泡沫轻质土在拓宽公路路基工程中的施工应用

李垭林

（四川路航建设工程有限责任公司，四川 成都 610041）

摘 要 泡沫轻质土作为一种新型轻质填筑材料，凭借自重轻、流动性佳、整体性强的技术特性，将其应用于公路路基拓宽工程中，可获得显著的工程应用效果。本文从工程施工实践维度切入，分析泡沫轻质土应用于路基拓宽工程的核心价值，梳理施工前期准备工作的关键管控要点，依次对基底处理、配合比设计与材料拌和、分层浇筑、养护衔接等核心施工工序及配套技术措施进行系统阐述。工程实践结果表明，泡沫轻质土可有效解决新旧路基不均匀沉降问题，兼具施工操作简便、建设周期短的优势。通过科学的设计方案与精细化施工管控，能够充分发挥材料性能优势，显著提升拓宽后路基的整体稳定性与长期耐久性，也可为同类型路基拓宽项目提供可参考的技术实践路径。

关键词 泡沫轻质土；路基拓宽；基底处理；沉降控制；分层浇筑

中图分类号：U416.1 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.019

0 引言

随着既有公路交通量日益增大，原有的道路宽度不能适应车流的增长，路基拓宽改建已经成为公路建设中的重要工程之一。传统的填筑材料宕渣或者粉煤灰用于拓宽存在自重较大、工后沉降不易控制以及工期较长等问题。而泡沫轻质土是由水泥浆和预制成型的泡沫组成，固化体物理力学性质表现为轻质高强、自立性好，在一定程度上降低了其对地基的附加应力，可有效减小新旧路基间的差异沉降。

1 泡沫轻质土在拓宽公路路基工程中的核心应用价值

1.1 自重轻质特性，有效降低路基拓宽沉降变形风险

泡沫轻质土材料的湿密度一般能达到 0.4 t/m^3 ～ 0.8 t/m^3，约为普通填土密度的 1/2 ～ 1/3，因此用其做加宽填料时施加于原有地基地面及旧路面的单位面积压力较小，在软土地基路段以及软弱土质路段使用泡沫轻质土做加宽填料可以避免以往普通填土由于自重太大而造成基础被剪坏以及下沉过多等问题。由于轻质土固化后形成具有一定结构强度的轻质整体，其工后沉降量远低于常规填土，这为控制新旧路基之间的差异沉降提供了物理力学层面的根本保障，尤其适用于对沉降控制要求较高的桥头路段和软基路段。

1.2 流动性与填充性优异，适配复杂路基拓宽施工工况

泡沫轻质土初凝前呈流动状态，可利用管道水平或垂直运输至相应部位，用泵压入模具内自由流淌到任何角落，无需人工夯实碾压即达到密实效果，特别适合狭小或异形区域的回填，在原路基边坡挖阶槽后浇筑，自流态的混合浆体可充满阶槽中的每个部位，并与原路基充分接触，在高压线下面、桥下净高限制等传统压路机无法到达的情况下，由于泡沫轻质土具有自流平的特点，可以轻松完成作业，大大扩展了可施工区域及降低了施工难度。

1.3 整体性与稳定性良好，提升新旧路基衔接整体质量

泡沫轻质土成形为具有连续空隙的实体块体，与原路面基层结合面采用适当防水和排水方案进行处理即可保证紧密结合[1]。同时，由于是整体材料，拓宽部分在车辆荷载作用下与原路面基层可以共同受力变形，消除了传统粗粒料回填中存在压实度差异及粗粒料分散导致的不同区域变形差异的问题。泡沫轻质土经硬化处理后，其抗压强度较高而具有一定抗弯拉能力，可承受一定量的小不均匀变形却不发生结构性开裂，有利于确保新旧路基搭接带的长时期稳定，从而在总体上提高拓宽后公路结构体的安全性和耐久性。

作者简介：李垭林（1996-），男，本科，研究方向：公路土木施工。

2 拓宽公路路基泡沫轻质土施工前期准备与方案设计

2.1 施工现场地质勘察、路况调研与施工条件研判

在施工前需对工程进行必要的地质调查以及现场勘测工作，在了解原有路基基础情况、水文地质条件等方面的信息后，才能确保拓宽道路的质量安全。在原有的道路上每隔一定距离打一个探坑来确定路基下是否有松散的地层，如果有的话就要测量其深度并做好记录，同时也要检测该区域土壤所能承受的压力大小，以便为后续的工作提供依据。同时，还需对既有路基进行整体性的结构勘察，如路基填土密实度、路面构造层是否完好、边坡是否稳固等，并根据上述结果判断出既有路基的受力性能与沉降情况。分析施工可行性主要针对拓宽面一侧的地形条件和限制条件，如埋设管线位置、两侧建筑物间距以及道路疏解措施等。所有的调查结果都应当编制成详细的勘察报告，作为后期设计及施工的参考依据，并结合地质情况以及周围环境判断出施工过程中所需的排水措施和临时支护方式，保障施工过程中的安全性和现有道路的正常使用性，在施工之前尽可能地对可能出现的问题进行识别。

2.2 泡沫轻质土施工原材料选型、配合比设计与性能优化

泡沫轻质土的主要原料是水泥、发泡剂及水，在满足使用功能的前提下，还可适当加入一定比例的粉煤灰或者细沙对成本进行控制并提升效果，其中，水泥一般采用R72.5普通硅酸盐水泥，同时水泥的凝结时间不能太短，保证一定的工作时间。发泡剂宜采用与水泥浆适配性好、环保达标的专业发泡剂，其发泡倍数及泡沫半衰期决定着轻质土的干密度以及气泡稳定程度。根据设计指标要求的湿密度和抗压强度进行室内试验，找到合适的配合比，确定单位质量水泥浆体中的水泥用量、水灰比、泡沫注入量的关系。通常以单方填筑体水泥含量不小于300 kg/m^3为控制下限，在满足设计强度的基础上尽可能降低密度从而实现其轻质效果，并根据水灰比以及泡沫率对流动性进行调节，确保能够顺利浇筑到位。除此之外，还要考虑到施工期间所处的季节因素，若是在温度较高的季节，则应当提高适量的缓凝剂比例，避免出现过早初凝的现象；冬季则注意早期强度增长速率，必要情况下加入早强剂来加快施工进程。

2.3 路基拓宽施工总体方案规划与分区分层施工设计

施工总方案应根据实际地形情况、设计加宽宽度及高程、工期等因素，对施工区域进行划分并安排施工顺序。加宽施工一般应采取分段流水施工的方式，单个施工段长度应结合每天供货量及摊铺能力合理选定，宜为50 m～100 m之间以便于保证摊铺连贯性及接缝效果。沿横向按设计要求对原路基边坡进行挖设台阶，台阶宽高应保证新旧路基间有足够的结合强度，在台阶面处设置相应防排水措施，分区分层施工设计中要确定每层的浇筑厚度为50 cm～80 cm，上下两层之间须待下层初凝后再进行上层浇筑[2]，否则需凿毛以确保层间黏结；根据加宽宽度合理划分浇筑区格，并设模板及变形缝，每一格尺寸以不超400 m^2为宜。总方案还要充分考虑施工作业期间既有道路交通保通措施，如临时候道、作业区安全围护、夜班施工组织等，保证拓宽工程在不影响正常交通的情况下进行施工。

2.4 施工机械设备配置、人员部署与临时设施搭建

施工机械主要设备由发泡机组件、注浆组件以及输送组件组成，三个部分之间需要作为一个整体进行生产加工流程，并保障所生产的注浆体的质量及稳定性，同时对发泡装置提出一定的要求，即可以调节发泡量以及空气密度，并且注浆能力需要满足注浆装置的需求，避免出现堵料或者断料现象的发生。注浆站内拌制水泥浆可选用双卧轴强制式搅拌机，并配置自动计量装置以保证各组成分加入的比例准确。人员配置可设置材料员、机械工、质检员、施工员共四组人员，相互间要有良好的交流协作关系，在项目主管下听从调配安排。临设主要有水泥储料罐、蓄水池、临时用电及施工道路等，应事先做好安装，并进行调试及试运行工作，在机械设备上还应设有备用电源和备用水泵，以便当突然停电或设备损坏的情况下继续完成主要施工过程，保证工程施工顺利进行。所有计量设备在施工前须经法定计量部门检定合格，其精度应满足配合比控制的要求。

3 拓宽公路路基泡沫轻质土核心施工工艺与质量管控

3.1 路基基底清理、整平与压实预处理施工工艺

基底处理是保证泡沫轻质土与既有路基有效结合的首要工序，其质量直接影响到拓宽结构的整体稳定性。施工前应按照设计图纸精确放样确定拓宽边界，清除拓宽范围内的植被根系、表土和软弱夹层，挖除高度和范围应满足设计要求并达到稳定的持力层顶面。基底整平后应形成内向倾斜2%～3%的横向排水坡，以避免地下水或雨水在基底积聚软化轻质土底部。对原地面为软弱地基地段，整平后铺筑一级配砂砾垫层，并碾压密实，以增加原地基承载力及起到排水作用。

原路基边坡按照设计规定的坡度和宽度分阶开挖，清除台阶上松散土方，将台阶面用水泥砂浆刷一遍，以保证新旧路堤结合紧密。基础及台阶面浇筑泡沫轻质土之前验收合格，并保证基础无积水、无浮土，基础面处于潮湿状态。在台阶开挖过程中应避免对既有路基边坡造成超挖或扰动，若局部出现超挖应及时采用同标号混凝土回填，确保台阶面的规整性和结合质量。

3.2 泡沫轻质土浆液制备、搅拌与输送作业流程

泡沫轻质土的配制质量是关键所在，在实际操作过程中严格按照配合比进行制作，并严格把握材料下料顺序及搅拌时间。搅拌过程为先水泥浆再泡沫，也就是说，首先把水泥、水按水灰比加入搅拌机内搅拌成匀质水泥浆，搅拌时间为 120 s 左右。在水泥浆搅拌均匀后启动发泡系统，将发泡剂按比例稀释后通过发泡机产生均匀细密的泡沫，随即以设定比例将泡沫导入水泥浆搅拌机中继续搅拌至泡沫与浆体完全混合均匀，此阶段的搅拌时间应严格控制在 180 s 以内以防止气泡过度破裂。搅拌完成后的成品浆液应进行密度现场检测，其实测值应在设计值的 ±3% 偏差范围内方可出料输送。输送系统宜采用螺杆式砂浆泵配合密封管道，输送距离不宜超过 500 m 以防止浆液在管道中停留过久而出现初凝现象。在连续施工过程中应定期检测发泡剂的发泡性能和水泥浆的流动度，发现偏差超出允许范围时立即配合比，并将异常批次浆液废弃处理。

3.3 分层浇筑、摊铺找平与气泡稳定控制施工要点

泡沫轻质土按层次进行浇筑施工，确保泡沫轻质土填筑体的质量均匀性。每层浇筑厚度按照设计要求进行，一般不超过 0.8 m，避免由于自身重量导致下部气泡被过量挤压，从一个方向浇筑到另一个方向，并由流动式管道将混合好的泡沫轻质土浆液直接注入浇筑面上 [3]。禁止面料管插至已浇筑完成的轻质土内进行深部输送，防止对已经初步凝固成型的气泡结构造成扰动破坏，每层浇筑完成后应在凝固前用刮尺进行表面摊铺找平处理，并保证表面平整度达到设计要求的同时也为上层浇筑提供了规整的接触面。对于气泡稳定性控制，在高温、大风等极端气象天气条件下更为重要，尽量避免在正午强日照时段及强风环境下作业。在特殊情况下，对混凝土表面采取覆盖草帘或者洒水等方式降低蒸发表面积速度，减少表面气泡因失水过快产生爆破现象从而造成强度不足及起皮脱壳。同时，派专人在现场进行跟踪监督，观察流态以及冒泡的情况。当环境温度超过 35 ℃时，宜采取降低水泥温度或使用冰水拌合等降温措施，确保浆液入模温度不超过规定限值 [4]。

3.4 养护作业、表层处理与路基衔接施工工艺

泡沫轻质土浇筑完毕后应及时进行保湿养护，可采用塑料薄膜或土工布覆盖并定时洒水的方法对填筑体表面进行养护，使其始终保持在湿润的状态下，以防出现塑性收缩裂缝，养护时间一般不小于 7 天，并且不能让车辆和人踩踏已浇筑完的面层。顶面处理：按设计要求设置防水封闭层，一般为厚不小于 20 cm 的钢筋混凝土板或者水泥稳定碎石层，封闭层宜设置 2% ～ 3% 的横向坡度用于路面结构层排水，拓宽路基与原路基交界位置设置必要搭接构造措施 [5]。例如：台阶处填筑土工格栅提高界面抗剪性能及纵向往返设置伸缩缝满足温差变化并防止反射裂变等措施，在路基交界施工完毕后需根据相关标准对压实度、强度、变形等多项指标进行检验，各项指标达标后再实施路面结构层的后续施工工作 [6]。

4 结束语

依托泡沫轻质土轻质高强、自流平免振捣的核心材料特性，将其应用于公路拓宽工程的新旧路基衔接段填筑，是一项经过工程实践验证的高效技术路径。精准的现场地质勘察、适配性配合比设计、标准化分层浇筑作业与全周期养护管控，是保障项目顺利实施的核心关键。严格按照现行规范流程开展全工序施工，可充分发挥该材料减荷效果显著、施工速度快的技术优势，从根源上控制新老路基差异沉降，大幅压缩拓宽工程的总工期。未来研究需进一步开展材料长期耐久性能的跟踪观测，持续完善配套施工工艺标准，推动该技术在更多交通工程场景中科学落地；工程技术人员也需重点关注新型环保发泡剂与固废基掺合料的研发进展，动态优化配合比体系与施工工法，推动泡沫轻质土施工技术向高效化、低碳化、绿色化方向迭代升级。

参考文献：

[1] 王国英.泡沫轻质土在S5高速公路路基拓宽工程中的应用 [J]. 上海公路 ,2014(03):1-4,20.
[2] 王佳.改扩建高速公路泡沫轻质土施工质量控制 [J]. 交通世界 ,2025(21):89-91.
[3] 闫博儒.泡沫轻质土路基变形特性及修筑技术研究 [J]. 中国高新科技 ,2025(02):111-113.
[4] 罗赵龙.加筋泡沫轻质土在道路拓宽改造中的应用研究 [J]. 交通科技 ,2025,51(04):37.
[5] 王佳.改扩建高速公路泡沫轻质土施工质量控制 [J]. 交通世界 ,2025(21):89-91.
[6] 贾韵洁.泡沫轻质土材料在高等级公路扩建施工中的应用 [J]. 中国公路 ,2020(15):94-95.