

基于机制砂的预拌混凝土配合比设计及施工工艺探讨

周文杰

佛山市顺德区有利建筑构件有限公司, 广东 佛山 528303

DOI:10.61369/UAID.2024120007

摘要： 机制砂取代天然砂面临技术挑战，在预拌混凝土配合比设计中，需优化胶凝材料体系、适配新型外加剂。搅拌站生产要控制原材料计量精度、协同优化拌合参数。施工时，泵送、大体积施工各环节也有相应工艺要点，同时还涉及界面强化、固废利用等技术，对保障混凝土质量与性能至关重要。

关键词： 机制砂；混凝土；配合比设计

Discussion on Mix Design and Construction Technology of Ready Mixed Concrete Based on Mechanism Sand

Zhou Wenjie

Youli Building Components Co., Ltd., Shunde District, Foshan, Guangdong 528303

Abstract： The replacement of natural sand with machine-made sand faces technical challenges. In the mix design of ready mixed concrete, it is necessary to optimize the cementitious material system and adapt to new additives. The production of mixing plants requires control of raw material measurement accuracy and collaborative optimization of mixing parameters. During construction, there are corresponding process points for various links such as pumping and large volume construction, as well as technologies such as interface strengthening and solid waste utilization, which are crucial for ensuring the quality and performance of concrete.

Keywords： mechanism sand; concrete; mix proportion design

引言

2020年发布的《关于推动机制砂石行业高质量发展的若干意见》旨在促进机制砂行业的高质量发展。在此背景下，机制砂预拌混凝土相关研究意义重大。机制砂虽在与水泥浆粘结等方面有优势，但因其颗粒形状、级配、石粉含量及化学组成等特性，在取代天然砂时面临诸多技术挑战。因此，在配合比设计、生产工艺控制、施工应用等环节，需深入研究如胶凝材料体系优化、外加剂适配、计量精度与拌合参数控制等技术，以提升机制砂预拌混凝土质量与性能，推动行业绿色可持续发展。

一、机制砂特性及其对混凝土配合比的影响

（一）机制砂物理化学特性分析

机制砂的颗粒形状多为棱角形，表面粗糙，与天然砂相比，这种形状使得机制砂在混凝土中与水泥浆的粘结力更强，有利于提高混凝土的强度。但其棱角形也会导致机制砂在搅拌过程中摩擦力增大，需更多的水泥浆包裹，进而影响混凝土的工作性^[1]。在级配方面，机制砂级配可人工调控，合理级配能使机制砂堆积更紧密，降低孔隙率，减少混凝土中的空隙，提高其密实度与耐久性。石粉含量也是关键参数，适量石粉可填充机制砂颗粒间的空隙，改善颗粒级配，同时石粉具有一定的活性，能参与水泥水化反应，提高混凝土早期强度。然而，石粉含量过高会增加需水

量，降低混凝土的流动性和强度。此外，机制砂的化学组成与母岩相关，会影响其与水泥的适应性，进而影响混凝土性能。

（二）机制砂取代天然砂的技术挑战

机制砂取代天然砂面临诸多技术挑战。机制砂颗粒形状多棱角、表面粗糙，这会使新拌混凝土拌合物粘度增大，影响其工作性^[2]。具体而言，机制砂的石粉含量对混凝土性能影响显著，适量石粉可改善工作性，但含量过高则会降低强度、增大干缩。同时，机制砂级配往往不够理想，与天然砂相比，级配不良可能导致混凝土需水量增加，进而影响水胶比，降低强度和耐久性。此外，机制砂在生产过程中，其颗粒形状、石粉含量、级配等受生产设备、工艺影响较大，质量稳定性较差，这给混凝土配合比设计带来困难，需精准控制与调整才能保证混凝土质量。

二、基于机制砂的配合比设计方法

(一) 胶凝材料体系优化设计

在基于机制砂的预拌混凝土配合比设计中,胶凝材料体系优化设计极为关键。需深入探讨机制砂混凝土中矿物掺合料与水泥的复合配比方法及其强度发展规律^[3]。矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉等,能改善混凝土工作性能、降低水化热,与水泥合理搭配可提升混凝土综合性能。研究不同掺量矿物掺合料与水泥的复合比例,分析其对混凝土早期和后期强度发展的影响。例如,适量粉煤灰可提高混凝土流动性,但掺量过高可能延缓早期强度增长。通过系统试验,明确不同机制砂特性下,矿物掺合料与水泥的最佳复合配比,使胶凝材料体系既能满足混凝土施工工作性要求,又能确保强度等性能达标,为机制砂预拌混凝土的高质量应用提供坚实的配合比设计基础。

(二) 新型外加剂适配技术

在基于机制砂的预拌混凝土配合比设计中,新型外加剂适配技术至关重要。聚羧酸系减水剂与机制砂表面特性的匹配关系直接影响混凝土的流变性能^[4]。机制砂表面粗糙、棱角多,与减水剂的相互作用和天然砂不同。需深入研究减水剂分子结构与机制砂表面活性位点的结合模式,明确其对混凝土流动性、保坍性等流变性能的影响规律。在此基础上,通过调整减水剂的官能团种类、数量及分子链长度,优化减水剂配方,实现与机制砂表面特性的良好适配,从而有效调控混凝土流变性能,确保在不同施工条件下,基于机制砂的预拌混凝土都能满足工作性要求,为工程应用提供有力技术支撑。

三、机制砂混凝土施工工艺关键技术

(一) 搅拌站生产工艺控制

1. 原材料计量精度控制

机制砂混凝土搅拌站生产工艺控制中,原材料计量精度控制至关重要。机制砂含水率波动会显著影响计量精度,进而影响混凝土质量。需采用精准的自动计量系统,并针对机制砂含水率波动进行补偿修正^[5]。可通过实时监测机制砂含水率,运用先进的传感器技术,将含水率数据及时反馈至控制系统。控制系统依据反馈数据,动态调整机制砂及其他原材料的计量,确保实际投入量符合配合比设计要求。例如,当机制砂含水率升高时,自动减少机制砂计量,并相应增加水的计量,维持水灰比稳定。同时,定期对计量设备进行校准与维护,检查传感器精度,保证计量系统的准确性与可靠性,从而保障机制砂混凝土的质量稳定。

2. 拌合参数协同优化

在机制砂混凝土搅拌站生产工艺控制中,拌合参数协同优化至关重要。需研究搅拌时间、投料顺序与机制砂特性的耦合作用机理^[6]。搅拌时间过短,机制砂与其他原材料无法充分混合,影响混凝土均匀性与工作性能;时间过长则可能破坏机制砂颗粒结构,降低强度。投料顺序同样关键,合理的顺序能使机制砂在混凝土中分布更均匀,提升整体性能。同时,机制砂自身特性如石

粉含量、颗粒形状与级配等,也显著影响拌合效果。应深入剖析三者间的耦合关系,通过科学调整搅拌时间与投料顺序,充分发挥机制砂特性,实现拌合参数的协同优化,确保机制砂混凝土质量稳定且性能良好。

(二) 现场施工工艺改进

1. 泵送施工性能保障

为保障机制砂混凝土泵送施工性能,提出基于机制砂特性的泵送剂复配方案及管道压力控制标准十分关键。机制砂相较于天然砂,颗粒形状不规则、石粉含量高,会影响混凝土的流动性与泵送性能。因此需针对机制砂特性,复配出适配的泵送剂,通过调整其成分比例,改善混凝土工作性,使其更易泵送^[7]。同时,要明确管道压力控制标准。由于机制砂混凝土与普通混凝土在流变性能上存在差异,过高或过低的管道压力都可能导致堵管或混凝土离析等问题。精确计算并严格控制泵送过程中的管道压力,确保混凝土在管道内顺畅流动,避免出现施工故障,从而保障机制砂混凝土泵送施工的顺利进行。

2. 大体积混凝土温控技术

对于机制砂混凝土大体积施工,温控至关重要。构建准确的水化热计算模型是基础,通过分析机制砂特性、水泥品种及用量等因素,精准预测混凝土水化热升温曲线^[8]。依据此模型,制定分层浇筑温度控制体系。在分层浇筑时,严格把控每层浇筑厚度与间隔时间,确保下层混凝土在初凝前完成上层浇筑,避免出现冷缝。同时,在混凝土内部埋设温度传感器,实时监测温度变化,根据实测数据及时调整养护措施,如采用蓄水养护或覆盖保温材料,控制混凝土内表温差,防止因温度应力过大产生裂缝,保障大体积机制砂混凝土施工质量。

四、新型材料复合应用与工程实践

(一) 固废基掺合料协同利用

1. 钢渣-粉煤灰复合胶凝体系

钢渣-粉煤灰复合胶凝体系在机制砂混凝土中可有效强化界面过渡区。钢渣具有潜在水硬性,其活性成分能与水发生反应,生成具有胶凝性能的物质。粉煤灰富含活性氧化硅和氧化铝,能与水泥水化产物氢氧化钙发生二次反应,生成更多凝胶物质。二者复合,一方面钢渣早期反应为体系提供一定强度,粉煤灰后期的二次反应持续填充孔隙,细化孔径结构。另一方面,二者相互激发,优化了复合胶凝体系的颗粒级配,使胶凝材料在机制砂颗粒表面分布更均匀,增强了与机制砂的粘结力,从而显著强化机制砂混凝土的界面过渡区,提升混凝土的综合性能^[9]。

2. 再生微粉活化技术

在基于机制砂的预拌混凝土研究中,再生微粉活化技术是固废基掺合料协同利用的关键环节。建筑垃圾微粉本身活性较低,需通过特定技术激发其活性。常见的活化方法包括物理活化与化学活化。物理活化主要通过机械研磨,增加微粉比表面积,提高其反应活性^[10]。化学活化则是添加适量的化学激发剂,如碱性激发剂等,促使微粉中潜在活性成分溶解并参与水化反应。经活化

后的再生微粉,不仅自身活性得以提升,还能有效改善机制砂的填充效应。它可填充机制砂颗粒间的空隙,优化颗粒级配,使机制砂在混凝土中分布更均匀,进而提升预拌混凝土的工作性能、力学性能及耐久性,实现建筑垃圾微粉在机制砂预拌混凝土中的高效利用,推动新型材料复合应用与工程实践的发展。

(二) 3D打印混凝土配合比创新

1. 可建造性评价体系

建立机制砂打印混凝土的触变性与形状保持能力量化指标,是3D打印混凝土可建造性评价体系的关键。触变性关乎混凝土在打印过程中的流动性与静止时的稳定性,良好触变性使混凝土既能在挤出时顺畅流动,又能在打印后快速稳定形状。形状保持能力则直接决定打印结构的精度与完整性,量化该能力指标,可有效评估打印结构能否精准还原设计模型。通过构建这些量化指标,形成科学的可建造性评价体系,为机制砂打印混凝土配合比优化提供依据,确保在工程实践中,3D打印混凝土能凭借合适配合比实现理想的建造效果,提升基于机制砂的预拌混凝土在3D打印领域的应用效能与质量。

2. 层间粘结强度提升

为提升3D打印混凝土的层间粘结强度,开发适用于机制砂打印混凝土的界面增强剂及合理工艺参数至关重要。界面增强剂能有效改善层间过渡区结构,提高粘结性能。研发时,需针对机制砂特性,精准调整其化学成分与性能,如选择合适的聚合物乳液、活性矿物掺合料等,使增强剂与机制砂及水泥基体良好适配。同时,确定最佳的涂抹工艺参数,像涂抹厚度、涂抹时间等。较薄的涂抹厚度在保证粘结提升的同时,可避免额外质量与收缩问题;合适的涂抹时间能确保增强剂与上下层混凝土充分反应结合。通过这样的新型材料复合应用与工程实践,为3D打印机制砂混凝土层间粘结强度提升提供有效路径。

(三) 低碳混凝土配合比设计

1. CO₂矿化养护技术

在低碳混凝土配合比设计中,CO₂矿化养护技术具有重要意义。该技术利用机制砂混凝土早期碳化养护特性,通过将CO₂与混凝土中的碱性物质发生矿化反应,实现CO₂的固定与封存。一

方面,矿化反应生成的碳酸钙等矿物,填充混凝土内部孔隙,改善微观结构,使结构更加致密,进而提升混凝土耐久性。另一方面,从工程实践角度看,CO₂矿化养护不仅有助于降低碳排放,契合低碳理念,还能有效提升机制砂预拌混凝土性能。通过精准调控CO₂浓度、养护时间与温度等参数,可优化矿化反应进程,在保证混凝土质量前提下,推动机制砂预拌混凝土在各类工程中的广泛应用,实现经济效益与环境效益双赢。

2. 全再生骨料体系构建

在低碳混凝土配合比设计中构建全再生骨料体系,关键在于对机制砂与再生粗骨料的合理运用。机制砂因其独特粒形和级配特点,能在体系中发挥填充和骨架支撑作用。再生粗骨料来源广泛,可有效降低天然骨料使用,减少碳排放。构建时,需精准分析两者物理性能,如颗粒形状、粒径分布、压碎指标等,通过调整级配比例,使机制砂与再生粗骨料相互填充,达到紧密堆积状态,优化混凝土内部结构。同时,采用复合改性技术,如添加活性矿物掺合料、化学外加剂等,改善再生骨料表面性能,增强与水泥浆体粘结力,提升全再生骨料体系混凝土工作性能、力学性能与耐久性,实现机制砂与再生粗骨料在低碳混凝土中的高效复合应用。

五、总结

机制砂预拌混凝土配合比设计与施工工艺对于保障混凝土质量与性能至关重要。在配合比设计上,需综合考虑机制砂特性,精准把控各材料比例,以优化混凝土工作性、强度等指标。施工工艺方面,通过创新工艺提高施工效率与质量稳定性。材料-工艺-结构一体化的质量控制体系,将三者有机结合,实现全流程质量管控。固废资源化与智能建造技术融合是未来发展趋势,利用固废制备机制砂,既解决环保问题又降低成本,结合智能建造可实现精准施工与高效管理。这不仅有助于提升预拌混凝土整体质量,还能推动行业可持续发展,为建筑领域的绿色、智能化变革提供有力支撑。

参考文献

- [1] 胡宇. 基于膜厚理论的机制砂混凝土配合比设计方法研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
- [2] 邓文其. 机制砂自密实混凝土配合比设计及性能研究 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [3] 张正. 机制砂高性能混凝土的材料设计及性能研究 [D]. 武汉理工大学, 2022.
- [4] 刘晓妍. 海砂珊瑚混凝土配合比研究及梁构件的弯曲破坏试验 [D]. 沈阳建筑大学, 2022.
- [5] 李石高. 基于响应面法的机制砂混凝土配合比优化设计及应用研究 [D]. 湖南科技大学, 2022.
- [6] 吴文凯. 水下灌注桩机制砂混凝土配合比设计及应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(4): 199-201.
- [7] 吴文凯. 水下灌注桩机制砂混凝土配合比设计及应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(4): 199-201.
- [8] 陈琴, 李路, 孙琳, 等. 低品位机制砂在预拌混凝土中的应用 [J]. 江西建材, 2021(1): 38-39.
- [9] 张淑云, 周杰, 张政, 等. 基于正交试验的机制砂自密实轻骨料混凝土配合比设计 [J]. 混凝土与水泥制品, 2021(12): 84-88, 93.
- [10] 周明海. 数字化混凝土配合比设计方法对机制砂水工混凝土性能的影响 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(11): 54-59.