

BB430型密炼机混炼工艺的研究

孙茂忠^{1,2}, 郑 昆², 刘华侨², 袁金琪², 杨京辉²

[1. 青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042; 2. 特拓(青岛)轮胎技术有限公司, 山东 青岛 266061]

摘要: 试验研究BB430型密炼机混炼工艺对混炼效果的影响。结果表明, 与传统混炼工艺相比, 使用胶药炭同投或胶药炭油同投配以 $50\sim 60\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的高转速混炼工艺混炼的胶料物理性能相当或较优, 分散性和加工性能较高, 同时生产效率提高 $20\%\sim 27\%$ 。

关键词: 密炼机; 6WI转子; 混炼工艺; 物理性能; 加工性能

中图分类号: TQ330.6⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2018)00-0000-05

自从1916年出现班伯里密炼机以来, 橡胶密炼技术发展很快, 已成为世界橡胶制品大规模生产的主要手段。受到国际原材料涨价、国内人力短缺及节能环保等条件的制约, 提产增效降本已经成为行业的迫切需求^[1]。橡胶制品生产企业需要更高速、高效的密炼设备及与其相适应的工艺, 因此高速密炼工艺应运而生。近年来, 国际上高速乃至超高速密炼技术已经逐步投入使用。普利司通和固特异等知名轮胎公司已经广泛应用 60 (甚至 80) $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的高速密炼工艺。这种密炼工艺多建立在神户制钢公司BB系列密炼机硬件平台及其独特的6WI转子组合的基础上。

目前国内母炼胶混炼主流工艺为 $40\sim 50\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的中等速度的传统混炼工艺。传统混炼工艺刻意强调低温下的长时间混炼。现代密炼理论认为, 胶料的品质与能量投入的累积有直接关系。而相同能量的投入, 既可以通过低温长时间也可以通过高温短时间实现。本工作依托BB430型密炼机, 通过3组不同配方体系胶料分别采用胶药炭同投和胶药炭油同投的高转速混炼工艺($50\sim 60\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)与传统混炼工艺(中速长时间混炼)进行母炼胶混炼对比, 考察混炼胶的均匀性、物理性能和加工性能, 寻求适用于BB430型密炼机的最优工艺。

作者简介: 孙茂忠(1980—), 男, 山东青岛人, 青岛科技大学在职硕士研究生, 特拓(青岛)轮胎技术有限公司工程师, 主要从事轮胎生产技术支持工作。

E-mail: maozhong_sun@tta-solution.com

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), STR20, 泰国联谊公司产品。
顺丁橡胶(BR), 牌号9000; 丁苯橡胶(SBR), 牌号1502, 中国石化齐鲁石油化工公司产品。炭黑N375, N550, N660, 江西黑猫炭黑有限公司产品。环保油, 牌号V500, 德国汉圣公司产品。

1.2 主要设备和仪器

BB430型密炼机, 日本神户制钢公司产品;
RPA2000橡胶加工分析仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; 门尼粘度仪、流变仪、拉力试验机, 高铁检测设备公司产品。

BB430型密炼机的6WI转子具有如下特性^[2]。

(1) 六棱结构, 六棱呈 120° 分布, 胶料旋转一周可以实现3次剪切。其中, 中级棱具有很好的分散分配功能。

(2) 采用可变间隙工艺技术(VCMT), 强调短时间内对聚合物有效的分散分配。VCMT技术是指转子的长棱和短棱在轴向和径向的转动中, 利用分布在长棱和短棱上的剪切阶梯、辅助剪切隔离阶梯和分散阶梯不间断的周而复始的循环变化, 最大限度地达到剪切、分散、对倒和最佳温度保持的工艺效果。

(3) 转子对胶料的分配及分散极快, 棱峰的间隙能够促进胶料快速流动, 有效阻止补强物料如炭黑和白炭黑的二次凝聚。

1.3 试验配方

设计CA, FA和EA 3组试验配方, 如表1所示。

表1 试验配方

原材料	CA	FA	EA
NR	80	50	80
SBR	20		20
BR		50	
炭黑N550	42		
炭黑N375/660		52	
炭黑N660			85
环保油	5	12	4
小料	12	9.5	28.5
硫化体系	5.75	3.05	5.3
合计	164.75	179.55	222.8

1.4 混炼工艺

每组配方采用3种混炼工艺,研究不同投料顺序下高速混炼工艺与传统低速混炼工艺对混炼胶质量的影响。1[#]工艺为胶药炭同投,2[#]工艺为胶药炭油同投,3[#]为传统混炼工艺,胶药、炭、油分开投入。其中“胶”是指生胶,“炭”是指炭黑,“油”是指环保油,“药”是指除了硫化体系外的所有小料。CA、FA和EA配方的混炼填充因数分别为0.73、0.75和0.71,具体混炼工艺如下。

(1)CA配方。1[#]工艺:生胶、小料、炭黑(20 s, 55 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→油(15 s, 60 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(10 s, 50 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→排胶(162 ℃)。2[#]工艺:生胶、小料、炭黑、油(20 s, 55 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(15 s, 60 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→清扫(20 s, 50 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→排胶(162 ℃)。3[#]工艺:生胶、小料(15 s, 50 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→炭黑(20 s, 50 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→油(15 s, 50 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(10 s, 45 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→排胶(162 ℃)。

(2)FA配方。1[#]工艺:生胶、小料、炭黑(20 s, 60 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→油(15 s, 60 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(10 s, 55 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→

排胶(165 ℃)。2[#]工艺:生胶、小料、炭黑、油(20 s, 55 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(15 s, 60 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→清扫(10 s, 50 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→排胶(165 ℃)。3[#]工艺:生胶、小料(15 s, 50 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→炭黑(20 s, 50 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→油(15 s, 50 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(15 s, 45 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→排胶(165 ℃)。

(3)EA配方。1[#]工艺:生胶、小料、炭黑(20 s, 60 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→油(15 s, 60 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(10 s, 55 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→排胶(168 ℃)。2[#]工艺:生胶、小料、炭黑、油(20 s, 55 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(15 s, 60 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→清扫(10 s, 50 r·min⁻¹, 0.40 MPa)→排胶(168 ℃)。3[#]工艺:生胶、小料(15 s, 45 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→炭黑(20 s, 45 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→油(15 s, 45 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→清扫(15 s, 45 r·min⁻¹, 0.55 MPa)→排胶(168 ℃)。

2 结果与讨论

2.1 硫化特性

对3组配方3种混炼工艺生产的终炼胶进行门尼粘度和硫化特性测试,结果如表2所示。

从表2可以看出,每组配方胶料在3种不同混炼工艺条件下的门尼粘度和硫化特性均符合技术要求,无明显差异,波动范围在5%以内。

2.2 物理性能

对3组配方3种混炼工艺生产的终炼胶进行硫化,硫化条件为150 ℃×30 min,物理性能测试结果如表3所示。

由表3可以看出,CA-1胶料拉伸强度最高,

表2 胶料门尼粘度和硫化特性测试结果

项 目	配方工艺序号								
	CA-1	CA-2	CA-3	FA-1	FA-2	FA-3	EA-1	EA-2	EA-3
门尼粘度[ML(1+4)100 ℃]	58	58	57	57	56	57	84	85	84
硫化特性(150 ℃)									
$F_L/(dN \cdot m)$	1.62	1.66	1.65	1.96	1.86	1.91	1.81	1.87	1.85
$F_{max}/(dN \cdot m)$	9.40	9.29	9.18	10.82	10.64	10.69	25.80	25.26	25.60
t_{10}/min	6.95	6.81	6.97	9.06	9.36	9.35	5.85	5.93	6.15
t_{50}/min	10.93	10.67	10.86	11.52	11.74	11.76	10.54	10.73	11.04
t_{90}/min	16.64	15.90	16.07	15.24	15.14	15.21	17.10	17.25	17.78

表3 胶料物理性能测试结果

项 目	胶料配方工艺序号								
	CA-1	CA-2	CA-3	FA-1	FA-2	FA-3	EA-1	EA-2	EA-3
邵尔A型硬度/度	55	55	55	54	54	54	89	89	89
10%定伸应力/MPa	0.37	0.40	0.42	0.26	0.27	0.25	2.41	2.53	2.41
50%定伸应力/MPa	0.99	1.03	1.05	0.89	0.89	0.87	4.58	4.79	4.57
100%定伸应力/MPa	1.78	1.88	1.90	1.53	1.52	1.49	7.28	7.53	7.39
300%定伸应力/MPa	9.41	9.84	9.63	7.55	7.45	7.54	—	—	—
拉伸强度/MPa	23.4	22.7	22.4	18.7	18.4	18.5	13.5	14.1	13.9
拉断伸长率/%	575	551	563	602	590	587	266	277	257
拉断永久变形/%	16	17	18	12	12	12	18	18	17

CA-2胶料比CA-3胶料略高,其他物理性能相当;
FA和EA配方3种工艺混炼的胶料综合物理性能均基本相同。

2.3 RPA分析

2.3.1 Payne效应

采用RPA对填料分散性进行评价。将未硫化胶在RPA中进行形变扫描,试验条件为:温度 60℃,频率 1 Hz,应变范围 1%~40%。Payne效应表征填料-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外部反映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,剪切模量降低,即Payne效应。填料分散越好,Payne效应越低。

终炼胶的储能模量(G')-应变扫描曲线如图1—3所示。

从图1—3可以看出,CA配方3种工艺中,使用1[#]工艺混炼的胶料Payne效应最低,其次是2[#]和3[#]工艺。FA配方3种工艺中,使用2[#]工艺混炼的胶料Payne效应最低,其次是1[#]和3[#]工艺,且两者相当。EA配方3种工艺中,使用1[#]和2[#]工艺混炼的

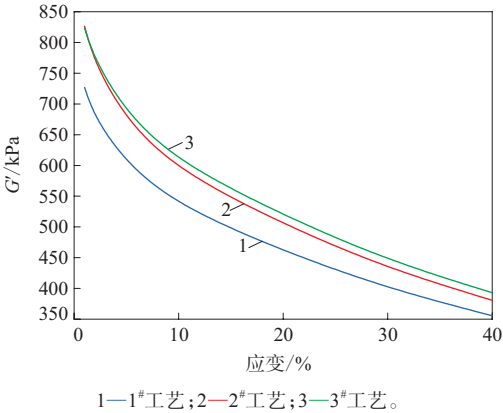


图1 CA未硫化胶的 G' -应变扫描曲线

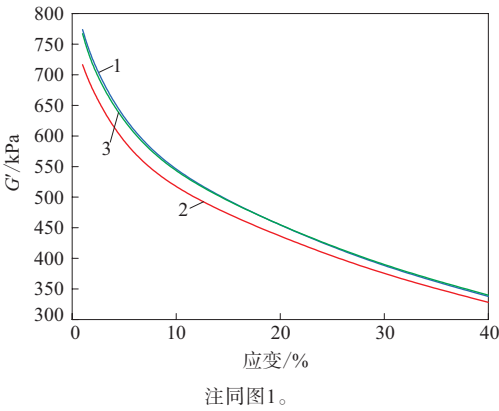


图2 FA未硫化胶的 G' -应变扫描曲线

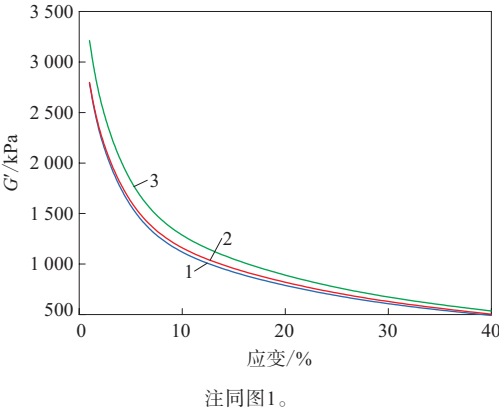


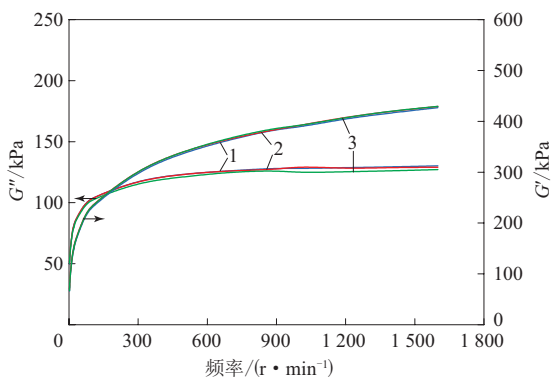
图3 EA未硫化胶的 G' -应变扫描曲线

胶料Payne效应最低且两者相当,3[#]工艺混炼的胶料Payne效应最大。3组配方3种工艺对胶料均可达到相同的混炼效果。

2.3.2 加工性能分析

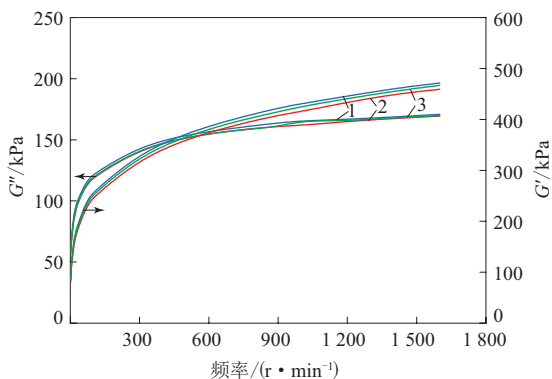
将3组配方3种混炼工艺的终炼胶置于RPA中进行频率扫描,试验条件为:温度 60℃,应变 7%,频率范围 1.67~1 600 r·min⁻¹。

终炼胶的 G' 和损耗模量(G'')-频率扫描曲线如图4—6所示。



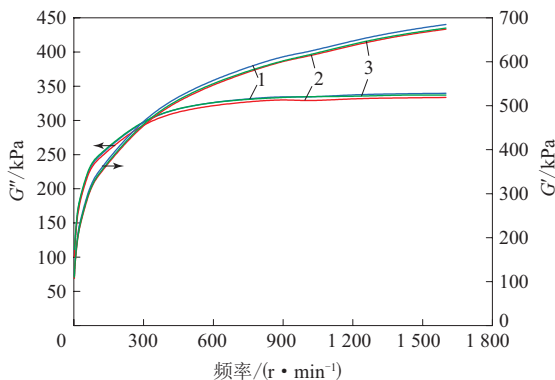
注同图1。

图4 CA未硫化胶的 G' (G'')-频率扫描曲线



注同图1。

图5 FA未硫化胶的 G' (G'')-频率扫描曲线



注同图1。

图6 EA未硫化胶的 G' (G'')-频率扫描曲线

由图4—6可以看出,低频下各组胶料的 G' 均较小,聚合物分子链的弹性回复及其与补强体系间相对滑移回复的时间短, G'' 也较小。随着扫描频率的提高,分子链间及分子链与炭黑表面滑移运动不能对外界应力变化做出及时响应,表现出明显的动态刚性及滞后损失, G' 和 G'' 均增大。

通常认为, G' 和 G'' 出现交点的频率(ω_x)表征聚合物类弹性与类粘性的分界点,反映聚合物的松弛时间, ω_x 越大,松弛时间越短; ω_x 越小,松弛时间越长^[3]。

CA,FA和EA配方3组胶料频率扫描中 G' 和 G'' 出现交点的频率如表4所示。

表4 RPA频率扫描 G' 和 G'' 交点的频率 $r \cdot \min^{-1}$

配方	1 [#] 工艺	2 [#] 工艺	3 [#] 工艺
CA	201	181	161
FA	443	590	483
EA	517	295	330

从表4可以看出,CA,FA和EA胶料分别使用1[#],2[#]和1[#]工艺混炼的加工性能最佳,与Payne效应的规律相同。由此可见,胶料混炼过程中,填料分散越好,填料-填料之间的相互作用越小,胶料滞后损失越小,加工过程中的松弛时间越短,胶料具有更加优异的加工性能。

2.4 生产效率

3组配方3种工艺的混炼周期如图7所示。

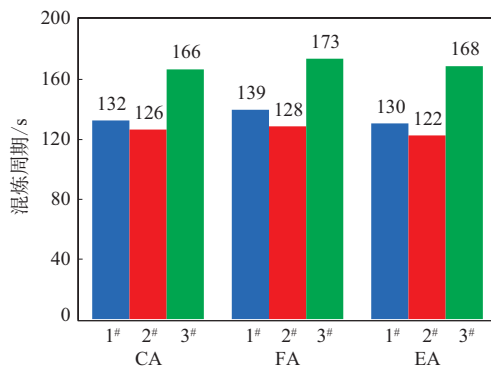


图7 3组配方不同工艺的混炼周期

从图7可以看出,相对3[#]工艺,CA配方1[#]和2[#]工艺生产效率分别提高19.7%和26.0%,FA配方分别提高20.5%和24.1%,EA配方分别提高22.6%和27.0%。

3 结论

综合来看,对于具有独特6WI转子的BB430型密炼机生产母炼胶,采用胶药炭同投或者胶药炭油同投配以 $50 \sim 60 r \cdot \min^{-1}$ 高转速的混炼工艺,可以获得更好的胶料分散性和加工性能,胶料的流变特性不受影响,而物理性能相当于或略

优于传统混炼工艺的胶料,且生产效率可以提高20%~27%。

参考文献:

[1] 于清溪. 密闭式橡胶混炼机的技术现状及最近发展[J]. 橡塑技术

与装备,2010,36(9):4-17.

[2] 张兴宁,赵金玉,董振刚,等. 4WS、4WH和6WI转子密炼机流固耦合特性对比分析[J]. 石油化工高等学校学报,2016,29(3):74-81.

[3] 孙茂忠,刘华侨,陈松,等. 密炼机投料顺序对混炼效果的影响[J]. 轮胎工业,2016,36(12):748-751.

收稿日期:2017-04-17

Investigation on Mixing Process for BB430 Mixer

SUN Maozhong^{1,2}, ZHENG Kun², LIU Huaqiao², YUAN Jinqi², YANG Jinghui²

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China; 2. Tire Technology Alliance, Qingdao 266061, China)

Abstract: The influence of mixing process for BB430 mixer on mixing effect was investigated. The results showed that, compared with traditional mixing process, using $50 \sim 60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ high speed mixing process with feeding rubber, additives and carbon black (or rubber, additives, carbon black and oil) at same time, the physical property of the compound was same or better, the dispersivity and processing property was higher, at the same time the productivity rose by 20%~27%.

Key words: mixer; 6WI rotor; mixing process; physical property; processing property