

文章编号:1006-7329(2002)03-0091-05

# 大流动性轻集料混凝土研究\*

吴芳<sup>1</sup>, 吴岳新<sup>2</sup>

(1.重庆大学 材料科学与工程学院建材系, 重庆 400045; 2.湖南岳阳路桥总公司, 岳阳 414000)

**摘要:**研究了粉煤灰、矿渣、硅灰掺合料对大流动性轻集料混凝土性能的影响。试验结果表明,掺合料单掺效果不及复掺;用堆积密度为 503 kg/m<sup>3</sup>、筒压强度为 3.08 MPa 的页岩陶粒,复合掺入 20%的磨细粉煤灰和 20%的磨细矿渣,可配制出塌落度 267 mm、扩展度 650 mm,28 d 强度为 28.8 MPa,表观密度为 1 804 kg/m<sup>3</sup> 的免振捣大流动性轻集料混凝土;轻集料的物理力学性能对大流动性轻集料混凝土的性能有重要影响。

**关键词:**流动性;轻集料混凝土;掺合料

**中图分类号:**TU502+.4

**文献标识码:**A

轻集料混凝土表观密度小,比强度高,且保温、隔热、耐火、抗震性好,是用量仅次于普通混凝土的一种新型混凝土。用轻集料混凝土制作预制构件或用于现浇结构,一般采用半干硬性或低流动性混凝土拌合物,其存在下述特点:①集料颗粒表面粗糙,拌合物内摩擦力大;②集料毛细管压力产生“自真空”效应,滑移阻力较大;③集料密度小,拌合物自致密速度小。所以轻集料混凝土的捣实时间一般都长于普通混凝土,而轻集料的颗粒表观密度又小,因此很容易造成集料上浮,使混凝土拌和物产生分层、离析。为克服这一缺点,在浇注成型过程中,可采取加压振捣的方式,但这样又大大增加了施工的强度和难度。那么能否配制出大流动性轻集料混凝土,在保证匀质性的前提下,使之自流平、免振捣呢?有关免振捣普通混凝土的研究和应用已比较成熟,其中相关的一些技术完全可以借鉴。为了使新拌的混凝土拌合物具有大的流动性、好的粘聚性,不离析、分层等施工性能,掺入活性矿物掺合料和高效减水剂是必不可少的措施。本研究就大流动性轻集料混凝土的配制,特别是掺合料在配制大流动性轻集料混凝土时所起的作用方面进行了探讨。

## 1 试验用原材料

### 1.1 水泥(C)

重庆地维水泥公司生产的 525 号普通硅酸盐水泥(新标准 42.5 级),其实际强度为 59.2 MPa。

### 1.2 粗集料

采用的页岩陶粒、粉煤灰陶粒、粘土陶粒的物理力学性能见表 1,颗粒级配见表 2。

### 1.3 细集料

四川德阳细砂,细度模数为 2.16。

表 1 陶粒的物理力学性能指标

陶粒品种	粒 径 (mm)	堆积密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1 h 吸水率 (%)	颗粒表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )	筒压强度 (MPa)
页岩陶粒	5~20	503	4.03	714	3.08
粉煤灰陶粒	5~25	589	6.01	912	1.42
粘土陶粒	5~25	782	3.0	1351	6.63

\* 收稿日期:2002-03-05

作者简介:吴芳(1967-),女,重庆人,副教授,主要从事建筑材料研究。

表2 陶粒的颗粒级配(累积筛余百分数%)

陶粒品种	筛孔直径(mm)					
	25	20	16	10	5	<5
页岩陶粒	0.6	4.4	94.4	99.7	99.8	
粉煤灰陶粒	0.6	3.6	11.2	72.0	92.5	99.8
粘土陶粒	0.7	37.3	92.2	98.4	99.1	99.6

#### 1.4 活性矿物掺合料

粉煤灰(FA):重庆九龙坡电厂的三级灰,磨细1 h,其比表面积为 $5\ 200\ \text{cm}^2/\text{g}$ ;

矿渣(SG):重庆钢铁集团公司的水淬高炉矿渣,磨细2 h,比表面积为 $6\ 500\ \text{cm}^2/\text{g}$ ;

硅灰(SF):贵州清镇铁合金厂产。

#### 1.5 高效减水剂

成都产非萘系减水剂 FTD-3;重庆产萘系减水剂 FDN-O、FWJ-4。

## 2 试验方法

轻集料在使用前用水浸泡1 h。轻集料混凝土坍落度、扩散度、强度测试与普通混凝土相同。养护为标准养护。

## 3 试验结果及分析

在混凝土配合比中,胶结料的总用量控制为 $500\ \text{kg}/\text{m}^3$ ,水灰比固定为0.3。

### 3.1 单掺粉煤灰对大流动性轻集料混凝土性能的影响

粉煤灰存在“形态效应”,有减水作用,掺入混凝土中可提高流动性。但粉煤灰活性不及矿渣、硅灰,火山灰反应在常温下进行得较缓慢,混凝土早期强度较低。表3为单掺粉煤灰的试验结果。

表3 单掺粉煤灰对大流动性轻集料混凝土性能的影响

编号	混凝土配合比 (重量比)	粉煤灰 (C+FA)%	减水剂 (C+FA)%	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	7 d 强度 (MPa)		28 d 强度 (MPa)		28 d 强度 (MPa)	
						自密实		振捣成型		振捣成型	
						自密实	振捣成型	自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
O-1	胶凝材料:页岩	0	1.1	245	510	21.0	25.2	24.8	1 774	1 813	1 813
F-1	陶粒:砂:水=1: 0.5:1.4:0.3	20	1.1	250	585	18.1	26.2	24.8	1 814	1 847	1 847
F-2		30	1.1	265	640	18.1	25.0	28.3	1 815	1 783	1 783
F-3		40	1.1	273	647	13.2	20.6	17.3	1 867	1 834	1 834

注:高效减水剂为 FDT-3,表4、表5、表8相同。

从表3可以看出,随着粉煤灰掺量的增加,混凝土拌合物的坍落度和扩展度逐渐增大,而强度则在粉煤灰掺量为20%时最大,且28 d自密实成型混凝土的强度比振捣成型的要高。试验中观察到,单掺粉煤灰时,混凝土拌合物的保水性较差,特别是粉煤灰掺量超过30%以上时,拌合物泌水非常严重,集料上浮,匀质性较差。降低减水剂用量或减少单位用水量,可以减少拌合物泌水量,但拌合物流动性亦随之降低,难以达到自流平效果。综合混凝土的和易性及强度来看,单掺粉煤灰配制大流动性轻集料混凝土是不可取的。

### 3.2 单掺矿渣对大流动性轻集料混凝土性能的影响

矿渣颗粒表面粗糙,棱角尖锐,对和易性的贡献不及粉煤灰。但矿渣活性比粉煤灰高,相同掺量时,混凝土早期强度一般都比掺粉煤灰混凝土的早期强度高。单掺矿渣试验结果见表4。

可见,矿渣掺量为30%时,混凝土流动性和强度均最大。与表3比较,单掺矿渣的混凝土的流动性比单掺粉煤灰时小,但7 d强度稍大。试验时观察到,由于磨细矿渣对增加混凝土拌和物的粘

聚性以及抑制轻集料上浮作用明显,所以单掺矿渣混凝土拌合物的泌水很小,成型后混凝土的均质性也较单掺粉煤灰好。单掺矿渣配制大流动性轻集料混凝土是可行的措施。

表4 单掺矿渣对大流动性轻集料混凝土性能的影响

编号	混凝土配合比 (重量比)	矿渣掺 (C+SG)%	外加剂 (C+FA)%	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	7天强度 (MPa)		28天强度 (MPa)	
						自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
K-1	胶凝材料:页岩	20	1.1	248	540	18.7	22.7	24.3	1 837
K-1	陶粒:砂:水=1:	30	1.1	260	600	19.6	23.6	25.4	1 798
K-3	0.5:1.4:0.3	40	1.1	250	575	17.9	20.1	23.0	1 769

3.3 单掺硅灰对大流动性轻集料混凝土性能的影响

硅灰中的非晶态的二氧化硅含量大于90%,颗粒为微细球形,平均粒径为0.1 μm,比表面积达1.5~1.8×10<sup>6</sup> cm<sup>2</sup>/g,这些特征使硅灰具有优异的火山灰特性与微填充作用,是配制高性能混凝土常采用的一种掺合料。本研究掺硅灰试验结果见表5。

表5 单掺硅灰对大流动性轻集料混凝土性能的影响

编号	混凝土配合比 (重量比)	硅灰 (C+SF)%	外加剂 (C+SF)%	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	7 d强度(MPa)		28 d强度(MPa)		28 d表观强度(kg/m <sup>3</sup> )
						振捣成型	自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
C-1	胶凝材料:页岩	5	1.1	145	255	23.2	23.0	30.0	1 842	
C-2	陶粒:砂:水=1	10	1.1	100	210	25.4	27.9	27.9	1 829	
C-3	:0.5:1.4:0.3	15	1.1	45	/	21.2	27.9	27.9	1 849	

试验中可见,掺入硅灰使混凝土拌和物流动性急剧降低,拌和物太稠,已无法作到不振捣成型,振动成型后混凝土具有良好的匀质性。混凝土强度比单掺粉煤灰、矿渣稍高(表5与表3、表4对照),由于集料本身强度不高,硅灰对混凝土强度的贡献并不明显。

单掺硅灰配制大流动性轻集料混凝土,若无高质量的高效减水剂,混凝土坍落度和扩展度都难以达到免振捣要求,且硅灰价格昂贵,所以单掺硅灰不是配制大流动性轻集料混凝土的优选措施。

3.4 硅灰和粉煤灰复掺对大流动性轻集料混凝土性能的影响

从前面的分析可见,单掺任何一种掺合料都存在一定的缺陷。硅灰和粉煤灰复掺试验结果见表6。可见,硅灰掺量固定为5%,则随着粉煤灰掺量的增大,混凝土拌合物流动性增大,混凝土强度在粉煤灰掺30%时达到最大值30.1MPa。由于掺入硅灰,振捣成型混凝土的强度普遍比自密实混凝土强度高。此外,混凝土拌合物的保水性、粘聚性较好,成型后混凝土的匀质性也比较好。

表6 硅灰和粉煤灰复掺对大流动性轻集料混凝土性能的影响

编号	混凝土配合比 (重量比)	硅灰 (C+FA+SF)%	粉煤灰 (C+FA+SF)%	减水剂 (C+FA+SF)%	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	7 d强度(MPa)		28 d强度(MPa)		28 d强度(MPa)	
							自密实	振捣成型	自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
O-1	胶凝材料:页岩	0	0	0.9	241	515	20.0	26.2	23.7	26.2	1 813	1 854
GF-1	岩陶粒:砂:水	5	20	0.9	250	520	18.4	25.7	29.1	25.7	1 779	1 747
GF-2	=1:0.5:1.4:	5	30	0.9	255	555	21.9	35.5	30.1	35.5	1 937	1 938
GF-3	0.3	5	40	0.9	260	600	18.6	22.0	23.0	22.0	1 806	1 752

注:高效减水剂为FDN-0,表7相同。

以上结果说明,复掺硅灰和粉煤灰是配制大流动性轻集料混凝土的一个有效措施。存在的缺点就是硅灰价格昂贵,实际应用有一定的局限。

3.5 硅灰和矿渣复掺对大流动性轻集料混凝土性能的影响

硅灰和矿渣复掺试验结果见表7。可以发现,硅灰和矿渣复掺,并没有因为硅灰的掺入而使混凝土拌合物的流动性降低,反而比单掺矿渣时还要高。强度与单掺矿渣时相比,也得到提高,28 d自密实混凝土强度为28.1 MPa。在拌制混凝土时观察到,混凝土拌合物的保水性、粘聚性比较好,

集料上浮现象微弱。因此,采用硅灰和矿渣复掺配制大流动性轻集料混凝土是可行的技术途径,存在的问题就是不经济。

表 7 硅灰和矿渣复合对大流动性轻集料混凝土性能的影响

编号	混凝土配合比 (重量比)	硅灰	粉煤灰	外加剂	坍落度	扩展度	7 d 强度	28 d 强度		28 d 强度	
		(C+SF +SG)%	(C+SF +SG)%	(C+SF +SG)%	mm	mm	(MPa) 自密实	自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
GK-1	胶凝材料:页 岩陶粒:砂:水 =1:0.5:1.4:	5	20	0.9	255	590	22.5	25.5	32.8	1 848	1 826
GK-2	0.3	5	30	0.9	265	650	23.4	28.1	31.1	1 854	1 842
GK-3	0.3	5	40	0.9	255	595	22.7	27.6	33.5	1 844	1 892

### 3.6 粉煤灰和矿渣复掺对大流动性轻集料混凝土性能的影响

硅灰与粉煤灰或矿渣复掺均能配制出性能较好的大流动性轻集料混凝土,但掺入硅灰对降低生产成本是不利的。若能用粉煤灰和矿渣复掺配制出性能较好,而成本又低廉的大流动性轻集料混凝土,将是最佳的选择。粉煤灰和矿渣复掺试验结果见表 8、表 9。

表 8 粉煤灰和矿渣复掺对大流动性轻集料混凝土性能的影响

编号	混凝土配合比 (重量比)	矿渣	粉煤灰	外加剂	坍落度	扩展度	7 d 强度	28 d 强度		28 d 强度	
		(C+FA +SG)%	(C+FA +SG)%	(C+FA +SG)%	mm	mm	(MPa) 自密实	自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
FK-1	胶凝材料:页 岩陶粒:砂:水 =1:0.5:1.4:	10	10	1.1	255	660	20.2	26.5	20.6	1 764	1 788
FK-2	0.3	20	20	1.1	267	650	21.6	28.8	24.7	1 804	1 837
FK-3	0.3	30	30	1.1	270	685	20.1	25.3	24.1	1 817	1 864

表 9 双掺粉煤灰和矿渣大流动性轻集料混凝土的塌落度损失

编 号	坍 落 度(mm)				
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min
0-1	245	245	240	232	225
FK-1	255	257	255	253	250
FK-2	267	262	260	257	252
FK-3	270	264	263	259	257

可以看出,随着粉煤灰和矿渣掺量的增大,混凝土拌合物的流动性逐渐增大;强度在粉煤灰、矿渣掺量均为 20% 时达到最大值 28.8 MPa,此时,坍落度为 267 mm、扩展度为 665 mm,120 min 塌落度损失只有 15 mm。比较表 3~表 7 的结果可以看出,粉煤灰和矿渣复掺所得轻集料混凝土的流动性是最好的,强度也较高(只比硅灰和粉煤灰复掺稍差一点)。但是,必须指出的是,粉煤灰和矿渣复掺混凝土拌合物的保水性、粘聚性不如掺入硅灰的混凝土,尤其是粉煤灰和矿渣总掺量达 60% 时,泌水比较严重,成型匀质性也较差。

综合单掺及复掺效果来看,粉煤灰和矿渣复掺,在总掺量不超过 40% 时,是配制大流动性轻集料混凝土的一个有效措施。

### 3.7 集料品种对混凝土流动性及强度的影响

从前面表中数据可看出,所配制的混凝土强度都不高,这与页岩陶粒本身的品质有很大关系。另采用粉煤灰陶粒、粘土陶粒,在掺入相同活性矿物掺合料条件下进行试验,试验数据见表 10。

可见,轻集料的物理力学性能极大地影响着大流动性轻集料混凝土的性能。粉煤灰陶粒的筒压强度低,但其颗粒级配好,故所配制混凝土的强度比页岩陶粒配制的混凝土强度高;而粘土陶粒的颗粒级配虽然不好,但因其筒压强度高,用其配制的混凝土强度最大,28 d 自密实强度达到 49.3 MPa。不过由于粘土陶粒表观密度较大,所配制的混凝土表观密度超过了 2 000 kg/m<sup>3</sup>。

表10 不同品种轻集料对大流动性轻集料混凝土性能的影响

陶粒 品种	混凝土配合比 (重量比) 胶凝材料:陶 粒:砂:水	粉煤灰	粉煤灰	外加剂	坍 落 度	扩 展 度	7 d 强度	28 d 强度		28 d 强度	
		(C + FA + SG)%	(C + FA + SG)%	(C + FA + SG)%	mm	mm	(MPa) 自密实	自密实	振捣成型	自密实	振捣成型
粉煤灰 陶粒	1:0.6: 1.4:0.3	20	20	0.9	265	690	17.4	35.4	36.0	1 949	1 921
粘土 陶粒	1:0.8: 1.4:0.3	20	20	0.9	270	700	35.7	49.3	43.9	2 005	2 075

注:高效减水剂为FWJ-4。

前面单掺和复掺试验都用的页岩陶粒,其品质一般。可以肯定,若采用高性能的轻集料,完全能够配制出性能优良的大流动性轻集料混凝土。

## 4 结论

1) 通过掺入活性矿物掺合料、高效减水剂可以配制出大流动性轻集料混凝土。综合效果看,单掺不及复掺。硅灰对提高混凝土拌合物的粘聚性、保水性以及防止集料上浮有重要作用。

2) 用堆积密度为  $503 \text{ kg/m}^3$ 、颗粒表观密度为  $714 \text{ kg/m}^3$ 、筒压强度为  $3.08 \text{ MPa}$  的页岩陶粒,复合掺入 20% 磨细粉煤灰和 20% 磨细矿渣,可配制出塌落度为 267 mm、扩展度为 650 mm, 28 d 抗压强度为  $28.8 \text{ MPa}$ , 表观密度为  $1 804 \text{ kg/m}^3$  的免振捣大流动性轻集料混凝土。

3) 轻集料的物理力学性能对大流动性轻集料混凝土的性能有很大影响。其吸水率越低,级配越好,筒压强度越高,则所配制的轻集料混凝土流动性越好,强度越高。研制与开发新型高性能轻集料是当务之急。

## 参考文献:

- [1] 龚洛书,柳春圃.轻集料混凝土[M].北京:中国铁道出版社,1996.
- [2] 龚洛书.积极研究与开发高性能轻集料混凝土[J].混凝土,1999,(3):8-12.
- [3] 巴恒静,等.大塌落度高性能轻集料混凝土新拌混合料性能的研究[J].混凝土,2000,(8):25-27.
- [4] 刘巽伯.轻集料在高性能混凝土中应用与展望[J].房材与应用,1998,(5):35-37.
- [5] 吴芳,等.粉煤灰不振捣高性能混凝土[J].混凝土与水泥制品,1998,(6):8-11.

## A Study on Lightweight Aggregate Concrete with High Fluidity

WU Fang, WU Yue-xin

(Department of Building Materials, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** In this paper, the influence of fly ash (FA), blast furnace slag (BS) and silica fume (SF) on the properties of lightweight aggregate concrete (LAC) with high fluidity were studied. Results show that in LAC the effects of composite additives are better than that of single additive. The slump of LAC with apparent density of  $1 840 \text{ kg/m}^3$  could reach 267 mm and the spread 650 mm. The 28d strength is  $28.8 \text{ MPa}$  for LAC with 20% ground FA and 20% BS as additives and the shale ceramsite with bulk density of  $503 \text{ kg/m}^3$  and crushing strength  $3.1 \text{ MPa}$  was used as aggregate. Physical properties of lightweight aggregate have significant effects on durability of the flowing LAC.

**Keywords:** fluidity; lightweight aggregate concrete; additive