

# 泡沫轻质混凝土在高填方路基中技术研究与工程应用

刘忠

昆明轨道交通五号线投资管理有限公司，云南昆明，650200；

**摘要：**地形条件复杂的沟谷地段，当使用高填方路基方案，采用传统填土工法填筑路基沉降大，填方边坡需放坡填筑占地面积大，且需采用大型压实机械，施工周期长。而采用泡沫轻质混凝土高填方路基工法因材料重量轻，边坡自立性好，可极大减少路基沉降并采用较小坡比甚至直立进行填筑，可以极大缓解填方路基沉降和占地问题。本文研究了泡沫轻质混凝土的材料特性与施工方法，结合昆明世博1号大桥变更为轻质混凝土高填方工程实例，通过轻质混凝土高填方路基与桥梁方案及传统路基方案的对比，论证了轻质混凝土的技术经济优势。阐述了轻质混凝土在新旧路基处理、混凝土浇筑控制要点、排水系统设置等施工环节的关键技术，提出了各阶段对应的风险控制措施。最后展望了工法推广的重要意义和应用前景。

**关键词：**泡沫轻质混凝土；高填方路基；工后沉降；经济效益

**DOI：**10.69979/3029-2727.26.04.008

## 1 工法介绍

泡沫轻质混凝土是通过采用泡沫发泡装置将发泡剂、水泥、水及有关外加剂通过物理或化学方法混合均匀发泡，再通过管道运输至现场分层浇筑，经过养护而形成的一种轻质高强路基填筑材料<sup>[1]</sup>。因泡沫轻质混凝土具有工厂化制作，管道运输等优势，可应用于复杂地形段落高填方路基施工。泡沫轻质混凝土高填方路基的优势主要由原材的四大特性决定。1.泡沫轻质混凝土重度一般为4-7 kN/m<sup>3</sup>，其重度约为常规填土材料的1/3，使用泡沫混凝土填筑路基能大幅减小地基附加应力，从而极大减小路基沉降。2.泡沫混凝土材料具有良好的流动性，施工时可通过管道输送几百米，能有效实现在复杂地形条件下的长距离运输；此外，因混凝土材料能自流平和自密实，无需采用重型设备进行碾压。3.泡沫混凝土材料初凝后可快速形成整体，且材料重量轻，其形成边坡后侧向土压力较小，可实现高边坡以较小放坡填筑，甚至可实现垂直填筑。4.轻质混凝土强度形成较快，一般7天强度 $\geq 0.5$  MPa，且28天强度 $\geq 1.0$  MPa，满足路基持力层强度要求。泡沫轻质混凝土高填方路基施工便捷，养护要求低，可大幅缩短路基施工工期<sup>[1]</sup>。

## 2 方案优缺点对比分析

道路交通工程在跨越沟谷、大范围软基路段时，高填方路基与桥梁跨越是两种常用的建造方案。而采用泡沫轻质混凝土填筑的高填方路基，将极大改变桥梁跨越方案工程造价偏高和常规填土工程沉降较大的局限性，

具有较大的技术适应性和经济优势。

1.在中等高度的填方路段（一般在20米左右），桥梁方案需建造大量桥梁墩台，工程总体造价随着桥墩高度变化而急剧增加，而泡沫轻质混凝土高填方路基则可在复杂地形路段经简单处理后直接进行路基填筑，对复杂地形适应性更强，且因为施工便捷，对场地要求较低，其综合造价远低于桥梁跨越方案。

2.传统填土高填方路基方案沉降量大且沉降稳定所需时间长，泡沫轻质混凝土因材料质量轻，基底附加应力小，相应路基沉降也大幅减小，且工程完工后的工后沉降也远低于常规填方工程。

3.桥梁施工需布置大型预制场地进行预制梁施工，且在墩台施工时要进行大量施工便道修筑，预制梁运输和吊装需要大型设备，对场地和通行道路要求高。泡沫轻质混凝土可结合现场条件采用现场制备，制备设备小，且其可通过管道实现长距离运输，减少大量施工便道，对周边环境干扰小并大幅减少施工临时占地。

泡沫轻质混凝土填方路基虽然具有综合造价低，工期短，施工场地要求简单等优势，但因为泡沫轻质混凝土路基的材料成本高于普通土石方填筑路基。因此，工程实践中主要用于对沉降、占地、工期有严格要求的关键路段，如果全线推广将极大增加工程投资。

## 3 泡沫轻质混凝土高填方路基施工关键技术及控制要点

### 3.1 材料配合比设计与制备控制

为保证达到设计既定效果，在设计时需明确填筑材料容重、流动性、抗压强度三大关键指标，并做好配合比的试配和验证工作；结合材料性能和技术要求确定适当的水胶比和纤维掺入量。泡沫群制备时须采用压缩空气物理发泡工艺，确保泡沫发泡均匀稳定；为防止混凝土分层离析，混凝土浆料应及时浇筑，原则上存储时间不宜超过 1.5 小时<sup>[3]</sup>。

### 3.2 新旧路基边坡衔接处理

在泡沫轻质混凝土高填方路基施工，要采取严格措施做好路基边坡新旧路基的衔接处理。对于既有路基边坡，可按设计要求进行分台阶及凿毛处理，必要时可以在台阶处设置锚杆或加设钢筋网喷锚，以提高交界面的抗剪能力，也可在界面处设置防护墙或设置改良过渡层，以实现新旧路基变形协调。

### 3.3 混凝土浇筑与养护

单层混凝土浇筑厚度宜控制在 0.5-1.0 米，待下层初凝后方可浇筑上层，防止单层浇筑厚度过大导致混凝土出现塌缩、开裂等。混凝土浇筑需连续进行，避免产生人为冷缝。浇筑后养护时间根据轻质混凝土的强度决定，一般不少于 7d，直到达到设计强度后方可开放交通。

### 3.4 内部排水系统设置

由于泡沫混凝土透水性能极差，为减少雨季时路基中孔隙水压力，需在泡沫轻质混凝土内设置完善的排水系统以确保积水及时排除。通常从填方底部及内部适当间距设置 PVC 排水管，排水管道设置一定坡度，以便积水排除消除孔隙水压力。

## 4 施工过程中的质量风险及防范措施

风险一：新旧路基差异沉降导致路面开裂

防范措施：严格按照设计方案进行新旧交接面的台阶和加筋处理，必要时可采用适当提高交界面混凝土强度等级；加强路基填筑后的工后沉降观测<sup>[2]</sup>。

风险二：轻质混凝土填方边坡局部稳定性

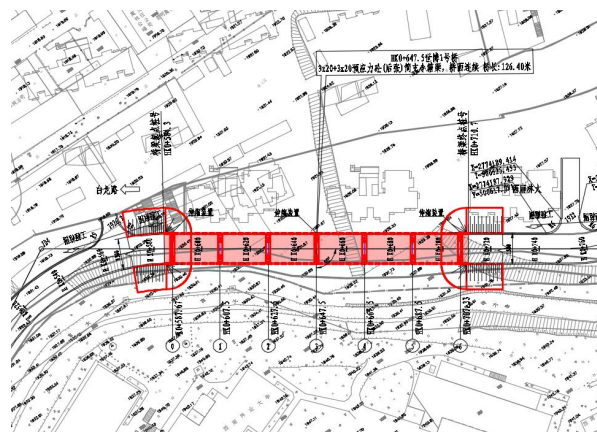
防范措施：进行边坡稳定性专项计算与边坡加固设计；采用加筋土工格栅等增强边坡整体稳定性；对于灾害治理等应急救援项目，需结合深孔位移监测反算滑面参数，确定合适的换填深度。

风险三：材料质量不稳定导致性能不达标

防范措施：严格管控原材料质量，特别是发泡剂；实时监测混凝土容重和流动参数；每工作台班或一定方

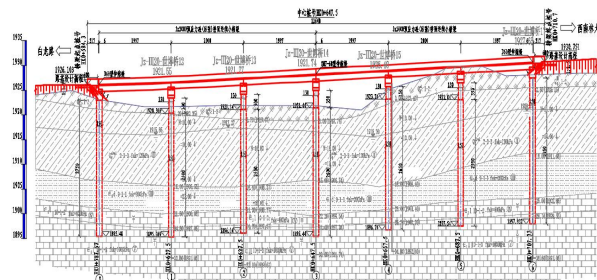
量混凝土后留置一组试块，标准养护后检测强度。

## 5 工程实例



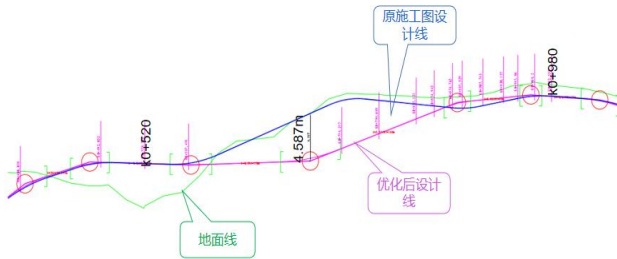
世博 1 号大桥平面图

昆明轨道交通 5 号线世博车辆段位于昆明市盘龙区世博片区，项目用地位于白龙路和园博路交叉口的东南侧，东、南临西南林业大学，西临白龙路，北邻东三环，为集约节约土地，拟在车辆段上方进行上盖开发。为保障段场内正常通行，场内设计一环形道路和两条连接道路。综合开发项目预留工程环形道路 K0+587.5~K0+707.5 段原设计世博 1 号大桥，桥梁布置为 3-20m+3-20m 先简支后连续小箱梁，下部结构采用桩柱式墩、台，桥梁两端通过桥台与环形道路路基衔接，桥梁宽度 13 米。受 5 号线开通初期运营时间节点要求，世博车辆段主体需先期投入使用，导致后续箱梁只能通过现有道路进行运输，经调查，既有道路较窄、曲线半径小，坡度大，梁体运输条件受限，运输及架设风险极大。按照正常施工工序，世博 1 号大桥施工工期为 200 日历天，不满足政府上盖开发对环形道路的通车时间要求。经研究，拟采用优化纵断面设计，并在 K0+584.3~K0+710 位置采用轻质混凝土（重度为 6kN/m<sup>3</sup>）填筑处理，路基填筑高度为 2~2.7 米，基底采用 2 米轻质混凝土换填。路基左侧采用预应力锚索桩板式挡土墙支护，2 根预应力锚索长度分别为 30.5 米和 31.5 米。



世博 1 号桥立面图

方案优化不仅可实现道路提前贯通,按时完成预留工程环形道路通车的要求,减少箱梁运输和吊装的安全风险,并成功将总工期缩短为70日历天,节约工程投资660.8万元。



原1号桥位置变更后优化立面图

当原设计为传统高填方或者先简支后连续梁桥,变更为轻质混凝土高填方路基后将产生显著的效益。泡沫轻质混凝土可极大简化地基处理,在软土路基地段,可以大幅减少甚至取消原设计所需的搅拌桩、塑料排水带等地基处理工程,无需等待长时间沉降固结,节省大量时间。边坡处理无需大型压实设备,施工受雨季影响较小,可实现快速连续作业。在应急抢险工程和雨季施工有明显优势。轻质混凝土施工可以采用管道泵送施工,对既有交通和周边环境影响小,可减少大量协调工作和实现多工序同步施工。

### 5.1 全寿命经济优势

先简支后连续箱梁:按照原设计采用先简支后连续小箱梁桥,工程费用为890万元;轻质混凝土高填方换填工程:工程费用为229.8万元。

虽然轻质混凝土材料单价较常规填方较高,但其在减少征地边坡放坡填筑征地拆迁、降低软基处理费用,缩短工程工期等方面的效应巨大。特别是在拆迁成本高的地区或软基深厚地段,其全寿命周期总成本往往低于传统方案。此外,因沉降较小特别是工后沉降极大减小可大幅提高道路服务水平。

## 6 泡沫轻质混凝土高填方路基工法普及的重要

## 意义和应用前景

泡沫轻质混凝土高填方路基相较于常规填土边坡,因边坡垂直填筑可减少道路征地,节约土地资源;泡沫轻质混凝土原材料可利用部分工业废料,极大减少挖山取土,符合绿色可持续发展理念;泡沫轻质混凝土路基可以从根本上解决高填方路基沉降大及桥头处不均匀沉降跳车等工程隐患,延长道路使用寿命;泡沫轻质混凝土高填方路基工法的普及可实现在复杂地质条件、应急抢险工程、地下结构上方及内部空间回填等特殊工况提供了经济高效备选方案。

泡沫轻质混凝土高填方路基工法,通过材料创新驱动工程进而促进施工工法变革的重要技术,其不仅改变了填筑材料,更为解决高填方路基大沉降、填土边坡占地范围大、施工工期紧张等工程现实矛盾提供了系统性解决方案。虽然其在施工技术风险和管控方面存在较高要求,但其在缩短总体工期、减少建设占地等方面具有不可替代的优势。随着高性能复合添加剂的不断开发进展,以及路基长期耐久性跟踪评价体系、智能化生产浇筑设备的研发以及更科学可行的设计规范和验收标准的制定,该项技术一定会获得更大的推广与普及。

### 参考文献

- [1]陈俊平.泡沫轻质混凝土在高填方路基中的应用.江西建材,2021年10月出版
- [2]樊为荣,陈崇威等.高等级路基拓宽中新型泡沫轻质混凝土施工优化措施.工程设备与材料,2025,第07期.
- [3]黄明洋,赵宝军等.泡沫混凝土的配合比设计与性能研究.中国建材科技,2023,8.
- [4]李苏宁.高速铁路泡沫轻质混凝土路基材料性能研究.辽宁省交通高等专科学校校报,2022,12.

作者简介:刘忠(1985—),男,本科,副高级工程师。研究方向城市轨道交通建设管理、技术管理、市政工程施工技术管理。