

# 路面基层养生时间不足对强度发展的影响研究

赵玉作

济宁市公路工程总公司 山东 济宁 272007

**【摘要】**：为聚焦路面基层养生时间不足对强度发展的影响，本文通过分析强度变化规律、揭示内在机理、构建量化方法与实践管控体系，明确养生时间不足会阻滞强度增长速率、衰减最终强度，核心机理与水化反应不充分、水分失衡及结构密实度下降相关。提出分阶段时长控制、精细化工工艺及协同保障技术，为合理养生时长确定与工程落地提供支撑，保障路面基层承载能力与长期服役性能。

**【关键词】**：路面基层；养生时间；强度发展；管控措施；工程实践

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.092

## 引言

路面基层作为道路核心承重层，其强度稳定性直接关乎道路整体服役质量。养生是基层材料水化成型、强度积累的关键环节，实际工程中工期压缩、管控不当导致的养生时间不足，易引发强度缺陷与病害。明晰养生时间对强度发展的影响规律与机理，建立科学的时长确定方法及实践管控体系，是解决相关工程问题、提升基层施工质量的关键，对保障道路结构安全与耐久性具有重要意义。

## 1 养生时间不足对路面基层强度发展的影响规律

### 1.1 对基层强度增长速率的阻滞效应

路面基层强度增长依托胶凝材料的持续水化反应实现，胶凝材料的水化反应需经历溶解、凝结、硬化的连续阶段，养生时间不足会在关键的凝结期切断水分供给，导致水化产物生成速率骤降，尤其是水化硅酸钙凝胶的生成量不足，无法快速在颗粒间形成有效的粘结桥梁<sup>[1]</sup>。养生时间不足会切断水化反应所需的稳定环境与水分供给，延缓内部胶凝产物的生成速度，基层材料内部结构的胶结成型进程被打乱。基层强度增长的阶段性特征被打破，原本应快速上升的初期强度增长曲线变得平缓，且养生时长短缺越多，速率下降越显著。强度增长幅度随养生时长缩短持续降低，强度增长曲线明显偏离标准养生条件下的发展趋势，无法在既定周期内完成预期强度积累，这种阻滞效应还会影响后续水化反应的推进效率，即便后期环境湿度恢复，中断的进程也难以完全重启，整体增长进程呈现出显著滞后性。

### 1.2 对基层最终成型强度的衰减作用

养生周期不达标会导致基层材料内部水化反应无法充分完成，颗粒间粘结效果难以达到理想状态，结构密实度随之降低，内部孔隙数量与孔径均出现不同程度增加。水化反应不充分与孔隙率升高形成叠加效

应，连通孔隙破坏强度传递的连续性，使基层受力时易出现应力集中，最终成型强度不仅低于设计标准，强度分布也呈不均匀性。基层整体承载结构的成型质量受到直接影响，强度储备水平大幅下降，抗变形能力与抗疲劳性能显著降低。这种强度衰减会长期作用于基层结构，弱化结构自身的承载能力，面对车辆荷载反复作用、温度应力变化时，易出现细微裂缝且加速扩展，为后续路面沉陷、车辙等病害的产生埋下隐患，其不可逆的结构缺陷难以通过后期补强完全弥补。

## 2 路面基层强度发展受养生时间制约的内在机理与优化路径

### 2.1 养生时间制约基层强度发展的水化反应机理

路面基层材料中胶凝组分的水化反应是强度生成的核心动力，养生时间直接决定水化反应的持续周期与完成程度。养生周期未达到设计要求时，胶凝材料与水分的接触时长不足，水化反应仅能在表层及浅层区域初步开展，内部核心区域的水化进程因水分供给中断与反应时间短处于停滞状态。水化产物的生成量与结晶发育程度直接受此影响，水化硅酸钙、水化铝酸钙等胶凝产物无法形成连续且致密的胶结体系，颗粒之间的粘结作用力难以达到强度成型所需的阈值。水化反应的阶段性推进特征被打乱，早期水化产物来不及完成晶体搭接与结构交织，便因养生时长不足停止发育，内部胶结网络的完整性与连续性大幅缺失。水化反应的时间依赖性决定了强度形成具有不可逆特征，养生时长不足会直接造成水化程度偏低，胶凝产物的数量与形态均无法满足结构受力需求，微观层面的粘结缺陷会逐步转化为宏观强度不足<sup>[2]</sup>。随着养生时间的缩短，水化反应的深度与广度持续降低，未完全水化的胶凝颗粒占据基层内部空间，无法参与结构胶结过程，导致基层强度生成的物质基础薄弱。养生时间的合理性直接决定水化反应的彻底性，反应进程的不充分性会形成不可逆的结构缺陷，成为制约

强度持续发展的根本原因,即便后期补充养护,也难以修复前期反应中断造成的性能损失,水化反应的时序性特征决定了养生时间对强度发展的底层约束作用。

## 2.2 水分状态与结构密实度的关联作用机制

水分是基层材料水化反应的介质,也是维持内部结构密实度的关键要素,养生时间不足会打破水分留存与散失的动态平衡,进而改变基层结构的成型状态。在养生阶段,充足的时长能够保障水分持续渗透至基层内部,为水化反应提供稳定的环境,同时推动材料颗粒逐步靠拢压实,降低内部孔隙率。养生时间短缺时,表层水分快速蒸发散失,内部水分向外迁移补充的速率远低于蒸发速率,形成内外水分差与应力差,基层内部孔隙无法被水化产物有效填充,连通孔隙与毛细孔隙数量大幅增加。水分分布的失衡会直接引发内部应力的不均匀分布,干缩应力随养生时间缩短持续累积,促使微小裂隙逐步萌生并扩展,裂隙的延伸与贯通会进一步破坏内部结构的连续性。水分供给不足还会抑制颗粒间的嵌挤与咬合效果,使基层成型后的整体骨架稳定性持续下降,孔隙率的上升会降低结构的抗渗性能与耐久性能,为外部水分侵入与内部冻胀破坏提供条件。孔隙结构的发育会直接破坏基层的整体性,颗粒间的咬合与胶结效果被弱化,结构密实度随养生时间不足呈现线性下降趋势。结构密实度的衰减会进一步降低基层的承载能力与抗变形能力,水分缺失引发的干缩应力也会在内部累积,形成微小裂隙网络,裂隙的存在会切断强度传递路径,导致基层整体强度无法协同发展。养生时间通过调控水分状态实现对结构密实度的管控,二者的联动机制构成了养生时间影响强度发展的重要物理机理。

## 2.3 基于强度增长规律的养生时长控制方法

路面基层强度增长具有阶段性特征,养生时长的优化需贴合强度发展的动态规律,构建分阶段、适配性的时长控制体系。基层强度增长可分为初始成型期、快速增长期与稳定固化期,不同阶段对养生时间的需求存在差异,初始成型期需要连续养生保障结构初步成型,快速增长期需延长养生时长推动水化反应充分进行,稳定固化期则需维持基础养生条件巩固强度成果<sup>[3]</sup>。各阶段时长的设定需结合半刚性基层材料特性细化量化,明确不同强度增长阶段的时长阈值与控制标准,针对水泥稳定类、石灰粉煤灰稳定类等不同材料分别确定适配时长。养生时长的设定需结合材料配比、环境温度与湿度条件,高温干燥环境下需适当延长养生时长,弥补水分快速蒸发带来的影响,低温环境下则需通过时长调整保证水化反应的基础速率,引

入环境修正系数对基准时长进行动态校准。临界养生时长是保障强度达标最低阈值,低于该阈值时强度增长会出现断崖式衰减,高于阈值后强度增长速率逐步放缓,据此可确定兼顾施工效率与强度质量的最优养生时长。养生时长的控制需摒弃单一化标准,结合基层结构类型、材料特性与工程要求实现动态调整,通过时长的精准把控消除养生不足带来的强度缺陷,让养生周期与强度发展规律高度匹配。

## 2.4 路面基层养生工艺的精细化管控措施

养生工艺的实施质量是落实养生时长要求、保障强度发展的重要载体,精细化管控需围绕保湿、保温与防护三个核心维度展开。保湿养生需采用持续性覆盖措施,减少水分自由蒸发,保证养生周期内基层内部湿度维持在稳定范围,避免因湿度波动中断水化进程,覆盖材料的选型与铺设方式需适配基层表面结构,提升保湿效果的均匀性,杜绝局部区域漏盖、湿度过低的问题。保温管控需适配环境温度变化,消除温度应力对结构的影响,保证养生过程中温度处于水化反应适宜区间,防止温度过低降低反应速率、温度过高加剧水分散失,极端气候条件下可采取多层覆盖或辅助控温措施稳定内部环境。养生防护需避免外部荷载、扬尘与机械扰动对养生状态的破坏,在规定养生时长内保持基层结构的稳定性,为强度发展提供安全的外部环境。养生工艺的管控需贯穿全周期,从养生开始至时长结束实施连续监控,确保覆盖材料的完整性、洒水频次的合理性与封闭管控的有效性,通过工艺细节的优化弥补养生时间管控的不足,让养生时长的作用得到充分发挥。工艺管控的精细化程度直接决定养生效果,也是破解养生时间制约强度发展问题的关键实践路径。

## 2.5 养生质量与结构强度协同保障技术要点

养生质量与基层结构强度的协同保障需建立时长、工艺、监测三位一体的技术体系,实现从过程控制到效果验证的全链条管控。强度监测需与养生周期同步开展,通过实时检测强度数据反馈养生效果,根据强度增长速率调整养生时长,形成动态调控机制,监测数据的实时分析可及时预判强度发展趋势,提前规避养生不足带来的质量风险,依托数字化监测手段实现养生过程的可追溯、可调控。养生质量的评定需与强度指标挂钩,未达到强度设计要求时需延长养生周期,直至强度满足标准,避免因养生时间不足导致结构带病成型。施工工序衔接需适配养生时长要求,合理规划工期安排,杜绝因工期压缩缩减养生时间,保证养生阶段的独立性与完整性,将养生管控纳入施

工组织设计的核心环节。同时，结合长期服役性能要求，将养生时间管控纳入结构耐久性保障体系，通过养生质量的提升强化强度稳定性，减少后期病害产生。协同保障技术需聚焦养生时间与强度发展的内在关联，以机理研究为基础，以管控措施为手段，实现路面基层强度的稳定提升，从根本上解决养生时间不足带来的各类结构性能问题。

### 3 基于强度保障的路面基层合理养生时长确定与工程实践

#### 3.1 合理养生时长的量化确定方法

合理养生时长的量化需整合强度设计标准、材料特性与环境参数，构建多因素耦合的强度-时长关联模型。以基层设计强度值为核心目标，纳入胶凝材料水化反应速率、基层厚度、环境温湿度波动范围等关键参数，通过数据拟合明确不同条件下强度增长与养生时长的函数关系。量化过程中需区分临界养生时长与最优养生时长，临界时长为满足最低强度要求的最短周期，最优时长则是兼顾强度充分发展与施工效率的平衡节点，同时结合基层材料的水分需求阈值，校准模型参数以提升量化结果的精准度，确保时长确定既符合材料水化规律，又能满足工程强度底线要求<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 工程实践中的时长动态调控策略

工程现场的复杂环境决定了养生时长需具备动态调整能力，核心在于建立实时监测与即时调控的联动机制。通过布设温湿度传感器、强度快速检测设备，实时追踪基层内部水分损耗速率、水化反应进程及强度增长曲线，当监测数据显示水分流失过快或强度增长滞后于模型预测值时，及时启动时长调整程序。针对高温干燥环境，通过延长养生周期弥补水分快速蒸发的影响；针对低温环境，在保障水化反应基础条件的前提下，适度调整时长以匹配反应速率；同时结合施工工序衔接进度，在不压缩必要养生周期的前提下优化工期安排，避免因工序冲突导致养生时长被动缩短，确保动态调控既贴合现场实际，又不偏离强度保障核心。

#### 参考文献:

[1] 汤长西,颜峰,孔垂元,王瑞.砂岩对路面基层强度及水稳定性的影响研究[J].公路工程,2024,49(5):116-122.  
 [2] 周泽洪,崔志飞,冯太群.沥青路面抗疲劳断裂半刚性基层强度标准研究[J].路基工程,2022(1):18-24.  
 [3] 张云珂.沥青油石比及养生时间对半柔性路面材料性能的影响[J].山西交通科技,2022(1):6-829.  
 [4] 自立波.基于无侧限抗压强度试验的路面水泥稳定基层材料特性研究[J].交通世界,2022(24):11-1319.  
 [5] 王晟华,王小敬,崔宏环,金成勇.水泥加固类路面基层填料的浸水强度[J].科学技术与工程,2021,21(1):353-357.

障核心。

#### 3.3 养生质量验证与实践落地保障

养生时长的实践落地需以严格的质量验证为支撑，将强度达标作为时长有效性的核心判定标准。在养生周期内设定关键检测节点，采用无损检测与现场取样相结合的方式，检测基层抗压强度、劈裂强度等核心指标，验证强度增长是否达到设计要求。若检测结果未达标，需基于强度缺口分析延长养生时长，并追溯环境、工艺等影响因素进行针对性调整。同时，将养生时长管控纳入施工质量责任体系，明确时长标准、监测要求与验证流程，形成从量化确定、动态调控到质量验证的闭环管理，确保合理养生时长在工程实践中得到刚性执行，从根本上避免因时长不足导致的强度缺陷，保障路面基层长期服役性能<sup>[5]</sup>。见图 1

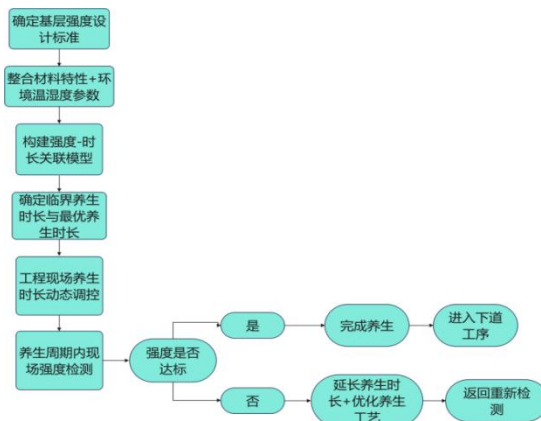


图 1 路面基层合理养生时长确定与实践管控流程图

### 4 结语

梳理养生时间不足对路面基层强度发展的影响规律与内在机理，明确水化反应、水分状态与结构密实度的关联作用，形成分阶段时长控制、精细化工艺管控及协同保障的完整技术体系。合理养生时长的量化确定与动态调控，为工程实践提供了可操作的解决方案。未来可进一步深化多环境、多材料适配的养生技术研究，结合数字化监测手段优化管控精度，推动路面基层养生技术向更高效、精准的方向发展。