

城镇密集区公路桥群绿色建造创新探索

刘学欣¹, 曾磊^{2*}, 孟园英², 郝国郡³, 陈瑶¹

(1. 交通运输部科学研究院, 北京市 100029; 2. 广州市高速公路有限公司, 广东 广州 510290;

3. 广东省交通运输规划研究中心, 广东 广州 510168)

摘要:为提升城镇密集区公路绿色建造水平,结合南(沙)一(中)高速的项目特点及工程需求,将绿色发展理念贯彻到公路设计、施工、运营、养护和管理的全寿命周期,重点研发了公路桥群工业化智能建造、公路资源综合利用、滨海湿地公路环境保护与粤港澳大湾区交旅融合设计等四类十项创新技术。其中,预制梁环形生产线、非标准八车道等为项目特色首创技术,初步构建了典型城市群绿色桥群公路技术体系,并对未来重点发展方向进行了展望,以期丰富和完善粤港澳大湾区绿色公路技术体系,为其他高度城镇化区域可持续发展提供参考。

关键词:道路工程;城镇密集区;绿色公路;南中高速;智能制造;资源节约;环境友好;交旅融合

中图分类号:U412

文献标志码:A

Innovative Exploration for Green Construction of Highway Bridges in Dense Urban Areas

LIU Xuexin¹, ZENG Lei^{2*}, MENG Yuanying², HAO Guojun³, CHEN Yao¹

(1. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China; 2. Guangzhou Expressway Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong

510290, China; 3. Guangdong Transportation Planning Research Center, Guangzhou, Guangdong 510168, China)

Abstract: In order to improve the green construction level of highways in dense urban areas, the project characteristics and engineering requirements of the Nansha-Zhongshan Expressway were analyzed, and the concept of green development was implemented in the whole life cycle of highway design, construction, operation, maintenance, and management. The research and development of ten innovative technologies in four categories were highlighted, including industrial intelligent construction of highway bridges, comprehensive utilization of highway resources, environmental protection of highways in coastal wet areas, and integrated design of transportation and tourism in the Guangdong-Hong Kong-Marco Greater Bay Area. Among them, the prefabricated beam annular production line and non-standard eight-lane were the unprecedented technologies first used in the project. In addition, the technical system of green highway bridges in typical urban agglomerations was initially constructed, and the key development directions in the future were prospected to enrich and improve the technical system for green highway construction in the Guangdong-Hong Kong-Marco Greater Bay Area. This provided a reference for the sustainable development of other highly urbanized regions.

Keywords: road engineering; dense urban area; green highway construction; Nansha-Zhongshan Expressway; intelligent manufacturing; resource conservation; environmental friendliness; integration of transportation and tourism

0 引言

随着中国城镇化建设从快速发展转向高质量发展,绿色基础设施建设成为城市群可持续发展的重

要内容^[1]。绿色公路是交通基础设施领域践行国家生态文明战略的具体抓手,一直受到行业的高度重视。交通运输部在“十二五”期间就设立了鹤大高速等20个绿色公路主题性项目开展试点^[2],积极探索

收稿日期:2024-01-10

基金项目:交通运输行业重点科技项目(编号:2021-MS5-123)

作者简介:刘学欣,男,硕士,正高级工程师.E-mail: nkone@sina.com

*通信作者:曾磊,男,博士,教授级高工.E-mail: 16922886@qq.com

绿色公路创建模式,随后发布了《关于实施绿色公路建设的指导意见》^[3]和《绿色公路建设技术指南》(DB14/T 2315—2021)^[4],并设立长益高速^[5]、万洋高速^[6]等 33 个绿色公路典型示范工程,旨在指导绿色公路建设全面开展。陕西省等省份也设立了绿色公路示范工程^[7],取得了很好的试点示范效果。后期,交通运输部又印发《绿色交通“十四五”发展规划》^[8],提出要优化空间结构,着力深化绿色公路建设。

广东省作为中国高速公路通车总里程第一大省,历来重视绿色公路建设,在中国率先发布了《广东省推进绿色公路建设实施方案》和《广东省绿色公路建设技术指南(试行)》,先后设立了两批绿色公路典型示范工程建设^[9]。在具体项目层面,依托广梧高速^[10-11]、广佛肇高速^[12]、潮惠高速^[13]、惠清高速^[14]、云茂高速^[15]等循序渐进地开展了山区绿色公路建设探索,在机荷高速^[16]、河惠高速进行了改扩建公路绿色转型实践,并且凭借港珠澳大桥^[17-18]、深中通道^[19]等超级工程引领了跨海交通集群工程绿色公路创新技术的国际风向,但目前对于粤港澳大湾区更普遍的城镇密集区绿色公路建设的经验和案例相对缺乏。

南中高速是国家高速公路网 G2518、粤高速 S78 的重要组成部分,起于南沙港快速路的新垦互通,终于新隆枢纽互通,与江中高速顺接,并与广澳高速交叉,通过万顷沙互通接深中通道,路线总长 32.4 km,采用双向六车道,设计速度 100 km/h,批复概算 200.48 亿元,于 2020 年开工建设,计划 2024 年建成通车。项目地处粤港澳大湾区核心位置,土地资源高度稀缺,路线途经区域内永久基本农田保护区分布广、连片程度较高,保护率达 80% 以上,是未来城市群公路全线高架高速发展新模式的典型代表。项目穿越了小榄水道、鸡鸦水道和两处饮用水源二级保护区,途经万顷沙海洋特别保护区和南沙湿地等多处环境敏感点,分布有南沙水鸟世界、南沙湿地、滨海红树林森林公园、百亩葵园等丰富的大湾区特色旅游资源,开展绿色公路建设具有重要的示范意义和标杆作用,已被列为广东省第二批绿色公路示范工程。因此,在新时期开展全生命周期的绿色公路建设要求下^[20],结合南中高速沿线人文和自然资源,从智能制造、资源节约、环境友好和交旅融合等方面进行创新探索,以期树立粤港澳大湾区公路高质量发展典范,为其他典型城市群地区公路绿色化建设

提供参考借鉴。

1 公路桥群工业化智能建造

1.1 预制梁环形生产线

南中高速设计制梁总量近 13 000 榀,若采用传统制梁工艺,不仅占地多,而且生产周期长,将严重制约施工进度。为解决预制梁板生产组织问题,南中高速借鉴生产车间流水线作业模式,研发了预制梁环形生产线(图 1),包括混凝土运输系统、自行式台车、固定液压模板、智能蒸养系统、专用回路、横移换轨摆渡车等。混凝土运输系统通过加高定制混凝土搅拌站及设置鱼雷罐环形轨道,实现多个鱼雷罐体同时运输;每条生产线配置 4 个自行式台车,可实现混凝土浇筑、蒸气养生、张拉压浆、移运 4 个主要工序同步流水作业,确保每条线每天产能 1 榀;侧模采用液压不锈钢模板整体拆合模,作业人数减少 22%,梁表面光洁度可达镜面效果;智能温控蒸养系统采用天然气养生,使单片梁养生周期从 10 d 降至 1 d,混凝土抗压强度 24 h 可达标准养护 28 d 水平;每 4 条生产线中间设置 1 条专用回路,使自行式台车在生产线循环运转,大幅提升了台座利用率和生产效率;横移换轨摆渡车配备液压顶升系统,将自行式台车顶升,完成横移换轨后放下台车。

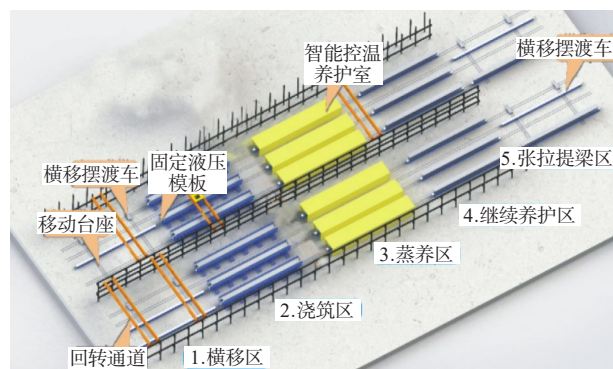


图 1 桥梁环形生产线工艺

Figure 1 Bridge annular production line process

采用人工智能、工业机器人、毫米级数控加工设备、PLC 控制等集成钢筋智能加工云系统,实现钢筋智能下料与加工、智慧配送与管理(图 2),比传统钢筋加工降低人工 400%、工效提高 300%。采用遗传算法自动优化配料,使钢筋切割按长短科学搭配,实现自动套料,材料损耗率降低 10% 以上。采用智能排产与存梁系统,按施工顺序合理安排制梁,随时查

询制梁进度,实现梁场智能管理。依托环形生产线建立永久桥梁生产研发基地,未来还将服务于周边交通建设及产业发展。



图2 钢筋下料智能优化

Figure 2 Intelligent optimization of steel bar unloading

1.2 钢箱梁智能制造

为提高钢箱梁制作水平,南中高速通过各类自动化、智能化的生产线和专用胎型模具使用,构建以板材智能下料切割、板单元智能焊接、节段智能总拼、钢箱梁智能涂装以及智能管控系统为核心的“四线一系统”智能制造新模式。板材智能切割生产线,通过下料设备与工控网的互联管理,实现设备状态采集、作业状态反馈、自动分解套料、切割任务远程下发、工时物量统计分析等功能,完成智能喷码划线、智能切割与坡口开制;采用板单元智能焊接机器人,建立焊缝地图,集成焊接缝设计、实施结果与验收等信息,实时控制施焊过程参数,判断焊接结果与焊接稳定性,实现重要焊缝焊接质量永久可追溯;利用3D测量技术采集几何参数,自动生成三维实体模型,与BIM模型拟合,对比检查修整,模拟试装验证,提高钢箱梁安装精度;外表面喷砂采用小车式喷砂机器人,外表面热喷涂采用轨道式机器人(图3),喷涂质量和效率大幅提升。智能管控系统融合了下



图3 钢箱梁外表面智能喷涂

Figure 3 Intelligent spraying on outer surface of steel box girder

料、加工、拼装、涂装等多个生产环节的数据,能从系统读取生产计划和工艺参数,跟踪零部件转序过程,自动进行齐套检查,实现准确调度,智能排产。

1.3 多功能智能造塔平台

为提高南中高速百米高塔的建设品质,项目综合筑塔机和液压自爬模体系的优点并引入信息化技术,研发了多功能智能造塔平台,主要由一体化模架系统、智能布料系统、智能养护系统及智能控制系统等组成。研发了造塔平台多功能一体化模架系统(图4),设伸缩平台适应塔身截面收缩,具备塔身截面及弧形段自适应功能,实现整体爬升自动纠偏及调整(图5),可显著提高爬升效率、精度,增强稳定性及抗风能力;研制了3D打印智能浇筑系统,使布料机可根据设定的轨迹及速度自动化布料浇筑,提高浇筑质量及效率;发明了混凝土喷雾智能养护系统,可在塔柱侧面帷幕封闭的条件下智能喷雾养生,提高养护质量并避免水资源浪费;建立了结构状态及作业过程智能控制系统,对千斤顶油温油压、架体应力及变形、混凝土温控、环境参数及作业人员异常情况实现远程实时化、可视化监测,实现智能监测及智能控制。多功能智能造塔平台将桥塔高空现场施工打造为竖向移动工厂,将绝大部分钢筋绑扎转入地面工厂,将施工全过程的人、机、料、物、法、环等要

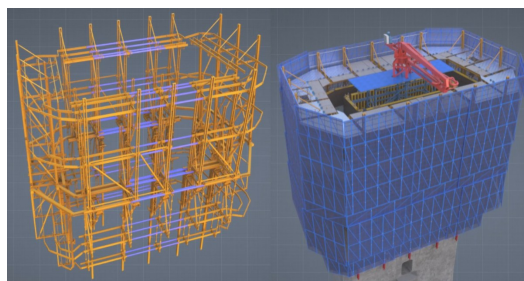


图4 一体化模架系统构造

Figure 4 Integrated mold frame system construction

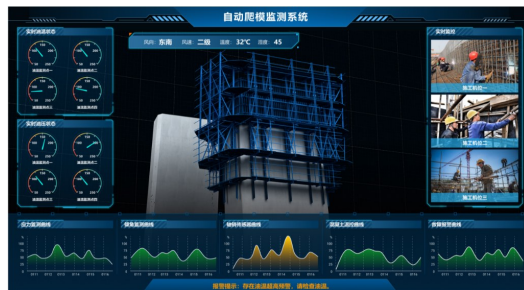


图5 自动爬模监测

Figure 5 Automatic climbing monitoring

素进行全方位实时监测控制,提高索塔施工效率,增强索塔施工安全,提升索塔品质。

2 城镇区公路资源综合利用

2.1 通道资源集约利用

项目沿线城镇高度密集,人口密度大,土地开发程度高,路网密集,从立体空间和平面空间两方面着手,最大限度利用有限的通道资源。

为充分利用市政道路上方空间,通过在市政道路中央分隔带布墩,采用中央墩大悬臂结构(图6),与地方辅道同步施工,推动高速公路和地方道路上下分层、共同建设,为高速公路与地方道路和地方规划协调统一开创了新发展方向,实现通道资源共享,助力构建粤港澳大湾区综合立体交通网络。

考虑到与南中高速相接的道路现状或规划基本为双向八车道及以上,为最大限度发挥高速公路走廊的通行能力,从交通特性、运行速度、行驶轨迹、行车安全性等方面开展了3个非标准八车道横断面方

案(表1)综合比选,最终确定方案是通过压缩右侧硬路肩以增加一条车道的方案3,横断面设置满足标准要求,交通特性更优,虽然损失部分外侧车道宽度,但保障足够的硬路肩宽度,保证外侧车辆自由流速度,为行车提供相对高的侧向余宽,为驶出行车道车辆提供恢复正常行驶更大的容错空间,也为故障车辆紧急停车提供相对高的部分宽度(图7)。该方案在受主线桥梁总宽度制约情况下,充分提升项目通行效率,有效缓解未来通行服务压力。



图6 中央墩大悬臂结构

Figure 6 Large cantilever structure of central pier

表1 非标准八车道横断面比选

Table 1 Comparison and selection of cross-sectional for non-standard eight-lane

方案	设计速度/ (km·h ⁻¹)	中央分隔 带宽度/m	左侧路缘带宽 度+C值/m	第一车道 宽度/m	第二车道 宽度/m	第三车道 宽度/m	第四车道 宽度/m	右侧硬路肩 宽度/m	右侧土路肩 宽度/m
1	100	1.5	0.75	3.5	3.5	3.75	3.75	1.25	0.5
2				3.5	3.5	3.50	3.75	1.50	0.5
3				3.5	3.5	3.75	3.50	1.50	0.5

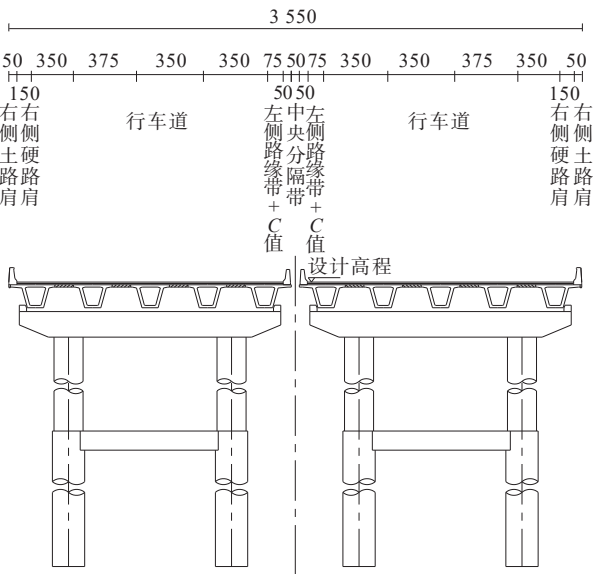


图7 选定的双向八车道横断面方案(单位:cm)

Figure 7 Selected two-way eight-lane cross-section scheme (unit:cm)

2.2 土地资源节约设计

在南中高速前期规划、设计阶段,充分考虑了大湾区寸土寸金的实际情况,并优化设计方案,最大限度节约土地资源。

在工可阶段,从占地规模、土地类型、维持地块完整性等方面对项目起点和终点进行充分论证,按照减少地块切割、减少拆迁和减少总体建设规模原则,主线长度由35.5 km优化至32.4 km,共减少占地约346 666.666 7 m²。原方案主线约15 km路段及万顷沙支线约5 km可做路基,但最终选择了全线架设桥梁方案,虽然增加了建设投资,却可减少占地约599 333.333 3 m²。

在初设阶段,将工可设计的3个互通(图8)设计优化为双层T形+半T形复合枢纽互通(图9),并充分利用立交范围内匝道空隙布设匝道,实现三车道匝道及三车道出入口综合使用,将项目建设对周



图8 新垦—福安枢纽互通工可方案

Figure 8 Construction feasibility scheme of Xinken-Fuan hub interconnection



图9 新垦—福安枢纽互通初设方案

Figure 9 Preliminary scheme of Xinken-Fuan hub interconnection

边环境与土地的影响降到最低,共节约占地约183 333.333 3 m²。此外,项目施工便道共选择利用国省道和地方既有道路19.45 km。

2.3 装配化临建设施

公路施工临建设施作为工程建设前置工程,其建设速度与使用便捷性直接影响整个工程的施工效率。南中高速建设过程中的房屋、便道、便桥等临建设施均采用“搭积木”式的装配化建设,用后可拆除再利用。项目驻地办公楼、住宿楼、附属用房均采用打包式箱房,箱房模块化设计成标准零部件,装饰、装潢以及配套功能全部在工厂预制完成,现场组装或者整体吊装到位即可入住,平均缩短工期20 d,还可提供舒适便捷的工作生活环境。施工便道采用装配式混凝土路面,水上施工钢栈桥(图10)采用装配式结构,提前在工厂生产,运送至现场拼装,使用后拆除再次利用,平均每跨可节省1 d工期,而且还可保证便道质量,提高资源集约利用水平。



图10 装配式施工平台与钢栈桥

Figure 10 Prefabricated construction platform and steel trestle bridge

3 公路与滨海湿地环境和谐共生

3.1 施工期水环境保护

为保障沿线饮用水源保护区、红树林、湿地公园及海洋保护区等敏感水环境,项目采取了一系列技术措施:涉水桥墩施工先用钢管圆筒套住桥墩,在钢管外围设置气泡生成管道,以一定频率通入压缩空气形成密集气泡产生扰动、声响及低频振荡,以恐吓、阻拦水生生物接近,并避开底栖生物繁殖期、鱼类产卵期、浮游动物快速生长期时段等作业;通过设计优化采用高架桥方案,减少占用红树林树种影响范围约66 500 m²,施工前对桥梁桩基位置精准放线,对桩基位置处的红树林物种进行移植;在湿地公园区域施工便道两侧坡脚处,纵向搭设高出水面50 cm的围蔽木桩(图11),在木桩内侧挂设透水土工布,对路面径流净化处理后再进入湿地区域,有效防止水质污染;桥梁泥浆采用泥浆脱水技术,首先投加脱水剂、脱色剂等进行两次脱水处理,再加入固化剂、絮凝剂进行固液分离与浓缩,浓缩泥浆脱水后压滤成泥饼,清液回收利用。



图11 湿地路段防水木桩围蔽

Figure 11 Waterproof wooden pile enclosure for wetland road sections

3.2 高架桥排水生态化设计

由于项目区域降雨量大,沿线河网密布,鱼塘众

多,跨越海域,全线高架结构综合防排水要求高,因此开展了排水差异化专项设计。对跨越小榄水道、鸡鸦水道等地表水Ⅱ类水体、万顷沙海洋保护区等水环境敏感路段采用智能化水环境风险防控技术,突发环境风险事故时通过监控中心远程切换阀门,让泄漏危化品流入事故沉淀池;正常降雨时初期雨水收集并经隔油沉淀后,定期排空,确保事故时有足够的应急容积。跨越南沙湿地公园路段,采用应急池+人工湿地处理工艺,既可有效净化桥面径流雨水,又可提升路域景观效果。互通立交环内因地制宜设置生态塘,可实现立交范围排水汇集贮存,而且与塘中水生植物、鱼类、水鸟等共同构成湿地生态系统,实现公路建设与自然环境和谐统一。

4 大湾区核心区交旅融合发展

4.1 桥梁景观设计创作

南中高速是大湾区核心地带连接广州和中山两大城市的重要高速公路,项目建设应考虑将沿线旅游资源串联互动,展示粤港澳大湾区高质量发展的时代气息。在项目建设过程中,开展了专项景观设计提升,提取南海丝绸之路、粤绣、醒狮、中山故里等地域文化元素,以“七星联珠,双子耀湾”为设计主题,两座特大斜拉桥犹如绣花针,将七大重要工程节点串联一线,助力打造湾区特色地标性工程(图12)。



图12 全线景观设计构思

Figure 12 Whole landscape design concept

横门西特大桥为中国国内最大跨径的独塔双索面斜拉桥,主跨(390+324)m,索塔利用硬朗直线由底部收束至桥面舒张,于桥塔中部汇聚形成“宝瓶”,造型简洁、线条柔美,颇具浑然天成之姿(图13)。

洪奇门特大桥为主跨520m的大跨度双塔双索面半漂浮体系钢箱梁斜拉桥,主梁采用扁平流线形整幅式钢箱梁,斜拉索采用扇形布置,空间双索面,A

形塔设计灵感源自水滴和木棉花,从水滴形态抽取曲线造型元素,融入木棉花元素进行桥塔塔头设计,形如木棉花开,造型轻巧活泼、挺拔秀美,寓有“润泽湾区”之意。



图13 横门西特大桥效果图

Figure 13 Rendering of Hengmen West Grand Bridge

4.2 服务区旅游服务功能拓展

万顷沙服务区是南中高速唯一的服务区,是连接深中通道的前站,毗邻2025年粤港澳全运会主场馆等超大型城市综合体,地理位置非常重要,它具备得天独厚的条件,使得服务区能够充分发挥其旅游服务拓展功能。服务区周边南沙水鸟世界、南沙湿地、红树林森林公园、百亩葵园等旅游资源丰富,可提供丰富多样的旅游体验。万顷沙服务区建筑设计充分结合海边渔村生活场景,采取拟生建筑外观,对南沙海上岛屿元素进行抽象演变,简化提取岛屿自然形态,融入建筑外观,形成与周边环境相融合的浪漫景观,实现人与生态和谐共生的同时,彰显浓郁的地域文化气息(图14)。服务区计划打造集休闲、娱乐、智能停车、新能源利用及旅游集散中心等服务于一体的商业综合体,将服务区建设成为融入湿地景观的生态服务区、周边旅游资源的展示窗口、公路旅游的网红打卡地,促进路衍经济发展,树立广东省交旅融合典范。



图14 服务区岛屿拟生建筑设计概念图

Figure 14 Conceptual design of simulated architecture of island in service area

5 结论

(1) 随着《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》颁布实施,对城镇密集区绿色公路建设提出了新的要求,除了考虑常规的生态保护、污染防治、节能减排、品质提升等内容外,更要高度关注国土空间立体综合利用、公路与自然和谐发展、交通与旅游、新能源融合发展等方面,赋予绿色公路更加丰富的内涵,成为交通行业落实国家生态文明战略的重要抓手。

(2) 南中高速以新发展理念为指引,开展了构建城市群绿色公路技术探索实践,初步构建了工业化智能建造、资源综合利用、湿地环境保护与交旅融合设计等4类技术体系,尤其是预制梁环形生产线、非标准八车道、防水木桩围蔽保护湿地等首创技术,很好地提高了工程外在形象和内在品质,提升了路域资源的综合利用水平,保护了沿线脆弱的滨海湿地环境,升级了公路基础设施服务能力,充分发挥对旅游产业发展的路衍经济效应。

(3) 除了南中高速结合自身项目特点和工程需求所实施的绿色公路创新技术以外,城镇密集区公路绿色建造还可因地制宜地考虑双层高速公路、噪声污染综合防治、服务区污水减污降碳协同增效、高速公路服务设施与城市道路共享共用等先进理念与技术,充实形成城镇密集区绿色公路建设技术体系,为珠三角、长三角、京津冀、成渝经济圈等城市群绿色公路建设提供经验,助力实现交通行业绿色转型升级发展。

参考文献:

References:

- [1] 张琰彬.绿色基础设施研究现状与趋势分析:基于CiteSpace的可视化研究[J].城市建筑,2021,18(23):63-65.
ZHANG Yanbin. Analysis on the current situation and development trend of the research on green infrastructure: Visualization research based on CiteSpace[J]. Urbanism and Architecture, 2021, 18(23): 63-65.
- [2] 高硕晗,周建,徐岩,等.季冻区绿色公路建设技术管理创新与实践[J].公路工程,2019,44(4):130-134,201.
GAO Shuohan, ZHOU Jian, XU Yan, et al. Innovation and practice of technology and management for green highway construction in seasonal frozen region[J]. Highway Engineering, 2019, 44(4): 130-134, 201.
- [3] 交通运输部办公厅.关于实施绿色公路建设的指导意见[Z], 2016.
General Office of the Ministry of Transport. Guidance on the implementation of green highway construction[Z], 2016.
- [4] 山西省交通环境保护中心站(有限公司),山西离隰高速公路有限公司.绿色公路建设技术指南:DB14/T 2315—2021[S].山西:山西省市场监督管理局,2021.
Shanxi Environmental Protection Institute of Transport (Co., Ltd.), Shanxi Lixi Expressway Co., Ltd.. Technical guidelines for construction of green road: DB14/T 2315—2021[S]. Shanxi: Shanxi Administration for Market Regulation, 2021.
- [5] 王武生.绿色公路建设理念在长益高速公路扩容工程中的应用[J].中外公路,2019,39(1):299-302.
WANG Wusheng. Construction drawing design of the second expressway from Changsha to Yiyang based on the concept of green highway construction[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2019, 39(1): 299-302.
- [6] 于慧卿,李邦武,尹静.海南绿色公路建设施工评价体系构建与应用:以万宁至洋浦高速公路为例[J].中外公路,2021,41(4):388-392.
YU Huiqing, LI Bangwu, YIN Jing. Construction and application of construction evaluation system for green highway construction in Hainan: Taking the Wanning-Yangpu Expressway as an example[J]. Chinese and Foreign Highways, 2021, 41(4): 388-392.
- [7] 高硕晗,张雷,赵富强,等.秦岭山区绿色公路建设管理实践[J].中外公路,2023,43(3):275-280.
GAO Shuohan, ZHANG Lei, ZHAO Fuqiang, et al. Green highway construction and management practice in Qinling Mountains[J]. Chinese and Foreign Highways, 2023, 43(3): 275-280.
- [8] 交通运输部.绿色交通“十四五”发展规划[M].北京:交通运输部,2021.
Ministry of Transport. Green transportation “14th five-year plan” development plan[M]. Beijing: Ministry of Transport, 2021.
- [9] 郝国郡.广东省绿色公路评价指标体系研究[D].广州:华南理工大学,2021.
HAO Guojun. Research on green highway evaluation index system in Guangdong Province[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2021.

- [10] 黄湛军.绿色公路在广梧高速公路中的设计实践[J].中外公路,2018,38(4):342-346.
HUANG Zhanjun. Design practice of green road in Guangzhou-Wuzhou Highway[J]. Journal of China & Foreign Highway,2018,38(4):342-346.
- [11] 林才奎,方建勤.绿色理念指导下高速公路建设管理实现途径的研究[J].公路,2010,55(1):98-101.
LIN Caikui, FANG Jianqin. Research on the realization way of expressway construction management under the guidance of green concept[J]. Highway,2010,55(1):98-101.
- [12] 吕恬,熊新竹,洪伟鹏,等.广东省广佛肇高速绿色公路建设探索研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(12):319-321.
LYU Tian, XIONG Xinzhu, HONG Weipeng, et al. Exploration and research on the construction of Guangdong Guangfozhao Expressway green highway[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2017,13(12):319-321.
- [13] 周勇.绿色公路理念下的高速公路环境保护关键技术探究:以潮(州)—惠(州)高速公路A3合同段为例[J].中外公路,2019,39(1):303-306.
ZHOU Yong. Research on key technology of highway environmental protection under the concept of green highway: Case study of A3 contract section of Chaozhou-Huizhou Highway[J]. Journal of China & Foreign Highway,2019,39(1):303-306.
- [14] 王玉文.惠清高速绿色公路典型示范工程建设的实践与体会[C]//全国第二届品质工程论坛暨惠清高速公路绿色科技示范工程现场观摩会论文集.广州:中国公路学会,2019:201-211.
WANG Yuwen. Practice and experience in the construction of typical demonstration projects of Huiqing Expressway green highway[C]//Proceedings of the Second National Quality Engineering Forum and Huiqing Expressway Green Technology Demonstration Project On-Site Observation Meeting. Guangzhou: China Highway Society, 2019:201-211.
- [15] 姜健,蔡敏,曾思清,等.云茂高速绿色公路建设中的水资源保护技术探索[J].公路交通科技,2020,37(增刊2):42-45.
LOU Jian, CAI Min, ZENG Siqing, et al. Exploration of water resources protection technology in the construction of green highway in Yunmao Expressway[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2020,37(sup 2):42-45.
- [16] 王旦林,高桂洋,高梦洋,等.机荷高速公路立体复合改扩建工程绿色关键技术简析[J].公路,2021,66(3):323-327.
WANG Danlin, GAO Guiyang, GAO Mengyang, et al. Brief analysis on green key technologies of three-dimensional composite reconstruction and extension project of Ji-He Expressway[J]. Highway,2021,66(3):323-327.
- [17] 苏权科,邢燕颖,杨秀军,等.港珠澳大桥岛隧工程节能减排关键技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
SU Quanke, XING Yanying, YANG Xiujun, et al. Research on the key technology for energy saving and emission reduction of island & tunnel project of HongKong-Zhuhai-Macao Bridge[M]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [18] 刘胜强,黄全胜,闫琰.港珠澳大桥的绿色实践[J].中国公路,2018(9):57-59.
LIU Shengqiang, HUANG Quansheng, YAN Yan. Green practice of the HongKong-Zhuhai-Macao Bridge[J]. China Highway,2018(9):57-59.
- [19] 宋神友,刘学欣,刘建波,等.跨海交通集群工程绿色公路技术创新实践[J].公路,2022,67(3):218-224.
SONG Shenyong, LIU Xuexin, LIU Jianbo, et al. Technical innovation practice of green highway in sea-crossing integrated transportation project[J]. Highway, 2022, 67(3): 218-224.
- [20] 黄学文.从全寿命周期角度看绿色公路[J].中国公路,2018(10):30-33.
HUANG Xuewen. Looking at green highway from the perspective of life cycle[J]. China Highway,2018(10):30-33.