

文章编号:1671-8879(2011)06-0100-05

振动搅拌参数对混凝土含气量的影响

付昌会,王卫中,张 磊

(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:为了探讨增加水泥混凝土含气量的新方法,对搅拌过程影响混凝土含气量的因素及其规律进行了初步研究,主要对振动搅拌装置的振幅、振动频率、搅拌线速度等参数发生变化时对混凝土含气量及其分布状况的影响规律进行了试验,发现搅拌装置的参数发生变化会对新拌混凝土的含气量产生直接影响。研究表明,当选用小振幅、中频、搅拌速度低于 1.2 m/s 时,新拌混凝土的含气量普遍达到 3.5% 左右,且强度也普遍高于普通搅拌得到的混凝土。这说明振动搅拌不仅能够改善混凝土含气量及其分布状况,而且能提高混凝土强度;为提高混凝土耐久性提供了一种新的途径。

关键词:机械工程;混凝土;含气量;振动搅拌;试验

中图分类号:U415.522

文献标志码:A

Impact of vibratory mixing parameters on air content of concrete

FU Chang-hui, WANG Wei-zhong, ZHANG Lei

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to find a new method to increase the air content of concrete, this paper discussed the factors in mixing process, such as amplitude, vibratory frequency and mixing speed, how to influence the air content of concrete by experiment study. The results show that the change of these parameters could directly influence the air content of concrete, when using small amplitude, middle frequency, and the mixing speed lower than 1.2 m/s, the air content of the fresh concrete will rise about 3.5%, and the strength is improved. The vibratory mixing can not only improve the air content and its distribution, but also enhance its intensity. So this study can give a new way to enhance the durability of content. 5 tabs, 4 figs, 10 refs.

Key words: mechanical engineering; concrete; air content; vibratory mixing; experiment

0 引 言

2008 年初的冰雪灾害使人们认识到在各种工程结构,特别是在道路与桥梁工程中,混凝土除了要

满足强度要求外,还要求具有优良的耐久性^[1]。为了增强混凝土的耐久性,提高混凝土中的含气量是目前国内外普遍采用的方法之一^[2-3]。实践证明,混凝土中约有 4% 的含气量能使和易性、耐久性和抗

收稿日期:2010-12-10

基金项目:国家自然科学基金项目(50678026)

作者简介:付昌会(1965-),男,陕西户县人,高级工程师,工学博士研究生,E-mail:changhui65@126.com。

渗性都有较大幅度的提高。1994 年 RILEM 会议报告中明确指出,在拌和物中引入 4% 左右体积的气体是防止混凝土产生裂缝的重要措施^[4]。

在混凝土搅拌过程中掺加适量的引气剂,混凝土工程的寿命,特别是冻融作用下的使用寿命会成倍延长。但是,引气剂是一种敏感外加剂,易受其他因素影响,如使用不当,则不仅会降低其功效,而且会增加成本。有关试验表明,当水灰比固定时,混凝土的含气量每增加 1%,其抗压强度降低 4%~5%,抗折强度降低 2%~3%。另外,混凝土引气剂的种类繁多,作为混凝土的组成部分,在选用时必须进行试验,证明其性能以及与水泥的适应性,并确定适宜的掺量、掺加工艺以及用水量等,步骤比较繁琐。

影响含气量的因素较多,国内外主要针对材料的级配、坍落度、水灰比等变化与含气量的关系进行了一些研究,并得到了一些规律,但是搅拌过程参数变化对混凝土含气量的影响规律的研究却很少看到。笔者在从事混凝土振动搅拌理论及技术的研究过程中发现:在搅拌过程中对混合料施加振动,当振动的频率和振幅等参数选取合适时,新拌混凝土的含气量有较大提高,同时硬化后的抗压强度也比普通搅拌方法有所提高。从而得到启发,除了在搅拌过程中添加引气剂来改善混凝土含气量及气体分布状况外,能否采用其他的方法达到相同的目的,且更为方便和经济。本文将介绍振动搅拌过程对混凝土含气量变化影响的阶段性研究结果。

1 试验样机、方法、材料与配合比

试验样机应能完成在不同振动参数条件下新拌混凝土含气量的变化研究,在此基础上还要完成与普通搅拌的对比分析,从而确定不同搅拌过程参数对混凝土含气量的影响规律。因此,样机既要能实现现有普通双卧轴搅拌机的搅拌功能,同时还要实现振动搅拌及其振幅、频率等参数变化的目的。另外,搅拌装置必须可以更换,以满足搅拌装置参数变化的要求。

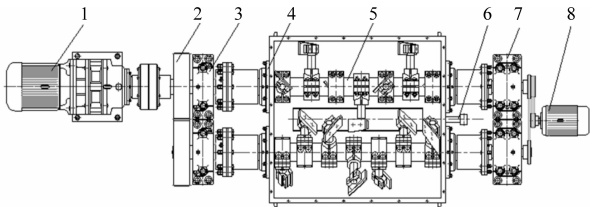
1.1 试验样机

在现有双卧轴搅拌机技术的基础上,设计了双卧轴振动搅拌试验样机^[5]。样机主要性能参数见表 1(g 为重力加速度);结构如图 1 所示。

振动搅拌装置的独特之处在于搅拌机构与激振器一体化设计,搅拌叶片边搅拌边振动。搅拌机构通过套接在振动轴上的偏心轴承座实现偏心安装,振动轴高速旋转强迫搅拌轴和其上安装的搅拌叶片

表 1 试验样机主要性能参数

性能参数		数值	备注
公称容量/L		100	
搅拌轴线速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		1.47	可调
搅拌叶片数量/个		$5 \times 2 + 2 \times 2$	主叶片+侧叶片
激振器	设计振幅 A/mm	1.0	可调
	振动圆频率 ω/s^{-1}	201.1	可调
	振动强度 D	4.13	$D = A\omega^2/g$, 可调
搅及拌减电机	型号		BWD7.5-4-29
	功率/kW	7.5	
	减速比	29	
速器	输出转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	50	可调
	型号		Y100L-2
	功率/kW	3	
	输出转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	3 000	可调



1. 搅拌电机;2. 同步齿轮;3. 轴承座 I;4. 轴端密封;5. 搅拌机构;6. 卸料机构;7. 轴承座 II;8. 振动电机

图 1 试验样机结构

及臂产生振动,从而对拌筒内的物料施加振动作用。振动轴上安装有偏心块,按力学原理进行了动平衡设计,保证了振动轴在高速旋转时,较好地消除振动对机器其他零部件的不良影响。由于物料能够在拌筒内形成大范围的循环流动,因此所有的物料可以受到充足的振动作用。

1.2 试验方法

根据国标规定,新拌混凝土含气量用气压式含气量测定仪测定;当粗骨料质量相对误差 $\Delta G < 5\%$,砂浆重度相对误差 $\Delta M < 0.8\%$ 时为合格品, ΔG 和 ΔM 值越小,均匀性越好^[6]。混凝土试件尺寸为 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$,试件按《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)方法成型,在空气中静养 24 h 后拆模,移入标准养护室养护至规定龄期,测定硬化混凝土试块的抗压强度,指标为:强度平均值 \bar{f} 、标准差 σ 和离差系数 C_v 。

1.3 试验材料及配合比

试验混凝土设计强度等级为 C20;水泥采用强度等级为 32.5R 的普通硅酸盐水泥,细骨料用中砂,粗骨料用 5~40 mm 连续级配碎石;强度标准差为 4 MPa,水泥强度富余系数取 1.00,配置强度为

26.2 MPa。

2 振动搅拌的试验

2.1 试验安排

对混凝土进行振动搅拌,目的是使物料颗粒具有一定振动频率下的振幅,使物料颗粒处于颤振状态,从而破坏混合料的粘性联结结构,使物料间的内摩擦力大大降低,便于物料颗粒的均匀分布。振动搅拌过程中,影响混凝土搅拌质量的参数很多,本次试验考虑的参数主要包括:振幅 A 、振动圆频率 ω 、激振器表面积 F 等振动参数,以及搅拌线速度 v 等搅拌参数。

2.1.1 振幅 A 和振动圆频率 ω

振幅 A 和振动圆频率 ω 是振动的 2 个基本参数。由混凝土结构流变特性的研究可知,振幅 A 、振动圆频率 ω 及其派生的振动强度 D 对混凝土混合料的结构粘度有决定性的影响^[7-10]。由于本次试验采用搅拌激振器的激振方式,为了提高机器工作的可靠性和耐久性,选定 D 小于 6,振幅 $A = 0.5 \sim 2.0$ mm,振动圆频率 ω 的取值范围为 $170 \sim 340$ s⁻¹。通过更换振动轴上偏心轴承座的方法提供 0.5、1.0、1.5 mm 这 3 种振幅。与之对应的振动圆频率由变频器改变振动驱动电机的转速来实现,考虑带传动比的影响,确定 3 种频率分别为 142.1、201.1、246.3 s⁻¹。

2.1.2 搅拌线速度 v

普通强制搅拌的合理线速度为 1.4~1.6 m/s,因此本次振动搅拌试验,拟定了 6 种搅拌线速度,分别为 0.8 m/s(27 r/min)、1.0 m/s(34 r/min)、1.2 m/s(41 r/min)、1.4 m/s(48 r/min)、1.6 m/s(55 r/min)、1.8 m/s(62 r/min),括号内数值为相应的搅拌轴转速。试验中,利用变频器改变搅拌驱动电机的转速,得到需要的搅拌轴转速。

2.2 试验结果

2.2.1 振幅 A 和振动圆频率 ω 变化的试验结果

振幅 A 和振动圆频率 ω 变化的试验结果见表 2;由表 2 中振动强度和含气量的数据,绘制出的线性拟合曲线如图 2 所示。

从表 2 和图 2 可以看出,振动强度与含气量的变化基本上遵循强度越大、含气量越低的规律。这说明,随着振动强度的提高,混凝土物料颗粒获得的振动能量提高,混合料间隙中留存的气泡在振动作用下加速逸出;当然,激振器面积越大,与混合料接触的机会就越多,单位体积混凝土得到的振动能量就越大,越有利于混合料各相组分的均匀分布;此时,

表 2 振动参数的试验结果

振动圆频率 ω/s^{-1}	振幅 A/mm	振动强度 D	混凝土拌和物匀质性			7 d 硬化混凝土试块抗压强度指标		
			含气量/%	$\Delta M/\%$	$\Delta G/\%$	\bar{f}/MPa	σ/MPa	C_v
142.1	0.5	1.03	4.25	0.52	4.79	20.845	6.402	0.307
	1.0	2.06	2.18	0.45	1.63	23.452	5.191	0.221
	1.5	3.09	1.75	0.28	1.02	25.822	0.684	0.026
201.1	0.5	2.06	4.74	0.67	1.46	20.059	2.184	0.109
	1.0	4.13	2.13	0.32	1.91	21.393	2.715	0.127
	1.5	6.19	2.25	0.36	1.70	21.689	2.503	0.115
246.3	0.5	3.10	1.75	0.64	3.94	21.822	3.332	0.153
	1.0	6.19	2.08	1.13	1.98	23.052	2.248	0.098
	1.5	9.29	2.00	0.60	1.64	17.852	1.807	0.101

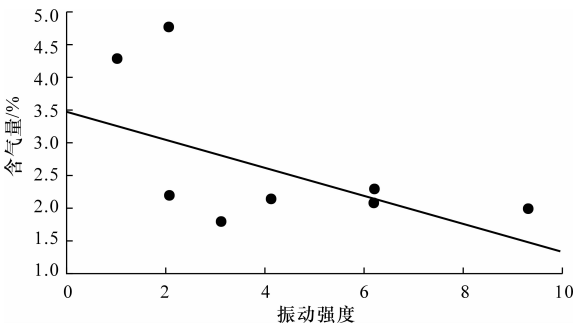


图 2 振动强度变化与含气量的拟合曲线

只需较小的振动强度就可达到较高的含气量。

由表 2 中数据可以得出,相同振动频率下,随着振幅的增大,混凝土含气量基本上呈下降趋势;但当振动频率超过一定程度(此处为 246.3 s⁻¹)时,随着振幅的增大,混凝土含气量变化不大。由此可见,振幅及频率变化对混凝土含气量的影响规律比较特殊;在小振幅时,中、低频都可以获得较高的含气量。

根据表 2 中数据还可以得出,频率相同时,振幅较大,混凝土强度较高;振幅相同时,频率较低,混凝土强度较高。就试验用的 3 个频率来说,142.1 s⁻¹ 的效果最好。

本次试验条件下, $A=1.5$ mm, $\omega=142.1$ s⁻¹ 是较合理的振动参数,此时, $D=3.09$,不但较好地改善了混凝土性能,提高了搅拌质量,而且振动强度小,可保证机器有较高的工作可靠性。

2.2.2 搅拌线速度变化的试验结果

对 6 种不同的搅拌线速度分别进行试验,试验结果见下页表 3;将试验结果绘成曲线,如下页图 3 所示。

由表 3 和图 3 可知,在振动作用下,当搅拌线速度较低时,物料搅拌不剧烈,在拌筒内运动缓慢,各

表 3 搅拌线速度的试验结果

搅拌线速度 $v/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	混凝土拌和物匀质性			7 d 硬化混凝土 试块抗压强度指标		
	含气量/ %	$\Delta M/\%$	$\Delta G/\%$	\bar{f}/MPa	σ/MPa	C_V
0.8	2.25	0.91	5.85	15.378	7.368	0.479
1.0	2.08	0.39	3.13	15.778	4.629	0.293
1.2	2.10	0.31	2.60	15.911	3.179	0.200
1.4	1.90	0.32	2.45	19.689	1.018	0.052
1.6	1.58	0.21	1.23	21.763	0.456	0.021
1.8	1.70	0.26	2.13	17.630	2.730	0.155

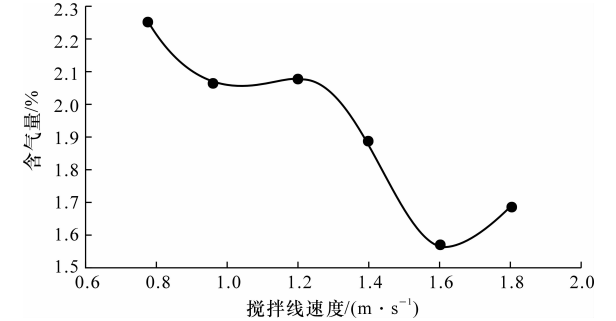


图 3 振动作用下搅拌线速度与含气量的变化曲线

相颗粒的均匀分布变慢,此时含气量值较高;随着搅拌线速度增大,含气量逐渐降低,当线速度为 1.6 m/s 时,含气量由 2.25%降为最小的 1.58%;当线速度继续增大时,含气量又有所增加。这说明,随着线速度的增加,物料运动频次增多,新拌混凝土中的气相颗粒被破坏和逸出的几率增加,含气量下降;而当线速度增大到一定值时,由于物料离析现象的出现,各相颗粒的分布很不均匀,致使含气量有所增加。

2.2.3 与普通强制搅拌的对比试验

为了比较振动搅拌与普通强制搅拌对新拌混凝土含气量影响的差异,在混凝土组成材料及配合比和试验方法相同而搅拌条件不同的情况下,进行对比试验,通过测定混凝土的匀质性指标和强度指标的方法来比较分析。

(1)力学性能的对比。搅拌条件为:①振动搅拌,干拌 8 s,湿拌 30 s;②关闭振动电机时强制搅拌,干拌 8 s,湿拌 60 s;③关闭振动电机时强制搅拌,干拌 8 s,湿拌 30 s。

对比结果见表 4。利用 Matlab 软件,根据混凝土抗压强度平均值和标准差,绘制出不同搅拌条件时混凝土强度 f 的概率分布曲线,如图 4 所示。

从表 4 和图 4 中可以看到,振动搅拌与普通强制搅拌相比,搅拌质量显著提高,表现为混凝土强度高,均匀度好。这充分说明了振动搅拌在完成宏观搅拌的同时,使混凝土的微观均匀度得到极大改善。

表 4 对比试验结果

搅拌条件	搅拌形式	混凝土拌和物匀质性		7 d 硬化混凝土 试块抗压强度指标		
		$\Delta M/\%$	$\Delta G/\%$	\bar{f}/MPa	σ/MPa	C_V
①	振动搅拌	0.21	1.23	21.763	0.456	0.021
②	普通强制搅拌	0.30	1.30	18.741	0.680	0.036
③	普通强制搅拌	0.43	2.32	17.215	3.249	0.189

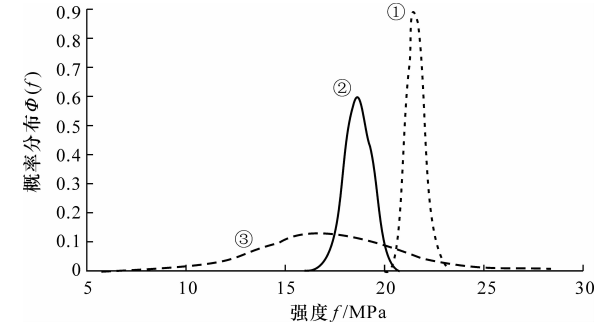


图 4 不同条件下硬化混凝土强度概率分布曲线

并且,振动搅拌也使搅拌时间缩短,生产效率提高。由表 4 可知,当配合比不变而搅拌时间减小一半时,混凝土抗压强度提高约 16%;当配合比不变而搅拌时间相同时,混凝土强度提高约 26%。

(2)含气量的对比。在其他条件相同的情况下,分别在振动搅拌和普通搅拌条件下随机选取含气量测试样本各 18 个,样本测试结果见表 5。

表 5 不同搅拌条件下的含气量测试值 %

搅拌形式	样本号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
振动搅拌	3.55	3.50	3.50	3.80	4.30	3.70	3.25	3.80	3.70
普通搅拌	1.65	1.40	1.42	1.75	2.40	1.90	1.20	1.30	0.86

搅拌形式	样本号								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
振动搅拌	3.55	3.80	3.70	4.30	3.80	4.30	3.55	4.30	3.50
普通搅拌	1.38	1.65	1.29	1.70	1.41	1.90	1.70	2.10	1.50

测试结果表明,当振动参数选取较合适时,新拌混凝土的含气量普遍达到 3.5%左右,高于普通搅拌混凝土的含气量,与引气混凝土普遍要求的含气量范围比较接近(3%~6%),且强度也普遍高于普通搅拌混凝土。这说明,振动搅拌不仅能够改善混凝土含气量及其分布状况,而且提高了混凝土强度,其内在机理较为复杂,还需进一步深入研究。

3 结 语

(1)振动强度与含气量的变化基本上遵循振动强度越大含气量越低的规律;激振器的面积越大,单位体积混凝土得到的振动能量就越大,此时只需要较小的振动强度就可以达到较高的含气量;相同振

动频率条件下,随着振幅的增大,混凝土含气量基本上呈下降趋势,但当振动频率超过一定程度(此处为 246.3 s^{-1})时,随着振幅的增大,混凝土含气量变化不大。

(2)在振动作用下,当搅拌速度较低时,含气量值较高,随着搅拌线速度的增大,含气量逐渐降低;当线速度超过 1.6 m/s 时,含气量又有所增加。

(3)当选用小振幅、中频而且搅拌速度低于 1.2 m/s 时,新拌混凝土的含气量普遍达到 3.5% 左右,且强度也普遍高于普通搅拌,说明振动搅拌不仅能够改善混凝土含气量及其分布状况,而且能提高混凝土强度,这为提高混凝土耐久性提供了一种新的途径。

参考文献:

References:

[1] 冯忠绪. 混凝土搅拌理论及设备[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[2] 王修田,钱春香,游有鲲,等. 含气量对混凝土抗冻性能与抗渗性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品,2004(6):16-18.

WANG Xiu-tian, QIAN Chun-xiang, YOU You-kun, et al. The effect of air content in concrete to its frost resistance and the impermeability[J]. China Concrete and Cement Products,2004(6):16-18.

(上接第 93 页)

[2] 常志宏. 高速公路全运营周期养护成本控制研究[D]. 济南:山东大学,2008.

[3] 何仲文,黄少强. 零基预算管理方法在高速公路运营成本费用控制中的运用[J]. 公路,2004(8):324-327.

HE Zhong-wen, HUANG Shao-qiang. The use of zero-based budget management in the expressway operating cost control[J]. Highway,2004(8):324-327.

[4] 秘慧琴. 高速公路运营成本及控制[J]. 交通科技与经济,2008,49(5):125-126.

MI Hui-qin. Expressway operation cost and the control discussion[J]. Technology & Economy in Areas of Communications,2008,49(5):125-126.

[5] 姚 晔. 高速公路运营成本分析与控制[J]. 经济师,2010(8):240-241.

YAO Ye. Expressway operation cost and the control discussion[J]. China Economist,2010(8):240-241.

[6] 樊为民. 基于遗传算法的神经网络算法研究[J]. 太原师范学院学报:自然科学版,2004,3(4):14-17.

FAN Wei-min. The analysis of neural networks based on genetic algorithms[J]. Journal of Taiyuan Normal

[3] Portland C A. Control of air content in concrete[J]. Concrete Technology Today,1998,19(1):2-8.

[4] 吕丽华,柳俊哲,李玉顺. 试验条件对引气混凝土性能的影响研究[J]. 混凝土,2006(7):14-16.

LU Li-hua, LIU Jun-zhe, LI Yu-shun. Influence of experiment condition on air entrained concrete[J]. Concrete,2006(7):14-16.

[5] 赵利军,杜占领,冯忠绪. 新型振动搅拌装置的试验研究[J]. 中国公路学报,2005,18(2):120-122.

ZHAO Li-jun, DU Zhan-ling, FENG Zhong-xu. Experimental research on new vibratory mixer[J]. China Journal of Highway and Transport,2005,18(2):120-122.

[6] GB/T 9142—2000,混凝土搅拌机[S].

[7] 冯忠绪,江建卫,于丽娟. 振动搅拌理论及其装置的试验研究[J]. 中国公路学报,1999,12(3):122-126.

FENG Zhong-xu, JIANG Jian-wei, YU Li-juan. The experiment study of vibratory mixing theory and mixer[J]. China Journal of Highway and Transport,1999,12(3):122-126.

[8] 江建卫. 周期式振动搅拌机的试验研究[D]. 西安:长安大学,1998.

[9] 于丽娟. 连续式振动搅拌机的试验研究[D]. 西安:长安大学,1997.

[10] 杜占领. 双卧轴振动搅拌机的试验研究[D]. 西安:长安大学,2003.

University; Natural Science Edition, 2004, 3(4): 14-17.

[7] 杨 梅,卿晓霞,王 波. 基于改进遗传算法的神经网络优化方法[J]. 计算机仿真,2009,26(5):198-201.

YANG Mei, QING Xiao-xia, WANG Bo. Optimization of neural network based on improved genetic algorithm[J]. Computer Simulation,2009,26(5):198-201.

[8] 张栓柱. 武汉市汽车保有量预测研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009.

[9] Wang C H, Liu H L, Lin C T. Dynamic optimal learning rates of a certain class of fuzzy neural networks and its applications with genetic algorithm[J]. IEEE Transaction on Systems:Men and Cybnetics,2001,31(3):467-475.

[10] 周利祥. 基于遗传算法的神经网络的研究与应用[D]. 汕头:汕头大学,2007.

[11] 魏海坤. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.

[12] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2004.