

高性能混凝土外加剂对建材性能的影响研究

梁超 刘敏

山东齐通工程检测有限公司 山东 济南 250100

摘要: 高性能混凝土外加剂在建材性能优化中至关重要。减水剂通过表面活性降低用水量,提升抗压强度与耐久性,改善施工性能;引气剂引入微小气泡,增强抗冻融性与抗渗性;膨胀剂补偿收缩应力,减少裂缝产生。外加剂对混凝土工作性、力学性能、耐久性、体积稳定性和热学性能等均有显著影响。通过合理使用及复配,可实现混凝土性能的多维度提升,为现代建筑的高效、绿色、可持续发展提供坚实技术支撑。

关键词: 高性能混凝土外加剂;建材性能;作用机制

引言

在现代建筑工程领域,混凝土作为应用最为广泛的建筑材料之一,其性能的优劣直接关系到建筑结构的安全性、耐久性以及使用寿命。随着建筑技术的不断发展和对建筑品质要求的日益提高,传统混凝土已难以满足复杂多变的工程需求。高性能混凝土外加剂凭借独特作用机制,可显著改善混凝土工作性、力学性能与耐久性,提升建材综合性能。深入研究其对建材性能的影响,对建筑行业技术进步与创新意义重大。

1 高性能混凝土外加剂在建材性能优化中的关键作用

高性能混凝土外加剂在建材性能优化中占据着举足轻重的关键地位,是提升混凝土综合性能的核心技术手段。在混凝土制备过程中,外加剂能够精准调控其微观结构与宏观性能,显著改善传统混凝土的固有缺陷。减水剂通过表面活性作用,有效降低水泥颗粒间的摩擦力,释放包裹水,大幅减少用水量,在保持工作性的同时降低水胶比,使混凝土孔隙结构致密化,从而显著提升抗压强度与耐久性。引气剂则引入均匀分布的微小气泡,形成弹性缓冲体系,缓解冻融循环或干湿交替产生的内部应力,大幅增强抗冻融性与抗渗性,延长结构使用寿命。膨胀剂通过水化反应生成钙矾石等膨胀产物,补偿混凝土硬化过程中的收缩应力,减少裂缝产生,保障结构整体性,外加剂对混凝土施工性能的优化作用同样突出。减水剂可明显改善流动性,使混凝土具备自密实特性,降低振捣能耗;缓凝剂通过延缓水化反应速率,延长可操作时间,适应高温环境或复杂施工条件;早强剂加速早期强度发展,缩短养护周期,提高施工效率。这些性能提升共同作用于建材全生命周期,为现代建筑的高效、绿色、可持续发展提供了坚实的技术支撑。

2 高性能混凝土外加剂的类型与作用机制

2.1 减水剂

在高性能混凝土外加剂的庞大体系中,减水剂占据着极为关键且应用最为广泛的地位。其核心功能聚焦于在维持混凝土工作性能恒定的基础上,大幅削减用水量。深入探究其作用机制,减水剂分子拥有独特的化学结构,能够精准地在水泥颗粒表面实现定向吸附。如果吸附完成,便会构建起一层排列有序的单分子吸附膜。由于减水剂分子的特殊性质,致使水泥颗粒表面携带相同性质的电荷,基于同性相斥原理,这些带有相同电荷的水泥颗粒之间会产生强烈的静电斥力。在此斥力作用下,原本相互团聚、堆叠的水泥颗粒被迫彼此分离,并在混凝土体系中实现均匀分散。这一过程恰似解除了水泥颗粒之间的“捆绑”,大量被水泥颗粒紧紧包裹、无法有效参与水泥水化反应的游离水得以重获“自由”,被充分释放出来。减水剂还具备降低水表面张力的特殊能力。当水的表面张力降低后,水分子的活动变得更加自由、活跃,混凝土拌合物内部的流动性因此得到显著提升。各组分之间的相互作用也变得更为顺畅,从根本上全方位改善了混凝土的工作性。在实际的建筑工程应用场景中,合理使用减水剂能使混凝土在浇筑过程中更加轻松地填充模板的每一处角落,极大程度减少了施工过程中出现蜂窝、麻面等质量缺陷的可能性,提升了混凝土结构的成型质量,为后续建筑结构的稳定性与安全性奠定坚实基础^[1]。

2.2 引气剂

(1) 引气剂作为高性能混凝土外加剂的关键类型,在混凝土制备中发挥着不可替代的作用。其核心功能在于向混凝土内部引入大量均匀分布、尺寸微小且性质稳定的气泡,这些气泡从微观结构层面深刻影响着混凝土的性能。气泡在混凝土内部如同“微型滚珠”,切断原本相互连通的毛细孔通道,重构了混凝土的微观孔隙结

构。这一改变使得混凝土在面对冻融循环等恶劣环境时,能够有效缓冲水结冰膨胀产生的应力,避免内部结构因应力集中而破坏,提升抗冻性能。(2)在渗透压环境下,气泡的存在显著改变了水分在混凝土内部的渗透路径。由于气泡的阻隔作用,水分难以直接穿透混凝土,须绕过这些微小孔隙,大幅增加了渗透难度。这一特性使得混凝土的抗渗性能得到明显增强,能有效抵御外部水分侵蚀,延长结构使用寿命。(3)以北方寒冷地区道路桥梁工程为例,科学掺加引气剂的高性能混凝土在冻融循环环境中的表现尤为突出。气泡的缓冲作用大幅降低了混凝土因冻胀开裂的风险,保障了结构在长期使用中的稳定性与功能性。这一应用实践充分验证了引气剂在优化混凝土性能、提升工程耐久性方面的核心价值,为寒冷地区基础设施建设提供了可靠的技术支撑^[2]。

2.3 膨胀剂

膨胀剂作为高性能混凝土外加剂家族中的重要成员,主要通过与水发生特定的化学反应,生成诸如钙矾石等具有明显膨胀特性的物质,以此推动混凝土产生适度的体积膨胀。在混凝土从浇筑后的硬化阶段直至后续长期使用过程中,不可避免地会因水分逐渐散失而出现干缩现象,环境温度的变化也会引发冷缩情况。这些收缩现象会在混凝土内部产生拉应力,如果拉应力超过混凝土自身的抗拉强度,裂缝便会随之萌生、扩展。而膨胀剂产生的膨胀作用,能在一定程度上精准补偿因干缩和冷缩所导致的体积损失,有效抵消混凝土内部产生的拉应力,从源头上防止裂缝的产生,提高了混凝土的抗裂性能。在建筑工程的后浇带部位施工中,膨胀剂的优势表现得尤为突出。后浇带是为妥善解决混凝土结构在施工过程中,由于温度变化、混凝土收缩等复杂因素可能引发裂缝问题而特意设置的临时施工缝。在该部位合理使用膨胀剂,能促使新浇筑的混凝土在膨胀作用下与原有混凝土实现紧密结合,达成无缝连接的理想效果,有力地增强了混凝土结构的整体性,切实保障了结构在长期使用过程中的稳定性与安全性,为建筑工程的质量提供了可靠保障。

3 高性能混凝土外加剂对建材性能的影响

3.1 工作性

(1)在高性能混凝土工作性调控中,减水剂的作用机制具有显著优势。其通过分子结构中的亲水基团与水泥颗粒表面发生吸附作用,形成空间位阻效应,使水泥颗粒在低水灰比条件下仍能保持均匀分散状态。这一过程有效释放被包裹的自由水,明显提升混凝土的流动性。实验表明,在掺入适量减水剂后,混凝土的坍落度

可提高30%以上,搅拌时间缩短15%~20%,运输过程中的坍落度损失降低25%,确保混凝土在复杂施工条件下仍能保持优异的匀质性,避免因流动性不足导致的蜂窝、麻面等缺陷。(2)引气剂对混凝土工作性的影响呈现双重特性。一方面,其引入的微米级气泡会导致混凝土拌合物的体积膨胀,使初始坍落度下降5%~10%;但另一方面,这些气泡通过形成“滚动轴承”效应,改善混凝土的填充性能。当引气剂掺量控制在0.01%~0.03%时,配合减水剂使用可使混凝土在保持抗离析能力的同时,振捣效率提升18%~25%。微观分析显示,气泡的存在使水泥浆体与骨料间的摩擦系数降低30%,为复杂结构构件的施工提供了关键技术支撑。(3)外加剂对混凝土保水性与黏聚性的协同优化作用显著。减水剂通过调控水泥颗粒的絮凝结构,使水泥浆体形成致密的凝胶网络,有效减少泌水通道,泌水率降低40%以上。引气剂引入的气泡在硬化过程中形成稳定的孔隙结构,使混凝土拌合物的屈服应力提高20%~30%,抗离析能力增强。实际工程应用表明,在双掺技术下,混凝土的泵送压力降低12%~18%,运输过程中的分层现象完全消除,为高性能混凝土的大规模施工提供了可靠保障^[3]。

3.2 力学性能

高性能混凝土外加剂对力学性能的影响直接关系到建筑结构的安全与稳定。适量的减水剂能够显著提升混凝土的抗压强度。其通过降低水灰比,减少了混凝土内部的孔隙率,使水泥石结构更加致密,增强了水泥石与骨料之间的粘结力,有效提高了混凝土的承载能力。但需注意,若减水剂掺入量过多,会导致水泥颗粒过度分散,水泥浆体的凝聚结构遭到破坏,反而使混凝土强度下降。膨胀剂在补偿混凝土收缩的过程中,生成的膨胀性产物填充了混凝土内部的孔隙,增加了混凝土的密实度,在一定程度上提高了抗压强度。尤其在在大体积混凝土或有抗裂要求的结构中,膨胀剂的使用能够有效减少收缩裂缝,维持结构的整体性,间接提升了抗压性能。引气剂对混凝土抗折强度的影响呈现出非线性特征。适量引气时,引入的微小气泡能够缓解混凝土在受弯时的应力集中现象,增加混凝土的韧性,提高抗折强度。然而,当引气过量,气泡过多会削弱混凝土内部的有效承载面积,导致抗折强度降低。减水剂和膨胀剂在改善混凝土内部结构、提高密实度的同时,也间接地影响着混凝土的抗折性能,优化混凝土的微观结构,增强了混凝土在受弯状态下的力学响应能力。

3.3 耐久性

(1)引气剂在提升混凝土耐久性方面发挥着不可替

代的核心作用。其通过引入大量尺寸均匀、分布密集的微小气泡,明显改善混凝土的抗渗与抗冻性能。气泡在混凝土内部形成物理屏障,有效切断毛细孔通道,使水分渗透路径延长3-5倍,抗渗等级可提升20%-30%。在冻融循环过程中,气泡作为弹性缓冲体,可吸收80%以上的冻胀应力,避免混凝土因内部压力集中产生裂纹。实验数据显示,掺入引气剂的混凝土在经历500次冻融循环后,质量损失率降低至1.5%以下,远低于未掺引气剂的对照组。(2)减水剂通过降低水灰比实现混凝土结构的致密化,对耐久性提升具有协同效应。其分子结构中的空间位阻效应使水泥颗粒均匀分散,减少孔隙率15%-25%,降低氯离子扩散系数。当减水剂与引气剂复合使用时,可形成“微孔-密实”双层结构,在保持抗渗性能的同时,优化孔隙分布,使混凝土在冻融环境中的体积稳定性提升40%。微观分析表明,减水剂使水泥水化产物晶粒细化,界面过渡区厚度减小20%,有效阻断侵蚀介质渗透通道。(3)复合外加剂体系通过多组分协同作用,构建起三维防护网络。某些活性成分可与水泥水化产物发生二次反应,生成钙矾石等膨胀性产物,填充孔隙并形成致密保护层。该保护层使混凝土表面吸水率降低40%,抗硫酸盐侵蚀能力提升2-3个等级。在沿海地区混凝土工程中,复合外加剂可使结构使用寿命延长至80年以上,其抗碳化深度较普通混凝土减少60%,充分验证了外加剂在提升混凝土耐久性方面的技术优势^[4]。

3.4 其他性能

高性能混凝土外加剂对建材的体积稳定性和热学性能也有着不可忽视的影响。在体积稳定性方面,膨胀剂和减水剂协同作用,可有效调控混凝土的收缩与膨胀。如前所述,膨胀剂生成的膨胀性产物补偿了混凝土因干缩和冷缩产生的体积变化,若膨胀剂掺量不当,可能导致混凝土过度膨胀,引发新的开裂风险。减水剂通过改善水泥颗粒的分散性,优化水泥水化进程,有助于稳定混凝土的体积。研究表明,在合理的外加剂复配下,混凝土的收缩率可降低30%-40%,有效维持了结构的完整

性,减少因体积变化产生的裂缝隐患,保障建筑结构在长期使用过程中的稳定性。从热学性能角度来看,在大体积混凝土施工中,水泥水化释放的大量热量会使混凝土内部温度急剧升高,内外温差过大易导致温度裂缝。缓凝剂作为特殊外加剂,可有效延缓水泥水化速度,精准控制其掺量能延迟水化热峰值出现时间、降低温度峰值,减小混凝土内外温差,降低温度应力。减水剂降低水灰比,间接影响混凝土热传导性能,减缓热量传递,增强抗裂性能。新型外加剂展现出卓越性能,它能精准调节混凝土热膨胀系数,让混凝土更好地“适应”温度的周期性起伏变化。如此可大幅减少因热胀冷缩引发的结构损伤,显著提升建筑材料在复杂多变的自然环境中的服役性能,为建筑长久安全保驾护航。

结束语

高性能混凝土外加剂在建材性能优化中扮演着不可或缺的角色。从减水剂对混凝土工作性的精准调控到引气剂对耐久性的显著提升,从膨胀剂对收缩裂缝的有效预防到复合外加剂体系对混凝土综合性能的协同改善,外加剂的作用贯穿于混凝土制备与使用的全过程。通过科学合理地选择和使用外加剂,能够充分发挥其优势,实现混凝土性能的多维度提升,满足现代建筑对高效、绿色、可持续发展的要求。

参考文献

- [1]王欢,申晨,唐德莎,吕昭秋,杨长辉,余林文,叶建雄.聚甲醛纤维对超高性能混凝土力学性能影响研究[J].新型建筑材料,2025,52(1):134-139.
- [2]王青沙.矿物掺合料对超高性能混凝土性能影响试验研究[J].混凝土,2025(2):188-192.
- [3]李宁,张鸣,毛翔,杨鼎宜,赵健,潘卫,李明龙.材料组成对超高性能混凝土性能的影响研究[J].山西建筑,2025,51(5):99-103.
- [4]寇佳亮,温江,齐悦,周恒.超高性能混凝土加固受损钢筋混凝土梁受弯性能试验研究[J].地震工程与工程振动,2025,45(1):217-228.