

配合比参数对 C60 清水混凝土抗压强度及表观质量的影响

李 伟

(北京建工新型建材有限公司, 100015, 北京)

摘 要: 先通过试验研究, 从 3 种不同的 C60 混凝土配合比中遴选出较优的一种, 之后在此配合比的基础上进行参数调整, 研究了消泡粉掺量、矿物掺合料比例、砂率对 C60 清水混凝土抗压强度及表观质量的影响。试验结果表明: 在“先消后引”的引气方式条件下, 随着消泡粉掺量的增加, 混凝土抗压强度先增后降, 且掺量较大时会使混凝土表观质量降低; 相比单独增加粉煤灰或矿粉的用量, 在两者用量同时增长 2% 的条件下, 混凝土抗压强度和表观质量均相对较好; 随着砂率的增大, 混凝土抗压强度呈降低趋势, 但表观质量高。该研究成果可很好地指导实际工程应用。

关键词: 清水混凝土; 抗压强度; 表观质量

中图分类号: TU 74

文献标志码: A

文章编号: 1000-4726(2023)19-2359-05

IMPACT OF MIX RATIO PARAMETERS ON COMPRESSIVE STRENGTH AND APPARENT QUALITY OF C60 FAIR-FACED CONCRETE

LI Wei

(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

Abstract: In the experimental study, a more optimal ratio was selected from three different C60 concrete ratios, based on which the mix ratio parameters were adjusted and the impact of defoamer powder content, mineral admixture proportion and sand coarse aggregate ratio on the compressive strength and apparent quality of C60 fair-faced concrete was studied. The experimental results show that under the air-entraining mode of "elimination first and then entraining", the compressive strength of concrete increases first and then decreases along with the increase of defoamer powder content, and higher defoamer powder content will lower the apparent quality of concrete; compared with the single increase in the usage of fly ash or mineral powder, content can achieve a better performance in both compressive strength and apparent quality when the usage of fly ash and mineral powder is increased by 2% at the same time; the higher the sand coarse aggregate ratio, the lower the compressive strength of concrete, but the higher the apparent quality of concrete. These research findings play a positive role in guiding the application in practical projects.

Keywords: fair-faced concrete; compressive strength; apparent quality

清水混凝土即通过对混凝土生产、施工过程的严格控制, 使混凝土结构表面在保持自然本色的条件下不需要任何外修饰的一种装饰性混凝土, 既要满足结构功能, 又要注重外观装饰性效果。

某工程施工中大量采用高强度清水混凝土。一方面由于高强度清水混凝土胶凝材料用量大, 水泥用量相对较高, 使混凝土粘聚性增大, 导致混凝土气泡排除难度加大; 另一方面, 在浇筑施工时, 要求混凝土拌合物具有很好的流动性, 在泵送、浇筑、振捣过程中不离析、不泌水, 经振捣产生的动能可排除混凝土

中的大气泡, 使混凝土外观达到表面光滑平整的效果。针对该工程的特点与难点, 采用“先消后引”的引气方式, 通过调整消泡粉的用量、矿物掺合料比例以及砂率, 对 C60 清水混凝土的性能展开试验研究, 其成果对工程应用具有一定的指导意义。

1 试验

1.1 原材料

(1) 水泥: 选用 P·O42.5 水泥, 密度为 3.12 g/cm³, 比表面积 346 m²/kg, 3d 抗压强度 29.4 MPa, 28d 抗压强度 59.1 MPa。

(2) I 级粉煤灰: 烧失量 1.32%, 细度 8.3%, 需水量比 94%。

收稿日期: 2023-08-20

作者简介: 李伟 (1982-), 男, 河北三河人, 工程师, e-mail: 31996218@qq.com.

(3) S95级矿粉:密度 2.91g/cm^3 ,流动性比99%,7d和28d活性指数分别为88%和113%。

(4) AN4000聚羧酸高性能减水剂:减水率36%,含固量15.24%。

(5) 消泡粉:T-20G通用有机硅消泡粉,白色粉末状,固含量99%。

(6) 引气剂:减水率8%,含气量8.5%,含固量1.85%。

(7) 细骨料:砂1和砂2。砂1为天然砂,细度模数2.7,含泥量1.5%;砂2为机制砂,细度模数2.8,石粉含量4.5%。

(8) 粗骨料:5~20mm连续级配碎石,压碎指标5.7%。

1.2 试验方法

坍落度及扩展度、含气量和抗压强度试验用混凝土采用强制式搅拌机搅拌,坍落度及扩展度测定方法依据GB/T50080—2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》,混凝土抗压强度测试方法依据GB/T50081—2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》。清水混凝土外观质量试验模具采用 $100\text{mm}\times 500\text{mm}\times 500\text{mm}$ 的样板,成型养护至规定龄期后观察表观质量情况。

1.3 试验配合比

(1) C60混凝土配合比遴选。针对实际工程情况,在设计配合比时不仅要满足混凝土设计强度,而且要保证混凝土的外观质量。本试验首先对3种不同配合比的C60混凝土性能进行研究,从中选取1种较佳的配合比用于后续的C60清水混凝土性能试验研究。试验配合比见表1。

表1 3种不同的C60混凝土配合比

编号	P1	P2	P3
水胶比	0.32	0.30	0.28
砂率/%	28	37	36
水	159	159	158
水泥	371	396	424
粉煤灰	83	88	94
矿粉	62	66	71
砂1	163	156	148
砂2	490	467	444
石子	1065	1061	1052
减水剂	7.22	7.70	8.25

(2) C60清水混凝土配合比设计方案。从以上3种配合比中遴选出较佳的1种后,以此配合比为基

础进行参数调整,并采用“先消后引”的引气方式制备不同性能的C60清水混凝土。“先消后引”是先将一定量消泡粉与AN4000聚羧酸高性能减水剂进行复配,待两者混合并放置一定时间后,再加入一定量的引气剂进行二次复配,其中消泡剂掺量分别取 0.20kg/t 、 0.40kg/t 、 0.60kg/t ,对应的3种情况下的引气剂掺量均取 0.70kg/t ,从而研究在不同掺量的消泡粉作用下C60清水混凝土的性能,并在合适的消泡粉掺量条件下,对掺用不同比例的矿物掺合料以及不同砂率的C60清水混凝土性能进行试验研究。

2 试验结果与讨论

2.1 不同配合比的C60混凝土性能

(1) 坍落度及扩展度。试验测试了3种不同配合比混凝土的坍落度及扩展度,以及1h的经时坍落度和扩展度,具体试验数据见表2。

表2 不同配合比混凝土的坍落度及扩展度

编号	坍落度及扩展度/mm	1h经时坍落度及扩展度/mm
P1	245/620	215/590
P2	255/650	235/640
P3	235/600	205/570

从表2中数据可知,P2混凝土的坍落度和扩展度相对较大,1h经时坍落度和1h经时扩展度损失均小于P1和P3混凝土,从现场拌和状态来看,P2混凝土浆体流动性和粘聚性良好,而P3混凝土出现浆体粘稠、流动速度慢、不适宜泵送的现象,由此可见,相对P1和P3,P2混凝土的整体工作性能较好。

(2) 抗压强度。为确保选用的3种不同配合比的C60混凝土抗压强度满足设计要求,试验对比了C60混凝土3d、7d、28d的抗压强度,试验数据如图1所示。

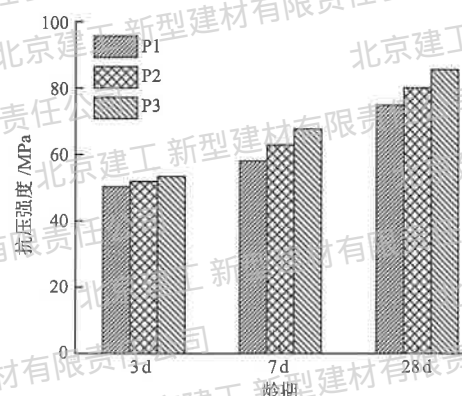


图1 不同配合比下混凝土的抗压强度

从图1可知,P1混凝土7d和28d达到强度设

计值分别为 97% 和 125%, P2、P3 混凝土 7d 和 28d 抗压强度均超过设计强度, 且 P3 混凝土的抗压强度大于 P1、P2 混凝土。

综合考虑混凝土工作性能和抗压强度, 相比 P1 和 P3, P2 混凝土的配合比相对较优, 其不仅具有良好的工作性能, 满足混凝土泵送的要求, 而且抗压强度也能远超设计值, 保证混凝土的工程质量。

2.2 不同掺量的消泡粉对 C60 清水混凝土性能的影响

在确定 P2 混凝土的配合比相对较优后, 在此配合比的基础上进一步研究不同掺量的消泡粉对 C60 清水混凝土性能的影响, 其试验配合比见表 3。

表 3 试验配合比 (不同掺量的消泡粉)

编号	F4	F5	F6
水胶比	0.30	0.30	0.30
砂率/%	37	37	37
每立方米用量/kg			
水	159	159	159
水泥	396	396	396
粉煤灰	88	88	88
矿粉	66	66	66
砂 1	156	156	156
砂 2	467	467	467
石子	1061	1061	1061
外加剂	7.70	7.70	7.70
每吨添加量/kg			
消泡粉	0.20	0.40	0.60
引气剂	0.70	0.70	0.70

(1) 抗压强度。不同掺量的消泡粉对 C60 清水混凝土抗压强度的影响数据如图 2 所示。

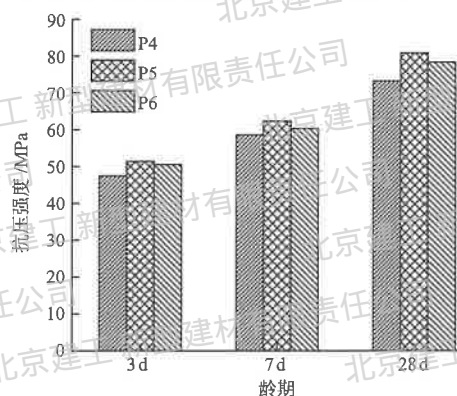


图 2 C60 清水混凝土的抗压强度 (不同掺量的消泡粉)

从图 2 可以看出, 当消泡粉掺量为 0.2kg/t、0.4kg/t、0.6kg/t 时, 混凝土 28d 抗压强度均可达到设计值, 且掺量为 0.4kg/t 时的 3d、7d、28d 抗压强度均略高于 0.2kg/t 和 0.6kg/t 时的抗压强度。由于在掺量为 0.2kg/t 时, 混凝土流动性和粘聚性较差, 含气量大, 混凝土成型密实度难以保证, 影响硬化后混

凝土的强度; 当掺量为 0.6kg/t 时, 混凝土拌合物状态的粘聚性差, 可能出现离析、泌水的现象, 影响混凝土的抗压强度; 而掺量为 0.4kg/t 时, 混凝土浆体中分布着均匀的微小气泡, 浆体的流动性及粘聚性均较好, 相应的混凝土的抗压强度整体略高。

(2) 表观质量。不同掺量的消泡粉对 C60 清水混凝土表观质量影响如图 3 所示。



图 3 C60 清水混凝土表观质量 (不同掺量的消泡粉)
(a) F4; (b) F5; (c) F6

从图 3 可以直观地看到, 当消泡粉掺量为 0.6kg/t 和 0.2kg/t 时, 混凝土表观质量较差, 而当消泡粉掺量为 0.4kg/t 时, 混凝土表观质量相对较好, 但表观色泽并不是很均匀, 且存在一定数量的孔洞。可见, 掺量合适的消泡粉能够改善混凝土的表观质量, 即采用“先消后引”的引气方式, 混凝土中泡径偏大且不良的劣质气泡被消除, 均匀分布着泡径较小的良性气泡, 混凝土流动性及粘聚性均较好, 密实度也相对较高。

2.3 矿物掺合料比例对 C60 清水混凝土性能的影响

以上通过试验确定了消泡粉的合适掺量为 0.4kg/t, 在此基础上对掺用不同比例矿物掺合料的 C60 清水混凝土性能进行了试验研究, 其试验配合比见表 4。

表 4 试验配合比 (不同比例的矿物掺合料)

编号	F7	F8	F9
水胶比	0.30	0.30	0.30
砂率/%	37	37	37
每立方米用量/kg			
水	159	159	159
水泥	376	376	376
粉煤灰	98	108	88
矿粉	76	66	86
砂 1	156	156	156
砂 2	467	467	467
石子	1061	1061	1061
外加剂	7.70	7.70	7.70
每吨添加量/kg			
消泡粉	0.40	0.40	0.40
引气剂	0.70	0.70	0.70

(1) 抗压强度。不同比例矿物掺合料对 C60 清水混凝土抗压强度的影响如图 4 所示。

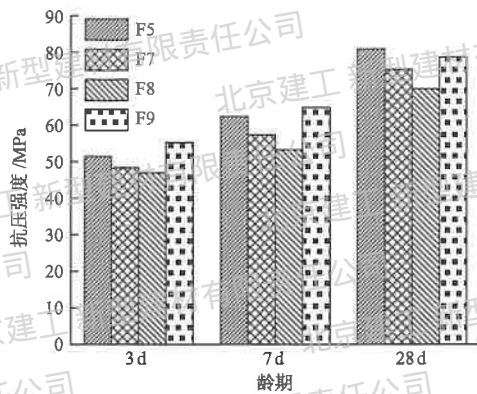


图4 C60 清水混凝土抗压强度 (不同比例的矿物掺合料)

由图4可见, 相比F5、F7和F8清水混凝土, F9的3d抗压强度较大, 且F9的7d和28d抗压强度均大于F7和F8, 但小于F5。原因是F9配合比中矿粉的掺量占比大, 矿粉自身的微级料效应能够实现在水化反应产生的孔结构予以填充, 且矿粉的火山灰活性较高, 可与水泥水化反应过程中产生的氢氧化钙反应, 从而促进水泥颗粒水化, 生成更多水化硅酸钙凝胶, 但矿粉掺量占比较大时, 对清水混凝土后期强度影响较小。F8的3d、7d和28d抗压强度均相对较低, 原因在于F8配合比中使用了较大掺量的粉煤灰, 粉煤灰早期的火山灰活性不高, 需在较长龄期下才能更好地体现出对强度的提升作用。

(2) 表观质量。不同比例的矿物掺合料对C60清水混凝土表观质量的影响如图5所示。

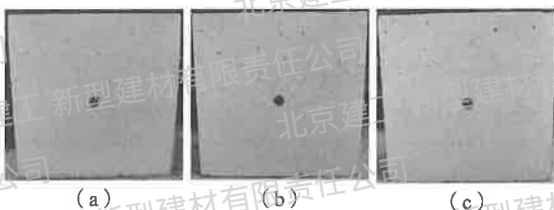


图5 C60 清水混凝土表观质量 (不同比例的矿物掺合料)

(a) F4; (b) F5; (c) F6

对比图3(b)、图5可知, 不同比例的矿物掺合料对清水混凝土表观质量的影响差距较大, 图5(a)的表观质量相对较好, 整体色泽均匀光滑, 自然光下无明显色差与瑕疵, 但表面仍有一定数量的小孔洞。图5(c)的整体色泽均匀度不高, 可能是由于在较大的粉煤灰用量条件下, 部分粉煤灰出现浮于混凝土表面的现象。图5(b)的表观质量较差, 存在较多孔洞, 可能是因为较大比例的矿粉用量降低了拌合物浆体的流动性。

2.4 不同砂率对C60清水混凝土性能的影响

上述通过试验得出编号F7的混凝土抗压强度及表观质量均相对较好, 之后在F7配合比的基础上进

行砂率的调整, 探求不同砂率对C60清水混凝土性能的影响, 其试验配合比见表5。

表5 试验配合比 (不同砂率)

编号	F10	F11	F12
水胶比	0.30	0.30	0.30
砂率/%	34	40	43
每立方米用量/kg			
水	159	159	159
水泥	376	376	376
粉煤灰	98	98	98
矿粉	76	76	76
砂1	144	168	181
砂2	430	503	542
石子	1110	1013	961
外加剂	7.60	8.20	8.50
每吨添加量/kg			
消泡粉	0.40	0.40	0.40
引气剂	0.70	0.70	0.70

(1) 抗压强度。不同砂率对C60清水混凝土抗压强度的影响如图6所示。

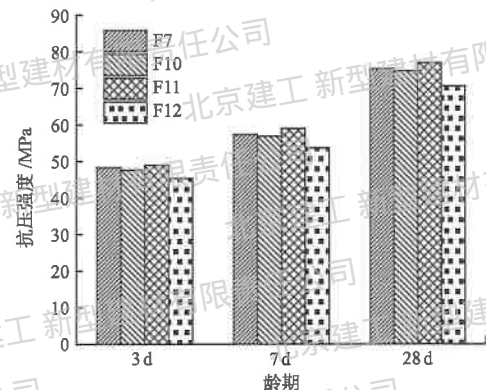


图6 C60 清水混凝土抗压强度 (不同砂率)

从图6强度数据可知, 本试验配合比的合理砂率为40%, 当砂率大于合理砂率40%时, 混凝土抗压强度呈降低趋势。一方面, 增大砂率相应石子的用量降低, 石子在混凝土中的骨架作用被削弱, 导致混凝土强度降低; 另一方面, 在胶凝材料用量不变的情况下增大砂率, 所形成的净浆无法充分包裹砂子和石子的表面, 导致砂石之间的粘结力不足, 硬化后混凝土强度降低。

(2) 表观质量。不同砂率对C60清水混凝土表观质量的影响如图7所示。对于图7(a), 当砂率为34%时, 混凝土表面孔洞相对较多, 原因可能在于当砂率较低时, 石子之间的孔隙不能被有效填充, 增加了孔隙率。随着砂率增大, 混凝土表面未出现蜂窝、麻面等缺点, 色泽均匀光滑, 混凝土整体表观质

量较高,但砂率较大时,不利于混凝土抗压强度的发展,如图7(b)、图7(c)所示。

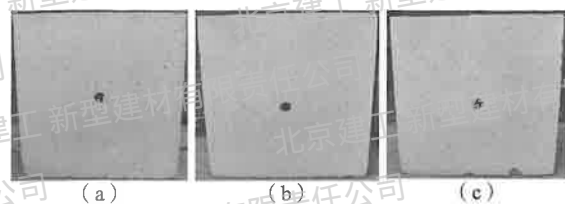


图7 C60清水混凝土表观质量(不同砂率)

(a) F4; (b) F5; (c) F6

2.5 C60清水混凝土配合比验证试验

通过研究消泡粉掺量、矿物掺合料比例、砂率对C60清水混凝土性能的影响,从试验结果可知,当消泡粉为掺量 0.4kg/t ,水泥、粉煤灰、矿粉用量分别 376kg/m^3 、 98kg/m^3 、 76kg/m^3 ,且砂率为40%时,C60清水混凝土抗压强度以及表观质量均较好。针对此清水混凝土配合比,进行了3次抗压强度验证试验,编号为1、2、3,其验证试验结果如图8所示。

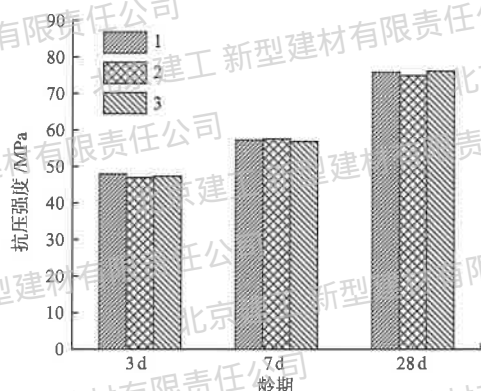


图8 3次验证试验数据

由图8可知,在3次验证试验中,混凝土7d、28d抗压强度均分别可达96%以上和126%以上的设计强度值,可见此配合比制备的C60清水混凝土配合比可完全满足工程设计要求。

3 工程应用

3.1 模板选择

模板选择是消除混凝土表面气孔和蜂窝麻面的一种行之有效的方法,木模板有利于气泡的逸出或破灭,每次脱模后要及时清理模板注意保持模板清洁,清除表面灰浆。涂刷脱模剂后应注意对模板进行有效保护,以免造成模板污染。

3.2 混凝土浇筑

混凝土运输到现场后应尽快浇筑,浇筑过程中新老混凝土浇筑时间间隔要短,每层浇筑高度应控制在50cm以内,增加振捣频率,适当延长振捣时间,

在混凝土浇筑后30min开始二次振捣,以利于气泡充分溢出。

3.3 混凝土养护

为了尽早对混凝土进行湿养,可在混凝土有一定强度松动模板后,从顶部设置水管喷淋,拆模后用干净的塑料布紧贴墙体覆盖,其敞露的全部表面应覆盖严密,并保持塑料布内有凝结水。养护时间不少于14d,要注意水温与混凝土温度之差不超过 20°C 。

3.4 混凝土表面处理

待润湿过程结束按照试验好的比例配制混凝土修复专用填料,按照一定的比例混合填充螺栓孔内。按技术要求、比例配好透明保护剂,对螺栓孔内壁涂抹3遍。对混凝土表面进行整体打磨,强力吸尘器除尘露出混凝土的毛细孔,进行4道保护剂施工,分别为底层保护剂、中层保护剂、平色剂、面层保护剂。

4 结论

(1) 试验得出C60混凝土的较优配合比为水:水泥:粉煤灰:矿粉:天然砂:机制砂:石子:减水剂 $=159:396:88:66:156:467:1061:7.7$ 。

(2) 采用“先消后引”的引气方式,当消泡粉掺量为 0.4kg/t ,引气剂掺量为 0.7kg/t 时,C60清水混凝土表观质量有很大的改善,且抗压强度大于掺量为 0.2kg/t 和 0.6kg/t 时的抗压强度。

(3) 在消泡粉掺量为 0.4kg/t 的条件下,相比单独调整粉煤灰或矿粉的用量,在两者用量同时增长2%的条件下,混凝土抗压强度可满足标准及设计要求,且整体色泽均匀光滑,但表面仍有一定数量的小孔洞。

(4) 在消泡粉掺量为 0.4kg/t 、粉煤灰和矿粉掺量同时增大2%的条件下,随着配合比中砂率的增大,混凝土表观质量呈增高趋势,但抗压强度逐渐降低。本试验配合比的合适砂率为40%。

(5) 为了提高施工质量,在工程应用中应注重模板的选择、浇筑方式、养护方法以及清水混凝土表面处理方式等。

参考文献

- [1] 李强,李辛民,孟闻远,等.我国清水混凝土技术发展现状、存在问题及对策[J].建筑技术,2007(1):6-8.
- [2] 黄昌利.清水混凝土施工技术研究[D].重庆:重庆大学,2008.
- [3] 黄柯宇,陶铁军,游聚刚,等.聚羧酸减水剂复配工艺对自密实清水混凝土表观质量影响研究[J].新型建筑材料,2022,49(6):81-85.
- [4] 刘加平,尚燕,缪昌文,等.聚羧酸系减水剂引气方式对混凝土性能的影响[J].建筑材料学报,2011,14(4):528-531.