

# 自密实混凝土的工作性能与力学特性分析

许俊平

浙江宁工检测科技有限公司 浙江 宁波 315211

**摘要：**自密实混凝土凭借自身流动性、填充性与抗离析性实现自流密实。其工作性能涵盖高流动性、均匀稳定性等，通过扩展度试验等多种方法评价；力学特性包括强度、弹性模量等，受水胶比、骨料等因素影响。合理设计配合比，严格控制原材料与施工质量，能有效提升其性能，在建筑工程中应用价值显著。

**关键词：**自密实混凝土；工作性能；力学特性；影响因素

## 1 自密实混凝土相关理论基础

### 1.1 自密实混凝土的定义

自密实混凝土（Self-Compacting Concrete，简称SCC）是一种在自身重力作用下，无需借助振捣等外力，仅依靠混凝土拌合物自身的流动性、填充性和抗离析性能，就能均匀、密实且完整地填充模板及包裹钢筋的高性能混凝土。它是现代混凝土技术发展的重要成果，极大地提高混凝土施工的效率和质量，降低施工噪音，改善施工环境。自密实混凝土的概念最早起源于20世纪70年代的日本，当时为了解决劳动力短缺和提高混凝土施工质量的问题，科研人员开始研究无需振捣的混凝土<sup>[1]</sup>。随着材料科学和工程技术的不断进步，自密实混凝土的性能不断优化，应用范围也日益广泛。从结构设计的角度来看，自密实混凝土的出现使得复杂结构、薄壁结构以及钢筋密集区域的混凝土浇筑变得更加容易实现，能够更好地满足现代建筑多样化的设计需求。其工作原理基于合理的配合比设计，通过控制胶凝材料、骨料、外加剂等的用量和性能，使混凝土拌合物具有合适的流变性能，实现自流平、自填充和自密实。

### 1.2 自密实混凝土的组成材料

自密实混凝土由胶凝材料、骨料、外加剂和水构成，各组分性能及用量直接影响其工作与力学性能。胶凝材料含水泥和矿物掺合料，水泥宜选强度不低于42.5的硅酸盐或普通硅酸盐水泥，可稳定工作性能；粉煤灰、矿渣粉、硅灰等掺合料，能改善流动性、提升强度与耐久性，还可降成本。骨料分粗细两种，粗骨料粒径不超过25mm且连续级配，便于通过钢筋间隙；细骨料选细度模数2.3-3.0的中砂，利于增强粘聚性与填充性。外加剂中，高效减水剂减水提高流动性，增稠剂防离析泌水，引气剂改善抗冻性和工作性，合理复配可优化性能。水的用量决定水胶比，自密实混凝土需严控水量，在满足工作性能的同时降低水胶比，以此提升强度与耐久性。

## 2 自密实混凝土的工作性能分析

### 2.1 高流动性

高流动性是自密实混凝土最显著的特点之一，它使得混凝土拌合物能够在自身重力作用下迅速填充模板空间。自密实混凝土的流动性主要通过新拌混凝土的扩展度和扩展时间来衡量。一般来说，自密实混凝土的初始扩展度应不小于650mm，扩展时间（T500）应在2-5s之间，以保证混凝土拌合物具有良好的流动性和填充性。混凝土拌合物的流动性受多种因素影响，其中胶凝材料的用量和组成、骨料的级配和粒径、高效减水剂的掺量等是主要影响因素。增加胶凝材料用量可以提高混凝土拌合物的浆体含量，改善其流动性；合适的骨料级配能够减少骨料之间的摩擦，使混凝土拌合物更易于流动；高效减水剂通过分散水泥颗粒，释放出被包裹的水分，从而显著提高混凝土的流动性。在实际工程中，需要根据具体情况合理调整各组成材料的用量，以获得满足施工要求的高流动性自密实混凝土。

### 2.2 均匀性与稳定性

均匀性与稳定性是保证自密实混凝土质量的关键。均匀性要求混凝土拌合物在各个部位的组成和性能保持一致，避免出现分层、离析现象；稳定性则要求混凝土拌合物在运输、浇筑过程中能够保持其工作性能，不发生较大变化。自密实混凝土的均匀性和稳定性主要取决于其配合比设计和外加剂的使用。合理的骨料级配和胶凝材料用量能够形成稳定的浆体结构，包裹和悬浮骨料，防止骨料下沉和离析。增稠剂的加入可以提高混凝土拌合物的粘度，增强其抗离析能力；引气剂引入的微小气泡可以起到滚珠轴承的作用，改善混凝土拌合物的流动性和稳定性。在施工过程中，合理控制混凝土的运输时间和浇筑速度，避免长时间静置和剧烈振动，也有助于保持混凝土的均匀性和稳定性。

### 2.3 含气量与凝结性能

含气量对自密实混凝土的工作性能和耐久性有着重要影响。适量的含气量（一般控制在3%-6%）可以改善混凝土拌合物的流动性和抗离析性能，同时提高混凝土的抗冻性和抗盐冻剥蚀能力。然而，含气量过高会导致混凝土的强度降低，因此需要严格控制引气剂的掺量<sup>[2]</sup>。自密实混凝土的凝结性能包括初凝时间和终凝时间，它直接影响混凝土的施工进度和质量。初凝时间不宜过短，以保证混凝土有足够的时间进行运输、浇筑和成型；终凝时间也不宜过长，以免影响后续施工工序的进行。一般来说，自密实混凝土的初凝时间宜控制在6-8h，终凝时间宜控制在8-10h。通过调整水泥品种、矿物掺合料用量和外加剂掺量，可以有效调节自密实混凝土的凝结时间，满足不同施工条件的要求。

#### 2.4 工作性能的评价方法

目前，自密实混凝土工作性能的评价方法主要包括坍落度试验、扩展度试验、J环扩展度试验、L箱试验和U型箱试验等。坍落度试验和扩展度试验是最常用的评价方法，通过测量混凝土拌合物的坍落度和扩展度，可以初步判断其流动性和填充性。J环扩展度试验在扩展度试验的基础上，增加了模拟钢筋间隙的J型圆环，能够更准确地评价混凝土拌合物通过钢筋间隙的能力。L箱试验和U型箱试验则是通过模拟混凝土在实际工程中的流动和填充过程，全面评价混凝土的流动性、间隙通过性和抗离析性能。这些试验方法相互补充，能够较为全面地评价自密实混凝土的工作性能，为配合比设计和施工质量控制提供依据。

### 3 自密实混凝土的力学特性分析

#### 3.1 强度特性

自密实混凝土的强度特性包括抗压强度、抗拉强度、抗折强度等，其中抗压强度是最主要的强度指标。自密实混凝土的抗压强度受水胶比、胶凝材料用量、骨料品质和养护条件等多种因素影响。水胶比是影响自密实混凝土抗压强度的关键因素，在一定范围内，水胶比越低，混凝土的抗压强度越高。这是因为较低的水胶比可以减少混凝土内部的孔隙率，提高水泥石的密实度。增加胶凝材料用量可以提高混凝土的胶结能力，从而提高其强度，但胶凝材料用量过高会导致混凝土的收缩增大，成本增加。骨料的强度和级配对自密实混凝土的强度也有重要影响，强度高、级配良好的骨料能够为混凝土提供更好的骨架支撑，提高其抗压强度。合理的养护条件，如适宜的温度、湿度和养护时间，对自密实混凝土强度的发展至关重要。良好的养护能够保证水泥的充分水化，提高混凝土的强度。

#### 3.2 弹性模量与变形性能

与普通混凝土相比，自密实混凝土的弹性模量一般略低，这主要是由于其胶凝材料用量相对较多，内部孔隙结构和微观结构与普通混凝土有所不同。自密实混凝土的弹性模量受水胶比、骨料含量和种类、矿物掺合料等因素影响。水胶比越低，骨料含量越高，弹性模量越高；矿物掺合料的掺加会使混凝土的弹性模量有所降低，但适量掺加可以改善混凝土的其他性能。自密实混凝土的变形性能包括弹性变形、塑性变形、干缩变形和徐变等。干缩变形和徐变是影响自密实混凝土长期性能的重要因素。干缩变形主要是由于混凝土内部水分蒸发引起的体积收缩，过高的干缩变形会导致混凝土开裂，影响结构的耐久性。徐变是指混凝土在长期荷载作用下产生的变形，徐变会使结构的变形增大，对结构的内力分布和稳定性产生影响。通过优化配合比设计，如合理控制水胶比、掺加矿物掺合料和外加剂等，可以有效减少自密实混凝土的干缩变形和徐变，提高其变形性能。

#### 3.3 收缩性能

自密实混凝土的收缩性能包括塑性收缩、干燥收缩和自收缩等。塑性收缩发生在混凝土浇筑后的塑性阶段，主要是由于水分蒸发过快导致混凝土表面失水收缩而产生的裂缝。干燥收缩是混凝土在硬化过程中，随着水分的不断蒸发，毛细孔中的水分减少，引起混凝土体积收缩。自收缩是由于水泥水化过程中消耗水分，导致混凝土内部产生自干燥现象，引起的体积收缩<sup>[3]</sup>。自密实混凝土由于胶凝材料用量较多，其收缩值一般比普通混凝土大，更容易出现收缩裂缝。为了减少自密实混凝土的收缩，可采取以下措施：合理控制水胶比，降低用水量；掺加适量的矿物掺合料，如粉煤灰、矿渣粉等，改善混凝土的孔结构；使用减缩剂等外加剂，减少混凝土的收缩；加强混凝土的早期养护，保持混凝土表面湿润，延缓水分蒸发速度。

#### 3.4 抗碳化与抗渗透性能

抗碳化性能是指混凝土抵抗空气中二氧化碳与水泥水化产物发生化学反应的能力。碳化会降低混凝土的碱度，使钢筋失去碱性保护，从而导致钢筋锈蚀，影响结构的耐久性。自密实混凝土由于其密实度较高，孔隙率较低，二氧化碳难以侵入，因此具有较好的抗碳化性能。但随着碳化深度的增加，混凝土的碳化风险也会逐渐增大。通过提高混凝土的密实度，如降低水胶比、掺加矿物掺合料和高效减水剂等，可以进一步增强自密实混凝土的抗碳化性能。抗渗透性能是衡量自密实混凝土耐久性的重要指标之一，包括抗水渗透、抗氯离子渗透

和抗气体渗透等。自密实混凝土良好的工作性能使其能够充分填充模板和包裹钢筋,形成密实的结构,从而具有较好的抗渗透性能。然而,在实际工程中,由于施工质量、环境因素等的影响,混凝土可能会出现缺陷,导致抗渗透性能下降。为了提高自密实混凝土的抗渗透性能,需要严格控制施工质量,保证混凝土的均匀性和密实性;合理选择原材料,优化配合比设计;采取必要的防护措施,如涂刷防护涂层等。

#### 4 自密实混凝土配合比设计与质量控制

##### 4.1 配合比设计原则

自密实混凝土配合比设计需遵循系统性原则,以满足工程多维度需求。具体而言,在工作性能方面,要确保混凝土拌合物具备优异的高流动性、均匀性、稳定性与间隙通过性。例如在浇筑复杂薄壁结构时,高流动性和间隙通过性可使混凝土顺利填充模板及包裹钢筋,避免振捣不足导致的空洞问题;均匀性和稳定性则能防止分层离析,保障结构质量。在力学性能上,需依据工程结构的设计要求,精准确定抗压强度、弹性模量等指标。如高层建筑的承重结构,对混凝土抗压强度和弹性模量要求极高,合理设计配合比,通过控制水胶比、胶凝材料用量等,可确保混凝土力学性能达标。耐久性方面,充分考量混凝土所处的冻融、侵蚀等复杂环境条件,选用适配的原材料与外加剂,优化配合比,提升抗冻、抗渗、抗碳化等性能。同时在满足上述要求基础上,通过合理选择性价比高的原材料,优化各材料用量比例,减少不必要成本支出,提升经济效益,实现工程质量与成本的平衡。

##### 4.2 原材料选择与要求

原材料的质量直接影响自密实混凝土的性能,因此在配合比设计前,需要严格选择原材料。水泥应选用质量稳定、强度等级合适的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,其各项性能指标应符合国家标准。矿物掺合料应根据工程需求和当地资源情况选择,粉煤灰应选用 I、II 级灰,矿渣粉的比表面积应不小于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ,硅灰的二氧化硅含量应不低于85%。粗骨料应选用质地坚硬、级配良好、含泥量低的碎石或卵石,最大粒径不宜超过25mm;细骨料宜选用中砂,含泥量应不大于3%,泥块含量应不

大于1%。外加剂应选择质量可靠、性能稳定的产品,高效减水剂的减水率应不小于25%,其他外加剂的性能指标也应符合相关标准要求。水应采用清洁、无杂质的饮用水或符合标准的非饮用水。

##### 4.3 质量控制要点

自密实混凝土的质量控制贯穿于原材料检验、生产过程控制和施工过程控制等各个环节。在原材料检验环节,应对每一批进场的原材料进行严格检验,确保其质量符合要求。水泥应检验其强度、凝结时间、安定性等指标;矿物掺合料应检验其活性指数、需水量比等指标;骨料应检验其颗粒级配、含泥量、泥块含量等指标;外加剂应检验其减水率、含固量等指标<sup>[4]</sup>。在生产过程控制环节,应严格按照配合比准确计量原材料,控制搅拌时间和搅拌速度,确保混凝土拌合物的均匀性和工作性能稳定。同时应定期对生产设备进行维护和校准,保证计量准确。在施工过程控制环节,应合理安排混凝土的运输时间和浇筑顺序,避免混凝土拌合物在运输过程中发生离析和坍落度损失过大。在浇筑过程中,应注意控制浇筑速度和高度,防止混凝土产生分层和蜂窝麻面等缺陷。浇筑完成后,应及时进行养护,养护时间应不少于14d,以保证混凝土强度的正常发展和减少收缩裂缝的产生。

##### 结束语

自密实混凝土在现代建筑领域展现出强大优势,但其性能受多因素制约。未来需进一步深入研究其材料组成与性能间的关系,优化配合比设计,创新质量控制技术,攻克收缩开裂等难题,拓展应用场景,以推动自密实混凝土技术持续发展,更好地服务于建筑工程建设。

##### 参考文献

- [1]刘全升,卢凤莲,刘仲基.石粉含量对机制砂自密实混凝土耐久性的影响[J].混凝土,2023,(05):92-95.
- [2]杨媛媛.再生骨料自密实混凝土的工作性能和耐久性分析[J].市政技术,2023,41(08):122-128.
- [3]李立群,张启志.自密实机制砂混凝土耐久性试验研究[J].当代化工,2022,51(04):786-789.
- [4]张华,李明.自密实混凝土配合比设计及性能研究[J].土木建筑工程信息技术,2020,8(2):12-15.