

# 长距离带式输送机输送带的动态特性仿真

吴波<sup>1</sup>, 廉自生<sup>1</sup>, 张鑫<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学 机械工程学院, 山西 太原 030024; 2. 太原矿机电液技术有限公司, 山西 太原 030032)

**摘要:**基于 AMESIM 软件建立了长距离带式输送机输送带的动态仿真模型。在满载、正弦加速度可控启动和不同启动时间条件下, 对 6.0 km 长距离带式输送机进行了动态仿真, 得出了长距离带式输送机在 4 种启动时间下, 机头驱动滚筒输送带奔入点与机尾滚筒输送带处的张力变化规律。仿真结果显示, 延长启动时间可显著降低机头驱动滚筒输送带奔入点与机尾滚筒输送带处的张力, 同时得出了输送带动态特性随启动时间增长的非线性变化规律。

**关键词:**长距离带式输送机; 动态特性; AMESIM 软件; 张紧装置

**中图分类号:**TD528.1 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2014)02-0082-03

## Dynamic Characteristic Simulation for Belt of Long Distance Belt Conveyor

WU Bo<sup>1</sup>, LIAN Zi-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Taiyuan Mining Machinery Electro-Hydraulic Technology Co., Ltd., Taiyuan 030032, China)

**Abstract:** The dynamic simulation model for belt of long distance belt conveyor was carried out based on the AMESIM software. The dynamic simulation of six kilometers long distance belt conveyor was performed under the conditions of full loading, sine acceleration and different starting time. The change law of tension between the input point of the head of driving drum and the output point of the tail of belt was achieved under four kinds of starting time for long distance belt conveyor. The simulating results showed that the tension decrease considerably when starting time were increased. Meanwhile, a non-linear change law was obtained between the belt dynamic features and increasing starting time.

**Key words:** long distance belt conveyor; dynamic characteristic; AMESIM software; tension device

## 0 引言

随着煤矿向年产千万吨产量发展, 综采工作面巷道及运输大巷的煤炭输送朝着大运量、高带速、长距离方向发展<sup>[1-2]</sup>。煤矿井下长距离带式输送机在使用过程中, 时有发生, 如晋兴斜沟煤矿 6.0 km 长距离带式输送机发生张紧滑轮拉飞、张紧绞车底座严重变形、断带等多起事故; 平朔安家岭井工煤矿 2.8 km 长距离带式输送机拉紧油缸拉脱, 损坏游动小车事故; 神东大柳塔煤矿 4.6 km 长距离带式输送机出现拉紧重锤冲顶事故。这些长距离带式输送机多数是采用标准的静态设计方法进行设计。传统

的静态设计结果无法满足长距离带式输送机的设计制造要求, 所以有必要对长距离带式输送机的动态特性进行预测分析, 完善传统设计参数, 提高安全系数<sup>[3-5]</sup>。长距离带式输送机动态特性的研究越来越受到重视, 国内外很多学者对长距离带式输送机动态特性进行了较为深入的研究, 但尚未达到完全进行动态设计的程度, 并且对工程实例和长距离带式输送机满载启动下的研究较少<sup>[4-10]</sup>。笔者利用 AMESIM 图形化的平台建立了长距离带式输送机在满载启动工况下的动态仿真模型, 得出不同启动时间下输送带的张力变化情况, 为今后合理设计长距离带式输送机的启动过程提供算法和依据。

收稿日期: 2013-10-10; 责任编辑: 张 扬 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2014.02.022

基金项目: “十一·五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAB13B01)

作者简介: 吴 波(1970—), 男, 山西河津人, 讲师, 硕士。Tel: 13603585721, E-mail: wu\_bo7037@sina.com

引用格式: 吴 波, 廉自生, 张 鑫. 长距离带式输送机输送带的动态特性仿真[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(2): 82-84.

WU Bo, LIAN Zi-sheng, ZHANG Xin. Dynamic Characteristic Simulation for Belt of Long Distance Belt Conveyor[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(2): 82-84.

## 1 动态特征仿真环境及模型建立

笔者进行的仿真基于以下4个假设条件:①仅考虑输送带的纵向运动,不考虑横向运动;②将驱动系统和驱动滚筒等效为一体;③输送带和物料沿着输送带的纵向均匀分布;④不考虑托辊的弹性。

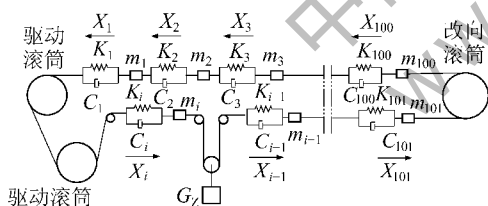
### 1.1 长距离带式输送机系统动力学模型<sup>[6,11-14]</sup>

长距离带式输送机的输送带具有粘弹性特征。当处于非稳定工况时,输送带中各点的速度、位移和张力的具有明显的动态特性,即时间函数。对于短距离、低带速的长距离带式输送机这一动态现象不太明显,可以利用刚体动力学的方法进行分析;但对于长距离、高带速、大功率的长距离带式输送机,这种动态现象非常明显。当输送带较长时,粘弹性特征的影响变得显著,普遍采用 Vogit 模型进行分析<sup>[2-3]</sup>。笔者分析的长距离带式输送机输送带总长 12.0 km,其应力应变关系为

$$\sigma = K_i \varepsilon + C_i d\varepsilon/dt$$

式中: $\sigma$  为模型应力; $K_i$  为输送带刚度系数, $i$  为单元数量,取 1~200, $K_i = E_i B/l$ , $E_i$  为单元输送带的弹性模量, $B$  为带宽, $l$  为单元长度; $\varepsilon$  为模型应变; $C_i$  为阻尼系数, $C_i = E_i B \tau/l$ , $\tau$  为输送带流变常数; $t$  为时间。

长距离带式输送机系统动力学模型如图 1 所示。

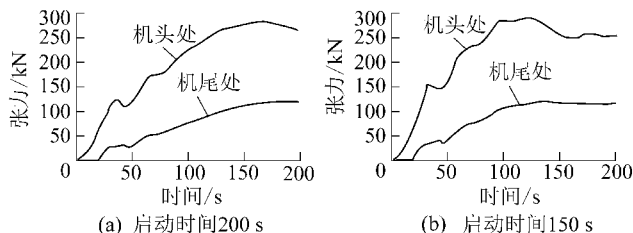


$X_i$ —位移; $m_i$ —单元质量; $G_z$ —拉紧力

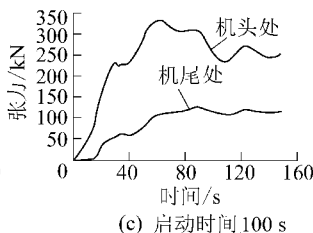
图 1 长距离带式输送机系统动力学模型

### 1.2 模型的建立<sup>[9]</sup>

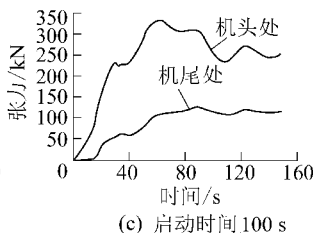
以运输巷总长 6.0 km 可伸缩长距离带式输送机为研究对象,线路按水平布置。输送带型号为



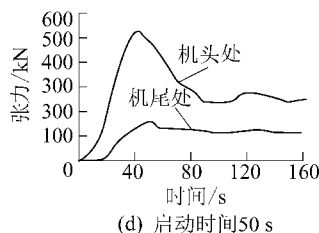
(a) 启动时间200 s



(b) 启动时间150 s



(c) 启动时间100 s



(d) 启动时间50 s

图 2 不同启动时间输送带张力曲线

PVG2000S,带宽 1 600 mm,弹性模量为 160 MPa,滞后系数为 0.01 s,稳定运行时的带速为 4 m/s。上托辊间距为 1.5 m,直径为 159 mm,下托辊间距为 3 m,直径为 159 mm,上托辊单位长度等效质量为 26.13 kg/m,下托辊等效质量为 18.72 kg/m。驱动滚筒和张紧装置布置在距机头 100 m 处。利用有限元方法,将输送带沿着纵向平均划分为 200 个单元,即每 60 m 看作 1 个单元。在 AMESIM 图形化的建模环境中,由机械零件库中选取相应的零件,建立了长距离带式输送机整机离散模型。

### 1.3 模型参数的计算

模型建立后,对长距离带式输送机的相关参数进行设置。采用速度控制启动方式,即采用 Harrison 提出的正弦加速度控制曲线启动<sup>[1]</sup>。启动时间分别设置为 200、150、100、50 s。输送带速度  $v(t)$  为

$$v(t) = \frac{v_0}{2} \left( 1 - \cos \frac{\pi}{T} t \right) \quad (0 \leq t \leq T)$$

式中: $v_0$  为输送带额定速度,取 4.0 m/s; $T$  为输送带启动时间,s。

长距离带式输送机系统动力学方程中,需要确定的主要参数有单元质量、刚度系数以及粘性阻尼系数等。

1) 在输送带承载段上的单元质量  $m_i = (q_d + q + q_1)l$ ,其中: $q_d$  为输送带线密度,kg/m; $q$  为物料线密度,kg/m; $q_1$  为承载段单位长度托辊等效旋转质量,kg/m。

2) 在输送带空载段上的单元质量  $m'_i = (q_d + q'_1)l$ ,其中, $q'_1$  为空载段单位长度托辊等效旋转质量,kg/m。

## 2 仿真结果分析

正弦加速度控制启动方式下,不同启动时间输送带张力曲线如图 2 所示。由图 2a 可知,启动时间为 200 s 时输送带的张力随着启动过程一直增大,在启动结束后达到某稳定值。由于长距离带式输送

机长度为6.0 km,机头驱动开始传动21 s后,机尾的输送带开始运行。机头输送带的最大张力为280 kN,机尾处输送带的最大张力为120 kN。可见,机尾处的张力相对较小,机头处由于靠近驱动滚筒位置张力较大,比较危险。

由图2b可知,启动时间为150 s时机尾输送带延迟19 s才开始运行。机头附近输送带上的最大张力为295 kN,机尾附近输送带的最大张力为122 kN,相比启动时间为200 s时的输送带张力大。

由图2c可知,启动时间为100 s时机头附近处输送带最大张力为340 kN,机尾附近处输送带最大张力为125 kN,大于启动时间为200 s与150 s时的张力。

由图2d可知,启动时间为50 s时机头处输送带最大张力为540 kN,机尾处最大张力为160 kN。输送带速达到4 m/s后,机头张力出现多次振荡才达到平衡。这表明,启动时间减小到一定值,不仅使张力显著增大,还导致张力的振荡。

由4种不同启动时间下机头输送带与机尾输送带处的动态特性仿真结果可知,当稳定运行速度为4 m/s时,输送带上最大张力随着启动时间变化的规律如图3所示。在相同的速度控制启动方式下,随着启动时间的加长,输送带上的最大张力随着启动时间的增大呈现指数减小的特征,而非是线性的;当启动时间小于某数值时,可以通过适当延长启动时间以达到改善长距离带式输送机动态性能的效果,但当启动时间达到某个极限值后,仅通过延长启动时间对改善其动态性能的影响越来越小。

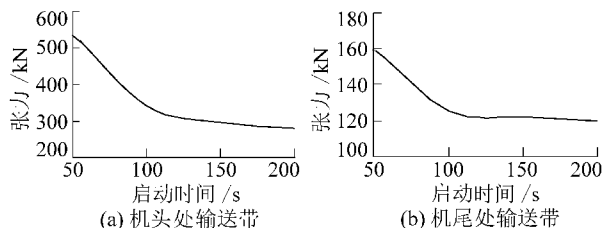


图3 机头与机尾处输送带最大张力与启动时间关系

### 3 结 论

1) 通过对长距离带式输送机机头驱动滚筒附近输送带与机尾附近输送带的张力变化情况进行对比,结果发现在长距离带式输送机启动过程中,机头驱动滚筒附近输送带的动态特性比其他部位明显,因此要改善整个长距离带式输送机系统的

动态特性关键在于机头驱动滚筒附近处的动态性能。

2) 对4种不同启动时间的长距离带式输送机输送带的动态特性仿真,启动加速度越小,启动时间越长,机头、机尾输送带动态峰值张力出现明显降低,带式输送机的动态峰值张力与启动时间呈现指数函数递减的规律。启动时间小于100 s时,输送带的动态峰值张力会明显增大,而且导致输送带振荡加剧;延长启动时间,输送带动态特性得到明显改善。

### 参考文献:

- [1] 宋伟刚.通用带式输送机设计[M].北京:机械工业出版社,2006:90-98.
- [2] 李光布.带式输送机动力学设计[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [3] 王繁生,侯友夫.带式运输机动态分析模型研究[J].中国矿业,2008(11):58-60.
- [4] Zur T W.Viscoelastic Properties of Conveyor Belt Modeling of Vibration Phenomena in Belt Conveyors during Starting and Stopping [J].Bulk Solids Handling,1986,6(3):553-560.
- [5] Nordell L K,Ciozada Z P.Transient Belt Stresses during Starting and Stopping:Elastic Response Simulated by Finite Element Method [J].Bulk Solids Handling,1984,4(1):93-98.
- [6] 李光布.基于计算机仿真的带式输送机动态特性预测和控制[J].起重运输机械,2005(2):47-50.
- [7] 李玉谨.带式输送机的动态特性分析与软启动设计[J].煤炭学报,2002,27(3):294-299.
- [8] Funke H,Konneker F K.Experimental Investigation and Theory for the Design of A Long-distance Belt-conveyor System [J].Bulk Solids Handling,1988,8(5):677-680.
- [9] 宋伟刚,王 丹.7.6 km长距离带式输送机系统动力学的计算机仿真[J].煤炭学报,2004,29(2):249-253.
- [10] 侯友夫,刘肖健,张永忠.矿用钢丝绳芯带式输送机动态特性仿真研究[J].煤炭科学技术,2000,28(1):32-36.
- [11] LI Guang-bu,YANG Ru-qing.Belt Conveyor Dynamic Behaviour and Associated Problems [J].Bulk Solids Handling,2003,23(5):322-327.
- [12] 宋伟刚.带式输送机的速度控制与节能[J].煤炭科学技术,2009,37(5):75-82.
- [13] Prichard S M,Hesterman D C.Elastic Dynamics in an Overland Belt Conveyor Modelled by Receptances [J].Bulk Solids Handling,2000,20(4):451-457.
- [14] Han H S,Park T W.Analysis of a Long Belt System Using the Multibody Dynamics Program [J].Bulk Solids Handling,1996,16(4):543-549.
- [15] Harrison Alex.Simulation of Conveyor Dynamics [J].Bulk Solids Handling,1996,16(1):33-37.