

城市道路改扩建工程施工关键技术研究

苏琳晨

天津市国腾公路咨询监理有限公司 300000

【摘要】城镇化高质量发展阶段下,既有城市道路通行容量不足、结构老化、功能配套滞后等问题日益突出,道路改扩建成为完善城市路网结构、缓解城区交通压力、提升市政基础设施服务水平的核心举措。城市道路改扩建区别于新建道路工程,普遍存在作业空间受限、车流与人流密集、地下管线错综复杂、新旧结构力学性能差异大、环保管控标准严格等现实难题。传统粗放式施工模式易引发拼接裂缝、不均匀沉降、交通长时间瘫痪、周边生态干扰严重等工程通病,难以适配现代化城市更新建设需求。本文结合当前市政工程前沿技术与现场实践经验,立足改扩建工程全过程施工流程,从交通组织优化、旧路结构检测与微创修复、新旧路基路面拼接加固、智慧化施工监测、低碳绿色施工五个创新方向展开深入研究。引入三维交通仿真、地聚合物微创注浆、纤维复合应力吸收结构、BIM数字孪生动态管控等新型工艺与技术体系,针对性破解改扩建工程核心施工痛点,形成兼具实用性与创新性的成套施工技术看案。研究内容突破常规施工技术局限,强化低影响、短工期、长效耐久的施工理念,可为国内同类型城市道路改扩建项目提供理论参考与工程实践借鉴,助力市政道路工程向智慧化、绿色化、精细化方向升级发展。

【关键词】城市道路;改扩建工程;拼接施工;微创修复;智慧监测;绿色施工

Research on Key Technologies for Urban Road Reconstruction and Expansion Projects

Su Linchen

Tianjin Guoteng Highway Consulting and Supervision Co., Ltd. Postal Code 300000

【Abstract】 During the high-quality urbanization phase, existing urban roads face increasingly prominent challenges such as insufficient capacity, structural aging, and inadequate functional facilities. Road reconstruction and expansion have become pivotal measures to optimize urban road networks, alleviate traffic congestion, and enhance municipal infrastructure services. Unlike new road construction, urban road renovation confronts practical difficulties including limited working space, dense vehicular and pedestrian traffic, complex underground utility networks, significant mechanical performance disparities between old and new structures, and stringent environmental regulations. Traditional extensive construction methods often lead to common engineering issues like joint cracks, uneven settlement, prolonged traffic paralysis, and severe ecological disruption, failing to meet modern urban renewal requirements. This study integrates cutting-edge municipal engineering technologies with field experience, focusing on the entire construction process of reconstruction projects. It conducts in-depth research across five innovative dimensions: traffic flow optimization, structural inspection and minimally invasive repair of old roads, joint reinforcement of new and existing subgrades/pavements, intelligent construction monitoring, and low-carbon green construction practices. By adopting advanced techniques—including 3D traffic simulation, geopolymer minimally invasive grouting, fiber-reinforced stress-absorbing structures, and BIM-based digital twin dynamic management systems—the study addresses core construction challenges and delivers practical, innovative technical solutions. The research content transcends the limitations of conventional construction technologies, emphasizing a construction philosophy characterized by low environmental impact, short project duration, and long-term durability. It provides theoretical references and practical insights for similar urban road renovation and expansion projects in China, facilitating the advancement of municipal road engineering toward smarter, greener, and more refined development.

【Key words】 urban road; reconstruction and expansion project; splicing construction; minimally invasive repair; smart monitoring; green construction

一、引言

城市道路交通体系是支撑城市运转的基础骨架,随着城市建成区持续扩张、机动车保有量逐年攀升,上世纪修建的大量城市主干道、次干道逐渐进入老化服役阶段。早期道路设计标准偏低,车道宽度不足、路面结构强度衰减、排水系统老化、交叉口通行组织不合理等问题持续凸显,不仅制约

城市通勤效率,还极易诱发路面破损、行车颠簸、雨天内涝等民生问题。开展城市道路改扩建工程,通过车道拓宽、路面翻新、线形优化、管线升级、交通设施完善等改造内容,能够有效提升道路通行承载力,优化区域交通微循环,同步改善城区人居环境。

城市核心区道路改扩建施工约束条件极强,施工区域紧邻居民区、商业街区与公共建筑,作业场地狭窄,大型机械

布置、材料堆放转运难度较大；施工期间无法实现全路段封闭，必须维持基础通行条件，半幅施工、分段流水作业成为常态，施工工序与日常交通通行产生深度交叉干扰；城市地下空间管线排布密集，给排水、燃气、电力、通信等管线资料普遍存在更新不及时、定位不准确的问题，盲目开挖极易造成管线破损，引发区域性断水、断电、燃气泄漏等安全事故。

现阶段国内道路改扩建相关研究多集中于路基处理与路面改造单一环节，技术应用碎片化严重，对于交通动态调控、旧路无损修复、新旧结构协同变形、全过程智能管控等融合性技术研究较为薄弱，部分工程仍沿用老旧施工工艺，导致改造后道路短期病害频发，养护成本大幅增加。

二、城市道路改扩建施工特征与核心难点

（一）工程施工主要特征

第一，保通性要求刚性化。城区道路承担日常通勤、物资运输核心功能，完全封闭施工可行性极低，项目全程需平衡施工推进与交通疏导，临时交通设施布设、分段施工规划直接决定工程落地效果。

第二，旧路资源利用最大化。改扩建以既有道路为基础进行升级改造，合理利用原有路基、基层及部分完好路面结构，减少整体拆除工程量，既是控制造价的关键，也是低碳施工的基本要求。

第三，施工环境复杂化。城区范围内人流车流密集，周边构筑物密集，噪音、扬尘、施工废料等环境影响因素管控标准更高，文明施工与环境防护压力显著高于城郊道路工程。

第四，工序交叉密集化。道路改造同步配套管线迁改、路灯更新、绿化迁移、交通标线重塑等多项工序，多专业、多队伍交叉作业，施工组织协调难度大。

（二）现场核心技术难点

其一，新旧结构衔接稳定性不足。新旧路基填筑材料、压实标准、沉降周期存在明显差异，拼接位置应力集中现象突出，后期极易出现纵向开裂、局部沉陷；新旧路面面层材料模量不同，温度形变与荷载形变无法同步，反射裂缝问题难以根治。

其二，旧路隐蔽病害治理难度大。长期荷载作用与自然环境影响下，旧路基层脱空、路基松散、隐性裂缝等隐蔽病害分布广泛，常规人工排查无法精准定位，全面开挖处置成本过高，局部忽视病害易造成改造工程质量隐患。

其三，动态交通组织优化困难。早晚高峰潮汐式车流特征明显，固定化交通导改方案无法适配车流变化，临时车道通行条件有限，易引发路段拥堵与交通事故。

其四，地下管线防护精度不足。老旧城区管线敷设缺乏统一规划，走向杂乱、深埋深浅不一，传统探测手段精度有限，施工扰动极易破坏管线，严重影响城市基础民生保障。

三、城市道路改扩建创新施工关键技术

（一）三维仿真动态交通导改技术

传统交通组织方案多依靠经验编制，缺乏数据支撑，面对复杂城区路网适应性较差。本次研究引入 BIM 建模与交通仿真融合技术，构建全路段三维路网模型，整合路段车流量、高峰时段车流分布、交叉口通行能力等实测数据，模拟不同分段施工、半幅封闭、临时绕行等多种施工场景下的交通运行状态。通过仿真数据比对，优化施工分段长度，控制单段施工区间合理范围，避免过长路段封闭加剧拥堵；科学划定临时车道宽度、人行通道位置与车辆绕行路线，完善隔离围挡、警示标识、诱导指示牌布设。

施工全过程依托视频监控与道路车流实时采集设备，动态更新交通数据，及时调整导改方案。针对早晚高峰、节假日等特殊时段，增设临时疏导人员，开放临时应急通行区域，采用主线限流+辅路分流的组合模式，最大限度降低施工对城市交通的干扰，实现施工进度与通行安全双向保障。

（二）旧路多源探测与微创修复技术

依托三维探地雷达、激光路面扫描、全自动路况检测设备组成一体化检测体系，对旧路结构进行全方位无损探测，精准识别路面裂缝、车辙、基层脱空、路基松散等病害位置与范围，建立数字化旧路健康档案，实现病害分级分类处置。摒弃传统大面积开挖修复模式，推广低扰动微创施工技术。

针对路基脱空、土体松散区域，采用地聚合物注浆加固工艺，依托高压微创钻孔，将高渗透、早强型无机注浆材料注入病害区域，快速填充结构空隙，固结松散土体，材料凝固后强度高、收缩性小，可有效抑制后期沉降变形。针对路面反射裂缝与层间粘结薄弱问题，采用纤维增强复合应力吸收层工艺，同步铺设改性沥青、玻璃纤维网格与耐磨碎石，利用材料高弹性缓冲结构应力，阻断裂缝向上反射延伸。对于可循环利用的旧沥青路面结构，采用现场冷再生技术，就地破碎筛分、添加再生稳定剂，重新拌合压实作为道路基层材料，提升旧料利用率，减少建筑垃圾排放。

（三）新旧路基路面拼接防裂控制技术

在路基拼接施工中，优化旧路边坡开挖工艺，采用内倾式台阶开挖方式，严格控制台阶宽度与高度，保证新旧路基咬合接触面充足，清理台阶表面浮土与松散杂物后涂刷粘粘材料，增强界面结合强度。新路基选用级配优良的填筑材料，遵循薄层填筑、分层压实原则，搭配振动碾压与补强冲击碾压组合压实工艺，严格把控压实度指标。在新旧路基结合全域铺设双向拉伸土工格栅，利用格栅的抗拉性能分散不均匀沉降产生的拉应力，约束土体侧向变形，弱化新旧路基沉降差带来的结构破坏。

路面拼接阶段，对旧路基层、面层边缘进行精准铣刨处理，形成错层搭接结构，避免直缝拼接造成的应力集中。沥青面层施工采用梯队摊铺热接缝工艺，减少冷接缝数量，接缝位置铺设高性能防裂贴与防水粘结层，提升层间整体性。针对道路检查井、雨水口等附属构筑物周边易沉降通病，采用钢筋混凝土加固底板搭配防沉降井盖结构，优化周边回填材料级配，强化小型构筑物周边压实管控，杜绝局部破损与沉降问题。

（四）BIM+数字孪生智慧施工监测技术

结合市政工程数字化发展趋势，搭建 BIM+数字孪生一体化施工管控平台，整合地质勘察、设计图纸、管线探测、

现场施工等多维度数据,构建地上地下一体化数字孪生模型,实现施工现场实体与虚拟模型实时同步更新。在路基拼接段、软土路基段、管线密集区域等关键点位布设沉降传感器、应力传感器、环境监测设备,全天候自动采集沉降位移、结构应力、扬尘噪声、温湿度等关键数据。

系统自动对监测数据进行汇总分析,超出预警阈值及时推送报警信息,便于管理人员快速调整施工工艺与施工节奏。依托数字孪生平台实现进度管控、质量验收、安全巡查、资料归档一体化管理,解决交叉作业沟通不畅、质量管控滞后、隐患排查不及时等问题,以数字化手段提升施工精细化管理水平,保障改造工程整体施工质量。

(五) 城区低影响绿色施工技术

紧扣城市绿色发展要求,落实低影响施工理念,全面升级城区施工环保管控措施。施工区域采用装配式封闭围挡,搭配自动喷淋降尘系统,裸土、砂石材料全覆盖密闭堆放,运输车辆实行冲洗消杀、密闭运输,从源头抑制扬尘污染。优先选用低噪音、低排放环保施工机械,合理规划高噪音工序作业时间,避开居民休息时段,必要时设置隔音围挡,弱化施工噪音影响。

结合海绵城市建设要求,在人行道、非机动车道改造中推广透水混凝土、透水砖等生态建材,配套建设盲沟排水、雨水收集设施,增强道路雨水调蓄与自然渗透能力,改善城区水文循环。施工生产废水经沉淀净化处理后循环利用,旧混凝土、废旧管材、沥青铣刨料等建筑垃圾统一回收加工再生利用,减少天然建材开采与固废外运,全面降低工程建设的生态环境负荷。

四、工程实例应用分析

以某中部城市核心区主干道改扩建项目为实践案例,道路全长 2.86km,原有双向四车道拓宽为双向六车道,设计行车速度 50km/h,道路两侧商铺、小区集中分布,地下管线交错复杂,施工保通与环保要求严苛。项目全程采用本文研究的创新施工技术体系,整体实施效果良好。

交通方面,通过三维交通仿真优化导改方案,分段错峰施工,施工期间主干道通行效率稳定,未发生长时间大范围交通拥堵,市民出行影响大幅降低。结构改造方面,依托无损探测精准定位旧路隐蔽病害,采用微创注浆、纤维应力吸收层等工艺完成病害治理,施工无需大面积断交,夜间施工、

日间通行,有效压缩工期。新旧结构拼接位置通过台阶处理、土工格栅加固、错层搭接等综合措施,完工后长期监测未出现明显裂缝与不均匀沉降,结构整体稳定性良好。

数字化管控层面,数字孪生监测平台实现现场风险实时预警,施工安全隐患整改效率显著提升,工程一次验收合格率大幅提高。绿色施工措施全面落地,扬尘、噪声指标稳定达标,旧路材料再生利用率达到 82%,兼顾工程质量、施工效率与生态效益,为同类城区道路改造项目提供了成熟的实践范本。

五、结论与展望

(一) 结论

本文系统分析城市道路改扩建工程的施工特征与技术难点,结合创新工艺与数字化技术,形成适配城区复杂环境的成套施工关键技术体系。通过三维交通仿真导改技术,可科学平衡施工推进与城市通行需求,破解城区施工交通组织难题;多源无损探测结合微创修复技术,能够精准治理旧路隐蔽病害,减少施工开挖范围,实现低扰动改造;新旧路基层路面台阶搭接、格栅加固、应力吸收层等拼接技术,可有效削弱不均匀沉降与温度应力影响,从源头控制拼接裂缝病害;BIM 数字孪生智慧监测技术,推动施工管理由传统人工管控向数字化实时管控转型,全面提升工程质量与安全管控水平;低影响绿色施工技术契合城市生态建设要求,实现工程建设与环境保护协同发展。

整套技术方案创新性、实用性突出,有效解决了传统改扩建工程通病,缩短施工周期,降低后期养护成本,综合效益显著。

(二) 展望

未来城市道路改扩建将朝着装配化、智能化、长效化方向持续发展。后续可进一步结合人工智能、大数据算法,开发施工风险智能预判系统,实现施工方案自动优化;加强低碳环保新型建材研发与应用,进一步降低改造工程碳排放;大力推广装配式道路构件施工技术,减少现场湿作业,提升改造工程建设效率。同时,构建道路全生命周期监测养护体系,将施工阶段质量管控与运营阶段健康监测相结合,持续延长改造后道路使用寿命,为城市基础设施长效运维提供技术支撑。

参考文献

- [1]李刚.城市主干道改扩建工程施工难点及关键技术[J].市政技术,2023,41(08):76-80.
- [2]刘建伟.新旧路路面拼接施工工艺及质量控制研究[J].交通科技,2024(02):55-59.
- [3]陈阳.基于 BIM 技术的市政道路改造工程交通组织优化[J].城市道桥与防洪,2023(11):189-192.
- [4]周明凯.地聚合物材料在道路基层加固中的应用进展[J].公路工程,2022,47(06):201-206.
- [5]赵凯.城区道路低影响绿色施工技术应用研究[J].工程绿色建造,2024,6(03):33-37.
- [6]王浩.道路改扩建工程反射裂缝综合防控技术[J].中外公路,2023,43(04):68-72.
- [7]黄俊.数字孪生技术在市政工程施工监测中的应用[J].施工技术,2025,54(01):112-116.
- [8]吴强.旧路就地再生技术在城市道路改造中的实践[J].建材世界,2023,44(05):90-93.