

不同养护条件下公路水泥混凝土强度发展试验研究

金彦荣

杭州市交通工程集团有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文围绕公路水泥混凝土强度发展展开研究。先阐述试验材料、配合比设计及采用控制变量法的试验方案。接着分析不同养护条件对强度的影响，发现温度、湿度、养护龄期均影响强度发展，且强度与三者存在动态关系、关联规律及增长模式。最后提出提升强度的养护措施，包括低温保温、高温降温的温度控制，覆盖保湿材料的湿度保持，以及合理确定养护龄期、禁止过早加载、建立记录制度的养护龄期保障等。

关键词：公路水泥混凝土；养护条件；强度发展；温度；湿度；龄期

引言：公路水泥混凝土强度发展受养护条件影响显著，直接关乎道路工程的质量与耐久性。水泥、骨料等试验材料性能，以及科学合理的配合比设计，是保障混凝土质量的基础。而养护过程中的温度、湿度和养护龄期等关键因素，对混凝土强度发展起着决定性作用。不同温度下，水泥水化反应速率有别，影响强度增长；湿度不足会限制水化反应，降低强度；养护龄期则反应强度随时间的发展过程。深入探究这些因素与混凝土强度的关系，提出针对性的养护措施，对于提升公路水泥混凝土强度、保障工程质量具有重要的理论意义和实践价值。

1 试验材料与方案设计

1.1 试验材料

本试验所用水泥为普通硅酸盐水泥，其各项性能指标符合相关国家标准，初凝时间、终凝时间、抗压强度等均满足公路水工混凝土施工要求。粗骨料采用连续级配的碎石，粒径范围为5-20mm，含泥量、针片状颗粒含量等指标符合规范规定，以保证混凝土的强度和工作性。细骨料选用天然河砂，细度模数在2.3-3.0之间，属于中砂，其洁净度高，含泥量低，能有效减少对混凝土强度的不利影响。试验用水为自来水，不含有害物质，符合混凝土拌和用水标准。为改善混凝土的工作性能和强度，适当掺入减水剂，其掺量根据混凝土的坍落度要求确定，确保在减少用水量的同时，不影响混凝土的凝结时间和强度发展。

1.2 配合比设计

根据公路水泥混凝土设计强度等级要求，结合试验材料的性能，进行混凝土配合比设计。配合比设计遵循强度、耐久性、工作性和经济性的原则，通过计算和试配确定水泥、粗骨料、细骨料、水和外加剂的用量比例。在试配过程中，调整各材料用量，使混凝土的坍落度控制在合理范围内，以满足施工浇筑要求。同时，通

过制作试块并测定其抗压强度，验证配合比的合理性，最终确定适合本试验的最佳配合比^[1]。

1.3 试验方案

试验采用控制变量法，分别研究温度、湿度和养护龄期对公路水泥混凝土强度发展的影响。

在温度影响试验中，设置不同的养护温度梯度，如5℃、20℃、35℃、50℃等，在其他条件相同的情况下，制作混凝土试块并分别在相应温度环境下进行养护，测定不同龄期的抗压强度和抗折强度。

湿度影响试验则设置不同的相对湿度环境，如30%、50%、70%、90%等，同样在相同的材料、配合比和温度条件下，对混凝土试块进行养护，定期检测其强度指标。

养护龄期试验选取1d、3d、7d、14d、28d、60d、90d等多个时间点，在标准养护条件（温度20±2℃，相对湿度95%以上）下养护混凝土试块，测定不同龄期的强度，以分析混凝土强度随龄期的发展规律。试验过程中，严格按照相关试验规范进行操作，每个试验条件下制作多组试块，取其强度平均值作为试验结果，以减少试验误差。

2 不同养护条件对水泥混凝土强度的影响分析

2.1 温度对强度发展的影响

温度是影响水泥混凝土强度发展的关键因素之一。在一定范围内，随着养护温度的升高，水泥水化反应速度加快，混凝土早期强度增长迅速。（1）在低温环境（如5℃）下，水泥水化反应受到抑制，水化产物生成缓慢，混凝土早期强度较低。随着龄期的延长，强度虽有增长，但增长速率较慢，28d强度往往低于标准养护条件下的强度。（2）中温环境（如20℃）是水泥水化反应的适宜温度，此时水化反应正常进行，混凝土强度随龄期稳步增长，各龄期强度均能达到较好的发展水平，28d强度可满足设计要求。（3）高温环境（如35℃、50℃）

下,水泥水化反应在早期极为迅速,混凝土1d、3d强度明显高于中温养护条件。但过高的温度会导致水泥水化反应过早终止,使后期强度增长缓慢,甚至出现后期强度倒缩的现象。尤其是在50℃以上的高温环境中,混凝土内部结构可能因水分蒸发过快而产生孔隙,影响强度的进一步发展。

2.2 湿度对强度发展的影响

湿度对水泥混凝土强度发展的影响主要体现在水泥水化反应的充分性上。水泥水化需要足够的水分,充足的湿度能保证水化反应持续进行,有利于混凝土强度的增长。

在高湿度环境(如相对湿度90%)中,混凝土表面水分蒸发少,内部水分充足,水泥水化反应充分,各龄期强度均较高,且后期强度增长稳定。

当相对湿度降低(如70%、50%)时,混凝土表面水分蒸发加快,内部水分逐渐减少,水泥水化反应受到限制,强度增长速率减缓。尤其是在早期,湿度不足会导致混凝土表面出现干缩裂缝,影响混凝土的整体性和强度。

在低湿度环境(如30%)中,混凝土水分蒸发迅速,水泥水化反应过早停止,不仅早期强度较低,而且后期强度增长几乎停滞,混凝土结构疏松,强度远低于设计要求^[2]。

2.3 养护龄期对强度发展的影响

2.3.1 养护龄期

养护龄期是反映混凝土强度发展过程的重要参数。混凝土强度随养护龄期的延长而不断增长,但增长速率逐渐减缓。

2.3.2 在龄期初期(1d、3d)

水泥水化反应剧烈,强度增长迅速,1d强度一般可达28d强度的15%-25%,3d强度可达28d强度的30%-50%。

2.3.3 7d龄期

水泥水化反应仍较活跃,强度持续增长,通常能达到28d强度的60%-70%。28d龄期是混凝土强度评定的标准龄期,此时水泥水化反应基本完成,强度达到设计强度的主要部分。

2.3.4 28d龄期

28d龄期以后,水泥水化反应逐渐趋于平缓,强度增长速率减慢,但仍会随龄期的延长而缓慢增长,60d、90d强度较28d强度有一定提升,这是由于水泥水化产物不断填充混凝土内部孔隙,使结构更加致密。

3 水泥混凝土强度发展规律探讨

3.1 强度与温度的动态关系

通过全面综合不同温度条件下混凝土强度发展的大量数据,能够精准剖析出强度与温度之间复杂且动态的关系。在混凝土养护初期(1-7d),温度对强度的影响极为突出,此时温度升高会显著加快水泥水化反应速率,促使强度迅速增长。然而,当温度超出一定限度后,混凝土内部结构可能因高温出现不良变化,导致后期强度增长潜力降低。借助先进的数据拟合分析技术,可成功构建不同龄期混凝土强度与养护温度的函数关系。此函数关系能以定量方式精确描述温度对强度发展的影响程度,为在不同温度环境下准确预测混凝土强度提供可靠的数学模型。进一步研究发现,存在一个最佳养护温度区间,在此区间内,混凝土不仅能在早期快速获得较高强度,还能确保后期强度持续稳定增长。值得注意的是,这一最佳区间通常与水泥品种和配合比密切相关,需结合实际情况合理确定。

3.2 强度与湿度的关联规律

深入剖析湿度对混凝土强度发展的影响数据能够发现,强度与湿度之间存在着紧密且明确的正相关关系。具体而言,在混凝土强度发展的早期阶段,这种关联性表现得尤为显著,较高的湿度环境能够为水泥的水化反应提供充足的水分,促进胶凝材料的充分水化,进而推动混凝土强度持续、稳定地增长。当养护环境的相对湿度低于某一特定临界值时,混凝土强度会出现急剧下降的情况。值得注意的是,这一临界湿度值并非固定不变,它会受到混凝土配合比、环境温度等多种因素的综合影响。通常情况下,为确保混凝土强度能够按照预期正常发展,养护环境的相对湿度不宜低于80%。此外,通过精心绘制不同龄期混凝土强度与相对湿度的关系曲线,能够以直观、清晰的方式呈现出湿度对强度发展的影响趋势,为科学、合理地确定养护湿度提供坚实可靠的依据。

3.3 强度随龄期的增长模式

混凝土强度随龄期的增长并非呈线性变化,而是遵循特定的指数增长规律,运用指数函数可对其进行精准拟合。从增长态势来看,可清晰地划分为快速增长期、稳定增长期和缓慢增长期三个阶段。在1-7d的快速增长期,水泥水化反应极为活跃,大量水化产物迅速生成并相互交织,使得混凝土强度在短期内大幅提升。7-28d进入稳定增长期,此时水泥水化反应速率有所减缓,但仍有新的水化产物不断产生,强度增长速率逐渐降低,不过仍保持着一定的增长幅度。28d之后进入缓慢增长期,水泥水化反应基本接近尾声,强度增长趋于平缓,主要依靠水泥水化产物的持续填充以及混凝土内部结构的进

一步致密化来提升强度。这种明确的增长模式为混凝土工程的养护时间安排提供了科学依据,在不同阶段需针对性地确保适宜的温湿度等养护条件,以保障强度持续稳定增长^[3]。

4 提升公路水泥混凝土强度的养护措施

4.1 温度控制措施

基于温度对混凝土强度发展具有显著影响这一规律,在公路水泥混凝土养护过程中,必须采取精准且有效的温度控制措施。(1)在低温环境里,混凝土中的水分易结冰,会阻碍水泥水化反应正常进行,影响早期强度形成。此时可采用覆盖棉被、塑料薄膜等高效保温材料,减少热量散失;也可设置蒸汽养护、电加热等加热装置,提升养护环境温度,为水泥水化反应创造适宜条件,保障混凝土早期强度顺利发展。(2)高温环境下,混凝土水分蒸发快,易因内外温差过大产生裂缝,影响后期强度。应采取遮阳、洒水降温等措施,降低混凝土表面温度。同时,适当延长保湿养护时间,减少水分蒸发。对于大体积混凝土结构,因其水化热释放集中,还需预埋冷却水管、采用分层浇筑等方式,有效控制混凝土内部与表面温度差值,避免温度应力引发裂缝。

4.2 湿度保持措施

为确保水泥水化反应得以充分且持续地进行,进而保障混凝土强度与耐久性的良好发展,必须采取一系列行之有效的湿度保持措施。在混凝土浇筑作业完成后,应迅速在其表面覆盖塑料薄膜、麻袋、草帘等性能适宜的保温材料,这些材料能够有效阻隔空气与混凝土表面的直接接触,大幅减少表面水分的蒸发散失。同时,需依据环境湿度的实际状况,科学合理地定期向保湿材料洒水,使混凝土表面始终维持湿润状态,为水泥水化反应提供充足的水分条件。对于路面等大面积的混凝土结构,可采用洒水车按照既定的时间间隔进行洒水养护。在干燥多风的特殊环境条件下,可适当增加覆盖层的厚度,或采用封闭式养护方式,营造一个相对独立且湿度适宜的小环境,防止混凝土表面因水分过快散失而出现干燥开裂等质量问题。

4.3 养护龄期保障措施

合理确定养护龄期是确保混凝土强度得以充分发展的关键环节。混凝土强度会随龄期的增长而逐渐提升,遵循特定的增长模式。依据相关规范与工程实践,公路水泥混凝土的养护龄期通常不应少于28天。不过,对于存在特殊要求的工程项目,例如高强度混凝土结构,其强度发展要求更高;或是承受重载的路段,对混凝土强度和耐久性有更严苛标准,都应结合实际情况,适当延长养护龄期,以保证混凝土强度充分发展至设计预期。在养护期间,必须严格禁止过早加载或通车,防止混凝土在强度尚未达到设计要求时,因承受外力作用而出现内部损伤或结构破坏。此外,还应建立完善的养护龄期记录制度,详细、准确地记录养护起始与结束时间,以及养护过程中的温度、湿度变化情况,为后续混凝土强度的科学评定提供可靠依据^[4]。

结束语

综上所述,公路水泥混凝土强度发展受温度、湿度和养护龄期等多因素综合影响。不同养护条件对强度发展各有独特作用机制,存在复杂动态关系。通过试验分析明确了各因素影响规律,为强度预测和养护措施制定提供依据。基于此提出的温度控制、湿度保持和养护龄期保障等措施,能有效提升混凝土强度。在实际工程中,需结合具体情况,综合运用这些措施,精准控制养护条件,确保混凝土强度充分发展,满足公路工程对混凝土性能的严苛要求,保障公路工程的质量与耐久性,推动公路建设朝着高质量方向发展。

参考文献

- [1]吕新东,李俊,张星,等.不同养护条件下高性能矿物掺合料对输电线路基础混凝土性能的影响[J].建筑科学,2023,39(11):65-71.
- [2]郭春雨,马洪涛.不同养护条件对混凝土耐久性影响的研究[J].建筑材料学报,2019,22(4):51-57.
- [3]马军涛,沈鹏飞,邹会鑫,等.不同养护温度下磨细粉煤灰的反应活性分析[J].混凝土,2022,(11):51-55.
- [4]刘浩,戚文,张群,等.不同温度条件下矿渣水泥的水化反应机理研究[J].新型建筑材料,2022,49(09):154-157.