

超缓凝混凝土的配制试验研究

李超¹, 孙丽英², 李光³, 谢慧东¹

¹山东华森建材集团有限公司, 山东 济南

²山东水泥厂, 山东 济南

³中达安股份有限公司, 浙江 杭州

Email: huasenshiyanshi@163.com

收稿日期: 2020年9月30日; 录用日期: 2020年10月16日; 发布日期: 2020年10月23日

摘要

通过超缓凝混凝土的试验, 分析混凝土凝结时间在60~70小时内情况下, 对混凝土和易性、7天强度强、28天强度、60天强度的影响, 可以生产出满足施工要求、质量稳定的混凝土。

关键词

混凝土, 超缓凝, 凝结时间

Study on the Preparation Test of Overtime Retarding Concrete

Chao Li¹, Liying Sun², Guang Li³, Huidong Xie¹

¹Shandong Huasen Building Materials Group Co., Ltd., Jinan Shandong

²Shandong Cement Factory, Jinan Shandong

³Zhongda'an Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Email: huasenshiyanshi@163.com

Received: Sep. 30th, 2020; accepted: Oct. 16th, 2020; published: Oct. 23rd, 2020

Abstract

Through the test of overtime retarding concrete, it is analyzed that the setting time of concrete in 60 to 70 hours, the effect on concrete workability, 7-day strength, 28-day strength, and 60-day strength, the concrete with stable quality can be produced to meet the construction requirements.

Keywords

Concrete, Overtime Retarding, Setting Time

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当前,随着混凝土工程的大型化、巨型化、工程环境的超复杂化以及应用领域的不断扩大,人们对混凝土材料提出了更高的要求。随着中国经济的不断增长和城市建设的不断发展,我国建筑设计水平不断提高,超缓凝混凝土的应用也会日益广泛,不仅应用在桩基维护结构,更会用在承重桩基结构上,通过试验对比正常凝结时间混凝土与超缓凝混凝土的相关性能,为高强超缓凝混凝土生产提供科学依据与技术储备[1] [2] [3]。

通常缓凝剂主要是延长混凝土凝结时间,保证正常的泵送、浇筑、振捣、收面、养护等施工程序能有序进行,从而使连续浇筑的混凝土不因为快速凝结而产生施工冷缝,从而影响混凝土结构,但在混凝土工程应用中,往往追求施工进度,而要求混凝土在保证正常浇筑结束后,混凝土能尽快凝结。所以一般工程混凝土的凝结时间并不长,大多低于 24 小时终凝。超缓凝混凝土一般应用在桩基工程、超大体积混凝土等工程中,此外在外加剂或混凝土的生产过程中因特殊因素(如计量失误、现场外加剂二次添加)造成混凝土的凝结时间变长,因为超缓凝混凝土的试验较少,工程中突然出现超过 36 小时未凝结的混凝土,施工方一般将其清除后重新浇筑,造成巨大工程损失[4] [5] [6]。本文主要想通过试验将缓凝剂的掺量从万分之二提高到千分之二,将混凝土的凝结时间延长到 50 小时以上,观测混凝土的各项性能变化。目前天然砂的资源已经控制开采,人工砂和混合砂在各项工程中的应用越来越广泛。本文采用黄砂和人工砂对比试验,通过试验找出人工砂和黄砂在配制超缓凝混凝土时的差异性,给混凝土生产企业生产超缓凝混凝土提供经济与质量的较好平衡点提供参考。

2. 试验用原材料及性能

试验原材料主要性能见表 1~6。

1) 水泥

水泥采用山东某厂的 P·O42.5 水泥,

Table 1. Cement test data

表 1. 水泥检测数据

细度	标准稠度	初凝	终凝	安定性	3d 抗折	28d 抗折	3d 抗压	28d 抗压
2.4%	23.7%	2 h 15 min	3 h 55 min	合格	6.2 Mpa	8.7 Mpa	23.8 Mpa	55.9 Mpa

Table 2. Main chemical composition of cement (%)

表 2. 水泥的主要化学成分(%)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	总碱量	Loss
23.32	2.75	6.28	57.98	2.37	2.49	0.68	2.78

2) 矿渣微粉, 济南某粉磨站产 S95 矿渣微粉。

Table 3. Performance index of mineral powder

表 3. 矿粉的性能指标

比表面积 m ² /kg	28d 活性指数%	流动度比%	含水量
400	103	102	0.3

3) 粗骨料采用级配和粒径较好的 5~25 mm 碎石。

Table 4. Gravel detection data

表 4. 碎石检测数据

含泥量	泥块含量	针片状含量	颗粒级配
0.5	0.3	9.5	符合 5~25 mm 连续级配

4) 细集料采用黄砂和人工砂。

Table 5. Main test indexes of yellow sand for test

表 5. 试验用黄砂主要检测指标

细度模数	含泥量	泥块含量
2.9	1.5	0.8

Table 6. Main test indexes of artificial sand for test

表 6. 试验用人工砂主要检测指标

细度模数	石粉含量%	亚甲蓝
3.2	12	1.0

5) 外加剂采用某厂聚羧酸高效缓凝泵送剂, 基准配比 1-1、1-8 使用外加剂的缓凝成分为掺量 0.02%, 配比 1-2、1-3、1-9 使用外加剂的缓凝成分掺量为 0.18%, 配比 1-4、1-5、1-6、1-7、1-10、1-11 使用外加剂的缓凝成分掺量为 0.2%。

3. 试验方案与结果

试验基准配比为 1-1、1-8, 其中 1-1 至 1-7 使用黄砂, 1-8 至 1-11 使用人工砂。

4. 试验结果分析

4.1. 超缓凝混凝土 7 天强度对比分析

超缓凝混凝土的强度变化。从表 7 可以看出, 1-2 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 46.6%, 1-3 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 59.8%, 1-4 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 96.2%, 1-5 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 57.2%, 1-6 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 97.7%, 1-7 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 25.2%, 1-9 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 40.1%, 1-10 试验 7 天强度相

对于基准配合比下降 98.4%，1-11 试验 7 天强度相对于基准配合比下降 97.2%。由此可得：

1) 超缓凝混凝土 7 天强度下降无明显规律，但至少相对于基准混凝土下降 40%，超缓凝混凝土中缓凝组分有效延缓水泥水化，抑制了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的结晶析出，从而长时间阻碍混凝土强度增长，相对于普通混凝土 7~14 天强度增长较快，而超缓凝混凝土 7 天强度增长缓慢，混凝土仍在疏松结构状态，因此早期应避免一切外力干扰，加强覆盖养护。

2) 缓凝剂的掺量为 0.18%、0.2%对 7 天强度影响明显，最高降幅达 98.4%，说明混凝土 7 天时无明显水化反应，缓凝剂对混凝土的水化反应延迟作用明显，水化物的成核和长大受到明显减速，其成长的诱导期和成长期长时间被推迟。

3) 通过试验数据，超缓凝混凝土在实际应用中应注意早期养护，桩基工程不用考虑拆模时间，而工民建工程实体在施工过程中拆侧模时间一般较早，如果在预拌混凝土的实际生产过程中，因计量问题出现缓凝剂严重过量，可根据实验数据延长拆模时间，而混凝土的后期强度不会降低，亦可减少不必要的经济损失。

Table 7. Strength of concrete at all ages

表 7. 混凝土各龄期强度

编号	7d 抗压强度(Mpa)	28d 抗压强度(Mpa)	60d 抗压强度(Mpa)
1-1	50.57	64.1	74.3
1-2	27.0	67.2	76.8
1-3	20.32	63.8	74.5
1-4	1.89	57	75.2
1-5	21.6	79.1	91.4
1-6	1.14	76.9	87.7
1-7	37.81	48.9	60.8
1-8	51.46	64.1	68.1
1-9	30.82	59.5	65.7
1-10	0.8	40.1	51
1-11	1.4	45	53.4

4.2. 超缓凝混凝土 28 天强度对比分析

从表 7 可以看出，1-2 试验 28 天强度相对于基准配合比增高 5%，1-3 试验 28 天强度相对于基准配合比下降 0.5%，1-4 试验 28 天强度相对于基准配合比下降 11%，1-5 试验 28 天强度相对于基准配合比增高 23%，1-6 试验 28 天强度相对于基准配合比增高 20%，1-7 试验 28 天强度相对于基准配合比下降 23.7%，1-9 试验 28 天强度相对于基准配合比下降 7%，1-10 试验 28 天强度相对于基准配合比下降 37.4%，1-11 试验 28 天强度相对于基准配合比下降 30%。由此可得：

1) 超缓凝混凝土的 28 天强度明显提高，虽然相对于基准混凝土未能达到 100%，但 9 组试验数据中已有 7 组数据达到基准混凝土的 75%以上，只有 2 组缓凝剂掺量在 2.1%的试验数据 28 天强度较低。

2) 通过对超缓凝混凝土的 28 天强度分析, 掺量 2.1% 的缓凝剂对使用人工砂的混凝土强度损害较大, 且存在一定的无规律性, 其主要原因是人工砂中含有一定量石灰石粉影响了钙矾石的生长速度, 减少了部分成核水颗粒。

3) 通过对超缓凝混凝土的 28 天强度分析, 超缓凝混凝土的 28 天强度虽有增长, 但不能达到设计要求, 特别存在 2 组较低的 28 天强度数据, 说明超缓凝混凝土的 28 天强度不能作为实际工程应用的验收标准。

4.3. 超缓凝混凝土 28 天强度对比分析

从表 7 可以看出, 1-2 试验 60 天强度相对于基准配合比增高 3%, 1-3 试验 60 天强度相对于基准配合比持平, 1-4 试验 60 天强度相对于基准配合比增高 1.2%, 1-5 试验 60 天强度相对于基准配合比增高 23%, 1-6 试验 60 天强度相对于基准配合比增高 18%, 1-7 试验 60 天强度相对于基准配合比下降 18%, 1-9 试验 60 天强度相对于基准配合比下降 3.5%, 1-10 试验 60 天强度相对于基准配合比下降 25%, 1-11 试验 60 天强度相对于基准配合比下降 22%。由此可得:

1) 通过对超缓凝混凝土的 60 天强度分析, 使用人工砂的超缓凝混凝土有 71.4% 的混凝土 60 天强度已经高于基准配合比, 说明超缓凝混凝土的 60 天强度水化更加彻底, 超缓凝混凝土初期水化速度降低, 水化物分布均匀, 水泥石中的薄弱点少, 混凝土结构更加致密, 从而增加了整体的超缓凝混凝土强度, 水化稠密程度均匀, 对混凝土后期强度发展极为有利。

2) 使用人工砂的超缓凝混凝土的 60 天强度低于基准配合比, 但亦可以根据设计的要求选取符合要求的配合比用于工程实际。

3) 超缓凝混凝土的 60 天强度平均值比其 28 天强度平均值高出 18%, 而基准混凝土的 60 天强度比其对应的 28 天强度平均值高出 13.2%, 说明超缓凝混凝土的 60 天强度增长较高, 超缓凝剂利于混凝土的后期强度增长。由图 1 可知, 通过试验, 在混凝土中使用超缓凝外加剂, 混凝土的 60 天强度满足设计要求, 可以保证混凝土质量的稳定性, 超缓凝混凝土, 水化进程缓慢, 能有效的降低水化热, 延缓凝结时间, 混凝土的可塑性延长。

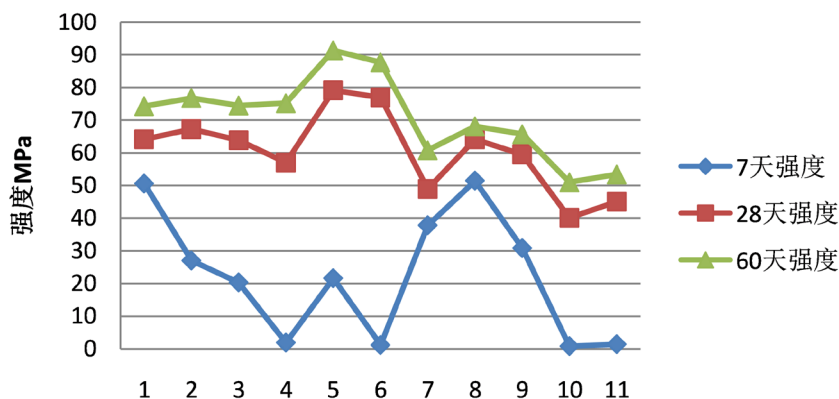


Figure 1. Strength change curve of concrete trial mix test at different ages

图 1. 混凝土试配试验各龄期强度变化曲线

4.4. 超缓凝混凝土对混凝土和易性的影响

由表 8 和图 2 可见缓凝剂的增加, 对混凝土和易性整体影响不大, 粘度有所增加, 由表 9 可见, 只有试验 1-3、1-4、1-9 略泌水。

Table 8. Comparison of workability of concrete
表 8. 混凝土和易性比较

编号	和易性	初始坍落度 mm	40min 坍落度 mm
1-1	和易性较好	230	190
1-2	混凝土较粘, 流动慢, 表面有白色漂浮物	230	190
1-3	略泌水	230	190
1-4	略泌水, 混凝土较粘, 流动慢	230	180
1-5	流速慢, 流动性差	230	175
1-6	和易性较好	240	195
1-7	和易性好	235	205
1-8	和易性较好	240	230
1-9	略泌水	240	210
1-10	较粘, 流动慢, 有 5 mm 泌浆	240	200
1-11	粘度大, 流动慢, 2~5 mm 泌浆	230	200



Figure 2. Comparison of workability of concrete trial mix test 1-1 to 1-8
图 2. 混凝土试配试验 1-1 至 1-8 和易性比较

Table 9. Mix proportion test scheme and results
表 9. 配合比试验方案及结果

编号	水泥 42.5	砂	石子	外加剂	矿粉	水
1-1	340	925	925	8	60	153
1-2	340	925	925	8	60	152
1-3	340	925	925	8	60	153
1-4	340	925	925	8	60	150
1-5	340	925	925	8	60	153
1-6	340	925	925	8	60	153
1-7	340	925	925	8	60	150
1-8	340	880	962	8	60	153
1-9	340	880	962	8	60	150
1-10	340	880	962	8	60	153
1-11	340	880	962	8	60	151

4.5. 超缓凝混凝土初凝和终凝时间的变化

1) 由图 3 可见, 在混凝土中超缓凝剂的掺量为 0.18% 时, 1-2、1-9 试验混凝土凝结时间最长, 当混凝土中的超缓凝剂的掺量为 0.2% 时, 由图 4 可知, 试验 1-5 中混凝土 96 小时无法拆模, 混凝土仍未上强度; 1-5、1-6、1-7、1-10 试验混凝土凝结时间最长, 超混凝土试验凝结时间最短的为 1-4。

2) 由表 10 对比各组试验的凝结时间的变化规律, 混凝土中超缓凝剂的掺量为 0.2% 时, 混凝土凝结时间超过 100 小时的占试验数据的 67%, 超缓凝外加剂掺量为 0.18% 时, 混凝土凝结时间超过 100 小时的占试验数据的 33%, 超缓凝外加剂掺量为 0.2% 的混凝土凝结时间比超缓凝外加剂掺量为 0.18% 的混凝土凝结时间平均值高 11 小时, 凝结时间延长 12%, 超缓凝外加剂掺量为 0.18% 的使用黄砂的比使用人工砂混凝土凝结时间平均值短 15 小时, 凝结时间缩短 15%, 超缓凝外加剂掺量为 0.2% 的使用黄砂的比使用人工砂混凝土凝结时间平均值短 8 小时, 凝结时间缩短 7.4%。

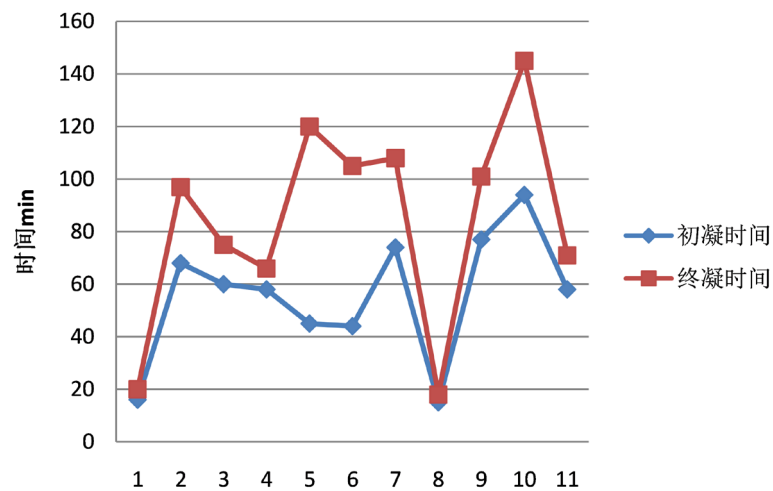


Figure 3. Curve of setting time of concrete

图 3. 混凝土凝结时间变化曲线



Figure 4. Test 1-5 96 hour state of concrete specimen

图 4. 试验 1-5 混凝土试件 96 小时状态

Table 10. Setting time of concrete
表 10. 混凝土凝结时间

编号	混凝土初凝时间 h	混凝土终凝时间 h
1-1	16	20
1-2	68	97
1-3	60	75
1-4	58	66
1-5	45	120
1-6	44	105
1-7	74	108
1-8	15	18
1-9	77	101
1-10	94	145
1-11	58	71

3) 超缓凝混凝土初终凝时间间隔最长的为 1-5、1-6、1-10；初终凝间隔时间其次为 1-2、1-10，初终凝时间间隔最短的为 1-4、1-11，对比各组超缓凝混凝土的初凝时间与终凝时间的间隔，分别为 8~15 小时、20~50 小时、60~70 小时。可以根据不同的施工部位及施工工艺要求，选择不同的混凝土初终凝时间，达到混凝土的使用要求。

4.6. 微观结构分析

超缓凝混凝土 60 天的 SEM 照片见图 5。

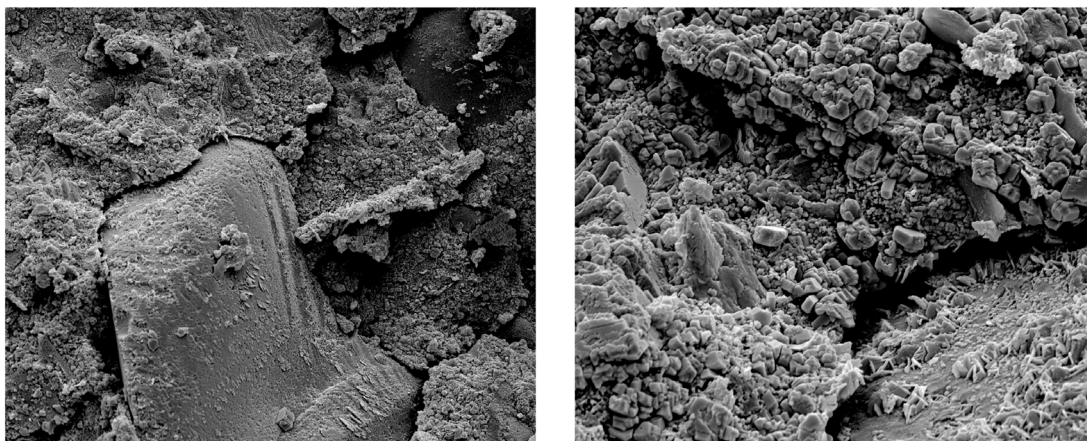


Figure 5. SEM photos of test 1-5 concrete specimens at 60 days

图 5. 试验 1-5 混凝土试件 60 天 SEM 照片

由图 5 可知，超缓凝混凝土水化产物主要为致密的钙矾石和少量的网状硅酸钙凝胶，骨料与基层之间存有部分裂缝，局部存在结晶程度较差的凝胶状钙矾石，主要原因为早期水化反应较慢，缓凝剂抑制了骨料表面与水泥水化反应，降低了界面结合稳定度，这对混凝土强度造成不利影响，但超缓凝混凝土浆体整体密实性强，毛细空隙较少，晶体结构缺陷减少，抗压强度得到提高。

5. 超缓凝混凝土尚需进一步试验研究解决的问题

5.1. 环境温度对超缓凝混凝土凝结时间的影响

本次试验是在试验室标准条件下测试的混凝土凝结时间，而在工程实际应用中需要进一步验证不同环境温度(如：冬季、夏季)对超缓凝混凝土凝结时间的影响。

5.2. 不同混凝土强度等级对超缓凝混凝土凝结时间的影响

通常混凝土的强度等级越高，胶凝材料用量越多，水化反应越快，混凝土凝结时间会相应变短，所以在工程应用中需要进一步验证不同强度等级与超缓凝混凝土凝结时间的对应关系。

5.3. 不同矿物掺含量对超缓凝混凝土凝结时间的影响

当矿物掺含量从 10%、20%、30%、40%依次增加时对超缓凝混凝土的各项性能的影响需要进一步验证。

5.4. 实际工程中，混凝土绝热温升条件下对超缓凝混凝土凝结时间的影响

实际工程中，混凝土所用水泥的含量越高，发热量越高，并且掺加在水泥中混合材的掺量、品种、特性不同，会导致混凝土的发热量不同，所以在重大工程的超缓凝混凝土的应用过程中，应试验在绝热温升条件下，测试超缓凝混凝土的凝结时间，从而确定缓凝剂的用量。

参考文献

- [1] 蒋亚清. 混凝土外加剂应用基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [2] 冯乃谦, 邢锋. 高性能混凝土技术[M]. 北京: 原子能出版社, 2000.
- [3] 冯乃谦. 实用混凝土大全[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [4] 桂根生, 李政统, 吴鑫. 超缓凝混凝土的配制及工程应用[J]. 新型建筑材料, 2019(2): 23-26.
- [5] 唐玉超, 陈良, 罗作球, 等. 新型高保塑超缓凝剂的研制与性能研究[J]. 材料导报, 2015(S1): 354-357.
- [6] 朱惠英. 超缓凝剂的研究及其应用[J]. 混凝土, 1995(1): 47-50.