

特约来稿

高速运转橡胶制品的配方技术及产品开发现状

黄自华, 陈彰斌, 李 远, 颜渊巍, 贺湘伟, 於珂睿

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要:从高速运转橡胶制品的动态生热破坏机理出发,分别阐述了生胶体系、填充体系、硫化体系、防护体系以及离子液体对胶料动态生热性能的影响;分析了分体式挂胶履带板、整体式橡胶履带、实心橡胶车轮和负重轮为代表的高速运转橡胶制品破坏形式以及产品开发现状;提出解决因动态生热造成的高速运转橡胶制品性能破坏需要从胶料生热、导热和橡胶分子链耐热三方面共同着手。

关键词:高速运转;橡胶制品;配方技术;动态生热;破坏机理

中图分类号:TQ336

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2019)10-0723-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2019.10.0723

用于履带式车辆、悬挂式空中列车以及飞机等高速运动工具的某些高速运转橡胶部件,在周期性多次往复形变或相对摩擦运动过程中,其胶料部分发生不可逆形变产生的滞后损失能量会转化为热能,使胶料内部温度逐渐升高。当这些热量无法及时导出,超过胶料所能承受的温度后,制品出现“内烧”或表面炸裂现象,从而极大地降低了制品的使用性能和缩短了使用寿命。

本文首先从胶料生热、导热和橡胶分子链耐热方面介绍了高速运转橡胶制品破坏机理,然后从生胶体系、填充体系、硫化体系和防护体系等方面综述了国内外高速运转橡胶制品配方技术,并详细介绍了几种典型高速运转橡胶制品研发与应用状况,以期为该类橡胶制品的开发提供指导。

1 高速运转橡胶制品破坏机理

胶料在做往复形变运动时会发生动态生热。



作者简介:黄自华(1972—),男,湖北石首人,株洲时代新材料科技股份有限公司教授级高级工程师,学士,主要从事橡胶配方及工艺研究,先后主持或主要参与省部级以上重点项目3项,发表论文5篇,授权国家发明专利6项,荣获中国南车集团公司科学技术成果奖、科技拔尖人才等奖项,2015年被中国化工学会橡胶专业委员会评为迎接中国橡胶工业创建100周年中青年优秀科技工作者。

E-mail: huangzihua@csrzc.com

动态生热微观上表现为橡胶分子链之间、橡胶分子链与填料粒子之间以及填料粒子之间的摩擦生热^[1];宏观成因是胶料具有粘弹性,发生形变时应变滞后应力一个相位角 δ ,在1个如图1所示的应力-应变周期内会形成了一个稳定的应力-应变滞后圈^[2],滞后圈的面积即为一个周期内能量损耗值,通常这种能量损耗表现为热的形式,产生的热能(ΔW)可表示为式(1):

$$\Delta W = \pi \sigma_0 \varepsilon_0 \sin \delta \quad (1)$$

式中, σ_0 为应力最大振幅值, ε_0 为应变最大振幅值。

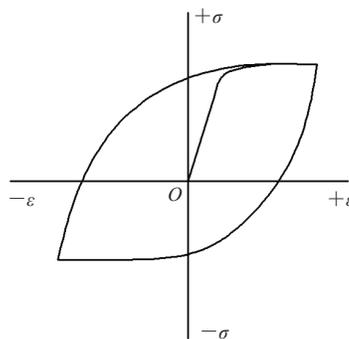


图1 橡胶拉伸-压缩的应力-应变曲线

胶料可导热的晶体成分含量较低,且非晶部分不能完全自由运动,所以热导率小,从而导致橡胶制品往复形变运动时内部热量聚集现象严重。高温下橡胶大分子链则会发生导致胶料力学性能

下降的物理变化和降解、解聚、交联、环化、异构化等化学结构变化。表现为橡胶制品在进行疲劳运动时发生动态生热,从而导致其物理性能下降甚至损坏,如图2所示。

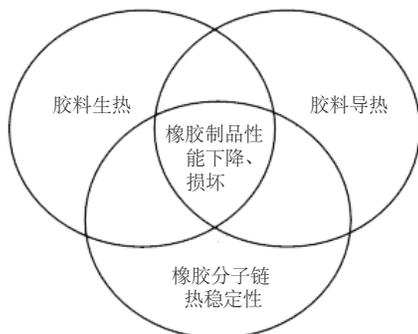


图2 高速运转橡胶制品破坏机理示意

2 高速运转橡胶制品配方技术

2.1 生胶体系

粘弹性引起的滞后损失是胶料生热的一个重要原因。一般而言,橡胶的相对分子质量越大,分子链侧基越多,极性基团越多,分子链的柔性越小,分子链自由末端基团数量越多,胶料生热越大^[3]。然而橡胶分子链的耐热性能足以弥补其动态生热大的不足,橡胶制品的抗动态生热破坏性能一般较好。用于高速运转橡胶制品的胶种主要是天然橡胶(NR)、异戊橡胶(IR)、丁苯橡胶(SBR)和氯丁橡胶(CR)等具有较高弹性的胶种,采用常温或60~100℃时的损耗因子($\tan\delta$)表征胶料的动态生热性能^[4]。

溶聚丁苯橡胶(SSBR)具有耐磨耗、耐屈挠、耐低温、低生热和低滚动阻力小等优点^[5],锡偶联型星形SSBR自由末端与传统乳聚丁苯橡胶(ESBR)大分子链相比减少^[6-7],从而减小了分子间内摩擦损失,降低了生热。谭宇等^[8]研究了反式-1,4-聚异戊二烯(TPI)用量对NR/TPI硫化胶力学性能和动态性能的影响,发现NR/TPI并用比为80/20时,可在保持并用胶的常规物理性能的同时显著提高动态疲劳性能,降低生热。王浩等^[9]研究了反式-1,4-丁二烯-异戊二烯共聚橡胶(TBIR)用量对SSBR/顺丁橡胶(BR)/TBIR高性能胎面胶性能的影响,发现采用10~20份TBIR制备的SSBR/BR/TBIR并用胶的抗拉伸疲劳性能比

SSBR/BR并用胶提高4.6~6.3倍,压缩强度、耐磨性能和抗湿滑性能均有较大幅度的提高。董为民等^[10]采用丁二烯和异戊二烯共聚合成的丁二烯-异戊二烯共聚橡胶(BIR)不但比NR胶料或NR/BR并用胶具有更好的耐低温性能,而且动态阻尼系数更小。

2.2 填充体系

胶料动态生热时橡胶分子链之间的摩擦主要为次级基团摩擦,而填料粒子之间和分子链与填料粒子之间的动态摩擦因微观尺寸较大,为胶料的动态生热的主要贡献者;另外橡胶为热的不良导体,胶料的生热和导热性能主要取决于填料种类、用量、粒径、分散度和界面结合度等^[11-15]。粉状填料、纤维状填料和多组分填料填充的胶料可采用Agari模型进行热导率预测计算^[16-18],片状填料填充的胶料可采用Hatta模型进行热导率预测计算^[19]。常用于填充胶料的填料大体可分为金属、金属氧化物、碳材料和其他二元无机物四大类^[20]。

白炭黑对胶料的补强效果可以与炭黑相媲美,然而白炭黑补强体系网络效应明显,内耗大,生热高,但采用硅烷偶联剂改性白炭黑可以降低胶料生热。陆永俊等^[21]研究得出并用10~15份白炭黑、同时加入硅烷偶联剂的胶料的压缩疲劳温升与不含白炭黑的胶料相比降低2℃左右。碳纳米管热导率为 $3\ 000\ \text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$,是铜的5倍。杨绪迎等^[22]发现在填料用量相同且大于4份时,添加碳纳米管的胶料的热导率比添加导电炭黑和炭黑N330的胶料大50%以上。郭明明等^[23]研究了导热填料纳米氧化铝/碳纳米管并用对工程机械轮胎胶料性能的影响,结果表明在保持动态生热较低情况下,纳米氧化铝/碳纳米管并用胶料的热导率可提升50%以上,导热性能优异,且硫化时间缩短,生产能耗降低,成品轮胎在使用过程中耐久性提高了16.7%。石墨烯特殊的单原子层结构决定了其高强度、高模量、高导热性以及高电子迁移率等特性,商业化的石墨烯一般采用氧化还原法制备,为了提高其在胶料中的分散和界面性能,常常对石墨烯表面进行改性。廖振斐^[24]采用茶多酚进行氧化石墨烯表面改性,减少其表面极性基团,增强了其与NR的相互作用,当采用改性氧化石墨

烯替代部分炭黑填充NR时,胶料50~80℃时的 $\tan\delta$ 明显小于纯炭黑填充NR胶料,生热较小。林勇^[25]采用机械共混法制备了甲基丙烯酸锌官能化石墨烯/NR复合材料,甲基丙烯酸锌起到了“桥梁”作用,搭接了橡胶分子与石墨烯,形成了完整的导热网链和导热通路,有效地提高了复合材料的导热性能,添加35份甲基丙烯酸锌官能化石墨烯的复合材料的导热性能提高了29%。谢富霞等^[4]研究了芳纶短纤维对NR/SSBR复合材料动态力学性能和压缩疲劳生热的影响,结果表明相较于空白试样,用2~3份芳纶短纤维替代10份炭黑填充的复合材料不仅保持了硬度和力学性能,而且其60℃时的 $\tan\delta$ 减小27%,动态生热降低11℃。

2.3 硫化体系

硫化体系对胶料生热性能的影响主要通过影响胶料的交联密度和交联键类型实现。对于用于疲劳橡胶制品的二烯烃类橡胶,常采用硫黄硫化体系进行交联,交联键类型相同时,硫化胶的交联密度越大,胶料的生热越低;交联密度相同时,以单、双硫键或者碳-碳单键为主交联键的胶料的生热低于以多硫键为主的胶料^[3]。另外,采用硫黄硫化体系交联的烯烃类橡胶发生动态疲劳生热后,会发生动态硫化返原,使得胶料的交联密度逐渐减小,从而引起热导率减小。在配方设计时,选择加入SR534D,SL273和PK900等抗硫化返原剂,不但可以降低胶料的滞后损失,还可以减小动态疲劳后的热导率降幅,原因是这类抗硫化返原剂不但可以起到助硫化剂的作用,在疲劳生热时还可以形成碳-碳交联键对交联密度进行补偿,共价键传热能力较强,使得热导率增大^[3]。

张小冬^[3]研究了不同硫化体系和抗硫化返原剂对NR胶料动态力学性能的影响,发现对于普通硫化体系(CV)、半有效硫化体系(SEV)以及有效硫化体系(EV)3种硫化体系胶料而言,损耗模量从大到小依次为CV体系胶料、SEV体系胶料和EV体系胶料,经压缩屈挠试验后3种硫化体系胶料的损耗模量均增大,且CV体系胶料由于含有较多不稳定的多硫键,动态硫化返原程度较大,交联密度降幅最大,一个周期内损耗模量也最大。在NR硫化体系中加入抗硫化返原剂PK900后,NR胶料的交联密度增大,比热容减小,热扩散系数和热导率增

大,生热降低,压缩屈挠后胶料的交联密度、热扩散系数以及热导率的变化幅度减小。

2.4 防护体系

高速运转橡胶制品在运行过程中,内部最高温升能达到100℃以上,引起橡胶分子链断裂或交联。在胶料中加入防老剂不仅可以极大地延迟热氧老化,还可提高其短期内的最高使用温度。但是防老剂在胶料中的溶解度有限,且在使用过程中容易因挥发和迁移等因素迅速损耗。研究^[26]表明,防老剂D, BLE, 4010NA和264在120℃下放置1h,其挥发量分别为45%, 45%, 88%和96%。建议采用低/高温防老剂复配方式提高胶料的耐热老化性能,不但可以避免不同防老剂在胶料中的溶解度限制,而且可以降低高温下防老剂的损耗;如果用能与橡胶进行化学结合的聚合型或反应型防老剂,则降低高温下防老剂损耗的效果更明显。S. W. Hong等^[27]发现防老剂BLE/TMQ和BLE/AO445并用胶料不仅比防老剂TMQ单用胶料具有更优异的耐热性能,还具有更好的耐屈挠疲劳性能。

2.5 离子液体

离子液体是一种在室温条件下完全为离子态的功能性软介质材料,热稳定性好(分解温度大于400℃),电化学性能稳定,导热和导电性能十分优异。由于离子液体单独用于胶料时易抽出和胶料易粘模,故常作为橡胶填料的表面改性剂使用^[28],可以大幅提高胶料的热导率。

高志强^[29]利用1-丁基-3-甲基咪唑溴盐 $\{[BMIM]Br\}$, 1-丁基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐 $\{[BMIM]BF_4\}$, N-丁基吡啶溴盐 $\{[BPy]Br\}$ 和N-丁基吡啶四氟硼酸盐 $\{[BPy]BF_4\}$ 4种离子液体对白炭黑进行负载改性后添加到NR中,发现胶料的热导率均有所提高,特别是 $[BMIM]BF_4$ 改性白炭黑混炼胶的导热效果最好,热导率由改性前的 $0.1783\text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$ 增大到 $0.2955\text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$,增大了65.7%。赵明明等^[30]使用 $[BMIM]Br$, 1-庚基-3-甲基咪唑溴盐 $\{[C_7MIM]Br\}$, 1-辛基-3-甲基咪唑溴盐 $\{[C_8MIM]Br\}$ 和 $[BPy]Br$ 4种离子液体分别对白炭黑、膨润土、高岭土、硅藻土和珍珠岩(深、浅色)6种无机材料进行改性,发现 $[BMIM]Br$ 改性无机材料胶料的热导率增

幅最大,其改性高岭土胶料的热导率高达 $0.389 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,与未改性高岭土胶料的热导率相比增大了89.76%。王经逸等^[31]采用离子液体1-丁基-3-甲基咪唑六氟磷酸盐 $\{[\text{BMIM}]\text{PF}_6\}$ 为改性剂制得改性氧化石墨(GO-ILs),考察其对NR胶料物理性能和导热性能的影响,发现当GO-ILs为4份时,胶料的热导率与未填充胶料相比提高91%。

3 高速运转橡胶制品开发概况

3.1 分体式挂胶履带板

分体式挂胶履带板是在履带板的负重轮滚道面和/或着地面挂有橡胶的履带,是坦克装甲车辆用关键橡胶制品之一,美国、德国和日本等国家主战坦克均已大规模推广使用挂胶履带板,其可较大程度地降低金属履带与地面间的冲击及其引发的震动噪声,避免金属履带对地面的破坏,同时有效延长电子设备的使用寿命及提升驾乘人员的舒适性^[32]。

国内外分体式挂胶履带板车辆一般行驶里程为3 000~5 000 km,挂胶履带板的主要失效形式为胶体的崩花掉块、爆裂、过度磨损及与金属失粘,挂胶履带板结构及其典型失效形式见图3,



(a) 结构



(b) 典型失效形式

图3 分体式挂胶履带板结构及其典型失效形式

现阶段导致挂胶履带板失效的重要原因在于在高速行驶条件下挂胶履带板胶体内部温升大幅提高,可达 $150 \text{ }^\circ\text{C}$,最高时甚至可超过 $200 \text{ }^\circ\text{C}$,进而导致胶料老化、降解,挂胶履带板综合性能大幅下降^[33]。

现在大部分分体式挂胶履带板均采用NR或SBR作为主体材料,美国军方较早开展了采用氯化丁腈橡胶(HNBR)制作挂胶履带板的研究及试验验证工作^[34]。随着对坦克装甲车辆行驶速度和行驶里程要求的进一步提高,现有挂胶履带板材料难以满足使用要求,结合挂胶履带板要求及失效形式,株洲时代新材料科技有限公司(以下简称时代新材)开展了挂胶履带板用NR、SBR、丁腈橡胶(NBR)及HNBR胶料的性能研究,开发出一系列具有优异耐高温老化和高温抗撕裂性能以及低生热性能的挂胶履带板胶料,产品行驶里程提升高达20%~40%。

3.2 整体式橡胶履带

整体式橡胶履带是橡胶与金属或纤维材料复合而成的环形胶带,具有接地压力小、牵引力大、震动小、噪声低、不损伤路面、行驶速度快及质量小等特点,目前已广泛应用于军用运输车辆、农业机械及工程机械等领域^[35]。

整体式橡胶履带在使用过程中易出现掉带,钢丝绳断裂,铁齿脱落,胶体表面龟裂、崩花掉块及分层等常见故障。目前国内外生产橡胶履带的企业相对较少,而且主流成型技术为钢丝帘布无接头和分段硫化工艺,产品寿命短,加拿大、日本等国外生产企业在产品性能方面具有较大优势,因此橡胶履带技术壁垒相对较高。

整体式橡胶履带一般采用NR及其与BR或SBR的并用胶作为主体材料,但在产品使用中后期胶体由于老化及硫化返原而性能显著下降,易出现崩花掉块、裂口,时代新材采用NR/低顺式结构含量BR并用,通过芳纶纤维材料提升产品的抗刺穿能力,并采用特种配合体系,大幅提升了产品的耐老化性能、高温抗撕裂性能及抗硫化返原性能,开发出的橡胶履带产品见图4,目前产品已应用于南极全地形科考运输救援车。

3.3 实心橡胶车轮

悬挂式单轨列车又被称为“空中列车”,是一

种轻型、中运量、低成本的新型公共交通方式,悬挂式单轨列车及其转向架结构见图5和6。悬挂式单轨车辆转向架设走行轮和导向轮各4个,均为实心橡胶车轮^[36]。

与钢制车轮相比,实心橡胶车轮可明显降低车辆运行的震动和噪声,提升车辆的舒适性,同时保证轨道不受磨损,大幅降低轨道维护成本。实心橡胶车轮在额定速度和载荷下生热高,会导致内部温升急剧提高,进而导致车轮失效,因此对胶

料的耐热性能提出了极高要求。时代新材开发出具有低生热、高耐热老化性能和高热导率的特种胶料,参照GJB 1259A—1998《履带车辆挂胶负重轮规范》对开发的实心橡胶车轮(见图7)进行疲劳验证,实心橡胶车轮的疲劳试验时间达到110 h,超过了国家军用标准要求。



图4 整体式橡胶履带



图7 实心橡胶车轮

3.4 负重轮

负重轮作为履带车辆的主要行动部件,直接承受车体与地面间的静、动态载荷,起着支撑车体、缓和冲击以及隔震降噪的作用,其典型失效形式为外层掉块开裂以及行驶过程中外层熔融爆裂,失效的主要原因在于长时间行驶过程中胶料生热大大超出其散热能力,内部温度超过了胶料正常的承受能力,胶料分解释放出气体而导致爆裂,同时高温下胶料硫化返原,常规物理性能大幅下降,严重影响了产品的使用寿命。

陆永俊等^[37]研究了影响负重轮胶料的压缩疲劳生热性能的因素,结果表明:主体材料中并用5~10份BR对胶料的压缩疲劳生热性能没有影响;添加结构程度相近、粒径不同的炭黑对胶料的压缩疲劳生热性能有影响,补强体系中并用10~15份白炭黑可降低胶料的压缩疲劳温升。吴东锦等^[38]的研究表明,以NR为主体材料,通过采用半补强炭黑/新工艺高耐磨炭黑并用,硫化体系采用硫磺/硫磺给予体DTDM配合后效型促进剂,负重轮胶料的抗硫化返原性能明显提高,耐热氧老化性能提高,生热显著下降,产品动态性能明显改善。时代新材开发出内层为低生热、高耐热性能的NR/BR/TPI并用胶,外层为具有优异耐高温老化性能、抗硫化返原性能及良好耐磨性能的低苯乙烯含量的SSBR/NR并用胶,且两种并用胶具有良



图5 悬挂式单轨列车

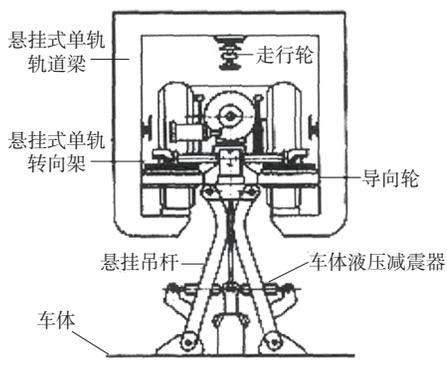


图6 悬挂式单轨列车转向架结构

好的共硫化特性,试制的负重轮产品通过台架性能测试,如图8所示。



图8 负重轮台架试验

4 结语

高速运转橡胶制品由于动态生热造成其性能下降或破坏,引起了人们的高度关注,解决该问题需要从胶料生热、导热和橡胶分子链耐热三方面共同着手。配方和工艺方面,采用先进混炼工艺或设备以及利用纳米技术和化学改性技术,提高炭黑、石墨烯等填料在橡胶中的分散度,以降低疲劳生热和提高热导率;加大低生热胶种,如TPI、BIR和SSBR等的开发与应用;采用机械共混法、乳液共混法、溶液共沉法、原位合成胶种法等制备难分散导热填料/不同胶种载体的预分散体;降低石墨烯、碳纳米管以及金属氧化物晶须等高导热填料生产制造成本。产品设计方面,合理设计产品结构,增大产品散热面积,提高产品整体热导率,以防止其发生内部热量聚集。

参考文献:

- [1] 王振华. 橡胶纳米增强机理及新型增强导热复合材料的制备、结构与性能研究[D]. 北京:北京化工大学,2010.
- [2] 何曼君,陈维孝,董西侠,等. 高分子物理[M]. 上海:复旦大学出版社,1990:347-349.
- [3] 张小冬. 橡胶动态压缩屈挠生热与导热的研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.
- [4] 谢富霞,辛泉友,顾润民. 短纤维增强天然橡胶/溶聚丁苯橡胶共混物的压缩疲劳生热性能[J]. 合成橡胶工业,2007,30(4):306-308.
- [5] 李亚思,许宗超,温世鹏,等. 氮掺杂石墨烯/白炭黑/溶聚丁苯橡胶复合材料的制备与性能研究[J]. 橡胶工业,2019,66(1):13-17.
- [6] Feng H D, Zhang X Y, Zhao S H. Tin-coupled Star-shaped Block Copolymer of Styrene and Butadiene (II) Properties and Application[J]. Journal of Applied Polymer Science,2009,111(2):602-611.
- [7] Sierra C A, Galan C, Fatou J M, et al. Dynamic-mechanical Properties of Tin-coupled Sbrs[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1995,68(2):259-266.
- [8] 谭宇,陈彰斌,胡天辉,等. NR/TPI并用胶性能的研究[J]. 特种橡胶制品,2013,34(2):19-21.
- [9] 王浩,宋丽媛,马韵升,等. 反式-1,4-丁二烯-异戊二烯共聚橡胶改性的高性能轿车轮胎胎面胶的结构与性能[J]. 高分子学报,2018,(3):419-427.
- [10] 董为民,姜连生,张学全. 稀土异戊橡胶及稀土丁异戊橡胶的合成、性能及应用[A]. 中国化工学会石油化工专业委员会C₅/C₆/C₁₀综合利用研讨会论文集[C]. 哈尔滨:中国化工学会,2005:126-130.
- [11] Reed T F. Heat Build Up of Dynamically Loaded Engineered Elastomeric Components- I [J]. Elastomerics,1989,5(3):20-28.
- [12] Wang M J. A Workshop. Praxis and Theorie der Verstärkung von Elastomeren[A]. Hanover, Germany:1996:27-28.
- [13] Wang M J. Effect of Polymer-filler and Filler-filler Interactions on Dynamic Properties of Filled Vulcanizates[J]. Rubber Chemistry and Technology,1998,71(3):520-589.
- [14] 唐明明,容敏智,马传国,等. Al₂O₃的表面处理及粒子尺寸对SBR导热橡胶性能的影响[J]. 合成橡胶工业,2003,26(2):104-107.
- [15] 张杰,陈朝晖. 硅强粉对炭黑填充天然橡胶胶料生热与导热性能的影响[J]. 橡胶工业,2018,65(1):42-45.
- [16] Agari Y, Uno T. Estimation on Thermal Conductivities of Filled Polymer[J]. Journal of Applied Polymer Science,1986,32(5):705-708.
- [17] Agari Y, Ueda A, Nagai S. Thermal Conductivity of Polyethylene Filled with Oriented Short-cut Carbon Fibers[J]. Journal of Applied Polymer Science,1991,43(1):117-121.
- [18] Agari Y, Tanaka M, Nagai S, et al. Thermal Conductivity of a Polymer Composite Filled with Mixtures of Particles[J]. Journal of Applied Polymer Science,1987,34(1):429-433.
- [19] Hatta H, Taya M, Kuiacki F A. Thermal Conductivity of Hybrid Short Fiber Composites[J]. Journal of Composite Materials,1993,27(15):1373-1376.
- [20] 黄奕涵. 改性石墨/天然橡胶导热复合材料性能研究[D]. 西安:西安科技大学,2016.
- [21] 陆永俊,刘江伟,张艳霞,等. 影响负重轮橡胶材料压缩疲劳生热性能因素的研究[J]. 特种橡胶制品,2010,31(1):36-38.
- [22] 杨绪迎,吕佳萍,裴红兵. 炭黑、导电炭黑和碳纳米管在天然橡胶中补强性能的对比研究[J]. 世界橡胶工业,2016,43(1):23-28.
- [23] 郭明明,谢红杰,张钊,等. 低生热高导热轮胎橡胶复合材料的工程化研究[J]. 橡胶工业,2018,65(3):279-282.
- [24] 廖振斐. 天然橡胶/石墨烯/炭黑复合体系的结构与性能研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
- [25] 林勇. 新型功能化石墨烯的制备及其在橡胶中的应用[D]. 广州:

- 华南理工大学, 2013.
- [26] 张殿荣, 辛振祥. 现代橡胶配方设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 88-89.
- [27] Hong S W, Lin C Y. 用防老剂及并用防老剂提高轮胎胶料的耐屈挠疲劳和动态臭氧龟裂性能[J]. 世界橡胶工业, 2002, 29(3): 163-169.
- [28] 王哲鹏, 杜爱华. 偶联剂和离子液体改性白炭黑补强天然橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(12): 1360-1365.
- [29] 高志强. 离子液体改性制备高分散导热橡胶填充补强剂白炭黑的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.
- [30] 赵明明, 王少君, 卢阳, 等. 离子液体改性无机材料制备橡胶导热助剂[J]. 化工进展, 2014, 33(8): 2130-2133.
- [31] 王经逸, 张旭敏, 刘鹏章, 等. 离子液体改性氧化石墨烯对天然橡胶性能的影响[J]. 合成橡胶工业, 2016, 39(1): 10-14.
- [32] 张立群, 耿海萍, 陈松, 等. 坦克装甲车辆用橡胶履带板的研究开发[J]. 合成橡胶工业, 1996, 19(6): 325-330.
- [33] Thavamani P, Khastgir D K, Bhowrick A K. Development and Field Performance of Tank Track Pad Compounds[J]. Plastics Rubber Composites Processing Applications, 1993, 19: 245.
- [34] Army Researchers Creative Tank Pads Based on Saturated NBR[J]. Rubber and Plastics News, 1988, 17(22): 28.
- [35] 王克成. 橡胶履带的性能和结构力学[J]. 世界橡胶工业, 2011, 38(7): 25-33.
- [36] 李东宇, 李芾, 李刚. 橡胶履带的性能和结构力学[J]. 电力机车与城轨车辆, 2014, 37(5): 28-33.
- [37] 陆永俊, 刘江伟, 张艳霞, 等. 影响负重轮橡胶材料压缩疲劳生热性能因素的研究[J]. 特种橡胶制品, 2010, 31(1): 36-38.
- [38] 吴东锦, 燕海亮, 徐卫军, 等. 提高负重轮橡胶动态性能的研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2003, 17(2): 88-90.

收稿日期: 2019-06-24

Formulation Technology and Product Development of Rubber Products for High-speed Running

HUANG Zihua, CHEN Zhangbin, LI Yuan, YAN Yuanwei, HE Xiangwei, YU Kerui

(Zhuzhou Times New Materials Technology Co., Ltd, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: Based on the mechanism of dynamic heat build-up damage of the rubber products in high-speed running, the effects of raw rubber system, filler system, vulcanization system, anti-aging system and ionic liquid on the dynamic thermal properties of the rubber products were discussed. The damage form and product development status of typical high-speed running rubber products such as split rubber track board, integral rubber track, solid rubber wheel and load wheel were analyzed. In order to solve the performance damage problem of the high-speed running rubber products caused by dynamic heat, the main factors such as the heat build-up property and thermal conductivity of the compound, and the heat resistance of rubber molecular chain, needed to be carefully studied and optimized.

Key words: high-speed running; rubber products; formulation technology; dynamic heat build-up; failure mechanism

东洋2019年上半年的整体业绩喜忧参半 美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2019年8月11日报道:

日本东洋轮胎有限公司2019年上半年销售额下滑,但得益于母公司的利润增长6.4%,该公司实现了收入与销售额之比的增长。

东洋公布其截至2019年6月30日的上半年销售额超过1 785亿日元,净收入为75亿日元。相比之下,2018年同期的销售额为1 857亿日元,净收入为70亿日元。根据2019年6月30日的汇率,东洋2019年上半年净销售额超过16亿美元,净收入为6 950万美元;净收入与销售额之比为4.2%,高于

2018年上半年的3.8%;营业收入同比下降26.2%,从2018年上半年的208亿日元降至2019年上半年的153亿日元(1.41亿美元)。

2019年上半年东洋轮胎业务部门的净销售额为1 556亿日元(13亿美元),同比降幅为2.8%;营业收入为161亿日元(14 892万美元),同比降幅为28.9%。

2019年上半年东洋汽车零部件业务部门净销售额为229亿日元(2.115亿美元),同比增长1%;营业亏损为7.56亿日元(700万美元),同比增长近11亿日元。

(张 钊摘译 赵 敏校)