

## 特约来稿

## 流动性在胶料工业化性能控制中的应用

邓世涛, 刘华侨, 李 涛, 顾培霜, 朱家顺

[特拓(青岛)轮胎技术有限公司, 山东 青岛 266061]

**摘要:**在工业化生产条件下研究门尼粘度和流动性在胶料加工性能控制中的应用。结果表明,基于低剪切速率测试条件下的门尼粘度无法准确表征胶料的流动性,流动性测试的剪切速率范围涵盖压延、挤出加工条件下胶料的真实工况,更能真实表征胶料的工业化性能。同时,胎侧胶和胎圈胶的挤出状态与门尼粘度和流动性的相关性试验也表明了流动性在胶料工业化性能控制中的优势。

**关键词:**胶料;门尼粘度;流动性;工业化性能;挤出

**中图分类号:**TQ332;TQ333.1/.2;TQ336.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2019)11-0643-04

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2019.11.0643



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

在橡胶加工领域,门尼粘度常用以表征橡胶的加工性能和相对分子质量及其分布;流动性常用以表征特定温度和压力下材料的流动能力。通常情况下,门尼粘度高,胶料不易混炼均匀,挤出加工困难;门尼粘度低,胶料易粘辊,橡胶的相对分子质量低、分布范围窄。然而,门尼粘度反映的是测试转子在低剪切速率下的阻力,测试剪切速率远低于胶料加工,尤其是压延、挤出等真实工况下的剪切速率。胶料在混炼、挤出和硫化过程中的粘度变化反而与热历程关联性较大。这是因为在通常的加工条件下,聚合物形变主要由高弹形变和粘性形变共同组成,其特性随时间、温度、负荷和剪切速率而变化<sup>[1]</sup>。此外,混炼胶门尼粘度的影响因素很多,其中橡胶大分子链的断裂形式有塑解剂化学降解、高温降解(高混炼温度)和机械断链等,混炼胶的门尼粘度可以调控在相同水平,但其粘弹特性和流动性却具有明显差异,并且白炭黑/炭黑等填料的分散、分布情况以及配方中填料与油用量的协调设计也会直接影响混炼胶的门尼粘度。因此,门尼粘度在胶料工业化性能评价

上存在明显不足,不能精确地反映胶料加工的真实工况。

本工作主要研究生胶的门尼粘度和流动性与胶料加工性能的关联性,进而通过研究工业化生产中胎圈胶和胎侧胶的挤出状态,评价门尼粘度和流动性在胶料工业化性能控制中的优劣。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

溶聚丁苯橡胶(SSBR),牌号RC2557S和RC2564S,中国石油独山子石化公司产品。顺丁橡胶(BR),牌号9000,中国石油四川石化有限责任公司产品。乳聚丁苯橡胶(ESBR),牌号1502,中国石化齐鲁石油化工公司产品;牌号1723,中华化学工业有限公司产品。天然橡胶复合胶(NR),广凯橡胶公司产品。

### 1.2 生胶取样及胶料混炼工艺

#### 1.2.1 生胶取样

为保证试验的精确性,本研究所涉及的生胶测试均直接从入厂胶块上切割出厚度6~9 mm的胶片。

#### 1.2.2 混炼工艺

在胎侧胶试验中,针对两个批次门尼粘度不同的NR进行工艺调整,控制混炼胶门尼粘度符合控制标准。

(1)高门尼粘度NR胎侧胶一段混炼工艺为:



**作者简介:**邓世涛(1972—),男,山东高密人,特拓(青岛)轮胎技术有限公司高级工程师,学士,主要从事轮胎结构设计、轮胎设计用软件平台研发和车辆与轮胎性能匹配研究等工作,发表论文20余篇,获得专利30余项,获得10余项省部级等奖项。

**E-mail:**13806309334@126.com

生胶、小料、炭黑(45 r·min<sup>-1</sup>, 0.5 MPa, 40 s) → 加工油(35 r·min<sup>-1</sup>, 0.5 MPa, 10 s, 135 °C) → 升降压砣(23 r·min<sup>-1</sup>, 0.5 MPa, 157 °C) → 升压砣排胶。

(2) 低门尼粘度NR胎侧胶一段混炼工艺为: 生胶、小料、炭黑(45 r·min<sup>-1</sup>, 0.5 MPa, 40 s) → 加工油(35 r·min<sup>-1</sup>, 0.5 MPa, 10 s, 135 °C) → 升降压砣(25 r·min<sup>-1</sup>, 0.5 MPa, 150 °C) → 升压砣排胶。

终炼胶分别对上述两组一段混炼胶采用相同混炼工艺进行生产。

试验用胎圈胶按车间生产工艺生产。

### 1.3 性能测试

#### 1.3.1 门尼粘度和流动性

(1) 门尼粘度。按照GB/T 1232—2016《未硫化橡胶用圆盘剪切粘度计进行测定 第1部分: 门尼粘度的测定》进行门尼粘度[ML(1+4)100 °C]测试。

(2) 流动性。采用特拓(青岛)轮胎技术有限公司生产的VMA2000型胶料流动性分析仪在90 °C温度下进行测试。

#### 1.3.2 工业化挤出性能

胎侧胶和胎圈胶采用特乐斯特双复合挤出机进行半成品挤出生产, 工艺参数控制在作业标准内, 测试不同生胶粘度混炼胶的挤出性能。

## 2 结果与讨论

### 2.1 生胶门尼粘度与流动性的关系

进行不同种类生胶门尼粘度和流动性测试, 结果如表1所示。

从表1可以看出, 几种生胶的门尼粘度与流动

表1 生胶门尼粘度和流动性测试结果

胶种	门尼粘度[ML(1+4)100 °C]	流动值/点
BR	44	76
ESBR		
1502	45	42
1723	46	121
SSBR		
RC2564S	50	307
RC2557S	54	175
NR	101	80 <sup>1)</sup>

注: 流动性测试压力为6 kN。1) 测试压力为14 kN。

性没有明显的正相关关系。在90 °C/6 kN测试条件下, 门尼粘度较小的BR和ESBR1502的流动性反而小于门尼粘度较大的其他3种丁苯橡胶。SSBR中RC2564S的门尼粘度小于RC2557S, 其流动性较大。NR生胶的门尼粘度较大, 在90 °C/6 kN测试条件下流动性检测值为零, 加大测试压力到14 kN时其流动性仍较小, 这是由于NR独特的大分子结构, 其相对分子质量大、分布宽, 必须经过塑炼提升加工性能后才可以<sup>[1]</sup>。

### 2.2 不同配方混炼胶门尼粘度与流动性的关系

取车间生产的不同配方的混炼胶分别进行门尼粘度和流动性测试, 结果如表2所示。

表2 不同配方混炼胶门尼粘度和流动性测试结果

胶种	门尼粘度[ML(1+4)100 °C]	流动值/点
FA	57	139
RC	60	115
RA	63	190
RD	63	110
RW	68	77
HA	74	105

注: FA, RC, RA, RD, RW和HA分别表示胎侧胶、SUV轮胎胎面胶、超高性能(UHP)轮胎胎面胶、全地形/轻型载重(AT/LT)轮胎胎面胶、雪地轮胎胎面胶和胎圈胶; 流动性测试压力为6 kN。

从表2可以看出, 不同配方混炼胶的门尼粘度与流动性也没有明显的正相关关系。门尼粘度最大的胎圈胶的流动性大于雪地轮胎胎面胶; 在门尼粘度中等的各种胎面胶中, UHP轮胎胎面胶的流动性最大, 远大于SUV轮胎和AT/LT轮胎胎面胶。这是因为不同配方混炼胶的生胶体系、填料用量及油用量的设计差异对门尼粘度和流动性的影响不同, 虽然可通过混炼工艺对门尼粘度进行调控, 但不同配方胶料的粘弹特性差异仍较大。

### 2.3 胎圈胶和胎侧胶复合挤出性能

#### 2.3.1 不同门尼粘度胎圈胶

在工业化生产过程中, 监控发现一批门尼粘度超上限的不合格胎圈胶, 常规的技术处理方法为通知生产返炼或与门尼粘度较低的批次胶料混用生产。本次试验安排单独存放, 与正常胶料同时进行挤出试验。

挤出试验用胎圈胶的门尼粘度和流动性测试结果如表3所示, 其中1<sup>#</sup>为正常门尼粘度胎圈胶, 2<sup>#</sup>为门尼粘度超上限的胎圈胶。

表3 胎圈胶挤出试验用胶料的门尼粘度

项 目	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
门尼粘度[ML(1+4) 100 °C]	73	78
流动值/点	68	60

从表3可以看出,两个胎圈胶的门尼粘度相差5,2<sup>#</sup>的流动性小于1<sup>#</sup>,但两个胎圈胶的流动性均在标准控制范围内。

对两个胶料采用相同的工艺进行挤出试验,结果如表4所示。

表4 两个胎圈胶半部件挤出试验结果

项 目	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
线速度/(m·min <sup>-1</sup> )	26	26
转速/(r·min <sup>-1</sup> )	12.1	11.9
机头压力/MPa	102	105
挤出温度/°C	112	111
成型宽度/mm	138	139
扫描图	厚度达标	厚度达标

从表4可以看出:在相同线速度/转速水平条件下,2<sup>#</sup>胶料的挤出机头压力略大于1<sup>#</sup>胶料,这是因为2<sup>#</sup>胶料的门尼粘度较大,流动性低,然而挤出温度相差不大;2<sup>#</sup>胶料半部件成型宽度大1 mm,但仍符合挤出控制标准,断面扫描尺寸符合标准。

门尼粘度超上限但流动性合格的胶料挤出试验表明,其工业化性能完全符合现场操作要求。由此可见,采用门尼粘度作为唯一的胶料工业化管控手段存在一定的不足。

### 2.3.2 不同NR的胎侧胶

在胎侧胶生产中,采购了两种生胶门尼粘度差异较大的NR,为使胎侧混炼胶的门尼粘度符合控制标准,进行了工艺调整。对生胶门尼粘度较大的胶料,通过后期减小转子转速、提高排胶温度的方式延长高温混炼时间,从而降低混炼胶的门尼粘度。

5个批次不同生胶门尼粘度NR生产的胎侧混炼胶的门尼粘度统计平均值如表5所示。

从表5可以看出,胎侧胶混炼生产中,使用不

表5 不同批次NR生产的胎侧混炼胶的门尼粘度  
[ML(1+4) 100 °C]

NR品种	批次				
	1	2	3	4	5
高门尼粘度	55	57	58	57	57
低门尼粘度	56	55	58	58	56

同生胶门尼粘度的NR时,通过工艺调整可以控制混炼胶的门尼粘度保持相同水平。

根据实际生产过程中混炼胶门尼粘度和流动性检测频次进行快检测试,结果如图1所示。

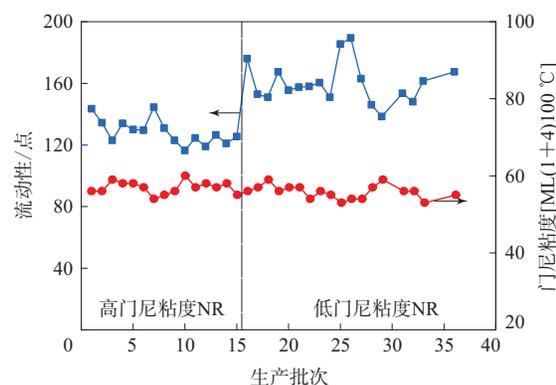
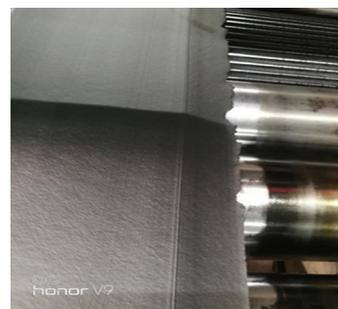


图1 各批次胶料门尼粘度和流动性快检结果

从图1可以看出,使用高门尼粘度NR生产的胎侧混炼胶的门尼粘度水平虽然与低门尼粘度NR生产的混炼胶相近,但其流动性整体较低。

针对不同门尼粘度NR生产的胎侧混炼胶进行挤出试验,结果如图2所示。

从图2可以看出,流动性较低的混炼胶在胎侧挤出时偶发挤出破边现象,而流动性较高的混炼



(a) 低流动性NR



(b) 高流动性NR

图2 胎侧胶挤出状态

胶的挤出破边现象明显减少,胶边均匀。

需要特别指出的是,挤出破边现象是不定期的偶然现象,并非流动性低的胶料在连续化生产中一直存在破边现象,流动性好的胎侧胶也会偶发破边,在本试验中重点关注的是多批次生产中的偶发几率。

### 3 结论

通过对轮胎工业常用的生胶和混炼胶进行门尼粘度和流动性对比测试以及在生产中对胎圈胶和胎侧胶进行对比挤出试验,得到如下结论。

(1)不同生胶和混炼胶的门尼粘度与流动性无明显的相关关系,门尼粘度并不能准确表征胶

料的流动性性能。

(2)对于相同配方,在NR生胶门尼粘度差异较大的情况下,通过调整混炼工艺可以控制混炼胶的门尼粘度处于相同水平,但其流动性仍存在明显差异。

(3)从胎侧胶和胎圈胶挤出试验可以看出,流动性相对门尼粘度在工业化性能评价上更具有优势,能够真实反映胶料的实际加工工况。

### 参考文献:

- [1] 林广义,孔令伟,王佳,等.天然橡胶相对分子量表征及其与加工性能相关性研究[J].橡胶工业,2018,65(12):1331-1337.

收稿日期:2019-07-06

## Application of Fluidity in Industrial Performance Control of Compound

DENG Shitao, LIU Huaqiao, LI Tao, GU Peishuang, ZHU Jiashun

[TTA (Qingdao) Tire Technology Alliance Co., Ltd. Qingdao 266061, China]

**Abstract:** The application of Mooney viscosity and fluidity in the control of compound processing property under industrial production conditions was studied. The results showed that Mooney viscosity based on a low shear rate test could not accurately characterize the fluidity of the compound. The shear rate range of fluidity test covered the real working conditions of compound under calendaring and extrusion processing, and could more truly characterize the industrial performance of the compound. At the same time, the correlation test between the extrusion state of the sidewall and bead compounds, and Mooney viscosity and fluidity also showed the advantage of fluidity in the industrial performance control of the compound.

**Key words:** compound; Mooney viscosity; fluidity; industrial performance; extrusion

### BKT炭黑工厂扩产完成

近日,印度工程轮胎制造商Blakrishna工业公司(BKT)自有炭黑工厂开始生产,并计划进一步扩建。该工厂位于BKT设在古吉拉特邦普杰的轮胎生产基地,目前年产8万t硬质炭黑。

BKT表示,已将该工厂投资规模由2017年宣布的2 300万美元上调至7 500万美元,到2021年其年产能将提高到13万t,届时每年将可新增5万t软质炭黑品种产能。截至2019年第2季度末,BKT炭黑年产量已从第1季度末的6万t增至8万t。

BKT联合董事总经理Rajiv Poddar说:“炭黑在轮胎制造过程中的纵向一体化对普杰基地的发展至关重要,这一重大投资将在轮胎制造供应链

内提供重要原材料。新工厂不仅赋予本公司制造的独立性,而且可以确保原材料的质量更高。”

据悉,BKT是印度轮胎行业自己拥有炭黑生产装置的唯一公司。普杰生产基地已经建成4年,配备最先进的机器设备,靠近蒙德拉商业港的重要物流中心,这为BKT提供了巨大的战略优势。该基地生产的炭黑约一半用于本公司轮胎制造,剩余一半则在市场上销售。

BKT于2016年年底正式启用普杰轮胎工厂。该工厂投资达4.825亿美元,轮胎日产能约为300 t。这家印度轮胎制造商计划到2025年,将其工程机械轮胎的全球市场份额从6%提升至10%。

(摘自《中国化工报》,2019-09-16)