doi:10.3969/j.issn.1002-3550.2014.05.026

C30 自密实混凝土的配合比设计

高德辉，宋小软，单文超，何世钦，朱忠锋
（北方工业大学 建筑工程学院，北京 100144）

摘 要： 采用北京石景山地区的原材料利用体积法进行 C30 自密实混凝土的初步配合比设计。通过试验明确所用胶凝材料和外加剂的相容性，进而确定外加剂的掺量。然后根据试配所表现的工作度进行配合比的调整及分析，最后考虑强度指标确定 C30 自密实混凝土的配合比。为了得到工作性能满足要求的自密实混凝土，具体介绍了对初步配合比的调整过程，为今后配制满足工作性能的自密实混凝土提供参考。

关键词： 自密实混凝土；流动性；扩展度；配合比设计
中图分类号： TU528.062 **文献标志码：** A **文章编号：** 1002-3550(2014)05-0093-04

Mix design of C30 self-compacting concrete

GAO Dehui, SONG Xiaoruan, SHAN Wenchao, HE Shiqin, ZHU Zhongfeng
(College of Architectural Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: Through the method of volume, the raw materials used in Shi jing shan district were used to prepare C30 self compacting concrete. The consistency of binding materials and admixture was confirmed by test, then mixing amount of admixture was determined. According to worked performance showed by stirring, the mix design was adjusted and analysed. Finally considering the strength index, the mix design of C30 self compacting concrete was determined. In order to get self-compacting concrete which meets the requirements of worked performance, this paper specifically described how to adjust initial mix proportion, and provided the reference for preparing C30 self compacting concrete which satisfied worked performance for the future.

Key words: self-compacting concrete; liquidity; extension degree; mix design

0 引言

自密实混凝土（Self-Consolidating Concrete 简称 SCC）是指在自身重力作用下，能够流动、密实，即使存在致密钢筋也能完全填充模板，同时获得很好均质性，并且不需要附加振动的混凝土。

自密实混凝土拥有众多优点：卓越的流动性和自填充性能，并且不离析、不泌水，能够保证混凝土良好的密实性；施工过程中无需振捣，避免了振捣对模板产生的磨损，并且没有振捣噪音，能够改善工作环境和安全性；成型后的混凝土有优异的耐久性，不会出现表面气泡或蜂窝麻面，不需要进行表面修补，能够改善混凝土的表面质量[1]。

自密实混凝土具有砂率较高、胶凝材料掺量较大、高效减水剂用量较大等特点，这些特点使得自密实混凝土与普通混凝土的配合比设计大不相同。再加上自密实混凝土对原材料的要求比较严格，各种原材料因地域性不同所表现出来的材料组成和性质有着天壤之别。所以，针对于某一地区的原材料性能合理地进行自密实混凝土的配合比设计有重要的意义[2]。

本研究通过试验测定所选用的北京石景山地区的各种原材料性能，进而使用体积法进行 C30 自密实混凝土的初步配合比设计，最后通过试验确定适用于本地区原材料的 C30 自密实混凝土配合比。

1 原材料选择

水泥：北京金隅牌 P·O 42.5，密度 3.1 g/cm^3。

粉煤灰：石景山 II 级粉煤灰，密度 2.3 g/cm^3。

细骨料：河砂，2 区中砂，表观密度 2 670 kg/m^3，细度模数为 2.4。

粗骨料：豆石，5~20 mm 连续级配，表观密度 2 700 kg/m^3。

外加剂：北京华实水木科技有限公司生产的聚羧酸系高性能减水剂。

水：石景山区自来水。

2 初步配合比设计

对各原材料的物理性质及其所需指标确定后，利用体积法进行初步配合比的设计[3]。

收稿日期： 2013-11-05
基金项目： 国家自然科学基金(51208006)；北京市青年拔尖人才培养项目(CIT&TCD201304003)；北京市自然科学基金(8122018)

万方数据

2.1 确定单位体积粗骨料体积用量(V_g)

根据单位体积粗骨料量与自密实等级关系(见表1),按照实际浇筑环境的要求确定要配制的混凝土自密实性能等级,此处选取V_g=0.32,即单位体积粗骨料体积用量为320 L,相应质量为810.0 kg。

表1 单位体积粗骨料用量

混凝土自密实性能等级	单位体积粗骨料绝对体积/m³
一级	0.28~0.30
二级	0.30~0.33
三级	0.32~0.35

2.2 确定单位体积用水量(V_w)、水粉比(W/P)和粉体体积(V_p)

考虑到配制C30等级的自密实混凝土过程中需要掺入粉煤灰,且粗细骨料粒型级配良好,根据《自密实混凝土技术手册》中"单位体积用水量一般宜在155~180 kg之间;水粉比根据粉体材料的种类和掺量有所不同,一般宜取0.80~1.15之间"的规定[3],选择单位体积用水量180 L和水粉比1.0。

$$V_p=V_w/(W/P)=180.0/1.0=180\ \text{L} \tag{1}$$

通过式(1)可计算得到粉体体积用量,则粉体体积比为0.18,介于推荐值0.16~0.23之间,浆体体积比为0.36,满足推荐值0.32~0.4。

2.3 确定含气量(V_a)

根据经验以及所使用外加剂的性能设定自密实混凝土的含气量为1.5%,即15 L/m³。

2.4 计算单位体积细骨料量(V_s)

$$V_g+V_p+V_w+V_a+V_s=1\ 000\ \text{L} \tag{2}$$

$$V_s=1\ 000-180-180-300-15=325\ \text{L} \tag{3}$$

由式(2)、(3)可得到细骨料体积用量为325 L,相应质量为867.0 kg,计算中未考虑细骨料中含有的少量粉体。

2.5 计算单位体积胶凝材料体积用量(V_{ce})

$$V_{ce}=V_p=180\ \text{L} \tag{4}$$

由于不准备使用惰性掺合料,所以单位体积胶凝材料体积用量可通过式(4)得到,为180 L。

2.6 计算水灰比(W/C)与理论水泥用量(M_{c0})

$$f_{cu,0}=f_{cu,k}+1.645\sigma=30+1.645\times5=38.23 \tag{5}$$

$$W/C=A\times f_{ce}/(f_{cu,0}+A\times B\times f_{ce})=0.48\times42.5/(38+0.48\times0.33\times42.5)=0.46 \tag{6}$$

按照《普通混凝土配合比设计规程》进行水灰比的设计计算[4],根据要求依据式(5)可确定设计强度$f_{cu,0}$=38.23 MPa,取f_{ce}=42.5 MPa(一般应取水泥28 d实测强度值,本试验中未测试水泥的实际强度,后面将通过配合比的调整来确定混凝土的目标强度),由式(6)计算得到水灰比W/C=0.46。已知用水量为180 kg,则可得水泥用量为391 kg,体积为126 L。

2.7 计算单位体积掺合料量和实际水泥用量(M_c)

通过式(5)计算得到的水灰比及已知用水量求得的单位水泥用量的体积为126 L,不能满足通过自密实性能计算出的粉体体积为180 L的要求。若使用惰性掺合料则可以直接加入54 L来补充粉体数量的不足。在没有惰性掺合料的情况下,可采用活性矿物掺合料来补充粉体数量的不足。本试验采用粉煤灰,不仅可以大幅度改善配制的混凝土的长期性和耐久性从而延长结构的使用寿命,而且粉煤灰的利用能够带来巨大的社会效益和经济效益[5]。综合考虑混凝土的强度要求和粉煤灰性能,可采用超量取代的方法[6]。超量取代系数为1.5,设取代水泥率为X,可根据式(7)计算出实际水泥质量为227 kg,粉煤灰掺入量为246 kg,体积分别为73、107 L。

$$\begin{cases}\dfrac{M_{c0}\times(1-X)}{\rho_c}+\dfrac{M_{c0}\times X\times1.5}{\rho_{fa}}=V_{ce}\\ \dfrac{391\times(1-X)}{3.1}+\dfrac{91\times X\times1.5}{2.3}=180\\ X=42\%\\ M_c=391\times(1-42\%)=227\ \text{kg}\\ M_{fa}=391\times42\%\times1.5=246\ \text{kg}\end{cases} \tag{7}$$

式中:M_{fa}、ρ_c、ρ_{fa}——实际粉煤灰用量、水泥密度、粉煤灰密度。

2.8 计算水胶比(W/M_{ce})

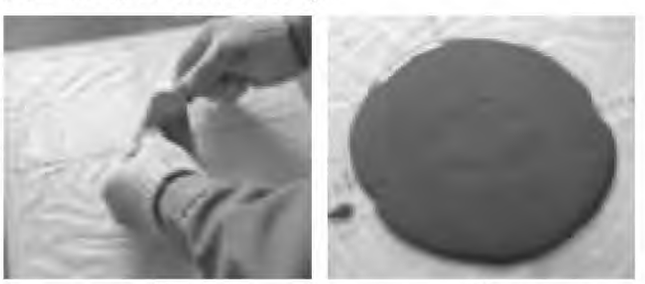
$$W/M_{ce}=W/(M_c+M_{fa})=180/(227+246)=0.38 \tag{8}$$

式中:W、M_{ce}——单位体积用水量、单位体积胶凝材料用量。

在已经确定的各种材料用量的基础上通过式(8)可计算出所设计配合比的水胶比为0.38。

2.9 外加剂用量的确定

为了明确使用的减水剂和水泥的相容性,采用微型坍落度仪法测定水泥净浆流动度(如图1所示)。按GB/T 8077—2000《混凝土外加剂匀质性试验方法》规定,取300 g水泥、87 g水、5 g减水剂(1.7%)进行试验[7],在玻璃板上测定的水泥净浆的扩展度为220 mm,小于标准规定的240 mm,由此可知选用的水泥和减水剂相容性一般。若采用相容性不良好的减水剂,其用量必须增加,一般高效减水剂的价格较高,最终将会增加自密实混凝土的成本。因此,在条件允许的情况下,建议可以选择相容性较好的减水剂。高校减水剂的用量按经验值一般取粉体质量的0.5%~1.5%。此处按试配经验暂取1.7%,即8.0 kg。



(a) (b)

图1 水泥净浆流动度试验

3 配合比的调整及分析

按上述所得初步配合比进行试配,结果显示按此配合比配制的自密实混凝土工作性能不太理想(坍落度扩展度550 mm)且黏性较大(如图2所示)。一般,此种情况下应首

万方数据

先考虑增加减水剂的掺量而不是增加水的掺量。虽然增加水的掺量可以较明显的改善工作性能，但是随着水掺量的增加水灰比将变大，混凝土强度将大幅降低。加入减水剂可以在保证强度的前提下改善自密实混凝土的工作性能。试验中，在加入适量减水剂后满足了工作性能的要求但是又出现了离析泌水现象，产生原因可能是粉体用量过少、砂用量过多导致的屈服极限增大，流动性能不佳，所以再次通过降低砂率增加粉体用量对初步配合比进行调配[3]。砂率对于自密实混凝土拌合物的工作性影响很大：砂率过大，可能无法保证混凝土拌合物的流动性；砂率过小，混凝土拌合物的黏聚性和稳定性可能会达不到要求[8]。砂浆在粗骨料间起润滑和滚珠作用可以减少粗骨料之间的摩擦。在一定范围内随着砂率的增大，混凝土拌合物的流动性提高[9]，国内外很多资料表明砂率在 42%~55%范围内时自密实混凝土的流动性较好。调配过程及结果见表 2 所示。

由表 2 可知：配合比 2 和 3 相比粉煤灰替代量由 75%降到 70%，两种配合比下 28 d 强度仅相差 0.9 MPa，由于粉煤灰的掺入会使混凝土的后期强度增加，所以配合比 2 和 3 的混凝土强度终将相差不大。但随着粉煤灰掺量由 75%降至 70%，其坍落度扩展度由 630 mm 提升到 650 mm，可知在一定范围内粉煤灰掺量的降低改善了混凝土的工作性能。配合比 5 和 6 相比减水剂由 1.6%增加到 1.8%（此处为减水剂质量占粉体质量的百分比），其 28 d 强度仅相差 0.4 MPa，而其坍落度扩展度由 650 mm 增加到 710 mm，说明少量的增加减水剂对混凝土的强度影响不大却可以大大地改善自密实混凝土的工作性能。

表 2　调配中所采用的各组配合比及其拌合物工作性能

序号	材料用量 /(kg/m³)						扩展度	28 d 强度
	水泥	粉煤灰	石子	砂子	水	减水剂	/mm	/MPa
1	227	246	810	867	180	8	550	–
2	142	428	810	710	200	11	630	26.4
3	170	400	810	710	200	11	650	27.3
4	210	360	810	710	200	12	630	35.4
5	210	360	870	650	200	9	650	32.6
6	210	360	870	650	200	10	710	32.2

图 2　配合比 1 混凝土的坍落度扩展度

综合考虑工作性能和强度指标，最终择选第 6 组配合比作为此次 C30 自密实混凝土的最终配合比，具体指标见表 3、4 所示，图 3 所示为此组拌合物的坍落度扩展度，达到了 710 mm。

表 3　采用北京市石景山区原材料配制的 C30 自密实混凝土的最终配合比

自密实混凝土强度等级	自密实性能等级	坍落度扩展度目标值 /mm	水胶比（质量）	水粉比（体积）	含气量 /%	粗骨料最大粒径 /mm	单位体积粗骨料绝对体积 /m³
C30	一级	700	0.35	0.89	1.5	20	0.322

表 4　北京市石景山区原材料各项性能

单位体积材料用量	体积用量 /L	质量用量 /kg
水 W	200	200
水泥 C	68	210
粉煤灰 F	157	360
细骨料 S	243	650
粗骨料 G	322	870
高效减水剂	1.5%	10

图 3　配合比 6 混凝土的坍落度扩展度

4　结语

与以强度为首要目标来进行配合比设计的普通混凝土不同，自密实混凝土是以获得较优越的工作性能作为配合比设计的首要目标，在此基础之上，再考虑强度是否能达到设计要求。在普通混凝土的设计方法中[10]，仅注重对强度的计算，故而水胶比和水灰比这两个指标应用较为广泛，但是对于混凝土的工作性能而言起决定作用的一般是其材料体积构成。所以，对于更加注重工作性能的自密实混凝土，建议最好从体积入手进行配合比设计，同时兼顾其强度指标。对于自密实混凝土高效减水剂的掺量的确定，建议在配合比设计前可以进行水泥净浆流动性试验来明确所用胶凝材料与减水剂的相容性。

参考文献：

[1] 周虎，安雪晖，金锋.低水泥用量自密实混凝土配合比设计试验研究[J].混凝土，2005(1).

[2] 陈波，刘清，何原野.乌鲁木齐地区 C30 自密实混凝土配合比正交试验研究[J].工业建筑，2013(3)：93-96.

[3] 安雪晖，黄绵松，大内雅博，等.自密实混凝土技术手册[M].北京：中国水利水电出版社，知识产权出版社，2008.

[4] JGJ 55—2011，普通混凝土配合比设计规程[S].北京：中国建筑工业出版社.

[5] 覃维祖.粉煤灰在混凝土中的应用[J].粉煤灰综合利用，2000(3)：1-7.

[6] 张凤生.粉煤灰混凝土超量取代法配合比设计[J].混凝土与水泥

万方数据

制品,1985(3):13-14.
[7] GB/T 8077—2000,混凝土外加剂匀质性试验方法[S].北京:中国标准出版社.
[8] 张晓平,赵学明,张浦阳.低强度自密实混凝土优化配合比优化配合比试验研究[J].混凝土,2013(5):124-126.
[9] 徐杰,叶燕华,朱铁梅,等.砂率对自密实混凝土工作性能的影响[J].混凝土,2013(4):101-115.
[10]丁威,等.JGJ 55—2011《普通混凝土配合比设计规程》简介[J].混凝土世界,2011(12):76-79.

作者简介: 高德辉(1987-),男,硕士研究生,研究方向:混凝土结构。
联系地址: 北京市石景山区晋元庄路5号 北方工业大学建筑工程学院(100144)
联系电话: 13811446243

·上接第92页

由表5中表面张力数据可知,减缩型聚羧酸减水剂SRPCE的表面张力相比PCE有明显的降低,通用型聚羧酸减水剂PCE表面张力为54.6×10^{-3} N/m,而减缩型聚羧酸减水剂SRPCE样品的表面张力在35×10^{-3} N/m左右。

混凝土的干燥收缩理论中最有说服力的是毛细管张力学说,该学说认为,混凝土的收缩与其形成的毛细管中水的凹液面有密切关系。由于毛细管中水分的蒸发,其内部的凹液面下降,对应的曲率半径增大,以致表面张力增加,对毛细管壁产生附加压力:

$$\Delta P=\frac{2\sigma\cdot\cos\theta}{\gamma} \quad (1)$$

式中:ΔP——弯曲液体表面下的附加压力;

σ——毛细孔水表面张力;

θ——水与毛细孔壁的接触角;

γ——毛细孔半径。

可见,随着毛细孔中水分开始蒸发,水泥石处于不断增强的压缩状态中,导致了水泥石的收缩。降低附加压力ΔP的方法是降低孔隙水的表面张力σ。可见,降低表面张力是减小收缩的有效途径之一。

3 结论

(1)与空白样相比,掺加减缩型聚羧酸减水剂SRPCE的28 d水泥砂浆干燥收缩率降低了19.7%,与普通聚羧酸减水剂PCE相比,掺加SRPCE的28 d水泥砂浆干燥收缩率降低了6.2%,可见,SRPCE有较好的减少水泥胶砂干燥收缩的效果。

(2)通用型聚羧酸减水剂PCE在前期有增大水泥胶砂自由收缩的趋势,在2、3、7 d的水泥胶砂自由收缩率均大于空白样,后期逐渐降低了水泥胶砂的自由收缩率。掺加减缩型聚羧酸减水剂SRPCE,一开始的水泥胶砂自由收缩率就低于空白样,28 d时比空白样降低了15.8%,比通用型聚羧酸减水剂PCE降低了9.6%,可见,SRPCE在整个龄期内均减小水泥胶砂的自由收缩率且减缩效果良好。

(3)减缩型聚羧酸减水剂SRPCE与水泥的相容性良好,且对水泥分散性效果明显。

(4)减缩型聚羧酸减水剂SRPCE的表面张力相比PCE有明显的降低,通用型聚羧酸减水剂PCE表面张力为54.6×10^{-3} N/m,而减缩型聚羧酸减水剂SRPCE样品的表面张力在35×10^{-3} N/m左右。降低表面张力是减小收缩的有效途径之一。

参考文献:

[1] 王子明,王亚丽.混凝土高效减水剂[M].北京:化学工业出版社,2011:1-2.
[2] 钱晓倩,詹树林,方明晖,等.减水剂对混凝土收缩和裂缝的负影响[J].铁道科学与工程学报,2004,1(2):19-25.
[3] 刘丽霞,杨长辉.掺聚羧酸减水剂的高强混凝土塑性收缩与抗裂性能研究[J].混凝土,2009(10):80-82.
[4] 孙振平,罗琼,吴小琴,等.一种具有减缩功能的聚羧酸系减水剂、合成方法及使用方法:中国,201010102093.0[P].2010-07-28.
[5] 缪昌文,冉千平,刘加平,等.减缩、抗裂型接枝共聚物混凝土超塑化剂及其制备方法:中国,200610040089.X[P].2006-10-11.
[6] Mitsuo Kinoshita,Kazuhide Saitou,Shinji Tamaki,et al.Multi-functional admixtures for hydraulic cement compositions:US20050096-413A1[P].
[7] Kazumasa Inoue,Toshio Yonezawa,Kenrou Mitsui,et al.Multi-functional admixtures for concrete and concrete using same:US200501-24737A1[P].

作者简介: 路芳(1987-),女,研究生,工程师,研究方向:混凝土外加剂。
联系地址: 北京市顺义区顺平路沙岭段甲2号(101309)
联系电话: 15201226121

行业资讯 **工信部已经和住建部已确定绿色建材推广机制 高性能混凝土列入**

长期以来,建材工业作为我国工业能源消耗和二氧化碳排放大户,行业自身面临着技术进步、节能减排、淘汰落后、化解过剩等诸多压力。因此发展绿色建材的呼声不断高涨。

2013年我国出台了《绿色建筑行动方案》,方案明确提出到2015年前要新建10亿m^2的绿色建筑,要改建6亿m^2以上的既有建筑,以此测算,至少可带动2万亿元绿色建材消费,这为绿色建材的发展提供了可观的市场需求。目前,工信部和住建部成立了绿色建材推广和应用部际协调机制。同时,绿色建材主要品种的技术要求也在积极研究。

据了解,下一步工信部和住建部将尽快出台《绿色建材发展行动计划》和《绿色建材评价标识管理办法》,制定首批推广的绿色建材产品技术要求并开展绿色评价工作,发布绿色建材产品目录。继续加强与有关部门和重点省区的合作,支持重点企业的技术进步与技术改造等工作。

万方数据