

# 道路下穿高速公路桥梁的路基处理技术研究

## ——以广东金属智造科技产业园基础设施工程为例

文 / 肖 山 云浮市云城区公路养护中心

**摘要：**道路下穿高速公路桥梁路基工程作为现代交通基础设施建设的重要组成部分，在城市化进程加速和交通网络日益完善的背景下呈现出快速发展态势，涉及到下穿桥梁处的路基处理技术，直接影响工程质量和既有桥梁的安全运营。泡沫轻质土作为新型路基填筑材料，在减轻路基自重、控制差异沉降和保护既有结构方面具有显著优势，但其在下穿高速公路桥梁中的应用涉及复杂的技术问题和严格的质量控制要求。本文以广东金属智造科技产业园基础设施工程为例，探讨了道路下穿高速公路桥梁路基处理的技术难点、处理方法和施工质量控制策略。

**关键词：**下穿工程；路基处理；地基加固

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.052

### 引言

随着城市空间拓展和交通需求增长，下穿既有高速公路的市政道路工程数量不断增加，工程建设面临着地基处理、既有结构保护、有限空间施工等多重技术挑战。传统路基处理方法在下穿高速公路工程中存在施工空间受限、对既有结构影响大、沉降控制困难等问题，急需发展适应性强、安全可靠的高新技术，泡沫轻质土因其轻质高强、流动性好、施工便捷等特点在下穿工程中得到广泛关注和应用。

#### 一、工程概况

广东金属智造科技产业园基础设施工程（以下简称园区南大道），道路等级为城市主干路，总长约10.76km，设计速度60km/h，双向6车道。下穿汕湛高速公路处道路桩号为K10+427，采用分离式路基，下穿位置为汕湛高速三都大桥段，三都大桥左幅4#和右幅5#桥墩位于分离式路基中间带内。汕湛高速三都大桥梁底标高约53.2m，净空约24.4m。场地岩土层主要为粉质粘土、全风化云母片岩、强风化云母片岩，下伏基岩为奥陶系云母片岩。

#### 二、下穿高速公路桥梁路基处理难点

##### （一）有限空间施工作业难

园区南大道下穿汕湛高速三都大桥工程中，由于桥下施工空间限制，使得常规大型压路机、推土机等重型设备无法在作业面有效展开，左幅4#和右幅5#桥墩位于分离式路基中间带内的布置形式，进一步压缩了机械设备的运行空间，施工单位必须采用小型夯机配合人工开挖的作业方式，从而完成浇筑工作。材料运输环节同样受到空间约束，大型自卸汽车无法直达桥下作业面，施工过程中需要借用三轮农用车将开挖土方运输至指定地点，分批转运的方式显著延长了施工周期，增加了人工成本和机械台班费用。

##### （二）既有桥梁结构安全保护难

园区南大道K10+427下穿段涉及汕湛高速三都大桥左幅3#~5#墩和右幅4#~6#墩的安全保护，桩基础

分别承担7300kN和7800kN的荷载，摩擦桩的受力特性决定了桩周土体的扰动将直接影响桩基承载性能，施工期间路基开挖和泡沫轻质土浇筑产生的振动荷载可能改变桩周土体的应力状态，导致桩基沉降或水平位移超出设计允许值。桥墩墩体距离施工作业面的距离不固定且部分桥墩位于中间带内，泡沫轻质土施工过程中的侧向压力和温度变化可能对混凝土墩身产生不利影响，必须设置C20混凝土保护壁作为永久性防护设施，同时采用1.5米高船型护体和前后两侧2米高沙袋的组合防护体系来阻止施工车辆的直接冲撞<sup>[1]</sup>。

#### 三、下穿高速公路路基处理技术

##### （一）泡沫轻质土填筑技术

园区南大道下穿汕湛高速段为减小路基的不均匀沉降采用D600级别泡沫轻质土进行处理，泡沫标准密度为50kg/m<sup>3</sup>，28d抗压强度≥0.8MPa，流动度为170±10mm，总厚度2m分2层浇筑，每层厚度1m，层间铺设钢丝网，钢丝网网眼为5cm×5cm，钢丝直径3mm，抗拉强度≥300MPa，焊点剪切力≥2.1kN，断裂伸长率≥2.5%，设置位置为顶面以下50~100cm位置和底面以上50~100cm位置。泡沫轻质土填筑按0.3~0.8m一层厚度控制浇筑，在顶层设置台阶，纵向15m设置一道横向布置的变形缝，变形缝采用2cm的夹板贯穿整个泡沫轻质土加宽路基，汕湛高速三都大桥桥下采用约1.15m路床及碎石找平层+2m泡沫轻质土+0.85m路面结构层进行路基处理，路床底约在现状地面以下0.3m处，汕湛高速三都大桥边缘投影线两外侧各10m范围内采用约1.15m路床及碎石找平层+2m泡沫轻质土+0.85m路面结构层进行路基处理。由于泡沫轻质土填筑质量关系到路基的整体稳定性，在下穿高速公路段更应该准确地把握其沉降、位移及泡沫轻质土内部应力等具体情况。针对此问题进行了专项施工监测，通过对埋设监测点进行监测并跟踪填筑过程中各参数的变化情况来看验证填筑施工效果，监测工作通过设置2个集中监测断面和34个零星观测点开展，监测范围包括：填筑上、中、下层标高

和路基边坡仰斜面及基础地质详探钻孔开挖位置处 34 个零星观测点。其中将每种标高的 2 个点共 6 个点布置在监测范围内路基上层路基底面控制点和下层沉降柱底面

控制点之间，并设定监测周期为从施工开始至工程完工后持续监测一年，以获得完整描述路基长期稳定的曲线数据，监测结果见表 1。

表 1 泡沫轻质土填筑施工监测结果表

监测点位编号	监测项目	监测周期 (d)	初始值	最终值	变化量	设计允许值
JC-01	路基沉降 (mm)	90	0	3.2	+3.2	≤ 5mm
JC-02	路基沉降 (mm)	90	0	2.8	+2.8	≤ 5mm
JC-03	水平位移 (mm)	90	0	1.5	+1.5	≤ 3mm
JC-04	水平位移 (mm)	90	0	1.2	+1.2	≤ 3mm
JC-05	内部应力 (kPa)	90	0	18.5	+18.5	≤ 30kPa

(二) 开蹬搭接处理技术

现有路基加宽部分现浇泡沫轻质土与现状路基搭接采用开蹬处理，蹬宽 100cm，高 100cm，加宽部分泡沫轻质土顶部外侧与加宽后道路路面边线竖向齐直，外侧与路基边坡开蹬搭接，蹬宽 100cm，高 100cm，开蹬处理确保新旧路基材料在接触界面形成可靠的机械咬合和应力传递。施工中地表横坡缓于 1:5 的地段在清除表土后可直接填筑路堤，地表横坡为 1:5 ~ 1:2.5 的原地面应挖台阶，台阶宽度不应小于 2.0m，向内倾斜 4%，基岩面上覆盖层较薄时宜先清除覆盖层再挖台阶，覆盖层较厚且稳定时可保留，地表横坡陡于 1:1.25 地段的路堤须验算路堤整体沿基底或基

底下软弱层滑动的稳定性，确保加宽路基与既有路基形成整体受力结构<sup>[2]</sup>。此外，项目施工过程中进行了施工监测，监测结果见表 2 所示。因开蹬搭接处理直接决定了新老路基能否顺利实现应力传递和整体受力稳定性，故着重监测新旧路基界面沉降、边坡水平位移及界面应力 3 个重要参数。通过自动化位移传感器与人工抽样相结合的方法开展日常监测，监测时长包含整个施工期以及完工后的 90 天，在监测期间界面上下沉降、水平位移监测每天 2 次、界面应力监测每天 1 次，并以实际监测数据为支撑，判断开蹬搭接处理是否达到了“无明显界面滑移、沉降差可控”可控制的质量目标。

表 2 开蹬搭接处理施工监测结果表

监测点位编号	监测项目	监测周期 (d)	初始值 (mm/kPa)	最终值 (mm/kPa)	累计变化量 (mm/kPa)	设计允许值 (mm/kPa)
KD-01	新旧路基界面沉降	90	0	1.7	+1.7	≤ 3
KD-02	新旧路基界面沉降	90	0	1.5	+1.5	≤ 3
KD-03	路基边坡水平位移	90	0	0.9	+0.9	≤ 2
KD-04	路基边坡水平位移	90	0	0.7	+0.7	≤ 2
KD-05	新旧路基界面应力	90	0	11.8	+11.8	≤ 20

(三) 保护壁围护技术

泡沫轻质土施工前应对三都大桥桥墩进行保护，降低泡沫轻质土施工期间对桥墩的影响，根据施工现场和路基处理横断面情况，泡沫轻质土距离桥墩的距离不固定且三都大桥左幅 4#、右幅 5# 桥墩位于中间带内，泡沫轻质土施工会对桥墩有影响，在泡沫轻质土施工前设置保护壁。保护壁置于泡沫轻质土侧向临空面的永久设施，在泡沫轻质土施工期间即起临时模板的作用也能保

护桥墩，保护壁为钢筋混凝土保护壁，保护壁的基础垫层为 C20 混凝土，基础为 C30 混凝土，施工前将高速公路桥墩墩体用 C20 混凝土包裹 1.5 米高的船型护体，前后两侧堆积 2 米高的沙袋，沙袋距离 C20 混凝土防护体 0.5m，结合的刚柔防护体系防止施工车辆直接冲撞防护圈<sup>[3]</sup>。项目在施工过程进行了施工监测，具体监测结果见表 3 所示。

表 3 保护壁围护施工监测结果表

监测点位编号	监测对象	监测项目	监测周期(d)	初始值	最终值	变化量	设计允许值
BH-01	左幅 4# 桥墩	沉降 (mm)	90	0	0.8	+0.8	≤ 2mm
BH-02	左幅 4# 桥墩	水平位移 (mm)	90	0	0.3	+0.3	≤ 1mm
BH-03	右幅 5# 桥墩	沉降 (mm)	90	0	0.7	+0.7	≤ 2mm
BH-04	右幅 5# 桥墩	水平位移 (mm)	90	0	0.2	+0.2	≤ 1mm
BH-05	保护壁	侧向应力 (kPa)	90	0	15.6	+15.6	≤ 25kPa

四、下穿高速公路路基施工质量控制策略

(一) 人工配合机械施工控制

K10+427 段下穿汕湛高速公路桥梁施工中，施工单位必须严格限制机械设备类型和作业方式，禁止履带式挖掘机、大型压路机等重型设备进入桥下作业区域，所有土方开挖作业只能使用小型挖掘机配合人工的方式进行，挖掘机操作手需要经过专门培训，掌握桥下

作业的安全操作规程和设备与桥墩的最小安全距离要求。施工现场设置专职安全员负责监控机械设备与桥墩的距离，发现违规操作立即停工整改，土方运输车辆限定为三轮农用车，严禁大型自卸汽车进入作业区域，运输路线必须经过现场技术负责人批准，避开桥墩周围的敏感区域。基底夯实作业采用小型夯机分区进行，每个作业区域面积控制在 50 平方米以内，夯实遍数和

压实度通过现场检测确定，达不到 93% 压实度要求的区域必须重新处理。

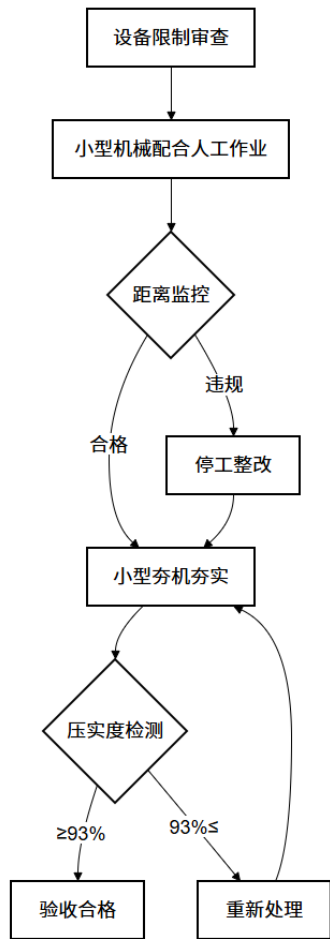


图 1 人工配合机械施工控制流程图

(二) 分层施工工艺控制

泡沫轻质土施工质量控制采用分层验收制度，每层 100cm 厚度的泡沫轻质土浇筑完成后必须经过 24 小时养护才能进行下一层施工，层间钢丝网铺设需要专人检查网片规格、搭接长度和固定方式，钢丝网搭接长度不得少于 20cm，固定间距控制在 1m×1m，浇筑过程中安排专人检查流动度，超出 170±10mm 范围的材料禁止使用。施工缝处理按照规范要求界面凿毛和清洗，新老混凝土结合面必须湿润但不得有积水，每道工序完成后由监理工程师验收签字才能进行下道工序，变形缝位置的夹板安装由专业技术人员负责，确保夹板垂直度和位置准确性，2cm 夹板必须贯穿整个泡沫轻质土厚度，夹板两侧的泡沫轻质土浇筑间隔时间不得超过 2 小时。

(三) 既有桥梁结构监测控制

由于下穿施工直接影响到汕湛高速三都大桥下部结构的安全，建立全寿命周期的高精度、大范围的既有桥梁结构监测控制体系是非常必要的。针对下穿段重点监测对象为左幅 3# ~ 5# 墩、右幅 4# ~ 6# 墩及其对应的梁体。下穿段监测重点为：桥墩沉降、水平位移、墩身

倾斜和梁体挠度，均采用自动监测结合人工复核的方式；自动化监测设备主要包括 GNSS 定位仪、静力水准仪等，采样频次为每 15min 采样一次；人工复核中主要采用全站仪、百分表等，人工复核每天至少测量一次；在路基开挖、泡沫轻质土浇筑等重点工点和部位测量频次提高到每 4h1 次。

监测数据需实时传输到项目管控平台，专职监测人员负责数据的整理、分析。当发生数据异常时（如出现沉降超过 0.5mm 或者当天累计沉降大于 1mm），应立即启动复核程序，查明是否为设备故障导致的测量数据异常或因施工扰动造成的情况，并作出记录和处理。根据预警等级判定结果实施不同的应对措施：当达到一级预警条件（沉降大于 1.5mm 或水平位移大于 0.8mm）时，立即停工，技术部门牵头组成技术攻关组，明确原因并提出处置措施；当达到二级预警条件（沉降介于 1 ~ 1.5mm 之间或水平位移介于 0.5 ~ 0.8mm 之间）时，减缓施工进度，加快监测频率；当达到三级预警条件（沉降小于 1mm 且水平位移小于 0.5mm）时，按正常速度施工。监测数据每周必须形成一份完整的报告，并报送监理单位、业主和高速管理部门，让各方随时可以知道桥梁结构状况，以保证监测工作对于整个施工过程的安全。

结语

园区南大道下穿汕湛高速三都大桥工程实践表明，泡沫轻质土填筑技术、开蹬搭接处理技术和保护壁围护技术的组合应用有效解决了下穿高速公路桥梁段路基处理问题，人工配合机械施工控制和分层施工工艺控制策略确保了既有桥梁结构安全和施工质量。D600 级别泡沫轻质土的减重效果显著降低了路基荷载，1m 厚分层浇筑工艺配合钢丝网铺设有效控制了材料收缩开裂，100cm×100cm 开蹬搭接尺寸保证了新旧路基的可靠连接，C20 混凝土垫层加 C30 混凝土基础的保护壁设计满足了桥墩防护要求。小振幅低频碾压方式和人工配合机械施工模式避免了对既有桥梁结构的不利影响，分层验收制度和材料现场检测措施确保了施工质量，为类似工程提供了可借鉴的技术方案和质量控制经验<sup>[4]</sup>。

参考文献

[1] 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, (S1): 261-265.  
 [2] 周俊. 砂土区高速公路碎石桩处理方案研究 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(12): 104-106.  
 [3] 颜志, 向楠. 下穿高速公路桥式通道桥设计分析 [J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41(08): 136-137.  
 [4] 夏新彬. 小草湖一吐鲁番段高速公路建设工程特殊路基处理及路线选定研究 [D]. 新疆农业大学, 2015.

作者简介：肖山，1987 年 10 月，男，汉族，湖南涟源，本科，中级工程师，研究方向：道路桥梁。