

混凝土配合比中外加剂的应用

林科敏

浙江路建工程检测股份有限公司 浙江 台州 317000

摘要：外加剂在混凝土配合比中地位关键，种类丰富且作用机制不同。减水剂改善流动性、提升强度；引气剂提高和易性、抗渗与抗冻性；缓凝剂延缓水化以防过快硬化；早强剂加速水化硬化、提升早期强度；膨胀剂改善抗裂性。其在高性能、自密实、大体积等混凝土中有不同应用。设计配合比时，需依据工程要求、水泥特性选外加剂，确定合理掺量并关注复合使用，以优化混凝土性能。

关键词：混凝土配合比；作用机理；外加剂应用

引言

在道路工程领域，混凝土是核心材料，其性能优劣与工程质量及使用寿命紧密相连。当下，道路施工技术持续革新，对混凝土性能也提出了更高标准。混凝土配合比设计是决定其性能的关键因素，而外加剂的应用在其中扮演着愈发关键的角色。外加剂可有效提升混凝土的工作、力学与耐久性能，契合各类工程的特殊要求。因此，深入探究混凝土配合比中外加剂的应用，对提升工程品质、节约成本、推动道路行业可持续发展意义重大。

1 外加剂的种类及作用机理

1.1 减水剂

减水剂是混凝土配合比中改善性能的关键外加剂，其作用机制基于物理化学双重效应。减水剂分子作为表面活性物质，在水泥水化初期迅速吸附于水泥颗粒表面，使颗粒表面带有同种电荷。同性相斥的静电作用打破水泥颗粒因分子间引力形成的团聚结构，释放出被包裹的游离水，从而减少混凝土拌合物的用水量。与此减水剂分子在水泥颗粒表面形成的溶剂化吸附层，如同润滑膜般降低颗粒间摩擦阻力，显著提升混凝土流动性^[1]。从应用效果来看，减水剂赋予混凝土灵活的性能调控空间。在保持坍落度一致的条件下，降低水灰比能有效提升混凝土强度与耐久性，适用于高层、大跨度等对强度要求严苛的工程；而在维持强度不变时，其能大幅增加混凝土流动性，满足泵送施工、自密实混凝土浇筑等复杂工艺需求，既保证施工效率，又确保工程质量。

1.2 引气剂

引气剂作为混凝土外加剂中的重要一员，属于表面活性剂，在混凝土搅拌时发挥着独特作用。其能引入大量微小气泡，且这些气泡均匀分布、稳定又封闭。在混凝土中，这些气泡如同滚珠轴承，减少了骨料间的摩擦力，让混凝土拌合物的流动性更好，保水性也得以提

升。它们还能阻断混凝土内的毛细管通道，这对提高混凝土的抗渗性和抗冻性有很大帮助。从应用效果来看，引气剂优势明显。对于贫混凝土或轻骨料混凝土这类本身和易性欠佳混凝土，引气剂能显著改善其和易性，使施工过程更加顺畅。在抗冻方面，引气剂更是表现出色。在寒冷地区，混凝土面临着冻融破坏的威胁，而引气剂引入的气泡能缓解因水结冰膨胀产生的压力，大大提高混凝土的抗冻融破坏能力，从而延长混凝土结构的使用寿命，保障工程在恶劣环境下的长期稳定。

1.3 缓凝剂

缓凝剂作为混凝土性能调控的重要外加剂，核心作用是延缓水泥水化进程。其分子可吸附于水泥颗粒表面，形成致密保护膜，阻隔水泥与水的接触，或与水化产物结合生成络合物，从而抑制水化反应。这种延缓作用能有效延长混凝土凝结时间，避免其过快硬化。在实际工程中，缓凝剂应用广泛。大体积混凝土施工时，它可降低水化热峰值，减少因温度应力产生的裂缝；高温季节施工时，能防止混凝土因高温快速凝结而影响施工质量；在泵送混凝土中，缓凝剂可保持混凝土的流动性，便于长距离输送和浇筑，确保施工操作顺利进行，为工程质量提供有力保障。

1.4 早强剂

早强剂通过加速水泥水化与硬化，显著提升混凝土早期强度。不同类型早强剂作用机制各有特点：氯盐类早强剂与水泥矿物发生化学反应，生成复盐，增加水泥浆体固相体积，促使水泥石结构快速形成；硫酸盐类早强剂则与铝酸三钙反应生成钙矾石，加速水泥凝结硬化过程。有机类早强剂通过降低水泥颗粒表面能，加快水化反应速率。在实际工程应用中，早强剂优势显著。在冬季低温环境下，它能保障混凝土快速达到抗冻临界强度，抵御冻害；在工期紧张的项目里，可大幅缩短养护

周期,加速模板周转,提升施工效率,减少设备与人力成本,尤其适用于道路抢修、桥梁快速施工等对早期强度要求高的工程场景。

1.5 膨胀剂

膨胀剂通过化学反应赋予混凝土体积膨胀能力,是改善混凝土抗裂性能的关键外加剂。以钙矾石类膨胀剂为例,在水泥水化过程中,其成分与水泥水化产物反应生成大量钙矾石晶体,晶体生长产生的膨胀力可抵消混凝土硬化过程中的收缩应力。硫铝酸钙类膨胀剂通过与氢氧化钙、石膏反应生成膨胀性物质,同样实现体积膨胀效果。在工程应用中,膨胀剂展现出显著优势。用于防水混凝土时,其产生的适度膨胀可使混凝土内部结构更加密实,有效阻断水分渗透通道,提升抗渗性能;在补偿收缩混凝土中,膨胀剂通过补偿混凝土收缩变形,防止裂缝产生,增强结构整体性与耐久性^[2]。这在地下室、水池、超长结构等对防裂防渗要求高的工程中尤为重要,可大幅延长混凝土结构的使用寿命。

2 外加剂在不同类型混凝土中的应用

2.1 高性能混凝土

高性能混凝土要求具有高耐久性、高强度和良好的工作性能。在高性能混凝土配合比中,通常会使用高效减水剂来降低水胶比,提高混凝土的强度和耐久性。根据需要还可能掺入引气剂来提高混凝土的抗冻性和抗渗性,掺入矿物掺合料(如硅灰、粉煤灰等)与外加剂协同作用,进一步改善混凝土的性能。通过合理选择和搭配外加剂,可以使高性能混凝土满足各种复杂工程环境的要求。

2.2 自密实混凝土

自密实混凝土具有良好的流动性、填充性和抗离析性,能够在自重作用下自行填充模板,无需振捣。在自密实混凝土中,高效减水剂是关键外加剂之一,它能使混凝土拌合物具有高流动性。还需要掺入适量的增稠剂来提高混凝土的粘聚性,防止离析和泌水,保证混凝土在流动过程中保持均匀的性能。引气剂也可适量掺入,以改善混凝土的工作性能和耐久性。

2.3 大体积混凝土

大体积混凝土施工中,由于水泥水化热产生的温度应力容易导致混凝土出现裂缝。因此,在大体积混凝土配合比中,通常会使用缓凝剂来延缓水泥的水化速度,降低水化热峰值,减少温度应力。可掺入适量的膨胀剂来补偿混凝土的收缩,防止裂缝的产生。选用低热水泥和大量掺入矿物掺合料也是降低水化热的有效措施,外加剂与这些材料配合使用,能更好地控制大体积混凝土

的温度裂缝。

3 混凝土配合比设计中外加剂的选择与使用

3.1 根据工程要求选择外加剂

在混凝土配合比设计中,外加剂的选择与工程实际需求紧密相关,只有精准匹配才能发挥其最大效能。以地下工程为例,因其长期处于潮湿环境,抗渗性是关键性能指标。引气剂引入的微小封闭气泡,能有效阻断水分渗透通道,提高混凝土密实度;膨胀剂通过补偿收缩,防止裂缝产生,避免因裂缝导致渗水,二者均可作为提升抗渗性的优选。对于桥梁工程,尤其是预应力混凝土桥梁,需要混凝土具备较高的早期强度以加快施工进度、缩短工期,此时早强剂可加速水泥水化,使混凝土在短时间内达到预期强度;而高效减水剂与早强剂复合使用,既能降低水胶比提高强度,又能实现早期强度快速增长,满足桥梁快速施工的需求。水利工程中,大坝等大体积混凝土结构易因水化热引发裂缝,缓凝剂可延缓水泥水化速度,降低水化热峰值,避免温度裂缝产生;引气剂还能增强混凝土的抗冻性与抗侵蚀性,适应水利工程复杂的水环境。道路工程对混凝土耐磨性、抗滑性有要求,引气剂可改善混凝土和易性、提高耐磨性,减水剂则有助于提高混凝土强度,保障道路工程质量。

3.2 考虑水泥品种和质量

在混凝土配合比设计中,水泥与外加剂的适配性对混凝土性能影响深远,合理考量水泥品种和质量是优化外加剂使用效果的重要环节。水泥的矿物成分直接决定其与外加剂的作用效果。硅酸盐水泥中,铝酸三钙(C_3A)含量高的水泥,早期水化速度快,对外加剂的吸附量大,尤其是减水剂。因为 C_3A 在水泥水化初期迅速反应,大量消耗减水剂分子,若不增加减水剂用量,混凝土坍落度损失快,流动性难以保证。而矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等掺混合材的水泥,由于混合材的表面特性和化学活性,会改变水泥颗粒对外加剂的吸附与分散行为,有时能与外加剂协同改善混凝土工作性能,但也可能因混合材成分复杂,导致与某些外加剂适应性不佳。水泥细度同样影响外加剂作用。过细的水泥比表面积大,需水量增加,对外加剂的吸附位点增多,若不调整外加剂掺量,减水效果和混凝土和易性都会受到影响。水泥碱含量也不容忽视,高碱水泥可能与外加剂中的某些成分发生化学反应,改变外加剂的分子结构和性能,影响其在混凝土中的作用。

3.3 确定合理的掺量

外加剂掺量是混凝土配合比设计中的关键变量,其数值精准度直接关乎混凝土性能表现与生产成本控制,

唯有通过科学试验探寻最佳掺量,才能实现性能与经济的双重优化。外加剂掺量不足时,其核心功能难以充分发挥。以减水剂为例,若掺量低于临界值,水泥颗粒无法被充分分散,包裹在团聚体中的水分无法有效释放,混凝土坍落度提升有限,流动性不足,施工振捣难度增加,甚至出现蜂窝、麻面等质量缺陷。而早强剂掺量过少,水泥水化进程加速效果微弱,混凝土早期强度增长缓慢,无法满足快速施工或冬季施工的强度需求。但过量掺加外加剂同样隐患重重。引气剂过量会引入过多气泡,使混凝土内部结构变得疏松,降低密实度,导致抗压强度显著下降;高效减水剂超量使用,可能引发混凝土泌水、离析,影响和易性,还会延长凝结时间,增加施工风险^[3]。部分外加剂本身成本较高,过量使用无疑大幅增加工程造价,造成资源浪费。正因如此,确定外加剂合理掺量必须依托系统试验。先设定一系列不同掺量梯度,分别制备混凝土试块,系统测试其工作性能(坍落度、扩展度、保水性)、力学性能(抗压、抗折强度)和耐久性能(抗渗、抗冻等级),结合工程实际需求,绘制性能-掺量曲线。在曲线中找到既能满足混凝土各项性能指标,又能使成本最优化的掺量节点,将其确定为最佳掺量,以此保障工程质量与经济效益的平衡。

3.4 注意外加剂的复合使用

随着现代工程对混凝土性能要求日趋多元,单一外加剂已难以满足需求,外加剂复合使用成为优化混凝土性能的关键策略。然而,复合使用并非简单叠加,需深入研究各外加剂间的相互作用机制,才能实现协同增效。以高性能混凝土为例,其既要满足高流动性便于泵送施工,又需具备高强度和优异耐久性,这就需要将高效减水剂、引气剂与缓凝剂复合使用。高效减水剂通过降低水胶比提升强度,引气剂引入微小气泡改善抗冻性和工作性,缓凝剂延缓凝结时间避免高温环境下混凝土坍落度损失过快。但这些外加剂若盲目复合,可能产生负面效应:减水剂与引气剂共存时,减水剂的表面活性

可能破坏引气剂形成的气泡膜,导致引气量不稳定;缓凝剂若与某些早强剂复合,可能干扰水泥水化进程,削弱早强效果。为规避不良反应,需系统研究外加剂间的相容性与协同效应。一方面,通过分析各外加剂的化学成分和作用机理,预判可能发生的化学反应;另一方面,开展大量试验,以不同比例调配复合外加剂,监测混凝土在搅拌、运输、浇筑及硬化各阶段的性能变化^[4]。在自密实混凝土中,将聚羧酸系高效减水剂、增稠剂和引气剂复合时,需反复调整比例,确保减水剂提供高流动性的增稠剂维持混凝土粘聚性,引气剂改善抗离析能力。通过试验优化复合外加剂的配方与掺量,可使混凝土在工作性能、力学性能和耐久性等方面实现全面提升,满足复杂工程的严苛要求,同时也为混凝土配合比设计提供科学依据和实践经验。

结语

外加剂于混凝土配合比中的应用成效显著,是提升混凝土性能、契合复杂工程需求的关键助力。各类外加剂作用机制独特,在流动性、强度、耐久性改善上作用突出,且广泛应用于多种混凝土类型。设计配合比时,要全面考量工程与水泥状况,精准选定外加剂种类与掺量,合理复合使用。如此科学操作,既能优化混凝土性能、保障工程质量,又能节约成本,推动建筑技术发展,为工程建设提供更优混凝土材料。

参考文献

- [1]张鑫.浅谈外加剂和配合比对泡沫混凝土降低吸水率的影响[J].建材发展导向(下),2021,19(12):73-75.
- [2]刘坦.跨海地铁盾构隧道管片混凝土外加剂选型及配合比设计[J].混凝土世界,2022(5):56-60.
- [3]刘玮,王子明,王庄,等.配合比设计参数及外加剂对地坪混凝土流变性能的影响[C]//第一届全国地坪行业技术研讨会论文集.2020:47-52.
- [4]宋仪伦.外加剂与掺合料对泡沫混凝土性能的影响研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.44-46.