

# 机制砂在混凝土中的应用技术研究

张立

宁夏交通建设股份有限公司 宁夏 银川 750004

**摘要：**天然砂资源枯竭与环保政策收紧，使机制砂替代天然砂应用于混凝土成为必然趋势。本文聚焦机制砂在混凝土中的应用技术研究，旨在探索其作为天然砂替代材料的可行性与优化路径。研究首先阐述机制砂的基本特性及应用现状，系统分析其对混凝土工作性能、力学性能及耐久性的影响规律。在此基础上，深入探讨配合比设计、施工工艺控制、质量检测等关键应用技术，涵盖特殊环境适配性、再生机制砂利用及成本经济性分析。研究成果为机制砂混凝土的高效应用提供理论支撑与技术指导，对推动建筑材料资源化利用、缓解天然砂短缺问题具有重要意义。

**关键词：**机制砂；混凝土；应用技术

引言：随着建筑行业快速发展，天然砂资源枯竭与环境保护要求日益严格，机制砂作为替代材料在混凝土工程中的应用愈发重要。然而，机制砂粒形、级配及石粉含量等特性与天然砂存在差异，易导致混凝土性能波动，限制其大规模推广。本文针对机制砂混凝土的技术痛点，通过分析机制砂对混凝土工作性能、力学性能及耐久性的影响机制，结合配合比优化、施工工艺控制等关键技术研究，构建系统的应用技术体系，涵盖特殊环境适配、再生砂利用及成本控制等维度。旨在为机制砂混凝土的规范化应用提供科学依据，助力建筑业绿色转型与可持续发展。

## 1 机制砂在混凝土中的概述

机制砂是指通过机械破碎、筛分加工而成的岩石颗粒，其粒径通常控制在4.75mm以下，且不包含软质岩、风化岩等杂质。作为天然砂的重要替代材料，机制砂的原材料来源广泛，包括花岗岩、石灰岩、玄武岩等各类岩石，以及建筑废弃物经处理后形成的再生骨料。其生产过程需经过破碎、筛分、整形等多道工序，可通过调整工艺参数控制粒形、级配和石粉含量，从而满足不同混凝土工程的需求。与天然砂相比，机制砂具有棱角分明、表面粗糙、比表面积大等特点，这使其与水泥浆体的粘结性能更强，但也可能增加混凝土的需水量。同时，机制砂的级配可控性高，可通过优化筛分工艺实现合理级配，减少混凝土离析现象。近年来，随着天然砂资源的日益枯竭和环保政策的收紧，机制砂在混凝土工程中的应用比例逐年上升，尤其在高层建筑、桥梁、水利工程等领域展现出良好的适用性<sup>[1]</sup>。

## 2 机制砂对混凝土性能的影响

### 2.1 工作性能

#### 2.1.1 流动性

机制砂对混凝土流动性的影响主要源于其颗粒特性。机制砂棱角多、表面粗糙，与水泥浆体接触时摩擦力增大，导致混凝土初始流动性降低。此外，机制砂的石粉含量若控制不当（如超过7%），会额外消耗水分，进一步加剧流动性损失。但通过优化级配（如采用连续级配）或掺入适量减水剂，可有效改善颗粒间的润滑作用，缓解流动性下降问题，使机制砂混凝土满足施工浇筑要求。

#### 2.1.2 粘聚性与保水性

机制砂混凝土的粘聚性和保水性通常优于天然砂混凝土。其棱角状颗粒形成的嵌锁结构增强了集料间的咬合力，减少了离析和泌水现象；而适量石粉（3%~5%）可填充颗粒间隙，提高水泥浆体的包裹性，进一步提升体系稳定性。但若石粉含量过高（超过10%），会因浆体过稠导致粘聚性过强，反而影响混凝土的振捣密实性；颗粒级配不合理（如细颗粒偏少）则可能削弱保水性，引发局部泌水。

### 2.2 力学性能

#### 2.2.1 抗压强度

机制砂能提升混凝土的抗压强度，因其粗糙表面和多棱角结构增强了与水泥浆体的粘结力，形成更稳定的整体结构。适量石粉可填充间隙，提高密实度，进一步增加强度。但石粉过多会降低水泥浆体强度，级配不合理也会影响抗压性能。通过优化级配和控制石粉含量，机制砂混凝土抗压强度可优于天然砂混凝土。

#### 2.2.2 抗拉强度与抗弯强度

机制砂对混凝土抗拉和抗弯强度的提升更显著。其颗粒间的嵌锁作用增强了界面过渡区，阻碍裂缝扩展。粗糙表面增加了摩擦力，提升了抵抗拉伸和弯曲的能力。不过，若颗粒级配不良或石粉过多，会导致内部缺

陷, 反而降低抗拉和抗弯强度, 需通过合理配比改善。

### 2.3 耐久性

#### 2.3.1 抗渗性

机制砂对混凝土抗渗性的影响与石粉含量和级配密切相关。适量石粉(3%~5%)可填充孔隙, 改善混凝土密实度, 减少水分渗透通道, 提升抗渗性; 合理级配能降低骨料间隙率, 增强整体致密性。但若石粉过量或级配偏粗, 会导致浆体与骨料粘结不良, 形成渗透薄弱区, 反而降低抗渗性能。因此, 控制石粉含量和优化级配是保证机制砂混凝土抗渗性的关键。

#### 2.3.2 抗冻性

机制砂混凝土的抗冻性取决于内部孔隙结构。表面粗糙的机制砂与水泥浆体粘结紧密, 可减少冻融循环产生的微裂缝; 适量石粉填充孔隙, 降低吸水率, 增强抗冻能力。但石粉过多会使浆体脆性增加, 或因需水量上升导致孔隙率增大, 反而削弱抗冻性。通过掺加引气剂优化气孔结构, 可进一步提升其抗冻性能。

#### 2.3.3 抗侵蚀性

机制砂混凝土的抗侵蚀性主要依赖于密实度和水泥浆体性能。机制砂与水泥浆体的强粘结力能阻挡侵蚀介质侵入; 石粉中的活性成分可与水泥水化产物反应, 提升界面过渡区稳定性, 增强抗硫酸盐、氯离子等侵蚀能力。但若级配不良导致密实度不足, 或石粉杂质过多引发有害反应, 会降低其抗侵蚀性, 需严格控制原材料质量<sup>[2]</sup>。

## 3 机制砂在混凝土中的应用技术分析

### 3.1 配合比设计优化技术

机制砂混凝土配合比设计需围绕其颗粒特性进行针对性调整, 核心是通过参数协同实现性能均衡。石粉含量的控制需结合工程需求灵活适配, 利用其填充效应提升密实度的同时, 避免过量对水泥水化产生不利影响, 需根据混凝土强度等级和耐久性要求确定合理区间。砂率的设定需考虑机制砂棱角性强的特点, 通过适当提高砂率减少集料间的摩擦阻力, 改善混凝土流动性, 但需避免砂率过高导致浆体包裹不足, 影响整体强度。胶凝材料用量应根据机制砂比表面积大的特性进行调整, 确保有足够的浆体包裹集料颗粒, 增强界面粘结性能。必要时可掺入矿物掺合料, 利用其活性效应和微集料填充作用, 优化混凝土内部结构, 提升综合性能。外加剂的选择需与机制砂特性相匹配, 通过调整外加剂类型和掺量, 缓解机制砂带来的需水量增加问题, 改善混凝土工作性能, 确保凝结时间符合施工要求。

### 3.2 施工工艺控制技术

机制砂混凝土的施工工艺需结合其流动性偏低、粘

聚性强的特点进行针对性调控, 以确保工程质量稳定。在搅拌环节, 应适当延长搅拌时间, 因机制砂表面粗糙且石粉易团聚, 充分搅拌可保证物料均匀混合, 避免局部石粉富集影响性能。搅拌过程中需严格控制用水量, 若发现坍落度损失过快, 可采用后掺法加入适量减水剂, 禁止直接加水调整。运输与浇筑阶段需减少静置时间, 机制砂混凝土保水性虽强但初凝较快, 长时间停放易导致流动性下降, 运输过程中应保持罐体缓慢转动, 浇筑时采用分层推移法, 控制每层厚度, 避免因布料不均引发离析。振捣环节需采用高频振捣器, 适当延长振捣时间, 因机制砂集料间隙小, 充分振捣可排出气泡, 确保密实性, 但需防止过振导致石粉上浮、表面起砂。养护工艺需强化保湿, 机制砂混凝土早期强度发展快但水化热较高, 浇筑完成后及时覆盖保湿膜, 高温环境下需洒水养护, 保证足够的养护周期, 以减少表面裂缝, 保障强度稳定增长。

### 3.3 质量检测与控制技术

机制砂混凝土的质量检测与控制需贯穿全流程, 从原材料到成品实施多维度监控。原材料进场环节, 重点检测机制砂的粒形、级配及石粉含量, 通过筛分试验观察颗粒分布是否均匀, 避免针片状颗粒过多影响混凝土和易性, 同时验证石粉成分是否为无害惰性物质, 防止有害杂质干扰性能。生产过程中, 实时监测混凝土的坍落度和粘聚性, 通过直观观察和简单测试判断其工作性能是否达标, 若出现异常需追溯配合比调整或搅拌工艺问题。硬化后的质量检测聚焦力学性能与耐久性, 通过抗压试验评估强度发展, 结合抗渗、抗冻等专项测试验证长期性能, 同时检查表面是否存在裂缝、起砂等缺陷, 分析是否因振捣不足或养护不当导致。

### 3.4 特殊环境下的应用技术

特殊环境对机制砂混凝土的性能提出更高要求, 需结合环境特性制定针对性技术方案。在高温环境中, 机制砂混凝土易因水分蒸发过快导致坍落度损失加剧, 需通过调整外加剂类型延缓凝结时间, 同时优化浇筑时段, 避开正午高温, 并加强表面覆盖保湿, 减少温度应力引发的裂缝。严寒地区应用时, 需强化混凝土抗冻性, 可利用机制砂石粉的填充效应提升密实度, 配合掺入引气剂改善内部气孔结构, 施工中需保证养护温度不低于临界值, 避免早期受冻破坏。高湿高盐环境下, 重点防控氯离子侵蚀, 选择抗渗性优异的配合比, 利用机制砂与胶凝材料的强粘结性阻挡侵蚀介质渗透, 同时在混凝土表面增设防护涂层, 形成双重屏障。地下工程等黑暗潮湿环境中, 需注重混凝土的早期强度发展, 通过

调整水泥品种和掺合料比例,确保机制砂混凝土在养护条件受限情况下仍能快速达到设计强度,满足后续施工要求。

### 3.5 再生机制砂的应用技术

再生机制砂由建筑废弃物破碎加工而成,其应用需重点解决杂质含量高、性能波动大的问题。预处理环节需严格筛分除杂,去除其中的木屑、塑料等轻质杂质,同时通过多级破碎改善粒形,减少针片状颗粒比例,为后续应用奠定基础。在混凝土配合比设计中,需根据再生机制砂的吸附性强、空隙率高的特点,适当调整胶凝材料用量,确保足够浆体包裹集料,提升混凝土和易性。同时,可通过掺入活性掺合料,利用其火山灰效应优化界面过渡区,增强再生机制砂与水泥浆体的粘结强度。施工过程中,需加强对再生机制砂含水率的动态监测,及时调整用水量,避免因水分波动导致混凝土性能不稳定。养护阶段应延长保湿时间,促进水化反应充分进行,弥补再生机制砂混凝土早期强度发展较慢的不足,从而实现其中低强度等级混凝土工程中的有效应用,推动建筑废弃物资源化利用的闭环发展。

### 3.6 成本控制与经济性分析技术

机制砂混凝土的成本控制需从全生命周期角度,平衡材料、施工与维护成本。原材料环节,通过就近选取岩石或建筑废弃物作为机制砂原料,减少运输费用;优化破碎工艺,降低生产能耗,同时合理利用石粉等副产品,提升资源利用率。配合比设计中,在满足性能要求的前提下,适当提高机制砂掺量,减少高价胶凝材料用量,通过试验确定性价比最优方案。施工阶段,因机制砂混凝土性能稳定,可减少返工成本;采用高效施工工艺,缩短工期,降低人工与机械租赁费用。经济性分析需兼顾短期投入与长期收益,虽然机制砂前期生产设备有一定投入,但相比天然砂的资源稀缺性导致的价格波动,其成本更易控制。从长期看,机制砂混凝土耐久性提升,可减少后期维修费用,且符合环保政策导向,能规避天然砂开采的环境罚款风险,综合效益显著。

### 3.7 技术创新与智能化应用

机制砂在混凝土中的高效应用需依托技术创新与智能化手段突破传统模式限制。在技术研发层面,可通过新型破碎设备改良机制砂粒形,开发专用外加剂适配其特性,提升混凝土性能的稳定性与一致性。同时,利用数值模拟技术预测机制砂混凝土在不同环境下的性能演变,减少实体试验成本,加速技术迭代。智能化应用贯穿全流程,原材料环节通过在线监测系统实时把控机制砂的级配、石粉含量等关键指标,数据异常时自动预警并调整生产参数;配合比设计借助算法模型,根据工程需求快速生成优化方案,兼顾性能与经济性;施工过程中引入智能振捣机器人、养护监测传感器等设备,精准控制工艺参数,确保施工质量均匀稳定。此外,搭建机制砂混凝土性能数据库,整合不同工程案例的应用数据,通过机器学习挖掘参数与性能的关联规律,为后续应用提供数据支撑,推动机制砂混凝土技术向精准化、高效化方向发展<sup>[3]</sup>。

### 结束语

机制砂在混凝土中的应用技术研究,为建筑行业绿色转型提供了关键路径。其不仅缓解了天然砂资源短缺的困境,更通过性能优化与技术创新,实现了混凝土在工作性、力学性能及耐久性上的突破。尽管应用中仍面临粒形调控、成本平衡等挑战,但配合比优化、智能化施工等技术的成熟,已为其规模化推广奠定基础。未来,随着再生机制砂利用、特殊环境适配等技术的深化,机制砂混凝土将在资源循环与低碳建筑中发挥更大作用,推动建筑业向高效、环保、可持续的方向稳步迈进。

### 参考文献

- [1]王忠良.浅析机制砂在水泥混凝土中的应用[J].建材与装饰,2022,(23):11-12.
- [2]任文莲.浅谈机制砂在水泥混凝土中的应用[J].山西交通科技,2022,(02):8-10.
- [3]陈静.浅析机制砂在水泥混凝土中的应用[J].西南公路,2021,(03):110-111+124.