测试·分析

轮胎内衬层厚度智能控制系统的研究

沈 伟[1],钟晨玲[2],王进能[3],张 波[1],吴 斌[1]

(1.杭州朝阳橡胶有限公司,浙江 杭州 310018;2.浙江中控研究院有限公司,浙江 杭州 310053;3.中策橡胶集团股份有限公司,浙江 杭州 310018)

摘要:研究轮胎内衬层厚度智能控制系统。通过在接取位置安装厚度检测传感器,加快了内衬层厚度控制的响应速度;分析内衬层厚度的影响因素,并采集生产过程数据,构建了内衬层厚度预测的回归模型;设计模糊PID控制器,并利用模糊控制规则对PID控制参数进行在线自整定,实现了内衬层厚度的智能控制,达到了提高轮胎质量、降低成本的目的。

关键词:轮胎;内衬层;厚度检测;智能控制;回归模型

中图分类号:TQ330.4^{+}4 **文章编号**:1000-890X(2023)05-0386-07

文献标志码:A **DOI**:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.05.0386

OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎内衬层由气密层和过渡层组成,是轮胎重要的组成部件。厚度是内衬层的关键结构参数,内衬层厚度的精准度、稳定性是影响轮胎品质、成本管控的重要因素。但内衬层厚度的控制具有多变量、非线性、大时滞性的特点,使用传统方法难以预测与控制。

本工作通过在气密层和过渡层接取位置(距离压延出口约2 m)分别安装厚度检测传感器,加快内衬层厚度控制的响应速度;分析内衬层厚度的影响因素,采集生产过程数据,构建内衬层厚度预测的回归模型;设计模糊PID(比例、积分、微分)控制器,利用模糊控制规则对PID控制参数进行在线自整定,实现内衬层厚度的智能控制,最终达到提升轮胎品质、降低成本的目的。

1 内衬层厚度控制的难点

在内衬层生产过程中,气密层和过渡层分别由相应配方胶料经挤出机挤出和压延机按照施工标准调整工艺参数后压出,随后通过复合压辊复合到一起,形成内衬层(见图1)[1]。

传统内衬层厚度控制的难点总结如下。

图1 内衬层截面

Fig. 1 Section of inner liner

(1)内衬层胶料在加工过程中既有塑性形变又有弹性形变。

(2)压延机压延辊种类和辊距、胶料性质、挤出机挤出速度、压延机压延速度以及各部位温度等因素都会影响内衬层厚度的控制,设备运行状况,如生产线拉伸、压延辊不圆等对内衬层厚度控制也有很大干扰。

(3)内衬层压延后需要经过100 m以上的冷却线才能进行检测,内衬层厚度的反馈存在非常大的滞后性。

(4)各项设备参数基本靠操作人员的经验进行手动调节,不同班组的操作人员由于经验或操作习惯不同,所设置的参数也不同,故影响内衬层厚度的人为因素较多,可能造成较大的误差。

因此,传统内衬层厚度的控制具有多变量、非线性、大时滞性的特点,研究智能控制系统对内衬层厚度进行实时、连续地监控、调节是非常必要的。

作者简介:沈伟(1987—),男,浙江嘉兴人,杭州朝阳橡胶有限公司高级工程师,学士,主要从事轮胎工艺管理工作。

E-mail:690999504@qq.com

引用本文:沈伟,钟晨玲,王进能,等.轮胎内衬层厚度智能控制系统的研究[J].橡胶工业,2023,70(5):386-392.

Citation:SHEN Wei, ZHONG Chenling, WANG Jinneng, et al. Research on intelligent control system of tire inner liner thickness[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(5): 386-392.

2　内衬层生产线的优化

2.1　压延辊不圆度

在内衬层生产过程中，压延辊表面会受到不同程度的损伤，有些损伤会影响内衬层厚度的稳定性。利用在线检测持续测量压出胶片某一点厚度的变化趋势（如图2所示），根据厚度的波动周期、压延辊直径、生产线速度，可以判断压延辊的不圆度、径向跳动等问题[2]。更换不合格的压延辊，确保内衬层厚度稳定，否则会对智能控制的判断造成干扰。

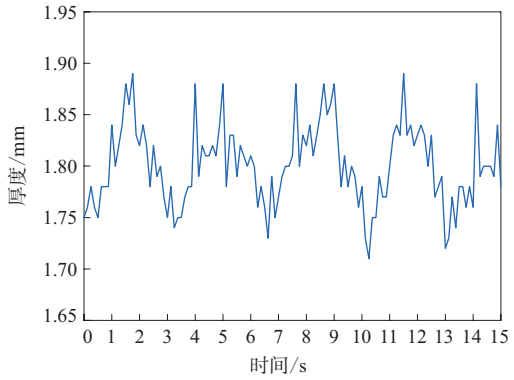


图2　压出胶片厚度的周期性波动（取值间隔时间为1/8 s）

Fig. 2　Periodic fluctuation of pressed compound sheet thicknesses (1/8 s for value interval time)

2.2　速度匹配

内衬层生产线可调节的速度参数包括：过渡层挤出机挤出速度、过渡层压延机压延速度、过渡层接取位置速度、气密层挤出机挤出速度、气密层压延机压延速度、气密层接取位置速度等，联动线通过浮动辊来实现各个环节的速度控制。不同部位要保证速度匹配，一旦速度不匹配，容易出现局部拉伸情况，导致内衬层厚度变化。建立标准化的胶料配方体系，确保挤出机挤出速度、压延机压延速度、接取位置速度匹配；调整浮动辊参数，确保联动线各部位速度匹配，这是内衬层生产线正常运转的基础，也是实现智能控制的前提条件。

3　内衬层厚度预测的回归模型

3.1　智能控制系统布局

内衬层厚度检测及智能控制系统布局如图3所示。在过渡层和气密层接取位置分别安装1台激光传感器，称为A1和A2。在内衬层卷取前安装

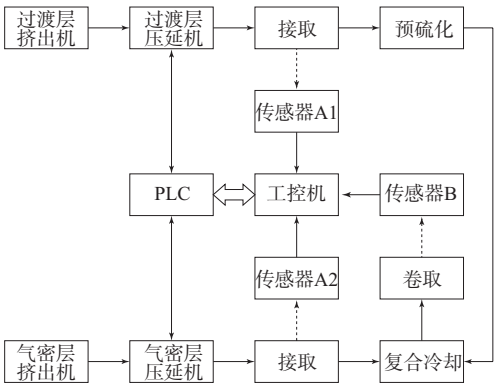


图3　内衬层厚度检测及智能控制系统布局

Fig. 3　Arrangement of detection and intelligent control system of inner liner thickness

1台激光传感器，称为B。激光传感器将采集到的厚度数据传到工控机，由工控机的程序进行一定的处理，得到最终的厚度信息。过渡层厚度通过调节过渡层压延辊辊距进行控制，气密层厚度通过调节气密层压延辊辊距进行控制。PLC（可编程逻辑控制器）可以读取压延辊辊距信息，也可以写入辊距设定值[3]。

胶料的性质不同，接取位置过渡层厚度（由传感器A1检测）与气密层厚度（由传感器A2检测）之和与卷取位置内衬层厚度（由传感器B检测）稍有不同，但又存在着一定的对应关系。智能控制的关键就在于找到这个对应关系，即根据卷取位置厚度标准值，确定接取位置厚度设定值；将A1和A2测得的厚度测试值与设定值作比较，形成闭环控制。由于A1和A2位于生产线前端，因此控制此处的厚度具有更快的响应速度。

3.2　内衬层厚度影响因素

在内衬层生产过程中，影响厚度的主要因素总结如下。

（1）压延辊种类。压延辊的种类决定了内衬层的基本形状。

（2）胶料性质。胶料配方不同，内衬层加工过程的形变也有所不同。

（3）温度。主要是挤出机和压延机的温度，影响内衬层的加工性能与形变。

（4）压延辊辊距。即过渡层和气密层压延辊辊距，是调节内衬层厚度的主要参数。

（5）速度。挤出机挤出速度、压延机压延速

度、接取位置速度等影响内衬层的膨胀率，各级之间的速度不匹配则会造成内衬层出现挤压与拉伸现象。

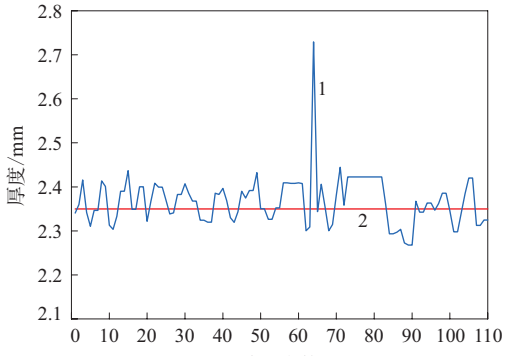
其中前3个因素在正常生产过程中是确定的，后2个因素是可调节的。

3.3 数据预处理

系统采集的数据包括生产工艺数据和厚度检测数据。生产工艺数据包括过渡层和气密层压延辊辊距、挤出机挤出速度、压延机压延速度、接取位置速度；厚度检测数据包括接取位置过渡层厚度、气密层厚度以及卷取位置内衬层厚度。采集到的数据需要经过一定的预处理。

3.3.1 异常值过滤

生产线现场存在着各种异常情况，造成检测厚度异常：(1)操作人员在传感器附近测量或进行其他生产活动，导致传感器被遮挡，出现检测厚度异常值；(2)生产刚开始或即将结束阶段，内衬层未成型，不具备正常的轮廓形状，检测厚度异常值需要排除；(3)在正常生产阶段，也会出现个别检测厚度异常值，如图4所示。这种异常值会影响控制系统的判断和数据拟合的精度，导致制程精密度(C_p)、制程能力指数(C_{pk})大幅下降，需要辨识并剔除[4]。



1—实测值；2—设定值。

图4 过渡层厚度检测曲线

Fig. 4 Detection curve of transition layer thicknesses

3.3.2 时间平移对齐

厚度检测数据来源于激光传感器，包括接取位置A1检测的过渡层厚度、接取位置A2检测的气密层厚度、卷取位置B检测的内衬层厚度，3组数据采用相同的检测频次。由于过渡层存在预硫化过程，A1和A2到复合位置的距离并不相同；B采集的数据位于冷却线之后，存在更大的滞后性，因此A1，A2，B采集的3组数据存在时间差，需要根据生产线长度与生产线速度做时间平移对齐处理。

3.4 厚度预测模型

支持向量回归即利用核函数将原始样本特征映射到高维空间中实现线性回归。给定数据集$D=\{(x_1,y_1),(x_2,y_2),\cdots,(x_m,y_m)\}$，第$i$个样本的输入特征向量$x_i$的函数$f(x_i)$表达式为

$$f(x_i)=\omega^{\mathrm{T}}x_i+b$$

式中，ω为权重参数，b为偏置参数。

以$f(x_i)$为中心，构建宽度为2ε(ε为精度)的间隔带，若训练样本落于间隔带内，则认为预测正确。因此，算法目标可表达为

$$\min\frac{1}{2}\|\omega\|^2+C\sum_{i=1}^{m}l_\varepsilon[f(x_i)-y_i]$$

式中

$$l_\varepsilon(z)=\begin{cases}0 & if|z|\leqslant\varepsilon\\ |z|-\varepsilon & if|z|>\varepsilon\end{cases}$$

约束条件为

$$|y_i-f(x_i)|-\varepsilon\leqslant 0$$

设$\varphi(x)$为x经过核函数映射后的特征向量，则

$$f(x_i)=\omega^{\mathrm{T}}\varphi(x_i)+b$$

根据厚度的影响因素分析，将辊距和速度及接取位置A1和A2的检测厚度作为输入，将内衬层卷取位置传感器B的检测厚度作为输出，建立了内衬层厚度预测的回归模型[5-6]。内衬层生产的部分工艺参数如表1所示。

将数据的75%作为训练集，25%作为测量集，用均方根误差(E_r)与相关因数(R^2)作为模型可靠性的评价指标，计算结果为：$E_r=0.017$，$R^2=0.882$，即模型的预测值与生产线采集的实测值基本相同(如图5所示)，本工作建立的内衬层厚度的回归模型具有较高的预测精度，为实现智能控制做好了准备。

4 控制器设计

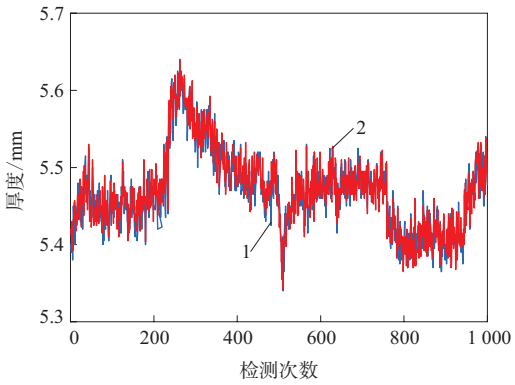
4.1 控制器结构

模糊控制属于智能控制的范畴，非常适用于非线性、滞后、时变系统的控制，不依赖被控对象精确的数学模型。因此，可以将模糊控制与PID

表1　内衬层生产的工艺参数

Tab. 1　Process parameters of inner liner production

检测序号	过渡层					气密层				
	厚度/mm	压延机辊距/mm	挤出机挤出速度/(r·min^{-1})	压延机压延速度/(m·min^{-1})	接取位置速度/(m·min^{-1})	厚度/mm	压延机辊距/mm	挤出机挤出速度/(r·min^{-1})	压延机压延速度/(m·min^{-1})	接取位置速度/(m·min^{-1})
1	2.45	1.09	5.9	10.0	9.4	2.80	1.71	19.7	11.3	9.6
2	2.43	0.98	5.9	10.1	9.2	2.83	1.70	19.8	11.3	9.6
3	2.45	1.07	5.9	10.0	9.2	2.84	1.70	19.7	11.3	9.6
4	2.44	1.02	5.8	9.9	9.3	2.81	1.69	19.7	11.2	9.5
5	2.38	0.98	5.8	9.9	9.2	2.79	1.71	19.8	11.3	9.6
6	2.40	0.98	5.9	10.0	9.4	2.81	1.71	19.8	11.2	9.6
7	2.41	1.06	5.9	10.0	9.4	2.84	1.70	19.7	11.3	9.6
8	2.42	1.06	5.8	10.0	9.3	2.80	1.69	19.6	11.3	9.5



1—预测值;2—实测值。

图5　内衬层厚度预测值与实测值的比较

Fig. 5　Comparison between predicted and measured values of inner liner thicknesses

控制结合,对PID控制参数进行在线自整定。模糊PID内衬层厚度控制器包括模糊控制器与PID控制器两部分,模糊控制器以设定厚度与实测值误差(e)及误差变化率(e_c)作为输入,比例因数变化量(ΔK_p)、积分因数变化量(ΔK_i)、微分因数变化量(ΔK_d)作为模糊控制器的输出变量和PID控制器的输入变量。另外,y^*,y分别为系统输入、输出,K_p,K_i,K_d分别表示比例因数、积分因数、微分因数,模糊PID控制结构如图6所示。

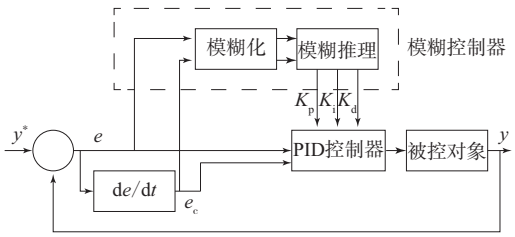


图6　模糊PID控制结构

Fig. 6　Fuzzy PID control structure

将e与e_c归一化后作模糊化处理,定义输入、输出的模糊论域为{−3,−2,−1,0,1,2,3},语言变量为{NB(负大),NM(负中),NS(负小),ZO(零),PS(正小),PM(正中),PB(正大)}。

选择三角形隶属度函数作为输入、输出的模糊隶属度函数。

根据ΔK_p,ΔK_i,ΔK_d对系统输出的影响,可以得到不同e和e_c情况下的参数自整定原则:当e较大时,为提高系统响应速度,应当采用较大的K_p、较小的K_d(为避免响应出现超调)和K_i(通常取0);当e和e_c为中等时,为减少系统超调,保证一定的响应速度,应当采用较小的K_p、合适的K_i、较小的K_d;当e_c较小时,为保证系统的稳定性,减少响应值振荡,应当采用较小的K_p、较大的K_i、合适的K_d[7-11]。ΔK_p,ΔK_d,ΔK_i的模糊控制规则如表2—4所示。

4.2　被控变量

内衬层厚度智能控制系统通过回归算法找到传感器A1和A2的检测厚度与传感器B的检测厚度对应关系,确定被控变量的设定值,使厚度控制前置到接取位置,提高了厚度控制的响应速度。

表2　ΔK_p的模糊控制规则

Tab. 2　Fuzzy control rules of ΔK_p

e	e_c						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表3 ΔK_i的模糊控制规则

Tab. 3 Fuzzy control rules of ΔK_i

e	e_c						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表4 ΔK_d的模糊控制规则

Tab. 4 Fuzzy control rules of ΔK_d

e	e_c						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

过渡层和气密层厚度参数包括中厚与边厚，因此有两种控制方案：(1)以边厚为控制对象，即分别调整压延辊两侧(操作侧与驱动侧)辊距，使两侧边厚在控制范围内，间接控制中厚；(2)以中厚为控制对象，即先分别调整压延辊两侧辊距，使两侧的边厚差值在一定范围内(比如0.1 mm)，再同时调整两侧辊距，使中厚在控制范围内。由于中厚比边厚更加重要，经过试验对比，发现第2种控制方式的中厚稳定性更好。因此，确定智能控制系统的被控变量为过渡层中厚和气密层中厚。

4.3 控制策略

由于设备误差以及胶料粘弹性特点，实际过渡层和气密层厚度存在持续的上下波动，因此必须设定一个合理的中厚控制范围(调节死区)。该控制范围必须大于正常的波动范围，否则频繁的调节会使厚度产生严重的振荡，控制范围也不能太大，否则起不到控制的效果。当中厚超出控制范围时，控制系统开始介入，调整过渡层或气密层压延辊辊距。

智能控制原理如图7所示，其中y_1^*，y_2^*分别为过渡层、气密层中厚设定值，e_1，e_2分别为过渡层、气密层中厚误差，u_1，u_2分别为过渡层、气密层压延机辊距设定值，y_1，y_2分别为过渡层、气密层中厚实测值。

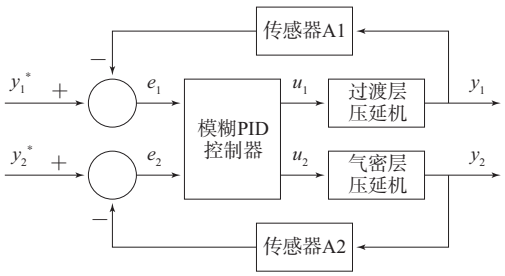


图7 智能控制原理示意

Fig. 7 Diagram of intelligent control principle

4.4 控制输出

根据控制器的判断，调节过渡层和气密层压延辊辊距输出，辊距输出时间(t_c)为

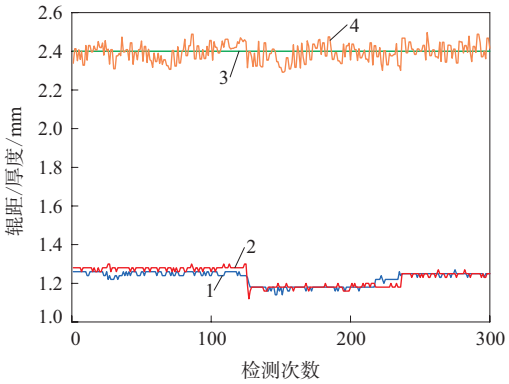
$$t_c = RP_eT_z$$

式中，P_e表示偏差厚度，T_z表示辊距输出变化1 mm的时间，R表示计算常数。

5 控制效果验证

5.1 接取位置调节的及时性

将开启智能控制后过渡层接取位置A1的检测数据导出，结果如图8所示，观察过渡层压延辊左右两侧辊距与过渡层厚度的变化(通过调节辊距，可以实现厚度的控制，通常左右辊距趋于一致)。



1—左侧辊距；2—右侧辊距；3—中厚设定值；4—中厚实测值。

图8 压延辊辊距和内衬层厚度的变化趋势

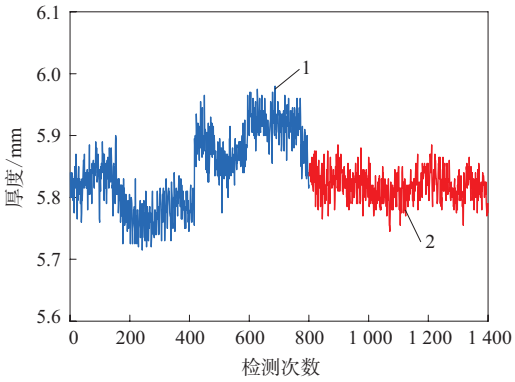
Fig. 8 Change trends of calender roll distances and inner liner thicknesses

从图8可以看到，随着传感器A1的检测厚度变化，控制系统经过判断，实现了压延辊辊距调节快速响应，使接取位置的厚度保持在设定范围内。

5.2 卷取位置厚度的稳定性

将智能控制系统开启前后卷取位置B的检测

数据导出，结果如图9所示。



1—手动控制；2—智能控制。

图9　内衬层厚度的变化趋势

Fig. 9　Change trends of inner liner thicknesses

从图9可以看到：手动控制状态下，由于人为操作的局限性，内衬层厚度调节存在延迟性、间断性，厚度波动较大，无法保证厚度的准确性；智能控制状态下，系统调节具有实时性、连续性，实现了内衬层厚度的稳定控制。

6　结语

建立内衬层厚度检测及智能控制系统后，操作人员可以自由切换手动控制与智能控制状态。在智能控制状态下，系统可以自动读取制造执行系统的规格信息，调整过渡层和气密层压延辊辊距，实现内衬层厚度的全程自动化、精细化控制，最终达到提高轮胎质量、降低生产成本和操作人员劳动强度的目的。同时，智能控制系统中保存的完整数据可为生产工艺管理透明化、科学化提供支持，是构建智能工厂不可或缺的基础。

参考文献：

[1] 郑伟，王皓明，陆林，等. 全钢载重子午线轮胎内衬层复合气泡的改善[J]. 橡胶科技，2020，18(10)：578-581.
ZHENG W，WANG H M，LU L，et al. Solutions to reduce bubble defects in the inner liner of truck and bus radial tire[J]. Rubber Science and Technology，2020，18(10)：578-581.

[2] 沈伟. 轮胎质量一致性的管控[J]. 轮胎工业，2021，41(10)：645-650.
SHEN W. Control on tire weight consistency[J]. Tire Industry，2021，41(10)：645-650.

[3] 祝磊，韩自营，阮宇静，等. 基于机器视觉的轮胎胎面检测系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计，2018，39(6)：1782-1787.
ZHU L，HAN Z Y，RUAN Y J，et al. Design and implementation of tire tread detection system based on machine vision[J]. Computer Engineering and Design，2018，39(6)：1782-1787.

[4] 李洪烈，夏栋，王倩. 基于回归模型的采集数据清洗技术[J]. 电光与控制，2022，29(4)：117-120.
LI H L，XIA D，WANG Q. A sampled data dleaning technology based on regression model[J]. Electronics Optics & Control，2022，29(4)：117-120.

[5] 徐英豪. 轮胎胎面二复合压出线智能控制系统研究[D]. 杭州：浙江大学，2021.
XU Y H. Research on intelligent control system of tire tread two co-extrusion line[D]. Hangzhou：Zhejiang University，2021.

[6] 梁健瑶，王喜利，邓梦君，等. 基于回归分析的机车车辆用橡胶关节径向刚度检测方法[J]. 橡胶工业，2021，68(7)：538-545.
LIANG J Y，WANG X L，DENG M J，et al. Radial stiffness measuring method of rubber joint for rolling stock based on regression analysis[J]. China Rubber Industry，2021，68(7)：538-545.

[7] 王嘉恩，聂晓根. 基于改进模糊PID的挤出橡胶定量分剪系统研究[J]. 橡胶工业，2020，67(11)：861-867.
WANG J E，NIE X G. Research on weighing and shearing system of extruded rubber based on improved fuzzy PID[J]. China Rubber Industry，2020，67(11)：861-867.

[8] 胡迪锋，周向阳，刘瑛. 一种面向无模型系统的PID参数整定法[J]. 控制工程，2020，27(11)：1962-1969.
HU D F，ZHOU X Y，LIU Y. A PID parameters tuning method for model-free systems[J]. Control Engineering of China，2020，27(11)：1962-1969.

[9] 杨坤，孙晓楠，张正. 航空发动机模糊自适应PID控制系统仿真研究[J]. 自动化与仪表，2019，34(8)：90-94.
YANG K，SUN X N，ZHANG Z. Simulation research on fuzzy adaptive PID control system for aeroengine[J]. Automation & Instrumentation，2019，34(8)：90-94.

[10] 贺刚，蔡晓华，白阳，等. 基于模糊PID的犊牛代乳粉奶液温度控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报，2022，53(3)：266-276.
HE G，CAI X H，BAI Y，et al. Design and test of temperature control system of calf milk peplacer solution based on fuzzy PID[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2022，53(3)：266-276.

[11] 卞国龙，李勇，戚顺青，等. 基于卷积神经网络的轮胎X射线图像缺陷检测[J]. 轮胎工业，2019，39(4)：247-251.
BIAN G L，LI Y，QI S Q，et al. Defect detection of tire by X ray image based on convolutional neural network[J]. Tire Industry，2019，39(4)：247-251.

收稿日期：2022-12-24

Research on Intelligent Control System of Tire Inner Liner Thickness

SHEN Wei[1], *ZHONG Chenling*[2], *WANG Jinneng*[3], *ZHANG Bo*[1], *WU Bin*[1]

(1. Hangzhou Chaoyang Rubber Co., Ltd, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang ZControl Research Institute Co., Ltd, Hangzhou 310053, China; 3. Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The intelligent control system of tire inner liner thickness was studied. The response speed of inner liner thickness control was accelerated by installing a thickness detection sensor at the receiving position. The influencing factors of the inner liner thickness was analyzed, and the production process data were collected to build the regression model for inner liner thickness prediction. In addition, the fuzzy PID controller was designed, and the fuzzy control rules were used for online self-tuning of PID control parameters, realizing the intelligent control of inner liner thickness, so as to improve tire quality and reduce cost.

Key words: tire; inner liner; thickness measurement; intelligent control; regression model

专利3则

由常州朗博密封科技股份有限公司申请的专利(公布号 CN 115873334A, 公布日期 2023-03-31)“一种减震阻尼橡胶件胶料及其制备方法”, 涉及的胶料配方(用量/份)为: 乙烯丙烯酸酯橡胶 100, 乙丙橡胶 2～15, 填料(由不同粒径、不同结构度的炭黑复合而成) 20～100, 增塑剂 0～25, 活性剂(由不同表面活性剂共混组成) 1～10, 加工助剂 0.5～8, 防老剂 0.5～6, 硫化剂 0.5～5, 硫化助剂 1～6。该胶料具有加工工艺性能好以及耐－40～175 ℃高低温和耐机油的特点, 用其制备的减震阻尼橡胶件能够满足相应工况条件下高频震动阻尼和长寿命的使用要求。

由广州市白云化工实业有限公司和广东白云科技有限公司申请的专利(公布号 CN 115851213A, 公布日期 2023-03-28)“丁腈橡胶粘接用反应型聚氨酯热熔胶及其制备方法”, 涉及的聚氨酯热熔胶配方(用量/份)为: 结晶聚酯多元醇 25～45, 液体聚酯多元醇 15～25, 二聚酸改性多元醇 10～20, 异氰酸酯 10～25, 端羟基丁腈橡胶 3～8, 炭黑 0.2～2, 粘合促进剂 0.5～2, 抗氧剂1～2, 催化剂 0.01～0.2。该丁腈橡胶粘接用反应型聚氨酯热熔胶在NBR材料粘接应用中, 无需对丁腈橡胶材料进行表面处理即可获得优异的粘接强度, 可以大幅提高丁腈橡胶材料的粘接效率, 降低成本, 同时具有制备工艺简单、容易操作、易于工业化的特点。

由广东硕成科技股份有限公司申请的专利(公布号 CN 115819902A, 公布日期 2023-03-21)“一种高阻热氟橡胶材料及其应用”, 涉及的氟橡胶材料配方(用量/份)为: 氟橡胶 100, 有机硅氧烷类加工助剂 0.1～4, 空心玻璃微珠(抗压强度不低于60 MPa) 15～30, 无机填充剂(氧化镁和氢氧化钙) 8～25, 润滑剂 0.1～4。该氟橡胶材料具有优异的阻热性能, 2片0.2 cm厚的该氟橡胶材料的热阻系数达到0.040 699 $K \cdot m^2 \cdot w^{-1}$, 远大于现有阻热氟橡胶材料, 其作为缓冲垫填充料使用时在保证热阻系数大的同时, 可减小缓冲垫的厚度, 有助于在印制电路板压合过程中增加板材层数, 提高压合工艺效率。

(本刊编辑部 赵 敏)