



广东交通规划设计

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2025

2
总第198期

技术交流 信息共享

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

地址：广州市白云区鹤龙街道鹤瑞路8号
邮政编码：510440
电话：020-8608 8738
E-mail：kjzl@ghdi.cn
网址：http://www.ghdi.com.cn



准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料 免费交流

获奖喜报

2025年第二季度，公司荣获广东省工程勘察设计行业协会科学技术奖5项，其中一等奖3项；荣获广东省交通运输协会科学技术奖2项二等奖；中国城镇供水排水协会科学技术二等奖1项；3个发明专利。



2025年公司管理评审会议顺利召开

2025年2月至4月，公司开展了2025年（2024.1~2024.12）质量、环境和职业健康安全管理体系管理评审活动。4月14日下午，在公司总部4楼报告厅顺利召开了2025年管理评审决议会议。此次会议由公司总经理黄湛军主持，公司领导层、各部门第一负责人及体系负责人员近60人参会。



公司级评审



2025年1月3日国道G325线开平百合至恩平圣堂段改建工程初步设计评审会



2025年4月25日国道G324线罗定素龙至附城段初步设计评审会



2025年5月22日祁阳市浯溪电站坝桥分离湘江大桥工程施工图设计评审会

广东交通规划设计

(每季出版)

2025 年 6 月 30 日印刷

2025 年第 2 期

(总第 198 期)

内部资料 免费交流

准印证号: (粤 O) L0150076 号

编辑委员会

主 任: 黄湛军

副主任: 孙向东

委 员: 万志勇、王景奇、卢绍鸿、
刘吉福、杜燕群、张修杰、
陈志翔、陈新富、邱赞富、
周 震、梁志勇、梁淦波、
张建良

主 编: 孙向东

副 主 编: 林 敏

责任编辑: 黎 敏

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: 广州市白云区鹤瑞路 8 号

邮政编码: 510440

电 话: 020 - 8608 8738

E - mail: kjzl@ghdi.cn

发送对象: 公司及行业内部

本期印刷数量: 350 本

印刷单位: 广州市艺彩印务有限公司

封 面: 信丰(省界)至南雄高速公路

目 次

部委政策

广东省交通运输高质量发展三年行动方案(2025 - 2027 年)
..... (1)

公司动态

广东省交通运输厅党组书记、厅长林飞鸣一行莅临公司指导
工作 (7)

广东省工程勘察设计行业协会会长陈星一行莅临公司指导
工作 (8)

公司荣获广东省公路工程信用评价最高等级 AA 级 (9)

公司承担的黄茅海跨海通道项目荣获 2025 年国际桥梁大会
乔治·理查德森奖 (10)

公司承担项目荣获 CCPA - UHPC 分会“UHPC 创新奖” (11)

粤桂省际新通道——南宁至湛江高速公路广东段初测初勘外
业验收及初步设计顺利通过评审 (13)

数字铸品质,智绘未来路——平武高速公路国网段初测初勘外
业验收顺利通过评审 (14)

国道 G325 线开平百合至恩平圣堂段改建工程初测初勘外业
验收及初步设计顺利通过评审 (15)

技术论文

深汕西改扩建工程超大跨公路隧道设计与实践
..... 梁淦波,杨宝锋,祝 鑫 (16)

基于整体节点理念的钢盖梁与混凝土墩柱连接结构优化设计
..... 梁全章,郭文华 (25)

基于梯形分块法的截面分析方法研究 郭凯生 (30)

重力流污水管道纳入综合管廊设计要点分析
..... 葛晓光,陈颖青,谢 璞,张建良,袁炳祥 (34)

专委会活动

公司获中国城镇供水排水协会科学技术奖二等奖并进行内涝
防治主题宣讲 (42)

信息专栏

2025 年工程勘察设计高质量大会暨管理体系认证交流研讨
会及“中设 3A”勘察设计数字好产品分享交流活动 (44)

2025 年全国地质灾害与防治学术交流会 (46)

第六届给排水管网管理与运维大会 (47)

广东省高速公路营运管理协会 2025 年团体标准工作宣贯暨
新技术交流会 (49)

第十九届工程物探学术交流大会报道 (49)

广东省交通运输高质量发展三年行动方案(2025—2027 年)

为深入贯彻落实习近平总书记关于交通强国的重要论述精神,认真落实省委、省政府工作部署,加快推进交通强省建设,服务支撑广东在推进中国式现代化建设中走在前列,制定本行动方案。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,全面贯彻党的二十大和二十届二中、三中全会精神,深入贯彻落实习近平总书记关于交通强国的重要论述精神,全面落实省委“1310”具体部署,坚持稳中求进工作总基调,完整准确全面贯彻新发展理念,服务加快构建新发展格局,着力推动高质量发展,以满足人民日益增长的美好生活需要为根本目的,加快推进交通强省建设,打造安全、便捷、绿色、高效、经济、包容、韧性的可持续交通体系,努力实现“人享其行、物畅其流”美好愿景,为广东在推进中国式现代化建设中走在前列提供坚强有力的交通保障。

二、工作目标

到 2027 年,我省总体建成贯通全省、畅通全国、辐射全球的现代化综合立体交通网,跨境跨省交通网络更加畅通开放,城市(群)交通更加优质高效,城乡交通更加均衡协调,交通发展更加安全可靠,交通运输高质量发展总体走在全国前列,率先实现交通运输现代化。

——跨境跨省交通网络更加畅通开放。世界级港口群和机场群加快形成,国际航空航运枢纽竞争力显著增强,国际运输网络连通度全面提高,公路铁路对外通道辐射能力持续提升。

——城市(群)交通更加优质高效。基本实现“12312”出行交通圈和“123”快货物流圈,粤港澳大湾区世界级城市群迈上新台阶,城市(群)交通出行更加便捷、物流更加高效。

——城乡交通运输更加均衡协调。基本实现高

快速路连接市区、县城、中心镇和重要节点,高水平实现国道“县县通”、省道“镇镇通”、行政村双车道“村村通”,城乡交通运输一体化发展。

——交通发展更加安全可靠。交通运输安全与风险管控体系更加完善,交通网络韧性和应对各类重大风险的能力显著提升,重特重大事故发生率持续下降,重要物资运输更加安全可靠。

三、主要任务

(一)构建畅通的跨境跨省综合运输通道。

1. 提升干线公路出省通道通行能力。加快贯通全省高速公路“十二纵八横两环十六射”主骨架,推动国家高速公路网粤境段全面建成,推进平武高速、深南高速、雷州半岛西线高速等项目规划建设。推动繁忙路段扩容改造,推进京港澳、沈海、广昆、济广等国家高速公路改扩建工程。强化省际干线公路衔接,推进南湛高速广东段、化北高速、惠肇高速、茂名至吴川高速等项目规划建设,推进国道 G228、省道 S223 蕉岭段等一批普通国省道低等级路段提级改造,提高路网技术水平和通行能力。

2. 加快建设世界一流港口群。进一步深化港口改革,强化力量统筹,稳妥有序推进全省港口资源整合工作。加快构建“一核两极”港口发展格局,携手港澳共建世界级港口群。推动广州港、深圳港打造国际枢纽海港,推动汕头港、湛江港打造粤东、粤西地区枢纽港。提升港口重点物资装卸能力和全球海上通道韧性,规划建设一批煤炭、油气、矿石、粮食、集装箱等码头。推进湛江港徐闻港区设施提质增效,提升琼州海峡北岸通航能力和客滚运输高峰期服务保障能力。提升内河高等级航道服务能力,推进北江上延、东江、顺德水道等航道扩能升级,做好粤赣运河等前期研究工作。支持广州港、深圳港拓展腹地纵深,布局内陆港,加密驳船航线。

3. 完善畅通全国的铁路出省通道。畅通国家

高速铁路主通道,推进广湛、汕汕、漳汕、梅武、深南、合湛等在建铁路项目建设,推动湛海高铁、广清永高铁等项目开工,加快广深第二高铁等项目前期工作,研究谋划粤港澳大湾区联通京津冀、长三角、西南地区的高标准铁路通道。畅通普速铁路、货运铁路出省通道,加快推进瑞梅、柳广铁路等项目规划建设,推动广梅汕铁路电气化改造,提高普速铁路通行能力。

4. 携手港澳打造世界级机场群。加快完善全省“3+4+8”运输机场布局,加快广州白云机场三期扩建工程、深圳宝安机场三跑道扩建工程等项目建设,新开工广州新机场、阳江机场,研究推动惠州机场二期扩建等项目前期工作,加快汕尾、云浮等机场选址研究,推进江门台山、湛江雷州等通用机场建设。深化粤港澳大湾区民航合作,支持广州打造全方位门户复合型国际航空枢纽、深圳打造区位优势门户复合型国际航空枢纽,推动枢纽机场协同发展。推动广州白云、深圳宝安及广州新机场引入高速铁路,完善城市候机楼布局,强化机场的综合交通枢纽功能,打造“轨道上的机场群”。加快完善航空货运设施布局,积极发展临空经济。

5. 拓展辐射国内外的航空航运网。打造国际航空门户枢纽,构建以国际航线、国内干线、区域支线相互支撑,以广州、深圳机场为中心的轮辐式航线网络,拓展国际国内航线覆盖的宽度和厚度,加快发展国际通程航班业务。争取航权试点和航线配置,提升航班时刻资源配置效能,优化航空发展政策环境。加强国际物流出海大通道建设,巩固广州港、深圳港面向欧美、东南亚、非洲的国际集装箱运输枢纽港优势地位,扩大面向“一带一路”沿线市场布局和覆盖范围,加大日韩、印巴、中东、南美等航线拓展力度。强化粤港澳大湾区贸易、航运枢纽功能,扩大“组合港”“并行港”试点。

6. 强化与港澳跨境交通互联互通。推动香港、澳门更好融入国家发展大局,完善珠三角各市连通口岸的快速交通体系。协调推进深港西部铁路(洪水桥至前海)前期研究,推动广珠(澳)高铁鹤洲至横琴段开工建设。谋划出台更多便利政策

措施,进一步研究用好管好港珠澳大桥,推动香港口岸停车场政策落地实施,推进香港国际机场东莞空港中心建设。进一步深化“深圳盐田-香港葵青”港口合作。提升港澳水路客运航线服务水平,优化珠江口两岸水路客运航线。

(二) 打造一体高效的城市(群)交通网。

7. 加快建设“轨道上的大湾区”。加快广州、深圳都市圈城际铁路建设,推动佛穗莞城际、南珠(中)城际香山至拱北段、广州东站至新塘五六线等项目开工,建成广佛东环、穗莞深琶洲支线、广佛西环等项目,基本建成粤港澳大湾区城际铁路骨干网。构建粤港澳大湾区轨道交通互联互通接入规则,推进轨道交通标准衔接、装备统型、安检互认、票制互通,推动不同制式城际铁路间、城际铁路与具有市域(郊)铁路功能的城市轨道交通实现互联互通,制定省方自主运营城际铁路动车组管理规则、粤港澳大湾区轨道交通互联互通规范等,推动轨道交通“四网融合”试点在全国率先取得突破。

8. 打造大湾区一体化高快速交通网。构建环珠江口“黄金内湾”交通主轴,推进狮子洋通道、深江铁路等跨江通道建设,推动莲花山通道、虎门大桥改扩建项目前期工作,研究论证深珠通道(伶仃洋通道)建设。完善城市群高快速路网体系,加强市际通道和城市出入口道路衔接,推进广深高速、机荷高速、广澳高速、济广高速等繁忙路段扩容改造。推进毗邻城市路网一体化规划建设,加快广佛大桥、中山东环、古神公路、石洲大桥等项目建设。

9. 增强大湾区对粤东粤西粤北的交通辐射能力。加强大湾区与粤东粤西地区高铁衔接,加快珠肇、深汕等铁路项目建设,争取广河高铁等项目纳入近期建设计划。完善大湾区通达粤东粤西粤北地区的干线公路网,推进佛肇云高速、惠肇高速和广惠高速、广三高速、深汕东高速改扩建等项目建设。加快粤东城际铁路网规划建设。

10. 建设便捷高效的综合交通枢纽体系。构建“2+3+8+8”多层级枢纽城市体系,建设一体化综合交通枢纽。强化综合客运枢纽换乘中心及周边配套设施一体化设计建设,推动新建和改扩建综

合客运枢纽主体功能与道路客运、城市客运功能同步规划、同步设计、同步建设、同步运营。打造铁路主导型综合客运枢纽,加快深圳西丽站、佛山站、汕头站、湛江北站、鹤洲站建设,开工建设广州东站改造工程,推进广州站改造前期工作。推动广州北站枢纽功能提升,联合白云机场打造空铁融合型经济示范区。加快推进广州、深圳、珠海等国家货运枢纽补链强链试点任务,构建现代综合货运枢纽体系。

11. 深入实施公交优先发展战略。推动出台《广东省城市公共交通条例》,健全城市公共交通票价体系,深化全国交通一卡通应用,实现城市公交一卡通覆盖率 100%;深化新能源公交车应用,实现城市公交电动化率 100%,开展氢燃料电池车辆试点示范,探索自动驾驶新技术应用,推进城市公共交通创新可持续发展。持续推动适老化无障碍交通出行工作,研究制订广东省城市轨道交通服务质量评价体系。

12. 打造低空交通运输示范城市。加快完善全省低空飞行服务保障体系,建设省级综合飞行服务站和广州、深圳、珠海 3 个 A 类飞行服务站,推进通用机场和无人机起降点建设。支持广州、深圳、珠海等具备条件的城市开通市内和城际低空客运航线,探索发展大湾区跨境低空飞行服务。聚焦城市(群)高端物流配送需求,发展无人机城际运输及末端配送应用。加快无人机在交通疏导、应急指挥调度、养护巡查、路政巡查等方面的推广应用。

(三) 建设广覆盖的城乡交通网。

13. 增强县域普通国省干线服务能力。锚定“百千万工程”目标,完善普通国省干线路网结构,提升干线公路通行能力。加快推进国道 G359 线信宜合水至旺同段改建工程等一批普通国省道低等级路段升级改造。加快国道 G206 线揭阳新亨至地都段改建工程等国省道穿城镇拥堵路段扩容提质。推进国道 G228 线雷州乌石至企水段、国道 G228 线台山市那琴桥至平堤水库段改建工程、国道 G234 线海陵大堤南至闸坡段等滨海旅游公路建设。

14. 畅通县城到高速公路出入口等重要节点

的路网。改善高速出入口至县城路段交通品质,推进高速公路出入口绿化品质提升全覆盖。推进国道 G228 线惠来靖海月山至石化大道段改建工程、韶关机场公路等项目建设,完善县城过境交通网络,提升车辆进入高速公路及快速通达机场、港口等重要枢纽的时效性。

15. 畅通县城到重点产业园区的路网。推进县城中心与省级及以上工业产业园区核心区实现二级及以上公路通达,县城中心与省级及以上农业产业园区核心区实现三级及以上公路通达,助力县域经济高质量发展。

16. 畅通县城到所辖镇街的路网。改善提升县城与镇街的交通便利性,推动县城与中心镇(街)基本实现二级以上公路通达,缩短城乡时空距离。优先支持通镇街的省道低等级路段升级改造。推进韶关市南雄帽子峰镇等 9 个镇街通县城的低等级公路的建设改造,实现三级公路“镇镇通”。推进圩镇拥堵路段改造,助力美丽圩镇建设,提升公路连城带村辐射带动作用。

17. 高质量推进“四好农村路”建设。加强中心镇、专业镇、特色镇连接周边镇村的公路建设,畅通城乡人流物流,辐射带动周边镇村高质量发展。加快实施粤东粤西粤北地区县道低等级路段改造,进一步提高农村公路双车道覆盖范围,2025 年基本实现行政村通双车道公路。以广州、珠海、佛山、东莞、中山等市 2025 年先行完成 500 人以上自然村通双车道为示范,“以片带面”有序推进全省 1000 人以上较大规模人口自然村通双车道建设。有序推进全省建设美丽农村路,实现美丽农村路串点成线、成环成网。

18. 建设有特色的高速公路服务区。加快打造“交农文旅商”融合发展、体现地域特色的高速公路特色服务区,把高速公路服务区打造为展示本地特色文化、展销本地特色产品和品尝本地特色美食的“三个窗口”,确保每个地市至少建设一对特色服务区。按“助农兴业”理念全面推进高速公路服务区微改造和服务品质升级,打造“百千万工程”重要支点。按照“适度超前”原则,全面提升高

速公路沿线充电服务保障能力,推动繁忙服务区“超充快充”设施建设。加快完善国省干线公路服务设施,提升服务能力和水平。

(四) 构建“人享其行”的客运服务体系。

19. 提高综合运输服务水平。加快各种运输方式融合发展,推动公路、水运、铁路、城市轨道交通、城市公交在航空枢纽、高铁枢纽、港口枢纽、邮政枢纽实现一体化互联互通。推进旅客运输“一票式”联程联运,培育综合客运平台型企业。推动城际铁路公交化运营,提升我省自主运营城际铁路管理水平。加强海岛水路客运航线创建,推动交旅融合发展。推动琼州海峡客滚运输高峰期服务保障能力提升,打造安全、便捷、高效的海上客滚运输大通道。支持广州、深圳邮轮运输发展,大力培育邮轮旅游运输市场。研究制订广东省游艇管理相关规定,推动粤港澳大湾区游艇自由行政策落地。建立健全出租汽车新业态治理体制机制。

20. 推动客运枢纽服务一体化。加快建设智慧低碳客运枢纽,推广应用信息化、智能化的新技术和清洁化、节能化的新能源,构建线上线下融合、绿色低碳的客运服务新体系。持续推进城际铁路与国铁干线安检互认工作;推动打造城际铁路和城市轨道交通安检互信示范。加快完善城际铁路站点周边配套衔接,提升站点交通接驳效率,实现城际铁路与其他交通方式便捷换乘。

21. 拓展城乡交通运输一体化。加快公路客运站转型发展,推动全省公路客运站布局平衡、供需平衡和盈亏平衡,构建招呼站和停靠站网络体系,提升公路客运整体服务水平。着力构建现代化城乡交通运输一体化服务体系,推动全省城乡交通运输一体化总体水平维持 5A 级,二级以上客运站联网售票和电子客票 100% 覆盖。

22. 创新城乡客运发展新模式。巩固全省建制村 100% 通客车成效,推进“互联网+农村客运”新模式,深化交通强国“交通与旅游等产业融合发展”试点成果转化推广。加快交旅融合发展,实现旅游客运服务扩大至 3A 级以上旅游景区全覆盖。加快农村客货邮融合发展,推进县、镇、村三级综合运输

服务站建设,打造省级客货邮融合发展试点示范。

(五) 推进交通物流降本提质增效。

23. 加快推进货运物流改革创新。制定实施交通物流降本提质增效行动方案,构建新型现代物流体系,推动交通物流从结构性、系统性、制度性、技术性、综合性、经营性等方面实现降本提质增效。组织推进交通物流降本提质增效交通强国专项试点,力争在交通物流与产业融合、智慧物流等重点领域率先突破。因地制宜推广应用新能源中重型货车,发展零排放货运车队,开展零排放货运走廊试点。

24. 深入推进运输结构调整优化。优化铁路、港口、公路、机场等基础设施一体化衔接,推进不同运输方式标准衔接、信息共享,支持建设多式联运公共信息平台。大力推动大宗货物和集装箱中长距离运输“公转铁”“公转水”和多式联运“一单制”“一箱制”,推动铁路货运市场化改革。加快推进疏港铁路专用线建设,打通铁路进港区、进园区、进厂区最后一公里。鼓励铁路运输企业与枢纽机场探索发展空铁联运。加大粮食、煤炭等“散改集”力度,完善广东港口至江西、湖南方向的“散改集”通道。

25. 推进“交通+物流+产业”融合发展。指导各地依托综合货运枢纽集聚产业资源,推动交通物流与先进制造业、现代农业、战略性新兴产业等协同布局、高效衔接。强化物流保通保畅,保障重要物资运输高效顺畅。支持中欧班列集结中心建设,支持沿海主要港口和航运企业深度合作,增加国际海运干线运力投入,加快发展航运服务业,助力我省加快推进高水平对外开放。

26. 提升国内国际物流供应链服务水平。加快发展铁路货运班列,支持铁路运输企业加强货源挖掘,增加班列运力,优化开行方案,推动稳定、常态化开行。引导铁路运输企业与大型物流企业、电商企业、邮政快递企业等合作培育高铁快运示范线路。支持优化国际班列开行组织,提升正点率和运输时效。指导广州、深圳、珠海、佛山、韶关等市推进城市绿色货运配送发展。

(六) 推动交通运输绿色智慧发展。

27. 高质量打造绿色交通体系。推进绿美铁路、公路建设,持续提升干线公路绿化建管养水平,打造绿美广东交通样板。推进绿色低碳交通强国试点任务,在改扩建项目零废建设、绿色智造等方面开展试点。加快推动交通运输大规模设备更新,实施城市公交车电动化替代、老旧营运柴油货车报废更新、老旧营运船舶报废更新、港口装卸机械和港内拖车更新等工作。推动交通与能源、水利等领域融合发展,合理共建光伏发电、储能和充电设施。推进水上绿色服务区建设,提供船舶水污染物接收、加油加气、岸电供水、应急保障和船员服务。创建一批星级绿色港口,推广绿色运输组织方式,推进港口大宗货物采用铁路、水运、封闭式皮带廊道、新能源和清洁能源汽车、船舶等清洁运输方式。

28. 科技赋能推动智慧交通发展。加快实施广东省“一轴两网”公路水路交通基础设施数字化转型试点任务,推动交通基础设施智慧扩容、安全增效、产业融合。推进公路交通基础设施建设项目勘察设计成果数字化交付,推动交通基础设施全生命周期数字化应用。支持交通领域的杆塔、管廊等资源与信息网络建设开放共享。推进广州南沙城市出行自动驾驶先导应用试点工作,探索自动驾驶、无人车、无人机等新装备以及云计算、大数据、物联网、人工智能等新技术在交通物流领域的应用。加快沿海和内河智慧港口建设,积极推进盐田东作业区、南沙通用码头、肇庆新基湾码头等智慧港口建设。

(七) 多措并举实现高水平交通安全。

29. 完善交通安全政策与监管机制。建立双重预防机制,出台省级风险、隐患评估细则,推动行业安全监管向事前预防转型。推动建立保护区联防联控工作机制,压实相关企业安全生产主体责任。开展异地运营车辆监管机制研究,建立道路客货运输企业、车辆、驾驶人信息共享和应急联动机制。推动重大事故隐患信息共享,实行清单制管理并动态更新整改落实情况。完善行业安全法规制度,加快修订《广东省交通运输厅关于公路水运工

程平安工地建设的管理办法》等管理制度。深化完善珠江流域及琼州海峡区域执法协作机制,协同开展专项执法工作。加强基础管理制度规范化建设,建立常态化沟通机制和联动制度,严格落实安全监管工作责任规范,全力推进安全监管工作系统化、规范化、精细化。

30. 提升交通基础设施本质安全水平。深入推进平安百年品质工程创建示范,引领推动工程质量持续提升。开展公路水运工程质量安全行业监管现代化体系研究,完善质量安全监管体制机制,提高监管效能。强化公路管养质量监管,推进管养平台质量监管系统开发与应用。完善铁路建设工程监管体制机制和管理制度,开展地方铁路建设监管行政处罚委托执法试点。深入推进施工安全管理标准化,进一步修订和完善相关管理制度,强化教育培训,着力推动平安工地建设全覆盖。进一步提升造价管理水平,促进公路、铁路、水运工程建设领域造价与质量、安全、进度要素全面协同,完善全过程造价管理机制,做好可行性和综合成本收益核算,合理确定、有效控制工程造价。

31. 强化交通运输安全与服务管理。深化“两客一危一重”车辆智能监管系统应用,建立健全车辆智能监管运行服务工作规范,完善车辆智能监管技术标准体系,推动道路运输安全智能监管标准化。深化数据融合应用,推动道路运输安全发展。深化危险品运输电子运单全过程全链条管理,优化新业态联合监管机制。加强重点水路客运等重点领域安全监管,纵深推进规范水路客运船舶岸靠泊问题整治,强化对港澳航线、邮轮以及琼州海峡等重点航线的监管。加强水上交通安全信息共享共治,推动水上交通安全治理模式向事前预防转型。建设省铁路运营监控调度指挥平台,提升铁路运营安全水平。加强轨道交通信息化建设及应用,提升轨道交通建设、管理、运营以及安全生产及应急处置能力。

32. 加强公路养护管理与行政执法。建立健全公路养护管理体系,强化公路运营领域安全治理。建立重点管控边坡、桥梁、隧道等清单,鼓励应

用自动化监测和预警新技术,提升公路基础设施防灾抗灾能力。开展高速公路安全韧性评估和在役高速公路设计回溯,研究制定路基防护及排水设计的地方标准。加强大件运输事中事后监管,推动大件运输通行监管智能化。做好干线路网运行监测,加强联网收费系统网络安全监管,保障高速公路通行安全顺畅,持续做好重大节假日“保安全保畅通优服务”工作。加强交通行政执法及跨区域联合执法建设,推进执法全过程记录(指挥调度)系统应用。推进执法站所标准化升级改造,加强公路超限不停车监测点管理维护,开展数字治超监管场景开发应用,不断提升执法效能。加强船舶碰撞桥梁等重大风险防范,深化船舶智能监管系统应用,完善船舶碰撞桥梁双重预防机制。

33. 建立健全交通运输应急保障体系。优化顶层设计,加强应急预案统一规划、衔接协调,高质量完善交通运输应急预案体系。优化交通运输应急管理协同联动机制,构建完善应急物资储备体系,不断提升公路应急物资综合储备能力,强化重点地区保障覆盖能力。加强安全应急信息化和智能化建设,强化现场态势感知设备应用,推动重要交通基础设施结构健康与安全风险监测网络建设。积极推进交通运输安全应急业务协同平台和交通运输省级应急指挥调度工程项目建设,提升交通移动应急通信平台保障能力。开展广东省交通运输省级应急指挥调度工程建设,提升交通应急指挥调度水平。

四、保障措施

(一) 加强组织领导。坚持和加强党的全面领导,建立健全省级统筹、市负主责、县抓落实的工作机制,系统谋划全省交通运输高质量发展。省强化统筹协调、政策制定、督促落实,加强行业监管和技术指导,建立奖惩机制和督导方案。各地级以上市及县政府要加强组织领导,强化统筹,加大对交通基础设施资金、用地等保障力度,加强交通基础设施建设的组织实施、统筹协调和指导监督,研究制定市、县实施方案,明确工作目标和主要任务,明确责任单位,狠抓工作落实。

(二) 强化要素保障。对纳入国家重大项目清单或省级重大项目清单的单独选址的交通基础设施项目用地,纳入省国土空间“一张图”管理,争取由国家配置计划指标,允许通过市域内统筹调剂、跨市域公开交易、按规定购买省级指标等方式落实水田占补平衡。完善征地拆迁补偿费用公开监督机制,强化项目全生命周期成本管控理念。积极争取中央资金支持,统筹用好省级资金补助,研究制定企业投资铁路专用线、通用机场等建设运营支持政策,做好地方政府专项债券作为交通重大项目资本金安排;加大金融支持力度,保障重大项目合理融资需求,支持企业发行债券募集资金;研究用好政府收费公路统贷统还政策,支持国家高速公路网建设;积极落实政府与社会资本合作建设公益性基础设施,规范项目建设阶段的政府投资支持和运营阶段政府补贴实施路径,完善价格形成、调整和补偿机制;全面推动基础设施领域不动产投资信托基金(REITs)常态化发行,多渠道盘活存量资产,鼓励民营资本等各类资本积极参与我省高速公路项目建设。

(三) 强化实施督导。坚持稳中求进、以进促稳,着力扩大有效投资,狠抓公路、铁路、水运、机场等重大项目建设,2025 至 2027 年全省公路水路计划完成投资约 6000 亿元,综合交通全口径(含铁路、机场)计划完成投资约 9000 亿元。按广东特色公路港航重大项目建设推进模式,合理制定年度工作目标、任务和计划,强力推进实施。加强督导调研,强化并联审批,及时跟踪建设进展,确保目标任务如期完成。

(四) 做好宣传推广。加大新闻宣传和舆论引导力度,推进优秀交通文化传承创新,做好港珠澳大桥、深中通道等现代交通重大工程的保护利用和精神挖掘,讲好交通故事。加强交通安全、交通文明方面的宣传,营造文明交通、安全交通发展环境。采用多种方式宣传交通行业单位和个人在推进交通高质量发展方面的成绩和典型事迹,营造人人关心支持、全社会共同参与的良好氛围。

广东省交通运输厅党组书记、厅长林飞鸣一行 莅临公司指导工作

5 月 15 日,广东省交通运输厅党组书记、厅长林飞鸣一行莅临公司调研指导工作。公司党委书记、董事长李江山,总经理黄湛军等陪同调研、出席座谈交流会议。

林飞鸣厅长一行首先参观了公司展厅,重点调研考察了公司在交通数字化转型、高速公路改扩建、智慧公路建设、交通大数据治理及应用等领域的创新实践。



座谈交流环节,公司领导向林飞鸣厅长一行详细汇报了公司近几年的发展情况,同时对省厅长期以来给予公司的大力支持和关心表示衷心的感谢。林厅长愉快回忆起一些重点项目开展过程中的往事,并对公司在交通强省建设和各项应急救援工作中发挥的“智囊团”和“先行军”作用给予了充分肯定,并勉励公司继续保持技术创新优势,为行业发展提供更多高质量技术服务,在交通强省建设工作中再立新功、再创佳绩。

(供稿:综合管理办公室)

广东省工程勘察设计行业协会会长陈星一行 莅临公司指导工作

6月6日上午,广东省工程勘察设计行业协会会长陈星一行莅临公司开展调研交流工作,公司总经理黄湛军等陪同调研、出席座谈交流会议。此次调研加深了协会对公司发展情况的了解,为双方进一步加强合作、推动行业发展提供了重要契机。



陈星会长一行首先参观了公司展厅,详细了解了公司的发展历程、业务领域、前沿探索和企业文化。



参观结束后,双方在公司四楼会议室举行了深入的座谈会。座谈会上,公司总经理黄湛军向协会领导详细介绍了公司的发展现状、业务布局、技术创新等方面的情况。随后,双方围绕相互合作、共谋发展进行了深入的交流与探讨,同时协会也对公司提出了建议和期望。

公司将以此为契机,不断提升自身实力,积极响应行业发展要求,为推动广东省工程勘察设计行业的高质量发展贡献更大的力量。

(供稿:科技质量部)

公司荣获广东省公路工程信用评价最高等级 AA 级

4 月 25 日,广东省交通运输厅正式发布 2024 年度公路工程从业单位信用评级结果,公司凭借卓越表现,在工程设计与咨询领域获评信用评价最高等级——AA 级。本次信用评价主要从投标合规性、合同履约度及其他行为表现三个维度进行全面考评,获此荣誉充分体现了行业主管部门与业主单位对公司专业技术实力及经营诚信度的高度认可。本次评价等级结果不仅巩固了公司的品牌公信力,更为今后参与重大工程项目竞标奠定了竞争优势。

序号	从业单位名称	备注
一、设计单位（9 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集团股份有限公司	
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	中铁大桥勘测设计院集团有限公司	
9	中铁二院工程集团有限责任公司	
二、施工单位（28 家）		
（一）土建工程施工单位（20 家）		
1	保利长大工程有限公司	
2	广州公路工程集团有限公司	
3	中电建路桥集团有限公司	
4	中国铁建港航局集团有限公司	
5	中交第二公路工程局有限公司	
6	中交第二航务工程局有限公司	
7	中交第四航务工程局有限公司	
8	中交第一航务工程局有限公司	
9	中交二公局第三工程有限公司	
10	中交路桥建设有限公司	
六、工程咨询单位（9 家）		
1	广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司	
2	广东省交通运输规划研究中心	
3	广东粤路勘察设计有限公司	
4	贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司	
5	湖南省交通规划勘察设计院有限公司	
6	华设设计集团股份有限公司	
7	中国公路工程咨询集团有限公司	
8	中交第二公路勘察设计研究院有限公司	
9	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	

（供稿：市场发展部）

公司承担的黄茅海跨海通道项目荣获 2025 年国际桥梁大会乔治·理查德森奖

近日,2025 年国际桥梁大会(IBC)奖项相关评审工作圆满落幕。公司承担的黄茅海跨海通道项目在众多项目中脱颖而出,荣获国际桥梁大会 2025 年乔治·理查德森奖,成为本届奖项中我国唯一获此殊荣的桥梁项目。

国际桥梁大会(IBC)作为国际桥梁工程领域极具权威和影响力的学术盛会,自 1998 年设立奖项以来,被誉为桥梁界的“诺贝尔奖”,一直代表国际桥梁界的最高荣誉。本次 IBC 项目奖分为 6 类,其中乔治·理查德森奖是国际桥协设立最早、影响最大的奖,侧重于评选出近期完成并在设计、施工、研究、教育等方面取得杰出成就的桥梁工程项目。

黄茅海跨海通道是贯彻落实《粤港澳大湾区发展规划纲要》的首个重大工程项目,也是港珠澳大桥的西延线,连接珠海金湾与江门台山,海域段约 14km。其控制性工程包括黄茅海大桥(主跨 $2 \times 720\text{m}$ 的三塔斜拉桥)、高栏港大桥(主跨 700m 的双塔斜拉桥)及中引桥($16 \times 100\text{m}$ 分体式钢箱连续梁桥)。



公司作为黄茅海跨海通道(A1 标)的勘察设计单位,创新性提出了细腰型索塔、TY 型复合桥墩、水平隔涡板+竖向稳定板的斜拉桥抗涡振体系及“横向连接箱+TMD”的钢箱连续梁桥抗涡振体系等一系列创新建设方案,为项目的成功获奖奠定了坚实的基础,充分彰显了公司在桥梁领域精湛的技术造诣和领先的创新水平。



未来,公司将继续深耕桥梁领域,以创新为驱动,持续提升技术水平,打造更多精品工程,助力交通建设高质量发展。

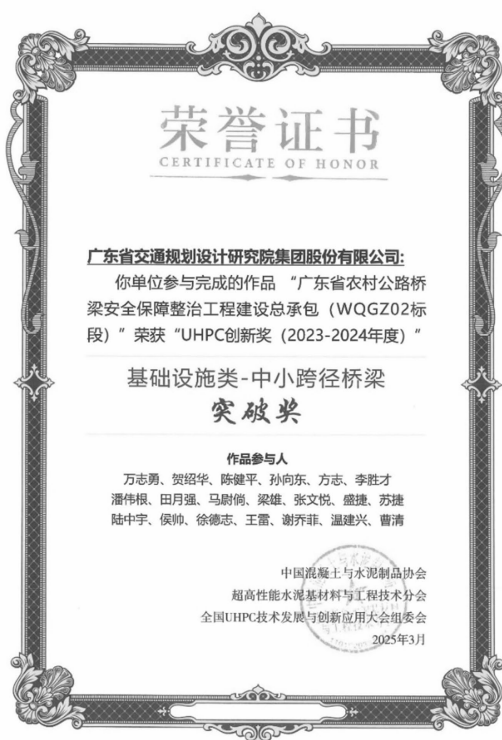
(供稿:第四设计院、科技质量部)

公司承担项目荣获 CCPA – UHPC 分会“UHPC 创新奖”

近日,中国混凝土与水泥制品协会超高性能水泥基材料与工程技术分会(简称 CCPA – UHPC 分会)主办的第二届全国 UHPC 技术发展和创新应用大会在武汉隆重召开。公司承担的“广东省农村公路桥梁安全保障整治工程建设总承包(WQGZ02 标段)”项目荣获大会颁发的“UHPC 创新奖(2023 – 2024 年度)基础设施类突破奖”。公司总工程师孙向东、副总工程师万志勇,养护设计院总工程师武建中、副总工程师李胜才等参加了会议及颁奖典礼。



会上,孙向东总工程师作了题为《混凝土桥梁采用 UHPC 改造、加固研究和工程实践》的主题报告,分享了公司采用 UHPC 对混凝土桥梁进行改造、加固的研究成果及工程应用情况。



万志勇副总工程师作了题为《UHPC 在农村公路桥梁整治工程的应用与创新》的专题报告,详细介绍了本次获奖项目的 UHPC 创新应用情况。



“广东省 2021 年农村公路桥梁安全保障整治工程”,是广东省“十件民生实事”工程之一,也是省政府督办的重点项目。其中 WQGZ02 标段由公司与广东省建筑工程集团有限公司等组成的联合体承担,涉及清远、云浮、肇庆、韶关四个地级市的 151 座桥梁。

公司秉承“创造精品,服务社会”的使命,为高质量完成勘察设计工作,组织养护设计院、第二设计院、第三设计院、第四设计院、第五设计院、岩土勘察院的技术骨干组成了项目组。针对农村公路桥梁改造存在大型施工设备难以抵达、改造费用高、改造工期长、后期维护难度大等挑战,利用新型水泥基材料 UHPC 的性能优点,创新采用预应力无腹筋 UHPC 节段预制工字梁对 26 座中小桥进行改造重建,创新采用 UHPC 薄层对 1 座大桥有病害的 T 梁进行加固,取得了显著的社会经济效益。按桥梁座数计,该项目是我国最大规模的 UHPC 主梁应用工程。



图 1 预应力无腹筋 UHPC 预制梁桥



图 2 UHPC 薄层加固 T 梁桥

(供稿:养护设计院)

粤桂省际新通道——南宁至湛江高速公路广东段 初测初勘外业验收及初步设计顺利通过评审

4月9日至10日,南宁至湛江高速公路广东段项目初测初勘外业验收及初步设计顺利通过省交通运输厅组织的专家评审。公司副总经理刘桂红、副总工程师周震、总经理助理兼第三设计院院长李旭华和项目组成员均参加了现场评审会,并对本项目初步设计工作进行了汇报和答疑。



该项目段起于湛江廉江市广东广西两省交界处,与南宁至湛江高速公路广西段对接,路线向东延伸,在石岭镇东北侧接入玉湛高速,总里程约 30km,设计速度为 120km/h,双向四车道。

本次设计汇报,项目组采用三维交互式沙盘进行汇报,将项目设计意图与三维数字沙盘进行融合,打破传统的二维汇报形式的局限,生动表达设计方案。在总体部门的统筹下,各路段路线方案对比展示、立交方案多屏展示对比、服务区交通流与 BIM 模型融合的创新型展示等均得到各方好评。



汇报完成后,专家组一行到项目现场察看主要工点,并对项目地质勘察、路线、路基路面、桥涵、路线交叉等设计文件进行了论证,专家组一致同意通过评审。

(供稿:第三设计院)

数字铸品质,智绘未来路——平武高速公路 国网段初测初勘外业验收顺利通过评审

5 月 14 日至 15 日,G1535 潮州至南昌高速公路平远至武平(粤闽界)段(以下简称“平武高速公路国网段”)初测初勘外业验收顺利通过省交通运输厅组织的专家评审。公司副总经理罗火生、副总工程师梁志勇、第二设计院院长丘燊及项目组成员出席外业验收会,并就本项目初测初勘外业工作进行

了详细汇报与专业答疑。

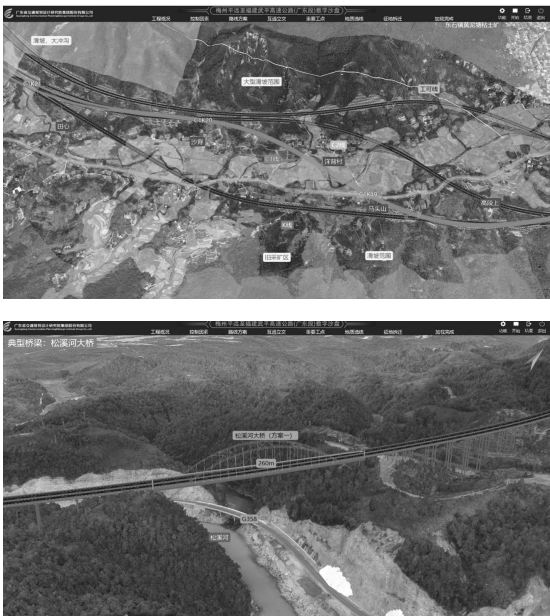
平武高速公路国网段路线起于梅州市平远县大柘镇程西村,经东石镇、上举镇,终于差干镇湍溪村(粤闽界)。路线全长约 36km,按照双向四车道高速公路标准建设,设计速度 100km/h。



作为梅大高速茶阳路段边坡塌方灾害发生后省内首条新建山区高速公路,也是广东省首个在山区高速公路建设中开展数字化勘察设计试点的项目,本项目建设备受社会各界关注。根据初测初勘及地质调绘的成果来看,沿线地质条件极为复杂,项目组深入贯彻《广东省交通运输厅关于印发<广东省公路勘察设计质量安全提升专项行动实施方案>的通知》(粤交基〔2025〕244 号)文件精神,积极采用数字化勘测等前沿技术与创新手段,秉持安全选线、地质选线原则,精心开展勘察设计工作。在汇报环节,项目组运用三维交互式沙盘,将数字勘测成果与公路设计方案深度融合,直观呈现了地形、地质与路线方案的精准匹配关系。

省交通运输厅对平武高速项目在数字化勘测的实施效果及汇报材料予以高度肯定,并明确要求,要将数字化勘测成果充分应用于道路设计工作,以此增强公路的防灾抗灾能力,提升公路的安

全韧性,为项目建设筑牢基础,助力其打造高质量交通工程典范。



(供稿:第二设计院)

国道 G325 线开平百合至恩平圣堂段改建工程 初测初勘外业验收及初步设计顺利通过评审

6 月 12 日至 13 日,国道 G325 线开平百合至恩平圣堂段改建工程初步设计顺利通过省交通运输厅组织的专家评审。公司副总经理蔡小杨、副总工程师陈新富,第一设计院院长林炳洲和项目组成员均参加了现场评审会,并对本项目初步设计工作进行了汇报和答疑。



初步设计评审会现场

本项目路线总体呈东西横向布局,起点位于开平市茅冈村连接现状国道 G325 处,经开平市百合镇、蚬冈镇,恩平市君堂镇、东城镇、圣堂镇至恩城街道,路线全长 19.73km,采用双向六车道一级公路技术标准、路基宽度 33m,设计速度 80km/h。

汇报完成后,专家组一行到项目现场察看主要工点,并对项目路线、路基路面、桥涵、路线交叉等勘察设计文件进行了论证,专家组一致同意通过评审。



现场踏勘

本项目是 2025 年江门市人民政府重点启动建设项目。项目的建设将进一步拉近恩平和开平两地间的距离,有利于提升珠三角地区通向粤西地区交通运输通道的服务水平,强化江门珠西枢纽城市建设,在珠三角与粤西互动发展新格局中充分发挥门户和纽带作用。

(供稿:第一设计院)

深汕西改扩建工程超大跨公路隧道设计与实践

梁淦波,杨宝锋,祝 鑫

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,广东 广州 510440)

摘 要:为了解决超大跨公路隧道在设计施工过程中普遍存在的如工法选择、支护参数确定等技术难点,基于广东省深汕西高速改扩建项目双洞八车道超大跨公路隧道建设实例,通过调研、工程类比、模拟计算等方法,进行了超大跨公路隧道在施工工法,支护参数,“一洞九线”大型机械化工装配置以及相关优化设计等方面的研究。最后,通过监控量测对设计方案进行验证。结果表明:(1)现行规范中二、三车道隧道的设计方法仍基本适用于四车道隧道。(2)CD 法适用于深埋强风化层内,且拱顶强风化层厚度不小于 1 倍洞身开挖宽度,三台阶法适用于深埋中风化层内,且拱顶中风化层厚度不小于 1 倍洞身开挖宽度。(3)采用 $\Phi 51$ 超前中管棚、掌子面玻璃纤维锚、涨壳式预应力锚杆以及 C30 早高强喷射混凝土后,在 IV 级围岩中进行机械化施工具有较高的可行性。(4)在前述超前预加固以及支护优化的前提下,当仰拱与掌子面的距离优化至 106m(CD 法)、118m(三台阶法),二次衬砌与掌子面的距离优化至 160m(CD 法)、190m(三台阶法),机械化施工可达到安全、高效的预期。

关键词: 超大跨公路隧道;施工工法;支护参数;机械化施工

0 引言

近年来,随着交通运输的快速发展,新建和改扩建公路工程中出现了越来越多的双向八车道超大跨度隧道。超大跨公路隧道具有扁平率低,跨度大等特点,相比于两车道、三车道隧道,超大跨公路隧道的荷载分布和支护力学特性更为复杂。为保证超大跨公路隧道施工和营运安全,选择适宜的施工工法及开挖支护参数就显得十分重要。

以超大跨大断面隧道建设为背景,国内众多学者相继开展了系列相关研究,取得了一定成绩。在施工工法研究方面,蒋树屏^[1]等认为四车道隧道围岩的变形以拱顶沉降为主,采用双侧壁法更能有效控制围岩位移。黄伦海^[2]通过有限元计算分析,得出双向八车道公路隧道宜采用三心圆拱型断面和复合式支护衬砌。赵楠^[3]等采用工程类比、监控量测技术手段,将开挖工法优化为 CD 法、上台阶半 CD 法、上下台阶法,达到提高施工效率的目的。宫成兵^[4]等以广州龙头山隧道为背景,对四车道隧道支护参数及施工方案进行了研究,认为围岩压力、洞周位移、拱顶

沉降等应作为监控量测重点,及时进行动态优化设计。

在支护结构设计方面,丁浩^[5]结合已建成类似项目隧道内轮廓扁平率统计分析结果,认为扁平率(不含仰拱)取 0.485,扁平率(含仰拱)取 0.605,矢跨比取 0.406 时,具有较好的安全性与经济性。韩艳红^[6]等运用现场测试和有限元方法,对不同扁平率的隧道二衬进行了力学分析与计算,认为随着扁平率的减小,隧道结构所受轴力和弯矩均增大,施工风险增加。李德军^[7]等通过对特大断面隧道的围岩和支护结构受力变形规律的研究,认为随着断面的扩大,喷射混凝土的厚度应随之增大。沈佳佳^[8]等选取典型小净距 V 级围岩浅埋段,采用数值计算的方法,研究了不同混凝土强度等级、不同厚度条件下的二次衬砌力学性能。

在机械化施工及配套设计方面,王志坚^[9]针对郑万高速铁路湖北段隧道机械化施工所面临的问题,提出掌子面稳定性综合分级方法及稳定性控制措施,并对超前支护、洞身支护参数进行优化。林毅^[10]等通过对隧道施工大型机械化配套及信息化应用进行的探索和创新,形成了一整

套机械化配套条件下的大断面隧道安全、快速、标准化施工工法及工艺。薛君^[11]等结合东天山特长公路隧道建设项目,总结出一套适合Ⅳ级围岩全断面隧道开挖的机械化配套组合方案。王秀英^[12]等采用数值模拟方法对掌子面不同加固方式对地层变形的影响进行模拟,并分析了玻纤锚杆不同参数对掌子面稳定性的影响。王海涛^[13]等基于 Pasternak 弹性地基梁理论对管棚预支护体系的力学行为进行分析,认为目前工程中采用 108 ~ 159mm 的钢管直径是适宜的。周捷^[14]等认为在低黏聚力的软弱地层、大断面隧道开挖中,掌子面稳定是施工中面临的很大问题。掌子面的超前锚杆加固长度对掌子面的稳定性影响最大。聂振宇^[15]提出 V 级围岩隧道,初期支护封闭成环位置距离掌子面合理距离为 55m,二次衬砌距离掌子面为 90m;Ⅳ级围岩隧道,初期支护封闭成环位置距离掌子面合理距离为 65m,二次衬砌距离掌子面为 120m。

结合已有的研究成果可以看出,对于单洞四车道超大跨公路隧道工程建设仍存在以下问题:

(1)施工工法选取差异较大:超大跨公路隧道的施工工法选取尚未形成可靠的依据,大多项目的设计施工依据已有工程经验,工法复杂多样,易造成人力资源和材料的浪费,施工工期的延后等问题。

(2)支护形式、参数差异较大:目前超大跨度公路隧道的支护形式没有规范标准,各类支护形式的安全性和经济性有待考证,而且同等围岩级别条件下,开挖支护参数差异较大。

(3)机械化程度低:全工序机械化施工在铁路特长隧道中运用较多,对工期、施工安全性、人员减配等方面起到了较好的提升作用,但在公路隧道中应用较少,超大跨公路隧道中更是屈指可数。

由于可借鉴的工程经验有限,超大跨隧道在施工工法、支护形式、开挖进尺、支护参数等方面均无统一认识,且现行隧道规范和标准均无相关规定,亦无形成系统、适用的设计理论方法及相

应的配套技术,给超大跨度公路隧道的设计和施工带来诸多困扰。因此,开展超大跨公路隧道设计与施工关键技术研究对社会经济的发展具有重大意义。本文主要针对超大跨公路隧道的支护结构、施工工法、机械化施工及其配套优化措施等开展了研究。

1 依托项目概况

1.1 隧道布置方案

沈阳至海口国家高速公路汕尾陆丰至深圳龙岗段改扩建项目 SJT1 合同段起点为陆丰市潭西镇,与深汕东高速相接,路线由东往西依次经过海丰县、汕尾城区、深汕合作区,在惠东县吉隆镇与 SJT2 合同段相接。

全线共设置隧道 6 座,其中改线新建路段设置 4 座双洞八车道隧道,既有旧路利用路段单侧增建 2 座单洞四车道隧道。新建隧道均按时速 120km/h 高速公路标准进行设计。隧道长度等具体信息详见表 1。

表 1 隧道设置一览表

序号	隧道名称		起始里程	终止里程	长度/m
1	平安洞 一号隧道	左线	ZK48 + 911	ZK49 + 871	960
		右线	K48 + 876	K49 + 844	968
2	平安洞二 号隧道	左线	ZK50 + 450	ZK51 + 528	1 078
		右线	K50 + 454	K51 + 482	1 028
3	城仔山 隧道	左线	ZK52 + 230	ZK54 + 562	2 332
		右线	K52 + 264	K54 + 660	2 396
4	深汕隧道	左线	ZK56 + 320	ZK58 + 067	1747
		右线	K56 + 288	K58 + 100	1812
5	圆墩一号隧道		K60 + 882	K61 + 360	478
6	圆墩二号隧道		K61 + 810	K62 + 472	662

1.2 隧址区工程水文地质概况

1.2.1 区域概况

隧道群位于汕尾市海丰县及深汕合作区境内,是深汕西高速改扩建的控制性工程。隧址区穿越莲花山断裂构造带,沿线分布有水库,滑坡堆积体,输电高压线塔等不良地质(构造物)。地

质复杂,围岩条件差,建设难度较大。

1.2.2 隧址区地层岩性

根据钻孔及地质调绘成果显示,隧址区地层岩性主要为坡残积粉质粘土、侏罗系砂岩及其风化层,围岩级别主要为Ⅲ~Ⅴ级。

表 2 隧道围岩基本力学指标

地层 序号	地层名称	R_c MPa	岩石坚 硬程度	K_v	[BQ]	围岩 级别
17b_8s	强风化砂岩	15	较软岩	0.3	150	V级
14c_8	中风化砂岩	32	较硬岩	0.38	251	Ⅳ级
17c_8	中风化砂岩	58	较硬岩	0.41	337	Ⅳ级
14d_8	微风化砂岩	57	较硬岩	0.59	379	Ⅲ级
17d_8	微风化砂岩	64	坚硬岩	0.76	442	Ⅲ级

1.2.3 隧址区水文地质

隧址区主要地貌为丘陵,地表水不发育,主要为大气降雨形成地表水沿山谷汇流,为季节性地表水。隧址区地下水类型为孔隙水及基岩裂

隙水,地下水量较丰富。

1.2.4 地震及区域稳定性

沿线抗震设防烈度为 7 度,基本地震动峰值加速度 0.10g。

2 基于安全稳定的超大跨隧道设计

2.1 内轮廓设计

制定隧道内轮廓前需确定隧道扁平率,扁平率是开挖断面高度和宽度的比值。扁平率对于超大断面隧道内轮廓而言是至关重要的因素,制定合理的断面扁平率能使隧道净空的利用率提高,降低工程造价。但降低扁平率不利于隧道结构的受力性能,对支护和施工方案提出了较高的要求。

通过调研国内已建成通车项目内轮廓(见表 3)可知,单洞四车道隧道内轮廓扁平率(包含仰拱)普遍在[0.595,0.634]范围内,矢跨比在[0.402,0.432]范围内。

表 3 省内外项目内轮廓关键参数统计表

隧道名称	隧道长度/m	断面面积/m ²	净宽 B/m	矢高 H1	矢跨比 H1/B	净高 H/m	扁平率	建设年份
广州绕城高速-龙头山隧道	1 010	168.2	18.59	7.54	0.406	11.30	0.608	2006
广深沿江高速-牛头山隧道	373	180.0	18.88	7.79	0.413	11.90	0.630	2013
深圳外环高速-红花岭隧道	992	180.5	19.19	7.84	0.409	11.77	0.613	2015
深圳南坪快速-新屋隧道、	678/230	171.5	18.98	7.63	0.402	11.29	0.595	2012
中山市东部快线-焦树山隧道	337	176.3	18.87	7.85	0.416	11.71	0.621	2013
滨莱高速改扩建隧道群	4 500/总长	184.1	19.12	8.26	0.432	12.11	0.633	2017
济南东南二环快速路延长线	9 442/总长	158.7	17.61	7.36	0.418	11.16	0.634	2017

本项目设计时速为 120km/h,建筑限界宽度较以上调研项目均要宽。为控制工程造价,同时确保结构安全,对隧道内轮廓扁平率进行了合理制定。内轮廓采用三心圆曲墙拱形断面(见图 1),净宽 20.25m,净高 12.30m,矢跨比 0.402,扁平率 0.607,内轮廓面积为 197.2m²。

2.2 隧道支护参数设计

考虑到依托项目隧道建设标准较高,断面较大,在调研成果基础上,对支护参数进行了适当加强。同时考虑到隧道较多,长度较长,因此,对每一

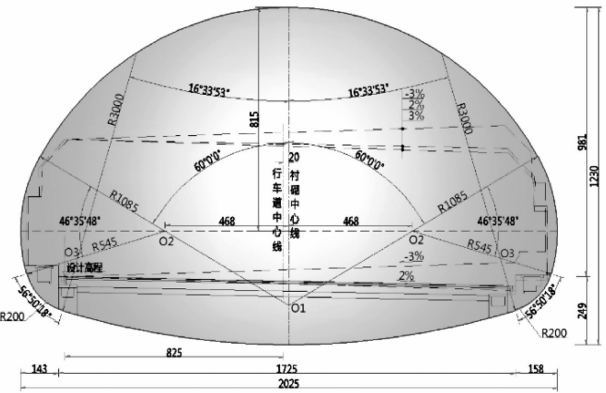


图 1 单洞四车道隧道内轮廓图(120km/h)(单位:cm)

级围岩的衬砌类型进行了细分,如 V 级围岩衬砌分为 S - Va、S - Vb、S - Vc、S - Vd 型四种,支护强度依次减弱,以更好适应实际围岩的变化情况。通过地层结构法和荷载结构法分别对初期支护参数和二次衬砌参数进行了数值模拟验算。典型断面位移及弯矩计算结果见图 2、图 3。

根据计算结果显示,衬砌结构内力分布符合隧道内力响应的一般规律,截面强度安全系数能够满足规范要求。隧道结构设计参数满足破损阶段和正常使用期间的安全性和稳定性要求。具体支护参数及衬砌类型见表 4。

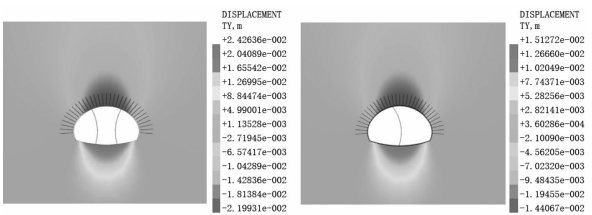


图 2 竖向位移云图

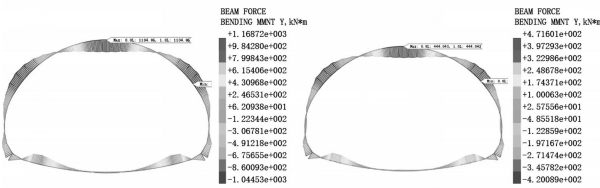


图 3 二衬弯矩云图

表 4 单洞四车道隧道支护参数一览表

衬砌类型	C25 喷砼/cm	钢筋网	预留变形量/cm	系统锚杆			钢架		C40 钢筋砼二次衬砌	
	拱墙/仰拱			注浆小导管	中空锚杆	药卷锚杆	型号	纵距/cm	拱墙/cm	仰拱/cm
Va	30/30	双层 φ8	20	φ50/5m			HW200a	50	70	70
Vb	30/30	双层 φ8	20	φ50/5m			HW200a	65	70	70
Vc	30/30	双层 φ8	20	φ50/5m			HW200a	75	65	65
Vd	28/28	φ8	15	φ50/5m			I22b	75	60	60
IVa	28/28	φ8	15		φ25/4.5m		I22b	80	60	60
IVb	28/28	φ8	15		φ25/4.5m		I22b	100	60	60
IVc	26/26	φ8	10		φ25/4.0m		I20b	80	60	60
IVd	26/26	φ8	10		φ25/4.0m		I20b	100	55	55
IIIa	24	φ8	8			φ22/3.5m	I18	100	50	50
IIIb	24	φ8	8			φ22/3.5m	I18	120	50	

2.3 基于洞周岩性分布的工法设计

通过对国内外知名的超大断面隧道的施工工法进行调研,可以看出目前超大断面隧道常用的

施工工法为台阶法、CD 法、CRD 法和双侧壁导坑法等,具体见表 5。

表 5 国内外典型超大断面隧道施工工法

隧道名称	开挖宽度/m	开挖面积/m ²	施工工法	围岩级别
日本舞子隧道	19.1	186.5	CD 法	IV、V
韩国清溪隧道	17.9	186.4	分部开挖法	IV
大阁山隧道	22	250	双侧壁下导坑法	IV、V
韩家岭隧道	22.5	273.3	台阶法	IV、V
雅宝隧道	21.1	230	双侧壁导坑法、微台阶法	V
大坪隧道	23	242	双侧壁导坑法、台阶法	IV、V
凤凰山隧道	25.9	363	双侧壁导坑法	IV、V

依托项目地质勘察报告显示,隧址区地形地貌条件较好,不存在严重偏压地形,洞口浅埋段主要为覆盖层及全~强风化砂岩,洞身以中风化砂岩为主,地下水较少。

结合项目特点,针对广东省常规工程地质条件的类似项目,本文提出了以洞身特定岩性的岩层覆盖厚度来作为施工工法和支护参数选用的定性标准,从而优化隧道实际施工工法,在确保施工

安全的前提下,选用更合理的施工工法,更合理的利用支护材料,同时提高施工效率。

2.3.1 全~强风化岩层适用施工工法分析

当洞身全部位于全风化岩层时,结合依托项目情况及超大跨隧道特点,隧道所处围岩条件极差,埋深浅。通过相似项目的实际工法应用情况调查及计算分析,可确定采用双侧壁导坑法是较为合适的施工工法,对开挖后围岩变形及初支承受能力有较好的适应性。

当洞身部分位于强风化,部分位于全风化时(即拱部以上为全风化岩层,洞身为强风化岩层),受隧道受力特点影响,围岩压力主要由拱部以上土体提供,因此,本质上与洞身全部位于全风化层时的情况一致。原则上也应采用双侧壁导坑法。

2.3.2 强~中风化岩层适用施工工法分析

当隧道位于强~中风化层时,根据调研结果,常用的工法主要有 CD 法和三台阶法。本文通过建立计算模型,分析 CD 法和三台阶法在强风化层和微风化层中的变形规律,进一步得出相应工法的适用范围。

(1) CD 法适用范围

当隧道洞身及拱部以上全部为强风化层时,进行了双侧壁导坑法,CD 法,三台阶法三种工法的对比,分析随着隧道的开挖,拱顶沉降的变化情况,结果如图 4 所示。

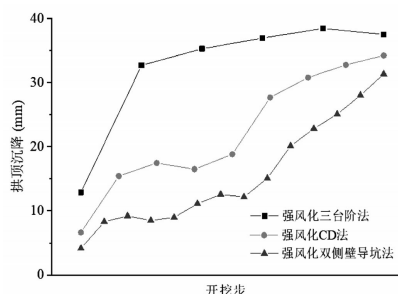


图4 强风化层中三种施工工法的变形曲线对比图

从图4可知,当采用三台阶法时,开挖初期变形较大,速率较快,安全性较差。而采用双侧壁法变形量较小,变形速率较缓。采用CD法施工时,整体变形规律基本与双侧壁法一致,每一步变形量相较双侧壁法略有增加。可以说明,在强风化

层采用CD法的可行性较高。

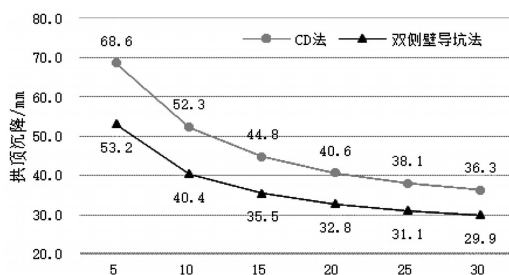


图5 不同强风化层厚度下两种工法的变形对比

为进一步分析在强风化层中采用CD法的合理性,本文进行了不同拱部强风化层厚度条件下,CD法与双侧壁导坑法的开挖后最大拱顶沉降对比分析,从图3可以看出,当位于强风化层,且拱顶以上强风化层厚度超过1倍B(洞身最大开挖宽度,约22m,下同)后,两种工法的变形量均逐步趋于稳定,且差异较小,覆盖层的进一步加厚对隧道开挖后的变形影响趋于稳定。由此可见当洞身位于强风化层,且拱顶以上强风化层厚度大于1倍B后,采用CD法施工对围岩变形的控制基本与双侧壁法相当。

(2) 三台阶法适用范围

当洞身位于中风化层时,进行了CD法和三台阶法的变形对比,分析随着隧道的开挖,拱顶沉降的变化情况,结果如图6所示。

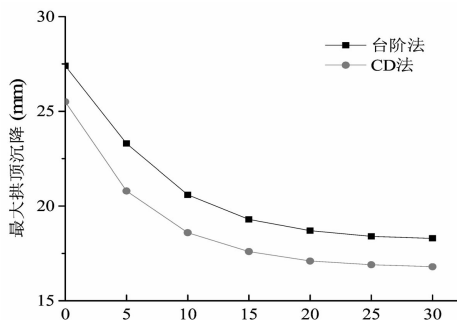


图6 不同中风化层厚度下两种工法的变形对比

从图6可以看出,当洞身位于中风化层,且拱顶以上中风化层厚度超过1倍B后,两种工法的变形量均趋于稳定,且差异较小,覆盖层的进一步加厚对隧道开挖后的变形影响趋于稳定。说明在中风化层采用三台阶法可行。

2.3.3 微风化岩层适用施工工法

微风化岩层适用施工工法如图7所示。

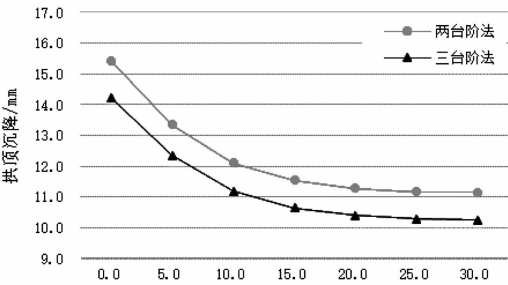


图 7 不同微风化层厚度下两种工法的变形对比

从图 7 可知,当隧道进入微风化层时,两台阶法和三台阶法变形规律一致,变形量较小,整体均处于安全状态,且拱顶微风化层厚度对变形的影响较小,因此基本可认为,当隧道进入微风化地层后,可采用两台阶法进行施工。

3 基于安全高效的超大跨隧道机械化配套设计

随着我国经济的高速发展,国家对基础设施投入不断加大,对工程施工的要求不断提高。在隧道开挖施工中,传统人工作业方式已无法满足新发展理念对环保、低能耗、经济性和高安全质量的要求。

3.1 “一洞九线”施工工装配置

隧道机械化施工以超前地质预报、预加固、开挖、出渣、初期支护、仰拱、防排水、二次衬砌、沟槽等“一洞九线”工序为路线,配备全电脑三臂凿岩台车、注浆一体机、拱架安装机、湿喷机械手、自行式液压仰拱栈桥(配套仰拱一体化模板、仰拱布料机、混凝土振平机械手)、防水板自动铺挂台车、智能二衬台车、温控养护台车、液压沟槽台车等先进工装设备(见表 6)。

表 6 机械化配置一览表

序号	工序	普通型机械配套	加强型机械配套
1	超前地质预报	超前地质钻机	全电脑三臂凿岩台车
2	钻孔	锚杆钻机	全电脑三臂凿岩台车
3	开挖	悬臂式掘进机	全电脑三臂凿岩台车
4	初期支护	三臂拱架安装机 湿喷机械臂	
5	仰拱	自行式液压带弧仰拱栈桥	
6	防水板、钢筋	防水板自动铺挂台车	
7	二衬养护	智能化二衬台车 温控养护台车	
8	电缆槽	液压沟槽台车	

其中,城仔山隧道采用加强型机械配套,其余 5 座隧道采用普通型机械配套。

3.2 隧道机械化施工支护优化

采用以全电脑多臂凿岩台车、混凝土湿喷台车、钢架安装台车/台架、锚杆台车为代表的大型施工装备,开展全工序大型机械化施工。隧道超前支护(超前管棚、掌子面加固)及洞身初期支护(喷混凝土、锚杆、钢架)等工序均可快速、大进尺、高质量施做到位。隧道支护体系设计理念应配合机械化施工特点转变为“快挖、快支、快封闭”。

本项目施工期间,在建设单位主持下,联合高校、科研、设计、施工、监理、检测等单位。本着“科研为先,重视现场,循序渐进”的指导思想对超大跨公路隧道机械化安全快速修建相关问题进行了系列研究,主要内容见表 7。

表 7 隧道机械化施工支护体系研究内容

序号	研究内容
1	不同进尺条件下超前管棚对隧道拱部稳定性的作用分析
2	不同进尺条件下隧道爆破后形成松动圈的范围分析
3	不同锚喷支护条件下初支稳定性分析
4	不同进尺条件下隧道开挖过程中的纵向稳定性分析
5	不同型号、长度锁脚锚杆对初支的稳定行分析

结合机械化施工支护体系理念分析及数值模拟计算,对依托项目隧道机械化施工的支护方案进行了优化,具体如表 8 所示。在施工模拟过程中,采用优化后的 C30 喷射混凝土及Φ25 预应力锚杆组合,使拱顶位移减少 2.7%,系统锚杆抗拉强度利用率提高 5.86 倍,锁脚锚杆压应力减小 1.8%,喷射混凝土拉应力减小 25%。

表 8 主要支护措施优化情况

序号	工序	优化前材料/工艺	优化后材料/工艺
1	喷射混凝土	C25	C30 早高强
2	超前管棚	普通 Φ76 中管棚	自进式 Φ51 中管棚
3	系统锚杆	普通中空注浆锚杆 普通药卷锚杆	涨壳式低预应力(60kN) 中空注浆锚杆

序号	工序	优化前材料/工艺	优化后材料/工艺
4	钢支撑	掌子面拼装拱架	洞外多榀拼装, 洞内整体吊装拱架
5	锁脚/与钢架 的连接方式	普通 Φ50 注浆小导管	自进式 Φ50 注浆小导管
		U 型钢筋焊接	连接钢板螺栓连接

3.3 隧道机械化施工纵向步距优化

施工步距管理是隧道施工安全的一项重要保障措施,《公路工程施工安全技术规范》以及《广东省公路工程施工标准化指南》均对隧道施工过程中的纵向施工步距做出了要求:

(1) 仰拱与掌子面距离:Ⅲ级围岩不得超过 90m,Ⅳ级围岩不得超过 50m,Ⅴ级及以上围岩不得超过 40m。

(2) 二次衬砌距掌子面的距离:Ⅳ级围岩不得大于 90m,Ⅴ级及以上围岩不得大于 70m。

依托项目隧道配备多台大型机械设备,在大断面隧道中采用机械化施工时,为满足作业空间的需求,须在确保施工安全的前提下突破现有施工步距的相关规定。

针对上述存在问题,为保证机械设备在隧道洞内能够有足够的空间发挥其工效,并合理的衔接各个施工工序,解决的方案即优化施工纵向步距和施工工法的台阶尺寸。针对现场施工机械的尺寸和现场施工经验对隧道施工步距和台阶尺寸作以下调整(见表 9)。

表 9 特征位置距掌子面步距一览表(单位:m)

施工工法	双侧壁法	CD 法	台阶法
围岩条件	Ⅴ级围岩	Ⅳ级较差	Ⅳ级较好
初支成环	60	62	86
仰拱	96	106	118
二衬	126	160	190

同时,建立三维数值模型,模拟隧道台阶法、CD 法、双侧壁法等工法在分部开挖、超前支护施作、洞身支护施作等施工过程。计算模型空间涵盖隧道前方开挖掌子面及后续拱墙二次衬砌。部分计算结果见图 8、图 9。

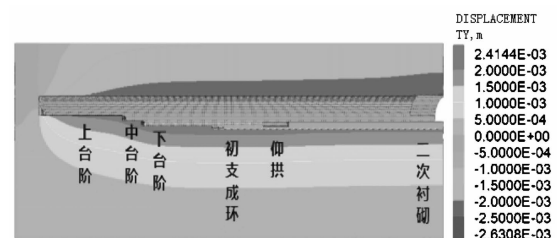


图 8 步距优化后台阶法施工模拟计算结果(单位:m)

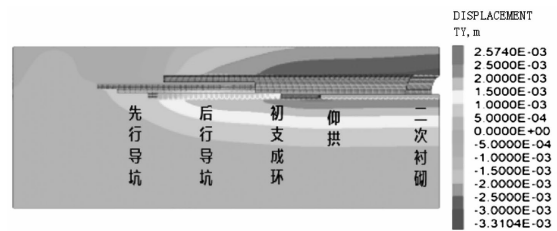


图 9 步距优化后 CD 法施工模拟计算结果(单位:m)

综合数值模拟计算和现场数据分析,采用优化后的步距,掌子面围岩剪应变增量、拱顶位移最大值、系统锚杆最大应力值、超前管棚最大应力值、锁脚锚杆最大应力值、喷混应力最大值都在安全系数范围之内。

4 现场实施情况

4.1 超大跨隧道不同工法施工安全性评价

4.1.1 双侧壁导坑法

选取圆墩一号隧道 K61 + 005 断面(埋深 20m,强风化砂岩为主)、K61 + 030 断面(埋深 25m,强风化砂岩为主)为监测样本,圆墩 1 号隧道 K61 + 005 断面累计下沉量分别为:左导 10.80mm,右导 6.40mm,中导 3.30mm;累计水平位移量分别为左导 8.40mm,右导 8.20mm,中导 6.70mm;K61 + 030 断面累计下沉量分别为:左导 8.40mm,右导 10.10mm,中导 3.60mm;累计水平位移量分别为左导 6.10mm,右导 6.30mm,中导 13.0mm。变化曲线见图 10、图 11。

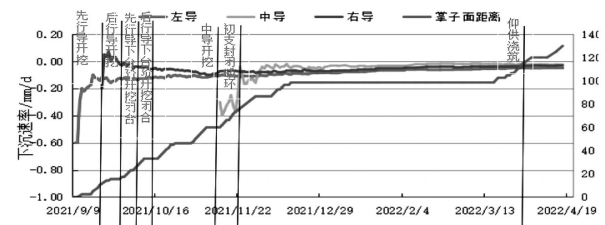


图 10 K61 + 005 拱顶下沉速率变化曲线图

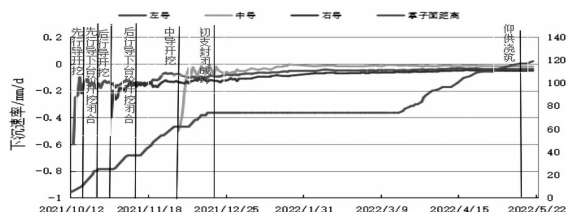


图 11 K61 + 030 拱顶下沉速率变化曲线图

从监测结果来看, K61 + 005、K61 + 030 断面累计下沉量及位移量均小于设计预留沉降量, 中导洞略小于左右导洞, 说明在左右导洞开挖时围岩变形最大, 中导洞开挖时围岩变形较小, 初期支护参数满足该段围岩变形所需承载。从围岩变形速率趋势可知, 各导洞在掌子面开挖时变形较大, 呈持续缓慢递增。在初期支护封闭后围岩变形趋于平稳, 全断面初期支护封闭成环后各测点速率明显逐渐降低直至平直, 由封闭成环至仰供浇筑完成阶段围岩均处于基本稳定阶段, 期间无明显波动异常。由此可见施工工法技术可行, 对控制围岩变形有利。

4.1.2 三台阶法施工安全性

选取城仔山隧道出口右洞 YK54 + 560 断面为监测断面, 该断面埋深 48m, 围岩以中风化砂岩为主。

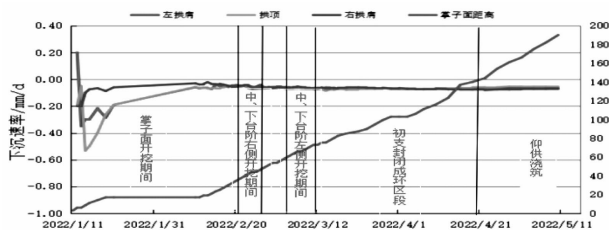


图 12 YK51 + 560 拱顶沉降速率曲线图

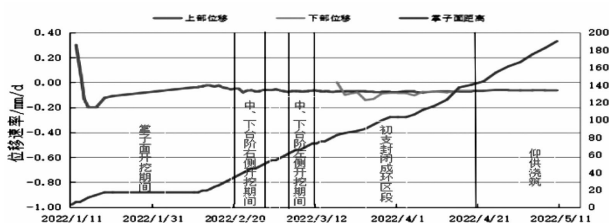


图 13 YK51 + 560 水平收敛速率曲线图

从图 12、图 13 可看出: YK54 + 560 断面累计下沉量及位移量均小于设计预留沉降量, 且各测点下沉量、位移量相近。在掌子面开挖期间受爆破开挖影响最大, 此时围岩呈持续缓慢变形阶段。待较远离掌子面开挖爆破扰动后围岩变形趋势减

缓。在左右侧中下台阶开挖时, 围岩变形速率略有波动, 波动量很小。待初期支护封闭成环后围岩变形趋于平稳, 各测点速率明显逐渐降低直至平直, 由封闭成环至仰供浇筑完成阶段围岩均处于基本稳定阶段, 期间无明显波动异常。

4.2 全工序机械化施工支护参数优化评价

选择城仔山隧道 YK54 + 578 ~ YK54 + 548 为数据收集里程段, 该段支护形式为 JX - S - Vd, 得出如下结果:

(1) 监测断面拱顶、拱脚下沉最大下沉量 - 7.30mm, 最大水平位移量 - 8.50mm, 各测点累计下沉量小于设计预留变形量, 监测过程中未见持续较大递增及急剧下沉情况, 整体围岩自稳性较好。

(2) 围岩压力在安装初期受压略大, 随着围岩应力释放各部受压较为平稳, 从最终压力来看拱腰至拱顶受压略大于左右边墙, 最大压力 - 0.68MPa, 位于右拱腰, 其它各处受压相近。

(3) 钢支撑最大应力 130.98MPa, 位于拱顶, 达到钢材屈服强度 55.74%, 拱架在安装初期应力变化较大, 随后受力变化趋势平缓, 其它部位测点应力相对较小。

(4) 砼应力最大值为 3.41MPa, 达到 C30 砼抗压强度 23.86%, 未见受拉应力。

(5) 锚杆轴力最大值为 5.74MPa, 位于右拱腰 4.5m 处, 远小于锚杆屈服强度。

(6) 锁脚锚杆安装于右边墙上台阶, 最大拉应力 14.46MPa, 最大压应力 11.74MPa, 受力小。

综合以上各项受力数据可看出, 经超前预加固处理之后, 围岩自稳性得到了较大的提升, 初期支护安全储备较充足。

4.3 施工工效

通过优化施工工法, 工效明显提升, 保障了现场施工的连续性, 充分发挥了机械化的优势。双侧壁导坑法综合月进尺由 <20m 提升至 25m, 单侧壁综合月进尺由 <40m 提升至 50m。因各个施工工序连续性良好, 拱脚悬空、开挖进尺超挖等问题也得到了改善, 进而现场的施工质量也得到了提升。

当前三台阶法机械化施工, 共配置作业人员 95 人, 较传统做法节省人力资源约 30 人。采用全

断面法机械化施工后,预计可进一步节省施工人员约16人。

5 结论与讨论

以双洞八车道隧道为代表的超大跨公路隧道在国内已有一定数量的成功实施案例,但多数为单座隧道或者隧道长度较短,同时机械化程度不高。本文依托深汕西改扩建项目超大跨隧道建设实例,开展了一系列针对工法设计、支护设计、机械化施工配套优化设计等研究,并结合现场监控量测反馈数据,得到如下结论。

(1)关于超大跨隧道支护体系,以公路隧道设计规范制定的两、三车道隧道的设计方法为基础,制定了四车道隧道支护参数,根据数值计算模拟及隧道施工期间的监控量测数据反映,围岩变形及衬砌结构内力分布符合规律,强度及安全系数能够满足规范要求。

(2)关于超大跨隧道施工工法体系,本文针对广东省常规工程地质条件,以“洞周岩性分布”作为工法选择的定性标准,通过计算模拟及现场实测数据验证,得出CD法适用于深埋强风化层内,且拱顶强风化层厚度不小于1倍洞身开挖宽度,三台阶法适用于深埋中风化层内,且拱顶中风化层厚度不小于1倍洞身开挖宽度。

(3)在采用 $\Phi 51$ 超前中管棚以及掌子面玻璃纤维锚杆进行预加固,同时采用涨壳式预应力锚杆及C30早高强喷射混凝土等主动支护措施对初期支护进行补强后,在IV级围岩中进行大断面长台阶机械化施工可行。

(4)在IV级围岩中采用大型设备机械化施工,为满足施工效率,对仰拱、二次衬砌距掌子面的距离进行了优化调整,其中CD法条件下分别为106m,160m,台阶法分别为118m,190m,根据现场各项监测数据显示,安全性仍然能够满足要求。

从依托项目的建设过程来看,设计制定的支护体系是合理的,具有推广价值。针对超大跨隧道提出的基于洞周岩性分布的施工工法制定思路是可行的,可为相似项目提供经验。但由于依托项目地质条件较为单一,遇到的对隧道施工影响

较大的不良地质情况总体偏少,工法及支护参数的适用范围仍有待于进一步提升。此外,大断面机械化施工实施段落围岩以硬岩为主,软弱围岩条件下大断面机械化施工时的超前预加固及初期支护优化措施还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 蒋树屏,黄伦海,胡学兵. 超大断面公路隧道的设计与研究[J]. 地下空间与工程学报,2005,1(1):54.
- [2] 黄伦海. 双洞八车道公路隧道施工方案研究[J]. 公路,2005,9:206.
- [3] 赵楠,王建华,张建新. 大跨扁平单洞4车道公路隧道开挖工法的选择和优化[J]. 公路交通技术,2018,34(S1):177.
- [4] 宫成兵,张武祥,杨彦民. 大断面单洞四车道公路隧道结构设计与施工方案探讨[J]. 公路,2004,6:177.
- [5] 丁浩. 单洞4车道隧道内轮廓关键指标统计分析与启迪[J]. 公路交通技术,2012,6:89.
- [6] 韩艳红,赵智,张良. 扁平率对大跨度隧道二衬结构力学特性的影响分析[J]. 公路交通科技(应用技术版),2020,9:49.
- [7] 李德军,于程硕,谢东武. 大跨度城市山岭隧道初期支护参数优化研究[J]. 现代隧道技术,2020,57(S1):387.
- [8] 沈佳佳,万利,刘传利,张长安,胡瑶瑶. 超大断面4车道公路隧道二次衬砌厚度优化研究[J]. 公路交通技术,2018,34(S1):6.
- [9] 王志坚. 郑万高铁隧道大断面机械化施工关键技术研究[J]. 隧道建设(中英文),2018,38(8):1257.
- [10] 林毅,王立军,姜军. 郑万高铁隧道施工大型机械化配套及信息化应用探索[J]. 隧道建设(中英文),2018,38(8):1361.
- [11] 薛君,郝纯宗,谭忠盛. 特长公路隧道机械化配套快速施工技术[J]. 施工技术,2018,47(S1):605.
- [12] 王秀英,郑维翰,张建国,刘卫. 软岩隧道玻纤锚杆预加固掌子面的稳定性分析[J]. 土木工程学报,2017,50(S1):53.
- [13] 王海涛,贾金青,郁胜. 隧道管棚预支护的力学行为及参数优化[J]. 中国公路学报,2010,23(4):78.
- [14] 周捷,漆泰岳,旷文涛,李斌. 大断面隧道地层超前预加固及开挖支护过程稳定性的数值模拟[J]. 隧道建设,2009,29(2):187.
- [15] 聂振宇. 修建城际地下铁路隧道存在的步距问题与相关建议[J]. 隧道建设,2014,34(4):356.

基于整体节点理念的钢盖梁与混凝土墩柱 连接结构优化设计

梁全章, 郭文华

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440)

摘 要:针对传统钢盖梁设置套筒外包混凝土墩柱方案墩梁连接位置刚度突变、应力集中问题突出及施工定位精度要求高的情况,基于梁柱整体节点理念,以门式墩为例,提出一种钢盖梁与钢套筒连接结构优化方案。该方案将连接位置处钢盖梁和钢套筒腹板设计为整体节点板,钢盖梁和钢套筒翼缘板加劲肋一一对应,并将现场接头设置在钢盖梁侧。以某公路工程匝道桥为背景,采用有限元软件分析其门式墩采用传统方案与优化方案的受力性能,并将优化方案应用于实桥。结果表明:该优化方案传力顺畅,结构应力集中程度较低,构造合理;该优化方案施工较为简单,容错性更好,具有良好的推广应用前景。

关键词:桥梁工程;钢盖梁;混凝土墩柱;墩柱连接构造;门式墩;结构优化;有限元法

0 引言

随着社会经济的发展,我国路网的密度越来越大,路网形式由平面交叉往立体交叉发展。公路、铁路、城市道路和地下管网的相互交错产生了大量的立体交叉,基于场地限制和桥面宽度需求,桥梁建设时各种类型的大挑臂盖梁、门式盖梁应运而生。结合工程建设环境、建设周期及既有路网、管网的保通需求,考虑到钢结构的优点,钢盖梁的应用越来越广泛^[1-5]。结合设计经验和类似工程的调研结果,钢盖梁与混凝土墩柱的连接构造可分为混凝土墩柱延伸至钢盖梁内部、钢盖梁设置立柱插入墩柱、钢盖梁设置套筒外包墩柱 3 种方案^[6-13]。其中,传统钢盖梁设置套筒外包墩柱方案(图 1,以下简称“传统方案”)因其受力明确、节点构造简单、施工简单快速而得到广泛应用,但该传统方案存在以下问题:①采用常规混凝土盖梁的设计思路,墩梁分离设计,连接位置存在刚度突变;②作为传力的主要构件,钢盖梁腹板与钢套筒腹板没有直接相连并设置过渡构造措施,传力不直接;③为解决刚度突变问题,通常在连接位置设置倒角加劲板,导致应力集中问题突出;④现场接头位置一般设置在钢

套筒与盖梁底板之间,但该位置内力大,受力不利,接头的承载能力及疲劳效应问题非常突出,对现场施工安装精度要求非常高^[14-16]。为解决上述问题,本文从优化细节构造改善结构传力的角度出发,从钢盖梁与混凝土墩柱的连接构造采用梁柱整体节点的方向构思,对传统方案连接构造进行优化设计,并以一座匝道梁桥为背景进行实桥应用^[2],以为同类桥梁设计提供参考。

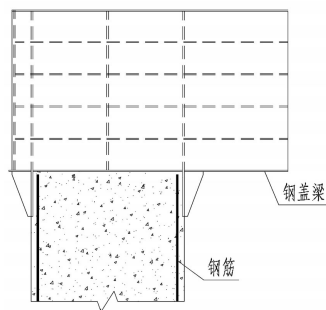


图 1 传统钢盖梁设置套筒外包墩柱方案

1 钢盖梁设置套筒外包墩柱连接结构优化设计

针对传统方案墩梁连接位置刚度突变、应力集中问题突出及施工定位精度要求高的问题,以《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[17]与《混凝土结构设计规范》^[18]为指引,借

鉴普通钢筋混凝土构件的设计理念,考虑优化细节构造、改善结构传力,从钢盖梁与混凝土墩柱的连接构造采用梁柱整体节点的方向构思,以门式框架墩为例,提出钢盖梁设置套筒外包墩柱梁柱整体节点连接结构优化方案(以下简称“优化方案”),其主要优化设计要点如下:

(1) 钢盖梁腹板与钢套筒腹板设计为整体节点板,折角处设置圆弧倒角过渡(图 2)。传统方案钢盖梁腹板与钢套筒腹板通过分别与钢盖梁底板相焊而连接成整体,钢盖梁底板和焊缝的存在造成节点实际整体性能有所削弱,盖梁底板增设倒角加劲板并未从根本上解决此问题,且易导致应力集中。优化方案采用整体节点板进行直接传力,保证局部构造的连续性,节点板设置圆弧过渡可进一步降低应力集中程度,同时取消腹板与底板之间的焊缝,提高了节点的抗疲劳性能。

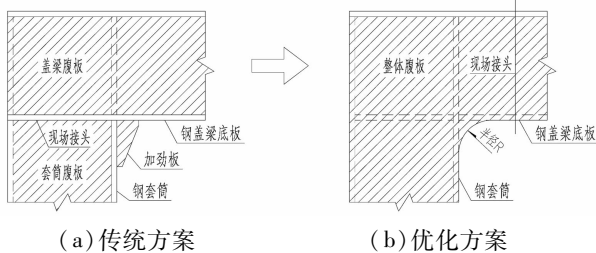


图 2 梁柱整体节点横桥向立面

(2) 钢套筒翼缘延伸至钢盖梁顶板底面;钢盖梁顶板横桥向贯通,底板在钢套筒内侧翼缘位置断开(图 3)。传统方案按墩梁分离设计,钢套筒翼缘、腹板在钢盖梁底板位置终止,节点范围各板件通过焊缝连接一体,过多的焊缝导致节点整体性能降低。优化方案结合中国古建筑木结构

的榫卯设计理念,将钢盖梁与钢套筒合二为一,提高节点内部的结合性能,减少结构主焊缝的数量,同时避免传统方案中钢盖梁底板与钢套筒翼缘之间受拉焊缝的出现。

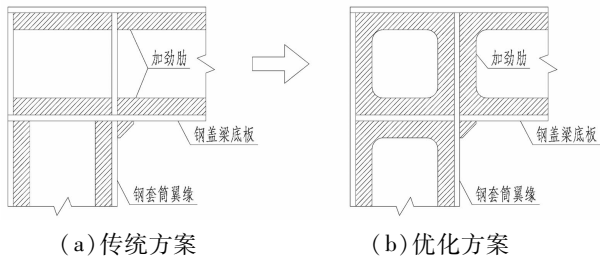


图 3 梁柱整体节点横桥向剖面

(3) 钢盖梁顶底板、钢套筒翼缘及梁柱节点内部的横桥向加劲肋均可设计为环向加劲肋;仅在连接位置横桥向设置倒角加劲板(图 3),与环向加劲肋一一对应。桥梁结构尺寸一般较大,梁柱节点存在一定的空间效应,传统方案的板件横桥向加劲肋设置主要解决的是板件的局部稳定问题,对梁柱节点整体稳定的贡献有待商榷。优化方案在有限增加用钢量的情况下,横桥向加劲肋设计为环向加劲肋,将钢盖梁顶底板、钢套筒翼缘有效地连接,使得节点位置的结构刚度较好地过渡,进一步加强整体稳定性。优化方案中仅需要在横桥向环向加劲肋的对应位置设置倒角加劲板,保证传力有效性的同时简化了结构设计,并节约用钢量。

(4) 对于钢盖梁顺桥向宽度大于墩柱宽度的情况,可采取适当增加墩柱宽度或在盖梁外侧设置悬臂加劲等措施(图 4),以提高该方案的适用性和通用性。

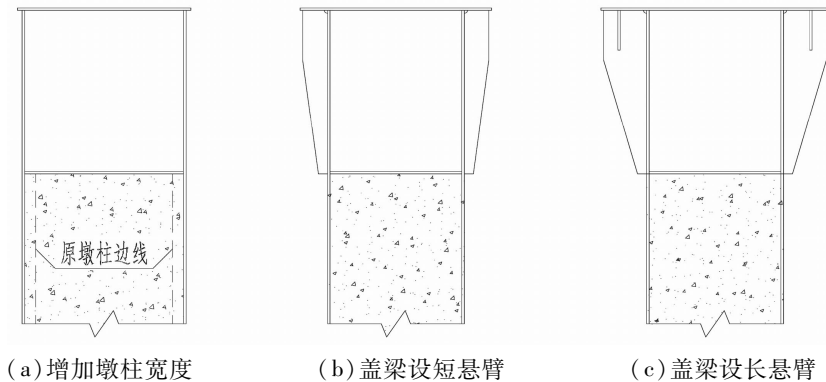


图 4 盖梁与墩柱顺桥向宽度不同时的处理方案

(5) 结合钢结构的分块, 现场接头设置在钢盖梁侧, 避开受力不利位置, 避免对整体节点的构造拆分(图 2)。受制于结构特点, 传统方案的现场接头原则上设置在钢套筒与钢盖梁底板的交界面, 定位精度要求高, 焊缝质量控制较为困难。传统方案若与优化方案一样设置在钢梁侧, 虽然可提高钢结构安装的可实施性, 避免交界面的现场施焊作业, 但钢结构的制造工作量将随着节段分块的增加而增加, 且并未能从根本上解决连接位置刚度突变及应力集中问题。

(6) 基于以上构造设计, 优化方案原则上采用矩形墩。对于圆柱墩, 可通过在墩顶设置矩形段进行过渡。

2 受力性能分析

2.1 桥梁概况及连接方案

2.1.1 桥梁概况

以某公路工程项目匝道桥为背景, 该桥与城市引水管相交, 路线夹角约 23.8° 。匝道桥桥宽 10.5m, 相交位置上部结构采用 30m 简支预制小箱梁 + 45m 简支钢箱梁的结构形式, 下部结构采用框架墩的形式。框架墩立面布置见图 5。框架墩计算跨径为 30m; 钢盖梁总长 32.6m, 标准段高 3m, 宽 2.6m, 材质采用 Q355D 钢; 墩柱高 9.03m, 截面尺寸为 $2\text{m} \times 2\text{m}$, 采用 C40 混凝土矩形实心墩; 承台顺桥向宽 6.6m, 横桥向宽 2.6m, 高 2.4m, 采用 C35 混凝土。单个承台下接 2 根直径 1.6m 的 C30 混凝土钻孔灌注桩, 中心间距为 4m, 按摩擦桩设计。

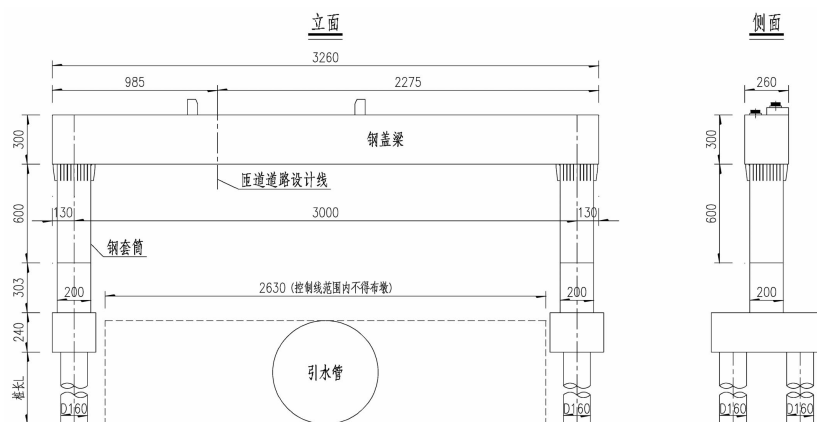


图 5 框架墩立面布置 (单位: cm)

2.1.2 盖梁与混凝土墩连接方案

(1) 传统方案。钢盖梁在墩顶范围的顶、底板厚 30mm, 腹板厚 32mm; 在跨中范围的顶、底板厚 36mm, 腹板厚 24mm。顶、底板设置 3 道纵向加劲肋, 截面尺寸为 $32\text{mm} \times 360\text{mm}$; 腹板设置 2 道水平加劲肋, 截面尺寸为 $20\text{mm} \times 240\text{mm}$ 。钢盖梁每 2m 设置 1 道横隔板, 厚度为 20mm。墩柱顶部高度 6m 范围内设有钢套筒, 与钢盖梁底板焊接。钢套筒翼缘厚 36mm, 腹板厚 32mm, 四周均设置倒角加劲板与钢盖梁底板连接, 每边 7 道, 间距为 250mm。施工方案为: 钢盖梁和钢套筒在工厂内加工制造并分段运至现场, 安装墩柱模板绑扎钢筋, 吊装钢套筒并精确定位, 浇筑墩柱混凝土并进行养生。吊装钢盖梁至墩顶, 精确

就位后进行钢套筒和钢盖梁底板的焊接, 焊接倒角加劲板。

(2) 优化方案。与原方案相比, 优化方案主要构造调整为: 钢套筒翼缘与腹板往上延伸至钢盖梁顶板底部, 钢盖梁底板在钢套筒内侧翼缘断开, 钢套筒腹板和钢盖梁腹板设计为整体板; 钢套筒翼缘和钢盖梁顶底板加劲肋在节点范围设计成环向加劲肋, 倒角加劲板仅在横桥向设置 3 道, 与底板纵向加劲肋对应。调整后, 钢盖梁腹板间距与墩柱一致, 取为 2m, 顶板宽 2.6m, 底板宽 2m; 施工方案调整为: 接头位置设置在盖梁侧, 连接节点与钢套筒作为一体进行制造、安装, 现场只需要对盖梁节段接头进行焊接。

2.2 受力性能分析

为验证优化方案的有效性,建立半幅盖梁及混凝土墩柱节段有限元模型,对传统方案与优化方案的钢盖梁与混凝土墩柱连接的受力性能进行对比分析。

2.2.1 有限元建模

利用 ANSYS 软件分别建立采用传统方案和优化方案的半幅盖梁及混凝土墩柱节段有限元模型(图 6),模型包括钢盖梁节段、墩柱、承台以及桩基。混凝土结构采用 Solid95 实体单元模拟,钢结构采用 Shell63 壳单元模拟。桩底按固结模拟,在盖梁端面施加对称约束。提取杆系单元模型各工况组合对应的截面内力,分别加载至实体模型中。

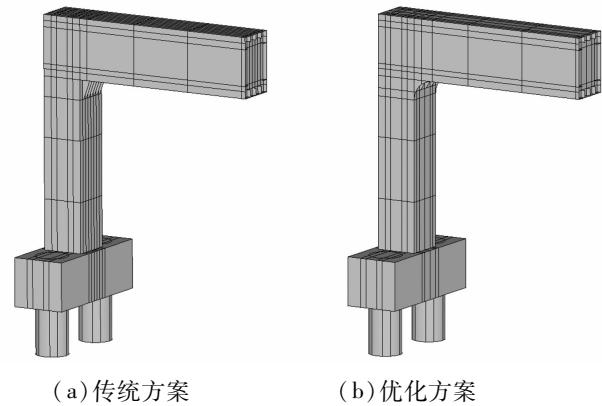


图 6 半幅盖梁及混凝土墩柱节段有限元模型

2.2.2 计算结果

(1)结构位移。活载作用下,传统方案钢盖梁跨中竖向最大位移约 -9.5mm,墩顶横桥向最大水平位移约 5.6mm;优化方案钢盖梁跨中竖向最大位移约 -9.7mm,墩顶横桥向最大水平位移约 5.9mm。综上可知 2 种方案的结构刚度基本一样,并未因为连接节点局部构造的调整而发生明显改变。

(2)板件应力。2 种方案总体结构及倒角位置 Von Mises 应力分布见图 7、图 8,基本组合工况下连接节点范围主要构件的应力计算结果见表 1。由图 7、图 8 和表 1 可知:2 种方案的盖梁顶板、钢套筒翼缘、加劲肋的应力计算结果差别

较小,而盖梁底板及腹板的计算结果差别较大。传统方案最大应力 282MPa,出现在钢套筒内侧翼缘与底板交点处;优化方案最大应力 233MPa,出现在整体腹板的圆弧倒角上;2 种方案总体应力水平均小于钢材的屈服应力,但优化方案应力水平更低。腹板作为主要传力构件,传统方案由于钢盖梁和钢套筒的腹板之间没有直接的过渡构造,导致底板倒角两侧角点及外侧倒角加劲板的角点出现应力集中现象。优化方案底板倒角位置应力集中情况得到较大的改善,且基本消除了底板应力集中现象,优化方案各构件的应力水平更低,分布更为合理。

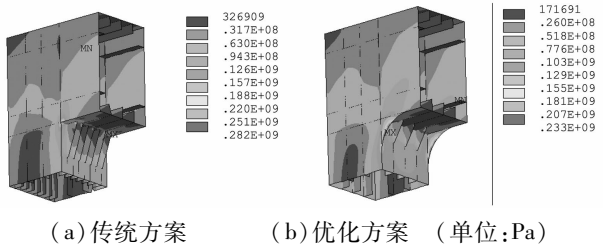


图 7 传统方案及优化方案节点总体 Von Mises 应力分布

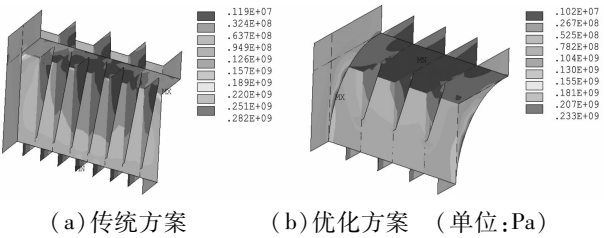


图 8 传统方案及优化方案节点倒角位置 Von Mises 应力分布

表 1 基本组合工况下连接节点范围主要构件的应力计算结果

方案	主受力方向应力/MPa					
	盖梁顶板	盖梁底板	盖梁腹板	钢套筒内翼缘	钢套筒外翼缘	底板加劲肋
传统方案	77	-221	-227	-147	93	84
优化方案	67	-59	-196	-150	81	74

注:正值为拉应力,负值为压应力。

(3)结构弯矩。基本组合工况下框架墩弯矩见图 9。由图 9 可知:弯矩值在梁柱交点处最大,受各构件刚度的影响,交点处盖梁弯矩值相对墩柱较小;随着相对距离的增加,盖梁和墩柱的截面弯矩值均逐渐减小,盖梁的弯矩变化更为明显。传统方案将现场接头设置在盖梁底与墩柱

相交位置较为不利,焊缝需要承受较大的拉力和疲劳效应,对现场施焊的质量要求非常高;结合弯矩分布,优化方案将接头设置在盖梁侧更为合适,盖梁节段的安装误差的容错性也相对更好,焊缝位置避开了内力不利点,结构整体性能更好。

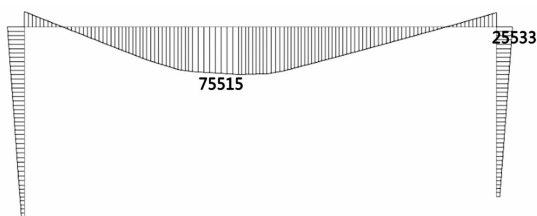


图9 基本组合工况下框架墩弯矩 (单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)

3 实桥应用效果

该匝道桥框架墩采用优化方案进行设计,2022年10月完成施工。根据现场反馈情况,传统方案以往的类似工程需要严格控制钢套筒顶面的平整度,否则难以保证钢盖梁与钢套筒的密贴性,从而影响焊缝的质量;调整为优化方案后,钢套筒顶面的平整度要求调整为对钢盖梁节段的拼接缝要求,此与常规的连续钢箱梁节段拼接工艺类似,成熟可控,容错性更好。施工完成后,根据检测结果,框架墩钢结构的各项指标、焊缝质量均满足规范要求,结构状况良好。

4 结语

本文针对传统钢盖梁设置套筒外包墩柱方案存在墩梁连接位置刚度突变、应力集中问题突出及施工定位精度要求高的情况,根据梁柱整体节点的理念构思,提出了优化连接方案,将钢盖梁和钢套筒的腹板设计为整体节点板,钢盖梁顶底板与钢套筒翼缘相互交叉,节点范围横桥向加劲肋设计为环向加劲肋,优化倒角加劲板的设置。并结合门式框架墩的实桥应用,验证了优化方案传力顺畅,构造简洁合理,经济性更优。将现场接头设置在钢盖梁侧,接头受力更小,现场的吊装施工与常规连续钢箱梁类似,工艺成熟可控,容错性更好,保证了结构的施工质量。本文提出的钢盖梁与混凝土墩柱连接构造优化方案能适应各种宽度的钢盖梁情况,可在公路或铁路桥梁设计中推广应用。

参考文献:

- [1] 孙智峰. 高速铁路大跨度钢箱门式墩的设计研究[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(4): 43-47.
- [2] 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司. 佛山市塘西大道三期南延线(S263 广海大道-进港路段)工程施工图设计[Z]. 广州, 2019.
- [3] 郝丽维. 津滨轻轨先铰接后刚接的钢-混凝土混合框架墩设计[J]. 铁道标准设计, 2003(08): 72-77.
- [4] 金振山. 大跨度钢混组合框架墩设计与施工关键技术[J]. 中国铁路, 2010(06): 42-45.
- [5] 晏辰. 中开高速“桥上桥”先简支后固结钢盖梁设计[J]. 工程技术研究, 2021(20): 164-165.
- [6] 车青森, 陈永华, 逯平. 跨河门式墩钢盖梁吊装支架系统研究[J]. 市政技术, 2020, 38(6): 87-92.
- [7] 陈杰. 铁路大跨度钢横梁门式墩设计[J]. 铁道勘察, 2017(4): 92-95.
- [8] 马雪梅. 上跨京沪高速铁路钢盖梁制造与吊装施工技术[J]. 铁道建筑, 2013(08): 38-40.
- [9] 余浪, 罗艳. 铁路钢盖梁混凝土柱组合门式墩设计研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(6): 80-84.
- [10] 陈方舟, 曾勇, 张磊, 马登秋. 钢横梁施工方案对钢-混组合门式墩受力性能的影响[J]. 铁道建筑, 2021, 61(4): 25-28.
- [11] 毛文浩. 双柱墩倒T型钢盖梁结构设计及计算探析[J]. 福建交通科技, 2021(08): 51-59.
- [12] 徐艳玲, 李建龙. 快速施工钢盖梁方案在北京新机场高速公路工程中的应用[J]. 特种结构, 2019, 36(4): 77-82.
- [13] 王树旺. 新型铁路钢横梁框架墩设计与施工技术研究[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(9): 83-86.
- [14] 中华人民共和国交通运输部. 公路钢结构桥梁设计规范(JTG D64-2015)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [15] 孟令强, 李运生, 王元清. 高架桥钢盖梁的承载性能有限元分析[J]. 石家庄铁道学院学报(自然科学版), 2009, 22(1): 38-42.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢管混凝土结构技术规范(GB 50936-2014)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [17] 中华人民共和国交通运输部. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG 3362-2018)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范(2015年版)(GB 50010-2010)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

基于梯形分块法的截面分析方法研究

郭凯生

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440)

摘 要:根据梯形分块法原理,将截面离散为梯形块,可通过迭代计算求解出截面受压区域,基于规范中的偏心受压及偏心受拉承载力计算公式形成了钢筋混凝土构件截面分析计算方法。该方法适用于任意形状任意配筋钢筋混凝土截面计算,迭代计算稳定准确,能够得到完整的轴力-弯矩曲线,对于评价截面承载能力和受力性能有重要意义。与纤维截面模型相比,梯形分块法对分块的尺寸没有限制,具有很高建模计算效率及计算稳定性,并且可灵活结合规范计算公式。将梯形分块法计算结果与纤维截面模型结果对比,二者基本吻合,证明了梯形分块法计算结果的可靠性。

关键词:钢筋混凝土结构;梯形分块法;纤维模型;截面特性;截面分析方法

0 引言

钢筋混凝土结构设计中常用的截面形状有矩形、I 形、箱形、圆形等规则形状,还经常遇到圆端形、多箱多室、带圆倒角等任意形状截面^[1]。为评价截面在不同受力状态下的偏心受压或偏心受拉承载力,需要得到截面轴力-弯矩曲线(PM 曲线)^[2]。对于任意形状截面,多数设计规范没有给出计算公式。在工程设计实践中一般使用等效替代为规则形状^[3]、反复试算^[4]或有限元^[5]的方法,计算过程极为繁琐且有较多限制条件。梯形分块法可将任意截面离散为梯形块,梯形块的截面特性易求且精确,是处理任意截面力学分析的理想方法之一。以往研究将梯形分块法用于计算任意截面面积、形心、面积矩、惯性矩等截面特性^[6-8],很少将梯形分块法结合规范等用于计算截面承载力并得到完整 PM 曲线。而 ete-sec、xtract、OpenSEES 等截面分析程序则一般采用纤维截面模型算法^[9],该方法同样采用分块的思想处理任意截面^[10],其定义钢筋的位置较为灵活,但是纤维截面模型一般要求较小的分块尺寸,故在计算过程中需要较多的迭代步骤,计算效率相对较低。同时纤维截面模型计算流程较为固定,难以与设计规范公式相结合。梯形分块法对分块的尺寸没有过多限制,仅要求分块的形状为梯形或平行四边形,分块分析的算法简单

灵活且计算效率较高。本文基于梯形分块法和《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)(简称规范)开发出了任意截面的截面分析程序,得到任意截面的 PM 曲线,验算其偏压或偏拉承载力。将本文计算结果与 xtract 的计算结果对比分析,两者基本一致,本文方法能满足工程设计的要求。

1 任意截面的梯形分块法

本文采用梯形分块法时,首先指定受力平面,然后在任意截面框线的所有顶点处作与受力平面相垂直的直线,即可保证将任意截面划分为梯形或平行四边形。梯形分块法对梯形块的大小没有限制,在块的高度很小时计算结果依然可保持稳定。对于带圆角的截面,在圆角顶点之间区域适当平分若干段,分别作与受力方向相垂直的直线,将带圆角区域用多个加密的梯形块离散。对于存在宽度突变区域,为了避免分块时对截面宽度取值不唯一,在宽度突变区域顶点处偏移一段微小距离再作受力方向的垂线即可。

在截面分析计算中,任意截面形状可以截面顶端为原点,由 (w, y) 坐标组成的列表表示,其中 w 为截面在距离截面顶端距离为 y 的截面宽度,如图 1 所示。任意梯形块截面几何特性计算公式如下式(1)~(3), b_{i-1} 、 b_i 、 h_i 含义如图 2 所示。

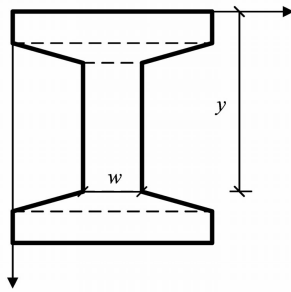


图 1 截面分块及坐标表示

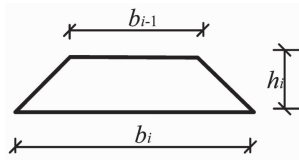


图 2 梯形块参数

面积:

$$S_i = (b_{i-1} + b_i) \times \frac{h_i}{2} \quad (1)$$

形心坐标:

$$y_{ci} = y_{i-1} + \frac{b_{i-1} + 2b_i}{b_{i-1} + b_i} \times \frac{h_i}{3} \quad (2)$$

对截面顶端的惯性矩:

$$I_i = \left(\frac{b_{i-1}}{4} + \frac{3b_i}{4} \right) \times \frac{h_i^3}{3} + y_{i-1} (2y_{ci} - y_{i-1}) S_i \quad (3)$$

截面的几何特性计算公式如下式(4)~(6)。

面积:

$$S = \sum S_i \quad (4)$$

形心坐标:

$$y_c = \frac{\sum y_{ci} S_i}{S} \quad (5)$$

对截面形心轴惯性矩:

$$I = \sum I_i - y_c^2 S \quad (6)$$

为了对任意截面进行截面分析,考虑到混凝土截面受压区域是截面任意的高度处,还需要计算任意位置处的面积和重心坐标。对于使用梯形分块法离散后的截面,在距离截面顶端 x 处做直线后可得到新的梯形块。参考式(4)~式(6),可得到距离截面顶端 x 以上部分的面积为:

$$S_x = \sum_{i=1}^k S_i + (b_{k+1} + b_x) \times \frac{\Delta h_c}{2} \quad (7)$$

其中, k 为底边坐标小于 x 的梯形块顺序号, b_x 为距离截面顶端 x 处的截面宽度, Δh_c 为第 k 个梯形块底边竖向坐标与 x 的差值。

截面距离截面顶端 x 以上部分的重心坐标为:

$$y_{cx} = \frac{\sum_{i=1}^k y_{ci} S_i + \Delta y_{cx} \Delta S_x}{S_x} \quad (8)$$

其中, Δy_c 为第 k 个梯形块底边到 x 处部分的形心坐标, ΔS_x 为第 k 个梯形块底边到 x 处部分的面积。

2 任意截面的截面分析方法

2.1 偏心受压构件承载力计算

对于偏心受压构件承载力计算,规范 6.2.17~6.2.19 条仅给出了较规则截面的计算公式。如对于矩形截面,偏心受压承载力计算公式为:

$$N = \alpha_1 f_c A_c b x + f_y' A_s' - \sigma_s A_s \quad (9)$$

$$Ne = \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (10)$$

$$e = e_i + \frac{h}{2} - a \quad (11)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (12)$$

对于任意截面,规范附录 E 给出计算原则指出任意截面计算时应满足截面应变保持平面。本文截面分析采用与上式(9)~式(12)类似的公式,此时适用于任意截面分析的公式为:

$$N = \alpha_1 f_c A_c + f_y' A_s' - \sigma_s A_s \quad (13)$$

$$Ne = \alpha_1 f_c A_c (h_0 - y_{AC}) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (14)$$

$$e = e_i + \frac{h}{2} - a \quad (15)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (16)$$

式中, A_c 为混凝土受压区面积, y_{AC} 为混凝土受压区形心到混凝土受压边缘的距离。受压区混凝土的应力图形按规范公式简化为等效的矩形应力图,其中受压较小边钢筋应力:

$$\sigma_s = \frac{f_{sd}}{\xi_b \beta_1} \left(\frac{x}{h_{0i}} - \beta_1 \right) \quad (17)$$

式中, β_1 为考虑等效矩形应力图的调整系数, x 为混凝土受压区高度。

本文 PM 曲线的加载控制方法使用 xtract 等

程序使用的方法,先设定一个轴力 P ,然后逐步增大截面曲率,求出此时的受压区高度,最终求出在该轴力作用下的最大弯矩值^[11]。本文在考虑梯形分块法和规范公式的特点时的计算流程如图 3 所示。本文在求轴力 P 作用下截面受压区高度时,需要使用二分法迭代的方法逐步逼近得到计算值。二分法迭代求出受压区高度 y_{AC} 后,由上式(13)及式(14)求出轴力到受拉钢筋的距离 e 的值。为考虑附加偏心距等对截面偏压承载力的影响,由式(15)及式(16)及其他规范条文可求出极限弯矩下的截面偏心距 e_0 ,即得极限弯矩 $M = Ne_0$ 。

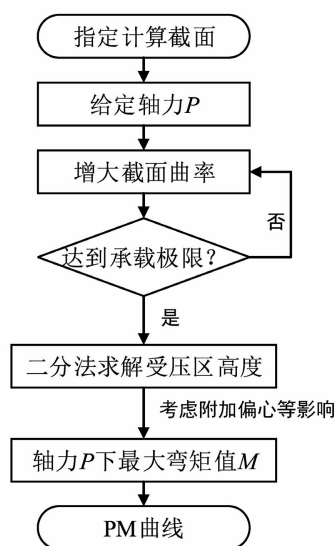


图 3 PM 曲线求解流程

2.2 偏心受拉构件承载力计算

对于偏心受拉构件承载力计算,规范 6.2.23 条给出了较规则截面的计算公式,分小偏心受拉和大偏心受拉两种情况。对于小偏心受拉时,偏拉承载力:

$$Ne \leq f_y A_s' (h_0 - a_s') \quad (18)$$

$$Ne' \leq f_y A_s (h_0' - a_s) \quad (19)$$

对于大偏心受拉时,偏拉承载力:

$$N = f_y A_s - f_y A_s' - \alpha_1 f_c b x \quad (20)$$

$$Ne = \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y A_s' (h_0 - a_s') \quad (21)$$

对于小偏心受拉,本文算法采用与式(18)及式(19)一样的公式。对于大偏心受拉时,为适应

任意截面和梯形分块法分析的需要,本文使用如下式(22)及式(23)计算。

$$N = f_y A_s - f_y A_s' - f_c A_c \quad (22)$$

$$Ne = \alpha_1 f_c A_c (h_0 - y_{AC}) + f_y A_s' (h_0 - a_s') \quad (23)$$

其中 A_c 及 y_{AC} 含义同上式(14)。对于偏心受拉构件,本文加载控制算法与偏心受压构件的类似。

3 计算结果比较分析

为验证本文算法的合理性,选择两个算例与 xtract 程序的计算结果做比较分析。第一个算例选用规则的工字形截面,该工字形截面高度为 1 800 mm,腹板宽度 400 mm,上翼缘宽 1 600 mm,上翼缘高 400 mm,下翼缘宽 1 600 mm,下翼缘高 400 mm。截面选用 C30 混凝土,上缘配筋 HRB400 级直径 25 钢筋 12 根,下缘配筋 HRB400 级直径 20 钢筋 12 根,如图 4 所示。使用 xtract 程序时定义的混凝土本构采用规范中的单轴受压本构,不考虑混凝土的抗拉强度,受压峰值强度采用混凝土轴心抗压强度设计值,混凝土的本构曲线示意图如图 5 所示。本文算法及 xtract 程序得到该工字形截面的 PM 曲线如图 6 所示。

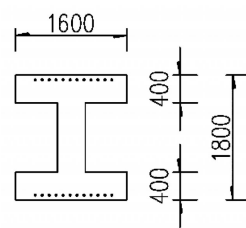


图 4 工字形截面

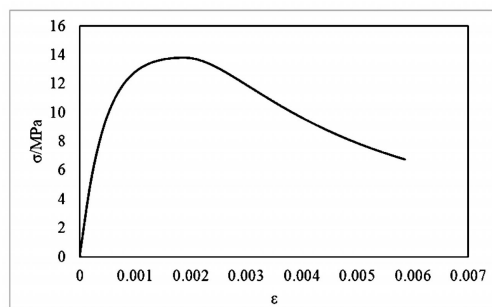


图 5 规范混凝土本构曲线

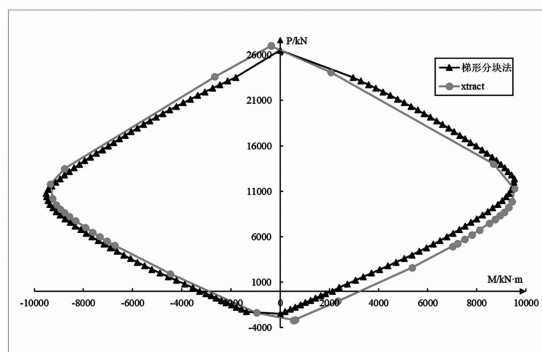


图 6 PM 曲线对比

从图 6 可以发现,本文算法在不同的轴力水平平均可以稳定地得到计算结果,不同偏心距下的偏心受压承载力和偏心受拉承载力均与 xtract 结果差别不大,得到的 PM 曲线与 xtract 结果吻合度很好,验证了本文算法的正确性。

第二个算例选用如图 7 所示的带空腔的异形截面。本文算法及 xtract 程序得到该箱形截面的 PM 曲线如图 8 所示。

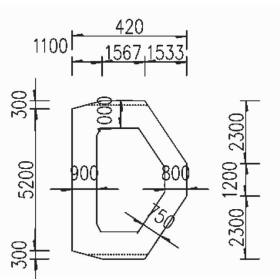


图 7 带空腔的异形截面

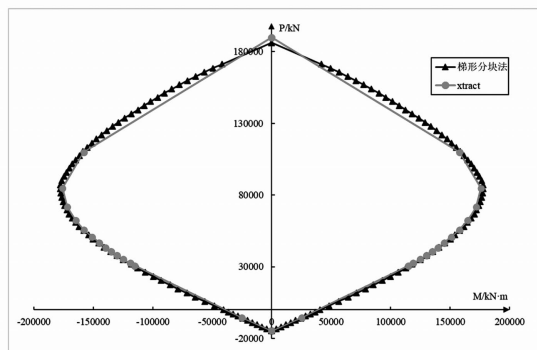


图 8 PM 曲线对比

从图 8 可以发现,对于带空腔的任意异形截面本文算法得到的 PM 曲线与 xtract 结果依然吻合度很好。本文算法能够稳定并正确的计算任意形状截面在不同偏心距、不同轴力水平下的偏

心受压承载力和偏心受拉承载力,准确评价截面受力性能。

4 结论

基于梯形分块法的截面分析方法能够计算任意形状截面的偏心受压或偏心受拉承载力,能够计算得到截面完整的 PM 曲线,计算结果与 xtract 结果吻合度很好。根据本文方法开发的任意截面的截面分析程序稳定且易用,并可灵活结合规范计算公式,已广泛用于各种形式的主梁、墩柱、桩基等构件的设计验算中,大幅提高了设计人员计算设计效率,具有一定的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 杨咏漪, 陈克坚. 任意截面任意布筋的配筋计算[J]. 铁路工程学报, 2009, (6): 58 - 62.
- [2] 王兵, 薛彦涛. 基于 PM 曲线的钢筋混凝土框架柱承载力计算方法[J]. 建筑结构, 2023, 53(S1): 1775 - 1782.
- [3] 张敬花. 异性柱的等效代换设计方法[J]. 建筑结构, 2023, 53(S1): 1787 - 1791.
- [4] 孙克俭. 任意形状钢筋混凝土构件截面延性系数计算[J]. 建筑结构, 2019, 49(15): 110 - 116.
- [5] 陈常松, 阳斌, 颜东煌. 任意梁截面特性值的有限元计算方法[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2013, 10(1): 41 - 46.
- [6] 余兴胜. 通用截面特性计算软件开发研究[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(6): 72 - 76.
- [7] 董创文, 李创习, 夏桂云. 几种常见形式的等效阶梯截面[J]. 中南公路工程, 2005, 30(1): 44 - 49.
- [8] 王敏, 秦艳辉. 桥梁工程中混凝土截面特性计算程序的实现[J]. 北方交通, 2018, 12: 31 - 38.
- [9] Taucer F F, Spacone E, Filippou F C. A Fiber Beam - Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures [R]. Berkeley: Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, 1991.
- [10] 范肖波, 谢姣, 赵颖超. 基于纤维模型的截面全过程分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014, 11: 24 - 27.
- [11] Juyuan Zheng, Yuli Huang, Zhe Qu. Proper interpretation of sectional analysis results[J]. Earthquake Research Advances (2023), doi: <https://doi.org/10.1016/j.eqrea.2023.100238>

重力流污水管道纳入综合管廊设计要点分析

葛晓光¹, 陈颖青², 谢 璞¹, 张建良¹, 袁炳祥^{3*}

(1. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440;

2. 广东省国际工程咨询有限公司, 广东广州 510030;

3. 广东工业大学土木与交通工程学院, 广东广州 510006)

摘 要:为了解决重力流污水管道纳入综合管廊的必要性、可行性、安全性等方面的问题,本文以珠海高新区已验收的金琴快线综合管廊为例,对重力流污水管道入廊的设计要点进行总结分析,着重对其入廊必要性、断面设计、竖向设计、附属设计和结构设计等进行分点论述,最后总结得出设计要点为:(1)在对管道运维要求较高且经济允许的项目中,重力流管线可纳入综合管廊;(2)在建设条件允许的情况下建议重力流污水管道单独成舱,以提高管廊实施和运维的安全性;(3)采用直通检查井加清扫口的检查井节点设计,以保证管廊的整体性和清通检修的便利性;(4)采用波浪型的竖向设计和管廊主体与相交构筑物结构共板的节点设计,以充分利用竖向条件,避免因管廊埋深增大引起的工程造价大幅增加。

关键词:综合管廊;重力流污水管;竖向设计;结构共板;附属物设置

0 引言

自 1833 年法国巴黎首座综合管廊建成起,综合管廊距今已有 190 年历史,日本、新加坡等国家因国内用地紧张的现状及综合管廊具有集约用地、避免城市道路重复开挖建设等优点,大力推广综合管廊的建设^[1-4]。我国综合管廊的发展相对滞后,90 年代在上海开始首条综合管廊建设,2015 年~2019 年,在两批试点城市继续推进,管廊建设逐步在全国范围内推广^[5-6]。目前,入廊管线种类日趋多元化,重力流管道也被纳入入廊范围^[2,7-9]。与其他非重力流管线相比,重力流管道的高程设计不仅受道路坡度、上下游标高等多种竖向条件制约,还需考虑与现状或规划管渠相交节点的碰撞问题,入廊难度更大。此外,污水管道内部会产生硫化氢等有毒气体,因而对入廊污水管的密闭性要求高,附属节点设计及施工更为复杂,进一步增大建设难度^[10-12]。虽然重力流污水管的入廊难度较大,但针对管道运维要求较高的项目,在经济合理的前提下,重力流污水管入廊是解决工程瓶颈,提高工程品质的重要措施。

管廊发展历史较长的国家,如法国、德国、美

国等,其污水管入廊技术较为成熟^[2,13-14]。随着我国管廊建设的发展,国内也已积累了一定的重力流污水管入廊工程经验。西宁市利用当地高差大的地势优势,建设了国内首个重力流雨污水入廊项目^[6]。随后,重力流污水管入廊项目在其他地区进一步发展。福建平潭市坛西大道综合管廊内一根 DN300~400 的重力流污水管与给水管、中水管、通信管线等同舱^[15];云南保山市沙丙路综合管廊内一根 DN800 的重力流污水管与给水管、通信管线同舱^[16];广东珠海市呈祥路综合管廊设 DN600 污水管单独成舱^[10]。国内关于重力流污水管入廊的要点总结主要立足于项目整体设计原则的提炼,相关工程项目和研究文章也鲜有涉及管廊与现状或规划管渠交叉碰撞点的处理方法思考。

本文以珠海市已竣工验收的金琴快线综合管廊为例,结合以往工程项目经验,对重力流污水管纳入综合管廊的必要性分析、断面设计、竖向设计、附属设计、结构设计等重难点问题展开细化的讨论和分析,同时提出综合管廊主体与相交构筑物结构共板的设计理念,并通过实际工程验证其可行性。

1 工程概况

本综合管廊项目位于珠海高新区,沿道路方向敷设,大致呈东西走向,起于高新互通立交,终于港湾北路平交口,全长约 1.79km。项目北侧为工业园区,南侧紧邻现状河涌。

本项目入廊管线包括电力、通信、燃气、给水、中水、重力流污水和压力流污水等 7 类管线并配套建设管理站一座。项目目前已交付使用。

2 标准横断面设计

2.1 重力流污水管入廊必要性分析

项目选址临近伶仃洋出海口,地质多为深厚软土,厚度在 13m ~ 20m 以上,直埋管道易产生大规模不均匀沉降。根据排水公司反馈,仅本管廊项目设计当年,项目区域内已发生 3 起污水管道沉降事件,对周边污水的收集转运造成不良影响,因此,区域范围内的污水管项目需重视管道的防沉降设计。本项目新建重力流污水管的管径为 DN800,略大于道路管桩之间的空隙,重力流污水管直埋的防沉降效果受道路施工质量影响较大。如采用重力流污水管入廊的方式,可有效规避道路施工对污水管的影响,达到较好的沉降控制效果。

与重力流污水管直埋方案相比,重力流污水管入廊方案将使综合管廊横断面尺寸增加(如图

1 和图 2 所示),整体建设成本约增加 18.9%。但从后续运营维护的层面考虑,重力流污水管入廊方案因其智慧化、集约化的设计,有利于降低各类管线的整体运维成本;此外,由于综合管廊巡检维护的频率较高,入廊方案还能够提高污水管道的养护质量^[17],避免传统重力流污水管直埋清淤间隔较长和养护效率低的问题。同时管廊内的敷设条件较好,可有效降低自然环境对管道的病害影响(如高盐度地下水侵蚀等),可延长管道使用寿命。因此,从管道全生命使用周期的角度,重力流污水管入廊方案具有较高的经济合理性。

项目所在地珠海市是广东省智慧城市建设的布局城市之一,对管廊维管有着多年的经验,重力流污水管入廊可以发挥其管廊管理的优势。

重力流污水管道直埋方案和入廊方案的经济技术比选结果如表 1 所示。

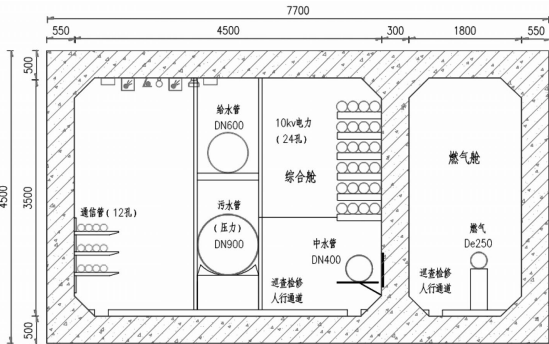


图 1 综合管廊标准横断面(污水管道不入廊)

表 1 重力流污水管道敷设方案技术经济比选表

	重力流污水管直埋(B×H=7.7m×4.5m)	重力流污水管入廊(B×H=10.3m×4.5m)
管道沉降控制效果	较差,对施工工艺要求高	在管廊舱内整体抗沉降效果好
建设成本	管廊断面尺寸较小,综合管廊和重力流污水管工程的整体造价较低	增加整体造价约 18.9%(约为 3 402 万)
运维效果	检修频率较低,污水管出现问题时才进行维护,养护效率低; 需单独配备运维人员。	定期维护,检修频率较高,定期维护,及时发现管道问题并进行修复; 减少自然环境对管道的不良影响; 无需单独配备污水管运维人员,由综合管廊管理人员统一负责,整体降低各类市政管线维护成本

仅从财务成本(建设费用)的角度考虑,重力流污水管直埋方案更为经济,但从管道全寿命周期的角度,重力流污水管入廊方案可有效控制污水管的沉降问题和腐蚀问题,提高养护效率,进而增加管道使用年限和降低管线运维成本,同时满足地下管线集约化、智慧化和数字化的管理要求,最后考虑到珠海市对综合管廊运行维护的充足经验,从经济技术方面综合分析,本项目考虑将重力流污水管纳入综合管廊。与此同时,项目设有综合管廊管理中心,为综合管廊的智慧建设提供了保障。

2.2 重力流污水管独立成舱分析

管廊的横断面需综合考虑造价、安装与运营等多方面因素。按规划,本项目综合管廊为双舱断面,重力流污水管道与非重力流管线(燃气除外)共舱,燃气管道单独成舱^[18],如图 3 所示。然而,考虑到重力流污水管接口较多,存在漏水漏气风险,产生气体对其他管线有腐蚀性,结合本项目管廊敷设在人行道及退让绿地,空间足够,

造价亦有富余,提出污水管单独成舱的三舱断面,如图 2 所示。双舱、三舱综合管廊的比选分析详见表 2,各分舱尺寸及其收纳管线种类见表 3。

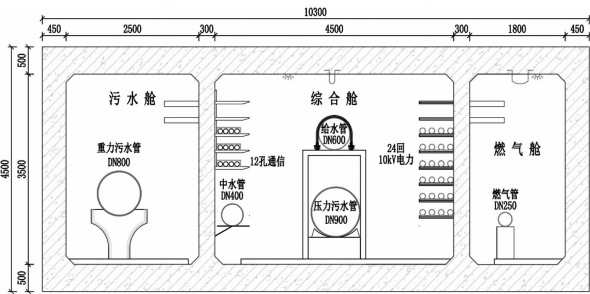


图 2 三舱综合管廊标准横断面(污水管道入廊)

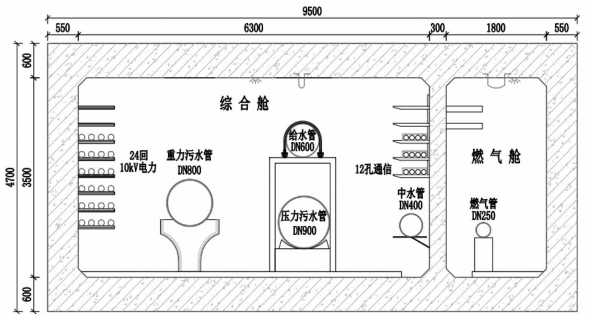


图 3 双舱综合管廊标准横断面(污水管道入廊)

表 2 管廊断面方案比选表

重力流污水管直埋(B × H = 7. 7m × 4. 5m)		重力流污水管入廊(B × H = 10. 3m × 4. 5m)	
造价	较高(与双舱方案相比,增加 8. 6% 造价,约为 1 548 万)	较低	
用地	附属构筑物地上部分占地相同;地下部分三舱管廊断面比双舱管廊断面宽 0. 8m		
工期	相当		
风险分析	重力流污水管单独设舱,对其他管线无影响	重力流污水管接口多,漏水、漏气发生几率大; 漏水对其他管线产生腐蚀; 漏气与电力管线产生爆炸; 对其他管线维护人员有安全隐患	
维护管养	检修方便,不相互影响	重力流污水管检修时需考虑避免泄漏的气体对其他管线的污染	

表 3 三舱综合管廊断面尺寸及入廊管线

分舱类型	舱室尺寸 $B\times H$	入廊管线
综合舱	4.6m $\times$ 3.5m	24 回 10kV 电缆;12 孔通信光缆;DN600 给水管;DN400 中水管;DN900 压力流污水管
燃气舱	1.8m $\times$ 3.5m	DN250 燃气管
污水舱	2.5m $\times$ 3.5m	DN800 重力流污水管

与双舱综合管廊相比,三舱综合管廊的横断面宽度仅增加了 0.8m 的宽度,埋深相当,新增材料、软基处理及基坑支护等费用不大;且项目红线范围充裕,不涉及新征用地问题。因此,三舱综合管廊的造价与双舱综合管廊相近,增加幅度为 8.6%。

出于对重力流污水管气密性要求、运维安全风险等方面的考虑,同时结三舱管廊与双舱管廊在造价、用地、工期方面并无太大差异,本项目选用重力流污水管单独成舱的三舱方案。

3 竖向设计

重力流污水管纳入综合管廊,除需满足综合管廊自身排水要求以外,还应考虑污水管与上下游的衔接、污水管在管廊内的竖向位置、管廊与过路管线的交叉碰撞、污水预埋管的设置等问题。

3.1 总体布置

根据污水专项规划,本项目重力流污水管的流向为自北向南,最终排入位于管廊起点附近的规划污水管,接入点埋深为 5.82m。综合管廊敷设路段的道路坡度为 $-0.6‰ \sim 0.44‰$,起伏较大。为减少管廊埋深,结合污水排放方向和道路纵坡情况,本综合管廊竖向采用波浪形设计(见图 4),总体趋势北高南低,最小覆土为 2.7m,同时保证管廊最小纵坡不小于 $0.2‰$,最大纵坡不超过 10%。在满足纳污需求和规范要求的前提下,为避免因污水管坡度过大造成管廊整体埋深大幅增加,本项目重力流污水管按最小设计坡度 $0.8‰$ 进行设计。在管廊内部通过支墩高度的调节实现坡度目标。支墩实物如图 5 所示。

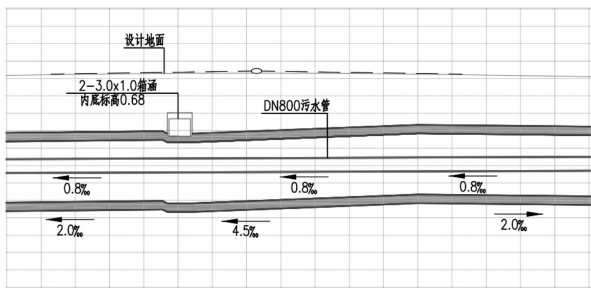


图 4 综合管廊纵断面图



图 5 重力流污水管道支墩实拍图

3.2 竖向调节

综合管廊标准段净高 3.5m,在保证重力流污水管管底离管廊底板不小 0.5m、管顶离管廊顶板不小于 0.8m 的前提下,扣除污水管道本身 0.8m 的管径,污水管在管廊内容约有 1.4m 的竖向调节空间,如图 6 所示。

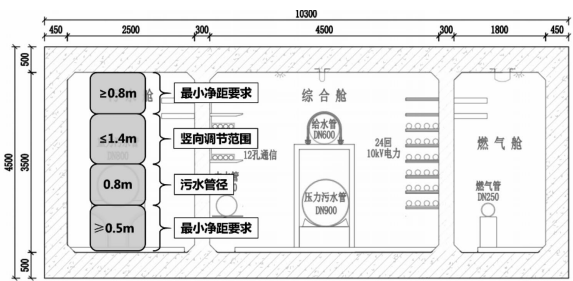


图 6 污水舱管道竖向空间示意图

3.3 交叉点设计

全线共有 3 处雨水箱涵与综合管廊交叉(见图 7),标高上均存在竖向碰撞,本项目针对这 3 处交叉点设计提出了 4 个方案进行比选,比选结果详见表 4。

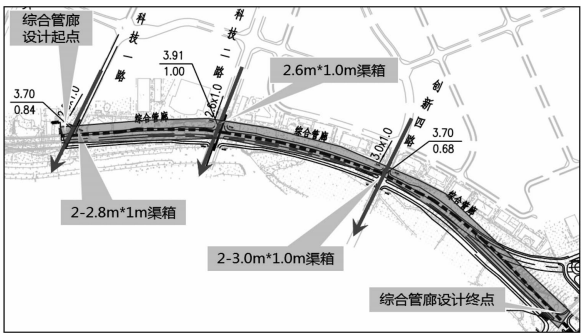


图 7 管廊与雨水箱涵位置关系图

表 4 管廊竖向方案比选

	污水管道水力条件	提升泵站设置	土建造价	维护管养成本
管廊局部倒虹	差	无	较高	高
管廊整体下沉	优	有	高	中
管廊倒虹,管道出舱(标高顺延)	优	无	低	出舱处可清淤,但无法更换管道及检修
管廊与雨水渠箱共板	良	无	中	低

方案一:综合管廊与污水管同步倒虹,从箱涵底部穿越箱涵。该方案需保证管廊顶与箱涵底至少 0.5m 的净距(见图 8a),管廊及污水管道局部加深,增加造价;倒虹段污水管道水力条件变差,增加清淤维管成本,管道密封性不佳。

方案二:综合管廊与污水管整体下沉(见图 8b)。该方案将整体增大管廊及重力流污水管埋深,增加土建及维管成本,同时将导致重力流污水管无法按规划标高接入规划污水管,需在管廊出口处增设提升泵站。方案二工程造价大幅提升。

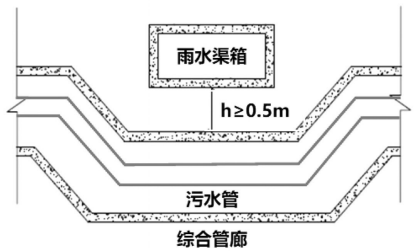
方案三:重力流污水管在交叉点处出舱、仅综合管廊局部下沉(见图 8c)。该方案既能够保持管廊的连续通达,同时避免因重力流污水管倒虹增加的清淤成本和密封性风险,但此段直埋污水管道上方为雨水渠箱、下方为管廊,基本无检修的可能。

方案四:采用管廊顶板与箱涵底板共建的异型结构(见图 8d)。此段管廊顶板厚度减小,管廊埋深局部略有增加,管廊内重力流污水管则通过支墩调节高度,保证顺坡流向不倒虹。该方案能够避免一般倒虹的弊端,充分利用竖向空间,适用于竖向制约条件过多的情况,且综合造价增加最少。

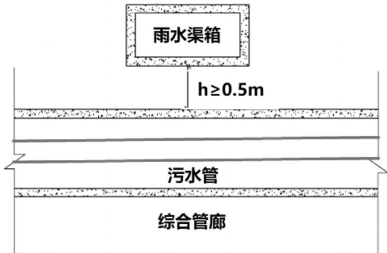
综合考虑重力流污水管水力条件、建设成本、维护管养成本及效果等多方面因素,交叉点设计采用方案四,即管廊顶板与箱涵底板共建。

管廊与雨水渠箱共板在结构受力传递模式上与其他节点差别较小,为加强纵向传力,设计对雨水渠箱的侧墙和顶板进行了加厚,并加强了顶板与雨水渠箱连接处的纵向配筋,且通过三维

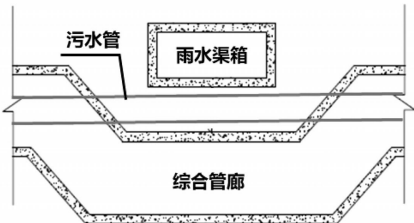
实体分析验证了结构受力的合理性。



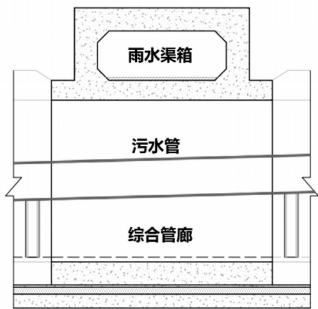
(a) 管廊倒虹过雨水渠箱



(b) 管廊整体下沉过雨水渠箱



(c) 管廊倒虹过雨水渠箱,污水管不入廊



(d) 管廊与雨水渠箱共板

图 8 管廊竖向方案比选图

4 附属设计

4.1 检查井设置

污水管道每隔一段距离或与周边管道衔接时需要设置检查井。根据设计当时的适用规范《室外排水设计规范》(GB 50014 - 2006, 2016 年

版)^[19](现已被《室外排水设计标准》(GB 50014 - 2021)代替),DN800 污水管的检查井最大间距为 80m。在满足规定和设计需要的前提下,本项目就污水检查井的布置提出了 3 种方案,比选结果详见表 5。

表 5 污水检查井设置方式对比表

	方案一(直通检查井)	方案二(直通检查井 + 清扫口)	方案三(舱内检查井)
规范要求的响应	满足	满足	满足
管廊整体性	影响大	影响适中	影响小
通气性	好	适中	较差
清淤便利性	方便	方便	不方便
检修便利性	方便	方便	不方便
造价	高	中	低

方案一:采用直通检查井,间距 60 ~ 80m,直通地面,供检修和清扫使用。井筒的廊内部分采用衬塑钢筒,廊外部分采用混凝土结构直通地面,街坊接户处设置闸槽井接入污水检查井,如图 9 所示。值得注意的是,若管廊埋深较深,街坊污水需要在闸槽井前先跌水,避免预埋管与廊内污水主管高差过大造成的气密性不稳定。该方案通气性良好,便于污水管的检修和清淤,但对管廊的整体性影响大。

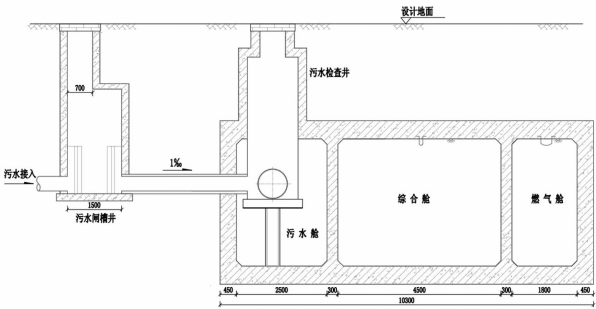


图 9 直通检查井示意图

方案二:采用直通检查井和清扫口相结合的方式,即每隔 160m 设置直通检查井用于清扫及污水支管接入,两个检查井之间每隔 40m 设置一处正三通法兰盖板清扫口(见图 10)。该方案既满足了规范对污水检查井间距的要求,同时避免了直通检查井的过密设计对管廊整体性、消防和

防水设计的不良影响。但由于清扫口不能与外界联通,故对污水舱的通风系统、检测系统和安全预警系统要求更高。

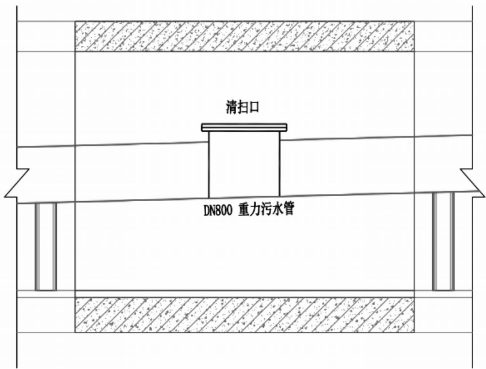


图 10 正三通法兰盖板清扫口示意图

方案三:采用舱内污水检查井,每隔 80m 设置一座,检查井完全设置在舱室内,检修及清扫均在管廊内完成,在检查井顶部设置出风口直通地面,实现有毒有害气体的排放,如图 11 所示。此方案虽然对管廊总体性影响最小,但通风性和安全性差,对污水舱的通风系统、检测系统和安全预警系统的设置要求和检测要求非常高。

综合考虑对规范的响应、检修和清淤需求及管廊的整体性和通气性,本项目采用方案二,即直通检查井和清扫口结合的检查井设置方式,见图 12。

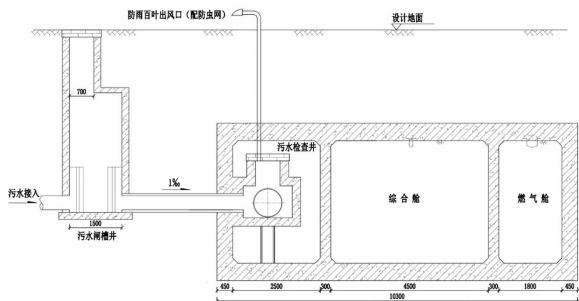


图 11 舱内检查井示意图



图 12 直通检查井和清扫口相结合的现场图片

4.2 通风口

综合管廊通风的主要目的是保证综合管廊日常内部空气流通、更新,以及发生气体泄露事故时气体能够及时排出。由于污水管道的特殊性,污水管入廊对通风要求更为严格。本项目根据设计需求,污水舱每隔约 200m 设置一个通风区间(同防火分区),两侧用防火墙隔离。采用机械进风和机械排风,在每一个通风区间的一端设置机械排风口、另一端设置机械进风口。正常通风换气次数按 6 次/h 运行,事故通风换气次数按 12 次/h 运行。进排风口均设内衬防护网的防雨百叶窗且位于地面绿化带内。

5 管材选取

常用的污水管道管材主要有钢筋混凝土管、高密度塑料管、钢管和铸铁管等。本项目综合考虑管道寿命、安装及维护方便性、接口气密性、抗渗性、防腐性等管材性能及项目特点,入廊重力流污水管采用焊接钢管,管道外防腐采用加强级,管件采用普通级,内防腐排水管道采用加强级,具有良好的耐腐蚀性。

6 结论与建议

本文以珠海高新区已验收的金琴快线综合管廊为案例,对重力流污水管入廊的断面设计、竖向设计、附属设计、结构设计进行技术要点总结及方法创新,形成的结论如下:

(1)在对地下管线运维要求较高且管理经验成熟的地区,在对功能性、安全性及经济性作充分比选后,可考虑将重力流管线纳入综合管廊。

(2)已考虑入廊的重力流污水管道,由于其管接口较多,存在漏水漏气风险,其泄漏的气体对人体有毒,对其他管线有腐蚀性,故在空间足够,满足规范和规划的前提下,建议重力流污水管单独成舱。

(3)本项目采用直通检查井和清扫口相结合的重力流污水管检查井设置方式,既满足街坊污水接入和检查井设置间距要求,又降低对管廊总体性的影响。

(4)重力流污水管入廊的竖向设计较为复杂,需同步考虑重力流污水管污水流向和综合管廊排水方向,充分利用竖向条件。在道路较为平坦、纵坡较小的条件下,波浪型的管廊竖向设计将有利于减少管廊的整体埋深,控制建设成本。在与规划或现状管线竖向碰撞的交叉点处,结合项目实际情况,可考虑多种节点设计进行避让,尽量避免重力流污水管的倒虹设计和提升泵站的设置。本项目利用管廊顶板与交叉雨水箱涵底板共建的异型结构,实现重力流污水管以非倒虹的方式穿越标高相近的雨水箱涵,可供类似项目作为参考。

针对综合管廊的研究现状和未来发展,本文提出的建议如下:

(1)《城市综合管廊工程技术标准》将于2024年作为指引综合管廊建设的最新标准执行应用,替代原来的《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838-2015)^[17]。新标准对综合管廊的监控中心、天然气管道、压力管道、消防通风系统等相关内容作出一定的调整。之后的综

合管廊项目应严格遵守其中的规定,保证项目设计和实施的安全性、适用性、经济合理性和技术先进性。

(2)当前我国的综合管廊工程仍在发展阶段,重力流污水管纳入综合管廊仍有重点、难点有待突破,在综合管廊建设中宜因地制宜地通过技术经济比选考虑重力流污水管入廊的可行性,以最大程度地发挥综合管廊的经济、社会、管理、环境等综合价值。

参考文献:

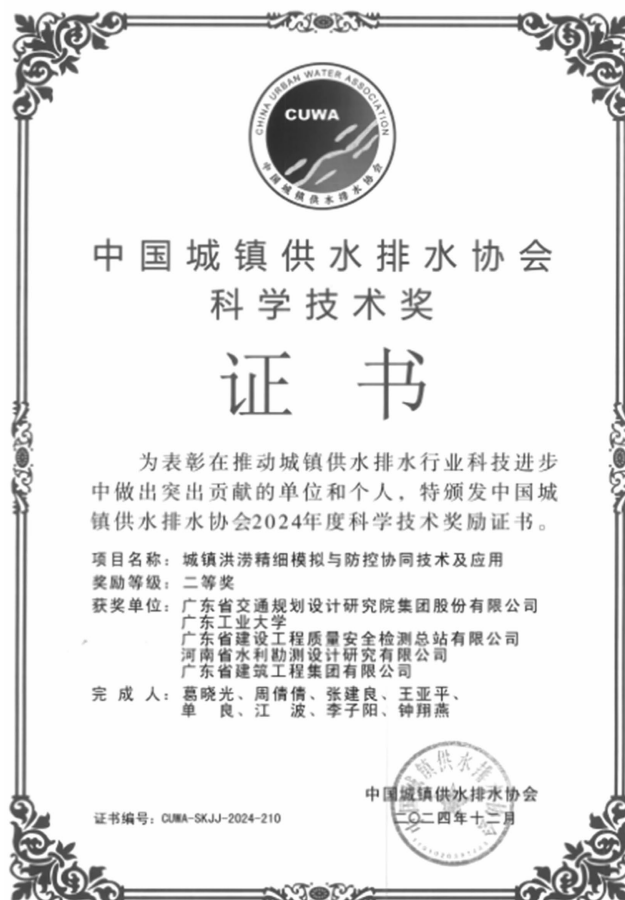
- [1] 韦海民,贺广学. 国际城市地下综合管廊研究的文献特征与研究热点分析[J]. 隧道建设, 2020, 40(2): 179.
- [2] Y. LUO, A. ALAGHBANDRAD, T. K. GENDER, et al. History and recent development of multi - purpose utility tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2020, 103:103511.
- [3] F. BERGMAN, S. ANDERBERG, J. KROOK, et al. A critical review of the sustainability of multi - utility tunnels for colocation of subsurface infrastructure[J]. Frontiers in Sustainable Cities. 2022, 4: 847819.
- [4] D. V. L. HUNT, D. NASH, C. D. F. ROGERS. Sustainable utility placement via Multi - Utility Tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2014, 39: 15.
- [5] 梁宁慧,兰菲,庄炆等. 城市地下综合管廊建设现状与存在问题[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16(6): 1621.
- [6] 油新华,曲连峰,罗朝洪. 我国城市综合管廊的建设经验、问题与建议[J]. 隧道建设, 2020, 40(5): 621.
- [7] 杨磊三,李骏飞,周炜峙. 污水管道纳入综合管廊的规划及设计探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18): 27.
- [8] 李秋艳,王伟. 排水管线纳入综合管廊内案例分析[J]. 工程建设与设计. 2019, 7:97.
- [9] 王涛. 某平坦道路重力流污水管入廊设计方案探讨[J]. 工程建设, 2020, 52(8): 48.
- [10] 付朝晖,刘羽. 平坡道路综合管廊污水管道入廊案例分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 76.
- [11] 李骏飞,杨磊三,周炜峙,王成军. 新城区综合管廊建设污水管道入廊案例分析[J]. 中国给水排水, 2017, 33(24): 44.
- [12] 马念,李书钺,陈杰,曾前松. 山地城市综合管廊市政污水管道设计研究[J]. 市政技术, 2018, 36(1): 160.
- [13] C. D. F. ROGERS, D. V. L. HUNT. Sustainable Utility Infrastructure via Multi - Utility Tunnels[C]//1st International Construction Specialty Conference. Canada. 2006: CT - 001 - 1.
- [14] LIU, F. T. , LOONG, L. H. Thirty years hundred stories: Engineering accomplishments in Singapore as told by the NTI pioneer engineering class of 85 [M]. Singapore: ISEAS Publishing, 2015:109.
- [15] 曹益宁,董永红. 城市综合管廊入廊污水管道及重要节点的设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(20): 67.
- [16] 李玲. 污水管道纳入综合管廊设计要点探讨[J]. 中国给水排水, 2017, 33(8), 90.
- [17] 城市综合管廊工程技术规范: GB 50838 - 2015 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [18] 室外排水设计规范: GB 50014 - 2006 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.

公司获中国城镇供水排水协会科学技术奖二等奖 并进行内涝防治主题宣讲

中国城镇供水排水协会 2025 年会(暨城镇水务技术与产品展示会)于 4 月 15 - 20 日在杭州国际博览中心召开。在年会科技奖颁奖仪式中,由公司主持申报的“城镇洪涝精细模拟与防控协同技术及应用”项目荣获 2024 年度中国城镇供水排水协会科学技术奖二等奖。

该项目通过协同管网系统提标改造与海绵措施科学布设,采用深度学习技术、科学统筹方式和系统性方法,有效提升了决策者对城市洪涝的预测、防控和管理能力,因地制宜地解决城市内涝问题,显著提升城市排涝除险能力,降低洪涝对人民群众生命和财产安全的威胁,为促进经济社会持续健康发展提供有力支撑。

在年会“城镇排水与水环境治理—城市更新背景下排水系统规划与设计论坛”上,第二市政设计院副总工程师葛晓光围绕“迈向智慧治水:城镇洪涝智能预测与防控前沿技术及应用探索”议题发表主题演讲,分享以精细化防控措施耦合模拟方法、基于人工智能的管道缺陷检测技术、洪涝防控协同统筹优化等多项关键技术研究为手,构建多环节、多尺度、多目标和多维度的排涝除险智能防控体系的综合经验。现场反响热烈,与会专家高度评价了公司的技术成果与实践经验,认为其为城市内涝智能化防控提供了可行性。





公司技术委员会给排水分会通过技术突破与思想碰撞,逐步提升在城镇水务领域的影响力。未来,给排水分会将继续以科技为引擎,为行业高质量发展注入新动能,助力实现“水润万家,城水共生”的美好愿景。

(供稿:给排水专业技术分会)

2025 年工程勘察设计高质量大会暨管理体系认证交流研讨会 及“中设 3A”勘察设计数字好产品分享交流活动

2025 年 4 月 17 - 18 日,第六届工程勘察设计高质量发展大会暨管理体系认证交流研讨会在江西景德镇隆重召开。会议由中国勘察设计协会指导,北京中设认证服务有限公司、中国勘察设计协会质量和职业健康安全环保工作委员

会联合主办,以“谋篇而变、向质而行、乘数而上”为主题,邀请行业领导、专家分析行业发展形势,分享创新发展路径和方法,探寻可持续发展方向,共商行业发展大计,共谋行业高质量发展未来。来自勘察设计行业近 300 人参加了本次会议。



中国勘察设计协会驻会副理事长、北京中设认证服务有限公司董事长王子牛、总经理张崇武,中国勘察设计协会理事长朱长喜、中国勘察设计协会质量和职业健康安全环保委员会主任委员等领导出席大会,王子牛、张崇武主持了会议。

我司由黄湛军总经理带队,一行 5 人参加了本次交流研讨会及“中设 3A”勘察设计数字好产品分享交流活动。

在大会主旨报告环节,北京中设认证服务有限公司总经理张崇武以《战略与选择,行动与思

考》为题,全面回顾工程勘察设计行业质量管理体系分级认证发展历程,并分享了分级认证对战略的理解,及分级认证审核构成中的审核建议和良好案例。张崇武指出,在中国勘察设计协会的指导下,北京中设认证服务有限公司开展的工程勘察设计行业质量管理体系分级认证活动,紧随国家高质量发展战略的步伐走过了八年历程,取得了丰硕成果。分级认证北京中设认证服务有限公司将通过对行业良好的实践和问题痛点的系统研究和分析,助力工程勘察设计企业高质量发展。



通过学习借鉴会议精神,我司也应不断加强质量管理体系建设,夯实高质量发展基础,发展新质生产力,大力发展数字化产品,提升我司的核心竞争力,推进行业高质量发展。

我司自 2019 年导入了质量管理体系升级版分级认证,并于 2020 年 7 月获得 AAA 认证,2022 年获得 AAA+ 认证,至今持续保持 AAA+ 证书,公司管理质量得到了显著的提升。

大会同期由北京中设数字研究院院长林湧涛主持“中设 3A”勘察设计数字好产品分享交流活动。17 家勘察设计单位分享了本单位的数字化好产品。

我司数字化产品“GDCI 工程数字沙盘”在“众智云平台”上经过 8000 余人次的线上投票,

并综合 10 位行业专家的评选意见,在初评环节脱颖而出,进入现场评选阶段,最终荣获二等奖。GDCI 工程数字沙盘为我司全栈自研三维引擎平台,自研针对性强、速度和效果均衡的 GPU 优化算法,具备大场景高清实时流畅渲染能力,可快速加载 TB 级倾斜摄影;围绕三维交互增强、智能标绘联动、界面定制优化、数字汇报革新及交通仿真深化五大核心模块,通过引擎性能优化、AI 能力集成与跨平台适配升级,不断提升多源异构数据整合能力与行业解决方案输出效能。该项技术已经应用于机高改扩建,广惠高速改扩建,南湛高速,平武高速等项目,有力支持了公司业务发展及技术品牌建设,提升了公司数字化品牌的影响力。



(报道者:谢秀玲)

2025 年全国地质灾害与防治学术交流会

一、会议概况

2025 年 5 月 9 - 11 日,由中国地质学会主办的“全国地质灾害与防治学术交流会”在 JEN 酒店举行。会议围绕极端天气变化与地质灾害风险、海洋地质灾害与重大工程安全、地质灾害智能化防控三大专题展开深入研讨。本次会议设置了主会场报告、分会场专题研讨、技术装备交流等环节,吸引了全国 300 余名代表参会,涵盖院士、教授、专家、工程师等不同领域专业人士,为地质灾害防治领域搭建了重要的交流平台。

二、学术交流内容

(一) 极端天气变化与地质灾害风险

极端天气变化与地质灾害风险方面交流报告 35 项。以两项为例简介如下:

《全球变暖背景下长江上游暴雨 - 滑坡灾害链成灾机制与预警模型》:国家气候中心研究员结合 2024 年三峡库区强降雨案例,深入剖析极端天气下岩土体水动力学响应规律,提出“气象数据 - 地质模型 - 预警阈值”耦合预测技术,为相关灾害预警提供创新方法。

《西南喀斯特地区冻融循环对边坡稳定性的影响研究》:中国科学院山地灾害与环境研究所专家通过长期监测数据,揭示冻融作用下碳酸盐岩边坡裂隙扩展机制,并给出灾害风险区划图谱,助力该地区边坡稳定性研究与灾害防治。

(二) 海洋地质灾害与重大工程安全

海洋地质灾害与重大工程安全方面交流报告 13 项。以两项为例简介如下:

《南海深海采矿区海底滑坡监测与工程防护技术》:中国五矿集团高级工程师介绍了声呐监测与数值模拟技术在南海多金属结核矿区的

应用,详细解析开采扰动下边坡失稳风险防控策略。

《港珠澳大桥桥区海洋地质灾害监测体系构建与实践》:港珠澳大桥管理局技术负责人展示了海底光缆应变监测、AI 波浪载荷计算等技术,实现桥墩基础形变 $\pm 2\text{mm}$ 级预警精度,为保障大桥安全提供有力支撑。

(三) 地质灾害智能化防控

地质灾害智能化防控方面交流报告 14 项。以两项为例简介如下:

《“空天地人”一体化智能监测体系在矿山的示范应用》:航天科技集团工程师演示了 In-SAR 卫星、北斗终端、无人机与群测群防系统融合方案,在某矿山实现边坡毫米级形变监测与秒级预警,显著提升矿山地质灾害监测预警能力。

《区块链技术在地质灾害监测数据存证中的应用实践》:蚂蚁集团技术专家介绍了“地灾链”数据存证系统在云南、贵州试点情况,利用区块链技术确保监测数据不可篡改,有效提升基层防灾数据可信度。

(四) 其他相关研究与实践

会议还涉及海上风电开发技术、华为地质灾害智能化防控技术、海洋地质灾害与重大工程安全评价、香港滑坡风险管理等内容。专家们分享了我国海上风电发展历程、技术难题及岩土工程问题;华为利用 AI 大模型及通信产品在灾害感知、预报、救灾方面的应用;南海海洋地质灾害研究进展与思考;香港滑坡管理策略等。此外,围绕黄土、构造缝合带、林芝古湖等地的灾害研究,以及广州、东南地区、浙江等地在城市地质、滑坡防治、风险防控方面的实践探索也进行了汇报交流。例如,提出黄土渗流模

型,研究构造缝合带灾害问题,分析林芝古湖对工程影响,构建广州城市地质防控体系,探索东南地区滑坡应对策略,介绍浙江地质灾害风险防控实践等。

三、探讨总结

1、灾害特征与隐患识别:西部多崩塌、滑坡、泥石流等山地灾害,东部平原区多地面沉降、飞沙走石,城市多因地下施工出现地面塌陷,山区多小型崩塌滑坡及泥石流。隐患点源于不稳定斜坡,分正在滑动、稳定、欠稳定三类。极端暴雨使部分稳定斜坡致灾,需增加动力学研究,采用光学遥感、激光雷达等非接触式量测技术结合多期遥感多元数据融合识别隐患点。

2、避险防范与监测预警:山区地质灾害多与降雨有关,如广东梅州暴雨灾害,需解决安置点可达性、预警及时性、避灾场所评估建设等问题。我国灾害预报预警有成果,但监测压力大,应推广普适性灾害监测设备,提升到人防加技防阶段,加强西部山区高位泥石流专业化监测。道路灾害应贯彻“汛前强排查、汛中排隐患、汛

后核查”原则,利用技术手段排查隐患。

3、新技术应用与科普教育:人工智能可用于天气预报、海洋大模型等,辅助无人机演示判断,未来应向基层“傻瓜化”发展。山区群众需关注天气预报,汛期雨天避免在坡上、坡下活动,及时报告房屋开裂情况,留意隐患点警示牌与撤离路线,关注预警 APP。基层风险管理需加强,采取简易防治、监测、应急措施,普及灾害知识与演练,源头管控人类工程活动,加强工程韧性。科普教育要做好国土空间规划,禁建或限建灾害易发地,宣传建房开挖后的防护措施。

4、学科发展与人才培养:地质灾害尚未成为单独学科,但不少大学开设相关课程,学生学习热情高,行业人才需求迫切。同时,应急救援新技术不断发展,包括侦检、搜救、工程机械等装备,如模块化工程机械、雷达设备、无人机激光扫描等,还尝试以物找人、气味找人等新方式。

(报道者:李水清)

第六届给排水管网管理与运维大会

2025 年 5 月 14 - 15 日,第六届给排水管网管理与运维大会在广州市召开。本次会议以“创新驱动、智慧赋能、绿色发展”为主题,汇聚了来自全国各地的专家学者、企业代表及行业管理者,围绕地下管线行业发展、非开挖修复技术、人工智能应用、管网信息化建设等前沿议题展开深入探讨。以下结合会议核心内容,从技术革新、实践应用与行业展望三个维度进行总结与分析。

一、技术革新:非开挖修复与智能诊断的突破

1. 非开挖修复技术的多维度升级

非开挖修复技术作为解决管网老化问题的

核心手段,成为本次会议的焦点。广州市政集团安关峰在《给水管道非开挖修复技术实践与行业展望》中提出,当前非开挖技术已从传统的内衬法扩展到紫外光固化、喷涂修复、点状原位固化等多工艺协同应用阶段。天津水科院的曹井国进一步强调,新型修复材料(如纳米改性树脂、高韧性复合材料)的研发显著提升了修复管道的抗渗性和耐久性,同时降低了对环境的影响。以广州某老旧供水管网改造项目为例,采用紫外光固化技术后,修复效率提升 40%,综合成本下降 25%。

2. 人工智能与计算机视觉的深度融合

人工智能在排水行业的应用从理论研究迈

向工程实践。广东省市政行业协会李天兵在报告中指出, AI 算法已实现排水管网淤积预测、内涝风险预警的精准建模, 其团队开发的智能监测系统在深圳试点中成功将内涝响应时间缩短至 10 分钟以内。浙江大学马一祎团队则展示了基于计算机视觉的管道缺陷智能识别技术, 通过深度学习算法对 CCTV 检测视频进行实时分析, 缺陷识别准确率达 98%, 量化评估效率较人工提升 90%。这一技术突破为管网健康评估提供了标准化、高精度的解决方案。

二、实践应用: 智慧水务与精细化管理的落地

1. 数字孪生与信息化平台的协同构建

武汉智博创享廖光伟提出的“Z 技术平台”以数字孪生为核心, 整合 GIS、BIM 与物联网技术, 实现了管网全生命周期数据的动态可视化管理。长江空间马瑞进一步阐释了数字孪生平台在管网渗漏模拟、应急调度中的应用价值: 通过实时传感器数据与水力模型的耦合, 某试点城市管网漏损率从 22% 降至 12%。重庆水务谭松柏分享的“厂网一体化智慧管控平台”案例表明, 通过 AI 算法优化泵站运行策略, 污水处理厂能耗降低 18%, 管网过流能力提升 15%。

2. 城市更新背景下的雨污混接治理创新

上海枢汇穆涛提出的“投建运维管一体化”模式引发热议。该模式以 PPP 项目为载体, 通过前端投资、中端建设、后端运维的闭环管理, 破解了雨污混接改造中资金短缺、责任分割的难题。深圳市水务集团钟艳萍则以深圳为例, 介绍了“源头分流—管网修复—末端调蓄”三级治理体系, 通过智能分流井与弹性调蓄池的协同设计, 雨季合流制溢流污染削减率达 70%。

三、行业痛点与未来展望

1. 技术标准与数据共享的瓶颈

尽管技术发展迅猛, 行业仍面临关键挑战。东莞市水务集团张隆曦指出, 管网动态更新机制缺乏统一的数据标准, 导致多部门数据孤岛现象

严重。合肥工大郭帅团队开发的“定位取样器与管道测径仪”虽解决了管网溯源排查的精度问题, 但设备成本高昂限制了大规模推广。对此, 测绘学会刘会忠秘书长提出, 需加快制定管网数据采集、存储与共享的行业规范, 推动“全国一张图”平台建设。

2. 地下空间探测技术的突破需求

广州市规划院甄兆聪提出的“地—井—水立体化探测体系”为暗河、箱涵等隐蔽空间管理提供了新思路。通过地质雷达、声呐探测与无人机航测的多源数据融合, 某城市地下暗河测绘效率提升 3 倍。然而, 复杂地质条件下的探测精度仍待提升, 未来需加强 AI 地质解译算法的研发。

3. 绿色低碳与韧性城市的融合趋势

多位专家强调, 管网系统需从单一功能向“安全—生态—低碳”多维目标转型。王广华团队研发的污水干管健康风险评估模型, 通过引入碳足迹指标, 将修复决策与环境效益挂钩; 而武汉、重庆等地的智慧平台案例显示, AI 驱动的优化调度可减少管网运行碳排放 10% ~ 15%。未来, 管网管理与“双碳”战略的深度结合将成为必然方向。

四、结语: 技术赋能下的行业转型之路

本次大会集中展现了我国给排水管网领域从“被动运维”向“主动防控”、从“经验驱动”向“数据驱动”的深刻转型。非开挖修复、人工智能、数字孪生等技术的交叉融合, 不仅提升了管网系统的可靠性与经济性, 更为城市水安全与可持续发展提供了坚实保障。然而, 标准缺失、成本约束、跨部门协同不足等问题仍需政产学研多方合力突破。可以预见, 随着《城市更新行动》《新型城镇化建设方案》等政策的推进, 给排水管网行业将迎来新一轮技术革命与管理创新, 为韧性城市与生态文明建设注入更强动能。

(报道者: 沈 斌)

广东省高速公路营运管理协会 2025 年团体标准工作宣贯暨新技术交流会

为深入贯彻落实行业标准化建设要求,推动广东省高速公路营运管理高质量发展,广东省高速公路营运管理协会于 2025 年 5 月 15 日至 16 日在广州从化成功举办“2025 年团体标准工作宣贯暨新技术交流会”。本次会议由广东省交通运输厅指导,省高速公路营运管理协会主办,广东省交通规划设计研究院股份有限公司协办。

广东省交通运输厅公路运营管理处二级调研员林旭、省高速公路营运管理协会秘书长李文贵出席会议并致辞。来自省交通运输厅、省公路营运管理协会、高速公路营运单位及设计科研机构的两百余位代表参加了会议。

会议首日聚焦于团体标准成果发布与政策宣贯,举行了新发布标准的介绍与解读,并组织了标准编制专题培训,帮助参会单位深入理解标准体系建设要求。次日围绕新技术、新趋势展开专题交流,邀请多位行业专家进行主题演讲,分享在智慧营运、存量优化、收费机制改革等方面的前沿实践与思考。

作为本次会议的协办单位,广东省交通规划设计研究院股份有限公司积极参与会议组织与

交流研讨,综合规划院院长阮文、大数据中心副主任罗赞代表公司出席活动。会上,罗赞副主任受邀作了题为《新时期广东省高速公路高质量发展的思考》的主题演讲。演讲结合广东省高速公路从高速增长转入平稳发展阶段的历程,分析了当前投资成本上升、收费收益放缓等现实背景,并借鉴美国、日本等发达国家经验,分析在发展进入稳定期后,高速公路仍可维持低速有序增长,高速公路未来的发展重点应从增量建设逐步转向存量优化,最后提出了精细化运营和制度保障的发展思考。佛开高速、深中通道、深山西、交通开发公司、联合电服、交通集团数字化项目部、华南理工大学等单位分别做了高速公路运营管理方向的主题演讲。

本次会议不仅为广东省高速公路行业在标准体系建设与新技术应用方面搭建了交流平台,也进一步提升了我司在行业内的专业影响力和品牌形象。未来,公司将持续秉持技术驱动的发展理念,服务行业高质量发展。

(报道者:罗 赞)

第十九届工程物探学术交流大会报道

第十九届工程物探学术交流大会于 2025 年 5 月 28 日至 30 日在重庆君豪大饭店隆重召开。本次大会由全国建筑工程勘察科技情报网主办,北京市水电物探研究所、《隧道建设(中英文)》编辑部承办,并得到了中国建筑学会工程勘察分会与相关仪器设备厂商等协办单位的大力支持。我院集团副总工张修杰、工程勘察院物探所副所长周孝宇代表出席了本次盛会并做了技术汇报

交流。

大会以“工程物探与大数据信息结合技术在工程建设中的应用与进展”为主题,吸引了全国各地 100 余个科研及生产单位和 200 余名工程物探领域的专家、学者、技术人员及相关企业代表齐聚一堂。

会议开幕式中,主办方代表及专家致开幕辞,强调了工程物探在保障工程建设安全、提升

勘察效率、服务国家重大战略中的重要作用,并对大会的成功召开表示热烈祝贺。

来自各科研院所、高校及生产单位的专家学者围绕大会主题,就工程物探技术的前沿进展、创新应用及未来趋势作了精彩纷呈的学术报告,就共同关心的技术问题进行了广泛而深入的交流研讨。会议期间举办了物探设备展示与现场试验演示等活动,多家知名仪器设备厂商展示了最新的物探技术与装备,为与会者提供了直观了解行业技术发展动态的平台。

本次大会技术交流内容丰富,聚焦工程物探领域的热点与前沿,取得圆满成功,为全国工程物探领域的专家学者和技术人员搭建了一个高

水平的学术交流与技术研讨平台。大会的成功举办有力促进了工程物探领域产学研用的深度融合与协同创新,展示了“工程物探+大数据”结合应用的广阔前景,与会代表一致认为,在行业同仁的共同努力下,工程物探技术将为我国基础设施建设和经济社会高质量发展贡献更大力量。

我院与会代表通过现场汇报与技术交流、参与论坛、观摩演示等,深入了解了当前工程物探领域的最新技术成果、发展趋势和面临的挑战,收获丰硕。本次参会对推动我院工程物探技术的进步及其在工程建设中发挥更高效、准确、科学等方面具有重要作用。

(报道者:周孝宇)

