

石粉含量对机制砂高强混凝土抗冻性能的影响

宋蕴桥, 丁帅, 郑文才, 周爽, 李维峰, 郑瑞峰

(北京建工新型建材有限责任公司, 100015, 北京)

摘要:通过快冻法对0%、5%、10%、15%石粉含量的C60机制砂高强混凝土抗冻性能进行了测试和分析。在相同的冻融次数下,随着石粉含量从0%增加到15%,混凝土表面宏观形貌破坏程度更加明显。随着冻融循环次数的增加,不同石粉含量的C60机制砂混凝土质量损失率有所增加,其中,5%石粉含量的机制砂混凝土质量损失率增长最慢,15%石粉含量组的增长速率最大;随着冻融循环次数的增加,不同石粉含量的C60机制砂混凝土的相对动弹性模量降低。5%石粉含量混凝土相对动弹性模量下降趋势略缓于0%和10%石粉含量的混凝土。

关键词:高强混凝土;机制砂;抗冻性能;石粉

中图分类号: TU 5

文献标志码: A

文章编号: 1000-4726(2023)19-2310-04

IMPACT OF STONE POWDER CONTENT ON FROST RESISTANCE OF MACHINE-MADE SAND HIGH-STRENGTH CONCRETE

SONG Yun-qiao, DING Shuai, ZHENG Wen-cai, ZHOU Shuang, LI Chu-feng, ZHENG Rui-feng

(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

Abstract: The frost resistance of C60 machine-made sand high-strength concrete was tested and analyzed by quick freezing at the stone powder content of 0%, 5%, 10% and 15%. Given the same freeze-thaw frequency, the macroscopic damage of concrete surfaces increased as the stone powder content rose from 0% to 15%. When freeze-thaw cycles increased, the mass loss rate of C60 machine-made sand high-strength concrete with different stone powder contents increased. It rose the least when the stone powder content was 5% and the most when the stone powder content was 15%. In addition, the relative dynamic elastic modulus of C60 machine-made sand high-strength concrete decreased with the freeze-thaw cycles increasing. It decreased less when the stone powder content was 5% than that when the stone powder content was 0% and 10%.

Keywords: high-strength concrete; machine-made sand; frost resistance; stone powder

随着“一带一路”倡议的提出与西部开发战略的推进,相关基础设施建设项目越来越多。同时,由于天然砂资源逐渐短缺,开采限制也日趋严格,因此应用机制砂替代天然砂已成为混凝土行业可持续发展的趋势。我国机制砂的使用量逐年上升,对于部分河砂资源匮乏的省份,机制砂在使用类型中达90%。然而由于岩石受力破碎时会呈现出不同的破坏面,易使机制砂出现较多棱角、石粉含量高、级配不均匀等问题。而这些因素使以往用于河砂制备混凝土的相关经验难以继续应用在机制砂混凝土上,因此需要研究机制砂应用到混凝土中后对混凝土性能的影响。

为开展机制砂石粉含量对混凝土抗冻性能的影响研究,解决机制砂混凝土应用中存在的关键技术问题,为机制砂及机制砂混凝土的应用提供技术支撑,具有重要的实用价值和理论意义。研究成果对解决天然砂

匮乏地区配制混凝土的砂源问题、提高我国机制砂混凝土应用水平、支持我国基本建设持续发展、保护生态环境具有重要的意义。抗冻性是衡量混凝土耐久性的重要指标之一,为扩大机制砂在混凝土工程中的应用范围,对机制砂混凝土抗冻性能做了大量研究,并获得了研究成果。本研究通过快冻法对0%、5%、10%、15%石粉含量的C60机制砂高强混凝土抗冻性进行了测试和分析。

1 原材料

本试验选用某公司新生产的P·O42.5水泥,具体材料指标见表1、表2。

石粉:选用石灰石粉,流动度比102%,细度5.8%,MB值1.0,28d活性指数86%。

机制砂:砂子选用河北地区生产的机制砂,将石粉和机制砂按比例混合制备出石粉含量为5%、10%、15%的机制砂,材料指标见表3。

收稿日期:2023-06-20

作者简介:宋蕴桥(1985—),女,天津人,工程师, e-mail: 910613845@qq.com.

表1 水泥的化学组成

成分	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	其他
含量/%	55.62	21.49	6.06	3.58	0.92	2.84	8.42

表2 水泥的物理性能及力学性能

凝结时间/min		安定性	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
初凝	终凝	煮沸法	3d	28d	3d	28d
440	620	合格	29.2	46.8	5.4	7.7

表3 机制砂性能

细度模数	石粉含量/%	泥块含量/%	压碎指标/%	堆积密度/(kg/m ³)
2.8	0	0.1	16	1630
2.7	5	0.1	17	1630
2.5	10	0.1	18	1620
2.4	15	0.1	18	1620

矿粉:S95矿粉,28d活性指数98%。

硅灰:SiO₂含量93%,比表面积为19000m²/kg。

粉煤灰:某公司生产的Ⅱ级粉煤灰。

减水剂:某高性能减水剂,减水率31%。

2 试验方法

依据GB/T 50081—2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》对该立方体试块进行抗压强度测试。当试块在养护室标准养护28d后,将试块从养护室取出,待表面风干后,将试块放在压力机的下承压板上,开动压力机。强度等级C30、C50的混凝土加载速度为0.8MPa/s;强度等级C60的混凝土,加载速度为1.0MPa/s。当加载到破坏后仪器自动停止,记录电脑上的数据并复位。

混凝土抗冻性能按GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》测试混凝土抗冻性评价指标,根据质量损失率和相对动弹性模量变化确定,其计算公式分别如下:

质量损失率:

$$W_n = \frac{G_0 - G_n}{G_0} \times 100 \quad (1)$$

式中:W_n为质量损失率,%;G_n为试件冻融循环n次后的质量,g;G₀为试件的初始质量,g。

相对动弹性模量:

$$P = \frac{E_n}{E_0} \quad (2)$$

式中:P为相对动弹性模量,%;E_n为试件冻融循环n次后的动弹性模量;E₀为初始动弹性模量。

实验对制备的不同石粉含量,不同级别的C60机制砂混凝土进行100次、200次、300次冻融循环

实验,并做了质量损失和动弹性模量测量和记录。借此分析石粉含量及级配对C60机制砂混凝土抗冻性能的影响。因机制砂的特性与河砂存在较大的差异,因此在普通混凝土配合比设计的基础上,通过实验试配和调整得到C60机制砂高强混凝土的配合比,见表4。

表4 C60混凝土配合比

kg/m³

试验编号	石粉含量/%	胶凝材料				水	机制砂	石粉	碎石	减水剂
		水泥	粉煤灰	矿渣	硅灰					
E1	0	385	93	70	35	160	600	0	1100	9
E2	5	385	93	70	35	160	570	30	1100	9
E3	10	385	93	70	35	160	540	60	1100	9
E4	15	385	93	70	35	160	510	90	1100	9

对制备的不同石粉含量C60机制砂混凝土进行100次、200次、300次冻融循环实验,并做了质量损失和动弹性模量的测量和记录。借此分析石粉含量及级配对C60机制砂混凝土抗冻性能的影响,见表5。

表5 混凝土性能

试验编号	石粉含量/%	出机坍落度/扩展度/mm	1h后坍落度/扩展度/mm	和易性
E1	0	225/570	220/560	良好
E2	5	225/565	220/560	良好
E3	10	220/560	215/540	良好
E4	15	210/550	200/530	良好

3 结果与讨论

3.1 机制砂混凝土宏观形貌

石粉含量0%、5%、10%和15%时,不同冻融循环次数下混凝土的表面宏观形貌如图1~图2所示。

从图1可以看出,随着冻融次数增多,各掺量机制砂混凝土的表面宏观形貌均出现了改变,主要表现为砂浆的脱落损失。它们的共同特征为:当n=100时,混凝土表面破坏不明显;当n=200时,表面宏观形貌均发生了第一次明显改变,出现较多细小孔隙,露出细骨料。当n=300时,试样表面砂浆剥落加重,试块表面不再平整,呈麻面。在相同冻融次数下,随着石粉含量从0%增加到15%,混凝土表面宏观形貌破坏程度愈加明显,可见对于C60强度等级的机制砂混凝土,随着石粉含量越大,混凝土抗冻性能越差。

3.2 石粉含量对混凝土质量损失率的影响

对经过冻融循环次数n=100、200、300的不同石粉含量混凝土的质量进行测量记录,计算得到不同石粉含量混凝土的质量损失率数据见表6。

由数据变化可以看出,随着冻融循环次数的增加,C60机制砂混凝土的质量损失率都有所增加。其中,

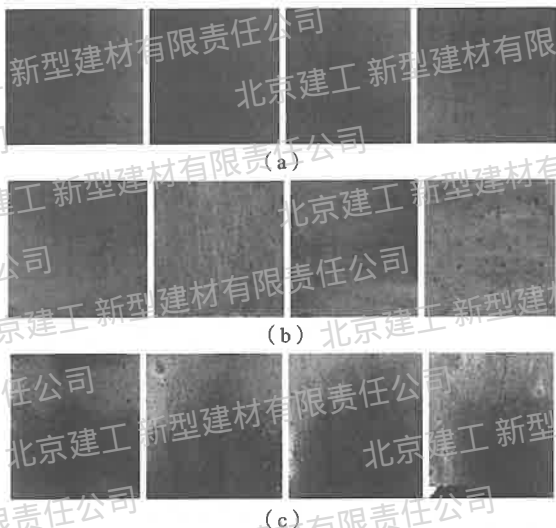


图1 0%石粉含量机制砂混凝土各冻融循环次数下的表现形貌
(a) $n=0$; (b) $n=100$; (c) $n=200$

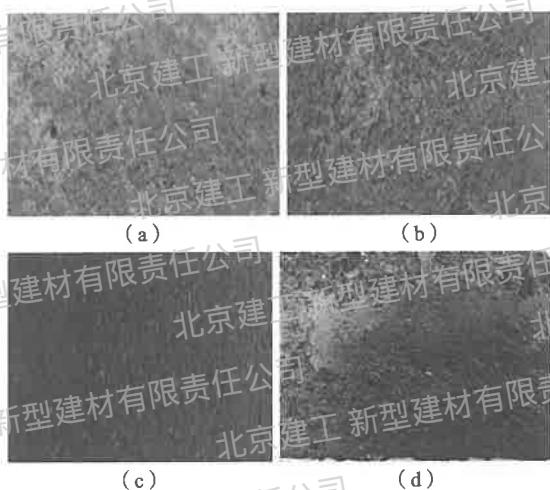


图2 不同石粉含量机制砂混凝土300次冻融循环下的表现形貌
(a) 0%; (b) 5%; (c) 10%; (d) 15%

表6 不同石粉含量混凝土的质量损失率

试验编号	石粉掺量/%	质量损失率/%		
		100次	200次	300次
E1	0	0.1	0.2	0.3
E2	5	0.1	0.1	0.3
E3	10	0.1	0.3	0.4
E4	15	0.2	0.4	0.4

10%和15%含量的试件在300次循环时的质量损失率较大,为0.4%;而0%和5%石粉含量的试件在300次循环时的质量损失率则均为0.3%。从结果来看,虽然存在一定的差异,但是差异较小、抗冻性有所增强的原因可能是石粉掺入使混凝土孔结构得到了优化,由大孔向小孔、细孔、微细孔转化,且石粉含量对骨料间空隙进行填充,根据静水压力学说和渗透压学说,孔结构的优化使当混凝土表层受冻结冰并试图通过孔隙向混凝土内部扩张时,优化后均匀分布互不连

通的孔可有效减小部分孔中孔溶液对混凝土整体的影响,使混凝土抵御冻融循环的能力增强。

但是由于C60强度等级的混凝土本身密实度较高,内部孔结构均匀有限,因此5%石粉含量的机制砂混凝土质量损失率的增长略缓于0%石粉含量的混凝土。而随着石粉含量进一步扩大,石粉的正效应逐渐被负效应取代,质量损失增大,抗冻性能略微降低。在实验现象上表现为混凝土表面硬化的砂浆有所脱落,形成“麻面”。

3.3 石粉含量对混凝土相对动弹性模量影响

对经过冻融循环次数 $n=100$ 、200、300的不同石粉含量混凝土的动弹性模量进行测量记录,并计算得到同石粉含量混凝土的动弹性模量数据,见表7。

表7 不同石粉含量混凝土相对动弹性模量

试验编号	石粉掺量/%	相对动弹性模量/%		
		100	200	300
E1	0	98.39	97.41	95.38
E2	5	98.56	97.94	96.72
E3	10	98.43	97.46	95.57
E4	15	98.27	96.34	92.36

由表7数据变化可知,随着冻融循环次数的递增,混凝土的相对动弹性模量均有所减小。其中15%石粉含量的机制砂混凝土下降幅度最大,为7.64%,另外3种石粉含量的相对动弹性模量下降幅度则均在5%左右。

相较于其他3组,当石粉含量增加到15%时,混凝土搅拌时浆体稠度增加,流动性减弱,不利于水泥浆体填充骨料颗粒间的孔隙,使混凝土在成型过程中容易出现较大的气孔,混凝土的整体性能降低。另外,5%石粉含量混凝土相对动弹性模量下降趋势略缓于0%和10%石粉含量的混凝土,其原因可能是由于少量石粉的掺入增加了结构的密实度,毛细孔数量减少,抗冻性能增大。

4 结论

(1) 石粉含量0%、5%、10%和15%时,机制砂混凝土的表现破坏均随冻融循环次数的增加逐渐加剧。在相同冻融次数下,随着石粉含量从0%增加到15%,混凝土的表面宏观形貌破坏程度更加明显。因此从表现形貌角度分析,对于C60强度等级的机制砂混凝土,随着石粉含量越大,混凝土的抗冻性能越差。

(2) 通过对混凝土质量损失的测定发现,随着冻融循环次数的增加,不同石粉含量的C60机制砂