

机制砂在高性能混凝土中的应用研究

杨 忠

新疆北新科技创新咨询有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：机制砂通过机械破碎、筛分岩石或矿石制成，其特性影响高性能混凝土性能。本文探讨机制砂基本特性，包括物理、化学性能及生产工艺；分析机制砂对混凝土工作性、力学性能、耐久性的影响；研究配合比设计原则、方法与关键参数；阐述机制砂混凝土在高层建筑、桥梁等工程的应用领域、优势及问题解决措施，为机制砂高性能混凝土应用提供参考。

关键词：机制砂；高性能混凝土；配合比设计；应用优势

引言：随着建筑行业对混凝土性能要求提升，高性能混凝土应用愈发广泛。天然砂资源日益短缺且开采受限，机制砂作为替代材料受到关注。机制砂由机械加工岩石或矿石制成，其特性与生产工艺独特。了解机制砂基本特性，研究其对高性能混凝土性能的影响，优化配合比设计，对推动机制砂在工程中合理应用，保障建筑工程质量与可持续发展具有重要意义。

1 机制砂的基本特性

1.1 定义与生产工艺

机制砂是通过机械破碎、筛分工序加工岩石或矿石形成的砂石材料，粒径通常控制在特定范围，生产过程中需严格排除软质、风化颗粒以保证强度，常见加工原料包括花岗岩、石灰岩等，不同岩性原料需匹配适配的破碎工艺^[1]。生产环节中，破碎设备选择直接影响颗粒完整性，颚式破碎机破碎力度大但易产生较多针片状颗粒，适用于硬度高的岩石粗碎，冲击式破碎机破碎后颗粒形状更圆润，适合中细碎环节；筛分环节需根据目标级配选择筛网规格，筛网孔径大小与筛分次数直接决定机制砂级配分布，级配偏差过大会影响混凝土和易性；整形工艺通过对破碎后的颗粒进行二次处理，减少针片状颗粒占比，优化颗粒形状，提升机制砂与胶凝材料的黏结性能，各环节紧密衔接共同决定机制砂最终质量。

1.2 物理性能

粒形特征中，针片状颗粒占比过高会降低混凝土流动性，此类颗粒相互搭接易形成空隙，导致混凝土密实度下降，影响力学性能，改善粒形需通过调整破碎设备参数或增加整形工艺实现，提升颗粒圆度与表面粗糙度，表面适度粗糙可增强与胶凝材料的黏结力；颗粒粒径搭配方面，不同大小颗粒的合理比例能提高骨料堆积密度，减少混凝土内部孔隙，通过筛分调整不同粒径颗粒占比，或采用不同粒径机制砂掺配的方式，可优化颗

粒组合状态，使颗粒搭配更符合高性能混凝土需求，从粗到细颗粒比例逐渐过渡的组合相比某一区间粒径颗粒缺失的组合，更易提升混凝土和易性；细度模数与混凝土工作性关联紧密，细度模数偏大时机制砂比表面积小，混凝土黏聚性易不足，细度模数偏小时比表面积大，需更多胶凝材料包裹，易导致混凝土流动性下降，需根据混凝土强度等级与施工要求选择适宜的细度模数。

1.3 化学性能

化学成分中，二氧化硅含量较高的机制砂硬度与耐久性更强，适合用于高强度、高耐久性混凝土，氧化钙含量过高可能导致混凝土后期收缩开裂，生产中需控制原料化学成分，通过检测手段筛查有害成分含量，定期对原料与成品进行成分分析，避免有害成分影响混凝土性能；石粉成分多与母岩一致，常含硅、铝等元素，以附着颗粒表面或填充孔隙的形式存在，适量石粉可改善混凝土工作性，提升黏聚性，减少离析现象，尤其在低水胶比体系中能辅助胶凝材料水化，但若石粉含量过高会增加混凝土需水量，降低强度与耐久性，需根据混凝土用途确定合理控制范围，用于泵送混凝土时石粉含量可适当放宽，用于高强度混凝土时需严格控制，通常通过水洗、风选等工艺调整石粉含量，水洗工艺适用于高石粉含量原料，风选则更适配微调需求，平衡其对混凝土性能的双面效应。

2 机制砂对高性能混凝土性能的影响

2.1 工作性影响

机制砂粒形的棱角性会增加颗粒间摩擦力，若棱角过多易导致混凝土流动性下降，需通过冲击式整形或研磨工艺优化粒形，冲击式整形更适用于硬度较高的岩石原料，研磨工艺则适配质地较软的矿石，减少颗粒间阻力；级配连续性不足时，颗粒堆积空隙率增大，混凝土易出现离析，需调整筛网层数与孔径分布保证级配连

续，可通过增加细筛层数提升细颗粒比例；适量石粉可填充颗粒空隙、润滑颗粒表面，提升混凝土流动性，但石粉过量会吸附更多水分，反而降低流动性^[2]。与天然砂混凝土相比，机制砂混凝土因颗粒咬合作用更强，黏聚性更优，不易出现分层现象；保水性方面，机制砂表面粗糙、吸附能力强，保水性优于天然砂混凝土，但若石粉含量过低，保水性会减弱，需通过水洗或风选工艺控制石粉含量，平衡保水性与流动性。

2.2 力学性能影响

抗压强度上，机制砂颗粒棱角性强、表面粗糙，与胶凝材料黏结面积更大，在标准养护环境下混凝土抗压强度通常高于天然砂混凝土，若养护环境湿度不足，需覆盖保湿膜或洒水加强保湿措施，避免强度发展受阻，但若针片状颗粒过多，会在混凝土内部形成薄弱区域与应力集中点，显著削弱抗压强度；抗折强度受粒形与级配共同影响，合理级配与优化粒形能增强颗粒间咬合作用，提升抗折强度以适应桥梁、路面等受弯构件需求。强度发展规律方面，机制砂混凝土早期因黏结作用强，强度增长较快，能缩短养护等待时间；后期石粉可促进水化反应持续进行，助力强度稳步提升，但若石粉过量，会导致水化产物分布不均，后期强度增长放缓甚至出现强度回落，需根据混凝土设计强度等级控制机制砂特性参数，高强度等级混凝土需更严格控制针片状颗粒占比。

2.3 耐久性影响

抗渗性方面，合理级配的机制砂能降低混凝土孔隙率，适量石粉可填充微小孔隙，形成致密结构，减少水分渗透路径；若级配紊乱或石粉不足，孔隙率增大，抗渗性会显著下降，地下工程需额外提升抗渗等级。抗冻性上，机制砂混凝土若内部孔隙分布不均，冻融循环中易产生冰晶膨胀，导致裂缝发展，颗粒棱角过多会加剧应力集中，加速性能衰减，严寒地区需通过引气剂辅助提升抗冻性，优化粒形与级配可进一步增强抗冻效果。抗碳化性方面，机制砂混凝土若密实度高，能阻碍二氧化碳渗透，减缓碳化速度，保护钢筋不被锈蚀；若密实度不足，碳化深度会增加，钢筋保护能力减弱^[3]。抗氯离子渗透性上，机制砂混凝土因结构致密，氯离子传输路径更短，渗透阻力大于天然砂混凝土，但若石粉过量导致内部结构疏松，氯离子易穿透，需结合混凝土使用环境控制石粉含量与级配，海洋工程需额外添加抗氯离子侵蚀外加剂，保证结构致密。

3 机制砂高性能混凝土的配合比设计

3.1 设计原则

性能适配原则要求配合比设计充分考虑高性能混凝土的核心需求，工作性上需保证混凝土具备良好流动性以适应泵送施工，尤其针对高层建筑或大跨度结构的长距离泵送需求，避免堵管问题；力学性能上满足工程对强度等级的要求，兼顾不同荷载条件下的承载能力；耐久性上通过参数优化提升抗渗、抗冻等能力，适配海洋、严寒等特殊环境，确保配合比与工程实际性能需求高度匹配。特性针对性原则需聚焦机制砂自身特点，针对粒形棱角多的问题调整参数以减少颗粒间阻力，依据级配情况优化骨料比例以降低空隙率，根据石粉含量控制胶凝材料用量，既规避机制砂缺陷对混凝土性能的影响，又充分发挥其表面粗糙、黏结性强的优势，提升混凝土整体性能稳定性。

3.2 设计方法

传统体积法应用于机制砂高性能混凝土时，需根据机制砂密度与吸水率调整骨料体积计算，先确定胶凝材料、骨料、水的体积比例，再结合机制砂颗粒堆积特性修正体积参数，确保计算结果准确反映混凝土实际状态；质量法需考虑机制砂含水率变化，尤其是露天堆放时受环境湿度影响的含水率波动，实时调整用水量，避免因水分波动影响混凝土性能，计算步骤需严格遵循材料平衡关系，保障配合比各组分比例合理。性能导向优化以混凝土目标性能为核心，若目标为高强度，可反向推导适宜的水胶比与胶凝材料用量，搭配高效矿物掺合料；若目标为高抗渗性，则重点调整骨料级配与石粉含量，增强结构致密性，推导完成后需通过试验验证，制作标准试件在规定养护条件下测试性能是否达标，根据试验结果微调参数直至满足目标要求。

3.3 关键参数确定

水胶比与混凝土强度呈紧密关联，水胶比减小通常能提升强度，但需结合机制砂吸水特性确定，机制砂吸水率高时需适当增加用水量以保证工作性，同时通过添加减水剂控制总水分，将水胶比控制在合理范围，避免因水分过多降低强度与耐久性。砂率调整需兼顾混凝土流动性与黏聚性，机制砂级配偏粗或粒形不规则时，适当提高砂率可填充骨料空隙、改善流动性，减少离析风险；级配偏细时则需降低砂率，防止混凝土黏聚性过强影响振捣密实，优化原则需结合机制砂实际特性动态调整^[4]。矿物掺合料可改善机制砂混凝土界面性能，粉煤灰能细化界面过渡区、提升混凝土韧性，矿渣粉可增强界面黏结强度，需根据混凝土性能需求控制掺合料总量；外加剂需关注与机制砂的相容性，减水剂选择需适配机制砂表面电荷特性与吸附能力，确保其能有效分散颗

粒、减少用水量，避免因相容性差导致混凝土坍落度损失过快，影响施工性能。

4 机制砂高性能混凝土在实际工程中的应用

4.1 应用领域适配

高层建筑基础与主体结构对强度和耐久性要求严苛，机制砂高性能混凝土凭借高抗压强度承受建筑自重与竖向荷载，良好抗碳化性能减缓钢筋锈蚀，延长结构寿命。应用时需适配泵送工艺，调整配合比保证流动性，避免颗粒棱角过多导致管道堵塞，同时控制水化热，减少结构裂缝。大跨度桥梁桥墩与主梁需兼顾承载与减重，机制砂高性能混凝土强度高、密实度好，提升构件抗折抗剪性能，合理级配优化密度降低结构自重，减少支座负荷。应用中需强化环境适应性，针对露天多雨条件提升抗渗抗冻性，避免雨水渗透损伤结构。海洋工程面临海水侵蚀与氯离子威胁，机制砂高性能混凝土通过优化配合比提升抗氯离子渗透性，适量石粉填充孔隙形成致密结构，搭配抗腐蚀胶凝材料，增强抗海水能力，适用于海堤、码头，保障恶劣环境下的稳定性。水利工程中，堤坝、水闸用机制砂高性能混凝土需强化抗渗抗冲刷性，调整骨料级配与胶凝材料用量提升密实度；交通工程如高速公路基层，需优化粒形与细度模数增强抗折性和耐磨性，适配不同环境调整性能，拓展应用范围。

4.2 应用优势

性能上，机制砂高性能混凝土抗压抗折强度优于普通混凝土，满足高层建筑、大跨度桥梁等高强度需求，耐久性可减少海洋工程、水利工程后期维修成本；优化粒形级配后，流动性适配泵送施工，黏聚性避免竖向结构浇筑时出现离析泌水，全方位保障施工质量。经济上，机制砂利用当地岩石或矿山废料生产，大幅减少天然砂从产地到工地的长途运输费用，显著降低原料成本；稳定的工作性与力学性能减少施工中的返工次数，提升浇筑、养护效率缩短工期，间接节约人工薪酬与设备租赁成本，为工程整体造价控制提供有力支撑。环保上，机制砂替代天然砂能减少河道采砂对河床、河岸生态的破坏，保护水资源与水生生物栖息地；生产过程中可消化矿山尾矿、建筑垃圾等固体废弃物，实现资源循环利用，减少固废堆放占用土地与环境污染，完全符合

绿色工程建设理念。

4.3 应用问题与解决

质量问题源于机制砂粒形、级配、石粉含量波动，针片状颗粒多会导致混凝土内部应力集中降低强度，级配紊乱易引发和易性不佳，石粉含量失控则会危害耐久性。需升级生产设备，采用冲击式破碎机优化粒形，搭配多层筛分机精准控制级配，同时加装在线监测装置实时把控石粉含量，确保机制砂质量稳定。技术问题集中在配合比与搅拌，机制砂吸水特性易导致配合比计算偏差，搅拌时间不足或转速不当会造成材料混合不均影响性能^[5]。需加强试验室试验，建立不同地域、不同岩性机制砂的配合比数据库，现场优化搅拌时间与转速参数，必要时增加二次搅拌工序，确保材料充分混合提升混凝土匀质性。行业部分人员对机制砂性能存在疑虑，担心其影响混凝土结构安全，需通过行业研讨会、技术培训、编制应用手册等形式普及机制砂优势，选取重点工程开展示范应用，邀请行业人员实地观摩效果，逐步消除误区，推动机制砂高性能混凝土广泛应用。

结束语

机制砂在高性能混凝土应用中展现出诸多优势，其基本特性对混凝土性能影响显著。通过合理设计配合比，可充分发挥机制砂优势，满足不同工程需求。然而，应用中仍存在质量、技术及认知等问题，需从生产、施工、宣传等多方面解决。未来，应持续研究机制砂性能，优化应用技术，推动机制砂高性能混凝土广泛应用，助力建筑行业绿色、高质量发展。

参考文献

- [1]贺慧.C130机制砂高性能混凝土的配制与应用技术研究[J].广州建筑,2023,51(3):73-76.
- [2]马军委,吴俊,张涛,等.两种机制砂在铁路高性能混凝土支承块中的应用研究[J].江苏建材,2023(5):59-61.
- [3]范远林.机制砂高质量加工与混凝土应用研究[J].科技资讯,2024,22(17):136-138.
- [4]祝贞安.机制砂替代河砂对高性能混凝土性能的影响研究[J].江西建材,2024(4):20-22.
- [5]庞浩然,王晶,朱良韬,等.机制砂制备高性能混凝土技术优化研究[J].建筑技术开发,2023,50(2):1-3.