

圆管带式输送机最佳悬垂度研究

王玉玮¹, 危银涛^{2*}, 马履翱¹, 刘新华¹, 李 帅¹, 刘 源²

(1. 北京国电富通科技发展有限公司, 北京 100070; 2. 清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:建立复杂圆管带式输送机的有限元模型, 提出长距离管带机悬垂度分析的代表性单元法, 并试验研究管带机胶带的力学特性。仿真模拟了管带机在给定张力和物料密度条件下的变形、应力和悬垂度, 据此分析托辊间距对悬垂度的影响, 并考虑实际的约束条件, 确定了某管带机项目的最佳悬垂度。

关键词:圆管带式输送机; 悬垂度; 非线性有限元分析

中图分类号: TQ336.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2015)06-0335-05

圆管带式输送机(简称管带机)由普通的皮带输送机发展而来, 与传统带式输送机的最大区别在于其物料输送带在物料输送过程中卷成管状封闭运输, 只在进料口和出料口处展开进行进出物料的动作, 物料被包裹在管状胶带内运输, 不易散落且与空气隔开, 既可防止物料扬尘污染环境,

也可防止环境对输送物料的污染; 可多向转弯双向运输物料(见图1), 转弯半径小, 输送倾角大, 占地面积和质量小, 维修方便, 输送能力大、距离长、经济性好、耗电量低, 可以实现立体转弯平稳运行。管带机保持了带式输送机结构、造价、运输距离和生产率方面的优点, 同时减少了环境污染,

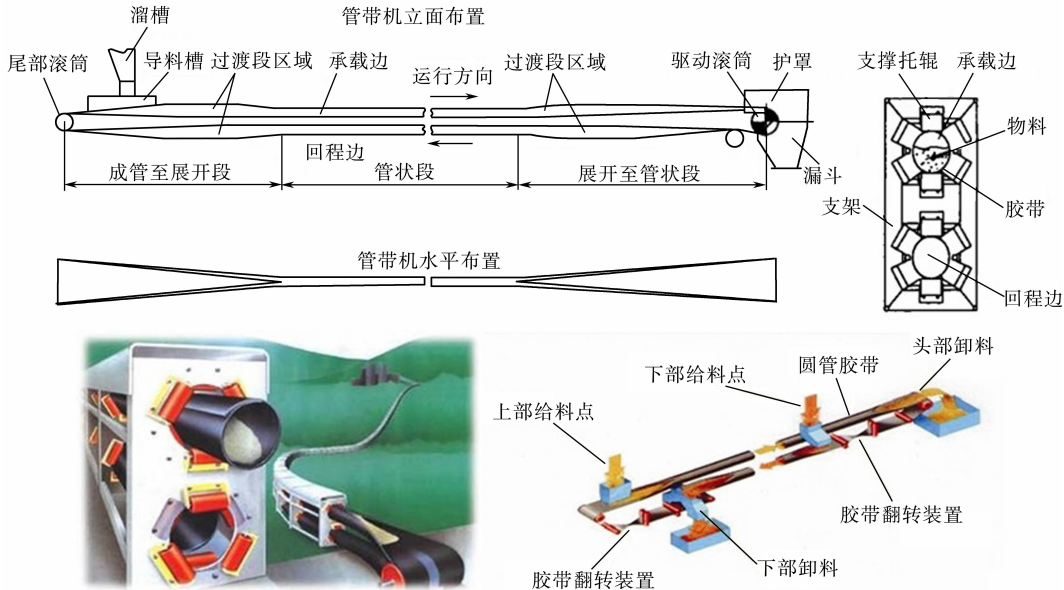


图1 管带机结构示意图

自1972年诞生后, 就在全世界迅速普及。

管带机运行过程中在输送带自身质量和载荷的共同作用下, 输送带在相邻两组托辊之间必然有悬垂度。如果垂度过大, 输送带在两组相邻托辊之间会发生松弛现象, 引起输送带的运行阻力加大, 甚至导致物料撒落; 如果垂度过小, 表明托

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51275265, 51175286)

作者简介: 王玉玮(1974—), 男, 辽宁岫岩县人, 北京国电富通科技发展有限公司高级工程师, 学士, 主要从事散料输送机械研究与应用工作。

* 通信联系人

辊设计太密,制造与维修成本等相应提高。

利用有限元分析方法对管带机的支架^[1-2]、托辊^[3]、滚筒^[4-6]进行的分析研究很多,但是尚未见到用有限元方法对输送带本身和托辊的非线性有限元分析。管带机输送带本身是高度非线性柔性复合材料,同时与托辊间存在着复杂的非线性接触。本工作针对影响管带机悬垂度的主要因素进行非线性有限元分析。

1 输送带材料模型及其参数

输送带是由帘线增强橡胶组成的柔性复合材料,其力学性能的确定较为复杂。为使有限元分析的结果准确,必须确定输送带的力学性能,为此进行了输送带力学性能试验。

根据 GB/T 15902—2009《输送带 弹性伸长率和永久伸长率的测定及弹性模量的计算》制作试样并在石油和化学工业新材料与制品质量监督检验中心(青岛)进行了拉伸试验。沿输送带的纵向切取2块全厚度矩形试样,尺寸为300 mm×50 mm,并在两端夹具位置将橡胶覆盖层去掉一部分(见图2)。利用动态拉伸试验机对试样施加2%~10%拉伸的周期性负载。绘制至少包含200次负荷与伸长率函数关系的曲线,见图3和4。



图2 加工后的试样

假设曲线中A和B点的坐标分别为 (X_a, Y_a) 和 (X_b, Y_b) 。根据以下公式计算弹性模量(E):

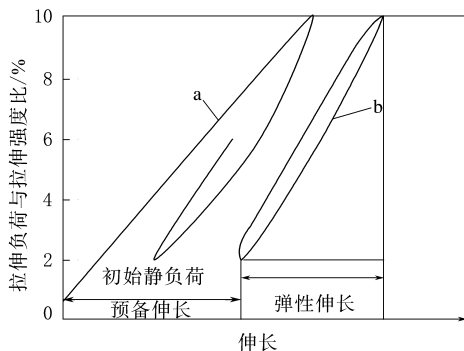
$$E = 2(Y_a - Y_b) / (X_a - X_b)$$

根据两次试验数据计算得 E 为15 779.48和16 053.56 $N \cdot mm^{-1}$,平均值为15 916.52 $N \cdot mm^{-1}$ 。而根据试验得到的橡胶模量为12 MPa。

2 有限元模型及约束条件

2.1 有限元建模

建立的管带机有限元模型如图5所示,管带单元是4节点层合壳单元^[7],而托辊采用刚体单元。建立管带机有限元模型有以下几个要点。



a—第1次循环;b—第200次循环。

图3 试验带的第1次和第200次迟滞回线

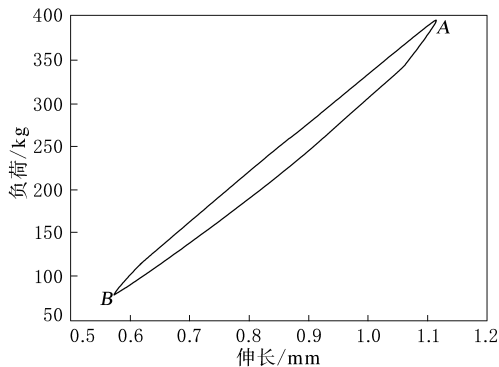


图4 实际试样的第200次迟滞回线

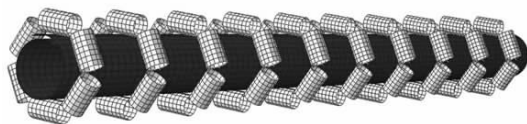


图5 2200EP250*6管带机有限元模型

(1)管带机材料是层合橡胶复合材料,其截面展开的材料分布如图6所示。管带机是由6层EP250聚酯浸胶帘布和上下2层橡胶材料组成。采用层合复合材料壳单元模拟复合材料,聚酯浸胶帘布层的材料特性由试验拟合得到,橡胶的材料特性从橡胶拉伸试验得到。

(2)成型后管带机的截面由渐变直径的弧段组成,管带机截面的搭接使得管带机截面的内接

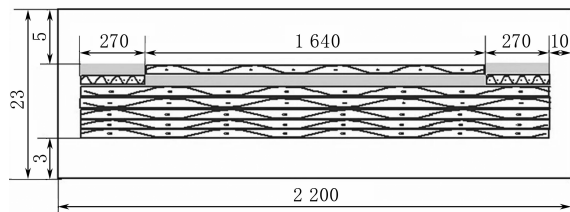


图6 2200EP250*6管带机截面展开材料分布

圆和外接圆直径不一致。搭接宽度影响管带机截面的曲率半径变化,如图 7 所示,管带机的截面形状必须尽可能精确描述。

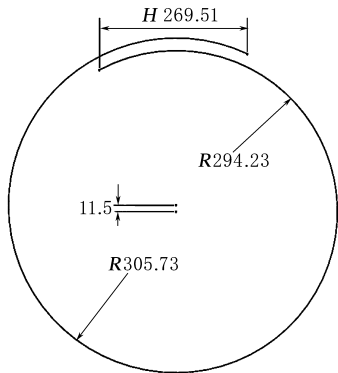


图 7 成型后的管状胶带截面示意

(3)托辊几何形状和位置的准确分布。

(4)托辊与管带机的接触定义。管带机的托辊是六边形分布,由于管带机在工作状态下可能发生复杂的弯曲、下沉、扭转等变形模式,导致每个托辊都有可能与管带机发生接触,因此需要定义每个托辊和管带机表面的接触,如图 8 所示。

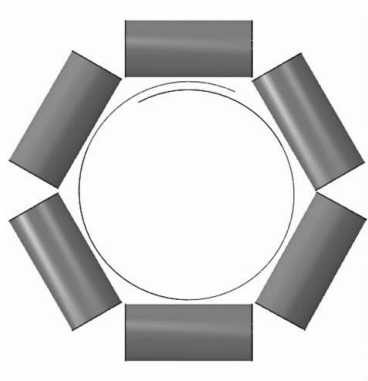


图 8 胶带和托辊组总成

(5)管带机自接触定义。管带机的搭接部分会发生自接触现象,为正确模拟管带机的变形,这种自接触定义也必不可少。

2.2 载荷与边界条件

从力学的圣维南原理可知,两个托辊之间管带机的下垂度可以用一段有代表性的管带机进行分析而无需对整个管带机进行建模,为此选取 10 个托辊 9 段管带进行分析(见图 9),这 9 段管带称之为代表性管带单元(RBE),可以代表整个管带机的下垂度。

管带机的载荷主要是所运送货物的负载和卷



图 9 管带机托辊总成示意

曲管带机所引起的预应力。单位长度的货物负载转化成水压型压力施加在管带机的内表面上,而预应力则用一个等效的内压表示(见图 10)。

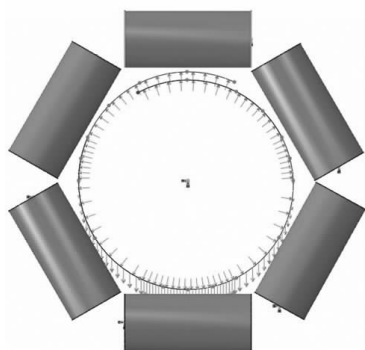


图 10 载荷条件

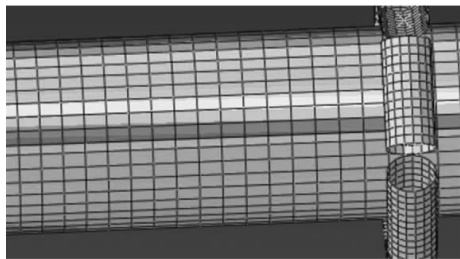
RBE 右端的 3 个平动和 3 个转动自由度都受到约束,而 RBE 的左端约束 x 方向和 y 方向自由度, z 方向施加拉伸力,本研究拉伸力为 35 kN。

3 结果分析

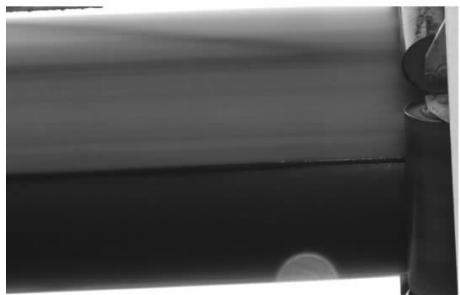
管带机输送带的悬垂度受诸多因素影响,包括被运送物料的线密度、输送带的线质量、相邻两托辊之间的距离、输送带的倾角以及张力等。具体表现为:随着带与物料的线密度增大,悬垂度增大;随着相邻两托辊间距的增大,悬垂度增大;随着胶带的倾角增大,悬垂度减小;随着带的张力增大,悬垂度减小。

传统的设计方法难以对悬垂度与设计变量和工况之间的定量关系进行准确分析,使用有限元方法可以精确模拟物料、管带机材料特性和接触定义,从而可以准确分析悬垂度。管带机是否在搭接处发生塌陷和张开也可以采用有限元方法进行分析。

有限元仿真和实际运行工况的接头涨开变形如图 11 所示。由图 11 可见,仿真能够较好地模



(a)有限元仿真



(b)实际运行工况

图 11 管带机的接头涨开变形模式

拟实际的涨开模式。

RBE 的变形情况如图 12 所示,取 RBE 对称面上最下沿节点的垂向位移作为下垂度。圆管式输送带悬垂度一般不应超过托辊间距的 1%,最大不应超过托辊间距的 2.5%。托辊间距分别取 2 200 和 2 400 mm 时,RBE 的悬垂度分别为 23.2 和 24.8 mm,悬垂度与间距的比分别为 1.05% 和 1.03%,因此可以认为将托辊间距从 2 200 mm 增大到 2 400 mm,最大悬垂度也满足要求。综合

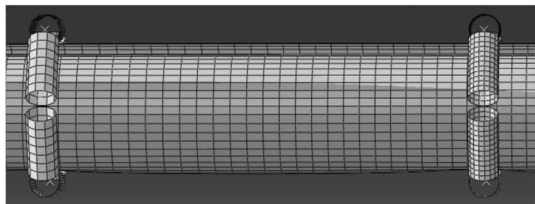


图 12 管带机的代表性单元的悬垂变形

考虑可靠性和经济性,取最佳悬垂度/托辊间距组合为 23.2 mm/2 200 mm。

分析发现有限元方法和测试得到的最大悬垂度远高于一般悬垂度理论^[8]计算得到的结果。原因可能是在相同单位长度物料质量的条件下,管带机所受压强比槽型输送机大,另外管带的横向刚度也会对下垂度有一定影响。

4 结语

发展了复杂圆管带式输送机的有限元建模方法,提出了用代表性单元法分析长距离管带机悬垂度的有效方法。对管带机的胶带材料和橡胶进行了拉伸测试,得到了等效拉伸模量和橡胶模量,为有限元分析提供了可靠的材料参数。仿真模拟了管带机输送带的悬垂度,评价了托辊间距对悬垂度影响的各种因素,可为实际工程设计提供参考依据。

参考文献:

- [1] 曹保新,杨剑,郭青梅.带式输送机梯形支架的有限元分析[J].矿山机械,2012,40(2):44-46.
- [2] 曹保新,杨剑,郭青梅.带式输送机三角形支架的有限元分析[J].煤矿机械,2012,33(7):97-98.
- [3] 曹保新,杨剑,郭青梅.带式输送机托辊的有限元分析[J].煤矿机械,2012,33(6):109-110.
- [4] 王兴茹.带式输送机改向滚筒的有限元分析[J].矿山机械,2012,40(4):61-65.
- [5] 毛华晋,廉自生,顾惠君.带式输送机驱动滚筒的有限元分析[J].煤矿机械,2011,32(7):77-79.
- [6] 吕鹏,姜良斌,张准.带式输送机传动滚筒的有限元分析[J].煤矿机械,2011,32(5):78-80.
- [7] 庄茁,由小川,廖剑晖,等.基于 Abaqus 的有限元分析与应用[M].北京:清华大学出版社,2008:111-128.
- [8] 宋伟刚.散状物料带式输送机设计[M].沈阳:东北大学出版社,2000:58-65.

收稿日期:2014-12-22

Study on Optimized Suspension Structure for Pipe Conveyor

WANG Yu-wei¹, WEI Yin-tao², MA Lü-ao¹, LIU Xin-hua¹, LI Shuai¹, LIU Yuan²

(1. Beijing Guodian Futong Science and Technology Development Co. Ltd, Beijing 100070, China; 2. Tsinghua University, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Beijing 100084, China)

Abstract: The finite element model for complex pipe conveyor belt was established, a representa-

tive element method for belt suspension structure analysis of long distance conveyor belt was proposed, and the mechanical properties of rubber compound were experimentally investigated. The deformation, stress and suspension of the belt under certain tension force and material density were simulated, which could be used to analyze the effect of roller gap on the belt suspension, and the optimized belt suspension structure could be determined by taking into consideration of the constrained conditions.

Key words: pipe conveyor; suspension structure; nonlinear finite element analysis

“麒祥杯”第 11 届全国橡胶助剂生产和应用技术研讨会在杭州召开

中图分类号: TQ330.38 文献标志码: D

2015 年 4 月 23—25 日, 由中国化工学会橡胶专业委员会、全国橡胶工业信息中心、全国橡胶工业信息中心橡胶助剂分中心主办的“麒祥杯”第 11 届全国橡胶助剂生产和应用技术研讨会在杭州召开。来自全国橡胶助剂、轮胎、橡胶制品企业以及大专院校、科研院所等单位的 130 名代表出席了会议。

本届会议围绕“环保创新·优化调整·持续发展”的主题, 对橡胶助剂行业的热点问题进行了深入交流和研讨。会议共收到征文 102 篇, 遴选 86 篇收入论文集, 安排 23 篇作大会报告。会议报告内容主要涉及 3 个方面: 橡胶助剂与轮胎的最新发展战略和 market 分析; 环保型、高性能橡胶助剂的生产工艺和应用技术; 橡胶助剂分析测试新方法。会议对我国橡胶助剂的现状和发展进行了详细解读, 对行业发展具有指导意义; 为新型橡胶助剂的研发和应用拓宽了思路, 为高性能橡胶助剂的开发、应用和产业化指明了方向; 为橡胶助剂的分析测试提供了新方法, 值得采用或推广。

与会代表和专家组共同进行了“麒祥杯”优秀论文评选。北京化工大学王文才等的《防老剂纳米控制释放技术及其对橡胶老化性能的影响》荣获一等奖, 并获“麒祥杯”; 杭州中策橡胶有限公司任福君的《白炭黑/硅烷现状及应用性能》和上海麒祥化工有限公司姚翔的《从硫化橡胶网络结构角度分析绿色轮胎用新材料》荣获二等奖; 双钱集团股份有限公司蒋琦的《绿色轮胎中的橡胶助剂变化趋势》、科迈化工股份有限公司孙凤娟的《橡胶硫化促进剂 CBS-80 预分散母胶粒的开发》、山

东玲珑轮胎股份有限公司朱舒东等的《核磁共振法研究炭黑/白炭黑用量对橡胶交联密度的影响》荣获三等奖。

2015 年是“十二五”收官之年, 也是中国橡胶工业创业 100 年。经历了百年的发展, 特别是近 20 年的高速发展, 我国已成为世界轮胎生产和橡胶消耗大国, 现正从轮胎生产大国向生产强国迈进, 面临着行业转型升级、产品结构调整以及多重贸易保护案的挑战。多年来, 橡胶助剂行业积极推广清洁生产工艺, 开发环保产品, 以满足 REACH 法规的要求, 为推动我国橡胶工业、轮胎工业的可持续发展做出了巨大贡献。

从本届会议传递出的环保和创新信息, 将对橡胶助剂行业的健康发展起到积极的促进作用。如促进剂 M 和 NS 清洁工艺生产线的建成、促进剂预分散母胶粒的成功开发等, 体现出绿色工艺和绿色产品的环保理念; 防老剂纳米控制释放技术的突破性进展, 白炭黑和不溶性硫黄关键指标的检测新方法研究等, 彰显出推陈出新、探索发明的正能量。正如习近平总书记强调的“创新是引领发展的第一动力”, 橡胶助剂行业应朝着“环保创新·优化调整·持续发展”的方向继续前行。

全国橡胶助剂生产和应用技术研讨会创办于 2001 年, 15 年来, 为促进我国橡胶助剂行业的发展发挥了积极的作用, 已经成为橡胶助剂业界信息共享、技术交流、共商发展的品牌交流平台。本届会议由上海麒祥化工有限公司协办, 并得到山东阳谷华泰化工股份有限公司、科迈化工股份有限公司、濮阳蔚林化工股份有限公司等企业的大力支持。

(《橡胶科技》编辑部)