

# 混凝土外加剂对耐久性和节能效果的影响评估

杨志兰

6401021986\*\*\*\*0920

**摘要:** 混凝土外加剂作为现代混凝土技术发展的重要成果,在改善混凝土性能方面发挥着不可替代的作用。本文聚焦于混凝土外加剂对耐久性和节能效果的影响展开评估,系统分析了常见外加剂的种类及其作用机理,深入探讨了外加剂在提升混凝土抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性等耐久性方面的具体表现,以及在减少水泥消耗、优化施工流程、降低能源损耗等节能环节的实际作用。同时,剖析了当前外加剂应用中存在的兼容性、质量控制及技术应用等问题,并对其未来发展趋势进行了展望,旨在为混凝土工程中外加剂的科学选用与高效应用提供全面的理论支撑。

**关键词:** 混凝土外加剂; 耐久性; 节能效果; 作用机理; 发展趋势

**DOI:** 10.69979/3029-2727.25.10.023

## 引言

在当代建筑领域,混凝土作为核心建筑材料,其性能的优劣直接决定着建筑工程的质量与寿命。随着建筑技术的不断进步和绿色发展理念的深入人心,混凝土外加剂的应用愈发广泛且关键。外加剂不仅能够显著改善混凝土的工作性能,还在提升混凝土耐久性和实现建筑节能方面展现出巨大潜力。耐久性是确保建筑结构长期安全稳定运行的基础,而节能效果则是推动建筑行业可持续发展的重要环节。

## 1 混凝土外加剂的种类及作用机理

### 1.1 减水剂

减水剂是混凝土外加剂家族中应用最普遍的成员之一,其在混凝土制备过程中扮演着重要角色。其作用机理的核心在于通过表面活性作用,吸附于水泥颗粒表面,使水泥颗粒之间产生有效的静电斥力,同时形成一定的空间位阻,从而打破水泥颗粒原本的絮凝状态,将絮凝结构中包裹的水分释放出来。这一过程不仅能在不增加额外用水量的情况下,显著提升混凝土的流动性和可塑性,便于施工操作,还能减少混凝土的单位用水量,优化混凝土内部的孔隙结构,使混凝土更加密实。

### 1.2 早强剂

早强剂的主要功能是加快混凝土早期强度的发展速度,其作用机理与水泥的水化反应密切相关。早强剂中的有效成分能够与水泥中的硅酸三钙、硅酸二钙等矿物成分发生特定的化学反应,促进水化产物如氢氧化钙、水化硅酸钙等的快速生成和结晶沉淀,从而缩短混凝土的凝结时间,加速早期强度的增长。在低温环境条件下,水泥的水化反应会受到明显抑制,而早强剂能够有效缓

解这种抑制作用,确保混凝土在早期就能形成足够的强度,从而降低因早期强度不足而导致的结构开裂、变形等破坏风险,为混凝土结构的早期稳定性和耐久性提供可靠保障。

### 1.3 引气剂

引气剂在混凝土中的作用主要通过引入微小气泡来实现,其作用机理具有独特性。在混凝土搅拌过程中,引气剂能够促使大量微小、均匀且稳定封闭的气泡产生并分布在混凝土内部。这些气泡能够有效改善混凝土的和易性,减少混凝土在浇筑过程中的泌水和离析现象,使混凝土各组分混合更加均匀。从结构层面看,这些微小气泡能够切断混凝土内部毛细管的连续通道,降低水分在混凝土内部的迁移速度,这对于减少外界水分的侵入至关重要。同时,在混凝土遭遇冻融循环时,气泡可以为冰晶的膨胀提供必要的空间,缓解内部产生的冻胀应力,减轻冻融破坏对混凝土结构的损伤。

## 2 混凝土外加剂对耐久性的影响

### 2.1 提高抗渗性

混凝土的抗渗性是衡量其耐久性的关键指标之一,直接关系到混凝土结构在长期使用过程中抵御水、气体及其他有害介质渗透的能力。多种混凝土外加剂通过不同的作用路径共同致力于提高混凝土的抗渗性。减水剂通过降低混凝土的单位用水量,有效减小水灰比,使水泥颗粒能够更充分地与水发生水化反应,从而减少混凝土内部未水化水泥颗粒的数量,降低孔隙的总体积和连通程度,使得渗透介质难以找到连续的渗透路径。引气剂引入的微小气泡则如同一个个屏障,阻断了毛细管的连通性,进一步增加了渗透介质的渗透阻力。

## 2.2 增强抗冻性

在寒冷地区或者需要承受反复冻融循环作用的混凝土工程中，混凝土的抗冻性是确保结构安全和使用寿命的核心因素。外加剂在增强混凝土抗冻性方面发挥着不可或缺的作用。引气剂是提升混凝土抗冻性的常用且有效的外加剂，其引入的大量微小气泡在混凝土受冻时，能够容纳冰晶膨胀所产生的体积增长，从而降低混凝土内部因冻胀而产生的应力，避免或减少混凝土因应力集中而出现裂缝。除了引气剂，早强剂与减水剂的复合使用也能对混凝土的抗冻性起到积极作用。早强剂加速混凝土早期强度发展，减水剂提高混凝土密实度，两者结合使混凝土在冻融循环开始前就具备较高的强度和密实度，增强了其抵抗冻融破坏的能力，减轻冻融循环对混凝土结构的损伤程度。

## 2.3 改善抗侵蚀性

混凝土结构在服役过程中，常常会面临各种侵蚀性介质的挑战，如土壤中的硫酸盐、地下水中的氯离子、工业环境中的酸性物质等，这些介质会与混凝土中的水泥水化产物发生化学反应，导致混凝土结构的破坏。外加剂通过多种方式改善混凝土的抗侵蚀性。减水剂通过优化混凝土的孔隙结构，减少大孔隙和连通孔隙，使侵蚀性介质难以渗透到混凝土内部与水泥成分接触。一些特种外加剂，如阻锈剂，能够在钢筋表面形成一层保护膜，阻止氯离子等有害离子对钢筋的侵蚀；而某些抗硫酸盐外加剂则能与水泥水化产物反应生成稳定的化合物，抑制硫酸盐与水泥中的铝酸三钙等成分反应生成膨胀性产物，从而保护混凝土结构免受侵蚀，维持其结构完整性，延长使用寿命。

## 3 混凝土外加剂对节能效果的影响

### 3.1 降低水泥用量

水泥的生产过程需要消耗大量的能源，并且会产生大量的碳排放，因此在混凝土生产中减少水泥用量是实现节能降耗的重要途径。混凝土外加剂在这一过程中发挥着关键作用，能够在保证混凝土各项性能满足工程要求的前提下，有效降低水泥的使用量。减水剂通过提高水泥颗粒的分散度，使水泥能够更充分地参与水化反应，最大限度地发挥其胶结作用，因此在达到相同强度等级的情况下，可以减少水泥的用量。

### 3.2 缩短养护时间

混凝土的养护是确保其强度正常发展的重要环节，这一过程往往需要消耗一定的能源，尤其是在低温季节或寒冷地区，为了维持适宜的养护温度，通常需要采取供暖、覆盖保温等措施，这些措施都会增加能源消耗。

早强剂等外加剂能够显著加快混凝土的凝结和硬化速度，促进早期强度的快速增长，从而缩短混凝土达到设计强度和拆模强度所需的养护时间。在相同的强度要求下，使用早强剂的混凝土可以提前结束养护，减少养护期间的能源投入。

## 3.3 改善施工工艺

外加剂通过改善混凝土的工作性，对施工工艺的优化和节能效果的提升产生积极影响。混凝土的工作性包括流动性、黏聚性、保水性等，良好的工作性是保证施工顺利进行的前提。减水剂能够显著提高混凝土的流动性和可塑性，使混凝土在浇筑过程中更容易充满模板，尤其是对于结构复杂、钢筋密集的部位，能够减少振捣难度。这种良好的流动性还赋予混凝土较好的可泵性，在泵送施工中能够降低管道内的摩擦阻力，减少泵送设备的功率消耗，降低能源损耗。此外，混凝土工作性的改善能够减少振捣时间和振捣次数，不仅提高了施工效率，还减少了振捣设备的能源使用。

## 4 混凝土外加剂应用中存在的问题

### 4.1 兼容性问题

混凝土外加剂的兼容性是影响其作用发挥的重要因素，主要体现在不同外加剂之间以及外加剂与混凝土其他组成材料之间的相互作用是否协调。当多种不同类型的外加剂混合使用时，其成分之间可能发生化学反应，生成不溶性物质或改变外加剂的分子结构，导致外加剂的分散、早强、引气等功能降低甚至完全丧失，无法达到预期的改性效果，反而可能对混凝土的性能产生不利影响。此外，水泥的矿物组成、碱含量、细度等特性，以及骨料的材质、级配等，都会对外加剂的作用效果产生影响。例如，某些高碱水泥与特定减水剂混合时，可能会导致混凝土的流动性迅速损失，使混凝土在施工过程中出现凝结过快、难以浇筑等问题，严重影响混凝土的施工性能和最终质量，限制了外加剂在实际工程中的有效应用。

### 4.2 质量控制不足

当前混凝土外加剂市场呈现出种类繁多、生产厂家众多的特点，这也导致了外加剂质量的参差不齐。部分生产厂家为了追求经济利益，可能会在生产过程中降低原材料标准、简化生产工艺或减少有效成分的含量，使得生产出的外加剂性能不稳定，质量难以保证。在工程应用环节，如果对进场的外加剂缺乏严格、系统的质量检测，或者检测项目不全面、检测方法不规范，就可能导致不合格的外加剂被应用到工程中。这些不合格的外加剂不仅无法实现改善混凝土性能、提高耐久性和节能

效果的目标，反而可能因改变混凝土的凝结时间、降低强度等而对混凝土结构的安全性和耐久性埋下隐患。

#### 4.3 应用技术不完善

尽管混凝土外加剂在建筑工程中的应用已经较为广泛，但在实际应用技术方面仍存在诸多不完善之处。部分工程技术人员和施工人员对外加剂的性能特点、适用范围、作用机理等缺乏深入、系统的了解，在选择外加剂时，往往没有充分考虑工程的具体要求，如结构类型、所处环境条件、施工工艺等，只是简单照搬经验或盲目跟风选用，导致所选外加剂与工程实际需求不匹配，无法充分发挥其应有的作用。在外加剂的使用过程中，对于掺加顺序、搅拌时间、搅拌强度等工艺参数的控制也缺乏科学规范的指导，可能导致外加剂与水泥、骨料等材料混合不均匀，局部浓度过高或过低，影响混凝土性能的均匀性和稳定性。

### 5 混凝土外加剂的发展趋势

#### 5.1 高性能化

随着现代建筑工程向高层化、大跨度、复杂环境等方向发展，对混凝土的性能提出了越来越高的要求，这也推动着混凝土外加剂向高性能化方向发展。高性能外加剂不再局限于单一的功能改善，而是追求多功能的协同作用，能够同时在改善混凝土工作性、提高强度、增强耐久性、提升节能效果等多个方面表现出优异的性能。例如，研发兼具高效减水、早期增强、后期强度持续增长、抗裂、抗渗、抗冻等多种功能的复合外加剂，以适应不同复杂工程环境对混凝土性能的综合要求。同时，高性能外加剂还注重在极端环境条件下的适用性，如高温、严寒、强腐蚀等环境，确保混凝土结构在特殊条件下仍能保持良好的性能和较长的使用寿命。

#### 5.2 绿色环保化

在全球倡导可持续发展、注重环境保护的大背景下，绿色环保型混凝土外加剂成为未来发展的必然趋势。绿色环保化不仅要求外加剂本身具有较低的毒性、挥发性和污染性，对生产和使用过程中的环境影响较小，还要求其在生产原料的选用和生产工艺上体现绿色理念。例如，研发采用天然可再生原料或工业废弃物如粉煤灰、矿渣、钢渣等制备的外加剂，实现资源的循环利用，减少对天然资源的依赖和开采。同时，优化外加剂的生产工艺，降低生产过程中的能源消耗和污染物排放，如减少生产过程中的废水、废气、废渣排放，采用清洁生产技术等。绿色环保型外加剂的应用，能够与绿色建筑的理念相契合，减少建筑行业对环境的负面影响，促进建

筑行业的可持续发展。

#### 5.3 智能化应用

随着信息技术、人工智能等高新技术在建筑领域的不断渗透，混凝土外加剂的应用正逐步向智能化方向迈进。智能化应用主要体现在外加剂的选型、掺量确定、性能监测等环节的智能化管理和控制。通过建立基于大数据和人工智能的外加剂性能数据库，将不同类型外加剂的性能参数、适用条件、与其他材料的兼容性等信息纳入其中，结合具体工程的要求，如结构类型、强度等级、环境条件等，实现外加剂的智能化选型和最佳掺量的精准计算。同时，利用传感器、物联网等技术对混凝土在搅拌、运输、浇筑、养护及使用过程中的性能变化进行实时监测，如流动性、凝结时间、强度发展、内部温度等，并将监测数据反馈到控制系统，及时调整外加剂的使用方案，确保混凝土始终处于最佳性能状态。这种智能化应用不仅能够提高外加剂使用的精准性和有效性，充分发挥其改善混凝土性能和节能的作用，还能提高工程质量的可控性，降低工程风险。

### 6 结束语

混凝土外加剂在现代混凝土工程中扮演着至关重要的角色，其对提升混凝土耐久性和实现节能效果的积极作用已得到广泛认可。通过改善混凝土的抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性等关键耐久性指标，外加剂显著延长了混凝土结构的使用寿命，降低了维护成本；同时，在减少水泥用量、缩短养护时间、优化施工工艺等方面，为建筑行业节约了大量能源，符合绿色可持续发展的要求。展望未来，随着高性能化、绿色环保化和智能化应用等发展趋势的推进，混凝土外加剂必将在提升混凝土性能、推动建筑行业节能降耗和可持续发展方面发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1] 蔡景顺, 李华, 舒鑫, 单广程, 陈健, 冉千平. 提升结构混凝土耐久性的外加剂研究进展 [J]. 硅酸盐学报, 2025, 53(03): 553-573.
- [2] 劳智勇. 混凝土外加剂对耐久性的影响及其优化策略研究 [J]. 中国住宅设施, 2024, (S1): 50-52.
- [3] 张爱丽, 郭颜凤, 孙红. 腐蚀环境下外加剂对混凝土耐久性的影响 [J]. 中外公路, 2022, 42(06): 202-205.
- [4] 李子建. 复掺外加剂对混凝土强度及耐久性能影响研究 [J]. 北方交通, 2022, (07): 31-34.
- [5] 付明. 功能外加剂对混凝土耐久性的影响 [J]. 大众标准化, 2020, (08): 31-32.