

双电机驱动搅拌器功率循环问题研究

徐中新, 陈新轩, 张新勇

(长安大学工程机械学院, 西安 710064)

摘要: 功率循环问题是双电机驱动搅拌设备的常见问题, 循环功率过大会造成电机发热, 影响电机的使用寿命, 同时也造成能源的浪费。为了深入研究双电机驱动搅拌器的功率循环问题, 对搅拌器的结构和功率循环产生机理进行了理论分析, 建立了功率循环计算模型, 探讨了荷载、电动机转差率以及减速机构传动比等因素对功率循环的影响。研究表明在搅拌设备设计时要保证负载均衡, 电动机转速同步, 选用精度较高的减速机构; 使用时尽量减少空载运行时间。

关键词: 施工技术; 双电机驱动; 搅拌器; 功率循环

中图分类号: TH6

The researching on the power cycle problem of double motor drive agitator

Xu Zhongxin, Chen Xinxuan, Zhang Xinyong

(Mechanical Engineering School, Chang'an University, Xi'an 710064)

Abstract: In this paper, power circulation is a common problem of the dual-motor driven mixing equipment, oversize circulatory power will cause the heating problem of the electromotors, affecting the service life of the electromotors and causing waste of energy. In order to study on the power circulatory problem of the dual-motor driven mixer intensively, this article analyzes the structure and power cycling generation mechanism theoretically, establishes a power cycle model and discusses the impact on the power circulation which are caused by the load, slip ratio of the motor, transmission ration of the reduction gear and other factors. The results show that designing the dual-motor driven mixer must ensure the load balancing, the motor synchronization and select deceleration mechanism of high precision; minimize the empty running time when used.

Key words: construction technology; dual-motor drive; mixing equipment; power circulation

0 引言

搅拌器是强制间歇式沥青搅拌设备的重要组成装置, 其功能是将按照一定配合比称量好的砂石、矿粉和沥青均匀搅拌制成混合料^[1-2]。搅拌器在结构上可分为单卧轴和双卧轴, 双卧轴搅拌器, 因其搅拌质量好、生产效率高、能耗低而被广泛应用^[3], 双卧轴搅拌设备的搅拌轴又有单电机和双电机两种驱动形式, 为了保证搅拌轴转动同步, 无论单电机还是双电机驱动均在两轴之间设置了同步机构。对于双电机驱动搅拌器而言, 当电机转速或者传动机构减速比有差异时, 将会存在功率循环问题, 产生寄生功率。目前, 国内外在提高双卧轴搅拌器的性能方面, 对混凝土搅拌理论、搅拌器的结构参数优化及搅拌低效区等进行了大量的研究^[4-6], 而驱动形式对驱动功率的影响研究较少。因此, 研究双电机驱动时功率循环的产生机理及影响因素, 对于搅拌器设计、使用及节能降耗具有积极意义。

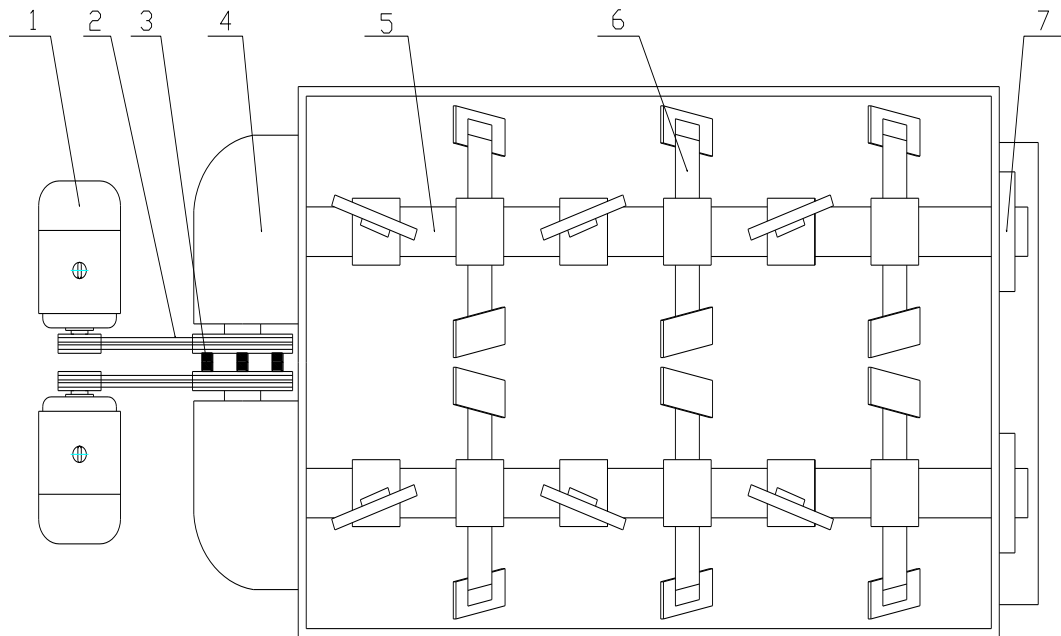
1 功率循环产生机理

双电机驱动搅拌器是通过两个电机分别对两个搅拌轴提供扭矩, 电机输出端通过皮带或者链条等装置连接减速机构, 通过减速机构将扭矩输出给搅拌轴, 减速机构前端安装同步器

作者简介: 徐中新(1988-), 男, 研究生, 工程机械作业质量控制

通信联系人: 陈新轩(1960-), 男, 教授, 公路机械化施工及质量控制. E-mail: cjhdzw@126.com

或同步销轴保证两个搅拌轴的同步，其结构形式如图 1 所示。同步器输入端转速为电机转速
经皮带轮或链轮按照一定的减速比减速后的转速，当双电机驱动搅拌器同步机构输入端转速
不同时会造成一个电机对另一个电机的拖转现象，产生功率循环。功率循环就是驱动转速不
同而造成的功率损失^[7]。



1-电机 2-传动机构 3-同步销轴 4-减速机构 5-搅拌轴 6-拌臂 7-轴承

图 1 双电机驱动搅拌器结构简图

Fig.1 the structure diagram of double motor drive agitator

将双卧轴搅拌器的两个搅拌轴编为轴 1、轴 2，并设轴 1 与轴 2 对应的驱动电机的转速
分别为 n_1 、 n_2 。由电动机的工作原理可知，定子绕组所产生的旋转磁场，以同步转速切割转
子导体，在转子导体中产生感应电动势，形成电流，转子导体中的电流与旋转磁场相互作用
而产生电磁转矩，使转子旋转，异步电动机转子转速 n 与同步转速存在式 (1) 所示关系^[8]：

$$n = (1 - s)n_0 \quad (1)$$

式中： n —电机转子转速；

s —转差率；

n_0 —同步转速。

同步转速是电源产生的旋转磁场的转速，其决定于电动机使用时电源频率 f 和绕组的磁
极对数 p ：

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (2)$$

双卧轴搅拌器的电动机选配时磁极对数相同，工作电源频率也一样，因此两个电动机的
同步转速相同。但是，由于电机加工和使用过程中线圈铜损的差异，电动机的转差率 s 不同，
会造成两个电机转子转速存在差异。另外由于皮带轮的加工精度差异及使用过程中的磨损造
成减速比不同，同步器输入端的转速产生差异，这就与刚性同步器或者同步销轴所要求的转

速相同产生矛盾,搅拌器运行过程中就会造成同步器输入端转速较快的电机通过同步销轴拖着转速较慢电机转动的现象,造成功率循环而形成寄生功率。图 2 所示为利用红外技术获得的某沥青搅拌设备由于功率循环造成的电机控制元件发热不同,其中 A 区域平均发热温度 36℃,B 区域平均发热温度为 40.5℃。

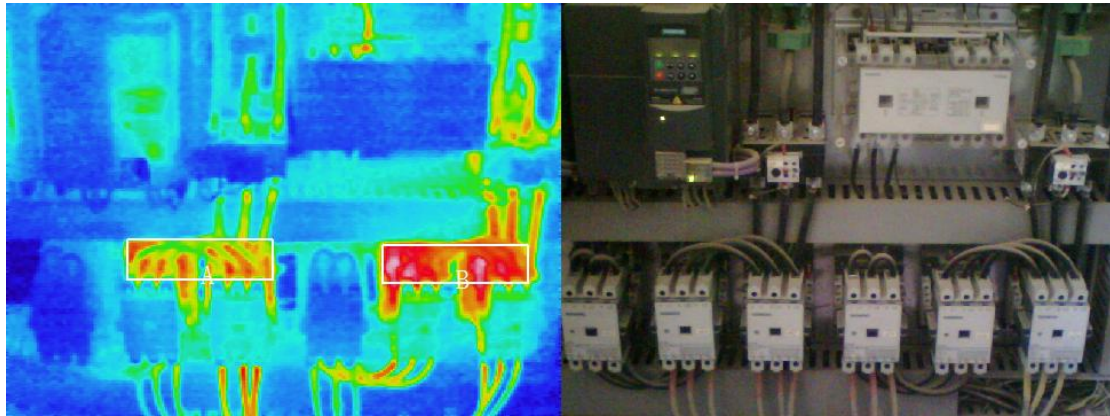


图 2 驱动电机控制元件红外成像

Fig.2 the infrared imaging of drive motor control element

电机功率与搅拌轴的搅拌阻力矩、电动机转速、传动比有关。理想状态下同步器输出转速为 n_0 , 两台电机的有效驱动功率之和记为 P_0 ; 当产生功率循环时同步转速为 n' , 两台电机的驱动功率之和记为 P' , 则循环功率的大小即为电机输出功率 P' 与有效搅拌功率 P_0 之差, 由式 (3) 计算:

$$\Delta P = P' - P_0 = \frac{M}{9550} \left(\frac{n'}{i_1} + \frac{n'}{i_2} - \frac{n_0}{i_1} - \frac{n_0}{i_2} \right) \quad (3)$$

式中: ΔP —循环功率, W;

M —搅拌阻力矩, N·m;

i_1 —1#电机传动机构传动比;

i_2 —2#电机传动机构传动比。

由式 (3) 可知循环功率的大小也与负载、同步转速及传动系统的传动比有关, 负载越大, 循环功率越大。定义循环功率 ΔP 与有效的搅拌功率 P_0 之比为循环功率系数 η , 由式 (4) 计算:

$$\eta = \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{n'}{n_0} - 1 \quad (4)$$

循环功率系数 η 表征电机驱动功率的利用效率, 其大小只与搅拌轴同步转速有关, 搅拌轴的同步转速由驱动电机的转速和减速机构传动比决定。电机转速和减速比差异越小, 循环功率系数越小, 电机驱动功率利用效率越高。当两台电机的转速与减速机构减速比均相同时 $\eta=0$, 两台电机协调工作不存在功率循环, 电机驱动功率全部用于搅拌。

2 影响同步器输入端转速的因素

2.1 电机转速的影响因素

电动机的转速受转差率的影响，异步电动机的转差率是指同步转速 n_0 与转子转速 n 之差再与同步转速 n_0 的比值，转差的存在是电动机转子转动产生转矩的基础。根据电机的功率平衡理论^[8]，电机的转差率 s 满足下式关系：

$$s = \frac{P_{cu2}}{P_{em}} = \frac{I_2' r_2'}{E_2' \cos \varphi_2} \quad (5)$$

式中： p_{cu2} —转子铜损耗；

P_{em} —电磁功率；

I_2' —转子电流；

r_2' —转子一相的等效电阻；

E_2' —转子电动势的折算值；

$\cos \varphi_2$ —转子功率因数。

电磁功率 P_{em} 是指通过气隙的旋转磁场，应用电磁感应作用传递到转子的功率，根据等效电路，可由式（6）计算：

$$P_{em} = m_1 E_2' I_2' \cos \varphi_2 \quad (6)$$

式中： m_1 —定子绕组的相数；

E_2' —转子电动势的折算值；

I_2' —转子电流；

$\cos \varphi_2$ —转子功率因数。

转子电流 I_2' 通过转子绕组 r_2 时产生的铜损耗 p_{cu2} 可由式（7）计算：

$$p_{cu2} = m_1 I_2'^2 r_2' \quad (7)$$

式中： r_2' —转子一相的等效电阻。

因此由式（5）、式（6）、式（7）可得转差率 s 与各参数之间的关系为：

$$s = \frac{I_2' r_2'}{E_2' \cos \varphi_2} \quad (8)$$

由式（8）可以看出，电动机的转差率主要受转子电流、转子等效电阻、转子电动势及功率因素等几个因素的影响。对于给定一台成型电动机，在结构参数确定的情况下，转子的电阻、电动势及功率因素变化极其微小基本可认为是确定值，电动机的转差率大小主要受转子电流的影响。根据电动机的工作特性，电动机的转子电流与电机负载有很大关系，负载为零时，转子电流很小，近似等于零，故转差率也近似为零；随着负载 F 的增加，转子电流逐渐增大，转差率 s 也随之增大，转差率特性 $s=g(F)$ 是一条从零开始向上的曲线。又因 $n=(1-s)n_0$ ，随着负载 F 的增加，转速特性 $n=h(F)$ 是由 $n(F=0)$ 处开始向下倾的曲线。转差率及转速特性曲线如图 2 所示。

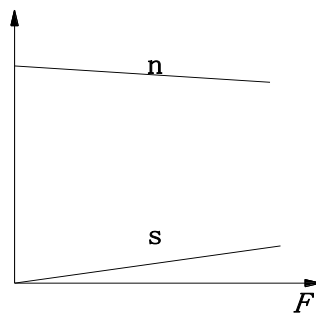


图 3 电动机工作特性

Fig.3 Motor performance

因此，在两电机转速不同步时，转速较大的电机通过同步器拖着转速较小的电机转动，随着负载增大，电机转速降低，两电机转子转速与有效功率要求的转速之差减小，则循环功率系数 η 减小，即循环功率与有效功率的比值减小，设备的能量利用率有所提高。

2.2 传动系统减速比的影响

双卧轴搅拌机驱动电机到同步器之间通过皮带、链条或者齿轮等几种形式传递动力，皮带传动既可以传力，又可实现过载保护，具有结构简单、传动平稳等优点而被广泛使用^[9]。但是皮带传动是一种挠性传动，减速比变化时则会造成输出端转速变化，加剧功率循环。

带传动的皮带以一定的初拉力张紧在带轮上，工作时，带与带轮间的静摩擦力作用使皮带一边拉紧，一边松弛。为保证皮带正常工作，初拉力必须大于一个最小初拉力，否则皮带将出现整体打滑的现象，造成传动失效。皮带传动中使用的传动带为弹性体，受拉力时会发生弹性变形，由于皮带紧边与松边拉力大小不等，带的弹性变形量也不同，就会不可避免的引起带与带轮之间的弹性滑动，相对变形量可用滑动率 ε 来评价，出现弹性滑动后带传动的减速比 i 为：

$$i = \frac{d_{d2}}{(1 - \varepsilon)d_{d1}} \quad (9)$$

式中： d_{d1} —主动轮公称直径；

d_{d2} —从动轮公称直径。

滑动率的大小受负载、皮带初拉力、主动轮转速等因素影响^[10]，负载越小、带的初拉力越大、主动轮转速越低，带传动的弹性滑动率就越小，相应的减速比越大。此外皮带轮加工精度对减速比也有影响，加工精度越高，对两边减速比造成的差异越小，避免造成同步器输入端转速差较大，形成较大的寄生功率。

与带传动相比，链条传动与齿轮传动无弹性滑动和整体打滑现象，在输出较大扭矩的同时能够保持精确地减速比，但工作时有噪声，且不能起过载保护作用，必须配有专门的过载保护装置，防止出现超载或者卡料时损坏设备。

3 结论

1) 双电机驱动搅拌机电机转差率受生产加工及使用情况等诸多因素影响，电机转输出速难以同步，易造成功率循环。电机拖转，不仅浪费能源，而且会使电机发热，造成损伤。因此在满足搅拌机功率的前提下，应尽量选用单电机驱动，当功率较大，需要采用双电机驱动时，应选择两台制造精度较高的电机使转速同步。传动机构尽量采用链传动或齿轮传动两

种形式。

2) 电动机转速与传动系统减速比均受负载影响, 循环功率系数 η 也与负载间接有关。空载时, 搅拌器同步器输入端转速差最大, 随着负载的逐渐增大, 转速差减少, 循环功率因数降低, 电动机功率利用率提高, 因此, 使用时应尽量缩短设备在空载状态的运行时间。

160 [参考文献] (References)

- [1] 田奇.混凝土搅拌楼及沥青混凝土搅拌站[M].北京:中国建材工业出版社,2005
- [2] 冯忠绪.混凝土搅拌理论与设备[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] H.Beitzel,Y.Charonnat,M.Beitzel.Assessment and classification of performance mixers[J].Materials and Structures.Vol.36,May 2003:250-264
- 165 [4] C.F.Ferraris.Concrete mixing methods and concrete mixers:State of the art [J].Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology.2001:391-399
- [5] 赵利军.双卧轴搅拌机参数优化及其性能研究[D].西安:长安大学,2002.
- [6] 赵利军,赵航,冯忠旭.强制式搅拌低效区现象的探讨[J].筑路机械与施工机械化,2004,11:18-20
- [7] 姚怀新,陈波.工程机械底盘及其液压传动理论:工程机械底盘理论[M].北京:人民交通出版社.2002.
- 170 [8] 曾令全.电机学[M].北京:中国电力出版社.2007.
- [9] 濮良贵,纪名刚.机械设计[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 王旭东,熊平原.影响摩擦带传动弹性滑动率因素的正交试验[J].农业技术与装备,2010,3:4-5