应用说明

使用橡胶加工分析仪重现门尼粘度

万里、Unal Yilmazoglu
Alpha Technologies, Hudson, OH, USA

关键词：门尼粘度、橡胶加工分析仪、ML (1+4)、生胶、填充胶料

1) 引言

门尼粘度测试简单、应用历史悠久，且与分子量密切相关，因此一直被广泛用于评价生胶聚合物和混炼胶的加工性能。然而，作为一种单点、低剪切测量，门尼粘度无法充分表征挤出、压延和注射成型等现代加工过程中出现的非线性粘弹性行为。

橡胶加工分析仪（RPA）可在接近实际加工的条件下，控制应变、频率和温度进行测试，提供一种可直接用于生产的替代方案。本应用说明展示了如何在 Premier RPA 上采用定制的 Alpha MV-RPA 测试，获得与标准门尼粘度高度相关的门尼等效测量结果，同时更深入地了解材料结构和加工性能。

Premier RPA 将传统门尼测试与先进流变表征相结合。门尼粘度仪采用固定的剪切速率和变形模式[1]；RPA 则可在宽应变振幅和频率范围内施加受控振荡剪切，从而同时评价粘性流动阻力和弹性网络响应。[2]



图1. Premier RPA 在弹性体高级表征中的功能，涵盖粘弹性响应、非线性变形及与加工相关的性能。

要获得门尼等效结果，需测试非线性变形区间，此时材料行为由分子缠结和瞬态弹性阻力主导。定制的 Alpha MV-RPA 测试基于这一原理，采用高应变振幅和低振荡频率，重现门尼测试中的类似变形，同时保留 RPA 的重复性和自动化优势。

2) 结果

a) 生胶

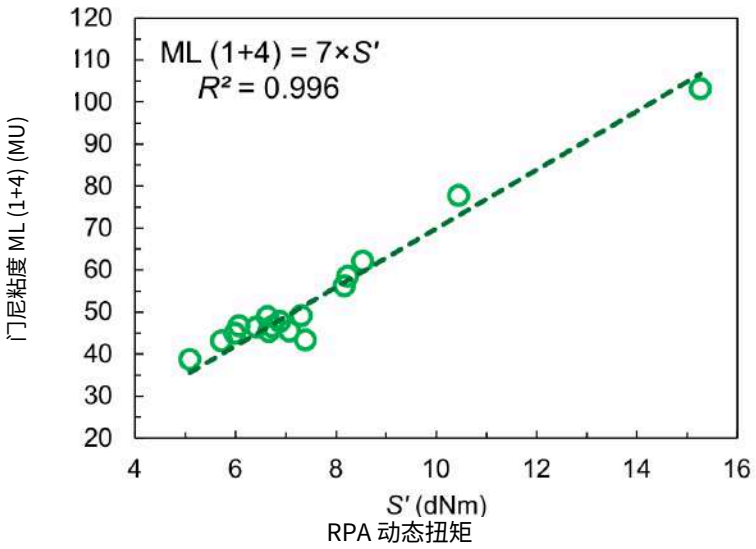


图2. 对17种生胶，门尼粘度 ML (1+4) 与 Premier RPA 在高应变条件下测得的动态弹性扭矩 S′ 呈现稳定且高度一致的相关性。

图2展示了多种弹性体在100 °C、低频和高应变振幅条件下测得的 S′ 与门尼粘度之间的关系，所测材料包括 EPDM、BR、IIR、NBR 和 SBR。尽管这些材料在单体组成、支化和链拓扑等分子结构方面存在显著差异，相关性依然稳健。

这一现象反映了两种测量具有共同的分子层面机理。较高的门尼粘度和 S′ 值均与更高的分子缠结密度以及更长的松弛时间有关[3]。RPA 能够在更接近实际加工条件的变形水平下捕捉这一响应。

门尼等效结果：生胶

- ML (1+4) = 7 × S′
- R^2 = 0.996
- 17种生胶：EPDM、BR、IIR、NBR 和 SBR
- 100 °C，低频，高应变

b) 填充胶料

在填充胶料中，填料间网络和强烈的应变依赖性非线性使相关性分析更具挑战。填料网络破坏的临界应变通常比未填充弹性体低几个数量级，因此必须谨慎选择测试条件。

采用 Alpha MV-RPA 测试规程，在施加足够高的应变振幅时，填充胶料的 RPA 弹性扭矩 S′ 与门尼粘度同样表现出优异的一致性。

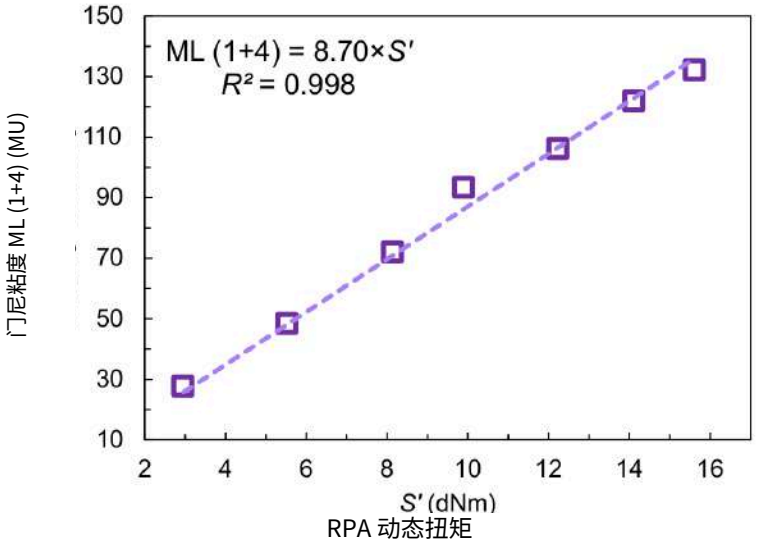


图3. 7种胶料在100 °C、低频和高应变条件下，Premier RPA 动态弹性扭矩 S′ 与门尼粘度 ML (1+4) 的相关性。

如图3所示，对于多种含补强填料的胶料，高应变振幅下测得的 S′ 与门尼粘度保持很强的线性相关性。这表明，在正确设置测试条件后，即使在由填料主导的复杂体系中，Premier RPA 也能重现与门尼粘度一致的相对排序。

门尼等效结果：填充胶料

- ML (1+4) = 8.70 × S′
- R^2 = 0.998
- 7种含补强填料的胶料
- 100 °C，低频，高应变

3) 结论

总体而言，这些结果表明，在采用适当的非线性测试条件时，RPA 得出的门尼等效指标既具有统计可靠性，也具有明确的物理意义。定制的 Alpha MV-RPA 测试保留了门尼粘度的实际应用价值，并通过提高对材料结构和加工行为的敏感性，进一步拓展了其用途。

除高度相关性之外，与传统门尼测试相比，Premier RPA 还具有以下实际优势：

- 在同一平台上测试生胶和胶料
- 对分子结构和弹性贡献更敏感
- 通过高应变非线性变形，更贴近实际加工条件
- 自动执行测试，加快数据采集
- 输出更丰富的数据：除门尼等效指标外，还包括弹性和粘性分量

4) 参考文献

1. Mooney, Melvin. *A Shearing Disk Plastometer for Unvulcanized Rubber.* Rubber Chemistry and Technology 7.3 (1934): 564-75.
2. Pawlowski, H., & Dick, J. (1992). *Viscoelastic characterization of rubber with a new dynamic mechanical tester.* Presented at the Akron Rubber Group Meeting, Akron, OH.
3. Norton, E. (2016). *Processability measurements for improved characterization of synthetic polymers using dynamic oscillatory shear rheometers and rotating shear viscometers.* Presented at the Rubber Division Technical Meeting, ACS.

如需更多信息或获取报价，请访问
https://www.alphatechnologies.cn

访问 alphatechnologies.cn

ALPHATECHNOLOGIES
AMETEK

© Alpha Technologies，2026。保留所有权利。