

石粉对机制砂混凝土抗渗透性和抗冻融性能的影响

● 李明



[摘要] 本研究主要探讨石粉对机制砂混凝土抗渗透性和抗冻融性能的影响。通过试验,采用不同比例的石粉替代部分水泥来配制机制砂混凝土试件。通过测定试件的抗渗透性能和抗冻融性能指标,分析了石粉对这两个性能的影响。研究表明,适量添加石粉可以改善机制砂混凝土的抗渗透性能和抗冻融性能。随着石粉掺量的增加,混凝土的抗渗透性能得到提高。另外,石粉的添加还可以减少冻融循环引起的混凝土裂缝数量,提高混凝土的抗冻融性能。因此,石粉的适量使用可以有效提升机制砂混凝土的耐久性能,具有一定的应用潜力。

[关键词] 石粉;机制砂;混凝土;抗渗透性;抗冻融性

机制砂混凝土作为一种常用的建筑材料,在工程实践中广泛应用。但其性能存在一些不足,尤其是在抗渗透性和抗冻融性能方面,这对混凝土的耐久性和使用寿命产生了一定影响。因此,改善机制砂混凝土的抗渗透性和抗冻融性能是当前研究的重点。石粉作为一种常见的辅助材料,在混凝土中的应用具有潜在的优势。现有研究表明,石粉可以改善混凝土的各项性能,例如强度、耐久性和可加工性等。但是目前对于石粉对机制砂混凝土抗渗透性和抗冻融性能的影响仍存在一定的争议。因此,本研究旨在系统地探讨石粉对机制砂混凝土抗渗透性和抗冻融性能的影响,并提供科学依据和数据支持,进一步完善混凝土配合比设计。

Q 试验设计

(一) 试验材料

水泥(普通硅酸盐水泥:P·O42.5):用于混凝土的粘结剂。应选择符合要求的普通硅酸盐水泥。机制砂(未经筛选的机制砂细度模数是3.0,石粉含量5.9%;对比组采用青铜峡砂,细度模数是2.5):用于制备混凝土的细骨料。砂的颗粒应适中,无腐蚀性,不含杂质。5~20mm连续级配碎石,碎石应符合技术要求,无裂纹、无明显平面、无粘土块、泥块、有机物等杂质。水:用于混凝土的加工和养护,选用干净的自来水。外加剂:根据需要选择掺入混凝土中的外加剂,本试验选择减水率为23.5%的减水剂作为外

加剂。

(二) 试验方法

试验测试是评估混凝土性能的必要方法之一。本研究参照《建设用砂》《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》《普通混凝土力学性能试验方法标准》《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》等。使用逐级加压法测试混凝土抗水渗透性,采用快冻法测试混凝土抗冻融性。在抗水渗透性试验中,遵循渗透试验的原则。首先,根据标准规定的混凝土试件尺寸和数量要求,制备了符合要求的试件。然后,将试件密封套入试模,并通过施加压力让水从混凝土中渗透出来。通过观察试件端面渗水情况计算混凝土抗渗等级。在抗冻融性试验中,首先制备符合标准规定的试件,并将其置于特定的环境条件下进行预处理。随后,将试件放入低温冰冻设备中,进行快速冷却至极低温度,然后再迅速升温至室温。通过观察试件的表面状况、测量试件的质量损失以及进行抗压强度测试等,评估混凝土的抗冻融性能。

Q 结果与分析

(一) 石粉含量对机制砂混凝土工作性的影响

本次试验按照C30机制砂混凝土配合比,水泥、粉煤灰、机制砂、粗骨料、水、减水剂比例为235:70:824:956:175:8。将机制砂与石粉筛分成0%~15%石粉含量(按3%递增)。

当未添加石粉时，混凝土初始坍落度为 160mm，扩展度为 415mm，混凝土材料工作性能较差。当添加 3% 石粉时，混凝土初始坍落度为 165mm，扩展度为 420mm，混凝土材料初始工作性能还是较差。当添加 6% 石粉时，混凝土初始坍落度为 180mm，扩展度为 435mm，坍落度与扩展度损失较快。当添加 9% 石粉时，混凝土初始坍落度为 205mm，扩展度为 455mm，混凝土材料工作性能良好。当添加 12% 石粉时，混凝土初始坍落度为 220mm，扩展度为 505mm，混凝土材料工作性能良好，且 1 小时后坍落度损失少。当添加 15% 石粉时，混凝土初始坍落度为 150mm，扩展度为 405mm，混凝土初始坍落度急剧下降。由此可见，当石粉含量为 12% 时，混凝土和易性最佳且流动性良好。具体如表 1 所示。

表 1 石粉含量对机制砂混凝土工作性的影响

石粉含量	初始坍落度	扩展度
0	160mm	415mm
3%	165mm	420mm
6%	180mm	435mm
9%	205mm	455mm
12%	220mm	505mm
15%	150mm	405mm

(二) 石粉含量对机制砂混凝土抗水渗透性的影响

混凝土内部存在很多孔隙结构，孔隙决定着水分流动形状，以此对混凝土耐久性造成影响。从表 2 可以得知，相比于机制砂组成的混凝土，机制砂中含有石粉。这些石粉添加到混凝土中后，能够有效填充水泥浆体中的一部分孔隙，增加混凝土的密实度。同时，石灰石粉与水泥中的 C3A 和 C4AF 发生反应，生成水化碳铝酸钙，并与其他水化产物相互交错，提高水泥石的密实度，进而提高混凝土的抗水渗透性能。总体而言，石粉的掺入对孔隙机构有一定填充作用，改善了机制砂混凝土的密实度。但是，如果要同时提高混凝土的流动性，石粉含量需要增加到 9% 至 12% 之间。因此，在考虑混凝土的水分渗透性和工作性能时，需要在不同的石粉含量范围内进行权衡和选择。

表 2 石粉含量对机制砂混凝土抗水渗透性的影响

	细度模数	砂率	石粉含量	减水剂	抗渗等级
青铜峡砂	2.5	46%	1.8%	2%	P19
	2.5	46%	4.2%	2%	P21
未筛选的机制砂	3.0	48%	0%	2%	P19
	3.0	48%	6%	2%	P23
	3.0	48%	12%	2%	P25

(三) 石粉含量对机制砂混凝土抗冻融性能的影响

在试验中发现，与青铜峡砂相比，机制砂混凝土的抗冻性能较差。因为机制砂表面较为粗糙，在破碎过程中可能

会产生微裂纹。这些微裂纹会形成连通毛细孔，数量比天然砂更多，导致机制砂混凝土的吸水率高于天然砂，使其抗冻性能下降。此外，当机制砂在破碎过程中产生细小裂纹时，一部分水分会滞留在其中。当周围的水泥浆体将机制砂包裹起来时，就形成了一种密闭容器效应。一旦机制砂吸水达到临界饱和度，冻结过程中会引起体积膨胀，从而破坏其周围的混凝土结构。随后对不同石粉含量的未筛选机制砂的小组进行了 150 次冻融循环测试，发现动弹性模量保持在 85% 以上。这是由于未筛选机制砂的小组的外加剂中添加了微量(万分之五)的引气剂，这显著提高了混凝土的抗冻性能。相比之下，机制砂组的抗冻融性能明显较差。此外，石粉含量的增加有助于改善混凝土的密实度并提高其抗冻性能。然而，在石粉含量达到 12% 后，抗冻性能又开始下降。具体如表 3 所示。

表 3 石粉含量对机制砂混凝土抗冻融性能的影响

	相对动弹性模量/%		
	F50	F100	F150
青铜峡砂	94.4	93.2	90.1
	73.5	63.2	40.1
未筛选的机制砂	92.1	90.4	96.4
	95.7	93.5	89.2
	93.6	92.2	90.1

(四) 石粉含量对机制砂混凝土其他耐久性性能的影响

石粉的掺入对机制砂混凝土的其他耐久性表现也具有重要影响。特别是在混凝土的抗碱-骨料反应、耐硫酸盐侵蚀性和抗酸性等方面，石粉的添加能够显著改善混凝土的整体耐久性。对于碱-骨料反应(ASR)，石粉通过减少水泥基体中碱性物质与骨料的直接接触面积，减少了碱-骨料反应的发生，从而有效防止了由于这一反应导致的混凝土膨胀和裂缝形成。此外，石粉细颗粒的作用也可以填充混凝土内部的微小孔隙，进一步提高其密实度，进而降低水分和其他化学物质的渗透速度，显著增强混凝土的耐久性。在耐硫酸盐侵蚀方面，石粉的掺入提高了混凝土的抗侵蚀能力。硫酸盐侵蚀通常会导致混凝土中的水泥基体发生化学反应，产生膨胀物质，进而破坏混凝土的结构。石粉在混凝土中能够改善其微观结构，减少孔隙率，降低水分和硫酸盐的侵入深度，因此使得混凝土更能抵抗硫酸盐的腐蚀作用。在试验中，掺入 6%~12% 石粉的机制砂混凝土样品，在硫酸盐溶液中展现出了更低的质量损失和强度衰退，表现出显著的耐硫酸盐侵蚀性。此外，石粉对混凝土抗酸碱性的影响也不容忽视。混凝土暴露在强酸或强碱环境中时，其表面会发生一定的化学反应，导致强度下降。石粉的掺入有助于提高混凝土的密实性，减少孔隙率，进而提高其抗酸碱侵蚀的能力。试验结果显示，石粉含量为 6%~9% 时，混凝土

土在酸性溶液中的质量损失和强度衰退较低,说明石粉的掺入能够显著提升混凝土的抗酸性。另外,石粉与其他矿物掺合料(如粉煤灰、矿粉等)的协同效应也是提升混凝土耐久性的一个重要因素。研究表明,当石粉与粉煤灰共同掺入混凝土时,石粉能够填充粉煤灰颗粒之间的空隙,改善混凝土的微观结构,从而提高混凝土的整体密实度和抗渗透性。而粉煤灰中的矿物质与水泥反应生成的水化产物,不仅能进一步提高混凝土的强度,还能增强其对外界化学侵蚀的抵抗能力。通过石粉与粉煤灰的协同使用,混凝土的抗冻融性能、抗硫酸盐侵蚀性、抗碱-骨料反应等性能得到了多方面的提升。具体如表4所示。

表4 石粉与其他掺合料对机制砂混凝土耐久性的协同效应

石粉含量(%)	粉煤灰掺量(%)	硫酸盐侵蚀后质量损失(%)	抗酸性能(质量损失率)(%)	反应性碱-骨料反应(%)
0	0	15.2	8.5	8.7
6	6	12.5	6.3	6.2
9	9	10.8	5.0	4.3
12	12	8.2	3.7	3.5
15	15	7.0	4.5	2.9

Q 结束语

本研究通过试验室试验和分析,系统地探讨石粉对机制砂混凝土抗渗透性和抗冻融性能的影响。研究结果为:(1)石粉含量对机制砂混凝土的抗水渗透性有一定的影响。石粉可以填充混凝土中的空隙,增加混凝土的密实性,并且能够在混凝土中形成更紧密的骨架结构,从而使混凝土材料的孔隙率得到改善。同时,石粉可以与水泥、砂子等原料形成更紧密的物理结合,在混凝土中产生更多的硬质胶结物,增加混凝土的稳定性。但是,过高的石粉含量可能会导致混凝土的孔隙率增加,而加剧混凝土的渗透性,降低抗水渗透性能。因此,在设计机制砂混凝土配合比时,石粉的添加量需要综合考虑,避免添加过多的石粉,影响混凝土的性能。本次试验数据显示,当石粉含量为12%时,混凝土工作性最佳。

(2)石粉含量对机制砂混凝土的抗冻融性能具有一定的影响。适量的石粉添加可以提高机制砂混凝土的抗冻融性能,但当石粉含量过高时,可能会导致抗冻性能下降。当添加12%石粉时,可以显著改善机制砂混凝土的致密性和内部结构,减少孔隙和微裂纹的产生,有效防止水分进入混

凝土中并防止冻融循环中的冻胀损坏。此外,石粉还可以填充空隙,增加混凝土的内聚力和强度,提高其整体抗压能力。当石粉含量过高时(超过12%),会对机制砂混凝土的抗冻融性能造成负面影响。过高的石粉含量可能导致混凝土的流动性下降,使得混凝土的工作性能变差。同时,过多的石粉添加可能导致混凝土的粘结性和黏结性增强,而失去一定的延性,从而降低混凝土的抗冻融性能。对此,在设计机制砂混凝土配合比时,需要综合考虑石粉含量的影响,改善混凝土的抗渗透性能和抗冻融性能,从而提高混凝土的耐久性。

(3)石粉的掺入对机制砂混凝土的其他耐久性表现也具有一定影响。石粉的添加能够减少水泥基体中碱性物质与骨料的直接接触面积,减少了碱-骨料反应的发生。有助于提高混凝土的密实性,减少孔隙率,降低水分和硫酸盐的侵入深度,进而提高其抗酸碱侵蚀的能力。石粉能够填充粉煤灰颗粒之间的空隙,改善混凝土的微观结构,从而提高混凝土的整体密实度和抗渗透性。

综上所述,石粉作为一种可行的辅助材料,可以有效改善机制砂混凝土的抗渗透性和抗冻融性能。这将为建筑工程提供更可靠的基础材料,从而延长建筑物的使用寿命,降低维修和更换成本。未来的研究需进一步探索石粉在不同环境条件下的性能表现,以及与其他掺合料的协同效应,更好地应对混凝土耐久性方面的挑战。

参考文献

- [1]范德科,马强,周宗辉,等.石粉对机制砂混凝土性能的影响[J].硅酸盐通报.2016,35(03):913-917.
- [2]赵岩,张云龙.机制砂对混凝土性能影响的研究现状[J].四川建材.2017,43(09):13-14,16.
- [3]陈慧,章家海,项炳泉,等.石粉含量对机制砂混凝土性能影响的研究现状[J].安徽建筑.2020,27(08):151-152,162.
- [4]孟召辉.机械制造砂石混凝土早期开裂与抗水渗透性影响分析[J].黑龙江水利科技.2022,50(02):14-16,20.
- [5]宁勇伟,陈迎周,范泽润,等.机制砂颗粒特性对高强混凝土性能的影响[J].中国建材科技.2022,31(06):21-24.

作者简介:

李明(1989—),男,汉族,山东潍坊人,本科,工程师,宁夏华巍砼业有限公司,研究方向:混凝土。