





广东交通规划设计

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2026 3 总第203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

准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料　免费交流

铸魂强基担使命　红色引擎促发展

——公司党委书记、董事长李江山同志、第八党支部获省委“两新”工委“两优一先”表彰

2026年7月1日下午，在中国共产党成立105周年之际，中共广东省委非公有制经济组织和社会组织工作委员会（以下简称省委“两新”工委）“两优一先”表彰仪式在广州举办，对25名优秀共产党员、14名优秀党务工作者、10个先进基层党组织进行表彰。

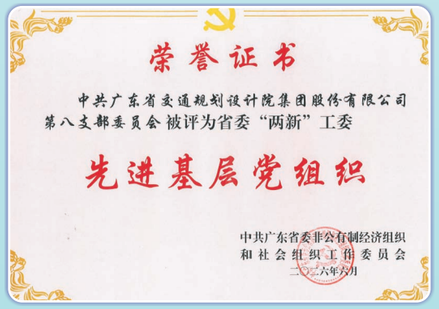
公司党委书记、董事长李江山荣获省委“两新”工委“优秀党务工作者”称号，公司第八党支部荣获“先进基层党组织”称号（由支部书记苏绍锋代为领奖）。

近年来，公司党委坚持把党建工作融入日常经营管理，在组织建设、队伍培养和业务推动上持续用力。此次获得表彰，是对公司党建工作的肯定，也是对我们继续做好下一步工作的鼓励。公司党委将以此为契机，进一步夯实发展基础，更好发挥党组织和党员作用，服务企业发展。











公司团队获广东省首届高质量数据集创新大赛交通赛道特色奖

近日，由广东省政务服务和数据管理局主办的“湾区数超”广东省首届高质量数据集创新大赛（第一期）在东莞数据标注产业园圆满落幕。经过初赛、复赛、路演三轮激烈角逐，公司交通大数据研究中心组建的团队在交通赛道中表现出色，荣获特色奖，位列该赛道第4名。

本次大赛聚焦高质量数据集构建、创新应用与流通交易，赛题覆盖能源、医疗、金融、交通、低空经济、教育等8个重点领域。其中，交通赛道以“交通多源异构数据融合的行业通识高质量数据集构建”为赛题，共吸引50余支队伍参赛，经多轮遴选最终确定5支获奖团队。

比赛中，公司团队基于基础地理数据、交通运行数据、设备感知数据、信控业务数据、环境关联数据五大数据源，通过多源异构数据融合与丰富特征工程构建，打造了高质量、广覆盖、强时效、可扩展的花都中心区交通运行监测数据集。团队围绕交通流量预测及拥堵预警、潮汐车道管理、碳排放精细化核算、货车管控优化、充电桩智能选址等多元场景，系统验证了数据集在各场景下的广泛适配性与实际应用价值。

该成果构建了从交通感知到智慧决策的坚实数据底座，可有力支撑“感知-预测-管理-咨询”全链条交通业务，实现增效、提质、降碳多维度应用价值，为推动数据应用成为驱动公路交通高质量发展的新引擎贡献了积极力量。

供稿：交通大数据研究中心







广东交通规划设计

（每季出版）

2026 年 9 月 30 日印刷

2026 年第 3 期

（总第 203 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、张建良、陈志翔、陈新富、邱赞富、周　震、梁志勇、梁淦波

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：武深高速公路始兴联络线工程

目　次

部委政策

综合交通运输标准化发展“十五五”规划 …… （1）

《综合交通运输标准化发展“十五五”规划》政策解读 …（9）

公司动态

广东省首例高速公路弃渣场失事影响分析报告通过技术评审 ……（10）

公司主编的两项广东省地方标准《涉路工程安全技术规范》和《公路大件运输安全技术规范》正式发布并完成宣贯培训 ……（12）

公司技术团队受邀为惠阳区现代化综合交通体系培训班授课 ……（14）

我司亮相粤港澳大湾区“人工智能 + 交通运输”创新发展大会暨第十届华南智能交通大会并荣获多项奖励 ……（15）

技术论文

河南鹤壁某高速公路煤矿采空区综合勘察方法及稳定性评价应用研究 …… 何伟兵（17）

松散性半刚性基层沥青混凝土路面改扩建关键技术研究 …… 肖冠成（27）

高速公路服务区间距分析方法研究 …… 曾栋鸿，高雨田（34）

园林花卉在广东公路绿化中的应用 …… 董　娜（41）

信息专栏

深耕结构新材料　聚力交通强基建 ……（45）

市政工程信息化应用技术交流培训暨第八届“市政杯”BIM 应用技能大赛宣讲会 ……（48）

中国建筑学会 2026 年工程勘察学术大会报道 ……（50）

综合交通运输标准化发展“十五五”规划

标准化为交通运输发展提供统一规则、质量底线和协同目标，是支撑现代化综合交通运输体系建设的重要基础。根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》《国家标准化发展纲要》《计量发展规划（2021－2035 年）》及现代综合交通运输体系发展“十五五”规划，制定本规划。

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，深入贯彻党的二十大和二十届历次全会精神，瞄准加快建设交通强国战略目标，紧扣推动交通运输高质量发展主题，聚焦“一网四化”主攻方向，坚持统筹协调、目标导向、问题导向、急用先行，以改革创新为动力，以标准化“快优强”为主线，着力加快优质标准供给，着力强化标准落地实施，着力提升标准国际化水平，着力推动标准数智化转型，更好服务人民群众高品质出行，推动交通物流降本提质增效，引领交通运输新质生产力发展，助力统一开放的交通运输市场建设，为完善现代化综合交通运输体系提供坚强有力的标准化支撑。

到 2030 年，基本建立满足交通运输高质量发展要求的标准体系，标准供给优质高效，标准制度型开放稳步扩大，标准实施应用有力有效，标准数智化水平显著提升，科技创新与标准化协同发展进一步深化，综合交通运输标准化发展实现由“规模数量型”转变为“质量效益型”，标准在支撑交通运输“一网四化”、加快建设交通强国中的引领保障作用更加突出。

高质量标准供给效能不断提升。综合交通运输标准化管理机制更加健全，标准体系结构更加优化，标准化与科技创新协同发展机制基本建立，标准化对传统产业升级和新兴产业发展的支撑能力更加突出。发布实施标准 800 项以上，国家标准新修订升级比例超过 40%，强制性国家标准制修订数量增长 40%，研制不少于 50 项计量标准器具和 100 项计量技术规范。每年度研制出台“一网四化”关键核心标准不少于 50 项，实现关键领域标准全覆盖，标准平均制定周期压缩 10%，新兴领域标准响应周期不超过 12 个月，标准供给速度、质量、效能明显提高。

标准制度型开放稳步扩大。标准国际化水平明显提升，国际合作交流持续深化，规则标准“软联通”服务高质量共建“一带一路”作用更加突出。发布一批交通运输标准外文版，牵头制定一批国际标准，国际标准研制实现全面参与，国际标准新工作项目提案（NP）增长 30%，国际标准转化率达到 90% 以上，注册专家（委员）数量增长 50%。

标准实施应用更加有力。标准实施应用和监督机制更加完善，设立百项交通运输国家标准化试点，培育 20 个左右标准验证点，国家强制性标准实施情况统计分析点能力全面提升，基本构建交通运输标准实施监测网络。标准、计量、检验检测、认证认可协同发展，以计量为核心的交通运输先进测量体系基本建立，检定校准能力覆盖率达到 90% 以上，质量基础设施更加健全。

标准化基础能力显著增强。标准数智化能力更加成熟，建成交通运输标准高质量数据集，实现标准智能在线编审。交通运输领域标准化技术委员会（以下简称标委会）专业布局持续优化，新增 2 个以上新技术领域标委会。培养一批标准计量专业人才。

展望 2035 年，行业标准有序转化为国家标准工作全面完成，结构优化、先进合理、系统完备、国际兼容的交通运输标准体系更加健全，标准化管理机制运行更加顺畅，标准促融合、优治理、强创新、提效能、惠民生的作用更加突出，支

撑基本建成交通强国。

二、重点任务

（一）加快推进标准化改革创新

落实国家标准化改革重点任务。实施交通运输标准化“快优强”改革创新行动。优化整合标准层级，系统评估、有序推动交通运输行业标准向国家标准转化。聚焦保障人身健康和生命财产安全、国家安全、生态环境安全以及满足经济社会管理基本需要，加快健全交通运输安全强制性国家标准体系，常态化开展新标准制定、老标准更新、推荐性转强制性标准工作。畅通强制性标准研制绿色通道，推动急需标准快立项、快研制、快出台。完善交通运输领域标委会布局，试点先行、分类推进行业标委会逐步优化重组为全国标委会，支持新兴技术领域设立标准化技术机构。

健全完善交通运输标准管理机制。推动建立跨运输方式标准协同研究和联合发布机制，促进标准有效协调衔接和实施监督。创新应用敏捷高效的标准供给载体，建立新域新质标准体系快速迭代更新机制，有效响应交通运输新技术、新产业、新业态、新模式标准需求。支持团体标准培优，鼓励具有先进性、引领性、实施效果好的团体标准，以及符合条件且具有共性需求的地方标准，按程序制定为国家标准和国家标准化指导性技术文件。拓宽标准需求征集渠道，建立标准草案储备库和需求征集平台，加强标准前瞻性储备布局。支持地方交通运输主管部门、企事业单位、社会团体和科研机构等，聚焦“一网四化”积极提出标准需求和草案。建立标准需求联合研判机制，及时归集共性、急迫需求，动态纳入标准体系和制修订计划。强化部省联动，充分发挥地方交通运输标委会在标准需求提出、草案推荐、研制组织、技术把关等方面的支撑作用。

强化交通运输标准进度与质量监督。持续落实交通运输标准管理创新措施，优化标准立项评估，按需增加立项评估频次，分类简化标准立项程序。规范标准起草单位和起草人署名。强化标准制定过程管理，加强制修订进度和质量的通报与督导，充分发挥标委会时效管控、质量把关和沟通协调作用，提升标准制定各环节形式审查“一次报送、一次通过”比例，确保标准及时批准发布和出版。

深化科技创新与标准化协同发展。建立交通运输“科标协同”工作机制，推进交通运输重大科技项目、科技创新平台、中试验证平台与重点高层级标准一体布局。完善科技成果向标准转化评价体系，加强交通运输重大科技项目“预标准化”工作指引和服务保障，在“人工智能 + 交通运输”典型应用场景创新行动中设立预标准化任务，推动在科技创新初始阶段开展标准研制和技术指标验证，一体推进技术研发、成果转化、标准研制、产业培育。

（二）大力加强关键核心标准供给

支撑现代化高质量综合立体交通网建设。聚焦交通运输基础设施更新和数智化改造，运输网运行效率和服务品质提升，综合立体交通网互联互通，新一轮农村公路提升行动，加强新建、改扩建及特殊环境基础设施建造维护、监测评价，智慧公路、智慧港口、智慧航道，货运物流、旅客无障碍出行等客货运输及装备方面标准供给。前瞻布局低空民用航空陆空协同标准体系，引领低空民用航空陆空协同、联程联运发展。

专栏 1：支撑加快建设现代化高质量国家综合立体交通网标准专项行动

支持基础设施提质升级。综合交通运输体系规划评估、交通强国体检评估等标准规范；综合交通枢纽更新和数智化改造标准；交通建设项目立项综合评估、效益评价标准；基础设施、牵引供电、通信信号、动车组技术规范等轨道交通互联互通相关标准；公路桥梁养护管理、桥梁防灾抗灾及监测预警等标准；公路桥梁隧道结构监测标准；工程量清单计价、设计工程量编制标准；

水运工程抗震、结构耐久性设计规范；内河通航建筑物、航道整治建筑物、枢纽航道等建设和养护相关标准；运河通航标准；民航机场工程建设标准；民航气象设施数据规范；基础设施智能建造、路网智慧扩容标准；智慧航道、智慧港口建设运行管理与等级评价，智能疏浚技术标准等。

服务客货运输网络高效运行。交通出行调查相关标准；智慧民航出行服务、安全安保和技术保障服务要求；出租汽车、客船等无障碍运营服务和技术标准；重大件商品运输技术要求；水路货运、国际班轮等运输服务规范；集装箱、干散货码头服务规范；95128 交通运输服务要求；民航机场运行服务、跨境快递服务等标准；内河运输船舶船型标准；轻型挂车、助力挂车及主要零部件标准；集装箱适箱货物品名、转锁型谱等标准；冷链运输保温箱、冷藏集装箱等装备温控要求；驮背运输等装卸作业规程等。

引领低空民用航空陆空协同。陆空协同交通运输基础设施设计要求；公路、港口等交通设施无人机巡检作业技术规范；无人机交通流量调查、公路网运行监测、执法巡查等标准；低空交通物流作业服务规范等。

促进交通运输一体化融合。聚焦综合交通运输体系跨区域统筹布局、跨方式一体衔接、跨领域深度融合，推进区域交通一体化、都市圈通勤出行、城乡交通运输一体化相关标准研制。加快综合运输通道、客货运输枢纽及集疏运体系、旅客联程运输、货物多式联运标准供给，完善多式联运标准体系。加强交通与能源融合发展，研究构建交能融合标准体系。促进交通与旅游融合发展，加快汽车租赁、邮轮游艇等标准供给。研究交通运输基础设施与公共通信基础设施融合发展标准。

专栏 2：促进交通运输一体化融合标准专项行动

服务跨区域统筹布局。京津冀、长三角、粤港澳大湾区，以及成渝地区双城经济圈等区域交通基础设施互联互通、运输服务一体衔接标准；都市圈通勤出行服务、出行调查、效率监测与评估标准；农村物流节点体系建设、运营服务、客货邮融合标准等。

促进跨方式一体衔接。综合货运枢纽集疏运体系规划、综合运输通道评价、综合运输通道一体化规划建设、综合交通枢纽城市分级分类等标准；综合客运、货运枢纽服务规范、服务质量评价标准；空铁联运集装器、多式联运集装箱转运系统标准；公铁联运专用集装器具运输半挂车标准；多式联运货物积载加固、装载查验、转运衔接标准；联运装备匹配性、监控管理要求；公路航空、公铁旅客联运服务质量及旅客联运出行信息服务标准；江海联运、多式联运“一单制”“一箱制”标准等。

推动跨领域深度融合。公路水路交通与能源融合设施技术要求；储能集装箱技术要求；公路沿线电动重卡充（换）电站、加氢站、车网互动相关标准，新能源重卡车站通信及新能源重卡和充换电设施技术、运营服务、安全检测与评估、智能充换电服务网络标准；旅游公路技术指南；沿海、内河游轮服务规范；交通运输相关产业统计分类标准等。

强化交通运输安全化提升。聚焦战略安全保障能力建设、交通运输设施设备本质安全水平提高，风险隐患排查整治和监测预警体系完善，安全生产治理能力、应急救援能力提升，加大标准供给，筑牢行业发展安全底线。完成危险货物道路运输规则、甲醇燃料水上加注作业等强制性国家标准制定。完善交通运输安全应急、公路桥梁安全、危险货物道路运输、航运公司安全管理等标准体系，加强结构韧性增强、设施设备安全、多元御灾防控等方面标准供给，提升综合交通运输体系安全韧性水平。完善交通运输军地标准化统筹机制，推进交通运输军民标准通用化。

专栏 3：强化交通运输安全化提升标准专项行动

提高设施设备本质安全水平。公路桥梁防船撞监测预警系统、防护装置标准；牵引车辆与挂车机械连接装置相关标准；公路水运工程施工现场安全梯笼、临时防护栏杆、个体防护装备

配备规范；海上风电场及周边海域交通功能区划分、海洋和海岸工程防船撞设施设备配备标准；港口机械设备健康监测标准；邮政业安全生产设备配置规范等。

强化监测预警和应急救援能力。综合交通运输体系韧性评估标准；交通运输分级分类运行监测、公路基础设施自然灾害监测预警等标准；船闸水工建筑物健康监测、港口危险货物重大危险源监测等标准；危险货物运输电子运单、追踪和监控设备标准；客船监控管理技术要求、航运公司岸基值班监控管理标准等；公路工程施工安全监测标准；综合客货运枢纽、城市公共汽电车等突发事件应急预案编制标准；交通运输突发事件应急演练、应急值守、信息报送规范；公路水运工程生产安全事故应急演练标准；交通运输应急物资储备、应急设备信息数据规范；公路交通低空应急装备配置要求；特殊环境下潜水、水面水下应急救捞、海上搜救无人系统等作业要求；航空应急救援标准等。

提升安全生产治理能力。交通运输重大事故隐患判定系列标准；公路水运工程安全生产管理体系、安全风险管理、隐患排查治理、施工班组管理、安全资料管理等相关标准；公路工程建设质量管理体系、施工质量安全检查、质量管理体系及危大工程专项施工方案编制指南相关标准；水运工程建设项目安全生产费用清单计量标准；危险货物道路运输规则系列强制性标准；海上滚装船舶载运电动汽车作业、船舶充电安全操作、化学品船在港作业、干散货港口作业等作业安全标准；航运公司航次安全风险评估、高风险作业岸基船舶“双把关”管理标准；邮政业安全生产操作规范、寄递企业安全生产风险管控基本规范等标准。

加快交通运输数智化升级。聚焦“人工智能 + 交通运输”，大力推动智慧交通发展，培育新场景新业态，支撑网络和数据安全，推进人工智能应用、北斗应用、国家综合交通运输信息平台、交通运输高质量数据集标准体系建设。加强自动驾驶、车路协同、智能航运、智慧出行、智慧物流、智能载运工具和作业装备、交通平台经济等重点方向标准研制。提升单证电子化标准化水平，促进交通运输单证认证。推进交通运输数据流通与网络安全标准制定。推动人工智能、大数据、互联网、区块链、卫星互联网等新技术与交通运输行业深度融合，培育发展新质生产力，增强交通运输发展新动能。

专栏 4：加快交通运输数智化升级标准专项行动

引领“人工智能 + 交通运输”。交通运输人工智能平台接口、场景应用、安全指引等标准；交通运输大模型能力评估、建设应用指引，交通运输大数据治理分析技术要求；交通运输行业高质量数据集建设测评系列标准；大通道货车、城市客车、接驳车自动驾驶运行服务相关标准；无人快递车技术标准；内河货运船舶自主编队航行、船舶遥控驾驶和自主航行技术等标准；水面无人巡检测量船标准；船舶智能航行数据采集标准；船舶智能航线规划、进出港智能调度、港口智能管控、航运数据智能获取、智能航行航海保障标准等。港口起重设备自动化、远程操控标准；挖泥船智能感知、作业标准；智能集装箱分类和等级评价要求等。

促进新一代信息技术集成创新。干线公路交通调查智能化标准；路侧毫米波雷达交通状态检测标准；新一代移动通信技术港口、航道应用标准；公路水路设施、客货运枢纽运行状态智能监测标准；车路协同路侧设施、信息交互标准；智慧交通诱导服务、个性化路线规划标准；智慧公路物联网感知数据、运输装备物联网标识技术规范；港口智慧堆场、智能理货标准；内河水上服务区智慧化建设、智慧航标建设、航道尺度预报技术标准等；船舶进出港交通管理等数字化服务标准；北斗定位模块、搜救信息交换、增强服务和短报文信息服务等北斗应用标准；船舶自动识别系统、甚高频数据交换系统（VDES）技术规范；交通运输领域低轨道卫星融合通信标准等。

支撑交通运输数据流通与网络安全。国家综合交通运输信息平台系列标准；公路、水路数字底座技术要求；交通物流数据资源分级分类、共享交换规范；城市公共交通管理与服务数据交换规范；城市货运配送公共信息服务平台技术要

求；数字航海产品数据集格式要求；集装箱、干散货江海联运船舶港口数据交换标准；交通领域气象数据采集及集中处理标准；电子单证系列标准；海运电子商务平台、船港货运信息交换技术要求；基于区块链的进出港业务电子平台、海运区块链架构与数据交互规范；交通运输信息系统商用密码应用、数据安全监测预警、网络威胁情报共享要求；船舶网络安全风险识别、监测与预警标准等。

推动交通运输绿色化转型。聚焦支撑交通碳减排制度建设、推广绿色设施设备、强化生态环境保护和资源节约集约利用，推进绿色低碳标准化专项，完善绿色交通标准体系，系统布局节能降碳、污染防治、生态环境保护修复、资源节约集约利用重点标准研制，加强碳排放监测、核算、评价，产品碳足迹量化，能耗能效监测、评价，绿色航运走廊，零碳运输走廊、枢纽场站、港口，绿色燃料加注、评估认证，清洁能源交通装备等标准供给，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，推进交通基础设施清洁能源开发利用和绿色低碳转型，助力交通运输领域总体实现碳达峰。

专栏 5：推动交通运输绿色化转型标准专项行动

推进交通基础设施绿色低碳转型。公路水路零碳运输走廊系列标准；近零碳综合客运枢纽等基础设施技术要求、零碳交通设施评价标准；美丽航道评价标准；绿色公路、绿色公路服务区、绿色客货运站、绿色内河水上服务区、绿色航道、绿色港口建设运行管理等级评价标准；绿色机场、绿色快递分拨中心标准；交通运输产品碳足迹量化方法、交通运输项目温室气体减排量评估技术等规范；港口碳排放核算方法标准；港口运营企业能源智能化管理信息系统技术规范等。

推动交通运输污染防治。交通噪声分类识别与评估、车船噪声测量和规定；低空飞行器、营运车辆车内噪声测试评价标准；客车车内环境等级评价标准；船舶污染防治相关标准；水运工程环境保护设计规范等。

强化资源节约集约利用。公路工程用固废基胶凝材料、钢渣、煤矸石、废旧复合纤维、废旧塑料改性沥青，煤炭矿石码头废料等循环利用标准；集装箱环保技术和质量评价要求；省水船闸设计规范；快递绿色包装标准等。

推动交通动力低碳替代。新能源、清洁能源动力车辆、船舶等能耗检测与测试要求；新能源汽车故障诊断、维修数据、维修服务要求；电动营运车辆动力蓄电池检测、更换、维修标准；电动船舶岸基充电设施建设技术规范；纯电动船舶标识、电动船舶充电操作规程、电动船舶系泊和航行试验大纲、电动船舶应急响应计划编制要求；可持续船用燃料标准；城市轨道交通运营节能、保温集装箱能效等级及评定等技术要求；内河船舶燃油消耗量限值标准等。

引领未来产业发展。面向具身智能载运装备、氢能源载运装备等未来产业加强标准预研，适度超前布局未来产业相关标准，强化产业创新和标准化协同发展。

（三）稳步扩大标准制度型开放

深化标准化国际交流合作。积极参与国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）和国际电信联盟（ITU）国际标准化活动，推动交通基础设施、运输装备与服务等领域建立国际标准组织技术机构或承担相关管理职务。持续深化与国际海事组织（IMO）、国际航标组织（IALA）、国际海道测量组织（IHO）、国际民航组织（ICAO）、万国邮政联盟（UPU）、世界水运基础设施协会（PIANC）、国际铁路联盟（UIC）等相关行业性国际组织标准化合作。加强与共建“一带一路”国家交通运输标准对接合作，依托区域标准化研究中心等建立交通运输标准国际化研究与合作平台。

推动国内国际标准化协同发展。加快推动铁路、集装箱、港口码头、疏浚装备、国际海运、道路交通安全、国际物流供应链安全、营运车辆、快递服务、危险货物运输等领域国际和区域组织标准研制，制定可持续航空燃料等标准并推

进国际互认，实施航海保障国际标准突破行动计划。持续开展重点领域标准比对分析，采用国际标准制定国家标准更加及时有效，加大先进适用国际标准转化力度，提高我国标准与国际标准的互认衔接和一致性程度。创新国家质量基础设施（NQI）国际合作，推动道路检测装备等产品检验检测与认证结果互认，构建国际航运可持续燃料认证体系。

拓展标准海外应用范围。以工程建设、产品装备、运输服务、绿色智能设施为重点，成体系开展海外应用市场规模较大的产品和服务标准外文版编译与推广，统一标准外文版术语。结合重大海外工程项目，促进我国交通运输建设技术、成套设备产品在共建“一带一路”国家示范应用与标准属地转化，鼓励编制中外标准对比应用手册。支持有关单位通过国际合作研究和援外培训，推动标准海外应用。

专栏 6：标准国际化提升专项行动

积极参与国际标准组织治理。推动道路基础设施管理等国际标准化技术机构创建，支持高水平专家承担国际标准组织技术机构管理职务，提高交通运输领域国际标准专家数量。积极派员参加国际标准组织会议交流，承办集装箱、港口码头等国际标准组织技术机构年会。

成体系推动国际标准提案申报。加强集装箱、智慧港口、交通工程与交通安全、可持续交通、快递服务、航空与航运安全、智能绿色交通装备、北斗应用、甚高频数据交换系统、海道测量服务等优势特色领域国际标准提案征集与申报，加快推动一批国际标准立项和发布。

深化共建“一带一路”标准联通。加快推进交通工程产品、新能源汽车维修、国际道路危险货物运输（ADR）等标准外文版翻译，推动重点行业标准中外文版同步立项、同步制定，加快已修订标准的外文版内容更新。联合上合组织成员国制定“丝路驿站”建设运营标准，推进中国－东盟等便利运输标准化合作。

（四）全面强化标准实施应用

严格标准实施监督。注重在产业政策、政府采购、招投标中引用标准。建立交通运输强制性国家标准实施责任清单，落实强制性国家标准实施情况统计分析报告制度。建立完善标准实施信息反馈和修订联动机制，开展标准实施效果评估，强化标准复审和维护更新。加强交通运输领域国家标准化试点、强制性标准实施情况统计分析点、标准验证点建设，构建标准实施监测网络，动态跟踪评价反馈标准实施信息。推动开展重点标准实施专项培训和技术指导，引导企业在研发、生产、管理等环节对标达标。

优化标准应用服务。按照国家质量基础设施建设总要求，全面打通标准、计量、检验检测、认证认可“四要素”管理链条。推动产品、服务和管理体系标准中纳入标准符合性验证相关技术条款，明确检测方法、检验规则等。强化标准在检测、认证及工程质量监督中的应用，加强计量对检测认证工作的量传溯源支撑。鼓励行业有关认证机构加强行业重要产品、服务、管理体系认证规则研究制定，探索推进交通运输绿色产品认证、产品碳足迹标识认证工作。

提升产品质量监督能力。加快交通运输产品质量监督抽查实施规范体系建设，完善重点监督管理产品目录，扩展抽查产品种类。健全完善部省联动产品质量监督抽查机制，扩大部省联动范围。加强产品质量管理问题通报和案例推广。

加强标准宣贯推广。通过各类媒体和宣传平台，推动重点标准成体系、多媒介、多层次宣贯解读，建设交通运输标准宣贯资源库。搭建行业标准化工作交流平台，促进标准化工作经验和创新做法分享。开展标准实施应用案例征集和宣传推广，加强“以案释标”。加强标准化知识科普，讲好交通标准化故事，提升行业整

体标准化意识。

（五）系统构建现代先进测量体系

完善交通运输计量技术体系。聚焦计量基础研究、新型量值传递溯源技术等关键领域开展技术创新。在交通运输科技创新平台布局中，推进交通运输现代测量与计量、交通运输碳排放核算与计量技术等科技创新平台建设。加强高端计量校准仪器、检验检测设备研发创新，构建适应新质生产力要求的交通运输质量认证体系。加快交通基础设施建设、交通装备、运营管理等重点领域计量技术规范制修订，推进工程结构、材料性能、载运工具等部门计量标准研制，完善自主可控的交通运输专业量值传递与溯源体系。

提升交通运输计量服务能力。围绕交通基础设施精品建造、设施装备安全高效运行，强化基础设施建设材料、施工过程、运营养护全链条计量服务能力，保障监测检测结果准确可靠、可追溯。统筹推进产业计量测试中心布局建设，加快国家级交通计量机构及试验检测场地配套建设。发挥国家级计量机构引领示范作用，带动地方专业计量机构协同发展，建设交通运输计量服务一张网，全面提升交通运输计量技术保障能力和服务质效。积极申请国家计量测试海外应用试点，深化计量国际交流与合作。

健全交通运输计量管理机制。依法完善行业计量管理政策，开展部门计量标准规划和建立研究。强化计量技术规范落地实施，提升计量技术规范的适用性、有效性与实施效益。构建计量科普文化宣传工作体系，全面提升行业计量意识与计量影响力。依托国家综合交通运输信息平台，建立交通运输计量数据监管服务系统，推动计量管理数智化升级。常态化开展部门专用计量器具计量比对工作，保障行业量值准确一致。优化计量技术委员会布局，强化绿色低碳领域计量管理的技术支撑。

专栏 7：交通运输计量能力提升专项行动

强化计量技术创新与应用。推动智慧校准、碳排放计量监测、“人工智能 + 交通计量”等新领域的计量技术研发，促进数字计量、量子计量、原位计量技术在交通运输领域的研究应用。在智慧交通、交通安全、绿色低碳等重点方向，强化计量测试技术研究。开展部门计量比对，推动一批计量技术规范制修订和部门计量标准建设。

健全计量服务体系。聚焦交通装备、基础设施建设、运营管理及运输保障等重点领域，持续推动交通运输计量服务一张网建设。强化农村公路特定场景下自动化检测设备的计量测试服务，推进便捷化计量服务向基层延伸。

加强计量能力平台建设。统筹推进交通运输产业计量测试中心布局建设，推动建立国家碳计量中心（交通运输）、交通运输（西南区域）水运计量试验场。支持计量技术机构与重大工程建设运营方战略合作。

完善行业计量工作体系。制定《交通运输计量管理办法》，实施交通运输计量能力提升行动。系统开展计量技术规范实施效果评估。持续开展计量战略政策宣贯和计量技术规范解读，打造行业计量科普教育基地。建立计量数据监管服务平台和数据管理体系。建立全国碳达峰碳中和计量技术委员会交通运输分技术委员会。

（六）着力夯实标准化工作基础

提升标准数智化水平。推动国家标准智能研制系统全面试点应用。依托国家综合交通运输信息平台建设，升级完善交通运输标准化信息系统，建设交通运输数字标准馆，提高交通运输标准多维度检索与在线服务能力。建设交通运输标准高质量数据集，推动实现交通运输标准机器可读、机器可用。充分利用人工智能大模型技术，研发应用标准智能体，实现标准在线研制和智能辅助编审。

增强标准化技术机构支撑能力。强化标准化

技术机构内部管理，完善标委会考核指标。研究建立委员履职考核、动态监督与退出机制，提升委员履职能力。强化关联领域标委会交流合作，探索设立跨专业标准化总体组。支持地方交通运输标准化管理委员会、技术委员会等机构建设。强化交通标准审查组等支撑机构能力建设。

强化标准化人才队伍建设。分类开展标准化和计量专业培训，提升标准计量从业人员技能水平。鼓励交通运输领域高等院校开展专业与标准化教育融合工作。建立交通运输标准化专家名录并规范使用管理。开展标准化专业知识技能竞赛，加强标委会工作人员能力建设。推进国际标准化人才队伍建设，进一步完善国际标准化人才培养和激励机制，提高行业领域国际标准注册专家数量。支持鼓励标准化人才参与国家及行业科技人才评选，推动在交通运输领域重要科技奖励中设立标准创新奖。培育一批计量人才，完善计量人才培养机制。

三、保障措施

坚持和加强党的全面领导，认真贯彻落实党中央、国务院关于交通运输和标准化工作的决策部署。充分发挥交通运输部标准化管理委员会的统筹作用，协调推动铁路、公路、水路、民航、邮政领域标准化工作，及时研究解决综合交通运输标准化重大问题。推动各级各部门深度协作，强化规划实施，以专项行动推动规划重点任务落实，加强实施监测分析，做好规划评估。支持地方行业主管部门结合本地区实际情况，系统推进标准化工作，形成工作合力。鼓励社会各方加大标准研究制定、标准国际化、标准实施监督、标准化人才培养、标准数智化等方面投入，形成政府引导、多方参与、协同推进的支撑保障格局。

《综合交通运输标准化发展“十五五”规划》政策解读

为贯彻落实党的二十大和二十届历次全会精神，根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》《国家标准化发展纲要》《计量发展规划（2021－2035 年）》及现代综合交通运输体系发展“十五五”规划等总体部署，交通运输部会同市场监管总局、国家铁路局、中国民航局和国家邮政局联合印发《综合交通运输标准化发展“十五五”规划》（以下简称《规划》）。现将情况说明如下：

一、起草过程

按照交通运输部“十五五”规划编制工作安排，部科技司启动《规划》研究编制工作，组建了由部科学研究院牵头，中国铁道科学研究院集团、国家铁路局规划与标准研究院、中国铁路经济规划研究院有限公司、中国民航科学技术研究院和国家邮政局发展研究中心等参加的规划编写组，充分评估“十四五”规划实施情况，全面分析研判“十五五”发展面临的形势需求，开展专题研究、现场座谈调研和专家研讨论证工作，并征求了市场监管总局（国家标准委）、国家局、部内各司局、各省级交通运输主管部门等方面意见后形成送审稿。2026 年 6 月，《规划》经部务会和党组会审定后由五部门联合印发实施。

二、规划的总体要求

瞄准加快建设交通强国战略目标，紧扣推动交通运输高质量发展主题，聚焦“一网四化”主攻方向，坚持统筹协调、目标导向、问题导向、急用先行，以改革创新为动力，以标准化“快优强”为主线，为完善现代化综合交通运输体系提供坚强有力的标准化支撑。

明确了到 2030 年，基本建立满足交通运输高质量发展要求的标准体系，从高质量标准供给效能不断提升、标准制度型开放稳步扩大、标准实施应用更加有力、标准化基础能力显著增强等 4 个方面提出了 15 个具体量化指标。

展望 2035 年，结构优化、先进合理、系统完备、国际兼容的交通运输标准体系更加健全，支撑基本建成交通强国。

三、规划的重点任务

部署了 6 个方面 23 项重点任务，并对照重点任务，聚焦“一网四化”以及标准国际化、计量发展等设置了 7 个专栏，系统推进《规划》任务实施。

一是加快推进标准化改革创新，提出落实国家标准化改革重点任务、健全完善交通运输标准管理机制、强化标准进度与质量监督、深化科技创新与标准化协同发展等 4 项任务。

二是大力加强关键核心标准供给，提出支撑现代化高质量综合立体交通网建设、促进交通运输一体化融合、强化交通运输安全化提升、加快交通运输数智化升级、推动交通运输绿色化转型、引领未来产业发展等 6 项任务。

三是稳步扩大标准制度型开放，提出深化标准化国际交流合作、推动国内国际标准化协同发展、拓展标准海外应用范围等 3 项任务。

四是全面强化标准实施应用，提出严格标准实施监督、优化标准应用服务、提升产品质量监督能力、加强标准宣贯推广等 4 项任务。

五是系统构建现代先进测量体系，提出完善交通运输计量技术体系、提升计量服务能力、健全计量管理机制等 3 项任务。

六是着力夯实标准化工作基础，提出了提升标准数智化水平、增强标准技术机构支撑能力、强化标准化人才队伍建设等 3 项任务。

最后，从加强组织协调、强化规划实施、加强支撑保障等方面提出了保障措施。

广东省首例高速公路弃渣场失事影响分析报告通过技术评审

近日，由公司编制的《梅州平远至福建武平高速公路（广东段）弃渣场失事影响专题分析报告》评审会在我司召开，报告获得与会专家一致认可，同意通过评审。该报告系水利部办公厅关于印发生产建设项目水土保持方案编制模板的通知（办水保函〔2026〕232 号）发布后广东省首例高速公路弃渣场失事影响专题分析报告。





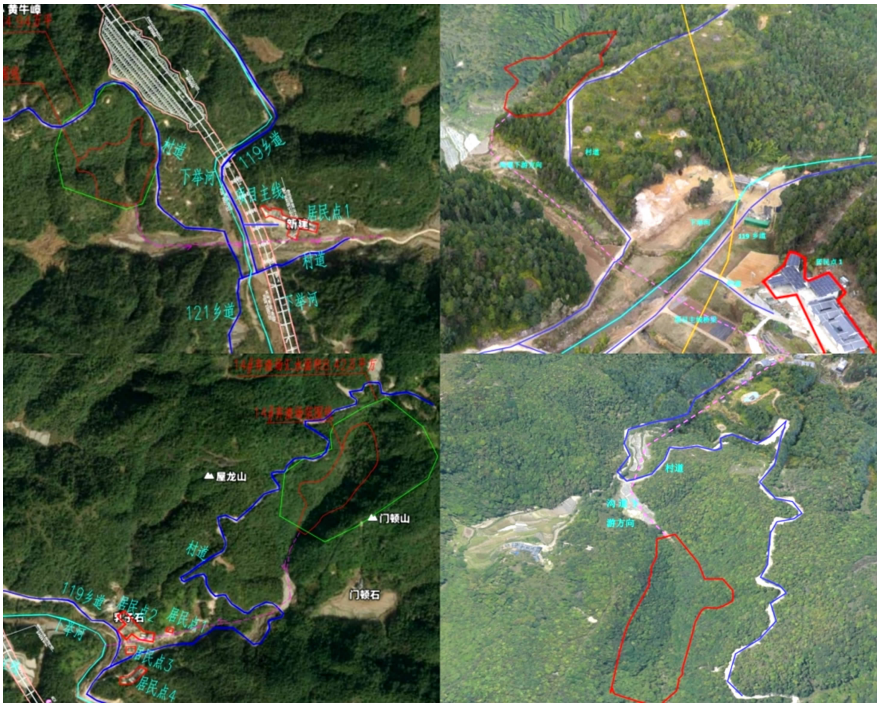
评审会现场

根据 232 号文要求，弃渣场（含临时堆土场）周边及下游有居民、村庄、城镇、基础设施、河流、水库大坝、水利工程、灌（排）干渠（沟）等敏感因素的，以及弃渣场（含临时堆土场）设置在沟谷、山区、丘陵区的，应提交弃渣场（含临时堆土场）失事影响专题分析报告，模拟不同重现期洪水冲刷、自然地理条件相似地区的历史最大极端降雨洪水冲刷、弃渣场整体失事及多重不利因素叠加等情形，分别说明不同模拟条件及对应的滑出渣量、滑移距离、滑移速度、堆积范围、堆积深度，并绘制沟道及失事影响范围纵剖面图。应充分考虑极端暴雨洪水、地质灾害等不利因素，深入论证弃渣场（含临时堆土场）设置对周边及下游人民群众生命财产、基础设施、河流沟谷行洪安全的影响。报告技术要求高、论证难度大。

公司生态环保院接受项目委托后迅速组建攻关团队，研究行业最新规范要求，深入剖析项目特点。团队通过多次深入现场踏勘，精准获取渣场布置与周边敏感点数据，并设定了超标准洪水场景、弃渣场整体滑出场景等多重灾害场景进行对比分析。为突破传统经验公式在动态过程模拟上的局限，团队创新采用 Massflow、Geo Studio 与 ArcGIS 多软件耦合的数值模拟技术，逐个对预设灾害场景开展参数校正与模拟计算，系统完成多情景下的灾害演化对比分析，辅助验证经验公式计算成果。

此项工作的核心突破在于实现了多情景动力模拟，对滑坡、泥石流的运动路径与影响范围进行了动态可视化预测，生成了不同情景下的影响范围模拟图等可视化成果，清晰呈现了不同工况下渣场失事的影响边界与风险等级；并完成了极端工况耦合分析，评估“极端降雨入渗 + 渣体饱和 + 局部地质薄弱”等多种不利因素叠加的复合型灾难效应。团队基于模拟成果高质量完成专题报告编制，模拟结果有效辅助并验证了传统计算结论，显著提升了风险量化评估的精度与可靠性，并提出了针对性的

分级分类管控措施与应急预案，为项目弃渣场的施工与运营期安全管理提供了关键技术支撑和决策依据。



废渣场卫星影像及现场调查照片



行业专家培训现场

作为广东省首例高速公路弃渣场失事影响专题分析报告，本报告评审的顺利通过为水土保持方案编制新规落地提供了重要范本，填补了省内该领域技术空白，对沟谷、山区、丘陵区弃渣场选址和失事分析评价具有示范意义。

（供稿：生态环保院）

公司主编的两项广东省地方标准《涉路工程安全技术规范》和《公路大件运输安全技术规范》正式发布并完成宣贯培训

近日，由公司养护设计院牵头主编、联合广东省交通集团、广东和立交通养护科技有限公司等多家单位共同编制的两项广东省地方标准《涉路工程安全技术规范》（DB44/T2849－2026）、《公路大件运输安全技术规范》（DB44/T2866－2026）正式发布，并完成专项宣贯培训工作。两项标准的出台，填补了广东省涉路工程、大件运输领域地方标准空白，为构建适配广东路网特征、具备本土特色的公路安全标准体系筑牢关键支撑。

针对广东省公路路网“高密度、高负荷”的突出特点，两项标准分别搭建全链条安全技术框架：《涉路工程安全技术规范》系统明确了涉路工程从设计、施工到监测的全过程技术要求；《公路大件运输安全技术规范》明确了大件运输安全、通行、保障的全流程安全技术细节。两项标准同步为全省公路路政行政许可提供权威、完备的技术支撑，从源头提升交通基础设施运行安全底线。

为推动标准落地见效，广东省交通运输厅、广东省交通运输标准化技术委员会公路运养分技术委员会统筹组织双线宣贯培训，采取线下集中授课＋线上全域直播模式，覆盖全省各级交通管理与从业单位，实现宣贯无死角、培训全覆盖。

4 月 14 日，省交通运输厅于广州从化举办全省公路路政管理业务专题培训班，将两项地方标准列为核心授课内容。全省 21 个地级以上市交通运输局、公路事务中心（相关机构）以及省公路事务中心的分管领导、业务负责人及一线业务骨干共约 150 人参训，线下集中开展条文解读、实操要点讲解。



线下全省路政培训现场

7 月 24 日，省交通运输标准化技术委员会公路运养分技术委员会组织线上视频专项宣贯培训会，全省同步开设 500 余个线上参会节点。参会范围覆盖全省各级交通运输主管部门、公路管理机构、省属交通投资集团、高速公路运营管理单位，以及公路设计、工程施工、安全评价等全链条从业单位。作为标准主编单位，我司编制团队围绕两项规范的编制背景、整体架构、核心技术条文开展系统性解读；培训末尾设置专属答疑环节，编制组针对各参会单位提出的实操难点、条文疑问逐一细致解答，精准扫清标准落地执行堵点。



线上主会场现场

系列宣贯培训的开展，有效帮助全省交通行业各单位全面、深入掌握两项地方标准核心内容与实操要求，为标准全面实施夯实执行基础。下一步，我司将持续发挥标准主编单位技术优势，以标准化建设赋能公路运营安全精细化管理，全面助力广东交通运输行业高质量发展，为“十五五”时期全省公路路政管理现代化建设、路网安全治理能力提升提供坚实技术支撑。

（供稿：养护设计院）

公司技术团队受邀为惠阳区现代化综合交通体系培训班授课

为助力惠阳区现代化综合交通体系建设，提升区域交通规划建设与治理专业化水平，7 月 31 日，公司综合规划研究院院长、交通大数据研究中心主任阮文，综合规划研究院副院长周波、曾栋鸿，研发技术人员涂志敏，受邀参加惠州市惠阳区“贯彻新发展理念 打造现代化综合交通体系”培训班并作专题授课，以专业技术赋能地方交通高质量发展。

本次培训班为惠阳区委组织部年度培训项目，由惠阳区交通运输局主办、惠阳区委党校承办，参训人员为区直相关部门、各镇街分管领导及业务骨干。培训期间，公司技术团队立足粤港澳大湾区发展大局，结合行业发展趋势与惠阳交通发展实际，围绕“十五五”综合交通规划、公路高质量发展、城市交通精细化治理、交通绿色低碳转型等议题，先后开展四场专题报告，并与参训人员进行互动交流，分享实操经验。



惠阳区领导主持开班仪式





公司技术团队为参训人员授课

下一步，公司将紧跟惠州市“打造大湾区东部枢纽门户、构建京九陆海新通道”战略部署，持续深耕惠州交通规划建设，强化专业技术赋能，为惠州交通高质量发展、融深融湾建设贡献力量。

（供稿：综合规划研究院）

我司亮相粤港澳大湾区“人工智能 + 交通运输”创新发展大会暨第十届华南智能交通大会并荣获多项奖励

近日，粤港澳大湾区“人工智能 + 交通运输”创新发展大会暨第十届华南智能交通大会在广州开幕。大会由广东省交通运输厅指导，广东省智能交通协会、赛文交通网联合主办，会议现场举行了 2026 年广东省交通职工“五小创新”竞赛、第二届广东省“AI + 交通运输”创新应用大赛颁奖仪式。其中，由我司工会推荐的项目《初步设计阶段桥梁信息提取及集成关键技术研究》荣获二等奖；我司参与的项目《广州机场高速改扩建 BIM 钢筋智能加工技术》荣获三等奖。


荣誉证书

CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT

2026年广东省交通职工“五小创新”竞赛

二等奖

获奖项目：初步设计阶段桥梁信息提取及集成关键技术研究

获奖单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司工会委员会

团队成员：林　敏、邹赵勇、李志江、钟东升、韦荣彬、梁宇云、曾　聪、魏文龙、陈焕珍

证书编号：2026-W-2-006

广东省智能交通协会

广东省交通工会委员会

2026年9月10日


荣誉证书

CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT

2026年广东省交通职工“五小创新”竞赛

三等奖

获奖项目：广州机场高速改扩建BIM钢筋智能加工技术

获奖单位：广州市高速公路有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、中铁隧道局集团有限公司

团队成员：田江磊、李　博、李昌荣、刘信宏、廖伟富、吴禄祥、蔡明宝、贺　阆、欧力强、努尔麦麦提·托合提麦麦提

证书编号：2026-W-3-005

广东省智能交通协会

广东省交通工会委员会

2026年9月10日

大会期间，由我司承办的“手机 +”无卡便捷通行技术交流分论坛圆满举行。论坛由公司智慧交通创新与应用研究中心副主任童杰主持，他同时作为嘉宾发表了题为《从智慧收费站到“手机 +”无卡便捷通行——高速公路收费站的数字化转型路径》的专题演讲，并分享了我司在智慧收费站建设、交通基础设施数字化转型以及“手机 +”无卡便捷通行等领域的设计方法与实践经验。值得一提的是，由我司担

任主要技术支撑单位参与编制的《广东省高速公路“手机 +”无卡便捷通行总体设计方案》已于近期正式面向全省发布。该方案将作为纲领性文件，全面指导未来三年广东省高速公路“手机 +”无卡便捷通行的升级改造工作。



同期，“手机 +”无卡便捷通行闭门交流会在广东交通设计大厦举行，会议由公司交通安全与智慧交通设计院副院长关小杰主持。与会人员围绕交通运输部《高速公路“手机 +”无卡便捷通行实施方案（2026 – 2028 年）》及落地难点深入交流，内容覆盖用户覆盖率、车牌识别率、车牌识别方案、手机 + 特情等方面，通过交流进一步凝聚行业共识，为后续推进应用落地奠定基础。

此外，在大会“人工智能 + 交通运输”要素供给与行业应用交流环节，公司交通安全与智慧交通设计院交通安全所所长谢陈峰作《从“逢假必堵”到“智慧潮汐”：广东高速创新治堵的实践与启示》主题汇报，立足广东节假日拥堵治理痛点，介绍“智慧潮汐”等创新模式及人工智能与交通治理融合成效，为高速公路智能化治堵提供可复制、可推广的“广东经验”。



本次大会期间，我司不仅荣获多项荣誉，还通过承办专题交流会、支撑省级专项方案编制发布、分享智慧交通创新成果等多项举措，充分展示了我司在智慧交通建设、智慧收费创新、智能交通治理及智能建造、桥梁数字化设计等领域的技术积淀与综合服务能力，有效提升了公司行业知名度与专业影响力。

（供稿：公司工会、交通安全与智慧交通设计院、智慧交通创新与应用研究中心）

河南鹤壁某高速公路煤矿采空区综合勘察方法及稳定性评价应用研究

何伟兵

（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：河南鹤壁某高速公路项目地质情况极复杂，煤矿采空区为本项目最复杂的不良地质，控制着本项目的设计方案、工程规模及造价。经调查研究，路线跨越煤矿采空区总长 4 513m，具有隐蔽、复杂、年代久远、多样、多层、多次开采的特点。该项目详勘在充分利用初勘成果的基础上，研究采用了综合勘察方法：首先，采用煤矿区资料收集、遥感解译、地表网格式调查、村民及矿企的访问取证等方法进行收集与调查；随后，对各采空区进行了物探、钻探验证（老窑井口架空钻探、孔内测试和取样试验）、稳定性评价等实物勘察，实物勘察重点为老采空区和小窑采空区。勘察成果经多次采空区专项评审，认为勘察成果丰富、资料齐全、结论可靠，采空区稳定性评价结论基本正确，处治建议基本可行。施工阶段采空区处治施工时，注浆孔揭示的采空区深度、范围与勘察结论基本吻合，获得施工单位、业主单位人员的一致好评。本文提出的采空区勘察总体思路"以专项调查和资料收集为主，辅以物探普查、钻探验证、孔内测试"，可以为类似项目勘察工作的开展起到借鉴作用，具有重要的实际工程意义。

关键词：煤矿采空区；综合勘察；资料收集；地表网格式调查；稳定性评价

0　引　言

拟建项目位于河南省北部，是连接河南中北部各市的高速通道，路线全长约 54.470km，其中安阳市境长约 10.23km，鹤壁市境长约 44.24km，见图 1。项目采用高速公路双向四车道，设计速度 100km/h，整体式路基宽 26m。



图 1　项目地理位置图

依据矿区边界、停采时间和开采方式将采空区分为 6 个断续的段落，见图 2、表 1。采空区总长 4 513m，其中长壁式采空区场地内的长度为 3 275m，房柱式采空区场地内的长度为 930m，巷道式采空区场地内的长度为 308m。本项目煤矿采空区具有如下特点：

（1）采空区分布里程长，规模大，较连续，影响路基与桥梁；

（2）开采时间较长，从上世纪 60 年代至本世纪初；开采方式多样，巷道式、房柱式、壁式均有；

（3）采空区埋深差别大，一般 28 ~ 400m，煤层倾角 12° ~ 30°，开拓方式多样，立井和斜井均有；

（4）煤层厚度不等，“一 2”煤层采厚 0.6 ~ 1.8m，“一 1”煤层采厚 1.5 ~ 2.8m，“二 1”煤层采厚 3.5 ~ 5.7m。

在国内，采空区勘察技术近年来取得了显著的进展。采空区勘察技术逐渐趋于多样化和高精度化[1-4]。目前，国内在采空区勘察中主要采用了多种地球物理勘探方法[5-7]，包括高密度电阻率法[8-11]、瞬变电磁法[12-16]、探地雷达等，这些方法在探测采空区的分布、规模、埋深及充水情况等方面发挥了重要作用。同时，结合钻探、工程物探、变形观测等多种技术手段，形成了综合勘察体系，有效提高了勘察结果的准确性和可靠性。在技术应用方面，国内科研机构和企业不断开展技术创新和研发工作，推动了采空区勘察技术的不断进步。

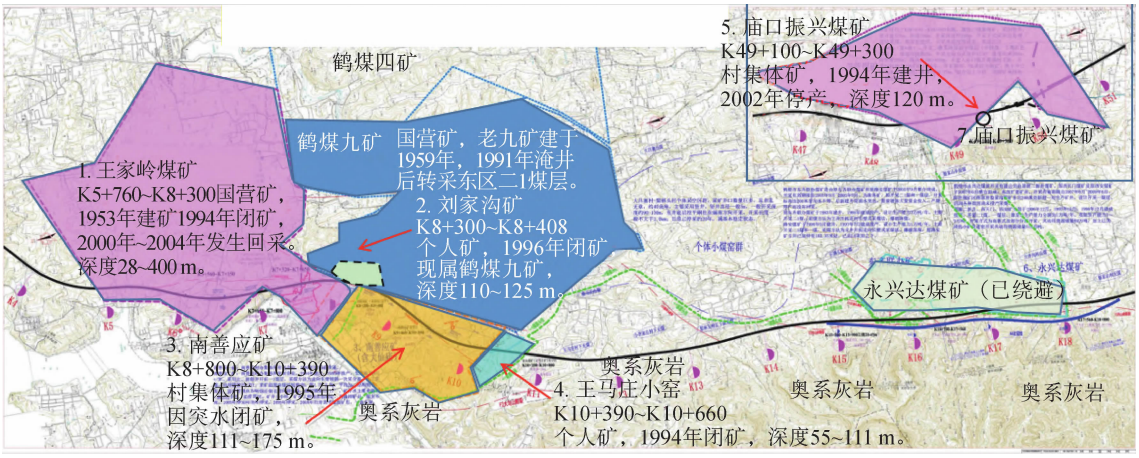


图 2　采空区分布平面图

表 1　采空区赋存概况简表

序号	起止里程	长度/m	所属矿区	开采煤层	开采方式	停采时间/年	采空区深度/m	开采厚度/m
1	K5 +760 ~ K7 +165、K7 +320 ~ K7 +600	1 685	王家岭煤矿（东方山井、四号井）	二 1 煤	长壁式	1994	80 ~ 380	3. 54 ~ 5. 75
	K7 +640 ~ K8 +300	660	王家岭煤矿（超越集团回采范围,1#、2#老井）	二 1 煤	房柱式	2004	28 ~ 125	3. 54 ~ 5. 75
2	K8 +300 ~ K8 +408	108	申友平刘家沟煤矿	一 1 煤	巷道式	1996	110 ~ 125	1. 2 ~ 2. 5
3	K8 +800 ~ K10 +390	1590	南善应矿煤矿	一 1 煤、一 2 煤	长壁式	1994	111 ~ 175	3. 0
4	K10 +390 ~ K10 +660	270	王马庄煤矿	一 1 煤、一 2 煤	房柱式	1994	55 ~ 111	3. 0
5	K49 +100 ~ K49 +300	200	淇县庙口振兴煤矿	二 1 煤	巷道式	2002	120	3. 28
	合计	4 513						

采空区场地稳定性评价是公路工程建设领域的重要研究内容。随着数值模拟与计算分析方法的广泛应用[17-20]，使得采空区稳定性的评价更加科学和精确。通过在采空区布置监测点，实时监测其变形、应力等参数[21-25]，可以直观地反映采空区的实际状态，为稳定性评价提供重要依据。

1　工作程序及工作内容

本采空区勘察总体思路是以专项调查和资料收集为主，辅以物探普查、钻探验证、孔内测试及取样，勘察重点为老采空区和小窑采空区，当其无法收集到有效资料时，应以现场调查、物探和钻探为主。

具体实施：首先，在充分利用初勘成果的基础上，采用了煤矿区资料收集、遥感解译、地表网格式调查、村民及矿企的访问取证，收集勘察区内的各煤矿区开采范围、深度、厚度、时间和开采技术条件，收集各矿区的采掘工程平面图、井上井下对照图、煤矿储量核查报告、生产勘探报告等。通过对包括勘察区及毗邻地段进行了大范围的调查走访工作，以获得地面建筑物的破坏形式、程度、发生时间，塌陷区的分布大小、发生时间，矿产的开采年限、开采方式、顶底板管理方法等信息。随后，对各采空区进行了物探、钻探验证（老窑井口架空钻探、孔内测试和取样试验）、稳定性评价等实物勘察。

1.1　矿区资料收集

通过河南省地质博物馆、地方各级自然资源局、矿管局、煤管局、相关矿企及沿线村委等尽可能收集采掘工程平面图、井上井下对照图、采区平面布置图、矿藏开采规划图以及相关的文字资料，收集地质勘察报告及图件，收集矿山地质报告等资料成果见图 3 和表 2。



图 3　收集到的采空区图件

表 2　收集资料一览表

序号	资料名称	编写单位	年代	资料来源
1	河南省安阳矿务局王家岭井田生产地质报告书	河南省安阳矿务局	1965	省地质博物馆
2	河南省安阳市超越实业有限公司王家岭煤矿资源储量核查报告	河南省煤田地质局三队	2005	省地质博物馆
3	河南省安阳矿务局王家岭煤矿二 1 煤层资源储量核查报告	河南省有色金属地质矿产局第一地质大队	2005	省地质博物馆
4	河南省安鹤煤田王家岭煤矿深部勘探报告	河南省煤田地质局三队	2005	省地质博物馆
5	河南省安阳县王家岭煤核查区资源储量核查报告	河南省煤田地质局三队	2010	省地质博物馆
6	褐煤九矿勘地质探报告、采掘工程平面图、井上下对照图及综合柱状图等全套	河南能源化工集团有限公司鹤煤九矿	2021	省地质博物馆
7	王家岭矿区（新井）采区布置、井上下对照图、井田开拓全套及初步设计修改报告	宝鼎联兴矿业有限公司	2015	省地质博物馆
8	九矿煤核查区资源储量核查报告	河南省煤田地质局三队	2010	省地质博物馆
9	鹤壁九矿 2020 年动态检测报告	鹤壁煤电股份有限公司第九煤矿	2020	鹤壁九矿
10	鹤煤九矿 2019 年生产勘探报告	河南省煤炭地质勘察研究总院	2019	鹤壁九矿
11	永兴达煤炭资源储量核查报告	鹤壁市永兴达煤炭开采有限公司	2006	鹤壁市自然资源局
12	王家岭矿区（老井）采掘工程平面图、井上井下对照图	宝鼎联兴矿业有限公司	2004	个人
13	南善应矿采掘工程平面图 1985	南善应煤矿	1985	殷都区煤炭中心
14	南善应矿井上井下图 1986、南善应矿井上井下图 1999	南善应煤矿	1986、1999	殷都区煤炭中心
15	南善应矿一 2 煤层底板等高线 1985	南善应煤矿	1985	殷都区煤炭中心
16	安阳永中煤业采掘工程平面图	永中煤业	2010	鑫龙集团

1.2　遥感解译及地表网格式调查

利用低空航拍高清影像图，重点针对本项目煤矿采空区范围（K4 + 875 ~ K11 + 000、K48 + 740 ~ K49 + 347）进行了遥感地质解译，解译采用以目视解译为主，通过直判、对比和推理的方法，与收集资料进行比对，对区内地质体、地质构造及不良地质现象的影像特征进行归纳、总结，尤其是煤矿区路段的井口、地表变形特征（地陷、地裂缝、房屋建筑等）的分布位置及特征，见图 4。

随后，编制相关调查表格，并拟定野外调查日程及工作内容，利用遥感解译影像图、1 ∶ 1 万及 1 ∶ 2000 地形平面图，沿着路线纵向方向，左 50m、轴线及右 50m 分别 3 条纵线同步向前徒步行走，寻找目前现有的采空区井口、裂缝及塌陷痕迹，获得现场第一手资料，为采空区分布、稳定性及可疑点提供依据，见图 5。



图 4　遥感解译及实地验证



图 5　地表网格式调查

以遥感解译为基础，通过地表网格式调查，本次共发现井口 52 处，发现地裂缝 28 条，发现地表塌陷 2 处。

1.3　村民及矿企的访问取证

针对地表针对地表历史变形及井口的调查，我司成立了专项调查访问组（即访问式调查），调查访问熟悉情况的当地老人做向导，尽量找到该矿的个人矿矿主及煤师等，对采矿点进行了具体细致的访问工作，对各种信息资料进行了研究和比对。以便能够将不同资料进行相互佐证，确实资料的可靠性，见图 6。



图 6　村民及矿企的访问取证

累计访问老矿长约 9 人，矿主 5 人，采煤师 35 人，煤矿管理部门（含离退休工人）约 30 人，访问村委 12 个，村民 300 人，收集到矿区相关的图件不少于 55 张。

1.4　物探

详勘工程物探的布置通常是有针对性的，目的是通过对路线经过区进行采空区异常普查。孔内物探宜采用声波测井、孔内电视等方法；地面物探对于复杂地质条件下的异常地带，应结合钻探等成果进行二次解译。对初勘后新发现与项目有交叉的矿区，进行补充物探、钻探工作。此外，对现有未回填矿井做井筒内的摄像，确定井口深度及巷道方位等信息。

（1）地面物探的方法选择：结合前期掌握的情况，勘查区地表高压电线、变电站、移动信号塔等密集分布，地表电磁干扰大，需要采用接地的勘探方法，并保证勘探深度。因此，采用大功率激电测深（100 ~ 400m）和高密度电法（100m 内）相结合。先选择大功率激电测深法进行大面积扫面，对各采空区进行全覆盖，随后再采用高密度电法在局部异常区加密探测，每个矿区物探线不应少于 3 条，路线中线应有 1 条；物探解译深度达到采空区底板以下 10m ~ 30m。

（2）地球物理特征：煤矿采空区因开采后形成的采空区三带（冒落带、裂隙带和弯曲带），其裂隙往往富含水，其电阻率、充电率与周围岩体均存在不同，满足地球物理勘探的前提。根据物探反演结果结合地质资料，推测各地层岩性的电阻率对应关系如下：覆盖层及风化破碎层电阻率为 <50Ω · m；灰质砾岩、泥岩、砂岩电阻率为 50 ~ 400Ω · m；采空区影响范围区域电阻率为 <50Ω · m。

（3）大功率激电测深：工作参数采用单极 - 偶极装置（P - D），间隔系数 n = 0.25，1.25 …… 19.25，22.25 和 n = 0.75，1.75 …… 22.75，见图 7、图 8。测深点距为 20m；接收机同时采取多道（多个 MN 极）单边滚动测量方式，偶极距 MN = 40m；无穷远极垂直于测线布设，距最近测线大于 2.5km；供电周期 8s；观测参数为视电阻率 ρs（Ω · m）。

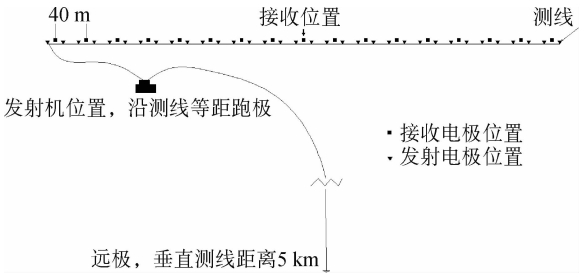


图 7　大功率激电测深电极与测线平面示意图



图 8　大功率激电测深现场图

1.5　钻探验证

在初勘验证及详勘补充物探的基础上，对物探解译低阻异常进行钻探验证，钻孔数量应满足场地稳定性评价及重要结构物采动风险控制需求（原则上每座桥梁布置不少于 2 个验证钻孔，且每个矿区结合物探异常布置不少于 1 个验证钻孔，路基段 300 ~ 500m 不少于 1 个钻孔）。钻探深度应达到采空区底板以下不小于 3m。钻探宜一孔多用，一并完成采空区地层及孔内水文测试（压水试验）、原位测试与取样、孔内物探（孔内声波测井及孔内电视）等多项工作，同时钻孔孔口保留作为注浆试验孔。

此外，实施老窑井口架空钻，准确查明老窑井的井深，为明确无资料的老井的开采深度提供了客观证据，见图 9。



图 9　大功率激电测深现场图

1.6　孔内测试及取样试验

（1）孔内测试：采空区验证钻孔完成后，及时对钻孔进行清洗，并进行声波测井及孔内电视试验，以更准确的判断出采空区三带范围及断裂构造等异常，见图 10、图 11。

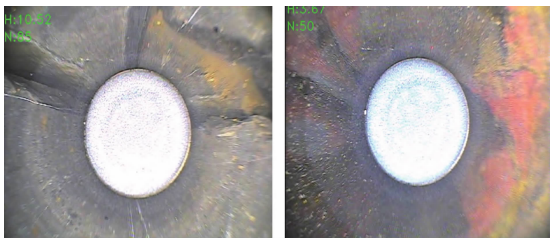


图 10　孔内电视



图 11　孔斜测量

（2）岩土试验：对标志层样品试验及采空区顶板岩石，试验项目除常规物理性质外，岩石加做饱和单轴抗压强度、抗剪强度、弹性模量、泊松比试验等。

（3）压水试验：主要是为了探查天然岩土层的裂隙性和渗透性，计算透水率及渗透系数等水文地质参数，查明其裂隙发育程度，为评价岩体的渗透特性和设计渗控措施提供基本资料。

2　勘察成果

由于勘察成果较多，本文以王家岭矿及南善应矿的勘察成果为代表进行介绍。

2.1　王家岭煤矿采空区

王家岭煤矿区里程范围为 K4 + 875 ~ K7 + 613，详勘物探工作完成大功率电测深测线 8 条，长度 10 640m；利用初勘大功率电测深测线 2 条、测线长度 4 910m，利用初勘高密度电法测线 2 条、测线长度 2 312m。本次勘察完成验证孔 6 个，孔号分别为 XCKYZK2（347.36m）、XCKYZK3（279.6m）、XCKYZK4（106.5m）、XCKYZK5（92.1m）、XCKYZK6（151.2m）、XCKYZK11（135m）；利用初勘采空区验证钻孔 1 个，孔号为 CKQZK3（320.6m）。并在钻孔内进行了声波测井、孔内电视、压水试验及孔斜测量，见图 12 ~ 图 14。



图 12　王家岭煤矿区与路线位置关系图

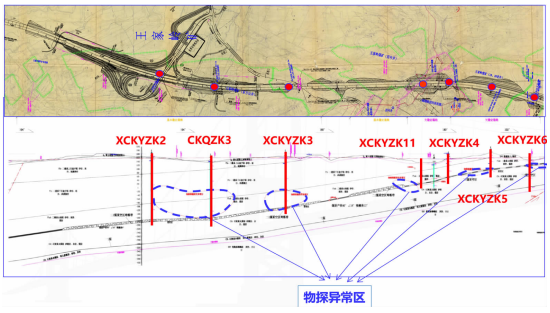


图 13　物探异常及钻探验证

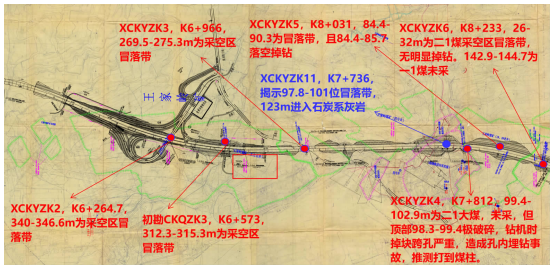


图 14　验证钻孔位置分布及成果图

（1）王家岭采空区资料收集较为齐全，除了省自然博物馆的相关核查报告，还在矿企收集到王家岭矿区（新井）采区布置、井上下对照图、井田开拓全套及初步设计修改报告，王家岭矿区（老井）采掘工程平面图和井上井下对照图。

（2）根据物探解析成果，物探异常段落分布的位置、深度与收集的采空区资料基本一致，物探成果与收集资料对应较好，多个物探剖面中电阻率出现低阻圈闭异常，其导电性强，说明采空区及上覆地层未完全压密，尚有变形空间，推断为煤矿采空区影响范围。

（3）根据采空区验证孔揭示的地层情况，K5 +760 ~ K7 + 165、K7 + 320 ~ K7 + 600 段王家岭煤矿（东方山井、四号井）长壁式开采形成的采空区场地，共布设三个采空区验证孔（XCKYZK2、CKQZK3、XCKYZK3）。三个采空区验证孔均揭示了采空区的裂隙带和冒落带，采空区上覆地层的三带特征明显。三个验证孔揭示的冒落带地层岩芯少、岩体松散、钻进快、漏水严重、无明显掉钻现象，证明采空区已完全塌落，但采空区上覆岩层未完全压密，仍有一定的采动裂隙存在。

（4）K7 + 640 ~ K8 + 300 段王家岭煤矿房柱式开采形成的采空区场地，共布设四个采空区验证孔（XCKYZK11、XCKYZK4、XCKYZK5、XCKYZK6）。三个采空区验证孔其中两个揭示了采空区冒落带，一个钻孔掉钻 1. 3m，另一个无明显掉钻现象；一个钻孔打到煤柱，但煤层上部地层受采动影响。三个验证孔情况证明采空区未完全塌落，仍有一定空洞存在。

（5）剩余孔隙率：利用本矿区采空区验证钻孔空洞和裂隙的统计资料，结合矿区收集资料中的闭矿时间，综合确定 K5 + 760 ~ K7 + 165、K7 + 320 ~ ~ K7 + 600 剩余空隙率为 5%，K7 + 640 ~ K7 + 820、K7 + 820 ~ K8 + 300 剩余空隙率为 30%。

（6）回采率：根据矿区收集资料中的开采方式及钻孔遇采空区异常的比率，结合对当地老乡、煤师的访问调查，综合确定 K5 + 760 ~ K7 + 165、K7 + 320 ~ ~ K7 + 600 回采率为 75%，K7 + 640 ~ K7 + 820、K7 + 820 ~ K8 + 300 回采率为 50%。

（7）基岩移动角：根据钻孔资料，本矿区采空区顶板岩石为砂泥岩，属软弱覆岩；结合回采率及采空区开采时间；同时，结合地表调查的地表采动变形位置与采掘图上的开采面边界的距离深度比来进行推算，综合确定本矿区基岩移动角为 73°。

王家岭矿采空区分布及特征见表 3。

表 3　王家岭矿采空区分布及特征一览表

序号	起止里程	段长/m	所属矿区	类型	煤层（采空区）厚度/m	煤层（采空区）埋深/m	深厚比	煤层产状/(°)	开采方式	回采率/(%)	形成时间/年	勘探情况
1	主线 K5 + 760 ~ K7 + 165；龙泉互通监控中心全场地	1405	王家岭煤矿（东方山井）	二1煤采空区	3. 54 ~ 5. 75	268 ~ 400	53. 6 ~ 80	68∠18	长壁式	75	1968 ~ 1978	物探解释采空区异常，验证孔 XCKYZK2、XCKYZK3、初勘 CKQZK3 揭示到采空区冒落带
2	K7 + 320 ~ K7 + 600	280	王家岭煤矿（四号井）		3. 54 ~ 5. 75	141 ~ 204	28. 2 ~ 40. 8	49∠16	长壁式	75	1958 ~ 1965	物探解释采空区异常
3	K7 + 640 ~ K7 + 820	180	王家岭煤矿（超越集团回采范围）		3. 54 ~ 5. 75	95 ~ 125	26. 8 ~ 35	49∠16	房柱式	50	2000 ~ 2004	调查访问为回采范围，验证孔 XCKYZK11 揭示到采空区冒落带
4	K7 + 820 ~ K8 + 300	480	王家岭煤矿（1#、2#老井）		3. 54 ~ 5. 75	28 ~ 101	21 ~ 50	49∠16	房柱式	50	1954 ~ 1965	物探解释采空区异常，验证孔 XCKYZK5、XCKYZK6 揭示到采空区冒落带

2.2　南善应煤矿采空区

南善应矿区里程范围为 K8 + 800 ~ K10 + 390，目前矿权已经灭失，不存在压覆该矿的问题。详勘物探工作完成大功率电测深剖面 12 条，长度 12 440m；完成了高密度电法剖面 2 条，长度 1 272m；利用初勘高密度电法剖面 2 条，长度 2 159m。详勘完成采空区验证孔 3 个，孔号为 XCKYZK18（195. 36m）、XCKYZK12（161. 6m）、CKQZK2 －1（152. 4m）；完成井口架空孔 2 个，孔号为 XLZK18 －1（28. 50m）、XLZK18 －2（35. 8m）；利用南侧临近的采空区验证孔 1 个，孔号为 XCKYZK7（129m）；利用初勘采空区验证钻孔 1 个，孔号为 CKQZK2（100. 5m）；利用工点勘察钻孔 2 个，孔号分别为 XKQZK37、XKQZK39。



图 15　南善应矿区与路线位置关系图

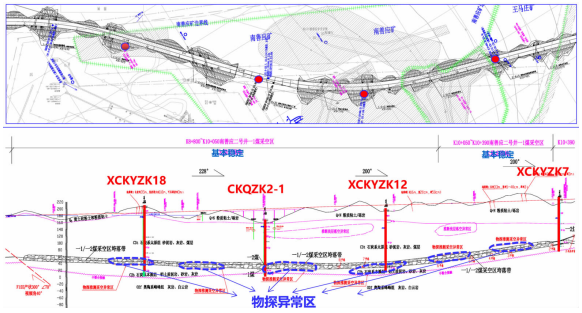


图 16　物探异常及钻探验证

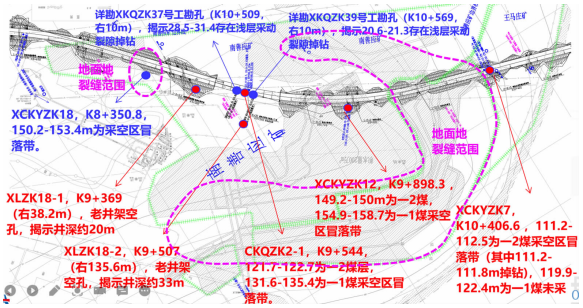


图 17　验证钻孔位置分布及成果图

（1）根据物探解析成果，物探异常段落分布的位置、深度与收集的采空区基本一致。

（2）根据采空区验证孔揭示的地层情况，K8 + 800 ~ K10 + 390 段南善应煤矿长壁式开采形成的采空区场地，共布设三个采空区验证孔（XCKYZK18、CKQZK2 －1、XCKYZK12）。三个采空区验证孔均揭示了采空区的裂隙带和冒落带，采空区上覆地层的三带特征明显。三个验证孔揭示的冒落带地层岩芯少、岩体松散、钻进快、漏水严重、无明显掉钻现象，证明采空区已完全塌落，但采空区上覆岩层未完全压密，仍有一定的采动裂隙存在。

（3）剩余孔隙率：利用本矿区采空区验证钻孔空洞和裂隙的统计资料，结合矿区收集资料中的闭矿时间，综合确定 K8 + 800 ~ K10 + 050、K10 + 050 ~ K10 + 390 剩余空隙率为 8%。

（4）回采率：根据矿区收集资料中的开采方式及钻孔遇采空区异常的比率，结合对当地老乡、煤师的访问调查，综合确定 K8 + 800 ~ K10 + 050、K10 + 050 ~ K10 + 390 回采率为 70%。

（5）基岩移动角：根据钻孔资料，本矿区采空区顶板岩石为灰岩，属中硬覆岩；结合回采率及采空区开采时间；同时，结合地表调查的地表采动变形位置（地裂缝及工勘孔浅层脱空）与采掘图上的开采面边界的距离深度比来进行推算，综合确定本矿区基岩移动角为 78°。

南善应矿采空区分布及特征见表 4。

3　稳定性评价

采空区场地稳定性评价标准，应根据采空区地表剩余移动变形量、采空区停采时间及其对公路工程可能造成的危害程度，划分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四个等级。不同类型采空区场地稳定性评价标准如下：

（1）长壁综采形成的采空区建筑场地，地表变形规律性强，可根据《采空区公路设计与施工技术细则》表 3. 1. 1，依据工作面的停采时间初步

确定采空区的稳定性，见表 5。再结合场地剩余变形量的预计值，依据《采空区公路设计与施工技术细则》（JTG/T D31 －03 －2011）表 3.1.2 进行定量判定，修正稳定性分级标准，见表 6。

表 4　南善应矿采空区分布及特征

序号	起止里程	段长/m	所属矿区	类型	煤层（采空区）厚度/m	煤层（采空区）埋深/m	深厚比	煤层产状/(°)	开采方式	回采率/(%)	形成时间/年	勘探情况
1	K8 +800 ~ K10 +050	1 250	南善应矿（南善应 2 号斜井）	一 1、一 2 煤采空区	一 1 煤厚 1.75 ~ 2.9m，平均 2m；一 2 煤厚 0.8 ~ 1.2m，平均 1m。	156 ~ 175	57 ~ 94	307∠13	长壁式	70	1985 ~ 1994	物探解释采空区异常，地表采动变形严重，验证孔 XCKYZK18、CKQZK2 －1、XCKYZK12 揭示到采空区冒落带
2	K10 +050 ~ K10 +390	340				111 ~ 165	22.4 ~ 57	0 ~ 10 ∠13 ~ 17	长壁式	70	1985 ~ 1994	采掘工程平面图明确的采空区，地表采动变形严重，物探解释采空区异常

表 5　按停采时间确定长壁式采空区场地稳定性等级

稳定等级	场地影响范围内工作面停采时间/年		
	软弱覆岩	中硬覆岩	坚硬覆岩
稳定	≥2.0	≥3.0	≥4.0
基本稳定	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0
欠稳定	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0
不稳定	≤0.5	≤1.0	≤2.0

表 6　按地表剩余变形值确定长壁式采空区场地稳定性

稳定等级	地表移动变形值			
	下沉值 W /mm	倾斜值 i /(mm/m)	水平变形值 ε /(mm/m)	曲率值 K /(mm/m^2)
稳定	≤100	≤3.0	≤2.0	≤0.2
基本稳定	100 ~ 200	3.0 ~ 6.0	2.0 ~ 4.0	0.2 ~ 0.4
欠稳定	200 ~ 400	6.0 ~ 10.0	4.0 ~ 6.0	0.4 ~ 0.6
不稳定	≥400	≥10.0	≥6.0	≥0.6

（2）不规则柱式采空区，地表变形通常持续相当长的时间且难以预测，场地稳定性等级宜结合采深采厚比、上覆岩性和地表变形特征，依据《采空区公路设计与施工技术细则》表 3.1.3 综合判定，见表 7、表 8。

表 7　不规则柱式采空区场地稳定性等级评价标准

场地稳定等级		稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
采深采厚比	坚硬覆岩	≥80	80 ~ 60	60 ~ 40	≤40
	中硬覆岩	≥100	100 ~ 80	80 ~ 60	≤60
	软弱覆岩	≥120	120 ~ 100	100 ~ 80	≤80

表 8 按上覆地层与验证孔钻进特征确定采空区场地稳定性等级

评价因子	场地稳定性等级			
	稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
上覆岩层岩性及厚度	有厚层状坚硬岩层分布且层厚≥15.0m	有厚层状坚硬岩层分布且 15.0m > 层厚 ≥10.0m	有厚层状坚硬岩层分布且 10.0m > 层厚 > 5.0m	无坚硬岩层分布或为薄层或软硬岩层互层状分布
松散层厚度 h/m	h > 30m	15m < h ≤ 30m	5m < h ≤ 15m	h ≤ 5m
验证孔钻进特征	密实，钻探过程中不漏水、微量漏水但返水或间断返水	基本密实，钻探过程中采空区部位有漏水，但进尺平稳，无掉钻发生	存在空洞，钻探过程中采空区部位大量漏水，局部钻进进尺加快现象明显	存在空洞，钻探过程中出现掉钻、孔口串风，钻进不返水

（3）单一巷道式采空区，可采用极限平衡分析方法，计算巷道顶板临界深度 Hcr 及稳定系数 Fs，依据《采空区公路设计与施工技术细则》（JTG/T D31 －03 －2011）表 3.1.5 的规定评价场地稳定性，见表 9。

表 9　单一巷道式采空区场地稳定性等级评价标准

稳定性系数 Fs	Fs ≥ 2.0	1.5 ≤ Fs < 2.0	1.0 ≤ Fs < 1.5	Fs < 1.0
稳定等级	稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定

根据上述场地稳定性评价标准，结合采空区专项勘察成果，对本项目采空区场地稳定性评价，结果如表 10 所示。

表 10　采空区稳定性评价结果

序号	起止里程	段长	开采煤层	所属矿区	稳定性评价方式	评价结果	结构类型	停采时间	剩余下沉量/mm	处治建议
1	主线:K5 +760 ~ K7 +165、K7 + 320 ~ ~K7 +600 龙泉互通; 监控中心全场地	1685	二 1 煤	王家岭煤矿	停采 10 年以上、,验证孔揭示冒落带,无掉钻现象,剩余下沉值为 190mm	基本稳定	路基、桥梁	1994 年前	190	路基加铺土工材料、强化防排水设计;桥梁注浆处治;房建工程采用筏板基础
2	K7 +640 ~ K7 +820	180	二 1 煤	王家岭煤矿（超越集团回采范围）	采深才厚比小于 80,采空区验证孔有掉钻现象	欠稳定	路基、通道	2000 ~ 2004 年	-	注浆处治
3	K7 +820 ~ K8 +300	480	二 1 煤	王家岭煤矿（1#、2#老井）	采深才厚比小于 80,采空区验证孔有掉钻现象	欠稳定	挖方路基	1954 ~ 1965 年		注浆处治
4	K8 +300 ~ K8 +408	108	一 1 煤	申有平刘家沟	极限平衡法巷道稳定性系数大于 2,	基本稳定	路基	1994 ~ 1996 年		路基加铺土工材料、强化防排水设计
5	K8 +800 ~ K10 +050 K10 +050 ~ K10 +390	1590	一 1 煤 一 2 煤	南善应矿（南善应 2 号斜井）	停采 10 年以上,验证孔揭示冒落带,无掉钻现象,剩余下沉值 244mm	基本稳定	路基、桥梁	1985 ~ 1994 年	195. 9	路基加铺土工材料、强化防排水设计;桥梁注浆处治
6	K10 +390 ~ K10 +660	270	一 2 煤	王马庄小窑	采深才厚比小于 80,采空区验证孔有掉钻现象	欠稳定	路基	1992 ~ 1994 年		注浆处治
7	K49 +100 ~ K49 +300	200	二 1 煤	淇县庙口振兴煤矿	主线下物探无异常。采掘图中的采空区范围小,且位于坡脚外	稳定	路基	2002 年前		路基加铺土工材料、强化防排水设计

4　结论

采空区属于隐蔽、复杂、、年代久远、地表变性范围大、容易引发地质灾害的不良地质场地,其建设难度大,处治费用高,是一直困扰国内公路勘察行业的技术性难题。由于采空区的复杂性,传统的勘察方法如钻探、物探等往往难以直接触及,且获取的数据有限。这种复杂性不仅增加了勘察的难度,还影响了勘察结果的准确性。本文提出的采空区勘察总体思路及稳定性评价结论,经采空区专项评审,认为勘察成果丰富、资料齐全、结论可靠,采空区稳定性评价结论基本正确,处治建议基本可行。经施工处治验证,注浆孔揭示的采空区深度、范围与勘察结论基本吻合,获得施工单位、业主单位人员的一致好评。主要结论如下:

(1)一定要加大矿区的资料收集力度,尤其是采掘工程平面图、井上井下对照图等,对采空区勘察能提供极大帮助,减少盲目性。

(2)无人机航拍高清图对地表调查能起到事半功倍的效果,在其基础上实施地表网格式调查将更有针对性,应记录好煤矿区路段的井口、地表变形(地陷、地裂缝、房屋建筑变形等)的分布位置及特征等。

(3)村民及矿企的访问取证,是对收集资料及地表调查成果的佐证,确定资料的可靠性,据此来制定物探、钻探等实物勘探方案。

(4)物探方案的确定一定要先做好踏勘,调查地表电磁干扰因素、水源体等环境敏感点,结合采空区埋深、厚度等综合确定物探方案。实践

证明,在地表电磁干扰较大时,接地的电法大功率激电测深是较理想的物探方法。在验证钻孔完成后,建议进行二次或多次解疑。

(5)在计算剩余孔隙率时,孔内电视测试反应了岩体的原始结构,其成果比钻探取芯更准确、更可靠,值得推广。

(6)采空区稳定性评价建议结合停采时间、采深采厚比、采空区钻进特征、极限平衡法、地表剩余变形值、地表历史变形情况等多种方法综合确定。

参考文献:

[1] 王凯杰. 采空区高速公路综合勘察研究[J]. 江苏建筑,2024,1:67-72.

[2] 丁茂林. 成达万高速铁路铜锣山隧道煤矿采空区勘察及评价[J]. 铁道勘察,2023(03):36-41.

[3] 梁凯夏. 某高速铁路煤矿采空区综合勘察及稳定性评价[J]. 工程与建设,2022,36(01):44-48.

[4] 严栋. 铁路采空区工程地质勘察及稳定性评价[J]. 铁道工程学报,2014,31(4):11-14,56.

[5] 张伟刚,马飞,朱明杨. 基于综合物探技术的采空区勘察与评价[J]. 江苏建筑,2024,2:129-131.

[6] 潘纪顺,张鑫,陈世仲等. 大定源回线装置瞬变电磁法在煤矿采空区探测中的应用[J]. 科技创新与应用,2024,14:137-140.

[7] 李志华. 铁路煤矿采空区的综合物探研究[J]. 物探与化探,2012,36(S1):20-26.

[8] 刘东清. 高密度电阻率法在煤矿采空区勘察中的应用[J]. 山西水利科技,2023(02):1-2.

[9] 张洪海. 高密度电法在工程物探中的应用[J]. 科研,2015,07.

[10] 肖敏,陈昌彦,白朝旭等. 北京地区浅层采空区高密度电法探测应用分析[J]. 工程地球物理学报,2014(01).

[11] 许国礼,徐洪苗. 高密度电法在工程勘察及检测中的应用[J]. 中国非金属矿工业导刊,2014,06.

[12] 谢孔金,谢一鸣,钟 欣等. 瞬变电磁法在煤矿采空区勘察中的应用[J]. 地下水,2024,46(1):148-150.

[13] 王轩. 瞬变电磁法在山西某矿采空区含水性探测中的应用[J]. 河北地质大学学报,2019(3):61-64.

[14] 熊剑飞,胡建强,刘忠喜. 瞬变电磁法在采空区探测中的应用[J]. 陕西煤炭,2019(4):163-166.

[15] 杨岁军. 瞬变电磁和高密度电法在采空区勘察中的应用[J]. 自动化与仪器仪表,2016(5):47-48.

[16] 何开录. 瞬变电磁法在采空区勘查中的应用[J]. 工程地球物理学报,2014,03.

[17] 杨钦富,王章云. 某采空区上部高速公路路基病害综合勘察分析[J]. 科学技术创新,2022(17):127-130.

[18] 张振振,吴璋,李建文. 深部条带采空区稳定性评价及地表利用分析[J]. 煤炭技术. 2022,41(08):58-61.

[19] 张宇飞,王骏豪,付聪,某急倾斜煤矿采空区上覆管道安全性评价分析[J]. 勘察科学技术,2022(3):34-38.

[20] 周喆. 采空区上伏公路路基稳定性评价及应用研究. 西安科技大学 硕士论文,2018.

[21] 颜东旭. 张家口下花园煤矿采空区地面变形及危险性评价[J]. 北京:中国地质大学(北京),2020.

[22] 王学伟,满君. 下伏采空区高速公路场地稳定性及参数敏感性分析[J]. 铁道勘察,2023(06):82-90.

[23] 李学良. 煤矿老采空区覆岩移动变形监测方法分析及应用[J]. 矿业安全与环保,2022,49(4):157-1.62.

[24] Guoqiang Xue, Nannan Zhou, Wenbo Guo et al. Delineation of sedi-mentary bauxite deposits in Shaanxi Province using the gravity andtransient electromagnetic methods[J] Ore Geology Reviews. 2022.144.

[25] Hongzhi Tang, Haiyan Yang, Guangyin Lu et al. Small multi-turncoils based on transient electromagnetic method for coal mine detec-tion[J] Journal of Applied Geophysics. 2019.169,165-173.

松散性半刚性基层沥青混凝土路面改扩建关键技术研究

肖冠成

（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：部分早期建设的半刚性基层沥青路面存在基层严重松散状况，当通过验算无机结合料稳定层疲劳寿命来进行路面结构补强的设计方法行不通，同时该类路面扩宽方案受旧路面使用状况、旧路标高抬升、交通组织、路面再生等因素影响，成为改扩建设计中的重难点。为解决松散性半刚性基层沥青混凝土路面改扩建关键技术难题，该文基于深汕西高速公路改扩建项目，通过理论计算及实践验证的方法对该类路面加铺补强及拼宽技术进行研究。结果表明：结合规范要求及路面检测状况，将松散的水稳基层弱化为碎石粒料层，并将既有松散半刚性基层沥青路面简化为沥青结合料类材料层、粒料基层和路基结构体系进行结构补强验算，可得到满足规范要求的路面结构补强方案；针对旧路面不同设计标高抬升工况，需要综合考虑拼宽侧路面方案、施工便利性、交通组织等因素，制定差异化路面调平方案；路面扩宽方案需要综合考虑项目交通组织、交通分布、路面再生等因素，并通过设置台阶、枕梁、玻纤格栅等措施提高该类松散性基层沥青路面的拼接质量。深汕西改扩建一期工程路面已交工验收 2 年，目前路面使用状况良好，表明相关路面改扩建技术方案是可行的，相关经验可供类似项目参考。

关键词：松散性半刚性基层；路面改扩建；关键技术

0　引言

沈阳至海口国家高速公路汕尾陆丰至深圳龙岗段（以下简称深汕西高速）是国家高速公路网规划“2 纵”G15 沈阳至海口国家高速公路的一段，同时也是广东省“十纵五横两环”高速公路主骨架中第五条横线的一段，是联系粤东地区与珠三角核心区的交通大动脉。现状道路为双向四车道，路基宽度 24.5m，其中硬路肩宽 2.5m，设计速度 100km/h，随着沿线经济发展交通量增长迅速，2017 年路段平均交通量已达到 37 599pcu/d，趋于饱和拥堵，亟须进行改扩建以提高道路通行能力及服务水平。项目改扩建起点位于陆丰潭西镇，对接深汕东高速，路线向西途经汕尾市、深汕合作区、惠州市、深圳市，终点接惠盐高速，路线全长 146.550km，采用 120km/h（局部采用 100km/h）双向八车道高速公路技术标准，改扩建整体式路基宽 42m。

1　路面使用状况检测

1.1　旧路路面结构

深汕西高速于 1996 年建成通车，2008 年进行路面大修，加铺两层沥青混凝土，现状路面结构如表 1 所示。

表 1　现状行车道路面结构

项　目	行车道路面结构
2008 年大修加铺路面	上面层：5 cm AC－16（改性） 中面层：8 cm AC－25C（改性）
1996 年建设路面	上面层：3 cm 沥青抗滑层 中面层：5 cm 中粒式沥青混凝土 下面层：6 cm 热拌沥青碎石 基层：28 cm 水泥稳定碎石 垫层：38 cm 砂砾碎石

基金项目：广东省科技计划项目（编号：2021B1111610002）

1.2　路面检测要点及结果

1.2.1　常规检测指标

（1）路面厚度。通过雷达无损检测路面结构厚度，并取芯进行验证，现状路面结构与竣工图一致，全线取芯 138 个，基层芯样完好率仅为 5.5%，现状水稳基层较松散，进一步通过硬路肩开槽（长 × 宽 = 2.5m × 1.5m）验证水稳基层状况，结果表明：现状路面水稳基层松散严重。

（2）路面破损。路面行车道 IPCI 评定均为优良，主要病害横向裂缝占比约 80%，次要病害纵向裂缝占比约 6%。为进一步掌握典型病害发展情况，对典型裂缝处进行取芯调查。结果表明：沥青各层黏结相对紧密，但部分结构层存在松散现象；轻度横向裂缝芯样裂缝呈自上而下的发展趋势，裂缝未贯穿沥青层，判断为收缩裂缝或疲劳裂缝；重度横向裂缝、纵缝处裂缝贯穿沥青层，水稳基层碎裂，裂缝下宽上窄，判断为因基层损坏而产生的结构性裂缝。

（3）弯沉检测。对上、下行行车道按 1 点/20m 的频率进行 FWD 落锤动态弯沉检测，道路总体结构强度均为“优良”。

（4）车辙检测。全线车辙深度均值为 3.95mm，评定等级为“优”，现状路面车辙指标良好。

（5）脱空检测。采用路面雷达对项目基层进行脱空检测，结果表明：基层脱空率约为 7%，基层未出现大面积脱空状况。

1.2.2　路面力学性能指标

（1）沥青混合料模量

试验芯样抗压回弹模量值为 961 ~ 1732MPa，总体模量值偏低，表明沥青层经过多年使用，性能存在一定程度老化衰减。

（2）水稳基层模量

根据 FWD 落锤动态弯沉检测结果，利用弯沉盆对水稳基层模量进行反算，模量平均值为 695MPa。

（3）沥青混合料油石比

切割部分完好的沥青路面芯样进行抽提试验发现，2008 年大修期加铺的上、中面层沥青混合料油石比分别为 4.7%、3.9%；1996 年建设期上、中、下面层沥青混合料油石比分别为 4.5%、4.2%、4.1%；现状路面总体油石比偏小，存在沥青老化脱落情况。

（4）沥青混合料级配情况

按混合料类型进行筛分试验，矿料级配除个别筛孔质量通过率超出级配范围外，各结构层沥青混合料基本符合现行《公路沥青路面设计规范》（JTGD50—2017）矿料级配范围要求。

1.2.3　路基状况、路面排水状况

对路基取芯 8 处测定路基湿度，发现均为“中湿”状态；现状路基回弹模量平均值为 35MPa，现状路面排水状况良好，无唧浆现象。

2　旧路行车道加铺补强设计研究

2.1　规范相关规定

对于改建路面加铺补强设计，根据《公路沥青路面设计规范》（JTG D50—2017）中第 7.4.3 条，对破损不严重且结构性能较好的既有路面，采用直接加铺方案或铣刨至某一结构层再加铺方案，同时对既有路面结构层和加铺层进行结构验算，将既有路面简化为由沥青结合料类材料层、无机结合料稳定层或粒料层和路基组成的三层体系，并利用弯沉盆反演或芯样实测的方法确定各层结构模量[1]。

2.2　深汕西高速路面结构补强计算模型

根据检测数据，现状沥青面层虽存在一定程度老化，但破损指标良好；现状路面基层松散较严重，但经 2008 年大修后路面弯沉指标均评定为“优”“良”，路床湿度、模量均符合要求，路面排水状况、脱空指标均较好，未出现结构性破坏。因此，拟对现状路面进行适当病害修复后予以利用，并结合设计年限内交通轴载对现状路面进行补强设计。

深汕西高速行车道现状路面结构为：5cm AC - 16C（改性）+ 8cm AC - 25C（改性）+

14cm 建设期沥青混凝土 + 28cm 水泥稳定碎石基层 + 38cm 砂砾碎石垫层。对于基层为无机结合料稳定类的沥青路面，根据《公路沥青路面设计规范》（JTG D50—2017）（以下简称规范）第 6.2.1 条验算无机结合料稳定层层底拉应力，由于旧路水稳基层严重松散弯拉强度极低无法测定，因而无法通过验算无机结合料稳定层疲劳寿命进行路面结构补强设计。因此，结合规范及项目实际情况，将旧路水稳基层弱化为碎石层后进行路面结构补强计算，按《公路沥青路面设计规范》（JTG D50—2017）第 7.4.3 条将旧路简化为 27cm 沥青结合料类材料层（现状 27cm 沥青混凝土）+ 66cm 碎石粒料层（28cm 松散水泥稳定碎石基层简化为粒料碎石层 + 38cm 砂砾碎石层）+ 路基组成的结构体系，并按《公路沥青路面设计规范》（JTG D50—2017）第 6.2.1 条对粒料类基层沥青混凝土路面的层底拉应变、沥青混合料层永久变形量、路基顶面竖向压应变 3 项指标进行验算，各计算参数取值如表 2 所示。

表 2　路面结构材料参数

序号	路面材料名称	厚度/mm	模量/MPa	泊松比	混合料永久变形量/mm
1	细粒式沥青玛蹄脂碎石（新加铺）	40	12 000	0.25	1.4
2	中粒式沥青混凝土（新加铺）	60	11 000	0.25	1.5
3	现状沥青路面（沥青类）	270	7 500	0.25	—
4	现状 28 cm 松散水稳碎石层（简化为粒料类）	280	695	0.35	
5	38 cm 沙砾碎石层（粒料类）	380	190	0.35	
6	原路路基		35	0.4	

2.3　计算结果及加铺方案拟定

深汕西高速沥青混凝土路面设计使用年限 15 年，初始年主道大型客车和货车交通量为 7 355 辆/d，交通量年增长率 γ 为 4.1%，主道设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量为 1.34×10^7 辆，属重交通等级。

采用 HPDS 2017 对现状路面进行结构补强验算，结果表明：如旧路加铺 10cm 沥青层，沥青混合料层疲劳开裂寿命 $N_{F1}=3.36\times10^7$ 轴次，设计使用年限内设计车道上的当量设计轴载累计作用次数 $N_{ZB1}=3.34\times10^7$ 轴次；通车至首次针对车辙维修的期限内设计车道上的当量设计轴载累计作用次数 $N_{ZB3}=2.5\times10^7$ 轴次，沥青混合料层永久变形量 $D_{RA}=14.93$mm；路基顶面竖向压应变 $\varepsilon=87\times10^{-6}$，路基顶面容许竖向压应变 $E_{ZR}=176\times10^{-6}$，沥青混合料层疲劳开裂寿命、沥青混合料层永久变形量、路基顶面竖向压应变均已满足规范指标要求。

根据上述计算，旧路至少加铺 10cm 沥青层进行结构补强，根据路面结构组合设计，旧路面采用处治病害后直接加铺两层沥青面层方案：4cm SMA－13 和 6cm AC－20C（改性）。

2.4　旧路面加铺调平设计

深汕西高速建设期设计速度为 100km/h，受沿线通道净高抬升以及提速至 120km/h 后纵断面调坡影响，局部路段设计标高较现状路面抬升较多。对于旧路加铺设计路面调坡方案，根据不同纵断面抬高值，结合拼宽侧路面方案、施工便利性、交通组织等因素进行综合考虑，再根据不同工况采用沥青混凝土、水泥稳定碎石、碎石进行调平。深汕西高速路面加铺调坡方案如表 3 所示，旧路加铺调坡方案示意如图 1 所示。

表 3　旧路加铺设计路面调坡方案

序号	设计标高抬升值△h(cm)					
	5≤△h<14	14≤△h<22	22≤△h<28	28≤△h<66	66≤△h<86	86≤△h
1	4 cm SMA－13	4 cm SMA－13	4 cm SMA－13	4 cm SMA－13	4 cm SMA－13	4 cm SMA－13
2	6～10 cm AC－20C	6 cm AC－20C	6 cm AC－20C	6 cm AC－20C	6 cm AC－20C	6 cm AC－20C
3	局部铣刨旧路面	8～10 cm AC－25C	8 cm AC－25C	8 cm AC－25C	8 cm AC－25C	8 cm AC－25C
4		局部铣刨旧路面	8～10 cm ATB－25	10 cm ATB－25	10 cm ATB－25	10 cm ATB－25
5			局部铣刨旧路面	15～38 cm 水稳基层	19 cm 水稳基层	19 cm 水稳基层
6				局部铣刨旧路面	19 cm 水稳基层	19 cm 水稳层层
7					15～20 cm 水稳底基层	20 cm 水稳底基层
8					局部铣刨旧路面	h cm 碎石垫层

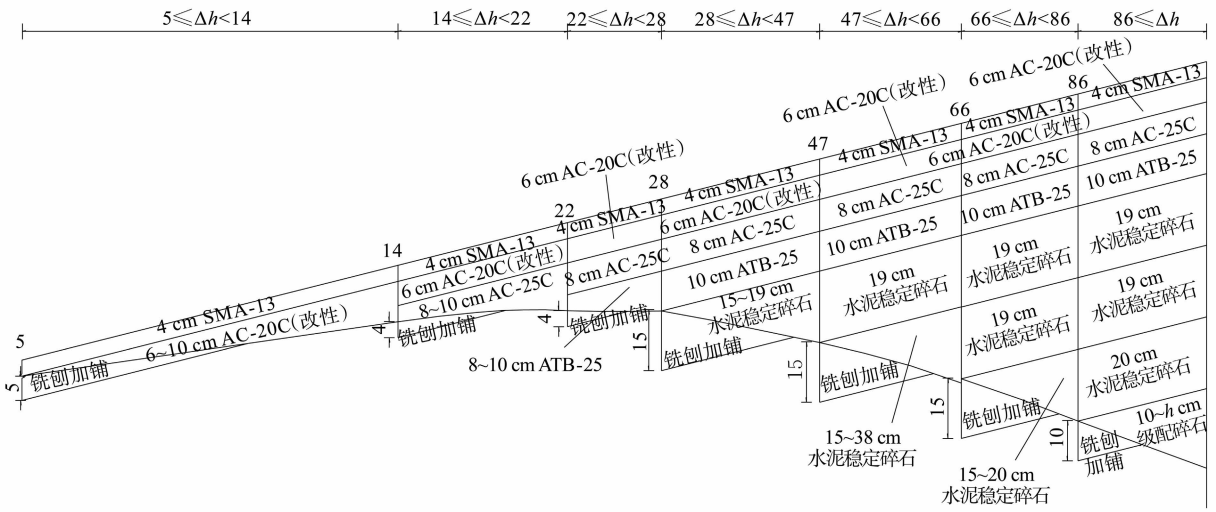


图 1　旧路加铺调坡示意图(单位:cm)

3　旧路面扩宽关键技术

3.1　扩宽侧路面结构层的拟定

现状路面为半刚性基层沥青路面,拼宽侧结构组合设计需要综合考虑与旧路加铺结构层对应、扩宽侧路面交通状况、现状旧路沥青废料回收利用、交通组织等因素,且需要采取针对性措施提高松散性基层路面的拼接质量。

3.1.1　与旧路调平方案对应性

对于现状路面纵坡调整抬升段落,扩宽侧路面结构需要考虑尽量与旧路加铺的结构层一致,对于高于现状路面标高的扩宽侧路面结构,除调平层外,其余路面结构材料及厚度应与旧路加铺层对应一致,确保路面结构整体性。

3.1.2　结构耐久性

现状路面为双向四车道,深汕西高速旧路利用段以维持中线不动双侧扩宽为主,拼宽路面位于改扩建后第三、第四重车道,重车比例高、累计轴载作用次数多。基于长寿命路面设计理念,与传统的半刚性基层沥青路面相比,柔性基层的设置使半刚性材料层下移,基层材料宜采用强度高且沥青用量低的沥青稳定碎石或大粒径沥青稳定碎石,从而可以充分利用柔性基层的优点,缓解反射裂缝和水损坏等问题[2-4]。因此,对于扩宽侧路面结构,在传统沥青下面层下方设置 12cm 冷再生沥青混凝土或 10cmATB－25,这样有利于提升结构强度,减缓水稳基层收缩性裂缝,提高路面结构使用耐久性。

3.1.3　路面废料利用

深汕西高速路面已运营二十余年，旧路病害处治沥青铣刨旧料较多，若将废料弃置会产生较大的能源浪费与环境污染，乳化沥青冷再生工艺可有效节约材料和能源，提升施工效率，增强沥青路面的工程力学稳定性，减少空气污染与噪声污染[5-7]。拟将旧路沥青废料厂拌冷再生后用于扩宽道路的柔性基层，既避免了资源浪费，又节约造价成本。

3.1.4　与交通组织的密切联系

扩宽侧路面结构的设置应与交通组织紧密结合，施工时旧路仍需要保证双向四车道通行，为避免新旧路面拼接位置出现冷接缝，影响路面使用质量[8]，扩宽后半幅道路路面中上面层整体摊铺、碾压实施。交通组织分为三阶段实施：第一阶段，两侧道路拼宽施工路基路面至扩宽侧路面下面层；第二阶段，交通整体导改至已扩宽实施完下面层的右幅道路（保通侧）双四保通，左幅道路（非保通侧）新旧路面整体实施至中上面层；第三阶段，交通整体导改至已实施完中上面层的左幅道路，右幅路面整体实施中上面层。为提高临时保通路面的行驶质量，交通组织第二阶段右幅道路扩宽侧（保通侧）利用下面层进行临时保通，采用 10cm ATB－25 柔性基层与 8cm AC－20C（改性）下面层进行临时保通，左幅道路扩宽侧（非保通侧）无临时通车需求，柔性基层与下面层分别采用 12cm 厂拌冷再生沥青混凝土与 8cm AC－25（普通）。综合上述因素，现状沥青混凝土路面扩宽侧拟定结构方案如表 4 所示。

表 4　扩宽侧路面结构

扩宽路面结构（保通侧）	扩宽路面结构（非保通侧）
上面层：4cm SMA－13	上面层：4cm SMA－13
中面层：6cm AC－20C（改性）	中面层：6cm AC－20C（改性）
下面层：8cm AC－20C（改性）	下面层：8cm AC－25C（普通）
柔性基层：10cm ATB－25	柔性基层：12cm 厂拌冷再生沥青混凝土
下封层	下封层
基层：38cm 5%～6% 水泥稳定碎石	基层：38cm 5%～6% 水泥稳定碎石
底基层：19cm 4%～5% 水泥稳定碎石	底基层：19cm 4%～5% 水泥稳定碎石
垫层：18cm 级配碎石	垫层：18cm 级配碎石

3.2　扩宽侧路面拼接技术

新旧路面拼宽关键在于加强新旧路面结合处治，减少拼接处纵向裂缝。对于松散型半刚性基层沥青路面扩宽拼接，通过优化拼接缝位置、设置台阶、设置土工格栅、枕梁等综合措施提高新旧路面拼接质量。

3.2.1　拼接缝避开轮迹带

剪切疲劳破坏是拼接纵向裂缝产生的根本原因，尤其当位于轮迹带位置且重车较多时[9]。新旧路面拼接存在 3 个不利位置，分别是顶层接缝位置左侧、右侧 0～50cm 区域以及第二道拼接缝左侧 0～50cm 区域，新旧路面的拼接缝应尽量避开并远离改建后行车道轮迹带，避免拼接位置长期处于最不利受力位置，产生早期裂缝病害[10-13]。深汕西高速路面拼宽时，原则上应确保最上边 3 条拼接缝，尤其是基层的拼接缝，与轮迹带至少错开 50cm，避免拼接位置长期处于最不利受力位置，产生早期裂缝病害。

3.2.2　设置台阶

路面结构层拼接方式对拼接面顶部最大剪应力的影响较大，基层拼接台阶的设置形式对结构层底部剪应力的影响也较大。拼宽位置设置

台阶后,顶面变形及结构层剪应力均有较大程度减小[14-15]。新旧路在有条件的位置逐层设置台阶并进行搭接,增加新旧路面搭接以保持稳定性,基层台阶搭接宽度按不小于 0.20m 控制,面层台阶搭接宽度按不小于 0.25m 控制。

3.2.3　土工格栅

行车荷载最不利位置为偏载,在偏载作用下,路面结构反射裂缝类型以剪切型为主要表现形式,路面结构设置玻纤格栅后,可明显延缓反射裂缝的扩展速率[16]。玻纤格栅可提高沥青面层整体抗拉强度,改善路面结构的应力分布情况,有效抵抗和延缓由半刚性基层开裂产生的反射裂缝[17-20]。为延缓拼接缝反射裂缝发展,在基层顶面及新旧路面沥青拼接位置跨缝设置宽 1m 的玻纤格栅。

3.2.4　枕梁

深汕西高速路面建于 1996 年,现场实施过程中发现现状路面水稳层边部较松散,扩宽侧路面基层难以与旧路基层形成有效搭接,为确保新旧路面搭接质量,在现状沥青面层底与拼宽路面水稳上基层底拼接缝下方设置 C30 混凝土枕梁,枕梁进入新旧路面各 20cm,为保证新旧路面结构排水顺畅,在 C30 混凝土枕梁下方设置 30cm 高透水混凝土,枕梁设置位置及细部构造图分别如图 2、3 所示,要求透水混凝土抗压强度不小于 10MPa,孔隙率不小于 20%,透水混凝土上方设置反滤土工布。枕梁施工工序主要为测量放样→旧路基层开挖→工作面修整→安装模板→混凝土拌和运料→浇筑→振捣压实→养护。

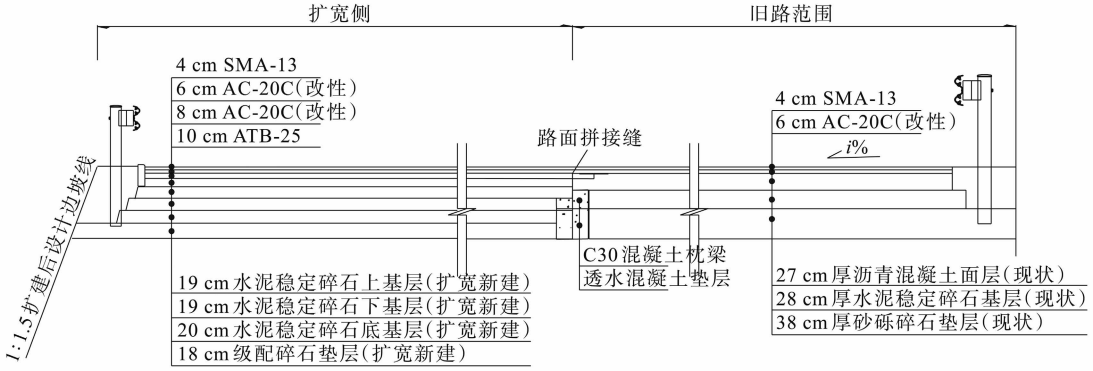


图 2　路面拼宽枕梁设置图

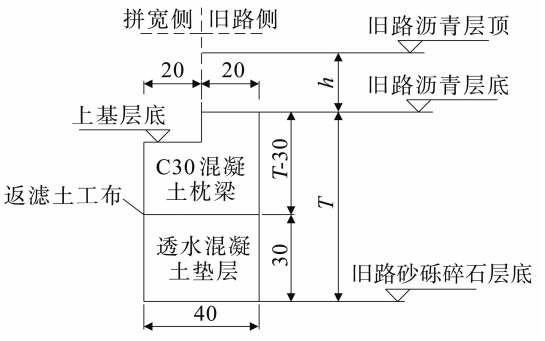


图 3　枕梁细部构造图（单位:cm）

4　结论

本文对松散性半刚性基层沥青路面有针对性地提出了检测要点,通过理论计算和实体工程应用,得出以下结论:

(1)该类路面无法通过验算无机结合料稳定层疲劳寿命来进行路面结构补强设计,结合规范要求及路面检测状况,可将松散的水稳基层弱化为碎石粒料层,将既有半刚性基层沥青路面简化为沥青结合料类材料层、粒料基层和路基 3 层体系,对粒料类基层沥青路面进行结构补强验算,结果表明各项指标能满足规范要求,该方法是可行的。

(2)对于不同设计标高抬升工况,除调平层外,旧路面加铺结构应尽量与拼宽侧一致,结合拼宽侧路面结构组合及施工厚度要求,视情况采用沥青混凝土、水泥稳定碎石、碎石层材料差异

化调平方案。

（3）应综合考虑旧路加铺结构层、交通分布状况、旧路沥青废料利用、交通组织等因素，确定路面拼宽结构。扩宽侧其余路面结构材料及厚度应尽量与旧路加铺层对应一致，确保路面结构整体性。扩宽侧路面重车比例大，可通过设置柔性基层适当提高路面结构强度，保通侧采用 10cm ATB－25 柔性基层与 8cm AC－20C（改性）下面层进行临时保通，非保通侧柔性基层与下面层分别采用 12cm 厂拌冷再生沥青混凝土与 8cm AC－25（普通）。

（4）对于松散性半刚性基层沥青路面的拼接，确保最上边 3 条拼接缝，尤其是基层拼接缝应尽量与轮迹带错开至少 50cm，新旧沥青面层可设置台阶分层搭接，如旧路面基层松散无法设置台阶与扩宽侧路面基层形成有效搭接，可在新旧路面基层下方设置混凝土枕梁提高路面拼接质量，跨缝可设置玻纤格栅延缓拼接缝发展。

参考文献：

[1] 中交路桥技术有限公司. 公路沥青路面设计规范：JTGD50—2017[S]. 北京：人民交通出版社股份有限公司，2017.

[2] 蒋松利，丁淑巍. 基于法国标准的复合式基层沥青路面结构设计案例分析[J]. 中外公路，2018，38（5）：69－72.

[3] 李雪连，陈鹏，查旭东. 沥青稳定＋无机结合料稳定组合式基层沥青路面设计综述[J]. 中外公路，2023，43（5）：1－8.

[4] 李清斌. 高速公路改扩建工程路面结构及拼接设计研究[J]. 路基工程，2016（2）：138－142.

[5] 常浩. 乳化沥青厂拌冷再生技术在路面改造工程中的应用[J]. 中国公路，2021（13）：95－96.

[6] 付涛. 旧沥青路面冷再生混合料性能研究[J]. 中外公路，2018，38（6）：263－269.

[7] 刘甲荣，杨伟刚，王凯，等. 济青高速公路改扩建路面拼宽技术创新与实践[J]. 公路交通科技（应用技术版），2019（6）：3－6.

[8] 张雷. 改扩建高速公路新旧路面拼接施工技术[J]. 交通世界，2023（17）：64－66，69.

[9] 姜正晖. 高速公路改扩建沥青路面设计关键问题探析[J]. 中外公路，2020，40（4）：58－61.

[10] 闫亚鹏，谢晓军，柯文豪. 机荷高速公路改扩建路面拼接设计要点研究[J]. 公路，2023，68（12）：66－70.

[11] 南秋彩. 道路改扩建工程中新老路面拼接受力状态的数值模拟[J]. 公路工程，2018，43（6）：278－282.

[12] 韩飞飞. 改扩建高速公路拼接位置路面纵缝成因分析及预防措施[J]. 交通世界，2024（4）：45－47.

[13] 程宇飞，孔军. 基于客货分行模式的乌奎高速公路改扩建路面研究[J]. 公路，2021，66（10）：84－89.

[14] 万瑞，张峻伟，张婷. 路基路面拼接施工技术在高速公路改扩建中的应用[J]. 公路，2021，66（2）：351－357.

[15] 崔冬艳. 高速公路改扩建沥青路面拼接施工技术分析[J]. 中国公路，2018（18）：116－117.

[16] 杨小康. 玻纤格栅防治沥青路面反射裂缝的机理与力学响应分析[J]. 交通世界，2020（23）：27－28，31.

[17] 孙文圃，白雨瓒，张洪亮. 交通荷载作用下玻纤格栅对反射裂缝扩展的影响[J]. 公路与汽运，2019（6）：83－87.

[18] 卢新兵. 玻纤格栅在沥青路面防裂中的应用[J]. 公路交通科技（应用技术版），2017，13（1）：29－31.

[19] 杨三强，李鹏飞，刘璐，等. 复合式应力吸收层的性能和动态响应研究[J]. 中外公路，2023，43（5）：27－32.

[20] 张韶波. 浅谈高速公路改扩建工程路面新旧结合部受力及处理[J]. 公路交通科技（ 应用技术版），2016，12（4）：69－70.

高速公路服务区间距分析方法研究

曾栋鸿,高雨田
(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:针对路网中两对服务区之间行驶距离会随出行路径改变而发生变化的实际情况,提出基于出行路径的服务区间距分析方法。采用地理信息系统建立高速公路网络模型,利用点到点最短路径分析工具计算任意两对服务区组合的最短出行路径,然后通过编写自定义算法判别两对服务区的相邻关系,甄别出路网中存在相邻关系的所有服务区组合并对其间距进行统计分析。将该方法应用于广东省高速公路网进行服务区间距核查,实例验证该方法计算的服务区平均间距指标能够更加客观反映服务区间距设置实际情况,并能全面筛查出服务区间距偏大的出行路径,辅助查找存在服务盲区的路段,为加密优化服务区布局提供技术支撑。

关键词: 高速公路服务区;服务区间距;出行路径;交通规划

0　引言

高速公路服务区作为高速公路上的“驿站”,是服务过往车辆和司乘人员的重要场所。服务区间距是反映服务区布设密度的重要指标,合理的服务区间距能够确保司乘人员在旅途中得到必要的休息和补给,同时保障车辆加油、维修、紧急救援等需求。

在规划工作实践中,服务区的布局间距通常按照单一路线进行控制,例如在服务区规划选址时,主要考虑某条高速公路上的前后服务区间距是否满足规范要求,对与之相交的其他高速公路上的服务区设置情况则较少考虑。但在现实出行中,服务区之间的行驶距离会随着出行路径改变而发生变化,当一条高速公路通过互通立交转接到另一条高速公路,位于不同路线上的两对服务区可能会由于行驶间距过长,导致在这两对服务区之间的出行路径上产生服务盲区[1-3]。随着路网的网络化程度越高,立交转换次数越多,出行路径出现服务盲区的可能性就越大,部分路径甚至会出现服务区间距远超规范要求的情况,对行车的安全性和舒适性造成影响,应予以足够重视。

目前,国内学者与专业人员对于高速公路服务区布局间距已有一些研究。周智涛等[4]结合服务设施功能分类,建立服务设施间距计算模型,提出不同类型服务设施的推荐间距;崔洪军等[5]根据服务设施驶入量和服务需求,以司乘人员需求弹性和服务设施运营成本为约束,提出服务设施的合理间距和功能配置;潘兵宏等[6]采用广义主成分分析法,建立回归模型计算我国各省市的高速公路服务设施合理平均间距;王丹[7]在服务区等级划分的基础上计算服务区的合理间距,考虑自然环境条件、交通技术条件和服务区日常运营要求提出不同等级服务区的选址方法。已有研究多侧重于探讨高速公路服务区间距的合理取值,且主要针对单一路线进行研究,目前从整体路网角度基于出行路径进行的服务区间距研究还比较缺乏。为此,本文从全域路网视角提出基于出行路径的服务区间距分析方法,为服务区间距研究提供新维度。

1　服务区间距概述

1.1　技术规范要求

目前国内对高速公路服务区间距提出明确要求的技术规范文件有《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)[8]、《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)[9]、《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTGD80—2006)[10]等。

《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)规定:“服务区平均间距宜为 50km;当沿线城镇分布稀疏,水、电等供给困难时,可增大服务区间

距”;“停车区可在服务区之间布设一处或多处,停车区与服务区或停车区之间的间距宜为 15 ~ 25km”。《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)规定:“服务区之间的标准间距宜为 50km,一般宜控制在 40 ~ 60km,最大不超过 100km。服务区间距 > 60km 时,中间应考虑设置带有加油站的停车区”;“停车区与服务区或两停车区之间的间距宜为 15 ~ 25km”。《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTG D80—2006)规定:“服务区的平均间距不宜大于 50km;最大间距不宜大于 60km”;“停车区可在服务区之间布设一处或多处,其平均间距不宜大于 15km;最大间距不宜大于 25km”。

虽然不同规范关于服务区间距的表述不尽相同,但要求基本一致,可总结为:服务区的平均间距宜为 50km,最大间距不宜超过 60km,且不应超过 100km;在服务区之间可设置一处或多处停车区,停车区与服务区或停车区之间的间距宜为 15 ~ 25km。

1.2　概念界定

现行技术规范对服务区间距的概念未做严格定义,从规范条文的语义来看,服务区间距是指路网中具有相邻关系的两对服务区之间的路径距离,不仅包括同一路线上相邻 2 个服务区的距离,还包括在不同路线上通过一处或以上互通立交转换,且中间没有经过任何服务设施的 2 个服务区的距离(见图 1、图 2)。



图 1　同一路线上的相邻服务区示意图

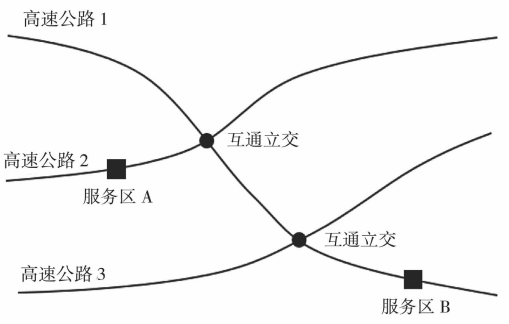


图 2　不同路线上的相邻服务区示意图

2　服务区间距分析方法

2.1　常用分析方法

目前针对高速公路服务区间距的分析方法主要有路段平均间距分析法和路网平均间距分析法[11-12]。

2.1.1　路段平均间距分析法

路段平均间距分析法通过计算高速公路某一路段上所有相邻服务区组合的平均间距,常用于评价现有路段的服务区密度水平及指导新建路段的服务区选址布局(见图 3)。计算公式为:

$$\bar{L}=\frac{\sum_{i=1}^{n}L_i}{n} \tag{1}$$

式中:$\bar{L}$ 为路段上服务区的平均间距;L_i 为相邻服务区组合 i 的间距;n 为相邻服务区组合的数量。

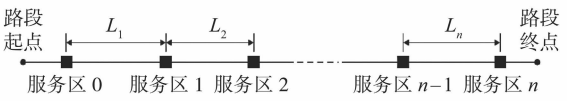


图 3　某路段服务区平均间距计算示意图

2.1.2　路网平均间距分析法

路网平均间距分析法以路网总里程除以服务区总数,计算路网服务区平均间距,常用于评价路网服务区的总体密度水平。计算公式为:

$$\bar{L}=\frac{L}{N} \tag{2}$$

式中:$\bar{L}$ 为路网总里程;N 为服务区总数。

以上 2 种方法计算简单,能迅速求解,但其计算结果仅能反映路段或路网中服务区间距的总体水平,无法对单个相邻服务区间距进行微观观察和计算,在评价服务区布局合理性或识别路网服务设施盲区时存在较大局限。本文通过地理信息系统构建交通路网模型,利用计算机对服务区之间的出行路径进行分析,计算每对相邻服务区的间距,进而对服务区间距设置的合理性进行评价。

2.2　基于出行路径的服务区间距分析方法

本文采用地理信息系统构建交通路网模型

并关联服务区底层数据，利用点到点最短路径分析工具计算所有两两服务区组合的最短出行路径，再通过编写自定义算法判别两两服务区的相邻关系，建立相邻服务区最短出行路径基础数据库，基于该数据库对路网中的所有相邻服务区间距进行统计分析（见图 4）。

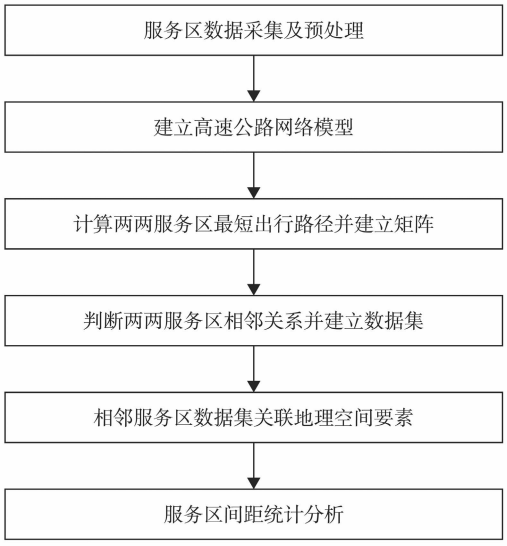


图 4　服务区间距分析技术路线图

（1）步骤一：数据采集及预处理。通过交通运输主管部门、互联网地图等途径采集高速公路服务区名录、等级类型、所在路段、所在城市、地理坐标等信息，建立服务区基础数据库。

（2）步骤二：建立交通路网模型。利用 TransCAD 构建高速公路网络模型，与实际路网建立映射关系，路网属性字段包括路段名称、路段长度、机动车道数等。

（3）步骤三：建立两两服务区路径矩阵。路网中的任意两对服务区之间通常存在多条出行路径，现实中驾驶人员一般会选择里程最短的路径，因此以两对服务区之间的最短路径构建路径矩阵。利用 TransCAD 软件的最短路径分析工具，计算每对服务区到其他所有服务区的最短出行路径。在计算过程中，TransCAD 会根据路网拓扑结构中的节点与连边关系，自动搜索两对服务区之间的所有可能路径，并按照阻抗最小（即里程最短）原则筛选出最短路径。运算完成后，系统会输出两对服务区之间的最短路径长度，并以矩阵形式导出，矩阵中的任一元素 (i,j) 表示服务区 i 与服务区 j 之间的最短出行距离。

（4）步骤四：判断相邻关系。根据两两服务区的相邻关系，路径矩阵中的服务区组合包括相邻服务区和非相邻服务区两种情况，需要筛选出属于相邻关系的服务区组合。利用 TransCAD 的二次开发功能编写相邻关系判定算法，针对路径矩阵中每个元素 (i,j) 的最短出行路径，逐一检验服务区 i 与服务区 j 的相邻关系，若从 i 到 j 最短路径上途经其他服务区的节点数为 0，则判定 i 和 j 属于相邻关系，若途经其他服务区的节点数大于或等于 1，则判定 i 和 j 属于非相邻关系。经计算机运算，可以得到路网中存在相邻关系的所有服务区集合及其最短出行路径距离。

（5）步骤五：服务区间距分析。基于出行路径的服务区平均间距计算公式与式（1）相同。

将相邻服务区间距按照一定的区间范围进行分类统计，以便了解服务区间距在不同区间的分布情况。同时，利用 ArcGIS 将相邻服务区的出行路径叠合地理空间要素进行可视化展示，以便直观了解服务区间距偏大路径的分布位置，为后续加密优化服务区布局提供基础。

3　实例验证

为验证本文提出的服务区间距分析方法的适用性，以广东省高速公路网及服务区为研究对象，从全域路网出行路径的视角对服务区间距进行全面核查分析。截至 2024 年底，广东省高速公路通车总里程达 1.17 万 km，已建成运营的高速公路服务区共 278 对，按照路网平均间距分析法计算，服务区平均间距为 42.1km，总体满足不大于 50km 的技术规范建议值要求。

3.1　路网模型及基础数据库

利用互联网爬虫技术从互联网地图抓取高速公路服务区地理坐标、服务区名称等数据，并结合交通运输主管部门提供的官方数据进行校核和补充，建立服务区基础数据库（见图 5）。采

用多源数据融合的方式构建广东省高速公路网络模型，路网底层基础数据来源于 OpenStreetMa（OSM）开源地图，根据交通运输主管部门提供的高速公路数据对路网的拓扑关系进行检查和修正（见图 6）。

3.2　两两服务区路径矩阵

基于高速公路网络模型，利用 TransCAD 的最短路径分析工具，计算每对服务区到其他所有服务区的最短出行路径。经运算，278 对服务区共有 77 284 组两两服务区组合，最终生成一个 278×278 的最短路径矩阵（见图 7）。为便于后续开展数据可视化、区域聚类等分析，将矩阵数据与服务区地理坐标等信息进行匹配，形成服务区最短路径的地理空间数据集。

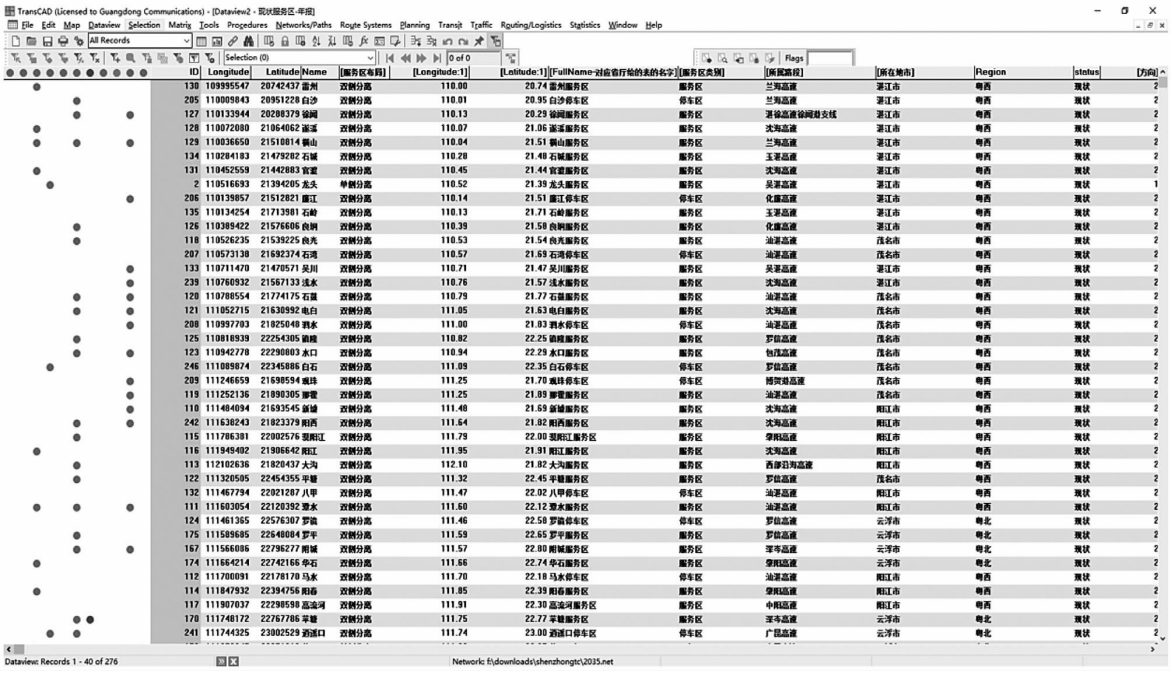


图 5　广东省高速公路服务区基础数据库界面

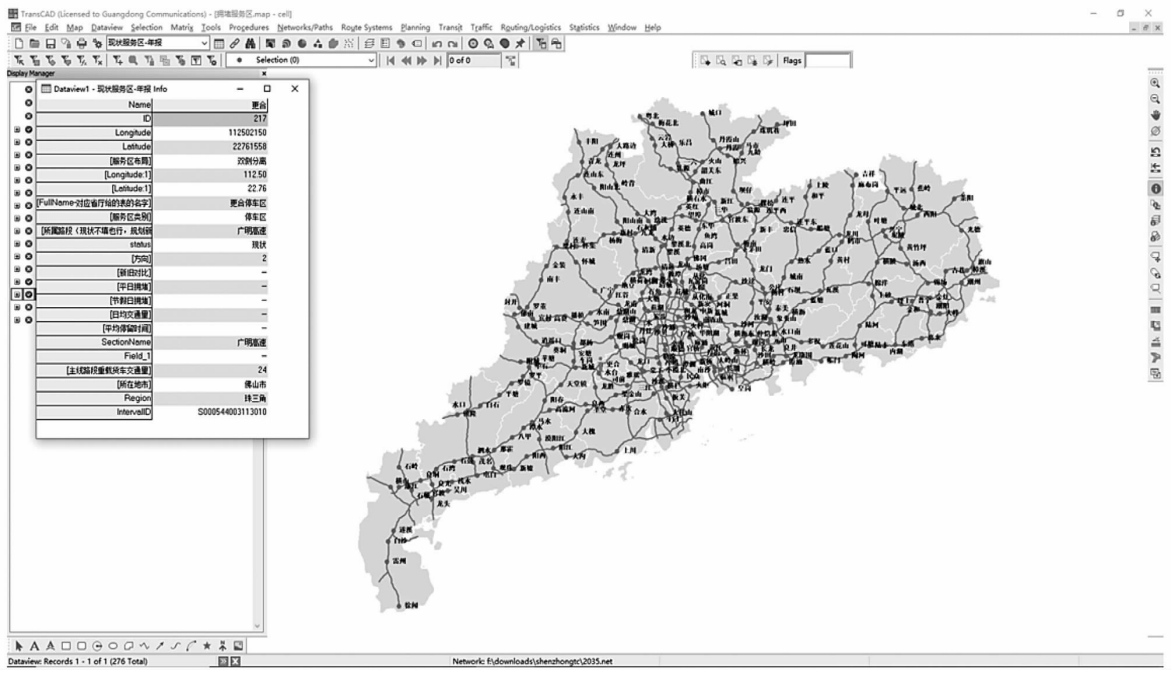


图 6　广东省高速公路网络模型

3.3　判断服务区相邻关系

利用 TransCAD 的二次开发功能编写相邻关系判定算法,从路径矩阵 77 284 个两两服务区组合中,识别出 1 120 个组合属相邻关系服务区(考虑路段行车方向,服务区 A 至服务区 B、服务区 B 至服务区 A 分别各按 1 个组合计算),将其作为下一步统计分析的数据集。

3.4　服务区间距分析结果

3.4.1　平均间距

根据模型运算结果,广东省高速公路网共有相邻服务区组合 1 120 个,全省服务区平均间距为 34.9km,其中,珠三角地区平均间距为 35.5km,粤东地区为 38.7km,粤西地区为 31.5km,粤北地区为 33.9km,总体满足《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)和《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)的要求(见表 1)。

表 1　相邻服务区平均间距情况　(单位:km)

全省	珠三角	粤东	粤西	粤北
34.9	35.5	38.7	31.5	33.9

3.4.2　区间统计

根据规范要求,服务区的平均间距宜为 50km,最大间距不宜超过 60km,且不应超过 100km。因此,以 50km、60km、100km 作为区间分界点。经统计,间距≤50km 的服务区组合共 995 个,占 89%;>50km 的服务区组合共 125 个,占 11%,其平均间距为 64km,其中,间距为 50~60km 的服务区组合共 63 个,60~100km 的服务区组合共 57 个,>100km 的服务区组合共 5 个,这些服务区组合的间距超出规范建议值,会对行车造成一定影响,需根据实际情况加密建设服务区(见表 2)。

表 2　相邻服务区间距统计表

服务区间距/km	≤50	>50		
		>50~60	>60~100	>100
服务区组合数量/个	995	63	57	5
		125		

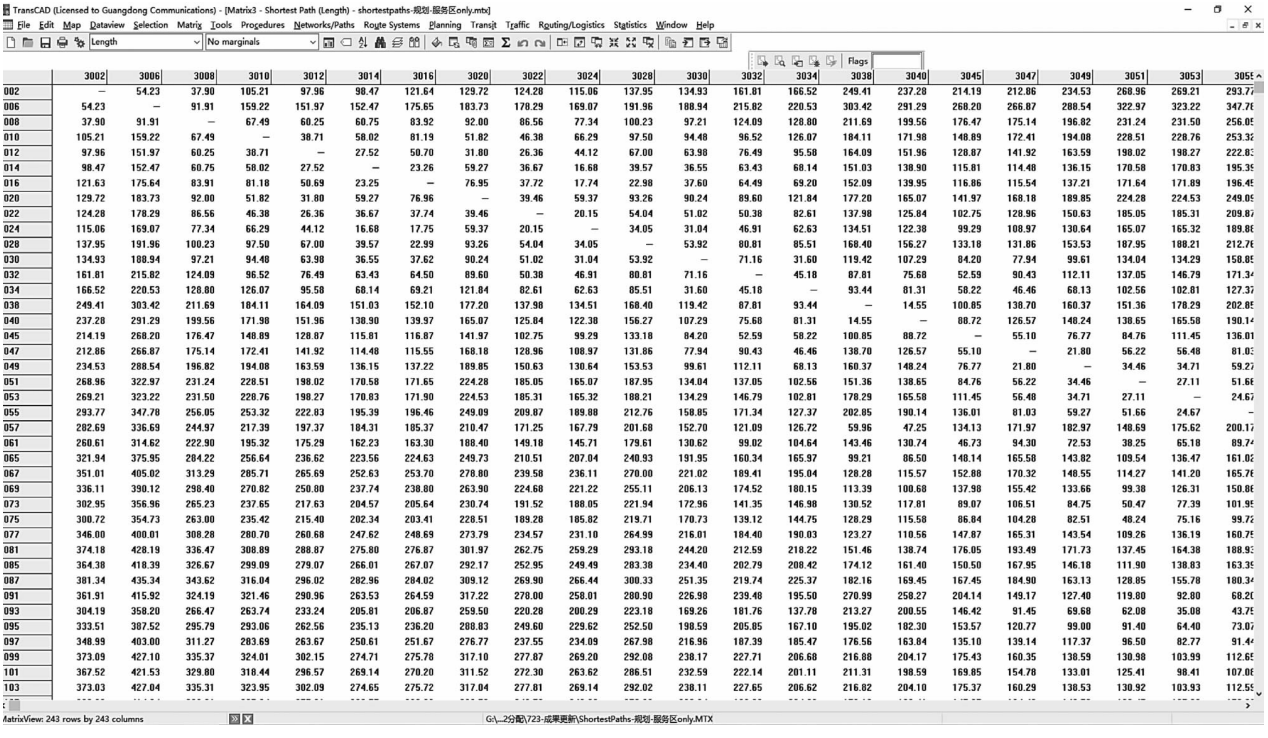


图 7　两两服务区间距矩阵界面

3.4.3　路径分布

利用 TransCAD 提取间距 > 50km 的 125 个相邻服务区组合，将其最短出行路径转化为线路图层，与高速公路网络矢量数据进行空间叠加（见图 8）。图中越粗的路段表示路径叠加的数量越多，说明该路段服务区间距偏大的问题越突出。



图 8　服务区间距 >50km 路径分布图

从分布区域来看，服务区间距 > 50km 的出行路径主要分布在珠三角地区，共 65 个（占 52%），其次分别为粤东地区 12 个（占 10%），粤西地区 6 个（占 5%），粤北地区 24 个（占 19%），跨区域 18 个（占 14%）。珠三角地区高速公路网发达，路网密度高于省内其他地区，且转换立交多，由不同路段经互通立交转换形成的出行路径更容易形成服务盲区。

服务区间距 > 50km 出行路径涉及的通道主要有：广龙高速—南二环高速、广清高速、广佛江珠高速、北三环高速、从埔高速—东二环高速—广明高速、天汕高速—汕梅高速、深汕东高速—汕汾高速等。以上通道的服务区数量偏少，服务区间距偏大，需要进一步加密建设服务区以提升服务能力，特别是对于过往车流量较大的高速公路主干线通道，应按较高的间距标准进行服务区加密。

4　结语

随着高速公路网络化程度不断提高，驾驶人员在不同路线之间的转换越来越频繁，因路线转换导致出行路径上出现服务设施盲区的问题也日益突出，应从出行路径的角度对服务区布局间距进行核查。本文提出基于出行路径的服务区间距分析方法，通过构建交通路网模型，应用计算机算法查找路网中的相邻服务区组合并计算其间距，甄别出服务区间距偏大的出行路径。采用该方法对广东省现有高速公路服务区进行间

距分析,全省共有相邻服务区组合 1 120 个,服务区平均间距为 34.9km,总体满足不大于 50km 的技术规范要求;但部分相邻服务区组合的间距偏大,经核查,间距 >50km 的服务区组合共有 125 个,其平均间距为 64.0km,超出技术规范建议值,这些出行路径主要分布在出行需求旺盛的珠三角地区,会对行车安全性和舒适性造成一定影响,应因地制宜地加密建设服务区,进一步提升路网整体服务能力。通过实例验证说明,本文提出的服务区间距分析方法能对服务区间距设置情况进行客观评价,全面准确识别路网服务设施薄弱路段,为决策部门加密优化服务区布局,提升路网服务水平提供有效支撑。

参考文献:

[1] 钟元菊,付军明,雷红尧. 湖北省高速公路服务设施规划研究[J]. 中国公路,2012(Z1):285 – 287.

[2] 伍金赟. 宁波市高速公路网服务设施布局规划研究[D]. 杭州:浙江大学,2017.

[3] 蒋贵川,易术,傅霆. 网络化条件下高速公路服务设施设置布局研究[J]. 公路,2009(2):92 – 100.

[4] 周智涛,潘兵宏,邓兵. 高速公路服务设施合理间距研究[J]. 中外公路,2014,34(6):297 – 301.

[5] 崔洪军,邢小高,梁国风,等. 基于司乘人员需求特征的服务设施间距和功能配置研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2014,33(2):108 – 112.

[6] 潘兵宏,苗慕楠,张锟. 基于广义主成分分析法的我国高速公路服务设施平均间距研究[J]. 公路交通科技,2017,34(4):108 – 114;129.

[7] 王丹. 基于等级划分的高速公路服务区布局和规模研究[D]. 西安:长安大学,2016.

[8] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程技术标准:JTGB01—2014[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

[9] 中华人民共和国交通运输部. 公路路线设计规范:JTGD20—2017[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

[10] 中华人民共和国交通运输部. 高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范:JTG D80—2006[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2006.

[11] 刘亚非. 高速公路服务设施关键技术标准研究[D]. 西安:长安大学,2012.

[12] 广东省交通运输厅. 广东省高速公路服务区布局规划(2020—2035 年)[R]. 广东:广东省交通运输厅,2020.

园林花卉在广东公路绿化中的应用

董　娜
（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：针对广东公路绿化中景观同质化、园林花卉应用成本高、功能协同不足等问题，结合“绿美广东”生态建设需求，通过抗逆性品种筛选、智慧管养、科学配置等方式，构建以低维护为导向的园林花卉应用体系，实现园林花卉景观特色性、文化标识性、功能协同性的核心价值。结合“公路 + 花卉”产业融合模式，推动绿化景观向生态经济复合体转型，为岭南特色生态廊道建设提供技术支撑。

关键词：公路绿化；园林花卉；绿美广东；交旅融合；低维护景观

0　引言

在“绿美广东”生态建设与“交旅融合”战略推动下，公路绿化逐渐从单一生态功能向“景观—文化—经济”复合功能转型。广东省作为全国花卉产业核心区，拥有顺德陈村、翁源兰花等特色产区，却面临公路绿化同质化严重、花卉应用比例不足 15% 的困境。传统绿化模式中，高维护成本、抗逆性不足等问题，制约了生态效益与经济效益的协同发展。本文通过构建低维护技术体系与多场景应用模式，探索园林花卉在提升生态韧性、强化文化标识、激活路衍经济中的实践路径，为“绿美交通”建设提供科学依据。

1　研究背景与意义

广东省公路网密度居全国首位，高速公路绿化覆盖率已达 92%，但存在物种多样性低、季相变化贫乏等结构性问题。园林花卉的多维价值亟待挖掘，如生态维度，木本花卉混交模式碳汇量为传统草灌模式的 2.3 倍；文化维度，开阳高速大槐服务区岭南果木配置使游客认知度提升 40%；经济维度，花期导航系统可带动沿线旅游消费增长 200 万元/年。当前亟需突破建植成本高、管养压力大等技术瓶颈，通过“适生品种筛选—智慧管养—产业衔接”创新链，实现生态修复与经济效益的双重提升[1]。

2　园林花卉的研究范围

广义园林花卉指所有具有观赏价值的植物类群，涵盖木本、草本、藤本等形态，包含观花、观叶、观果、观枝等观赏功能。狭义园林花卉通常特指草本观赏植物（如一二年生草本、宿根花卉、球根花卉），因其花色艳丽、栽培周期短、观赏价值集中，且与“观赏树木”形成学科分类区隔。本研究基于广义园林花卉定义，根据公路绿化品种应用情况，将园林花卉研究范围界定为：

2.1　木本花卉

观赏乔木包含观花类、观叶类、观果类乔木，可应用于互通立交、沿线服务管理中心、部分开阔的路侧等场景；

观赏灌木包含观花类、观叶类、观果类灌木，用于中央分隔带、互通立交、沿线服务设施、路侧等场景；

观赏藤本主要为观花类藤本，如常春油麻藤、龙吐珠、使君子等，多用于声屏障、挡土墙立体绿化等。

2.2　草本花卉

包含一二年生草本、宿根花卉、球根花卉，用于沿线服务管理中心、边坡、路侧花境、互通区节点景观。

3　园林花卉在公路应用场景分析

3.1　中央分隔带绿化

中央分隔带绿化需满足防眩光、引导行车视

线、缓解驾驶疲劳等核心功能，同时通过植物季相变化形成动态景观序列。传统单一绿篱景观单调，且缺乏色彩引导性。而采用园林花卉植物，可通过花色、叶色对比增强视觉警示效果，减缓视觉疲劳[2]。

中央分隔带采用的园林花卉植物主要以观花灌木、色叶灌木为主，高度控制在 0.8 ~ 1.2m，株形紧凑、耐修剪且具有一定的抗逆性。中分带较宽时，可考虑搭配开花地被植物。具体品种有：红继木、红叶石楠、金叶女真、花叶女贞、花叶假连翘、大红花、红绒球、龙船花、翠芦莉、宿根花卉类、球根花卉类。如广深高速（G4 京港澳高速广州至深圳段）中央分隔带采用红叶石楠 + 金叶女贞组合，辅以局部鸢尾点缀，形成红—黄—蓝三色韵律带，年均修剪 2 次，防眩效果达标率提升 18%（数据来源：广东省交通规划设计研究院，2021 年监测报告），整体景观效果突出。

3.2　边坡绿化

边坡绿化以固土护坡为核心，兼顾生态修复与景观效果。传统客土喷播草本易退化，且景观色彩较单调。通过木本花卉引入，可构建稳定生态群落，强化边坡景观效果。

边坡绿化根据边坡坡率、土质情况选择合适的边坡喷播工艺，边坡绿化宜采用“乔—灌—草”或“灌—草”混合的模式，并适当引入园林花卉类植物，如胡枝之、紫穗槐与波斯菊、天人菊、狗牙根混合喷播等；岩质边坡或圬工结构也可采用观赏藤本进行美化，如使君子、龙吐珠、白花油麻藤、炮仗花等；碎落台可根据宽度种植开花灌木或乔木，如勒杜鹃、洋金凤、黄蝉、丛生黄槐、细叶紫薇等。护坡道可根据情况种植观赏乔木，如宫粉紫荆、复羽叶栾树、火焰木、红花紫荆、枫香、黄花风铃木、落羽杉等。如广佛肇高速（S8 段）路堑边坡采用三角梅 + 波斯菊组合，3 年内土壤侵蚀模数从 850t/（km^2 · a）降至 210t/（km^2 · a），且花期覆盖率达 70%（肇庆市交通局，2022 年评估数据）。深汕西高速（G15 沈海高速惠州段）路堤边坡采用火棘 + 萱草组合，护坡道植被覆盖度达 95%，冬季火棘果实吸引白头鹎等鸟类，生态多样性指数提升 1.2 倍（华南植物园，2023 年调研）[3]。

3.3　互通立交绿化

互通立交绿化主要以塑造门户景观形象，通过植物空间围合引导车流转向，缓解驾驶员视觉疲劳。互通立交围合除配置常绿基调树种外，可采用观赏乔木、灌木、草本花卉等加强互通立交地域景观特色，提升门户景观形象。

观赏乔木类有木棉、大腹木棉、凤凰木、乌桕、银杏、风铃木、宫粉紫荆、红花紫荆、枫香、仪花、粉花山扁豆、黄槐等；观赏灌木类有勒杜鹃、黄蝉、红花继木、双荚槐、野牡丹、粉扑花、冬红、大红花、龙船花、美人蕉等；草本花卉有波斯菊、长寿花、天人菊、马鞭草、鸢尾等。如虎门大桥南沙互通立交采用宫粉紫荆 + 红花檵木组合，春季花期形成粉—红渐变景观，景观效果突出，同时标志牌可视距离提升至 300m（东莞市交通局，2020 年安全评估）。



图 1　边坡开花植物应用



图 2　碎落台开花植物应用

3.4　沿线服务管理中心

沿线服务管理中心绿化主要提供休憩遮荫、降噪减尘、地域文化展示功能，需区分服务区、停车区、管理中心、养护工区等空间进行植物配置。园林花卉植物的运用，能增强景观色彩，提升景观观赏性和体验感。可采用观花乔木凤凰木、木棉、澳洲火焰木、大腹木棉等作为区域点景树木，也可增加观果类如荔枝、龙眼、黄皮等体现岭南特色并加强体验感。服务管理中心观赏灌木类应用较为广泛，观赏灌木配置时宜主题树种突出并注重植物多样性搭配。一二年生花卉、宿根花卉、球根花卉等草本花卉可用于重点服务区，加强景观效果和旅游体验感。廊架、挡墙区域也可采用藤本花卉增加廊架遮荫、美化挡墙。



图 3　管理中心花境运用

如开阳高速大槐服务区种植凤凰木 32 株，夏季冠下温度比沥青路面低 6 ~ 8℃，休憩满意度提升 40%（恩平市旅游局，2021 年问卷调查）。深中通道管理中心种植使君子廊 120m，夏季廊下温度较室外低 4 ~ 5℃，员工停留时间延长 25%（中山市环保局，2023 年监测数据）[4]。

4　园林花卉在公路中运用的痛点分析

4.1　建植成本高昂：全周期投入远超传统绿化

园林花卉苗木采购成本高，且施工工艺复杂导致综合成本攀升。以广东市场为例，红叶石楠容器苗（H = 1m）单价为 35 元/株，而传统福建茶仅 8 元/株，单公里中分带绿化成本增加约 12 万元（按 500 株/km 计）。木本花卉（如黄花风铃木）长途运输死亡率达 15% ~ 20%（广东省林业局，2022 年统计），需额外补植费用。广深高速中分带采用红叶石楠 + 金叶女贞组合，单公里造价较传统绿篱高 38%。

4.2　抗逆性能不足：极端气候威胁安全与景观

开花植物抗风性弱（倒伏率较常绿乔木高 40% ~ 60%），且灾后恢复周期长。木棉、凤凰木等乔木在 12 级台风中倒伏率超 30%（湛江市公路局，2023 年台风“泰利”灾后报告），需投入应急清理费用 5 ~ 8 万元/km。部分外来引入品种耐寒性和污染耐受性不足，如北方引种品种（如紫薇）在粤北山区冬季冻害率达 25%，PM2.5 吸附效率仅 15g/m^2（韶关市环保局，2022 年监测），深汕西高速边坡火棘在 2022 年寒潮中死亡率达 18%，补植成本超 50 万元（惠州市交通局，2023 年）。

4.3　养护需求苛刻：精细化管养推高运维成本

花卉植物对水肥、修剪敏感，年均养护成本为普通绿化的 1.8 ~ 2.3 倍。观花灌木（如龙船花）需每周灌溉 2 ~ 3 次，用水量达 30L/m^2 · 月，较绿篱高 50%（佛山市市政园林局，2021 年）。部分品种修剪和更换频次较高，如大红花（朱槿）需每季度修剪以维持株形，人工成本增加 25%；一二年生草本（如波斯菊）年更换 3 ~ 4 次，单次费用约 200 元/m^2。

4.4　品种同质化严重：地域特色缺失制约文化表达

目前全省超 60% 公路项目重复使用三角梅、波斯菊等“网红”品种，未能体现岭南生态多样性。珠三角地区 85% 服务区种植凤凰木 + 勒杜鹃组合（广东省文旅厅，2023 年调研），导致景观辨识度下降。粤北山区公路绿化中乡土植物（如杜鹃、山茶）应用率不足 10%，未能衔接丹霞地貌生态特征（韶关学院，2022 年研究）。

4.5　功能协同不足：生态效益与安全需求冲突

部分园林花卉缺少科学性配置，忽视功能协同性，如吸引鸟类增加撞车风险，或过度景观化干扰行车视线，如深汕西高速火棘果实吸引鸟类集群，年均鸟撞事故增加 12 起（华南濒危动物研

究所,2023 年)。植物配置色彩配置过于鲜艳,造成视觉干扰,如广佛肇高速波斯菊花期色彩过艳,导致驾驶员分神投诉率上升 8%(肇庆市交警支队,2022 年)[5]。

5　结论与建议

5.1　结论

园林花卉在公路绿化中的核心价值为景观特色性、地域标识性、功能协同性。园林花卉的运用能增加绿化色彩、凸显景观性,加强区域景观特色。岭南特色品种(荔枝、木棉)的应用,使公路绿化成为地域文化载体(如开阳高速大槐服务区游客认知度提升 40%),凸显地域标识性。木本花卉(如三角梅、胡颓子)与草本花卉(波斯菊、萱草)的组合,可同步实现固土护坡、安全警示及生态增益,实现绿化的功能协同性。

5.2　建议

5.2.1　深化低维护技术研发与标准化应用

(1)定向选育抗逆品种

定向选育耐湿热、抗污染、低修剪频率的植物品种,可优先推广地被菊"玉翎管"、自播型波斯菊、抗病型"岭南金菊"等,有效降低后续养护成本。

(2)构建智慧管养体系

可通过精准作业、动态调控、材料创新等,构建智慧管养体系,克服管养痛点。如采用无人机 AI 施肥、土壤湿度传感器联动滴灌;推广椰糠—稻壳炭混合基质用于种植土等。

5.2.2　强化地域特色品种产业化应用

通过建立"广东公路适生园林花卉名录",重点开发优质品种,如三角梅、龙船花、大红花等。结合当地园林花卉产业特色品种,推行"订单化生产—标准化出圃—地方性应用"链条,降低苗木采购成本,同时增强地方景观特色性。

5.2.3　创新"公路 + 花卉"融合模式

利用互通立交区、管理中心、养护工区等闲置用地建设生产型苗圃,降低园林花卉苗木采购成本。开发"公路花卉盲盒",如与翁源兰花产业园合作,推出车载盆栽(如迷你蝴蝶兰)售卖,增加公路花卉营收用于后期绿化管养。打造"花期导航"系统:通过高德地图标注蓝花楹(3 ~ 4 月)、凤凰木(5 ~ 6 月)盛花路段,引导自驾游,促进旅游经济发展。

6　结语

在"绿美广东生态建设"和"交旅融合"的背景下,园林花卉通过科学性的品种选择和种植,在广东公路绿化中能实现景观特色性、地域文化标识性、功能协同性等景观价值。通过定向品种筛选、智慧管养体系的构建、设置自有苗木基地、创新花卉营收模式等措施,可有效克服园林花卉种植成本高、管养压力大等痛点。后续可通过重点项目"智慧园林花境"示范段建设,总结经验并逐步推广,推动公路从"通行载体"向"生态景观廊道"转型,助力广东"绿美交通"战略落地。

参考文献:

[1]彭娟. 论公路项目绿化工程的生态恢复及养护技术[J]. 商业 2.0(经济管理), 2021(14):0339 – 0340.

[2]王丽娟. 低维护景观设计理论与实践[J]. 中国园林, 2021,37(5):12 – 16.

[3]肖冰,王先杰,孙冰,等. 广东省高速公路的绿化现状与发展趋势[J]. 中国城市林业, 2005,3(2):50 – 53.

[4]陈晓阳. 岭南园林植物配置与生态效应研究[J]. 南方建筑,2022(3):45 – 50.

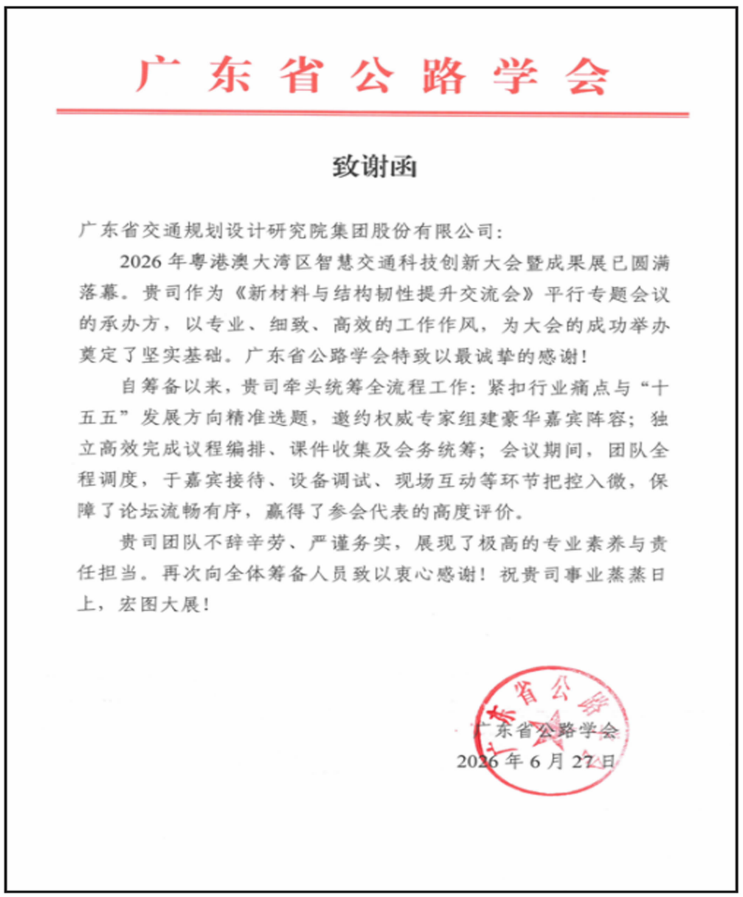
[5]刘淑锋. 方山县抗逆性园林植物新品种的培育技术[J]. 特种经济动植物,2024,27(9):140 – 142.

深耕结构新材料　聚力交通强基建

——公司创新成果亮相 2026 粤港澳大湾区智慧交通科技创新大会

6 月 24 日至 26 日，2026 粤港澳大湾区智慧交通科技创新大会暨成果展在广州隆重举办。本次大会以"数智融合，引领交通新未来"为主题，是华南地区规模、规格双高的交通行业年度标杆盛会。公司作为广东省公路学会新材料与结构专业委员会依托单位，牵头筹办"新材料与结构韧性提升论坛"，同步在展会搭建专属展台，集中展出高性能结构与新材料领域系列科创及产业化成果，成为本届大会一大亮点。会后，公司获广东省公路学会专函感谢。





广东省公路学会

致谢函

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司：

2026 年粤港澳大湾区智慧交通科技创新大会暨成果展已圆满落幕。贵司作为《新材料与结构韧性提升交流会》平行专题会议的承办方，以专业、细致、高效的工作作风，为大会的成功举办奠定了坚实基础。广东省公路学会特致以最诚挚的感谢！

自筹备以来，贵司牵头统筹全流程工作：紧扣行业痛点与"十五五"发展方向精准选题，邀约权威专家组建豪华嘉宾阵容；独立高效完成议程编排、课件收集及会务统筹；会议期间，团队全程调度，于嘉宾接待、设备调试、现场互动等环节把控入微，保障了论坛流畅有序，赢得了参会代表的高度评价。

贵司团队不辞辛劳、严谨务实，展现了极高的专业素养与责任担当。再次向全体筹备人员致以衷心感谢！祝贵司事业蒸蒸日上，宏图大展！

广东省公路学会

2026 年 6 月 27 日

自广东省公路学会新材料与结构专业委员会成立以来，依托公司高性能结构联合创新中心平台，持续发力新材料、新型结构在公路工程场景的融合创新与落地应用。本次展会期间，专委会联合创新中心联动产业链上下游企业打造专题展示区，集中亮相减隔震支座、降噪伸缩缝、新型防船撞装置、智能灾备系统等核心创新产品，全方位展示团队在高性能材料研发、新型结构体系搭建、先进建造工艺攻关等方面的完整技术转化实力，吸引众多行业主管部门、业主单位、设计及施工企业驻足参观、深入交流。





展会现场，广东省交通运输厅、中国公路学会等领导莅临展台视察指导。领导一行细致了解新材料、新结构等相关核心产品技术原理、工程应用案例与落地成效，高度认可创新中心“科研—技术—产品”一体化闭环转化模式。不少观展单位现场沟通技术细节，就产品落地、项目联合研发等达成初步合作意向。



6 月 25 日下午，由省公路学会新材料与结构专业委员会、公司高性能结构联合创新中心联合承办的“新材料与结构韧性提升论坛”顺利举办。本次论坛由专委会秘书长、公司第二设计院副院长徐东进主持，专委会主任、公司总工程师孙向东作开幕致辞。孙向东表示，论坛旨在搭建高水平行业交流平台，汇聚高校科研院所、勘察设计单位、头部施工企业及新材料研发厂商，围绕吸能超材料、低碳复合板材、降噪构件、高性能外加剂等前沿技术成果，从基础机理、结构优化到工程应用落地开展全链条研讨。会上，与会代表聚焦超材料结构船撞耗能技术、桥梁降噪新型伸缩装置、纳米晶核超早强外加剂、交通附属工程绿色环保材料、交通噪声综合治理、模块化桥梁建造技术等前沿课题开展深度研讨，业内专家、企业代表齐聚分享交流，充分彰显产学研用深度协同的创新动能。





此次深度参与粤港澳大湾区智慧交通科技创新大会，是公司高性能结构联合创新中心锚定工程新材料、新型结构、创新装备赛道，坚持以科技成果产业化为核心导向，打通“科研—技术—产品”转化链条的阶段性成果集中展示。下一步，中心将以本次大会为新起点，持续深耕高性能结构与新材料核心领域，进一步深化产业链上下游协同联动，加速更多前沿科创成果落地重大交通基建项目，以广东交通科创力量，助力交通基础设施实现高性能、可持续高质量发展。



（报道者：科技质量部、第二设计院、高性能土木工程结构联合创新研究中心）

市政工程信息化应用技术交流培训暨第八届“市政杯”BIM 应用技能大赛宣讲会

一、概述

2026 年 7 月 16～18 日，中国市政工程协会在青岛市举办了“市政工程信息化应用技术交流培训暨第八届市政杯BIM 应用技能大赛宣讲会”。本次会议以“筑梦市政　质赢未来”为主题，来自全国各地的市政建设、设计、施工、运维单位技术负责人、信息化部门负责人、科技企业代表及高校专家学者等参加了此次大会。会议围绕市政工程信息化政策解读与“十五五”展望、从 BIM 到 CIM 的数字化转型路径、AI + BIM 全场景智能化解决方案、数据资产化与竣工交付标准、5G + 无人机/机器人智慧巡检等议题展开了深入研讨，并组织了实地观摩青岛市东岸产业园区基础设施综合改造项目（双山隧道及南延配套工程）数字化平台。



二、专题交流研讨

17 日上午，北京市市政工程设计研究总院有限公司数字智慧院院长方恒堃以《人工智能 + 市政基础设施的实践与探索》为题，分享了 AI 技术在市政工程领域的应用前景与实践经验。广联达科技股份有限公司、斗栱云智能科技有限公司分别就市政工程数字化解决方案和工程项目管理数字化最佳实践进行了交流。

17 日下午，青岛市交通科学研究院 OPC 工作组辛化周结合落地案例，分享了《从 BIM 到 CIM，从正向到翻模——基于落地案例谈基础设施数字化转型的路径与思考》。中交建筑集团有限公司 BIM 技术中心（华东）主任曹海介绍了《数智筑园 · 大跨度悬挑钢构 BIM 设计建造一体化协同实践》。华昕设计集团有限公司/华晞科技技术总监柴宁宁、中建八局第二建设有限公司业务经理梁蓉、悉地（苏州）勘察设计顾问有限公司工程数智中心项目经理袁超，分别就 AI 领航市政新质生产力、市政改造项目一体化智能巡检、BIM 技术综合应用等主题进行了交流分享。

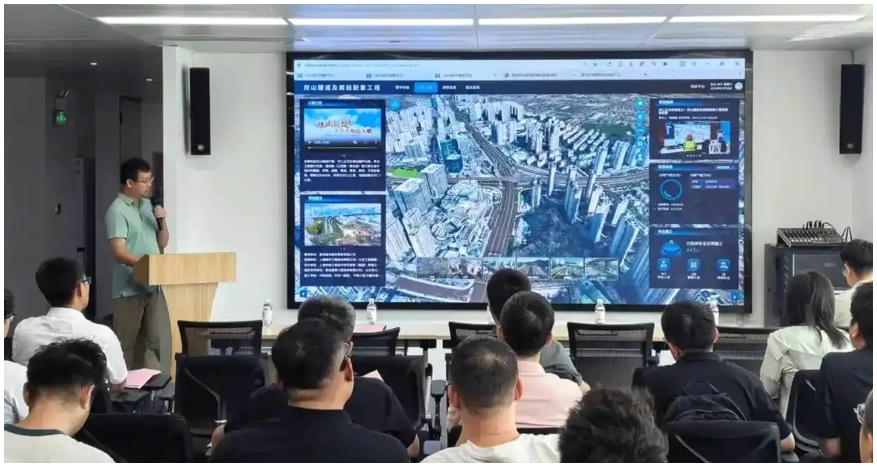
18 日上午，中国市政工程西北设计研究院有限公司陕西分公司数创中心主任张泽林对第八届“市政杯”BIM 应用技能大赛进行了详细介绍，包括成果申报注意事项、报名系统操作答疑、评

审细则解读及历届获奖成果介绍。济南城建集团有限公司科技公司副经理蒋周潼、浙江数宇交通科技有限公司副总经理卢哲颖、武汉汇科智创科技有限公司解决方案总监张庭燕、青岛城发数字科技有限公司副总经理宋福明分别就工程全生命周期协同应用、隧道 BIM + AIoT 数智化改造、AI + CIM 赋能运维一体化、市政工程数字建管平台迭代升级等议题进行了深入交流。



三、项目观摩

18 日下午，会议组织参会人员实地观摩了青岛市东岸产业园区基础设施综合改造项目（双山隧道及南延配套工程）数字化平台。该项目作为市政工程数字化建管的典范，展示了 BIM 技术、数字化管理平台在大型市政项目中的深度应用成果。



四、小结

本次会议汇聚了行业顶尖专家和工程技术人员，围绕 BIM、CIM、人工智能、数字孪生等新技术在市政工程领域的应用进行了广泛而深入的交流。从政策解读到技术落地，从大赛宣讲到项目观摩，会议内容涵盖了市政工程信息化的全链条，为行业同仁提供了宝贵的经验分享与技术参考。

值得一提的是，本次会议特别关注了 AI 技术对市政行业的深度赋能——从方案设计阶段的 AI 辅助快速出图与造价一体化，到施工阶段的智慧工地管理，再到运维阶段的 AI + CIM 一体化养护，人工智能正在重塑市政工程全生命周期的工作范式。此外，第八届“市政杯”BIM 应用技能大赛的宣讲也为行业提供了成果展示与能力提升的重要平台。这些前沿理念与实践成果，对推动公司市政工程数字化能力建设、提升 BIM 技术应用水平具有重要的借鉴意义。

（报道者：傅海堂）

中国建筑学会 2026 年工程勘察学术大会报道

9 月 9 日至 9 月 12 日，中国建筑学会 2026 年工程勘察学术大会在山西太原顺利召开。本次会议汇聚国内多位全国及各省勘察设计大师级勘察设计行业知名专家、行业协会领导、高校地质学科教授、各省交通设计院技术带头人、一线勘察科研骨干等参会。围绕岩溶区公路建设地质风险防控、物探技术创新、数字化勘察转型开展研讨交流，多份行业最新工程案例与科研成果在会上发布。

我院工程勘察院物探所所长周孝宇受邀参会，并作题为《SLAM 三维建模、微动与地质雷达在公路岩溶塌陷勘察中的综合应用研究》专题汇报，对外展示我院在公路岩溶塌陷综合勘察领域的科研积累与工程实践成果。广东碳酸盐岩分布广泛，粤北、粤西山区高速频繁穿越岩溶发育区，隐伏溶洞、土洞易诱发路基失稳、路面塌陷，是公路建设与运营养护的重难点问题。汇报结合省内多条在建、运营高速公路工程实例，系统阐述 SLAM 三维建模 地质雷达 微动探测一体化勘察体系，构建“浅层精细识别 深部隐患排查 空间形态可视化”技术路径，实现 0～40m 深度岩溶隐患全覆盖探测。实践证明，多技术融合方案有效提高岩溶异常识别准确率，可实现运营道路不中断交通作业，为塌陷风险分级、工程治理设计提供量化三维地质支撑。

本次大会设置多场主题报告，内容覆盖面广、实践性强。国内高校专家分享了岩溶塌陷机理、地下溶洞演化模拟等基础理论研究成果；兄弟省级设计院技术专家分别围绕岩溶区公路勘察标准建设、充填型溶洞物探识别难题、公路地质灾害应急处置流程、勘察数字化成果交付与 BIM 融合应用、复杂山区公路综合物探质量管控等主题做交流汇报。

此次参会既是我院物探专业技术实力的对外展示，也是一次高效的行业对标学习。下一步，工程勘察院将充分消化吸收本次会议的新理念、新方法，结合广东区域岩溶地质特点，优化完善综合勘察作业流程，持续推进勘察数字化技术落地，为全省公路工程建设及安全运营提供坚实技术保障。

（报道者：周孝宇）



