

EPDM吊耳的动静刚度比影响因素分析

魏海东¹,袁继贤²,张润谱³,张瑞造³

(1. 浙江丰茂科技股份有限公司, 浙江 余姚 315403; 2. 长沙永昌汽车零部件有限公司, 湖南 长沙 410000; 3. 天津中和胶业有限公司, 天津 301721)

摘要:研究硫化体系、补强体系、含胶率和交联密度对三元乙丙橡胶(EPDM)吊耳动静刚度比的影响。结果表明:在硬度相同的情况下,配方含胶率越高,EPDM吊耳在180~300 Hz频率区间内的动刚度越大;100%定伸应力越小,在0~100 Hz频率区间内的动静刚度比越小;适当调整过氧化物硫化剂和助交联剂用量,平衡EPDM胶料的交联密度,可以获得合适的动静刚度比。

关键词:三元乙丙橡胶;补强体系;硫化体系;含胶率;交联密度;动静刚度比;静刚度;动刚度

中图分类号:TQ336.4⁺2;TQ333.1

文章编号:2095-5448(2023)12-0589-04

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2023.12.0589



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

橡胶吊耳通常用于汽车发动机排气系统,与发动机尾气出口相连接。发动机排气系统温度非常高,同时受到与发动机点火频率一致的高频率激励。吊耳作为排气系统的承重和隔振部件,起到隔离排气管振动与限制排气管位移的作用^[1-3]。因此,橡胶吊耳必须要具有一定的刚度和强度,才能在高温环境下长久地工作。橡胶吊耳的基本性能需包括合理的动静刚度比、优异的耐热性能、较高的抗拉强度和较长的使用寿命^[4]。

吊耳一般采用三元乙丙橡胶(EPDM),EPDM具有很高的强度、优异的耐热性能和化学稳定性、良好的耐候性能和耐臭氧性能,可在高低温环境下长期使用,并且具有适应各种恶劣气候的能力,被广泛应用于各种减振产品中^[5-8]。

静载荷下抵抗变形的能力称为静刚度,动载荷下抵抗变形的能力称为动刚度。如果干扰力变化很慢,即干扰力的频率远小于结构的固有频率,动刚度与静刚度基本相同。橡胶弹性体的动刚度一般大于静刚度,动静刚度比越趋近于1,振动传递效果越好。如果干扰力变化极快,即干扰力的

频率远大于结构的固有频率,结构变形较小,动刚度较大,相应动静刚度比就较大^[9-11]。当干扰力的频率与结构的固有频率相近时,会出现共振现象,此时动刚度最小,最易变形,其动变形可达静变形的几倍乃至十几倍^[12-13]。

后吊耳产品结构如图1所示。目前橡胶吊耳通常采用注射工艺一体成型,模具分为上模、中模和下模。为确保橡胶吊耳的动静刚度比在线可控,本工作在配方设计阶段分析动静刚度比的影响因素。

1 实验

1.1 主要原材料

EPDM(充100份油),牌号Keltan 4869C,阿朗新科高性能弹性体(常州)有限公司产品;牌号4045M,上海中石化三井弹性体有限公司产品。炭黑N550,青州市博奥炭黑有限责任公司产品。高补强白炭黑,安徽阜阳利普化工有限公司产品。过氧化物硫化剂BIBP-40,天津阿克苏诺贝尔有限公司产品。

1.2 配方

试验配方如表1所示。因为本研究产品较大,且生产模具为多腔注射模具,对胶料流动性要求比较高,因此5[#]配方添加了防焦剂,主要为了延长

作者简介:魏海东(1989—),男,河南安阳人,浙江丰茂科技股份有限公司工程师,学士,主要从事汽车减震和传动带橡胶配方的研究。

E-mail:471958761@qq.com

表2 硫化体系对EPDM硫化胶物理性能的影响

项 目	配方编号		指标
	1 [#]	2 [#]	
邵尔A型硬度/度	52	55	50±5
拉伸强度/MPa	15.95	16.27	14
拉伸伸长率/%	797	468	>350
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	32	23	>17
压缩永久变形 ¹⁾ /%	47	11	<50
150℃×70h热空气老化后			
邵尔A型硬度变化/度	+10	+3	0~10
拉伸强度变化率/%	-21.91	+8.14	<25
拉伸伸长率变化率/%	-42.59	+1.06	<25
低温脆性(-40℃)	无裂纹	无裂纹	无裂纹
耐臭氧性能 ²⁾	无龟裂	无龟裂	无龟裂

注:1) 100℃×70h;2) 40℃×96h,臭氧体积分数50×10⁻⁸,伸长率40%。

胶的耐热性能优于用硫黄硫化的EPDM硫化胶,且压缩永久变形较小。

2.2 动静刚度比的影响因素

硫化体系、补强体系、含胶率和交联密度对EPDM吊耳产品的静刚度、动刚度和动静刚度比的影响如表3所示。

2.2.1 硫化体系

从表3可见,在0~180Hz低频条件下,1[#]和2[#]配方产品的动静刚度比差别较小,在180~300Hz高频条件下,1[#]和2[#]配方产品的动刚度差别较大。

2.2.2 补强体系

与天然橡胶高自补强性不同,EPDM必须加

表3 硫化体系、补强体系、含胶率和交联密度对EPDM吊耳产品静刚度、动刚度和动静刚度比的影响

项 目	配方编号						指标
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	
含胶率/%	37.97	38.24	38.24	39.76	35.68	35.94	
邵尔A型硬度/度	52	55	52	48	46	48	
100%定伸应力/MPa	1.48	1.80	1.63	1.58	1.71	1.86	
静刚度/(N·mm ⁻¹)	20.78	22.09	17.40	15.57	13.32	14.78	15±15%
0~100Hz							
动刚度/(N·mm ⁻¹)	50.54	62.22	47.40	40.98	44.11	50.11	<52.5
动静刚度比	2.4	2.8	2.7	2.6	3.3	3.4	<3.5
100~180Hz							
动刚度/(N·mm ⁻¹)	64.45	76.25	63.50	57.11	63.33	65.71	<75
动静刚度比	3.1	3.4	3.6	3.6	4.7	4.4	<5
180~300Hz							
动刚度/(N·mm ⁻¹)	140.54	128.94	162.00	170.00	141.04	138.56	<150

入足够的补强剂才能获得较高的强度和刚度。在炭黑补强EPDM胶料中添加部分白炭黑可以改善胶料的耐疲劳性能和抗撕裂性能。补强体系对EPDM胶料的动静刚度比、阻尼性能和滞后性能影响较大。补强粒子与EPDM大分子链段间的内摩擦会使胶料的阻尼增大。补强粒子粒径越小,比表面积越大,则补强粒子与橡胶分子的接触面越大,物理结合点越多,触变性越强,在动态应变中产生的滞后损失和补强粒子间的摩擦也越大,表现出阻尼因数、动刚度和静刚度均较大。

从表3可以看出,在0~180Hz低频条件下,添加高补强白炭黑的4[#]配方产品与3[#]配方产品的动静刚度比相近,但在180~300Hz高频条件下,4[#]配方产品的动刚度较大,这是因为高补强白炭黑的比表面积比炭黑N550大。

2.2.3 含胶率

含胶率对产品的动静刚度比有很大影响。

一般来说,在硬度相同的情况下,含胶率越高,橡胶分子间内摩擦越大,在高频条件下的动刚度越大。但在高频条件下动刚度过大容易引起共振。通常降低含胶率可以减小动刚度,这是因为补强剂用量增大会相应地减小橡胶分子间的内摩擦,橡胶与炭黑之间的摩擦变大,导致滞后损失增大,阻尼增大,动静刚度比也相应增大。

分别对比表3中硬度相同的1[#]配方和3[#]配方以及4[#]配方和6[#]配方,含胶率越高,在180~300Hz高频条件下动刚度越大。4[#]配方与3[#]配方相比增加了白炭黑用量,0~180Hz低频条件下的动刚度减小,但180~300Hz高频条件下的动刚度不符合要求。因此5[#]配方增大了高补强白炭黑和石蜡油用量,降低了含胶率,以获得理想的刚度性能。

2.2.4 交联密度

从物理性能和动态性能考虑,如果只增大硫

化剂的用量可以提高交联密度,使胶料的刚度增大,阻尼因数和动静刚度比减小。但过度交联会使胶料的强度下降,疲劳寿命缩短,因此应严格地控制硫化剂的用量。针对过氧化物硫化体系,如果增大硫化剂用量的同时适当减小助交联剂的用量,再结合高补强白炭黑的特点,能够很好地平衡胶料的交联密度。本研究用100%定伸应力表征交联密度。

与4[#]配方产品相比,6[#]配方产品的过氧化物硫化剂用量较大,助交联剂用量适当减小,比较两者的动静刚度比和100%定伸应力可知,过氧化物硫化剂用量比助交联剂用量对交联密度有更大影响,交联程度与0~100 Hz低频条件下的动静刚度比呈正相关,在高频区域也能极大地推迟共振的发生,降低动刚度的最大值。

3 结论

(1)在硬度相同的情况下,配方含胶率越高,EPDM吊耳产品在180~300 Hz频率区间内的动静刚度越大;100%定伸应力越小,在0~100 Hz频率区间内的动静刚度比越小。

(2)在适当增大过氧化物硫化剂用量的同时减小助交联剂用量可以平衡EPDM胶料的交联密度,使产品获得合适的动静刚度比。

参考文献:

- [1] 张宏波,李岐,林道福,等.汽车排气系统橡胶隔振装置的设计[J].内燃机工程,2010,31(5):78-80.
- [2] 侯维春,吴杰.考虑橡胶吊耳及波纹管刚度不确定性的排气系统共振区间优化[J].公路与汽运,2021(6):6-9.
- [3] 王林龙,陆静,王宇翔.某车型排气系统橡胶吊耳优化设计[J].机械工程师,2018(6):45-47.
- [4] 王营,吴进军,夏青,等.汽车排气系统吊耳耐久性及隔振性能优化[J].机电产品开发与创新,2019,32(4):7-9.
- [5] POSTEMA ROGER,程宝家,ALVAREZ-GRIMA MONTSE,等.高乙烯含量和低门尼粘度三元乙丙橡胶在密封制品和绝缘材料中的应用[J].橡胶工业,2023,70(6):422-426.
- [6] 高福年.硅烷偶联剂在橡胶密封制品和减震制品中的应用[J].橡胶科技市场,2009,7(23):11-13.
- [7] 柯宇旋.汽车用橡胶减震材料新型环保配方研究[J].广东化工,2012,39(3):251-253,250.
- [8] 郑虹,朱熠,麻文涛.EPDM橡胶在汽车上的应用进展[J].汽车工艺与材料,2019(4):56-59.
- [9] 王强,高雪婷,徐胜凯,等.填料对天然橡胶/溶聚丁苯橡胶减震材料动静刚度比及基本性能的影响[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2022,43(2):85-89.
- [10] 李国洪,向忠益,郭森.低动静刚度比天然橡胶减震功能配方技术研究和应用[J].汽车工艺与材料,2022(4):39-45.
- [11] 朱万超,贺春江,陈传志,等.铁路减振橡胶制品动静刚度比研究进展[J].合成材料老化与应用,2021,50(6):117-120.
- [12] 严济宽.机械振动隔离技术[M].上海:上海科学技术文献出版社,1985:291-293.
- [13] 杨俊凤,周相荣,丁炜.橡胶减振器的动静比影响因素[J].噪声与振动控制,2013,33(6):201-206.

收稿日期:2023-08-08

Analysis of Influencing Factors of Dynamic and Static Stiffness Ratio of EPDM Lifting Lug

WEI Haidong¹, YUAN Jixian², ZHANG Runpu³, ZHANG Ruizao³

(1. Zhejiang Fengmao Technology Co., Ltd, Yuyao 315403, China; 2. Changsha Yongchang Vehicle Parts Co., Ltd, Changsha 410000, China; 3. Tianjin Zhonghe Rubber Industry Co., Ltd, Tianjin 301721, China)

Abstract: The effects of the curing system, reinforcing system, rubber content and crosslinking density on the dynamic and static stiffness ratio of EPDM lifting lug were studied. The results showed that, when the hardness was the same, the higher the rubber content of the formula was, the larger the dynamic stiffness of EPDM lifting lug in the frequency range of 180~300 Hz was. The lower the modulus at 100% elongation was, the smaller the dynamic and static stiffness ratio in the frequency range of 0~100 Hz was. By appropriately adjusting the dosage of peroxide vulcanizing agent and co-crosslinking agent to balance the crosslinking density of EPDM compound, a suitable dynamic and static stiffness ratio could be obtained.

Key words: EPDM; reinforcing system; curing system; rubber content; crosslinking density; dynamic and static stiffness ratio; static stiffness; dynamic stiffness