

文章编号:1671-8879(2016)04-0103-08

返回叶片数量及排布方式对混凝土 搅拌均匀性的影响

赵利军,余志龙,徐鹏杰,丁渭渭

(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:为了提高混凝土的搅拌均匀性,在普遍使用的双卧轴搅拌机上,通过改变搅拌叶片总数量不变条件下的返回叶片数量以及连续和非连续的排布方式,分析了对搅拌过程中混凝土混合料围流运动的影响,并在相同混凝土配合比和投料顺序、搅拌时间下,通过 4 种拌缸长宽比(长宽比为 0.8 和 0.9 的宽短形,1.1 和 1.2 的窄长形)的搅拌性能试验,采用新拌混凝土拌合物中砂浆密度和单位体积粗骨料质量变异系数的均匀性分析方法,确定了双卧轴搅拌机返回叶片的合理数量与排布方式。研究结果表明:对于不同的返回叶片数量与排布方式,搅拌机内的轴向和轴间循环运动随之改变,因而给定搅拌时间内的搅拌均匀性发生变化;与排布方式相比,返回叶片数量对搅拌均匀性的影响程度更为显著;合理的单轴返回叶片数量与单轴搅拌叶片总数量和拌缸长宽比形式密切相关,建议宽短形拌缸的单轴返回叶片数量与单轴叶片总数的比值控制在 0.2 以内,窄长形拌缸的控制 0.3 以内;单轴返回叶片数量在 1 个以上时,建议返回叶片采用非连续正排列方式,以促进返回料流快速形成。

关键词:机械工程;双卧轴搅拌机;返回叶片;叶片数量;排布方式;搅拌均匀性

中图分类号:U415.522

文献标志码:A

Influence of number and arrangement pattern of reversing blade on mixing uniformity of concrete

ZHAO Li-jun, YU Zhi-long, XU Peng-jie, DING Wei-wei

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

Abstract: In order to improve the mixing uniformity of concrete mixture for twin-shaft mixer, influence of the number of reversing blade, continuous and discontinuous arrangement of multi reversing blade under the constant number of mixing blades on circulation of the mixture movement in mixer were analyzed. Through mixing performance experiments of four different length-width ratio of mixer trough (0.8 and 0.9 for short-wide mixer trough, 1.1 and 1.2 for long-narrow mixer trough) under the same conditions of concrete composition, mixing procedure and mixing time, reasonable number and arrangement pattern of the reversing blade were determined by analyzing the variation coefficients of mortar density and coarse aggregate mass per

收稿日期:2016-02-25

基金项目:陕西省重大科技创新项目(2008ZKC 01-16);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011JC093)

作者简介:赵利军(1976-),男,河北张家口人,副教授,工学博士,E-mail:zhaolj@chd.edu.cn。

unit volume in freshly mixed concrete. The results show that mixing uniformity within a given time varies with the different number and arrangement pattern of reversing blade since axial movement and inter-axis movement of mixture in the mixer trough change. Compared with the arrangement pattern, the number of reversing blade has greater effect on mixing uniformity. The reasonable number of reversing blade on single shaft is closely related to the total number of mixing blade on single shaft and length-width ratio of mixer trough. It's suggested that the ratio of number of reversing blade on single shaft to the total number of mixing blade on single shaft should be controlled within 0.2 for short-wide mixer trough, and 0.3 for long-narrow mixer trough. When the number of reversing blade on single shaft is 2 and above, discontinuous-positive arrangement of the reversing blade is recommended to develop reversing flow of the mixture movement rapidly. 6 tabs, 6 figs, 20 refs.

Key words: mechanical engineering; twin-shaft mixer; reversing blade; blade number; arrangement pattern; mixing uniformity

0 引言

从宏观上来说,搅拌的目的就是使混合料达到规定的均匀度,其过程的发展速度在很大程度上取决于搅拌机中的混合料运动^[1-2]。搅拌叶片作为搅拌机内直接与混凝土混合料相互作用的机械单元,决定着混合料在搅拌过程中经受的各种强制作用效果和料流运动形式。因此,搅拌叶片结构及其参数是混凝土搅拌机的主要结构和工作参数之一,对搅拌质量和搅拌效率都有显著影响^[3-5]。

对于不同结构和原理的混凝土搅拌机,由于要求的料流运动形式不一样,因而设计的搅拌叶片结构与参数也各不相同。双卧轴搅拌机是目前混凝土搅拌设备中广泛使用的主导机型,搅拌叶片呈螺旋状排布在 2 根水平搅拌轴上^[6-7]。为改善混凝土的搅拌质量和效率,研究人员针对该机型的搅拌叶片,从形状、数量、安装角度、线速度以及排布方式等方面开展了相关研究。在现有资料中,虽然对双卧轴搅拌叶片的围流排布方式普遍认可,并在单轴及双轴叶片的合理布置关系方面取得了一定成果,但研究所涉及的都是推进叶片,而返回叶片作为双卧轴搅拌机特有的一种叶片形式,还没有相关的专门性研究^[8-11]。实际上,在返回叶片的数目和排布方式上,目前不同厂家产品的区别较大。与中国普遍采用的单返回叶片相比,国外近年来已相继出现了双返回和三返回叶片。由于混凝土搅拌过程的动态复杂性,一直以来难以量化,也无法采用机械工程的常用方法进行建模和优化,在选定返回叶片时多为经验值,缺乏理论依据和试验数据^[12-13]。为此,本文在分析返回叶片与料流运动关系的基础上,通过

试验研究了返回叶片数量和排布方式对混凝土搅拌均匀性的影响,为双卧轴搅拌机的合理设计提供了依据。

1 返回叶片的作用

双卧轴搅拌机中,搅拌叶片是以一定的数量和角度布置在 2 根同步反向旋转的搅拌轴上。搅拌机工作时,搅拌轴带动搅拌叶片转动,推动混合料按照预定的轨迹在拌缸内循环运动。虽然对于不同的搅拌机容量,单搅拌轴的叶片总数量有从 6 个到 12 个的变化;对于不同的混凝土类型,单搅拌轴的叶片相位角度有 90°、60°和 45°的区别,但搅拌叶片在双搅拌轴上的总体排布都是围流方式。以常用的单轴叶片总数量 8 个,单轴叶片相位 90°为例,采用围流排布的双卧轴搅拌叶片结构与料流运动见图 1,对应的简图见下页图 2。图 2 中阿拉伯数字 1~8 表示搅拌叶片,罗马数字 I 和 II 表示搅拌轴。

由于推动混合料沿搅拌轴向的运动方向不同,

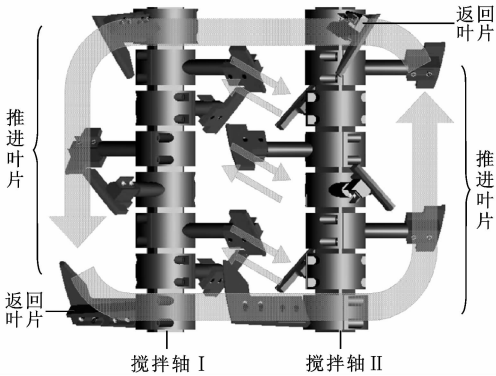


图 1 搅拌叶片的围流排布

Fig. 1 Circulation flow pattern of mixing blade

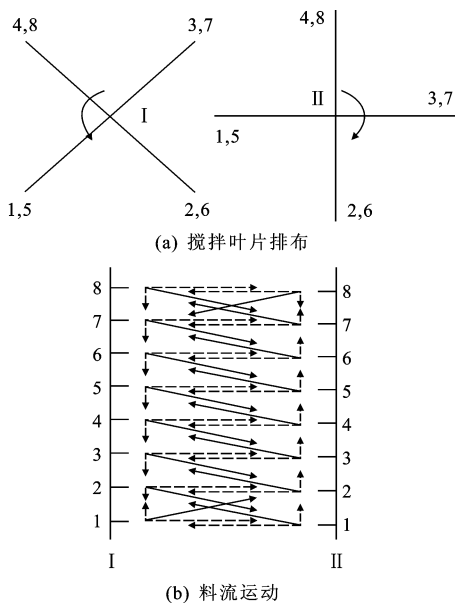


图 2 搅拌叶片排布简图

Fig. 2 Simplified arrangement of mixing blade

围流排布的搅拌叶片分为推进叶片和返回叶片。2 种搅拌叶片相对于搅拌轴的安装角度相反,推进叶片决定着混合料沿搅拌轴向运动的主方向,返回叶片则布置在这个轴向运动主方向的末端,其作用是轴向反推混合料,避免端部堆积,同时将混合料横向推递至对面搅拌轴。由于两搅拌轴向运动的主方向相反,因此形成了轴向大循环圈的闭合运动,实现了混合料在拌缸内的大范围运动;而在两搅拌轴之间,由于两轴上相邻推进叶片对混合料推动的轴向和横向运动方向都相反,因此形成了推进叶片 $I_m \sim II_{m-1}$ 或 $II_m \sim I_{m+1}$ 之间的对流小循环运动,促进了混合料在两轴间的互换混合。围流排布的这种轴向和轴间循环运动,对消除初始投料的不均匀性以及进一步的快速均匀搅拌都极为有利,其在双卧轴搅拌过程中是最主要的,也是最基本的。

为提高混凝土的搅拌质量和效率,笔者前期对推进叶片开展了专题研究,发现其良好的排布形式应能增强混合料的轴向大循环次数,并确保轴间对流小循环与之良好配合^[13-17],因此,图 2 中的推进叶片具有单轴叶片正排列、双轴叶片交错布置的特点。所谓单轴叶片正排列,是指沿着轴向运动的主方向,混合料由一个推进叶片推搅至下一个相邻推进叶片时,所需的搅拌轴旋转角度等于单轴叶片相位角度。由于这是已有结构条件下的最小旋转推料角度,因此混合料在连续递推过程中会受到叶片更快的推搅作用,从而完成更多的轴向循环次数。所谓双轴叶片交错布置,是指两搅拌轴上任意位置的

推进叶片,先后顺序到达两轴间的中央搅拌区。如果推料方向相反的 I_m 和 II_{m-1} 叶片同时到达中央搅拌区,则必然阻断混合料的轴向大循环运动,从而难以在整个拌缸范围内均布,因此,通过双轴叶片交错布置,能够确保 I_m 和 II_{m-1} 叶片按照先后次序到达中央搅拌区,避免轴间小循环对轴向大循环的干涉阻断。

2 返回叶片的数量及排布方式

由于推进叶片和返回叶片布置在同一搅拌轴上,因此,返回叶片的数量及排布方式与推进叶片密切相关。单轴搅拌叶片总数量一定时,返回叶片数量增多,则推进叶片数量必然减少。就图 2 中的返回叶片而言,其具有数量单个以及连续顺序的排布特点。

首先,对于返回叶片数量,由于围流排布的双轴搅拌叶片呈中心对称,因此单轴搅拌叶片总数量为 n 时,理论上的单轴返回叶片数量 n_0 为 $1 \leq n_0 \leq n/2$ 。其中, n 为偶数时, n_0 为一整数; n 为奇数时, n_0 不能整除,需截去小数取整。显然,对于图 2,只需将每一轴向运动主方向末端的推进叶片依次反序调整为返回叶片,就可分别形成 2 返回、3 返回以及 4 返回叶片的方案,此时的料流运动如下页图 3 所示。虽然图 3 多返回叶片的单轴和双轴叶片位置关系没有变化,仍然具有图 2(a)的排布特点,但由于增多了返回叶片,减少了推进叶片,从而使得拌缸内的料流运动发生了改变。从轴向循环看,随着返回叶片数量的增多,混合料的轴向推进距离减少,因而在相同时间内有利于轴向循环次数的增加。但是随着返回叶片与推进叶片数量的接近直至相等,搅拌叶片由围流时的中心对称分布变为两端对称分布,致使混合料大范围的围流运动越来越弱,逐渐变成由轴端同时向轴中间的相向运动。从轴间循环看,由于返回叶片与对面轴相邻推进叶片的轴向推料方向相同,因此难以形成强烈的 $I_m \sim II_{m-1}$ 或 $II_m \sim I_{m+1}$ 之间的对流运动,并且返回叶片的数量越多,这种轴间对流小循环的效果就越差。

其次,对于返回叶片排布方式,可分为连续排布和非连续排布。图 2(a)的搅拌叶片为连续排布,其特征是沿着混合料轴向运动的主方向,搅拌叶片按照旋转顺序依次连续地布置在搅拌轴上。在图 2 中,以 90° 相位布置的推进叶片采用了正排列,意味着推进叶片按顺序推搅混合料时的搅拌轴每次只需旋转 90° ,但是当料流末端的推进叶片依次反序调

整为返回叶片时,由于推料方向的改变,返回叶片按顺序推搅混合料所需的搅拌轴旋转角度却达到了 270° ,不利于返回料流的快速形成,因此,返回叶片数量 $n_0 \geq 2$ 时,还应考虑排布方式。从加快混合料轴向返回运动考虑,应将返回叶片正排列,但在同一根搅拌轴上,无法实现 2 个方向推料的推进叶片与返回叶片同时连续排布。考虑到推进叶片对混合料轴向运动主方向的决定作用,可将返回叶片调整为非连续排布的排列。此时,多返回叶片的料流运动基本形式与图 3 一致,而对应的单轴和双轴叶片位置关系如图 4 所示。

由上述分析可知,返回叶片在混合料的围流运

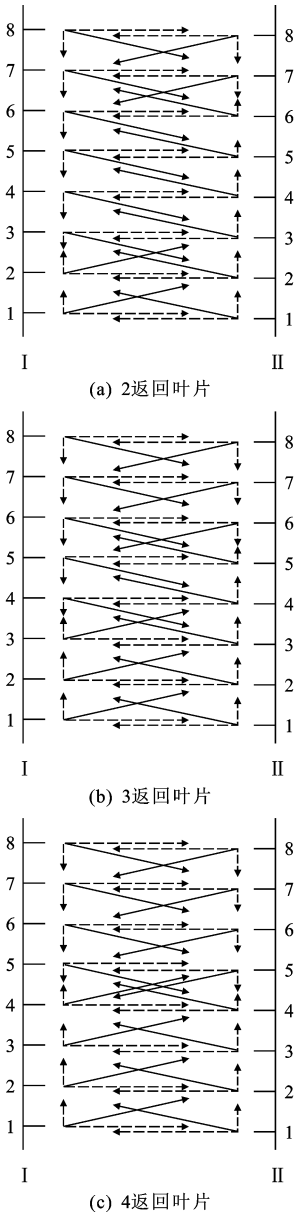


图 3 多返回叶片的料流运动

Fig. 3 Mixture flow of multi reversing blade

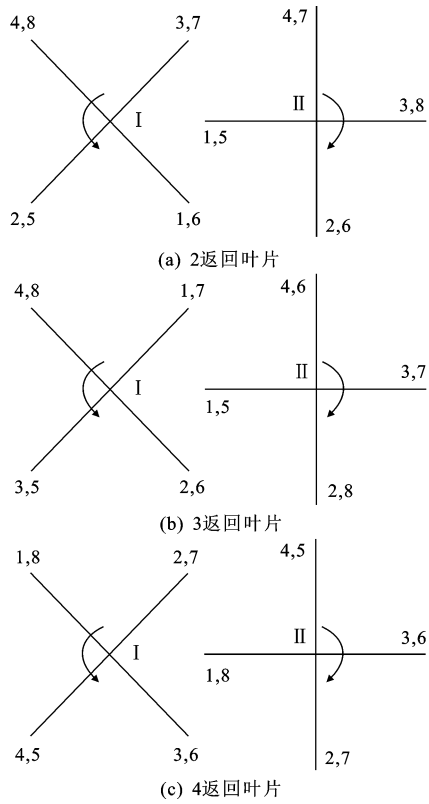


图 4 多返回叶片的非连续排布

Fig. 4 Discontinuous arrangement of multi reversing blade

动中起着重要的作用。随着返回叶片数量和排布方式的变化,双卧轴搅拌机内的轴向和轴间料流运动都随之不同程度地改变,这必然对给定搅拌时间内的混合料搅拌均匀性产生显著影响。

3 试验设备与方法

3.1 试验设备

试验设备为 1 台 100 L 的双卧轴搅拌机,主要参数见下页表 1。为了便于调整推料方向和排布方式,搅拌叶片通过螺栓连接的夹紧作用依次固定在搅拌臂及搅拌轴上,如下页图 5 所示。由于长宽比(拌缸长度与宽度之比)是双卧轴搅拌机的基本几何参数之一,其合理范围为 0.7~1.3,并且习惯上将长宽比小于 1 的描述为宽短形,大于 1 的描述为窄长形^[17],因此本次试验中,采用在拌缸不同横向位置固定端板的方法设计了 2 种形式的 4 种长宽比值,同时配合 2 种叶片宽度来实现不同的单轴叶片总数量。具体为:长宽比为 0.8 和 0.9 的宽短形,对应的单轴叶片总数量为 6 个和 8 个,叶片宽度为 160 mm 和 140 mm;长宽比为 1.1 和 1.2 的窄长形,对应的单轴叶片总数量为 8 个和 10 个,叶片宽度为 160 mm 和 140 mm。

表 1 搅拌机的主要参数

Tab. 1 Main parameters of mixer

参 数	公称容量/L	搅拌转速/ (r · min ⁻¹)	拌缸长宽比	单轴叶片总 数量	叶片宽度/ mm	叶片安装 角度/(°)	单轴相位 角度/(°)	单轴叶片 排列	双轴叶片 布置
设计值	100	50	0.8~1.2	6~10	140/160	45	90	正排列	交错



图 5 试验搅拌机的双轴搅拌叶片

Fig. 5 Twin-shaft mixing blades of test mixer

3.2 试验方法

试验是在相同的混凝土材料和搅拌工艺下,测定不同的返回叶片数量以及排布方式对搅拌均匀性的影响。其中,试验材料是根据《混凝土搅拌机》(GB/T 9142—2000)(以下简称规范)的规定,选取混凝土强度等级为 C20,坍落度为 5~35 mm,水泥用 32.5R 普通硅酸盐水泥,细骨料用中砂,粗骨料用 5~25 mm 碎石;具体配比(质量比)为:水、水泥、砂、石子之间的比例为 0.54 : 1 : 2.14 : 4.16。采用的搅拌工艺为,先人工向拌缸中部依次加入称量好的砂、水泥和石子,启动机器后通过水泵喷入称量好的水,并按照设定时间连续搅拌后开启卸料门。搅拌时间根据“规范”的规定,设定为 35 s。

对于新拌混凝土的均匀性指标,“规范”规定从搅拌机卸出的长条形料堆的左右两端 1/5 处,沿对角方向取样 2 份,测算砂浆密度相对误差 ΔM 和单位体积粗骨料质量相对误差 ΔG ,并在满足 $\Delta M < 0.8\%$ 和 $\Delta G < 5\%$ 时,认为搅拌均匀^[18]。显然,这只是一个合格性的判定指标。从统计学上看,完全均匀的混合料能够不同位置的取样中,检测出主要成分的概率都相等^[19-20],因此,为了更准确地评价搅拌均匀性的差异,在国标基础上增加了 6 个取样位置(图 6 中的位置 2~7),分别测算了这 8 个试样中的砂浆密度 M_i 和单位体积粗骨料质量 G_i 。相对误差 ΔM 和 ΔG 是根据“规范”,选用试样 1、8 并按照式(1)计算;搅拌均匀性是通过 8 个试样的总变异系数 C_V 来评价。 C_V 按照式(2)计算,其值越小,表示均匀性越好,具体为

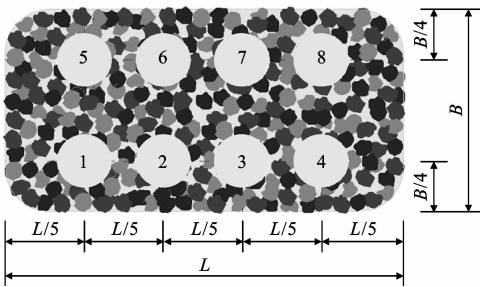


图 6 新拌混凝土的取样位置

Fig. 6 Sampling location of freshly mixed concrete

$$\begin{cases} \Delta M = \frac{|M_1 - M_8|}{M_1 + M_8} \times 100\% \\ \Delta G = \frac{|G_1 - G_8|}{G_1 + G_8} \times 100\% \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_V = \alpha C_M + \beta C_G \\ C_M = \frac{\sigma_M}{\bar{X}_M} \times 100\% \\ C_G = \frac{\sigma_G}{\bar{X}_G} \times 100\% \end{cases} \quad (2)$$

式中: M_i 为第 i 个试样的砂浆密度(kg/L); G_i 为第 i 个试样的单位体积粗骨料质量(kg/L); C_M 、 C_G 分别为砂浆密度变异系数和单位体积粗骨料质量变异系数; α 、 β 分别为砂浆密度变异系数和单位体积粗骨料质量变异系数对新拌混凝土均匀性总变异系数的权重, $\alpha = \beta = 0.5$; σ_M 、 σ_G 分别为 8 个试样的砂浆密度标准差和单位体积粗骨料质量标准差(kg/L); \bar{X}_M 、 \bar{X}_G 分别为 8 个试样的砂浆密度平均值和单位体积粗骨料质量平均值(kg/L)。

4 试验结果与分析

4.1 返回叶片数量的影响

下页表 2 给出了在叶片连续排布方式下,不同返回叶片数量的试验结果。可以看到,同一拌缸长宽比下,单轴返回叶片数量小于最大值时($n_0 < n/2$),相对误差 ΔM 和 ΔG 虽有一定差别,但都符合 $\Delta M < 0.8\%$ 和 $\Delta G < 5\%$ 的国标要求;单轴返回叶片数量达到最大值时($n_0 = n/2$), ΔM 和 ΔG 则出现不同程度的超标。从变异系数可以更明显地看出, $n_0 = n/2$ 时,不同拌缸长宽比下的总变异系数 C_V 值都为最大,说明搅拌均匀性最差; $n_0 < n/2$ 时,不同

拌缸长宽比下的返回叶片数量表现出了一定的差异性。其中,长宽比为 0.8 和 0.9 的宽短形拌缸,都是单轴返回叶片数量为 1 时的 C_V 值最小;长宽比为 1.1 和 1.2 的窄长形拌缸,分别是数量为 2 和 3 时的最小。

试验结果表明,对于不同长宽比的拌缸,返回叶片数量都不宜过多;拌缸长宽比越大,单轴叶片总数量越多,需要的返回叶片数量就要适当增多。显然,合理的单轴返回叶片数量是与单轴搅拌叶片总数量以及拌缸长宽比密切相关的。就本次试验,不同拌缸长宽比条件下的单轴返回叶片数量

n_0 与单轴叶片总数量 n 的比值关系如表 3 所示。可以看出,对于合理单轴返回叶片数量时的 n_0/n 值,宽短形拌缸的在 0.2 以内,窄长形拌缸的在 0.3 以内,因此,可分别在 $0.2n$ (宽短形拌缸)或 $0.3n$ (窄长形拌缸)的结果上截去小数取整,作为选定的合理单轴返回叶片数量,如表 4 所示。对于常规的双卧轴搅拌机,搅拌叶片总数量一般在 6~12 个/轴之间,由此确定的合理返回叶片数量结果见表 4,这也与目前国外主流的双卧轴搅拌机配置基本一致。表 4 中, n_0 的取值为:在宽短形拌缸时, $n_0 \leq 0.2n$;在窄长形拌缸时, $n_0 \leq 0.3n$,计算结果 n_0 取整。

表 2 返回叶片数量的试验结果
Tab. 2 Test results of reversing blade number

拌缸长宽比	单轴叶片总数量 n	单轴返回叶片数量 n_0	砂浆密度				单位体积粗骨料质量				总变异系数 C_V
			相对误差 $\Delta M/\%$	平均值 $\bar{X}_M/(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$	标准差 $\sigma_M/(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$	变异系数 C_M	相对误差 $\Delta G/\%$	平均值 $\bar{X}_G/(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$	标准差 $\sigma_G/(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$	变异系数 C_G	
0.8	6	1	0.22	2.324	0.024 9	1.07	1.48	1.282	0.025 0	1.95	1.51
		2	0.32	2.273	0.036 4	1.60	1.26	1.299	0.042 4	3.26	2.43
		3	0.82	2.256	0.052 2	2.31	2.98	1.270	0.063 2	4.98	3.65
0.9	8	1	0.34	2.265	0.028 1	1.24	1.07	1.324	0.033 4	2.52	1.88
		2	0.55	2.311	0.029 0	1.25	0.95	1.295	0.039 6	3.06	2.16
		3	0.79	2.320	0.043 3	1.87	1.22	1.278	0.047 2	3.69	2.78
		4	1.04	2.246	0.070 5	3.14	4.24	1.309	0.064 3	4.91	4.03
1.1	8	1	0.28	2.302	0.030 1	1.31	0.49	1.293	0.044 5	3.44	2.37
		2	0.54	2.245	0.023 4	1.04	1.88	1.277	0.028 3	2.22	1.63
		3	0.51	2.323	0.047 8	2.06	2.53	1.284	0.050 4	3.93	2.99
		4	0.96	2.238	0.080 2	3.58	5.77	1.282	0.072 3	5.64	4.61
1.2	10	1	0.58	2.290	0.042 5	1.86	0.97	1.291	0.051 4	3.98	2.92
		2	0.42	2.278	0.031 2	1.37	0.73	1.327	0.035 5	2.68	2.02
		3	0.59	2.314	0.028 4	1.23	2.33	1.283	0.026 3	2.05	1.64
		4	0.62	2.283	0.051 3	2.25	1.95	1.312	0.052 0	3.96	3.11
		5	0.76	2.307	0.097 5	4.23	6.31	1.300	0.084 6	6.51	5.37

表 3 返回叶片数量与叶片总数量的关系
Tab. 3 Relationship between reversing blade number and mixing blade number

拌缸形式	拌缸长宽比	单轴叶片总数量 n	单轴合理返回叶片数量 n_0	单轴返回叶片数量与单轴叶片总数量的比值 n_0/n					
				1	2	3	4	5	合理返回叶片数量
宽短形	0.8	6	1	0.17	0.33	0.50			0.17
	0.9	8	1	0.13	0.25	0.38	0.50		0.13
窄长形	1.1	8	2	0.13	0.25	0.38	0.50		0.25
	1.2	10	3	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.30

表 4 返回叶片数量的建议结果
Tab. 4 Recommended number of reversing blade

拌缸形式			宽短形					窄长形				
单轴叶片总数量 n			6	7	8	9	10	8	9	10	11	12
单轴返回叶片数量 n_0	范围值		$\leq 0.2n$					$\leq 0.3n$				
			≤ 1.2	≤ 1.4	≤ 1.6	≤ 1.8	≤ 2.0	≤ 2.4	≤ 2.7	≤ 3.0	≤ 3.3	≤ 3.6
	建议值		1	1	1	1	2	2	2	3	3	3

4.2 返回叶片排布方式的影响

当 $2 \leq n_0 < n/2$ 时,返回叶片在 2 种排布方式下的对比试验结果见表 5。可以看到,对于相同的拌缸长宽比和返回叶片数量,非连续正排列方式下搅拌出的混凝土具有更小的总变异系数 C_V ,并且单轴返回叶片数量越少, C_V 值的降低率越大。这说明返回叶片采用非连续正排列能够改善搅拌均匀性,特别是在

表 5 返回叶片排布方式的试验结果

Tab. 5 Test results of reversing blade arrangement pattern

拌缸形式	拌缸长宽比	单轴叶片总 数量 n	单轴返回叶片 数量 n_0	不同排布方式下的总变异系数 C_V		
				连续排布	非连续正排列	C_V 降低率/%
宽短形	0.9	8	2	2.16	1.94	10.19
			3	2.78	2.59	6.83
窄长形	1.2	10	2	2.02	1.78	11.88
			3	1.64	1.52	7.32
			4	3.11	2.92	6.11

表 6 返回叶片参数与总变异系数的相关性

Tab. 6 Correlation between reversing blade parameters and variation coefficient

拌缸长 宽比	与总变异系数的相关系数计算结果		
	单轴返回叶片数量 n_0	返回叶片排布方式	总变异系数 C_V
0.9	0.95	0.31	1.00
1.2	0.73	0.15	1.00

5 结 语

(1)理论分析和试验研究表明,合理的返回叶片数量和排布方式有利于搅拌机内形成良好的围流循环运动,从而提高混凝土的搅拌均匀性。其中,返回叶片数量比排布方式对搅拌均匀性的影响显著。

(2)单轴返回叶片数量与单轴搅拌叶片总数量以及拌缸长宽比密切相关。拌缸长宽比越大,单轴叶片总数量越多,需要的返回叶片数量就要适当增多,以缩短轴向推进距离,增加轴向循环次数。对于单轴返回叶片数量 n_0 与单轴叶片总数量 n 的比值,建议宽短形拌缸的控制 在 0.2 以内,窄长形拌缸的控制 在 0.3 以内。

(3)单轴返回叶片数量 $n_0 \geq 2$ 时,采用正排列能够促使返回料流快速形成而改善搅拌均匀性,因此,建议返回叶片在合理数量的基础上采用非连续正排列方式。

(4)搅拌叶片参数包括返回叶片数量与排布方式、推进叶片数量与排布方式、叶片几何参数与形状等。各叶片参数之间存在着相互联系,共同影响着混凝土搅拌均匀性和效率,下一步应开展多叶片参数的研究与优化。

返回叶片数量相对较少时,由于推动形成的返回料流相对较弱,因而通过正排列促使返回料流快速形成而改善均匀性的效果也更为显著。由表 6 的相关性分析结果可以看出,与排布方式相比,返回叶片数量与总变异系数的相关系数值更大,表明返回叶片数量对搅拌均匀性的影响更大,因此,建议返回叶片在合理数量的基础上采用非连续正排列方式。

参考文献:

References:

[1] 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.

[2] 张朝山. 浅谈混凝土搅拌方法和混凝土搅拌机的工艺现状[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(4):25-27.

ZHANG Chao-shan. Technological status of mixing method and equipment for concrete[J]. Road Machinery & Construction Mechanization,2007,24(4):25-27. (in Chinese)

[3] YAO Y S,FENG Z X,CHEN S B. Strength of concrete reinforced using double-blade mixer[J]. Magazine of Concrete Research,2013,65(13):787-792.

[4] 冯忠绪,李 彰,王卫中,等. 搅拌机搅拌臂数目与叶片面积的确定方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2009,29(4):106-110.

FENG Zhong-xu,LI Zhang,WANG Wei-zhong,et al. Method for determining numbers of mixing arm and area of mixing blade in mixer[J]. Journal of Chang'an University:Natural Science Edition,2009,29(4):106-110. (in Chinese)

[5] HEMALATHA T,SUNDAR K R R,MURTHY A R,et al. Influence of mixing protocol on fresh and hardened properties of self-compacting concrete[J]. Construction and Building Materials,2015,98:119-127.

[6] KEMMANN C. What twin-shaft mixing can do for

- you[J]. Concrete Producer, 2004, 22(10): 47-50.
- [7] 盛春芳. 混凝土搅拌机纵横谈(五)[J]. 建设机械技术与管理, 1999(2): 16-19.
- SHENG Chun-fang. Introduction to concrete mixer (5)[J]. Technology and Management for Construction Machinery, 1999(2): 16-19. (in Chinese)
- [8] 陆学富, 岑君秀. 水工型双卧轴混凝土搅拌机叶片角度与排列探究[C]//崔源声, 孙继成. 中国混凝土进展 2010. 北京: 中国新闻联合出版社, 2010: 365-370.
- LU Xue-fu, CEN Jun-xiu. Study on blades angle and arrangement of hydraulic-type double horizontal shaft concrete mixer[C]//CUI Yuan-sheng, SUN Ji-cheng. Concrete Progress in China 2010. Beijing: China News United Press, 2010: 365-370. (in Chinese)
- [9] 尹小琴, 赵守明, 谢俊, 等. 双卧轴搅拌机搅拌臂数目的理论分析[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(23): 95-98.
- YIN Xiao-qin, ZHAO Shou-ming, XIE Jun, et al. Theoretical analysis on the number of mixing arms of twin-shaft mixer[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(23): 95-98. (in Chinese)
- [10] 田晋跃, 王先锋, 杨宝林. 搅拌器混凝土沸腾特征模拟分析[J]. 中国工程机械学报, 2011, 9(2): 162-165.
- TIAN Jin-yue, WANG Xian-feng, YANG Bao-lin. Boiling property simulation and analysis on concrete mixer[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2011, 9(2): 162-165. (in Chinese)
- [11] 刘芳伟, 杨仕教, 王洪武. 叶片排列方式对全尾砂膏体充填料搅拌效果的影响分析[J]. 南华大学学报: 自然科学版, 2015, 29(1): 33-36, 45.
- LIU Fang-wei, YANG Shi-jiao, WANG Hong-wu. Analysis of the influence on mixing effect for total tailings paste-filling mixture in different arrangement of blades[J]. Journal of University of South China: Science and Technology, 2015, 29(1): 33-36, 45. (in Chinese)
- [12] 张阿龙, 张二龙. 双卧轴搅拌机搅拌过程的物料运动模拟[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(3): 81-84.
- ZHANG A-long, ZHANG Er-long. Motion simulation of mixture during mixing of twin-shaft mixer[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(3): 81-84. (in Chinese)
- [13] 冯忠绪, 王卫中, 赵利军, 等. 搅拌机参数优化的试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(6): 89-91, 110.
- FENG Zhong-xu, WANG Wei-zhong, ZHAO Li-jun, et al. Test on parameter optimization of mixer[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(6): 89-91, 110. (in Chinese)
- [14] 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 of blades arrangement for twin-shaft mixer[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(2): 94-96. (in Chinese)
- [15] 王卫中, 冯忠绪. 双卧轴搅拌机搅拌臂布置形式的研究[J]. 中国工程机械学报, 2004, 2(4): 437-440.
- WANG Wei-zhong, FENG Zhong-xu. Research on mixing arms' arrangement of twin-shaft mixer[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2004, 2(4): 437-440. (in Chinese)
- [16] 冯忠绪, 王卫中, 赵利军, 等. 节约型搅拌技术研究[J]. 中国公路学报, 2006, 19(6): 118-122.
- FENG Zhong-xu, WANG Wei-zhong, ZHAO Li-jun, et al. Research on saving mixing technology[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(6): 118-122. (in Chinese)
- [17] 赵悟. 搅拌装置参数优化的研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- ZHAO Wu. Study on parameters optimization of mixing mechanism[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005. (in Chinese)
- [18] GB/T 9142—2000, 混凝土搅拌机[S].
- GB/T 9142—2000, Concrete mixer[S]. (in Chinese)
- [19] BEITZEL H, CHARONNAT Y, BEITZEL M. Assessment and classification of performance mixers: final report[J]. Materials and Structures, 2003, 36(4): 250-264.
- [20] 高海鹏, 田波, 郝冠军, 等. 新拌水泥混凝土均匀性评价方法[J]. 公路交通科技, 2014, 31(12): 25-30.
- GAO Hai-peng, TIAN Bo, HAO Guan-jun, et al. Evaluation method of uniformity of new cement concrete mixture[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2014, 31(12): 25-30. (in Chinese)