

串联密炼机生产胶料及工艺性能研究

刘琳, 谭建良, 孙蕾

[浦林成山(山东)轮胎有限公司, 山东 荣成 264300]

摘要: 研究串联密炼机混炼高白炭黑填充的溶聚丁苯橡胶/天然橡胶/顺丁橡胶并用胎面胶的工艺和性能。结果表明, 与传统的相切型密炼机相比, 串联密炼机具有更好的温控能力, 混炼胶的Payne效应降低, 硫化胶的物理性能和动态力学性能相当, 并且在保证相同胶料性能的条件下减少混炼段数, 提高生产效率, 降低能耗。

关键词: 串联密炼机; 相切型密炼机; 恒温混炼; 白炭黑; 恒温曲线; 物理性能; 工艺性能; 生产效率

中图分类号: TQ330.4⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2023)04-0237-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.04.0237



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

自从德国Werner & Pfleiderer公司于1879年发明第1台密炼机至1916年英国工程师Banbury发明由压砣、下落式卸料门与混炼室构成的密炼机, 使橡胶、炭黑和助剂能在一个特定的全封闭机械空间内混炼。到1934年开始使用啮合型密炼机, 工程师们又对密炼机的转子类型、电动机、液压系统、冷却系统、密封装置和压砣的压力调控技术等进行了改进和完善, 使配合剂漏出减少、操作安全、劳动强度减轻、生产效率提高, 产品质量与工作环境得到改善。至今为止, 橡胶混炼加工理论没有出现革命性的突破。目前仍以相切型密炼机和啮合型密炼机为橡胶工业制备胶料的主要设备, 其地位尚不可动摇^[1-3]。

本工作对串联密炼机的工艺性能进行对比研究。串联密炼机一般由一小一大规格的啮合型密炼机上下串接在一起。例如GE420/GE800T型密炼机, GE420型密炼机在上方, 带压砣, GE800T型密炼机在下方, 不带压砣, 而是带一个接料槽。上方的密炼机用于胶料的变温及恒温混炼, 下方的密炼机具有分布混炼功能、良好的温度控制性能以及优化的通风、冷却及快速排料功能, 主要用于恒温混炼。由于串联式密炼机采用现场在线控制, 因此减少了人为因素的影响, 可提高混炼质量

的稳定性, 与相切型密炼机相比, 串联技术的使用可免除中间混炼母料储存及供应环节, 混炼能够一段完成, 生产效率提高, 节约电能, 减少厂房和设备投资。

1 实验

1.1 原材料

溶聚丁苯橡胶(SSBR), LG化学公司产品; 天然橡胶(NR), 越南产品; 顺丁橡胶(BR), 浩普科技有限公司产品; 高分散性白炭黑, 确成硅化学股份有限公司产品; 炭黑, 山西三强新能源科技有限公司产品。

1.2 配方

生产配方: SSBR 70.63, BR 31.63, NR 17, 高分散性白炭黑 68, 炭黑 10, 硅烷偶联剂 6, 环保油 1, 氧化锌 2.5, 硬脂酸 1.5, 防老剂 4.5, 硫黄和促进剂 5.5, 其他 12.5。

1.3 主要设备和仪器

GE420/GE800T型密炼机和GK400N型密炼机, 益阳橡胶塑料机械集团有限公司产品; F270N型密炼机, 大连橡胶塑料机械股份有限公司产品; MDR3000型无转子硫化仪和RPA2000橡胶加工分析(RPA)仪, 德国蒙泰克中国贸易有限公司产品; MV2000型门尼粘度仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; VR-7130型动态热机械分析(DMA)仪, 日本上岛制作所产品; INSTRON 3365型拉力机, 美国英斯特朗(上海)实验设备贸易有限公司产品; GT-

作者简介: 刘琳(1978—), 男, 浙江杭州人, 浦林成山(山东)轮胎有限公司工程师, 学士, 主要从事轮胎配方设计和工艺研究工作。

E-mail: 632030279@qq.com

7012-D型磨耗试验机和GT-7042-RE型弹性试验机,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品。

1.4 混炼工艺

(1) 方案1使用GE420/GE800T型串联密炼机。

上密炼机转子转速为变转速 $6\sim 55\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.65,混炼工艺为:加生胶、小料和粉料,压压砣30 s,加油和硅烷偶联剂,压压砣25 s,提压砣,压压砣到工艺要求温度保温,提压砣,压压砣到工艺要求温度排胶。

下密炼机转子转速为变转速 $10\sim 45\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.75,混炼工艺为:加上密炼机混炼胶料,压压砣25 s,提压砣,压压砣到工艺要求温度保温,排胶。

(2) 方案2使用GK400N型相切型密炼机。

一段混炼转子转速为变转速 $12\sim 55\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.75,混炼工艺为:加生胶,压压砣30 s,加部分粉料和小料,压压砣30 s,加油,压压砣到工艺要求温度,提压砣,保温,排胶。

二段混炼转子转速为变转速 $8\sim 35\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.75,混炼工艺为:加一段混炼胶、剩余粉料,压压砣20 s,提压砣,压压砣到工艺要求温度,提压砣,保温,排胶。

三段混炼转子转速为变转速 $8\sim 30\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.75,混炼工艺为:加二段混炼胶,压压砣30 s,提压砣,压压砣到工艺要求温度,提压砣,保温,排胶。

(3) 方案1和方案2终炼都使用F270N型密炼机,转子转速为变转速 $15\sim 30\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.75,采用相同混炼工艺:加混炼母胶、硫黄和促进剂,压压砣15 s,提压砣,压压砣20 s,提压砣,压压砣20 s,提压砣,压压砣20 s,排胶。

1.5 性能测试

(1) Payne效应。采用RPA仪测试,首先加热30 s,保持60 s,对应温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后在频率1 Hz下进行应变(1%~100%)扫描3 min。

(2) 加工性能。采用MV2000型门尼粘度仪进行测试,门尼粘度测试温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,焦烧时间测试温度为 $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 硫化特性。采用MDR3000型无转子硫化

仪进行测试,测试温度为 $161\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 物理性能。按照相应国家标准进行测试,硫化条件为 $161\text{ }^{\circ}\text{C}\times 20\text{ min}$ 。

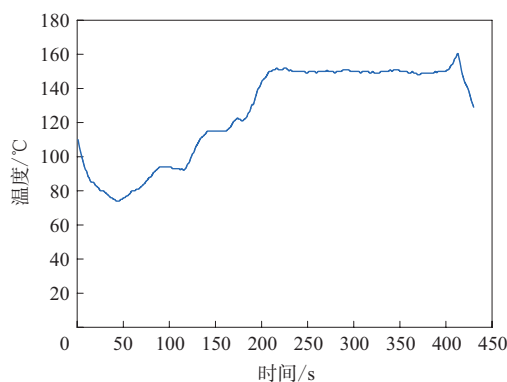
(5) 动态力学性能。采用VR-7310型DMA仪进行温度扫描,测试条件为:温度 $-60\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,应变 1%~0.25%,频率 10 Hz,硫化条件为 $161\text{ }^{\circ}\text{C}\times 20\text{ min}$ 。

2 结果与讨论

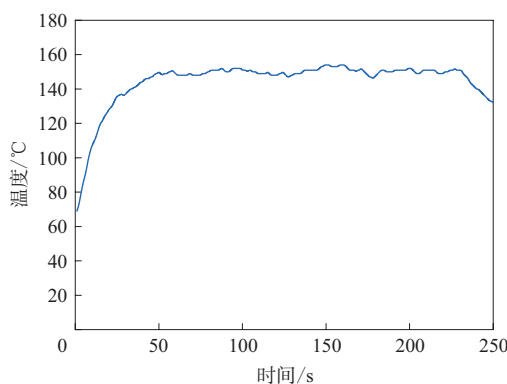
2.1 恒温混炼工艺对比

GE420/GE800T型串联密炼机上、下密炼机与GK400N型密炼机各段的温度控制曲线如图1和2所示。

从图1和2可以看出:串联密炼机的上密炼机恒温温度控制要好于下密炼机;串联密炼机的恒温温度控制要好于相切型密炼机。恒温过程中良好的温度控制有利于胶料硅烷化反应程度的控制。

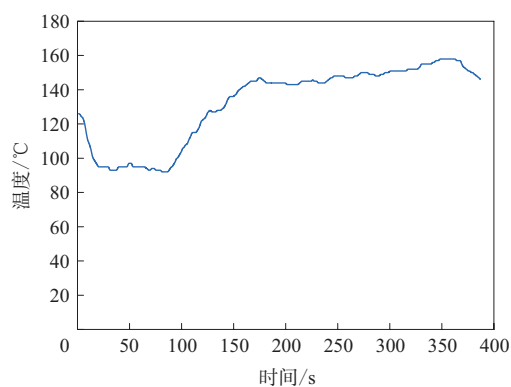


(a) 上密炼机

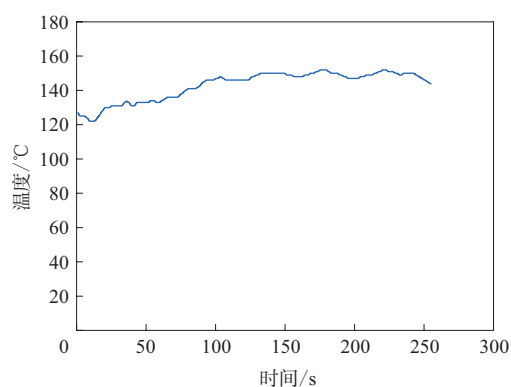


(b) 下密炼机

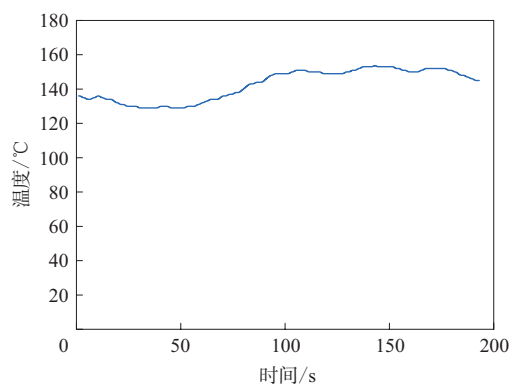
图1 GE420/GE800T型串联密炼机的混炼温度控制曲线



(a)一段混炼



(b)二段混炼



(c)三段混炼

图2 GK400N型密炼机的混炼温度控制曲线

2.2 Payne效应

Payne效应表征胶料中填料-填料网络结构的相互作用效果,在循环应力或形变扫描作用下,填料网络的破坏方式及填料与外部反应程度直接表征填料的分散程度,在扫描过程中打破填料间的相互作用,胶料的剪切模量降低,即产生Payne效应^[4-7]。填料分散程度越好,胶料的Payne效应越低。

采用RPA仪所测混炼母胶的剪切储能模量(G')如表1所示,表中1[#]和2[#]为同一批次的不同车次胶料(下同)。

表1 混炼母胶的Payne效应

项 目	方案1		方案2	
	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]
G'/kPa				
应变/%				
1	586.1	587.1	660.0	638.6
2	500.5	500.9	555.0	536.8
3	446.3	448.7	487.7	474.0
5	387.5	389.2	416.5	405.9
10	320.3	321.4	338.9	332.2
20	260.7	262.1	273.5	270.3
30	224.3	225.2	234.3	232.9
50	179.8	180.1	187.4	186.5
100	115.9	116.6	120.6	120.4
$\Delta G'/\text{kPa}$	470.18	470.51	539.43	518.22

从表1可以看出,使用串联密炼机的方案1混炼母胶的Payne效应明显低于使用相切型密炼机的方案2混炼母胶,说明方案1混炼母胶白炭黑的分散程度好于方案2混炼母胶。

2.3 加工性能

对终炼胶的门尼粘度和门尼焦烧时间进行测试,结果如表2所示。

表2 终炼胶的加工性能

项 目	方案1		方案2	
	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]
门尼粘度[ML(1+4) 100 °C]	57	58	58	58
门尼焦烧时间 t_5 (127 °C)/min	22.05	21.34	20.87	20.74

从表2可以看出:方案1和方案2终炼胶的门尼粘度相当;方案1终炼胶的门尼焦烧时间略长于方案2终炼胶。

2.4 硫化特性

对终炼胶的硫化特性进行测试,温度为161 °C,测试结果如表3所示。

从表3可以看出,方案1和方案2终炼胶的 F_L 和 $F_{\max}$ 相当,但方案1终炼胶的硫化速度(t_{90} 和 t_{95})慢于方案2终炼胶。

2.5 物理性能

对硫化胶的物理性能进行测试,结果如表4所示。

从表4可以看出,与方案2硫化胶相比,方案1

表3 终炼胶的硫化特性

项 目	方案1		方案2	
	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]
$F_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$	1.60	1.64	1.66	1.62
$F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	13.80	13.93	14.43	13.45
t_{s1}/min	2.20	2.20	1.97	2.13
t_{s2}/min	2.52	2.55	2.33	2.55
t_{10}/min	2.30	2.32	2.11	2.24
t_{30}/min	2.80	2.85	2.64	2.89
t_{60}/min	3.62	3.68	3.37	3.78
t_{90}/min	8.02	8.11	6.93	7.88
t_{95}/min	10.67	10.96	9.75	10.79

表4 硫化胶的物理性能

项 目	方案1		方案2	
	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]
邵尔A型硬度/度	65	65	64	63
100%定伸应力/MPa	2.1	2.1	2.0	2.0
300%定伸应力/MPa	8.6	8.4	8.2	8.3
拉伸强度/MPa	16.5	18.5	17.5	18.9
拉断伸长率/%	502	560	536	566
回弹值/%	25	26	25	27
DIN磨耗量/ mm^3	109	107	107	101
DIN磨耗指数/%	136	140	140	147
撕裂强度(直角形)/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	38	45	48	42

硫化胶的硬度略大,拉伸强度和拉断伸长率略小。总体来看,方案1与方案2硫化胶的物理性能相当,均符合国家标准要求。

2.6 动态力学性能

动态力学性能表征胶料在特定形变下的能量损耗。损耗因子($\tan\delta$)用以预测胶料的滚动阻力及抓着性能,通常情况下0℃时的 $\tan\delta$ 可用以表征胶料的抗湿滑性能, $\tan\delta$ 越大抗湿滑性越好;30℃时的 $\tan\delta$ 可用以表征胶料的干地抓着性能, $\tan\delta$ 越大干地抓着性能越好;60℃时的 $\tan\delta$ 可用以表征滚动阻力, $\tan\delta$ 越小滚动阻力越小^[8-10]。硫化胶的动态力学性能测试结果如表5所示,其中 E' 为拉伸弹性模量, T_g 为玻璃化温度。

从表5可以看出:方案1和方案2硫化胶0℃时的 $\tan\delta$ 相当;方案1硫化胶30和60℃时的 $\tan\delta$ 都略高于方案2硫化胶;方案1硫化胶的 E' 均大于方案2硫化胶;方案1和方案2硫化胶的动态力学性能均符合要求。

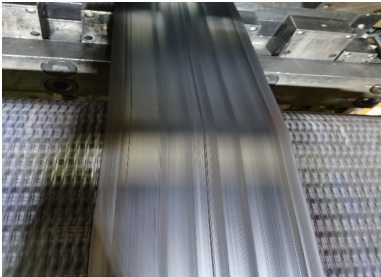
2.7 挤出工艺性能

胎面挤出采用三复合挤出机,两方案胎面挤

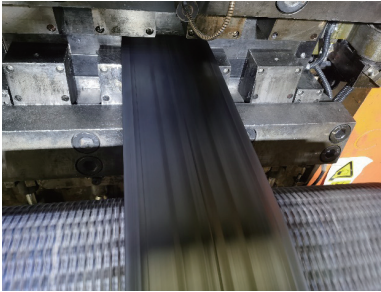
表5 硫化胶的动态力学性能

项 目	方案1		方案2	
	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]
$\tan\delta$				
0℃	0.282	0.281	0.288	0.274
30℃	0.189	0.187	0.182	0.178
60℃	0.153	0.152	0.144	0.143
E'/MPa				
0℃	40.914	43.101	38.553	38.008
30℃	23.264	24.871	21.859	21.674
60℃	14.528	15.752	14.249	14.177
$T_g/^\circ\text{C}$	-21.8	-21.8	-21.8	-21.8

出状况如图3所示。



(a) 方案1



(b) 方案2

图3 两方案胎面挤出状况

从图3可以看出,方案1和方案2胎面挤出表面光滑,尺寸合格,两者无明显差异,都满足挤出工艺要求。

2.8 成型工艺性能

成型采用VMI EXXIUM型成型机,两方案成型胎面接头状况如图4所示。

从图4可以看出,方案1和方案2轮胎成型时,胎面接头完好,两者无明显差异,都符合成型工艺要求。

3 结论

与传统的相切型密炼机相比,串联密炼机在



(a) 方案1



(b) 方案2

图4 两方案成型胎面接头状况

混炼过程中有更好的恒温控制,有利于硅烷化反应程度的控制;混炼胶的Payne效应降低,填料的分散性提高;在保持相同性能的条件下,减少了混炼段数,避免中间混炼母炼胶储存和供应环节,可提高生产效率,降低能耗。

串联密炼机适合原多段混炼和白炭黑用量高的配方,能更好地发挥其高效节能的优势。

参考文献:

- [1] 汪传生,牛广智,马亚标,等. XLH-150型连续混炼工业化机台的混炼工艺参数对胶料性能的影响[J]. 橡胶工业,2022,69(4):243-248.
- [2] 程远升,韩锦文,李刚. 320啮合型密炼机主机改造和置换[J]. 橡塑技术与装备,2020,46(17):23-26.
- [3] FRANK J B,QUENTIN H,赵冬梅. 相切型和啮合型密炼机混炼技

术研究进展[J]. 轮胎工业,2015,35(8):457-464.

- [4] 刘涛,陈亚薇,刘东,等. 填充橡胶的Payne效应[J]. 特种橡胶制品,2015,36(6):76-81.
- [5] 徐建,徐向荣,杨欣霖,等. 微波修饰工艺对磁性丁苯橡胶Payne效应及其性能的影响[J]. 橡胶工业,2022,69(5):323-329.
- [6] 何瑞芝. 炭黑填充天然橡胶的Payne效应及黏滞损耗研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2020.
- [7] 罗文波,尹博渊,胡小玲,等. 填充橡胶Payne效应的温度相关性[C]. 2018年全国固体力学学术会议摘要集(下). 哈尔滨:中国力学学会,2018:556.
- [8] 赵菲,黄琪伟,高洪娜,等. 绿色轮胎原材料研究进展[J]. 科学通报,2016,61(31):3348-3358.
- [9] 胡德斌,王剑波,李磊. 轮胎滚动阻力与花纹特性的相关性研究[J]. 轮胎工业,2022,42(5):272-276.
- [10] 包崇美. 绿色轮胎滚动阻力性能分析及影响因素研究[D]. 长春:吉林大学,2020.

收稿日期:2022-12-14

Study on Technological Performance and Compound Property of Tandem Mixer

LIU Lin, TAN Jianliang, SUN Lei

[Prinx Chengshan (Shandong) Co., Ltd, Rongcheng 264300, China]

Abstract: The mixing process and properties of solution polymerized styrene butadiene rubber/natural rubber/cis-1, 4-polybutadiene rubber tread compound filled with high dosage of silica in a tandem mixer were studied. The results showed that compared with the traditional tangential-type mixer, the tandem mixer had better temperature control ability, the Payne effect of the mixed rubber was reduced, the physical properties and dynamic mechanical properties of the vulcanizate were equivalent, the number of mixing stages was reduced under the condition of ensuring the same compound properties, the production efficiency was improved, and the energy consumption was reduced.

Key words: tandem mixer; tangential-type mixer; constant temperature mixing; silica; constant temperature curve; physical property; processing performance; production efficiency