

文章编号:1671-8879(2015)01-0148-06

改善搅拌过程提高混凝土强度

赵 悟,王 博,赵利军,冯忠绪

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:为了提高混凝土的强度,围绕混凝土的拌和过程,分别从活化水、2 次搅拌工艺以及振动搅拌设备 3 个方面开展了提高混凝土强度的试验研究。对拌和混凝土的关键组分水,通过高压电场处理,使其具有较强的物理、化学活性,促使拌和过程中的水化反应更加充分,并加快水化反应和凝结硬化速度。研究表明:与普通水的对比试验表明活化水提高了混凝土硬化强度;采用多步骤的 2 次搅拌工艺,促使拌和过程水泥浆体内水灰比梯度形成,降低过渡区的水灰比,改善过渡区孔隙结构,提高砂石等骨料界面的粘结强度,与传统搅拌工艺的对比试验表明,2 次搅拌工艺综合提升了混凝土的整体性能;通过在搅拌机内设置深度激振器,采用振动作用与强制搅拌相结合的工作装置,消除拌和过程中的水泥颗粒团聚,降低混合物粘度和内摩擦力,使水泥颗粒快速均匀分散,水化反应更加彻底,与普通强制搅拌机对比试验表明,振动搅拌能明显改善混凝土的微观均匀性,提高了硬化强度。

关键词:机械工程;混凝土;抗压强度;搅拌过程;活化水;2 次搅拌;振动搅拌

中图分类号:U415.522

文献标志码:A

Improving concrete strength based on the mixing process

ZHAO Wu, WANG Bo, ZHAO Li-jun, FENG Zhong-xu

(Key Laboratory of Construction Technique and Equipment of the Ministry of the Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Based on analyzing the concrete mixing procedure, this paper conducted experimental research to improve concrete strength by respectively using the activated water, secondary mixing process and vibratory mixer. As the critical components of concrete, the water was activated by using a certain electrical device to enhance the physical and chemical activity of water, which can make the hydration reaction of mixing process more sufficiently, and speed up the hydration reaction and condensation rate of hardening. The results show that the activated water can improve the concrete strength in comparison with ordinary water. The secondary mixing process can be used to promote the formation of a gradient of water-cement ratio in cement paste, reduce the water-cement ratio of the transition zone in the mixing process, improve the pore structure of the transition zone, and enhance the bonding strength of the aggregate interface. The contrast test with the traditional mixing process shows that secondary mixing process synthetically enhances the overall performance of the concrete. A

收稿日期:2014-08-16

基金项目:国家自然科学基金项目(50678026);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011JC093);

陕西省重大科技创新专项资金计划项目(2008ZKC01-16)

作者简介:赵 悟(1974-),男,陕西岐山人,副教授,工学博士,E-mail:zhaowu@chd. edu. cn。

depth vibration exciter installed in a compulsory mixer can combine the vibratory activation with forced mixing in one working device which can be used to break the clusters of cement particles, reduce the viscosity and inner friction of the mixture, speed up the uniform distribution of the cement particles and make the hydration reaction more thoroughly during mixing process. The contrast experiments with conventional forced mixer show that vibratory mixing can significantly improve the microscopic uniformity of concrete and hardening strength. 3 tabs, 9 figs, 14 refs.

Key words: mechanical engineering; concrete; compressive strength; mixing process; activated water; secondary mixing; vibratory mixing

0 引言

通常将混凝土结构归结为3个组成相:骨料、硬化水泥浆体以及水泥石-骨料间的界面过渡区^[1]。就混凝土的强度而言,骨料的强度一般均高于另外2个相,界面过渡区是3个组成相中最薄弱的环节。因此普通混凝土的强度主要取决于界面过渡区的粘结强度,而界面粘结强度又取决于骨料表面状况、凝结硬化条件以及混凝土拌和物的泌水性等^[2]。改善界面过渡区的强度是提高混凝土强度的重要途径^[3]。目前提高混凝土强度的研究中,大多采用的措施为:选择较高标号的水泥;降低水灰比;选择具有恰当级配的粗集料。对此有人认为,集料强度与基体强度相互协调时,才能更好地发挥集料和基体的作用^[4]。当集料与基体两相强度差异较大时,高强相的强度不能充分利用来提高强度。另外,使用外加剂对混凝土强度的提高同样有着显著的功效,一般认为高效减水剂的减水率大,可以明显降低混凝土的水灰比,所以能大幅提高混凝土强度^[5]。另一种观点认为,加入高效减水剂能改善水泥颗粒的分散程度,从而可以提高其水化程度、增进其微结构的密实性,改善混凝土的力学性能^[6]。2次振捣,也是较常用的方法,它可以提高混凝土的密实性与均匀性,对不同的水灰比可使强度提高10%~20%,同时也可改善混凝土的抗冻性与抗渗性^[7]。混凝土的养护,对其强度的提高也起着重要作用,通过试验得出,高温养护有利于混凝土抗压强度的发展,热水养护有利于混凝土抗折强度的发展^[8]。以上提高混凝土强度的方法都是基于材料、成型以及养护方面做的研究。

众所周知,搅拌是生产混凝土的最基本制备方法,通过混合料各物料间的相互碰撞、对流和扩散,促使物料颗粒,特别是水泥颗粒的弥散分布,达到混凝土宏观及微观结构上的匀质。因此,在各组成材

料和配合比一定的情况下,混凝土的强度及其他性能必然在很大程度上取决于搅拌装置及其与混合料的相互作用过程。然而由于搅拌过程的动态复杂性,目前通过改善搅拌过程来提高混凝土强度的研究却不多。为此,本文做的研究主要有:对活化水在搅拌过程中加速水化的机理与试验研究;对2次搅拌工艺机理的分析与试验研究;基于混凝土结构流变特性,在搅拌机内增加深度激振器,采用振动活化与强制搅拌相结合的方法强化搅拌,在搅拌过程中缩短了搅拌时间,节约了水泥,同时使混凝土界面过渡区的粘结强度得到了明显的改善。

1 活化水

1.1 作用机理

水经过电子水处理器或静电水处理器处理后会使得水分子内电子的构造和水分子的结构发生变化,这种变化称为水分子的活化,被处理过的水即为活化水^[9]。但是这种活化水是一种不稳定结构,在一段时间后会逐步恢复成处理前的状态。

混凝土拌制水通过静电水处理装置时(下页图1),在电场力的作用下使极性水分子团破裂,变成单个单分子,这些单分子重新排列整齐,增加了水分子间的电性吸引力^[10]。水分子结构的改变,会导致其分子表面张力的改变。其中表面水在集料空隙中分布情况如下页图2所示。水在缝隙中存在会形成一个边缘厚而中央薄的双凹面镜片形,其周缘则为弯月形的水面而2个凹面与固体相接。水的表面张力作用于集料颗粒后会阻止它们粘合在一起,然而这种约束作用对细集料有很大影响。活化水具有低的表面自由能和表面张力,并且会减轻阻止细集料运动的粘合力从而改善细集料在浆体中的流动性。因此使用活化水在水灰比相同的条件下,其较普通水拌制的混凝土和易性要好。

由于活化水单分子的物理、化学活性和渗透力



图 1 静电水处理装置

Fig. 1 Electrostatic treatment device

很强则在搅拌过程中可渗入到水泥颗粒内部,从而使其水化反应较普通水水化反应更充分,并使生成的水泥浆体数量增加,游离态水和未水化的水泥颗粒减少。在相同用水量下,同时具有较好的粘聚性和保水性。由于相同质量的活化水单个水分子较多并且分子间的孔隙缩小,其体积也就相应缩小,因而活化水的密度就比普通水大。因此,在混凝土搅拌过程中水泥颗粒及细骨料的分散度和拌和物的均匀性也相应提高,从而使混凝土的综合性能得到提升。

表 1 活化水与普通水拌制混凝土 28 d 的抗压强度对比

Tab. 1 A compressive strength contrast between concrete mixed with activated water and regular water in 28 d

工艺方法	试样 1/MPa	试样 2/MPa	试样 3/MPa	抗压强度平均值 \bar{R} /MPa	抗压强度标准差 σ	抗压强度离差系数 C_v
普通水	28.42	29.56	30.38	29.45	1.124 0	0.038 2
活化水	34.05	34.46	34.38	34.30	0.543 8	0.015 9
活化水(静置 0.5 h)	29.26	30.36	31.54	30.39	0.998 1	0.032 8

由以上试验数据可知,高压电场处理过的活化水拌制的混凝土 28 d 抗压强度提高了 16.47%,其抗压强度标准差和抗压强度离差系数均最小,说明在搅拌过程中水化反应较为充分,混凝土的微观匀质性较好;然而放置 0.5 h 后使用处理过的活化水拌制的混凝土 28 d 抗压强度仅提高了 3.19%,但抗压强度离差系数 C_v 高于其他 2 组,从试验结果可以明显看出活化水具有一定的时效性,处理后的水应尽快使用;另从试样外观看,活化水拌制的混凝土试件具有空隙小、分布均匀、密实性好等特点。

2 2 次搅拌工艺

2.1 作用机理

2 次搅拌工艺是指在考虑混凝土组分中各物料相互均匀混合的基础上,利用物料投料量、搅拌顺序对混凝土内部结构形成的影响,综合提高混凝土性能的工艺方法^[12]。

2 次搅拌工艺的具体工艺流程可归纳为先拌水泥砂浆法、先拌水泥净浆法、水泥裹砂法、水泥裹石法和水泥裹砂石法 5 种方法;按搅拌步骤则可分为 2 步搅拌和 3 步搅拌,各种工艺步骤见图 3。图中:

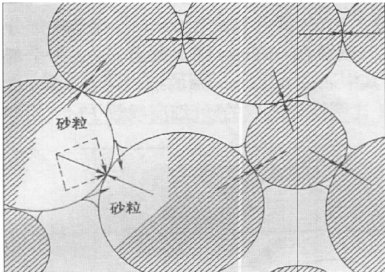


图 2 水的表面张力对砂粒相互作用的影响

Fig. 2 Surface tension of water on the sand Interaction

1.2 试验及结果分析

为了比较高压静电场处理后的活化水与普通自来水搅拌混凝土抗压强度的差别,选用单卧轴搅拌机,配置混凝土 C20,测 28 d 混凝土的平均抗压强度 \bar{R} 、标准差 σ 及抗压强度离差系数 C_v ^[11];同时将处理后的活化水静置 0.5 h 后搅拌测其 28 d 平均抗压强度 \bar{R} 、标准差 σ 及离差系数 C_v ,用以观测活化水的时效性。表 1 为测得的数据。

t_1 、 t_2 、 t_3 分别为投料后第 1 次、第 2 次、第 3 次的拌和时间;水₁、水₂ 分别为 1 次加水、2 次加水。

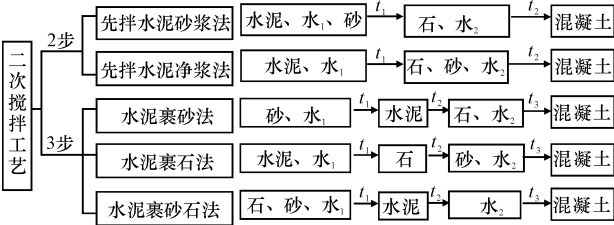


图 3 2 次搅拌工艺步骤

Fig. 3 Processing sequence of secondary mixing of concrete

混凝土的传统搅拌工艺即在搅拌时水 1 次直接加入搅拌机,所有组份一次性投入时,由于骨料的亲水性其表面会吸附一层较厚的水膜,从而使得水泥没有足够的水与之发生充分的水化反应,得到的新拌混凝土含气量较高,在其内部会产生小气泡同时混凝土也产生泌水和沉降;对混凝土的 2 次搅拌工艺而言,由于 1 次搅拌时水泥裹在砂的表面上形成了水泥浆壳,然而此时浆体的流动度应在一个适宜的范围内,不易过稠或过稀(下页图 4)。在混凝土搅拌过程中,具有合理水灰比的浆体能充分抵抗住物料之间相互的冲撞力,因而可保持水泥浆壳的完整性。第 2 次加

颗粒的分散性,减少水泥颗粒的团聚现象,从而提高水化反应程度并在一定程度上堵塞了自由水分向骨料界面集中的通道,同时改善了混凝土界面区的水化产物分布形态,搅拌时提高了混凝土各项性能。



2.2 试验及其结果分析

在 2 次搅拌机机理分析的基础上,对图 3 的工艺流程中的前 4 种方案进行试验研究,基本确定各工艺搅拌速度、时间及注水量等的较优参数;在相同配合比和试验条件下,进一步对已确定较优参数的 2 次搅拌工艺和传统搅拌工艺分别在搅拌 40、50、68 s 的混凝土,对其强度进行了横向对比试验。表 2 为对比试验结果。结果表明:采用先拌砂浆法搅拌 40 s 的混凝土强度比传统工艺搅拌 40、50、68 s 时分别提高了 24%、16% 和 4%;采用水泥裹石法搅拌 50 s 的混凝土强度比传统工艺搅拌 50、68 s 时分别提高 16.8%、4.4%。此外,2 次搅拌工艺在提高水泥分散性、水化程度以及平衡混凝土界面过渡区强度梯度等方面有明显的效果。从试块测试情况来看,采用 2 次搅拌工艺制备的混凝土试块,一般是水泥石与粗骨料整体的粉碎性破坏,或是骨料贯穿性破坏,如图 5 所示。说明混凝土界面过渡区强度得到明显改善,整体性能有了较大提高。

Tab. 2 A compressive strength contrast between common mixing process and the secondary mixing process in 28 d

工艺方法	试样 1/MPa	试样 2/MPa	试样 3/MPa	抗压强度平均值 \bar{R} /MPa	抗压强度标准差 σ	抗压强度离差系数 C_v
先拌水泥砂浆法	29.75	30.45	30.63	30.28	0.459 1	0.015 2
水泥裹砂法	31.09	30.45	29.06	30.20	1.035 2	0.034 3
先拌水泥净浆法	28.28	29.39	27.75	28.47	0.842 3	0.029 6
水泥裹石法	30.91	30.39	29.87	30.39	0.520 6	0.017 1
传统 40 s	24.73	23.25	25.21	24.39	1.107 1	0.041 7
传统 50 s	26.45	24.99	26.59	26.01	0.886 4	0.034 1
传统 68 s	27.28	29.34	30.69	29.11	1.721 0	0.059 1

3 振动搅拌设备

3.1 作用机理

Fig. 5 Damage of concrete interface

全被混合料吸收。另外,振动搅拌还可净化集料表面,增加水泥和集料间的粘结力^[14]。因此振动搅拌能有效提高混凝土强度,同时使混凝土混合料的和易性也有所改善。并且在搅拌过程中增加了物料的

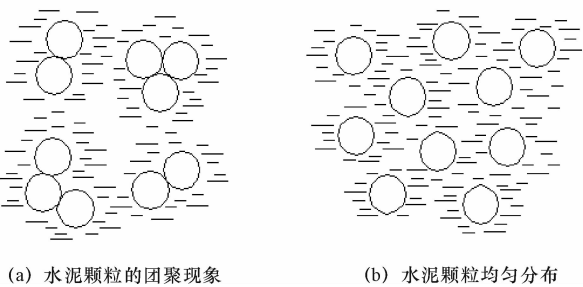


图 6 水泥颗粒分布情况

Fig. 6 Distribution of cement particles

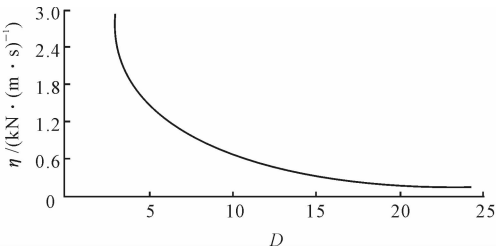


图 7 混凝土粘度与振动强度的关系

Fig. 7 Relationship between concrete viscosity and vibration strength
剪切运动和对流运动次数,缩短搅拌时间,减少搅拌功率消耗,降低生产成本。

3.2 试验及其结果分析

试验样品的工作原理如图 8 所示,搅拌驱动机构经同步齿轮驱动搅拌轴,带动搅拌叶片同步反转,从而使物料在搅拌机内作轴向和轴间运动;同时,振

表 3 振动搅拌与普通搅拌试验结果对比(28 d 抗压强度)

Tab. 3 Test result contrast between vibratory mixing and normal mixing in 28 d

搅拌机	搅拌条件	试样 1/MPa	试样 2/MPa	试样 3/MPa	抗压强度平均值 \bar{R} /MPa	抗压强度标准差 σ	抗压强度离差系数 C_v
振动搅拌	①	30.45	29.76	30.03	30.08	0.347 7	0.011 6
普通强制式	②	23.80	25.68	25.40	24.96	1.014 3	0.040 6
普通强制式	③	28.86	27.98	28.90	28.58	0.520 0	0.018 2

通过电镜对混凝土试样界面过渡区观察(图 9),发现强制搅拌的混凝土试样存在明显的界面过渡区,水泥水化物结构松散,并且观察到 C-S-H 凝胶与粗集料的粘结面存在较宽裂缝。相反,振动搅拌的混凝土试样在水泥石与粗集料界面处的过渡区结构明显致密,空隙较少并且无针状和片状的松散水泥水化物产区,其过渡区主要被 C-S-H 凝胶所填充,因而结构更为致密,粘结更好,力学性能大幅度提高。

4 结 语

(1)对混凝土搅拌的关键材料——水,进行改性,通过高压电场增加水的活性,利用其较强的物理、化学活性,可使搅拌过程中的水化反应更加充

动驱动机构通过带传动使偏心安装的振动轴快速转动,因而把振动传递到搅拌轴和搅拌叶片上。这种搅拌与激振一体化的设计,使得激振器振幅稳定并且不易受作业介质的干扰,工作时边搅拌边振动,大大提高了工作效率与搅拌质量。

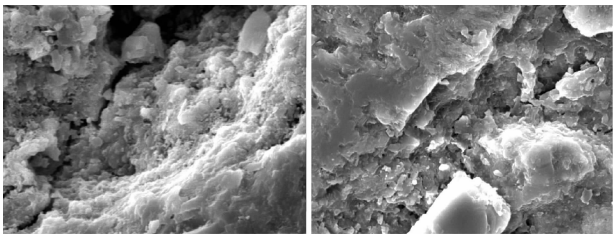


图 8 试验样品

Fig. 8 Experimental prototype machine

为比较普通强制搅拌机和试验样品机在搅拌过程中对混凝土性能的影响,在混凝土配合比和试验方法相同的情况下,分别以不同的搅拌条件进行对比试验:①振动搅拌,先干拌 8 s,再湿拌 30 s;②关闭振动电机,强制搅拌,先干拌 8 s,再湿拌 30 s;③关闭振动电机,强制搅拌,先干拌 8 s,再湿拌 60 s。

振动搅拌与普通强制搅拌相比,混凝土强度大有提高,而强度标准差和离差系数却相应下降,这说明振动搅拌在完成宏观搅拌的同时,改善了混凝土的微观结构,提高了混凝土的微观匀质性。由表 3 可知,振动搅拌与强制搅拌相比,当配合比不变而搅拌时间减少一半时,强度提高了 5.25%;当配合比不变,搅拌时间相同时,强度提高了 20.15%。



(a) 强制搅拌试样

(b) 振动搅拌试样

图 9 放大 3 000 倍的各参数试样界面处 SEM 照片

Fig. 9 3 000 times larger scanning electron microscope(SEM)

picture of the sample's interface

分,并加快水化反应和凝结硬化速度,使混凝土的结构更加密实。试验表明,活化水拌制的混凝土比普通水拌制的混凝土 28 d 抗压强度提高了 16.47%,并且抗压强度标准差和抗压强度离差系数均较小;

但放置 0.5 h 后使用处理过的活化水拌制的混凝土 28 d 抗压强度仅提高了 3.19%,说明活化水具有一定的时效性,处理后应尽快使用。

(2) 2 次搅拌并非对搅拌过程的简单重复,在搅拌过程的恰当时刻,采用 2 次搅拌工艺可降低混凝土内部结构过渡区的水灰比,同时改善过渡区孔隙结构,提高混凝土界面过渡区的粘结强度,使得混凝土的整体性能得到提升。

(3) 新型的振动搅拌装置,将传统的强制搅拌与振动作用结合起来,利用深度激振器强化搅拌过程,振动能量使水泥颗粒分布更均匀,水化反应更彻底,可明显改善混凝土的微观均匀性和硬化强度;同时振动搅拌也可减少搅拌时间,提高搅拌效率。

参考文献:

References:

- [1] 冯乃谦. 新实用混凝土大全[M]. 北京:科学出版社,2005.
FENG Nai-qian. New practical encyclopedia of concrete[M]. Beijing:Science Press,2005. (in Chinese)
- [2] Chang P K, Peng Y N. Influence of mixing techniques on properties of high performance concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31(2): 87-95.
- [3] 冯忠绪, 王卫中. 增强混凝土界面粘结强度的方法[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2009, 29(1): 91-94.
FENG Zhong-xu, WANG Wei-zhong. Reinforcement methods of concrete interfacial bond strength[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(1): 91-94. (in Chinese)
- [4] 杨再富, 钱觉时, 唐祖全, 等. 粗集料强度对混凝土抗压强度影响的试验研究[J]. 混凝土, 2004(12): 23-25.
YANG Zai-fu, QIAN Jue-shi, TANG Zu-quan, et al. Experimental study about effect of coarse aggregate strength on compressive strength of concrete[J]. Concrete, 2004(12): 23-25. (in Chinese)
- [5] Carmel J, Marc A S. Chemical add mixture cement interactions phenomenology and physicochemical concepts[J]. Cement and Concrete Composites, 1998, 20(2/3): 87-102.
- [6] 覃维祖. 高效减水剂的作用与发展[J]. 混凝土, 1994(5): 5-11.
TAN Wei-zu. Effect and development of the high range water reducing agent[J]. Concrete, 1994(5): 5-11. (in Chinese)
- [7] 李金旺. 砼二次振捣增强机理的分析[J]. 建筑结构学报, 1994(6): 53-54.
LI Jing-wang. Analysis on enhancement mechanism of concrete re-vibrating[J]. Journal of Building Structures, 1994(6): 53-54. (in Chinese)
- [8] 杨昊生, 黄政宇, 汤拉娜, 等. 热养护对高性能混凝土强度的影响[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2003, 30(3): 150-152.
YANG Wu-sheng, HUANG Zheng-yu, TANG La-la, et al. Effect of heat cure on strength of High-performance concrete[J]. Journal of Hunan University: Natural Science Edition, 2003, 30(3): 150-152. (in Chinese)
- [9] 郝兆山. 电子水处理和静电水处理试验研究和应用[J]. 河北化工, 1999(2): 32-33.
HAO Zhao-shan. Electronic water treatment and electrostatic water treatment experimental study and applications[J]. Hebei Chemical Engineering and Industry, 1999(2): 32-33. (in Chinese)
- [10] 王卫中, 冯忠绪. 混凝土搅拌工艺方案比较[J]. 工程机械, 2006, 37(11): 64-65.
WANG Wei-zhong, FENG Zhong-xu. Concrete mixing technology program comparison[J]. Construction Machinery and Equipment, 2006, 37(11): 64-65. (in Chinese)
- [11] GB/T 9142—2000, 混凝土搅拌机[S].
GB/T 9142—2000, Concrete mixer[S]. (in Chinese)
- [12] 廖振方, 唐川林, 刘美生, 等. 离子体活化水对混凝土力学性能的影响[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2000, 23(6): 1-3.
LIAO Zhen-fang, TANG Chuan-lin, LIU Mei-sheng, et al. Experimental study about the plasma activated water on the performance of the concrete[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2000, 23(6): 1-3. (in Chinese)
- [13] Rejeb S K. Improving compressive strength of concrete by a two- step mixing method[J]. Cement and Concrete Research, 1996, 26(4): 585-592.
- [14] 冯忠绪. 振动搅拌理论及其装置的试验研究[D]. 西安:长安大学, 1998.
FENG Zhong-xu. The experiment study of vibratory mixing theory and mixer[D]. Xi'an: Chang'an University, 1998. (in Chinese)