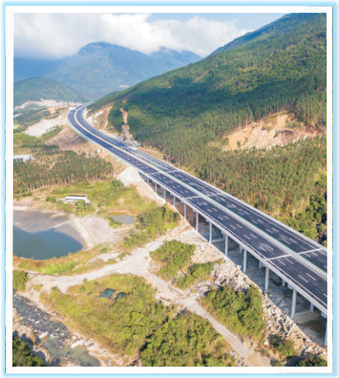


廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2019 4 总第176期

技术交流　信息共享

广东省交通规划设计研究院股份有限公司

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

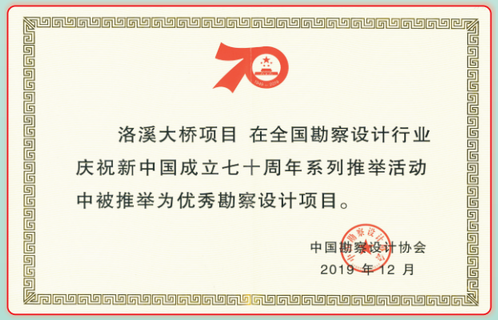
准印证号：(粤O)L0150076号

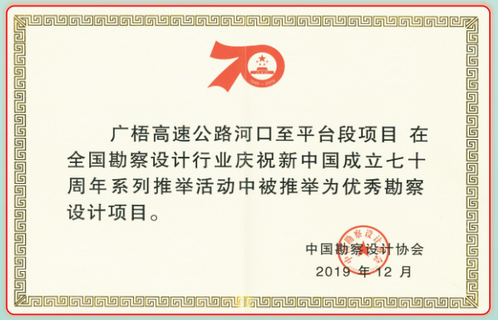
内部资料　免费交流

获奖喜报

根据中设协字[2019]136号关于公布2019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评选结果的通知，公司所承担的《广州市南沙凤凰二桥、凤凰三桥工程设计》、《江门至罗定高速公路第三合同段（勘察）》等六个勘察设计项目获得2019年度中国勘察设计协会优秀勘察设计奖，其中一等奖2项，二等奖3项，三等奖1项。

根据中设协字〔2019〕135号文“关于发布全国勘察设计行业庆祝新中国成立70周年系列推举活动成果的通知”，公司喜获优秀勘察设计企业，公司设计的项目“洛溪大桥”、“广梧高速公路河口至平台段”喜获优秀勘察设计项目。黄湛军总经理在全国勘察设计同业协会共庆新中国成立70周年大会暨中国勘察设计协会六届二次会员代表大会接受表彰。





技术质量部于11月18日召开“城步（湘桂界）至龙胜高速公路初测验收”公司级设计评审会议。

会议由彭向荣首席副总工程师主持

项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家为完善设计献计献策

技术质量部于11月28日召开“广深高速公路扩建工程可行性研究前期研究项目Ⅰ标”公司级设计评审会议。

会议由梁志勇副总工程师主持

项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家听取项目组设计情况汇报

技术质量部于12月3日召开“丰顺县汤坑至留隍快线干线工程、S504线江东至东凤迂回线新改建工程”公司级设计评审会议。

会议由孙向东副总工程师主持

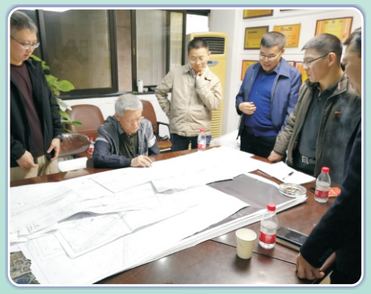
项目组人员向专家介绍设计情况

与会专家听取项目组设计情况汇报

技术质量部于12月9日召开“沈海高速公路深圳机场至荷坳段改扩建工程初测外业验收审查”公司级设计评审会议。

会议由梁志勇副总工程师主持

项目组人员向专家介绍审查情况


与会专家为完善审查献计献策

广东交通规划设计

（每季出版）

2019 年 12 月 30 日印刷

2019 年第 4 期

（总第 176 期）

内部资料　免费交流

准印证号：（粤 O）L0150076 号

编辑委员会

主　任： 黄湛军

副主任： 梁立农　王　强

委　员： 谢伟强　彭向荣　陈潮锐
孙向东　王景奇　陈新富
梁志勇　张　俐　刘吉福

主　　编： 梁立农

副 主 编： 王　强

责任编辑： 刘祥兴

编　　辑： 《广东交通规划设计》编辑部

编印单位： 广东省交通规划设计研究院股份有限公司

地　　址： 广州市沙河兴华路 22 号

邮政编码： 510507

电　　话： 020－37393079

传　　真： 020－37393172

E－mail：841622401@qq.com

发送对象： 公司及行业内部

本期印刷数量： 600 本

印刷单位： 广州市艺彩印务有限公司

封面封底： 潮州至惠州高速公路

目　次

公司动态

喜报——公司总工程师梁立农先生被广东省总工会授予“2019 年南粤工匠”荣誉称号，并参加在广东广播电视台举办的发布仪式 ……（1）

铸剑东莞、逐梦东江——港湾大桥主墩钢套箱成功下放就位 ……（3）

我公司中标中江高速公路改扩建工程，并签署勘察设计合同 ……（5）

我公司与中国电信股份有限公司广州分公司 5G 技术应用战略合作签约仪式圆满举行 ……（6）

第二届数字交通和智慧高速公路新技术应用研讨会在珠海盛大召开 ……（8）

2019 年“五省一市二区”公路交通技术论坛在花都成功召开 ……（10）

方案汇报大赛圆满结束 ……（12）

技术论文

超高性能混凝土桥梁设计与施工关键技术问题探讨 …… 孙向东（15）

矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间效应分析 …… 范学明，万志勇，彭亚军，彭李立，孙向东（22）

马房北江特大桥扩建方案比选 …… 万志勇，孙向东，彭亚军，彭李立（27）

超宽整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构的静、动力分析研究 …… 黄森华（32）

信息专栏

2019 年度岩土工程专业技术交流会报道 ……（43）

2019 年全国公路隧道学术年会报道 ……（43）

第九届交通工程测量学术研讨会报道 ……（45）

第三届中国旅游交通大会报道 ……（45）

第四届全国水下隧道建设与管理交流会暨深中通道沉管隧道现场观摩会报道 ……（48）

中国测绘学会 2019 年学术年会报道 ……（49）

粤港澳大湾区建筑业发展与前沿科学技术研讨会报道 ……（50）

世界大跨度拱桥建设技术大会报道 ……（52）

获奖喜报——江门至罗定高速公路三岔顶隧道荣获“2018－2019 年度国家优质工程奖” ……（53）

喜报——公司总工程师梁立农先生被广东省总工会授予“2019 年南粤工匠”荣誉称号，并参加在广东广播电视台举办的发布仪式

由中共广东省委宣传部、广东省工业和信息化厅、广东省总工会主办的“2019 年南粤工匠暨南粤最美职工发布仪式”于 12 月 12 日在广东广播电视台举行，省人大常委会副主任、省总工会主席吕业升，省委宣传部副部长、省文明办主任蒋斌，省总工会党组书记、常务副主席陈伟东等领导出席活动。

新时代是奋斗者的时代，南粤大地上正走出一批勤学苦练、致力“中国创造”的先进工匠。今年适逢新中国成立 70 周年，为大力弘扬劳模精神、劳动精神和工匠精神，省委宣传部、省工信厅、省总工会在全省各地组织开展了南粤工匠推荐学习活动。经过各地市、各产业的广泛发动、层层推荐、严格筛选，20 名“南粤工匠”从全省千万劳动者中脱颖而出。

我公司总工程师梁立农先生获广东省交通工会推荐，最终成功当选，被广东省总工会授予“2019年南粤工匠”荣誉称号，并参加了在广东广播电视台举办的隆重的发布仪式。

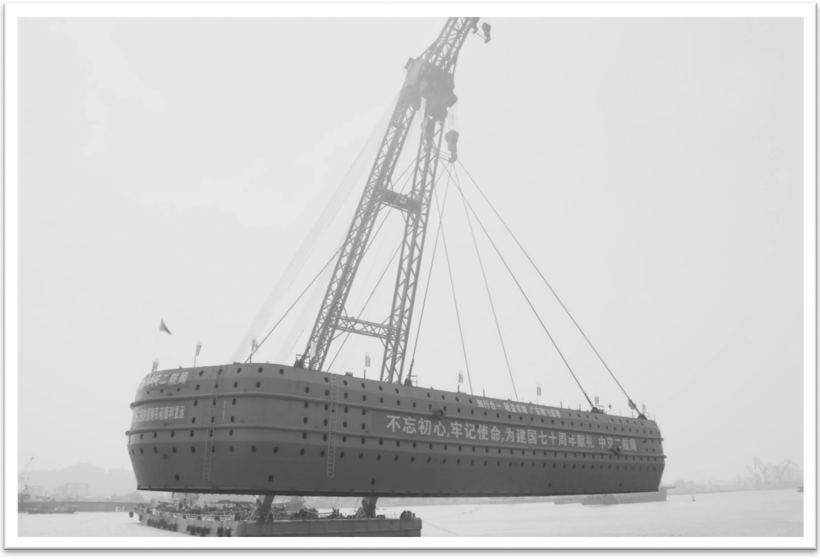
在发布仪式上，广东卫视用视频短片的形式生动展现了梁立农总工程师在桥梁事业上取得的辉煌成就与动人事迹，也充分彰显了交通人坚守岗位、精益求精、无私奉献的精神风貌。

（报道者：曹菁菁）

铸剑东莞，逐梦东江
——港湾大桥主墩钢套箱成功下放就位

2019 年 9 月 27 日，公司下属全资子公司广东翔飞公路工程监理有限公司所监理的东江南支流港湾大桥主桥主墩首个钢套箱成功下放就位，标志着港湾大桥建设取得了阶段性进展，为港湾大桥圆满完成年度施工任务奠定了坚实的基础，同时亦是为新中国 70 周年华诞献礼。

东江南支流港湾大桥主墩承台防撞套箱，采用固定式释能附体型结构。钢套箱长 73.12 m、宽 23.8 m、高 9.5 m，重量约 1100 t，正常使用寿命为 30 年。本次下放的钢套箱为主桥 25#墩。大桥所在的东莞水道为 5000 吨级海轮航道，桥位区域河流航道繁忙，船舶流量约每天 400 艘次，钢套箱下放施工难度大，通航安全风险极高。



为了确保主墩承台钢套箱加工制作及安装施工顺利进行，翔飞公司港湾大桥总监办在开工前按规定组织召开了《港湾大桥主桥承台及塔座安全专项施工方案》专家评审会以及港湾大桥主墩承台钢套箱安装航道交通管制协调会，并编写了《港湾大桥主墩钢套箱加工制作及安装监理实施细则》，以指导现场科学监理与规范施工。在施工过程中，港湾大桥总监办始终坚持“高标准、严要求、零容忍”的态度，要求施工单位严格按照设计图纸与批复的施工方案进行施工，严把关键工序验收关，保证了钢套箱加工制作及安装质量合格并安全下放。

在监理过程中，翔飞公司港湾大桥总监办坚持贯彻“为顾客提供超值服务”的理念，牢记“知行合一、精益求精”的质量方针，依据合同规定以及东江南支流港湾大桥《公路工程建设项目现场管理办法》，秉承“严格监理、优质服务、科学公正、廉洁自律”的监理原则，对施工合同段工程项目的“质量、安全、进度、费用”进行了有效管控，得到了业主单位和东莞市交通局、质监站的高度评价和认可。

本次主墩承台钢套箱安装是东江南支流港湾大桥工程的一个重要施工节点，也意味着港湾大桥项目进入了施工难度更大、危险系数更高的施工阶段。港湾大桥总监办全体监理人员将再接再厉、团结一致，尽心尽责做好下一步监理工作，奋力推进港湾大桥项目建设。

（报道者：朱恩钱）

我公司中标中江高速公路改扩建工程，并签署勘察设计合同

2019 年 11 月 18 日，我公司在"深圳至岑溪高速公路中山新隆至江门龙湾段改扩建工程勘察设计"项目中被确定为中标单位。

根据广东江中高速公路有限公司的统一安排，11 月 27 日在广州利通广场举行了该项目的合同签约会，标志着中江高速公路改扩建工程前期工作已全面铺开。公司董事长李江山、副总经理刘桂红、总经理助理兼第四设计分院院长罗旭东以及第四设计分院副院长陈枝洪参加了本次签约仪式。

中江高速公路改扩建工程是广东省交通集团落实《粤港澳大湾区发展规划纲要》的重要举措。项目建成通车后，将与同期建成的南（沙）中（山）高速公路对接，并通过中山东部外环高速公路和南中高速万顷沙支线连接深中通道。项目改扩建之后，将对拓展完善珠江西岸地区交通网络、打通路网瓶颈、缓解区域交通拥堵、改善行车条件、进一步加强广东省东西两翼和珠三角东西地区的经济联动以及促进广东经济社会协调发展具有重要作用。该项目路线全长 40.051 km，扩建后采用双向八车道、时速 120 km/h 的高速公路技术标准，总投资约 79 亿元。

（报道者：沈健琨）

我公司与中国电信股份有限公司广州分公司 5G 技术应用战略合作签约仪式圆满举行

11 月 6 日，我公司与中国电信股份有限公司广州分公司 5G 技术应用战略合作签约仪式在广州电信市公司 23 楼隆重举行。

我公司总经理助理兼规划与交通工程分院院长汪超和中国电信股份有限公司广州分公司副总经理张晖分别代表合作双方在签约仪式上致辞。双方就 5G 智慧交通战略合作达成高度共识，共同签署了 5G 技术应用战略合作框架协议，标志着双方的战略合作正式进入实施阶段。

（公司总经理助理兼规划与交通工程分院院长汪超代表我公司致辞）

（张晖副总经理代表中国电信股份有限公司广州分公司致辞）

（双方正式签署协议）

（双方手持签约本合影）

（双方共持战略合作牌匾合影）

签约仪式后，张晖副总经理陪同与会代表一起参观互联网 + 基地，热情洋溢地介绍中国电信 5G 技术的发展及其在各个行业的应用。

（参观中国电信互联网 + 基地）

本次协议的签订，标志着我公司与中国电信股份有限公司广州分公司正式成为 5G 智慧交通战略合作伙伴。双方本着“整合资源、聚合产业、合作创新、服务社会”的原则，基于 5G 技术、云计算、大数据、物联网、自动驾驶、智能网联和智慧交通等新技术在信息化服务工作的应用等方面开展合作，不断推进 5G 智慧交通的发展。双方将力争共同打造 5G 标杆项目，实现双方优势互补、战略共赢。

（报道者：陈静萍）

第二届数字交通和智慧高速公路新技术应用研讨会在珠海盛大召开

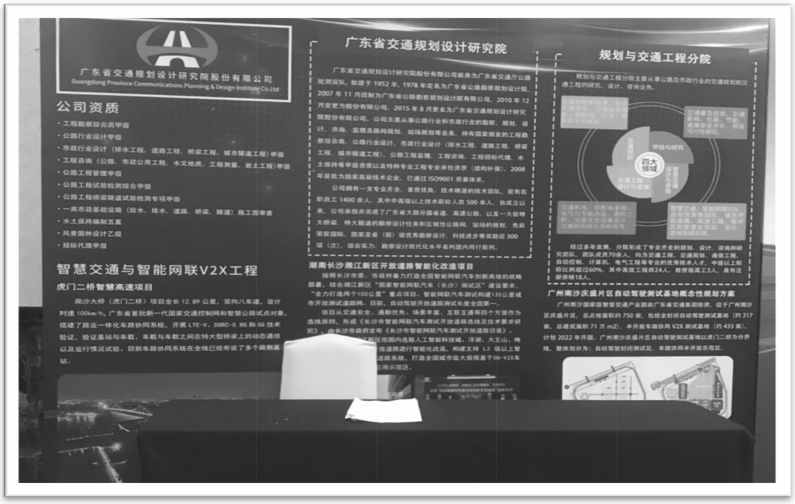
蜿蜒情侣路，浪漫珠海滨。10 月 17－18 日，以“新技术赋予智慧高速新优势、新动能”为主题，由中国交通运输协会、广东省交通集团有限公司、珠海交通集团有限公司联合主办的第二届“数字交通和智慧高速公路新技术应用研讨会”在珠海盛大召开。广东省交通规划设计研究院股份有限公司作为协办单位参加了此次研讨会。

交通运输部周伟总工程师在开幕式上致辞并作大会主题报告

会议不仅得到了交通部及省各级机关的高度支持，同时还邀请到了国内著名专家、科研院校学者、企业家以及来自各省高速公路运营管理、施工建设、勘察设计等单位近 500 名代表。交通运输部周伟总工程师、中国交通运输协会杨洪义副会长、交通运输部公路局原副局长胡滨研究员、广东省交通运输厅党组成员贾绍明副厅长等重要领导莅临大会并致辞。与会代表共同探讨了高速公路数字化、网络化、智能化发展的政策方向及技术路径，分享了数字交通和智慧高速公路新技术应用现状及未来发展趋势。会议具体针对智慧收费与 ETC、智慧监控与运营，智慧工程与养护、智慧服务区等领域展开交流，深入研讨 5G 与人工智能、大数据、云计算以及车路协同、自动驾驶等新一代信息技术在高速公路的应用。

大会现场盛况

公司作为协办单位参与了此次研讨会。会议决议同意公司规划与交通工程分院总工程师曾盛以及机电与智慧交通所所长关小杰加入中国交通运输协会新技术促进分会“智慧高速专家组”（其中，曾盛担任分会副主任委员，关小杰担任分会委员），并隆重颁发证书。



广东省交通规划设计研究院股份有限公司会议展板

智慧高速专家委员颁证仪式

此次研讨会上,关小杰代表公司作了《智能网联,风起长沙——湖南湘江新区智能网联汽车测试开放道路智能化改造应用与实践》的专题报告。报告对自动驾驶的测试现状、湖南湘江新区开放道路选线方案、V2X 方案设计等方面进行了介绍,引起了与会专家领导的高度关注和认可。

规划与交通工程分院机电与智慧交通所所长关小杰作主题报告

未来,公司将在数字交通、自动驾驶和智慧高速等新技术领域不断进行探索与创新,为智慧交通的大厦添砖加瓦。

(报道者:陈静萍)

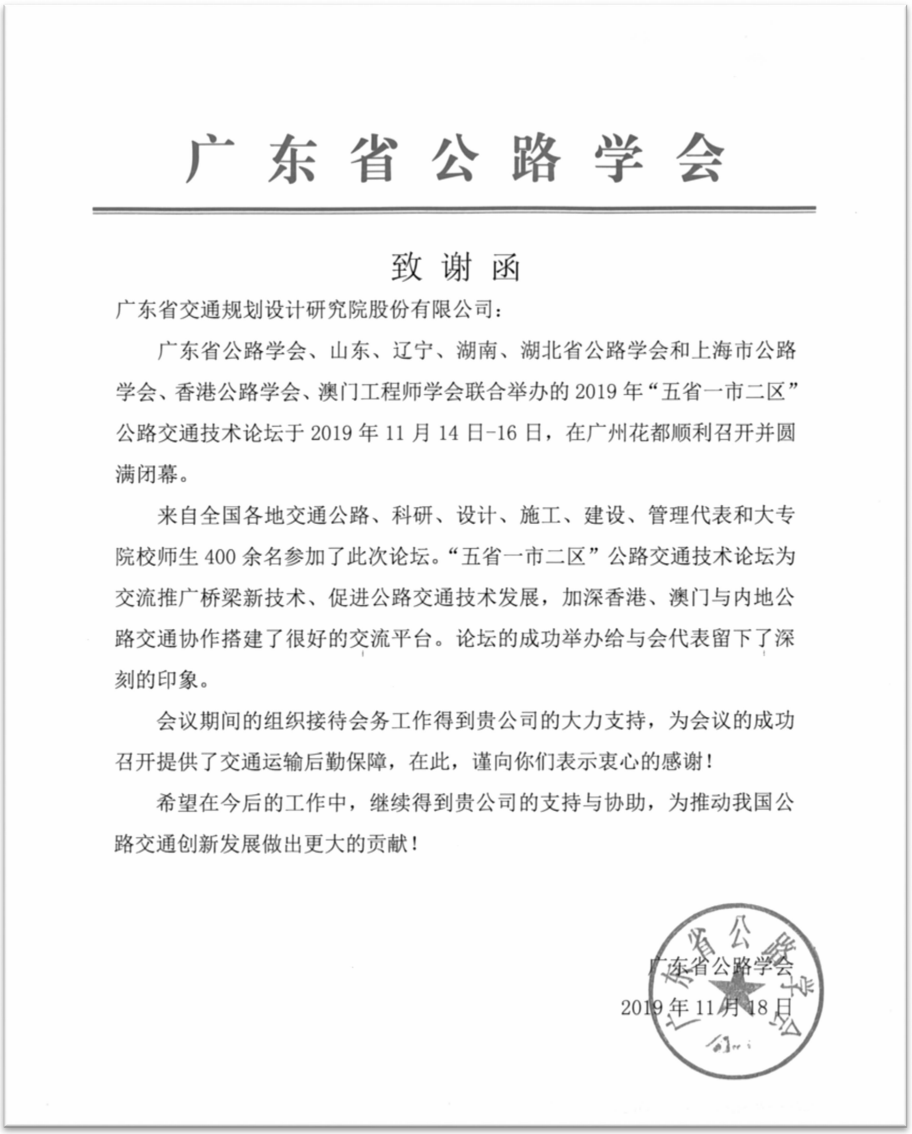
2019 年“五省一市二区”公路交通技术论坛在花都成功召开

近日，由我公司协办，由广东、山东、辽宁、湖南、湖北省公路学会和上海市公路学会、香港公路学会、澳门工程师学会联合举办的 2019 年“五省一市二区”公路交通技术论坛在广州花都顺利召开。此次论坛以“桥梁新结构、新材料、新工艺”为主题，得到了业内的广泛响应。来自全国各地的交通公路、科研、设计、施工、建设、管理代表和大专院校师生等 400 余人参加了本次论坛。

论坛开幕式由广东省公路学会理事长陈冠雄主持。广东省交通运输厅副厅长贾绍明、“五省一市二区”学会代表兼上海市公路学会理事长戴晓坚分别为大会致开幕辞。

论坛围绕“桥梁新结构、新材料、新工艺”的主题，总结交流了我国公路交通桥梁建设、设计、养护和运营管理等方面的新结构、新材料和新工艺的应用研究和成功经验，对公路桥梁技术的进步和推广发挥了积极的促进作用。

本次论坛还为《广东公路交通》期刊征集优秀论文，并编辑出版专刊。我公司孙向东副总工程师等人所撰写的《超高性能混凝土桥梁设计与施工关键技术问题探讨》以及黄森华工程师所撰写的《超宽整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构的静、动力分析》收入了专刊。



广东省公路学会

致谢函

广东省交通规划设计研究院股份有限公司：

广东省公路学会、山东、辽宁、湖南、湖北省公路学会和上海市公路学会、香港公路学会、澳门工程师学会联合举办的 2019 年“五省一市二区”公路交通技术论坛于 2019 年 11 月 14 日-16 日，在广州花都顺利召开并圆满闭幕。

来自全国各地交通公路、科研、设计、施工、建设、管理代表和大专院校师生 400 余名参加了此次论坛。“五省一市二区”公路交通技术论坛为交流推广桥梁新技术、促进公路交通技术发展，加深香港、澳门与内地公路交通协作搭建了很好的交流平台。论坛的成功举办给与会代表留下了深刻的印象。

会议期间的组织接待会务工作得到贵公司的大力支持，为会议的成功召开提供了交通运输后勤保障，在此，谨向你们表示衷心的感谢！

希望在今后的工作中，继续得到贵公司的支持与协助，为推动我国公路交通创新发展做出更大的贡献！

广东省公路学会

2019 年 11 月 18 日

我公司高度重视此次论坛的协办工作，派出会务团队全程跟进、积极配合、倾力服务，为会议的成功召开贡献了一份力量，得到了主办方广东省公路学会的高度肯定。为此，省公路学会特发来致谢函向我公司表示感谢！

（报道者：刘祥兴）

方案汇报大赛圆满结束

根据公司 2019 年“全员参与共成长，喜迎建国七十年”主题文化实践活动安排，为提升公司专业技术人员的汇报能力，充分展现员工风采，公司组织开展了 2019 年度方案汇报大赛活动，并已于 9 月 16 日圆满完成了初赛工作。

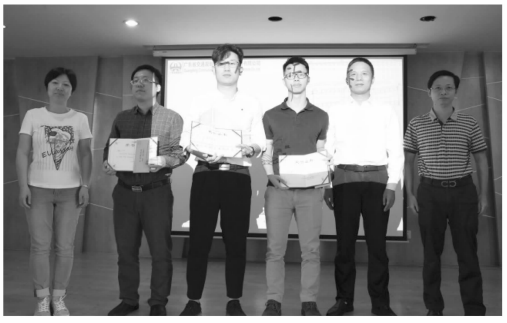
经过初赛选拔，在 35 位初赛选手中共有 10 位选手脱颖而出，进入了 10 月 28 日的决赛环节。公司总经理黄湛军先生亲自出席活动现场并担任决赛评委。一同担任决赛评委的还有：公司副总经理李琴女士、副总经理姜启珍先生、总经理助理兼综合管理办公室主任陈贤文先生、首席副总工程师彭向荣先生以及副总工程师王景奇先生。

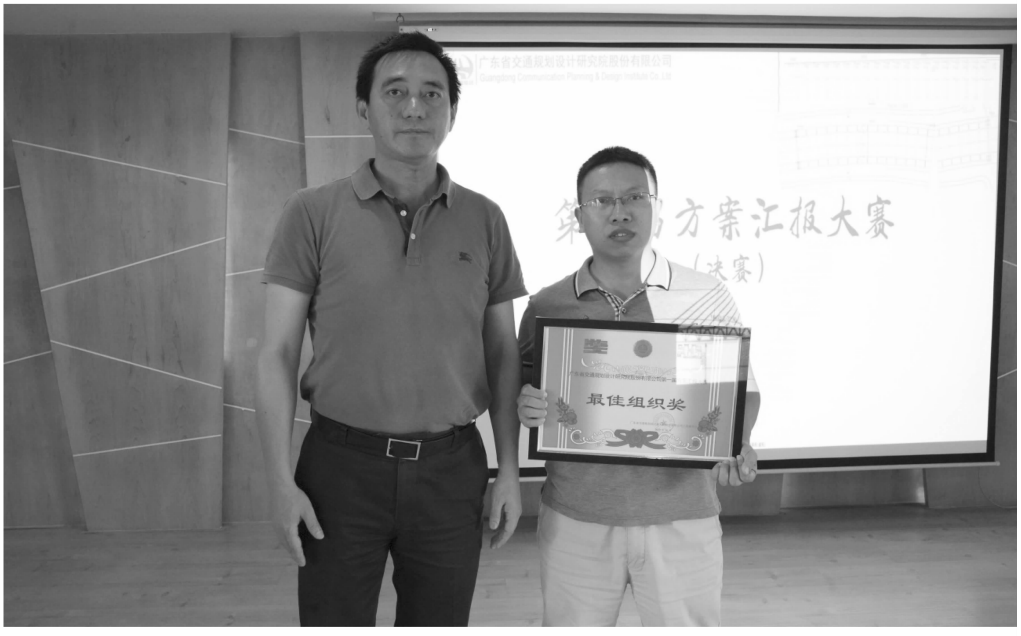
在决赛中，10 位选手模拟面向业主单位进行项目汇报，内容涵盖了公路、桥梁、立交、隧道、交通工程、市政道桥、给排水、风景园林等多项业务。各位选手汇报过程条理清晰、重点突出，为评委和观众呈现出了一个个精心设计的方案；汇报风格或严谨沉稳，或活泼生动，展示出了不同的思维方式与历练经验，都具有相当鲜明的个人特色。在每位选手汇报结束后，评委组从“汇报内容逻辑结构是否清晰”、“PPT 制作是否美观”以及“选手个人现场表现是否大方得体”这三方面进行打分。

在 10 位选手都汇报完毕后，黄湛军总经理对各位选手的表现逐一进行了细致而精彩的点评。他认为，本次的方案汇报大赛是一次高水平的比赛，不仅技术水平高，而且创新能力强，让观众对方案汇报与 PPT 的制作又有了新的认识和启发；每位参赛选手都能以认真负责的态度精心准备，完美呈现了一场高质量的比赛。

黄总经理要求各部门、分院、子公司高度重视项目汇报工作，并组织设计人员认真观摩学习比赛影像资料，在企业内部形成“比学赶超”的浓厚氛围，不断提升设计人员的汇报能力和汇报水平，塑造良好的公司品牌形象。

最终，来自市政设计分院的彭雅微凭借精彩的表现夺得了特等奖；第四设计分院徐德志和第五设计分院张旸获得一等奖；市政设计分院王兴伟以及规划与交通工程分院阮文、关小杰获得二等奖；第三设计分院邝清娴、第四设计分院梁振宇以及市政设计分院张施晗、丰柱林获得三等奖；市政设计分院获得最佳组织奖。





（报道者：曹菁菁）

超高性能混凝土桥梁设计与施工关键技术问题探讨

孙向东
(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

摘　要: 结合国外技术规范及指南、国内外研究成果及工程实践,探讨超高性能混凝土(UHPC)材料组分和最低抗压强度、UHPC 桥梁设计理论和施工工艺等关键问题。对比法国标准与中国标准的差别,结合工程案例,论述预应力无主筋 UHPC 桥梁结构优点,总结抗弯、抗剪、抗裂、疲劳和刚度设计方法。针对 UHPC 收缩较大、纤维取向不均和气孔等不足,探讨提升设计理念、改进施工工艺,促进 UHPC 桥梁结构工业化发展。

关键词: 超高性能混凝土(UHPC),设计理论,施工工艺,控制措施

0　前言

超高性能混凝土(Ultra - High Performance Concrete,简称 UHPC),一般需掺入钢纤维或聚合物纤维,也被称为超高性能纤维增强混凝土(UHPFRC)。UHPC 以超高的强度、韧性和耐久性为特征,成为实现水泥基材料性能大跨越的新体系。UHPC 不同于传统的高强混凝土(HSC)和钢纤维混凝土(SFRC),也不是传统意义的高性能混凝土(HPC)的高强化改性,而是性能指标明确、具有新本构关系和结构寿命的水泥基结构工程材料。“超高性能”表征的是同时具有超高强度、高韧性、低渗透性和高体积稳定性等优异性能,具体到工程实践,尚应具备高工作性能。UHPC 研究始于法国,法国基于欧洲规范,形成体系完备的设计、施工和产品技术标准。其后德国、瑞典、美国、加拿大、日本、韩国和马来西亚等国家陆续展开研究,并编制本国标准或指南。中国编制了《活性粉末混凝土》(GB/T 31387 - 2015),但是它仅为材料的标准,还缺乏工程设计和施工的标准与规范。UHPC 已成为土木工程领域研究的热点。2018 年 12 月 4 日,由中国工程院战略咨询中心、科睿唯安以及高等教育出版社共同完成的《全球工程前沿 2018》报告在中国工程院发布超高性能和智能水泥基复合材料位列土木、水利与建筑工程前沿发展态势的第 2 位。

目前可以根据设计、施工差异需求提供相应的 UHPC 材料配比;基本明晰 UHPC 微观结构特征和水化硬化机理,材料领域研究趋于成熟,但尚未建立可靠的 UHPC 本构关系。UHPC 抗弯受力机理清晰,各国规范除可靠度水平外,基本一致,UHPC 抗剪受力机理尚未取得共识,但相关公式具有足够的安全冗余,可基本满足工程实践需要,总体而言设计理论尚需深入研究,结构高度和板件厚度等构造要点需结合工程实践总结。

UHPC 虽已广泛应用于桥梁工程主梁、主拱、华夫板桥面板、桥梁接缝及旧桥加固等方面,但工程性质多侧重于研究和实验, UHPC 桥梁规模化、工业化建造成为行业发展的瓶颈。

1　UHPC 材料组分和最低抗压强度探讨

UHPC 材料组分一般包括石英砂、水泥、硅灰、钢纤维和高效减水剂等,是否包含粗骨料组分是值得探讨的关键问题。UHPC 材料结构基于密实度最大理论设计,微观结构要求密实度无限发展,以提升强度、韧性和耐久性;宏观工作性能要求密

实度不能超过临界阀值,避免过大稠度导致浇筑困难和含气量增加。因此对于低标号、非主要受力 UHPC 构件,如法国规范所示,含有最大粒径小于 10 mm 的粗骨料,此时钢纤维长细比适当加大,降低 UHPC 收缩的同时,保证 UHPC 韧性;对于高标号和主要 UHPC 结构,此时宜取消粗骨料,即可根据工程需要,决定 UHPC 组分是否包含粗骨料。

UHPC 抗压强度是其最主要的技术指标,但各国标准规定的 UHPC 最低抗压强度指标不尽相同。早期标准规定较高,如法国 2001 年和 2013 年指南、日本 2004 指南均定为 150 MPa,韩国 2012 年的指南更达到 180 MPa。然而,过高的抗压强度难以充分发挥作用,随着行业的发展和人们对 UHPC 认识的深入,目前 UHPC 最低抗压强度有降低的趋势,如法国 NF P 18 – 470 定为 130 MPa,瑞士 SIA 2052 和美国 ASTM C1856/1856M – 17 定为 120 MPa。结合目前国内、外工程应用实践,将 UHPC 最低抗压强度定为圆柱体轴心抗压强度 120 MPa 和 130 MPa 较为合适,合适的 UHPC 最低强度有利于材料组分的调整,利于降低施工难度和工程造价,提升 UHPC 竞争力,有助于 UHPC 的推广和应用。

2　UHPC 桥梁设计理论

2.1　设计标准和可靠度水平

在 UHPC 发展过程中,各国相继编制了设计标准和指南,其中法国设计标准 NF P 18 – 710 基于《欧洲混凝土结构设计规范》EN – 1992 – 1 – 1 编制,并有材料标准 NF P 18 – 470 和建造标准 NF P 18 – 451 支持,其技术较为先进,体系较为完备,各国发展各自 UHPC 设计标准时,均不同程度的借鉴法国设计标准。鉴于设计标准在中国具有极高行业引领地位,缺乏 UHPC 相关标准是制约中国 UHPC 发展的主要阻力之一,中国应尽快推出适合国内发展水平的规范或标准。在编制 UHPC 设计标准时,应充分研究规范内涵,应探讨国外标准和中国标准的差异,保持合理的可靠度水平,确保 UHPC 桥梁结构安全性的同时提升经济竞争能力。

中国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362 – 2018)(以下简称“桥规”)与国家标准《混凝土结构设计规范》(GB5010 – 2010)在混凝土试件类型、强度参数定义和可靠度水平保持一致;而与欧洲《混凝土结构设计规范》EN – 1992 – 1 – 1 则存在差异。中国分别用 150 × 150 × 150 mm 立方体试件和 150 × 150 × 450 mm 棱柱体试件 28 天 95% 保证率抗压强度确定混凝土强度等级(f_{cuk})和轴心抗压强度标准值(f_{ck},为与欧规区别,本文简写为 $f_{ck,中}$)。欧洲用直径 150 mm、高 300 mm 圆柱体试件 28 天 95% 保证率抗压强度确定混凝土强度等级(f_{ck},为与中国规范区别,本文简写为 $f_{ck,欧}$)。中国和欧洲混凝土设计强度(f_{cd})分别由公式(1)和(2)获得。

$$f_{cd}=\frac{f_{ck,中}}{\gamma_{fc}}=\frac{\alpha k_1 k_2 f_{cuk}}{\gamma_{fc}} \tag{1}$$

式中:α—为棱柱体试件抗压强度和立方体抗压强度平均值之间换算系数,一般取 0.78 ~ 0.82;

k_1—实际构件与试件的混凝土因品质、制造工艺、受荷条件和环境等不同的换算系数 0.88;

k_2—脆性折减系数,;

γ_{fc}—材料分项系数 1.45。

$$f_{cd}=\frac{\alpha_{cc} f_{ck,欧}}{\gamma_c} \tag{2}$$

式中:α_{cc}—考虑长期效应和荷载方式换算系数 0.8 ~ 1,对受压和受弯而言取为 0.85,其他情况取为 1.0;

γ_c—材料分项系数,持久、短暂状况取 1.5,偶然状况 1.2。

分析可知,欧洲规范混凝土抗压强度设计值 f_{cd} 大部分比中国规范略小,只在 C55 ~ C67 之间比中国规范取值略大,欧洲规范比中国规范取值小约 5%。法国 UHPC 设计标准基于欧洲规范编制,但一般为直径 110 mm、高 220 mm 圆柱体试件,生产检测阶段则采用 100 × 100 × 100 mm 立方体试件;立方体试件比圆柱体试件强度等级一般高 15 MPa。设计强度仍为 $f_{cd}=\alpha_{cc} f_{ck,欧}/\gamma_c$,$\alpha_{cc}$ 取 0.85,

γ_c 保持不变。

中国 UHPC 目前标准采用 100 × 100 × 100 mm 立方体试件,设计强度取值尚未统一和明确,学习借鉴法国规范时应关注轴心抗压强度标准值 $f_{ck,欧}$ 与 $f_{ck,中}$ 参数和材料等系数体现的差异,合理控制可靠度水平。法国 UHPC 设计标准钢筋和钢绞线材料分项系数 γ_s 均为 1.15,与桥规钢筋材料分项系数 1.2 接近,但桥规钢绞线等效屈服强度 0.85 f_{pk} 对应的材料分项系数为 1.25,当按照钢绞线强度标准值 f_{pk} 计算时,钢绞线材料分项系数为 1.47,取值较法国 UHPC 设计标准偏大,对预应力 UHPC 结构构造和经济性有一定影响,编制国内标准或指南时应关注钢绞线合理分项系数和结构可靠度水平。

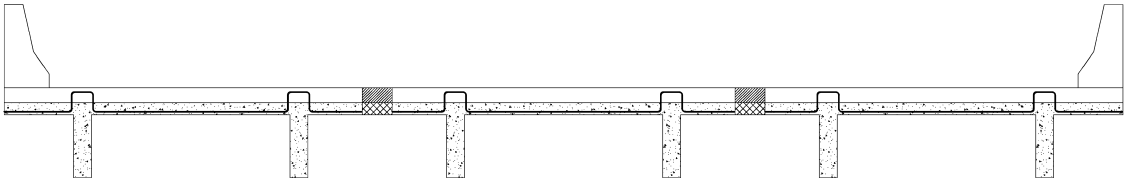
2.2　概念设计及结构体系

根据法国 UHPC 标准,可采用无钢筋 UHPC、钢筋 UHPC、预应力有钢筋和预应力无钢筋 UHPC 结构。因足量的钢纤维使 UHPC 具有弯剪韧性,法国规范支持采用预应力无主筋结构设计。预应力无主筋 UHPC 结构充分利用 UHPC 的超高抗压强度和预应力筋的超高抗拉强度,满足抗弯要求;充分发挥钢纤维混凝土超过韧性,满足抗剪要求;做到构件纤薄,与常规混凝土相比,自重降低约 20 ~ 40%,实现轻质、高强结构,提升上部结构跨越能力的同时,降低下部结构竖向承载力要求及地震响应;同时考虑耐久性的提升,预应力无主筋结构受力、经济、耐久,综合性能更佳。对于有钢筋混凝土 UHPC 结构,虽然 UHPC 抗拉强度对抗弯承载能力贡献有限;但在正常使用极限状态下,当钢筋应力超过 160 MPa 时,UHPC 裂缝宽度较小。有钢筋 UHPC 更适合现浇或异形结构、压弯结构或冷缝接头关键构造。预应力无钢筋 UHPC 结构与有钢筋 UHPC 相比,经济性略佳,详见表 1。

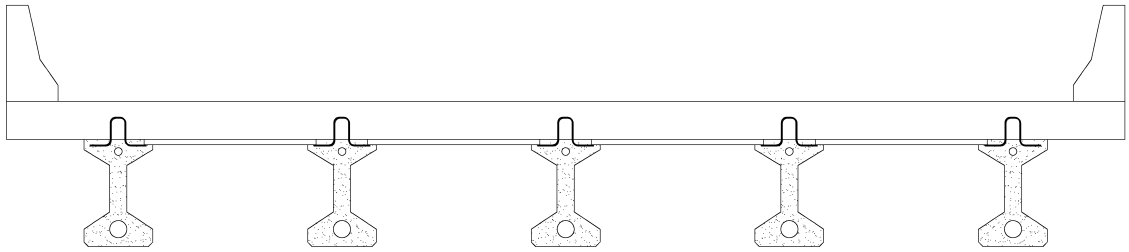
表 1　16 m 预制 UHPC 工字梁上部结构经济性比较表

比较项目	16 m 预应力无筋 UHPC 工字梁	16 m 预应力有筋 UHPC 工字梁	16 m 有筋(无束) UHPC 工字梁
预制梁板高/cm	62	62	75
现浇砼层厚/cm	15	15	15
UHPC 指标/(m^3/m^2)	0.09	0.10	0.12
预应力钢材指标/(kg/m^2)	15.95	15.95	0.00
钢筋指标(不含桥面板)/(kg/m^2)	4.88	28.52	76.79
吊装重量/t	5.0	5.2	7.3
经济指标/(元/m^2)	1 915.0	2 068.2	2 585.3
估算造价比	1	1.08	1.35

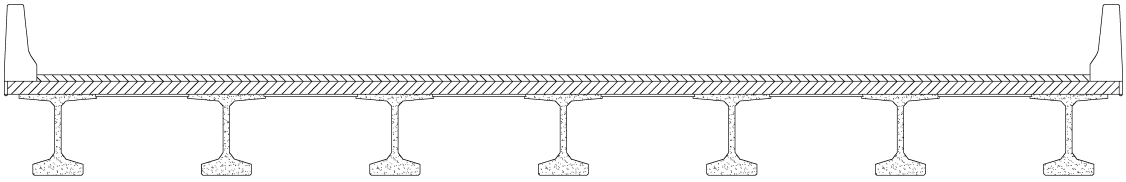
对于预应力无钢筋 UHPC 梁式结构,6 – 10 m 跨建议采用先张法板肋结构、13 – 16 m 跨建议采用先(后)张法工字梁、20 – 30 m 跨建议采用先(后)张法 T 形梁、35 – 100 m 跨建议采用体内体外混合配束节段预制拼装 U 形梁,详见图 1。UHPC 也适用于拱桥、斜拉桥等结构体系。



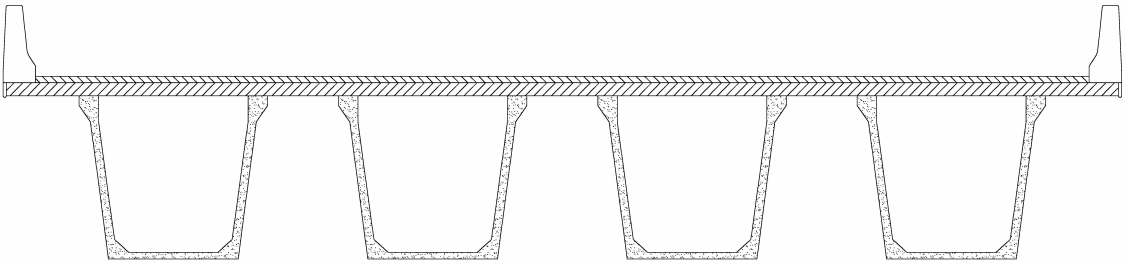
a)先张法板肋结构断面图



b)工字梁结构断面图



c)T 形梁结构断面图



d)U 形结构断面图

图 1　预应力无钢筋 UHPC 梁式结构

2.3　具体设计

2.3.1　抗弯设计

UHPC 桥梁结构一般主梁采用 UHPC，桥面板采用常规现浇或预制 RC 钢筋混凝土，实质是不同混凝土的组合结构。UHPC 超过强度和韧性，难以展现同时发生混凝土压溃和钢绞线断裂的适筋破坏特征。因此有必要建立 RC、UHPC 和钢绞线等可靠的本构关系，形成考虑安全系数的数值应力－应变关系，根据平截面假设，确定某种材料达到极限强度时，截面的抗弯承载能力。通过本构关系求解抗弯承载能力，适应组合结构的特性和实际破坏模式，规避常规混凝土分析假设，提高计算精度。

2.3.2　抗剪设计

目前，针对 UHPC 梁抗剪性能的研究不多，一般采用极限平衡法、修正压力场理论、塑性理论和桁架模型理论进行分析，总体而言前三种更适合预应力无钢筋 UHPC 结构抗剪设计。其中修正压力场理论安全冗余最大，法国 UHPC 标准也根据该理论编制。预应力无钢筋 UHPC 结构抗剪承载能力由混凝土 $V_{\mathrm{Rd,c}}$ 和纤维 $V_{\mathrm{Rd,f}}$ 两部分组成，详见公式(3)和(4)。

$$V_{\mathrm{Rd,c}}=\frac{0.24}{\gamma_{\mathrm{cf}}\gamma_{\mathrm{E}}}k\sqrt{f_{\mathrm{ck,欧}}}\ b_{\mathrm{w}}z=\frac{0.24}{\gamma_{\mathrm{cf}}\gamma_{\mathrm{E}}}k\sqrt{f_{\mathrm{cuk}}-15}\ b_{\mathrm{w}}z \quad (3)$$

式中：K—纤维整体分向系数，取 1.25；

b_{w}—受拉截面最小宽度；

Z—内力臂，不加普通钢筋为 0.9d，d 为受压区与纵向预应力筋间距；

$\gamma_{\mathrm{cf}}\gamma_{\mathrm{E}}$—综合安全系数，可取 1.5。

$$V_{\mathrm{Rd,f}}=A_{\mathrm{fv}}\sigma_{\mathrm{Rd,f}}\cot\theta \quad (4)$$

式中：$\sigma_{\mathrm{Rd,f}}$—为垂直于沿剪切裂缝倾角 θ 的产生裂缝后的强度；

K—纤维整体分向系数，取 1.25；

γ_{cf}—材料分项系数，取 1.3；

$A_{\mathrm{fv}}=b_{\mathrm{w}}Z$，符号意义同公式(3)。

$$\sigma_{\mathrm{Rd,f}}=\frac{1}{Kr_{\mathrm{cf}}}\frac{1}{w^{*}}\int_{0}^{w^{*}}\sigma_{\mathrm{f}}(w)\,dw \quad (5)$$

$$w^* = \max(w_u; 0.3\text{mm}) \tag{6}$$

法规规范 $\sigma_{Rd,f}$ 为积分公式,物理意义是从 UHPC 初裂开始,到 0.3 mm 裂缝过程中平均抗拉强度决定的斜截面强度。纤维 $V_{Rd,f}$ 是预应力无钢筋 UHPC 结构抗剪承载能力抗主要组成部分,中国标准宜通过抗剪实验深入研究,合理确定可靠度水平并提出相应 UHPC 平均抗拉强度,从而简化抗剪计算公式。

2.3.3　抗裂设计

对于不加钢筋的 UHPC,裂缝宽度需满足公式(7):

$$w_{t,a} = \left(\varepsilon_{t,a} - \frac{f_{ctm,el}}{K \cdot E_{cm}}\right) \cdot L_c \leqslant W_{max} \tag{7}$$

式中:$\varepsilon_{t,a}$—最大应变;

$f_{ctm,el}$—抗拉弹性极限强度平均值;

E_{cm}—弹性模量;

w_{max}—为最大裂缝限值;

K—纤维整体分向系数,取 1.25;

L_c—特征长度 $L_c = 2/3 \cdot h$,其中 h 为截面的高度。

对于预应力无钢筋 UHPC 结构,一般采用全预应力设计,无需进行裂缝宽度计算。

2.3.4　疲劳设计

UHPC 桥梁结构轻型化后,宜关注循环荷载作用下的疲劳性能。受压 UHPC 疲劳按公式(8)设计;长期工况和施工阶段抗拉疲劳按公式(9)设计。

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{ck,欧}} \leqslant 0.4 + 0.4\frac{\sigma_{c,min}}{f_{ck,欧}} \tag{8}$$

式中:$\sigma_{c,max}$ 和 $\sigma_{c,min}$ 分别为疲劳荷载最大和最小受压应力;

$$\sigma_t \leqslant 0.95\ \min(f_{ctk,el}; f_{ctf}/K) \tag{9}$$

式中:σ_t—作用组合拉应力;

$f_{ctk,el}$,f_{ctf}—弹性极限抗拉强度和开裂后抗拉强度。

对于预应力无钢筋 UHPC 结构,一般采用全预应力设计;特征组合作用下,压应力一般小于 $0.6 f_{ck欧}$,无疲劳问题。故预应力无钢筋 UHPC 结构一般不需要进行疲劳设计。

2.3.5　刚度设计

最新研究揭示混凝土桥梁的车桥耦合振动不明显,UHPC 梁式桥梁结构刚度仍按照 L/600 作为活载挠度限值基本可行。但随着 UHPC 结构的轻型化,宜关注实桥工作性能和长期服役能力。

2.3.6　构造设计

UHPC 梁桥构件顶板、底板、腹板厚度宜不小于 100 mm,板式构件厚度不小于 50 mm,保护层厚度不小于 20 mm,直筋锚固长度不小于 5 d。总体而言,UHPC 桥梁工程实践不多,服役时间不长,尚需进一步积淀 UHPC 的构造、配筋、配束相关经验。

3　工程案例

将上述设计理论应用于实际工程中,下面对部分工程进行简单介绍。

3.1　板肋式 UHPC 结构

某农村公路桥梁,桥跨 8 m,桥宽 660 cm,断面形式采用 π 形板肋结构,预制 UHPCπ 梁宽 220 cm,预制梁高 50 cm,顶板厚 8 cm,肋宽 12 cm,采用无筋先张预应力体系,现浇钢筋混凝土顶板厚 16 cm,桥梁断面如图 2 所示。

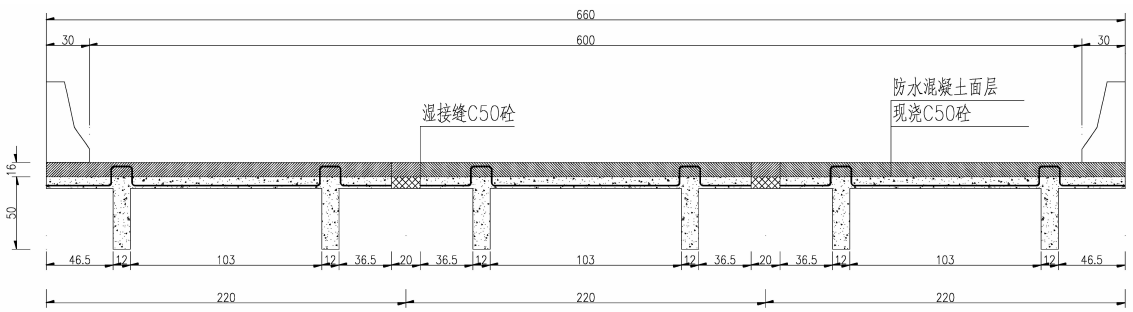


图 2　8 m 跨预应力无钢筋肋板式 UHPC 结构

3.2　工字形 UHPC 预制梁

某高速公路匝道桥梁，桥跨 16 m，桥宽 850 cm，断面形式采用工字形预制梁，梁间距 145 cm，预制 UHPC 工字梁宽 40 cm，预制梁高 62 cm，腹板厚 10 cm，采用无筋后张预应力体系，现浇钢筋混凝土顶板厚 15 cm，桥梁断面如图 3 所示。

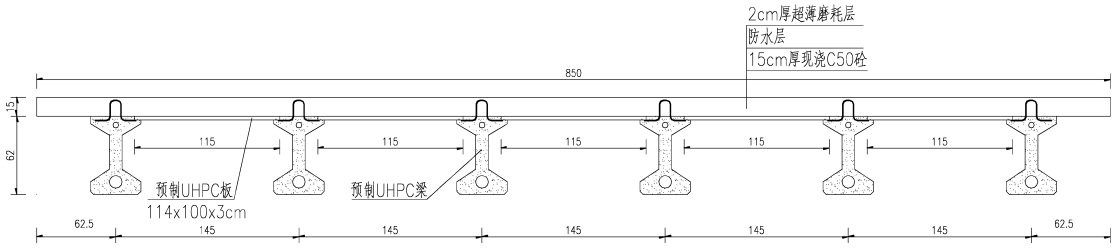


图 3　16 m 跨预应力无钢筋工字形 UHPC 结构

3.3　T 形 UHPC 预制梁

某省道桥梁，桥跨 25 m，桥宽 1 550 cm，断面形式采用 T 形预制梁，梁间距 230 cm，预制 T 形 UHPC 预制梁顶板宽 120 cm，预制梁高 125 cm，腹板厚 10 cm，采用无筋先张预应力体系，现浇钢筋混凝土顶板厚 20 cm，桥梁断面如图 4 所示。

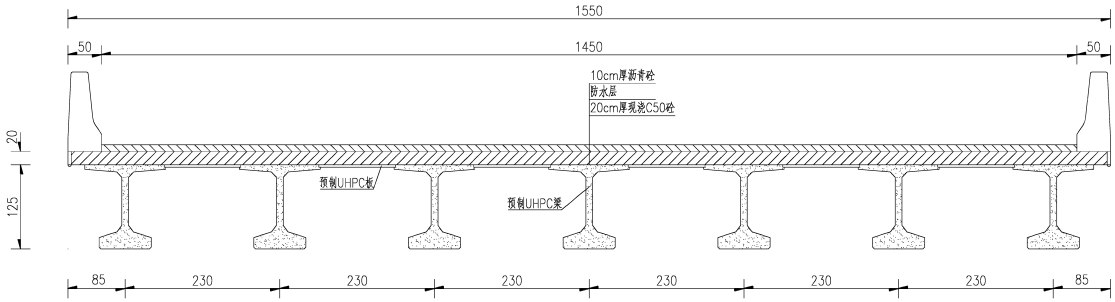


图 4　25 m 跨预应力无钢筋 T 形 UHPC 结构

3.4　π 形 UHPC 人行桥

某人行天桥，桥跨 30 + 30 m，桥宽 430 cm，断面形式采用 π 形预制梁，预制 T 形 UHPC 预制梁顶板宽 430 cm，预制梁高 130 cm，顶板厚 10 cm，腹板厚 10 cm，采用无筋后张预应力体系，桥梁断面如图 5 所示。

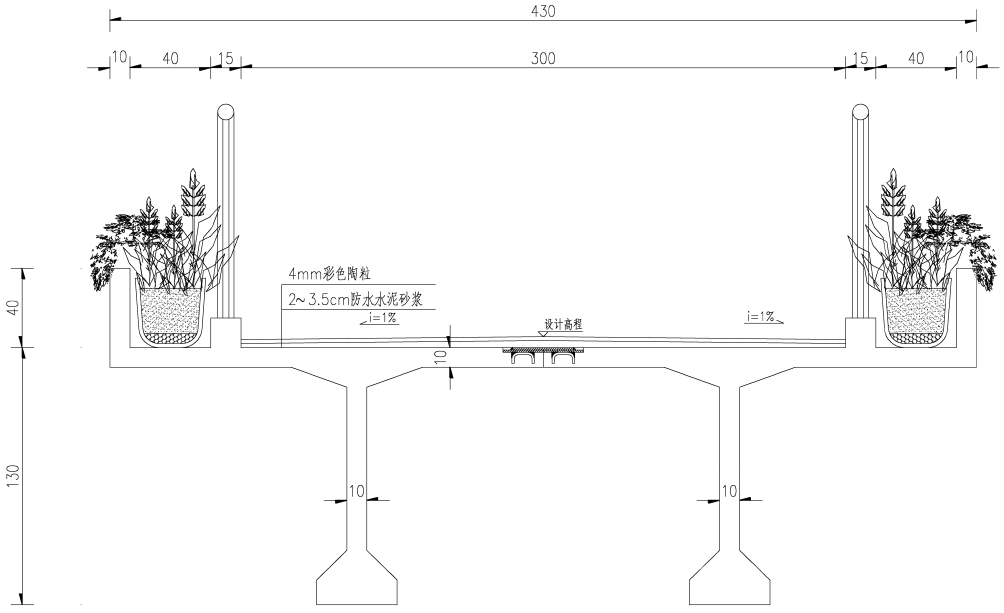


图 5　30 m 跨预应力无钢筋 π 形 UHPC 天桥

部分工程已经顺利实施并运营,通过成桥试验和足尺试验,验证了设计方法及结构体系的可靠性,设计方法具备一定的相关工程实践的指导意义,结构体系具有较强的工程参考价值。

4　UHPC 桥梁关键施工工艺

UHPC 具有超高的强度、韧性和耐久性等诸多优点,但也需面对其收缩较大、纤维取向不均和气孔不易控制等不足。

4.1　收缩开裂控制措施

由于 UHPC 组分以硅灰、水泥等胶凝材料为主,具有收缩应变大的天然属性,一般达到 500 ~ 800 με,当约束收缩应力大于强度形成初期 UHPC 材料抗拉强度时,容易在拆模后出现开裂现象。在初凝及在模具中初始硬化时进行热养护,利于形成早期强度,可改善开裂;在脱模后热养护,可显著减小收缩应变残值,甚至为零。为防止收缩开裂,法国 UHPC 标准规定应合理设置模板接头,释放约束收缩应变。对不能释放的约束收缩应变不宜简单由施工解决,设计需通过控制预制构件长度、避免截面突变约束降低,并将最终脱模之前约束应变进行定量分析。综合而言,宜深入研究 UHPC 材料组分,探讨加入膨胀剂和小直径骨料降低收缩应变。优化结构构造,避免过长构件和截面突变;进行施工工艺试验,合理确定拆模时间;减小模板约束,尽量释放收缩变形;构件浇筑时,尽量控制环境湿度和温度,尽量做到恒温恒湿,做到工厂化生产。

4.2　纤维分布控制措施

UHPC 纤维分布受制备和浇筑工艺影响显著。研究揭示纤维分布对抗弯刚度没有明显影响,而对强度影响较为敏感。因纤维取向不同,垂直浇筑梁试件比水平浇筑梁试件强度降低 5 倍,水平和垂直浇筑梁试件纤维分别垂直和平行裂纹表面,垂直浇筑梁破坏面更加光滑,水平浇筑梁破坏面较为粗糙。UHPC 抗弯强度也与入模浇筑方式相关,与多方向入模相比,单端浇筑混凝土强度显著增加,因为较强的纤维取向平行流动方向,中点浇筑峰值强度低于快速分层浇筑。

因纤维分布显著影响结构强度,宜深入工艺研究,形成利于结构受力纤维取向,提供 UHPC 结构可靠度水平,降低材料用量,提高 UHPC 竞争力。

4.3　减少气孔控制措施

由于 UHPC 过低的水胶比导致拌合物粘稠度高,搅拌过程中容易引入较多气泡,影响构件受力性能和表观质量。UHPC 含气量一般为 0.3% ~5.4%;基于微观结构分析,硬化混凝土中包含四种形式的孔,包括毛细孔、凝胶孔、引入孔和嵌入孔。毛细孔、凝胶孔由水化过程中形成,毛细孔的孔径一般为 5 nm ~ 1 μm,凝胶孔的孔径为 1 nm ~ 3 nm,二者孔径较小,影响不大。引入孔,指使用引气剂或其他具有引气效果的物质人为引入的气泡,一般为球形,直径一般为 5 μm ~ 1 000 μm;嵌入孔,指搅拌过程中从空气中混入的空气困在混凝土中形成的气孔,一般为球形,直径一般大于 1 000 μm,引入孔和嵌入孔是关注的重点。相同条件下,消泡剂的掺入能降低 UHPC 塑性粘度和屈服剪切应力,提高其流动性。可以有效减少搅拌过程中引入的气泡量。搅拌速率的提高能降低 UHPC 的含气量;相同搅拌速率下,存在最优搅拌时间;相同搅拌速率下,搅拌时间增长,小直径孔的比例增大,气泡结构得到一定的改善,从而提高 UHPC 的强度。

总之,应深入工艺研究,合理控制搅拌速度、合理控制搅拌时间、合理控制振捣时机、合理利用消泡剂可显著降低含气量、气泡直径和改善气泡分布,可消除气泡对 UHPC 强度的不利影响和提升实体品质。

5　总结和展望

UHPC 具有超过强度、韧性、耐久性,显著降低结构自重,提升跨越能力,节省材料,利于预制

(下转第 31 页)

矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间效应分析

范学明[1]，万志勇[2]，彭亚军[2]，彭李立[2]，孙向东[2]
（1. 华南理工大学；2. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州 510507）

摘　要：宽幅混凝土矮塔斜拉桥由于其桥型优美，受力性能好，经济性好等特点在跨度 150 m 左右的桥梁中具有较强的竞争力。混凝土箱型截面主梁具有承受正负弯矩能力强、抗扭刚度大、截面效率指标高、稳定性好等显著优点。但由于斜拉索的集中锚固，导致混凝土箱梁内部应力分布较为复杂，尤其是对宽幅混凝土箱梁来说空间效应更加明显。本文以主跨 195. 21 m 宽 44. 85 m 的桥梁为研究对象，开展矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间效应分析。主要分析主梁斜拉索锚固区应力分布、主梁顶板和底板的剪力滞效应、主梁横隔板的应力分布、主梁中腹板和边腹板的应力分布差异以及斜拉索索力在主梁桥面板纵向应力扩散规律等。本文揭示了矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间应力分布情况及规律，采取针对性的构造改进或加强局部配筋，以避免箱梁的开裂，进而提高该类桥梁的技术水平。

关键词：大跨径斜拉桥，宽幅混凝土箱梁，空间效应

1　引言

矮塔斜拉桥是一种由塔、梁、索三种基本构件组成的组合桥梁结构体系。这种结构体系受力性能好，构造简单，经济性能与外观都具有一定优势。由于箱型截面梁承受正负弯矩能力强、抗扭刚度大、截面效率指标高、稳定性好等显著优点，斜拉桥主梁往往采用箱形截面作为主梁的截面形式。随着对桥梁通行车道数量要求的不断提高，主梁的箱型截面尺寸越来越宽[1-2]。但由于斜拉桥的斜拉索和桥面连接位置的受力集中，导致混凝土箱梁内部应力分布较为复杂，尤其是对宽幅混凝土箱梁来说空间效应更加明显。如果在桥梁结构的设计和施工过程中忽略这种空间效应，将会导致结构出现不可预测的开裂，并且降低结构的安全储备，甚至导致结构的破坏。目前关于混凝土宽幅箱梁的研究主要集中在普通连续梁桥的剪力滞效应分析[3]和扭转效应研究[5]等，针对斜拉桥的宽幅箱梁的研究尚不充分[6]。

本文以主跨 195. 21 m 宽 44. 85 m 的桥梁为研究对象，开展矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间效应分析。主要分析主梁斜拉索锚固区应力分布、主梁顶板和底板的剪力滞效应、主梁横隔板的应力分布、主梁中腹板和边腹板的应力分布差异以及斜拉索索力在主梁桥面板纵向应力扩散规律等。

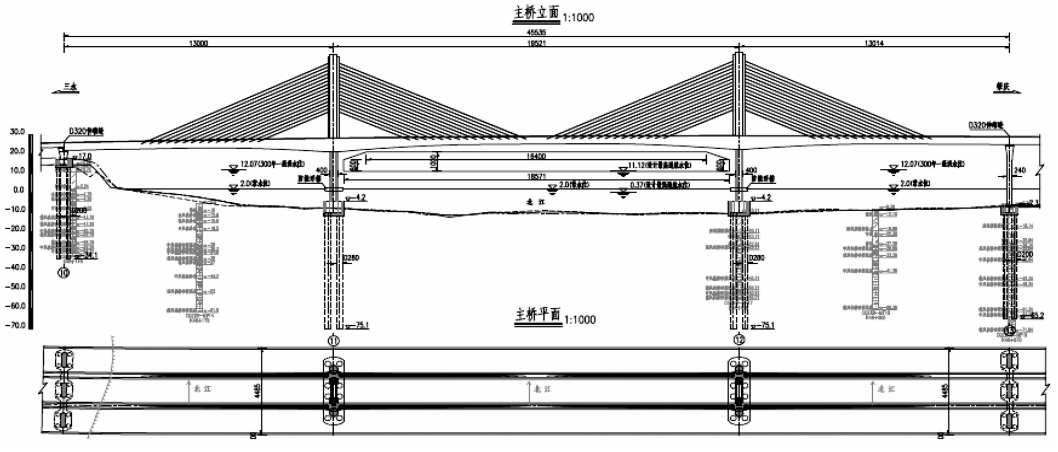


图 1　桥型总布置图

2　桥梁概况

大桥主跨 195.21 m,桥宽 44.85 m,如图 1 所示。主桥采用双塔三跨塔梁墩固结体系矮塔斜拉桥,主桥桥跨布置为 130 m + 195.21 m + 130.14 m。结构体系采用刚构体系(塔、梁、墩均固结的结构体系)。主塔为 H 型塔,主塔高度为 42 m,钢筋混凝土结构,截面为矩形。

主梁采用三向预应力混凝土结构,采用变高度斜腹板单箱四室宽幅脊梁断面,如图 2 所示。主梁顶板宽 44.85 m,悬臂长 6.83 m。结合人行道栏杆底座和箱梁翼板饰带,适当增强了翼板端小纵梁,以适应和优化宽幅脊梁断面受力特点。跨中梁高 3.5 m,主塔根部梁高 6.5 m,梁底曲线按 1.8 次抛物线变化。

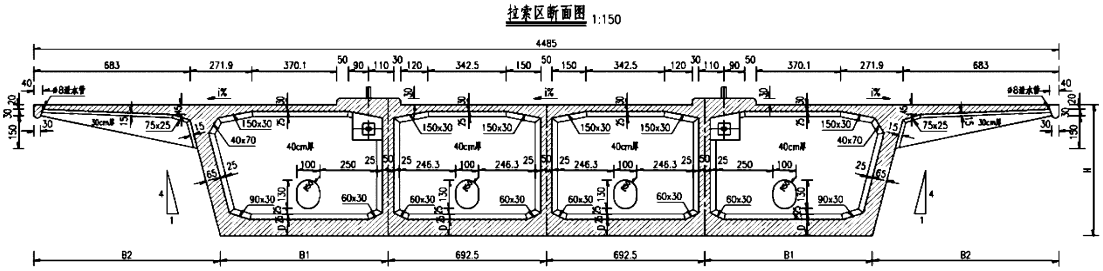


图 2　主梁横断面图

3　有限元模型

采用有限元分析程序 MIDAS/FEM 对大桥主梁进行节段建模分析。考虑到结构为纵横向对称结构,因此局部分析有限元模型为 1/8 主梁模型。模型混凝土结构主要包括箱梁、横隔板、翼缘板加劲肋、斜拉索锚块、预应力齿板,钢材结构包括纵向预应力钢束、横向预应力钢束和竖向预应力钢束。箱梁模型采用四面体单元进行建模,斜拉索开孔、锚垫板附近处加密划分,共 1043720 个单元和 416716 个节点。有限元模型图如图 3 至图 4 所示。计算荷载按照桥梁结构设计规范涉及了结构自重、三向预应力、斜拉索索力、二期荷载以及车辆荷载的影响,并在计算过程中考虑了混凝土的收缩徐变效应。

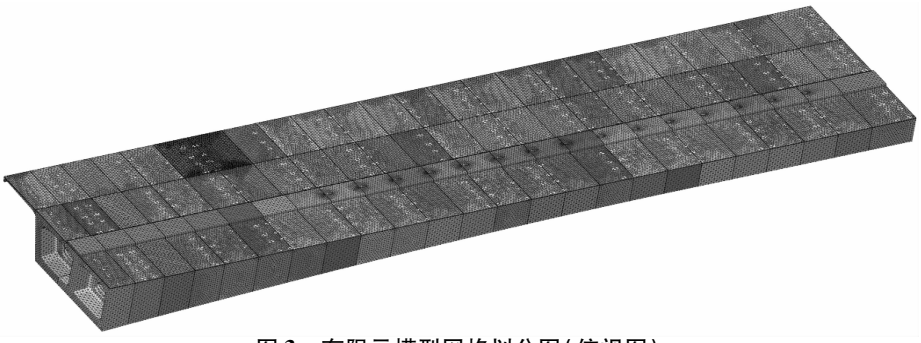


图 3　有限元模型网格划分图(俯视图)

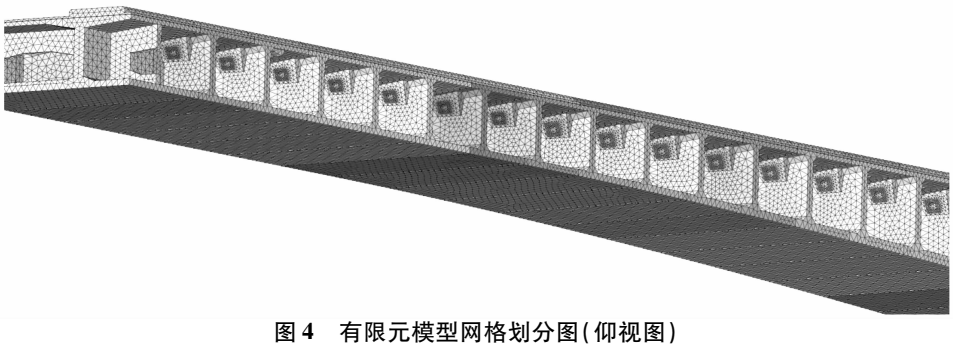


图 4　有限元模型网格划分图(仰视图)

4　有限元分析结果

4.1　主梁斜拉索锚固区应力分布

图 5 至图 6 分别给出了斜拉桥宽幅箱梁锚固区典型的拉应力分布云图和压应力分布云图。从图中可以看出箱梁锚固区在索力直接作用位置小范围出现应力集中现象，极少部分最大主拉应力达 10 MPa 以上，最大主压应力达 －140 MPa。但是应力很快发散，主拉应力基本保持在 1 MPa 以内，主压应力保持在 －10 MPa 以内。锚板下局部应力集中的范围较小，其影响基本局限在锚板下方 0.2 m（大致相当于锚板的尺寸大小）的方块以内。

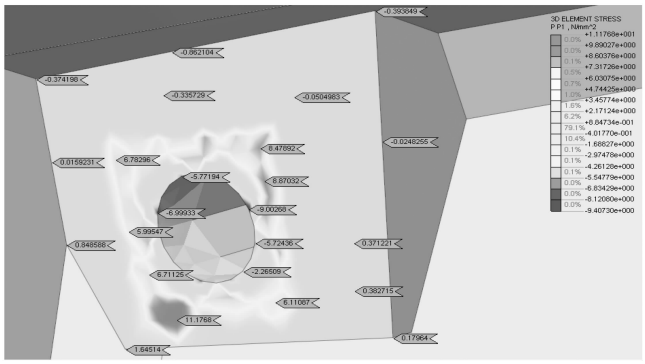


图 5　锚固区主拉应力图（单位：N/mm²）

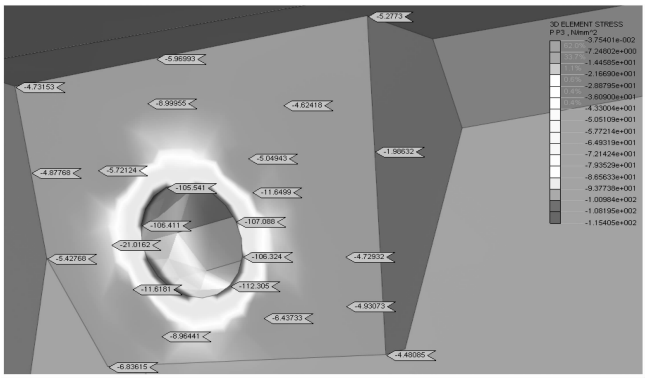


图 6　节锚固区主压应力图（单位：N/mm²）

4.2　剪力滞效应

箱梁结构的剪力滞效应突出，可以通过应力提高系数来定量反映箱梁截面的剪力滞效应的强弱。应力提高系数的计算公式为

$$k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{平均}} \tag{1}$$

式中：k 为应力提高系数，$\sigma_{\max}$ 为截面最大正应力，$\sigma_{平均}$ 为截面平均应力。表 1 给出了各个控制截面顶板和底板的应力提高系数。顶板应力提高系数最大为 1.443，最小为 1.069。该系数呈现出随厚度的增加而增大的趋势，并且无索区的应力提高系数明显小于有索区；底板应力提高系数最大为 1.204，最小为 1.047，呈现出随厚度的增加而减小的趋势。

表 1　各截面顶板及底板应力提高系数

节段号	顶板	底板
7	1.147	1.059
8	1.197	1.047
9	1.443	1.119
10	1.420	1.110
11	1.246	1.058
12	1.222	1.049
13	1.273	1.069
14	1.155	1.188
15	1.077	1.148
16	1.086	1.102
17	1.075	1.122
18	1.069	1.151
19	1.079	1.204

4.3　主梁横隔板及腹板的应力分布

图 7 和图 8 给出了斜拉桥宽幅箱梁横隔板和腹板的典型拉应力分布云图和压应力分布云图。从图中可以看出横隔板角部出现应力集中现象,最大主拉应力达 2.158 MPa,大部分在 -0.5 MPa ~0.5 MPa 之间。主压应力大部分在 -2.0 MPa 左右,在横隔板开孔左右区域减小到 -1 MPa 以内;有索区横隔板的主拉应力大部分在 -0.5 MPa ~0.5 MPa 之间,在横隔板开孔左右区域最大达到 2.8 MPa。主压应力大部分在 -3.0 MPa 左右,在横隔板开孔左右区域减小到 -1 MPa 以内。由此可以看出在横隔板角部位置会出现局部应力集中,为避免出现裂缝,建议需加强此区域配筋。主梁中腹板和边腹板的应力分布相似,主拉应力均小于 0.5 MPa,主压应力在 -5.5 MPa ~ -11.7 MPa 之间。并且由于剪力滞效应,顶板和底板附近应力变化较大。

4.4　主梁翼缘板加劲肋的应力分布

图 9 和图 10 给出了主梁翼缘板加劲肋的应力分布,从图中可以看出拉索区纵桥向各加劲肋的应力相对无索区的大。主梁翼缘板加劲肋最大主拉应力出现在加劲肋最外端,最大达到 2.13 MPa;最大主压应力由内向外逐渐减小,最大为 -12.11 MPa。

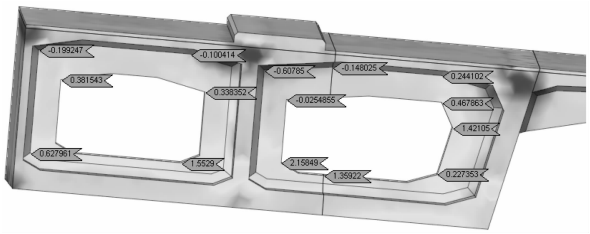


图 7　节段 7 横隔板主拉应力图(单位:N/mm²)

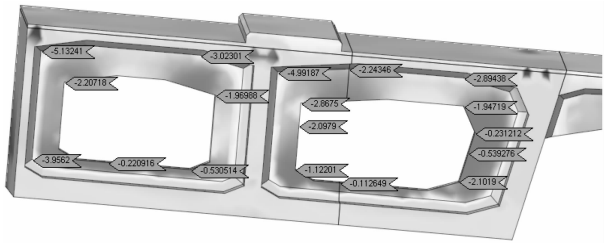


图 8　节段 7 横隔板主压应力图(单位:N/mm²)

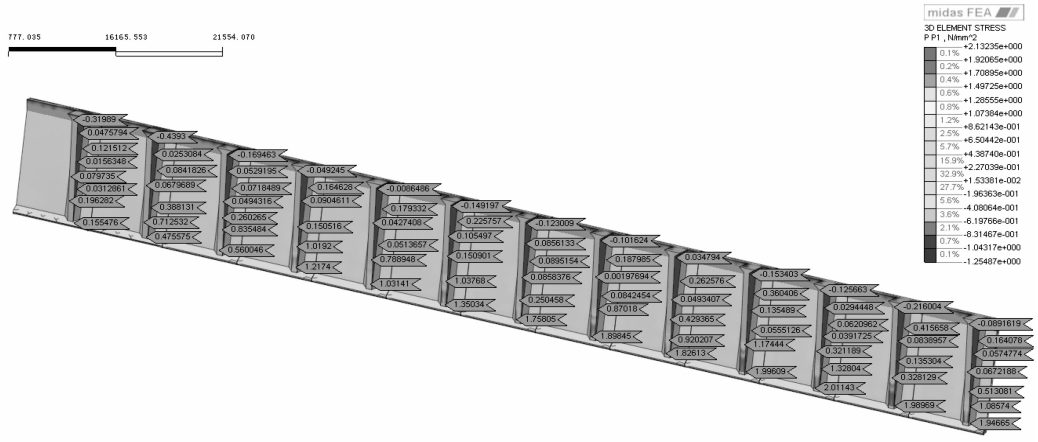


图 9　主梁加劲肋主拉应力图(单位:N/mm²)

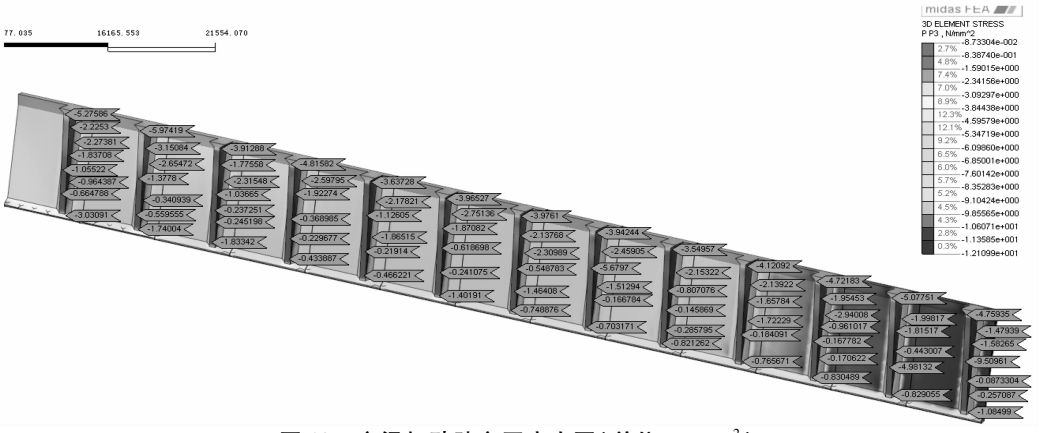


图 10　主梁加劲肋主压应力图(单位:N/mm²)

4.5　斜拉索索力在主梁桥面板纵向应力扩散规律

图 11 给出了斜拉索索力在主梁桥面板纵向应力云图，从图中可以看出宽幅混凝土箱梁应力在桥面板上的扩散规律。主梁桥面板斜拉索开孔左右区域存在微弱的应力集中现象，但很快应力扩散。在顶板预应力钢束的张拉端前混凝土出现受拉的现象，纵向应力最大为 2.565 MPa。

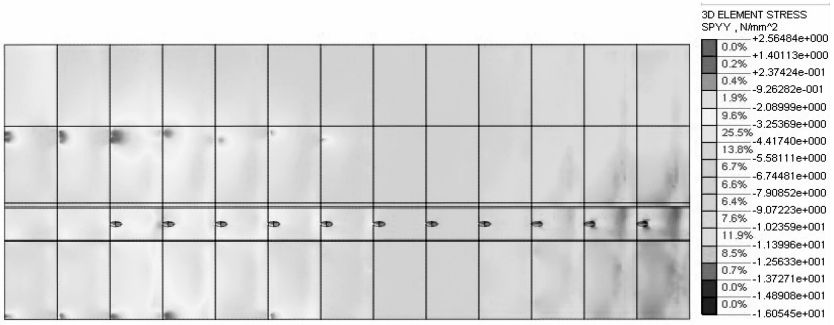


图 11　主梁桥面板纵向应力图（单位：N/mm^2）

5　结论

本文结合具体桥梁对矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间效应进行分析，主要得出的结论及采取的解决方案如下：

（1）斜拉索锚固区锚板下方小范围出现应力集中现象，根据圣维南原理，该位置进行了面力的静力等效变换，改变了局部区域的应力分布，采取了加强锚下钢筋网配置、适当增加锚板尺寸、增加锚下纵向钢筋等措施。

（2）宽幅混凝土主梁的剪力滞效应明显，顶板应力提高系数最大为 1.443，最小为 1.069，呈现出随厚度的增加而增大的趋势，并且无索区的应力提高系数明显小于有索区；底板应力提高系数最大为 1.204，最小为 1.047，呈现出随厚度的增加而减小的趋势。通过在顶板设置通长的 32 mm 直径预应力高强精轧螺纹钢筋，以减弱剪力滞效应，使得顶板纵向应力更加均匀。

（3）横隔板角部出现应力集中现象，通过加强斜筋配置、优化角部角度，控制开裂。

（4）主梁翼缘板加劲肋最大主拉应力出现在加劲肋最外端，即横向钢束锚固处，因此在该位置设置锚下钢筋网；最大主压应力由内向外逐渐减小，混凝土强度能够满足应力要求。

（5）主梁中腹板和边腹板的应力分布相似，且由于剪力滞效应，顶板和底板附近应力变化较大。通过优化腹板与顶板相接处倒角构造及配筋，减弱剪力滞效应。

（6）主梁桥面板斜拉索开孔左右区域存在微弱的应力集中现象，但很快应力扩散，且在顶板预应力钢束的张拉端前混凝土出现受拉的现象。通过在开孔周围设置螺旋箍筋，抑制裂缝的出现。

本文的分析结论揭示了矮塔斜拉桥宽幅混凝土箱梁空间应力分布情况及规律，采取针对性的构造改进或加强局部配筋，以避免箱梁的开裂，进而提高该类桥梁的技术水平，可供此类桥梁的设计和施工提供参考。

参考文献：

[1] 周宇. 宽幅预应力混凝土连续箱梁横梁仿真分析[J]. 广东土木与建筑，2019，26(07)：107－109.

[2] 潘立华，龚勇. 超宽幅混凝土箱梁的设计[J]. 公路，2012(08)：79－84.

[3] 时元绪. 装配式宽幅连续箱梁桥剪力滞效应研究[A]. 中国科学技术协会、中华人民共和国交通运输部、中国工程院. 2019 世界交通运输大会论文集(上)[C]. 中国科学技术协会、中华人民共和国交通运输部、中国工程院：中国公路学会，2019：11.

[4] 肖运栋. 大悬臂斜腹板宽幅箱梁剪力分析[J]. 黑龙江交通科技，2018，41(02)：71－72＋75.

[5] 陆永林，吕颖钊. 宽幅单箱多室箱梁受力特性分析[J]. 浙江交通职业技术学院学报，2013，14(01)：1－5.

[6] 陈从春. 矮塔斜拉桥索力在宽幅箱梁中的传递规律研究[A]. 中国土木工程学会桥梁及结构工程分会、重庆市建设委员会、重庆市交通委员会. 第十七届全国桥梁学术会议论文集(下册)[C]. 中国土木工程学会桥梁及结构工程分会、重庆市建设委员会、重庆市交通委员会：中国土木工程学会，2006：5.

马房北江特大桥扩建方案比选

万志勇,孙向东,彭亚军,彭李立
(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州　510507)

摘　要: 原有马房北江大桥由马房公铁两用桥、马房公路桥两座桥梁组成,马房公路桥位于下游,两桥净距 3 m。由于过江交通增长的需求而扩建,扩建的马房北江特大桥位于原有马房公路桥下游,主桥推荐方案采用双塔三跨墩塔梁固结体系矮塔斜拉桥,桥跨布置为 130 + 195. 21 + 130. 14 m,桥宽 44. 85 m。横桥向设置两个拉索索面,主梁为双脊背混凝土箱梁,从而减小了横隔板的受力,降低了主梁的空间效应。本文详细介绍了该桥总体设计期间的方案比选情况,相关经验可供工程设计人员借鉴参考。

关键词: 矮塔斜拉桥;方案比选;扩建

1　建设条件概况

桥位地处冲积平原,地势较平坦。跨越的北江河道宽约 900 m,其中水面宽度约 625 m,浅滩区约 300 m。跨越河段航道等级为内河Ⅲ级,主航道处水深 15 m。桥位覆盖层为深厚的海陆交互相淤泥质土,基底由第三系泥质粉砂岩、砂岩及其风化层组成,基岩风化不均,岩面埋深变化较大。

旧桥为马房公铁两用桥、马房公路桥两座平行的桥梁,旧桥横断面布置为:20 m 宽公铁两用桥 + 3 m 间距 + 13. 75 m 宽公路桥。扩建桥梁位于旧马房公路桥下游。公铁两用桥桥跨组合为 14 × 65. 07m ,其公路部分上部结构为简支正交异性板双箱单室等截面钢箱梁,铁路部分为钢桁梁桥。旧公路桥桥跨组合为 16m 钢筋砼 T 梁 + (38 + 6 × 65. 07 + 38 m) 连续梁 + (27. 08 + 12 × 32. 54 m)预应力 T 梁。旧桥设四个单向通航孔,通航孔尺寸为 55 × 8 m。

2　主要技术标准及设计控制因素

2. 1　主要技术标准

1)设计行车速度:主路 80 km/h,辅路 40 km/h。

2)汽车荷载等级:公路 - I 级。

3)设计洪水频率:特大桥 1/300。

4)桥宽:主桥按整幅设计,断面全宽 44. 85 m。

5)通航:内河 III 级、通航 1000t 级船舶,通航净宽为 2 × 55 m。

2. 2　设计主要控制因素

1)通航要求

项目跨越北江河道为内河Ⅲ级航道,采用双孔单向通航时通航孔尺寸为 55 × 10 m。根据《内河通航标准》第 5. 1. 7 条规定:在两座靠近布置的水上过河建筑物近侧建设第 3 座水上过河建筑物时,其通航孔应加大并对应布置。桥位平面详见图 1。

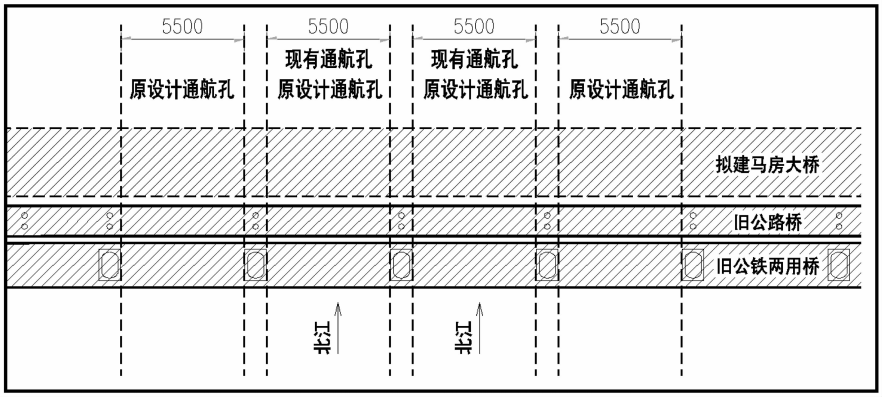


图 1　桥位平面图

2）防洪要求

桥梁的阻水比不宜超过 7%。两岸堤防均为 2 级堤防，堤顶道路需满足 4.5 m 净空要求；桥墩布置应满足堤防稳定要求，承台边缘距离堤脚满足大于 6 m 的安全距离。

3）景观需求

本桥为国道上跨北江的一座特大桥，连接两个地级市，为当地的重要门户通道，因此桥梁景观要求较高。桥位附近区域已经城镇化，新建桥梁兼有城市桥梁的特点。地方希望扩建桥梁景观效果突出，成为一座两地交界处的标志性桥梁。

3　桥型方案比选

3.1　桥型方案构思

根据桥位的建设条件、通航、防洪、景观要求及新旧桥相互关系，新桥桥跨与旧桥对齐，主桥跨径最小为 130.14 m，采用单孔双向通航。

适宜主跨 130 m 以上的桥型结构主要有：连续刚构、拱桥、矮塔斜拉桥、斜拉桥、自锚式悬索桥。对于自锚式悬索桥通常情况下有较好的景观效果，但考虑到本桥跨径偏小，桥面较宽，施工难度大经济性不佳等因素不做深入比选。对于常规斜拉桥，由于跨径偏小经济性不佳，选用矮塔斜拉桥进行方案对比。拱桥造价也较高，考虑景观效果对比需要进行同深度比选。对于连续刚构，在该跨径范围内通常情况下为最经济的结构形式，需深入比选。对以上三种桥型结构，结合跨径布设，共拟定了四个桥型方案。

3.2　桥型方案一（推荐方案）

结合旧桥跨径布置，按照内河通航标准的要求，新桥通航孔桥跨适当加大，考虑桥孔对齐，新桥主跨采用 195.21 m，为 3 倍旧桥主跨 65.07 m 孔径。考虑边中跨比及边跨与旧桥对齐等因素，主桥跨径组合拟定为 130 + 195.21 + 130.14m。考虑新桥施工对旧桥通行的影响，新旧桥净距取为 3 m。

主桥结构采用矮塔斜拉桥。结合交通组织及斜拉桥横断面布置，主桥箱梁采用单箱四室断面，桥面宽 44.85 m，挑臂长 6.78 m，跨中梁高 3.5 m，支点梁高 6.5 m。主墩采用薄壁墩，整体式承台基础，过渡墩采用板式墩及柱式墩。桥塔造型创意来源于中国鼎，端庄大方，体现出具有现代气息的中国特色。桥型及桥塔详见图 2、图 3。

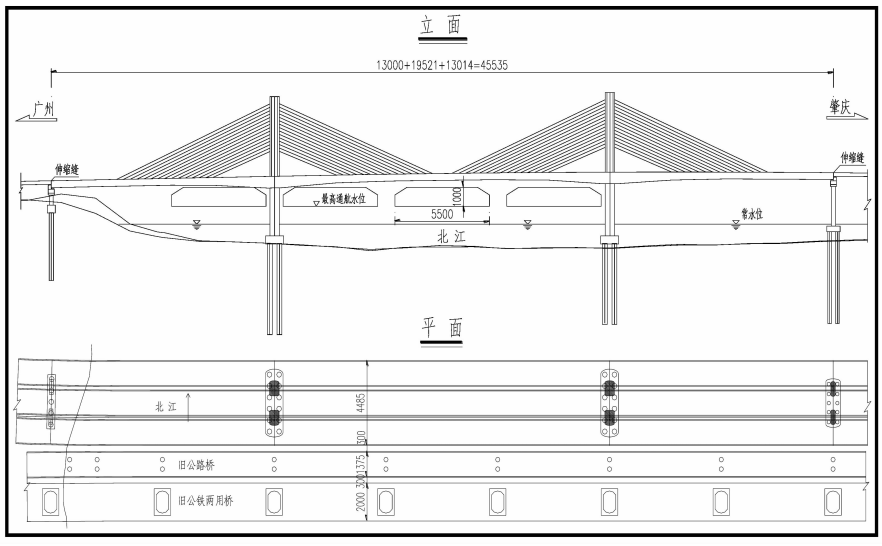


图 2　马房特大桥（方案一）主桥桥型布置图

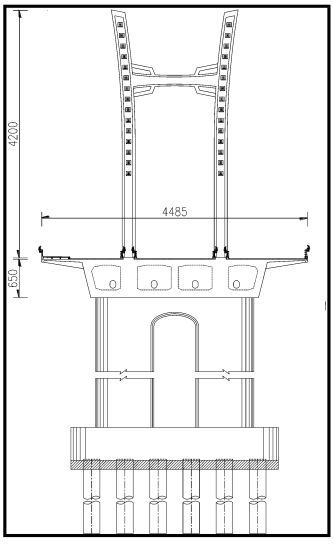


图 3　桥塔方案一横断面图

3.3　桥型方案二（比较方案）

桥型采用拱桥，桥梁跨径组合与方案一相同。采用钢结构，主桥箱梁采用钢箱断面，桥面宽 44.85 m，梁高 3.5 m。主墩采用薄壁墩，整体式承台基础，过渡墩采用柱式墩。桥型布置详见图 4。

由于原公铁两用桥为钢桁梁桥,通过效果图检验,新桥的拱圈与旧桥桁梁叠加后,视野略显凌乱,景观效果收到较大影响,且钢拱桥造价高、施工难度大,因此不做推荐。

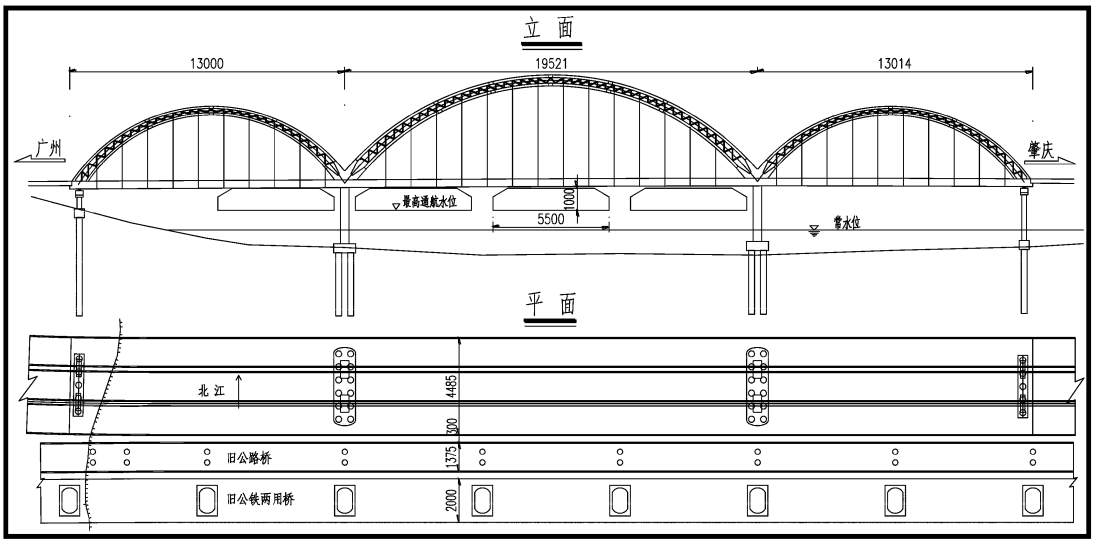


图 4　马房特大桥(方案二)主桥桥型布置图

3.4　桥型方案三(比较方案)

从经济性考虑,在方案一的基础上,仍采用矮塔斜拉桥,但将主桥跨径减小为 130.14 m,为 2 倍旧桥主跨。考虑配跨等因素,主桥跨径组合为 68 + 3 × 130.14 + 60.8 + 32.54 m。桥型布置详见图 5。

主梁采用单箱四室断面,挑臂长 6.78 m,跨中梁高 2.5 m,支点梁高 4 m。本方案造价较方案一经济,但由于塔柱数量多,塔高偏小,特别是与铁路桥的桁梁相比高度不突出,景观效果不佳,且多连跨受力较复杂,结合地方意见不做推荐。

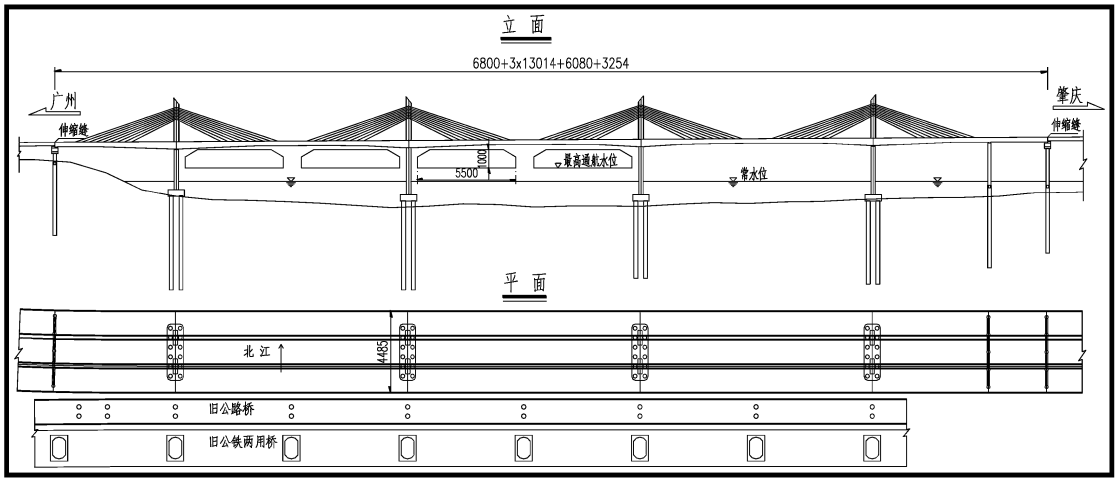


图 5　马房特大桥(方案三)主桥桥型布置图

3.5　桥型方案四(比较方案)

从造价的经济性考虑,主桥采用常规的预应力混凝土现浇连续(刚构)。主桥采用上下行分幅设计,左右幅桥宽分别为 25 m、13.75 m,桥梁间距 2 m。新旧桥净距 3m。跨径布置为 68 + 3 × 130.14 + 65.07 + 32.54 m。桥型布置详见图 6。

主桥箱梁采用单箱三室及单箱单室断面,挑臂长 3.2 m,跨中梁高 3.5 m,支点梁高 8 m。主墩采用空心薄壁墩,过渡墩采用柱式墩。

本方案为造价最低的方案，但是由于其主梁梁高偏高，造成新旧桥协调性差，景观效果不佳，且桥上无景观点，不能突显该桥门户景观的特点，因此不做推荐。

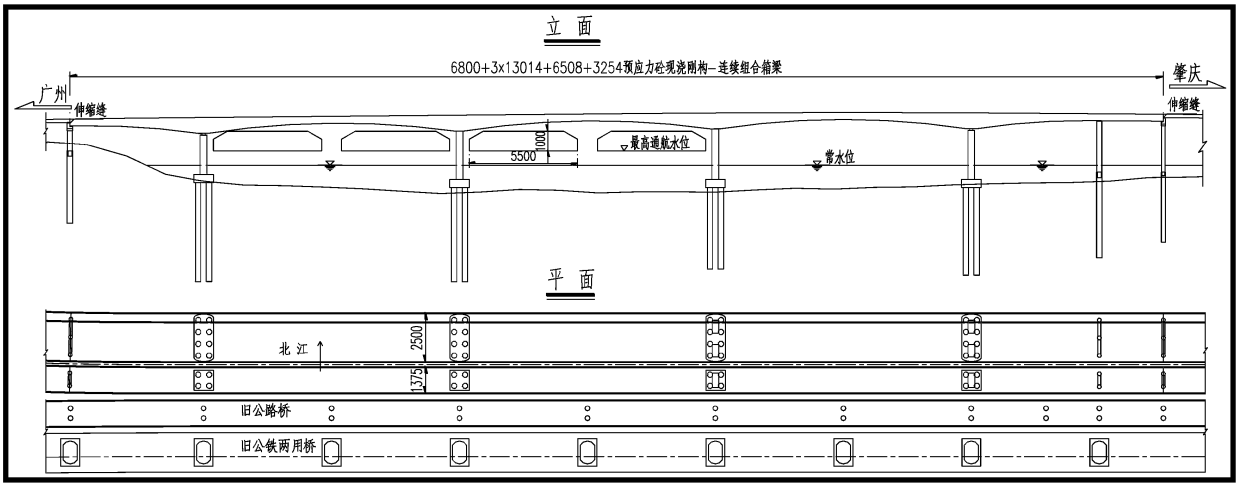


图 6　马房特大桥（方案四）主桥桥型布置图

3.6　桥型方案综合比选

方案一采用主跨 195.21 m 矮塔斜拉桥，通航与防洪效果好。通过对国内外已建成的矮塔斜拉桥造价分析，矮塔斜拉桥每延米造价与同跨径连续梁桥基本持平，低于常规斜拉桥，具有较好的经济性。同时该桥型施工工艺成熟，主梁施工方法与连续梁桥基本相同，可采用悬浇法，且施工中可不进行斜拉索二次索力调整。具有纤细、柔美的美学效果，克服了连续梁桥主梁高度过大带来的压迫感和桥梁上、下部结构不协调的弊端。桥塔和斜拉索的设置使其具有斜拉桥宏伟、壮观的视觉效果，景观效果突出，符合地方建设目标。

方案二采用主跨 195.21 m 钢拱桥，造价偏高，施工复杂。施工期间支架多、施工工序多、不便于机械化快速施工、施工周期也更长。受旧桥桁梁的影响，景观效果一般。

方案三采用主跨 130.14 m 矮塔斜拉桥，主桥造价稍低于方案一，但通航与防洪效果不如方案一。由于桥塔数量多、高度小，不能突显景观的门户效果。

方案四采用主跨 130.14 m 砼连续刚构，主桥造价最低，施工工艺成熟。但连续刚构主梁较高，导致两侧引桥接线增长，总体造价的经济性不突出。由于主梁高度较高，与旧桥协调性不佳，景观效果受影响，且桥上无景观点，不能突显景观的门户效果。

综上所述，为突出景观性及较好的通航、防洪条件并兼顾经济性，推荐采用方案一，即主跨 195.21 m 矮塔斜拉桥。

4　推荐方案结构特色

推荐方案采用 130 + 195.21 + 130.14 m 双塔三跨墩塔梁固结体系矮塔斜拉桥。边中跨比 0.66，稍偏大，采用墩塔梁固结体系，可适当增加主梁结构刚度，改善边跨受力。

推荐方案主梁宽度 44.85 m。为减小主梁空间效应，在横桥向中分隔带及边分隔带位置布置双拉索索面，详见图 7。主梁采用双脊背箱梁，经过有限元分析计算，本桥弯扭耦合作用下，顶底板剪力滞系数分别为 1.44 和 1.2。根据剪力滞计算结果，边中腹板厚度按照 65 cm 和 50 cm 区别设计。为减小结构自重，翼缘板设置加带劲肋的大挑臂结构[1]。

为了突出桥塔的门户效果，适当加高了桥塔的高度，为跨径的 1/4.4。桥塔造型吸取了中国元素，端庄大方，景观效果突出。

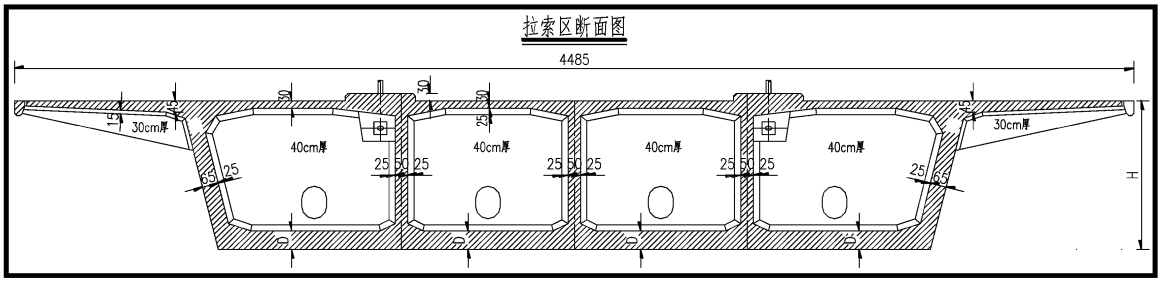


图 7　马房特大桥主桥主梁横断面图

5　结语

扩建大跨径桥梁,受制约因素多于新建桥梁,如何在更加复杂的条件下进行桥型方案比选,是设计人员面临的挑战。本文结合具体工程,详细介绍了马房北江特大桥扩建方案比选。根据项目的建设条件,在已有两座旧桥的情况下,兼顾通航、防洪、景观、经济要求,对比分析了多种跨径的矮塔斜拉桥、拱桥、连续刚构,最终推荐主跨 195.21 m 矮塔斜拉桥。针对主梁横向宽度达 44.85 m 的情况,结合车道布设横桥向设置两个拉索索面,从而减小了横隔板的受力,降低了脊背混凝土箱梁的空间效应。结合景观需求,对桥塔造型进行了创意设计。相关经验可供工程设计人员借鉴参考。

参考文献：

[1] 孙向东. 四塔单索面宽幅脊梁矮塔斜拉桥设计关键技术[D]. 武汉理工大学博士论文, 2010,5.

(上接第 21 页)

安装,符合桥梁工业化发展趋势,具有良好发展潜力。为加快 UHPC 桥梁结构发展并拓展桥型结构和应用领域,宜加强 UHPC 微观材料结构、抗剪设计理论、关键施工工艺和宏观工作性能研究,及早形成国内设计和施工标准。

参考文献：

[1] 陈宝春等. 超高性能混凝土应用进展. 建筑科学与工程学报,2019,36(02):10 - 20.

[2] 陈宝春等. 超高性能混凝土研究综述. 建筑科学与工程学报,2014,31(03): 1 - 24.

[3] 陈宝春等. 超高性能混凝土收缩综述. 交通运输工程学报,2018,18(01): 13 - 28.

[4] 黄卿维等. 韩国超高性能混凝土桥梁研究与应用. 中外公路,2016,35(02): 222 - 225.

[5] 徐海滨等. 超高性能混凝土梁抗剪承载力计算方法. 华中科技大学学报,2015,43(07):24 - 28.

[6] 马熙伦等. R - UHPC 梁抗剪承载力计算方法. 交通运输工程学报,2017,17(05): 16 - 26.

[7] Yen Lei Voo, Stephen Foster. Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Beams Without Stir - rups. Journal of Structural Engineering ,2010,10.

[8] S. Abbas, M. L. Nehdi, and M. A. Saleem . Ultra - High Performance Concrete: Mechanical Performance, Durability, Sustainability and Implementation Challenges. International Journal of Concrete Structures and Materials ,2016,10(03).

超宽整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构的静、动力分析研究

黄森华
（广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州 510507）

摘　要： 本文以某项目上、下层共线设计的超宽整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构为例，如何保证盖梁施工阶段应力状态、正常使用极限状态按全预应力设计、活载按单幅桥满载且最外车车道超载最不利布置、地震作用下结构的安全问题，则成为项目中需重点研究的内容、因此有必要对本项目推荐的下部结构进行静、动力分析研究，以保证结构的安全。

关键词： 桥梁工程；整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构；盖梁全预应力设计；全弹性设计；静、动力分析

1　引言

城市快速化发展进程中，为更好利用桥下空间且保证良好通行视距条件，下层快速道路的走廊带选择上常可以与上层高速公路并行，这种双层共线的桥型方案趋于常见，整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构则在设计中常被选用。国内目前大悬臂下部结构一般多用于 6 车道或 8 车道市政道路中，盖梁悬臂长度约为12 m左右[1]。

笔者目前参与的项目，高速公路采用设计速度 120 km/h 双向 8 车道断面设计，整幅式断面总宽为 41.5 m，与桥下地方道路长达 25 km 共线并行设计，推荐方案采用整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构，墩中心间距为 9 m，盖梁悬臂长度达到了 16.25 m，为长悬臂特殊结构。保证施工过程中短暂状态下盖梁应力验算满足要求，盖梁钢束需根据上部小箱梁的架设分多次张拉，相应增加施工的复杂和难度。设计中将盖梁按照全预应力构件要求控制。当活载按单幅桥满载且最外车车道超载最不利布置时，盖梁、桥墩和桩基的受力极为不利；根据规范要求，对长悬臂特殊结构抗震计算分析需同时考虑三个方向的地震作用[2]。因此，有必要针对本项目中超宽整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构进行静、动力分析研究，以保证结构的安全，且为同类型项目起到一定的指导作用和借鉴意义。

2　大悬臂下部结构验算工况

2.1 大悬臂下部静力设计验算内容（工况 1 ~ 工况 3）

1）工况 1：现行规范要求验算

根据规范[3]，该断面单幅宽度范围内可布设 5 个车道，且存在一幅桥满布活载，另一幅桥无活载作用的不利工况，考虑到结构受力复杂性、重要性，本项目盖梁未采用常规 A 类预应力构件设计，而是提高为全预应力设计标准。

2）工况 2：最外侧车道超载布设要求验算

根据《广东省高速公路独柱墩连续箱梁桥横向抗倾覆安全性评估验算指导意见（补充）》：桥墩采用小间距双柱式墩，上部结构采用大悬臂整体式箱梁的桥梁结构也需验算。

验算要求为：

（1）多车道布载规定：当布置一条以上车道汽车荷载时，最外侧车道汽车荷载效应（含汽车冲击力）分项系数采用 3.4，其余车道分项系数按现行规范采用，全部车道的横向车道布载系数均按现行规范采用。

（2）当最外侧车道汽车荷载效应（含汽车冲击力）分项系数采用 3.4 后，对盖梁、墩身、承台及基础等下部结构构件的验算，不计入风荷载及温度作用。其他荷载及相应系数均按现行规范基本组合的要求取值。构件仅需进行承载能力极限状态验算，材料强度取标准值。

3）工况 3：刚施工完盖梁受百年风荷载作用要求验算

盖梁刚施工完，上部结构均未架设，即盖梁处于自由的状态，若此时受到百年一遇风荷载作用，受力较为不利。桥墩受力约等于一端固定、一端自由状态。

根据抗风规范[4]，盖梁刚施工完但未架设上部小箱梁状态，受力特性与连续刚构最大双悬臂状态相近，此时盖梁约等于上部结构的主梁，受到横向风荷载作用时，应考虑盖梁上的对称加载工况和不对称加载工况，不对称加载工况时主梁风荷载一端宜取为另一端 0.5 倍。同时竖向风荷载作用下，也应考虑不对称加载工况。

2.2　大悬臂下部动力设计验算内容（工况 4）

由于本项目结构共线里程较长，且结构较为特殊，因此采用地震作用下全弹性控制，即 E1、E2 地震作用，桥墩、桩基均处于弹性受力阶段。

3　工程算例分析

3.1　工程概况

高速公路桥梁宽度采用 41.5 m，布置情况为：左侧防撞栏 0.5 m + 左侧硬路肩 3.0 m（含路缘带 0.5 m）+ 行车道 4 ×3.75 m + 中间带 4.5 m（包括中央分隔带 2.0 m，左侧路缘带 2 ×0.75 m，C 值宽度 2 ×0.5 m）+ 右侧行车道 4 ×3.75 m + 右侧硬路肩 3.0 m（含路缘带 0.5 m）+ 右侧防撞栏 0.5 m。

高速公路上部结构采用 30 m 跨径简支转桥面连续小箱梁，单幅桥宽为 20.25 m，左、右幅桥宽范围内，按照横向 6 片梁布设，边梁宽度为 2.85 m，中梁宽度为 2.4 m，湿接缝宽度为 0.99 m。

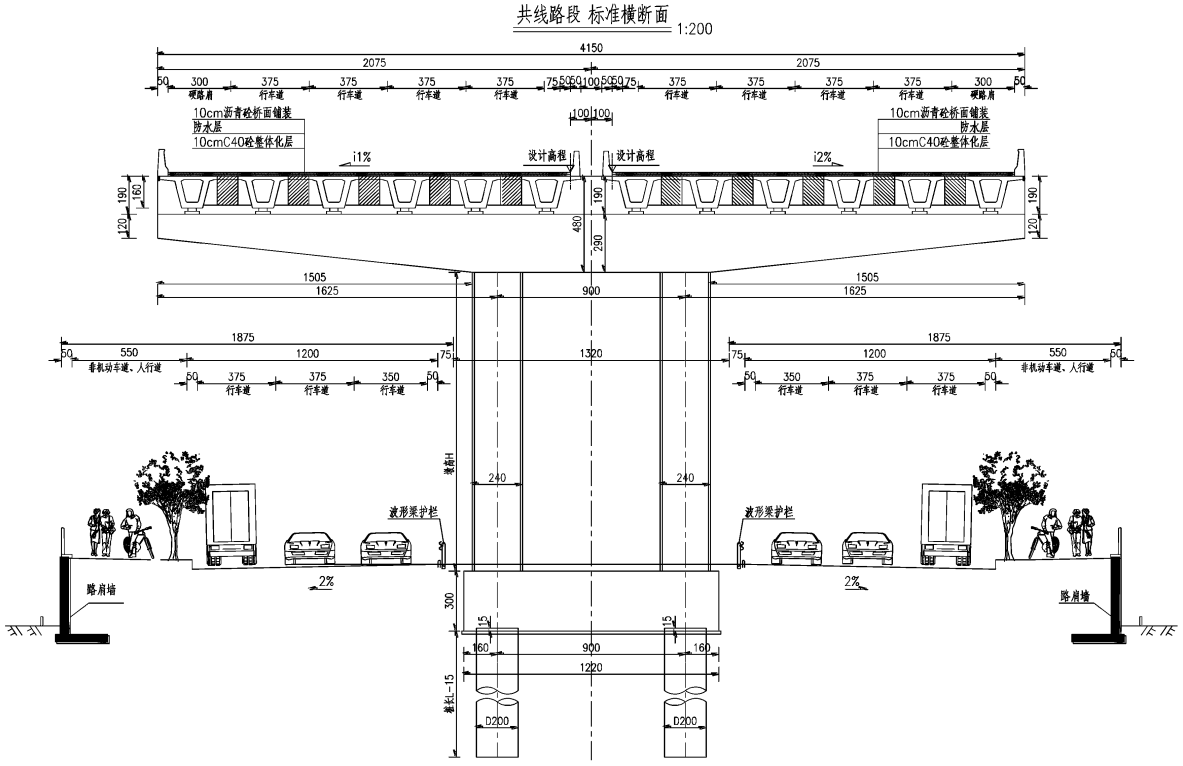


图 1　共线路段 标准横断面布置图

1）整幅式中央双柱墩大悬臂下部构造

“倒 T”截面较常规矩形截面，具有减小盖梁外观高度，视觉角度上更具轻巧的特点，在城市高架桥设计中常被选用。笔者也对这两种断面做结构受力和经济上进行比较。

方案一“倒 T”截面由于腹板宽度不大，抗剪截面上限验算时腹板宽度成为控制截面尺寸条件，计算确定方案一盖梁总高度为 4.8 m，混凝土用量较多，钢绞线用量则优于方案二。方案二矩形截面盖梁的砼用量较“倒 T”截面小，但钢绞线

用量较多。方案一由于结构外观高度较方案二小 0.9 m,在相同桥下通行净空条件下,方案二总体纵断面较方案一需增大;且方案一腹板宽度 1.5 m,实际上是增大了上部结构的跨径布置,以均采用 30 m 跨径小箱梁,4 跨一联桥跨布置为例,方案一的跨径布置联长为 126 m,而方案二联长则为 120 m;综合考虑后,方案一的总混凝土用量并不会比方案二增加多少。

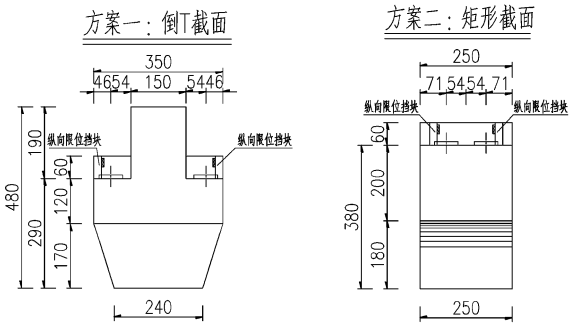


图 2　倒 T 截面和矩形截面盖梁方案(单位:cm)

在抗弯承载力安全系数、最小压应力储备基本相当的情况下,方案一活载变形较小,方案二则抗剪安全富余较大。考虑桥下行车空间、桥下景观等因素,推荐采用方案一。两种盖梁截面形式材料用量对比表以及结构响应对比表如下。

而对于“倒 T”截面,也对腹板宽度取 1.2 m、1.5 m 和 2.0 m 情况进行比较。计算表明,盖梁腹板宽度取值越大,由此增加盖梁的自重越大,钢束用量相应需增加;盖梁腹板宽度 b 取值越小,则抗剪截面上限验算宽度会出现不满足规范的情况,需通过增加盖梁高度以保证抗剪截面尺寸满足规范要求。综合计算后选用腹板宽度为 1.5 m,盖梁总高度为 4.8 m 的“倒 T”截面为推荐方案。

表 1　两种盖梁截面形式 材料用量对比表

项目	盖梁高度 /m	C50 砼 /m^3	钢绞线 /kg	指标 /(kg/m^3)
方案一（倒 T 盖梁）	2.9 + 1.9	429.3	14 947.6	34.8
方案二（矩形盖梁）	3.8	292.6	17 131.9	58.6

表 2　两种盖梁截面形式 结构响应对比表

验算项目	方案 1	方案 2
	“倒 T”盖梁	矩形盖梁
活载最大下挠/mm	12.7	17.3
活载最大上挠/mm	6.7	6.0
频遇组合 上缘最小压应力/MPa	0.56	0.45
频遇组合 下缘最小压应力/MPa	1.13	4.9
频遇组合 斜截面主拉应力/MPa	1.07	0.52
标准值组合 上缘最大压应力/MPa	12.8	14.0
标准值组合 下缘最大压应力/MPa	5.5	13.8
标准值组合斜截面主压应力/MPa	12.8	14.0
基本组合 正截面抗弯承载力富余	1.43	1.46
基本组合 斜截面抗剪承载力富余	1.24	1.59
基本组合 抗剪截面尺寸富余	1.14	1.67

表 3　“倒 T”截面 3 组腹板宽度材料用量对比表

“倒 T”截面盖梁				
腹板宽度 /m	跨中高度 /m	C50 砼 /m^3	钢绞线 /kg	指标 /(kg/m^3)
1.2	5.2	405.6	12727.9	31.4
1.5	4.8	429.3	14947.6	34.8
2.0	4.3	454.2	18107.9	39.9

表 4　“倒 T”截面 3 组腹板宽度 结构响应对比表

验算项目	腹板宽度(m)/跨中高度(m)					
	1.2	5.2	1.5	4.8	2.0	4.3
活载最大下挠/mm	12.1		12.7		12.3	
活载最大上挠/mm	6.6		6.7		6.3	
频遇组合 上缘最小压应力/MPa	0.6		0.56		0.55	
频遇组合 下缘最小压应力/MPa	0.6		1.13		1.54	
频遇组合 斜截面主拉应力/MPa	1.15		1.06		0.34	
标准值组合 上缘最大压应力/MPa	13.3		12.8		12.3	
标准值组合 下缘最大压应力/MPa	4.3		5.5		6.5	
标准值组合斜截面主压应力/MPa	13.3		12.8		12.3	
基本组合 正截面抗弯承载力富余	1.47		1.43		1.44	
基本组合 斜截面抗剪承载力富余	1.23		1.24		1.23	
基本组合 抗剪截面尺寸富余	1.02		1.14		1.31	

推荐方案“倒 T”截面,盖梁跨中总高度为 2.9 + 1.9 = 4.8 m、端部总高度为 1.2 + 1.9 = 3.1 m,其中支座垫石下外露盖梁跨中结构高度为 2.9 m,端部结构高度为 1.2 m;盖梁纵向宽度为 3.5 m,其

中“倒 T”断面腹板宽度为 1.5 m；盖梁纵向设置防落梁限位挡块，挡块距离小箱梁端横隔板有效距离为 10 cm；下部采用双柱式桥墩，墩中心间距为 9 m，盖梁悬臂长度为 16.25 m。

桥墩采用矩形截面，桥墩截面为 2.4 m × 2.4 m。承台截面尺寸为 12.2 m（宽）×8.2 m（长）×3 m（高）。桩基采用群桩基础，桩基按照 4 根直径 2 m 布置，桩基横向间距为9 m，与墩中心间距对齐，纵向间距为 5 m。盖梁采用 C50 砼，桥墩采用 C35 砼，承台和桩基采用 C30 砼。

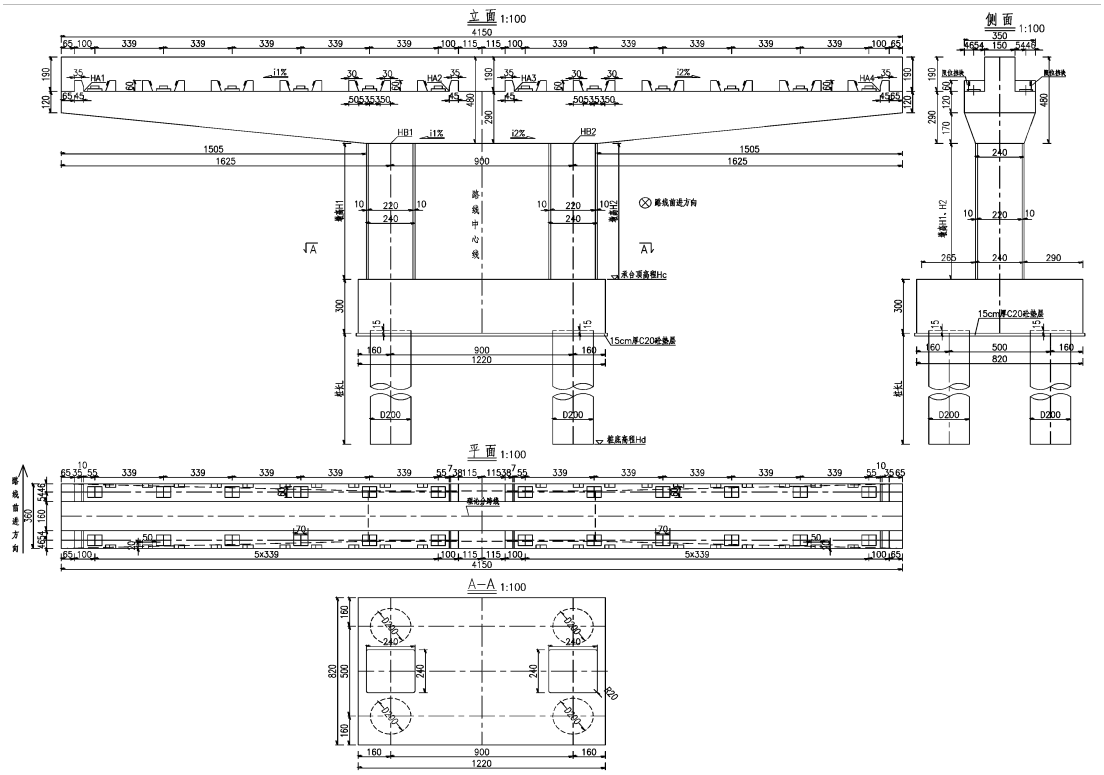


图 3　大悬臂下部一般构造图（单位：cm）

2）整幅式中央双柱墩大悬臂盖梁预应力钢束

由于盖梁施工阶段应力随着上部小箱梁架设而变化，钢束采用分配次张拉施工以保证施工过程中应力满足要求。经计算，确定盖梁采用跨中竖向 4 排钢束布置，端部通过竖弯来保证足够的钢束张拉空间，端部竖向采用 7 排钢束布置，钢绞线均采用 ϕ^s15.2－19，锚下控制张拉应力为 $\sigma_{con}=0.7f_{pk}=1\,302$ MPa。

结合上部小箱梁架梁顺序，盖梁预应力钢束分批次且左右对称张拉，具体步骤如下：

第一批：浇注盖梁达到强度后，在架设小箱梁之前，先张拉 N2、N2a 钢束；

第二批：架设一侧的一孔小箱梁后，张拉 N3、N3a 和 N4 钢束；

第三批：架设另一侧的一孔小箱梁后，张拉 N1 钢束；

第四批：完成小箱梁湿接缝横隔板现浇，以及桥面二期恒载施工后，张拉 N1a 钢束。

3）整幅式中央双柱墩大悬臂下部配筋

盖梁上缘布置 3 排主筋 φ28@10 cm，下缘布置 1 排主筋 φ28@10 cm；桥墩横桥向采用双排 φ36@10 cm，顺桥向采用单排 φ36@10 cm 钢筋布置；桩基采用 42 根 φ32 主筋，配筋率为 1.08%，箍筋采用 φ10 布置。

4）整幅式中央双柱墩大悬臂下部静、动力模型

采用桥梁程序 midas/civil 进行计算，结合施工方案及其构造特征进行结构离散。盖梁、桥墩、承台、桩基均采用三维梁单元。对结构模型进行反应谱分析计算，模态组合采用 CQC 法。结构的约束条件为：采用表征土介质弹性值的 m 参数计算的等代土弹簧刚度模拟桩土作用。全桥考虑土—下部结构—上部结构的共同协同工作抵抗纵、横桥向地震作用。

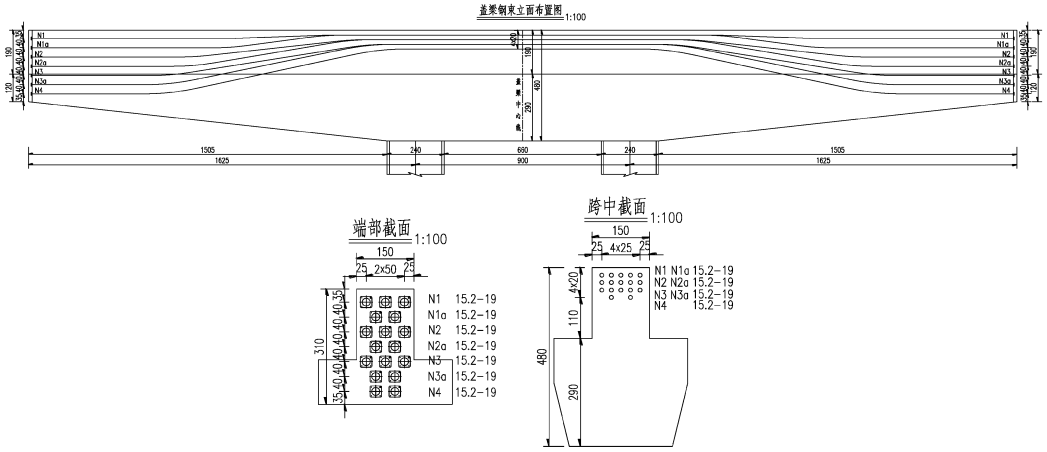


图 4　大悬臂钢束布置图(单位:cm)

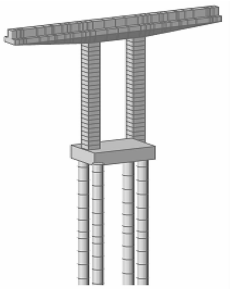


图 5　静力验算有限元模型

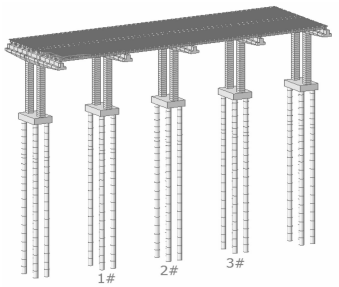


图 6　动力验算有限元模型

3.2　工况 1:现行规范要求静力验算

1)盖梁结构刚度验算

活载作用下,盖梁端部变形为(6.7 + 12.7) = 19.4 mm < 16 250/300 = 54.1 mm, 刚度验算满足规范要求。

2)短暂状况盖梁应力验算

根据盖梁预应力钢束分批次且左右对称张拉的具体顺序,分别计算每个阶段对应的盖梁上、下缘应力,计算结果如下表:短暂状况下应力验算均满足规范要求。

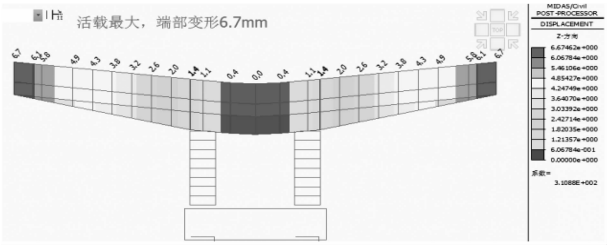


图 7　活载 MVmax 作用盖梁竖向变形

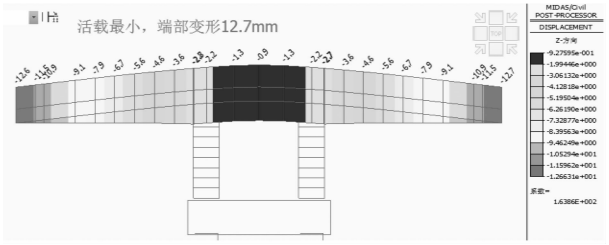


图 8　活载 MVmin 作用盖梁竖向变形

表 5　短暂状况 盖梁上、下缘应力表

施工步骤	步骤描述	盖梁应力/MPa	
		上缘	下缘
1	盖梁达到强度后张拉 N2、N2a 钢束	4.8	−0.4
2	左右幅对称架设一侧的一孔小箱梁	4.8	0
3	张拉 N3、N3a 和 N4 钢束	9.0	−1.3
4	左右幅对称架设另一侧的一孔小箱梁	7.0	2.5
5	张拉 N1 钢束	11.2	−1.4
6	小箱梁湿接缝横隔板现浇,以及桥面二期恒载施工	10.8	3.4
7	张拉 N1a 钢束	13.5	−0.4

注:应力“−”代表拉应力;应力“+”代表压应力。

3）正常使用极限状态盖梁应力验算

盖梁按照全预应力设计，正截面抗裂验算需满足规范[5]：全预应力混凝土构件，在作用（或荷载）频遇组合下：$\sigma_{st}-0.8\sigma_{pc}\leqslant 0$。频遇组合下，盖梁上下缘均不出现拉应力，且最小压应力储备为 0.56 MPa，发生在跨中截面上缘。

对于未开裂构件，受压区最大压应力限值为 $\sigma_{kc}+\sigma_{pt}\leqslant 0.5f_{ck}=16.2$ MPa。

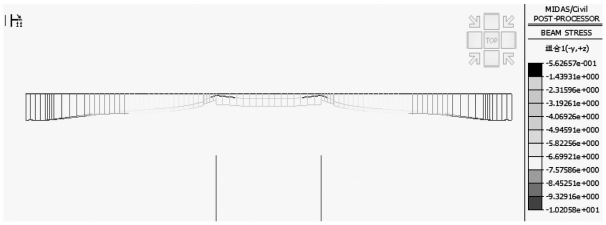


图 9　频遇组合，盖梁上缘应力图

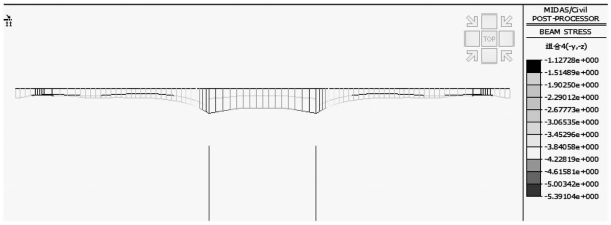


图 10　频遇组合，盖梁下缘应力图

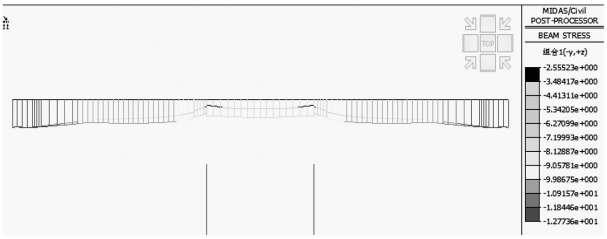


图 11　标准值组合，盖梁上缘应力图

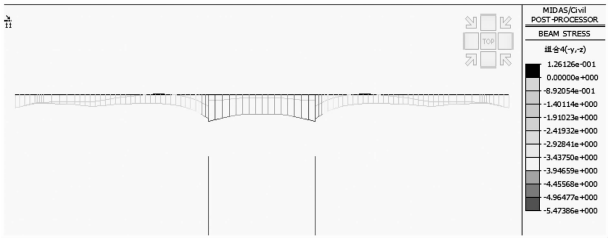


图 12　标准值组合，盖梁下缘应力图

斜截面抗裂应对构件斜截面混凝土的主拉应力 σ_{tp} 进行验算，对于全预应力混凝土构件，在作用（或荷载）频遇值组合下：$\sigma_{tp}\leqslant 0.4f_{tk}=10.6$ MPa。混凝土的主压应力限值为 $\sigma_{cp}\leqslant 0.6f_{ck}=19.44$ MPa。

经计算：盖梁正常使用极限状态应力验算均满足规范要求。

4）盖梁承载能力极限状态验算

经计算：盖梁正截面抗弯、斜截面抗剪承载力以及抗剪截面尺寸验算均满足规范要求。

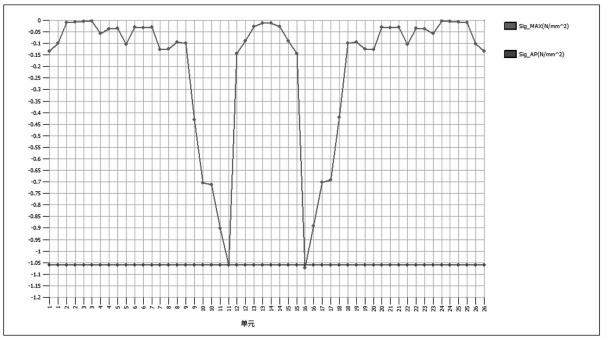


图 13　频遇组合，盖梁应力图

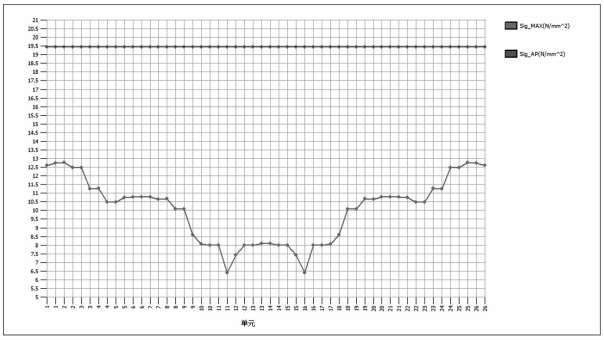


图 14　标准值组合，盖梁应力图

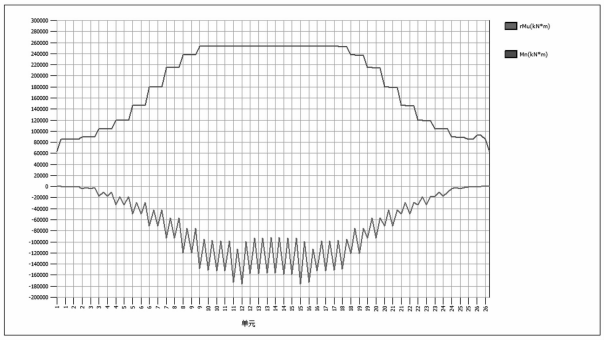


图 15　基本组合 弯矩及抗力包络图（单位：kN×m）

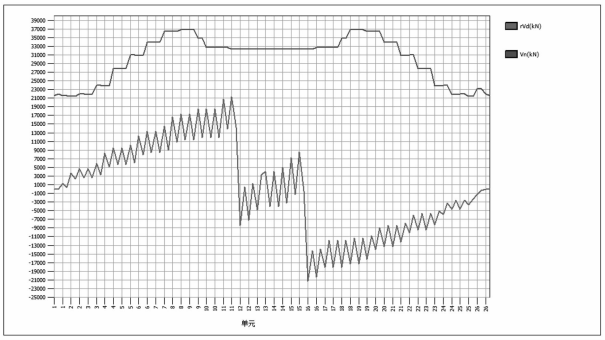


图 16　基本组合，剪力及抗力包络图（单位：kN）

5)桥墩、桩基承载能力极限状态验算

随着整个共线路段纵断面的不同,桥墩的高度由 7 m 变化至 25 m,需对这两种墩高情况分别进行验算,经计算,墩高为 7 m 时桥墩弯矩更为不利,因此选取墩高 7 m 作为静力计算模型。

经计算:工况 1 桥墩和桩基承载力极限状态和正常使用极限状态验算均满足规范要求。

表 6　3 组墩高条件对应桥墩内力对比表

墩高/m	验算方向	基本组合				
		墩底弯矩/(kN · m)	墩顶弯矩/(kN · m)	剪力/kN	墩底轴力/kN	墩顶轴力/kN
7	横桥向	13 032	11 457	3 468	13 589	12 672
15		4 522	4 655	600	14 700	12 604
25		2 216	2 497	165	16 191	12 597

3.3　工况 2:最外侧车道超载布设要求静力验算

当布置一条以上车道汽车荷载时,最外侧车道汽车荷载效应(含汽车冲击力)分项系数采用 3.4,其余车道分项系数按现行规范采用,全部车道的横向车道布载系数均按现行规范采用[6]。

如下图 17 所示,半幅桥按照满布 5 个车道活载,且最外侧车道采用超载车布置,另外半幅桥则无车道活载布置。这个工况下需对盖梁、桥墩和桩基的承载能力极限状态验算,材料强度取标准值。

表 7　工况 1 桥墩、桩基承载力、裂缝宽度验算表

工况 1 验算　桥墩高度取为 7 m			
验算项	墩底	墩顶	桩基
验算方向	横桥向	横桥向	横桥向
配筋	46φ36	46φ36	42φ32
基本组合 弯矩/(kN · m)	10 414	9 787	1 256
基本组合 轴力/kN	13 446	19 344	9 018
频遇组合 弯矩/(kN · m)	8 250	6 224	484
频遇组合 轴力/kN	15 685	17 369	10 043
弯矩强度/(kN · m)	45 072	36 238	5 682
安全系数	4. 3	3. 7	4. 5
裂缝宽度/mm	0. 051	0. 000	0. 045

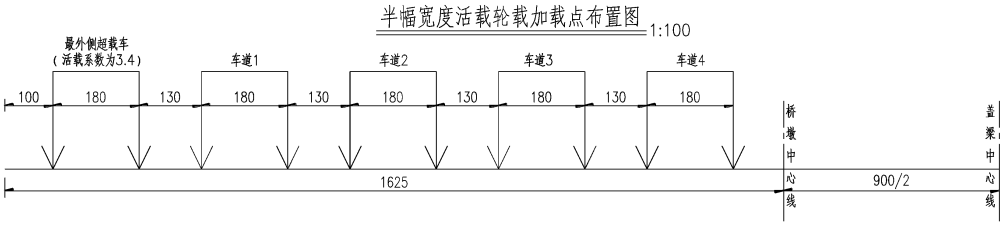


图 17　单幅满载布置且最外侧车道超载布置图(单位:cm)

表 8　工况 1 与工况 2 内力对比表

验算工况	工况 1	工况 2	工况 2/工况 1
加载描述	正常设计加载	外侧车道超载	
基本组合 盖梁正截面弯矩/(kN · m)	160 544	214 510	1. 34
基本组合 盖梁斜截面剪力/kN	19 315	22 964	1. 19
基本组合 墩顶横向弯矩/(kN · m)	11 457	18 949	1. 65
基本组合 墩底横向弯矩/(kN · m)	13 010	18 397	1. 41
基本组合 桥墩剪力/kN	3 468	4 349	1. 25
基本组合 桩基横向弯矩/(kN · m)	1 256	3 150	2. 51
基本组合 桩基剪力/kN	114	285	2. 50

工况 2 较工况 1 计算结构的内力更为不利，桥墩、桩基横向内力增幅较大，但这种超载车加载情况，计算选用的是材料的标准值；工况 1 为按照现行规范进行加载，计算选用的是材料的设计值。

经计算：工况 2 桥墩和桩基承载力极限状态和正常使用极限状态验算均满足规范要求。

表 9　工况 2 盖梁 桥墩、桩基承载力验算表

验算项	盖梁	墩底	墩顶	桩基
弯矩/(kN·m)	214 510	18 397	18 949	3 150
剪力/kN	22 964	/	/	/
弯矩强度/(kN·m)	339 139	49 431	53 241	11 867
剪力强度/kN	29 092	/	/	/
抗弯 安全系数	1.58	2.69	2.81	3.77
抗剪 安全系数	1.27	/	/	/

3.4　工况 3：盖梁刚施工完受百年风荷载作用静力验算

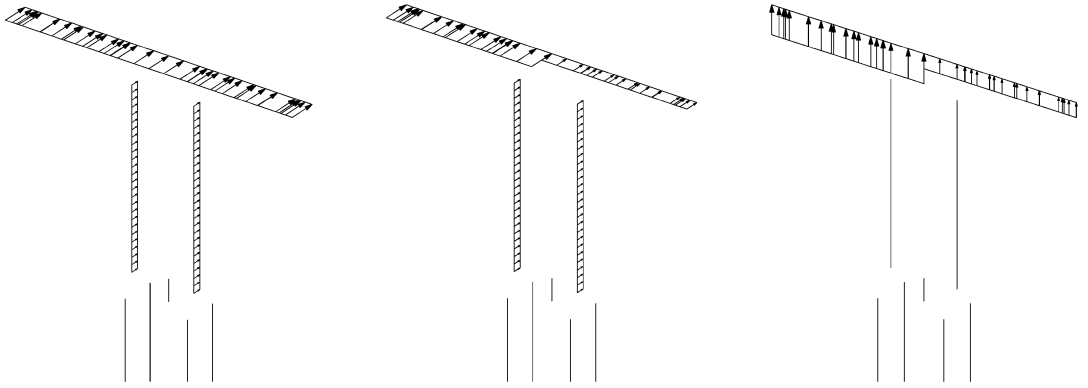


图 18　盖梁施工完受风荷载作用验算工况

盖梁刚施工完，上部结构均未架设，盖梁仅张拉 N2、N2a 钢束，盖梁处于自由状态，若此时受到百年一遇风荷载作用(风荷载分项系数此时取为 1.4)，应对盖梁在现有配筋下进行相关验算；桥墩受力约等于一端固定、一端自由状态，桥墩计算长度系数应按照 2 取值。该工况下验算，则是选取墩高 25 m 作为计算模型。

工况 a，需验算盖梁侧向正截面抗弯承载力，桥墩、桩基顺桥向偏压构件验算。由于工况 a 计算较工 b 更为不利，因此只列出工况 a 验算结果。

表 10　工况 a，桥墩、桩基承载力验算表

工况 a 验算 桥墩高度取为 25 m		
验算项	墩底	桩基
验算方向	顺桥向	顺桥向
配筋	23φ36	42φ32
基本组合 弯矩/(kN·m)	15 699	2 234
基本组合 轴力/kN	9 259	3 953
频遇组合 弯矩/(kN·m)	8410	1197
频遇组合 轴力/kN	9 259	5 362
弯矩强度/(kN·m)	20 026	12 267
安全系数	1.3	5.5
裂缝宽度/mm	0.165	0.045

工况 c，需验算盖梁竖向正截面抗弯承载力、短暂状况盖梁的应力。

竖向不对称百年风荷载与盖梁恒载进行最不利组合，盖梁下缘最不利拉应力为 -0.55 MPa，上缘最不利压应力为 4.78 MPa，验算满足规范要求。

盖梁承载力验算，则由已张拉的 N2、N2a 钢束和普通钢筋共同提供，而截面特性验算应采用净截面(即扣除未张拉预应力管道面积)。基本组合下，盖梁最不利的正截面弯矩为 43 602 kN·m，远小于正截面抗弯承载力 109 506 kN·m；盖梁最不利的斜截面剪力为 5 670 kN，远小于斜截面抗剪承载力 31 195 kN，验算满足规范要求。

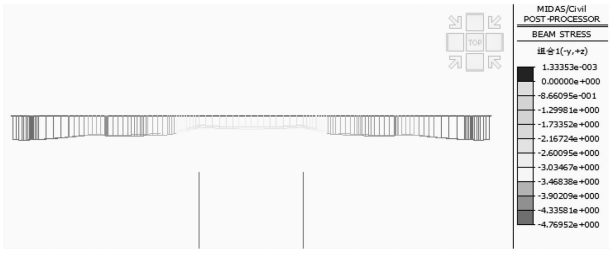


图 19　标准值组合，盖梁上缘应力图

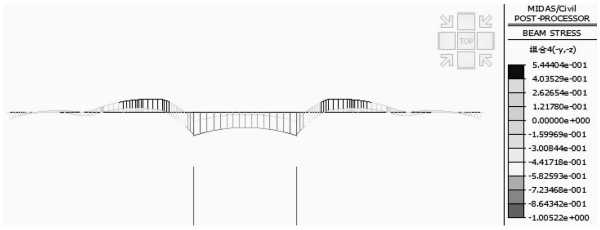


图 20　标准值组合,盖梁下缘应力图

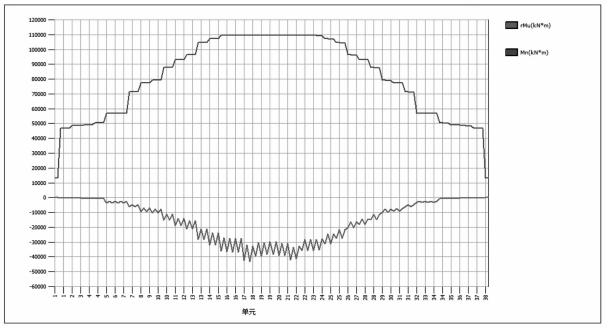


图 21　基本组合 弯矩及抗力包络图(单位:kN × m)

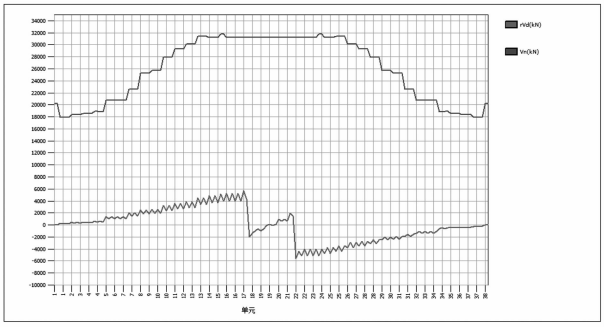


图 22　基本组合,剪力及抗力包络图(单位:kN)

经计算:工况 3 中各个工况验算下,盖梁、桥墩和桩基承载力极限状态和正常使用极限状态验算均满足规范要求。

3.5　工况 4:大悬臂下部动力验算

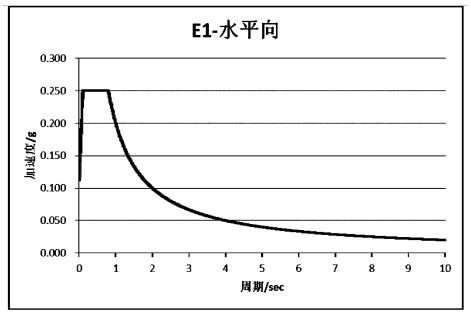
1)本项目桥梁结构地震动输入确定

根据该项目《工程场地地震安全性评价报告》及抗震规范,本桥抗震设防类别为 B 类,桥址所在地抗震设防烈度为Ⅶ度,基本地震动峰值加速度 A =0.10 g,本场区土的类型介于中软 ~ 软弱之间,项目路段场地类别为Ⅲ类,工程场地属抗震不利地段。

由安评报告中给出的地震反应谱参数:

(1)E1 水准:100 年 63%(重现期 100 年)Tg = 0.58、γ = 1.0、Smax = 0.119 3;

(2)E2 水准:50 年 2.5%(重现期 2000 年)Tg = 0.8、γ = 1.0、Smax = 0.492 4。



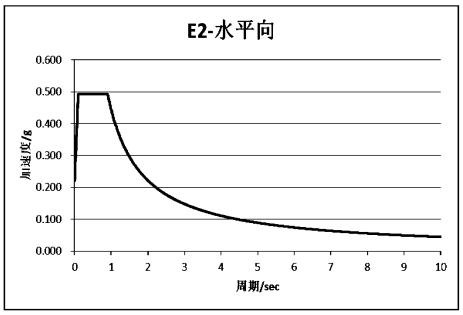


图 23　E1 和 E2 地震作用加速度反应谱

2)模型计算参数确定

上部小箱梁支座采用板式橡胶支座,支座型号为 GJZ350 × 550 × 99,支座水平刚度根据规范计算为 。E1 地震作用下,支座的水平位移很小,支座未发生滑动,相应的动力分析模型中采用的板式橡胶支座的刚度进行计算。E2 地震作用下,支座的水平位移超过了支座的剪切容许变形,支座发生滑动,本桥设计中,盖梁横向和纵向均设置了挡块,以限制支座滑动后主梁过大的变位,该工况下,则相应的动力分析模型中可采用修正支座纵、横向水平刚度为 1 × 10^7 kN/m 进行计算,上部结构的惯性力偏于保守的往下传递,对桥墩和桩基验算结果偏于安全。

需对桥墩的高度由 7 m 变化至 25 m,分别进行动力验算以选取最不利验算墩高条件。E1 和 E2 地震作用下,两种极限墩高条件下桥墩响应如下表 11。

综上计算:E2 地震作用下,墩高 7 m 和 25 m,顺桥向墩底弯矩,两种墩高条件计算结果相近,均达到 66 000 kN · m;横桥向墩底弯矩,分别为 28 700 kN · m(墩高 7 m)、56 900 kN · m(墩高 25 m);横桥向墩顶弯矩,分别为 21 800 kN · m(墩高 7 m)、50 400 kN · m(墩高 25 m);墩高 25 m 情况计算内力响应更为不利,因此选取墩高 25 m 作为动力计算模型。

表 11　地震作用下 7 m 和 25 m 墩高对应桥墩内力表

验算方向	验算工况	支座水平刚度	验算位置	验算内力	墩高 7 m	墩高 25 m
纵向	E1 地震作用	滑移前板式橡胶支座实际刚度	墩底	弯矩/(kN·m)	9 756	11 314
				剪力/kN	839	438
				轴力/kN	16 850	19 349
横向	E1 地震作用		墩底	弯矩/(kN·m)	4 282	10 048
				剪力/kN	1 579	831
				轴力/kN	14 508	16 287
			墩顶	弯矩/(kN·m)	6 705	10 153
				剪力/kN	1 549	775
				轴力/kN	13 689	13 003
纵向	E2 地震作用	滑移后修正近似无限大刚度	墩底	弯矩/(kN·m)	66 749	68 829
				剪力/kN	5 764	2 547
				轴力/kN	16 866	19 501
横向	E2 地震作用		墩底	弯矩/(kN·m)	28 767	56 987
				剪力/kN	7 320	4 471
				轴力/kN	−5 318	1 361
			墩顶	弯矩/(kN·m)	21 851	50 483
				剪力/kN	7 101	4 043
				轴力/kN	−6 084	−2 318

3)桥墩、桩基地震作用验算

对于双柱式桥墩,顺桥向墩底为最不利位置,横桥向则是墩底和墩顶;由于横向框架效应,E 地震下,桥墩横向轴力较纵向更为不利,墩顶横向轴力受拉。对于群桩基础,处于对角线的两根角桩也会出现一侧轴向力最大,另一侧轴向力最小,甚至受拉的情况。

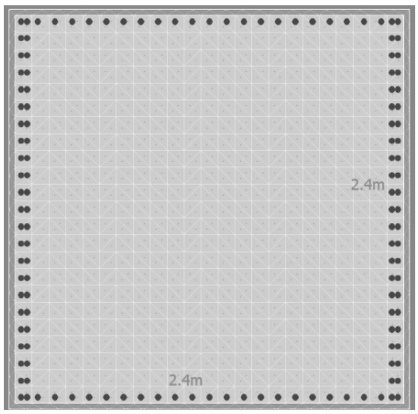


图 24　桥墩本构模型

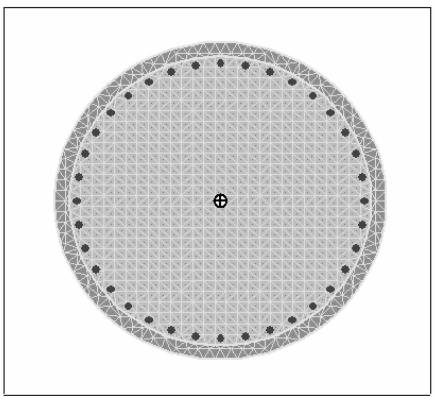


图 25　桩基本构模型

表 12　E2 地震作用下 桥墩顺桥向验算(墩底)

桥墩编号	验算位置	组合弯矩/(kN·m)	恒载轴力/kN	组合轴力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	安全系数
1#	墩底	70 298	19 668	19 831	71 260	1.01
2#	墩底	68 829	19 668	19 501	71 030	1.03

表 13　E2 地震作用下 桥墩横桥向验算(墩底)

桥墩编号	验算位置	组合弯矩/(kN·m)	恒载轴力/kN	组合轴力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	安全系数
1#	墩底	55 027	19 668	1 321	60 630	1.10
2#	墩底	55 228	19 668	1 361	60 670	1.10

表 14　E2 地震作用下 桥墩横桥向验算(墩顶)

桥墩编号	验算位置	组合弯矩/(kN·m)	恒载轴力/kN	组合轴力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	安全系数
1#	墩顶	46 317	16 073	-2 350	56 990	1.23
2#	墩顶	46 482	16 073	-2 318	57 020	1.23

注:轴力"-"代表拉力;轴力"+"代表压力。下同。

表 15　E2 地震作用下 桩基顺桥向验算

桩基编号	轴压力形式	组合弯矩/(kN·m)	组合轴力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	安全系数
1	1# - Pmax	5 089	28 203	24 660	4.85
	2# - Pmin	5 089	-3 385	8 355	1.64
2	1# - Pmax	5 089	27 883	24 620	4.84
	2# - Pmin	50 89	-3 070	8 584	1.69

表 16　E2 地震作用下 桩基横桥向验算

桩基编号	轴压力形式	组合弯矩/(kN·m)	组合轴力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	安全系数
1	1# - Pmax	5 923	29 761	24 940	4.21
	2# - Pmin	5 923	-6 240	6 234	1.05
2	1# - Pmax	5 923	29 865	24 850	4.20
	2# - Pmin	5 923	-6 244	6 209	1.05

注:轴力"Pmax"代表最大组合轴力;轴力"Pmin"代表最小组合轴力。

经计算:E2 地震作用下,桥墩和桩基验算均处于弹性受力阶段,保证为全弹性设计。

4　结论与展望

结合本项目中整幅式中央双柱墩大悬臂下部结构的特殊性,笔者基于上述工况进行验算,以保证结构施工阶段及运营阶段的安全,同时保证地震作用下结构处于弹性受力阶段。

笔者认为如下问题也需进一步深入研究:盖梁悬臂长度较大,混凝土长期收缩徐变对盖梁的影响;盖梁端部下挠后,对上部小箱梁不均匀的变形的影响,小箱梁湿接缝则成为较为薄弱的环节,应根据计算加强小箱梁湿接缝配筋;对于这种城市高架较大规模建设,考虑下部结构全预制实现的可能性? 即盖梁、桥墩均可采用全预制,尤其本项目全线基本处于软土路基段,若采用满堂支架施工盖梁,施工措施费占比也不小;但由于盖梁的体量较大,采用全预制则应充分考虑盖梁运输、吊装吨位、吊装及安装中的安全问题。

参考文献:

[1] 李建强,孙立山. 大悬臂预应力混凝土倒 T 盖梁设计与施工过程分析研究[J]. 城市道桥与防洪, 2018, 8(8).

[2] 公路桥梁抗震设计细则(JTG/T B02 - 01 - 2008)[S]. 人民交通出版社, 2008.

[3] 公路工程技术标准(JTG B01 - 2014)[S]. 人民交通出版社, 2014.

[4] 公路桥梁抗风设计规范(JTG/T 3360 - 01 - 2018)[S]. 人民交通出版社, 2018.

[5] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG 3362 - 2018)[S]. 人民交通出版社, 2018.

[6] 公路桥涵设计通用规范(JTG D60 - 2015)[S]. 人民交通出版社, 2015.

中国公路勘察设计协会
2019 年度岩土工程专业技术交流会报道

中国公路勘察设计协会 2019 年度岩土工程专业技术交流会于 2019 年 10 月 29 日至 31 日在南宁召开，来自全国公路行业相关单位的 114 名代表参加了会议，我公司岩土勘察分院院长张修杰及副院长邓超文、张金平参加了会议。本次会议由中国公路勘察设计协会主办，中国公路勘察设计协会岩土工程专业委员会、广西交通设计集团有限公司、广西岩土灾害防治工程技术研究中心、广西崇瑞高速有限公司承办。

为推进交通强国建设，发挥科技创新在公路建设中的引领作用，促进和提高岩溶地区公路勘察设计水平，大会针对各单位在岩溶地区进行公路建设的过程中面临的一些重大工程地质问题及岩土工程关键技术展开技术交流。会议邀请了全国岩溶工程地质领域顶尖技术专家进行讲座，如中国工程院卢耀如院士就国内外岩溶研究现状、发展趋势及展望进行了讲解，中国地质科学院岩溶地质研究所雷明堂研究员就岩溶塌陷研究的现状、方法及工程实践进行了分享。与会代表针对各自感兴趣的问题与各主讲专家进行了较为充分的沟通、交流，取得了很好的效果。主题交流之后，2019 年 10 月 31 日与会代表参观了崇水高速公路，现场感受岩溶特殊地貌，现场交流岩溶关键技术。

（报道者：张金平）

2019 年全国公路隧道学术年会报道

2019 年全国公路隧道学术年会暨中国公路学会隧道工程分会第六届三次理事会于 2019 年 9 月 23 日－24 日在河南省郑州市举办；本次交流会由中国公路学会隧道工程分会、河南省交通规划设计研究院股份有限公司主办，招商局重庆交通科研设计院有限公司承办，公路隧道建设技术国家工程实验室、隧道建设与养护交通行业重点实验室、《隧道建设（中英文）》编辑部协办。

此次学术年会得到了业内的广泛响应，来自全国各地的 300 余位代表齐聚一堂共同参与。中国公路学会隧道工程分会秘书长吴梦军主持大会开幕式，河南省交通规划设计研究院股份有限公司董事长、河南省交通运输厅长、中国公路学会隧道工程分会理事长、中国公路学会副理事长兼秘书长分别为大会致开幕词。

本次会议为期两天，共邀请了 20 位来自隧道

与地下工程行业科研院所、高等院校以及企业的专家，围绕近期隧道工程中存在的问题和应对的方法以及新技术、新工艺的发展趋势与方向展开学术交流，并于 24 日下午赴郑州市渠南路常西湖隧道进行了现场参观学习。本次交流会的专家报告主要有：

1. 城市地下空间发展与探讨（中国工程院院士 陈湘生）；2. 川藏铁路隧道 TBM 主要问题的思考（中铁隧道局集团有限公司总工 洪开荣）；3. 软岩隧道荷载作用机制及新型工法尝试（长安大学公路学院院长 谢永利教授）；4. 公路隧道波纹钢装配式支护技术研究进展及新思考（同济大学土木工程学院地下建筑与工程系主任 丁文其教授）；5. 河南省公路隧道建设过程典型案例分析（河南省交通规划设计研究院股份有限公司副总经理兼总工 刘东旭）；6. 深层水泥搅拌桩（DCM）复合地基加固技术在深中通道沉管隧道基础应用与实践（深中通道管理中心 金文良）；7. 城市复杂环境下地下立交设计（吴胜忠）；8. 钻爆法施工公路隧道排水系统方案及其病害处置技术研究（辽宁省交通规划设计院有限责任公司隧道专业副总工 万明富）；9. 复杂地质条件下高速公路大跨明挖隧道建设与管理实践（广州机场第二高速公路有限公司总工 吴绍明）；10. 软弱围岩条件下公路隧道拉锚支护结构力学特性分析（重庆交通大学研究生院院长 梁波）；11. 基于变形释放与应力调控的软岩大变形分级与控制对策（甘肃省交规院第四分院院长 王永刚）；12. 城市隧道工程发展及关键技术分析（中交公路规划设计院隧道与地下工程部总工 张志刚）；13. 大跨度浅埋暗挖单拱地铁车站优化研究（中建股份技术中心副总工 郭小红）；14. 西藏公路隧道建设技术探讨（河南省交通规划设计研究院股份有限公司城市交通与地下工程院院长 付大喜）；15. 长江公路隧道建设的几个技术问题探讨（铁四院隧道院副总工 薛光桥）；16. 煤系地层隧道排水系统防结晶堵塞技术与实践（重庆交通大学土木工程学院 张学富教授）；17. 常西湖隧道及"四个中心"地下空间工程建设关键技术探讨（郑州市市政工程总公司总工 高振波）；18. 隧道施工运营期结构安全智能监测预警技术与系统研发（郭鸿雁）；19. 纵向通风隧道内火灾烟气流动与临界风速特征研究（唐飞教授）；20. 新一代城市地下空间变形缝构造界面防水技术开发与工程应用（张双杰）。

通过学术年会学习与参观，本人有几点心得体会：

1、隧道与地下空间的开发利用为未来城市建设的主要趋势，但我国的地下空间开发仍面临众多问题：产权划分法规缺失、功能多样时无法招拍挂；已建工程缺乏相通相联；所涉不同行业标准规范不统一；地下空间基础信息统计严重缺失、缺乏共享共用；地下空间开发缺少统筹规划等。不仅仅是相关政府部门与建设单位，设计院同样任重而道远。

2、隧道建设不应该墨守成规，应结合项目特点及所处环境灵活设计。重庆轨道交通 9 号线一期工程若干车站采用单拱结构跨越二十余米宽地下空间，郑州市渠南路常西湖隧道采用折板式结构跨越大跨度地下空间，打破传统的思维模式，为往后隧道工程的建设提供一种新的思路。

3、珠三角地区地下空间的开发利用较为复杂。以郑州市渠南路常西湖隧道为例，其场地以硬塑状粉土为主，基坑以简单的桩锚支护即可；但三角洲地区软土分布较为普遍，我院主要市场珠三角地区更是以深厚淤泥（局部夹沙）为主，且地下管线错综复杂，给地下空间的开发利用增加了更多的不确定因素，加之近年来地方（除上海、深圳外）财审过于严格，如何处理好日益复杂的地下环境与有限的工程造价间的关系，成为我院近年来地下空间开发利用亟待解决的问题。

（报道者：古少枫）

第九届交通工程测量学术研讨会报道

2019 年 10 月 11 – 13 日，由中国测绘学会工程测量分会、全国交通工程测量学术研究会和山东省测绘地理信息学会联合主办，山东交通学院交通土建工程学院、东南大学交通学院承办，广州中海达天恒科技有限公司等单位协办的“第九届全国交通工程测量学术研讨会”在山东交通学院长清校区召开。

本次学术会议的主题为“测绘与遥感新技术在交通工程中的应用”，旨在探索交通工程测量新理论、新技术、新装备和新方法。来自东南大学、武汉大学、重庆交通大学、兰州交通大学、清华大学、同济大学、中国石油大学（华东）、中国科学院、南京信息工程大学、桂林理工大学等三十多家单位的近百位代表，以及山东交通学院测绘和地信相关专业师生四百多人共同参加了本次会议。山东交通学院陈松岩院长、山东省测绘地理信息学会梁友发副理事长到会祝贺，并对出席会议的嘉宾、专家和师生表示欢迎。

大会邀请了欧洲科学院院士/南京信息工程大学金双根教授、武汉大学潘正凤教授、长安大学杨志强教授、国家优青/同济大学李博峰教授、东南大学胡伍生教授做了大会主题报告。本届学术会议还设置了三个分会场，学术交流主题分别为：导航定位及交通测绘信息工程、测绘信息化与精密工程测量新技术、摄影测量与遥感新技术，有 12 位专家教授和 19 位研究生分别做了领域最新研究成果报告。会议现场学术氛围浓厚，学术收获颇丰，很好地展现了全国交通工程测量研究会专注学术交流的宗旨。

（报道者：汤 敏）

第三届中国旅游交通大会报道

2019 年 10 月 29 – 30 日，以“跨界 · 融合 · 创新”为主题的第三届中国旅游交通大会在河北省石家庄市国际会展中心隆重召开。来自全国各地交通运输及文化旅游行业从业者代表 800 余人汇聚一堂，就交通旅游融合发展进行全面深入的交流，共同探索旅游交通发展的新机遇与新业态。本次大会由开幕式、主旨报告、主题论坛、专项活动、旅游交通项目推介会、现场考察六部分组成。

29 日上午，翁孟勇理事长等专家学者先后围绕“关于交旅融合的若干思考”“交旅融合与旅游创新发展”“江苏省‘四好农村路’与乡村旅游深度融合发展实践”“河北交投推进交旅融合发展的创新与实践”等主题作了主旨报告。

大会会场

翁孟勇理事长主旨演讲

29 日下午，与会代表一同前往太行山高速公路沙河服务区参加了全国首条旅游高速公路—“太行山旅游高速”揭牌仪式。太行山高速于去年底建成通车，不仅使“巍巍太行八百里、玉带蜿蜒变通途”，还串起沿线 53 个 4A 级以上旅游景区，为助力老区脱贫攻坚、推动交旅融合发展赋予了全新内涵。与会代表还参观了河北省第一家落户该服务区的跨境药品电商网点、首个服务区 ETC 车道、依托五条山脉汇聚成服务区“五龙戏珠”景点。之后，又前往临城服务区，考察了服务区房车营地、360°全面透光星空房，并现场体验了以“交旅融合与山区产业扶贫”为主题的河北禄发第六届美食节特色产品和美食。

太行山高速公路沙河服务区

“太行山旅游高速”揭牌仪式

跨境药品电商网点

服务区房车营地

美食节

30 日，大会举行了以“旅游公路规划与设计”“美丽乡村路建设与实践”“交旅融合与产业经济发展”“服务区与旅游融合的新定位、新业态、新模式”等主题论坛。

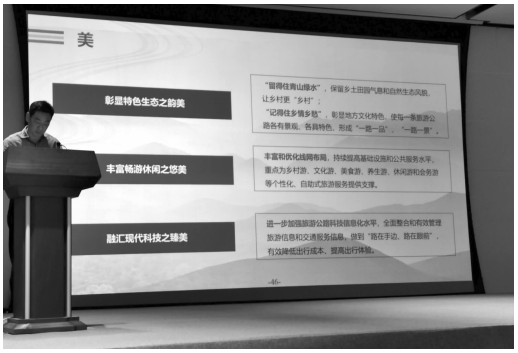
美丽乡村公路说—部规划研究院

乡村公路规划设计与示范—中交一公院

美丽乡村路建设技术探索—台州市交通局

服务区发展的 N 种可能—招商局重庆交科院

广西贺巴高速交旅融合案例—广西新发展交通集团



智慧农村公路建设实践—江苏省溧阳交通局

交通是旅游产业的催生素，又是其发展的重要引擎；而旅游是现代交通转型升级的重要方向标，旅游业发展要求提供更加高品质的交通服务。随着现代社会的发展，交通与旅游的关系越来越密切。

交旅融合是适应经济社会发展对交通运输需求的必然要求，我国交通发展现在正由整体适应向提供高品质交通服务时期过渡，过去交通供给的目标是在安全的基础上能通、能达、能远，而旅游服务要求交通不仅要“达”，而且要“畅”、“美”、“舒”及个性化服务，客观上要求交通提质转型。

交旅融合是促进交通运输业提质降本增效，是深化供给侧结构性改革的有效途径。供给侧结构性改革就是要从过去注重数量增长、规模扩大、空间拓展、粗放式发展方式，转到更为满足社会经济需求，提供更加高效、高品质、精细化交通服务。

（报道者：林炳洲）

第四届全国水下隧道建设与管理交流会暨深中通道沉管隧道现场观摩会报道

第四届全国水下隧道建设与管理交流会暨深中通道沉管隧道现场观摩会于 2019 年 11 月 20 日 -21 日在深圳召开。本次交流会由中国公路学会主办,深中通道管理中心和中交公路规划设计院有限公司联合主办,广东省交通运输厅、广东省交通集团有限公司、广东省公路学会、广东省公路建设有限公司支持,中交水运规划设计院有限公司、中交第一航务工程局有限公司、中交第四航务工程局有限公司、中交广州航道局有限公司、保利长大工程有限公司、交通运输部广州打捞局、中铁隧道局集团有限公司、广船国际有限公司、中船黄埔文冲船舶有限公司、特瑞堡航运与基建、株洲时代新材料科技股份有限公司协办。

会议有近 300 位代表参会,会议开幕式由中国公路学会副秘书长乔云主持,广东省交通运输厅副厅长贾绍明同志致开幕辞,广东省交通集团有限公司副总经理曹晓峰致辞简要介绍了集团的发展情况,中交公路规划设计院有限公司总经理宋晖致辞同时简述了深中通道项目的进展情况。

会议主题是“水下隧道创新技术与重大工程实践”,会议设主旨报告 + 深中通道项目专题报告、互动讨论等多个精彩环节,21 日下午组织到深中通道 S03 标东人工岛及堰筑隧道项目现场以及深中通道 GK01 标沉管隧道管节钢壳制造生产线和 GK02 标沉管隧道管节钢壳制造生产线进行项目考察。

本次交流会的专家报告主要有:

1. 地层冻结技术及风险预控(中国工程院院士 陈湘生);2. 隧道等地下工程渗漏防治及隔振技术进展与“工程医院平台建设”(郑州大学 郭成超教授);3. 深中通道钢壳混凝土沉管隧道智能建造实践(广东省公路建设有限公司总经理、深中通道管理中心主任 陈伟乐);4. 深中通道沉管隧道设计关键技术与创新(中交公路规划设计院有限公司副总经理 徐国平);5. 钢壳混凝土沉管隧道自密实混凝土制备及浇筑关键技术(深中通道管理中心副主任、总工程师 宋神友);6. 外海沉管浮运安装核心船舶装备群(中交第一航务工程局有限公司总工程师 潘伟);7. 深中通道钢壳混凝土组合结构设计技术(深中通道勘察设计 A 合同段隧道专业负责人 黄清飞);8. 沉管隧道预制关键施工技术(中交四航局深中通道 S09 标项目经理部常务副经理兼总工程师 黄文慧);9. 基于现有船坞预制钢壳混凝土管节的关键技术(保利长大工程有限公司深中通道 S08 合同段项目总工程师 苏宗贤);10. 海域筑岛对既有高速公路桥梁的保护技术(中铁隧道局集团有限公司深中通道 S03 合同段项目总工程师 李学刚);11. 特瑞堡水下工程密封防水解决方案(特瑞堡航运与基建业务部隧道工程设计总工程师 Joel van Steee);12. 隧道安全智能监测预警关键技术(中国交通建设股份有限公司路桥轨道交通事业部总工程师 李宗平);13. 我国水下隧道技术发展(深中通道管理中心副总工兼总工办主任 陈越);14. 我国特大、超长水下隧道发展现状与展望(中交公路规划设计院有限公司隧道与地下工程部经理 吕勇刚);15. 我国大直径盾构隧道成套技术研究与海外应用探索(中交第二公路勘察设计研究院有限公司隧道院副院长 拓勇飞);16. 香港沙中线跨海隧道特殊环境下新型终端接头设计与施工(广州打捞局深中通道 S08 合同段项目总工程师 李汪讳)。

通过交流会学习与参观,本人有几点心得体会:

1. 目前,我国已建成的代表性沉管隧道工程

有港珠澳大桥海底沉管隧道、南昌红谷隧道、佛山东平隧道、舟山沈家门港海底隧道，目前开工建设的有大连湾海底沉管隧道、深中通道沉管隧道、南昌二七过江通道和襄阳东西轴线沉管隧道等，越来越多的隧道工程采用沉管法修建，必将推进沉管法隧道修建技术的快速发展。

2. 深中通道项目全长约 24 km，其中海底隧道长约 6.8 km，桥梁长约 17.2 km，设 2 处人工岛，采用设计速度 100 km/h 的双向 8 车道高速公路技术标准。深中通道沉管隧道是世界首次大规模应用钢壳混凝土沉管隧道，具有“超宽、深埋、变宽和大回淤”的技术特点。并参观了深中通道 S03 标东人工岛及堰筑隧道现场以及 GK01 标沉管隧道管节钢壳制造生产线。

东人工岛现场

管节钢壳制造现场一

管节钢壳制造现场二

3. 我院尚未有水下隧道设计业绩，今年珠海屏湾二路、中山起湾道石岐河隧道设计的推进将实现我院水下隧道技术突破，通过参加会议丰富了水下隧道知识，吸取先进隧道技术，为后续设计工作开展起到重要作用。

（报道者：李为洁）

中国测绘学会 2019 年学术年会报道

2019 年 10 月 15 – 18 日，由自然资源部、中国科学技术协会指导，中国测绘学会主办，武汉大学、同济大学、深圳大学、中国地图出版集团、中国测绘科学研究院、国家基础地理信息中心、自然资源部国土卫星遥感应用中心、华为技术有限公司、阿里巴巴集团、百度在线网络技术（北京）有限公司、深圳市腾讯计算机系统有限公司、南京天乐展览有限公司等单位支持的“中国测绘学会 2019 年学术年会”在南京国际展览中心召开。

本次学术年会的主题为“创新融合、智绘未来——测绘服务生态文明建设”，学术年会致力于推动测绘地理信息科学学术交流、知识普及、技术成果转化、产业发展，为增强我国测绘与地理信息的自主创新能力、促进经济社会可持续发展服务。

全国政协副主席何维、自然资源部副部长库热西、江苏省副省长费高云、中国测绘学会理事长宋超智在大会开幕式上讲话。陈俊勇、刘经南、李德仁、魏子卿、王家耀、孙九林、张祖勋、李建成、陈学庚院士出席会议。会议同期举办的第九届中国测绘地理信息技术装备博览会，是全国地理信息行业最具影响力的展会，也是展示测绘地理信息新技术

研发及最新成果的重要平台。来自国土、规划、水利、农业、环保、交通等相关行业的代表，以及自然资源系统和全国相关高校、科研机构、企事业单位的近 1 万人参会参展。

年会主论坛上，院士专家围绕测绘遥感学科发展 60 年回顾与展望、自然资源大格局下的新型基础测绘、军民融合的北斗、北斗导航技术在现代农业中的应用等主题做了精彩报告。同期举办了科技与产业沙龙和 14 场分论坛，专家学者和各界代表围绕无人机与自然资源智能感知、现代工程测量技术及发展、大数据时代的自然资源管理、人工智能时代的地图学与地理信息技术、地理国情监测技术与应用、测绘地理信息创新发展与园区建设、遥感监测卫星发展与应用、穿越时空的地图之路、新一代信息技术打造新型智慧城市、文化遗产保护前沿技术、智能时代测绘服务模式与创新等主题，展开热烈研讨和交流，分享测绘科技前沿技术和思想。

大会颁发了测绘地理信息杰出成就奖，揭晓首届十大测绘科技创新人物，颁发 2019 年测绘科技进步奖、优秀测绘工程奖等奖项。我公司申报的“沈阳至海口国家高速公路阳江至茂名段改扩建工程测量”获得全国优秀测绘工程奖铜奖。

（报道者：刘定）

庆祝新中国成立七十周年暨澳门回归二十周年系列活动
——粤港澳大湾区建筑业发展与前沿科学技术研讨会报道

2019 年 11 月 7 日，为庆祝新中国成立七十周年暨澳门回归二十周年，由澳门工程师学会主办，广东省科协、香港工程师学会协办的粤港澳大湾区建筑业发展与前沿科学技术研讨会在澳门科学馆召开，来自广东、香港、澳门、美国的业界学术组织、高校、科研单位、企业等代表齐聚会场。我司积极参与粤港澳大湾区建设，派出郑楷柱、葛晓光两位高级工程师参与交流大会。

出席开幕式的主礼嘉宾包括中央人民政府驻澳门特别行政区联络办公室经济部徐俊副部长、澳门环境保护局叶扩林副局长、科学技术发展基金马志毅主席、澳门基金会教科文中心郭韦琪处长、澳门建设发展办公室林炜浩主任等。本次大会由澳门工程师学会理事长肖志泳博士主持，澳门工程师学会会长胡祖杰和理事长肖志泳分别为大会致辞。

嘉宾合影

会议期间共有来自粤港澳美的 12 位专家作了大会报告，其中广东省 4 人，香港 2 人，澳门 5 人，美国 1 人，报告主题围绕粤港澳三地的社会可持续发展话题进行探讨，我司郑楷柱作了《万龙跨海工程的方案研究》、葛晓光作了《高速公路服务区污水整治工程技术研究》的主题报告，并在报告后进行分组问答专题探讨；澳门工程师协会分别给报告嘉宾致以感谢状。

郑楷柱演讲

葛晓光演讲

嘉宾座谈

广东省参会代表合影

本届大会的学术报告研讨内容包括斜坡、水环境、环境保护、交通、智慧城市、机电工程、电机工程、设施管理等，开展具有宏观性、前瞻性、战略性、技术性、应用性等的专题研讨，为粤港澳三地的社会可持续发展起推动作用。与会代表除了在学术方面，还包括区域差异方面，都进行了广泛的交流，我司代表所作的报告，引起与会代表的浓厚兴趣，交流充分，气氛良好。通过派代表参加学术研讨会，既培养锻炼了青年技术骨干，又进一步扩大了我司的品牌影响力。

（报道者：郑楷柱、葛晓光）

世界大跨度拱桥建设技术大会报道

12 月 9 日，由中国工程院土木、水利与建筑工程学部、国际桥梁与结构工程协会（IABSE）、世界拱桥大会永久性学术委员会（PSC－iCAB）、中国土木工程学会桥梁及结构工程分会、中国公路学会桥梁和结构工程分会主办的首届世界大跨度拱桥建设技术大会在南宁举行。围绕“大跨度拱桥建设的前沿科学问题和关键工程技术”这一大会主题，包括 19 位中国工程院院士、外籍院士在内的 400 多位国内外专家、学者齐聚一堂，共同探讨拱桥领域的前沿科学问题和工程技术问题，并带来相关研究的前沿动态和卓越成果。广西壮族自治区副主席李彬，广西壮族自治区政协副主席、广西大学党委书记刘正东，中国工程院院士、中国工程院土木、水利与建筑工程学部主任、南京水利科学研究院院长张建云等出席并致辞。

大会上，郑皆连、邓文中、聂建国、缪昌文、陈政清等院士分别以《中国拱桥建设成就及展望》、《拱桥的构思》、《组合结构报告》、《混凝土方面报告》、《桥梁振动与电涡流阻尼技术进展》为主题做专题报告。

来自全球各地的知名专家受邀出席本次大会，其中包括了两院院士、专家 30 余人，国（境）外专家约 30 人，其余大部分为设计大师、总工、长江学者、杰青等层次知名专家学者。国家自然科学基金委员会、同济大学、清华大学、深圳大学、中国铁路总公司、中科院等来自国内外高校、科研院所和工程单位、技术企业的 400 多位专家、学者以及研究生代表参加本次活动。

平南三桥，主跨 575m，矢跨比 1∶4，拱轴系数 m＝1.5，拱肋间距 25.3 m，拱肋高度，跨中 8.5 m，根部 17.0 m，吊杆间距 15.5 m。作为世界上最大跨径拱桥，项目建设过程中特点如下：一是在国内首次将“地下连续墙＋卵石层注浆方案”应用于大跨径拱桥拱座基础施工，开启复杂地质建设拱桥新模式；二是通过装配式、集成化、信息化手段，对缆索吊装系统进行再升级，采用北斗卫星定位系统、智能张拉等技术，以主动控制代替刚度被动控制，将 200m 高的塔架顶部偏位控制在 20 mm，精确把控达到新精度；三是首创《基于影响矩阵原理的钢管混凝土斜拉扣挂一次张拉计算理论》，大桥拱圈现形控制技术实现新突破；四是实现了具有 300 吨吊装能力的缆索起重机电气化自动控制；五是开展了密闭空间内可灌性差的砂卵石层固结灌浆技术研究、大体积混凝土裂缝控制技术研究、新型斜拉扣挂缆索吊装系统设计制造技术研究、C70 高性能混凝土制备与灌注、管内混凝土全过程真空辅助四级连续泵送等多个科研攻关课题。

（报道者：魏朝柱）

获奖喜报——江门至罗定高速公路三岔顶隧道荣获“2018－2019 年度国家优质工程奖”

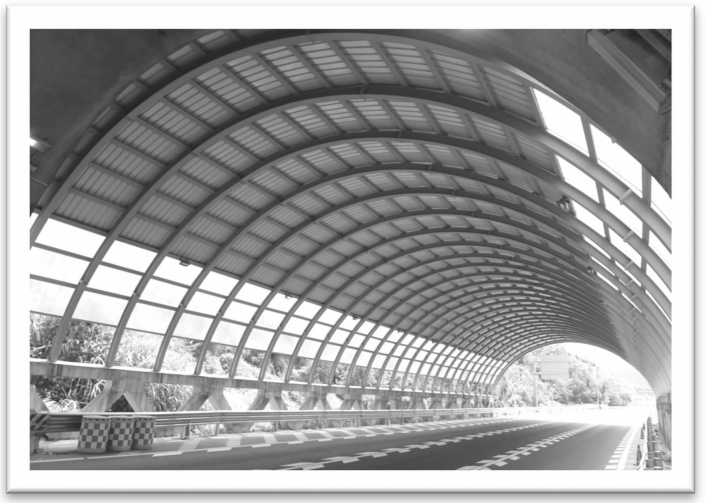
根据中施企协字〔2019〕65 号文“关于表彰 2018－2019 年度国家优质工程奖的决定”，我院（轨道与地下工程分院）承担设计的江门至罗定高速公路（以下简称“江罗”）三岔顶隧道获得“2018－2019 年度国家优质工程奖”。

江罗高速是广东省高速公路网规划第四横线的重要组成部分，是我省东西向的一条重要通道。三岔顶隧道是江罗高速重要组成部分，全长 3 191.5 m/座，设计时速 100 km/h，公路等级为高速公路双向六车道，为特长公路隧道。

三岔顶隧道在设计施工过程中开创性的应用了较多新型技术，针对本隧道的地质、地形条件，将科研与实际应用进行结合应用。第一，在优质优量的完成设计任务的前提下，仅用 18 个月便快速、安全的完成了隧道开挖任务；另外，隧道洞口设计的绿色环保“节能减排”型遮光棚，有效的降低隧道洞口交通事故发生率、提高行车舒适性，节约了隧道运营的能源、费用成本；第三，隧道洞口均采用“零开挖”进洞方案，有效保护了洞口的生态环境，落实了“绿色高速公路”设计理念；第四，设计中提出了高效爆破精细控制新理论并进行了实体应用，提高了掘进效率，降低了施工风险。

三岔顶隧道总体建设情况

三岔顶隧道洞内照明及内壁装修



三岔顶隧道洞口遮光棚

三岔顶隧道“零开挖”进洞设计

（报道者：王超）