

## 耐碱 FKM 在油田密封应用中的作用

**Steven Jagels\***

Solvay Solexis, Inc., 10 Leonard Ln, Thorofare, NJ, 08086, USA

Tel: 1 (856) 251-6607 - Fax: 1 (856) 384-6167 - email: [steven.jagels@solvay.com](mailto:steven.jagels@solvay.com)

Coauthor: Stefano Arrigoni, Solvay Solexis S.p.A., Viale Lombardia 20, 20021 Bollate (MI), Italy

Tel: +39/02/38356581 - Fax: +39/02/38356574 - email: [stefano.arrigoni@solvay.com](mailto:stefano.arrigoni@solvay.com)

\*作者

### 作者传记



Steven Jagels 是 Solvay Solexis, Inc 的一位应用开发工程师，就职于新泽西州，Thorofare 的北美 Tecnoflon® 氟化橡胶应用开发实验室。6 年前加入 Solvay Solexis，此前，在他的橡胶工业事业中曾就任于多种技术职位 Steven 是 Rubber Division ACS 旗下的 Energy Rubber Group 的成员。Steven 拥有路易斯安那州

新奥尔良的 Tulane 大学的细胞和分子生物学士学位。Louisiana.

### 摘要 ABSTRACT

选择一种适用于油田密封应用的材料，需要在各种要求中寻求平衡点。氟橡胶经常应用于复杂流体，高温芳香烃和油类的环境。一直以来有一些特殊的人造橡胶用于含有阻蚀剂和硫化氢的环境中，但是成本偏高或者牺牲耐芳香烃和低温等密封性能。直到近期，全氟橡胶被用于多数苛性流体环境，但是价格颇高。通过使用一种结合单体，交联点和精确聚合控制的技术，一种用于抵抗油田复杂流体环境的耐碱氟化橡胶被开发出来。这种技术可赋予材料耐芳香烃、耐油以及耐低温等性能。

本文将讨论此材料组成、耐流体性、耐硫化氢性以及用于油田应用的混炼配方示例。

## 简介

通过使用氟来取代有机聚合物上的氢可得到性能卓越的材料（包括塑料、橡胶和流体），使用于侵蚀普通聚合物的恶劣环境。含氟量高的聚合物展现出优异的耐高温性、强度和低温柔韧性、抗粘性和极低的摩擦系数。此外，它们几乎不溶于大多数有机溶剂、耐多种苛性流体，具有极低电介消耗，高电介强度、极低的折光率以及优异的耐火性。

含氟聚合物可分为两大类，例如，塑料（例如，聚四氟乙烯 PTFE，聚三氟氯乙烯 PCTFE，聚偏氟乙烯 PVDF，乙烯-四氟乙烯共聚物 ETFE，乙烯-三氟氯乙烯共聚物 ECTFE，四氟乙烯-全氟丙基乙烯基醚共聚物 PFA，四氟乙烯-全氟甲基乙烯基醚 MFA）和橡胶。氟碳橡胶或氟橡胶，是一种无定形聚合物，它们的玻璃化转化温度低于室温，适用于严酷环境中的应用。这些严酷环境包括高温以及与苛性化学物质、油类和流体接触。

## 氟化橡胶在油田中的应用

油田对橡胶材料来说是一种极端恶劣的环境。由于油田中的高温和化学混合物，要求使用的橡胶能够抵御严酷的环境，提供安全可靠的服务。氟橡胶能够使用于这种严酷环境。使用氟橡胶制成的用于油田和石油化学工业的制品多种多样，包括：O型圈、膜片、钻头密封件、阀门密封件、脉冲消除装置以及数不清的各种类型密封件。石油从地球深处被开采出来，再制成汽油和化学品来驱动我们的生活，而这些密封件和部件对保证石油开采设备每天正常工作，安全性和可靠性极为重要。

## 氟化橡胶的类型

ASTM D 1418 提供了有关氟化橡胶的命名和描述的向导。根据 ASTM D 1418 氟橡胶主要可分为 FKM, FEPM 和 FFKM。其中 FKM 又可进一步分为五大类。单体组成、单体排列次序以及硫化体系也是很重要的。这些因素都给予了氟化橡胶独特的优势，包括优异耐药品耐流体性、物理性质和令人满意的工作温度范围。

氟橡胶，是一组通过少数种类的单体聚合而成的种类多样的聚合物。目前市场上销售的氟橡胶的基本单体几乎都是 VF<sub>2</sub>、HPF、TFE 或 PMVE。由 VF<sub>2</sub> 和 HFP 生成的共聚物，一般被定为第 1 类 FKM，并且一般氟含量大约在 66%。在第 2 类 FKM 为三元聚合物，TFE 作为第三种单体参与聚合，用于提高氟含量。根据不同的牌号，氟含量可达到 67% 到 70%。三元聚合物和二元聚合物各有各的优势。三元聚合物具有更好的耐化学性，但是耐低温性变差。这就要求一种同时具有较好耐化学性和耐低温性的 FKM。在聚合物的碳架上加入 PMVE

能够改善耐低温性，针对此目的一系列 FKM 被生产出来。此外可以通过两种硫化体系来定义氟橡胶，虽然并没有在 ASTM D 1418 中明确指明。离子硫化（双酚 AF、BAF）和过氧化物硫化 FKM 是最常用的硫化体系。BAF 硫化体系几乎是二元胶专有的硫化体系，因为这种硫化体系提供了最好的耐热性能以及优异的压缩永久变形性。当聚合物碳架上氟含量和 PMVE 含量升高，有效的硫化点减少，这样就要求使用另一种硫化体系来达到要求的硫化状态。一般来说，在聚合物的链端添加含卤素原子的交联单体。交联单体(CSM)用于与 triallyl isocyanurate (TAIC)进行交联。过氧化物硫化体系比双酚硫化体系具有更好的耐化学性。

FEPM 类的氟化橡胶为过氧化物硫化橡胶，组成单体包括丙烯和 TFE，或丙烯、TFE 以及 PMVE。

全氟橡胶，FFKM，基于单体 TFE 和 PMVE 而完全氟化，拥有最好的耐高温性和耐化学性，。

### 材料的选择

每种橡胶与其它类型的橡胶相比都有各自的优势和劣势。在密封应用中，需要通过考虑多种性质来选择合适的橡胶。其中胶料的耐化学性和耐高温性是主要的考虑对象。在油田应用中，需要考虑到与油类、芳香烃相接触的环境，以及含有腐蚀性物质、蒸汽、硫化氢的有水环境。超过 180°C 的长期耐热性能在深井应用中是必须的。此外，针对深水环境以及北部海底所具有的环境，低温柔韧性以及在低于 0°C 环境中保持良好的动态密封性能，成为密封设计的一个因素。双酚硫化FKM具有很好的耐芳香烃和耐油性能，但是耐碱、耐高温水、耐硫化氢的性能较差。过氧化物硫化的FKM 橡胶具有较好的耐化学、耐水蒸气性能，有限的耐硫化氢性能，相对双酚硫化FKM具有较好的耐碱性。

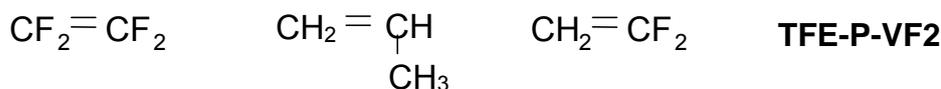
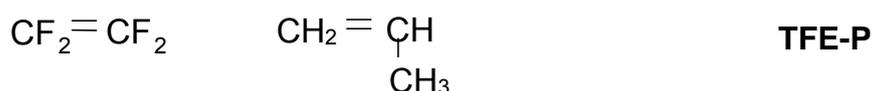
基于TFE/P的FEPM橡胶适合多种油田应用。然而，TFE/P橡胶耐芳香烃性能差，在含有芳香类物质的流体中体积溶胀很大。由于T<sub>g</sub>高于 0°C，所以即使是耐低温牌号的TFE/P也不适用于多种低温应用。FEPM橡胶具有很好的耐硫化氢性能。

全氟橡胶具有相当好的耐化学性和耐高温性。全氟橡胶可用于几乎所有的油田流体环境，包括含有硫化氢的流体。将FFKM用于通常的密封应用是可行的，但是可能因为性能超过了实际工程需要而导致不必要的成本损失。与基于TFE/P的橡胶一样，FFKM的耐低温牌号不能满足所有的耐低温应用。由于针对某个应用有多种材料可供选择，摆在密封件设计人员面前的难题就是如何选择一种材料能满足尽可能多的应用要求，并且提供最高的性价比。每个油田都有它特有的流体成分和环境，并且一般需要根据这些实际因素使用特定的橡胶制品。橡胶定制会增加设备的成本，并且限制了这些部件在环境不同的其它油田应用中的使用。一种新型的氟橡胶定义为第 5 类氟橡胶，尤其是以Tecnoflon® BR 9151 为代表。在油田应用中，它包含了FKM，FEPM和FFKM的一些特性，是一种非常适用于油田密封的材料。

**耐碱型氟化橡胶**

由于汽车工业和油田工业发展的需要，大量的研发力量用于开发耐碱性的氟化橡胶。事实上，传统 1 至 3 型的 FKM 极易受到例如胺等亲核试剂的进攻。

通过两种不同结构的传统氟化橡胶，例如不含有 VF<sub>2</sub> 的材料或不含有 HFP 的材料，能够产生耐碱性能，表示如下。

**不含 VF<sub>2</sub> 的氟化橡胶****不含 HFP 的氟化橡胶**

这些材料，由于完全不含有碱敏感点，所以表现出优异的耐碱性能。T 显然，不含有 VF<sub>2</sub> 的系列材料的设计过好了，此材料具有很高的氟含量；此外，它们含有大量所谓“弹性”单体的高成本 PAVE，尤其例如全氟甲基乙烯基醚，导致材料价格过高。

在不含有 HFP 的氟化橡胶中，丙稀代替 PAVE 作为“弹性”单体。这使材料的价格相对降低，但是耐热性能变差，并且在烃类物质中的溶胀加大。

为了达到价格核性能的平衡，一种新的方法被用于开发耐碱型的材料：这种方法被定义为“保护单体方法”。主要设计思想是在不去除 VF<sub>2</sub> 和 HFP 的情况下，共通过严格控制的聚合手段，在共聚物中引入一种特殊的单体，从而减少对碱敏感单体的总量。为了达到这种效果，需要引入一种对氟化自由基的反映活性尽可能高的单体。此外，这种单体需要具有较好的电负性，以减轻来自于含有碱敏感点的 CH<sub>2</sub> 单元上的 HFP 的电子进攻效应。氢化烯烃(尤其乙烯)能够满足这些要求，用作保护单体。聚合物在不锈钢高压锅中通过微乳聚合得到。聚合在间歇式条件下进行，也就是说持续加入气相的单体蒸汽，以保证在整个聚合过程中聚合物的组成保持稳定。引发剂为水溶性的（过硫酸铵(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>）。链转移剂，名为全氟烷基碘(I-(CF<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-I)，用于在聚合物中引

入碘原子，实现自由基硫化。通过一种有机过氧化物和不饱和交联剂（例如triallyl isocyanurate (TAIC)）的相互作用，得到最终硫化成品。

通过这种方法，Tecnoflon® BR 9151 通过五种不同单体的共聚得到，VF2、HFP、TFE、PMVE和乙烯；然而，所谓的保护基团作用并不局限于这种特殊的聚合物。实际上，通过在单体分布平衡性很好的聚合物中加入特殊的单体，可以开发很多新的牌号。拥有良好的耐碱性，并具有各种温度下的回弹性能。

## 讨论 DISCUSSION

这种新材料（FKM-BR 9151）的相关性能在显示如下，并且下文将着重于油田市场情况。列举了不同类型橡胶针对油田应用的耐流体和物性的比较。特别是在耐芳香烃、耐油、耐甲醇、耐硫化氢、耐水蒸气、耐胺以及良好的耐低温性能等方面，该材料能满足大多数油田的应用。

如表 1 所示，二元 FKM 具有良好的耐芳香烃和耐油性，但是耐蒸汽、耐胺、耐甲醇、耐硫化氢性能较差。As FKM-P 959 由于具有较高的氟含量，所以耐甲醇性能较好，并且由于使用过氧化物硫化体系，耐蒸汽性能也较好。使用保护单体方法的 FKM-BR 9151 除了具有二元 FKM 和 FKM-P 959 的特性以外，还具有很好的耐胺性和耐硫化氢性。

表 1 Table 1

	<b>FKM, Copolymer 66% Fluorine, BAF Cured</b>	<b>FKM-P 959, 70% Fluorine, Peroxide Cured</b>	<b>FKM-BR 9151</b>	<b>TFE/P</b>	<b>FFKM</b>
<b>Aromatic Hydrocarbon</b>	Good	Good	Good	<i>Poor</i>	Good
<b>Oil</b>	Good	Good	Good	Good	Good
<b>Methanol</b>	<i>Poor</i>	Good	Good	Good	Good
<b>Hydrogen Sulfide</b>	<i>Poor</i>	<i>Poor</i>	Good	Good	Good
<b>Steam</b>	<i>Poor</i>	Good	Good	Good	Good
<b>Amines</b>	<i>Poor</i>	<i>Poor</i>	Good	Good	Good
<b>Low Temperature Tg&lt;0°C</b>	Good	Good	Good	<i>Poor</i>	<i>Poor</i>

表 1 显示了通常用于油田应用的氟化橡胶的性能。“poor”表示性能改变强烈，不论在体积溶胀还是在扯断伸长率降低方面，定为不太有利的候选对象。“good”表示该橡胶在体积溶胀和扯断伸长率方面表现良好，定为比较有利的候选对象。FKM BR 9151 在各个性能指标中都表现良好，应用性能较广。

在下文将对上述的每一个性能指标，通过对各个类型材料的数据比较详细叙述。

在烃类中的体积溶胀

图 1

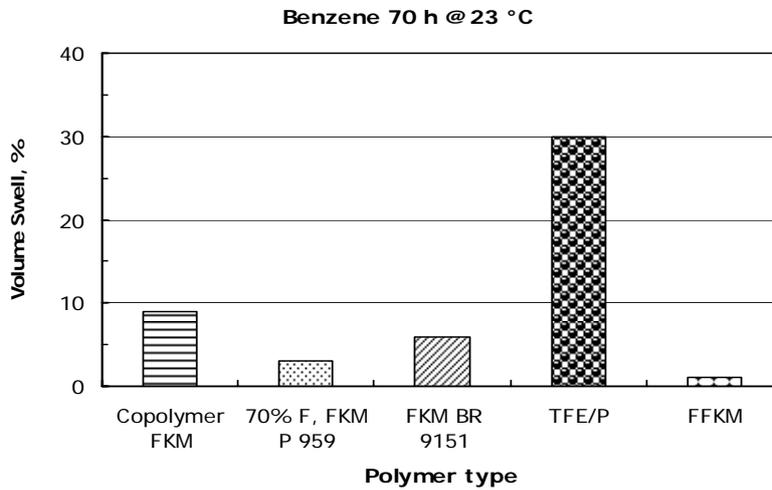
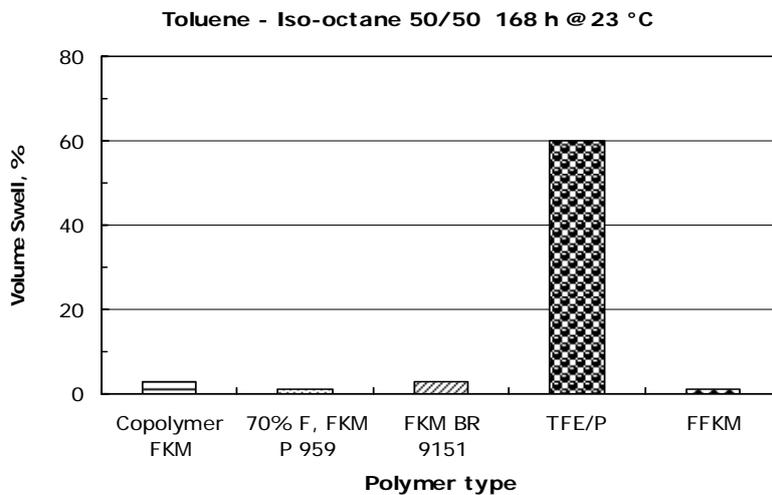


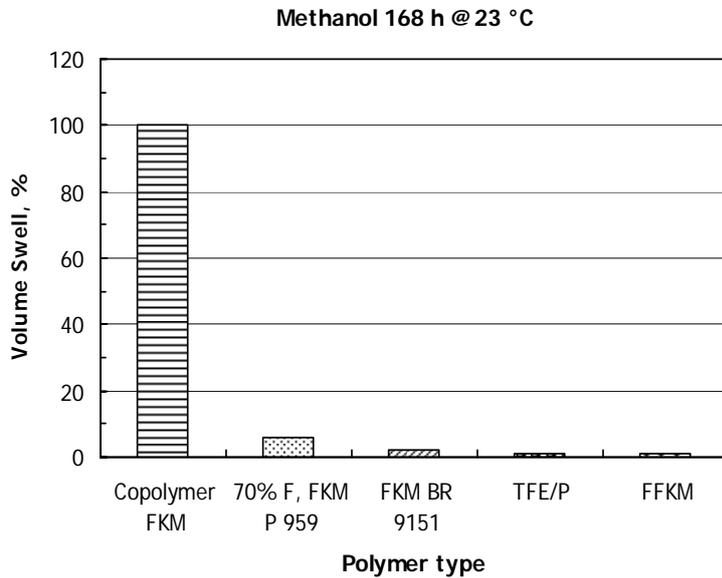
图 2 Figure 2



类似于传统的 FKM，由于内在的极性结构，FKM BR 9151 表现出优异耐脂肪烃和耐芳香烃性（图 1 和图 2）。此外，由于 TFE/P 聚合物的非极性以及使用丙稀作为共聚单体，导致在烃类物质中的溶胀强烈。

在甲醇中的体积溶胀 **Volume swell in methanol**

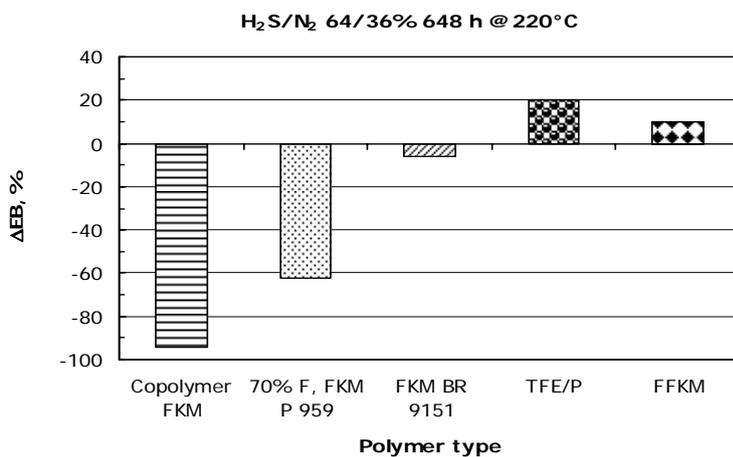
图 3 Figure 3



BR 9151 在甲醇（图 3）中的溶胀性与 TFE/P 聚合物和高氟含量的三元聚合物相当。

在硫化氢中的体积溶胀

图 4



与TFE/P聚合物和FFKM相比，FKM-BR 9151(F图 4)表现出优异的耐H<sub>2</sub>S 性能。并且比传统双酚硫化和过氧化物硫化的FKM要好。

耐胺类性能

图 5

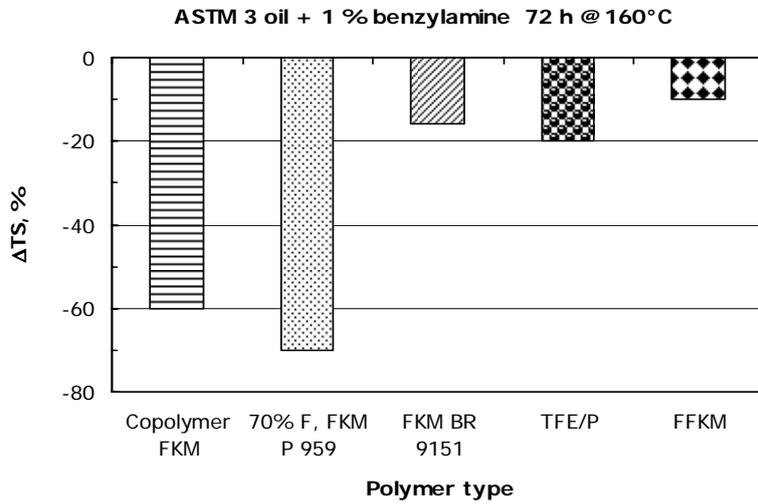
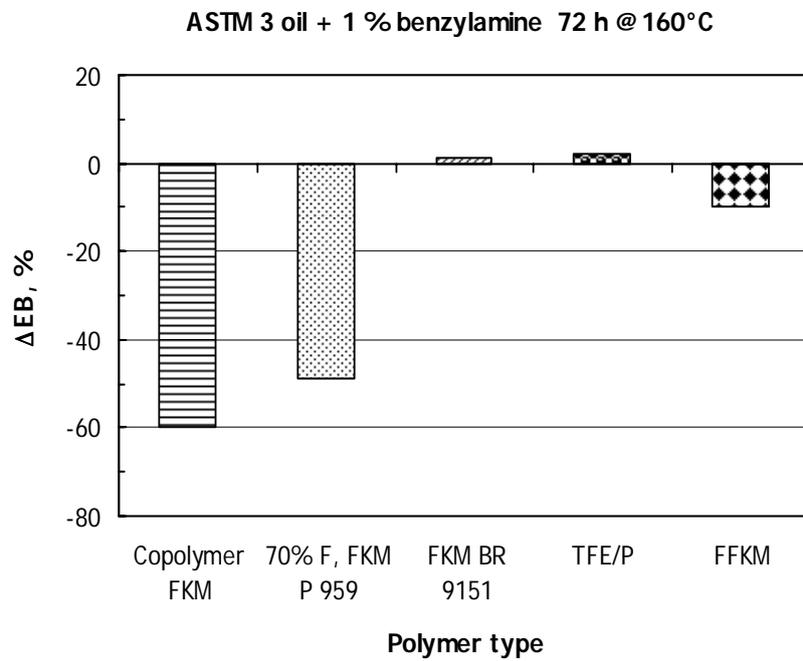


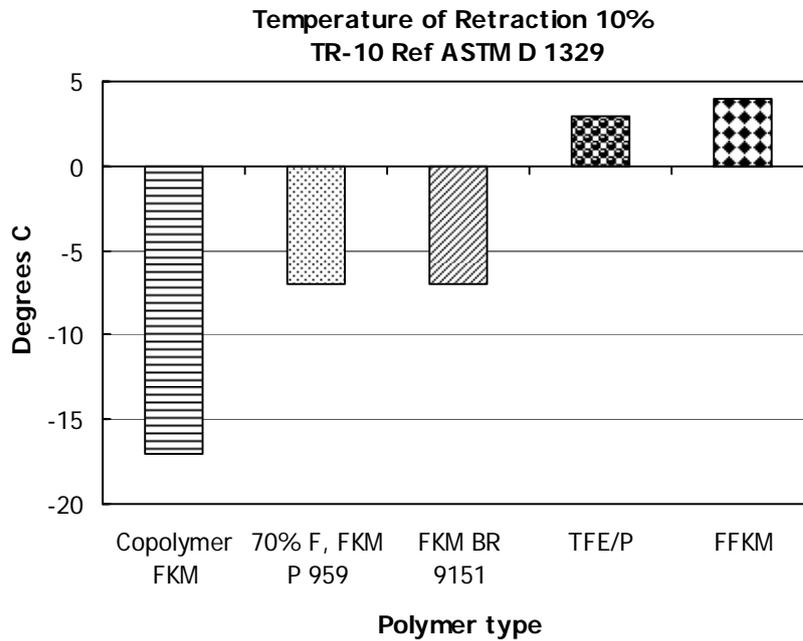
图 6



同样对于胺类物质（图 5 和图 6），例如苯胺，与 TFE/P 聚合物和 FFKM 相比，FKM-BR 9151 表现优异。并且比传统双酚硫化和过氧化物硫化的 FKM 要好。

## 耐低温

图 7



进一步研究（图 7）各种类型橡胶关于耐低温性能的比较。TR-10 提供了表明橡胶在动态密封应用中的一个温度指标。二元 FKM，过氧化物硫化 FKM 和 FKM BR 9151 的 TR-10 值都低于 0°C，可适用于深水和北方海洋应用。而 TFE/P 和 FFKM 的 TR-10 值高于 0°C，这就限制了它们在低温应用中的使用。对比可选的材料，FKM BR 9151 比 TFE/P 或 FFKM 在低温环境中更多的设计选择。

## 物理机械性能

图 8

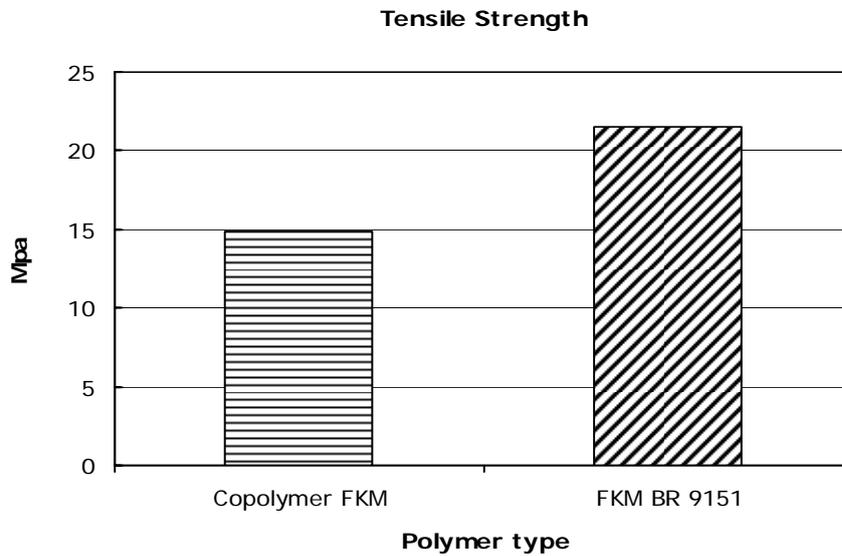
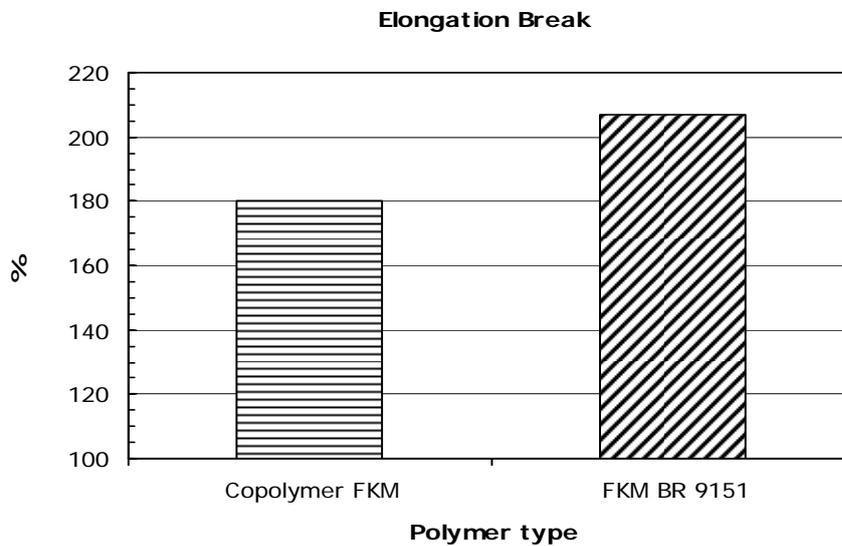


图 9



标准硬度 75 的 FKM-BR 9151 的拉伸强度大约比双酚硫化的二元 FKM 要高出大约 40% (图 8)。强度增加是使用微乳聚合以及过氧化物硫化的结果。就扯断伸长率而言 (图 9)，与拉伸强度类似，微乳聚合过氧化物硫化的 FKM 要比二元 FKM 性能好。这些性能使开发高硬度并且伸长率高的混炼胶成为可能，并且这是很多密封件设计所期望的性能。

## 配方

表 2 显示了典型的 FKM BR 9151 混炼胶配方。邵氏硬度分别为 75 和 90，挤出和耐爆发性减压型混炼胶。

Material	75 Durometer, PHR	90 Durometer, PHR
FKM BR 9151	100	100
TAIC (75%Dispersion)	4	3
Peroxide, DBPH (50% Dispersion)	2	2
Zinc Oxide (optional for improved dry heat age resistance)	5	5
MT N 990 Carbon Black	30	30
N 330 Carbon Black		20
Process Aid (FPA 1)	0.5	0.5
<b>Press Cure 10' @ 177°C, Post Cured 4 hours @ 230°C</b>		
Hardness, Shore A, Points	72	87
Tensile Strength, MPa	21.5	22.1
Elongation Break, %	207	110
Modulus @ 100%, MPa	7	19.5
Compression Set Resistance, Buttons, 70 hours @ 200°C, %	28	35
Heat Resistance, 1008 hours @ 200°C	$\Delta$ ShA, pts, -2 $\Delta$ TS%, -2 $\Delta$ EB% +6 $\Delta$ M100% -4	$\Delta$ ShA, pts, -1 $\Delta$ TS%, -4 $\Delta$ EB% +3 $\Delta$ M100% -2
Heat Resistance, 70 hours @ 250°C	$\Delta$ ShA, pts, 0 $\Delta$ TS%, -5 $\Delta$ EB% +12 $\Delta$ M100% -14	$\Delta$ ShA, pts, -1 $\Delta$ TS%, -7 $\Delta$ EB% +10 $\Delta$ M100% -12

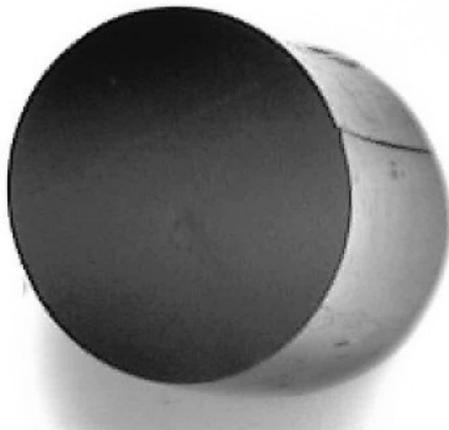
使用碳黑填料的混炼胶表现出高强度和扯断伸长率。由上可见，FKM-BR 9151 不需要长时间的二段硫化来达到优异的物理性质或良好的抗压性能。一般不超过 4 小时的二段硫化即可达到最佳物理性能。

FKM-BR 9151 的聚合技术和硫化技术使之可胜任于高温环境的油田密封应用。FKM-BR 9151 的起始强度和伸长率越高，则在高温应用的使用范围就越广，因为其中物理性能是关键。

### 耐爆发性减压性

图 10

90 ShA Carbon Filled Formulation	
Change in Shore A Hardness, pts	-11
Change in Cross Section, %	1
NACE Rating	1, No Cracking or Blisters



上图显示了一个经过E.D.测试的O型圈截面图。参考NACE TM192-2003, AS568-325O型圈样品, 100%二氧化碳, 750psi, 24 hours @ 23°C, 减压时间<1分钟, 在减压结束 10 分钟后测量结果。截面图为 10 放大比例, 图上未标明尺寸。

### 结论 CONCLUSION

ASTM D 1418-05 标准说明了几种含氟聚合物, 包括 FKM、FEPM 和 FFKM。在 FKM 中, 根据单体组成可分为 5 类。FKM BR 9151, 对应 ASTM D 1418-05 中描述的第 5 类单体组成, 使用“保护单体方法”, 使链上

单体严格排序以产生耐碱性能，并使用过氧化物硫化来提高耐化学性能。使用微乳聚合来严格控制聚合过程，使生成的聚合物具有平衡的性能以满足包括油田市场的广泛应用要求。现在市场上可用的技术的优势在于允许客户在更广的应用环境中提高他们的密封件质量。FKM 和基于 TFE/P 的聚合物在油田应用中的局限性通过另一种聚合物得到解决。FKM BR 9151 的耐碱技术满足了更广了耐流体性以及更好的物理机械性能，这在油田应用中是很重要的。该技术给予了聚合物优异的物理机械性能，耐硫化氢、耐芳香烃、耐油、耐蒸汽以及耐胺性能，并改善了耐低温密封性能。这种多功能并改进的性能使得油田工程人员能够简单地选择适合多数油田应用得材料。由于与高价材料、二元氟胶 以及 FEPM 相比，FKM BR 9151 具有较好的性价比，并且对于密封应用不会性能过低，也不会因应用环境发生改变而产生问题，可 作为油田应用材料的第一选择。对于通常密封材料的使用，出于节约成本和方便要求，不需要存储多种密封材料制成的各种部件。

## 附录 1.

测试混炼胶是以炭黑填充，硬度在 75 度到 80 度之间

## 耐芳香烃性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
Toluene, 336 hrs @ 60°C	ΔShA, pts -15 ΔTS% -48 ΔEB% -31 ΔV% +26	ΔShA, pts -8 ΔTS% -28 ΔEB% -18 ΔV% +12	ΔShA, pts -11 ΔTS% -41 ΔEB% -25 ΔV% +16
Benzene, 70hrs @ 23°C	ΔShA, pts -4 ΔTS% -16 ΔEB% -5 ΔV% +9	ΔShA, pts -7 ΔTS% -12 ΔEB% +5 ΔV% +3	ΔShA, pts -5 ΔTS% -13 ΔEB% +9 ΔV% +6
Xylene, 70hrs @ 23°C	Not Tested	Not Tested	ΔShA, pts -3 ΔTS% -19 ΔEB% 0 ΔV% 3

## 耐蒸汽性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
Steam, 168hrs @ 200°C	ΔShA, pts -1 ΔTS% -35 ΔEB% -24 ΔV% +3	ΔShA, pts -4 ΔTS% -5 ΔEB% +21 ΔV% +3	ΔShA, pts -5 ΔT% +2 ΔEB% +29 ΔV% +4

Steam, 70hrs @ 225°C	Brittle	$\Delta$ ShA, pts -1	$\Delta$ ShA, pts -7
		$\Delta$ TS% -14	$\Delta$ TS% -2
		$\Delta$ EB% +25	$\Delta$ EB% +34
		$\Delta$ V% +1	$\Delta$ V% +5
Steam, 70hrs @ 250°C	Brittle	$\Delta$ ShA, pts -6	$\Delta$ ShA, pts -9
		$\Delta$ TS% -46	$\Delta$ TS% -20
		$\Delta$ EB% +46	$\Delta$ EB% +65
		$\Delta$ V% +1	$\Delta$ V% +3

## 耐胺性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
ASTM 3 oil + 1 % benzylamine, 72 hrs @ 160°C	$\Delta$ ShA, pts +2 $\Delta$ TS% -60 $\Delta$ EB% -60 $\Delta$ V% +5	$\Delta$ ShA, pts +4 $\Delta$ TS% -70 $\Delta$ EB% -49 $\Delta$ V% +5	$\Delta$ ShA, pts 0 $\Delta$ TS% -16 $\Delta$ EB% 0 $\Delta$ V% +3

## 耐醇性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
Methanol, 336hrs @ 60°C	$\Delta$ ShA, pts -25 $\Delta$ TS% -63 $\Delta$ EB% -38 $\Delta$ V% +67	$\Delta$ ShA, pts -7 $\Delta$ TS% -21 $\Delta$ EB% -9 $\Delta$ V% +6	$\Delta$ ShA, pts -6 $\Delta$ TS% -14 $\Delta$ EB% -6 $\Delta$ V% +5
Ethanol, 336hrs @ 60°C	$\Delta$ ShA, pts -10 $\Delta$ TS% -28 $\Delta$ EB% -6 $\Delta$ V% +13	$\Delta$ ShA, pts -6 $\Delta$ TS% -22 $\Delta$ EB% -10 $\Delta$ V% +5	$\Delta$ ShA, pts -5 $\Delta$ TS% -23 $\Delta$ EB% -12 $\Delta$ V% +5
2 Propanol, 336hrs @ 60°C	$\Delta$ ShA, pts -6 $\Delta$ TS% -25 $\Delta$ EB% -5 $\Delta$ V% +12	$\Delta$ ShA, pts -5 $\Delta$ TS% -31 $\Delta$ EB% -18 $\Delta$ V% +6	$\Delta$ ShA, pts -6 $\Delta$ TS% -22 $\Delta$ EB% -12 $\Delta$ V% +7

## 耐复杂流体性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
--	---------------	-------------------------------------	-------------

50% Toluene, 50% Iso-octane (reference fuel C) 70hrs @ 23°C	$\Delta$ ShA, pts -2 $\Delta$ Ts% -11 $\Delta$ EB% -3 $\Delta$ V% +3	$\Delta$ ShA, pts -4 $\Delta$ Ts% -8 $\Delta$ EB% +2 $\Delta$ V% +1	$\Delta$ ShA, pts -4 $\Delta$ Ts% -20 $\Delta$ EB% -2 $\Delta$ V% +3
Toluene 90% MTBE 10%, 168hrs @ 23°C	$\Delta$ ShA, pts -11 $\Delta$ V% +17	$\Delta$ ShA, pts -5 $\Delta$ V% +4	$\Delta$ ShA, pts -12 $\Delta$ V% +9
MTBE, 168hrs @ 23°C	$\Delta$ ShA, pts -21 $\Delta$ V% +97	$\Delta$ ShA, pts -19 $\Delta$ V% +57	$\Delta$ ShA, pts -28 $\Delta$ V% +68
Glacial Acetic Acid, 168hrs @ 23°C	$\Delta$ ShA, pts -28 $\Delta$ V% +95	$\Delta$ ShA, pts -19 $\Delta$ V% +37	$\Delta$ ShA, pts -21 $\Delta$ V% +27
Skydrol LD, 70 hrs @ 121°C	$\Delta$ ShA, pts -28 $\Delta$ V% +188	$\Delta$ ShA, pts -27 $\Delta$ V% +54	$\Delta$ ShA, pts -23 $\Delta$ V% +44

## 耐油和烃类性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
Iso-Octane, 336hrs @ 60°C	$\Delta$ ShA, pts +1 $\Delta$ TS% -6 $\Delta$ EB% +7 $\Delta$ V% +2	$\Delta$ ShA, pts -3 $\Delta$ TS% -13 $\Delta$ EB% -2 $\Delta$ V% +5	$\Delta$ ShA, pts -6 $\Delta$ TS% -28 $\Delta$ EB% -15 $\Delta$ V% +9
Heptane, 336hrs @ 60°C	$\Delta$ ShA, pts 0 $\Delta$ TS% -7 $\Delta$ EB% +7 $\Delta$ V% +2	$\Delta$ ShA, pts -3 $\Delta$ TS% -20 $\Delta$ EB% -9 $\Delta$ V% +4	$\Delta$ ShA, pts -4 $\Delta$ TS% -20 $\Delta$ EB% -9 $\Delta$ V% +6
Mobil 1, 336hrs @ 150°C	$\Delta$ ShA, pts -1 $\Delta$ TS% -28 $\Delta$ EB% -14 $\Delta$ V% +1	$\Delta$ ShA, pts -3 $\Delta$ TS% -12 $\Delta$ EB% -1 $\Delta$ V% +1	$\Delta$ ShA, pts -4 $\Delta$ TS% -6 $\Delta$ EB% +5 $\Delta$ V% +1
Diesel #2, 70hrs @ 100°C	$\Delta$ ShA, pts -2 $\Delta$ TS% -19 $\Delta$ EB% +1 $\Delta$ V% +5	$\Delta$ ShA, pts -4 $\Delta$ TS% -6 $\Delta$ EB% +11 $\Delta$ V% +2	$\Delta$ ShA, pts -5 $\Delta$ TS% -7 $\Delta$ EB% +5 $\Delta$ V% +4
IRM 903, 70hrs @ 150°C	$\Delta$ ShA, pts -1 $\Delta$ TS% -11 $\Delta$ EB% +7 $\Delta$ V% +2	$\Delta$ ShA, pts -3 $\Delta$ TS% -6 $\Delta$ EB% +5 $\Delta$ V% 0	$\Delta$ ShA, pts -5 $\Delta$ TS% -7 $\Delta$ EB% +2 $\Delta$ V% +3
Kerosene, 70hrs @ 100°C	$\Delta$ ShA, pts -1 $\Delta$ TS% -19 $\Delta$ EB% +4 $\Delta$ V% +3	$\Delta$ ShA, pts -5 $\Delta$ TS% -9 $\Delta$ EB% +8 $\Delta$ V% +5	$\Delta$ ShA, pts -4 $\Delta$ TS% -10 $\Delta$ EB% +3 $\Delta$ V% +2

## 耐水溶液性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
Distilled Water, 336hrs @ 100°C	$\Delta$ ShA, pts +3 $\Delta$ TS% 0 $\Delta$ EB% +14 $\Delta$ V% +4	$\Delta$ ShA, pts -1 $\Delta$ TS% -11 $\Delta$ EB% -1 $\Delta$ V% +3	$\Delta$ ShA, pts -2 $\Delta$ TS% +3 $\Delta$ EB% +6 $\Delta$ V% +3
NaCl (5 molar), 336hrs @ 100°C	$\Delta$ ShA, pts 1 $\Delta$ TS% -2 $\Delta$ EB% +7 $\Delta$ V% +2	$\Delta$ ShA, pts -3 $\Delta$ TS% -6 $\Delta$ EB% +1 $\Delta$ V% +1	$\Delta$ ShA, pts -3 $\Delta$ TS% +3 $\Delta$ EB% 0 $\Delta$ V% +5
Zinc Bromide (2 molar), 336hrs @ 100°C	$\Delta$ ShA, pts 0 $\Delta$ TS% +1 $\Delta$ EB% +15 $\Delta$ V% 0	$\Delta$ ShA, pts -1 $\Delta$ TS% -3 $\Delta$ EB% 0 $\Delta$ V% 0	$\Delta$ ShA, pts -2 $\Delta$ TS% -2 $\Delta$ EB% -6 $\Delta$ V% 0
Potassium Formate (3 molar), 336hrs @ 100°C	$\Delta$ ShA, pts +3 $\Delta$ TS% -8 $\Delta$ EB% +3 $\Delta$ V% +1	$\Delta$ ShA, pts 0 $\Delta$ TS% -10 $\Delta$ EB% -4 $\Delta$ V% +1	$\Delta$ ShA, pts -2 $\Delta$ TS% +3 $\Delta$ EB% -2 $\Delta$ V% +1

耐H<sub>2</sub>S 性能

Conditions/ Test Proc. Ref: ASTM D471	Copolymer FKM	FKM P 959, 70% Fluorine Peroxide	FKM BR 9151
Hydrogen Sulfide 4% dry, 1315 hrs @ 180°C	ΔTS% -33 ΔEB% -74	ΔTS% -3 ΔEB% -8	ΔT% -3 ΔEB% +2
Hydrogen Sulfide 16% dry, 624hrs @ 200°C	ΔTS% -37 ΔEB% -84	ΔTS% -12 ΔEB% -28	ΔTS% -12 ΔEB% -6
Hydrogen Sulfide 64% dry, 336hrs @ 220°C	ΔTS% -14 ΔEB% -95	ΔTS% -29 ΔEB% -55	ΔTS% -12 ΔEB% -9
Hydrogen Sulfide 64% dry, 648hrs @ 220°C	ΔTS% +6 ΔEB% -94	ΔTS% -31 ΔEB% -62	ΔTS% -11 ΔEB% -6