

# 可持续产品设计中的聚合物研发进展 在轮胎中使用液态橡胶的优势

## Polymer development for sustainable product design Advantages of liquid rubber in tire compounds

S. Kuwahara, M. Gründken, R. Böhm, M. Maeda

**摘要：** Kuraray公司研发了一系列分子量介于5,000到70,000的液态橡胶。这些由异戊二烯、丁二烯和苯乙烯组成的聚合物能够应用于橡胶加工，以改善橡胶性能和加工过程。它们具有增塑作用，并且能够与固态橡胶共同硫化，从而作为“活性增塑剂”或者“可共硫化的塑化剂”使用。液态橡胶可广泛应用于橡胶产品（轮胎皮带）、粘合剂（热熔胶，溶胶，乳胶、UV可固化材料），汽车/建筑行业的密封剂刷板涂层等领域。Kuraray液态橡胶(KLR)最主要的应用是轮胎胶料等橡胶制品。KLR可以应用于轮胎的多个部件，包括胎面、胎体、胎边、三角胶等。

**关键词：** 可持续，液态橡胶，轮胎，活性增塑剂

### 1. 简介

增塑剂是橡胶和粘合剂工业中最关键的成分之一。增塑剂能够降低材料硬度，改善加工性能，降低原材料成本。但另一方面，随着增塑剂含量的增加，材料的机械性能会变差。除此之外，由于硫化或渗出，增塑剂往往导致材料性能或颜色逐渐发生变化。考虑到环境和人类健康问题，邻苯二甲酸酯类和芳香油类增塑剂会受到越来越多的使用限制。KLR是能够与固态橡胶共同硫化的增塑剂，不太可能发生这类渗出或挥发问题。因此，KLR作为环保型的增塑剂将会有很好的发展潜力。

Shigenao Kuwahara  
shigenao.kuwahara@kuraray.eu  
Marcel Gründken,  
Ralph Böhm  
Kuraray Europe GmbH, Hattersheim/Main,  
Germany

Mizuho Maeda  
mizuho\_maeda@kuraray.co.jp  
Kuraray Trading (Shanghai) Co. Ltd.,  
Shanghai, China

### 2. Kuraray液态橡胶(KLR)的特性

KLR是低分子量的聚二烯，分子量介于典型的固态橡胶和增塑剂之间，如图1所示。因此，KLR同时具有橡胶和塑化剂的特性，即与固态橡胶共硫化的能力和优异的增塑特性。正是因为这样的性质，我们将液态橡胶称为“活性增塑剂”。KLR分为齐聚物（标准级）、共聚物和改性聚合物（氢化、羧化和甲基丙烯酸化等）。这些聚合物由异戊二烯、丁二烯和苯乙烯组成(图2)。

### 3. 在天然橡胶和碳黑复合物中的效果

KLR的典型性质如表1所示。KLR-聚合物是通过Banbury混合机和实验室辊压机将增塑剂与天然橡胶、碳黑和硫化剂以两种配方比率（NR/CB/增塑剂=100/50/10和100/50/6）混合形成。

门尼粘度如图3所示。在天然橡胶的配方中，KLR的增塑效果与TDAE类似。而且，低分子量的KLR与TDAE相比表现出更优质的增塑效果。所有的

图1：  
液态橡胶的分子量



KLR配方都能保持与TDAE配方类似的拉伸强度和伸长率。出更好的耐磨性能。

### 3.1 轮胎中的性能

DIN磨损性能如图3 (译者注：原文误为图4) (右边) 所示。与TDAE相比，LBR-300, LBR-307, LIR-50表现 轮胎标识于2012年11月引入欧盟，之后又被日本、韩国等国家采

液态橡胶	结构	M <sub>n</sub>	熔体粘度 38 °C / Pa·s	玻璃化转变温度 / °C
LIR-30	IR	28,000	70	-63
LIR-50	IR	54,000	500	-63
LBR-300*	BR	44,000	225	-95
LBR-305	BR	26,000	40	-95
LBR-307	BR	8,000	1.5	-95
L-SBR-820	SBR	8,300	350	-14
L-SBR-841*	SBR	10,000	130 / 60 °C	-6

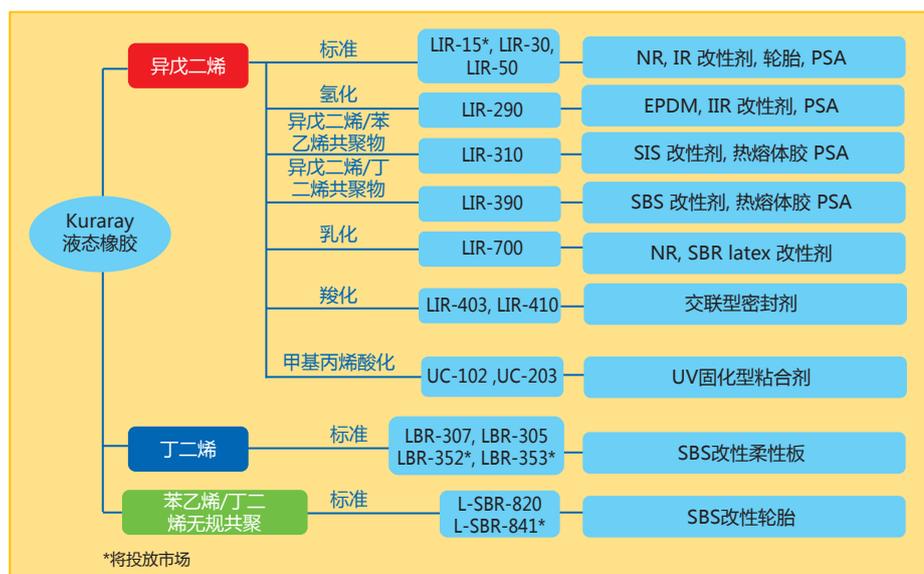
\*将投放市场

表1：  
KLR的典型性质

用。关键指标包括燃油效率、噪音和制动安全性。科学家们将这些性质与可测量的物理性质，如损耗角 (tan δ)、储能模量E'等联系起来。当承载汽车重量的轮胎旋转时，经历和回复的重复循环，并以热量的形式耗散能量。这一现象被称为滞后损耗，是导致与滚动阻力相关的能量损耗的主要原因。另一方面，在粗糙路面上制动和滑动时轮胎也会发生形变并损耗能量。这一滞后损耗与轮胎和路面之间的摩擦力有关。

滞后损耗与轮胎的粘弹性有关。当测试频率为10 Hz时，可以用-20, 0, 25和60 °C下的损耗角 (tan δ) 分别代表冰、潮湿和干燥条件下的牵引以及滚动阻力这四种情况的性质 (图4)。

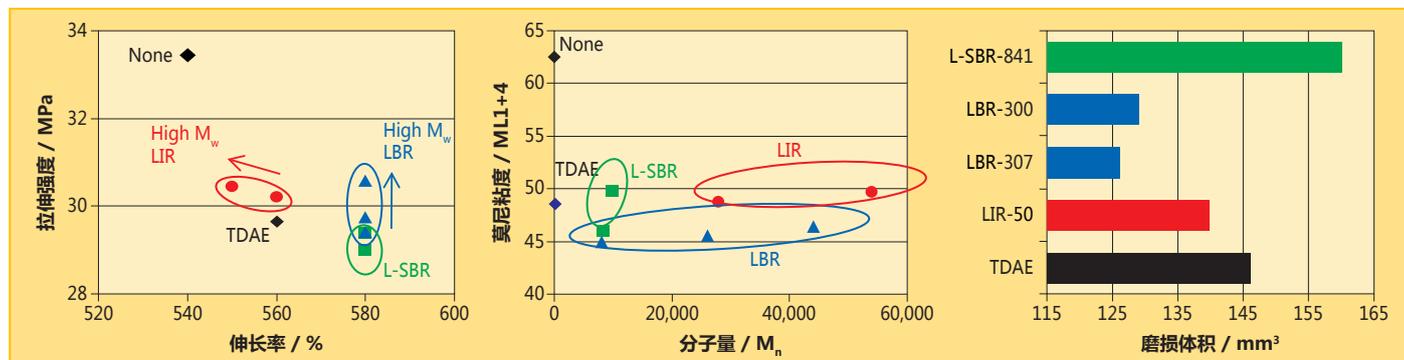
图2： KLR生产线



采用高转矩的动态力学分析单元 Eplexor (Gabo Qualimeter Testanlagen GmbH), 分别在静态应变0.5 %和动态应变0.1 %的条件下测定了储能模量(E') (图5)。由于LBR的T<sub>g</sub>更低，其E'远低于TDAE。因此，在低温下LBR能够保持硫化天然橡胶的柔软性，进而改善在冰上的牵引控制。

图6是配方为NR/CB/增塑剂=100/50/6的所有硫化样品的甲苯萃取实验结果。高分子量KLR配方的萃取结果与对照组几乎一致，这是因为它们能够与天然橡胶共硫化。此外，工艺油被完

图3： 主要性能(天然橡胶)



全萃取出来。萃取测试体现出KLR的另一个优点：与工艺油不同，KLR不会渗出，因而能够长时间保持硫化橡胶的柔性。这些性质更适合需要高牵引力和长期柔性的冬季轮胎，而非注重燃油经济性的四季通用轮胎。

## 4. 在SBR和二氧化硅复合物中的效果

采用Banbury混合机和实验室用辊压机将KLR与SBR、二氧化硅和硫化剂按照SBR/二氧化硅/增塑剂=100/50/10的比例混合。

门尼粘度如图7所示。在SBR的配方中，KLR的增塑效果与TDAE类似。特别

地，与TDAE配方相比，LBR表现出优异的增塑效果，LBR-307配方表现出更好的伸长率。DIN磨损性能如图7所示。与天然橡胶和碳黑的复合物一样，与TDAE相比，LBR表现出更好的耐磨性能。

## 4.1 轮胎中的性能

损耗角( $\tan \delta$ )和储能模量( $E'$ )用相同的分析仪器(Eplexor)在10%静态应变和5%动态应变的条件下测定(图

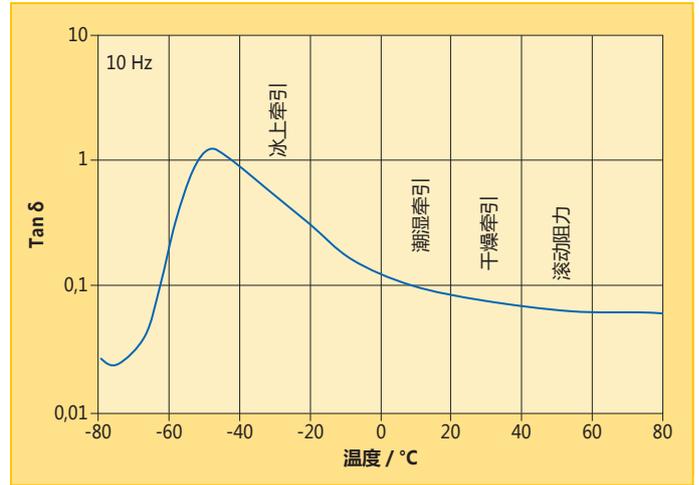


图4：粘弹性

图5：储能模量  $E'$

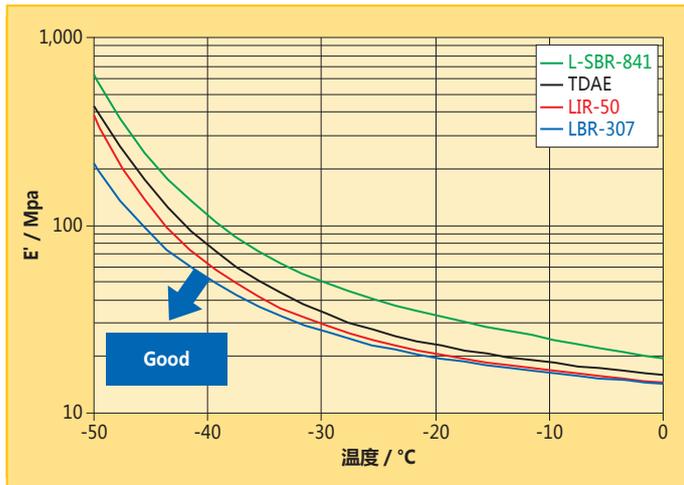


图6：甲苯萃取试验

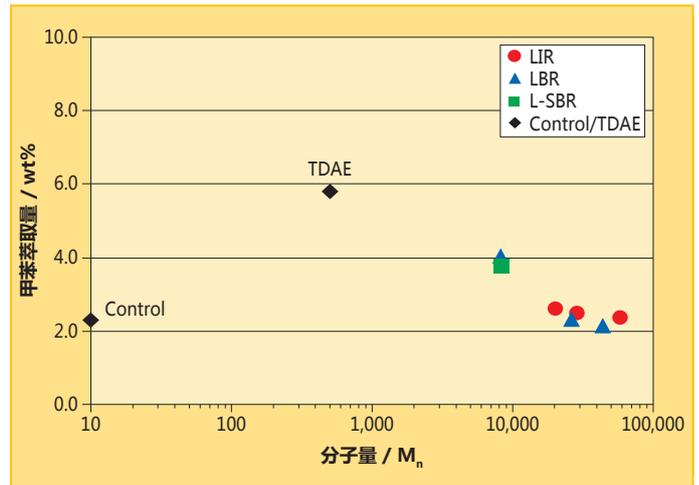
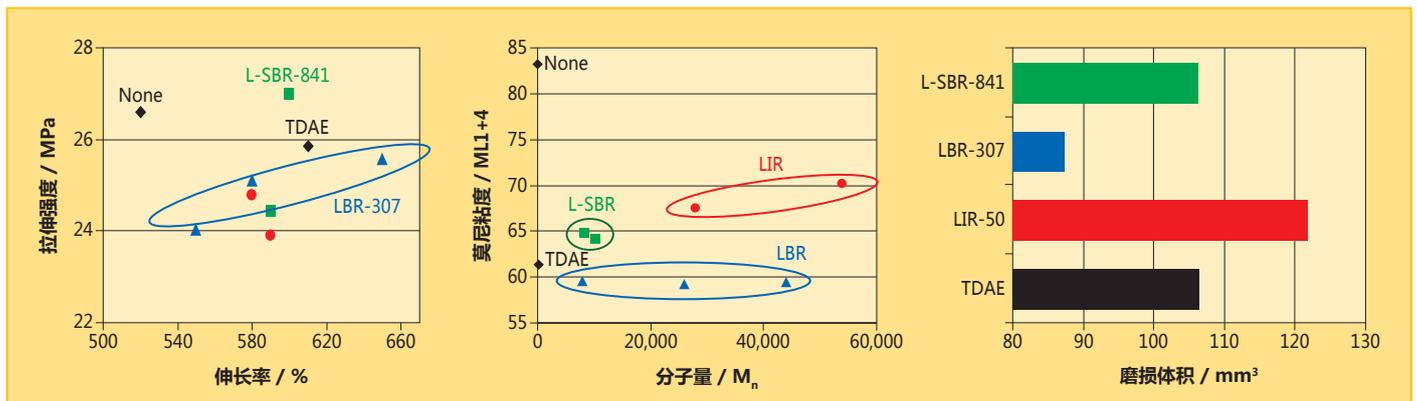


图7：主要性能(SBR)



8)。L-SBR在0 °C的 $\tan \delta$ 远高于TDAE，而在60 °C时L-SBR具有更高的 $T_g$ ，其 $\tan \delta$ 同样略有增加。这些结

果表明，使用L-SBR尽管会略微牺牲滚动阻力，但却能够改善抗湿滑性能。

## 5. 总结

在可持续产品设计的聚合物研发中，我们设法将液态聚合物这一独特技术的优势与活性增塑剂结合起来。这使得我们开发出了具有优异增塑性能的独特聚合物产品。与TDAE等标准油品相比，高分子量带来的共硫化特性使得所有牌号都具有低迁移率，对环境更加友好，使用耐久性更加出色。

图8：粘弹性分析

