

机制砂对中高等强度混凝土的影响试验研究

李石高, 唐旭光, 陶 宇

(湖南科技大学土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘 要:以河砂混凝土为基准组,研究了机制砂混凝土拌合物的工作性、硬化后的力学性能和早期收缩性能。试验结果表明:在相同配比下,机制砂混凝土拌合物的工作性较河砂混凝土差,易出现离析和泌水现象;硬化后机制砂混凝土的抗压强度和劈裂抗拉强度大于河砂混凝土;机制砂混凝土的早期收缩大于河砂混凝土,并随水胶比的减小而增大;复掺粉煤灰和矿粉能明显改善机制砂混凝土的早期收缩,但不利于混凝土早期抗压强度的发展。

关键词:机制砂混凝土;工作性能;力学性能;早期收缩

中图分类号: TU528.01

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)04-0190-05

0 引言

随着工程建设的快速发展,对于天然砂资源的需求量日益增加,现有的河砂储量已不能满足建设用砂的需求;同时,在天然砂开采过程中不仅会对山体、河道和农田造成破坏,在运输过程中也会对环境造成严重污染^[1-3],因此,国家很早就相继出台相关法令,对河道采砂进行严格管制,导致很多地方出现砂的供应不足甚至无砂可用的状态,矛盾日益突出^[4]。在此背景下,利用机制砂作为细集料所制备的机制砂混凝土应用越来越广泛。

近年来对机制砂的研究有着大量的相关文献。李美利等^[5]研究发现机制砂中含有适量的石粉可以改善混凝土的工作性能,当石粉含量不超过10%时,由机制砂配制的混凝土强度随着石粉含量的增加有所提高;徐文冰等^[6]通过对砂岩机制砂的研究表明,砂岩机制砂混凝土具有良好的力学性能,在抗压强度、轴心抗压强度及弹性模量方面均优于河砂混凝土;李潜^[7]对C50机制砂混凝土早期收缩性能进行的研究表明,矿粉增大了C50机制砂混凝土的早期收缩,单掺粉煤灰时混凝土的早期收缩优于两者复掺;单掺矿粉时混凝土的收缩大于单掺粉煤灰时,且收缩率随龄期的延长而增大。

由于机制砂的研究与应用起步比天然砂晚,机制砂混凝土在工程应用及推广过程中仍然存在着许多问题和不足。机制砂混凝土在建筑及道路工程中

应用较为广泛,但在桥梁结构中的应用却较谨慎^[8]。随着近年研究的技术积累,机制砂混凝土在桥梁工程主体结构中得到逐步运用。因此本试验以C50混凝土为研究对象,以天然河砂混凝土为对照组,在相同配比下,对河砂混凝土和机制砂混凝土的工作性、硬化后的力学强度和早期收缩性能进行对比分析,探讨机制砂对中高等强度混凝土性能的影响,以便为机制砂混凝土在桥梁工程中的应用提供技术支撑。

1 原材料及试验方法

1.1 原材料及混凝土配合比

水泥:湖南湘乡棋梓桥水泥有限公司产的P·O 42.5级普通硅酸盐水泥。

粗集料:5~25 mm连续级配石灰岩碎石,其主要物理性能指标见表1。

细集料:河砂采用湘江河砂,机制砂采用本地生产的机制砂,其相关性能指标见表2。混合砂1(机制砂与河砂质量比为6:4)的细度模数为2.83;混合砂2(机制砂与河砂质量比为4:6)的细度模数为2.81。

粉煤灰:湘潭电厂产Ⅱ级粉煤灰,密度2.55 g/cm³,烧失量4.5%。

矿粉:S95级矿粉,密度2.9 g/cm³,烧失量0.8%。

减水剂:聚羧酸高性能减水剂,减水率为25%~36%。

试验分别对不同水胶比、矿掺比和不同细集料掺配比的机制砂混凝土进行配合比设计和制备,并与河砂混凝土的相关性能进行对比分析。设计要求为:混凝土拌合物坍落度不小于180 mm,扩展度不小于

收稿日期:2021-06-29

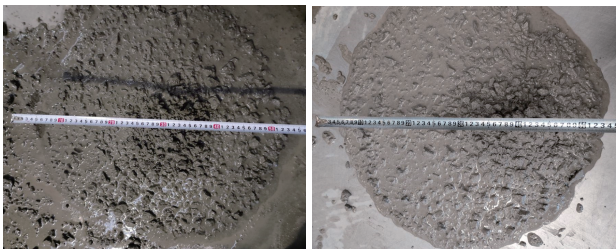
作者简介:李石高(1996—),男,硕士生,从事混凝土材料研究工作。

表 1 碎石主要物理性能指标						
堆积密度 (/kg·m ⁻³)	表观密度 (/kg·m ⁻³)	含泥量 /%	含水率 /%	吸水率 /%	空隙率 /%	压碎指 标 /%
1 602	2 710	0.2	0.5	0.1	40.02	10

表 2 砂的主要物理性能指标						
种类	密度 /(kg·m ⁻³)		含泥量	压碎指标	MB 值	细度模数
	堆积密度	表观密度	/%	/%		
机制砂	1 548	2 690	6(含粉量)	16.4	0.25	3.2
河砂	1 532	2 700	2.7			2.7

400 mm;同时由于机制砂细度模数大、级配较差、棱角粗糙等特点,因此在配合比设计时需提高砂率。将砂率固定为 40%,所采用的机制砂石粉含量范围为 5%~10%,在同等条件下进行机制砂、河砂混凝土的配合比设计。混凝土配合比及工作性试验结果见表 3(其中 J 代表机制砂混凝土;H 代表河砂混凝土;JH-1 代表机制砂与河砂质量比为 6:4 的混合砂混凝土;JH-2 代表机制砂与河砂质量比为 4:6 的混合砂混凝土)。

编号	m_w/m_B	配合比 /kg						外加剂 /%	黏聚性	拌合物工作性 /mm	
		水泥	矿粉	粉煤灰	砂	碎石	水			坍落度	扩展度
J-0	0.35	483			713	1 062	169.2	1.0	良好	190	495
J-1	0.29	483			724	1 080	142.0	2.2	黏稠	220	497
H-0	0.35	483			714	1 068	169.2	1.0	一般	195	497
H-1	0.29	483			728	1 080	142.0	1.4	良好	230	560
J-2	0.29	375	50	75	721	1 078	145.0	3.0	良好	240	598
J-3	0.29	400	50	50	718	1 072	145.0	2.6	良好	230	595
J-4	0.29	425	25	50	720	1 070	145.0	2.5	良好	225	590
H-2	0.29	400	50	50	721	1 070	145.0	2.4	良好	225	596
JH-1	0.29	483			725	1 076	142.0	1.6	稍黏稠	220	532
JH-2	0.29	483			726	1 078	142.0	1.5	良好	225	565



(a) 机制砂混凝土拌合物 (b) 河砂混凝土拌合物

图 1 机制砂混凝土与河砂混凝土拌合物对比

由表 3 和图 1 可知,各组试配混凝土的工作性均满足设计要求。在相同配比下,机制砂混凝土的黏聚性比河砂混凝土强,且随水胶比的降低而增强,但是坍落度和扩展度比河砂混凝土差;降低水胶比,机制砂混凝土的坍落度明显提升,扩展度变化不大。这是由于机制砂颗粒粗糙、多棱角等特点,有利于提高

1.2 试验方法

混凝土拌合物工作性测试依据《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GB/T 50080—2002)进行。硬化混凝土力学性能测试依据《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB 50081—2002)的要求进行,将混凝土试件在标养室内养护至 3、7、14、28 d,测试不同龄期的抗压强度和劈裂抗拉强度。混凝土早龄期收缩性能测试遵照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009),采用非约束式混凝土收缩变形测定仪,按每组 3 个试件进行。试件制备尺寸为:100 mm×100 mm×515 mm,将其带模置入温度为(20±2)℃,相对湿度为(60±5)%的养护环境中养护至混凝土初凝前后,开始测试其收缩性能。

2 机制砂对混凝土性能的影响研究

2.1 机制砂对混凝土工作性的影响

混凝土拌合物工作状态见图 1。

混凝土黏聚性,但是不利于流动性。双掺粉煤灰和矿粉后,机制砂混凝土工作性与河砂混凝土相当,说明双掺粉煤灰和矿粉能改善机制砂混凝土的工作性,减少泌水、提高混凝土的包裹性,从而提高机制砂混凝土的坍落度和扩展度。这是由于粉煤灰能在混合料中起到滚珠轴承作用,有利于减小颗粒之间的摩擦,同时可以增加浆体含量,从而增加拌合物的流动性;而矿粉能与水泥组成二元复合胶凝材料,改善水泥浆体的孔隙结构以及提高水泥石与骨料界面黏结性能,且机制砂中的石粉在混凝土拌合物中也能起到一定的润滑作用,减小砂与骨料之间的相互摩擦,从而起到改善混凝土工作性的效果^[9-11]。混合砂混凝土的工作性优于全机制砂混凝土,随机制砂所占比例的增大而逐渐变差。

2.2 机制砂对硬化混凝土力学性能的影响

2.2.1 混凝土抗压强度

河砂混凝土和机制砂混凝土抗压强度试验结果见图 2~图 4。

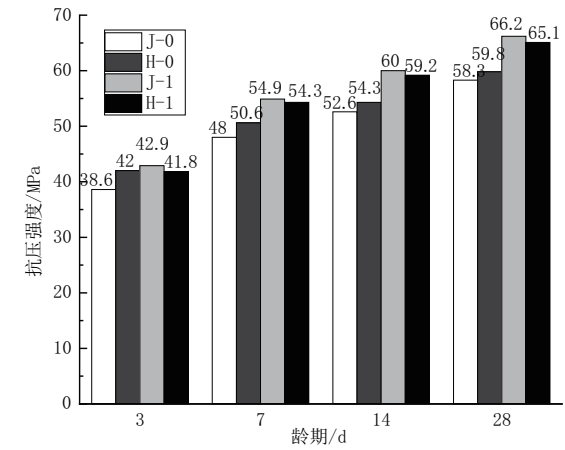


图 2 水胶比对混凝土抗压强度的影响

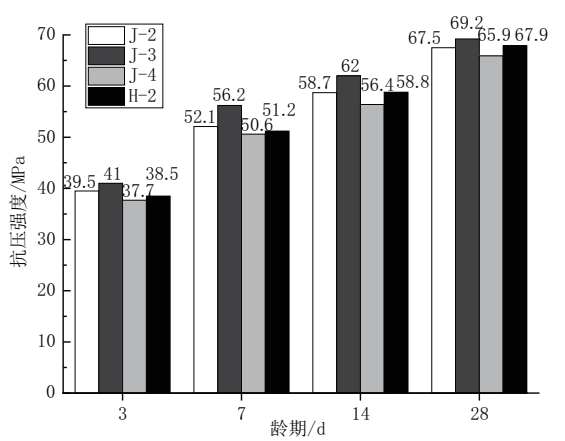


图 3 矿物掺合料对混凝土抗压强度的影响

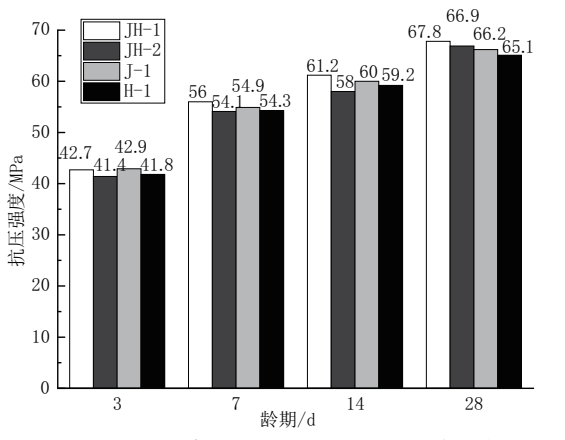


图 4 细集料掺配比对混凝土抗压强度的影响

由图 2~图 4 可知,在相同配比下,机制砂混凝土 28 d 抗压强度略大于河砂混凝土,而水胶比为 0.35 时,J-0 组试件 28 d 抗压强度小于 H-0 组,原因可能是机制砂级配较差。机制砂混凝土抗压强度随水胶比的减小而增大;双掺粉煤灰和矿粉后,机制砂混凝土的早期抗压强度有所降低,但是后期强度大幅提升,与粉煤灰和矿粉掺量相同的试件 J-3 相

比,当粉煤灰掺量增加(试件 J-2)或矿粉掺量降低(试件 J-4)时,这两者的早期抗压强度都有一定程度的降低,说明粉煤灰掺量增大不利于机制砂混凝土早期抗压强度发展,而矿粉掺量对机制砂混凝土早期抗压强度发展影响不显著;在相同水胶比下,混合砂混凝土的 28 d 抗压强度大于全机制砂混凝土和河砂混凝土,且随着机制砂掺配比的增大而增大,并存在最佳掺配比。

机制砂本身由于颗粒粗糙、多棱角、坚固性强等特点,有利于提高水泥浆界面的机械咬合力,起到更好的嵌套作用,从而起到比河砂更好的骨架作用。双掺粉煤灰和矿粉不仅能起到填充集料空隙、改善机制砂级配的作用,又能在混凝土中发挥火山灰效应和微集料效应,改善水泥浆体的孔结构,提高混凝土密实性,进而提高混凝土强度^[12];而机制砂中的石粉同样具有晶核作用和微集料填充作用,从而能降低孔隙率,在一定程度上提高混凝土的强度^[13-15]。通过双掺粉煤灰和矿粉,可以获得早期强度与水泥混凝土接近,同时后期强度又有较大增长空间的高性能混凝土。

2.2.2 劈裂抗拉强度

不同龄期的河砂混凝土和机制砂混凝土劈裂抗拉强度试验结果见表 4。

表 4 机制砂混凝土和河砂混凝土劈裂抗拉强度 单位:MPa				
编号	3 d	7 d	14 d	28 d
J-0	2.97	3.45	3.78	4.12
J-1	3.11	4.20	5.24	5.92
H-0	3.32	3.76	3.93	4.38
H-1	3.18	4.25	5.15	5.84
J-2	2.96	3.58	4.78	5.55
J-3	2.99	3.65	4.84	5.75
J-4	3.05	3.56	4.72	5.66
H-2	3.03	3.46	4.48	5.42
JH-1	3.05	4.03	5.56	6.12
JH-2	3.11	3.96	5.38	6.02

由表 4 可知,机制砂混凝土劈裂抗拉强度与其抗压强度发展规律相似,随水胶比的减小而增大。双掺粉煤灰和矿粉降低了机制砂混凝土的劈裂抗拉强度,这可能是 28 d 时矿物掺合料的微集料效应还没有被完全激发出来所致^[16]。在相同配比下,复掺粉煤灰和矿粉的机制砂混凝土劈裂抗拉强度大于河砂混凝土;混合砂混凝土的劈裂抗拉强度大于其他各组混凝土,且随着机制砂所占比例的增加而增大,原因是混合砂改善了全机制砂级配差的缺点,使混凝土

的孔隙结构得到改善,混凝土密实度得以提高,最终提高了混凝土的劈裂抗拉强度。

2.3 机制砂对混凝土早期收缩性能的影响

不同水胶比、矿掺比和机制砂掺配比的混凝土早期收缩试验结果见图5~图7。由图5~图7可知,机制砂混凝土和河砂混凝土的早期收缩速率在8~10 h内最大,随后随着龄期的增大逐渐平稳缓慢增长。在相同水胶比下,机制砂混凝土的早期收缩速率大于河砂混凝土,特别是降低水胶比时,机制砂混凝土的早期收缩增长幅度相比河砂混凝土明显增大;双掺粉煤灰和矿粉能有效降低机制砂混凝土的早期收缩速率,且随着粉煤灰掺量的增大,机制砂混凝土的早期收缩发展减小,而矿粉对机制砂混凝土早期收缩的影响不是很大。在相同配比下,双掺粉煤灰和矿粉的机制砂混凝土与河砂混凝土的早期收缩速率基本相当;在相同水胶比下,混合砂混凝土早期收缩速率小于全机制砂混凝土,随着机制砂在混合砂中所占比例的增大,混合砂混凝土早期收缩速率也逐渐增大。

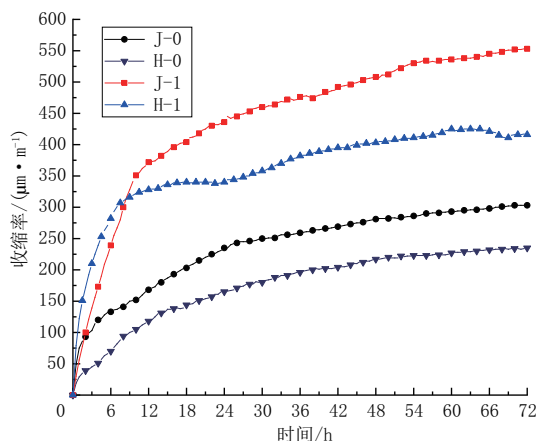


图5 不同水胶比混凝土早期收缩

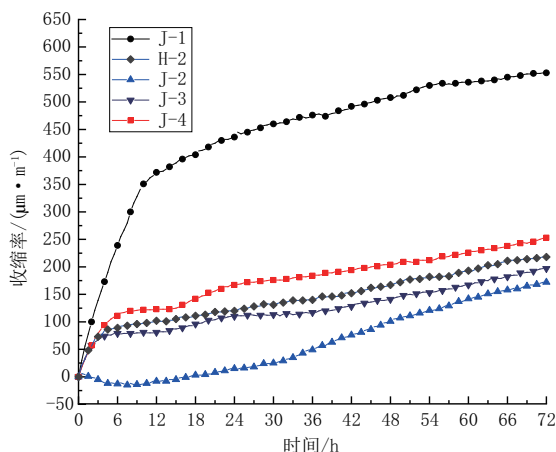


图6 不同矿掺比混凝土早期收缩

降低水胶比,混凝土用水量减小,收缩增大,而机制砂中大量的石粉也会消耗一部分用水量,同时

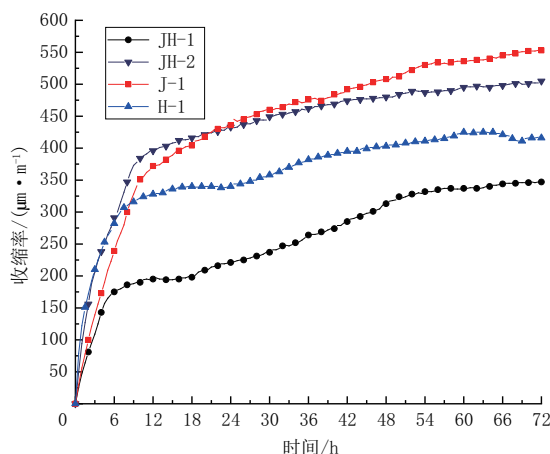


图7 不同细集料掺配比混凝土早期收缩

石粉中的 SiO_2 和 Al_2O_3 易与水泥水化释放出的 CH 反应,生成稳定的硅酸钙水化物凝胶及水化铝酸钙,促进水泥的水化反应^[17]、加速水泥的水化进程,从而增加机制砂混凝土的早期收缩速率;矿粉具有微集料效应,可与水泥水化产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生二次水化反应,生成含钙较低的水化硅酸钙凝胶,从而改善混凝土的界面结构;粉煤灰中的活性成分 SiO_2 和 Al_2O_3 能与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应,减少或抑制混凝土中薄弱 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体的形成,同时由于机制砂级配不良、粒型较差等特点,双掺粉煤灰和矿粉可以增加浆体含量,填充混凝土中的空隙,减少混凝土孔隙率,从而减小混凝土早期收缩^[10,16]。

3 结 语

(1)机制砂混凝土具有良好的黏聚性能,但是扩展度和坍落度比河砂混凝土差;复掺粉煤灰和矿粉以及采用混合砂能明显改善机制砂混凝土的工作性。

(2)机制砂混凝土具有良好的力学性能,在相同配比下,机制砂混凝土的抗压强度大于河砂混凝土;双掺粉煤灰和矿粉能获得早期抗压强度较高而后期抗压强度大幅增长的机制砂混凝土,但是劈裂抗拉强度发展较慢。当水胶比和配比相同时,混合砂混凝土的力学性能优于全机制砂混凝土和河砂混凝土。

(3)在相同配比下,机制砂混凝土的早期收缩速率大于河砂混凝土,降低水胶比时,机制砂混凝土的早期收缩增长幅度相比河砂混凝土明显增大;双掺粉煤灰和矿粉可显著降低机制砂混凝土早期收缩,其收缩基本与河砂混凝土相当。混合砂混凝土早期收缩速率小于全机制砂混凝土,大于河砂混凝土,但是在适当的掺配比例下,混合砂混凝土的早期性能优于河砂混凝土。

(4)由于机制砂细度模数较大、级配较差、粗糙

多棱角且富含石粉等特点,在制备混凝土时应充分评估其对混凝土性能可能造成的影响。

参考文献:

- [1] 蒋正武,梅世龙.机制砂高性能混凝土[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 林立宽.高性能机制砂水泥混凝土性能的试验研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [3] 陈家珑.我国机制砂石行业的现状与展望[J].混凝土世界,2011(2):62-64.
- [4] 曹盛明.高性能机制砂混凝土的性能及应用技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2008.
- [5] 李美利,王立霞.机制砂中石粉含量对砼抗压强度及收缩的影响[J].河南建材,2001(3):43.
- [6] 徐文冰,张坤球,胡莉强.砂岩机制砂 C50 箱梁混凝土配制及耐久性能研究[J].水运工程,2015(8):43-47.
- [7] 李潜.C50 机制砂混凝土早期收缩抗裂性能试验研究[J].混凝土与水泥制品,2016(10):28-31.
- [8] 徐鑫,夏京亮,周永祥.机制砂 T 梁 C55 混凝土配制及性能研究[J].混凝土,2019(4):134-137.
- [9] 孙伟,繆昌文.现代混凝土理论与技术[M].北京:科学出版社,2012.
- [10] 张芳,温超凯.矿粉对水泥和混凝土性能的影响[J].武汉工程大学学报,2013,35(11):43-48.
- [11] 张礼华,刘来宝.石粉含量对机制砂混凝土力学性能与微观结构的影响[J].混凝土与水泥制品,2011(12):22-26.
- [12] 赵素梅,掺矿物掺合料高性能混凝土的强度与收缩试验研究[J].混凝土,2016(2):81-86, 89.
- [13] 刘数华,阎培渝.石灰石粉在复合胶凝材料中的水化活性[J].水泥工程,2008(3):5-7, 15.
- [14] 吴明威.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):46-49.
- [15] 熊远柱,万慧文.石灰石粉对混凝土性能的影响[J].混凝土,2010(9):89-91.
- [16] 赵素梅.双掺矿物掺合料高性能混凝土的强度与收缩性能试验研究[D].大连:大连理工大学,2015.
- [17] 路文典.人工砂石粉含量超标对常态混凝土性能的影响试验研究[J].山西水利科技,2000(4):63-67.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com