

# 石粉含量对机制砂混凝土力学性能及耐久性的影响

谢彦军

(中交一公局厦门工程有限公司 厦门 361021)

**摘要:** 阐述了石粉含量对机制砂混凝土力学性能及耐久性的影响机理,当石粉含量较低时,混凝土的力学性能受到的影响较小,而随着石粉含量的增加,混凝土的力学性能逐渐变差,此外,石粉会影响混凝土耐久性能,分析表明,合理的石粉含量在改善混凝土的抗渗性能、抗冻性能和抗硫酸盐侵蚀性能等方面,可以提供有利帮助。

**关键词:** 石粉含量; 机制砂混凝土; 力学性能; 耐久性

## 0 引言

随着我国基础设施建设的飞速发展,商品混凝土需求越来越大,天然砂作为混凝土的主要材料之一,存量越来越少,另外,随着对环境保护意识的日益加强,国家对天然砂的保护达到前所未有的重视,现有的天然砂供应已经无法满足需求工程建设,因此,机制砂已然替代天然砂成为生产混凝土重要材料,机制砂应用已成不可阻挡的趋势。尽管机制砂和河砂有相似之处,但它们具备明显的差异。机制砂的颗粒表面质地不光滑,呈现出许多不规则的棱角,粒径分布普遍不均匀,且通常刚破碎出来的机制砂中,石粉的含量大约在 5%到 20%之间。国内已经对石粉应用进行了许多研究<sup>[1]</sup>,但大多数研究都集中其对混凝土的工作性能和强度方面的研究,对耐久性具体的影响机理研究较少,而耐久性能对结构寿命和结构安全至关重要。因此,本文重点针对抗渗性、抗冻融性和抗硫酸盐侵蚀性等耐久性,揭示石粉含量变化对机制砂混凝土耐久性能的影响机理,为混凝土材料的设计和应用提供理论依据。

## 1、石粉含量对力学性能的影响

石粉提高机制砂混凝土力学性能的原因主要是石粉微小颗粒填充作用、颗粒形态效应、晶核作用等多种因素共同发挥的结果。适量添加石粉(5%~15%)对于机制砂混凝土的强度起到显著改善的作用。这是因为适当添加石粉可以填补混凝土中的空隙,减少混凝土的孔隙率,从而提高混凝土内部的致密性,使混凝土内部受力更加均匀和合理,进而增强混凝土的强度。杨卓强<sup>[2]</sup>研究发现:机制砂高性能混凝土在石粉掺量为 15%的时候,其 28d 抗压强度达到最大值,相较于对照组 9%石粉掺量的,其抗压强度提高了 10%左右。此外,石粉还可以提供更细的颗粒尺寸,增强与水泥胶砂的粘附性。但是,当石粉的含量超过特定范围(>15%)时,浆体与骨料的界面过渡区的性能不会再得到改善,反而可能导致混凝土的力学性能下降。

## 2、石粉含量对抗渗性能的影响

石粉显著影响机制砂混凝土的耐久性,应根据工程的具体要求,以及混凝土的性能要求,按需选择合理的石粉含量。通常情况下,石粉的含量的调整范围在 5%~20%之间。首先,当石粉含量处于较低水平时(0%~5%),会使混凝土拌合物中的浆体较少,导致水泥

浆无法充分包裹骨料,使混凝土拌合物不够均匀,从而使混凝土在硬化过程中,形成的超过 50nm 的有害孔隙。所以,在石粉含量较低时,混凝土在抵御渗透性能上方面表现出较差的能力。其次,当石粉含量提高到合理的范围时(5%~9%),可以比较明显地改善混凝土抗渗性能,这是因为适当的石粉可以填充砂浆中的空隙,使其更加紧密,进一步改善混凝土的耐久性能,提高其抗渗性能<sup>[3]</sup>。

### 2.1 石粉含量对孔隙结构的影响

#### (1) 石粉含量增加对孔隙率的影响

在混凝土中加入适量的石粉,可以填充混凝土中的空隙,降低混凝土的孔隙率。石粉颗粒的填充效应能够填补混凝土固体颗粒之间的间隙,减少孔隙的存在,从而降低混凝土的渗透性。随着石粉含量的增加,混凝土的孔隙率逐渐减小,使得混凝土内部更加紧实,从而增强了混凝土的抗渗能力。

#### (2) 石粉含量增加对内部孔径分布的影响

适量掺入石粉可以改变混凝土内部孔径分布特征。石粉粒径较小,能够填补混凝土中的微观孔隙,减小孔隙的尺寸,使得混凝土的孔隙分布更加均匀,进而降低孔隙的分布范围。随着石粉含量的增加,混凝土的孔径分布逐渐变得更加均匀,孔隙尺寸的分布范围缩小,从而降低了混凝土的渗透性。

### 2.2 石粉含量对渗透性的影响

#### (1) 石粉含量增加对渗透系数的影响

适当的石粉掺入可以显著降低混凝土的渗透系数,从而提高混凝土的抗渗性能。石粉微粒的填充作用能够填补混凝土中的微观孔隙,减小孔隙的尺寸,降低渗透介质在混凝土中的渗透能力。随着石粉含量的增加,混凝土内部的孔隙结构变得更加致密,渗透介质的通道变窄,导致混凝土的渗透系数逐渐降低<sup>[4]</sup>。

#### (2) 石粉含量增加对渗透压力的影响

适当的石粉掺入也能够显著增加混凝土的渗透压力,从而提高混凝土的抗渗透能力。石粉微粒的填充作用能够填补混凝土中的微观孔隙,增加混凝土的抗渗透路径长度,使渗透介质在混凝土内部受到更大的阻力。随着石粉含量的增加,混凝土内部的孔隙结构变得更加复杂,渗透介质在混凝土中的渗透路径变长,导致混凝土的渗透压力逐渐增加。

### 3、石粉含量对抗冻融性能的影响

机制砂混凝土在寒冷地区的使用中,需要具备良好的抗冻融性能,以保证结构的耐久性和安全性。本节从石粉含量对孔隙率、孔隙连通性、融化后孔隙结构影响三个方面探讨。

### 3.1 石粉含量对孔隙率的影响

石粉的适量掺入可有效减少混凝土内部的空隙,进而增强混凝土的抗冻融性能。石粉的微填充效应改善了混凝土内部微小的空隙,减少孔隙的分布,从而降低混凝土的孔隙率。随着石粉含量的增加,混凝土内部的孔隙结构变得更加紧密,孔隙的数量和大小减少,减缓了冻融循环时水分渗透和膨胀的情况,进而提高了混凝土的抵御冻融损害的能力。

### 3.2 石粉含量对孔隙连通性的影响

适当的石粉掺入还能够显著降低混凝土的孔隙连通性,从而提高混凝土的抗冻融性能。石粉微粒的填充作用能够填补混凝土中的微观孔隙,减小孔隙之间的连通性,阻止水分在混凝土中的渗透和扩散。随着石粉含量的增加,混凝土内部的孔隙连通性变得更加复杂,孔隙之间的通道变窄,水分在混凝土中的渗透和扩散受到更大的阻力,从而提高了混凝土的抗冻融性能<sup>[5]</sup>。

### 3.3 石粉含量对融化后孔隙结构的影响

适当的石粉掺入还能够显著改善混凝土融化后的孔隙结构,提高混凝土的冻融稳定性。石粉微粒的填充作用能够填补混凝土中的微观孔隙,减小孔隙的尺寸,使得融化后的混凝土孔隙结构更加紧密。融化后的混凝土孔隙结构的改善可以减少融化水的渗透和扩散,降低冻融循环对混凝土的损害程度。随着石粉含量的增加,混凝土融化后的孔隙结构变得更加致密,提高了混凝土的冻融稳定性。

综上所述,适量添加石粉可以显著增强混凝土的抗冻性和提高混凝土冻融稳定性。石粉在混凝土中起到了填充作用,填充了混凝土中的微观孔隙,从而减小孔隙的大小,降低了冰的形成和扩张的风险,进而提高混凝土的抗冻性能。除此之外,石粉的添加还可以增强混凝土中浆体与骨料的粘结强度,进一步提升混凝土的整体强度和抗冻性能。

## 4、石粉含量对抗硫酸盐侵蚀性能的影响

机制砂混凝土在一些特殊环境下,如化工厂、污水处理厂等地,需要具备良好的抗硫酸盐侵蚀性能,以保证结构的耐久性和安全性。本节讨论石粉含量对混凝土孔隙结构的影响,以及石粉含量提高抗硫酸盐侵蚀的机理两个方面。

### 4.1 石粉含量对孔隙结构的影响

适当的石粉掺入能够显著改善混凝土的孔隙结构,提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能。石粉微粒的填充作用能够填补混凝土中的微观孔隙,减小孔隙的尺寸,使得硫酸盐侵蚀介质在混凝土中的渗透和扩散受到更大的阻力。随着石粉含量的增加,混凝土的孔隙结构变得更加致密,孔隙的数量和尺寸减小,减少了硫酸盐侵蚀介质的渗透和膨胀,混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能逐渐提高,

能够更好地抵抗硫酸盐侵蚀引起的结构损害。

### 4.2 石粉含量提高抗硫酸盐侵蚀的机理

#### (1) 石粉含量对钙石膏形成的影响

适当的石粉掺入对混凝土中钙石膏的形成有重要影响。当混凝土遭受硫酸盐侵蚀时,硫酸盐离子与混凝土中的钙离子反应形成钙石膏,导致混凝土的体积膨胀和强度降低。石粉的掺入能够减少混凝土中的游离钙离子含量,降低硫酸盐离子与钙离子的反应速率,从而减缓钙石膏的形成速度。随着石粉含量的增加,混凝土中的游离钙离子含量减少,钙石膏的形成速度减缓,降低了混凝土的体积膨胀和强度损失。

#### (2) 石粉含量对硫酸盐离子渗透的影响

适当的石粉掺入对混凝土中硫酸盐离子的渗透也有一定的影响。石粉微粒的填充作用能够填补混凝土中的微观孔隙,减小孔隙的尺寸,降低硫酸盐离子的渗透能力。随着石粉含量的增加,混凝土的孔隙结构变得更加致密,孔隙的数量和尺寸减小,硫酸盐离子的渗透受到更大的阻力。因此,石粉的掺入能够减缓硫酸盐离子的渗透速率,降低混凝土受到硫酸盐侵蚀的程度。

综上所述,适当的石粉掺入对混凝土的硫酸盐侵蚀机理有显著影响。石粉的掺入能够减少混凝土中的游离钙离子含量,降低钙石膏的形成速度,减缓混凝土的体积膨胀和强度降低。此外,石粉的掺入还能够填补混凝土中的微观孔隙,降低硫酸盐离子的渗透能力,减少硫酸盐侵蚀的程度。

## 5、结论

通过研究发现,适宜的石粉含量对机制砂混凝土的力学性能和耐久性能具有明显的有利影响。适量添加石粉(5%~9%)对于机制砂混凝土的强度起到显著改善的作用。适量的石粉可以有效地提升混凝土的抗渗能力,减少孔隙结构的连通性,并降低渗透压力。同时,石粉含量的增加也可以提高混凝土的抗冻融性能,减少冻融循环对混凝土的损害。此外,石粉的掺入可以降低混凝土中钙石膏的形成速度,降低硫酸盐离子的渗透能力,减少硫酸盐侵蚀的程度,从而增强混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能。

### 参考文献:

- [1]杜冰;马晓松;李一帆;肖宏远.机制砂高性能混凝土力学性能的影响研究[J].建材发展导向,2023,21(16):1-4.
- [2]杨卓强;刘元珍.石粉掺量对机制砂高性能混凝土强度及耐久性能影响研究[J].混凝土,2018,(07):69-71+75.
- [3]赵翔宇.石粉含量对高性能混凝土性能的应用研究[J].黑龙江交通科技,2023,46(02):30-33.
- [4]胡向楠.机制砂混凝土设计制备及其耐久性损伤演化规律研究[D].兰州理工大学,2023.
- [5]王晓海,詹奇淇,陈慧等.石粉含量对机制砂混凝土强度和抗冻性能的影响[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2022,45(04)