

搅拌方式对混凝土含气量及孔结构的影响

付昌会, 冯忠绪, 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: 研究了振动搅拌合适的振源位置以及振动搅拌参数对混凝土含气量的影响, 并且与目前工程中广泛使用的引气剂引气技术进行了对比。试验结果表明: 在参数匹配的条件下, 选择合适的振动搅拌方法同样可以有效地提高混凝土含气量, 使之达到混凝土抗冻性所要求的含量。在振动搅拌的同时, 加入引气剂可以取得更好的引气效果, 而且, 这两种方法在改善混凝土孔结构方面是优势互补的; 振动搅拌还可以改善混凝土的强度等其他方面的性能。

关键词: 混凝土; 含气量; 搅拌方式; 振动搅拌; 耐久性

中图分类号: TB123; TU528

文献标志码: A

0 引言

混凝土冻融破坏的原因是混凝土水泥石中孔隙内存在的自由水经过反复冻融, 使孔隙反复承受膨胀压力, 最终导致混凝土胀裂^[1]。一般混凝土若要通过减少孔隙内自由水的方式提高抗冻能力, 水灰比应小于0.3^[2]。这种方式不仅不经济, 高水泥量还会引起不可接受的水化温升。引气混凝土是通过混凝土中产生的气泡来抗冻融破坏的。大量均匀稳定分布在混凝土中的气泡形成封闭球形, 互不连通, 具有良好的抗渗性。当孔隙内自由水冻结时气泡被压缩, 可大为减轻冰冻膨胀给孔隙带来的压力; 溶解时气泡复原。这样孔隙内自由水反复冻融也不致对孔壁产生很大压力。但是, 含气量过多, 气孔就难以完全封闭, 相互间还会形成连通孔隙。使混凝土抗渗性能下降, 从而减弱了其抗冻性及承载能力。所以混凝土含气量应控制在合适的范围, 推荐含量为3%~6%^[3]。

目前国内外工程中抗冻混凝土普遍是用引气剂来增加含气量的^[4]。但是混凝土引气剂种类繁多, 选用时必须进行认真试验, 根据具体施工材料及配比状况来制定引气剂的掺量、掺加工工艺等。引气剂选用程序繁杂, 而且掺加引气剂还会降低混凝土的强度等性能。其他影响含气量因素的研究, 主要是针对混凝土材料的级配、坍落度、水灰比等的变化, 而搅拌方式及其参数变化对混凝土含气

量影响的研究很少看到。笔者在混凝土振动搅拌理论研究及设备开发的过程中发现: 在混凝土搅拌时再对其施加振动, 当振源的位置合适时, 在某些频率和振幅下新拌混凝土的含气量有明显增加, 同时混凝土硬化后的抗压强度也比普通搅拌后有所提高。可见, 除了添加引气剂来增加混凝土含气量及改善气体分布状况外, 或许能通过改变搅拌方式使混凝土含气量达到抗冻性的要求。这无疑是一种经济而方便的选择, 且这种方式还可避免引气剂化学作用对混凝土性能的负面影响^[5]。

1 试验条件

以单卧轴搅拌机为基础, 使搅拌轴及搅拌臂和叶片在做搅拌运动的同时也可发生振动, 作为振动活化源, 既可实现强制搅拌和振动结合的方式进行混凝土搅拌, 也可实现单独的强制搅拌。振动搅拌机如图1所示, 该样机主要由搅拌筒体、搅拌驱动机构、振动驱动机构、链传动装置、激振器等组成。搅拌驱动机构通过链传动, 驱动搅拌轴和轴上固定安装的搅拌臂及叶片旋转, 推动混和料在拌筒内作轴向和周向的运动; 振动传动机构驱动振动轴旋转, 使得偏心安装在轴上的搅拌轴、搅拌臂及叶片产生振动。通过动平衡加装相应的平衡块, 消除振动对轴承和机架等的冲击, 保证了机器的寿命。表1为试验样机的参数表。

收稿日期: 2010-10-06; 修订日期: 2010-12-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50678026)

作者简介: 付昌会(1965-), 男, 陕西户县人, 长安大学博士生, 高级工程师, 主要从事工程机械方面的研究。

设计混凝土强度等级为 C20,坍落度 10 ~ 30 mm. 水泥为 P. O 32.5 R 普通硅酸盐水泥,细骨料用中砂,粗骨料用粒径为 5 ~ 40 mm 的人工破碎河卵石. 试验样机的公称容量为 30 L. 经配合比计算^[6],混凝土各组成材料的实际用量为:水泥 9.2 kg,水 5.0 kg,砂 19.7 kg,石子 38.2 kg.

在搅拌时间、投料顺序、混凝土配合比等试验条件完全相同的情况下,分别测定在不同振动参数、运动参数及掺加引气剂情况下相应的混凝土拌和物含气量、硬化混凝土试块的 7 d 抗压强度. 通过对这几项性能指标的综合比较,分析不同振动参数和运动参数对搅拌质量的影响.

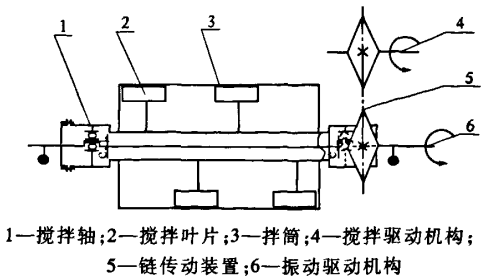


图 1 单卧轴振动搅拌机结构示意图
Fig. 1 The structure of single horizontal shaft vibrating mixer

参考文献[2]的经验搅拌速度取 1.5 m/s;搅拌叶片取 45°安装角,搅拌时间选择干拌 8 s,湿拌

表 1 试验样机的主要性能参数
Tab. 1 The major parameters of the experimental prototype

| 性能参数 | 公称容量 V/L | 叶片速度/ (r · min ⁻¹) | 振动电机 | | | 直联电机减速器 | | | |
|------|-------------|-----------------------------------|---------|-----------|---------------------------------|-------------|-----------|-----|-----------------------------------|
| | | | 型号 | 功率/ kW | 转速/ (r · min ⁻¹) | 型号 | 功率/ kW | 减速比 | 输出转速/ (r · min ⁻¹) |
| 数值 | 30 | 48(可调) | Y100L-4 | 3 | 2 880 | XLD3-29-1.1 | 1.1 | 29 | 52 |

30 s. 含气量测试仪器用英国 ELE 公司生产的 EL34-3265 型混凝土含气量测定仪测量. 混凝土 7 d 强度平均值用 \bar{R} 表示.

2 试验结果及其分析

2.1 振动搅拌下混凝土含气量和强度的关系

振动搅拌的振幅 A 即偏心轴套偏心距在 1 ~ 2 mm 中取 5 组值;频率范围在 120 ~ 250 s⁻¹,取 5 组值,组合成 25 组不同的搅拌参数,振动强度 $D = A\omega^2/g$ 在 2.23 ~ 12.15 之间变化. 实验结果如表 2 所示.

由表 2 可知,振动强度变化显著影响混凝土的含气量. 振动强度与混凝土含气量的关系是:随着搅拌机振动强度增大,混凝土含气量开始时随之增加,但振动强度值继续增大时,含气量反而会减小. 振动强度大于 4 时,新拌混凝土含气量普遍达到 3% ~ 3.5%,振动强度在 4 ~ 8 时,混凝土可以获得较高的含气量. 这说明选择合适的振动强度可以使混凝土含气量值达到较高值,振动强度过大会使气泡在振动作用下逸出,混凝土含气量相应减少.

某些暴露不是很严重的工程中,根据耐久性要求,混凝土含气量应大于 3%^[7]. 由表 2 还可以看出:振动搅拌方式下,混凝土含气量在 3% ~ 3.5% 之间时,混凝土的抗压强度值也较好. 同时在混凝土具有较高的抗压强度时,对应有一个较佳的含气量,此区间正好符合在一些条件下工程上要求的引气量.

表 2 不同振动参数下混凝土的含气量和强度试验结果
Tab. 2 The air content and intensity of concrete obtained under different vibrating parameters

| 振幅 A/ mm | 振动圆频率 ω / (s ⁻¹) | 振动强 度 D | 含气量/ % | 强度 \bar{R} / MPa |
|-------------|--|------------|-----------|-----------------------|
| 1.0 | 140.0 | 2.23 | 2.550 | 20.43 |
| | 185.2 | 3.50 | 2.700 | 20.73 |
| | 204.0 | 4.25 | 3.600 | 21.21 |
| | 224.0 | 5.12 | 3.250 | 21.33 |
| | 244.0 | 6.07 | 3.025 | 20.49 |
| 1.2 | 140.0 | 2.67 | 2.950 | 18.93 |
| | 185.2 | 4.20 | 2.800 | 22.29 |
| | 204.0 | 5.10 | 3.250 | 21.92 |
| | 224.0 | 6.14 | 2.775 | 21.86 |
| | 244.0 | 7.29 | 3.125 | 22.04 |
| 1.5 | 140.0 | 3.34 | 3.065 | 22.83 |
| | 185.2 | 5.25 | 3.250 | 22.09 |
| | 204.0 | 6.37 | 3.575 | 23.11 |
| | 224.0 | 7.68 | 3.475 | 19.87 |
| | 244.0 | 9.11 | 3.08 | 19.80 |
| 1.8 | 140.0 | 4.01 | 3.375 | 20.71 |
| | 185.2 | 6.30 | 3.600 | 19.55 |
| | 204.0 | 7.64 | 4.165 | 20.51 |
| | 224.0 | 9.22 | 3.325 | 22.35 |
| | 244.0 | 10.93 | 4.050 | 20.93 |
| 2.0 | 140.0 | 4.46 | 3.575 | 19.20 |
| | 185.2 | 7.00 | 3.550 | 19.16 |
| | 204.0 | 8.50 | 3.000 | 23.30 |
| | 224.0 | 10.24 | 3.000 | 19.46 |
| | 244.0 | 12.15 | 2.875 | 18.83 |

2.2 掺加引气剂时两种搅拌方式的比较

2.2.1 引气剂量与含气量、强度的关系

普通强制搅拌和振动搅拌条件下含气量、强度试验指标分别与引气剂掺量的关系如图2所示。振动搅拌条件为:振幅1.5 mm,振动圆频率为 204 s^{-1} ,振动强度6.37。可以看出,两种搅拌方式下随着掺加引气剂量的增大,新拌混凝土含气量都相应增大,而抗压强度则相应减小。这说明在加入引气剂后,无论普通搅拌或是振动搅拌,对新拌混凝土的引气作用都很明显,振动搅拌没有破坏引气剂的效果。

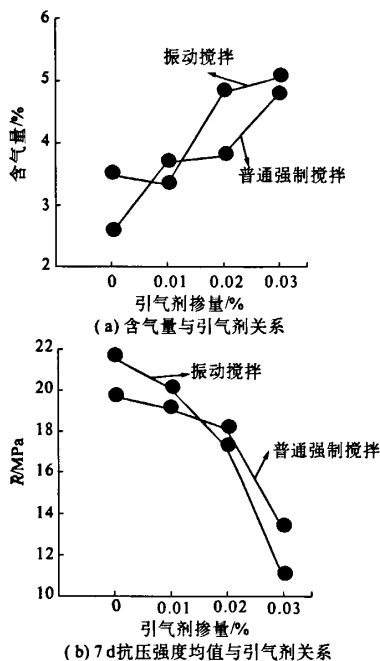


图2 试验指标与引气剂掺量的关系

Fig.2 The amount of air-entraining agent in horizontal direction and air content and average intensity in vertical direction

2.2.2 加引气剂时抗压强度与含气量的关系

加引气剂时两种搅拌方式下抗压强度与含气

量的关系图3所示,可见当新拌混凝土含气量接近时,振动搅拌下的混凝土强度更高。采取振动搅拌或振动搅拌结合掺加引气剂方式,混凝土不但可达到施工要求的含气量值,而且比掺入引气剂下普通强制搅拌的混凝土强度明显增加。

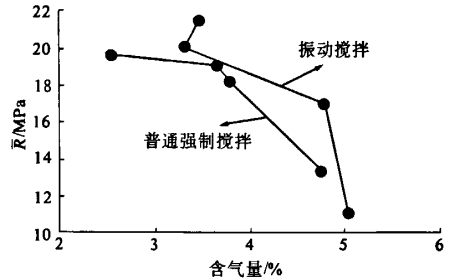


图3 加引气剂时抗压强度 \bar{R} 与含气量的关系

Fig.3 Air content in vertical direction and intensity horizontal direction when air-entraining agent is added

3 振动搅拌影响含气量的机理分析

混凝土最重要的微观结构性能便是孔结构特征参数^[8].对各参数下孔结构分布用压汞法试验进行测试,研究振动搅拌和掺加引气剂对混凝土微观孔结构的影响,并与普通搅拌下情况进行比较,分析其与宏观性能的关系^[9-10].各参数下混凝土孔径分布测试结果见图4,可以看出:

(1)普通强制搅拌的混凝土中孔隙直径大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的孔累计体积比率明显最高,使混凝土的强度和耐久性受到的不利的影响最大。

(2)振动搅拌下混凝土中孔级配和孔分布得到显著改善,混凝土内部的孔隙直径尺寸总体上趋向减小方向,大孔量减少而小孔量增加.说明振动搅拌在增加混凝土含气量的同时,并没有增加混凝土内部大空隙的数量,所增加的含气量只体现为毛细孔隙和凝胶孔隙,所以增强了混凝土的耐久性,并且也提高了混凝土的强度。

(3)加入引气剂能够使混凝土的孔级配得到

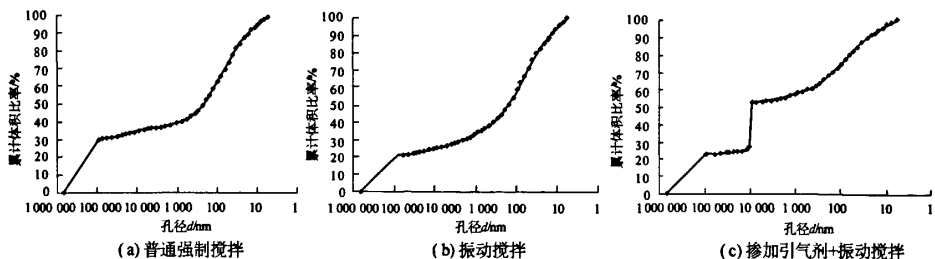


图4 各参数下混凝土的孔结构分布图

Fig.4 The arrangement of concrete's apertures with different parameters

适当的改善,混凝土中的小孔隙比率上升,大孔隙比率减少;且明显看出其引入的孔隙直径多分布在 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 之间,这充分说明引气剂能够有效提高混凝土耐久性.但也可以看出,接近 $10 \mu\text{m}$ 的孔显著增加,因此引起了强度损失.

(4)振动搅拌与掺入引气剂在改善混凝土孔结构方面是优势互补:振动搅拌主要增加的是 $1 \mu\text{m}$ 以下的孔隙,而掺入引气剂增加的是孔径在 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 的气孔.因此振动搅拌的同时加入引气剂,不仅可以取得更好的引气效果,还可以有效改善混凝土中的孔结构状况.

4 结论

(1)振动搅拌方式可以显著地提高混凝土的含气量,当选取振动强度 D 大于4时,新拌混凝土含气量能够普遍达到 $3\% \sim 3.5\%$.随着振动强度增大混凝土含气量有所增加,但当振动强度增至过大时,含气量反而随之减小.振动强度在 $4 \sim 8$ 时混凝土可以获得较高的含气量.

(2)当混凝土要求的含气量在 $3\% \sim 3.5\%$ 时,采用振动搅拌方式即可获得所需的引气效果,混凝土的抗压强度指标也较好.当含气量要求更高时,采用掺加引气剂加振动搅拌方式可以获得所需的引气量.与普通强制搅拌加掺入引气剂的方式相比,还可以大幅地提升混凝土强度.

(3)振动搅拌对混凝土的总孔隙率、平均孔径和孔级配分布都有较好的改善;掺入引气剂也可以对混凝土总孔隙率和孔级配分布有很好改善;振动搅拌与掺入引气剂的方法在改善混凝土孔结构方面优势互补,在振动搅拌的同时掺入引

气剂,不仅可以达到更高的引气效果,而且可有效地改善混凝土的孔结构.

参考文献:

- [1] 慕儒.冻融循环与外部弯曲应力、盐溶液复合作用下混凝土的耐久性与寿命预测[D].南京:东南大学土木工程学院,2000.
- [2] 徐延峰.搅拌过程对混凝土含气量影响的探讨[D].西安:长安大学工程机械学院,2007.
- [3] 王修田.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.
- [4] 张金喜,郭明洋,杨荣俊,等.引气剂对硬化混凝土结构和性能的影响[J].武汉理工大学学报,2008,30(5):38-41.
- [5] 张春林,李彦昌,杨俊荣.引气剂对混凝土性能的影响[J].市政技术,2002,22(1):53-54.
- [6] 李立权.混凝土配合比设计手册[M].3版.广州:华南理工大学出版社,2001.
- [7] WHITING D, STARK D. Control of air content in concrete [C]//National Cooperative Highway Research Program Report, Washington D C: Transpotion Research Board,1983:258.
- [8] 韩菊红,温新丽.粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响[J].郑州大学学报:工学版,2004,24(3):33-36.
- [9] 杨英姿,邓红卫,高小建.混凝土气孔结构测定方法研究进展[J].低温建筑技术,2006(4):1-3.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 21650.1—2008 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度[S].北京:中国标准出版社,2008.

Effects of Mixing Method on Concrete Air Content and Pore Distribution

FU Chang-hui, FENG Zhong-xu, ZHANG Lei

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

Abstract: We studied the influence of the position of vibratory source and the parameters of the vibration mixing on concrete air content. In addition, we compared it with the widely used air-entraining agent technology. The results indicate that appropriate vibration mixing method with proper combination of parameters can improve the air content of the concrete to reach the freeze protection required level as well. By adding air-entraining agent during the vibration mixing, we can obtain better result of air-entraining. What's more, the influence of these two methods on meliorating the structure of concrete aperture have complementary advantages. Besides, vibration mixing method can also improve concrete strength and other performance.

Key words: concrete; air content; mixing method; vibrating mixing; durability