

# 汽车高速油封用丙烯酸酯橡胶配方设计

张松峰<sup>1,2</sup> 孙琦岳<sup>1,2</sup> 朱熠<sup>1,2</sup> 包轩铭<sup>2</sup> 王泽庆<sup>2</sup>

(1. 高端汽车集成与控制全国重点实验室, 长春 130013; 2. 中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013)

**摘要:** 为降低汽车高速油封用橡胶材料的成本, 根据汽车用高速油封的应用部位和使用工况, 确定了高速油封用橡胶材料的性能需求, 从原胶的选择、补强体系、硫化体系、老化体系、耐磨体系和加工体系等方面对丙烯酸酯橡胶配方进行了分析和设计, 开发了汽车高速油封用丙烯酸酯橡胶配方。经过测试, 该丙烯酸酯橡胶混炼胶性能完全满足高速油封用橡胶材料的性能需求, 可代替成本高昂的氟橡胶材料大规模应用于汽车高速油封。

**关键词:** 高速油封 丙烯酸酯橡胶 配方

**中图分类号:** U465.4<sup>2</sup> **文献标志码:** B

**DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20240146

## Formula Design of Acrylate Rubber for Automobile High-Speed Oil Seals

Zhang Songfeng<sup>1,2</sup>, Sun Qiyue<sup>1,2</sup>, Zhu Yi<sup>1,2</sup>, Bao Xuanming<sup>2</sup>, Wang Zeqing<sup>2</sup>

(1. National Key Lab of Advanced Vehicle Integration & Control, Changchun 130013; 2. Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

**Abstract:** In order to reduce rubber cost of high-speed oil seals for automobiles, performance requirements for rubber materials used in high-speed oil seals are determined according to the application locations and operation conditions. The acrylic rubber formula is analyzed and designed from the aspects of raw rubber selection, reinforcement system, vulcanization system, aging system, wear resistance system, and processing system. Finally, the acrylic rubber formula for high-speed oil seals in automobiles is developed. The test shows that the developed acrylic rubber fully meets the performance requirements of rubber materials for high-speed oil seals, and can replace the expensive fluororubber material for large-scale application in automotive high-speed oil seals.

**Key words:** High-speed oil seals, Acrylate rubber, Formula

## 1 前言

汽车高速油封主要应用于发动机曲轴、阀杆、变速器、电机和减速器等总成零部件中, 用于油品的密封<sup>[1]</sup>。随着新能源汽车的发展, 用于电机和减速器的高速油封使用工况转速更高、温升更大、密封的油腐蚀性更强<sup>[2]</sup>, 需要使用耐磨性优异、耐温更高、油品兼容性更好的橡胶材料。橡胶材料的性能对油封的可靠性起着决定性作用, 合理的橡胶配方可保证混炼胶工艺性能和材料性能, 进

而满足橡胶制品的可靠性要求<sup>[3]</sup>。丙烯酸酯橡胶 (Acrylic Rubber, ACM) 因适用于汽车发动机、电机等需要耐热氧化性能和耐油性能优异的场合, 被称为“汽车橡胶”, 是汽车工业着重推广的密封用橡胶材料。但由于 ACM 及其配方技术依赖进口, 且原胶有耐寒性差、强度低、加工性能差, 用于高速油封仍存在一系列技术难题<sup>[4]</sup>。本文采用国产化橡胶原胶, 通过合理的配方设计, 克服丙烯酸酯橡胶的缺点, 开发满足性能要求的汽车高速油封用丙烯酸酯橡胶。

**作者简介:** 张松峰 (1992—), 男, 工程师, 硕士学位, 研究方向为汽车用先进材料开发与应用。

**参考文献引用格式:**

张松峰, 孙琦岳, 朱熠, 等. 汽车高速油封用丙烯酸酯橡胶配方设计[J]. 汽车工艺与材料, 2024(10): 66-72.

ZHANG S F, SUN Q Y, ZHU Y, et al. Formula Design of Acrylate Rubber for Automobile High-Speed Oil Seals[J]. Automobile Technology & Material, 2024(10): 66-72.

## 2 汽车高速油封用橡胶配方设计依据

### 2.1 产品使用条件和要求

高速油封用橡胶材料设计应考虑油封的密封性能、使用寿命、制造工艺和经济性等因素。高速油封用橡胶材料应在使用寿命内保持油封径向力、过盈量等影响密封的关键参数。因此,橡胶材料随时间、温度和介质腐蚀而产生的溶胀、硬度变化、磨损、强度降低、弹性降低、永久变形等均应控制在一定范围内。

工作温度是影响油封使用寿命的重要因素。高温下橡胶变软、弹力下降,并逐渐老化,油封使用寿命缩短。高速油封的工况温度,不仅要考虑油封使用的环境温度,还应考虑高速下旋转轴表面与橡胶密封唇部摩擦所带来的温升。因密封唇与旋转轴过盈量、散热结构、旋转速度、工作压力、旋转轴表面情况等因素影响,密封唇升温情况也不同,高速油封工作时密封唇与旋转轴接触处的橡胶温度一般比环境温度高20~50℃,如果油封带有防尘唇等不利于散热的结构,温度还会升高10~30℃。因此,油封选用的橡胶材料必须能耐受油封工作的最高温度。

低温下橡胶会变硬,弹性降低,甚至出现撕裂,导致密封失效。虽然高速油封进入工作状态后升温很快,但若橡胶材料不能随温度上升快速恢复弹性,也会造成漏油。因此,油封用橡胶材料还需满足低温要求。

汽车高速油封密封的介质均为石油基润滑油,多数采用使用温度范围更大、寿命更长的合成机油。润滑油的主要成分是基础油和添加剂,添加剂包括防锈剂、抗氧化剂、抗磨剂、抗泡沫添加剂等,以获得更好的物理适应性、热稳定性、抗氧化性、抗泡沫性和粘度稳定性等。润滑油中的添加剂会腐蚀橡胶,导致橡胶出现溶胀、硬度变化、强度下降、龟裂、成分析出等。特别是在高温、高压和长期使用的情况下,油品与橡胶接触会引起化学反应,进一步腐蚀橡胶材料。因此,油封用橡胶材料耐油性非常重要,且应适用于不同种类、不同牌号的车用机油和齿轮油等,并满足高速高温条件下的长期使用要求。

高速油封工作时,橡胶密封唇口与旋转轴过盈配合,橡胶的耐磨性也是一个重要指标,其由强度和橡胶摩擦因数决定,相关性能还包括硬度、撕裂强度等。

### 2.2 混炼胶性能要求

高速油封所用的胶料及配方必须具备良好的综合性能,满足耐温、耐油、耐磨、耐老化和工艺性等要求。汽车用高速油封一般在高温环境中工作,密封成分复杂的润滑油品,使用条件苛刻,需满足的性能如表1所示。

## 3 丙烯酸酯橡胶的配方设计

当前,可满足汽车高速油封使用要求的橡胶有氟橡胶、氢化丁腈橡胶和丙烯酸酯橡胶。氟橡胶(Fluororubber, FKM)密度较大,耐高温性优于丙烯酸酯橡胶,耐油性能不如丙烯酸酯橡胶,耐低温性与丙烯酸酯橡胶相当,价格为丙烯酸酯橡胶的3~5倍,适用于使用温度长期高于150℃的工况。氢化丁腈橡胶(Hydrogenated Nitrile Rubber, HNBR)价格昂贵,与氟橡胶相当,耐高温不如丙烯酸酯橡胶,耐低温性略优于丙烯酸酯橡胶,耐油性能不如丙烯酸酯橡胶,在汽车高速油封中使用较少。因此,选择丙烯酸酯橡胶作为高速油封用橡胶材料。

当前,丙烯酸酯橡胶是耐汽车用润滑油最好的橡胶材料,尤其对含有各种添加剂的合成润滑油,优于氟橡胶和氢化丁腈橡胶。丙烯酸酯橡胶在常温下回弹性不如氟橡胶,但随着温度升高,回弹性增强,非常适合作为油封用橡胶材料。丙烯酸酯橡胶的生胶强度较低,耐磨性不如HNBR,所以,配方设计时需考虑提升其强度和耐磨性。耐油橡胶普遍存在耐低温性差的问题,目前,多数耐低温的改性和配方会导致耐高温性和耐油性下降,无法在高速油封上使用,因此,丙烯酸酯橡胶的改性和配方设计应综合考虑耐高温、耐低温和耐油性能。

### 3.1 丙烯酸酯橡胶原胶的选择

丙烯酸酯橡胶是以丙烯酸酯为主单体经共聚而成的,其主链为饱和碳链,侧基为极性酯基。除主单体外,共聚单体还包括低温耐油单体、硫化点单体等。因此,丙烯酸酯橡胶有很多种类。常用

表 1 汽车高速油封用橡胶材料技术要求

序号	检验项目	技术要求	试验方法	
1	邵氏硬度 A	75±5	GB/T 531.1—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第 1 部分:邵氏硬度计法(邵尔硬度)》	
2	拉伸强度/MPa	≥8	GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》:1 型试样,试验速度为 500 mm/min	
3	拉断伸长率/%	≥200	GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》:1 型试样,试验速度为 500 mm/min	
4	撕裂强度/kN·m <sup>-1</sup>	≥25	GB/T 529—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定(裤形、直角形和新月形试样)》:直角形试样,试验速度为 500 mm/min	
5	热空气老化性	邵氏硬度 A 变化	0 ~ 10	GB/T 3512—2014《硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验》:试验温度为 150 °C,试验时间为 72 h
		拉伸强度变化率/%	-20 ~ 20	
		拉断伸长率变化率/%	-25 ~ 25	
6	耐 3#标准油老化性	邵氏硬度 A 变化	-5 ~ 5	GB/T 1690—2010《硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法》:试验温度为 150 °C,试验时间为 72 h
		拉伸强度变化率/%	-20 ~ 20	
		拉断伸长率变化率/%	-25 ~ 25	
		体积变化率/%	0 ~ 15	
7	耐实际使用润滑油老化性	邵氏硬度 A 变化	-5 ~ 5	GB/T 1690—2010:试验温度为 150 °C,试验时间为 72 h
		拉伸强度变化率/%	-20 ~ 20	
		拉断伸长率变化率/%	-25 ~ 25	
		体积变化率/%	0 ~ 10	
8	压缩永久变形率/%	≤35	GB/T 7759.1—2015《硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第 1 部分:在常温及高温条件下》:试验温度为 150 °C,试验时间为 24 h,压缩率为 25%	
9	10%回缩率温度/°C	≤-15	GB/T 7758—2020《硫化橡胶 低温性能的测定 温度回缩程序(TR 试验)》	

的主单体包括丙烯酸甲酯、丙烯酸乙酯、丙烯酸丁酯和丙烯酸-2-乙基己酯等。低温耐油单体包括丙烯酸甲氧乙酯、丙烯酸聚乙二醇甲氧基酯、顺丁烯二酸二甲氧基乙酯、乙烯等。硫化点单体包括含氯型的氯乙酸乙烯酯、环氧型甲基丙烯酸缩水甘油酯、烯丙基缩水甘油酯、双键型的 3-甲基-2-丁烯酯、羧基型的顺丁烯二酸单/双酯、衣糠酸单酯、含有羧基基团的烯键式不饱和单体等。为了满足高速油封耐高温、耐油、耐低温、高强度、低压永久变形等的性能需求,选择以丙烯酸乙酯或并用丙烯酸丁酯为主单体,含有丙烯酸甲氧乙酯低温耐油单体的羧基型(也称羧酸型)丙烯酸酯橡胶。由于该原胶含有特殊的耐低温单体,从源头上解决了丙烯酸酯橡胶的耐低温问题,同时该原胶在升温过程中弹性恢复快,能够满足高速油封低温启动的密封需求。

### 3.2 补强体系设计

丙烯酸酯橡胶生胶的强度较低,约为 2 MPa,

无法满足高速油封耐磨性需求,因此,需要补强体系的设计,较适用的补强剂包括炭黑、白炭黑、硅酸钙、碳酸钙、滑石粉、陶土、硅藻土等。如果油封是黑色制品,采用炭黑补强成本低、效果好。如果要求油封是彩色制品,需要用白炭黑结合其他无机填料补强,其中,白炭黑补强效果最好。丙烯酸酯橡胶不能采用酸性补强剂,只能采用中性或偏碱性补强剂,因此,不能采用槽法炭黑或气相法白炭黑。根据经验,炭黑补强混炼胶的性能优于白色填料组合,因此,采用黑色混炼胶作为高速油封的胶料,外观效果比红色、蓝色等彩色油封差,但强度和耐磨性等明显提升。经过试验,综合考虑强度、耐磨性和压缩永久变形等弹性指标,选择补强效果好、成本低的炭黑 N550 与沉淀法白炭黑、硅藻土并用。炭黑 N550 粒子大小适中,补强后混炼胶综合性能好,添加量为 30 ~ 50 质量份(Parts per Hundred Parts of Resin, phr)。白炭黑补强效果好,但添加过多会造成橡胶混炼过程中粘辊,因

此,添加量为10~30 phr,并添加0.5~1.5 phr的硅烷偶联剂,利用硅烷偶联剂的双反应功能,有机基团的一端与白炭黑表面的羟基反应,另外一端与橡胶大分子链反应,提高白炭黑分散性和与橡胶的粘连性,以提升补强效果。硅藻土具有一定吸附性,可提升混炼胶的耐磨性和抗弯性,对高速油封的密封唇口橡胶动态弯折性能具有明显提升作用,虽然增强效果不如炭黑和白炭黑,但价格较低,非常适合作为填料,添加量为10~30 phr。经过补强,混炼胶的拉伸强度达到10 MPa,满足标准要求。

### 3.3 硫化体系设计

丙烯酸酯橡胶分子结构稳定,交联困难。羧基型丙烯酸酯橡胶不适用于常规的硫磺硫化体系,根据经验,选择多胺型硫化剂和硫化促进剂配合体系,能够更好地实现橡胶分子交联,提高耐热性和强度,减少永久压缩变形。经过试验,采用多胺型硫化剂六亚甲基二胺氨基甲酸盐(Hexamethylene Diamine Carbamate, HMDC),橡胶交联效果较好,添加量设置为0.5~1.2 phr比较合适。硫化促进剂采用二苯胍(又称苯基胍)(1,3-Diphenylguanidine, DPG)或二邻甲苯胍(Di-*o*-tolylguanidine, DOTG)与二丁基二硫代氨基甲酸锌(Zinc Dibutyldithiocarbamate, ZDBC)并用,以提高橡胶强度、弹性和耐磨性。DPG或DOTG添加量为1.5~2 phr, ZDBC添加量为0.5~1.0 phr。

另外,硫化体系中还需加入少量活性剂,适合的活性剂有金属氧化物、三乙醇胺等。由于含氯型丙烯酸酯橡胶需要中和硫化加热过程中产生的氯化氢,须加入一定量的金属氧化物吸收氯化氢,而羧基型丙烯酸酯橡胶无此问题。但在丙烯酸酯橡胶配方中加入氧化锌和氧化镁有利于提高硫化速度、拉伸强度、撕裂强度和耐磨性,同时可提升丙烯酸酯橡胶的耐热稳定性,并降低压缩永久变形。因此,加入氧化锌2~5 phr。

### 3.4 老化体系设计

丙烯酸酯橡胶具有良好的耐老化性能,耐臭氧、耐紫外线性能优异。但在高温润滑油中长期使用后仍会出现老化现象,因此,用于高速油封的丙烯酸酯橡胶需添加防老化剂。适用于丙烯酸酯橡胶的防老化剂需要在高温下不易挥发、耐油性

较好,因此,橡胶配方中常用的防老化剂D、防老化剂RD、防老化剂BLE等均不适合工作温度高于150℃的丙烯酸酯橡胶。另外,还需综合考虑橡胶的耐低温性,最好选用具有一定软化作用的防老剂,起到增塑剂作用,提升橡胶的耐寒性能,避免增塑剂用量多降低耐热性。ACM专用橡胶防老化剂TK-100对活性氯型丙烯酸酯具有优异的防护作用,耐高温老化性能好,特别适合在高于150℃的条件下使用,但对羧基型丙烯酸酯防护效果不理想,需要大量添加,成本较高。经过查阅资料和试验研究,选用防老化剂445(4,4'-双(α,α'-二甲基苄基)二苯胺),添加量为2~4 phr。防老化剂445为胺类防老剂,无毒无味,分子量高,具有低挥发性,耐热温度为200℃,是一种综合防护型防老化剂,耐光、耐热、抗老化、抗氧化效果显著,在胶料中易分散,对胶料的硫化特性无明显影响。防老化剂445特别适用于丙烯酸酯橡胶因高热、光等引起的老化,且抗氧化持久性优于酚类等其他防老化剂。同时,防老化剂445对高温下使用的橡胶具有软化作用,防止热硬化,可减少增塑剂的用量。同时,防老化剂445属于胺类化合物,对橡胶硫化有一定促进作用。亦可选用苯二胺类防老剂,如4010NA和4020,但因丙烯酸酯橡胶分子结构具有良好的耐老化性,无需考虑并用体系。

### 3.5 耐磨体系设计

丙烯酸酯橡胶生胶强度低,耐磨性较差,而高速油封用橡胶需要具有良好的耐磨性,尤其是密封唇口部位,与高速旋转的密封轴过盈装配,一直处于摩擦状态,且用于变速器、电机或减速器的高速油封多数为飞溅润滑,经常出现干摩擦,对橡胶的耐磨性要求较高。为提高油封唇口的耐磨性,可从提高橡胶强度和降低摩擦因数着手。配方中的补强体系不仅能够提升橡胶强度,还可以增加橡胶的耐磨性。但油封的橡胶密封唇口与金属轴直接接触,在高温下过盈配合高速旋转,对橡胶耐磨性要求较高。为进一步提高橡胶的耐磨性,可在橡胶中加入碳纤维、石墨烯、石墨、二硫化钼、聚四氟乙烯等润滑增强材料。综合考虑性能和成本,选择碳纤维和石墨配合使用。碳纤维添加量为5~10 phr,可有效提高混炼胶的强度和耐热老化性,且能够降低

摩擦因数,起到减磨作用。石墨添加量为5~20 phr,耐磨性提升效果较好,若添加过多,将影响橡胶与油封骨架的粘接效果。石墨烯添加量为3~10 phr,耐磨性提升更加明显,但成本过高,特殊应用部位可尝试。添加二硫化钼或聚四氟乙烯等材料,减磨效果较好,但添加石墨后的提升效果较小,且补强效果较弱,因此没有选用。

### 3.6 加工体系设计

橡胶配方中通常均需添加增塑剂,增塑剂可提升胶料的柔软性、流动性和挠曲性,并改善各组分的分散性。增塑剂可提升丙烯酸酯橡胶的耐低温性和耐油性,但会降低耐高温性和耐磨性,不能添加过多。选择增塑剂应考虑高速油封的使用温度,必须选用耐高温、耐润滑油的品种,保证高温不挥发、耐油不析出。聚酯类增塑剂可调节硬度,对耐热性影响小,适合用于高温增塑剂。聚醚类增塑剂能提升橡胶耐寒性,部分产品同时具有很好的耐热性,可在高温耐油环境中使用。因此,采用聚酯类增塑剂与聚醚类增塑剂并用的方案,或者采用聚酯、聚醚混合型增塑剂。美国罗门哈斯THIOLKOL TP-759增塑剂是高相容性聚酯、聚醚混合型增塑剂,具有粘度低、挥发性低、不易抽出的特点,对丙烯酸酯橡胶具有良好的增塑效果,可在保持橡胶的耐热老化性基础上,提高橡胶耐低温性能,是一种比较理想的丙烯酸酯橡胶增塑剂,但价格较高,添加量为5~10 phr。另外,可以考虑采用聚酯、聚醚混合型增塑剂RS735,添加量为3~8 phr。或采用其他耐高温的聚酯类增塑剂与聚醚类增塑剂并用,降低成本,但需进行大量试验验证效果。

由于丙烯酸酯橡胶在加工过程中易粘辊,模压或注射油封制品时易粘模具,因此,需在橡胶配方中加入润滑剂。润滑剂一般采用硅油、石蜡、硬脂酸、脂肪酸盐、聚乙二醇、矿物油、单硬脂酸山梨糖醇酐酯、硬脂酰胺、低分子量聚乙烯、环氧树脂等。硅油润滑效果好,且能促进混炼胶各组分分散,提升橡胶的耐寒性。石蜡是良好的外润滑剂,还能起到物理防老剂的作用。脂肪酸盐可作为内润滑剂,硬脂酸的润滑效果较好,均为常用的丙烯酸酯橡胶润滑剂,但这类材料的加入会影响橡胶的粘接性能,对高

速油封骨架和橡胶的粘接强度产生影响,应慎用。因此,本文配方采用甲基硅油(0.5~1 phr)、微晶石蜡(0.5~1.5 phr),添加量过多会影响油封骨架与橡胶的粘接。聚乙二醇可代替硅油,降低成本。矿物油易在高温油中析出,不推荐采用。低分子量聚乙烯和其他树脂类材料可改善橡胶的粘度和流动性,使制品表面光滑,但大部分树脂类润滑剂会降低橡胶的压缩永久变形性能,因此使用较少。

丙烯酸酯橡胶加工过程中易产生焦烧,即早期硫化现象,因此,配方中还应加入防焦剂。普通有机酸类防焦剂,如水杨酸、安息香酸、邻苯二甲酸酐等会降低橡胶的机械性能,且不耐高温,不适用于油封用橡胶。因此,选用次磺酰胺类防焦剂,如N-环己基硫代邻苯二甲酰胺(Cyclohexyl N-Phthalimidyl Sulfide, CTP),其耐高温、防焦烧效果好,且对橡胶性能影响小,添加量为0.5~1 phr,不仅能有效控制焦烧时间,也起到硫化调节剂的作用,同时对已有轻微焦烧的胶料具有复原作用,能够提高生产效率和产品质量。添加CTP对橡胶与油封金属骨架粘合也有一定促进作用。

### 3.7 丙烯酸酯橡胶配方

最终确定的高速油封用丙烯酸酯橡胶配方如表2所示,用于实际试制的配方如表3所示。

## 4 高速油封用丙烯酸酯橡胶性能

将表3中的丙烯酸酯橡胶配方按如下步骤进行标准试片样品加工:

- 将白炭黑与硅烷偶联剂在60~80℃下充分混合。
- 将丙烯酸酯生胶加入橡胶开炼机中,分批加入炭黑、处理后的白炭黑、硅藻土、氧化锌、碳纤维、石墨、防老剂、增塑剂、石蜡、硅油以及防焦剂,将其充分与生胶混合。
- 加入硫化剂和硫化促进剂的混合物,打5次三角包,薄通3次,出胶片,将胶片在室温下放置24 h。
- 进行标准试片样品加工:硫化温度为175~180℃,硫化压力为10~15 MPa,硫化时间为8~10 min;然后再进行二段硫化,硫化温度为175~180℃,硫化时间为3~4 min;最后在标准温度21~25℃、标准湿度50%~60%的环境下,将标准试片样品放置48 h。

表2 高速油封用丙烯酸酯橡胶配方

序号	组分名称	质量份
1	丙烯酸酯橡胶(羧基型)	100
2	炭黑(N550)	30~50
3	白炭黑(沉淀法)	10~30
4	硅藻土	10~30
5	硅烷偶联剂	0.5~1.5
6	氧化锌	2~5
7	硫化剂HMDC	0.5~1.2
8	促进剂DPG	1.5~2
9	促进剂ZDBC	0.5~1.0
10	防老剂445	2~4
11	碳纤维	5~10
12	石墨	5~20
13	增塑剂TP-759	5~10
14	甲基硅油	0.5~1
15	微晶石蜡	0.5~1.5
16	防焦剂CTP	0.5~1
17	其他	1~10

表3 高速油封用丙烯酸酯橡胶试制配方

序号	组分名称	质量份
1	丙烯酸酯橡胶(羧基型)	100
2	炭黑(N550)	45
3	白炭黑(沉淀法)	15
4	硅藻土	10
5	硅烷偶联剂	1.0
6	氧化锌	4.0
7	硫化剂HMDC	1.2
8	促进剂DPG	1.5
9	促进剂ZDBC	0.5
10	防老剂445	3.5
11	碳纤维	5.5
12	石墨	8.0
13	增塑剂TP-759	8.0
14	甲基硅油	0.5
15	微晶石蜡	1.0
16	防焦剂CTP	1.0

将准备好的胶片进行裁切,按表1中的试验方法进行试验,试验结果如表4所示。由表4中可知,开发的丙烯酸酯橡胶混炼胶性能完全满

足高速油封用橡胶材料的性能需求,可代替成本高昂的氟橡胶材料大规模应用于汽车高速油封。

表4 高速油封用丙烯酸酯橡胶材料试验结果

序号	检验项目	技术要求	试验结果	
1	邵氏硬度 A	75±5	76	
2	拉伸强度/MPa	≥8	10.2	
3	拉断伸长率/%	≥200	310	
4	撕裂强度/kN·m <sup>-1</sup>	≥25	28.6	
5	热空气老化性	邵氏硬度 A 变化	0~10	3
		拉伸强度变化率/%	-20~20	6.3
		拉断伸长率变化率/%	-25~25	-22.6
6	耐3#标准油老化性	邵氏硬度 A 变化	-5~5	-1
		拉伸强度变化率/%	-20~20	-18.6
		拉断伸长率变化率/%	-25~25	-22.8
	体积变化率/%	0~15	14.6	
7	耐实际使用润滑油老化性	邵氏硬度 A 变化	-5~5	-1
		拉伸强度变化率/%	-20~20	-6.8
		拉断伸长率变化率/%	-25~25	-9.2
	体积变化率/%	0~10	2.8	
8	压缩永久变形率/%	≤35	29.5	
9	10%回缩率温度/°C	≤-15	-18	

## 5 结束语

目前汽车用高速油封大多采用氟橡胶,成本高且存在一些性能问题,如耐车用特种润滑油性能较差,尤其是密封自动变速器和减速器用润滑油,性能下降严重,油封密封失效现象多发。丙烯酸酯橡胶耐高温虽然不如氟橡胶,但长期耐高温可达 150 °C,短期耐高温达到 190 °C,完全满足高速油封的耐温要求,且耐车用润滑油性能优异。随着国产化丙烯酸酯橡胶批量稳定生产,能够大幅降低成本。但丙烯酸酯橡胶原胶存在耐低温性差、强度低、加工性差的问题,需在原胶改性和配

方设计方面进行改进,提升综合性能,满足汽车行业越来越苛刻的使用条件。

### 参考文献:

- [1] 张彦彪,张松峰,麻文涛. 汽车橡胶油封动态密封性能的影响因素[J]. 汽车工艺与材料, 2018(12): 43-47+51.
- [2] 梁学礼. 新能源减速器 PTFE 高速油封的开发应用[J]. 内燃机与配件, 2019(7): 27-28.
- [3] 崔振阳,刘雪峰. 电动汽车减速器油封漏油原因分析及解决措施[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(22): 5-7+16.
- [4] 杨兴兵,王彦波,蒋磊,等. 4 种羧基型丙烯酸酯橡胶的性能对比[J]. 橡胶工业, 2022, 69(3): 208-212.

