

轮胎成型机胎体帘布精度的控制方法

杭柏林^{1,2},王福鹏^{1,2}

(1. 青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061;2. 软控股份有限公司,山东 青岛 266042)

摘要:介绍 LCZ-3Z 2024 型轮胎成型机的胎体帘布供料架的结构和工艺。对供料架的运行控制方法进行了分析。对比梯形和 S 形曲线加减速方法后,采用 S 形曲线加减速方式对输送带进行运动规划,使用虚轴法作为多轴同步运动的控制策略。实际运行结果表明,这些措施大大提高了系统运行的平稳性和多轴同步性能。

关键词:轮胎成型机;胎体帘布供料架;伺服控制;运动规划;虚轴法;同步运动

中图分类号:TQ330.4⁺6;TQ330.4⁺93 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)11-0682-06

随着我国高速公路和交通运输业的迅猛发展以及汽车市场的快速增长,市场对子午线轮胎的需求日益增强。近几年全钢载重子午线轮胎、轻型载重子午线轮胎等在国内飞速发展,拉动了国内轮胎生产机械特别是子午线轮胎成型机的发展。轮胎成型工艺装备的精良化是轮胎质量安全生产的保证^[1-2],研制高性能国产轮胎成型机是我国轮胎行业的迫切需求。

轮胎成型机是将轮胎各部件组装成为胎坯的专用设备,是轮胎机械中结构最复杂、技术要求最高的机器。供料架系统则是成型机的重要组成部分,其功能主要是完成轮胎半成品部件的备料并辅助完成贴合。在成型过程中,半成品部件接头过长、过短、分布不均和部件被拉伸都会为成品轮胎带来质量隐患,为保证轮胎生产质量而进行供料架的控制方法研究有着重要意义。本文以 LCZ-3Z 2024 型全钢载重子午线轮胎三鼓成型机的帘布供料架为例,重点介绍定位输送和多运动轴同步的控制方法^[3-4]。

1 供料架结构和工艺

1.1 结构

帘布供料架结构如图 1 所示,主要由 6 个单元组成,分别为导开装置、机械定中装置、后输送带、前输送带、模板输送带和帘布裁刀。其中定长

零点开关和定位零点开关用于检测帘布位置。帘布供料架的主要功能是为贴合鼓提供符合工艺尺寸的帘布胶料并配合贴合鼓完成帘布贴合。

1.2 工艺

LCZ-3Z 2024 型成型机能够生产的最小轮胎规格为 7.50R20,最大轮胎规格为 12.00R24 和 445/65R22.5,可成型轮辋规格为 508~622 mm 的轮胎,每班产量可达 110 条。其胎体帘布供料架的工艺过程为:帘布导开装置将胶料开卷并分离胶料与垫布→机械定中装置将胶料中心与贴合鼓中心线对齐→帘布前、后输送带共同完成帘布的自动定长→裁刀将定好长度的胶料裁断→帘布模板输送带和前输送带将裁好的帘布定位至等待贴合位置,然后在帘布贴合工序时配合贴合鼓完成帘布贴合。

工艺要求如下:

自动定长精度	±2 mm
帘布对贴合鼓中心线误差	<0.5 mm
帘布胶料部件的拉伸精度	≤0.3%
帘布定位精度	±2 mm

2 供料架的控制方法

帘布供料架控制的关键是输送带的控制,每个输送带由单独的交流伺服电机经减速机构驱动,各个输送带单元可以独立工作,用户能够灵活地进行系统配置和运动规划,从而实现自动定长、帘布定位和辅助帘布贴合等功能。

自动定长和帘布定位两个工艺过程的本质都

作者简介:杭柏林(1959—),男,内蒙古通辽人,软控股份有限公司研究员,硕士,主要从事管控一体化、机电一体化、智能控制及轮胎检测设备的研究与开发。

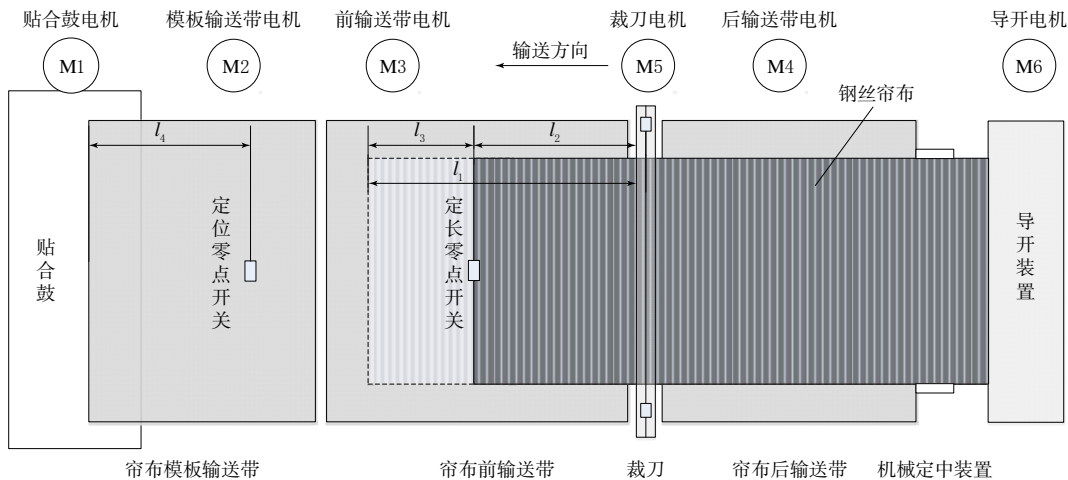


图 1 帘布供料架结构

是输送带的定位输送,其过程为:定位输送开始→输送带伺服系统工作在速度控制模式→输送带加速到设定的速度并向前输送胶料→胶料触发定位零点开关→伺服系统切换到位置控制模式→输送带根据位置命令准确地停止在目标位置。如图 1 所示,自动定长的位置控制段的长度 l_3 的计算公式为

$$l_3 = l_1 - l_2 \quad (1)$$

式中 l_2 为定值 950 mm,是定长零点开关与帘布裁刀裁切位置的距离; l_1 为工艺要求的帘布部件的长度。帘布定位的位置控制段的长度为图 1 中的 l_4 ,为定位零点开关与模板输送带前端的距离,为定值 1 120 mm。辅助帘布贴合过程为:在帘布贴合工序时,贴合鼓定位至贴合帘布的角度,然后前输送带、模板输送带和贴合鼓保持线速度一致,共同完成帘布接头的定位和帘布缠绕。

帘布自动定长的精准可以保证帘布部件符合工艺尺寸要求,从而防止接头过长或过短;帘布定位的精准是保证帘布贴合时接头定位准确的必要条件,可以有效防止接头分布不均匀的现象;保持运行平稳,减少系统的振动和冲击,可以延长整个系统的使用寿命;保证输送及贴合过程各运动轴间的同步可以有效避免胶料的拉伸。因此帘布供料架的控制应满足定位精度高、运行平稳和多轴同步控制性能好等要求。

2.1 定位精度

帘布供料架的定位输送由伺服系统的定位控制功能实现,定位输送的精度与伺服系统位置控

制精度及机械传动装置的精度有关。交流伺服系统为闭环位置控制,伺服电机的脉冲编码器对电机轴转过的角度进行实时检测并反馈至驱动器,通过位置环 PID 控制器的调节作用,系统静态定位精度可以达到脉冲编码器能够检测到的最小位移,即位置反馈的分辨率^[5]。帘布供料架的各输送带单元使用同型号的伺服电机,电机编码器为 2 500 线光电式增量编码器,编码器信号经 4 倍频处理后的分辨率(P)为 10 000 脉冲· r^{-1} ,减速机构的输入/输出转速比(i)为 20:1,减速机构输出轴连接直径(D)为 150 mm 的输送带主动辊。在不考虑传动误差的情况下,由以上参数可计算输送带位置控制的最高分辨率为

$$R_{\max} = \frac{\pi D}{P i} \approx 0.0024 \text{ mm} \quad (2)$$

但在实际运行中,机械传动误差是影响供料架定位输送精度的主要因素。在伺服控制中加入传动误差补偿,可以有效降低传动误差对输送带定位精度的影响,帘布供料架仍可以达到很高的位置控制精度。

2.2 输送带的运动控制

输送带的控制在满足完成预定动作和保证控制精度的条件之外,还应使系统的运行平稳、尽量减少冲击和振动,这就要求运行的速度曲线平滑、尽量避免加速度值的突变。因此,有必要对输送带进行运动控制。

输送带的运动规划主要是对输送带伺服电机的加减速控制,伺服系统常用的加减速方式有梯形加减速和 S 形曲线加减速,图 2(a)和(b)中分

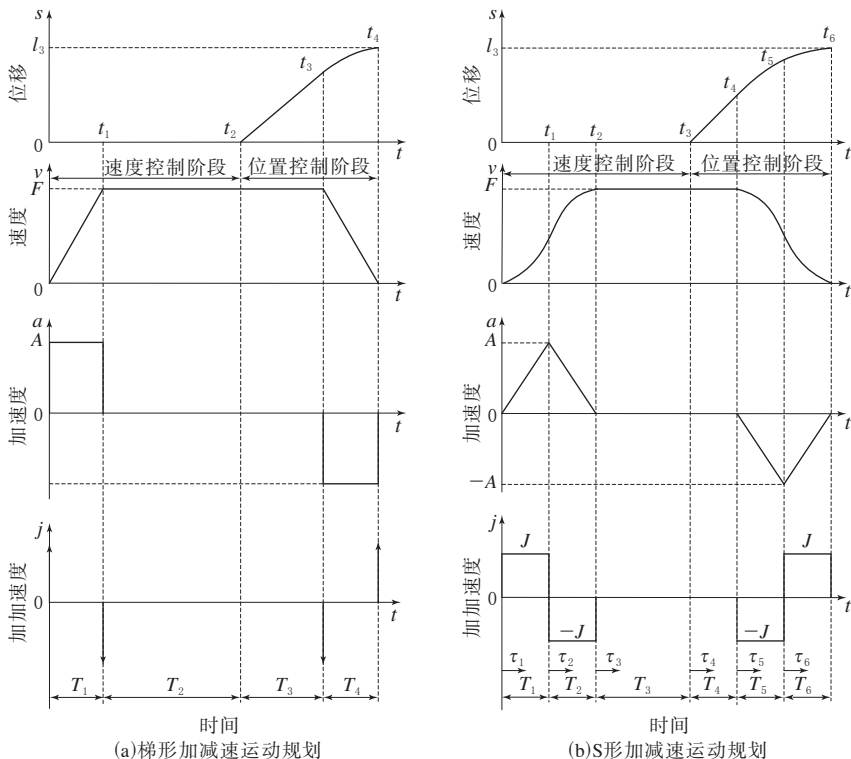


图2 梯形加减速和S形曲线加减速运动规划

别使用两种加减速方式对输送带的自动定长过程进行了运动规划^[6]。图中的 t 为时间坐标, t_i ($i=0,1,2,3,4,5,6$) 表示各阶段的过渡点时刻, T_i ($i=1,2,3,4,5,6$) 为各个阶段持续运行的时间, τ_i ($i=1,2,3,4,5,6$) 为局部时间坐标, 表示以各个阶段的起始点为时间零点的时间, 其中 $\tau_i = t - t_i$ ($i=1,2,3,4,5,6$)。图 2(a) 中的 t_2 和图 2(b) 中的 t_3 分别是胶料触发定长零点开关的时刻。

从图 2(a) 中可以看到, 梯形速度轨迹在 $0, t_1, t_3, t_4$ 时刻速度曲线存在明显的转折点, 在这些点存在加速度突变, 易引起传动系统和执行机构的冲击和震荡。而图 2(b) 中的 S 形曲线速度轨迹在加速和减速的过程中速度过渡比较平滑, 加速度连续变化, 因而系统的冲击和震荡将大大减小。可见, 为输送带选用 S 形曲线加减速方式可以使输送带的运行更加平稳。

图 2(b) 中的 S 形曲线速度轨迹由加加速段、减加速段、匀速段、加减速段、减减速段 5 段组成, 分别对应 $T_1, T_2, T_3 + T_4, T_5, T_6$ 时间段。S 形曲线速度控制通过对加加速度 J 进行控制, 继而

控制加速度、速度和位移。文献[7]中给出的 S 形曲线加减速的加速度 $a(t)$ 、速度 $v(t)$ 和位移 $s(t)$ 的基本公式如下:

$$\begin{cases} a(t) = a(t_i) + \int_{t_i}^t j(\tau_i) d\tau_i \\ v(t) = v(t_i) + \int_{t_i}^t a(\tau_i) d\tau_i \\ s(t) = s(t_i) + \int_{t_i}^t v(\tau_i) d\tau_i \end{cases} \quad (3)$$

按照式(3)进行运动控制时, 已知加加速度 $j(t)$ 、最大加速度值 A 、稳定运行时的目标速度 F 和位移 S , 就可以确定整个运动过程。加加速度 $j(t)$ 在运动时间内是一个分段函数, 为简化控制, 设定 T_1, T_2, T_5, T_6 时间段内的加加速度为定值 J , 令 $T_1 = T_2 = T_5 = T_6 = T_m$, 从而使加速阶段与减速阶段对称, 选取加速阶段进行研究, 在式(3)基础上推理分别得到加速段的最大加速度 A 、最终速度 F 和输送距离 S_a 的计算公式:

$$A = J T_m \quad (4)$$

$$F = J T_m^2 \quad (5)$$

$$S_a = J T_m^3 \quad (6)$$

由式(4)和(5)可以推导出 J 的计算公式:

$$J = \frac{A^2}{F} \quad (7)$$

匀速运行阶段的时间:

$$T_3 + T_4 = \frac{l_1 - 2S_a}{F} \quad (8)$$

运动控制的关键点是计算减速距离, 由于加速和减速过程对称, 因此使用由式(6)计算得到的 S_a 作为减速距离。当剩余距离 $l_r = S_a$ 时进入减速阶段, 剩余距离的计算公式为

$$l_r = l_3 - l_i \quad (9)$$

式中, l_i 为输送带从 t_3 时刻开始输送的距离, 根据编码器反馈实时计算得到。

由前面的讨论可知, 经简化后, 只要给定最大加速度值 A 、稳定运行时的目标速度 F 和总输送距离 l_1 就能确定整个运动过程。其中 F 和 l_1 由用户设定。在加减速过程中, A 值越大, 加减速时间越短, 但加减速产生的冲击也越明显, 系统运行的平稳性越差, 该值设定应根据电机的加速能力和实际调试选择。输送带伺服轴的最大加速度能力为 $2\,000\text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$, 为保证运行平稳性设定 $A = 1\,500\text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

下面以生产 11.00R20 规格轮胎时的自动定长过程为例, 介绍输送带的运动控制过程。

步骤 1: 读取初始参数 $l_1 = 1\,695\text{ mm}$, $F = 150\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, $A = 1\,500\text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

步骤 2: 由式(1)计算得位置控制段的距离为 $l_3 = 745\text{ mm}$; 根据式(7)计算 $J = 15\,000\text{ mm} \cdot \text{s}^{-3}$ 。

步骤 3: 由式(4)计算得 $T_m = 0.1\text{ s}$; 然后由式(6)计算得 $S_a = 15\text{ mm}$ 。

步骤 4: 自动定长开始后, 运动控制器按照运动规划的方式控制发送到伺服驱动器的脉冲的频率, 从而实现输送带整个运行过程的速度控制^[8]。胶料触发定长零点开关时, 开始按公式(9)实时计算剩余距离 l_r , 并实时与 S_a 比较, 相等时开始减速过程。

输送带的实际运行情况如下: 自动定长开始后, 输送带经 0.2 s 加速至 $150\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 然后保持匀速运行, 当剩余距离为 15 mm 时开始减速, 经 0.2 s 输送带停止, 整个过程用时 11.5 s 。整个过程输送带运行平稳, 无明显的冲击和振动。

2.3 多轴同步控制

多轴同步性能是帘布供料架控制的重要性能指标, 在帘布输送过程中要求两个输送带单元同步运行, 在帘布贴合过程中要求模板输送带、前输送带和贴合鼓的线速度保持同步。控制多个伺服轴精确同步运行, 在每个伺服轴都具有良好的速度响应的前提下, 选择合适的同步控制方法非常重要^[9]。

目前成型机中较常用的多轴同步控制方法有主令参考方式和主从方式^[7,10-12]。在主令参考同步控制结构中, 主令参考信号直接作用到各运动轴, 轴间的同步性能由每个运动轴对主令参考信号的跟随性能的一致性决定, 当任一轴运动受到扰动时, 其他轴工作状态不会受到影响, 此时系统的同步性无法保持。在主从式同步控制结构中, 主令参考信号作用于主运动轴, 主运动轴的输出信号作为各从轴的输入信号, 从轴能够精确跟随主轴运动, 但因主轴得不到从轴的运动状态反馈, 当从轴受到扰动时系统将无法保持同步。上述两种同步方法都存在失同步现象, 为追求更理想的多轴同步控制效果, 本工作选用虚轴法作为帘布供料架的同步控制方法。

以两个输送带伺服轴的同步控制为例, 虚轴法同步控制系统结构如图 3 所示。两个伺服轴均作为从轴跟随虚拟主轴的输出, 各个伺服轴的力矩经耦合环节计算出一个虚拟力矩, 并反馈到虚拟主轴的前向通道中。虚拟主轴的目的是要模拟真实机械主轴的工作原理, 因此输入虚拟主轴的动力矩 T 、从轴反馈力矩 T_i 和主轴的输出驱动力矩, 应保持力矩相平衡关系:

$$T - \sum T_i = J_m \theta_m'' \quad (10)$$

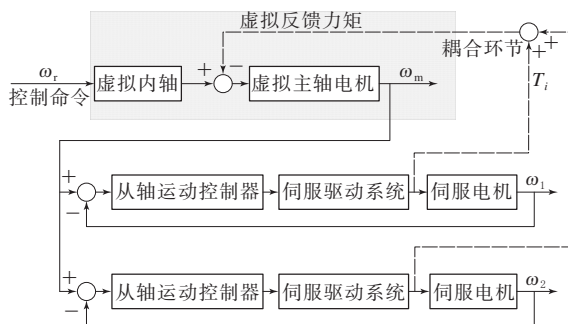


图 3 虚轴法同步控制系统结构

式中, J_m 为主轴的转动惯量, θ_m 为主轴的输出角位移。

参考机械轴的物理特性, 输入的参考速度为 ω_r , 实际轴的输出速度为 ω_m , 虚拟主轴的动力矩计算公式为

$$T = k_m(\omega_r - \omega_m) + k_t \int (\omega_r - \omega_m) dt \quad (11)$$

式中, k_m 为虚拟主轴的衰减系数, k_t 为虚拟主轴的弹性系数。

各伺服轴的 T_i 可由伺服系统的力矩环输出直接得到。从图 3 和式(10)可以看出, 当任一输送带伺服轴受到扰动时, 扰动会通过耦合力矩反馈作用引起虚拟主轴输出信号也发生变化, 变化后信号的大小介于两个伺服轴的速度之间, 各轴的输出速度在这个参考信号的作用下快速发生变化, 使两轴的速度之差减小, 从而达到良好的同步效果^[13]。

虚轴法通过参数修改可以灵活地改变系统的拓扑结构。各运动轴的同步控制信号是系统输入信号经过虚拟主轴作用后、经过滤得到的信号, 更易于被从轴单元跟随, 而且耦合力矩反馈的引入使系统具有类似机械主轴系统的固有同步性。因此, 虚轴法较常用的主令方式和主从方式同步控制方法更适用于帘布供料架的同步控制。实际应用时, 通过对虚拟主轴的 J_m , k_t 和 k_m 等主要参数的调试, 可以得到比较理想的同步控制效果。

3 结语

本工作研制的帘布供料架控制方法已在成型机中得到实际应用, 并取得了较好的控制效果。实际应用表明: 帘布供料架定位控制的精度达到 ± 0.1 mm, 满足了工艺要求。采用 S 形曲线加减速方式进行运动规划后, 输送带的速度曲线十分平滑, 几乎没有冲击产生, 有效提高了运行的平稳

性; 虚轴法同步控制的应用使输送带间、输送带与贴合鼓间均能精确地同步运行, 有效避免了帘布胶料的拉伸。该帘布供料架的控制方法同样适用于成型机其他胶料供料架。

参考文献:

- [1] 范宇光. 轮胎成型工艺装备精良化及发展态势[J]. 橡塑技术与装备, 2011, 37(4): 22-25.
- [2] 吴长清, 吴纯哲. 全钢载重子午线轮胎成型工艺与质量控制[J]. 轮胎工业, 2007, 27(4): 238-244.
- [3] 张君峰, 李忠, 陈晓军, 等. 一种先进的轮胎成型机控制系统[A]. 2005 青岛软控杯全国橡塑技术与市场研讨会论文集[C]青岛: 全国橡胶塑料设计技术中心, 2005.
- [4] 李国文, 艾永安, 李雪涛, 等. 全钢载重子午线轮胎一次法两鼓成型机结构及控制系统[J]. 轮胎工业, 2009, 29(7): 428-433.
- [5] 栾宗涛, 陶涛, 梅雪松, 等. 交流伺服系统脉冲序列位置控制研究[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(12): 35-39.
- [6] 陈思羽, 周海波, 龙泽明. 加减速曲线对伺服进给系统定位精度影响的试验研究[J]. 佳木斯大学学报, 2010, 28(3): 384-396.
- [7] Kaan E, Altintas Y. High Speed CNC System Design: Part I: Jerk Limited Trajectory Generation and Quintic Spline Interpolation[J]. International Journal Machine Tools & Manufacturing, 2001, 41(9): 1323-1345.
- [8] 杨湘蒙. 刚性输送装置定位精度分析及解决方法[J]. 木材加工机械, 2007(3): 8-12.
- [9] 杭柏林, 吕蒲伟, 戚龙新. 轮胎均匀性试验机上轮辋高精度定位控制方法[J]. 橡胶工业, 2011, 58(10): 626-628.
- [10] 钱晓龙. 循序渐进 Kinetix 集成运动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 7.
- [11] Payette K. Synchronized Motion Control with the Virtual Shaft Control Algorithm and Acceleration Feedback[A]. California: Proceedings of the American Control Conference, 1999: 2102-2106.
- [12] Payette K. The Virtual Shaft Control Algorithm for Synchronized Motion Control[A]. Pennsylvania: Proceedings of the American Control Conference, 1998: 3008-3012.
- [13] 吴其华, 徐邦荃. 多电机同步传动控制系统分析[J]. 自动控制技术, 2003, 22(1): 20-24.

收稿日期: 2013-05-14

Control Method of Precise Placement of Carcass Ply for Tire Building Machine

HANG Bai-lin^{1,2}, WANG Fu-peng^{1,2}

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Mesnac Co., Ltd, Qingdao 266042, China)

Abstract: The structure and operation of carcass ply servicer for LCZ-3Z 2024 type tire building

machine were introduced. The control method for the servicer was analyzed, and the trapezoid and S-curve acceleration & deceleration method were comparatively investigated. The S-curve method was selected in conveyor motion planning, and the virtual line-shaft method was used for multi-axis synchronized motion control strategy. The rest results in tire building machine showed that, the system ran smoothly and multi-axis synchronization performance was improved.

Key words: tire building machine; carcass ply servicer; servo control; motion planning; virtual line-shaft method; synchronized motion

一种卷式硅橡胶聚酯复合薄膜及其生产工艺

中图分类号: TQ333.93; TQ336.4 文献标志码: D

由苏州金禾新材料股份有限公司申请的专利(公开号 CN 102179979A, 公开日期 2011-09-14)“一种卷式硅橡胶聚酯复合薄膜及其生产工艺”, 涉及的卷式硅橡胶聚酯复合薄膜包括硅橡胶薄膜以及可剥离贴附在其表面的聚酯膜, 其中硅橡胶薄膜配方为: 高温硫化型硅橡胶树脂 100, 铂金架桥剂 A 剂 0.4~0.6, 铂金架桥剂 B 剂 1~2.5, 无机添加剂 0.5~5, MQ 硅树脂胶粘剂 1~5。该发明通过在硅橡胶薄膜配方中加入 MQ 硅树脂胶粘剂, 有效改善了硅橡胶薄膜与聚酯膜间的贴附性能, 使两者的剥离力控制在一定范围内, 且剥离力不会随时间的推移而发生急剧变化, 从而使复合薄膜产品易于保存和剥离。该卷式硅橡胶聚酯复合薄膜的生产工艺包括混炼、压延制膜、热空气硫化和收卷 4 步, 操作简单, 步骤少, 不但能提高生产效率, 而且可以节约生产成本。

(本刊编辑部 赵 敏)

共聚型高性能阻尼硅橡胶及其制备方法

中图分类号: TQ333.93 文献标志码: D

由四川大学申请的专利(公开号 CN 102181056A, 公开日期 2011-09-14)“共聚型高性能阻尼硅橡胶及其制备方法”, 提供了一种共聚型高性能阻尼硅橡胶及其制备方法, 即将八甲基环四硅氧烷(100 mol)、四甲基四乙烯基环四硅氧烷(0.001~1 mol)、八苯基环四硅氧烷(1~50 mol)、含甲基苯基硅氧烷链节的混合环体(1~500 mol)加入反应器中, 在氮气保护下, 于 55~65 °C 下鼓氮气泡脱水 1~3 h, 然后加入催化

(质量分数为 0.000 1~0.05), 继续干燥氮气鼓泡, 在粘度上升时加入封端剂(0.000 01~1 mmol), 在 90~110 °C 下平衡反应 7~8 h, 反应完毕, 升温至 145~165 °C, 维持 1~2 h, 分解破坏催化剂, 最后升温至 180~200 °C, 在真空度为 6~12 MPa 下减压脱出低分子物, 直至无馏出物为止, 降至室温出料, 停止减压, 获得聚甲基苯基乙烯基硅氧烷, 进一步制成苯基硅橡胶。该产品具有优异的阻尼性能和力学性能。

(本刊编辑部 赵 敏)

废旧橡胶微波自动裂解反应装置

中图分类号: X783.3 文献标志码: D

由刘建波申请的专利(公开号 CN 102140362A, 公开日期 2011-08-03)“废旧橡胶微波自动裂解反应装置”, 涉及的废旧橡胶微波自动裂解反应装置包括自动控制系统、变频电机、螺旋推进式微波裂解反应仓、气动密闭自动进料阀门组合和气动密闭出渣阀门组合。其中, 螺旋推进式微波裂解反应仓内螺旋推进器两侧的外壁上均匀设置微波磁控管, 反应仓的进料端设有气动密闭自动进料阀门组合, 反应仓的出料端设有气动密闭出渣阀门组合, 气动密闭自动进料阀门组合的进料口上设有物料分配器; 气动密闭自动进料阀门组合与气动密闭出渣阀门组合结构相同, 均由 2 个气动闸阀和过渡仓组成(2 个气动闸阀分别设在过渡仓两端); 变频电机连接在螺旋推进器的转动轴上。该装置制造成本低, 自动化程度高, 处理量大, 全密闭式连续生产, 可以提取可燃气、汽油、柴油及工业用粗炭黑, 无废渣和有害气体排放, 不造成二次环境污染, 安全环保。

(本刊编辑部 赵 敏)