

# 汽车发动机耐高温带底盘多唇口气门阀杆 氟橡胶油封的研制

郑书军<sup>1</sup>,高福年<sup>1,2</sup>,咸新河<sup>2</sup>,王新伟<sup>1</sup>,马汝安<sup>1</sup>

(1. 青岛茂林橡胶制品有限公司, 山东 青岛 266427; 2. 青岛凯通橡胶制品有限公司, 山东 青岛 266000)

**摘要:**对汽车发动机耐高温带底盘多唇口气门阀杆氟橡胶(FKM)油封的结构、胶料配方、模具设计和生产工艺进行研究。油封的弹簧直接压在底盘上,使用过程中不会发生脱落,密封效果好;油封唇口与阀杆的接触应力最大点靠近油侧或在空气侧与油侧的中部。油封胶料主体材料采用几种牌号的FKM并用,胶料在开炼机上混炼,配合剂先混合再加入胶料中。油封采用连续注塑或连续注射硫化成型工艺,二段硫化在恒温烘箱中进行,产品性能达到国外同类产品水平。

**关键词:**气门阀杆油封;氟橡胶;多唇口;耐高温;底盘;汽车发动机

**中图分类号:**TQ336.4<sup>+</sup>2 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-5448(2017)03-32-06

汽车发动机气门阀杆油封自20世纪80年代起在国内研制和应用,最初的气门阀杆油封如大型卡车发动机用9×14×17气门阀杆油封和中小型卡车柴油机用8×13×13气门阀杆油封等采用普通的骨架油封结构。油封胶料主体材料开始采用丁腈橡胶(NBR),后来采用丙烯酸酯橡胶(ACM),近年来由于发动机工作温度不断提高,这两种橡胶的耐热和耐油性能均已不能满足使用要求,油封胶料主体材料改用氟橡胶(FKM)。由于汽车发动机燃烧室附近的气门阀杆处温度非常高,可达200℃左右,尤其是大排气量重型卡车发动机气门阀杆处的温度有时达250℃,因此高档轿车如奥迪和宝马发动机气门阀杆油封要求通过250℃×70h、重型卡车发动机气门阀杆油封要求通过275℃×70h的老化试验。鉴于在高负荷、高冲击条件下传统气门阀杆油封易脱落而造成严重事故,我公司开发了带底盘的气门阀杆油封,且生产的成品油封已用于一汽锡柴6DL和81D、斯太尔615等大型卡车发动机中。现将我公司汽车发动机耐高温带底盘多唇口气门阀杆FKM油封的研制情况简介如下。

**作者简介:**郑书军(1978—),男,山东临沂人,青岛茂林橡胶制品有限公司工程师,学士,主要从事橡胶密封制品研发工作。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

FKM,牌号45-1和330,日本大金工业公司产品;牌号13W和12L,江苏梅兰化工集团有限公司产品。炭黑N990、硅酸钙、氧化铁红、氧化镁、氢氧化钙、双酚AF和促进剂BPP,上海乔迪化工有限公司提供。

装配式金属油封骨架,DCO4冷轧钢板冲制,表面氮化增硬处理和电泳防锈处理;粘结式油封金属骨架,DCO4冷轧钢板冲制,表面氮化处理,山东高密福联机动车配件有限公司产品。

装配式油封卡簧和粘结式油封螺旋簧,昌邑市通达弹簧有限公司产品。

### 1.2 主要设备与仪器

20 L密炼机和360型开炼机,大连第二橡胶机械有限公司产品;MZ-4016B型门尼粘度仪、401A和401B型老化试验箱,江苏明珠试验设备有限公司产品;2010型无转子硫化仪和智能型电子拉力试验机,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;金属骨架磷化生产线和金属骨架粘合剂浸涂固化生产线,无锡威达智能电子股份有限公司产品;INJ-250/2500型冷喂料橡胶注射成型机和4RT型橡胶注压硫化成型机,宁波东毓油压工业有限公司产品。

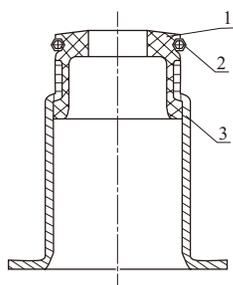
## 2 结果与讨论

### 2.1 产品结构及特点

带底盘多唇口气门阀杆油封结构如图1和2所示,装配如图3和4所示。



(a) 成品



1—橡胶;2—弹簧;3—骨架。

(b) 结构

图1 装配式带底盘多唇口气门阀杆油封(为一汽锡柴6DL和康明斯发动机配套)结构示意图

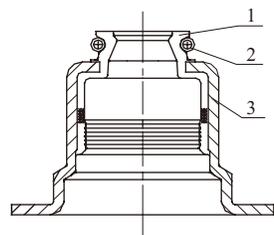
带底盘多唇口气门阀杆油封的特点如下:

- (1) 密封效果好;
- (2) 安装时油封底盘与机体直接接触,容易定位,能确保阀杆和密封面垂直,不会出现装偏和安装不到位的情况;
- (3) 弹簧直接压在油封底盘上,使用过程中不会发生脱落;
- (4) 波纹式油封的各唇口之间可以储存少量油脂,提高自润滑能力,从而延长油封使用寿命;
- (5) 底盘可以取代弹簧垫片,减少配件,简化安装工序。

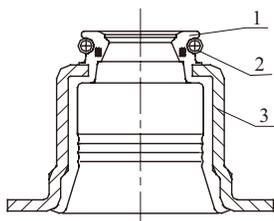
### 2.2 唇口结构要点

#### 2.2.1 唇口与阀杆的配合

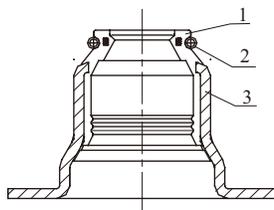
气门阀杆油封唇口与阀杆的配合如图5所示。气门阀杆油封是利用唇部弹性和唇口过盈量



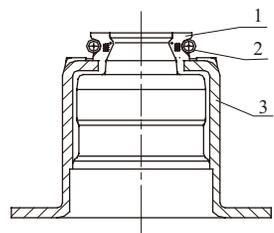
(a)



(b)



(c)



(d)

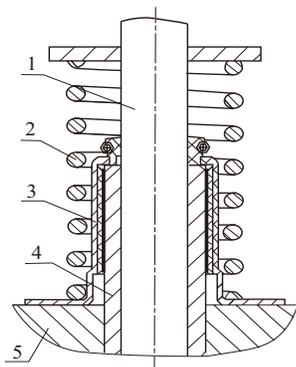
注同图1(b)。

图2 粘结式带底盘多唇口气门阀杆油封(为一汽锡柴81D和斯太尔615及欧盟高排气量轿车发动机配套)结构示意图

产生的径向力抱紧阀杆,适应密封阀杆和导管在往复运动中不断变化的间隙,并满足阀杆与唇口的润滑需要和避免过多的润滑油进入气缸<sup>[1-2]</sup>。

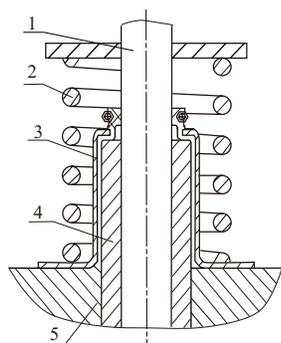
#### 2.2.2 唇口与阀杆接触应力分布

气门阀杆油封的漏油量与唇口与阀杆的接触状态、接触宽度,特别是接触应力分布密切相关。油封唇口与阀杆的接触应力有3种分布状态,如图6的A、B、C 3条曲线,这3种分布状态与油封密封性



1—气门阀杆;2—卡簧;3—油封;4—气门导管;5—发动机机体。

图3 装配式带底盘多唇口气门阀杆油封装配示意



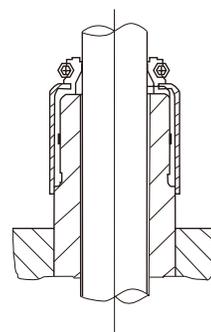
1—气门阀杆;2—螺旋簧;3—油封;4—气门导管;  
5—发动机机体。

图4 粘结式带底盘多唇口气门阀杆油封装配示意

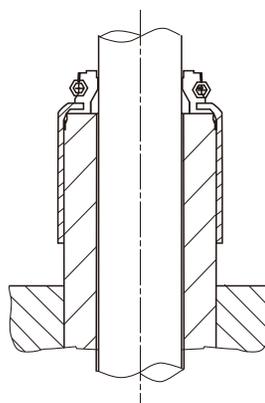
的关系如表1所示。从图6和表1可以看出:当油封唇口与阀杆接触应力分布状态为曲线A时,由于油楔效应,应力的最大点靠近油侧,且从油侧到空气侧,油膜厚度逐渐增大,接触应力逐渐减小,因此阀杆表面的油膜很难从油侧向空气侧移动,即该状态油封的密封性能好,这种油封适用于往复运动的密封;当唇口与阀杆接触应力分布状态为曲线B时,应力的最大点和油膜在空气侧和油侧的中部,该状态油封的密封性能较曲线A油封差;当唇口与阀杆接触应力分布状态为曲线C时,油封的密封性能差,有泄漏现象。因此,气门阀杆油封唇口与阀杆接触应力分布状态应为曲线A或B。

### 2.2.3 密封状态参数

气门阀杆油封密封状态参数有油面角( $\alpha$ )、空气角( $\beta$ )、弹簧压力中心偏移量( $\delta$ )和唇尖圆角半径( $r$ )如图7所示。根据结构和使用工况,本研制气门阀杆油封密封状态参数为: $\alpha$   $35^\circ\sim 40^\circ$ , $\beta$



(a) 外骨架



(b) 裸骨架

图5 气门阀杆油封唇口与阀杆的配合示意

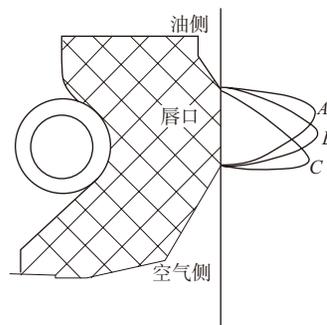


图6 气门阀杆油封唇口与阀杆接触应力分布状态

表1 油封唇口与阀杆接触应力分布状态与密封性能的关系

应力分布状态	应力最大点位置	密封性能	漏油量
曲线A	油侧	好	极少
曲线B	空气侧与油侧中部	较好	少
曲线C	空气侧	较差	较多

$32^\circ\sim 35^\circ$ ,  $\delta$   $0.3\sim 0.5$  mm,  $r$   $0.5\sim 0.6$  mm。

### 2.2.4 漏油量与工作参数的关系

气门阀杆油封漏油量与阀杆滑移速度、油粘度的关系如下:

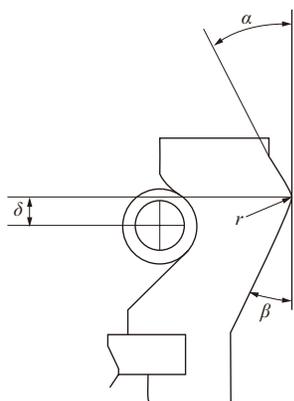


图7 气门阀杆油封密封状态参数示意

$$Q = 0.13LV^{3/2} \left( \sqrt{\frac{\eta}{|dP/dx| P_{\max}}} - \sqrt{\frac{\eta}{|dP/dx| F_{\max}}} \right)$$

式中,  $Q$ 为油封漏油量,  $L$ 为油封内径周长,  $V$ 为阀杆滑移平均速度,  $\eta$ 为油粘度,  $|dP/dx|$ 为唇口与阀杆接触应力分布梯度绝对值,  $P_{\max}$ 为唇口与阀杆最大接触应力,  $F_{\max}$ 为最大油压力。

气门阀杆油封唇口部位接触应力分布规律如图8所示。当唇口与阀杆接触应力大于油压力时, 即  $|dP/dx| P_{\max} > |dP/dx| F_{\max}$  时,  $Q \leq 0$ , 油封处于密封状态; 当唇口与阀杆接触应力小于油压力时, 即  $|dP/dx| P_{\max} < |dP/dx| F_{\max}$  时,  $Q > 0$ , 油封处于泄漏状态。在往复运动过程中, 由于油封和阀杆之间产生摩擦阻力, 且这种阻力会使唇口产生变形, 因此唇口与阀杆的接触应力最大点会出现轴向振摆, 应力分布梯度会发生变化。另外, 安装偏心量和空气侧形成的负压越大, 阀杆油封的漏油量越大, 即使静态下  $Q < 0$ , 动态下油封仍会产生少量渗漏, 这也是气门阀杆油封形成良好润滑的原因。

### 2.3 胶料配方及性能

气门阀杆处于发动机燃烧室附近, 是发动机温度最高处, 一般轻型卡车、农用车发动机工作温

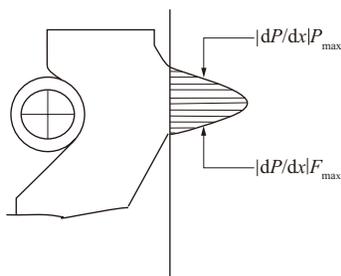


图8 气门阀杆油封唇口部位接触应力分布规律

度为175~200℃, 大型发动机工作温度为200~225℃, 大排气量豪华轿车温度为225~250℃, 尽管乙烯-丙烯酸酯橡胶(AEM)使用温度较ACM高, 但也难以满足上述的使用工况, 同时AEM的耐油性较差, 因此本研究油封胶料主体材料采用FKM。

根据产品不同的使用要求, 同时考虑采用连续注压或连续注射硫化成型工艺, 胶料必须具有较好的流动性能、易脱模性能和抗热撕裂性能, 通过调整主体材料FKM牌号及各牌号FKM并用比、补强填料品种和并用比以及硫化体系设计了最高工作温度为200, 225和250℃的气门阀杆油封胶料配方。胶料配方为: FKM(45-1/330/13W/12L) 100, 炭黑N990/硅酸钙/氧化铁红(补强填料) 30~35, 氧化镁/氢氧化钙(吸酸剂) 9~11, 操作助剂 2~3, 双酚AF/促进剂BPP 1.6~2。胶料性能测试结果见表2(一段硫化条件为180℃×8 min; 二段硫化条件为200℃×24 h)。

### 2.4 模具设计与加工

#### 2.4.1 模具设计

模具的结构取决于油封的硫化成型方式。本研制气门阀杆油封采用连续注压或连续注射硫化成型, 模具结构如图9和10所示。对于连续注压硫化模具, 为提高注压效果, 注压模具的注压孔上端呈圆锥形; 为使平板硫化机下热板温度不影响注压缸温度, 保证胶料在注压缸内较长时间不焦化, 且流动性良好, 在注压缸与上模之间加一层厚25~35 mm的隔热板; 在隔热板中嵌镶断面为圆形的聚四氟乙烯管(直径为2~5 mm)。

#### 2.4.2 模具加工

模具材料为洛氏硬度50度以上的38铬钼钒或调质处理的40铬。模具加工工序为: 坯料锻打→粗加工→热处理→精加工→辉光离子氮化或镀铬, 镀铬层厚度为1~2 μm。镀铬层太薄, 效果差; 镀铬层太厚, 易脱落。

### 2.5 生产工艺

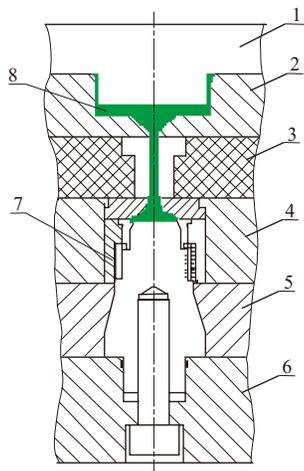
#### 2.5.1 胶料混炼

为解决硫化剂和吸酸剂中氧化镁极易粘附在辊筒上且氧化镁不易混入胶料的问题, 配合剂先混合再加入胶料中。胶料混炼在开炼机上进行, 辊温控制在50℃以下, 装胶量为13~14 kg。胶料

表2 胶料性能测试结果

项 目	最高工作温度200℃胶料		最高工作温度225℃胶料		最高工作温度250℃胶料	
	实测值	指标 <sup>1)</sup>	实测值	指标 <sup>2)</sup>	实测值	指标 <sup>3)</sup>
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	75		76		75	
硫化仪数据(180℃)						
$F_L/(dN \cdot m)$	12.21		10.37		12.03	
$F_{max}/(dN \cdot m)$	26.91		26.97		28.02	
$t_{10}/min$	0.90		0.99		1.25	
$t_{90}/min$	1.57		1.77		2.45	
邵尔A型硬度/度	75	75±5	77	80±5	72	70±5
拉伸强度/MPa	11.8	≥10	11.2	≥10	13.2	≥10.5
拉伸伸长率/%	244	≥150	210	≥120	218	≥175
压缩永久变形 <sup>4)</sup> /%	32.8	≤50	18.0		15.8	≤25
热空气老化 <sup>5)</sup> 后						
邵尔A型硬度变化/度	+3	0~+10	+3	0~+10	0	-5~+10
拉伸强度变化率/%	+15.6	≥-20	-2.3	≥-40	-3.5	≥-35
拉伸伸长率变化率/%	-26.2	≥-30	-15.6	≥-50	+24.0	≥-20
1 <sup>#</sup> 标准油浸泡(150℃×70h)后						
邵尔A型硬度变化/度	-1	±5	-2	-5~+10	-3	±5
拉伸强度变化率/%			+1.5	≥-20	+0.4	≥-30
拉伸伸长率变化率/%			-10.5	≥-30	+3	≥-20
体积变化率/%	+1.2	±5	+0.6	-3~+5	+0.4	0~+5
3 <sup>#</sup> 标准油浸泡(150℃×70h)后						
邵尔A型硬度变化/度	-4	±5	-4	-10~0	-3	-5~0
拉伸强度变化率/%			+2.0	≥-30	+0.7	≥-25
拉伸伸长率变化率/%			-5.2	≥-20	-1	≥-15
体积变化率/%	+7.2	0~+20	+3.5	0~+20	+1.7	0~+10
脆性温度/℃	-18	≤-15			-20	≤-15

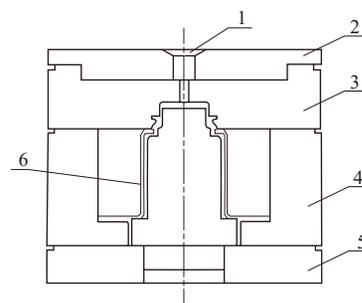
注:1)《发动机气门导杆油封及性能试验方法》国家标准(征求意见稿);2)日本荒井公司标准;3)德国曼集团标准;4)最高工作温度200和225℃胶料的试验条件均为200℃×70h,最高工作温度250℃胶料的试验条件为200℃×22h;5)最高工作温度200,225和250℃胶料的试验条件分别为200℃×70h,250℃×70h和275℃×70h。



1—注压塞;2—注压缸;3—隔热板;4—上模;5—中模;6—下模;  
7—骨架;8—注压胶料。

图9 连续注压硫化模具结构示意图

混炼工艺为:先加入FKM,再缓慢加入配合剂混合物,待配合剂混合物加完后,打三角包3—5次,落料



1—注胶孔;2—冷流板;3—上模;4—中模;5—下模;6—骨架。

图10 连续注射硫化模具结构

薄通(辊距在0.5mm以下)5次以上,放大辊距、下片。

### 2.5.2 金属骨架表面处理

金属骨架表面处理工艺流程为:碱液脱脂(80~90℃处理10min以上)→酸液除锈(常温处理20min以上)→磷化处理(60~70℃处理5~6min)→钝化处理(85~90℃处理0.5min)→烘干→涂粘合剂(3290或512)。

### 2.5.3 硫化

连续注压硫化在4RT平板硫化机上进行,注压缸温度为80℃左右,平板中板和下板温度均为190℃,硫化时间为200s左右。连续注射硫化在注射机上进行,塑化料筒温度为80~90℃,注射料筒温度为90~100℃,硫化温度为190~200℃,硫化时间为200s。二段硫化均在恒温烘箱中进行,二段硫化过程为:室温(2h)→200℃(24h)。二段硫化后,切唇口和安装弹簧,即制得成品。

### 2.5.4 产品性能

通过检测和长期装机配套应用表明,本研制耐高温带底座多唇口气门阀杆油封性能达到国外同类产品水平,满足大型卡车发动机和大排气量轿车发动机的配套要求。

## 3 结论

(1)汽车发动机耐高温带底座多唇口气门阀杆油封的弹簧直接压在底盘上,使用过程中不会发生脱落;油封唇口与阀杆的接触应力最大点靠

近油侧或在空气侧与油侧的中部,密封效果好。

(2)油密封胶料主体材料采用几种牌号的FKM并用,补强填料采用炭黑N990/硅酸钙/氧化铁红并用,吸酸剂采用氧化镁/氢氧化钙并用,硫化剂采用双酚AF/促进剂BPP体系。胶料在开炼机上混炼,配合剂先混合再加入胶料中。

(3)采用连续注压和连续注射硫化成型工艺,并进行二段硫化,生产效率高,产品合格率达95%以上。

(4)耐高温带底座多唇口气门阀杆油封装配性能良好,耐热性能优异,可满足大型卡车发动机和大排气量轿车发动机气门阀杆的密封和滑润要求。

### 参考文献:

- [1] 高福年. 汽车发动机氟橡胶气门阀杆油封的研制[J]. 橡胶工业, 2003, 50(5): 298-301
- [2] 高福年. 橡胶密封制品、减震制品的注压、注射硫化[A]. 2012橡胶制品新技术暨信息发布会论文集. 广州: 2012:

收入日期: 2016-09-20

## Development of Fluorine Rubber Oil Seal for High Temperature Multi-lip Valve Shaft of Automotive Engine

ZHENG Shujun<sup>1</sup>, GAO Funian<sup>1,2</sup>, XIAN Xinhe<sup>2</sup>, WANG Xinwei<sup>1</sup>, MA Ruan<sup>1</sup>

(1. Qingdao MRN Oil Seal Co., Ltd., Qingdao 266427, China; 2. Qingdao Kaitong Rubber Seal Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

**Abstract:** The structure, compound formulation, mold design and production process of fluorine rubber (FKM) oil seal for multi-lip valve shaft of automotive engine with high temperature resistance were studied. The spring for seal was directly mounted on the chassis to avoid seal fall-off and ensured good sealing performance. The maximum contact stress between the seal and shaft was located near oil side or in the middle between the air side and oil side. The main material of the oil seal compound was blend of several different grades of FKM. The compound was mixed on open mill and the additives were mixed first and then added to the compound. The seal was formed using a continuous transfer or injection molding process and post-cured in oven. The performance of the product reached the similar level of imported products.

**Key words:** shaft oil seal; fluorine rubber; multi-lip; high temperature resistance; chassis; automobile engine

欢迎参加“蔚林杯”第13届全国橡胶助剂生产和应用技术研讨会(2017年4月22—25日 常州)