

# 泡沫混凝土在公路软基填筑中的性能研究

李欣

宁波公路市政设计有限公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 文章聚焦泡沫混凝土在公路软基填筑中的性能研究。阐述了公路软基特性、泡沫混凝土理论及适配机理,接着开展关键性能试验研究,分析性能影响因素并提出优化方案。随后优化施工工艺,明确质量控制要点。展望未来,提出研发新型泡沫剂、掺入纤维增强等方向,为泡沫混凝土在公路软基填筑的广泛应用提供理论与技术支持。

**关键词:** 泡沫混凝土;软基填筑;力学性能;沉降控制

引言:公路建设中,软基处理是关键难题,其承载力低、沉降难控,影响工程稳定性。传统填筑材料难以满足需求,泡沫混凝土作为新型轻质材料,凭借独特性能优势,在软基填筑中展现出巨大潜力。深入探究泡沫混凝土在公路软基填筑中的性能,对优化软基处理方案、提升公路工程质量与稳定性,具有重要的理论意义和工程应用价值。

## 1 公路软基特性与泡沫混凝土填筑基础理论

### 1.1 公路软基核心特性

公路软基是指公路建设中遇到的承载力低、压缩性高、稳定性差的软弱土层地基,多形成于河湖相沉积、滨海沉积等地质环境,核心特性集中体现在物理力学性能与工程稳定性两方面。物理层面,软基土颗粒细小、孔隙比大,天然含水量普遍高于液限,饱和度接近饱和状态,导致土体密实度低、透水性极差,水分难以快速排出。力学层面,其承载力极低,压缩模量小,在公路荷载作用下易产生不均匀沉降与工后沉降,且抗剪强度弱,易引发边坡失稳、路基开裂等工程病害<sup>[1]</sup>。软基还具有触变性与流变性,受扰动后土体结构易破坏,强度显著下降,后期变形随时间缓慢发展,给公路工程的长期稳定性带来严峻挑战。这些特性决定了软基处理需兼顾承载力提升与沉降控制,为泡沫混凝土等新型填筑材料的应用提供了需求场景。

### 1.2 泡沫混凝土基本理论与性能要求

泡沫混凝土是一种由水泥、水、泡沫剂及外加剂经混合搅拌、浇筑成型后形成的多孔轻质混凝土材料,核心理论基于气孔结构对其物理力学性能的调控,通过引入均匀分布的封闭气孔,实现材料轻质化与功能化。其基本理论核心在于气孔的形成与稳定,泡沫剂经机械搅拌产生大量微小气泡,均匀分散于水泥浆体中,经水化反应后形成相互独立的封闭气孔,使材料兼具轻质、保温、隔音等特性。公路软基填筑场景下,泡沫混凝土需

满足明确的性能要求:强度方面,抗压强度需适配公路路基荷载需求,一般控制在0.5-5.0MPa;密度需为轻质级配,干密度通常在300-1600kg/m<sup>3</sup>,以降低对软基的附加应力;变形性能上,需具备一定的弹性与塑性变形能力,适应软基的轻微沉降;耐久性方面,需满足抗冻融、抗渗、抗碳化要求,避免长期服役中性能衰减。

### 1.3 泡沫混凝土与软基填筑的适配机理

泡沫混凝土与公路软基填筑的适配机理核心在于二者性能的互补性,通过泡沫混凝土的轻质特性与结构优势,破解软基承载力低、沉降控制难的核心痛点,实现路基工程稳定性的提升。从荷载适配来看,泡沫混凝土干密度仅为普通混凝土的1/3-1/5,能显著降低路基自重产生的附加应力,有效控制软基的瞬时沉降与工后沉降,避免超过软基的承载力极限。从变形协调来看,泡沫混凝土内部大量封闭气孔使其具有一定的柔性变形能力,可与软基的轻微不均匀沉降实现协调适配,减少路基与软基接触面的应力集中,降低开裂风险。从地基改良来看,泡沫混凝土浇筑后可快速硬化成型,形成整体性强的承载结构,既能自身承担上部荷载,又能通过扩散荷载作用,增大软基的受力面积,间接提升软基的整体承载力。另外,其良好的不透水性可阻断地表水与地下水对软基的渗透侵蚀,抑制软基土体软化,进一步保障路基长期稳定性,形成“轻质承载-变形协调-地基防护”的协同适配体系。

## 2 泡沫混凝土在公路软基填筑中的关键性能试验研究

### 2.1 室内性能测试

泡沫混凝土在公路软基填筑中的室内性能测试是保障工程应用可靠性的前提,核心围绕力学性能、物理性能及耐久性能开展系统测试,为工程设计与施工提供数据支撑。力学性能测试重点包括抗压强度、抗剪强度与弹性模量测试,采用标准试件在恒温恒湿环境下养护至规定龄期,通过压力试验机加载测定,同时记录不同荷

载等级下的变形数据,分析材料的应力-应变关系。物理性能测试涵盖干密度、孔隙率、吸水率与流动性测试,干密度通过体积与质量比值计算,孔隙率结合密度与表观密度推导得出,吸水率采用浸水法测定,流动性通过塌落度试验或扩展度试验评估。耐久性能测试主要针对公路服役环境需求,开展抗冻融试验、抗渗试验与抗碳化试验,抗冻融试验通过反复冻融循环后强度损失率评估,抗渗试验测定渗透系数,抗碳化试验通过碳化深度判断耐久性<sup>[2]</sup>。所有测试均严格遵循相关行业标准,控制试验变量单一化,确保测试数据的准确性与重复性,为后续性能优化提供依据。

## 2.2 性能影响因素系统分析

泡沫混凝土的性能受多种因素协同影响,系统分析各因素作用规律是实现性能调控的关键,主要可分为原材料因素、配合比因素与制备工艺因素三大类。原材料方面,泡沫剂的类型与质量是核心,动物性泡沫剂发泡稳定性好但成本高,植物性泡沫剂成本低但稳定性较差,泡沫剂的发泡倍数直接影响气孔密度;水泥强度等级决定基体强度,高等级水泥可提升材料抗压性能,但会增加收缩风险。配合比方面,水胶比影响浆体流动性与水化反应充分性,过大易导致气孔合并,过小则流动性不足;泡沫掺量与材料密度呈负相关,掺量过高会降低强度,过低则无法发挥轻质优势;外加剂可调控凝结时间与强度发展,缓凝剂可延长施工时间,早强剂可加快硬化速度。制备工艺方面,搅拌速度与时间影响气泡分散均匀性,过快或过久易破坏气泡,过慢则气泡分布不均;浇筑速度与成型方式影响气孔结构完整性,浇筑过快易产生离析,振捣过度会导致气泡破裂。

## 2.3 性能优化目标与方案

泡沫混凝土性能优化目标需紧密贴合公路软基填筑的工程需求,核心目标为在保障轻质特性的前提下,提升强度、改善变形性能与耐久性,同时兼顾施工便利性与经济性,实现“轻质高强、低收缩、易施工”的综合优化目标。具体优化方案需针对不同影响因素制定针对性措施:原材料优化选用复合型泡沫剂,结合动物性与植物性泡沫剂优势,提升发泡稳定性与性价比;选用中低强度等级水泥搭配矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉,降低收缩风险的同时节约成本。配合比优化采用正交试验法,确定最优水胶比、泡沫掺量与外加剂掺量,控制水胶比在0.5-0.7之间,泡沫掺量根据设计密度精准调控,外加剂掺量按水泥质量的0.5%-2.0%适配。制备工艺优化优化搅拌与浇筑参数,采用分段搅拌法,先搅拌水泥浆体再加入泡沫,控制搅拌速度与时间;浇筑时分层进

行,每层厚度不超过50cm,避免振捣,利用材料流动性自然成型,同时加强养护管控,减少收缩裂缝,提升整体性能。

## 3 泡沫混凝土公路软基填筑施工工艺优化

### 3.1 施工前期准备

泡沫混凝土公路软基填筑施工前期准备工作贯穿地质勘察、材料筹备、场地整理与方案编制,是保障施工顺利开展与工程质量的基础,需做到全面细致、精准管控。地质勘察方面,需对软基区域进行详细勘察,明确土层分布、厚度、含水量、承载力等核心参数,绘制地质勘察报告,为配合比设计与施工工艺制定提供依据,同时排查地下管线、构筑物等障碍物,制定避让方案。材料筹备方面,按优化后的配合比采购水泥、泡沫剂、外加剂等原材料,进场前进行质量检测,确保符合性能要求;泡沫剂需提前进行发泡试验,验证发泡倍数与稳定性;搭建搅拌站,调试搅拌设备、发泡设备与浇筑设备,确保设备运行正常,计量器具精准校准。场地整理方面,清理软基表面杂草、淤泥等杂物,平整场地并设置排水坡度,开挖排水沟与集水井,排出地表积水与地下水,降低软基含水量;对软基表层进行简易压实处理,提升表层承载力,同时铺设防渗膜,防止泡沫混凝土浆液渗漏。

### 3.2 核心施工工艺设计

泡沫混凝土公路软基填筑核心施工工艺设计以“精准制备、有序浇筑、高效养护”为核心,结合材料特性与软基地质条件,优化各环节工艺参数,确保路基成型质量与稳定性。制备工艺采用自动化生产线,按预设配合比精准计量水泥、水、外加剂,先搅拌形成均匀水泥浆体,再将经检验合格的泡沫按比例加入浆体,采用低速搅拌方式混合均匀,避免气泡破裂,搅拌完成后快速检测浆液流动性与密度,不合格浆液严禁使用<sup>[3]</sup>。浇筑工艺采用分层浇筑法,根据软基沉降特性与材料凝结速度,确定每层浇筑厚度为30-50cm,浇筑顺序从路基两侧向中间推进,采用软管导流,控制浇筑速度,避免浆液离析与气孔破坏,相邻两层浇筑间隔不超过初凝时间,确保层间结合紧密。成型工艺无需振捣,利用浆液自身流动性自然摊平,对边角部位采用人工辅助找平,防止出现空鼓、缺角等缺陷。养护工艺采用覆盖保湿养护,浇筑完成后2-4小时内覆盖土工布或塑料薄膜,保持表面湿润,养护龄期不少于7天,低温环境下采取保温措施,避免冻害,高温环境下加强洒水频次,防止收缩开裂。

### 3.3 施工质量控制要点

泡沫混凝土公路软基填筑施工质量控制需贯穿施工

全过程, 聚焦关键环节与核心指标, 采取针对性管控措施, 杜绝质量隐患, 保障路基工程符合设计要求。原材料质量控制需建立进场检验制度, 每批次原材料进场后均需检测性能指标, 泡沫剂发泡稳定性、水泥强度、外加剂适配性等不合格者严禁进场, 同时做好原材料储存管理, 防止水泥受潮、泡沫剂变质。制备过程控制实时监测浆液密度、流动性与气泡形态, 每小时检测一次, 确保符合设计配合比要求, 搅拌设备定期校准, 保证计量精准, 若出现浆液异常, 立即调整配合比或检修设备。浇筑过程控制重点监测浇筑厚度、顺序与间隔时间, 采用水准仪监测分层厚度, 避免超厚浇筑, 及时处理浆液离析、堆积等问题, 确保层间结合质量, 同时记录浇筑时间、部位等参数, 形成施工台账。成型后质量控制定期检测路基标高、平整度与压实度, 采用回弹法抽检抗压强度, 强度不足或平整度超标的部位及时整改, 养护期间严禁车辆碾压、人员踩踏, 加强巡查, 发现裂缝、渗漏等问题及时处理, 确保施工质量达标。

#### 4 未来展望

##### 4.1 研发新型泡沫剂 (提升发泡稳定性)

泡沫剂作为泡沫混凝土的核心原材料, 其发泡稳定性直接决定材料气孔结构与整体性能, 未来研发重点将聚焦新型泡沫剂的高性能化与多功能化, 核心目标是显著提升发泡稳定性, 同时兼顾环保性、性价比与适配性。研发方向主要包括三个维度: 一是复合型泡沫剂研发, 通过复配动物性、植物性泡沫剂与高分子改性剂, 优化分子结构, 提升气泡膜强度与韧性, 减少气泡合并、破裂现象, 使泡沫在水泥浆体中保持长期稳定, 延长泡沫半衰期, 确保气孔分布均匀一致。二是环保型泡沫剂研发, 选用可再生天然原料替代传统化学原料, 降低挥发性有害物质排放, 实现绿色环保, 同时提升泡沫剂与水泥浆体的相容性, 避免因成分冲突影响水化反应与性能发挥。三是功能化泡沫剂研发, 在提升发泡稳定性的基础上, 赋予泡沫剂缓凝、早强、抗裂等附加功能, 无需额外添加外加剂即可调控泡沫混凝土性能, 简化配合比设计, 降低施工成本。另外, 还需优化泡沫剂生产工艺, 实现规模化量产, 推动新型泡沫剂在公路工

程中的广泛应用。

##### 4.2 掺入纤维增强 (提高抗裂性)

泡沫混凝土因多孔结构存在抗裂性不足的短板, 易在养护期间或长期服役中产生收缩裂缝, 影响路基整体性与耐久性, 未来通过掺入纤维增强是提升其抗裂性的核心方向, 重点在于纤维类型筛选、掺量优化与增强机理深化<sup>[4]</sup>。纤维选用需兼顾与泡沫混凝土基体的相容性、分散性与增强效果, 优先研发适配性强的新型纤维材料, 如改性聚丙烯纤维、玄武岩纤维、植物纤维等, 改性聚丙烯纤维成本低、耐腐蚀性强, 可提升材料抗拉强度与韧性; 玄武岩纤维强度高、弹性好, 能有效抑制裂缝扩展; 植物纤维环保可再生, 可改善基体变形性能。同时需优化纤维掺量, 通过试验确定最优掺量范围, 掺量过低难以发挥增强作用, 过高则会影响浆液流动性与气泡分布, 一般控制在水泥质量的0.1%-0.5%。需深化纤维增强机理研究, 明确纤维在抑制干燥收缩、温度收缩中的作用机制, 通过纤维与基体的协同受力, 分散应力集中, 阻止裂缝萌生与扩展, 同时结合新型泡沫剂应用, 实现泡沫混凝土“高强、轻质、抗裂”的综合性能提升, 拓展其在高等级公路软基填筑中的应用场景。

#### 结束语

泡沫混凝土在公路软基填筑中优势显著, 通过对其性能研究、试验分析、工艺优化及未来展望, 明确了提升性能与施工质量的路径。研发新型泡沫剂、掺入纤维增强等举措, 将进一步拓展其应用范围。未来, 需持续探索创新, 推动泡沫混凝土技术发展, 为公路软基处理提供更优质方案, 助力公路工程高质量发展。

#### 参考文献

- [1]庄伟福.泡沫混凝土在路堤填筑中的应用研究[J].广东建材, 2024, 40(03): 110-113.
- [2]杨海泉.轻质泡沫混凝土在路桥工程中的应用[J].工程建设与设计, 2023, (15):103-106.
- [3]郭妍.轻质泡沫混凝土及其在路基填筑中的应用探究[J].大众标准化, 2021, (10):35-37.
- [4]陈伟,曾和余.路基填筑施工技术在高速公路处理工程中的应用[J].绿色环保建材,2021(06):67-68.