

城市高速公路立体扩建的策略与发展现状

钟金兔 杨佳慧 薛志成

广东石油化工学院 建筑工程学院, 广东茂名, 525000;

摘要: 大湾区城市周边城市高速公路承载能力已经不能满足城市交通量的急剧增长需求。由于既有城市高速公路沿线受到城市化发展快、土地征拆成本高、生态保护红线及重要市政设施空间限制等多方面因素的影响, 立体扩建成为优先选用的扩容提效方法之一。本文从高速公路改扩建方案对比、基础工程及上部结构施工重难点分析以及新技术在扩建工程中的应用等方面, 阐述城市高速公路立体扩建工程项目的策略与发展现状, 为同类项目的实施开展提供参考。

关键词: 城市高速公路; 立体扩建; 基础施工; 路面拼接技术; 绿色公路

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.078

引言

粤港澳大湾区作为我国开放程度最高、经济活力最强的区域之一, 随着“一小时生活圈”“湾区通”等战略的深入推进, 区域内人员往来、物流运输需求呈爆发式增长, 城市高速公路作为交通网络的核心骨架, 承担了约60%的跨城客货运输量^[1]。据广东省交通运输厅统计, 大湾区核心城市周边高速公路日均交通量已普遍超过10万辆次, 部分路段如广深高速虎门段高峰时段交通量达18万辆次/日, 远超4-6万辆次/日的设计标准, 现有高速公路的承载能力已成为制约区域经济协同发展的“瓶颈”, 扩容提效迫在眉睫。

与新建高速公路相比, 对既有线路进行改扩建具有投资成本低、建设周期短、土地利用率高优势。但大湾区城市高速公路沿线已形成密集的城市建成区, 土地征拆成本较高, 同时面临生态保护红线(如珠江口湿地自然保护区)、重要市政设施(地铁线路、地下管廊)的空间限制, 城镇化高速公路平面扩建面临的制约因素及难度显著增加, 传统平面扩建模式难以实施^[2-3]。因此, 开展立体扩建工程策略研究, 探索安全高效的施工技术与新技术应用路径, 对破解大湾区交通扩容难题、推动区域交通一体化具有重要的现实意义。

1 高速公路改扩建设计方案对比

1.1 高速公路改扩建现状

国外发达国家在城市高速公路改扩建方面起步较早, 美国洛杉矶于20世纪80年代实施的“10号公路立体扩容工程”, 通过“上层客车专用道+下层客货混行”的模式, 将原有4车道扩容至8车道, 通行能力提升

120%, 其采用的预制节段拼装技术与交通导改方案为后续项目提供了借鉴。日本东京湾沿岸高速则针对密集城区环境, 开发了“窄幅箱梁+桩基础托换”技术, 在最小占地前提下实现了立体扩建。国内方面, 长三角地区已率先开展相关实践, 如上海沪宁高速扩建工程采用“高架+地面”的立体模式, 通过BIM技术优化施工组织, 将施工对交通的影响降低40%。大湾区内, 广深高速新塘段扩建项目首次尝试“双层高架”方案, 深圳机荷高速、深汕西高速和广州北二环高速等均采用立体扩建方式进行高速公路的扩容提效。

1.2 常见高速公路改扩建方案对比

城市高速公路改扩建方案主要分为平面扩建与立体扩建两类, 两类方案在技术可行性、经济成本、环境影响等方面存在显著差异。

平面扩建是通过加宽原有路基、增设车道实现扩容的传统模式, 其核心优势在于技术成熟、施工难度低, 依托现有工程技术体系即可完成, 对施工设备与人员的要求相对较低。立体扩建总体采用“分离新建为主、局部两侧拼宽、局部改线新建”模式, 通过“上层高架+下层原有路面”“单侧高架”或“双层高架”的模式实现扩容, 核心优势在于垂直空间利用, 几乎不新增建设用地, 仅需在原有路基范围内完成施工, 完美适配大湾区土地资源紧张现状。

大湾区城市周边高速公路建设环境条件具有地下管线协同复杂、道路保通要求严苛、环境影响控制要求高、土地征收成本大、施工成本控制风险高以及既有设施利用矛盾等特点。因此, 采用平面扩建方案存在以下

三方面的局限性：第一，土地占用问题；平面扩建每公里需新增建设用地约 30-50 亩，较立体扩建高出 3 倍以上。第二，空间限制问题；以广深高速东莞段为例，其沿线穿越密集工业区，两侧已建成厂房、民居等建筑，无平面加宽空间；部分路段临近东江水源保护区，平面扩建将触碰生态保护红线，审批困难。第三，平面扩建

的施工周期通常较长且占用现有车道，导致施工期间交通拥堵加剧，对于城市周边高速公路改扩建不具备可行性。虽然立体扩建的结构造价成本较平面扩建高，但省去了巨额土地征拆费用，综合成本反而降低 40%-50%。从技术、经济、环境、社会四个维度构建对比指标体系对两类方案比选，如下表 1 所示：

表 1 平面扩建与立体扩建方案多维度对比

对比维度	平面扩建方案	立体扩建方案
技术可行性	成熟，但受空间限制大，通过率低	技术要求高，但空间适应性强，通过率高
经济成本（每公里）	土地成本+建设成本	仅建设成本，无土地成本
环境影响	破坏地表生态，扬尘噪音影响范围大	仅影响路基范围内区域，生态破坏小
社会影响	征拆纠纷多，施工拥堵严重，满意度较低	无征拆问题，交通影响小，满意度较高
通行能力提升	提升较高	提升一般

由对比结果可知，除养护成本外，立体扩建方案在其余指标上均显著优于平面扩建方案，是大湾区城市周边高速公路扩容的优先选择。

2 立体扩建工程基础施工难点分析

城市高速公路立体扩建施工面临“空间受限、环境复杂、交通不能断”的三重挑战，基础工程与上部结构工程作为核心环节，其施工重难点及应对措施直接决定项目的安全与效率。基础分部工程包括桩基施工、基坑支护与地基处理，是立体扩建工程的“根基”，其施工质量直接影响上部结构的稳定性^[4]。

2.1 复杂条件下桩基施工的精准控制

立体扩建工程的桩基需承受上层高架的巨大荷载且需紧邻既有路基施工，极易对既有路基产生扰动。同时，施工区域涉及燃气管道、高压电缆等地下管线密集，传统人工探挖效率低，管线破坏风险高。复杂地质条件下，管桩施工可采用地质雷达超前探测，精准定位地下管线，结合地形、水利设施及路网关系等因素优化桩位布置方案。通过采用“跳打施工”模式，减少对既有路基的扰动，同时在桩周设置注浆加固区，提高地基承载力；通过引入桩基施工质量实时监测系统，通过传感器实时采集桩身混凝土浇筑数据，确保方案与环境的适配性并提升成桩质量合格率。

2.2 基坑支护及基础混凝土浇筑技术

为实现施工与交通并行，混凝土基础施工采用针对性工艺：基坑开挖及封底需经钢板桩围堰固定，开挖至设计标高后清理平整，采用混凝土分层灌注封底，养护

达标后抽水并浇筑垫层；围堰湿封工艺通过泵车灌注，严格控制首次灌注量、堆料高度及导管埋深，避免堵管与超量灌注；双壁钢围堰适用于深水承台施工，采用护筒承重拼装平台，对称吊装堰体并平衡灌注锚固混凝土，具有防渗性好、工期短、周转率高的优势；封底混凝土采用跳仓法施工，结合湿封与干封技术，封闭护筒底部防止漏浆。通过建立基坑变形实时监测系统，布设位移计、沉降观测点等监测设备，提高监测频率，可实现风险提前预警和支护结构安全监测。

2.3 地基加固及地基处理技术优化

地基加固的核心目标是提升承载能力与稳定性，改善排水性能与土质条件，延长工程使用寿命并保障行车安全。优化策略需基于地质勘探结果选择适配技术，包括复合地基加固、预应力管桩、深层搅拌桩及注浆加固等。同时可优化排水系统，采用“基坑内盲沟+集水井+抽排”的组合方式，确保基坑内无积水，同时在基坑周边设置截水沟，防止雨水渗入基坑。

3 立体扩建工程上部结构施工难点分析

上部结构分部工程主要包括箱梁浇筑、预制节段拼装及新旧结构连接，施工需在保障既有高速正常通行的前提下进行，“高空作业、交通干扰、结构协同”成为核心难题。

3.1 桥墩与高填方拓宽路基技术

高陡边坡桥墩易受竖向荷载与侧向压力影响发生偏斜，进而导致结构开裂或坍塌。解决方案可采用“地面层+立体层”复合模式优化断面布局，通过有限元模

拟分析变形与应力分布；利用桩基础抗滑作用减小路基差异沉降，管桩处治可显著降低桥墩横向位移；未达持力层的桩基础需延长桩长，合理选择边坡坡率与桥墩布设位置也可优化位移控制效果。

3.2 公路桥梁加宽拼接施工技术

为减少现场施工对交通的影响，立体扩建工程的上部箱梁多采用工厂预制、现场拼装的施工模式。桥梁加宽拼接需针对不同结构类型（空心板、T梁、小箱梁及现浇箱梁）制定专项方案，采用“上部结构连接、下部结构弱连接”模式，遵循刚度匹配与景观协调原则，优先选用装配式结构^[9]。采用“模块化预制+智能拼装”技术，在工厂内完成箱梁节段的钢筋绑扎、混凝土浇筑，通过BIM技术进行预拼装，确保节段精度。其次施工前需完成地质勘查与交通组织设计，优化交通导改方案，采用“半幅封闭、半幅双向通行”模式，科学划分施工范围并设置引导标志，结合临时钢便桥分流交通，将施工对交通的影响降低至最小。建议选择夜间施工以减少干扰，但需防范瞬时交通量大引发的振动位移问题。可通过引入大型架桥机与智能定位系统，大幅提升施工效率与质量。

3.3 新旧结构连接的协同受力问题

立体扩建工程中，上部结构需与既有路基或桥梁实现有效连接，确保结构协同受力。但既有结构已运营多年，存在不同程度的沉降与老化，如东莞莞太高速扩建项目中，既有桥梁的梁体存在20mm的不均匀沉降，新旧结构连接易产生应力集中，导致裂缝出现。同时，新旧混凝土的结合面粘结强度不足，也是影响连接质量的关键问题。建议应对措施为：一是对既有结构进行全面检测与评估，采用超声波探伤、荷载试验等方法，明确结构性能状态，对存在缺陷的部位进行预处理；二是优化连接节点设计，采用“植筋+湿接缝”的连接方式，植筋深度不小于15倍钢筋直径，湿接缝混凝土采用高标号微膨胀混凝土，提高结合面粘结强度；三是在连接部位设置应力监测点，实时监测结构受力状态，确保新旧结构协同工作。

4 新技术在立体扩建项目中的应用

新技术的应用是破解立体扩建施工难题、提升工程质量与效率的关键。结合大湾区项目实践，BIM技术、智能监测技术、预制装配技术及绿色施工技术在立体扩

建工程中已形成成熟的应用体系。

4.1 BIM技术及仿真模型支撑方案优化

BIM（建筑信息模型）技术可实现多专业协同设计、模拟优化施工方案以及与物联网技术结合建立结构健康档案实现设施的智能化管理。BIM技术的应用，使立体扩建工程的全生命周期管理更加精准高效。基于VISSIM软件可构建立体扩容仿真模型，设置路网设施、交通需求及驾驶行为等参数，通过驾驶模拟试验标定模型参数并运行仿真后输出评估指标，为设计优化提供技术支撑。

4.2 绿色环保技术与新材料应用

大湾区生态环境敏感，立体扩建工程需严格落实环保要求，绿色施工技术的应用至关重要。采用“雾炮机+喷淋系统+防尘网”的组合措施实现扬尘控制；采用低噪音施工设备实现噪音控制，学校路段应用木屑混凝土吸声模块，居民区采用ECP板声屏障，村落密集区布设植物模块声屏障，减少对周边居民的影响。路侧景观营造遵循“田园山水+科技城市”理念，选择适配植被以减少声光污染。

在废弃物处理方面，采用“建筑垃圾再生利用”技术，将施工产生的混凝土废渣、沥青废料等进行破碎、筛分，加工成再生骨料；再通过高性能SBS改性沥青、泡沫沥青与再生骨料应用于路基填料或预制构件生产，减少了土地占用与资源浪费，实现了绿色施工与资源循环利用，为公路立体扩建提供可靠材料支撑。

4.3 使用智能监测技术实现数字化转型升级

当前公路数字化建设存在碎片化严重、感知体系不完善、技术统筹不足等问题。智能监测技术通过传感器、物联网、大数据等技术手段，实现对施工过程与结构状态的实时监测，为工程安全提供保障。基础施工阶段，可采用光纤光栅传感器监测桩基应力与基坑变形；上部结构施工阶段，可利用无人机航拍与激光扫描技术，对箱梁拼装精度进行检测，检测效率较传统人工检测提升10倍；结构运营阶段，智能监测系统可实现24小时不间断监测，如广州北环高速立体扩建项目，在高架结构上布设位移计、加速度传感器等设备，实时监测结构在车辆荷载、温度变化等作用下的响应，当监测数据超过阈值时，系统自动发出预警，为养护维修争取了时间。

5 结论

立体扩建是城市高速公路扩容提效的有效途径。未来需进一步完善数字化标准体系,推动绿色技术与智能装备的深度融合,为公路立体扩建工程的可持续发展提供更强支撑。

参考文献

- [1]何纯. 城镇化地区高速公路改扩建项目路线设计方案研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(13): 187-189.
- [2]徐松, 郭强. 高速公路改扩建项目互通式立交设计思路[J]. 公路, 2025, 70(01): 71-74.
- [3]许嘉男. 高速公路改扩建施工的安全隐患及预控措施分析[J]. 工程建设与设计, 2025, (06): 223-225.
- [4]李兴明, 祝希, 石得权, 等. 高速公路改扩建新老路

基沉降变形规律研究[J]. 岩土工程学报, 2025, 47(S1): 261-265.

[5]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(02): 351- 357.

作者简介: 钟金兔(1987-), 男, 广东茂名人, 讲师, 从事工程结构防灾减灾、公路桥梁健康监测检测研究。基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金自然科学基金项目(2021A1515010573); 广东省普通高校特色创新项目(2025KTSCX081); 广东石油化工学院自然科学研究项目(2019rc080)