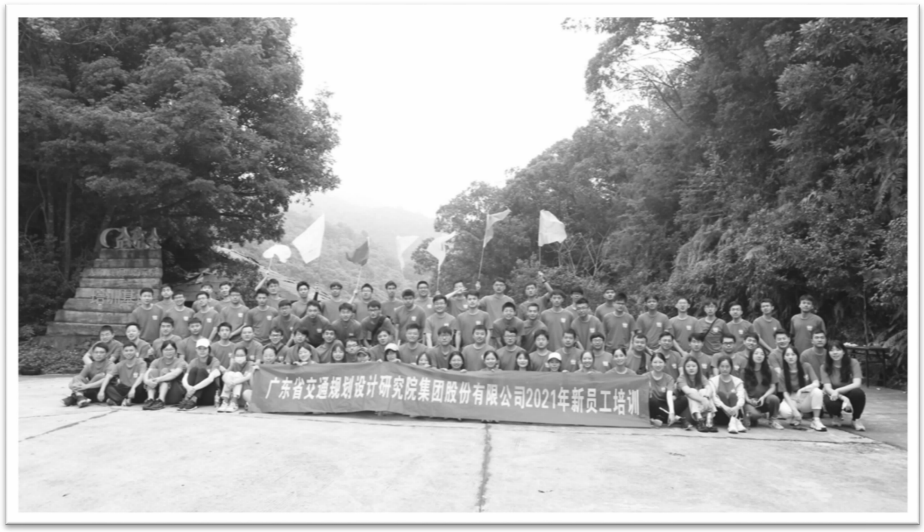
本次培训围绕“融入公司”、“打好基础”、“职业精神”、“团队共进”四个主题开展。培训首日上午，集团公司总经理黄湛军代表领导班子向新员工致辞并寄语，对新员工的到来表达了热烈的欢迎，希望新员工能够做好角色转变适应公司环境和文化，脚踏实地不断锤炼本领，勇挑重担追求卓越，成为积极进取、爱岗敬业、技术过硬的交通人才。集团公司副总经理陈贤文对新员工开展了公司企业文化与发展战略、职业素养与职业发展等知识培训，向新员工深入诠释了公司企业文化，详细介绍了公司发展战略，教导新员工以积极乐观的心态、以主人翁精神开启职业生涯，引导新员工培养良好的职业精神和职业素养，做好职业发展规划，将个人目标融入企业目标，实现公司与个人共同发展。

随后两天，先后由来自人力资源部、技术质量部、第三设计院、数字化技术研究院、后勤管理部的内部讲师对公司概况和基本制度、质量管理体系基本知识、勘察设计中的质量管控知识、工程勘察设计基础知识、企业信息化与数字化基础知识、安全生产和治安综合治理知识等 6 个专题开展了培训，全方位地向新员工介绍了工作中应知应会的基础知识，为新员工熟悉工作流程和要求打好基础。

为提高员工的安全意识，公司安排了消防教育中心教官讲授消防安全知识，并组织开展了灭火器使用、浓烟帐篷逃生、高空缓降逃生、模拟心肺复苏等实操演练，以理论结合实践，丰富了新员工的应急处理知识，提高了面对危急情况的应变能力。

为进一步提升新员工对公司业务的理解和感受，集团公司副总工程师梁志勇向新员工介绍了道路、隧道、立交精品项目，并分享了积淀多年的工程实践心得体会，引导新员工勤于思考、主动思考、关注细节，不断精进业务，告诫新员工树立“质量至上、终身负责”的质量意识和责任心。随后，公司组织新员工前往江门市新会区的广东省桥梁博物馆参观。集团公司副总工程师孙向东作了题为《桥梁史话和发展》的讲座，讲授了世界桥梁技术发展史和国内经典桥梁与技术创新，包括公司桥梁精品项目。当满载新员工的大巴在公司设计的崖门大桥上驶过，壮丽的桥梁实景使新员工感受着广东交通院设计人的匠心与开创精神，作为广东交通院一员的自豪感油然而生。

最后两天，集团公司组织新员工前往南昆山拓展基地参加户外拓展训练。面对一个又一个充满趣味性和挑战性的任务，新员工直面困难、积极探索、挑战自我，齐心协力达成任务，在这过程中深刻感受到团队的力量和神奇，感受到作为团队成员的骄傲和自豪，有效地激发了协作共进的团队精神。



本次新员工培训让新员工深入了解并体验了公司企业文化和精神，帮助新员工熟悉与工作相关的各种基础知识，促进新员工更好地融入公司，引导新员工培养良好的工作习惯和职业素养，为新员工尽快完成角色转变适应公司发展需求打好基础，进而为公司发展注入新鲜血液、增添新的动力。

祝愿各位新员工在广东交通院广阔的平台上尽情施展才华，成为中国领先的交通工程咨询企业集团的优秀答卷人。同心筑梦，谱写公司发展新篇章；扬帆起航，携手交通事业新发展！

（报道者：何明翅）

集团公司召开交通强省建设专题学习会

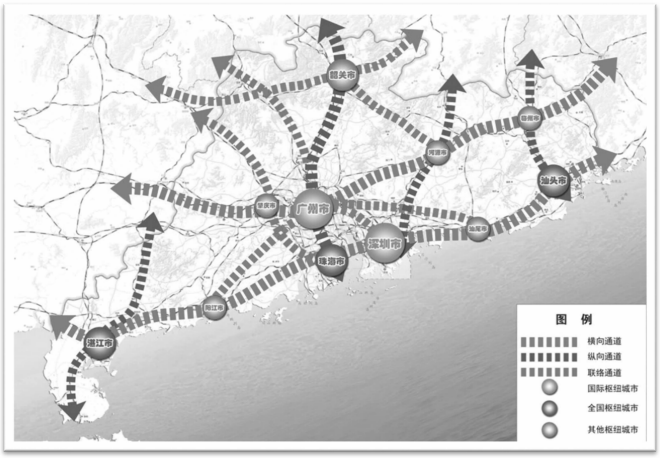
10 月 9 日下午，集团公司在 1 号楼六楼会议室召开了交通强省建设专题学习会。集团公司党委班子、经营班子全体成员参加了学习活动。

会议全面学习了习近平总书记关于交通强国建设的重要论述和对广东系列重要讲话、重要指示批示精神，以及省委、省政府在广东交通强省建设大会上的讲话精神和要求，并围绕《交通强国建设纲要》、《国家综合立体交通网规划纲要》、《广东省综合立体交通网规划纲要》及《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》进行了深入学习。

《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》按照“适度超前、先行引领，开放互联、协调发展，服务为本、经济便捷，融合共享、一体高效，改革创新、安全绿色”的基本原则，构建新发展格局，聚焦总定位总目标，紧扣“双区”建设、“双城”联动、“一核一带一区”区域发展格局等中国大战略布局，构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通运输体系，建设交通强国先行示范省。

规划要求到 2025 年，总体建成贯通全省、畅通国内、连接世界的现代综合交通运输体系，交通运输高质量发展继续走在全国前列，实现“网络更加通畅开放、服务更加便捷优质、运行更加智能高效、发展更加绿色安全”；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。

接下来，集团公司将继续统筹安排专题学习会，邀请行业专家对相关文件进行深度讲解，组织广大员工开展深入学习。公司党委班子、经营班子将继续深入贯彻党中央和国家“交通强国”、广东省“交通强省”相关精神和文件要求，继续践行“创造精品，服务社会”的企业使命，秉承“至诚至善，求实创新”的核心价值观，紧贴时代脉搏，积极融入交通强国、交通强省各项建设事业，与时俱进、不断开拓创新，促进行业进步，为交通建设事业积极贡献智慧和力量。



（报道者：曹菁菁）

浅析存量土地释放的互通立交改造方案

邝清娴
（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：土地是人类赖以生存的物质基础，是一种不可再生的资源。本文依托广深高速公路新塘立交改造项目，阐述了立交改造方案的研究过程；方案除需满足常规公路互通立交的交通功能外，还需兼顾开发项目的需要；同时对方案主要从释放土地面积、是否产生新增用地、满足景观要求、适应地块后期开发需要等因素进行比选。

关键词：释放存量土地；综合开发；立交改造

1　引言

土地是城市经济活动的主要载体，国务院关于促进节约集约用地方面提出明确要求："通过规模引导、布局优化、标准控制、市场配置、盘活利用等手段，达到节约土地、减量用地、提升用地强度、促进低效废弃地再利用、优化土地利用结构和布局、提高土地利用效率，提升土地资源对经济社会发展的承载能力，促进生态文明建设。"第一段讲国务院文件，第二段讲落实广东省委省政府精神，两者不对等。建议在第一段增加省委省政府的精神，或改为省委省政府精神。

根据省委、省政府关于深入推动土地供给侧结构性改革的相关文件要求，坚决打破依靠新增建设用地的外延式发展模式，挖掘存量建设用地的潜力，走集约节约的内涵挖潜式发展道路。为贯彻落实广东省委、省政府关于挖掘存量资源、发挥交通集团高速公路投资建设平台作用的精神，确保广东省高速公路可持续经营发展，省交通集团主动实施多元化经营转型升级战略，其中一项措施即为结合地方规划和交通出行、盘活利用存量土地综合开发。

本文以广深高速新塘立交改造项目为例，从土地集约和交通功能优化平衡的角度，阐述立交改造方案的研究过程。

2　现状立交特点

新塘立交作为广深高速公路的代表性互通立交，其立交形式是广深高速公路的一大特色，具有交通组织复杂，占地面积大、土地利用率不高等特点，具备通过改造释放存量土地的条件。

特点一：交通组织较为复杂，由于设计中对远期立交的综合服务功能考虑较多，导致上、下行车辆均需围绕大半径环形匝道进行长距离的绕行，尤其高速公路入口较多且不明确，对不熟悉路况的驾驶员产生很多不便。对周边路网的影响？

特点二：采用服务型互通在功能上不仅完全可以控制车辆出入，兼具了高速公路服务区功能，同时还可以服务于当地居民，具有很强的综合性，虽然占地较多，但功能较为齐备。遗憾的是由于种种原因，服务功能最终未能实现，导致现状的大部分土地出现闲置。

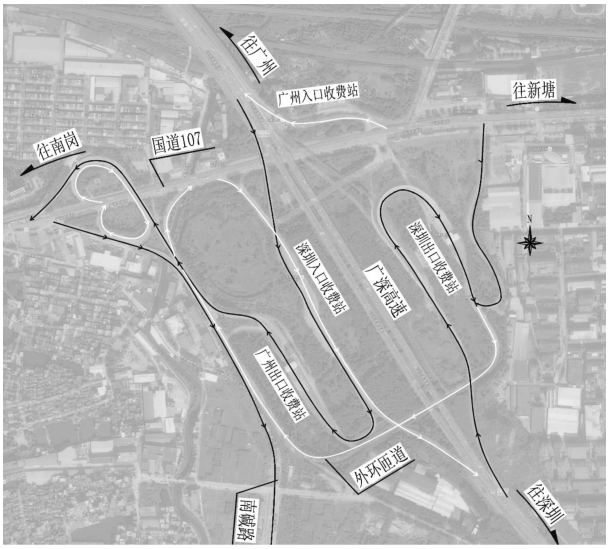


图 1　新塘立交平面示意图（现状）

特点三：随着区域城市发展，此类型的互通已对当地的城市规划及路网规划产生了较大影响，地方路网的交通组织大量利用了互通立交的外环匝道，外环匝道现已不仅仅是互通立交的一部分，更是区域路网的重要组成部分。

3　改造基本原则

3.1　满足远期交通量增长需要

广深高速公路是国内交通最繁忙的高速公路之一，同时也是华南地区最为重要的高速公路之一，其交通量增长率近年来也保持了很高的水平，满足其远期交通量的要求、保障其运营期间的服务水平是方案研究的基本原则。

3.2　改善交通环境，提高出行效率

由于原有高速立交匝道设计偏于复杂，导致周边出行车辆出入高速绕行，造成出行效率低下及经常拥堵的问题。设计应以改善立交周边交通状况，提高周边出行交通效率为原则，同时也为土地盘活开发后的项目提供出行便利。

3.3　保证施工期间主线和地方道路畅通

广深高速公路是广州—东莞—深圳—香港经济带的生命线，交通流量非常大，沿线地方交通也十分繁忙，保证施工期间道路的畅通是关系工程成败的重中之重，也是影响其可行性的判别标准之一。

3.4　尽可能的释放存量土地

本项目为土地综合利用开发项目，立交方案的提出应在保证满足相关技术指标的前提下，尽可能的释放地块面积，提高土地利用效益。

3.5　尽量利用既有条件，避免产生新增用地

广深高速公路处于发达的经济带中，广州—东莞—深圳一线已建成稠密的城市群，土地资源十分稀缺，征拆难度巨大，因此，地块范围外改造部分，应坚持尽量利用既有条件，最大限度的避免增加占地和拆迁，减少工程扩建给地方和企业带来的损失，合理控制投资规模。

3.6　注重景观设计，提升项目整体品质

由于新塘立交区域日后土地开发的需要，降低公路对周边环境的影响显得尤为重要。因此，设计中应充分考虑项目区景观效果，提升周边环境，同时为周边居民提供娱乐、休闲生活场所。

4　立交改造方案

4.1　交通量预测结果

根据远景年（2043 年）交通量预测结果，本互通立交新塘往返广州方向为主交通流方向，最大转向交通量为 25 430 pcu/d；新塘往返深圳方向转向交通量最小，为 10 307 pcu/d。

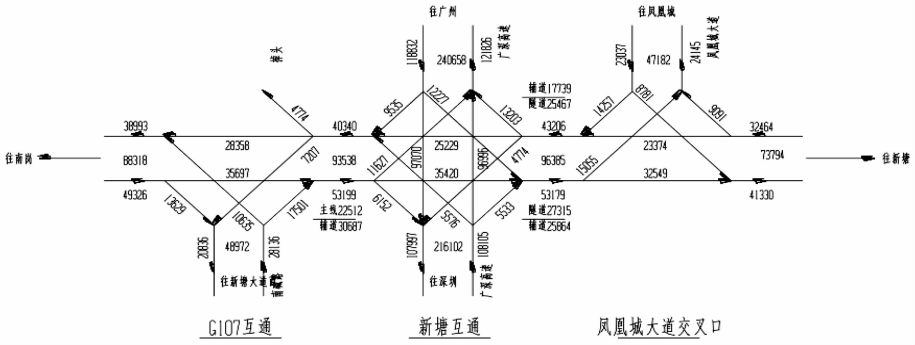


图 2　立交交通流量图（单位：折算小客车 辆/天）

4.2　立交改造方案

设计以改善立交周边交通状况，提高周边出行交通效率为原则，以减少现状绕行距离为目标，结合项目特点和改造原则提出 3 个改造方案，下文将对各方案进行简述及比较：

立交方案的提出首先时改善交通功能。

方案一为结合土地综合利用开发项目的需要，考虑地铁 13 号线临近项目的东南角，为便利以后开发项目与现有城市公共交通的联系，同时使开发项目建成后与既有的东南角和东北角片

区相互联系、沟通，提出将立交整体靠近国道 G107 设置。

该方案立交形式采用 Y 型，收费站集中设置，以解决现有互通存在绕行距离远、高速公路入口较多且不明确，收费站分散设置等问题。同时为了解决高速公路车流进入国道 G107（南岗方向），需通过现有国道 G107 中分带开口掉头的不便，方案三在国道 G107 上增设掉头匝道，直接与高速公路出口车流衔接，以缓解国道 G107 的地面交通压力。

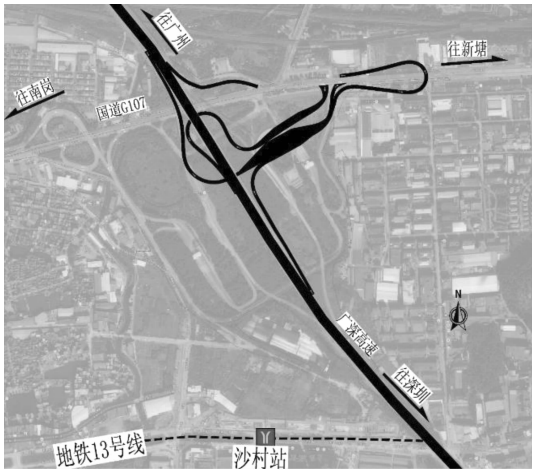


图 3　方案一平面示意图

考虑方案一对国道上既有喇叭立交利用率较低，提出方案二，将立交整体布设于地块的西南角，与广深高速连接采用为 Y 型，与南碱路连接采用喇叭形式，收费广场采用集中设置。

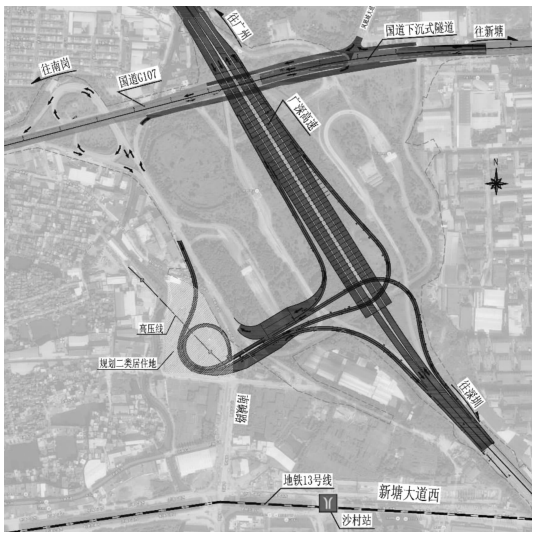


图 4　方案二平面示意图

由于现状立交形式以运营多年，交通流行驶已成为习惯，提出尽量维持互通匝道布置格局不变，以免对地方交通组织形式产生重大影响的方案三。

方案三立交形式采用变异菱形，联合国道上的喇叭立交实现广深高速与国道交通流的转换，收费广场维持分散布置的形式，匝道布设尽量靠近主线，将剩余土地进行释放。

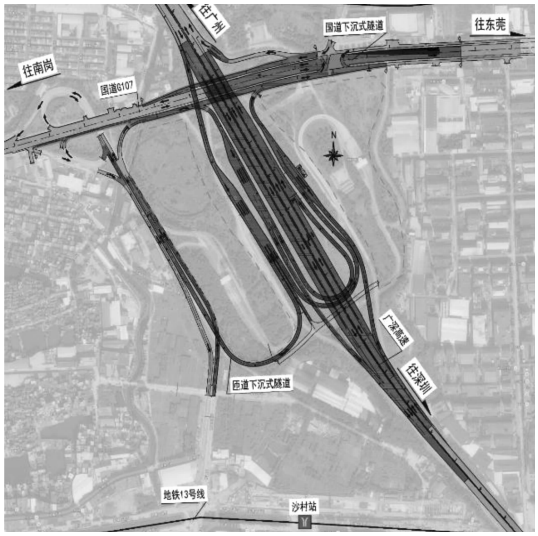


图 5　方案三平面示意图

4.3　立交方案比选

结合改造原则，立交改造方案以改善交通环境为首要原则，比选主要从释放土地面积、是否产生新增用地、满足景观要求适应地块后期开发需要等因素进行。下面就比选因素对各方案比选情况进行简述：

4.3.1　立交形式

方案一、方案二采用 Y 型及 Y 型 + 喇叭形式，均具有交通组织简单，出入口明确等优点。但根据预测交通流结果，本互通转向交通流达到 5.8 万辆，方案一高速公路出入口均集中在国道上一个位置，采用平交口形式与交通量不匹配，且对国道交通流影响较大；方案二充分利用了国道上的喇叭立交，但转向交通流均通过现状南碱路及国道上的喇叭立交进行转换，不进行改造前提下，较难适应此大交通流的转换，

多方向交通流发生交织，对地方道路影响较大；方案三虽然立交形式为菱形，但通过分散出入口的形式，能有效地避免交通流集中，从而提高通行能力。

4.3.2　收费广场设置

方案一、方案二均采用集中收费模式，有利于后期运营统一管理，但方案二收费广场设置空间受限，距离较短，存在个别方向交通流交织较严重，交通组织复杂的缺点。方案三采用分散设置，虽然对管理会带来一定的不便，但对收费广场的压力较小。

4.3.3　地方道路的影响

三个方案均在国道 107 上设置了直行的下沉式隧道，有效地分离国道直行与转向交通流，对国道 107 改善情况显著。方案二通过南碱路及既有喇叭立交实现交通流转换，对国道及辅道的改善最具优势；方案一高速公路出入口交通流均通过西往东一侧辅道实现，辅道通行能力受到一定的制约；方案三高速公路出入口分散设置，虽然辅道上交织情况仍然存在，但整体通行能力较高。

4.3.4　对地块的影响

方案一立交整体靠近国道布设，对释放的地块与周边片区连接较为有利；方案二将释放的地块与靠近新塘大道片区分割，不利于地块与现有城市公共交通的联系，且与区域规划路网冲突，对项目整体品质影响较大；方案三通过设置匝道下沉式隧道，有效地保证了地块与周边区域的联系，且与周边规划及地方路网联系较为顺畅，有利于地块的开发。

4.3.5　景观的影响

本项目为土地综合开发项目，交通改造后噪声对地块的影响非常重要，同时需考虑改善周边区域环境的因素，若采用全封闭的隔音形式，方案一与方案二均较难实现，工程规模较大，景观设计方案影响较大，对改善周边环境不明显；方案三由于每条匝道相对独立，有利于采用全封闭的隔音措施的结构柱网布设，对上盖后打造为城市公共绿地的目的提供有利条件。

4.3.6　征拆情况

方案一与方案二均存在新增用地情况，征拆数量较大，尤其是方案二占用了规划的二类居住地，地方表示该区域征拆协调难度巨大，可实施的可能性较低；从项目整体角度出发存在新增用地较难解决，征拆协调难度大，实施工期不可控等问题，与本项目改造原则不符。方案三均在既有红线范围内布设匝道，项目实施的协调难度和工期控制等均为可控。

表 1　方案综合比选表

序号	对比因素	方案一	方案二	方案三
1	释放土地（亩）	401	430	307.8
2	新增用地（亩）	20	46.0	0
3	项目整体开发优势	地块释放较零散	释放地块与西南片区分割	地块完整，利于周边片区连接
4	地方意见	反对，涉及征地拆迁	反对，占用规划用地	同意

综上所述，从交通功能最优角度，方案二具有较为明显的优势，且释放土地面积最大，但存在新增用地及分隔地块与新塘大道片区分割的问题，不利于土地的整体开发和周边区域环境的改善；方案一虽然释放用地面积适中，且有利于地块与周边片区的连接，但存在交通改善不明显，需新增用地及拆迁数量较大等缺点；方案三虽然释放面积最小，但较好地适应了本项目的设计原则和地块开发的需要，因此，本项目采用方案三为立交改造方案。

5　结语

新塘立交项目作为高速公路沿线土地综合开发的首个示范性项目，探索盘活存量土地新模式，参与粤港澳大湾区的建设，符合节约集约用地以及向存量建设用地要增量、要空间、要效益的要求。通过改造新塘立交现有匝道，腾挪释放立交范围内存量土地资源，释放了土地潜在的经济价值，可以实现土地资源开发价值的最大化。

然而土地集约利用不能一味寻求土地释放的最大化，也不能仅仅追求交通功能最优，改造方案的确定除需满足常规公路互通立交的交通功能外，还需兼顾开发项目的需要，交通改造与土地开发相辅相成，交叉节点繁多且复杂，需要在布局合理、满足土地使用功能条件下，通过地下、地面及高架空间的联系进行复合空间利用，使土地利用的效率和综合效益不断提高，最终达到最优利益组合，从而确定最终的改造方案。

参考文献：

[1] JTG B01 - 2014，公路工程技术标准. 北京：人民交通出版社，2014

[2] JTG D20 - 2017，公路路线设计规范. 北京：人民交通出版社，2017

[3] JTG/T D21 - 2014，公路立体交叉设计细则. 北京：人民交通出版社，2014

[4] 广深高速公路新塘立交改造工程设计成果. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司.

[5]《增城区土地利用总体规划（2010 - 2020 年）调整完善方案》

[6] 增城区新塘立交地块（GB040103、GB04 - 2 - 03 规划管理单元）控制性详细规划修改论证报告. 广州市城市规划勘测设计研究院.

[7] 新塘立交地块综合开发项目交通影响评估. 广州市交通规划研究院.

基于广东省实际汽车荷载的钢板组合梁桥设计分析*

谭巨良
（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：以云茂高速公路 40m 跨结构连续钢板组合梁桥为背景，基于广东省实际汽车荷载对钢板组合梁桥的设计进行了分析。广东省内公路交通的特点是交通量大且重载车辆比例较大，经对省内多条高速公路交通数据统计和概率模型分析，计算出极端堵车状态下车道荷载为规范的 1.843 倍，得出了广东省实际汽车荷载作用下的承载力极限状态验算公式。根据实际汽车荷载设计的钢板组合梁，承载力安全系数应与省厅通用图 40mT 梁在规范荷载作用下的安全系数接近，对比按规范荷载设计的钢板组合梁，结构用钢量增加 9%，安全系数由 0.98 增加到 1.18。

关键词：钢板组合梁桥；实际汽车荷载；设计；用钢量

0　引言

我国钢板组合梁桥结构已有较多研究[1,2]，但应用尚处于起步阶段，国内未有统一标准图，广东省内已有混凝土结构的标准图，尚未有钢结构、组合结构标准图。为了响应 2016 年 7 月交通运输部发布的《交通运输部关于推进公路钢结构桥梁的指导意见》以及研究钢板组合梁桥在广东省内的应用，云浮罗定至茂名信宜（粤桂界）高速公路在省内首次试点了少主梁非支撑横梁体系钢板组合梁桥，选定试点为高台大桥、老屋村大桥，于 2017 年完成设计。广东省内公路交通的特点是交通量大且重载车辆比例较大，为保证试点工程的可靠性，应结合实际汽车荷载进行设计。

1　概况

云茂高速钢板组合梁桥采用少主梁非支撑横梁体系，桥宽 12.5m，3 × 40m、4 × 40m 一联。钢主梁 2.2m 高，为双工字钢板，两桥分别采用顶推施工和架桥机逐跨安装。混凝土桥面板采用分块预制施工，设置横向预应力。钢板组合梁桥横断面图见图 1。

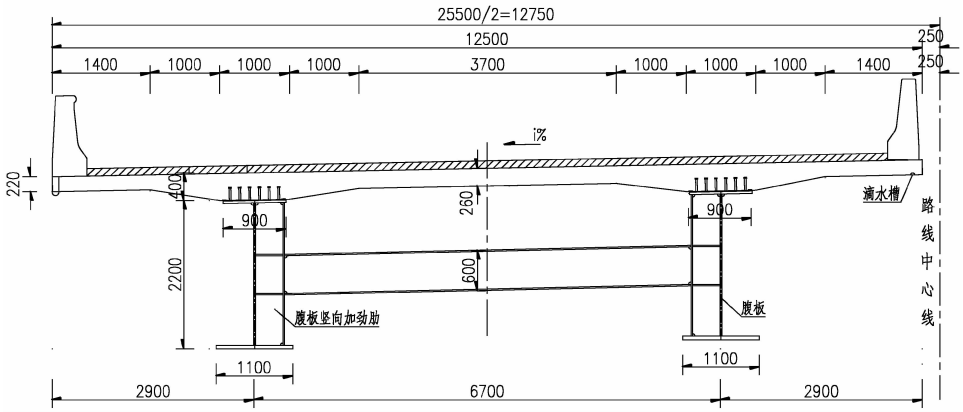


图 1　钢板组合梁桥横断面图

2　广东省实际汽车荷载

2016 ~ 2017 年，广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司针对省内高速公路交通荷载特性进行了调查和分析。尽可能多地收集了省内高速公路交通量及重载交通比例较大的典型路段，利用高速公路计重收费数据和 WIM 数据，对运营的交通荷载进行调查，并进行相应的统计

* 本文已在《交通世界》发表。

分析，得到包括车流中的车型组成、汽车荷载特征以及车辆超载状况[3,4]。根据实际交通荷载特性，建立基于随机车流模拟的汽车荷载模型进行研究，得出了广东省实际汽车荷载作用下的承载力极限状态验算公式，与目前我国规范的形式基本一致。

2.1　省内高速公路交通数据统计

对佛开、广惠、云梧、广珠东、广深、虎门大桥、广乐和深汕西高速的交通数据进行统计，各测点车辆超载情况见表 1，各种超载车辆统计特征见表 2。

表 1　各测点车辆超载情况

序号	测点	超载车比例/(%)					平均超载率/(%)				
		二轴	三轴	四轴	五轴	六轴	二轴	三轴	四轴	五轴	六轴
1	佛开谢边	14.9	9.8	38	30.6	37.3	29.8	33	20.6	17.6	27.1
2	佛开九江	22	46.5	54.3	36.2	44.3	48	44.5	48.3	66.4	63.1
3	佛开北江	4.2	6.7	8.4	19.8	14.1	17.2	17.7	14.8	20.3	17.3
4	广惠高速	2.2	11.8	25.4	20.4	24.8	29.9	27.9	26.5	23.7	29.4
5	云梧高速	1.3	5	15.8	16.4	18.7	16.1	12.9	12.8	15.9	13.3
6	广珠东线	0.6	4.8	3	5.1	11.6	14.3	20	14.2	15.7	14.8
7	广深线	0.7	2.8	6.3	2.6	12.6	13.1	12.5	12.8	12.3	12.5
8	虎门大桥	0.3	1.1	0.4	0.6	2.4	8.3	7	10	9.7	10.8
9	广乐高速	1	12	31.1	22.3	26.9	15.8	25.9	18.9	20	12.5
10	深汕西	1.1	8.9	20.3	11.7	23.4	16.2	15.2	16.7	10	11.2

表 2　各种超载车辆统计特征

车型	超载车比例/(%)	最大值/t	最大超载率/(%)	平均超载率/(%)
二轴	1.5	66.4	232	24.46
三轴	9.03	94.57	215.23	25.39
四轴	15.92	139.77	249.43	21.91
五轴	10.58	175.31	250.62	20.72
六轴	20.7	195.1	254.73	21.4

注：超载比例是指超载车数量的占比，超载率指单辆车重比治超标准重超出的比例。

2.2　实际汽车荷载

根据实际统计的交通数据和随机车流模拟的汽车荷载模型研究的结果，按基准期最大值分布的95%分位值取标准值，得到实际汽车荷载，车道荷载取值见表 3，车辆荷载取值见表 4。

表 3　车道荷载取值

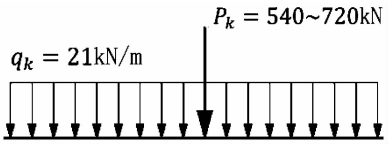
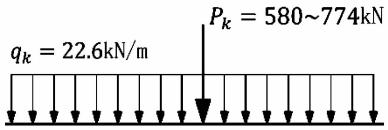
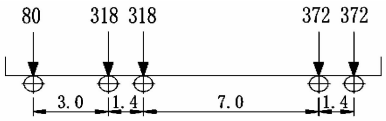
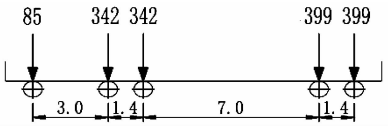
汽车运行状态	汽车荷载取值	
正常通行状态		$L_0 \leqslant 5\text{m}, P_k = 540\text{kN}$ $5\text{m} < L_0 < 50\text{m}, P_k = (4L_0 + 520)\text{kN}$ $L_0 \geqslant 50\text{m}, P_k = 720\text{kN}$
极端拥堵状态		$L_0 \leqslant 5\text{m}, P_k = 580\text{kN}$ $5\text{m} < L_0 < 50\text{m}, P_k = (4.3L_0 + 559)\text{kN}$ $L_0 \geqslant 50\text{m}, P_k = 774\text{kN}$

表 4　车辆荷载取值

车型	汽车运行状态	图示(轴重/kN 轴距/m)	等效车重/kN
规范 55t 标准车	正常通行状态		1 460
	极端拥堵状态		1 567

实际汽车荷载标准值 S_{QK} 与 15 规范的公路—*I* 级汽车荷载标准值 $S_{QK,1}$ 有以下关系：

$$S_{QK} = \zeta_m S_{QK,1} \tag{1}$$

式中：ζ_m 为汽车荷载标准值换算系数，见表 5。

表 5　汽车荷载标准值换算系数 ζ_m

汽车运行状态	车道荷载	车辆荷载
正常通行状态	2	2.65
极端拥堵状态	2.15	2.85

横向车道折减系数见表 6。

表 6　横向车道折减系数

车道数	1	2	3
横向车道折减系数	1	0.7	0.55

2.3　承载力极限状态下实际汽车荷载分项系数

根据《公路工程结构可靠性设计统一标准》，可靠指标 β 与目标可靠指标 β_T 最接近时，确定汽车荷载分项系数 γ_{QE}，其中 β 是 γ_{QE} 的函数。即求以下公式 H 值最小时对应的 γ_{QE}。

$$H = (\beta - \beta_T)^2 \tag{2}$$

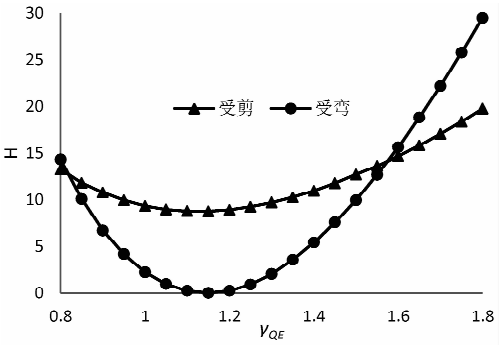


图 2　正常通行状态 H 与 γ_{QE} 的关系

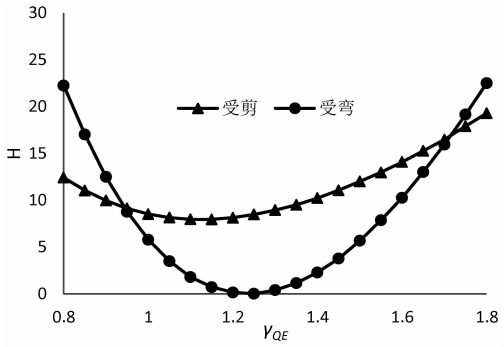


图 3　极端堵车状态 H 与 γ_{QE} 的关系

正常通行状态 H 与 γ_{QE} 的关系见图 2，极端堵车状态 H 与 γ_{QE} 的关系见图 3。对于两种汽车通行状态，使得 H 值最小的活载分项系数 γ_{QE} 偏安全地取值为 1.2，该分项系数适用于车辆荷载和车道荷载。

2.4　换算为现行规范的荷载修正系数

为了与现行设计规范中规定的设计表达式中的汽车荷载效应标准值和分项系数取值相统一，通过引入汽车荷载修正系数 ζ_q，以综合反映实际汽车荷载与规范汽车荷载之间的差异。如下式所示：

$$\gamma_Q \zeta_q S_{QK,1} = \gamma_{QE} S_{QK} \tag{3}$$

式中：γ_Q—现行设计规范中汽车荷载的分项系数，车道荷载取值 1.4，车辆荷载取值 1.8；

γ_{QE}—承载力极限状态下实际汽车荷载分项系数，根据 2.3 节取值 1.2；

S_{QK}—实际汽车标准值；

$S_{QK,1}$—15 规范的公路—*I* 级汽车荷载标准值。

结合公式(1)和(3)，得出：

$$\zeta_q = \gamma_{QE} \zeta_m / \gamma_Q \tag{4}$$

汽车荷载修正系数 ζ_q 的取值见表 7。

表 7　汽车荷载修正系数 ζ_q

汽车运行状态	车道荷载	车辆荷载	平均值
正常通行状态	1.714	1.767	1.74
极端拥堵状态	1.843	1.900	1.87

2.5　承载力极限状态验算公式

其余未规定的承载力极限状态相关参数如冲击力、离心力等与现行规范 JTGD60－2015 一致。广东省实际汽车荷载作用下的承载力极限状态验算公式与 JTGD60－2015 形式基本一致。如下式所示：

$$R \geqslant \gamma_0\left(\sum_{i=1}^{m}\gamma_{Gi}G_{ik}+\gamma_{Q1}\zeta_q Q_{1k}+\psi_c\sum_{j=2}^{n}\gamma_{Lj}Q_{jk}\right) \quad (5)$$

式中：γ_{Q1}—汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）的分项系数，车道荷载下取 $\gamma_{Q1}=1.40$；车辆荷载下 $\gamma_{Q1}=1.80$；

Q_{1k}—汽车荷载效应（含汽车冲击力、离心力）标准值，按现行规范 JTGD60－2015 中的公路—I 级车道荷载或车辆荷载进行计算；

ζ_q—汽车荷载效应修正系数，车道荷载下正态通行状态取 $\zeta_q=1.714$，极端堵车状态取 $\zeta_q=1.843$；车辆荷载下正态通行状态取 $\zeta_q=1.767$，极端堵车状态取 $\zeta_q=1.9$；

其余参数定义与 JTGD60－2015 中一致。

3　计算分析

采用 Ansys 建立精细钢板组合梁桥模型，进行有限元分析。钢结构采用 shell63 单元，混凝土采用 solid45 单元，钢混用共节点连接；用 link8 单元温度收缩模拟横桥向预应力；承载力极限状态下认为墩顶桥面板混凝土退出工作只保留钢筋的作用，采用墩顶桥面板混凝土刚度折减的方法模拟。汽车荷载取极端堵车状态下车道荷载。钢板组合梁桥有限元模型图见图 5。

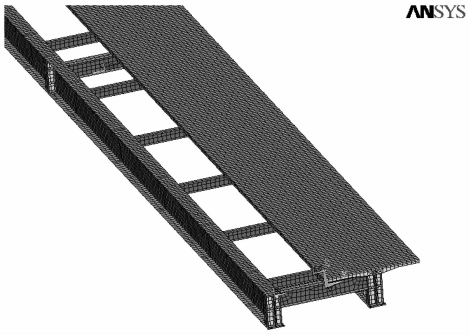


图 5　钢板组合梁桥有限元模型图

计算 40m 跨结构连续钢板组合梁桥承载力时，安全系数应与《广东省高速公路工程设计标准化桥涵通用图》中 40m 跨结构连续 T 梁的相当。按 15 规范计算的 40m 跨结构连续 T 梁承载力极限状态安全系数见表 8，安全系数约 1.1～1.2。

表 8　40m 跨结构连续 T 梁承载力极限状态安全系数

位置	跨中最大弯矩/(kN·m)	跨中抗弯承载力/(kN·m)	安全系数
边梁	15 924	17 699	1.11
中梁	14 521	17 912	1.23

根据计算，按实际汽车荷载组合设计的 40m 跨结构连续钢板组合梁桥边跨和中跨板厚布置见表 9。

表 9　40m 跨结构连续钢板组合梁桥板厚布置表

位置	边跨				中跨			
梁段编号	A（梁端段）	E	B	D(墩顶段)	B	C	B	D1/2(墩顶段)
梁段长度/m	8.95	16	10	10	10	10	10	5
钢梁上翼缘厚/mm	20	28	28	50	28	28	28	32
钢梁腹板厚度/mm	24	20	20	28	20	20	20	28
钢梁下翼缘厚/mm	36	46	36	60	36	28	36	44

按规范汽车荷载与实际汽车荷载设计的钢板组合梁桥最大应力和安全系数对比表见表 10。按规范汽车荷载设计的钢板组合梁桥在实际汽车荷载组合作用下接近了规范允许值，按实际汽车荷载设计的钢板组合梁桥用钢量增加 16kg/m^2。

表 10　按规范汽车荷载与实际汽车荷载设计钢板组合梁桥对比表

项目	按规范汽车荷载设计			按实际汽车荷载设计		
	最大应力/MPa	允许应力/MPa	安全系数	最大应力/MPa	允许应力/MPa	安全系数
规范汽车荷载组合	211	260	1.23	180	260	1.44
实际汽车荷载组合	265	260	0.98	220	260	1.18
用钢量/(kg/m^2)		176			192	

鉴于目前我国钢材价格较高，混凝土价格及人工成本相对较低，通常情况下钢板组合梁桥难有经济优势。若仅考虑初期投资的情况下，组合梁桥上部结构重量较轻，下部结构可做一定优化降低造价，特别是地震烈度高的情况。墩高较高的情况，控制桥墩受力的可能是风荷载，较轻的上部结构不能减少桥墩尺寸，但也需结合地震综合考虑。墩高较矮的情况，桩基的造价占比更大，而钢板组合梁桥更轻能减少较多桩长。由于全寿命周期成本的评价体系目前并不完善，在不同的评价准则条件下，钢板组合梁桥的经济优势也不尽相同。钢板组合梁与 40mT 梁对比表见表 11。

表 11　钢板组合梁与 40mT 梁对比表

项目	T 梁	组合梁	
	按规范荷载设计	按规范荷载设计	按实际荷载设计
单跨恒载平均重量/kN	10 409	6 894	6 963
活载占基本组合内力的比例(边跨跨中)(%)	32	41	58
活载挠度/mm	14.3	17.2	29.5
造价对比/(元/m^2)	1 850	3 000	3 200

4　结语

本文以云茂高速公路 40m 跨结构连续钢板组合梁桥为背景，基于广东省实际汽车荷载对钢板组合梁桥的设计进行分析。得出以下结论：

(1)极端拥堵状态下车道荷载标准值为规范荷载的 2.15 倍(正常通行状态、车辆荷载的情况不再赘述，详见正文)，承载力极限状态下汽车荷载分项系数为 1.2。1 到 3 车道的横向车道折减系数分别为 1、0.7、0.55。

(2)换算成规范承载力极限状态验算公式，汽车荷载分项系数为 1.4 时，汽车荷载效应修正系数取值为 1.843。

(3)根据实际汽车荷载设计的钢板组合梁，承载力安全系数应与省厅通用图 40mT 梁在规范荷载作用下的安全系数接近，对比按规范荷载设计钢板组合梁，结构用钢量增加 9%，达到 192kg/m^2，安全系数由 0.98 增加到 1.18。

(4)40m 跨钢板组合梁上部结构造价比 T 梁要高；组合梁上部结构重量较轻，在地震烈度高或桩基造价占比较大的情况，有利于优化下部结构，降低造价。

本文得出的实际汽车荷载暂适用于承载力极限状态验算，对于正常使用极限状态建议进一步研究。

参考文献：

[1] 聂建国，陶慕轩，吴丽丽，聂鑫，李法雄，雷飞龙. 钢－混凝土组合结构桥梁研究新进展[J]. 土木工程学报，2012，45(06)：110－122.

[2] 聂建国，刘明，叶列平编著. 钢－混凝土组合结构[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2005.

[3] 周军勇，石雪飞. 考虑车道荷载差异的多车道桥梁横向折减系数[J]. 中国公路学报，2020，33(05)：101－109.

[4] 杨琪，黄建跃，阮欣，石雪飞. 基于 WIM 数据的桥梁实际汽车荷载效应的研究[J]. 公路工程，2010，35(04)：15－18.

复合地基黏性土路堤土拱效应分析

刘吉福[1],郑　刚[2],余　列[3]

(1. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广州 510507;
2. 天津大学建筑工程学院,天津 300072; 3. 东莞理工学院生态环境与建筑工程学院,广东东莞 523015)

摘　要:路堤下复合地基顶面桩土应力比对路堤沉降计算、稳定分析均非常重要。现行规范中桩土应力比计算公式只适用于无黏性土路堤。工程实践中对桩帽复合地基与桩梁复合地基的选择也常发生争议。对桩帽复合地基、桩梁复合地基分别推导了适用于黏性土路堤的桩土应力比计算公式。分析表明,桩帽和连梁面积相同时,设置桩帽的路堤桩土应力比、桩荷载率均大于设置连梁的路堤桩土应力比、桩荷载率。对于拱脚、拱顶均为无黏性土的桩帽复合地基路堤,路堤高度小时拱顶屈服,路堤高度大时拱脚屈服。拱顶屈服时,桩土应力比随路堤高度增大而增大;拱脚屈服时,桩土应力比不再随路堤高度增大而变化。对拱脚为无黏性土、拱顶为黏性土的桩帽复合地基路堤,路堤高度小时土拱不屈服。路堤高度较大时,拱脚屈服;路堤高度继续增大时拱顶屈服。土拱不屈服或拱脚屈服时,桩土应力比随路堤高度增大而增大;拱顶屈服时,桩土应力比随路堤高度增大而减小。对拱脚、拱顶均为黏性土的桩帽复合地基路堤,路堤高度小时土拱不屈服,路堤高度大时拱脚屈服。土拱不屈服时,桩土应力比随路堤高度增大而增大;拱顶屈服时,桩土应力比随路堤高度增大而减小。路堤高度小时,黏性土路堤的桩土应力比大于无黏性土路堤的桩土应力比;路堤高度大时,黏性土路堤的桩土应力比小于无黏性土路堤的桩土应力比。

关键词: 黏性土;路堤;复合地基;桩帽;连梁;垫层;土拱

0　引言

我国沿海地区城镇化程度高、河网密布,导致路堤普遍较高;另一方面,对道路的建设工期、质量要求不断提高。上述两方面的因素导致越来越多的软基路堤采用复合地基。随着砂石料价格快速上涨,除复合地基褥垫层可能采用砂石料等无黏性土外,路堤其余部分基本上均填筑黏性土,部分路基甚至取消了褥垫层。路堤下复合地基桩间土的沉降大于桩顶沉降,导致桩(帽)顶面以上的路堤中形成土拱。土拱效应分析对刚性桩复合地基沉降计算、稳定分析等均非常重要[1-4]。目前对土拱效应的研究常用方法有模型试验、现场测试、数值分析、理论分析[5-13]等。BS8006 - 2010 采用计算涵洞应力的 Marston 公式和 HEWLETT 公式[14]。我国公路规范采用陈云敏公式[15]。Marston 公式计算的桩土应力比、桩荷载率与填料性质无关,路堤高度较大时桩土应力比、桩荷载率偏小[14]。HEWLETT、陈云敏、强小俊等对土拱效应进行理论分析时均假设土拱为球形[5-7]。HEWLETT、陈云敏假设拱顶、拱脚均为无黏性土[5,6]。HEWLETT 分别计算拱顶、拱脚屈服对应的桩帽荷载率并取其中的小者[5]。陈云敏认为路堤较低时拱脚、拱顶都未进入极限状态,按极限状态得出的桩顶与桩间土压力的合力大于路堤重力;当路堤较高时由极限状态算出的桩顶与桩间土压力的合力小于路堤重力;只有当路堤高度为某一特定值时才能满足路堤平衡条件。因此假设拱顶、拱脚屈服程度相同,对被动土压力系数乘以不大于 1 的屈服系数,通过试算计算桩帽荷载率和桩土应力比[6],拱脚屈服前计算的桩土应力比小于 HEWLETT 计算结果。强小俊采用文献[6]的思路推导了黏性土路堤的土拱效应公式[7],需要试算计算桩土应力比,且路堤高度较小时计算的桩间荷载集度、桩土应力比为负值,明显不合理。

工程实践中,刚性桩复合地基通常采用桩帽复合地基,也有桩梁复合地基更有利的观点,导致工程造价增大。

基金项目:国家自然科学基金资项目(51078263)。

为使土拱效应分析更加符合工程实际情况,推导了可以考虑填料黏聚力的土拱效应公式;针对桩帽复合地基与桩梁复合地基优劣的争议,推导了桩顶设置连梁时的土拱效应公式,并通过计算分析了桩梁复合地基和桩帽复合地基的优劣。

1　桩帽复合地基

根据 HEWLETT 的假设,对于正方形布置的刚性桩,4 根桩之间的土拱可近似地拆分为两部分,一部分是两端直接作用于桩帽顶部的 4 个三棱形平面土拱,另一部分是作用于 4 个三棱平面土拱上的球形土拱[5]。

1.1　拱顶屈服控制的桩土荷载

取球形土拱拱顶土单元进行受力分析,根据图 1 中土单元径向受力平衡条件可得：

$$\frac{d\sigma_R}{dR}+\frac{2(\sigma_R-\sigma_\theta)}{R}=-\gamma_1 \tag{1}$$

式中:σ_R 为球形土拱顶径向应力,R 为土单元与球形土拱中心的距离,σ_θ 为土拱切向应力,γ_1 为拱顶土重度。

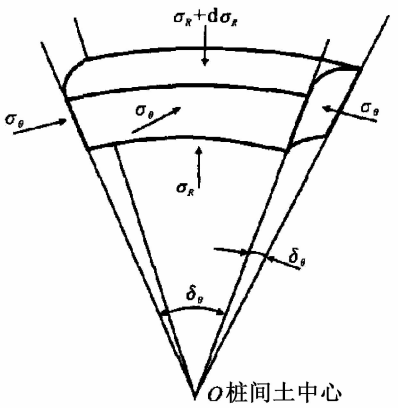


图 1　拱顶土单元受力

当球形土拱拱顶屈服时,其径向和切向应力之间的关系为：

$$\sigma_\theta=2c_1\sqrt{K_{p1}}+\sigma_R K_{p1} \tag{2}$$

式中:c_1 为拱顶土的黏聚力,K_{p1}为拱顶土的被动土压力系数。

由式(1)、式(2)可得

$$\frac{d\sigma_R}{dR}+\frac{2(1-K_{p1})}{R}\sigma_R=\frac{4c_1\sqrt{K_{p1}}}{R}-\gamma_1 \tag{3}$$

由式(3)可得

$$\sigma_R=a_1R^{2(K_{p1})}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}-\frac{\gamma_1 R}{3-2K_{p1}} \tag{4}$$

式中：a 为待定系数。

$R=\frac{D}{\sqrt{2}}$时,$\sigma_R=\gamma_1\left(H-\frac{D}{\sqrt{2}}\right)$,结合式(4)可得：

$$a_1=\frac{\gamma_1\left(H-\frac{D}{\sqrt{2}}\right)+\frac{\gamma_1 D}{\sqrt{2}(3-2K_{p1})}-\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}}{\left(\frac{D}{\sqrt{2}}\right)^{2(K_{p1}-1)}} \tag{5}$$

式中：H 为路堤高度，D 为桩间距。

因此：

$$\sigma_R=\left(\frac{\sqrt{2}R}{D}\right)^{2(K_{p1}-1)}\gamma_1\left[H-\frac{\sqrt{2}(1-K_{p1})D}{3-2K_{p1}}\right]-\frac{\gamma_1 R}{3-2K_{p1}}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}\left[1-\left(\frac{\sqrt{2}R}{D}\right)^{2(K_{p1}-1)}\right] \tag{6}$$

设 b 为桩帽边长,当 $\sigma_{R=\frac{D-b}{\sqrt{2}}}<0$ 时,说明球形土拱拱顶土单元达到屈服状态需要拱顶内侧径向应力为负值,但是土体不能承受拉力,拱顶内侧径向应力应为零,此时球形土拱拱顶脱空时拱顶也不能达到屈服状态,桩帽间荷载集度等于球形土拱内单位面积土体的重量,即：

$$\sigma_{su}=\sigma_{sm}=\frac{D-b}{\sqrt{2}}\overline{\gamma_1} \tag{7}$$

式中:σ_{su}为桩帽间荷载集度,σ_{sm}为 的最小值,$\overline{\gamma_1}$为球形拱内填料平均重度。

当 $\sigma_{R=\frac{D-b}{\sqrt{2}}}\geqslant 0$ 时,桩帽间荷载集度等于拱顶内侧应力与球形土拱内单位面积土体的重量之和,即：

$$\sigma_{su}=\sigma_{R=\frac{D-b}{\sqrt{2}}}+\frac{D-b}{\sqrt{2}}\overline{\gamma}=(1-\delta)^{2(K_{p1}-1)}\gamma_1\left[H-\frac{\sqrt{2}D(1-K_{p1})}{3-2K_{p1}}\right]+\frac{[(3-2K_{p1})\overline{\gamma}-\gamma_1](D-b)}{\sqrt{2}(3-2K_{p1})}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}[1-(1-\delta)^{2(K_{p1}-1)}] \tag{8}$$

式中：δ 为桩帽边长 b 与桩间距 D 的比值。

由复合地基顶面竖向受力平衡条件可得：

$$P_{pa}=D^2H\overline{\gamma}-\sigma_{su}(D^2-b^2) \tag{9}$$

式中：P_{pa}为桩帽顶面竖向荷载，$\overline{\gamma}$ 为桩帽顶面以

上路堤填料平均重度。

桩土应力比为：

$$n=\frac{P_{pa}}{A_c\sigma_{su}} \tag{10}$$

式中：n 为桩帽顶面竖向荷载集度与桩帽间荷载集度的比值，简称桩土应力比，A_c 为桩帽面积。

1.2　拱脚屈服控制的桩土荷载

取三棱形平面土拱拱脚土单元进行受力分析，根据图 2 中土单元径向受力平衡条件可得：

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}=0 \tag{11}$$

式中：σ_r 为三棱形平面土拱拱脚径向应力，r 为土单元与三棱形平面土拱中心的距离。

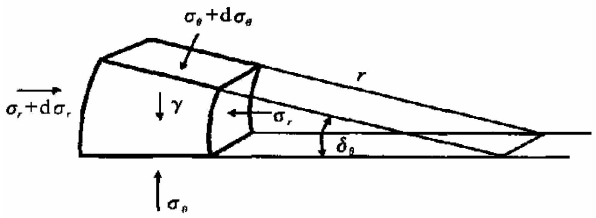


图 2　拱脚土单元受力

当三棱形平面土拱拱脚土单元屈服时，径向应力和切向应力之间的关系为：

$$\sigma_\theta=2c_2\sqrt{K_{p2}}+K_{p2}\sigma_r \tag{12}$$

式中：c_2 为拱脚土黏聚力，K_{p2} 为拱脚土的被动土压力系数。

由式(11)、式(12)得：

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{1-K_{p2}}{r}\sigma_r=\frac{2c_2\sqrt{K_{p2}}}{r} \tag{13}$$

由式(13)可得：

$$\sigma_r=a_2r^{K_{p2}-1}+\frac{2c_2\sqrt{K_{p2}}}{1-K_{p2}} \tag{14}$$

式中：a_2 为待定系数。

$r=\frac{D-b}{2}$ 时，$\sigma_r=2c_2\sqrt{K_{p2}}+K_{p2}\sigma_{su}$，结合式(14)可得：

$$a_2=\frac{K_{p2}\sigma_{su}-\frac{2c_2K_{p2}^{1.5}}{1-K_{p2}}}{\left(\frac{D-b}{2}\right)^{K_{p2}-1}} \tag{15}$$

因此：

$$\sigma_r=\left(\frac{2r}{D-b}\right)^{K_{p2}-1}\left(K_{p2}\sigma_{su}-\frac{2c_2K_{p2}^{1.5}}{1-K_{p2}}\right)+\frac{2c_2\sqrt{K_{p2}}}{1-K_{p2}} \tag{16}$$

$$\sigma_\theta=\left(\frac{2r}{D-b}\right)^{K_{p2}-1}K_{p2}\left(K_{p2}\sigma_{su}-\frac{2c_2K_{p2}^{1.5}}{1-K_{p2}}\right)+\frac{2c_2\sqrt{K_{p2}}}{1-K_{p2}} \tag{17}$$

把桩帽顶面土体切向应力 σ_θ 在桩帽顶部范围内积分，即得桩帽顶面竖向荷载：

$$P_{pa}=8\int_{0.5(D-b)}^{0.5D}(0.5D-r)\sigma_\theta d_r=\frac{2D^2}{1+K_{p2}}\left(K_{p2}\sigma_{su}-\frac{2c_2K_{p2}^{1.5}}{1-K_{p2}}\right)[(1-\delta)^{1-K_{p2}}+(\delta-1)(1+\delta K_{p2})]+\frac{2c_2\sqrt{K_{p2}}b^2}{1-K_{p2}} \tag{18}$$

由式(9)、式(18)可得

$$\sigma_{su}=\frac{(1+K_{p2})H\bar{\gamma}D^2-\frac{2c_2K_{p2}^{0.5}(1+K_{p2})b^2}{1-K_{p1}}}{2K_{p2}[(1-\delta)^{1-K_{p2}}+(\delta-1)(1+\delta K_{p2})]D^2+(1+K_{p2})(D^2-b^2)}+\frac{\frac{4c_2K_{p2}^{1.5}}{1-K_{p2}}[(1-\delta)^{1-K_{p2}}+(\delta-1)(1+\delta K_{p2})]D^2}{2K_{p2}[(1-\delta)^{1-K_{p2}}+(\delta-1)(1+\delta K_{p2})]D^2+(1+K_{p2})(D^2-b^2)} \tag{19}$$

当式(19)计算值小于 σ_{sm} 时，说明拱脚未达到屈服状态，此时 σ_{su} 应取 σ_{sm}，P_{pa} 由式(9)计算得到，n 由式(10)计算得到。

1.3　桩土荷载确定

如果拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度大于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，采用拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度会导致式(2)不成立。因此，此时拱脚不屈服，应采用拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度，即采用式(8)计算桩帽间荷载集度。

如果拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度小于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，采用拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度会导致式(12)不成立。因此，此时拱顶不屈服，应采用拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，即采用式(19)计算桩帽间荷载集度。

如果按式(8)、式(19)计算的桩帽间荷载集度均小于 σ_{sm}，代表土拱不屈服，桩帽间荷载集度取 σ_{sm}。

因此，桩土荷载、桩土应力比应根据土拱实际屈服位置的受力分析确定，即桩帽间荷载集度应取拱顶屈服、拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度中的大者，桩帽荷载应取拱顶屈服、拱脚屈服对应的

桩帽荷载中的小者,桩土应力比应取拱顶屈服、拱脚屈服对应的桩土应力比中的小者。

当 c_1、c_2 等于 0 时,式(8)、式(18)、(19)变成 HEWLETT 公式相同[5]。因此,HEWLETT 公式可看作本文公式的一个特例。

2　桩梁复合地基

桩顶框架梁的作用与桩帽的作用相同,其中横向连梁同时可以减少刚性桩的水平位移,因此只分析桩顶设置横向连梁的情况,设连梁宽度为 ,此时仅有垂直连梁的平面土拱。

2.1　拱顶屈服控制的桩土荷载

取平面土拱拱顶土单元进行受力分析,根据土单元径向受力平衡条件可得：

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r} \tag{20}$$

拱顶土单元屈服时,径向应力和切向应力之间的关系为：

$$\sigma_\theta=2c_1\sqrt{K_{p1}}+\sigma_r K_{p1} \tag{21}$$

由式(20)、式(21)可得

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{1-K_{p1}}{r}\sigma_r=\frac{2c\sqrt{K_{p1}}}{r}-\gamma_1 \tag{22}$$

由式(22)可得

$$\sigma_r=a_1 r^{K_{p1}-1}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}-\frac{\gamma_1 r}{2-K_{p1}} \tag{23}$$

$r=\frac{D}{2}$时, $\sigma_r=\gamma_1\left(H-\frac{D}{2}\right)$,结合式(23)可得：

$$a_1=\frac{\gamma_1\left(H-\frac{D}{2}\right)+\frac{\gamma_1 D}{2(2-K_{p1})}-\frac{2c\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}}{\left(\frac{D}{2}\right)^{K_{p1}-1}} \tag{24}$$

因此：

$$\sigma_R=\left(\frac{\sqrt{2}R}{D}\right)^{2(K_{p1}-1)}\gamma_1\left[H+\frac{(K_{p1}-1)D}{2(2-K_{p1})}\right]-\frac{\gamma_1 R}{2-K_{p1}}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}\left[1-\left(\frac{\sqrt{2}R}{D}\right)^{K_{p1}-1}\right] \tag{25}$$

当 $\sigma_{r=\frac{D-b}{2}}<0$ 时,说明平面土拱拱顶达到屈服状态需要拱顶内侧径向应力为负值,但是土体不能承受拉力,此时拱顶内侧径向应力应为零,平面土拱拱顶未达到屈服状态,连梁间荷载集度等于平面土拱内单位面积土体的重量,即：

$$\sigma_{su}=\sigma_{sm}=\frac{D-b}{2}\overline{\gamma_1} \tag{26}$$

式中：σ_{su}为连梁间荷载集度,σ_{sm}为 σ_{su}的最小值。

当 $\sigma_{su}=\sigma_{r=\frac{D-b}{2}}>0$ 时,σ_{su}等于拱顶内侧应力与平面土拱内单位面积土体的重量之和,即：

$$\sigma_{su}=\sigma_{r=\frac{D-b}{2}}+\frac{D-b}{2}\overline{\gamma_1}=(1-\delta)^{K_{p1}-1}\left[H+\frac{D(K_{p1}-1)}{2(2-K_{p1})}\right]+\frac{\gamma(D-b)(1-K_p)}{2(2-K_p)}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}}\left[1-(1-\delta)^{K_{p1}-1}\right] \tag{27}$$

式中：δ 为连梁宽度 b 与桩间距 D 的比值。

由复合地基顶面竖向受力平衡条件可得：

$$P_{pa}=DH\overline{\gamma}-\sigma_{su}(D-b) \tag{28}$$

式中：P_{pa}为单位长度连梁顶面竖向荷载。

桩土应力比为

$$n=\frac{P_{pa}}{b\sigma_{su}} \tag{29}$$

式中：n 为连梁顶面竖向荷载集度与连梁间荷载集度的比值,简称桩土应力比。

2.2　拱脚屈服控制的桩土荷载

取平面土拱拱脚土单元进行受力分析,由土单元的径向受力平衡条件可得：

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}=0 \tag{30}$$

拱脚屈服时,径向应力和切向应力之间的关系为：

$$\sigma_\theta=2c_1\sqrt{K_{p1}}+K_{p1}\sigma_r \tag{31}$$

由式(30)、式(31)得：

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{1-K_{p1}}{r}\sigma_r=\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{r} \tag{32}$$

由式(32)可得：

$$\sigma_r=a_1 r_{K_{p1}-1}+\frac{2c_1\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}} \tag{33}$$

$r=\frac{D-b}{2}$时,$\sigma_r=2c_1\sqrt{K_{P1}}+K_{p1}\sigma_{su}$,结合式(33)可得：

$$a_1=\frac{K_{p1}\sigma_{su}-\frac{2c_1K_{p1}^{1.5}}{1-K_{p1}}}{\left(\frac{D-b}{2}\right)^{K_{p1}-1}} \tag{34}$$

因此：

$$\sigma_r=\left(\frac{2r}{D-b}\right)^{K_{p1}-1}\left(K_{p1}\sigma_{su}-\frac{2c_1K_{p1}^{1.5}}{1-K_{p1}}\right)+\frac{2c_{\mathrm{I}}\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}} \quad (35)$$

$$\sigma_\theta=\left(\frac{2r}{D-b}\right)^{K_{p1}-1}K_{p1}\left(K_{p1}\sigma_{su}-\frac{2c_1K_{p1}^{1.5}}{1-K_{p1}}\right)+\frac{2c_{\mathrm{I}}\sqrt{K_{p1}}}{1-K_{p1}} \quad (36)$$

把连梁顶面土体切向应力 在连梁顶部单位长度范围内积分，即得连梁顶面单位长度竖向荷载：

$$P_{pa}=2\int_{0.5(D-b)}^{0.5D}\sigma_\theta d_r=D\left(K_{p1}\sigma_{su}-\frac{2c_1K_{p1}^{1.5}}{1-K_{p1}}\right)$$

$$[(1-\delta)^{1-K_{p1}}+(\delta-1)]+\frac{2c_{\mathrm{I}}\sqrt{K_{p1}}b}{1-K_{p1}} \quad (37)$$

由式(28)、式(37)可得

$$\sigma_{su}=\frac{DH\bar{\gamma}+\frac{2c_1K_{p1}^{1.5}D}{1-K_{p1}}[(1-\delta)^{1-K_{p1}}+\delta-1]-\frac{2c_1K_{p1}^{0.5}b}{1-K_{p1}}}{K_{p1}[(1-\delta)^{1-K_{p1}}+\delta-1]D+D-b} \quad (38)$$

进而由式(29)求得桩土应力比。

当式(38)计算值小于 σ_{sm} 时，说明拱脚未达到屈服状态，此时 σ_{su} 应取 σ_{sm}，P_{pa} 由式(28)计算得到，n 由式(29)计算得到。

2.3　桩土荷载

与 1.3 节同样道理，连梁间荷载集度取拱顶屈服、拱脚屈服对应的连梁间荷载集度中的大者，连梁荷载取拱顶屈服、拱脚屈服对应的连梁荷载中的小者，桩土应力比取拱顶屈服、拱脚屈服对应的桩土应力比中的小者。

3　工程验证与方法对比

3.1　工程验证

3.1.1　案例 1

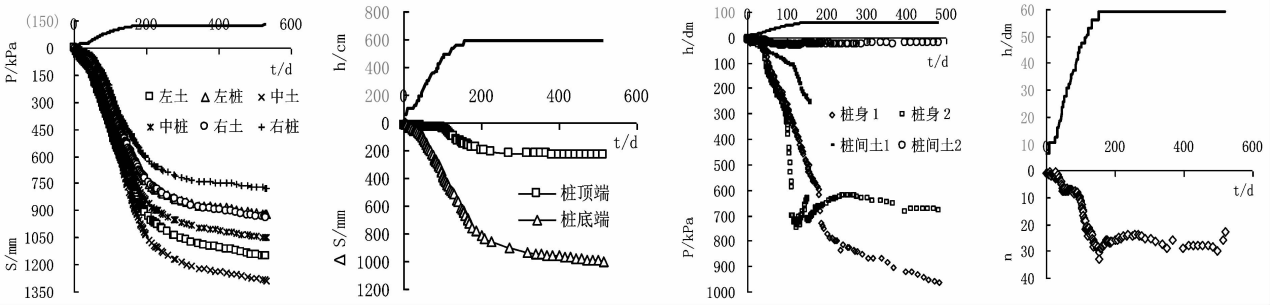
文献[8]中广东佛山一环城市快速路乐从试验段 F 区右幅管桩正方形布置，间距 2.4 m，桩长 12 m，以穿透第一层软土进入硬土层 2 m。桩帽边长 1 m。桩帽顶面铺设一层钢塑土工格栅，格栅以上填筑细砂，细砂厚度为 3.2 m，格栅以上桩土应力比实测值为 9.35。由于细砂经过碾压，内摩擦角取 30°，黏聚力取 0 kPa，重度取 18 kN/m^3。按照各种方法得到的桩土应力比见表表 1。由于管桩未穿透第二层软土，Marston 方法按照摩擦桩计算。可见，本文方法计算的桩土应力比更接近实测值。

表 1　各种方法得到的桩土应力比

方法	桩土应力比	
	案例 1	案例 2
陈云敏方法	4.73	–
强小俊方法	4.73	0.86
Marston 方法	2.91	2.49
HEWLETT 方法	8.14	–
本文方法	8.14	19.25
监测	9.35	20.5 ~ 30.2

3.1.2　案例 2

广州西二环南段高速公路 K32 + 065 附近路堤高 6 m，采用 CFG 桩正方形布置，桩间距为 2.2 m。CFG 桩桩顶设置一直径 70 cm 的圆形盖板，褥垫层采用 0.5 m 厚的中粗砂，褥垫层顶部铺设一层 TGSG20 – 20 型双向拉伸格栅，延伸率不大于 11%，抗拉强度不小于 20 kN/m。褥垫层以上填筑黏性土。实测桩土沉降差、荷载集度、桩帽顶面处桩土应力比见图 3。



(a)桩土沉降　(b)桩土沉降差　(c)桩土荷载集度　(d)桩土应力比

图 3　监测结果

根据桩土沉降差可得到土工格栅向桩帽转移约 10.2 kN,剔除其影响后,填土高 5.8 m 时桩帽顶面处桩土应力比为 20.5 ~ 30.2。中粗砂内摩擦角取 35°,黏聚力取 0 kPa。虽然本工程沉降达到 1.25 m,但是拱顶仍位于地下水位以上,因此黏性土内摩擦角取 20°,黏聚力取 25 kPa。中粗砂和黏性土的重度均取 20 kN/m^3。采用各种方法得到的桩土应力比见表 1。由于桩底端桩土沉降差较大,Marston 方法按照摩擦桩计算。本工程拱顶为黏性土,陈云敏方法、HEWLETT 方法不适用。可见,本文方法计算的桩土应力比更接近实测值。

3.2　计算方法对比

3.2.1　案例

由 3.1 节可知,Marston 方法计算结果严重偏低,强小俊方法计算结果不合理,HEWLETT 方法只适用无黏性土路堤,本文方法适用范围广、且计算结果更接近工程实测值。

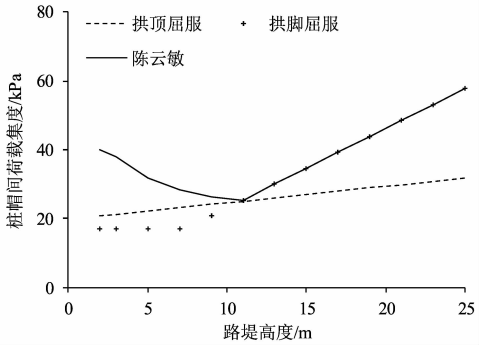
3.2.2　算例

由于陈云敏方法已列入公路行业规范[15],下面主要对陈云敏方法与本文方法进行对比。

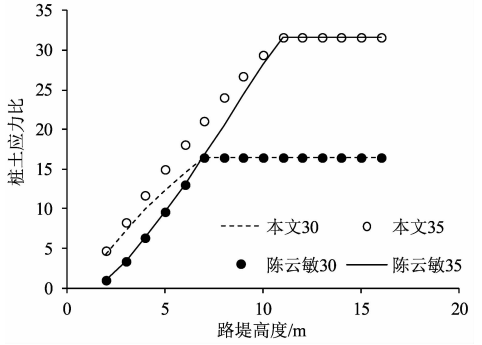
刚性桩正方形布置,桩间距取 2.4 m,桩帽边长为 1.2 m,路堤土重度为 20 kN/m^3。路堤填料采用内摩擦角为 35°的无黏性土。本文方法和陈云敏方法的计算结果见图 4。图 4(b)中分别计算了内摩擦角为 30°、35°时的桩土应力比。

由图 4(a)可知,路堤高度小于 10.86 m 时拱顶屈服,路堤高度大于 10.86 m 时拱脚屈服。当拱脚时屈服时,本文方法与陈云敏方法计算桩间土荷载集度相同。当拱顶屈服时(路堤高度小于 10.86 m 时),本文方法计算的桩间荷载集度随路堤高度增大而增大,陈云敏方法计算的桩间荷载集度随路堤高度增大而减小。大量工程实测结果表明桩间荷载集度随填土高度增大而增大[8-13]。因此,陈云敏方法计算的桩间荷载集度与实测结果不符。

由图 4(b)可知,路堤高度小于 6.94 m 时,按照陈云敏方法计算的桩土应力比不随内摩擦角变化,违反了抗剪强度随内摩角增大的常识。按本文方法,拱顶屈服时桩土应力比随内摩擦角增大而增大,与付海平、杨庆年等人的研究结论相同[16,17]。路堤高度为 2 m 时,陈云敏方法计算的桩土应力比为 1.0,明显不合理。



(a)桩帽间荷载集度 ~ 路堤高度的关系曲线



(b)桩土应力比 ~ 路堤高度的关系曲线

图 4　不同方法计算结果对比

3.2.3　理论

对拱顶为无黏性土的路堤,由于无黏性土等黏聚力等于零,当桩间土沉降导致拱下土体对拱顶反力为零时,拱顶在切向力作用下必然屈服,因此低路堤土拱也会屈服,不存在文献[6]认为的土拱不屈服的情况。桩顶荷载根据拱顶或拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度按照复合地基顶面竖向荷载平衡条件计算得到,不存在文献[6]认为复合地基顶面竖向荷载不平衡的问题。另外,拱顶、拱脚只有某个特定路堤高度下才同时屈服,大部分情况下只有拱顶或拱脚屈服,文献[6]关于拱顶、拱脚屈服程度相同的假设不合理。

综上所述,采用本文方法更合理、适用范围更广,且不需要试算。

4　影响因素分析

路堤填料重度为 20 kN/m^3,抗剪强度指标见

表 2。其中 s 代表无黏土路堤，c 代表褥垫层为无黏土、其他为黏性土的路堤，cc 代表黏性土路堤。

表 2　路堤类型与抗剪强度指标

路堤类型	拱脚土		拱顶土	
	c/kPa	ϕ/°	c/kPa	ϕ/°
s	0	35	0	35
c	0	35	20	20
cc	20	20	20	20

刚性桩正方形布置，桩间距取 2.4 m，桩帽边长为 1.2 m，连梁面积与桩帽面积相等。桩帽（连梁）间荷载集度、桩土应力比、桩荷载率与路堤高度的关系见图 5 ~ 图 8。

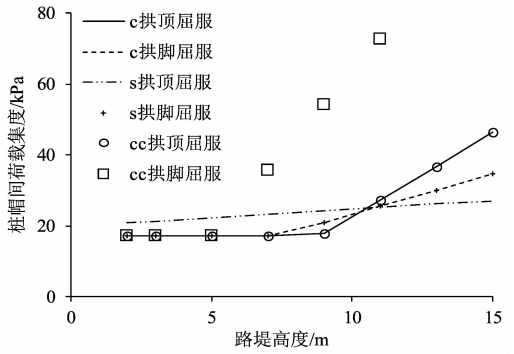


图 5　桩帽间荷载集度 ~ 高度关系曲线

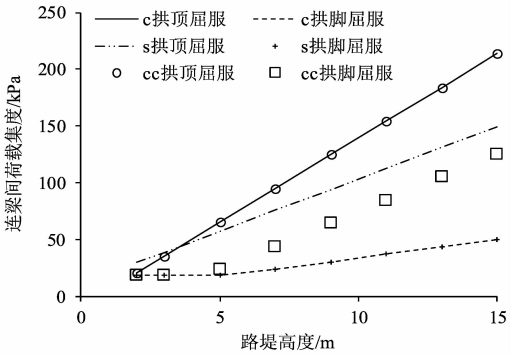


图 6　连梁间荷载集度 ~ 高度关系曲线

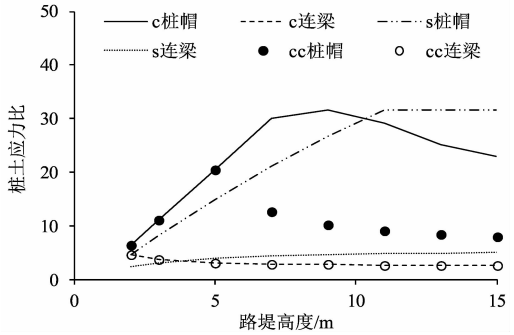


图 7　桩土应力比 ~ 高度关系曲线

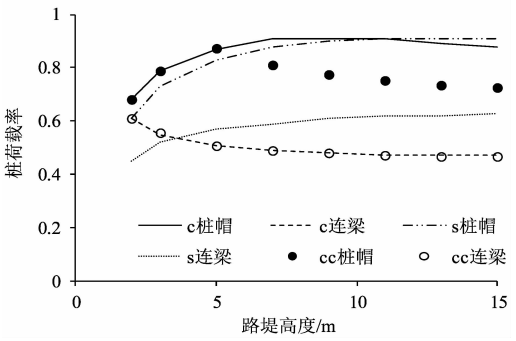


图 8　桩荷载率 ~ 高度关系曲线

由图 5 ~ 图 8 可知：

（1）对桩帽复合地基

1）对 s 型路堤，桩帽上路堤高度小于 7 m 时，拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度不随路堤高度变化，说明拱顶脱空时拱脚也不屈服。桩帽上路堤高度小于 10.86 m 时，拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度大于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，拱顶屈服，桩土应力比随桩帽上路堤高度增大而近似线性增大，桩荷载率随桩帽上路堤高度增大而增大。桩帽上路堤高度等于 10.86 m 时，拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度等于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，拱顶、拱脚同时屈服。桩帽上路堤高度大于 10.86 m 时，拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度小于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，拱脚屈服，桩土应力比、桩荷载率不随路堤高度变化。

2）对 c 型路堤，桩帽上路堤高度小于 7.38 m 时，拱脚屈服、拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度均不随路堤高度变化，土拱不屈服，桩土应力比随桩帽上路堤高度增大而线性增大，桩荷载率随桩帽上路堤高度增大而增大。路堤高度介于 7.38 ~ 10.20 m 时，拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度大于拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度，拱脚屈服，桩土应力比、桩荷载率随桩帽上路堤高度增大而增大。桩帽上路堤高度等于 10.20 m 时，拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度等于拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度，拱顶、拱脚同时屈服。路堤高度大于 10.20 m 时，拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度大于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度，拱顶屈服，桩土应力

比、桩荷载率随桩帽上路堤高度增大而减小。

3)对 cc 型路堤,桩帽上路堤高度小于 4.99 m 时,拱脚屈服、拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度均不随路堤高度变化,土拱不屈服,桩土应力比随桩帽上路堤高度增大而线性增大,桩荷载率随桩帽上路堤高度增大而增大。路堤高度大于 4.99 m 时,拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度小于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度,拱脚屈服,桩土应力比、桩荷载率随桩帽上路堤高度增大而减小。

4)路堤较小时,拱顶为黏性土的路堤桩土应力比大于拱顶为无黏性土的路堤桩土应力比。

(2)桩梁复合地基

1)对三种类型路堤,拱顶屈服对应的桩帽间荷载集度均大于拱脚屈服对应的桩帽间荷载集度,即均是拱顶屈服。

2)s 型路堤的桩土应力比、桩荷载率随连梁上路堤高度增大而增大,且增速逐渐减小。

3)c 型路堤与 cc 型路堤的桩土应力比、桩荷载率相等。桩土应力比、桩荷载率随连梁上路堤高度增大而减小,且减速逐渐减小。

3)对相同填料的路堤,采用桩帽复合地基的桩土应力比、桩荷载率均远大于桩梁复合地基的桩土应力比、桩荷载率,性价比更高。

5　结论

(1)本文方法适用各种填料的路堤,计算结果与工程实测结果接近;

(2)桩土桩土应力比根据土拱屈服位置的受力分析确定,不需要试算。对无粘性路堤宜采用 HEWLETT 公式。

(3)拱顶、拱脚填料种类对桩土应力比均有影响,不同填料的路堤桩土应力比大小及其变化规律不同;

(4)复合地基刚性桩桩顶设置桩帽的性价比高于桩顶设置连梁。

参考文献:

[1] 刘吉福, 郭舒洋,肖昌建. 修正密度法分析混凝土桩复合地基路基绕流滑动稳定性[J]. 广东公路交通, 2016(05):12 - 20.

[2] 刘吉福, 郑刚, 龚晓南,等. 柔性荷载刚性桩复合地基修正密度法稳定分析改进[J]. 岩土工程学报,2017,39(Supp2): 33 - 36.

[3] 刘吉福, 郑刚. 单桩承载力对刚性桩复合地基路堤稳定性的影响[J]. 岩土工程学报,2019,41(11): 33 - 36.

[4] 刘吉福, 郑刚, 龚晓南. 附加应力法计算刚性桩复合地基路基沉降[J]. 岩土工程学报,2019,41(11): 33 - 36.

[5] HEWLETT W J, RANDOLPH M F. Analysis of piled embankments [J]. Ground Engineering,1988,21(3):12 - 18.

[6] 陈云敏, 贾宁, 陈仁朋. 桩承式路堤土拱效应分析[J]. 中国公路学报,2004,17(4): 1 - 6.

[7] 强小俊, 赵有明, 胡荣华. 桩网结构支承路堤土拱效应改进算法[J]. 中国铁道科学,2009,30(4):7 - 12.

[8] 刘吉福,黄腾. 珠三角软基处理试验工程报告集[M]. 北京:人民交通出版社,2012.

[9] 徐立新. 桩承式加筋路堤的设计计算方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.

[10] 鲁绪文. 路堤荷载下长短桩复合地基加固深厚软土路基的试验与研究[D]. 南京:南京水利科学研究院,2007.

[11] 李海芳,龚晓南,温晓贵. 桥头段刚性桩复合地基现场观测结果分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(15):2780 - 2785.

[12] 连 峰,龚晓南,崔诗才,刘吉福. 桩 - 网复合地基承载性状现场试验研究[J]. 岩土力学,2009,30(4):1057 - 1062.

[13] 黄茂松,李波,程岳. 长短桩组合路堤桩荷载分担规律离心模型试验与数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(12):2543 - 2550.

[14] BS8006 - 1:2010. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills[S]. BSI Standards Publication, 2010.

[15] JTG/T D31 - 02 - 2013. 公路软土地基路堤设计与施工技术细则[S]. 人民交通出版社,2015.

[16] 付海平, 郑俊杰, 赖汉江. 桩承式路堤"土拱结构"形成演化规律离散元分析[J]. 岩土工程学报,2017,39(11):2050 - 2057.

[17] 杨庆年, 郑俊杰, 程科. 桩承式路堤土拱效应分析的改进有限元分析[J]. 土木工程与管理学报,2017,39(4): 19 - 23,38.

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。

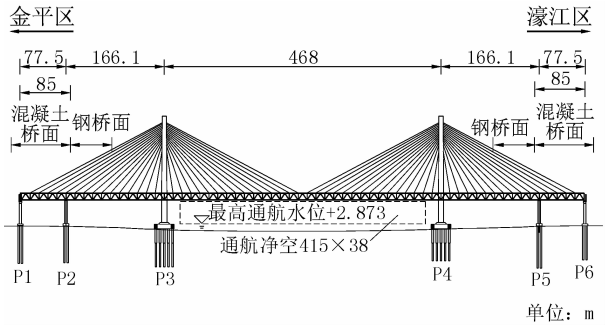


图 1　牛田洋大桥主桥立面布置

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

基金项目：交通运输部科技司面上项目，2018 - MS1 - 007
* 本文已在《桥梁建设》发表。

可活动)。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。

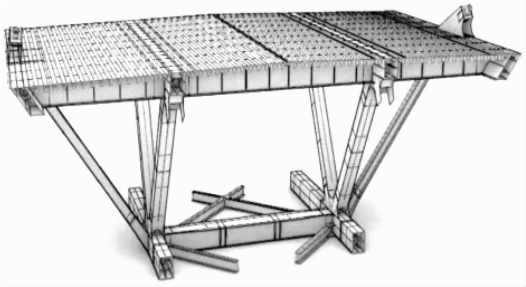


图 2　1 个标准节间空间结构

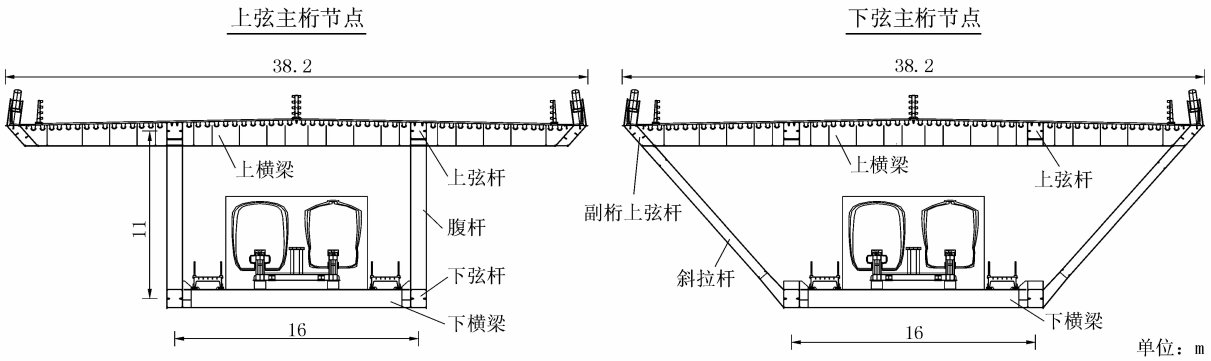


图 3　主桁节点位置横断面布置

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。

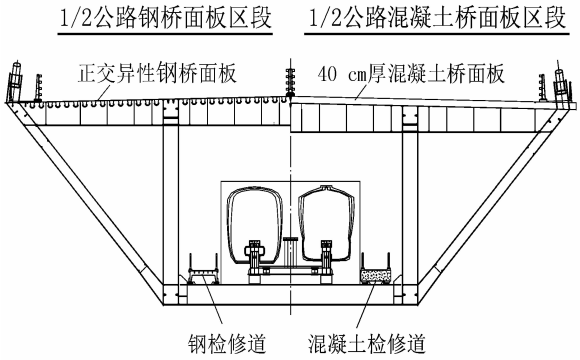


图 4　公路桥面系构造

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 1 770 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。

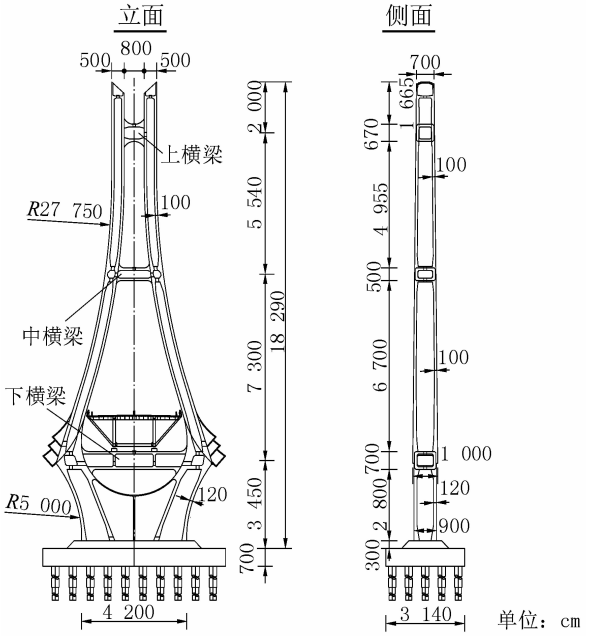


图 5　桥塔构造

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。

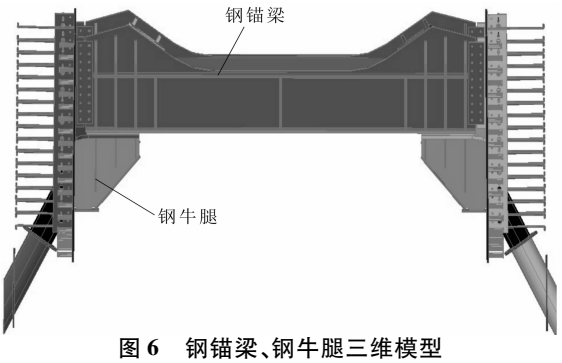


图 6　钢锚梁、钢牛腿三维模型

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。

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。

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 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

表 2　基本组合作用下钢桁梁杆件内力

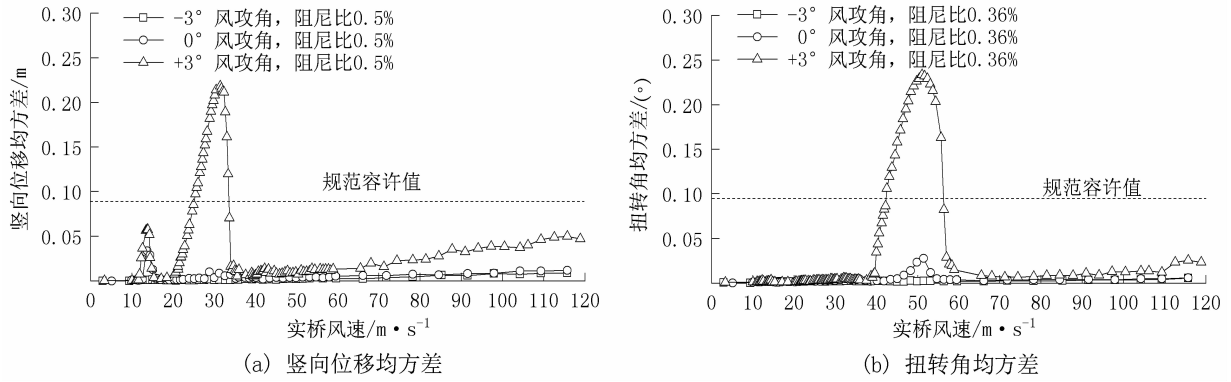
钢桁梁杆件	基本组合(轴力最大)			基本组合(弯矩最大)		
	轴力/kN	弯矩/kN·m		轴力/kN	弯矩/kN·m	
		绕截面 y 轴	绕截面 z 轴		绕截面 y 轴	绕截面 z 轴
边弦杆	-15 315	-3 078	-487.0	-6 138	-3 436.0	-1 559.0
上弦杆	-13 432	4 216	73.3	-10 061	-6 133.0	161.0
下弦杆	-26 126	-2 825	-100.0	-14 790	-3 422.0	-84.9
腹杆	-17 360	-1 780	-736.0	-4 911	495.9	1 614.0
斜拉杆	5 116	537	23.0	5 026	550.0	11.3

5　结构动力分析

5.1　抗风性能试验

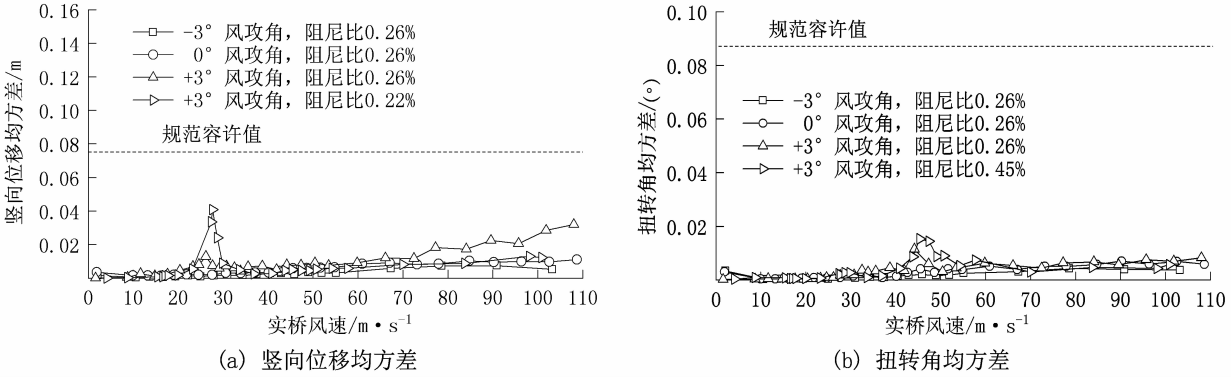
动力分析结果表明，成桥状态下主梁一阶正对称竖弯频率为 0.349 Hz，一阶正对称扭转频率为 0.900 Hz，扭弯频率比为 2.578。由于桥址处设计风速大，成桥颤振检验风速高达 89.7 m/s，因此需重点研究结构的抗风性能。

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。



(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

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 120.2 m/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。

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. 沌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 粤港澳大湾区地铁产业大会报道

9 月 23 – 24 日,“2021 粤港澳大湾区地铁产业大会”在深圳成功召开。主题是“绿色/高效/碳达峰/碳中和”。本次大会由深圳市地铁集团有限公司、深圳市城市轨道交通协会、深圳市土木建筑学会、中国电建集团华东勘测设计研究院、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中交第二航务工程局有限公司、深圳市特区建工集团有限公司、中铁电气化局集团有限公司、广东美的暖通设备有限公司主办。

出席本次大会的嘉宾主要有中国工程院谢和平院士、缪昌文院士、陈湘生院士等 3 位院士。此外,共有来自全国各地业界单位的专家、代表近 800 人参加。我院姚国伟和蔡明生参加了此次交流会。

大会主席陈湘生院士开幕式并致欢迎辞。在为期 2 天的学术报告环节,大会围绕“绿色/高效/碳达峰/碳中和”这一主题,设置了主论坛和“地铁建设”、“地铁设备及运维”两个分论坛,邀请了缪昌文院士、孙波等共计 49 位专家、学者作了精彩的学术报告,共同分享、交流城市地铁建设在新时代背景下的创新技术和科研成果,共谋城市地铁建设的未来发展!

通过院士、专家报告及会展产品参观,主要体验如下:

1. 今年 2 月,国务院颁布了《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》,“双碳”工作是全国一盘棋,绝不能搞“运动式”减排。今年是“十四五”的开局之年,抓好轨道交通建设节能降碳重点工作的落实,不断推动城市轨道交通建设节约能源资源工作取得更大的成绩,为实现国家碳达峰、碳中和目标。深圳市作为先行示范区,对轨道交通行业、全国各行各业乃至世界命运共同体实现碳达峰、碳中和和绿色可持续发展有着重要的先行先试作用。本次大会主题是“绿色/高效/碳达峰/碳中和”,通过院士、专家汇报内容,更加深刻体会到各行各业绿色、高效、碳达峰、碳中和的意义。在今后的设计工作中,结合国家政策有意识的减少碳用量,做出自己一点贡献。

2. 在轨道交通建设期,施工装备及其用电设备大部分采用燃油自发电的方式,部分燃油机械尾气排放污染严重。工程建造低碳化的需求引领电动化施工机械的推广,减少施工过程化石能源排放。通过利用新能源或可再生能源、能源环境管理平台建设和施工工装驱动电气化,不断提高绿色交通体系建设、绿色发展理念培育和自主创新能力建设水平,着力打造高质量的轨道交通建设与站城开发工程,与深圳高质量发展的目标相匹配。城市轨道交通建设创新、高效取决于地铁施工装备器械进行创新、升级。设计工作需及时了解掌握施工装备的更新及主要技术特点,运用到实际工程中,减少碳排放量。

(报道者:姚国伟)

地下采空区勘察设计与治理技术研讨会报道

2021 年 9 月 26 日 – 28 日，由土木工程（中国）科学研究会主办；北京土木人国际咨询有限公司、土木人网承办的“地下采空区勘察设计与治理技术研讨会”在山东青岛成功举办。

此次大会邀请了国内地下采空区勘察设计专业顶尖专家学者，为进一步交流采空区勘察、稳定性评价、处治设计、施工、监测和检测的技术以及存在的热点难点问题，促进该领域技术进步，学习复垦经验，进行专题讲座、交流研讨和提供技术咨询并解答疑难问题。

会议主要针对地下采空区勘察评价与防治关键技术；复杂地下空区综合探测技术应用与工程实践；煤矿采空区工程地质勘察报告编写提纲；采空区稳定性评价与危害程度分析；富水多层煤层、隧道穿越采空区及高速公路、铁路、桥梁、隧道、建筑物下伏采空区勘察与治理技术；钻孔、封孔、制浆、灌浆等技术操作要点、适用条件及工后检测；采空塌陷区地质环境治理与生态修复；采空区的地基处理方法以及新仪器设备及技术、材料的展示与推广应用进行研讨。

27 号上午，由中煤科工集团西安研究院首席研究员刘天林教授介绍了地下采空区勘察与设计技术以及北京同度工程物探技术有限公司总经理赵晓鹏教授介绍了双通道布孔雷达和手持可控冲击震源在采空区、岩溶探测方面的应用；

27 号下午由中煤科工集团西安研究院首席研究员刘天林教授介绍了地下采空区治理施工与工后检测技术。

刘天林教授深入浅出的分享了煤矿采空区勘查技术、煤矿采空区治理工程设计、煤矿采空区治理工程施工技术、煤矿采空区工后监测技术、以及工程实例的分析；赵晓鹏教授通过对工程案例的应用对双通道布孔雷达和手持可控冲击震源在采空区、岩溶探测方面的应用做了详细的介绍。

28 号上午由山东科技大学地球科学与工程学院翟培合教授介绍了高密度三维探测技术及其应用；翟培合教授对地球物理学的实质；地球物理方法与地质方法的异同点；地球物理方法的特点；地球物理方法的分类；地球物理方法的应用条件及应用范围；物探勘查方法技术展望；物探工作的过程七个方面做了详细研讨。

随着近年来我国铁路、公路、城市建设的大发展，对地面塌陷治理与复垦工作提出更高要求。特别是历史遗留的采空区如果不及时治理，容易发生大面积岩移和冒落，导致地表坍陷，严重威胁着矿山安全生产及人民生命安全，给社会和国家带来巨大损失。而采空区的隐蔽性特点提高了治理的难度和风险，通过本次会议研讨进一步加强了采空区勘察、稳定性评价、处治设计、施工、监测和检测的技术以及存在的热点难点问题的认识。

（报道者：李振发）

2021 全国公路设计新思维技术交流会报道

“十四五”是全面开启交通强国建设新征程的关键时期，深化绿色公路建设为重点，为进一步贯彻绿色公路建设发展理念，推动公路设计建设新理念、新方法、新技术的应用，中国交通运输协会培训中心于2021 年9 月25 日在青岛举办了2021 公路设计新思维技术交流会。

会议就公路数字化设计的新成果、绿色公路、旅游公路的现状与发展、高速公路交通组织、互通式立交设计、公路平面交叉设计、路基、路面设计的新实践等方面进行了细致的分享与交流，展示了公路设计的的一些新思路、新成果，为安全、绿色、低碳、智慧交通提供了有益借鉴。

2021 年是加快推进交通强国试点工作关键的一年，也是交通运输“十四五”规划实施的开局之年，我院将持续关注公路设计新思维、新成果，加强自主创新，保持技术领先。

（报道者：罗肇剑）

全国预制装配式桥梁工业化建造技术交流大会暨绍兴品质工程观摩会报道

2021 年9 月25 日，由北京茅以升科技教育基金会桥梁委员会、绍兴市城市建设投资集团有限公司、北京建研住工建筑工程集团有限公司、中国市政和公路工程工业化装配化产业联盟等单位联合主办的“全国预制装配式桥梁工业化建造技术交流大会暨绍兴品质工程观摩会”在绍兴市成功举行。此次大会邀请了桥梁行业全国勘察设计大师、知名专家、工业化桥梁建造关键技术研发单位和智慧建造厂商，围绕预制装配式桥梁及智慧建造应用关键技术等问题深入交流和研讨。观摩了绍兴市城投建筑工业化制造有限公司、绍兴智慧快速路施工现场及“预制拼装桥墩足尺破坏试验”等装配化现场情况。

25 日为工业化桥梁交流大会，全国工程勘察设计大师、上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司总工程师周良，中国交通建设股份有限公司原科技部总经理王武勤，瀚阳国际工程咨询有限公司董事长、技术总监孙峻岭，上海电气研砼（徐州）重工科技有限公司路桥项目部部长徐大千，中交第二航务工程局有限公司技术中心高级专家王敏，北京云建信科技有限公司市场总监雷小雨，上海市政工程设计总院（集团）有限公司交规院总工程师卢永成，江苏东交智控科技集团股份有限公司副总经理叶炜，上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司装配式桥梁研究中心主任闫兴非，上海公路桥梁（集团）有限公司总工程师蒋海里，上海秉匠信息科技有限公司产品总监杨伟强，中交一公院结构智能建造研发中心主任姚晓飞，中铁上海设计院集团有限公司市政工程设计院副院长兼副总工程师吴志勇，廊坊预则立建筑材料科技有限公司总经理高振华，浙江交工集团股份有限公司建筑工业化事业部总工宁英杰，上海市政工程设计总院（集团）有限公司道桥院总工程师、北京茅以升基金会桥梁委员会委员顾民杰分别进行了相关主题分享。

26 日为绍兴品质工程观摩会，观摩了绍兴市城投建筑工业化制造有限公司智慧生产基地、绍兴智慧快速路施工现场及“预制拼装桥墩足尺破坏试验”等装配化现场情况。

（报道者：刘敏剑）