

一种盘式搅拌机的设计及仿真分析

朱霖龙,刘雅文

(西安工业大学 机电工程学院,陕西 西安 710021)

摘要:为提高混凝土搅拌机的工作效率,针对传统立轴搅拌机进行结构改进,参考经验公式,类比为成熟的双卧轴搅拌机,设计了一种新的盘式搅拌机。利用 EDEM 颗粒有限元分析软件,对比了盘式搅拌机和传统立式搅拌机的搅拌强度。结果表明,按照新方法设计的搅拌机具有更高的工作效率,更小的能耗,更强的工作可靠性。

关键词:盘式搅拌机;结构改进;EDEM;仿真分析;搅拌装置

中图分类号:TH122; TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)04-0121-04

Design and Simulation Analysis of Disk Mixer

ZHU Linlong, LIU Yawen

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: To improve the efficiency of concrete mixer, a new design is put forward, in which the structure of the traditional vertical mixer is improved. In reference to the empirical formula and analogizing method for twin-shaft mixer, this paper designs a new disc mixer. Its mixing effect is compared with that of the traditional vertical mixer by EDEM software. The results show that the new designed mixer is characteristic of higher working efficiency and reliability and smaller energy consumption.

Keywords: disk mixer; structural improvements; EDEM; simulation analysis; mixing device

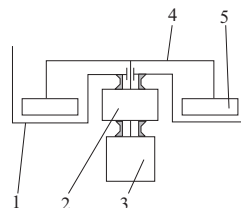
0 引言

混凝土作为一种可塑性人造石材料,应用于所有的基础设施建设,是现代社会建筑最具有代表性的材料。一台真正先进的混凝土搅拌设备,必须能够在高速、高质量、节能的情况下完成搅拌作业。

在文献[1-2]中,针对自落式搅拌机进行了结构优化,提高了工作可靠性,解决了大型化问题。但是其工作装置没有改进,搅拌时间较长,影响生产率;文献[3]中设计的双卧轴搅拌机,具有搅拌质量高,搅拌时间短的优势,但是抱轴、轴端密封和能耗大的瓶颈一直未能解决;文献[4]设计的无轴式搅拌机是双卧轴搅拌机的一种改良,解决了抱轴问题,但是仍未解决轴端密封和能耗大的问题;文献[5]与文献[6]设计了两种行星式搅拌机,其运动轨迹分别为长幅外旋轮线和长幅内旋轮线,搅拌强度高,不存在抱轴问题,但是结构复杂,减速箱质量大,容易造成搅拌装置变形、连接错位;文献[7]设计了一种基于双卧轴搅拌机的改良振动机型。振动搅拌效率高,质量好,不产生抱轴问题,但是结构复杂,制造成本高,易产生共振、谐振等不良影响。

近些年,国外的混凝土搅拌机市场出现一种新型的搅拌机,称之为“盘式搅拌机”,结构如图1所示。盘式搅拌机采用驱动下置、减速装置等内置于搅拌缸内空间,搅拌缸内不存在传统立轴搅拌机的搅拌死区和低效区,搅拌效率高,成品质量均匀稳定。其单次混合物料虽然较少,但

是单缸搅拌时间短、出料快,效率极高,生产率具有优势。搅拌叶片扁而长,搅拌阻力小。搅拌轴输出端不在搅拌缸内,不与搅拌物料接触,避免了粉料和颗粒物进入轴承,同时杜绝了混凝土“抱轴”危害,节约维修成本。



1—搅拌缸;2—减速器;3—驱动电机;4—搅拌臂;5—搅拌叶片

图1 盘式搅拌机结构

1 盘式搅拌机设计

目前国内对盘式搅拌机设计方法认知不足,尚没有自主研发的机型,也无法找到相关文献资料。若沿用传统的立轴搅拌机设计方法进行设计,会在使用中产生诸多问题,因此本文提出一种盘式搅拌机设计方法。

1.1 盘式搅拌机搅拌缸设计

搅拌缸设计首先应该考虑产量,立轴式搅拌机规格多样,主流产品是 1 m^3 和 2 m^3 的规格。

盘式搅拌机搅拌作用只在径向与周向上,所以物料的高度应尽量地小,使搅拌阻力最小,径向搅拌作用最大化。

一般混凝土的骨料最大在 80 mm 左右,故搅拌后的物料高度至少要大于骨料最大粒径,应选用 2~3 倍最大粒径。

$$H_{\text{料}} = pC \quad (1)$$

式中: $H_{\text{料}}$ 表示物料初始高度; p 表示物料高度系数,取 2~3,所搅拌的混凝土的流动性越好,取值越小; C 表示骨料最大直径。

搅拌缸总容积与搅拌缸内成品物料体积存在如下关系^[8]:

$$V_{\text{容}} = V_{\text{料}} / \varepsilon \beta \quad (2)$$

式中: $V_{\text{容}}$ 表示搅拌缸总容积; $V_{\text{料}}$ 表示搅拌缸内成品混凝土体积,即额定单缸生产混凝土量; ε 表示容积系数,取 0.35~0.4^[9]; β 表示充满系数,取 0.8~1。

由于盘式搅拌机的特殊性,其在搅拌缸物料所占空间内无搅拌臂、搅拌轴,充满系数可以取 1。

盘式搅拌机底面积 S :

$$S = \pi(R^2 - r^2) \quad (3)$$

式中: R 表示搅拌缸半径,可以约等于搅拌叶片最大半径; r 表示搅拌缸内侧半径,可以约等于搅拌叶片最小半径, r 的取值应考虑搅拌作用和减速器安装尺寸, r 必须大于减速器安装尺寸,同时应大于搅拌低效区半径,即搅拌线速度较低的区域半径,如图 2。

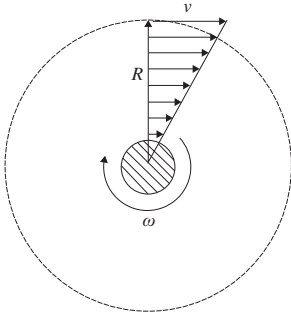


图2 搅拌角速度与线速度的关系

通过式(1)-式(3)可以得出搅拌缸 R 和 H

$$V_{\text{容}} = SH \quad (4)$$

$$V_{\text{料}} = SH_{\text{料}} \quad (5)$$

$$H = \frac{H_{\text{料}}}{\varepsilon \beta} = \frac{H_{\text{料}}}{\varepsilon} = pC / \varepsilon \quad (6)$$

$$R = \sqrt{\frac{V_{\text{料}}}{pC\pi} + r^2} \quad (7)$$

1.2 盘式搅拌机搅拌装置设计

1) 搅拌叶片排布

搅拌叶片作用下,物料应该在径向具有运动,所以叶片排布至少分为两圈,每一圈若干个。内侧叶片将物料向外侧推,外侧叶片将物料向内侧推。最内侧与最外侧叶片应设置一个侧向刮板,可以与叶片作为一体,以防止物料粘结于内外壁,同时卸料干净彻底。圈与圈之间的叶片在周向投影需要有部分重合,这样物料受到的搅拌作用才能充分,在搅拌缸内不会出现内外分区的现象。

参考双卧轴搅拌机叶片排布规律^[3], $360^\circ \leq N \cdot \theta \leq 720^\circ$,其中 N 是叶片数, θ 是叶片相位角。但是盘式搅拌机

叶片在轴向上叶片无法叠加,如果仍采用这个规律,叶片排布总是 $N \cdot \theta = 360^\circ$,故不能直接使用该规律。叶片排布的相位夹角,通常有 30° 、 45° 、 60° 和 90° 。那么按照上述公式,可以得出叶片的最少数和最多数,即 $4 \leq N \leq 24$ 。

当相位角重叠最小值 360° ,且相位角取最大 90° 时,叶片为最少取 4,反之相位角重叠最大 720° ,相位角间隔最小 30° 时,叶片最多取 24。故叶片总数应该在 4~24 之间选取。

2) 搅拌叶片的径向安装角度

盘式搅拌机最显著的特点是使物料在二维混合均匀。物料可以在叶片的转动下做周向运动,但是缺乏径向运动,这就需要在叶片排布和安装角度上使得其具有使物料可以径向运动的能力,如图 3、图 4。

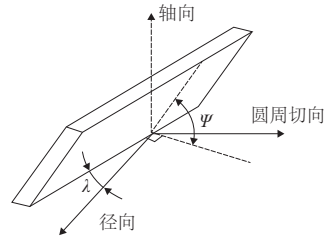


图3 搅拌叶片安装角度

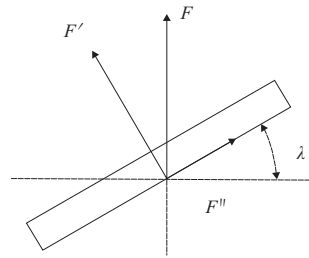


图4 搅拌叶片径向安装角度与受力分析

$$\begin{cases} F'' = F \sin \lambda \\ F' = F \cos \lambda \\ F_f = F' f \end{cases} \quad (8)$$

式中: F 表示混凝土阻力; F' 表示混凝土阻力对叶片垂直方向分力; F'' 表示混凝土阻力在叶片平行方向分力; f 是摩擦系数; λ 是叶片径向安装角。

由图 4 受力分析可以得出,当 F'' 大于混凝土与叶片摩擦力的时候,混凝土在叶片作用下径向运动为主,反之周向运动为主。根据设计需要,周向和径向运动都是主要运动,所以可以得出叶片安装角的准确值应该为 $\pm \arctan f$ 。由于要兼顾两种运动,叶片角度可以安排成两种,角度略大于 $\arctan f$ 或者略小于 $-\arctan f$,过渡叶片可以在 $[-\arctan f, \arctan f]$ 之间选择,基本以平推物料运动为主。

3) 搅拌叶片与水平面的安装角度

轴向受力分析与周向受力分析类似,见图 5。当叶片周向与水平面的夹角 ψ 等于安息角的时候,当 $F'_\perp$ 与重力沿着叶片方向的分力 G'' 相等时产生最直接的推力。当 ψ 小于安息角时,物料不仅有周向运动,还有沿着叶片上升的运动。物料层比较薄,物料略过叶片顶部后会在重力作用下迅速下落,物料的轴向混合强度大,物料混合均匀且

不分层,见图6。

混凝土的安息角一般为 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ [10]。故 ψ 的选取应该在混凝土的安息角范围内,当物料具有较大安息角时, ψ 的值可以适当减小。

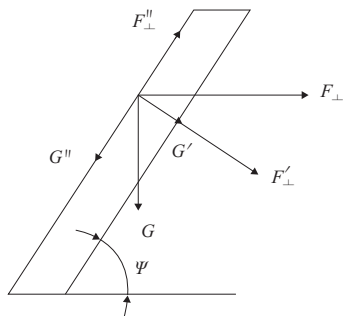


图5 搅拌叶片轴向安装角度与受力分析

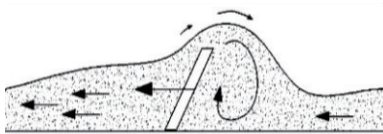


图6 搅拌叶片与薄层混凝土物料的搅拌作用

4) 搅拌叶片尺寸

根据排布,不同圈的叶片宽度 W 在周向投影长度之和应大于等于环形半径 $(R-r)$ 。

$$W \geq \frac{R-r}{m \cdot \cos \lambda} \quad (9)$$

式中 m 是叶片排布圈数。

由于物料高度约为最大骨料的 2~3 倍,故叶片的安装高度略低于物料最高高度即可。这样可以保证叶片与物料充分接触作用,同时兼顾轴向作用,见图6。叶片高度 B 的计算公式有:

$$B \leq \frac{\rho C}{\sin \psi} \quad (10)$$

1.3 盘式搅拌机防卡料装置设计及电机选型

卡料是指尺寸较大的骨料在搅拌作用时,楔紧在搅拌叶片与搅拌缸内壁之间的现象。卡料会急剧增加载荷,有烧毁电机的风险;同时,卡料会对搅拌叶片、搅拌缸内壁、搅拌臂造成损毁或者变形。

以往的搅拌机设计中最常用的方法是增加电机功率,即最恶劣工况设计方法,单方面保证发生卡料时电机输出功率可以提供足够力矩使得叶片将楔紧的骨料压溃。该方法选取的电机功率富裕,造成浪费,同时发生卡料时,压溃骨料的瞬间对整个传动系统具有较大冲击,同时仍有可能对叶片、内壁、搅拌臂造成不可逆损伤。部分搅拌机的传动减速部分设计中,为了保护电机,设置额外一级皮带传动。搅拌作业发生卡料现象时,皮带只能通过打滑来保护电机,但是整个传动系统、搅拌叶片和搅拌缸已受损害,而且皮带传动无法保证稳定的传动比。

盘式搅拌机的整机结构与双卧轴搅拌机不同,可以增

加一些缓冲机构或者超越离合器来抑制卡料的发生,见图7、图8。

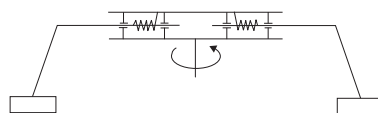
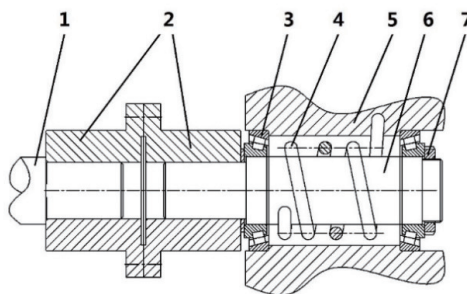


图7 一种利用超越离合器的防卡料装置简图



1—搅拌臂;2—联轴器;3—轴承;4—扭簧;
5—搅拌轴安装盘;6—搅拌臂转轴;7—圆螺母

图8 防卡料装置的一种方案(超越离合器式)

搅拌轴与搅拌臂采用非刚性连接,可采用扭簧等方式连接。扭簧的扭力设定只要略大于搅拌力矩即可。发生卡料时,单根搅拌臂受力急剧增大,超过弹簧的预压(拉或者扭)力时,扭簧屈服扭转,叶片在搅拌轴转动作用下发生扭转,楔紧的石块等被松开,扭簧恢复力作用下,搅拌臂恢复原有位置。

电机选型计算功率时,因为盘式搅拌机具有防卡料装置,电机功率计算难度大大降低,可以不考虑碎石功率,选出的电机功率相比同生产率其他机型要小,电机和减速机成本更低,尺寸、质量均更小。防卡料装置彻底避免了卡料工况,简化了传动装置,由电机直联减速器直联搅拌轴输出即可。若采用直联减速电机更加节约成本和安装空间。

关于搅拌功率计算和电机选型,可以参考文献[3]、文献[7-10]的搅拌功率计算,而不需要考虑碎石功率。

2 基于 EDEM 的传统立轴搅拌机与盘式搅拌机对比仿真分析

EDEM 是用于离散元有限元分析的高级 CAE 仿真软件。该软件能够分析离散物料的运动轨迹,直观且能量化反映颗粒在运动中的交汇、碰撞、混合情况 [11-13]。

通过 Creo 高级 CAD 软件,建立盘式搅拌机模型与同产量规格(500 L)的传统立式搅拌机模型。通过通用 step 三维格式导入 EDEM 中进行仿真(图9)。

为了简化仿真,选择颗粒粒径为 25 mm 和 6 mm 分别代表粒径不同的粗骨料和细骨料,仿真时长设置为 30 s,以 3 s 为间隔输出离散系数。离散度可以表示物料颗粒的分散情况,系数越小,说明在搅拌缸内分布越均匀。仿真结果见表1。根据表1,绘制离散度曲线图,如图10、图11。

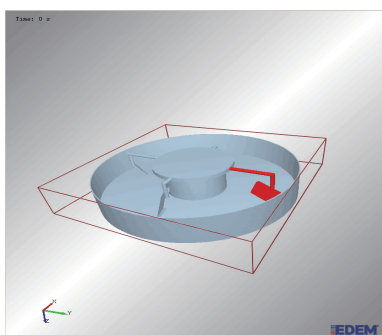


图9 EDEM中盘式搅拌机模型

表1 25 mm、6 mm 骨料离散度数据

时间/s	25 mm 骨料离散度		6 mm 骨料离散度	
	传统立轴搅拌机	盘式搅拌机	传统立轴搅拌机	盘式搅拌机
3	1.322	1.254	0.702	0.626
6	1.107	0.982	0.492	0.326
9	0.954	0.812	0.384	0.198
12	0.884	0.709	0.220	0.123
15	0.790	0.614	0.178	0.104
18	0.683	0.552	0.158	0.097
21	0.621	0.496	0.124	0.085
24	0.595	0.410	0.119	0.089
27	0.547	0.357	0.110	0.083
30	0.521	0.312	0.123	0.085

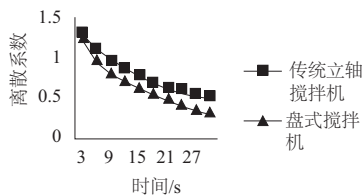


图10 25 mm 骨料离散度曲线

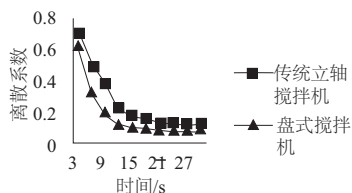


图11 6 mm 骨料离散度曲线

由表1、图10和图11可以看出,盘式搅拌机骨料的分散快,均匀程度更高,尤其在细骨料体现尤为明显。仿真中,25 mm粗骨料在盘式搅拌机中的搅拌时间短,并且下

降趋势明显。6 mm 骨料在盘式搅拌机中用时 12 s 就基本混合均匀,而传统立轴搅拌机需要 24 s 以上,并且搅拌时间达到 21 s 后,出现了反弹和波动,说明出现了离析现象。

3 结语

通过总结立轴搅拌机和双卧轴搅拌机的设计方法,结合盘式搅拌机的特点,提出针对盘式搅拌机的工作装置设计方法,防卡料装置设计以及电机选型方法。根据新的方法建立了 500 L 机型模型,与 500 L 传统立轴搅拌集模型进行了 EDEM 颗粒有限元仿真,得出 30 s 内 25 mm 骨料和 6 mm 骨料的离散度曲线,得到的结论为:

1) 盘式搅拌机效果对比普通立轴搅拌机而言,物料颗粒在同样搅拌时间内,均匀程度更高,达到同样均匀程度的情况下,用时更少。细骨料的分散程度提高尤为明显,由此可见,此类搅拌机或许在 CA 砂浆类的以细集料为主的混凝土中能发挥更大的作用。

2) 改变工作装置和增添防卡料装置可以基本消除搅拌死区,杜绝抱轴现象和搅拌中离析问题,同时减小电机功率,避免卡料工况,达到工作稳定且节能减排。

参考文献:

- [1] 蔡媛媛. JF3000 型自落式搅拌机的改进设计[D]. 郑州:郑州大学, 2012.
- [2] 刘国纲. JF4800 型自落式混凝土搅拌机的研究[J]. 水电施工机械化, 2008(7): 127-132.
- [3] 周力. 2 m³ 双卧轴搅拌机的设计及仿真分析[D]. 西安:长安大学, 2013.
- [4] 王鹏, 孔德勇, 锥晓辉. 无轴搅拌机的试验研究[J]. 工程机械, 2011, 42(5): 45-49.
- [5] 陈冲. 立轴行星式搅拌机参数选择及试验[D]. 西安:长安大学, 2012.
- [6] 朱霖龙, 刘雅文, 赵利军. 长幅内旋轮行星搅拌机研究[J]. 工程机械, 2013, 44(4): 13-18.
- [7] 陈卫. 1 m³ 双卧轴振动搅拌机的设计与试验[D]. 西安:长安大学, 2012.
- [8] 朱霖龙. 碾压混凝土用连续式搅拌站改进[D]. 西安:长安大学, 2014.
- [9] 冯忠绪. 混凝土搅拌理论与设备[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [10] 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.
- [11] 董晨希, 武甜, 吕兴坤. 基于 EDEM 对振动搅拌的仿真分析[J]. 机械研究与应用, 2017, 30(1): 38-41.
- [12] 王振鹏, 赵悟, 李耀, 等. 双立轴强制式混凝土搅拌机物料流动的模拟分析[J]. 工程机械, 2016, 47(2): 13-18.
- [13] 王振鹏, 丁渭渭, 李耀, 等. 基于 EDEM 的螺旋式搅拌装置在双立轴搅拌机上的应用研究[J]. 山东交通学院学报, 2014, 22(4): 72-76.

收稿日期: 2018-10-31