

文章编号:1671-8879(2009)01-0091-04

增强混凝土界面粘结强度的方法

冯忠绪,王卫中

(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:为了改善混凝土界面过渡区的结构或界面粘结强度,提高混凝土强度及其他性质,利用振动搅拌或二次投料搅拌工艺的方法增强混凝土的界面强度。通过对振动搅拌和二次投料搅拌工艺的机理分析,设计了试验装置和工艺方案,并进行了试验研究。结果表明:采用振动搅拌可强化搅拌过程,明显地提高混凝土强度和搅拌效率;采用二次投料搅拌工艺制备的混凝土界面过渡区的粘结强度得到了明显的改善。

关键词:筑路机械;混凝土;界面粘结强度;振动搅拌;二次投料工艺

中图分类号:U415.522 **文献标志码:**A

Reinforcement methods of concrete interfacial bond strength

FENG Zhong-xu, WANG Wei-zhong

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

Abstract: The interfacial transition zone is a weak link of concrete structure, and a main reason of concrete cracks, so it is the most important way to increase interfacial bond strength by improving the structure of the concrete interface. This paper puts forward two methods, vibratory mixing method and secondary mixing method, to strengthen concrete interfacial bond strength. The mechanisms and experimental devices of vibratory mixing method and secondary mixing method are developed and tested. The results show that the concrete strength can be increased by vibratory mixing method, and the interface structure is changed and improved by secondary mixing technology. 4 tabs, 6 figs, 9 refs.

Key words: road machinery; concrete; interfacial bond strength; vibratory mixing; secondary mixing

0 引言

水泥混凝土是由水泥、砂、石和水按设计配合比,经搅拌、成型和养护而得到的一种人造石材^[1]。其中水和水泥组成水泥浆,硬化后称为水泥石,占混凝土总体积的 20%~30%,起胶凝作用;砂、石起骨

架填充作用,故称为骨料,占混凝土总体积的 70%~80%,能提高混凝土的强度和耐久性;此外,在混凝土中还含有少量气孔^[2]。就混凝土的强度而言,由于骨料的强度一般均高于水泥石的强度,因而普通混凝土的强度主要取决于水泥石的强度和界面粘结强度(或界面过渡层的强度),而界面粘结强度又

收稿日期:2008-03-18

基金项目:国家自然科学基金项目(50678026)

作者简介:冯忠绪(1950-),男,陕西凤翔人,教授,博士研究生导师,E-mail:fengzhxu@chd.edu.cn.

取决于骨料的表面状况、凝结硬化条件及混凝土拌和物的泌水性等^[3]。研究证明,界面是混凝土结构中最为薄弱的环节^[4]。因此,改善界面过渡层的结构或界面粘结强度是提高混凝土强度及其他性质的重要途径。

1 振动搅拌

振动搅拌使混合料颗粒的运动速度增大,增加了有效碰撞次数,加速集料颗粒表面水化生成物向液相扩散的速度,使水泥水化加速。此外,还可净化集料表面,增加水泥和集料间的粘结力。因此,振动搅拌可增强混凝土表面的粘结强度,提高搅拌质量和效率,使新拌混凝土的流动性也有所改善^[5]。

图1为课题组研制的周期式振动搅拌机结构;表1为试验样机的主要性能参数。搅拌机由搅拌叶片驱动机构、激振器驱动机构、上料口、搅拌筒、搅拌叶片、深度激振器和卸料机构等组成。当驱动机构驱动搅拌叶片旋转时,将物料推向位于搅拌室中心的激振器壳体,壳体四周混合料的粘性受振动作用而下跌,为高效节能地拌匀混合料创造了条件。在振动作用下,激振器壳体的物料形成循环,使物料的对流运动和扩散运动都在极为有利的条件下完成,在较短的时间内可拌出均匀而致密的混凝土。

为了比较振动搅拌与普通强制搅拌对改善混凝土的界面粘结强度的影响,在混凝土配合比、搅拌时间和试验方法相同,而搅拌条件不同的情况下,通过测定,对混凝土拌和物砂浆密度的相对误差 ΔM 、粗骨料质量的相对误差 ΔG ^[6]、混凝土抗压强度平均值 \bar{f} 、强度标准差 σ 或离差系数 C_v ^[7]进行比较。不同的搅拌条件为:①振动搅拌,干拌8s,湿拌30s;②减少水泥用量20%时振动搅拌,干拌8s,湿拌30s;③关闭振动机构仅普通强制搅拌,干拌8s,湿拌1min;④同类型的普通搅拌机(JW50型)强制搅拌,

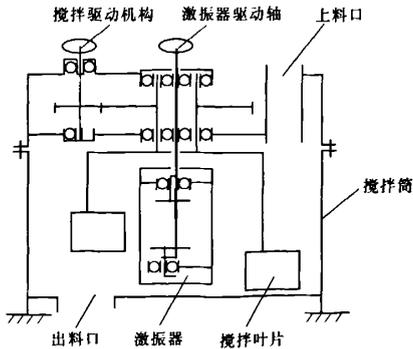


图1 立轴式振动搅拌机结构

表1 试验样机的主要性能参数

整机质量/kg	400	
公称容量/L	50	
叶片轴转速/(r·min ⁻¹)	16	
激振	振动圆频率/Hz	244.3
	设计振幅/mm	3.5
	激振力/N	2 404
	振动强度/MPa	21.32
振动电机	型号	Y90L-4
	功率/kW	1.5
	转速/(r·min ⁻¹)	1 400
直联电机 减速器	型号	XLD3-29-1.1
	功率/kW	1.1
	输出转速/(r·min ⁻¹)	48

干拌8s,湿拌1min。

试验结果如图2、表2所示。试验表明:采用振动搅拌强化搅拌过程,当混凝土级配和水泥用量不变时,混凝土抗压强度提高20%~35%,离差系数大大减小;当混凝土强度不变时,大约可节约水泥20%;另外,搅拌时间还可缩短近一半,生产效率得到明显提高。

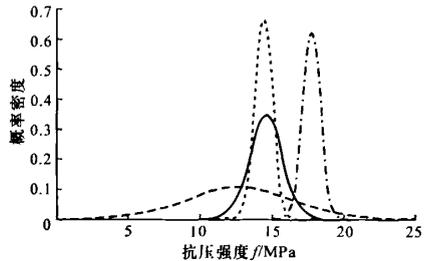


图2 不同搅拌条件时混凝土强度的概率分布曲线

表2 振动搅拌与普通搅拌的对比试验结果

搅拌条件	搅拌时间/s	混凝土拌和物匀质性		7 d 混凝土抗压强度指标		
		$\Delta M/\%$	$\Delta G/\%$	\bar{f}/MPa	σ	C_v
①	38	0.35	1.58	17.96	0.64	0.036
②	38	0.34	1.52	14.64	0.60	0.041
③	68	0.42	1.78	12.94	3.72	0.290
④	68	0.38	1.60	14.80	1.15	0.078

2 二次投料搅拌工艺

在实际应用中发现,混凝土的劣化或破坏往往出现在界面处。一方面是水泥石和集料的弹性模量不同,当温度、湿度等自然条件变化时,水泥石和集料变形不一致形成细微的裂缝;另一方面,现有的一次搅拌工艺使砂石表面形成了一层自由水膜,削弱了水泥浆与集料的粘结,使水泥浆体的作用远未发

挥出来;此外,水泥颗粒被砂石夹裹,加水后形成水泥小团粒,并包裹了很多拌和水,不易被破坏,降低了混凝土拌和物的和易性,且水灰比越小,这种现象越严重。水泥团粒吸附在骨料上,充填于骨料空隙中,致使包裹砂子水泥颗粒相对减少,导致水泥不能充分水化,降低了混凝土的强度。法、美、俄等国学者研究表明,在距骨料表面约 10 μm 以内的界面过渡区确实存在着强度梯度,如图 3 所示。在这一范围内,显微硬度呈现很大的差异,水泥浆体本体较强,而过渡区成为混凝土中最薄弱的环节。因此,一次搅拌工艺固然简单,但它存在许多不足之处,且

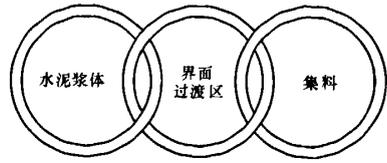


图 3 混凝土结构

无法平衡界面过渡区的强度梯度现象。

二次投料搅拌工艺,是指在考虑混凝土中各物料相互均匀混合作用基础上,利用物料投料、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工艺方法,如图 4 所示。

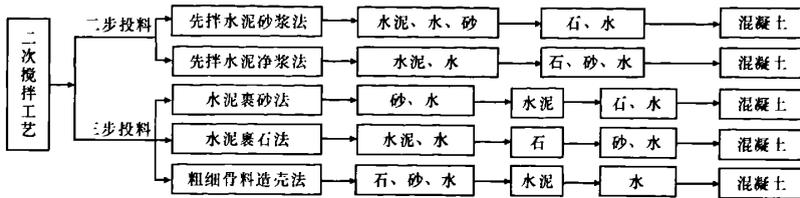


图 4 二次投料搅拌工艺流程

二次搅拌工艺,通过搅拌水泥浆,在促使其水泥颗粒的分散来提高水化程度的同时,使过渡区浆体的水灰比(质量比)在骨料之间以距离骨料表面的距离为自变量有规律的变化,如图 5 所示。图 5 中 d 为浆体与骨料界面的距离(μm); c 为水泥质量(kg); w 为水的质量(kg)。采用二次搅拌工艺后,混凝土硬化后的强度与传统工艺混凝土界面过渡区固有的强度梯度产生相反的一个趋势,界面过渡区弱,增强之;水泥浆体本体强,稍减弱之,最终实现微观与宏观的均匀。二次搅拌工艺还可以减少水泥颗粒的团聚现象,改善水泥颗粒的分散性,提高水化程度。另外,二次搅拌工艺在一定程度上堵塞了自由水分向骨料界面集中的通道,改善混凝土界面区的水化产物分布形态,综合地提高了混凝土各项性能。

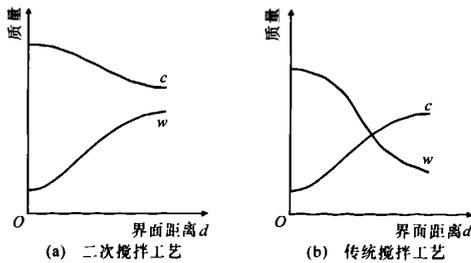


图 5 过渡区水灰比的变化

在二次搅拌机理分析的基础上,重点对图 4 的工艺流程中的前 4 种方案分别进行参数优化的正交试验^[8-9]。在不同投料方案优化参数的基础上,又进一

步进行了横向对比试验,结果如表 3 所示(见下页),其中试块 1、2、3 为制作抗压试块的序号。

试验结果表明: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 时分别提高了 16.8% 和 4.4%。

在实际使用中,先拌砂浆法和水泥裹石法适用的搅拌机型不同。先拌砂浆法宜于采用转速可自动调节的双卧轴搅拌机,搅拌速度可根据负荷变化调节,节省能耗,缺点是高速搅拌砂浆时易出现甩浆、粘锅;而水泥裹石法宜于采用复式搅拌机,两台搅拌机可同时搅拌不同骨料,搅拌时间重叠使搅拌周期大大缩短,效率提高,缺点是结构复杂。针对目前使用的普通双卧轴搅拌机机械传动、单速搅拌的特点,本文提出新方案,即在保证不出现甩料、粘锅的前提下使两次搅拌速度保持相同,且高于传统搅拌速度。表 4(见下页)为采用先拌砂浆法时单速二次搅拌和双速二次搅拌与传统搅拌的对比试验结果。

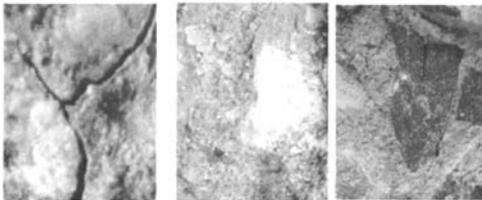
试验结果表明:单速二次搅拌 30 s 的混凝土强度比双速二次搅拌 40 s 和传统搅拌 40 s 时分别提高了 4.4%、29.6%。另外,从抗压强度的测试情况来看,采用二次搅拌工艺制备的混凝土试块,一般是水泥石与粗骨料整体的粉碎性破坏,或是骨料贯穿性破坏,如图 6 所示(见下页)。说明混凝土界面过渡区的粘结强度得到了改善,混凝土整体性能得到了提升。

表3 不同投料方案横向对比试验结果

工艺方法	破坏力/kN			28 d 抗压强度指标					
	试块 1	试块 2	试块 3	试块 1 的 f /MPa	试块 2 的 f /MPa	试块 3 的 f /MPa	σ	\bar{f} /MPa	C_v
先拌砂浆法	582.16	595.74	599.14	25.87	26.48	26.63	0.399 2	26.33	0.015 2
水泥裹砂法	608.19	595.74	568.58	27.03	26.48	25.27	0.900 2	26.26	0.034 3
先拌水泥净浆法	553.23	575.13	542.85	24.59	25.56	24.13	0.732 4	24.76	0.029 6
水泥裹石法	604.80	594.61	584.43	26.88	26.43	25.97	0.452 7	26.43	0.017 1
传统搅拌(40 s)	483.75	455.00	493.21	21.50	20.22	21.92	0.884 4	21.21	0.041 7
传统搅拌(50 s)	517.49	488.96	520.31	23.00	21.73	23.12	0.770 8	22.62	0.034 1
传统搅拌(68 s)	533.63	573.98	600.50	23.72	25.51	26.69	1.496 5	25.31	0.059 1

表4 综合对比试验结果

工艺方法	破坏力/kN			28 d 抗压强度指标					
	试块 1	试块 2	试块 3	试块 1 的 f /MPa	试块 2 的 f /MPa	试块 3 的 f /MPa	σ	\bar{f} /MPa	C_v
单速二次搅拌(30 s)	625.45	629.46	600.07	27.80	27.98	26.67	0.708 3	27.48	0.025 8
双速二次搅拌(40 s)	582.16	595.74	599.14	25.87	26.48	26.63	0.399 2	26.33	0.015 2
传统搅拌(40 s)	483.75	455.00	493.21	21.50	20.22	21.92	0.884 4	21.21	0.041 7



(a) 传统搅拌工艺

(b) 二次搅拌工艺

图6 混凝土上界面破坏

3 结 语

(1) 混凝土界面是混凝土结构中最为薄弱的环节,改善界面过渡层的结构或界面粘结强度是提高混凝土强度及其他性质的重要途径。

(2) 采用振动搅拌可强化搅拌过程,明显地提高混凝土强度和搅拌效率。

(3) 采用二次投料搅拌工艺制备的混凝土界面过渡区的粘结强度得到了明显的改善。

参考文献:

References:

- [1] 潘东芳,乔运峰,夏春,等.新老混凝土界面处理材料的试验研究[J].混凝土,2006(9):60-61,64.
PAN Dong-fang, QIAO Yun-feng, XIA Chun, et al. Experimental research on the interfacial agent in bonding of the new-old concrete[J]. Concrete, 2006(9):60-61,64.
- [2] Ferraris C F. Concrete mixing methods and concrete mixers: state of the art[J]. Journal of Research of the

National Institute of Standards and Technology, 2001,106(2):391-399.

- [3] 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.
- [4] 邢锋,郭向勇,冷发光,等.混凝土中骨-浆界面断裂韧度的分布特性[J].武汉理工大学学报,2005,27(7):43-45.
XING Feng, GUO Xiang-yong, LENG Fa-guang, et al. Distribution feature of fracture toughness of interface between aggregate and cement mortar in concrete [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(7):43-45.
- [5] 江建卫.周周期振动搅拌机的试验研究[D].西安:长安大学,1998.
- [6] GB/T 9142—2000,混凝土搅拌机[S].
- [7] 赵利军,冯忠绪.双卧轴搅拌机叶片排列的试验[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(2):94-96.
ZHAO Li-jun, FENG Zhong-xu. Test on blades arrangement for twin shaft mixer[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(2):94-96.
- [8] 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.
- [9] 张晓波.混凝土双速搅拌工艺的试验研究[D].西安:长安大学,2006.