

# 石粉含量对机制砂混凝土工作性能影响的试验研究

吴武木

雷州联豪混凝土有限公司，广东雷州，524200；

**摘要：**本试验围绕石粉含量与机制砂混凝土工作性能的关系展开深入研究，通过设计多组不同石粉含量的机制砂混凝土配合比，全面检测坍落度、扩展度、含气量及凝结时间等关键工作性能指标。试验过程中，严格把控原材料品质与试验环境，确保所得数据准确可靠。研究结果表明，适量的石粉能够改善机制砂混凝土的工作性能，如提高坍落度和扩展度、增加含气量以及调节凝结时间；但当石粉含量过高时，混凝土的工作性能会出现恶化。本研究为机制砂混凝土配合比的优化设计以及在工程中的合理应用提供了坚实的理论基础和实用的实践指导。

**关键词：**机制砂混凝土；石粉含量；工作性能；坍落度；扩展度

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.10.010

## 引言

在我国基础设施建设蓬勃发展的进程中，混凝土作为一种至关重要的建筑材料，其需求量正以惊人的速度持续增长。机制砂作为天然砂的有效替代品，凭借着资源丰富、生产过程可控等诸多优势，在混凝土生产中的应用愈发广泛。然而，机制砂在生产过程中必然会产生一定量的石粉，而石粉含量的多少对机制砂混凝土的工作性能有着不可忽视的显著影响。

深入探究石粉含量对机制砂混凝土工作性能的影响机制，对于优化机制砂混凝土的配合比、提升混凝土的工程质量具有重要的现实意义。目前，虽然已有部分关于石粉含量对机制砂混凝土性能影响的研究，但由于石粉的岩性、混凝土强度等级等因素的差异，不同研究得出的石粉最佳含量结论并不统一。因此，开展本次试验研究，旨在进一步明确石粉含量对机制砂混凝土工作性能的影响规律，为实际工程应用提供更具针对性的科学依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

**水泥：**采用P·O42.5普通硅酸盐水泥，由本地知名水泥厂生产。该水泥3d抗折强度为4.8MPa，抗压强度为28.5MPa；28d抗折强度为7.2MPa，抗压强度为45.3MPa，初凝时间185min，终凝时间260min，各项性能指标均符合《通用硅酸盐水泥》（GB175-2007）的规定，在本地区各类工程中应用广泛，适应性良好。

**机制砂：**选用本地石灰岩破碎加工而成的机制砂，

经检测，其细度模数为2.8，属于中砂；堆积密度1550kg/m<sup>3</sup>，表观密度2650kg/m<sup>3</sup>，空隙率41.5%；MB值1.0g/kg，表明其石粉含量较低且洁净度较高。为研究不同石粉含量的影响，通过人工筛分去除部分原有石粉后，按比例掺入同岩性的磨细石粉（粒径均小于75μm），制备出石粉含量分别为0%、3%、6%、9%、12%的机制砂样品（石粉含量为石粉质量占机制砂总质量的百分比）。

**粗骨料：**采用5~25mm连续级配的石灰岩碎石，压碎指标8%，针片状颗粒含量5%，含泥量0.5%，表观密度2700kg/m<sup>3</sup>，堆积密度1600kg/m<sup>3</sup>，各项指标均满足《建设用卵石、碎石》（GB/T14685-2011）的要求，能在混凝土中起到良好的骨架作用。

**外加剂：**选用聚羧酸高性能减水剂，固含量20%，减水率25%，具有分散性好、保坍性强、掺量低等特点，性能符合《混凝土外加剂》（GB8076-2008）标准，且与试验所用水泥相容性良好，可有效改善混凝土拌合物的工作性能。

**水：**采用符合《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）的自来水，不含有害物质，不会对混凝土性能产生不利影响。

### 1.2 试验方法

**配合比设计：**依据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55-2011），以配制C30机制砂混凝土为目标确定基准配合比。考虑到机制砂的特性，设定水胶比为0.5，砂率为40%。为保证试验的可比性，除石粉含量外，其他原材料用量保持一致，水泥用量350kg/m<sup>3</sup>，用水量175kg/m<sup>3</sup>，粗骨料用量1050kg/m<sup>3</sup>，外加剂掺量根据不同

石粉含量样品的实际情况微调(控制在 3.5kg/m<sup>3</sup> 左右), 以确保各组混凝土初始坍落度基本处于 160–180mm 范围。共设置五组试验, 分别对应石粉含量 0%、3%、6%、9%、12%。

**混凝土制备:** 试验在标准恒温恒湿实验室进行(温度 20±2℃, 相对湿度 65±5%)。采用 60L 强制式混凝土搅拌机, 严格按照规范执行搅拌程序: 先将水泥、机制砂、粗骨料投入搅拌机, 干拌 30s 使物料混合均匀; 然后加入 80% 的水和全部外加剂, 搅拌 60s; 最后加入剩余 20% 的水, 继续搅拌 60s, 总搅拌时间 150s, 确保混凝土拌合物搅拌均匀。

#### 工作性能测试:

**坍落度与扩展度:** 按照《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T50080–2016), 将混凝土拌合物分三层装入坍落度筒, 每层用捣棒插捣 25 次, 刮平筒口后垂直提起坍落度筒, 测量筒高与混凝土试体最高点的垂直距离即为坍落度; 同时测量混凝土拌合物坍落扩展后的最大直径和最小直径, 取两者平均值作为扩展度。

**含气量:** 采用 HC-7L 型混凝土含气量测定仪, 按仪器操作规程测试。将混凝土拌合物装入量筒并振捣密实, 盖上盖子后打开阀门使量筒内压力与大气相通, 关闭阀门加压至规定压力, 读取含气量数值, 重复测试三次, 取平均值。

**凝结时间:** 使用贯入阻力仪测定。将混凝土拌合物装入试模, 在标准养护条件下静置, 不同时间点用贯入阻力仪测定贯入阻力。当贯入阻力达到 3.5MPa 时为初凝时间, 达到 28MPa 时为终凝时间。测试过程中, 初期每 30min 测定一次, 临近凝结时间时缩短至 15min 一次。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 石粉含量对混凝土坍落度和扩展度的影响

不同石粉含量机制砂混凝土的坍落度和扩展度试验结果呈现出明显的变化规律。当石粉含量为 0% 时, 坍落度为 165mm, 扩展度为 480mm; 石粉含量 3% 时, 坍落度增至 175mm, 扩展度达 520mm; 石粉含量 6% 时, 坍落度和扩展度达到最大值, 分别为 185mm 和 550mm; 石粉含量 9% 时, 坍落度降至 170mm, 扩展度为 500mm; 石粉含量 12% 时, 坍落度进一步降至 150mm, 扩展度为 450mm。

从上述数据可以清晰看出, 随着石粉含量的增加, 混凝土坍落度和扩展度先增大后减小。石粉含量为 0%

时, 机制砂颗粒间空隙较大, 水泥浆体需填充大量空隙, 导致混凝土流动性较差, 坍落度和扩展度均处于最低水平。当石粉含量增加到 3% 时, 石粉颗粒填充了部分空隙, 减少了水泥浆体的消耗, 更多水泥浆体能够发挥润滑作用, 使流动性提升。

当石粉含量达到 6% 时, 填充效应达到最佳状态, 机制砂整体级配得到显著改善, 颗粒排列更紧密, 混凝土拌合物内摩擦力减小。同时, 石粉颗粒表面的吸附性使部分外加剂分子分布更均匀, 增强了润滑效果, 且适量石粉吸收部分自由水, 降低水泥浆体稠度, 进一步增加流动性, 因此此时坍落度和扩展度达到最大值。

而当石粉含量超过 6% 后, 过多的细颗粒使机制砂比表面积急剧增大, 水泥浆体需包裹更多颗粒, 有效体积减小, 且拌合物黏性增加, 阻碍颗粒相对滑动, 导致坍落度和扩展度逐渐减小。这一结果与相关研究结论相符, 即在 C30 机制砂混凝土中, 石灰岩质石粉含量在 5%–7% 时流动性最佳, 超过此范围则流动性下降, 说明实际工程中需结合机制砂岩性和混凝土强度等级合理控制石粉含量。

### 2.2 石粉含量对混凝土含气量的影响

石粉含量对混凝土含气量的影响较为显著, 呈现出随石粉含量增加而逐渐增大的趋势。具体数据为: 石粉含量 0% 时, 含气量 2.5%; 石粉含量 3% 时, 含气量 2.8%; 石粉含量 6% 时, 含气量 3.2%; 石粉含量 9% 时, 含气量 3.6%; 石粉含量 12% 时, 含气量达到 4.0%。

这一现象主要与石粉的物理特性相关。石粉颗粒表面粗糙, 存在较多棱角和微孔结构, 搅拌过程中能吸附空气形成微小气泡, 且其较小的粒径分散在水泥浆体中, 可稳定气泡, 防止气泡在搅拌和振捣时合并或逸出。此外, 石粉对减水剂的吸附作用虽减少了游离减水剂, 但减水剂中的表面活性成分仍能在气泡表面形成保护膜, 随着石粉含量增加, 这种稳定效应增强, 使得含气量不断上升。

适量的含气量(2%–4%) 对混凝土工作性能有益, 能减少泌水和离析, 提高保水性和流动性, 硬化后还可增强抗冻性和抗渗性。本试验中石粉含量 6% 时, 含气量 3.2%, 处于理想范围, 混凝土拌合物保水性良好, 无明显泌水。当石粉含量 12% 时, 含气量 4.0% 虽仍可接受, 但需注意, 若含气量超过 5%, 过多气泡会在混凝土内部形成薄弱环节, 降低密实度, 对强度产生不利影响。因

此，实际工程中需综合考虑工作性能和强度要求，对于C30机制砂混凝土，建议将石粉含量控制在6%左右，以保证含气量适中。

### 2.3 石粉含量对混凝土凝结时间的影响

不同石粉含量下，机制砂混凝土的初凝时间和终凝时间均随石粉含量增加而延长，且两者延长幅度基本一致。石粉含量0%时，初凝时间180min，终凝时间240min；石粉含量3%时，初凝时间190min，终凝时间250min；石粉含量6%时，初凝时间200min，终凝时间260min；石粉含量9%时，初凝时间220min，终凝时间280min；石粉含量12%时，初凝时间240min，终凝时间300min。与石粉含量0%相比，石粉含量12%时，初凝和终凝时间均延长了60min，延长比例为33.3%。

这一现象主要源于石粉对水泥水化反应的影响。水泥水化需要水泥颗粒与水充分接触，而石粉颗粒比表面积大，会吸附大量自由水，减少水泥颗粒周围水分子数量，减慢水化反应速率。同时，石粉颗粒覆盖在水泥颗粒表面形成物理屏障，阻碍水分子渗透，进一步延缓水化进程。

此外，本试验所用石灰岩石粉主要成分为碳酸钙，其与水泥水化产物氢氧化钙可能发生微弱反应生成碳酸钙晶体，消耗部分氢氧化钙，而氢氧化钙是水泥水化的重要产物，其浓度变化会影响水化反应进行，间接延长凝结时间。

混凝土凝结时间的变化对工程施工意义重大。高温季节施工时，凝结时间过短可能导致假凝、早凝，影响浇筑和振捣质量，此时适当增加石粉含量（如6%-9%）可延长凝结时间，为施工提供充足时间。低温或寒冷地区施工时，凝结时间过长可能使混凝土硬化前受冻，影响强度发展，此时需控制石粉含量（如3%左右），或采取加热、掺加早强剂等措施缩短凝结时间。

同时，凝结时间延长有利于混凝土拌合物的运输和浇筑，尤其对远距离运输的混凝土，可防止运输中过早凝结，保证施工现场工作性能。但凝结时间过长会影响模板周转效率，增加工程成本。因此，实际工程中需根据施工环境、工期要求等合理调整石粉含量，优化凝结时间。

### 3 结论

石粉含量对机制砂混凝土坍落度和扩展度影响显著，呈现先增大后减小的规律。当石粉含量为6%左右时，坍落度达185mm，扩展度达550mm，流动性最佳。此时石粉通过填充空隙、优化级配、减少水泥浆体无效消耗、降低浆体黏度及增强润滑作用改善流动性；超过6%后，因细颗粒过多、比表面积增大，水泥浆体包裹能力不足，流动性下降。配合比设计中应将石粉含量控制在6%左右以保障良好流动性。

随石粉含量增加，机制砂混凝土含气量逐渐增大，从0%时的2.5%增至12%时的4.0%。石粉粗糙表面和微孔结构是引入和稳定气泡的主因，2%-4%的含气量有助于改善保水性和抗冻性，但超过4%可能影响强度。工程应用中需结合混凝土强度等级和使用环境，控制石粉含量使含气量处于理想区间。

石粉含量增加会延长机制砂混凝土凝结时间，从0%时的初凝180min、终凝240min，延长到12%时的初凝240min、终凝300min。这主要因石粉吸附自由水、覆盖水泥颗粒及影响水化反应所致。施工中需根据实际情况调整石粉含量，平衡施工需求与工程质量，确保混凝土性能满足工程要求。

综上所述，机制砂混凝土配合比设计中，需充分考虑石粉含量对工作性能的影响，通过优化石粉含量，提升混凝土工作性能和质量，为工程建设提供可靠技术支持。

### 参考文献

- [1] 吴明威,付兆岗,李铁翔,等.机制砂中石粉含量对混凝土性能影响的试验研究[J].铁道建筑技术,2000(4):4. DOI:10.3969/j.issn.1009-4539.2000.04.020.
- [2] 蔡基伟.石粉对机制砂混凝土性能的影响及机理研究[D].武汉理工大学,2006. DOI:10.7666/d.y964062.
- [3] 夏吉涛,王海彦,战启芳,等.高含量石粉机制砂对隧道二衬混凝土性能影响试验研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015(1):5. DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzrb.2015.01.12.