

基于ADAMS的滚筒平行度公差对输送带跑偏的影响

樊智敏¹, 尹兆明¹, 马秋艳²

(1. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061; 2. 青岛市技师学院 轨道交通学院, 山东 青岛 266229)

摘要:应用机械系统动力学自动分析软件(ADAMS)建立带式输送机的虚拟样机模型,分析在不同驱动滚筒和从动滚筒平行度公差(d)下输送带的受力和偏移参数。结果表明:输送带的张力、法向接触力和轴向力影响输送带的偏移; d 与输送带的受力呈单调递增关系,随着 d 增大,输送带单元的张力、法向接触力和轴向力提高,输送带的运行稳定性变差; d 与输送带的偏移参数也呈单调递增关系,随着 d 增大,输送带单元的偏移速度、偏移加速度和偏移量增大,输送带跑偏严重;当 $d=0$ 时,随着运行时间延长,输送带单元的偏移参数逐渐增大,输送带依然存在跑偏趋势;随着 d 减小,输送带跑偏的可能性降低,对输送精度要求较高的带式输送机应安装纠偏装置。

关键词:输送带;滚筒;平行度公差;偏移参数;跑偏

中图分类号:TQ336.2;O241.42 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2018)00-0000-06

输送带跑偏是带式输送机运行过程中最常见的故障之一,不仅会影响物料的输送效率,而且会对带式输送机和人员安全构成威胁^[1]。随着带式输送机向大运量、长距离和高带速方向发展,对输送带动态特性提出了更高的要求,输送带跑偏问题也备受重视^[2-4]。目前对输送带跑偏的研究主要集中在跑偏原因、纠偏方法、跑偏危害和跑偏机理等方面,但在带式输送机动态特性基础上对跑偏问题影响因素的研究还存在局限性^[5-9]。在实际生产中,滚筒材料的不均匀性和滚筒在加工和装配过程中的误差使驱动滚筒和从动滚筒存在平行度公差^[10],从而使大位移、大变形和复杂受力在输送带上耦合^[11],导致输送带因受力不均而出现跑偏现象。

本工作对由驱动滚筒和从动滚筒安装不平行引起的输送带跑偏现象进行受力分析,在机械系统动力学自动分析软件(ADAMS)中建立带式输送机的虚拟样机模型,并对输送带进行离散化处理,分析在不同驱动滚筒和从动滚筒平行度公差(d)下输送带的受力和偏移参数,为减少输送带跑偏提供依据。

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2018MEE014)

作者简介:樊智敏(1963—),男,山西万荣人,青岛科技大学教授,博士,主要从事机械传动设计理论与方法、机械系统创新设计等研究。

E-mail:zmfan@163.com

1 滚筒安装不平时输送带的受力分析

典型的带式输送机由输送带、驱动滚筒、从动滚筒、托辊、张紧装置和制动装置等组成,是一个复杂的刚柔耦合的机械系统^[12-13]。为研究平行度公差对输送带跑偏的影响,对带式输送机结构进行简化处理,只保留驱动滚筒、从动滚筒和输送带,并以从动滚筒为基准轴,假设驱动滚筒、从动滚筒和输送带在加工过程中不存在误差。

1.1 平行度公差的计算

平行度是指两个平面或两条直线的平行程度,可以用一个平面或一条直线作为评价基准评价平面之间、直线之间或平面和直线之间的平行状态。平行度公差是一种定向公差,是被测要素在相对基准方向上允许的变动全量^[14]。 d 的计算公式如下:

$$d = L \tan \varphi \quad (1)$$

式中, L 为驱动滚筒和从动滚筒的长度, φ 为驱动滚筒的偏转角度。

1.2 输送带的受力分析

输送带跑偏是指输送带中心线偏离带式输送机中心线的现象。驱动滚筒和从动滚筒存在平行度公差时,输送带在滚筒两端的松紧度不一致。在该工况下,随着 d 增大,输送带的张力和法向接触力提高。输送带和滚筒之间的法向接触力可以分解为使输送带产生纵向移动的牵引力(F_q)和使输送带产生横向移动的轴向力(F_y)。当沿输送带宽

度方向上的 F_q 不一致时, F_q 呈递增或递减趋势,沿 F_q 递减方向上的 F_y 会使输送带向松边一侧跑偏,如图1所示^[15]。因此输送带的张力、法向接触力和轴向力会对输送带跑偏产生较大影响。

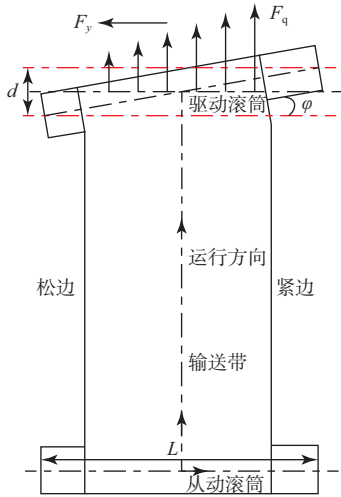


图1 滚筒安装不平时输送带的受力情况

2 虚拟样机模型的建立

2.1 输送带单元的动力学模型

为便于仿真计算,将含多点摩擦和接触的刚柔耦合系统动力学模型进行简化。输送带具有粘弹性,因此进行动力学分析时将输送带视为柔性体。相对输送带而言,带式输送机中的驱动滚筒、从动滚筒等部件的刚度较大,变形较小,可以视为刚体^[16-17]。

根据柔性多体动力学有限元法,可以将输送带划分为若干个具有质量、阻尼和惯性的单元。输送带单元在直线段和曲线段的动力学模型分别如图2和3所示。

输送带单元在直线段的动力学方程^[15]如下:

$$m_i \ddot{x}_i + k_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + k_i(x_i - x_{i+1}) + c_{i-1}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) + c_i(\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1}) + F_{\omega i} = 0 \quad (2)$$

输送带单元在曲线段的动力学方程如下:

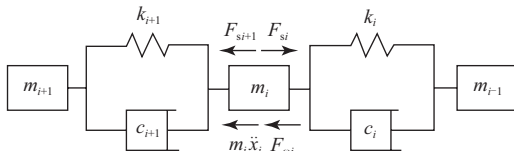


图2 输送带单元在直线段的动力学模型

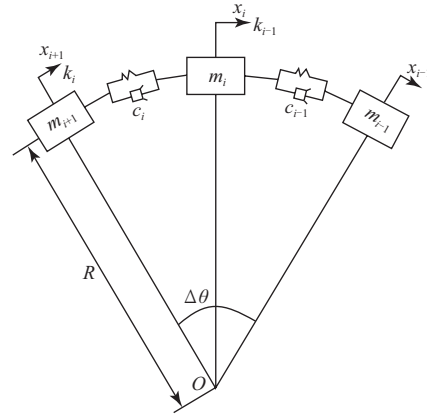


图3 输送带单元在曲线段的动力学模型

$$m_i \ddot{x}_i + k_{i-1}[x_i - x_{i-1} \cos(\Delta\theta/2)] + k_i[x_i - x_{i+1} \cos(\Delta\theta/2)] + c_{i-1}[\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1} \cos(\Delta\theta/2)] + c_i[\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1} \cos(\Delta\theta/2)] + F_{\omega i} = 0 \quad (3)$$

在图2和3与式中, i 为输送带单元, m_i , k_i 和 c_i 分别为输送带单元的质量、刚度和阻尼, F_{si} 和 $F_{\omega i}$ 分别为输送带单元的拉力和阻力, x_i , $\dot{x}_i$, $\ddot{x}_i$ 和 $m_i \ddot{x}_i$ 分别为输送带单元的位移、速度、加速度和惯性力, R 为输送带单元弯曲运行的曲率半径, $\Delta\theta/2$ 为曲线段相邻两个输送带单元所夹的圆心角。

2.2 带式输送机虚拟样机模型

2.2.1 参数

以某型号带式输送机为例进行分析,其滚筒和输送带的相关参数如下。

驱动滚筒/从动滚筒:材料 45#钢,轴间距 500 mm,弹性模量 1.95×10^5 MPa,泊松比 0.28,密度 $7.85 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

输送带:宽度 80 mm,厚度 3 mm,摩擦因数 0.3,包角 180° ,带速度 $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,初始拉力 416 N,带刚度 $8.5 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$,阻尼系数 $3.5 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.2.2 建模

根据已知条件,在ADAMS软件中采用3D Links方法创建带式输送机虚拟样机模型,如图4所示,其中驱动滚筒按顺时针方向旋转^[18]。

3 输送带受力分析

输送带跑偏与输送带的张力、法向接触力和轴向力的变化密切相关。因此从带式输送机虚拟样机模型中选取某一输送带单元为研究对象,研

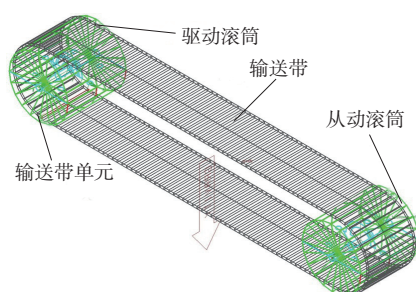


图4 带式输送机虚拟样机模型

究在不同 d 下输送带单元的张力、法向接触力和轴向力随运行时间的变化。

3.1 输送带单元的张力

输送带单元的张力随运行时间的变化如图5所示。

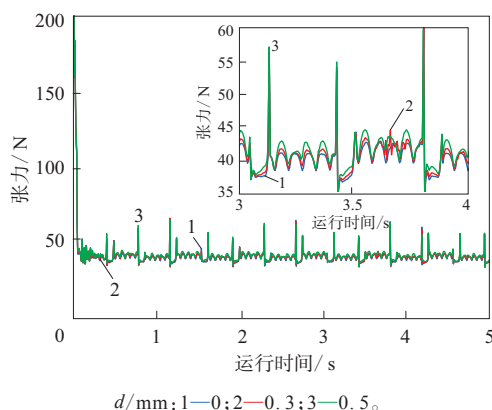


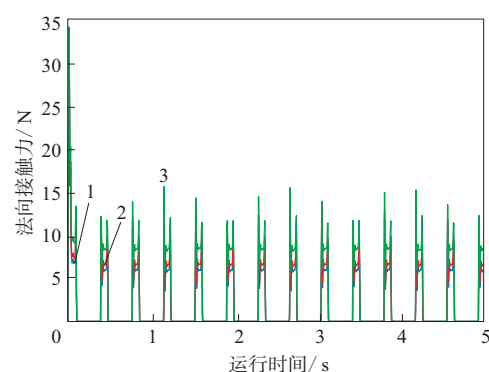
图5 输送带单元的张力随运行时间的变化

从图5可以看出：在不同 d 下，输送带单元的张力随运行时间的变化趋势基本相同，均在经过较大幅度波动后逐渐趋于稳定，并呈相对稳定的周期性变化；当 d 分别为0, 0.3和0.5 mm时，输送带单元的张力平均值分别为41.3, 41.6和42.3 N，说明随着 d 增大，输送带单元的张力提高，且 d 越大，输送带单元张力的变化幅度越大。

3.2 输送带单元的法向接触力

只有输送带单元与滚筒接触时才会产生法向接触力。法向接触力与滚筒之间会产生摩擦力，该摩擦力不仅会带动输送带绕滚筒运动，还会使输送带出现偏移^[19-22]。输送带单元的法向接触力随运行时间的变化如图6所示。

从图6可以看出：在不同 d 下，输送带单元的法向接触力随运行时间的变化趋势基本形同；在带式输送机稳定运行阶段， d 分别为0, 0.3和0.5 mm

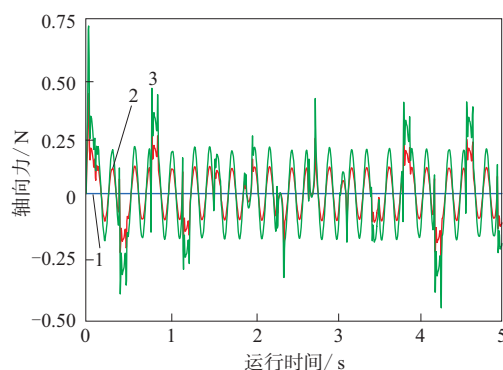


注同图5。

时，输送带单元的法向接触力分别为5.9, 6.5和7.3 N，说明随着 d 增大，输送带单元的法向接触力提高；输送带单元刚进入滚筒时产生的法向接触力不仅突变明显，而且大于远离滚筒时的法向接触力。

3.3 输送带单元的轴向力

输送带单元的轴向力随运行时间的变化如图7所示。



注同图5。

图7 输送带单元的轴向力随运行时间的变化

从图7可以看出：输送带单元的轴向力随运行时间的变化呈正弦分布； d 越大，输送带单元在某些位置突变和波动幅度越大，说明带式输送机运行越不稳定，输送带跑偏的可能性越大；在带式输送机稳定运行阶段， d 分别为0, 0.3和0.5 mm时，输送带单元的最大轴向力分别为 2.5913×10^{-15} , 0.1和0.18 N，即随着 d 增大，输送带单元的轴向力逐渐提高，且 $d=0$ 时输送带单元依然受到较小的轴向力作用。

从以上输送带受力分析可知，在不同 d 下，输送带单元的张力、法向接触力和轴向力随运行时

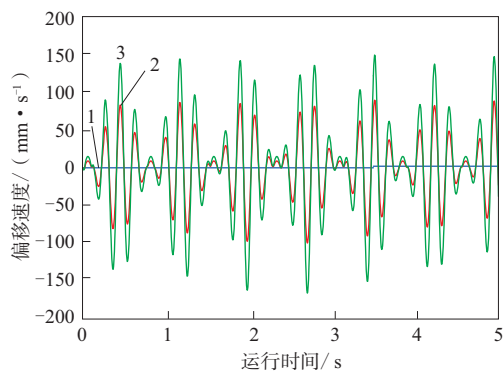
间的变化趋势基本相同。 d 与输送带的受力呈单调递增关系,随着 d 增大,输送带的张力、法向接触力和轴向力提高。此外,带式输送机在启动阶段的运行不稳定,输送带单元的张力、法向接触力和轴向力的变化都较明显。在带式输送机稳定运行阶段,由于输送带与滚筒的碰撞、动张力的变化和应力波的传播与叠加,输送带单元各项受力出现突变和波动,对输送带跑偏都会产生影响。

4 输送带偏移参数分析

输送带的偏移量是衡量输送带跑偏程度的关键因素,而输送带的偏移速度和偏移加速度是影响输送带偏移量的关键参数。以下研究在不同 d 下输送带单元的偏移速度、偏移加速度和偏移量随运行时间的变化。

4.1 输送带单元的偏移速度

输送带单元的偏移速度随运行时间的变化如图8所示。



注同图5。

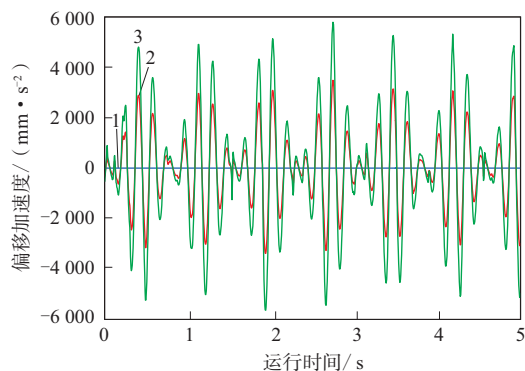
图8 输送带单元的偏移速度随运行时间的变化

从图8可以看出:在带式输送机稳定运行阶段,输送带单元的偏移速度在不同 d 下的差异较明显,当 d 分别为0, 0.3和0.5 mm时,输送带单元的最大偏移速度分别为 3.8×10^{-10} , 80和140 $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。可见随着 d 增大,输送带单元的偏移速度增大。

4.2 输送带单元的偏移加速度

输送带轴线方向上存在偏移加速度,表明输送带在运行过程中有跑偏趋势。输送带单元的偏移加速度随运行时间的变化如图9所示。

从图9可以看出:在不同 d 下,输送带单元的偏移加速度整体差异明显;当 d 分别为0, 0.3和



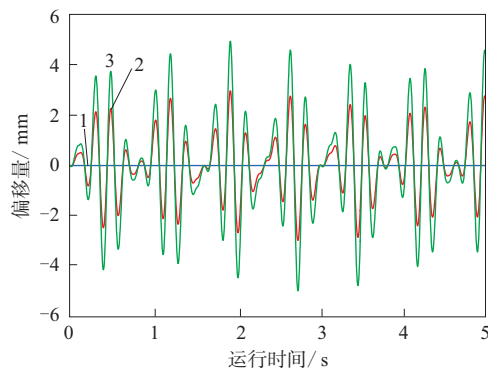
注同图5。

图9 输送带单元的偏移加速度随运行时间的变化

0.5 mm时,输送带单元的最大偏移加速度分别为0.023, 3 216和5 320 $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。可见随着 d 增大,输送带单元的偏移加速度逐渐增大。

4.3 输送带单元的偏移量

输送带的偏移量决定输送带的跑偏程度。输送带单元的偏移量随运行时间的变化见图10。



注同图5。

图10 输送带单元的偏移量随运行时间的变化

从图10可以看出:在不同 d 下,输送带单元的偏移量峰值均出现在与滚筒接触的位置;在带式输送机稳定运行阶段, d 为0, 0.3和0.5 mm时,输送带单元的最大偏移量分别为 9.299×10^{-16} , 2.25和4.75 mm。可见随着 d 增大,输送带单元的偏移量不断增大。

从以上输送带偏移参数分析可知, d 与输送带的偏移参数呈单调递增关系,即随着 d 增大,输送带单元的偏移速度、偏移加速度和偏移量增大,输送带跑偏越严重。当 $d=0$ 时,输送带单元受较小轴向力作用,在带式输送机开始运行的一段时间内,偏移参数未出现明显变化;随着运行时间延

长,输送带单元的偏移参数逐渐增大,但变化幅度相对较小,输送带依然存在跑偏趋势。

5 结论

(1) 输送带的张力、法向接触力和轴向力影响输送带的偏移,输送带张力提高会导致法向接触力和轴向力提高,从而使输送带跑偏。

(2) d 与输送带的受力呈单调递增关系。在允许范围内,随着 d 增大,输送带单元的张力、法向接触力和轴向力提高,输送带的运行稳定性变差。

(3) d 和输送带的偏移参数呈单调递增关系。 d 越大,输送带单元的偏移速度、偏移加速度和偏移量越大,输送带跑偏越严重。

(4) 当 $d=0$ 时,随着带式输送机运行时间延长,输送带单元的偏移参数逐渐增大,输送带依然存在跑偏趋势。

(5) 随着 d 减小,输送带跑偏的可能性降低,对输送精度要求较高的带式输送机应安装相应的纠偏装置。

参考文献:

- [1] 胡坤,王爽,郭永存,等. 永磁悬浮带式输送机侧向力与跑偏仿真分析[J]. 系统仿真学报,2016,28(5):1173-1178.
- [2] Huque S T, Mclean A G. Belt Conveyor Transfers—A Briefreview[J]. Bulk Solids Handling, 2002, 22(3):196-203.
- [3] 刘肖健,侯友夫,陆长德. 高速带式输送机的计算机辅助动态设计[J]. 起重运输机械,2004,44(3):12-14.
- [4] 李阳星,郝双双,周广林. 带式输送机制动阶段的动态特性[J]. 黑龙江科技学院学报,2008,33(3):192-194.
- [5] 李丽萍,徐巧敏. 带式输送机调偏方法及机理分析[J]. 煤矿机械,2005,8(61):126-128.

- [6] 蔡金生,高贵鲁,许晓曦. 带式输送机新型自动纠偏装置[J]. 煤矿机械,2016,37(2):110-111.
- [7] 田洪瑞. 带式输送机胶带跑偏原因分析与纠偏措施[J]. 现代制造技术与装备,2016,52(2):103-106.
- [8] 刘文平,李文斌,王维. 基于模糊控制技术的带式输送机自动纠偏装置的设计与仿真[J]. 煤矿机械,2014,35(11):265-267.
- [9] 王凤林,宋连英,李素敏. 带式输送机常见跑偏问题的分析与处理[J]. 煤矿机械,2008,29(10):177-178.
- [10] 侯红伟,甲贝贝. 输送带的横向振动分析[J]. 煤矿机电,2005,5(4):64-68.
- [11] 王繁生. 带式输送机柔性多体动力学分析方法研究[D]. 北京:中国矿业大学,2010.
- [12] 吴双双,李阳星,刘训涛. 基于ADAMS的带式输送机实体仿真模型建立方法[J]. 煤矿机械,2008,2(34):178-180.
- [13] 宋伟刚,柳洪义,王鹰. 带式输送机动力学及其计算机仿真的研究[J]. 机械工程学报,2003,39(9):133-138.
- [14] 刘朝儒,吴志军,高政一,等. 机械制图[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 马俊. 带式输送机输送带跑偏的原因及对策[J]. 煤矿机电,2010,1(2):105-107.
- [16] 李阳星,李晓辉. 基于ADAMS平面转弯带式输送机的动态特性[J]. 黑龙江科技大学学报,2015,25(5):482-488.
- [17] 李庭,胡斌,郑敏. 基于ADAMS的输送带的建模与仿真[J]. 机械设计与制造,2013,3(3):30-32.
- [18] 宋少云,尹芳. ADAMS在机械设计中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,2015.
- [19] 毛君,李晓娟,陈洪月,等. 带式输送机输送带的刚柔耦合动力学特性研究[J]. 机械传动,2015,39(4):19-23.
- [20] 周利坤,王洪伟. 基于ADAMS的仿章鱼吸盘式轮胎防滑性能仿真分析[J]. 橡胶工业,2014,61(7):426-429.
- [21] 黄孝庭,齐永波,苏峥,等. 整芯阻燃输送带跑偏原因分析及解决措施[J]. 橡胶工业,2010,57(3):174-175.
- [22] 徐玉海,褚静,宋静芳,等. 煤矿带式输送机滚筒用粘合胶配方优化[J]. 橡胶工业,2014,61(10):610-613.

收稿日期:2018-01-16

Influence of Roller Parallelism Tolerance on Conveyor Belt Deviation Based on ADAMS

FAN Zhimin¹, YIN Zhaoming¹, MA Qiuyan²

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Qingdao Technicians College, Qingdao 266229, China)

Abstract: The virtual prototype model of belt conveyor was established based on the automatic dynamic analysis of mechanical systems (ADAMS), and the force and offset parameters of conveyor belt at different parallelism tolerance between driving roller and driven roller (d) were analyzed. The results showed that the tension, normal contact force and axial force affected the deviation of the conveyor belt. The force of the conveyor belt increased with d monotonously. As d increased, the tension, normal contact force and axial force of the

conveyor belt unit improved, and the operation stability of the conveyor belt decreased. The offset parameters of conveyor belt also increased with d monotonically. As d increased, the offset speed, offset acceleration and offset value of the conveyor belt improved, and the conveyor belt deviation was more serious. When $d = 0$, with the prolongation of running time, the offset parameters of the conveyor belt increased gradually and the conveyor belt still had a trend of deviation. As d decreased, the deviation possibility of the conveyor belt was less. As for the belt conveyor with high conveying accuracy, the deviation correction devices should be installed.

Key words: conveyor belt; roller; parallelism tolerance; offset parameter; deviation