

国内外汽车用密封制品的种类及发展前景（二）

谢忠麟
(北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

(续上期)

2.4 原材料

2.4.1 橡胶

油封的橡胶材质选用要依据介质的品种、工作温度以及轴的线速度而定。德国标准 DN3761 中规定了油封在不同密封介质及油温下应如何选择橡胶材料 (见表 3)以及不同胶种的油封适应的轴径与转速关系图 (已被中国国标 GB9877.1-88、GB9877.2-88和 GB9877.3-88引用,可从这些标准中查到),这些选材原则很有实用价值。

汽车油封目前主要使用 NBR、ACM、FKM 和 VMQ、HNBR 已开始应用。以斯太尔汽车为例,其底盘共用油封 13 种: FKM 6 种、ACM 4 种、NBR 3 种,其中单向和双向回流油封各两种。

目前汽车油封大多数仍以 NBR 为主,在常用的传动油 (例如变速箱油)中允许短期使用的极端油温为 100℃。高速油封在试验台中运转,当起始油温为 110℃时,油封最尖端温度达到 145~150℃,温升达 35~40℃,已超过 NBR 的耐热老化的限度,因此 NBR 油封损坏时常常是唇部硬化,甚至龟裂。我们曾以过氧化物代替硫黄硫化体系,以白炭黑代替炭黑的彩色油封制作变速箱油封,唇口温降低,不易硬化龟裂,寿命大大延长。油封试验台试验表明,这种油封的寿命超过 1000 h 而十几种市售的油封中,最长约 200 h。但是,国外基本上不采用过氧化物作 NBR 油封的硫化体系,而大多采用半有效 (SEV)硫黄体系,究其原因可能是 DCP 硫化的油封热撕裂性差,硫化速度慢。

高速发动机曲轴后油封是汽车油封中要求最高的油封,采用丙烯酸酯橡胶制造,它耐热性好 (允许短期使用的极端油温 150℃)特别是耐含极压添加剂的“极压油”——双曲线齿轮油 (准双曲线传动油)。国外有些汽车采用硅橡胶制造曲轴后油封,上世纪 80 年代我们曾试制过,配方中加入氧化镁,耐油性能提高,试用效果不错。

表 3 不同材质的油封在各种油中的允用温度

材质	NBR	ACM	VMQ	FKM
耐寒性 /℃				
低温限度	-40	-30	-50	-30
脆性温度	-20~-25	-10~-15	-15	-10~-15
允用温度 * /℃				
发动机油				
1	90	125	135	150
2	90	125	135	150
3	110	140	150	160
4	120	150	160	150
传动油				
1	90	125	一般不用	150
2	90	125	一般不用	150
3	100	140	一般不用	160
4	120	150	一般不用	160
燃油				
1	100	125	130	150
2	100	125	130	150
3	110	140	140	150
4	120	150	150	160
双曲线齿轮油				
1	80	125	一般有用	130
2	80	125	一般有用	130
3	90	140	一般有用	140
4	100	150	一般有用	160
液压油				
1	90	一般不用	一般有用	130
2	90	一般不用	一般有用	130
3	100	一般不用	一般有用	140
4	110	一般不用	一般有用	160
润滑脂				
1	80	一般不用	一般不用	一般不用
2	80	一般不用	一般不用	一般不用
3	100	一般不用	一般不用	一般不用
4	120	一般不用	一般不用	一般不用

注:表中数字表示:1—适于 1000h 寿命试验的试验温度;2—适于 10×14 h 试验的正常试验温度;3—适于 10×6 h 试验的最高试验温度;4—汽车上允许短期 (>1h>10 h)使用的极端温度。

硅橡胶虽然不耐油,但由于它具有“自润滑性”,使它可以作为曲轴后油封使用。近来,根据国外油封分析,在硅橡胶中加入一些润滑剂,如二硫化钼、石膏粉可以进一步提高油封的自润滑性

和耐磨性,通过延长二段硫化,还可以进一步提高密封效果(表 4)在汽车发动机曲轴前、后油封中试验,达到技术要求,相当于国外同类产品的水平。

氟硅橡胶也用于汽车油封,但因价格高,使用较少。

表 4 二段硫化(160℃)对硅橡胶油封耐油性和密封性能的影响				
项目	二段硫化时间/h			
	6	12	18	24
体积变化率/%	+28.2	+27.5	+26.8	+26.8
硬度变化/度	-11	-10	-9	-9
渗漏时间/h	8	24	>200	>200

注:台架试验条件:曲轴后油封,左旋回流花纹,100×125×12 20号机油,起始油温 95℃,轴转速 3500 r·min⁻¹。

由于氟橡胶具有耐高温(允许短期使用的极端油温为 160℃)和耐双曲线齿轮油的特点,近来氟橡胶在汽车油封中的应用比例逐渐增加,而且

有取代 ACM作曲轴油封的倾向,例如斯太尔汽车的曲轴前后油封、大功率柴油机曲轴油封。使用三元 FKM(246型)制造油封,其流动性优于二元 FKM(26型)。由表 5可见,FKM和 ACM都有良好的耐双曲线齿轮油性能,而 NBR则不行。表 6是中 Φ190高线速(23.38m·s⁻¹)的曲轴油封的试验结果,NBR普通油封和 AF油封漏油,寿命短,FKM油封效果好,底部和腰部尺寸的变更效果比回流油封有更好的效果。

表 5 曲轴后油封胶料耐双曲线齿轮油性能			
项目	FKM(246)	ACM(AR-840)	NBR(26)
邵尔 A型硬度/度	75	77	73
耐油性(150℃×72h)			
硬度变化/度	+4	-10	脆化
拉伸强度变化率/%	19.8	-13	
伸长率变化率/%	+34.2	+50	
体积变化率/%	+3	+9.6	

表 6 曲轴油封的对比						
油封结构	普通油封	AF油封	回流油封	低腰薄壁油封	复合(组合)油封	
油封材料	NBR	NBR贴 DTFE膜	FKM	FKM	PIEE	
胶料性能						
压缩永久变形/% (150℃×24h,40CD油中)	40	40	20	20		
老化系数/%						
40CD油中,150℃×24h	0.5	0.5	0.5	0.5		
空气中,200℃×48h	0.75	0.75	0.95	0.95		
耐油性(40CD油中,150℃×24h)						
质量变化率/%	-4~+4	-4~+4	+0.2	+0.2		
体积变化率/%	-6~+6	-6~+6	0	0		
台架试验						
考核时间/h	30	120	155	420	450	
唇口老化情况	轻微裂纹	无	无	无	无	
密封性	漏油	漏油	微渗	良好	良好	

氟橡胶油封已由模压转向注射,因此 FKM生胶的门尼粘度也比较低,分子量分布比较宽。国产 FE2601门尼粘度高,注射油封比较困难,缺陷多,通过与低门尼粘度的 FE2605并用,可以注射

出质量好、合格率高的油封。表 7列出 FE2601和 FE2605的并用效果,用于生产油封的比例是 80/20同时列出国外注射油封用 FKM的一个品牌。

表 7 用于注射油封的 FKM举例						
生胶牌号	* FE2601/FE2605					** DIE—ELG—752
混炼胶中生胶配比 /质量份	100/0	70/30	50/50	30/70	0/100	100
注射质量						
缺胶	多	无	无	无	无	无
粘膜	轻微	轻微	较重	严重	最重	轻微
模具污染	轻微	轻微	易	易	易	轻微
热撕裂	有	无	轻微	有	有	无
与骨架粘合	最好	好	较差	差	最差	好

注: *均为上海 3F公司生产,FE2601的门尼粘度指标 ML(1+10)121℃为 45~75 实测 ML(1+4)100℃为 90 FE2605的门尼粘度指标 ML(1+4)100℃为 20~40 实测 ML(1+4)100℃为 40 * *日本大金公司产品 门尼粘度(典型值)ML(1+10)100℃为 53 ML(1+4)100℃为 30

HNBR有良好的耐动力转向性能,且耐150℃高温老化,在国外已被汽车用于动力转向系统的油封,如德国朗盛公司的 Therban B3850和日本瑞翁公司的 ZepPol 2020。最近国内有用HNBR制造汽车发动机曲轴后油封的报道,在特高线速度(30.8m·s⁻¹)下,油温100~110℃,唇下温度130~140℃的条件下,对奥迪轿车发动机曲轴后外骨架油封(左旋SG型回流油封)进行模拟台架试验,240h不渗不漏,唇口无硬化龟裂,与同规格FKM相当。

与FKM相比,HNBR混炼动力低、硫化速度快、生产效率高、工艺简易(可采用NBR相同的加工工艺)、废品率低、质量可靠。虽然HNBR的生胶价格比FKM高得多,致使混炼成本也高于FKM,但FKM生胶和混炼胶的密度却比HNBR高,计算的混炼胶体积成本两者基本相同(每立方厘米混炼胶成本:HNBR为0.256元、FKM为0.276元),因此认为用HNBR替代FKM制作发动机曲轴油封在经济上也是可行的。

2.4.2 金属骨架和弹簧

金属骨架一般选用拉伸性能好,易于成型的冷轧钢板,采用一次或二次冲型,国内骨架质量尚可。弹簧是油封十分重要的部件,不亚于油封的主体橡胶,国内的油封生产企业设备陈旧,技术落后,

特别是热处理技术;油封弹簧的5%初拉力和10%初拉力是十分重要的指标,国内油封弹簧的初拉力只有国外产品的1/4~1/3,表现在国产油封因密封径向力不足产生早期泄露和缩短密封寿命的现象。我们如果只重视油封胶料性能和油封结构设计,而不重视弹簧质量,汽车油封的质量难以提升。

2.4.3 表面处理

为降低油封唇口的摩擦系数,从而降低运转中的温升,延长油封的使用寿命,除了在油封胶料中加入固体减摩剂(二硫化钼、石墨、PTFE粉末等)之外,表面处理是有效的方法。在诸多表面处理方法中,在充油封的唇口工作面粘贴一层PTFE薄膜比较成熟,已在国外(特别是欧洲)有较多应用,日本荒川制作所称这种油封为“AF油封”,国内亦同样称呼。我国从上世纪80年代开始研究AF油封,此后已在汽车油封生产中得到应用。

AF油封的加工工艺:先将PTFE薄膜的粘合面用萘钠溶液处理或辐射处理,再涂上粘合剂后预成型,然后填胶装模即可。应用最多的是萘钠法。此外,还有静电喷涂PTFE悬浮液——烧结法、等离子喷涂PTFE法、卤化(氟化、溴化、碘化)和磺化酸法等表面处理方法都进行过探讨。

由表8可见,经过表面处理后,摩擦系数有明显的降低。

表 8 橡胶表面处理的效果

橡胶	FKM		NBR	
处理方法	喷涂 / 烧结	PTFE***	粘贴 PTFE薄膜	溴化* / 氟化**
摩擦系数(与钢)				
处理前		0.45	0.45	0.35
处理后		0.09	0.10	0.14

注: * 溴化钾水溶液 / 高锰酸钾水溶液 / 硫酸水溶液的混合液处理; ** XCF₂晶体氟化处理; *** 纯PTFE的摩擦系数为0.04

2.4.4 工艺装备

炼胶已由开放式炼胶机发展到采用密炼机。半成品已由手工剪裁、冲床裁切发展到精密预成型机。硫化由手工操作平板硫化机,逐渐发展到自动平板硫化机、真空平板硫化机、压注硫化机、注压硫化机。撕边硫化模逐步推广。唇口采取切割方法比较普遍,因为用切割式模具硫化时油封启模容易,不易撕裂弹簧槽根部,从而提高合格率,而且唇口过盈量容易控制,密封性能提高,尤其是一些类型的回流油封必须切割唇口才能使回流沟槽发挥作用。唇口切割和修边机械早已有生

产,最近又有新的进展。通过质量控制图控制法来控制油封唇口操作工艺,产品合格率大大提高,不合格品的概率只有60×10⁻⁶。模具的结构设计、材质选用、加工设备和加工工艺都有很大进步,数控机床、CAD和CAM等先进技术的采用,油封自动装簧机已完成设计,均对油封的生产和质量有大的促进。金属骨架采用磷化生产线磷化、涂RM-1、开姆洛克或美伽姆等粘合剂的工艺。有毒的异氰酸酯粘合剂(JQ-1、列克纳)基本上已不采用,喷砂工艺因污染环境、伤害人身已逐渐淡出。(未完待续)