

文章编号:1671-8879(2008)06-0089-03

## 搅拌机参数优化的试验

冯忠绪,王卫中,赵利军,赵 悟,姚运仕

(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:**提出了搅拌机搅拌过程的优化目标,得到了搅拌过程优化的目标函数。在此基础上,对立式强制搅拌机进行了试验和优化,提出通过增加物料径向运动来消除搅拌低效区的方案;重点对双卧轴搅拌机进行多参数的优化,得到了搅拌臂排列及其相位、叶片安装角、拌筒长宽比和搅拌线速度等参数比较合理的取值范围。试验结果表明,经过参数优化的搅拌机,不但提高了混凝土搅拌质量,而且对原结构的改动不大,简单易行,便于工程推广应用。

**关键词:**筑路机械;搅拌机;参数优化;模拟试验

**中图分类号:**U415.522 **文献标志码:**A

### Test on parameter optimization of mixer

FENG Zhong-xu, WANG Wei-zhong, ZHAO Li-jun, ZHAO Wu, YAO Yun-shi

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

**Abstract:** This paper puts forward an optimization target of the mixing process and an optimizing objective function of mixing progress. Based on the above works, an optimization test of a mixer with vertical shafts is carried out, the inefficient zone of mixing can be decreased through increasing the moving time of materials at radial directions. The optimization of multi-parameters for a mixer with double shafts is done. Those parameters, such as the arrangement of mixing arms and their phases, the setting angle of mixing blades, the mixer's length-width ratio and mixing linear speed are determined. The test results indicate that after optimization, the concrete mixing quality is increased, and the structure of the mixer has a little change. 2 tabs, 6 figs, 10 refs.

**Key words:** road machinery; mixer; parameter optimization; simulation test

## 0 引 言

搅拌作为混凝土生产制备工艺中关键的一道工序,其优劣直接影响混凝土生产的质量<sup>[1]</sup>。随着商品混凝土的大力推广及建筑规模的大型化、复杂化和高层化,各项工程对混凝土质量不断提出更高的要求,因而搅拌方法的改进、搅拌设备的开发和相关

理论的研究,尤其是搅拌机的核心部分——搅拌机构的设计优化<sup>[2]</sup>,已成为研究的热点。水泥混凝土搅拌时,砂、石、水泥和水进入搅拌室后,物料各成分间既存在物理作用,又存在化学作用,不论从微观还是宏观上,物料的状态和结构既发生了量的变化,又发生了质的变化<sup>[3]</sup>。搅拌机构参数选择的因素很多,且较为复杂,至今还没有实用的参数优化方法。

收稿日期:2007-12-21

基金项目:国家自然科学基金项目(50678026);国家 863 计划重大项目(2001AA422012);陕西省自然科学基金项目(2001C04)

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

为此,本文在确定搅拌机参数优化目标的基础上,对立轴式搅拌机和双卧轴搅拌机参数进行了优化和试验研究。

## 1 优化目标

常用搅拌机的拌缸(或拌筒)呈圆筒形,如图 1 所示。它的主要几何参数可用直角坐标系( $Oxyz$ )或圆柱坐标系( $Ozr\varphi$ )来描述(图中: $R_1$ 为拌筒内壁半径; $R_0$ 为旋转轴半径; $H$ 为混合料高度)。文献[2-3]利用扩散方程对搅拌过程进行了综合模拟,得到了搅拌过程优化的目标函数为

$$\bar{t}_{1,0,0} \approx \bar{t}_{0,1,0} \approx \bar{t}_{0,0,1} \quad (1)$$

式中:搅拌的平均时间 $\bar{t}$ 的下角标表示拌缸三维坐标及其顺序。

式(1)的物理意义为:合理的搅拌机参数应保证在满足给定的均匀度指标的前提下,在拌缸内各个方向的搅拌时间相接近。显然,这时的搅拌质量得到了保证,同时搅拌时间也最短。

## 2 立轴式搅拌机参数的优化

符合规范<sup>[4]</sup>的 JW50 立轴式搅拌机,其主要几何尺寸为: $R_0 = 0.2 \text{ m}$ ,  $R_1 = 0.625 \text{ m}$ ,  $H = 0.15 \text{ m}$ 。根据优化目标,按图 2 所示布料。



图 2 单立轴间歇式搅拌的 3 种不同布料方式

① 分层布料,在 $z$ 方向初始分布最不均匀;② 圆环形布料,沿 $r$ 方向分布最不均匀;③ 扇形布料,物料沿 $\varphi$ 方向分布最不均匀。按国家标准<sup>[5]</sup>,给定均匀度指标,粗骨料质量相对误差 $\Delta G < 5\%$ ;砂浆重量相对误差 $\Delta M < 0.8\%$ 。通过试验,测量水平和垂直方向的搅拌时间,实测结果为

$$\bar{t}_{1,0,0} \approx \frac{90}{b_{\parallel}}, \bar{t}_{0,1,0} \approx \frac{6400}{b_{\perp}}, \bar{t}_{0,0,1} \approx \frac{712}{b_{\perp}}$$

式中: $b_{\parallel}$ 、 $b_{\perp}$ 分别为沿高度方向( $z$ 方向)和与高度方向相垂直的平面的搅拌系数,均由搅拌机结构和工作参数决定。

试验结果表明,该搅拌机沿高度方向与径向的搅拌时间相差悬殊。这说明沿 $r$ 轴方向的初始分布

状态很重要,在搅拌中混合料沿径向搅拌最难达到均匀。因此,必须优化搅拌机的参数,使 $b_{\parallel} > b_{\perp}$ ,以保证搅拌质量和缩短搅拌时间。

立轴式搅拌机在高度方向除叶片形成的翻拌作用外,由物料重力形成的下落运动也较强,因此混合料在该方向很容易实现均匀搅拌。因为存在速度梯度,所以径向搅拌最难实现均匀,如图 3 所示( $v$ 为搅拌线速度; $\omega$ 为搅拌轴转速; $R$ 为搅拌臂长度)。靠近拌筒壁处速度高,物料运动快;靠近拌筒中心处速度低,物料运动慢,形成了搅拌低效区,甚至死区。由于圆环带的均匀性不同,特别是在靠近拌筒壁处与中心处形成明显差异,拖延了整机的搅拌时间,并影响了搅拌质量。因此,应适当增大拌筒高度并缩小拌筒直径,还可采用双叶片搅拌机构,通过增加径向运动来消除低效区现象。

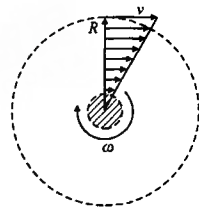


图 3 速度梯度

## 3 双卧轴搅拌机参数的优化

### 3.1 主要参数

双卧轴搅拌机的主要参数如图 4 所示。

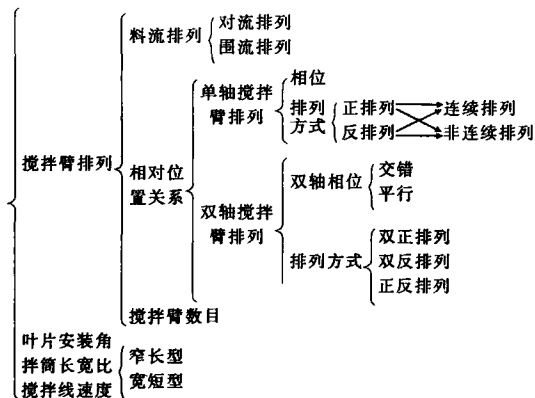


图 4 双卧轴搅拌机的主要参数

### 3.2 试验样机

图 5(见下页)为试验样机结构图,拌筒长宽比的变化通过在拌筒中横置挡板实现,即保持拌筒宽度不变,而对拌筒长度进行调节。挡板的形状与拌筒横截面形状相同,可以通过螺栓固定在与拌筒焊接的角钢上,从而将拌筒由窄长型变为宽短型。搅拌臂通过螺栓的夹紧作用分别固定在相应的搅拌轴上,搅拌叶片通过螺栓联接在搅拌臂上,因此可以方便地调整它们的相位及其排列。搅拌轴的转速通过变频器改变电机输出转速来实现。

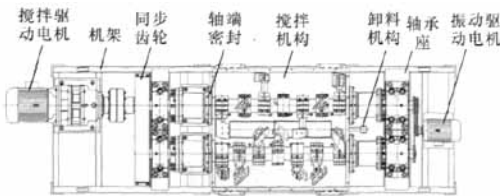


图 5 双卧轴搅拌试验样机结构

3.3 试验材料

试验用水泥混凝土的设计强度为 C20,拌和物坍落度为 10~30 mm。水泥采用 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。水与水泥、砂、石的配合比(质量配合比)为 0.54:1:2.14:4.16。

3.4 检验指标

(1) 均匀度指标。根据文献[4]规定,ΔG<5%,ΔM<0.8% 为合格品,ΔM 和 ΔG 值越小,均匀性越好。

(2) 强度指标。根据文献[5]规定,主要用硬化混凝土试块的强度平均值  $\bar{R}$ 、标准差  $\sigma$  和离差系数  $C_v$  等统计指标来检验。 $\bar{R}$  越大, $\sigma$ 、 $C_v$  值越小,说明混凝土越均匀,质量越好;反之质量越差。图 6 为试块抗压强度测试情况。

3.5 多参数匹配试验

根据优化目标,在单参数优化试验的基础上<sup>[6]</sup>,多参数匹配试验按正交表编排,表 1 列出了一组试验结果。利用极差分析法,确定各参数对搅拌过程的影响程度,得到主要参数的匹配关系为:双轴搅拌臂围流排列,单轴搅拌臂相位角为 60°,拌筒宜为宽短型,叶片安装角为 35°,搅拌线速度为 1.5 m/s<sup>[7]</sup>。

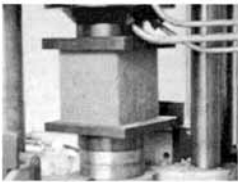


图 6 试块的抗压强度测试

表 1 搅拌装置多参数匹配试验结果

| 序号 | 因素    |           |      |      |           |       |                          | 试验结果 |      |                |         |         |
|----|-------|-----------|------|------|-----------|-------|--------------------------|------|------|----------------|---------|---------|
|    | 拌筒长宽比 | 单轴相位角/(°) | 双轴相位 | 双轴排列 | 叶片安装角/(°) | 搅拌臂数目 | 线速度/(m·s <sup>-1</sup> ) | 匀质性  |      | 7 d 抗压强度       |         | 功率 P/kW |
|    |       |           |      |      |           |       |                          | ΔM/% | ΔG/% | $\bar{R}$ /MPa | $C_v$   |         |
| 1  | 0.78  | 90        | 交错   | 正正   | 35        | 5     | 1.2                      | 1.01 | 5.43 | 21.36          | 0.049 7 | 2.89    |
| 2  | 0.78  | 60        | 平行   | 正反   | 45        | 6     | 1.5                      | 0.42 | 2.04 | 20.40          | 0.015 3 | 3.28    |
| 3  | 0.78  | 45        | 交错   | 反反   | 55        | 5     | 1.7                      | 2.49 | 2.19 | 20.36          | 0.054 1 | 3.59    |
| 4  | 1.11  | 90        | 交错   | 正反   | 45        | 7     | 1.7                      | 1.91 | 1.32 | 19.51          | 0.062 1 | 3.43    |
| 5  | 1.11  | 60        | 平行   | 反反   | 55        | 7     | 1.2                      | 2.51 | 2.11 | 20.73          | 0.017 5 | 1.48    |
| 6  | 1.11  | 45        | 交错   | 正正   | 35        | 8     | 1.5                      | 4.31 | 5.28 | 19.15          | 0.107 9 | 4.12    |
| 7  | 0.78  | 90        | 平行   | 正正   | 55        | 6     | 1.7                      | 2.05 | 2.84 | 21.79          | 0.036 6 | 4.06    |
| 8  | 0.78  | 60        | 交错   | 正反   | 35        | 5     | 1.2                      | 0.36 | 1.43 | 25.73          | 0.024 0 | 2.57    |
| 9  | 0.78  | 45        | 交错   | 反反   | 45        | 5     | 1.5                      | 1.18 | 2.20 | 19.72          | 0.040 3 | 3.67    |
| 10 | 0.78  | 90        | 交错   | 反反   | 45        | 6     | 1.2                      | 1.16 | 2.48 | 20.41          | 0.021 6 | 2.96    |
| 11 | 0.78  | 60        | 交错   | 正正   | 55        | 5     | 1.5                      | 1.62 | 2.30 | 23.05          | 0.095 0 | 4.13    |
| 12 | 0.78  | 45        | 平行   | 正反   | 35        | 5     | 1.7                      | 0.13 | 3.08 | 23.20          | 0.023 5 | 3.67    |
| 13 | 1.11  | 90        | 平行   | 反反   | 35        | 7     | 1.5                      | 2.45 | 3.25 | 19.86          | 0.045 3 | 3.28    |
| 14 | 1.11  | 60        | 交错   | 正正   | 45        | 7     | 1.7                      | 2.74 | 5.91 | 20.64          | 0.162 3 | 3.98    |
| 15 | 1.11  | 45        | 交错   | 正反   | 55        | 8     | 1.2                      | 0.48 | 2.73 | 19.02          | 0.078 2 | 3.04    |
| 16 | 0.78  | 90        | 交错   | 正反   | 55        | 5     | 1.5                      | 0.36 | 1.63 | 23.13          | 0.009 5 | 3.28    |
| 17 | 0.78  | 60        | 交错   | 反反   | 35        | 6     | 1.7                      | 1.19 | 2.29 | 22.04          | 0.038 3 | 3.90    |
| 18 | 0.78  | 45        | 平行   | 正正   | 45        | 5     | 1.2                      | 2.07 | 5.00 | 20.93          | 0.171 4 | 3.74    |

为了验证优化效果,与相同类型的搅拌机进行了对比试验。结果表明,在搅拌材料配合比及搅拌时间相同的条件下,参数优化后采用正正交错布置时,生产的混凝土强度比选用的样机提高约 8%;当参数优化后的试验样机采用正正非连续布置时,生产的混凝土强度要比选用的样机提高约 6%。表 2 给出了对比试验的一组数据<sup>[8-10]</sup>。

表 2 几种不同类型的搅拌机对比试验结果

| 序号 | 搅拌机类型       | 匀质性  |      | 28 d 抗压强度      |         | 功率 P/kW |
|----|-------------|------|------|----------------|---------|---------|
|    |             | ΔM/% | ΔG/% | $\bar{R}$ /MPa | $C_v$   |         |
| 1  | 试验样机(正正交错)  | 0.38 | 0.81 | 26.37          | 0.009 9 | 3.90    |
| 2  | 试验样机(正正非连续) | 0.53 | 0.49 | 25.94          | 0.005 4 | 3.90    |
| 3  | 普通强制式       | 0.47 | 1.63 | 24.49          | 0.057 6 | 3.86    |

(下转第 110 页)

## 4 结 语

(1)小波包分析为非平稳信号处理和特征提取提供了一种更加精细的分析方法,通过监测相应频带内能量的变化,可以对结构健康状态进行有效的识别。

(2)以小波包能量为特征,降低了特征向量空间的维数,结合多传感器特征融合和神经网络技术,较理想地识别了结构损伤的发生、位置和程度。

(3)多传感器特征融合损伤诊断方法对损伤较敏感,鲁棒性高,能够提高损伤识别的准确性与可靠性。另外,多传感器所采集的信息具有冗余性,经过特征融合处理后,这些信息被利用时具有良好的容错性。

### 参考文献:

#### References:

- [1] 姜绍飞. 基于神经网络的结构优化与损伤检测[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 何正嘉, 孟庆丰, 赵纪元. 机械设备非平稳信号的故障诊断原理及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] Sun Z, Chang C C. Structural damage assessment based on wavelet packet transform [J]. Journal of Structural Engineering, 2002, 128(10): 1354-1361.
- [4] Yam L H, Yan Y J, Jiang J S. Vibration-based damage

detection for composite structures using wavelet transform and neural network identification [J]. Composite Structures, 2003, 60(4): 403-412.

- [5] Yuen K V, Lam H F. On the complexity of artificial neural networks for smart structures monitoring [J]. Engineering Structures, 2006, 28(7): 977-984.
- [6] Gros X E, Bousique J, Takahashi K. NDT data fusion at pixel level [J]. NDT and E International, 1999, 32(5): 283-292.
- [7] Johnson E A, Lam H F, Katafygiotis L S, et al. Phase I IASC-ASCE structural health monitoring benchmark problem using simulated data [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2004, 130(1): 3-15.
- [8] Guo H Y. Structural damage detection using information fusion technique [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, 20(5): 1173-1188.
- [9] 段晨东, 姜洪开, 何正嘉. 基于监测数据的特征小波构造及应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(2): 107-110.
- [10] 虞和济, 陈长征, 张 省, 等. 基于神经网络智能诊断[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.

(上接第 91 页)

## 4 结 语

(1)给出了立轴式搅拌机参数优化的目标函数。

(2)双卧轴搅拌机多参数优化的结果: 搅拌臂围流排列, 单轴搅拌臂相位角为  $60^\circ$ , 拌筒宜为宽短型, 叶片安装角为  $35^\circ$ , 搅拌线速度为  $1.5 \text{ m/s}$ 。

(3)搅拌机参数的优化对原结构改动不大, 简单易行, 便于工程推广应用。

### 参考文献:

#### References:

- [1] 赵利军, 冯忠绪, 姚运仕, 等. 搅拌机叶片安装角的确定方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(5): 99-102.
- ZHAO Li-jun, FENG Zhong-xu, YAO Yun-shi, et al. Method for determining setting angle of mixer's blades [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(5): 99-102.
- [2] 冯忠绪. 混凝土搅拌理论及其设备[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

- [3] 冯忠绪. 连续式搅拌过程的模型化[J]. 中国公路学报, 1997, 10(4): 116-120.
- FENG Zhong-xu. Modelling method of continuous mixing process [J]. China Journal of Highway and Transport, 1997, 10(4): 116-120.
- [4] GB/T 9142—2000, 混凝土搅拌机[S].
- [5] GB/T 50081—2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [6] 赵利军. 双卧轴搅拌机参数优化及其试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.
- [7] 赵 悟. 搅拌装置参数优化的研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- [8] 姚运仕. 双叶片搅拌机参数优化及其试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [9] 赵利军. 搅拌低效区及其消除方法的研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- [10] 冯忠绪, 王卫中, 姚运仕, 等. 搅拌机合理转速研究[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.

[第 28 卷卷终]