

搅拌机搅拌臂数目与叶片面积的确定方法

冯忠绪¹, 李 彰¹, 王卫中¹, 赵利军¹, 袁孝义²

(1. 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;

2. 江苏省交通技师学院 路桥系, 江苏 镇江 212006)

摘 要:针对国内外搅拌臂和叶片缺乏成熟的设计方法的现状,采用理论分析与试验研究相结合的方法,分析了设计搅拌臂数目和叶片面积时需要考虑的相关因素,并在此基础上设计了试验样机,通过试验测试和结果分析,确定了各种试验条件下的搅拌臂数目与叶片面积的较佳值。结果表明,由于搅拌臂数目和叶片面积与其他结构参数互相影响,在叶片搅动的物料量与搅拌室公称容积之间存在着一个合理的比值范围,应将该比值作为设计时的综合评判指标。

关键词:机械工程;搅拌机;搅拌臂;叶片面积

中图分类号:U415.522

文献标志码:A

Method for determining numbers of mixing arm and area of mixing blade in mixer

FENG Zhong-xu¹, LI Zhang¹, WANG Wei-zhong¹, ZHAO Li-jun¹, YUAN Xiao-yi²

(1. Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Department of Road and Bridge,

Jiangsu Province College of Transport Technician, Zhenjiang 212006, Jiangsu, China)

Abstract: Mixing arms and mixing blades are the basic units of mixing mechanism, but there is no mature design method for them. This paper discussed the parameters that influence the design of the numbers of the mixing arm and area of the mixing blade. Based on this work, a prototype was designed. Through theory analysis and test research, the better parameters were presented. It is found that the mixing arms and area of mixing blades are related to other structural parameters, there is a ratio between the materials' quantity (mixed by blades) and mixer's nominal capacity, and the ratio should be considered as an integral evaluation rule. 4 tabs, 3 figs, 12 refs.

Key words: mechanical engineering; mixer; mixing arm; area of mixing blade

0 引 言

在搅拌机工作过程中,搅拌臂和叶片直接与混凝土混合料相互作用,决定着混凝土的搅拌质量和搅拌效率^[1-4]。因此,搅拌臂的数目和搅拌叶片的面积将在一定程度上决定着搅拌性能的好坏,且这 2

个因素又与搅拌设备的其他结构参数互相关联。设计人员在确定搅拌臂数目及叶片形式的时候,往往采用经验值或模仿其他产品的方式,因而,设计的产品性能差别很大。对此,国内外至今还没有成熟的设计方法^[5-6]。针对这一现状,本文进行了分析和试验研究,给出了搅拌臂数目和叶片面积的设计方法。

1 确定搅拌臂数目

1.1 相关因素分析

搅拌臂数目的多少对搅拌机的工作效率及混合料的搅拌质量都有一定的影响,不仅单根轴上相邻搅拌臂间的相位角与搅拌臂的数目密切相关,而且双轴上搅拌臂排列组合形式及其合理逆流的最小相位差也与搅拌臂的数目有关。

搅拌臂数目多,使搅拌轴长度增加,结构强度、刚性下降;而拌筒的长度增加,会使长宽比不合适。而且搅拌机拌筒长度的增加,使卸料门的长度也要增加,这对总体布置不利。另外,搅拌臂越多,使石料被叶片挤碎的可能性增大,这将影响到骨料的级配精度;搅拌臂数目少,必然减少物料的循环次数,减少物料与搅拌的叶片直接接触而发生强制作用的机会,影响搅拌质量。因此,合理地确定搅拌机的搅拌臂数目具有重要的意义。

通过分析认为,合理地确定搅拌臂数目要考虑许多相关因素。

(1)单根搅拌轴每转 1 圈,物料沿轴向行程不小于搅拌筒轴向空间长度。若以 n 表示单根轴上搅拌臂数目(搅拌叶片数目), θ 表示相邻搅拌臂之间的相位角,则 $n\theta\geqslant 360^\circ$,一般情况下, $360^\circ\leqslant n\theta\leqslant 720^\circ$ 。

(2)2 根搅拌轴转动时,转向相反的搅拌臂叶片最小空间距离决定了搅拌机所能适应的骨料最大粒径。否则,不是骨料被挤碎,就是搅拌臂及叶片受损。当然,上述“最小空间距离”与搅拌臂数目、叶片几何尺寸、叶片安装角度及搅拌臂间相互布置等因素有关。

(3)单根轴上相邻叶片的轴向投影应有一定重叠,以保证物料流动的连续性,同时,卸料时可最大限度地减少拌筒内的混合料残留,便于拌筒清洗。

搅拌臂数目与相位角除了必须符合关系式 $360^\circ\leqslant n\theta\leqslant 720^\circ$ 外,还与双轴搅拌臂的布置形式有关。在搅拌臂正正平行排列时,搅拌臂数目与其相位角大小的匹配关系为:① $360^\circ\leqslant n\theta\leqslant 720^\circ$;② $\theta=90^\circ$ 时, n 不可以取 5、7,即 n 不宜为奇数;③ $\theta=60^\circ$ 时, n 不可以取 6、8、10,即 n 不宜为偶数;④ $\theta=45^\circ$ 时, n 不可以取 9、11、13、15,即 n 不宜取奇数。

下面仅以 $\theta=90^\circ$ 、 $n=5$ 时的情况为例进行说明。图 1 所示为可能出现的 4 种排列组合,其中序号 1(5)代表返回叶片。

在搅拌轴旋转一周的过程中,图 1(a)组合 1 将出现搅拌臂每转过 90° ,同时到达搅拌区的叶片总

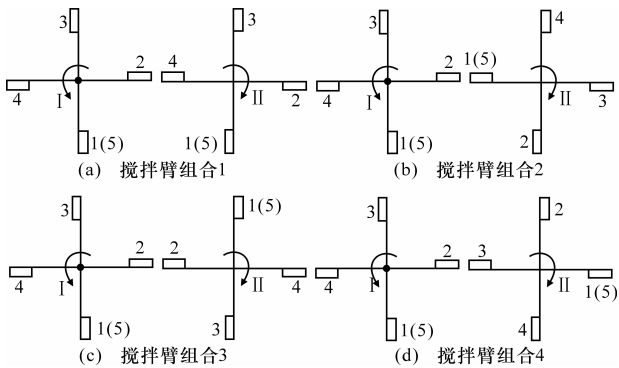


图 1 搅拌臂排列方案筛选

数及其返回的叶片数不能保证是 5 个和 2 个,而且,叶片 1、5 同时到达搅拌区,则会发生干涉;图 1(b)组合 2 也出现同时到达搅拌区的叶片数不一致的情况;图 1(c)组合 3 的 2、4 叶片分别发生干涉;图 1(d)组合 4 与图 1(b)组合 2 类似。由图 1 可见,这 4 种排列组合都不符合搅拌臂的排列原则,所以,这种匹配关系在实际设计中要尽量避免。

1.2 搅拌臂数目的确定

合理确定搅拌臂数目时,应考虑主要相关因素,结合试验条件,选取与单轴上相邻搅拌臂不同相位角匹配的 4 种搅拌臂数目为 5、6、7、8;在不同的双轴搅拌臂排列组合时,分别采用宽短型和窄长型拌筒,测试搅拌质量指标值和搅拌功率消耗值,试验结果如表 1^[7] 所示。

表 1 确定搅拌臂最佳数目的各种指标试验结果

单轴 搅拌臂 数/个	单轴搅 拌臂相 位/(°)	双轴 拌筒 搅拌臂 排列	拌筒 长宽 特征	各指标的试验结果				
				拌和物匀质性		7 d 抗压强度		搅拌功 率 P/ kW
				ΔM/%	ΔG/%	\bar{f} /MPa	C _v	
5	90	正正	宽短	1.01	5.43	21.36	0.049 7	2.89
5	90	正反	宽短	1.62	1.63	23.13	0.009 5	3.28
5	60	正正	宽短	0.13	2.30	23.05	0.095 0	4.13
5	60	正反	宽短	0.36	1.43	25.73	0.024 0	2.57
5	45	正反	宽短	0.36	3.08	23.20	0.023 5	3.67
5	45	反反	宽短	1.18	2.20	19.72	0.040 3	3.67
6	90	正正	宽短	0.42	2.84	21.79	0.036 6	4.06
6	90	反反	宽短	1.16	2.48	20.41	0.021 6	2.96
6	60	正反	宽短	2.05	2.04	20.40	0.015 3	3.28
6	60	反反	宽短	1.19	2.29	22.04	0.038 3	3.90
7	90	正反	窄长	1.91	1.32	19.51	0.062 1	3.43
7	90	反反	窄长	2.45	3.25	19.86	0.045 3	3.28
7	60	正正	窄长	0.74	3.91	20.64	0.162 3	3.98
7	60	反反	窄长	1.51	2.11	20.73	0.017 5	1.48
8	45	正正	窄长	4.31	5.28	19.15	0.107 9	4.12
8	45	正反	窄长	0.48	2.73	19.02	0.078 2	3.04

注: ΔM 为砂浆密度的相对误差; ΔG 为粗骨料质量的相对误差; \bar{f} 为混凝土强度的平均值; C_v 为离差系数。

从表 1 可以看出,不同数目的搅拌臂对混凝土拌和物的宏观匀质性影响较大,但对混凝土的 7 d 抗压强度和搅拌功率的损耗来说,影响都较小,没有明显的规律性。从试验测试指标的最优值分布情况来看,在单轴相邻搅拌臂相位角为 60°、双轴搅拌臂排列形式为正正组合时,对于宽短型拌筒,搅拌臂的合理数目是 5 个;而对于窄长形拌筒,搅拌臂的合理数目为 7 个。

2 搅拌叶片的面积

搅拌叶片的面积对物料的循环运动和物料之间的相互作用有着重要的影响。叶片面积过小,减弱了物料的循环作用和两轴之间的对流作用,使物料达到宏观均匀搅拌时间增长;若叶片面积过大,不但增大了搅拌功率,还需要减小叶片个数,否则,叶片在搅拌筒内运动时会相互干涉。因此,应根据拌筒尺寸和工作装置各参数,主要是搅拌叶片的个数,设计出合理的叶片面积。

由于与叶片面积相关的因素较多^[8],故主要通过试验来分析各种因素的影响^[9]。

(1)在相同的长宽比、相同的叶片面积时,不同的叶片个数对搅拌效果的影响。

(2)在相同的长宽比、相同叶片个数时,不同的叶片面积对搅拌效果的影响。

(3)在相同的叶片面积、相同的叶片个数时,不同的拌筒长宽比下搅拌效果的比较。

2.1 试验方案

试验方案如表 2 所示。

表 2 叶片面积试验方案				
叶片面积/ cm ²	拌筒长宽比			
	窄长型		宽短型	
	方案号	叶片数/个	方案号	叶片数/个
263.0	1	2	24	2
	2	3	23	3
	3	4	22	4
192.0	4	3	21	2
	5	4	20	3
	6	5	19	4
130.0	7	4	18	3
	8	5	17	4
	9	6	16	5
93.6	10	5	15	3
	11	6	14	4
	12	7	13	5

在搅拌机参数优化试验中,选取 4 种叶片面积,

而每种面积下又有 3 种选择;拌筒长宽比选择了 2 种。根据试验内容,共有 24 组试验,其中,1~12 组为窄长形拌筒;13~24 组为宽短形拌筒。

2.2 试验结果

试验结果如表 3 所示。

表 3 试验结果						
方案号	拌和物匀质性		28 d 硬化混凝土试块抗压强度			搅拌功率 P/kW
	$\Delta M/\%$	$\Delta G/\%$	\bar{f}/MPa	σ/MPa	C_v	
1	0.42	2.39	24.16	2.200	0.091	3.20
2	0.27	0.97	27.67	1.701	0.061	3.50
3	0.74	1.03	26.98	0.601	0.022	4.40
4	1.44	1.48	26.70	1.360	0.051	3.26
5	0.55	0.94	27.38	1.078	0.039	3.80
6	0.58	0.49	29.04	0.680	0.023	4.30
7	0.61	0.95	25.78	1.780	0.069	3.20
8	0.49	0.72	27.57	0.530	0.019	3.35
9	0.41	0.47	29.23	0.590	0.02	3.60
10	0.68	1.19	27.44	1.360	0.049	3.10
11	0.59	0.95	28.30	0.640	0.022	3.50
12	0.17	0.69	30.01	0.051	0.017	3.70
13	2.00	7.69	23.97	1.525	0.064	3.90
14	0.59	2.33	26.46	1.000	0.038	4.10
15	0.99	0.72	25.11	1.237	0.049	4.20
16	0.69	1.22	25.11	1.490	0.059	4.40
17	0.02	0	27.17	0.082	0.030	4.80
18	0.70	2.82	26.44	0.366	0.013	5.30
19	1.36	5.77	23.66	2.546	0.108	4.00
20	0.79	1.22	24.84	1.449	0.058	4.65
21	0.21	0.71	26.28	0.403	0.015	5.90
22	1.35	1.45	25.79	2.790	0.108	4.30
23	0.70	0.90	26.83	0.675	0.025	4.90
24	0.69	0.48	26.41	0.580	0.022	6.30

注: σ 为标准差。

从表 3 试验结果可以得出如下结论。

(1)在本试验条件下,第 12 组、第 9 组、第 17 组结果较好,表明合理的叶片面积和叶片个数的匹配对搅拌质量的影响较大,这几组试验结果可作为设计人员选择参数时优先参考。

(2)叶片面积增大对搅拌功率的影响很大,但混凝土强度并不一定会提高;当叶片面积过大,叶片个数过少时,混凝土的均匀性很差;同时,增大叶片面积,减少叶片个数,会增大混凝土的含气量。

(3)从对混凝土的搅拌质量的影响而言,叶片个数的变化要比叶片面积的变化影响大。当叶片个数过多或叶片面积过大时,都会使相邻叶片之间的空间距离减小,反而使物料流动不畅,搅拌质量下降。

两者对比试验结果如表 4 所示。

(4)当拌筒长宽比和容积利用系数 k (搅拌机的出料容积与几何容积之比)不同时,即使相邻叶片之

表 4 对比试验结果

拌筒长宽比	叶片面积/ cm ²	叶片数/个	混凝土拌和物匀质性		28 d 硬化混凝土试块抗压强度		
			$\Delta M/\%$	$\Delta G/\%$	\bar{f}/MPa	σ/MPa	C_v
窄长型	263	3	2.80	13.40			
窄长型	130	5	0.60	1.20	24.93	0.67	0.026 9
宽短型	263	3	1.16	8.90	16.45	2.30	0.120 0
宽短型	130	5	0.80	2.46	23.72	0.53	0.022 3

间的空间距离相同、叶片面积相同,搅拌效果也不相同。这表明搅拌室容积利用系数和长宽比也会影响叶片面积和叶片个数的选择。

当然,混合料的最大粒径也是影响搅拌叶片个数和叶片面积选择的重要因素^[10-12]。在本项试验中,混合料的最大粒径为 40 mm。

2.3 综合评判指标

综上所述,搅拌叶片的个数和面积与搅拌机其他结构参数也相关,设计时需综合分析和考虑。为了评判设计的合理性,并为参数选择时提供参考,本文提出了一个综合评判指标 ψ ,表示搅拌轴转动 1 周时,叶片推动的物料量 G 与搅拌机的出料容积 V 之间的比值,即

$$\psi=G/V \tag{1}$$

式(1)表明,当叶片个数、面积和搅拌机其他结构参数之间匹配合理时,叶片推动的物料量与公称容积的比值应处在一个稳定的范围内,既能保证推动一定比例的物料,又留有必需的空间使物料流畅地运动,以达到拌和快、又节能的目的。

图 2 所示为叶片在搅拌轴上的安装, x 轴和 x' 轴平行于搅拌轴的轴线, y 轴与搅拌臂轴线平行, z 轴垂直于 x - y 平面,搅拌叶片面内搅拌臂轴线与搅

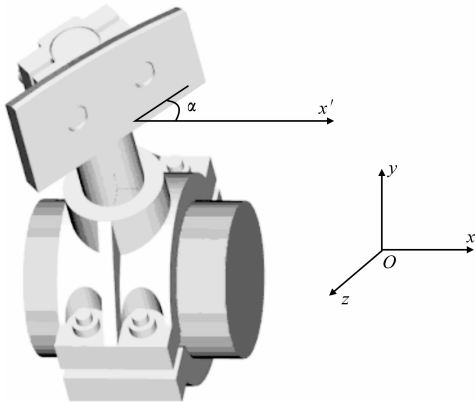


图 2 叶片的安装

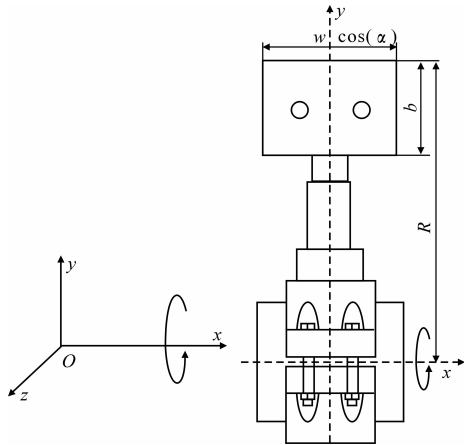


图 3 叶片在 x - y 平面上的投影

拌轴轴线的夹角是叶片的轴向安装角。叶片在 x - y 平面上的投影面积 $S' = S\cos(\alpha) = wb\cos(\alpha)$, S 为叶片面积;图 3 所示为叶片在 x - y 平面上的投影。设叶片由刚开始推料到从物料中转出来,搅拌轴需要转过的角度为 θ' ,1 个叶片转动 1 周,排出的物料量 p 等于 S' 绕搅拌轴转动 θ 后排出的体积,所以有

$$p = \pi[R^2 - (R - b)^2]w\cos(\alpha)\theta'/360^\circ \tag{2}$$

$$p = \pi bw\cos(\alpha)\theta'(2R - b)/360^\circ \tag{3}$$

式中: p 为叶片旋转 1 周排出的物料体积(m^3); R 为搅拌轴的旋转半径(m); α 为叶片的轴向安装角度($^\circ$); w 为叶片的宽度(m); b 为叶片的高度(m); θ' 为叶片从入料到出料旋转过的角度($^\circ$)。

将 $S' = S\cos(\alpha) = wb\cos(\alpha)$ 代入式(2)得

$$p = \pi S\cos(\alpha)\theta'(2R - b)/360^\circ \tag{4}$$

搅拌轴搅拌 1 周,搅拌机所有叶片推动的物料总量 G 为

$$G = 4p_0 + 2(n - 2)p_1 \tag{5}$$

式中: p_0 为侧叶片排出的物料量(m^3); p_1 为主叶片排出的物料量(m^3)。

由式(4)可以看出,在 α 、 θ 和 S 一定的情况下, p 有唯一的对应值,从而 p_0 、 p_1 唯一确定,由式(5)知, G 就唯一确定。那么, G 与 V 的比值,即综合评判指标 ψ 就有唯一的对应值。由于搅拌机的工作条件不变,搅拌过程是一个周期性稳态运动过程,所以角度 θ' 总是在一个平均值附近上下起伏,式中的 θ' 就取这个平均值。容积利用系数 k 决定着 θ' 的大小^[7],因此,设计搅拌机时,在其他因素相同情况下,若叶片面积 S 、叶片个数 n 和容积利用系数 k 三者之间匹配合理, ψ 就有一个较优值与之对应,将这些 ψ 值与 S 、 n 、 k 作成对应曲线,可以指导搅拌机的设计。

在本次试验中,对于拌筒的 2 种长宽比,除了叶片面积和叶片个数不同外,其余的参数都相同。所

以,对于式(3)、式(4)中的变量,除了 S 和 n 两个变量外,其他变量取值都相同。将窄长型与宽短型拌筒的试验值横向比较,仅加了变量 θ 。容积利用系数为0.18时,窄长型拌筒的 θ 取值约为 95° ;容积利用系数为0.25时,宽短型拌筒的 θ 约为 125° 。窄长型拌筒试验中,第12组和第9组的试验值较好;宽短型拌筒则是第17组较好。根据式(4)、式(5),代入相关数据进行计算。

(1) 窄长型拌筒。

$S = 93.6 \text{ cm}^2, n = 7, G_1 = 0.105 \text{ m}^3; S = 130 \text{ cm}^2, n = 6, G_2 = 0.11 \text{ m}^3$ 。

(2) 宽短型拌筒。

$S = 130 \text{ cm}^2, n = 4, G_3 = 0.106 \text{ m}^3$ 。

当出料容积 V 为 0.1 m^3 时,搅拌机的综合评判指标 ϕ 分别为: $\phi_1 = G_1/0.1 = 0.105/0.1 = 1.05$;
 $\phi_2 = G_2/0.1 = 0.11/0.1 = 1.10$; $\phi_3 = G_3/0.1 = 0.106/0.1 = 1.06$ 。

经计算,初步确定,搅拌机的综合评判指标 ϕ 为 $1.05 \sim 1.10$ 较为合理。

3 结 语

(1)给出了确定搅拌臂数目的基本原则,通过试验给出了合理的搅拌臂数目。

(2)给出了确定搅拌叶片面积的基本原则,通过试验给出了合理的叶片面积。

(3)建议用叶片推动的物料量与搅拌机的公称容积的比值 ϕ 来综合评判搅拌臂个数、叶片面积与其他参数匹配的合理性,并作为设计时的参考值。

参考文献:

References:

- [1] 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.
- [2] 赵利军,赵航,冯忠绪.强制式搅拌机低效区现象的探讨[J].筑路机械与施工机械化,2004,21(11):18-20.

ZHAO Li-jun, ZHAO Hang, FENG Zhong-xu. Discussion on inefficient zone in forced mixer[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2004, 21(11):18-20.

- [3] 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.
- [4] 王卫中,冯忠绪.逆流相位变化对混凝土搅拌质量的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(2):99-102.
WANG Wei-zhong, FENG Zhong-xu. Effect of various adverse circulation's phase angles on concrete mixing quality[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(2): 99-102.
- [5] 赵利军.搅拌机低效区及其消除方法的研究[D].西安:长安大学,2005.
- [6] 王卫中.双卧轴搅拌机工作装置的试验研究[D].西安:长安大学,2004.
- [7] 张海军.搅拌过程的机械强化方法及其试验研究[D].西安:长安大学,2006.
- [8] 冯忠绪,王卫中,姚运仕,等.搅拌机合理转速的研究[J].中国公路学报,2006,19(2):116-120.
FENG Zhong-xu, WANG Wei-zhong, YAO Yun-shi, et al. Study of mixer rational rotation speed[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2): 116-120.
- [9] 李彰.双卧轴搅拌机结构参数匹配的试验研究[D].西安:长安大学,2006.
- [10] 冯忠绪.混凝土搅拌理论及设备[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [11] 冯忠绪,王卫中,赵利军,等.节约型搅拌技术的研究[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.
- [12] 刘亚娟.双螺带搅拌机参数和工艺的试验研究[D].西安:长安大学,2007.