

串联式混炼工艺对不同用量白炭黑配方胶料的适应性研究

边慧光, 汪传生, 李月春, 徐小林

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:介绍串联式混炼设备中下游啮合型转子和共流型转子的连续混炼特点, 进行两种转子类型在不同白炭黑用量下的胶料混炼试验。分析对比试验数据, 获得了串联式混炼不同下游转子类型对白炭黑用量变化的适应性, 以及白炭黑用量对能耗、功率和混炼胶物理性能的影响。

关键词:串联式混炼; 啮合型转子; 共流型转子; 白炭黑

中图分类号:TQ330.4⁺3 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2016)12-0751-05

串联式混炼工艺在传统混炼工艺的基础上发展而来, 具有高效、节能、低温的特点^[1-2]。在串联密炼过程中, 混合物自上游密炼机被直接排到下游容积较大的密炼机中, 混炼在上游设备和下游设备中同时进行。串联式密炼机的性能主要依赖于整体的连续性、各自的分工、上游密炼机良好的分散性、下游密炼机良好的冷却效能、胶料的分布性能和吃料能力^[3]。上密炼机要求采用高分散转子, 下密炼机要求采用快速吃料型低温转子。

在配方的研制方面, 白炭黑具有降低轮胎滚动阻力、增强干湿路面的抓着力等特性^[4-5], 主要由含有二氧化硅的矿石、泥土等加工制成, 较为经济环保, 在轮胎胎面胶配方设计上的用量大大提高, 但其用量对混炼胶物理性能的影响差异较大。

白炭黑胶料混炼工艺存在炼胶时分散困难、生热量大、硅烷化反应迅速而温度敏感和混炼胶温度高易产生凝胶等技术难题, 串联式混炼工艺和串联式密炼机已成为混炼白炭黑胶料的最佳选择。

本工作通过试验研究, 分析不同串联式混炼工艺下的能耗、功率及混炼胶的物理性能和下游转子类型对不同白炭黑用量的适应性。

1 下游转子的混炼特点

1.1 啮合型转子

啮合型密炼机转子的混炼作用与剪切型密炼机转子不同, 啮合型转子的炼胶作用主要发生在两个相对啮合的圆筒形转子之间, 此处胶料承受的剪切和捏炼作用最大, 其混炼示意如图1所示。

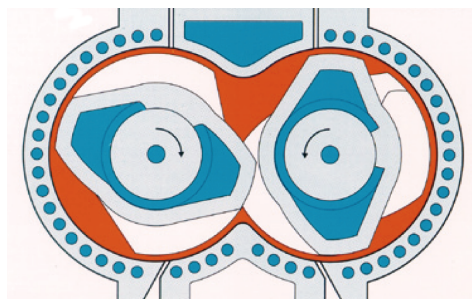


图1 下游啮合型转子混炼示意

图2所示为新型啮合型转子实物。啮合型转子以等大异向的速度运转, 转子的凸棱表面与



图2 新型啮合型转子实物

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50775116)

作者简介:边慧光(1982—), 男, 山东菏泽人, 青岛科技大学副教授, 博士, 主要从事高分子材料加工技术与装备的研究工作。

配合转子的基圆表面进行啮合,凸棱表面的线速度大于基圆表面的线速度,此速度梯度可以对胶料产生高剪切分散混炼效果^[6-7];此外,凸棱外表面面对胶料的挤压作用同样可以对胶料产生捏炼作用,使胶料层更好地与转子表面接触,提升换热效率,这种高剪切及胶料的薄化作用可有效增加胶料产生的热量向冷却水道流动。转子上凸棱的螺旋结构可使胶料沿轴向反复流动,新的结构可以改善胶料在棱顶和混炼腔壁上的剪切流动,这种结构变化不仅可以增加密炼机的净腔体积,而且可在凸棱与密炼机混炼腔侧壁之间产生额外的分散混炼。对转子的凸棱温度控制进行优化,在转子体内设置复杂的冷却流道,可以提高这种独特转子结构的热传递能力^[8]。

1.2 共流型转子

新型共流型转子综合了剪切型转子的强剪切效果和啮合型转子的分布混炼作用。其截面形状为传统剪切型转子形状,中心距比传统剪切型转子小,两转子凸棱可以互相啮合,结构如图3所示。

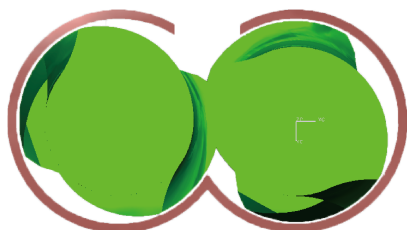


图3 新型共流型转子结构示意图

新型共流型转子实物如图4所示。新型共流型转子棱峰与密炼腔壁之间存在强烈撕拉、剪切和挤压作用,与传统剪切型转子相似,但其棱峰宽度相对较小,因此剪切和撕裂作用更强^[9]。共流型转子横截面形状采用“S”结构,炼胶时,受力面圆弧半径小于背面圆弧半径,比前后弧面半径相同



图4 新型共流型转子实物

的转子具有更强的挤压和滚压作用,更有利于胶料的剪切和分散,不仅能够快速吃料,而且使转子凸棱棱峰处产生更大的挤压和剪切应力,从而提高转子对胶料的剪切和分散能力。

2 实验

2.1 配方

试验采用的全钢载重子午线轮胎胎面胶配方为:天然橡胶(NR) 100,炭黑N234 38.5,氧化锌 3.5,硬脂酸 2,增塑剂A 2,偶联剂Si69 3,防老剂RD 1.5,防老剂4020 2,微晶蜡 1,防焦剂CTP 0.3,硫黄 1,促进剂NS 1.25,白炭黑175 变量。

2.2 主要设备和仪器

X(S)MT0.5-1型串联式密炼机和XK-160型开炼机,青岛科技大学产品;QLB-400×400×2平板硫化机,青岛亚东橡胶机械厂产品;RPA2000型橡胶加工分析仪和Disper Grader型炭黑分散仪,美国阿尔法科技有限公司产品;UM-2050型门尼粘度仪和TS2005b型万能试验机,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;LX-A型橡胶硬度计,上海轻工实验厂产品。

2.3 工艺参数

密炼机填充因数为0.7,上冷却水温度为60℃,上转子转速 $90\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,压砷压力为0.9 MPa,下冷却水温度为50℃,下转子转速为 $90\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;上密炼时间为200 s,下密炼时间为220 s。硫化条件:150℃/150 MPa× t_{90} 。胶料停放12 h后进行性能测试。

3 结果与讨论

进行下游啮合型转子和共流型转子的混炼试验,每个试验胶料中分别添加36,55,73,91份的白炭黑。测定门尼粘度[ML(1+4)100℃]、分散度、邵尔A型硬度、拉伸强度、撕裂强度、DIN磨耗量、低应变剪切模量、下密炼机单位能耗和总单位能耗,并对比分析试验数据,得出不同转子类型对白炭黑混炼的适应性。

3.1 下游啮合型转子作用与白炭黑用量的相关性

采用下游啮合型转子时白炭黑用量对混炼效果影响的试验数据见表1。

表1 采用下游啮合型转子时白炭黑用量对混炼效果的影响

项 目	白炭黑用量/份			
	36	55	73	91
门尼粘度	61	55	57	63
白炭黑分散度/级	6.9	6.4	5.9	6.0
炭黑分散度/级	4.67	4.57	3.87	3.20
邵尔A型硬度/度	56	51	54	54
拉伸强度/MPa	23.44	20.01	20.27	23.51
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	209	175	230	242
DIN磨耗量/mm ³	25	27	29	28
低应变剪切模量/MPa	2 161.33	1 745.63	1 713.03	1 809.35
高应变剪切模量/MPa	284.99	284.99	282.27	260.21
能耗/[(kW·h)·kg ⁻¹]				
上密炼机	0.18	0.16	0.16	0.17
下密炼机	0.16	0.17	0.16	0.16
合计	0.34	0.33	0.31	0.32

从表1可以看出,随着白炭黑用量的增大,胶料的门尼粘度呈先减小后增大的趋势。在炭黑用量较大的情况下,胶料的混炼强度使得其门尼粘度值停留在一定的程度上,这个情况和白炭黑用量较大的情况一致,但是对于采用下游啮合型转子的串联式混炼装备,在白炭黑和炭黑比例适当时混炼强度最高,门尼粘度最小。

随着白炭黑用量的增大,胶料的拉伸强度呈先减小后增大的趋势。开始炭黑补强效果明显,后期随着白炭黑用量的增大,白炭黑的补强效果也开始逐步增强,而且呈现更好的趋势。

白炭黑的分散度随着其填充量的增大逐渐变差,白炭黑用量越大,其分散的难度也越大;DIN磨耗量随着白炭黑填充量的增大经历了一个最差值,后期其耐磨性能凸显;撕裂强度经历了最差值后迅速上升,抗撕裂能力迅速提升;低应变下的剪切模量在炭黑或者白炭黑过多的情况下都不具有最佳值,随着白炭黑用量的增大,设备对填料间的相互作用恢复到较好的水平;高应变下的剪切模量具有最佳值,其值随着白炭黑用量超过50份以后才开始下降;整体单位能耗随着白炭黑用量的增大先减小后增大,其最佳值出现在白炭黑用量70份左右,其中下游啮合型转子炼胶的单位能耗随着白炭黑用量的增大持续下降。

白炭黑用量与下游啮合串联式混炼效果的相关性分析见表2。其中白炭黑用量的变化与白炭黑分散度的相关性达到0.9以上,说明设备对于不同白炭黑用量的试验配方在白炭黑分散度指标上

表2 白炭黑用量与下游啮合串联式混炼效果相关性分析

项 目	Pearson相关性	显著性(双侧)
门尼粘度	0.298	0.702
白炭黑分散度	-0.909	0.091
邵尔A型硬度	-0.359	0.641
拉伸强度	0.03	0.97
撕裂强度	0.671	0.329
DIN磨耗量	0.699	0.301
低应变剪切模量	-0.68	0.32
高应变剪切模量	-0.829	0.171
上密炼机单位能耗	-0.552	0.448
下密炼机单位能耗	-0.876	0.124
总单位能耗	-0.797	0.203

可能会有较大差异,分散度指标的敏感度很高。

3.2 下游共流型转子作用与白炭黑用量的相关性

采用下游共流型转子时白炭黑用量对混炼效果影响的试验数据见表3。

表3 采用下游共流型转子时白炭黑用量对混炼效果的影响

项 目	白炭黑用量/份			
	36	55	73	91
门尼粘度	50	54	58	60
白炭黑分散度/级	8.4	6.5	7.2	6.7
炭黑分散度/级	5.60	5.25	5.15	4.77
邵尔A型硬度/度	52	50	50	50
100%定伸应力/MPa	1.23	1.07	1.20	1.09
200%定伸应力/MPa	4.94	3.95	4.18	3.38
拉伸强度/MPa	22.13	21.48	19.75	19.61
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	225	269	144	224
DIN磨耗量/mm ³	24	24	34	31
低应变剪切模量/MPa	1 943.8	1 708.2	1 899.6	2 224.7
高应变剪切模量/MPa	291.7	447.7	267.5	253.2
能耗/[(kW·h)·kg ⁻¹]				
上密炼机	0.19	0.18	0.17	0.20
下密炼机	0.18	0.17	0.14	0.14
合计	0.37	0.35	0.32	0.34

从表3可以看出,随着白炭黑用量的增大,胶料的门尼粘度呈线性增大。采用共流型转子的下游串联式混炼装备对于白炭黑用量较高时的混炼强度不佳,门尼粘度较大。

胶料的拉伸强度呈线性减小的趋势,开始炭黑补强效果明显,后期随着白炭黑用量的增大,白炭黑的补强效果没有发挥出来。

白炭黑分散度随着其填充量的增大逐渐变差,白炭黑用量越大其分散的难度也越大;DIN磨耗量随着白炭黑填充量的增大经历了一个最差

值,后期其耐磨能力凸显;撕裂强度经历了最差值后迅速上升,抗撕裂能力提高迅速;低应变下的剪切模量在炭黑或者白炭黑过多的情况下都不具有最佳值,随着白炭黑用量的增大,设备对填料间的相互作用恢复到相对较差的水平;高应变下的剪切模量具有最佳值,其值随着白炭黑用量超过50份以后才开始下降;整体单位能耗随着白炭黑填充量的增大先减小后增大,下游共流型转子炼胶的单位能耗随着白炭黑用量的增大持续下降。

白炭黑用量与下游共流串联式混炼效果的相关性分析见表4。其中白炭黑用量的变化与门尼粘度、200%定伸应力和拉伸强度有显著相关性,说明设备对于不同白炭黑用量的试验配方在门尼粘度和拉伸强度指标上可能会有较大差异,适应性较下游啮合型转子差。

表4 白炭黑用量与下游共流串联式混炼效果相关性分析

项 目	Pearson相关性	显著性(双侧)
门尼粘度	0.981*	0.019
白炭黑分散度	-0.667	0.333
炭黑分散度	0.626	0.374
邵尔A型硬度	0.127	0.873
100%定伸应力	-0.890	0.110
200%定伸应力	-0.979*	0.021
拉伸强度	-0.954*	0.046
撕裂强度	-0.316	0.684
DIN磨耗量	0.759	0.241
低应变剪切模量	-0.424	0.576
高应变剪切模量	-0.775	0.225
上密炼机单位能耗	-0.959*	0.041
下密炼机单位能耗	-0.689	0.311
总单位能耗	-0.505	0.495

注: *在0.05水平(双侧)上显著相关。

3.3 两种下游转子对白炭黑用量的适应性对比

不同白炭黑用量下两种混炼设备混炼胶料的门尼粘度、白炭黑分散度、拉伸强度、剪切模量和单位能耗对比如图5—9所示。

由图5—9可以看出:不同混炼设备对不同白炭黑用量的适应性不同。共流型转子构型的白炭黑分散度较高,但其波动性较大,整体情况优于啮合型转子;啮合型转子构型可实现高填充白炭黑配方的显著补强效果,明显优于共流型转子构型;共流型转子对于胶料门尼粘度的降低效果优于啮

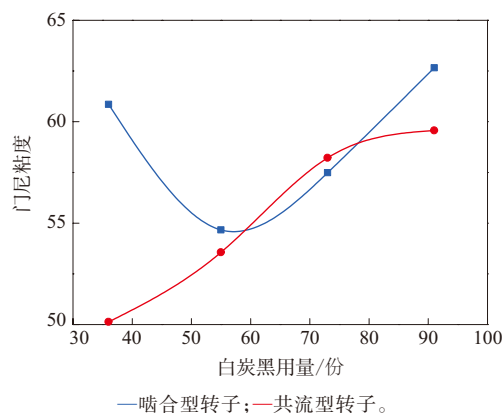


图5 白炭黑用量对胶料门尼粘度的影响

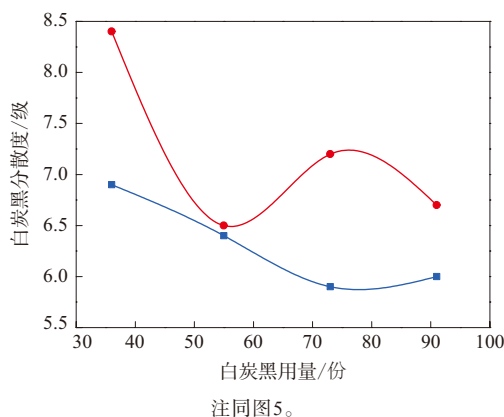


图6 白炭黑用量对白炭黑分散度的影响

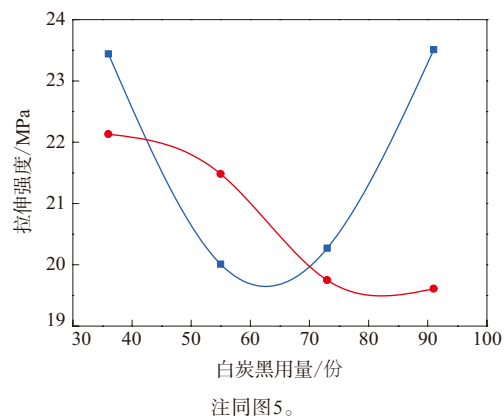


图7 白炭黑用量对胶料拉伸强度的影响

合型转子,强剪切作用十分强烈;混炼时间相同的情况下,无论白炭黑用量高或低,共流型转子的单位能耗均高于啮合型转子;啮合型转子在炭黑用量较大的情况下对填料的作用水平比共流型转子差,随着白炭黑用量的增大,转子对填料的作用效果优于共流型转子,拉伸作用起到很高的微观结合效果。

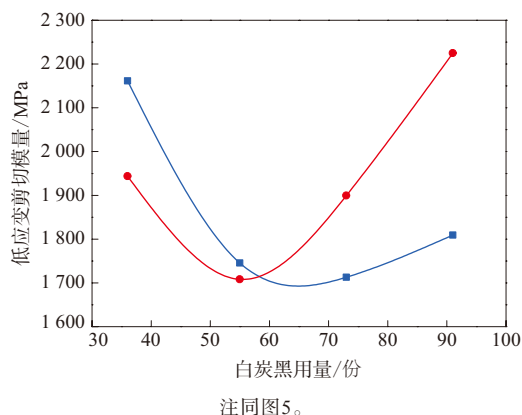


图8 白炭黑用量对低应变剪切模量的影响

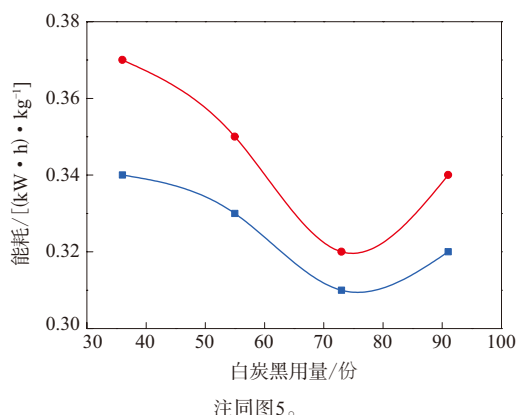


图9 白炭黑用量对能耗的影响

4 结语

通过试验对比分析了采用下游啮合型转子和共流型转子时白炭黑用量对混炼过程及混炼胶物理性能的影响,并获得了以下结论。

(1)随着白炭黑用量的增大,下游啮合型转子对填料的剪切作用效果、补强效果、设备单位能耗的作用优于共流型转子;而在白炭黑分散度、对胶料混炼的强度方面,共流型转子优于啮合型转子。

(2)下游啮合型转子串联式混炼对白炭黑分散度指标灵敏度较高,白炭黑用量的变化与白炭

黑分散度的相关性达到了0.9以上;下游共流型转子串联式混炼在门尼和拉伸强度指标上适应性较差,白炭黑用量的变化与门尼粘度、200%定伸应力和拉伸强度有显著相关性。

(3)采用下游啮合型转子串联式混炼时,随着白炭黑用量的增大,门尼粘度、白炭黑分散度、邵尔A型硬度、拉伸强度、撕裂强度、低应变剪切模量、上密炼机单位能耗、总单位能耗均呈现先下降后上升的趋势,DIN磨耗量先上升后下降,而下密炼机的单位能耗持续下降。

(4)采用下游共流型转子串联式混炼时,随着白炭黑用量的增大,门尼粘度呈线性增大,白炭黑分散度、100%定伸应力和200%定伸应力呈现先下降后上升再下降的趋势,撕裂强度呈先上升后下降再上升的趋势,炭黑分散度、拉伸强度、下密炼机单位能耗持续下降,邵尔A型硬度趋于不变,DIN磨耗量先上升后下降,低应变下的剪切模量、上密炼机单位能耗、总单位能耗呈先降后升的趋势。

参考文献:

- [1] Johnson F. 串联式炼胶法[J]. 任大卫译,艾卫民校. 橡胶技术与装备,1993(4):18-21.
- [2] 王进文. 混炼技术进展[J]. 世界橡胶工业,2009,36(5):34-39.
- [3] 姜基师. 啮合型实验密炼机的研制[D]. 青岛:青岛科技大学,2011.
- [4] 陈坤,吴驰飞. 混炼工艺对白炭黑补强NR/BR并用胶性能的影响[J]. 橡胶工业,2009,56(1):29-32.
- [5] 吴淑华,涂学忠,单东杰. 白炭黑在橡胶工业中的应用[J]. 橡胶工业,2002,49(7):428-433.
- [6] 汪传生. 同步转子密炼机混炼橡胶的理论和实验研究[D]. 北京:北京化工大学,2000.
- [7] 罗兵. 新型连续混炼机转子几何造型及混炼机理的研究[D]. 北京:北京化工大学,2003.
- [8] Borzenski Frank. Advancements in Mixing Technologies[J]. Rubber World,2007,235(4):20-21.
- [9] 毕莲英. 密炼机转子棱峰的宽度对炼胶效率和胶料质量的影响[J]. 世界橡胶工业,2004,32(1):27-29.

收稿日期:2016-06-19

一种汽车降噪橡胶

中图分类号:TQ336.5 文献标志码:D

由青岛承天伟业机械制造有限公司申请的专利(公开号 CN 104804244A,公开日期 2015-07-29)“一种汽车降噪橡胶”,涉及的橡胶材料配方为:丁腈橡胶 15~23,丁苯橡胶 15~23,

氯磺化聚乙烯橡胶 4~6,喷雾炭黑 9~14,白炭黑 4~7,碳酸钙 2~6,氧化镁 1~4,硬脂酸 1~4,防雾剂 2~5,石蜡 3~6,烯丙醇 2~7,增塑剂 3~9,硫化剂 2~4,促进剂ZBEC 3~5。该橡胶材料能够很好地降低轮胎噪声。

(本刊编辑部 赵敏)