

降低高强混凝土黏度的减水剂制备与机理研究

孙洪彬

浙江和业科技有限公司 浙江 湖州 313200

摘要：减水剂是调控高强混凝土工作性能的关键组分。通过聚羧酸系、萘系及复合减水剂的制备研究，发现不同合成工艺对其分散性能影响显著。聚羧酸系减水剂分子结构可设计性强，萘系减水剂磺化程度决定分散效果，复合减水剂协同作用明显。机理研究表明，减水剂通过表面活性、静电斥力、空间位阻及延缓水化等多重作用，有效降低混凝土黏度。这些成果为优化高强混凝土施工性能、推动减水剂技术发展提供理论与实践依据。

关键词：高强混凝土黏度；减水剂制备；机理

引言

随着建筑工程向高层化、大跨化发展，高强混凝土因优异力学性能被广泛应用，但高黏度问题严重影响其施工性能。减水剂作为改善混凝土流变性能的核心外加剂，其种类与性能对降低混凝土黏度至关重要。本文针对聚羧酸系、萘系及复合减水剂，系统研究其制备方法，深入剖析减水剂降低高强混凝土黏度的作用机理，旨在为提升高强混凝土工作性能、优化减水剂配方设计提供理论支撑与技术指导。

1 减水剂概述

减水剂是一种在混凝土制备中不可或缺的化学外加剂，其核心作用在于显著降低混凝土拌合水用量，在维持相同工作性能的条件下，通过表面活性作用吸附于水泥颗粒表面，使原本因范德华力团聚的水泥颗粒产生静电斥力而分散开来，释放被包裹的游离水，进而提升混凝土的流动性。减水剂的问世革新了混凝土性能与施工工艺，打破了传统技术瓶颈。按化学成分和作用机理，它可分为多个类别。萘系高效减水剂以工业萘为原料，经磺化、缩合制成，分子线性结构使其高效吸附于水泥颗粒，减水率达15%-25%，可增强混凝土强度和耐久性，适用于高层建筑等高强度要求项目。聚羧酸系高性能减水剂作为新型减水剂，其独特的梳状侧链结构发挥着关键作用。这种结构能够通过空间位阻效应实现对水泥颗粒的长效分散，其减水率可超过30%。它还兼具低收缩、高保坍等优异性能，能够精准调控混凝土的流变特性，在混凝土性能优化方面展现出卓越效果，可充分满足高端工程对混凝土性能的严苛需求。减水剂的使用从多维度影响混凝土性能。它降低水胶比，提升混凝土抗压、抗折强度；使混凝土内部结构密实，增强抗冻、抗渗及抗侵蚀能力；改善混凝土流动性，降低施工难度，便于复杂结构浇筑。通过合理选择和使用减水剂，混凝土的综合性能得以优化，为现代土木工程的发展提供了关键技术支撑。

土的综合性能得以优化，为现代土木工程的发展提供了关键技术支撑。

2 降低高强混凝土黏度的减水剂制备方法

2.1 聚羧酸系减水剂的制备

(1) 以丙烯酸、甲基烯丙基聚氧乙烯醚为主要单体，搭配巯基丙酸作为链转移剂，在引发剂过硫酸铵的作用下进行自由基聚合反应。丙烯酸分子结构中的羧基官能团，能在水泥颗粒表面形成吸附层，赋予减水剂良好的分散性能，有效降低水的表面张力；甲基烯丙基聚氧乙烯醚则引入长侧链，增强空间位阻效应，阻碍水泥颗粒的团聚。两种单体的比例需精确控制，以保证分子结构的优化。反应体系在60-80℃的水浴中进行，通过控制滴加速度调节聚合反应速率，确保分子链的均匀增长。(2) 聚合过程中，持续监测体系的温度、pH值和黏度变化，依据监测数据实时调整反应条件，确保聚合反应平稳有序进行。当反应接近终点时，通过红外光谱仪检测分子结构中特征基团的吸收峰，确认聚合程度。反应完成后，将产物冷却至室温，加入氢氧化钠溶液进行中和，调节pH值至7-9，使产物稳定存在。(3) 中和后的产物经过精细过滤以有效去除其中所含的杂质，再通过喷雾干燥或真空浓缩的方式对其进行干燥处理，从而得到粉末状或液体状的聚羧酸系减水剂成品。成品需进行性能检测，包括水泥净浆流动度、减水率、含固量等指标测试，确保其在高强混凝土中能有效降低黏度，提升混凝土的工作性能。(4) 为进一步优化聚羧酸系减水剂的性能，可在聚合反应中引入功能性单体。例如添加含多羧基的马来酸酐单体，它能够与丙烯酸产生协同作用，不仅能显著增强减水剂在水泥颗粒表面的吸附能力，还能有效调整分子链的构象，提升减水剂的空间位阻效应。引入时需精确控量控时，通过正交试验确定最佳条件，以平衡性能、降低高强混凝土黏度。(5) 尝试

在聚羧酸系减水剂制备过程中添加纳米材料作为辅助助剂,如纳米二氧化硅、纳米碳酸钙等。这些纳米材料具有独特的物理化学性质,当它们与聚羧酸分子相互作用时,能够形成特殊的网络结构。这种结构不仅有助于增强水泥颗粒的分散效果,还能显著改善混凝土的流变性能。添加时需采用超声波等分散工艺,避免纳米材料团聚,从而更好地发挥其降黏作用^[1]。

2.2 萘系高效减水剂的制备

(1)以工业萘为原料,在浓硫酸作用下进行磺化反应生成萘磺酸。此反应需严格把控温度与时间,通常在140-160℃下反应2-3小时,让萘分子特定位置引入磺酸基,形成有表面活性的中间体。反应期间,要持续搅拌确保均匀,同时控制硫酸浓度与滴加速度,防止过度磺化影响产物性能。(2)磺化产物与甲醛进行缩合反应。在碱性条件下,用氢氧化钠或碳酸钠调节体系pH值至9-11,反应温度控制在80-100℃,反应约4-6小时。缩合反应使萘磺酸分子通过亚甲基桥相连,形成一定聚合度的高分子化合物。其中,甲醛的用量与加入方式对产物分子结构和性能影响较大,需精准控制。(3)缩合反应结束后,冷却反应液,加入石灰乳或氯化钙溶液进行盐析,使萘系减水剂从溶液中析出。经过滤、洗涤去除杂质,再干燥处理,可得到粉状或液体状的萘系高效减水剂。成品需检测减水率、硫酸钠含量、氯离子含量等指标,保证其能在高强混凝土中有效分散水泥颗粒,降低混凝土黏度。

2.3 复合减水剂的制备

(1)根据高强混凝土对工作性能、力学性能等多方面的严格性能需求,需科学确定聚羧酸系减水剂与萘系高效减水剂的复配比例。在实际操作中,一般通过大量严谨的试验研究,系统分析不同复配比例下复合减水剂对混凝土坍落度、扩展度等工作性能指标,以及不同龄期强度发展情况的影响。通过全面对比试验数据,精准定位出能够使混凝土综合性能达到最优的复配方案。在此过程中,必须充分考虑各组分之间的协同效应,例如巧妙结合聚羧酸系减水剂所具备的高减水率特性与萘系减水剂的早强优势,使复合减水剂各组分之间相互促进、优势互补,从而精准满足高强混凝土在性能方面的特殊要求。(2)将选定比例的各单组分减水剂按照一定顺序加入搅拌容器中,采用机械搅拌或磁力搅拌的方式进行充分混合。搅拌过程中需控制搅拌速度和时间,确保各组分均匀分散,形成稳定的复合体系。对于液体复合减水剂,还需加入适量的消泡剂、pH调节剂等助剂,改善产品的使用性能和储存稳定性。(3)复合减水剂

制备完成后,进行全面的性能测试,包括水泥净浆流动度经时损失、混凝土坍落度保持能力、抗压强度比等指标检测。通过对比不同条件下的测试结果,进一步优化复合配方,确保复合减水剂在降低高强混凝土黏度的同时,能显著提升混凝土的综合性能,满足工程实际应用的需求^[2]。

3 减水剂降低高强混凝土黏度的机理分析

3.1 表面活性剂作用

减水剂作为表面活性剂,在高强混凝土体系中通过定向吸附于水泥颗粒表面,显著改变颗粒表面性质,进而降低体系黏度。水泥颗粒在搅拌过程中,因具有较大的比表面积和表面能,极易相互团聚,形成絮凝结构,将大量自由水包裹其中,导致混凝土流动性降低、黏度增大。减水剂分子的亲水基团与水分子紧密结合,疏水基团则朝向水泥颗粒,形成一层亲水吸附膜。这层吸附膜能够有效降低水泥颗粒与水之间的界面张力,使得水泥颗粒在水中的分散性得以提升。减水剂的表面活性作用还能抑制水泥颗粒表面的水化产物过快生长,防止其在早期形成致密的水化膜,从而减少颗粒间因水化产物搭接而产生的黏滞阻力。表面活性剂的存在可促使水泥颗粒表面的气泡均匀分散,避免气泡聚集形成大气泡,减少因气泡不均匀分布而导致的混凝土黏度异常现象,最终实现高强混凝土工作性能的优化。

3.2 静电斥力作用

减水剂分子在水溶液中进行电离,使水泥颗粒表面带上相同电荷,从而产生静电斥力,有效分散水泥颗粒,降低高强混凝土黏度。以聚羧酸系减水剂为例,它是目前高性能混凝土中应用最为广泛的一类减水剂。其分子结构独特,主链上连接着大量侧链,且分子链上含有丰富的羧基、磺酸基等阴离子基团。在水溶液中,这些阴离子基团会发生解离反应,释放出氢离子,进而使水泥颗粒表面吸附阴离子而带有负电荷。根据胶体化学原理,当带有相同负电荷的水泥颗粒相互靠近时,它们之间会产生强烈的静电排斥力。这种排斥力能够有效地打破水泥颗粒原本存在的絮凝结构,促使水泥颗粒相互分离,形成均匀的分散体系。随着水泥水化反应的持续进行,水泥颗粒表面的电荷分布会逐渐发生变化,但聚羧酸系减水剂能够不断电离以补充电荷,从而维持稳定的静电斥力。静电斥力不仅能使水泥颗粒在空间上实现均匀分散,还能有效阻止水泥颗粒在重力作用下重新发生团聚。在高强混凝土中,由于水泥用量大、水胶比低,水泥颗粒间的相互作用更为强烈,静电斥力的存在对于保持水泥颗粒的分散状态、降低体系内摩擦力、改

善混凝土流动性具有关键作用，有效降低了混凝土的黏度^[3]。

3.3 空间位阻作用

空间位阻效应是减水剂降低高强混凝土黏度的另一重要机制。减水剂分子在水泥颗粒表面吸附后，会形成具有一定厚度的聚合物吸附层，该吸附层如同物理屏障，通过空间位阻作用有效阻止水泥颗粒的团聚。其中，聚羧酸系减水剂凭借其独特的梳型分子结构在空间位阻效应中发挥着关键作用。其主链能够紧密吸附在水泥颗粒表面，为分子提供稳固的锚固点；而大量的侧链则自由伸展到溶液中，相互交织形成庞大且立体的空间结构。当水泥颗粒相互靠近时，这些侧链之间不仅会发生直接的碰撞，还会因侧链在溶液中的溶剂化作用产生显著的排斥力，从而共同产生强大的空间位阻效应。随着减水剂掺量的增加，水泥颗粒表面的吸附层厚度逐渐增加，空间位阻效应也随之增强，使得水泥颗粒之间的有效间距增大，减少了颗粒间的接触和摩擦。与静电斥力作用不同，空间位阻作用不受水泥水化产物变化及溶液离子浓度的影响，能够在混凝土整个搅拌、运输和浇筑过程中持续发挥作用，为高强混凝土提供稳定的分散效果，有效降低其黏度，保证混凝土的施工性能。

3.4 延缓水泥水化作用

减水剂对水泥水化的延缓作用是降低高强混凝土黏度的重要辅助机制。在高强混凝土体系中，水泥水化速度较快，早期大量水化产物的生成容易导致混凝土内部结构迅速硬化，黏度急剧上升。减水剂分子通过吸附在水泥颗粒表面，阻碍了水泥颗粒与水的直接接触，延缓了水泥水化反应的进程。第一，减水剂分子与水泥水化产物中的某些离子发生络合反应，降低了这些离子的浓

度，抑制了水化反应的速率；第二，减水剂形成的吸附膜在一定程度上隔离了水泥颗粒，减缓了水分子向水泥颗粒内部的扩散速度，从而延缓了水化反应的进行。由于水化反应的延缓，水泥颗粒在较长时间内保持较好的分散状态，自由水得以持续发挥润滑作用，避免了因水化产物快速生成而导致的混凝土黏度快速增加。第三，延缓水泥水化还能使混凝土在早期保持较好的塑性，有利于混凝土的浇筑和成型，同时也为施工过程争取了更多的操作时间，确保高强混凝土在施工过程中具有良好的工作性能，有效降低了混凝土的黏度^[4]。

结语

综上所述，通过对聚羧酸系、萘系及复合减水剂的制备研究，明确了不同类型减水剂的合成工艺要点；从表面活性剂、静电斥力、空间位阻及延缓水化等方面揭示了减水剂降低高强混凝土黏度的作用机理。这些研究成果不仅深化了对减水剂作用机制的认识，也为开发高性能减水剂产品提供参考。未来，可进一步探索新型减水剂分子结构设计，开展多因素协同作用研究，以满足高强混凝土更高性能需求。

参考文献

- [1]钱珊珊,姚燕,王子明,等.降低高强混凝土黏度的减水剂制备与机理研究[J].材料导报,2021,35(2):46-51.
- [2]李海峰,苏宇峰.高效减水剂对蒸压加气混凝土流变和力学性能的影响[J].新型建筑材料,2022,49(5):70-74,83.
- [3]赵潜,孟祥杰,邹亮,等.降黏型聚羧酸减水剂的制备技术研究进展[J].混凝土与水泥制品,2023(1):15-20.
- [4]谢瑞兴,于奂泽,岳光亮,等.超细粉掺合料专用聚羧酸减水剂的制备及性能研究[J].新型建筑材料,2024,51(1):49-53,64.