

文章编号:1673-9469(2012)03-0001-04

## C40 特细砂混凝土和易性和抗压强度研究

何锦云,王陆陆

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**利用邯郸当地的原材料制备 C40 特细砂混凝土,采用正交设计方法,试验研究了水胶比、粉煤灰取代率、砂率对特细砂混凝土 28 d 抗压强度及和易性的影响。结果表明,粉煤灰取代率是影响混凝土 28 d 抗压强度的最主要因素,砂率是影响混凝土和易性的最主要因素;适当的粉煤灰取代率能提高混凝土 28 d 抗压强度;随着砂率的增加,塌落度大幅下降而强度略有降低;水胶比为 0.45,粉煤灰取代率为 10%,砂率为 30%,通过添加 1.2% 的高效减水剂可配制出 28 d 强度达 59.1 MPa、塌落度为 60mm 的混凝土。

**关键词:**特细砂混凝土;正交设计;粉煤灰;和易性;抗压强度

**中图分类号:** TG333.17

**文献标识码:** A

### Study on the workability and compressive strength of C40 superfine sand concrete

HE Jin-yun, WANG Lu-lu

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** The C40 super fine sand concrete is produced by using Handan local material and the influence of water-binder ratio, fly ash replacement rate, and sand ratio on the 28 d compressive strength and workability are studied in orthogonal experiment design. The results show that fly ash replacement is the most primary factor effecting on 28 d compressive strength and sand ratio is the most primary factor effecting on workability. Appropriate fly ash replacement can improve the 28 d compressive strength. With the increase of sand ratio, slumps decrease sharply and strength decreases slightly. It calls for using the 0.45 as water-binder ratio, 10% as fly ash replacement and 30% as sand ratio to make reasonable design of mix proportions, we can obtain the super fine concrete strength that its 28 d compressive strength reaches to 59.1 MPa, for 60mm of slump.

**Key words:** superfine sand concrete; orthogonal design; fly ash; workability; compressive strength

砂是制备混凝土的必备资源,根据细度模数的不同将其划分为粗砂、中砂、细砂和特细砂,制备混凝土时优先选用中、粗砂。但是,经过近几十年大规模基础建设工程的使用和采掘,粗、中砂资源渐近枯竭。就邯郸地区而言,河北省提出的三年大变样计划使得本地细砂资源也所剩无几,但是邯郸地处黄河流域,特细砂资源丰富,从质量、储量、经济等多方面来看,利用丰富的特细砂资源来制备混凝土已成为必然选择。我国从 50 年代

起就开始了特细砂混凝土的研究与应用,取得了巨大的成绩与经济效益,但混凝土强度一般不高于 C30,并且规定塌落度不大于 30 mm。

随着经济的发展,特细砂制备低强度、低塌落度混凝土已不能满足人类的需求,特细砂制备较高强度、较大塌落度的混凝土也开始有研究。佟刚利用特细砂配置 C30 泵送混凝土,谭光焱等利用特细砂和机制砂配置大塌落度的 C50 混凝土。本文采用正交设计试验方法<sup>[1-2]</sup>研究特细砂混凝

土在不同水胶比、不同粉煤灰取代率<sup>[3-4]</sup>、不同砂率条件下其抗压强度及和易性的变化规律,从而确定其主要影响因素,为邯郸地区特细砂混凝土的配制提供有力的依据。

## 1 试验原材料

1)水泥:选用太行山牌 42.5R 普通硅酸盐水泥,其各项性能指标及化学成分见表 1、表 2。

2)粗骨料:选用邯郸本地产的碎石,其物理性能指标见表 3。

3)细骨料:选用邯郸本地产的特细砂,其物理性能指标见表 4。

4)粉煤灰:本实验中选用的是邯郸马头电厂生产的 II 级粉煤灰,其各项性能指标及化学成分

见表 5、表 6。

5)外加剂:试验选用了 FDN-1 高效减水剂,掺量为 1.2%,减水率 20%。

6)水:试验室中的自来水。

## 2 试验方法

本实验利用正交设计的方法配制 C40 混凝土,选取水胶比、粉煤灰取代率(本试验采用等量取代法)、砂率三个因素,分别以 A、B、C 来表示,每个因素选取三个水平,即水胶比为 0.45、0.47、0.49,粉煤灰取代率为 0、10%、20%,砂率为 28%、30%、32%,据此采用  $L_9(3^4)$  正交表来安排实验,以抗压强度和塌落度为考核指标,分析各因素对

表 1 普通硅酸盐水泥的性能指标

Tab. 1 Performance indicators of ordinary portland cement

标准稠度 用水量/%	凝结时间/min		安定性	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa		
	初凝时间	终凝时间		3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
28.0	120	200	良好	5.3	6.7	7.7	30.3	45.4	53.7

表 2 普通硅酸盐水泥的化学成分

Tab. 2 Chemical constituents of ordinary portland cement

化学成分	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
含量/%	3.82	1.65	55.85	24.60	0.01	9.29	0.50	0.32

表 3 粗骨料的性能指标

Tab. 3 Performance indicators of coarse aggregate

堆积密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	表观密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	颗粒级配 /mm	含水率/%	吸水率/%	含泥量/%
1.713	2.708	5~25	0.1	0.4	0.13

表 4 细骨料的性能指标

Tab. 4 Performance indicators of fine aggregate

含泥量 /%	堆积密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	表观密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	细度模数 /%	(筛孔尺寸)累计筛余/%						含水率 /%	
				4.75	2.36	1.18	0.63	0.315	0.15		<0.15
2.6	1.487	2.698	1.4	0	0.8	3.2	12.7	50.1	76.6	100	1.0

表 5 粉煤灰的性能指标

Tab. 5 Performance indicators of fly ash

级别	烧失量/%	筛余量/%	需水量比/%	含水率/%
II 级	7.41	17.6	102	0.03

表 6 粉煤灰的化学成分

Tab. 6 Chemical constituents of fly ash

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
3.6	0.5	1.46	54.06	0.1	31.49	1.35	0.03

考核指标的影响,从而确定最佳实验方案。因为本试验选用的是特细砂,为了满足设计强度和其和易性的要求,试验选用了减水率为 20% 的高效减水剂,其掺量为 1.2%。

### 3 试验结果与分析

抗压强度与塌落度的试验结果见表 7,对每个考核指标分别进行了极差分析,极差分析结果见表 8。

表 7 试验结果  
Tab. 7 Test results

试验号	A	B	C	D	塌落度/mm	7 d	28 d
						抗压强度 /MPa	抗压强度 /MPa
1	1(0.45)	1(0)	1(28)	1	110	46.4	52.4
2	1(0.45)	2(10)	2(30)	2	60	43.7	59.1
3	1(0.45)	3(20)	3(32)	3	20	41.4	48.4
4	2(0.47)	1(0)	2(30)	3	70	40.2	47.8
5	2(0.47)	2(10)	3(32)	1	15	41.8	51.3
6	2(0.47)	3(20)	1(28)	2	90	38.3	46.6
7	3(0.49)	1(0)	3(32)	2	22	42.1	47.4
8	3(0.49)	2(10)	1(28)	3	100	40	53.5
9	3(0.49)	3(20)	2(30)	1	38	35.7	42.7

表 8 28 d 抗压强度与塌落度的极差分析  
Tab. 8 Range analysis of 28 d compressive strength and slump

编号	28 d 抗压强度各因素的和与极差				塌落度各因素的和与极差			
	A	B	C	D	A	B	C	D
K1	159.9	147.6	152.5	146.4	190	202	300	163
K2	145.7	163.9	149.6	153.1	175	175	168	172
K3	143.7	137.7	147.1	149.7	160	148	57	190
k1	53.3	49.2	50.8	48.8	63	67	100	54
k2	48.6	54.6	49.8	51.0	58	58	56	57
k3	47.9	45.9	49.0	49.9	53	49	19	63
R	5.4	8.7	1.8	2.2	10	18	81	9

#### 3.1 28 d 抗压强度分析

图 1 给出了 C40 特细砂混凝土 28 d 抗压强度与各因素水平的关系,由图可见粉煤灰取代率对混凝土强度影响最大。粉煤灰取代率为 10% 时,其 28 d 抗压强度比粉煤灰取代率为 0 的混凝土有很大的提高。这主要是由于取代水泥的粉煤灰通过长期的火山灰反应使其后期强度提高。当粉煤灰取代率增加到 20% 时,其 28 d 抗压强度比粉煤灰取代率为 0 的混凝土略有降低,这主要是由于随着粉煤灰对水泥取代数量的增加,体系中能够激发粉煤灰的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  数量不足<sup>[5]</sup>,粉煤灰反应的程度降低,从而导致 28 d 抗压强度降低。其次可以看出 C40 特细砂混凝土的 28 d 抗压强度符合混凝土一般规律,随着水胶比的减小而增大。

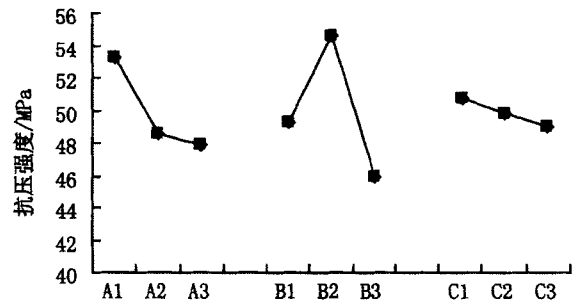


图 1 C40 特细砂混凝土 28 d 抗压强度与各因素水平关系图

Fig. 1 The relation between 28 d compressive strength of C40 superfine sand concrete and each factor level

图 2 给出了粉煤灰取代率与 28 d 抗压强度的关系,由图可见在不同水胶比条件下其对特细砂混凝土 28 d 抗压强度的影响基本一致。与取代率

为0的情况比较,取代率为10%时,28 d抗压强度都有很大的提高,而取代率为20%时,28 d抗压强度则都有所降低。而不同的是在水胶比为0.47的情况下,28 d抗压强度在粉煤灰取代率为20%的情况下下降幅度并不是很大。

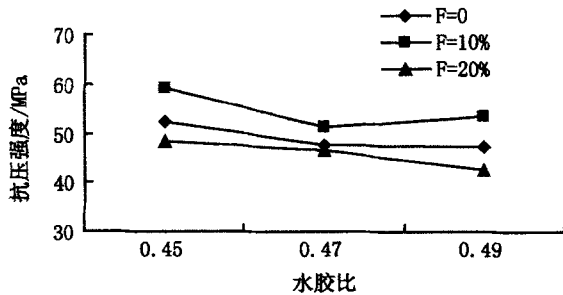


图2 粉煤灰取代率对C40 特细砂混凝土28 d 抗压强度的影响

Fig.2 Influence of fly ash replacement rate on 28 d compressive strength of C40 superfine sand concrete

### 3.2 塌落度分析

由表8的塌落度极差分析可知各因素影响塌落度的主、次顺序是C > B > A。可以看出砂率的大小对特细砂混凝土塌落度的影响比较大,粉煤灰掺量也有一定的影响,而水胶比对其影响则最小。

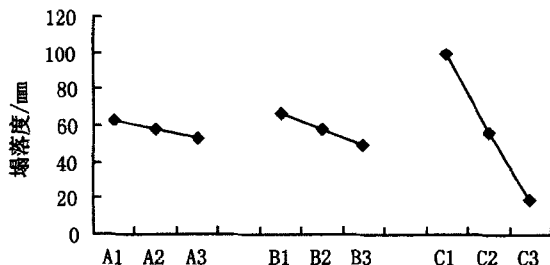


图3 C40 特细砂混凝土塌落度与各因素水平的关系图

Fig.3 The relation between slump of C40 superfine sand concrete and each factor level

图3给出了C40特细砂混凝土塌落度与各因素水平的关系,由图可见随着其最主要影响因素砂率的增加,塌落度呈大幅度下降的趋势,这与普通混凝土有所不同。其主要原因是因为特细砂级配差、比表面积大<sup>[6]</sup>,所以在相同条件下,砂率大的混凝土需水量大,塌落度减小幅度就大。其次从图中还可以看出随着粉煤灰取代率的增加,塌落度呈下降趋势,这并不代表粉煤灰对水泥的取代使混凝土的和易性变差了,因为塌落度并不能完全表现出混凝土和易性的好与差。特细砂混凝土

土有异于一般混凝土,在试验的过程中我们可以明显的看出,在满足工作要求的情况下特细砂混凝土的粘度较大,这使其塌落度的损失大于一般混凝土,而随着粉煤灰取代率的增加其粘度得到了很好的改善,塌落度的损失也减小很多。就总体而言适当的粉煤灰取代率可以改变特细砂混凝土的和易性。

图4给出了砂率与塌落度的关系,由图我们可以更清晰、准确的看出特细砂混凝土中的砂率对塌落度的影响。在粉煤灰取代率为0,10%,20%的情况下,塌落度都是随着砂率的增大而大幅下降的,这是因为特细砂需水量大的缘故。另外,不同粉煤灰取代率与本试验中掺入外加剂的适应性对塌落度也有一定的影响<sup>[7-8]</sup>,但不是主要因素,其具体关系可进一步试验、分析。

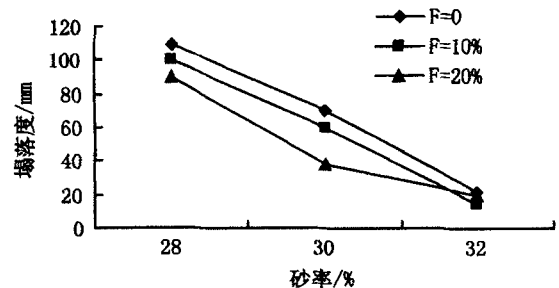


图4 砂率对C40 特细砂混凝土塌落度的影响

Fig.4 Influence of sand rate on slump of C40 superfine sand concrete

## 4 结论

1)由试验可知粉煤灰取代率为10%、水胶比为0.45、砂率为30%时,可配制出保水性、粘聚性良好,塌落度为60 mm,强度高达59.1 MPa的混凝土。

2)随着水胶比及砂率的增大,混凝土的抗压强度不断减小。但是,当粉煤灰取代率为10%、水胶比为0.49、砂率为28%时,混凝土的抗压强度有跳跃性的增长,高达53.5 MPa,并且其和易性良好,完全满足设计要求。

3)配制特细砂混凝土时,砂率对其强度及和易性都有很大的影响,本次试验中砂率每增加2%,混凝土的塌落度就有很大幅度的下降,其中最大可下降55 mm,远远高于普通混凝土。

4)本试验中,最佳粉煤灰取代率为10%,但是粉煤灰取代率为20%,其他条件适当时也可配制出强度为48.4 MPa的混凝土,略低于设计强度。

(下转第10页)

- 工业出版社, 1984.
- [2] 左保成, 陈从新, 刘才华. 相似材料试验研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(11): 1805 - 1808.
- [3] 彭海明, 彭振斌, 韩金田. 岩性相似材料研究[J]. 广东土木与建筑, 2002, 12(12): 13 - 17.
- [4] 栗东平, 王谦源, 张增祥, 等. 模拟岩性的相似试验研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2007, 24(2): 12 - 19.
- [5] 黄戡, 卿淞, 谢国柱. 水泥石膏相似材料的模拟实验[J]. 西部探矿工程, 2003, 15(12): 127 - 129.
- [6] GHOSH A, DAEMEN J J K. Fractal characteristics of rock discontinuities[J]. Engineering Geology, 1993(34): 1 - 9.
- [7] 赵德安. 节理塑性对岩体性能的影响分析[J]. 兰州铁道学院学报, 2002, 21(4): 1 - 4.
- [8] ZHAO DEAN. Impact of joint plasticity to properties of rock mass[J]. Journal of Lanzhou Railway University (Natural Sciences), 2002, 21(4): 123 - 127.
- [9] 蔡美峰, 何满潮, 刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [10] 李晓红, 王成. 含节理的岩石地基承载力估算[J]. 工程力学(增刊), 2001: 659 - 662.
- [11] WU JIMIN, A. MABTAB, XU SHULIN. Estimation the barton equation for the shear strength of rock joints[J]. Journal of Engineering Geology; 2007 (04): 0349 - 0353.
- [12] CARPINTERI A. Scaling law and renormalization groups for strength and toughness of disordered materials[J]. International Journal of Solids and Structures, 1994(31): 610 - 613.
- [13] 张志刚, 乔春生, 刘勇. 节理岩体强度特征研究综述[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(5): 38 - 41.
- [14] 张志刚, 乔春生, 李晓. 单节理岩体强度试验研究[J]. 中国铁道科学, 2007, 28(4): 34 - 39.
- [15] 张志刚, 乔春生. 改进的节理岩体强度参数经验确定方法及工程应用[J]. 北京交通大学学报, 2006, 30(4): 46 - 49.
- [16] 邓楚键, 孔位学, 郑颖人. 节理岩石地基极限承载力的有限元分析[J]. 工业建筑, 2005, 35(12): 51 - 54.

(责任编辑 刘存英)

(上接第4页)

#### 参考文献:

- [1] 刘数华, 冷发光, 罗季英. 绿色高性能建筑材料实验研究的数学方法[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2006.
- [2] 何锦云, 毛明明. C30 再生粗骨料混凝土和易性和抗压强度研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(4): 19 - 21.
- [3] 潘宏彬. 粉煤灰掺量对混凝土强度的影响[J]. 试验技术与试验机, 2006(1): 42 - 46.
- [4] 钱觉时. 粉煤灰特性与粉煤灰混凝土[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 贺军利. 钢筋混凝土框架工程抗连续倒塌的问题[J]. 黑龙江科技学院学报, 2010, 10(1): 52 - 59.
- [6] 赵蕴林, 吴磊, 杨霞. 粉煤灰对混凝土早期强度影响初探[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2008, 21(2): 118 - 120.
- [7] 陈国灿. 聚丙烯纤维超强石渣混凝土的力学性能研究[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(1): 14 - 17.
- [8] 白金剑, 李帅, 刘茉莉, 等. 粉煤灰掺量对相同浆体体积比砂浆性能的影响[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 9 - 12.

(责任编辑 徐博会)