

文章编号:1673-2049(2006)02-0068-04

自密实轻骨料高性能混凝土配合比优化设计

王大宏

(西安外国语大学 后勤服务集团,陕西 西安 710061)

摘要:对自密实轻骨料高性能混凝土的配合比优化设计进行了系统的试验研究,根据自密实混凝土和轻骨料混凝土配合比设计原理,采用绝对体积法,成功研制出强度等级为 LC30~LC50 的自密实轻骨料高性能混凝土。对影响自密实轻骨料高性能混凝土工作性和力学特性的主要因素进行了定量分析,获取了自密实轻骨料高性能混凝土的优化配合比,所得结论为自密实轻骨料高性能混凝土的进一步研究与应用提供了参考。

关键词:自密实轻骨料高性能混凝土;配合比;优化设计;工作性;外加剂

中图分类号:TU528.2

文献标志码:A

Optimal Design of Mixing Ratio for Self-compacting Light-Aggregate High Performance Concrete

WANG Da-hong

(Logistics Service Group, Xi'an International Studies University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: The mixtures of self-compacting light-aggregate concrete (SCLC) were systemically experimented. Based on the principles of designs of self-compacting and light-aggregate concrete mixtures, SCLC of middle strength (LC30~LC50) was developed with the absolute volume method. Several factors that significantly affect the workability and mechanical properties of SCLC were analyzed, as well as some advices were given to choose the optimal values and optimum matching ranges of the main design parameters. The optimal mixtures of LC30~LC50 which may contribute to the further analysis and application of SCLC were given.

Key words: self-compacting light-aggregate high performance concrete; mixing ratio; optimal design; workability; admixture

0 引言

自密实轻骨料混凝土(Self-compacting Light-Aggregate Concrete, SCLC)是在自密实混凝土基础上,用轻骨料或高性能轻骨料代替普通骨料,配制而成的新型高性能混凝土,可克服轻骨料混凝土大坍落度条件下轻骨料易于上浮,自密实混凝土大流动性条件下普通骨料易于下沉的缺点。SCLC 具有轻质、高强、隔热、抗震、耐火等优异技术性能,满足结

构强度和施工方便等要求,在高层建筑、防火结构、抗震结构、大跨度屋面、桥梁、隧道、浮式结构和海洋工程等领域有着广泛的应用前景^[1-2]。

1 优化原则

SCLC 由于其轻骨料的多孔性,与普通混凝土相比,具有如下特性:更高的比强度,更好的耐久性、体积稳定性、流动性、经济性,良好的骨料-砂浆粘结界面。

1.1 优化集料级配

自密实混凝土拌和物的砂率,对混凝土拌和物的工作性有很大影响。SCLC 要求有较好的流动性,其砂率一般比普通混凝土或泵送混凝土大些,但砂率过大会使混凝土硬化后弹性模量降低,也会使混凝土的粘性增大,因此在保证混凝土拌和物工作性的同时,应尽量降低自密实混凝土的砂率和胶结料用量以保证其体积的稳定性。在进行 SCLC 的配制时,应对骨料的级配给予足够的重视。

1.2 轻骨料选择

目前,各国对高性能轻骨料的定义有两种观点^[3]:一种是高性能轻骨料必须与普通骨料有相近的吸水率(24 h 吸水率小于 1.8%);另一种是高性能轻骨料要比普通轻骨料有更小的吸水率(24 h 吸水率不大于 5%),在泵送施工时不需要饱和预湿,具有较好的施工性和抗冻等耐久性。后一种观点的轻骨料比较容易生产,目前应以后一种观点甚至吸水率稍高些的轻骨料为原材料,积极开展高性能轻骨料混凝土的研究和应用工作。

1.3 矿物细掺料

矿物细掺料作为自密实混凝土的一种组分,由于其颗粒较细,比表面积较大,增加了浆体的保水能力和触变性,提高了拌和物的抗分离能力。特别是掺入粉煤灰(FA)作为矿物细掺料,可以发挥其形态效应,增加混凝土的和易性^[4]。通过掺加矿物细掺料来改善自密实混凝土的工作性,不仅可以避免掺加增粘剂带来的不利影响,而且可以降低造价。

1.4 复合高效减水剂

由于自密实混凝土对外加剂比较敏感,应精心选择合适的外加剂。首先应该选择性能稳定,对用水量不是很敏感的减水剂。采用不同原料的两种萘系高效减水剂进行复合,对自密实混凝土的抗离析性有显著效果,这是因为将两种萘系高效减水剂按比例配合使用,会使掺和后的产品各组分间的作用相互调节,发挥其各自的优势,这也就是被吴中伟教授称之为“超叠加效应”(Synergistic-Effect)的一种表现。

1.5 合理使用增粘剂

增粘剂能显著增加水溶液的粘度,解决高流动度、高扩展度的新拌混凝土的变形能力和抗离析性的矛盾,提高自密实混凝土的稳定性、充填性。

1.6 流动性和抗离析性的平衡

自密实混凝土拌和物的特点是高流动而无离析,流动性和抗离析性是互相矛盾的。达到用水量、

外加剂用量和流动性、抗离析性的平衡,使矛盾统一,这是自密实混凝土配合比设计的关键^[5]。混凝土流动性及抗离析性和配合比因素的平衡关系,是高流动自密实混凝土选择配合比和施工的关键,故可按混凝土浇筑部位的形状、配筋密度、浇筑方法等不同的施工条件进行配合比设计。

2 试 验

2.1 原材料

2.1.1 水 泥

采用陕西秦岭水泥有限公司生产的秦岭 P. O 42.5R 水泥,主要指标:密度 $3.09\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,抗压强度 28.9 MPa(3 d)和 48.7 MPa(28 d),抗折强度 5.8 MPa(3 d)和 7.6 MPa(28 d),凝结时间 155 min(初凝)和 230 min(终凝),安定性合格。

2.1.2 细骨料

细骨料为陕西灞河中砂,细度模数 $\mu_f=2.52$,级配合格。轻粗骨料为陕西澄城荣信陶粒制品有限公司生产的粉煤灰陶粒。

2.1.3 粉煤灰

采用陕西渭河电厂生产的正元牌 I 级粉煤灰,主要指标如表 1 所示。

表 1 粉煤灰主要指标
Tab. 1 Main Indexes of FA

化学成分的质量分数/%					密 度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	需水量 比/%	80 μm 筛 余/%	烧失 量/%
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO				
55.21	26.38	4.22	1.75	1.58	2.21	87.5	1.21	2.5

2.1.4 矿 渣

采用山西长治钢铁股份有限公司生产的矿渣粉,比表面积约为 $4\,000\text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 。

2.1.5 硅 灰

采用青海山川铁合金股份有限公司生产的硅灰,SiO₂ 的质量分数为 90.85%,比表面积约为 $20\,000\text{ m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.1.6 外加剂

采用西安建筑科技大学建筑材料研究所配制的复合高效减水剂(HFMN,液体),减水率 30%左右,推荐掺量为胶凝材料用量的 1.5%。

2.2 试验方案

试验采用的配制方法:用绝对体积法计算物料组成;由初始坍落度控制拌和用水量 W,由 W 计算水胶比和水灰比;由外加剂控制水胶比和坍落度损失;采用适宜的掺和料,配制 SCLC,淡化水灰比对强度的影响。试验的目标为:成功配制出初始坍落

度为 265 mm 左右,扩展度为 600~650 mm,质量均匀,干表观密度小于 $1\,950\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,能够满足工程施工要求的 SCLC。

施工方案注意事项:①轻骨料不进行预湿;②由初始坍落度控制用水量;③采用复合外加剂,拌和物拌制时一次加入;④尽量采用较少的水泥用量,以减小或避免收缩裂缝和温度裂缝引起的危害;⑤采用适宜的砂率和掺加矿物掺和料,改善拌和物的工作性。

试验次序:加入轻骨料、细骨料、掺和料、1/2 的总用水量→搅拌均匀→加入水泥、外加剂、剩余水→搅拌均匀。

2.3 试验内容

研究不同水胶比、外加剂品种、矿物掺和料品种和用量、砂率大小对 LC30~LC50 SCLC 的影响,通过实验室试配,获取性能较好的 SCLC 的优化配合比。

3 试验结果分析

3.1 水胶比对 SCLC 配制的影响

胶凝材料用量少,包裹轻骨料的胶凝材料就会减少,混凝土拌和物的流动性降低,轻骨料容易上浮而产生分层、离析;胶凝材料用量过多,拌和物粘聚性增大,流动性降低,容易堆积于钢筋周围而影响了拌和物的工作性。试验表明,通过添加矿物掺和料和复合高效减水剂,用 $510\sim 570\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的胶凝材料成功配制出了 LC30~LC50 的 SCLC。

3.2 砂率对 SCLC 特性的影响

SCLC 的砂率在 40%~55% 之间变化,通过改变混凝土拌和物的砂率,以拌和物干表观密度和混凝土强度为约束指标,来寻求最佳的砂率。在砂率较小条件下,混凝土拌和物的干表观密度较小,坍落度和扩展度也较小,60 min 后拌和物中的轻骨料大量集中于钢筋周围,拌和物流过流动仪 40 cm 所用时间 t_{40} 值较大;当砂率达到 50% 时,拌和物的坍落度和扩展度能够在较短的时间内达到较大值,此时,拌和物的 t_{40} 值为 15 s,30 min 和 60 min 时的 t_{40} 值分别为 22 s 和 46 s,但拌和物的干表观密度已增大至 $1\,762\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;砂率增大到 55% 时,轻骨料用量减少,拌和物粘性增大,干表观密度增大。

3.3 矿物掺和料对 SCLC 工作性的影响

配制 SCLC 所用的矿物掺和料为粉煤灰、矿渣 (SL) 和硅灰 (SF)。在粉煤灰和矿渣的掺量比为 1:1 时,矿渣对混凝土拌和物的工作性和力学性能影响不是很大,基本等同于单掺粉煤灰,只是 28 d 强度要略高于单掺粉煤灰;外掺硅灰,增加了拌和物的

粘性和强度,但掺量应在 4% 左右,最大不超过 6%。

采用粉煤灰掺量 $w(\text{FA})$ 分别为 10%、20%、30%、35%。外加剂为 HFMN,掺量为胶凝材料的 2%,砂率为 50%,结果如图 1 所示。随着粉煤灰掺量增加,拌和物坍落度损失率由 19.2% 减小到 20% 粉煤灰掺量时的 9% 和 30% 粉煤灰掺量时的 4%,坍落度 1 h 基本无损失,流动时间逐渐减小。粉煤灰掺量为 30% 时,拌和物质量均匀,粘聚性较好,能满足工程上对自密实混凝土工作性的要求,由于粉煤灰的“形态效应”和“微集料效应”,使得混凝土拌和物中颗粒级配更为合理。当粉煤灰用量达到 35% 时,拌和物扩展度变小,拌和物变得粘稠,延长了流动时间。

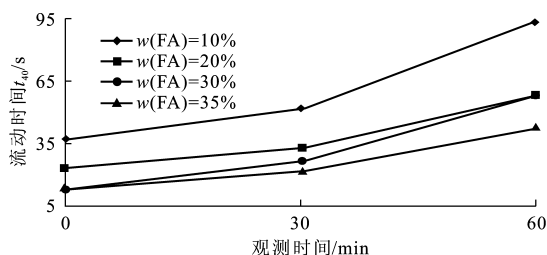


图 1 粉煤灰掺量对 t_{40} 的影响

Fig. 1 Influence of FA Content on t_{40}

试验中硅灰掺量 $w(\text{SF})$ 分别为 2%、4%、6%、8%。由图 2 可知:在硅灰掺量为 2% 时, t_{40} 值比不掺硅灰时小,但随着硅灰掺量的逐渐增大,特别是硅灰掺量大于 6% 时,混凝土拌和物的粘聚性明显增加,流动性开始变差,此时,拌和物不分层,轻骨料不上浮,但流动速度较慢;掺量达到 8% 时,在相同条件下拌和物变得非常粘稠, t_{40} 值明显增大。

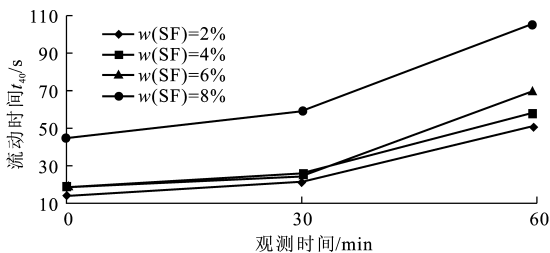


图 2 硅灰掺量对 t_{40} 的影响

Fig. 2 Influence of SF Content on t_{40}

3.4 外加剂品种、用量对 SCLC 工作性的影响

试验采用外加剂为萘系高效减水剂 (FDN)、蜜胺树脂系高效减水剂 (SM, 掺量为胶凝材料用量的 0.5%、0.75%、1.0%) 和 HFMN (掺量为胶凝材料用量的 0.5%、1.0%、1.5%)。HFMN 外加剂在具有较高减水率的条件下,能够防止轻骨料的上浮和漂移,保证 SCLC 拌和物均匀成型 (图 3)。

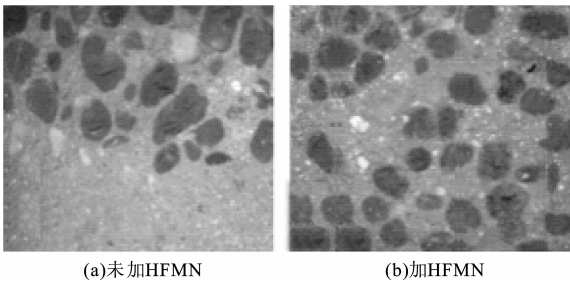


图 3 硬化 SCLC 断面

Fig. 3 Cross Section of Hardening SCLC

如图 4 所示,单掺 FDN 和 SM, SCLC 拌和物的坍落度和扩展度损失较大,在 30 min 后流动性明显降低,60 min 后混凝土拌和物大量堆积于钢筋周围而发生堵塞现象。采用 HFMN, SCLC 拌和物的 1 h 坍落度损失较小,拌和物流动性仍然较好,能够满足自密实混凝土工作性的要求。采用 HFMN 是 SCLC 具

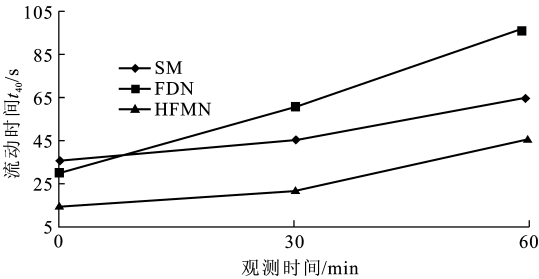


图 4 外加剂对 t_{40} 的影响

Fig. 4 Influence of Admixture on t_{40}

表 2 SCLC 最优配合比参数及部分性能指标

强度等级	各材料用量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)						干表观密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	砂率/%	工作性		不同龄期(d)下的 抗压强度/MPa		
	水	泥	粉煤灰	掺和料	轻骨料	水			坍落度/mm	扩展度/mm	3	7	28
LC30	369	144	788	369	170	7.70	1 747	50	270	650	23.0	29.0	36.9
LC40	392	153	772	363	173	8.18	1 762	50	265	628	29.8	35.6	48.4
LC50	415	162	757	358	175	8.66	1 779	50	265	620	38.0	42.0	58.2

5 结 语

采用合理的配合比设计,成功地研制出了具有 265 mm 左右的坍落度,600~650 mm 扩展度,干表观密度小于 $1\,800\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,强度等级为 LC30~LC50 的 SCLC,同时定量地了解配制 SCLC 的关键因素。

参考文献:

References:

[1] OKAMURA H. Self-compacting High Performance Concrete[J]. Concrete International,1997,19(7):50-54.
[2] 赵 筠. 自密实混凝土的研究和应用[J]. 混凝土, 2003,20(6):9-16.

有优良工作性的关键,HFMN 为氨基磷酸盐系、SM 和粘塑剂的复合品,分子结构中具有多种不同性质的极性基团,极大增加了分散减作用力的种类,并改善了外加剂与水泥的适应性。

3.5 轻骨料预吸水对 SCLC 工作性的影响

骨料不预吸水与预吸水拌和物的坍落度基本相同,但扩展度和流动时间有差异,这可能是因为拌和物用水量不同,在较短的时间内,轻骨料不可能完全吸收多用的水量,故显示出较好的工作性。用轻骨料预湿 0、1、24 h 条件下工作性能都能够满足自密实混凝土的要求,在较好施工条件下可以不提前对轻骨料进行预湿。

3.6 水泥裹浆法对 SCLC 工作性的影响

普通 SCLC 拌和物的坍落度和裹浆法的坍落度、扩展度基本相同,损失情况也基本相同。裹浆法处理后的 SCLC 拌和物流动性较好,且损失比较小,具有良好的工作性,但裹浆法施工工艺比较复杂,且裹浆后要放置一段时间,不易进行混凝土的质量控制。

4 SCLC 最优配合比参数及性能指标

由试验可知,通过改变混凝土组成材料的品种及比例,可以配制出不同强度等级的 SCLC;在此基础上,经过试配、调整,可得到 SCLC 最优配合比,见表 2。

ZHAO Jun. The Research and Application of Self-compacting Concrete[J]. Concrete,2003,20(6):9-16.
[3] 王振军. 自密实轻骨料高性能混凝土的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2004.
WANG Zhen-jun. Study on Self-compacting Light-Aggregate High Performance Concrete[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2004.
[4] SEMION Z, KOVLER K, BENTUR A. Influence of Cement Paste Matrix Properties on the Autogenous Curing of High-Performance Concrete[J]. Cement & Concrete Composites,2004,26(5):499-507.
[5] CHANG Ping-kun. An Approach to Optimizing Mix Design for Properties of High-Performance Concrete[J]. Cement & Concrete Research,2004,34(4):623-629.