

# 振动拌合时间对水泥稳定碎石早期强度发展的影响

王盟 杨传峰 曹晓辉 邹涵宇 陈鹏博

新疆北新科技创新咨询有限公司

**摘要:**为解决水泥稳定碎石早期强度发展不均、增长滞后等工程质量问题,探究振动拌合时间对其早期强度发展的影响。采用试验研究方法,控制相关变量构建振动拌合试验方案,通过检测早期强度指标并结合微观结构分析,明确振动拌合时间与早期强度的关联规律,确定最优拌合时间区间。据此提出适配不同工程需求的振动拌合时间优化方案及质量控制措施,为提升水泥稳定碎石早期强度、保障施工质量提供技术支持。

**关键词:**水泥稳定碎石;振动拌合时间;早期强度;微观结构;质量控制

## 引言

水泥稳定碎石凭借优异的承载与耐久性能,成为道路基层的核心优选材料,其早期强度发展质量直接关系到施工工序衔接效率与工程结构长期稳定性。当前工程实践中,早期强度不均、增长滞后等问题频发,制约施工进度并埋下结构病害隐患。振动拌合技术作为优化材料混合状态的关键手段,其拌合时间参数对水泥水化进程及微观结构形成具有显著调控作用。基于此,本文聚焦振动拌合时间与早期强度的关联特性,通过试验研究明确影响规律并确定最优区间,为工程实践提供针对性技术指导,助力破解早期强度相关质量难题。

## 1 水泥稳定碎石早期强度发展核心问题及振动拌合的影响关联

### 1.1 水泥稳定碎石早期强度的工程需求与现存质量问题

水泥稳定碎石作为道路基层核心构筑材料,早期强度关联道路工程施工进程延续与结构承载安全,高等级公路、城市主干道等重点工程对该材料早期强度存在明确严苛限定,工期紧张场景下充足早期强度保障后续摊铺碾压等工序衔接顺畅,规避基层早期沉降开裂等病害,支撑施工期临时交通荷载,降低施工对基层结构的损伤<sup>[1]</sup>。实际施工中水泥稳定碎石早期强度发展常遇多重质量症结,材料拌合均匀性欠缺致使水泥与碎石颗粒接触不充分引发局部早期强度偏低,初期荷载下易生微裂缝,水分分布失衡造成水泥水化反应进程紊乱,早期强度增长速率滞后施工需求延长养护周期提升施工成本。部分场景基层材料早期强度离散性显著不同段落强度差异超出规范许可范围,导致道路基层整体承载能力失衡,给后期道路使用阶段结构病害留存隐患。

### 1.2 振动拌合工艺对材料凝结硬化的作用机制

振动拌合在材料混合过程中施加周期性机械振

动,使水泥颗粒在液相中获得更高的动能,加速其解聚与润湿过程,进而提前启动水化反应。在浆体尚未初凝前,振动作用可降低体系黏度,增强流动性,使胶凝材料更充分填充集料空隙,减少宏观与微观离析现象。随着水化进行,体系逐渐失去流动性,此时适度的振动有助于排除气泡、密实结构,并促进钙矾石与水化硅酸钙等早期水化产物在空间上均匀成核生长。进入硬化初期,由振动诱导形成的致密微观网络结构可有效传递应力并抑制微裂缝扩展,从而提升材料的整体刚度与强度增长效率。整个过程并未改变水泥化学组成,而是通过物理干预优化了凝结硬化的初始环境与结构基础。

### 1.3 振动拌合时间与早期强度发展的关联分析

振动拌合时长直接调控水泥稳定碎石混合料内部颗粒排布形态与浆体弥散均质性,进而关联水化进程诱发效能及早期胶结构造生成品质,骨料表面在短暂振动作用下难以被水泥浆体充分浸润,局部区域显现包裹失衡或孔隙聚集特征,制约初期强度演进。集料间摩擦阻抗随振动延续逐步衰减,细颗粒填充效能强化,体系密实程度提升,为水化产物在孔隙内有序沉积筑牢基础,加速强度演进速率。振动时长逾越合理区间后,混合料易萌生浆体上浮、粗骨料沉陷等离析倾向,损毁整体结构均质性,抑制早期强度有效生成,这种非单调演变规律印证,存在最优振动时长区间,此区间内材料内部构造最适配早期强度快速构建与稳定演进,其核心价值在于精准锚定拌合工艺参数边界,规避过度振动或振动不足引发的结构性能缺陷。

## 2 振动拌合时间影响早期强度的试验设计与问题聚焦

### 2.1 试验原材料与振动拌合试验方案构建

水泥稳定碎石混合料原料选用恪守基层材料技术规范,普通硅酸盐水泥择取初凝时段适配、强度演进平稳品类以保障水化反应进程可控,粗集料采纳质地

致密、级配连贯的石灰岩碎石,最大粒径限定 31.5mm 以内,压碎指标与针片状颗粒占比契合规范阈值维系骨架构造稳固。细集料为洁净机制砂,细度模数适配,杜绝有机杂质及黏土组分规避阻滞水泥水化效应,拌合用水契合工程用水准则,无氯离子、硫酸根等有害组分,振动拌合测试依托可调振动参数的专用装置,设定差异化持续时长的振动作用。维持其余工艺条件统一前提下系统探究振动时段对混合料匀质性及后续早期强度生成的关联,测试进程着重把控加水次序、投料形式及振动频率平稳性,保障各组试件成型条件统一排除非目标因素扰动。

## 2.2 早期强度检测指标与数据采集方法确定

契合水泥稳定碎石早期强度表征诉求,选用无侧限抗压强度作为核心检测参数,重点涵盖成型后 7 天内强度演化历程,聚焦 1 天、3 天、7 天三个关键龄期;试件借助标准静压或振动成型工艺制备,保障尺寸与密实度契合规范准则,强度检测恪守现行公路工程无机结合料稳定材料试验规范,于恒温恒湿养护环境中开展,规避环境波动干扰水化反应进程。提升数据可信度需在各龄期布设不少于 6 组平行试件,筛除离散性超标的异常数据,数据采集阶段依托高精度压力试验机记录破坏载荷,同步捕捉应力-应变曲线特征,辅助判别材料脆性或延性表现。全试验流程在同一套设备及人员配置下实施,最大程度降低人为与系统偏差,保障获取的强度数据真实映射不同振动拌合时长对早期力学特性的实际作用。

## 2.3 不同振动拌合时间下的试验变量控制要点

在开展振动拌合时间对水泥稳定碎石早期强度影响的试验过程中,必须严格控制除拌合时间外的其他潜在干扰因素,以确保试验结果的准确性与可比性。原材料方面,水泥品种、剂量、碎石级配及含水率需保持一致,避免因材料波动引入额外变量;拌合设备应固定使用同一台振动搅拌机,其振幅、频率等振动参数须预先标定并全程维持恒定,防止工艺参数漂移影响混合料均匀性<sup>[2]</sup>。环境条件亦需统一,包括拌合与成型时的温度、湿度,以及试件养护制度,均应按照规范要求标准化执行。此外,每次拌合的投料顺序、加水方式及出料操作流程也需严格一致,杜绝人为操作差异。通过上述多维度的变量控制,可有效隔离振动拌合时间这一单一变量对早期强度发展的真实作用,为后续规律分析提供可靠基础。

# 3 基于试验数据的振动拌合时间对早期强度影响规律解析

## 3.1 不同拌合时间下早期强度的变化特征分析

随着振动拌合时间的延长,水泥稳定碎石混合料

在早期龄期内的强度演化表现出明显的非线性特征。在极短拌合时间条件下,集料与水泥浆体未能实现有效裹覆,局部区域存在干粉聚集或水分分布不均,致使水化产物生成受限,结构连接薄弱,早期强度偏低<sup>[3]</sup>。当拌合时间处于中等范围时,振动作用促使细颗粒充分填充粗骨料间隙,水泥浆体均匀包裹集料表面,形成致密的初始骨架,水化反应得以在更优的微环境中进行,显著加快胶凝网络的构建速度,从而推动 1 天至 7 天强度稳步上升。若继续延长拌合时间,过度振动可能引发集料破碎、级配偏移及浆体离析,破坏已初步形成的内部结构连续性,反而削弱早期力学性能的发展潜力。这一变化过程反映出拌合时间对早期强度具有明确的促进与抑制双重效应。

## 3.2 影响规律背后的材料微观结构演化机理

振动拌合时间的差异直接影响水泥浆体在碎石骨架中的分布状态与水化反应进程,进而调控微观结构的形成路径。在较短拌合时间内,水泥颗粒未能充分解聚,局部区域存在包裹不均或干粉团聚现象,导致水化反应启动缓慢,生成的水化产物分布零散,孔隙结构粗大且连通性强,界面过渡区薄弱。随着振动作用持续,颗粒间摩擦阻力降低,浆体流动性增强,水泥颗粒均匀分散并紧密贴附于集料表面,为水化反应提供充分接触条件,促使 C-S-H 凝胶、氢氧化钙及钙矾石等产物在孔隙和界面处有序沉积,填充微孔并强化骨料与浆体间的黏结。若振动时间超出合理范围,已初步形成的水化网络可能因持续扰动而发生局部破坏,微裂缝或二次气孔增多,反而削弱结构致密性。微观结构的致密程度、孔隙细化水平及界面结合状态共同决定了早期强度的发展趋势。

## 3.3 关键拌合时间阈值的确定与强度保障可行性验证

系统解析不同振动拌合时长下水泥稳定碎石早期强度演化规律,融合强度攀升速率、离散程度及稳态特征参数,锁定强度快速生成并趋向平稳的临界拌合区间,此界限并非恒定唯一量值,而是呈现为有效时间范畴。该范畴内材料内部水化进程充分激发,颗粒排布匀质,浆体裹覆性优良,规避拌合欠缺造成的胶结失衡或振动过量诱发的结构扰动。为验证此界限对强度保障的实际适配性,多轮重复测试探究其在多样环境温湿度及施工节律下的适配效能,证实该时间范畴内成型试件抗压强度波动范围收窄,契合基层结构早期承载需求的最低标准。结合现场摊铺碾压时限评估此界限在实际作业流程中的实操价值,保障实验室结论向工程实践的有效过渡,为水泥稳定碎石基层施

工中拌合工艺参数的科学设定提供理论支撑与实践指引,助力提升基层结构成型质量与早期力学性能保障水平。

#### 4 适配早期强度需求的振动拌合时间优化方案与应用适配

##### 4.1 基于强度需求的振动拌合时间优化参数确定

针对不同工程对水泥稳定碎石早期强度的具体要求,需系统设定与之匹配的振动拌合时间参数。在满足快速开放交通或早期承载能力的场景下,拌合时间应足以保障水泥浆体均匀包裹集料并初步形成水化产物网络,但又不能过长导致水分过度损失或颗粒结构破坏<sup>[4]</sup>。通过调整振动频率与振幅组合下的有效拌合持续时间,使混合料内部气泡排出充分、颗粒排列密实、水泥分散均匀,从而为早期强度提供微观结构基础。优化过程中需综合考虑原材料特性、环境温湿度及施工节奏等因素,将振动拌合时间控制在既能激发材料潜在胶凝活性、又避免能耗浪费和结构扰动的合理区间内,最终形成可直接指导现场作业的工艺参数窗口。

##### 4.2 优化方案在工程实践中的适配条件与应用要求

振动拌合时间的优化方案在工程实施中需依托于配套的工艺体系与现场管理机制,确保技术参数有效转化为施工质量。拌合站的振动装置必须具备连续稳定运行能力,其激振力应与混合料体积和稠度相匹配,避免能量不足导致包裹不均或能量过大使细集料破碎。运输距离与摊铺速度需与混合料初凝特性协调,防止因工序衔接不当造成工作性损失,影响压实效果和强度形成<sup>[5]</sup>。基层施工厚度、宽度及碾压遍数等结构参数也需与优化后的拌合状态相适应,以充分发挥材料潜在强度。同时,原材料批次间的波动应控制在允许范围内,尤其是水泥活性与碎石洁净度,若杂质含量偏高或胶凝材料反应活性不足,将削弱振动激发的水化促进作用。现场应建立快速反馈机制,对拌合均匀性、含水率及温度进行实时监控,及时调整作业参数,保障优化方案在不同施工段落中的一致性和可靠性。

##### 4.3 优化拌合时间下早期强度质量控制的关键措施

在确定振动拌合时间的优化参数后,需围绕材料均匀性、施工连续性与环境适应性构建全过程质量控制体系。拌合设备应保持稳定的振幅与频率输出,确保水泥浆体在骨料表面充分包裹且分布均匀,避免局部富集或离析现象。运输与摊铺环节须严格控制间隔时间,防止混合料在初凝前发生水分蒸发或结构扰动,影响早期水化反应的正常进行。碾压工艺需与拌合后的可压实窗口期精准匹配,采用合理的碾压遍数与机械组合,保障密实度达到设计要求。施工现场应建立快速含水率与稠度检测机制,动态调整加水量以维持最佳工作性能。养护阶段需及时覆盖保湿材料或喷洒养护剂,抑制表面水分过快散失,为水泥水化提供稳定温湿环境,从而确保早期强度按预期路径发展。

#### 5 结语

振动拌合时间通过调控水泥稳定碎石的微观结构与水化进程,对早期强度发展产生关键影响,存在兼顾强度提升与结构稳定性的最优区间。试验揭示的时间阈值与影响规律,为工艺优化提供了核心依据。适配工程需求的拌合时间优化方案及配套质量控制措施,可有效解决早期强度不足、离散性大等问题,保障施工进度与基层承载安全性。未来可进一步结合原材料特性与环境差异深化研究,推动振动拌合技术在道路基层工程中更精准高效的应用,助力提升工程建设质量与耐久性。

#### 参考文献:

- [1] 高翔. 水泥稳定碎石振动搅拌技术应用分析 [J]. 四川水泥, 2023, (08): 244-246+249.
- [2] 梁波, 覃捷. 水泥稳定碎石振动搅拌技术的应用 [J]. 西部交通科技, 2020, (05): 45-48+137.
- [3] 刘俊瑞, 刘莎. 水泥稳定级配碎石振动成型试验研究 [J]. 北方交通, 2020, (08): 73-75.
- [4] 张乐虎. 不同水泥配比下的水泥稳定碎石振动搅拌性能评价 [J]. 中国市政工程, 2020, (04): 7-9+98.
- [5] 王轩, 李海勋. 水泥稳定碎石振动搅拌技术应用研究 [J]. 科技与创新, 2022, (03): 50-52+58.