

自密实混凝土配合比设计方法探讨 ——以2012年第二届全国大学生混凝土材料设计大赛为例

庞超明, 张 萍, 秦鸿根, 张亚梅

(东南大学材料科学与工程学院, 江苏省土木工程材料重点实验室, 江苏 南京 211189)

摘要:结合以自密实混凝土配合比为主题的2012年全国大学生混凝土材料设计大赛,文章对配合比设计和实验方面存在的问题进行了探讨,提出在实验教学过程中,实验设计可综合应用自密实混凝土配合比设计不同标准,并注意让学生掌握综合运用各种知识和技能的能力,养成良好的实验习惯,重视实验细节操作的规范性和严谨性。文章最后还对大赛中学生设计的60组配合比进行分析,为提高科研结果的准确性及实验教学水平提供参考。

关键词:自密实混凝土;配合比设计;全国大学生大赛;实验教学

中图分类号:TV3-4

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2013)03-0132-07

混凝土是由胶凝材料(如水泥)和各种矿物掺合料、骨料(如砂石)及水按适当比例配合,拌合形成混合物,经过一定时间的凝结硬化,形成具有力学性能的人造石材。自密实混凝土(Self-compacting concrete, SCC)拌合物具有很高的流动性而不离析、不泌水,能不经振捣或微振捣而自动流平,并充满模型和包裹钢筋。配合比设计是混凝土材料科学中最基本也是最重要的问题。SCC对混凝土拌合物的性能要求较高,配合比设计方法也更为复杂,且拌合物性能可以在短时间内进行测试。2012年5月在东南大学举办的第二届全国大学生混凝土材料设计大赛,将主题设为C40自密实混凝土的设计。大赛分三个环节:混凝土相关知识的笔试(占总分的40%)、指定原材料、给定设计目标进行混凝土配合比设计(占总分的21%)和实验试拌(占总分的39%),最后根据三个环节的得分进行综合成绩的评定。配合比设计需要结合理论和实践经验,尤其对实践经验的要求较高;试拌主要考核学生操作的规范性、严谨性和熟练程度;结合设计和试拌情况,还需要考核在实验现场对配合比的调整能力、测试结果与设计的相符性等指标。由于目前配合比设计中的理论设计本身也来源于实践经验,来源于大量实验数据的回归和统计分析,因此大赛可较好地反映学生的综合设计能力和创新能力。本文主要探讨自密实混凝土的配合比设计方法,并结合此次全国大学生自密实混凝土配合比设计大赛情况,对学生在配合比设计和实验方面存在的问题进行分析,为提高科研结果的准确性及实验教学水平提供参考。

收稿日期:2013-01-15

作者简介:庞超明(1977-),女,东南大学材料科学与工程学院高级工程师,建筑材料实验室主任,博士,主要从事先进土木工程材料的研究,(E-mail) pangchao@seu.edu.cn。

一、自密实混凝土配合比设计不同标准的比较

由于 SCC 本身的良好性能及设计技术的相对成熟,在欧洲和日本,其预制构件有一半以上使用的是 SCC。目前 SCC 在国内的应用也极其广泛,如澳门观光塔、厦门南湖明珠、众多高速公路特大桥的钢管等结构大量采用微膨胀 SCC,沈阳远吉大厦工程采用泵送 C100 低收缩、低徐变、高弹模的 SCC^[1]。目前 SCC 的配合比设计主要有三个标准:JGJ/T 283 - 2012^[2], CECS 203 - 2006^[3], CCES 02 - 2004^[4]。各标准设计过程各有特色,设计时互有借鉴和验证。其共同点为:各标准中仅配制强度 $f_{cu,o}$ 的计算方法相同,依据 JGJ 55 - 2011 计算;另外使用除粉煤灰和矿渣微粉外的其他矿物掺合料如硅灰等时,未给定影响系数。

JGJ/T 283 采用绝对体积法,计算步骤简单易懂,给出了水胶比计算公式,用水量由计算得出,具体设计步骤为:

(1) 根据每立方米混凝土中粗骨料的绝对体积 ($0.28 \sim 0.35 \text{ m}^3$) 和表观密度计算粗骨料质量;

(2) 总体积减去粗骨料体积为砂浆体积。根据砂浆中砂的体积分数 ($0.42 \sim 0.45$) 计算每立方米混凝土中砂的绝对体积,并根据砂的表观密度计算砂的质量;

(3) 砂浆体积减去砂子体积可计算浆体体积,根据掺合料的掺量计算粉料的表观密度,其中矿物掺合料总掺量不宜小于 20%。计算水胶比,其值宜小于 0.45。

$$\frac{m_w}{m_b} = \frac{0.42 \cdot f_{ce} (1 - \beta + \beta \cdot \gamma)}{f_{cu,o} + 1.2} \quad (\text{a})$$

式中: m_w/m_b 为水胶比; f_{ce} 为水泥 28d 实测强度,如无实测值,一般取强度等级对应值乘以富余系数 1.1; β 为掺合料掺量; γ 为矿物掺合料的胶凝系

数,粉煤灰 ($\beta \leq 0.3$, 以下简称为 FA) 取 0.4, 矿渣微粉 ($\beta \leq 0.4$, 以下简称为 SI) 取 0.9; $f_{cu,o}$ 为混凝土配制强度。

(4) 根据浆体体积,水胶比,扣除含气量,计算可得胶凝材料总量和各种胶凝材料分量,其中胶凝材料范围宜为 $400 \sim 550 \text{ kg/m}^3$;

(5) 根据水胶比和胶凝材料用量,确定用水量;

(6) 根据外加剂掺量和胶凝材料总量,计算外加剂用量。

可以看出该方法中,粉煤灰与矿渣微粉的胶凝系数与掺量无关,取值分别为 0.4 和 0.9,粉煤灰的取值系数明显偏低,导致计算水胶比偏低;用水量的计算未考虑外加剂减水率及品种等性能的影响,现场调配时只能通过不断调节外加剂掺量来实现对流动性的控制。一旦计算用水量与实际用水量产生偏差,整个配合比调整计算量很大。

CCES 02 的设计方法和步骤与 JGJ/T 283 大致相同,区别在于:计算粗骨料质量采用松散体积 ($0.5 \sim 0.6 \text{ m}^3$) 和堆积密度计算。水胶比计算公式参照 JGJ 55 - 2011^[5], 使用碎石的混凝土水胶比计算式为:

$$\frac{m_w}{m_b} = \frac{0.53 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_s \cdot f_{ce}}{f_{cu,o} + 0.53 \times 0.20 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_s \cdot f_{ce}} \quad (\text{b})$$

式中: γ_f, γ_s 分别为掺合料粉煤灰和矿渣微粉的影响系数,其余参数含义与公式 (a) 相同。 γ_f, γ_s 取值与掺量有关,如表 1 所示,对于常用的 II 级以上粉煤灰和 S95 级矿渣,均取上限值;笔者认为,采用 I 级灰时,粉煤灰影响系数取值仍然略微偏低 0.05 ~ 0.10。水泥强度如无实测值,水泥等级不同,则富余系数取值不同,水泥强度等级 32.5 级时取 1.12, 42.5 级时取 1.16, 52.5 级时取 1.1, 其取值系数偏高。

表 1 粉煤灰和矿渣微粉的影响系数

掺量	0	10	20	30	40	50
FA 影响系数 γ_f 取值	1.00	0.85 ~ 0.95	0.75 ~ 0.85	0.65 ~ 0.75	0.55 ~ 0.65	-
SI 影响系数 γ_s 取值	1.00	1.00	0.95 ~ 1.00	0.90 ~ 1.00	0.80 ~ 0.90	0.70 ~ 0.85

砂浆中体积分数范围略窄,为 $0.42 \sim 0.44$ 。胶凝材料允许范围为 $450 \sim 550 \text{ kg/m}^3$, 下限比 JGJ/T 283 略高,不利于 C40 及以下中低强度自密实混凝土的设计。最大单位用水量不宜超过 200 kg/m^3 , 一般取值低于 190 kg/m^3 , 当使用性能优异的外加剂时,甚至可低至 140 kg/m^3 。

CECS 203 自密实混凝土的配合比设计与上述

两者均有较大的差异,其步骤为:

(1) 与 JGJ/T 283 相同,根据每立方米混凝土中粗骨料的绝对体积 ($0.28 \sim 0.35 \text{ m}^3$) 和表观密度计算粗骨料质量;

(2) 选择单位用水量 ($155 \sim 180 \text{ kg/m}^3$) 和水粉比 ($0.8 \sim 1.15 \text{ m}^3$), 从而可以得出单位粉体体积 ($0.16 \sim 0.23 \text{ m}^3$) 和浆体体积 ($0.32 \sim 0.40 \text{ m}^3$);

(3) 确定含气量即可确定砂子的体积含量, 根据表观密度可计算砂子用量;

(4) 根据 JGJ55 确定水胶比, 从而确定理论胶凝材料总量;

(5) 根据胶凝材料总质量和体积计算掺合料用量, 并可计算实际水胶比;

(6) 根据外加剂掺量和粉料总量, 计算外加剂用量。

CECS 203 的优势在于给出了很多关键参数的取值范围, 有利于计算结果的复核, 但对配合比设计的经验要求较高, 如用水量、水粉比均需依据经验选择。水粉比的选择会在一定程度上限制水胶比的范围, 可通过先计算水胶比, 然后根据选择的用水量, 得出胶凝材料总量后, 再计算水粉比这样的方法来弥补, 且水粉比较低时, 可通过掺加惰性掺合料来弥补粉料。

综合以上分析可以看出, 自密实混凝土的配合比设计方法各有千秋, 因此, 设计时可以采用一种方法为主, 然后相互借鉴、验证或比较, 从而计算出更合理的配合比, 提高设计的科学性, 减少试拌次

数, 有效提高实验效率。如 JGJ/T 283 的方法没有水粉比、单位粉体体积这些参数, 但在采用该方法计算时, 可通过对计算结果中参数的分析, 并与 CECS 203 中这些参数的推荐范围进行对比, 验证计算结果的合理性; 同时还可以借鉴一些公开发表文献的研究成果, 如普通混凝土的配合比设计方法原则上不适用于 SCC; 又如 CC 配合比设计中已未出现砂率这个参数, 但砂率在 SCC 中的常用范围也有较多的研究成果^[6-7]可供借鉴。水胶比是决定混凝土强度和耐久性的关键参数, 但采用不同标准中水胶比计算公式, 所得结果差别甚大, 可见混凝土配合比设计的经验性非常强。如 C40 的自密实混凝土, 三种方法计算得到的实验室试配强度均为 48.2 MPa, 采用 42.5 级 P · II 水泥, 同时取实测值 50.5 MPa。由于掺合料影响系数的巨大差别, JGJ/T 283 掺合料的影响系数粉煤灰为 0.4, 矿渣微粉为 0.9, 而 JGJ 55 中, 当矿渣微粉掺量小于 25% 时, 影响系数均可取 1, 粉煤灰按表 1 取上限。计算不同掺合料掺量及比例不同时所得计算结果如表 2 所示。

表 2 采用不同方法计算所得 C40 混凝土的水胶比

	FA 掺量/%	0	10	15	20	25	30
	SI 掺量/%	0 ~ 25	10 ~ 25	10 ~ 25	10 ~ 25	10 ~ 25	10 ~ 30
JGJ 55 - 2011	m_w/m_b	0.5	0.47	0.44	0.42	0.4	0.37
JGJ 283 - 2012	m_w/m_b	0.42 ~ 0.43	0.39 ~ 0.40	0.38 ~ 0.39	0.37	0.35 ~ 0.36	0.34 ~ 0.35

显然, 根据 JGJ/T 283 计算的水胶比较低, 其最大差值达 0.08。随着粉煤灰掺量的增大, 水胶比的差别显著降低。在配合比设计时, 也可根据经验结合标准方法的计算结果进行选择。

展度为 660 ~ 750 mm, T50 要求 $\leq 10s$ 。粘聚性、保水性、抗离析性良好; 耐久性考虑广东某临海环境, 且经济性能最优。

P · II42.5R 水泥, 密度 3 010 kg/m³, 比表面积 360 m²/kg, 28d 抗压强度为 50.5 MPa。其余粉体材料性能如表 3 所示。

二、参赛学生在配合比设计和实验方面的情况

(一) 大赛设计要求及原材料性能

大赛的设计要求为 C40 自密实混凝土, 设计扩

表 3 掺合料性能

粉体名称	密度 (kg · m ⁻³)	比表面积 (m ² · kg ⁻²)	需水量(矿粉为 流动度比)/%	活性指数/%	
				7d	28d
I 级粉煤灰(FA)	2 580	417	88	75.5	87.6
S95 级矿渣微粉(SL)	2 580	416	101	85.2	98.4
磨细石灰石粉(LS)	2 690	389	102	70.7	73.2
硅灰(Si)	2 620	22 205	126	125.4	128.6

细度模数为 2.6 的中砂, 表观密度为 2 610 kg/m³。表观密度分别为 2 740 kg/m³ 和 2 770 kg/m³ 的 10 ~ 20 mm 和 5 ~ 10 mm 的粒形良好的碎

石, 按从 8:2 到 4:6 比例混合后其堆积密度在 1 510 kg/m³ ~ 1 540 kg/m³ 之间。苏博特产 JM - PCA 聚羧酸外加剂, 固含量 22%, 掺量 1% 时的减水率为

28.2%,含气量为3.5%,泌水率比为36%,7d和28d的抗压强度比分别为178%和156%。

全国58所高校的288名学生分成96个组参加了此次比赛,其成绩分布如表4所示。

(二)配合比设计及实验中存在的问题

表4 大赛成绩分布

等级		A	B	C	D	E	F
配合比设计 (总分21)	分值	≥17	14.5~17	12.5~14.5	10.5~12.5	8.5~10.5	<8.5
	比例%	3.1	24.0	34.4	21.9	7.3	9.4
实践操作 (总分39)	分值	≥31.5	27.5~31.5	23.5~27.5	19.5~23.5	15.5~19.5	<15.5
	比例%	54.2	28.1	13.5	2.1	1.0	1.0

比赛中,有72个组依据JGJ/T 283标准,有19个组依据CECS 203标准,其余各组依据JGJ 55标准或其他方法进行设计。难能可贵的是,有部分同学对各标准进行了综合运用,有4个组综合了两种标准进行设计;在自密实混凝土配合比设计中,虽然没有砂率这个参数的计算,但不可否认,砂率仍然有重要的参考价值,其中有26个组计算了砂率;另外有19个组依据JGJ/T 283计算后,结合CECS 203计算了水粉比、粉料体积等关键参数的范围,并且对其合理范围进行了评估。也有部分同学在计算水胶比时,未采用实际水泥强度,而根据经验采用富余系数的方式。

参赛学生在配合比设计中存在的问题主要体现在:

(1)很多同学对粉煤灰和矿渣微粉等矿物掺合料的选择依据未作合理的说明。

(2)关于原材料的含水量扣除问题,有67个组的同学对配合比设计中原材料的含水率扣除方法不了解。一般而言,水泥、粉煤灰和矿渣微粉等粉料在正常情况下总是有较低的含水率,设计中一般不扣除粉料的含水量。JGJ 55规定,配合比设计所采用的细骨料含水率应小于0.5%,粗骨料应小于0.2%。因此超过此含水率时,配合比试拌时应扣除砂石中的含水率。配合比设计标准中未明确是否应扣除外加剂的含水率,但水剂的外加剂中含水率一般较高,达到70~80%,计算时可不扣除,但试拌时一般需扣除外加剂的含水量。

(3)在配合比的调整过程中,仅有17个组的同学正确通过外加剂掺量调整了配合比,多数同学的调整方法出现问题,如有1组同学调整不成功未完成实验;在坍落扩展度偏大的情况下,有5个组的同学通过降低水泥浆含量(部分同学同时增加砂石含

量)进一步调整配合比;有6个组的同学通过增加砂石含量来调整配合比,但是结果仍然超过设计要求。有21个组的同学未注意保持水胶比,通过直接加减水的方式,甚至一边减水一边增加胶凝材料等明显不正确的方式调整配合比。

(4)在最终调整的配合比中,有56个组的同学的坍落扩展度满足设计要求,其中仅有34个组的同学拌合的混凝土拌合物新拌性能良好,基本无离析,无泌水,中央无堆台,基本达到了设计的要求。有2个组同学应进行调整但未进行调整。在进行调整的各組同学中,另有3个组同学未记录调整的方式和结果。

实验试拌过程中主要存在以下问题:

(1)未形成良好的实验习惯。如修改不规范,未正确杠改,观察不细致,记录不完整,未记录环境条件,未进行粘聚性和保水性等实验现象的观察和记录。大赛中多达58个组的同学未查询或记录环境条件,甚至还有3个组的同学未记录关键测试结果,仅有不到9个组的同学进行了性能的描述。

(2)实验操作不够规范严谨。实验过程中对众多可能影响实验结果的细节操作不规范。如有43个组同学拌和时凹槽漏浆,可能导致拌合水量的流失,从而使水胶比产生误差;有24个组的同学测量表观密度时筒外壁未擦干净,可能引起重量的误差,从而导致密度测量不准确;测量扩展度提筒时周围混凝土未清除干净,可能阻止混凝土流动,从而影响扩展直径等。

在实验教学中,目前众多高校都在走综合性、设计性实验的道路,开设了各种模式的综合性实验^[8-10],同时组织各种形式的比赛,如东南大学每年开展的材料力学实验竞赛、结构设计竞赛、结构创新竞赛等学科竞赛活动,美国加州大学伯克利分校土

木工程专业学生每年可参加3项全国性的大赛,即混凝土划艇竞赛、钢桥竞赛及施工管理竞赛^[11]。在实验教学和管理过程中,要注意培养学生合理运用标准、综合应用各种知识和技能的能力,以提高科研结果的准确性及实验的创新性。同时引导学生养成良好的实验习惯,做到操作严谨规范,观察细致,记录完整。

三、对大赛中学生配合比设计的分析

根据设计要求,C40混凝土的28天强度应在48.2MPa,本文对其中实测28d强度 ≥ 47.5 MPa的由学生设计的60组配合比进行分析,其配合比及试验结果见表5。

配合比设计中由于多数同学对含水率概念模糊,用水量按调整后反推计算得出。一般而言,单位用水量越低,其胶凝材料总量越低,经济性最优。总体而言,控制单位用水量是控制混凝土新拌性能的关键因素,同时也可较大地提高混凝土的经济性指标。上述配合比中,单方用水量最高达201.5 kg/m³,最低为144 kg/m³,显然差别很大。水粉比W/P在0.82~1.10,与标准范围一致。单位用水量越大,流动性并非越好,反而可能出现泌水。可以看出在180 kg/m³以下的各组混凝土新拌性能反而相对较好,部分配合比单位用水量虽然较低,但其新拌性能仍然良好,因此,CECS 203推荐的单位用水量的下限可降低至140 kg/m³或145 kg/m³。分析其中20组新拌性能较好、无离析和泌水的混凝土,发现W/P在0.90~1.05,砂率为45.0%~50.5%。一般而言,水粉比越低,出现离析和泌水的概率越低,太低则流动性不够。砂率一般不低于45%。石子的绝对体积分数在0.30~0.34之间,砂在砂浆中的体积分数在0.42~0.48之间,部分大于标准规定的0.45,但工作性仍然良好。总体而言,自密实混凝土的配合比设计应适当提高砂的体积分数,有利于降低浆体含量,从而减少单位用水量,降低离析和泌水,提高强度和经济性,其值最大可达0.48。

将28d强度分为47.5~49.9 MPa、50.0~54.9 MPa、55.0~59.9 MPa、 ≥ 60 MPa四个区间,在同一强度区间内,水胶比差别很大。其中有10组配合比强度在47.5~49.9 MPa范围,对应的水胶比范围为0.33~0.40;17组强度在50.0 MPa~54.9 MPa范围内,对应的水胶比范围为0.32~0.39;20组位于区间55.0~59.9 MPa范围内,对应的水胶比范围为0.

29~0.39;12组 ≥ 60 MPa,对应的水胶比范围为0.31~0.39。可见对于自密实混凝土,影响强度的因素非常多;水胶比不是决定混凝土的唯一因素;加少量的磨细石粉,可以提高自密实混凝土的均匀性,不会降低混凝土的抗压强度。

实验研究不仅要考虑性能,同时还要考虑经济最优化,并尽可能地提高经济性指标。所有配合比中,单方价格最低在278元/m³,最高达384元/m³,差距非常大,其中单方价格 < 330 元/m³有40组。由于一般混凝土使用量非常大,因此每立方米节约1元,就可大大降低其成本。经济性最优,同时又能达到工作性良好,强度满足设计要求的,以表5中组号为1-4,4-16,1-24,1-12的配合比最佳。其抗压强度分别为55.2 MPa、54.5 MPa、47.9 MPa、58.9 MPa,单价分别为278元/m³、283元/m³、286元/m³和298元/m³。上述组号的前三组配合比砂在砂浆中的体积分数为0.46~0.48,均超过标准最大值0.45。掺合料掺量从44%~60%,水胶比在0.33~0.37。可见,要满足性能要求同时实现经济最优化,必须进行合理的设计配合比。

四、结语

配合比设计是混凝土材料科学中最基本且最重要的问题,其中自密实混凝土对拌合物性能要求更高,配合比设计也更加复杂,因此,配合比设计中应注意以下一些问题:

(1)自密实混凝土配合比设计应综合应用不同标准,并相互借鉴和验证,以提高设计的科学合理性和实验工作效率。

(2)实验教学和管理过程中,要注意综合应用多种知识和技能,提高实验的科学性和创新水平;同时养成良好的实验习惯,数据修改方式应规范,观察仔细,记录完整,还要特别注意实验过程细节操作的规范性和严谨性。

(3)自密实混凝土配合比设计过程中,要注意掺合料的合理选择、含水量的正确扣除和试拌时配合比的正确调整等。

(4)由于外加剂技术的发展,CECS 203推荐的单位用水量范围的下限可进一步降低至140 kg/m³或145 kg/m³。自密实混凝土的砂率不宜低于45%;可适当提高砂在砂浆中的体积分数,最大可达0.48,从而提高强度和经济性。

(5)自密实混凝土配合比设计中,影响强度的因

素非常多,在满足性能要求的同时,要实现经济最优化,就必须有合理的配合比设计。

表5 60组学生设计配合比及其性能

No	设计依据	水 kg/m ³	胶材总量 kg/m ³	A /%	水胶比 W/B	FA 掺量 /%	SL 掺量 /%	LS 或 Si 掺量 /%	砂率 Sp/%	水粉比 W/P	碎石 体积	砂体积 分数	单价 元/m ³	坍落扩展/ mm	T ₅₀ /s	28d 强度 MPa	新拌性 能描述	
1	2-6	CECS 203	173.2	451.9	1.02	0.39	0.24	0.28		49.5	1.09	0.31	0.47	289.7	762	8.2	47.5	小堆,微泌水
2	2-21	JGJ 283	176.6	484.5	1.14	0.37	0.15	0.20		47.6	1.05	0.32	0.45	328.0	755	3.8	47.7	好,无离析泌水
3	1-24	CECS 203	161	460.3	0.58	0.38	0.28	0.09	0.06(1S)	50.5	0.99	0.31	0.48	286.2	700	4.8	47.9	好,无离析泌水
4	2-7	CECS 203	154.8	483.3	0.79	0.41	0.16	0.12	0.20(1S)	51.2	0.91	0.29	0.49	295.3	670	5.4	48.0	微堆
5	3-17	JGJ 283	180	496.0	1.31	0.37	0.25	0.20		47.1	1.03	0.33	0.45	325.0	795	5.5	48.5	堆台、泌水
6	3-12	JGJ 283	188	516.8	1.00	0.37	0.20	0.10		47.1	1.05	0.32	0.44	341.4	710	8.0	48.9	堆台,泌水,非圆角
7	3-21	JGJ 283	178	498.0	1.00	0.37	0.25	0.15		44.8	1.02	0.33	0.42	318.5	740	3.9	49.0	堆台、泌水,非圆角
8	3-11	JGJ 283	174	522.0	1.14	0.36	0.33	0.10	0.05(1S)	47.6	0.94	0.32	0.45	321.6	670	2.6	49.0	堆台
9	1-11	JGJ 283	165.9	508.0	1.00	0.33	0.25	0.20		48.8	0.93	0.31	0.45	318.6	775	3.5	49.2	好,无离析泌水
10	2-14	JGJ 283	163.9	537.1	0.82	0.35	0.18	0.12	0.10(1S)	47.6	0.87	0.32	0.45	331.0	650	7.1	49.9	大堆台,泌水严重
11	2-2	JGJ 283	176.6	500.0	0.99	0.36	0.30	0.22	0.03(Si)	47.6	0.99	0.32	0.45	328.5	775	2.1	50.5	微泌水
12	4-23	JGJ 283	172	519.0	0.80	0.34	0.30	0.20		46.5	0.94	0.33	0.45	310.6	710	8.0	51.1	有堆台、离析、泌水
13	3-19	JGJ 283	174	524.0	0.99	0.34	0.35	0.17		48.7	0.93	0.31	0.45	313.5	820	2.7	51.1	堆台、泌水
14	4-1	JGJ 283	168.5	489.0	0.90	0.35	0.20	0.10		47.1	1.00	0.33	0.45	326.3	760	3.0	51.5	离析
15	4-22	JGJ 283	169.4	484.0	1.00	0.36	0.30	0.20		48.0	0.99	0.33	0.48	304.8	770	3.4	52.0	泌水,非圆角
16	1-22	JGJ 283	165	526.1	1.10	0.32	0.30	0.15		48.2	0.89	0.31	0.44	327.5	775	3.4	52.0	好,无离析泌水
17	1-3	JGJ 283	185	526.0	1.20	0.36	0.28	/		48.6	1.01	0.31	0.45	351.8	750	4.5	52.3	泌水,非圆角
18	4-6	JGJ 283	188	539.4	0.80	0.35	0.30	0.00		46.5	1.00	0.32	0.43	340.2	740	4.32	52.5	堆台、泌水
19	4-9	JGJ 283	167.5	480.8	1.00	0.36	0.15	0.15		46.5	1.01	0.32	0.43	325.1	735	5.0	52.6	堆台、泌水
20	3-13	CECS 203	169	532.1	1.00	0.33	0.41	0.33		46.6	0.87	0.32	0.43	288.1	725	4.53	52.7	堆台、泌水,非圆角
21	1-7	JGJ 283	181.6	486.9	1.00	0.38	0.15	0.20		48.2	1.08	0.31	0.44	322.8	700	3.4	53.0	非圆角
22	4-24	JGJ 283	178.1	503.0	0.80	0.37	0.27	0.12	0.02(Si)	49.4	1.01	0.30	0.44	328.9	718	5.2	53.0	好,无离析泌水
23	2-3	JGJ 283	186.6	544.4	0.83	0.35	0.30	/	0.05(Si)	48.0	0.98	0.31	0.44	384.3	690	3.5	53.6	好,无离析泌水
24	4-12	JGJ 283	180.5	524.0	0.60	0.39	0.30	0.00	0.10(1S)	45.8	0.98	0.34	0.46	314.7	750	3.4	53.8	泌水
25	3-22	JGJ 283	191.5	556.8	0.55	0.35	0.30	0.34	0.01(1S)	47.2	0.96	0.32	0.44	296.4	770	2.0	54.2	微泌
26	2-4	JGJ 283	166.6	482.8	0.90	0.35	0.20	0.25		47.1	0.99	0.32	0.44	306.0	860	4.8	54.5	泌水,非圆角
27	4-16	CECS 203	163	489.0	0.70	0.34	0.30	0.30		50.4	0.94	0.30	0.46	282.6	740	6.0	54.5	好,无离析泌水
28	1-4	CECS 203	166	446.0	0.60	0.38	0.30	0.20	0.03(1S)	50.1	1.02	0.31	0.48	278.0	670	6.0	55.2	好,无离析泌水
29	3-14	JGJ 283	175	536.0	0.70	0.33	0.24	0.24		46.3	0.93	0.32	0.43	314.7	740	415	55.5	堆台、泌水,非圆角
30	4-8	JGJ 283	180.3	509.0	1.10	0.36	0.30	0.16		48.8	1.00	0.31	0.45	319.0	740	3.4	55.7	泌水、堆台
31	3-7	JGJ 283	179.5	508.0	1.00	0.38	0.20	0.15	0.05(1S)	45.5	1.01	0.33	0.43	324.4	730	4.0	56.0	泌、大堆
32	4-3	CECS 203	156	517.0	0.92	0.33	0.19	0.17	0.08(1S)	46.7	0.86	0.32	0.44	319.7	770	4.0	56.1	离析
33	1-23	JGJ 283	171.6	546.0	1.00	0.32	0.20	0.20		47.6	0.90	0.33	0.46	346.2	804	4.1	56.2	好,无离析泌水
34	4-14	JGJ 283	173.5	531.0	1.00	0.33	0.30	0.00		46.4	0.94	0.33	0.45	345.6	740	6.4	56.6	泌水
35	2-8	JGJ 283	150.5	491.0	1.30	0.36	0.23	0.20	0.12(1S)	49.9	0.86	0.30	0.45	304.9	745	6.3	57.0	好,无离析泌水
36	3-24	JGJ 283	185	553.0	1.36	0.35	0.20	0.30		47.7	0.95	0.32	0.45	348.6	830	2.2	57.0	堆台、泌水,非圆角
37	2-16	JGJ 283	186.7	517.7	1.10	0.39	0.20	0.15	0.05(1S)	46.5	1.03	0.32	0.43	331.0	710	6.5	57.2	微堆,微泌
38	2-20	JGJ 283	147.6	506.0	1.23	0.34	0.23	0.20	0.12(1S)	49.5	0.82	0.30	0.44	308.2	720	9.3	57.2	好,无离析泌水
39	4-10	JGJ 283	181	514.1	1.00	0.36	0.25	0.00		47.0	1.02	0.32	0.44	344.0	705	3.2	57.3	堆台泌水
40	4-20	JGJ 283	144	518.0	1.10	0.29	0.20	0.15		47.1	0.80	0.32	0.44	339.9	720	8.0	57.5	非圆角、泌水
41	1-8	JGJ 55	171.6	500.0	1.23	0.35	0.35	0.20		48.0	0.96	0.31	0.43	305.5	770	3.8	57.6	非圆角、泌水,小堆台
42	4-21	JGJ 283	164.6	484.0	0.90	0.35	0.20	0.10		47.6	0.98	0.32	0.45	323.9	715	7.3	57.7	好,无离析泌水
43	1-15	JGJ 55	177	545.0	1.00	0.33	0.27	0.15		48.0	0.93	0.30	0.42	334.3	725	8.0	57.7	小堆台,圆角。
44	2-19	JGJ 283	166.6	510.3	1.20	0.34	0.25	0.20		48.2	0.93	0.31	0.44	325.2	765	2.8	58.7	堆台、泌水
45	2-12	CECS 203	160.6	491.0	0.98	0.33	0.29	0.20		47.7	0.93	0.33	0.47	308.4	780	3.6	58.8	好,无离析泌水
46	1-12	JGJ 283	179	542.0	0.60	0.33	0.30	0.30		46.5	0.93	0.32	0.43	298.3	765	3.3	58.9	好,无离析泌水
47	3-20	CECS 203	168	540.0	0.80	0.32	0.26	0.28		48.3	0.88	0.30	0.42	311.0	585	12.0	58.9	堆台、泌水,非圆角
48	1-20	JGJ 283	171	545.0	1.20	0.32	0.30	0.15		45.6	0.89	0.33	0.43	340.0	745	4.5	59.8	堆台、泌水严重,非圆角
49	1-13	CECS 203	161.7	471.5	0.58	0.35	0.24	0.15	0.03(Si)	50.3	0.98	0.31	0.48	319.0	660	4.5	60.4	好,无离析泌水
50	2-11	全计算法	177	487.0	0.90	0.37	0.30	0.10		45.0	1.03	0.34	0.45	311.2	780	2.15	60.6	好,无离析泌水
51	2-24	JGJ 283	177	493.4	1.10	0.37	0.25	0.10		49.9	1.03	0.30	0.45	325.6	780	9.1	61.5	好,无离析泌水
52	2-10	JGJ 283	180.5	513.0	0.80	0.37	0.30	0.17	0.03(Si)	45.3	0.99	0.33	0.43	332.3	750	3.0	62.0	较好,微泌水
53	2-23	JGJ 283	182.5	534.0	1.00	0.36	0.25	0.15	0.03(Si)	47.1	0.97	0.32	0.44	359.9	745	2.3	62.0	好,无离析泌水
54	3-9	JGJ 283	201.5	530.0	0.80	0.39	0.37	0.15		49.9	1.07	0.30	0.45	307.4	795	4.13	64.0	大堆台,泌水
55	4-13	JGJ 283	153.5	526.0	1.35	0.30	0.20	0.15		46.4	0.84	0.32	0.43	351.2	775	3.2	65.5	泌水
56	4-11	JGJ 283	157.5	543.0	1.40	0.30	0.30	0.10		50.1	0.83	0.30	0.45	350.8	765	4.2	66.1	好,无离析泌水
57	3-6	JGJ 283	177	506.0	1.00	0.36	0.25	0.20		46.6	1.00	0.32	0.42	315.5	750	4.5	66.8	好,无离析泌水
58	4-17	JGJ 283	170	522.0	1.20	0.34	0.30	0.15		47.6	0.92	0.32	0.45	330.5	765	2.3	67.0	堆台、泌水
59	3-4	JGJ 283	164	549.9	1.00	0.31	0.28	0.10		50.3	0.85	0.29	0.44	342.1	800	4.4	70.0	泌水,非圆角
60	2-5	JGJ 283	193	550.0	1.50	0.36	0.30	/		47.0	1.01	0.33	0.45	372.9	775	4.4	71.0	小堆,微泌水

参考文献:

- 177 - 180.
- [1] 庞超明. 自密实混凝土的制备、性能及机理研究[D]. 硕士学位论文, 南京: 东南大学材料学院, 2012.
- [2] JGJ/T 283 - 2012 自密实混凝土应用技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] CECS 203 - 2006 自密实混凝土应用技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [4] CCES 02 - 2004 自密实混凝土设计与施工指南[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [5] JGJ 55 - 2011 混凝土配合比设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [6] 马冬梅, 吴文清, 秦鸿根. 自密实高强混凝土的配制原理和配合比设计方法研究[J]. 中外公路, 2008, 28(2):
- [7] 吴红娟. 自密实混凝土配合比设计方法研究[D]. 天津: 天津大学建筑工程学院, 2005.
- [8] 宴井利, 梅建平, 王仕勤. 材料科学与工程专业实验教学改革与实践[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(6): 259 - 261.
- [9] 万朝均. 高性能混凝土研究型实验项目的设置与实践[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(7): 337 - 339.
- [10] 庞超明, 秦鸿根, 张亚梅, 等. 材料专业本科实验教学课程设置的思考[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(6): 271 - 275.
- [11] 徐明, 宗周红. 中美土木工程本科创新实验教学体系对比分析[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(11): 73 - 76.

Exploration and analysis of technology of national undergraduate self-compacting concrete competition

PANG Chaoming, ZHANG Ping, QIN Honggen, ZHANG Yamei

(School of Materials Science and Engineering, Southeast University, Jiangsu Key laboratory of Construction Materials, Nanjing 211189, P. R. China)

Abstract: We pointed out that during the test teaching, the different standard should be comprehensively applied during the design experiment, the ability training to make comprehensive use of the various knowledge and skill should be paid more attention, and good habits for experiments should be developed, such as correctly modification, careful observation, complete records, and paying more attention to the scrupulousness of experimental process or operation. Finally, the 60 groups of mix proportion designed by undergraduates were discussed. The results shows that a part of parameters recommended by standard can be altered, such as the lower limit of water content in unit volume should be lowered to 140 kg/m^3 or 145 kg/m^3 , and the upper limit of volume fraction of sand in mortar could be increased to 0.48. The results can provide a reference for improving the accuracy of research results and the level of experimental teaching.

Keywords: self-compacting concrete; mix proportion design; national undergraduate competition; technology part

(编辑 王 宣)