

特约来稿

动态可逆网络构建对橡胶材料性能影响的研究进展

张松波,冷雪菲,韩丽,李超,雷岚,马红卫*,李杨*

(大连理工大学 辽宁省高分子材料科学与工程重点实验室,辽宁 大连 116024)

摘要:论述动态可逆网络构建对橡胶材料性能影响的研究进展。动态可逆网络的构建主要基于非共价键和动态可逆共价键,非共价键包括氢键和离子键,生成动态可逆共价键的主要方法有Diels-Alder反应、 β -羟基酯交换反应和双硫交换等。目前动态可逆网络在橡胶材料中的应用还存在一些问题,如采用氢键和离子键构建动态可逆网络导致橡胶材料性能不稳定、动态可逆网络构建工艺复杂等。在不牺牲橡胶材料原有应用性能的基础上,通过匹配橡胶材料工业成型工艺来构建稳定的动态可逆网络以赋予橡胶材料可重复加工性和自愈性,是未来研究的主要方向。

关键词:动态网络;动态可逆共价键;非共价键;橡胶;性能设计

中图分类号:TQ330.1

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)08-0563-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.08.0563



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

橡胶由于其独有的高弹性和粘弹性,被广泛应用于轮胎、减震件、密封件等产品,涉及民用、航空航天、医疗、军事等众多领域,是现代国民经济和科技领域不可或缺的高分子材料之一^[1-2]。传统橡胶制品通常是将橡胶与硫化剂、补强剂、防老剂等通过开炼机或/和密炼机混炼及硫化机硫化制备而成。传统橡胶材料内部通常存在两种网络结构,一种是由硫黄或过氧化物等交联剂与橡胶大分子链反应形成的交联网络,其赋予了橡胶材料独有的高弹性、粘弹性以及稳定性^[3];另一种是由炭黑、白炭黑、碳纳米管、石墨烯等补强填料形成的填料网络,其赋予了橡胶材料足够的力学强度^[4]。但是当橡胶制品在服务期内,遭受动态或静态的外力后,内部往往会产生微裂纹,这种微裂纹一般不可自愈,而是进一步扩大变成宏观裂纹,导致材料发生断裂疲劳失效^[5]。同时由于橡胶材料的交联网络结构多由键能较大的非可逆共价键构成,造成废旧橡胶制品的回收多采用化学脱硫、掩埋、焚烧等方式,耗能且对环境造成污染^[6]。如何使橡胶制品在服务时产生的微裂纹能够自愈合

或者在外界刺激下自愈合,以及发展可重复利用的橡胶制品以降低回收成本成为近年来橡胶行业的研究热点和挑战。

动态可逆共价键是一种在一定的外界条件(光、热、力、酸、碱等)刺激下,能够发生可逆“断裂”与“结合”,从而在分子间进行热力学平衡反应,实现分子动态交换与重组的化学键。当刺激消除后,动态可逆共价键高分子又可表现出与一般共价键高分子相当的高稳定性^[7]。除此之外,部分非共价键(氢键、离子键)也表现出可逆特性。将这些具有可逆特性的动态可逆共价键或者非共价键引入橡胶材料网络结构中,部分或完全取代橡胶材料交联网络的不可逆共价键,构建一种动态可逆交联网络,进而赋予橡胶材料自愈性以及再加工性,成为了一种解决传统橡胶材料失效问题的有效方法之一,是传统橡胶材料发展的再升级。橡胶材料交联网络的发展趋势见图1。

近年来,动态可逆共价键和非共价键的可逆特性在分子领域得到广泛应用,在这期间涌现出许多对动态可逆共价键在分子材料中应用的总结性报道^[7-9]。本文将从橡胶材料动态网络结构的设计、构建以及性能等方面补充介绍具有可逆特性的非共价键和动态可逆共价键在橡胶领域的研究进展,并对其未来发展方向进行展望。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFB0307101)

作者简介:张松波(1992—),男,河南柘城人,大连理工大学在读博士研究生,主要从事基于动态化学键的橡胶性能调控研究。

*通信联系人(mahw@dlut.edu.cn;liyang@dlut.edu.cn)

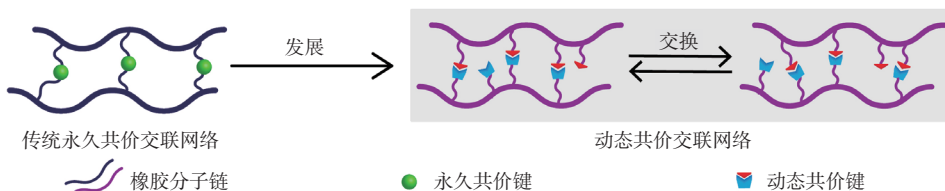


图1 橡胶材料交联网络的发展趋势(从永久共价交联网络到动态共价交联网络)

1 基于非共价键构建动态交联网络橡胶材料

导致传统橡胶不可自愈以及回收困难的主要原因是由于其内部存在稳定的共价键交联网络。采用具有可逆特性的非共价键代替传统不可逆共价键是一种解决上述问题的有效方法。常见的非共价键包括氢键和离子键等。氢键作为一种分子间作用力对环境极性比较敏感。为了保证橡胶材料的稳定性,常采用在传统共价交联网络中引入氢键的方法来提升橡胶材料的性能。

Y. Shanguan等^[10]通过过氧化物交联剂(硫化剂DCP)将N,N-亚甲基双丙烯酰胺(MBA)引入到丁腈橡胶(NBR)中,构建了一种含有过氧化物交联键以及含有氢键作用的非共价键混合网络结构。结果表明:氢键的引入提高了NBR胶料在低频区储能模量的同时,降低了其在高频区的储能模量;另外,氢键的引入对NBR分子链的运动能力产生了进一步限制,降低了由于分子链间摩擦引

起的能量耗散。

Y. Meng等^[11]利用Si—H键与C=C键加成反应将2-脲基-4[1H]嘧啶酮(UPy)接枝到聚硅氧烷侧链中,接着在体系中加入硅油交联剂,制备了一种具有氢键作用的热可逆动态交联网络以及共价交联网络的弹性体。这种双网络结构克服了聚硅烷弹性体粘弹区间小的问题,同时赋予了聚硅烷弹性体良好的形状记忆性能和生物相容性能。

M. C. Luo等^[12]利用UPy向硫黄交联的聚异戊二烯(PI)中引入强氢键作用,制备UPy官能化聚异戊二烯(PI-UPy),其分子设计方案、目标网络结构以及性能如图2—5所示(对文献[12]图片进行重新加工)。结果发现,与具有弱氢键作用的羟基化聚异戊二烯橡胶(PI-OH)相比,PI-UPy的可逆交联密度和摩擦损耗均较大,进一步提升了断裂韧性。这种利用强氢键作用增韧弹性体的方法也同样适用于天然橡胶(NR)、聚丁二烯橡胶以及丁苯橡胶(SBR)等。

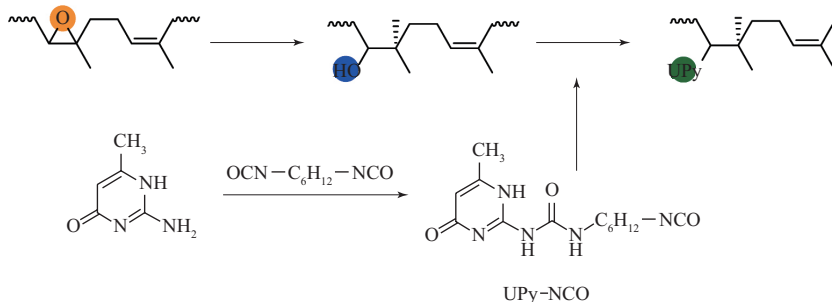


图2 PI-UPy的分子设计方案

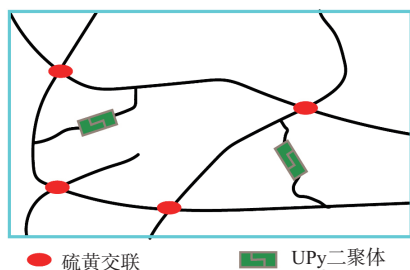
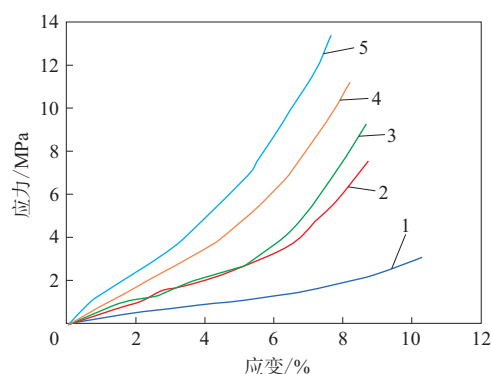


图3 PI-UPy的目标网络结构示意图

另外,利用离子键的缔合作用构建可逆动态交联网络在橡胶材料中也有着广泛的应用。Z. Cheng等^[13]首先设计合成了多巴胺官能化的环氧化丁腈橡胶(ENBR),接着向体系中引入 Fe^{3+} ,其与多巴胺基团上的邻苯二酚一起通过配位作用构建动态共价键网络结构。结果显示,NBR胶料的拉伸强度高达8.9 MPa,且具有优异的可再加工性能(保持率高达90%)。



1为—OH物质的量分数为0.04的PI-OH;2,3,4和5分别为UPy基团物质的量分数分别为0.01,0.02,0.03和0.04的PI-UPy。

图4 PI-OH和PI-UPy的应力-应变曲线

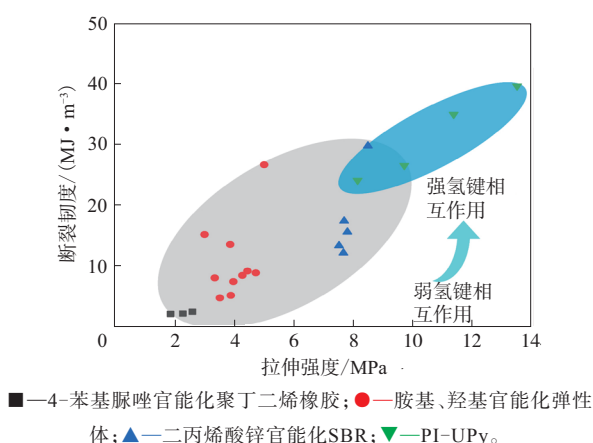


图5 不同弹性体的拉伸强度-断裂韧度关系

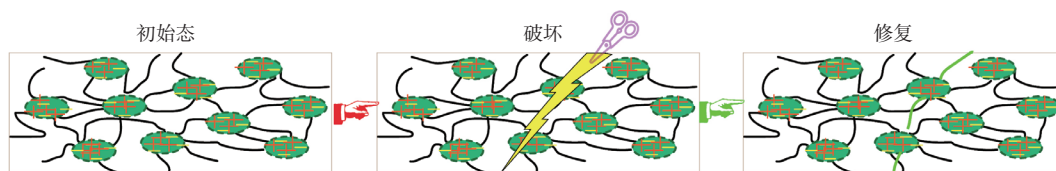


图6 NR胶料通过离子交联重建自愈合示意

环境中形成的离子缔合交联网络具有较高的模量,可起到补强作用的启发^[18],将氧化锌引入到羧酸化丁苯橡胶(XSBR)中,结果发现所制备的氧化锌/XSBR复合材料不仅具有强的自愈合能力,而且还具有可反复加工利用的性能,反复加工3次时,拉伸强度提高到10.3 MPa。

J. C. Lai等^[19]通过分子设计合成了一类基于双亚胺键的动力学活泼、热力学稳定的变齿配体(Zn-Hbimcp),并将这一特殊配位作用的化合物引入到胺基封端的聚二甲基硅氧烷(NH₂-

X. Y. Jia等^[14]采用Fe³⁺代替Co²⁺与聚二甲基硅氧烷中的苯三唑端基形成强的配位作用,进而构建动态共价网络结构,结果显示所制备的聚合物在低加载速度下,应变高达3 400%,并且拥有较好的自愈性。

A. Das等^[15]通过咪唑与溴形成咪唑鎓盐的方式,在溴化丁基橡胶(BIIR)中引入具有交联能力的离子缔合物。离子缔合的可逆性赋予了BIIR胶料自愈合的能力,同时其具有超过传统硫磺硫化BIIR胶料的弹性模量、拉伸强度和疲劳性能。但是由于大部分商业橡胶属于非极性橡胶,与橡胶分子链中极性基团形成离子缔合的方式赋予橡胶自愈性的适用性有限。

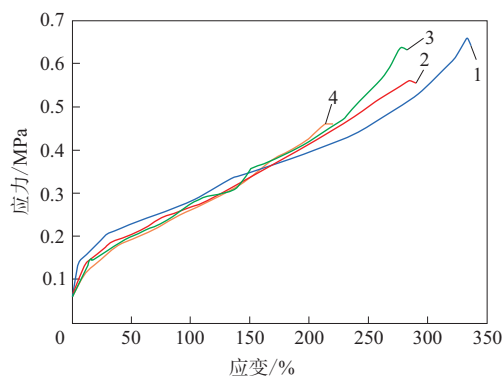
C. Xu等^[16]发现将具有可形成离子交联网络的Zn²⁺通过硫化剂DCP引入到NR中,同样可以赋予NR胶料自愈性。虽然该方法适用于大部分商业橡胶,但是所制备的NR胶料的力学性能较差,拉伸强度约为1 MPa,NR胶料通过离子交联重建自愈合示意图6,修复温度以及修复时间对NR胶料应力-应变曲线的影响分别如图7和8所示(对文献[16]图片进行重新加工)。因此,如何在赋予橡胶材料自愈性的同时,保证其固有的高弹性和力学强度不受影响成为制备自愈性橡胶材料的关键。

基于以上认识,C. Xu等^[17]受到Zn²⁺在羧酸盐

PDMS-NH₂)中,制得了高韧性的室温自修复橡胶材料,该橡胶材料的断裂韧度达到29.3 MJ·m⁻³,同时在室温下24 h后可以实现完全自修复。这一研究为制备具有优异力学性能的自愈合橡胶材料开辟了一条新的途径。

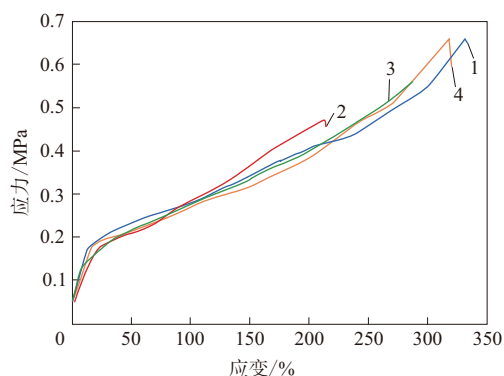
2 基于动态可逆共价键交联网络橡胶材料

不同于氢键、离子键等非共价键构建动态可逆交联网络,动态可逆共价键是基于在外界刺激下,触发共价键的可逆断裂和结合,实现交联网络



1—原始胶料;修复温度/℃:2—40,3—60,4—80。

图7 不同修复温度下NR胶料自修复1 min后的应力-应变曲线



1—原始胶料;修复时间/min:2—0.5,3—2,4—5。

图8 室温下NR胶料自修复不同时间后的应力-应变曲线的拓扑结构重排,进而构建动态交联网络。生成动态可逆共价键的主要方法有Diels-Alder (DA) 反应、 β -羟基酯交换反应和双硫交换等。

X. Kuang等^[20]利用DA反应,将硫-烯点击反应合成的含有呋喃基团的SBR与双马来酰亚胺反应,构建了一种动态可逆共价交联网络,并利用Semenov-Rubinstein理论和Arrhenius定律给出了动态共价聚合物的应力弛豫动力学与反应热力学之间的关系。

Y. Liu等^[21]利用环氧化天然橡胶(ENR)、癸二酸以及乙酰甘氨酸(N-Ag),通过环氧基与羧基之间的化学反应,生成可交换 β -羟基酯交联键以及具有氢键作用的酰胺键。其中 β -羟基酯交联键在高温时可以发生酯交换反应,赋予了胶料可再加工性能;与此同时,悬垂的酰胺键能够形成氢键以作为一种牺牲键大幅度提高胶料的力学性能。胶料可逆交联的能量耗散机理如图9所示,N-Ag用量

对应力-应变变化趋势和松弛时间的影响分别如图10和11所示(对文献[21]图片进行重新加工)。

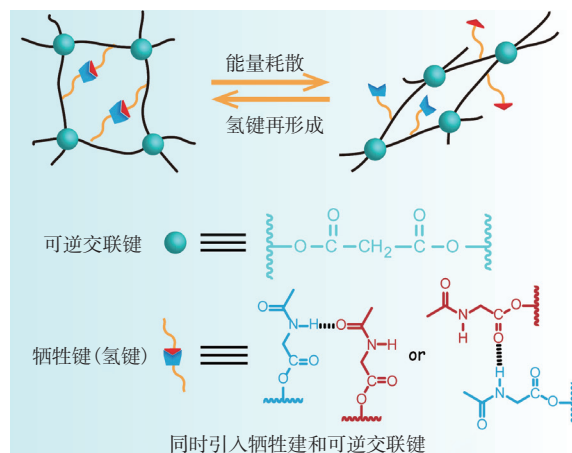


图9 ENR胶料可逆交联的能量耗散机理示意

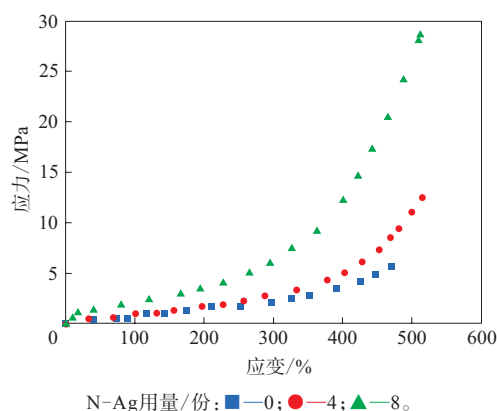


图10 不同N-Ag用量的ENR胶料的应力-应变变化趋势

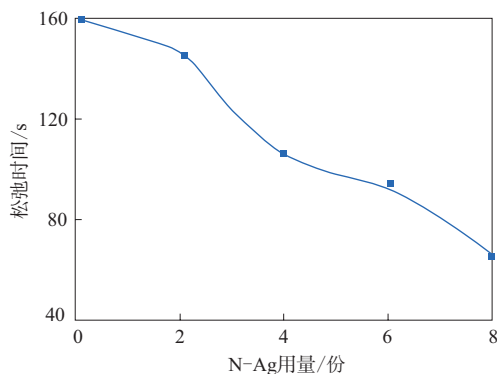


图11 N-Ag用量对ENR胶料松弛时间的影响

X. Li等^[22]利用四硼酸钠还原聚硅氧烷的端羟基,在聚合物中构建了一种含有Si—O—B弱键的可逆物理交联网络,利用动态粘弹性试验证实了这一可逆交联网络的存在。

B. Cheng等^[23]将含有环氧基和C=C键双官能基团的ENR与二硫代二苯甲酸和二硫代二苯胺直接共混热压,构建了具有双硫交换和氢键的动态可逆交联网络。这种动态可逆交联网络赋予了胶料高的拉伸强度 (9.3 ± 0.3) MPa以及自愈效率(高达98%),同时胶料的自愈效率不受断裂或者循环疲劳的影响。

H. Xiang等^[24]将聚丁二烯橡胶与巯基封端的含双硫键的聚合物共混压膜后,放于最大波长为360 nm的环境中,通过光交联制备了含双硫可逆交换网络的聚合物。胶料的自愈合能力与双硫键含量、透光率、辐照强度和时间的协同作用有关,同时双硫交换键的可逆特性还赋予了胶料形状记忆性能和再加工性能。

传统硫黄硫化胶中的交联键由单硫键、双硫键和多硫键构成,通过调节硫化体系与硫化工艺,可使硫化胶内双硫键的含量占绝对优势。因此基于传统硫化胶中的双硫键而无需专门引入其他动态可逆共价键是一个实现橡胶材料自愈合的更具有实际应用价值的方法。基于以上思路,M. Hernández等^[25]通过调控硫化体系中双硫键和多硫键含量的比值,制备了一种具有自愈性的NR胶料,NR胶料的力学性能与自愈性之间的平衡可通过调节交联密度和双硫键与多硫键的比值来实现,见图12(对文献[25]图片进行重新加工)。

向洪平等^[26]利用甲基丙烯酸铜催化双硫交换反应获得了具有多次自修复和再加工性能的NR胶料。

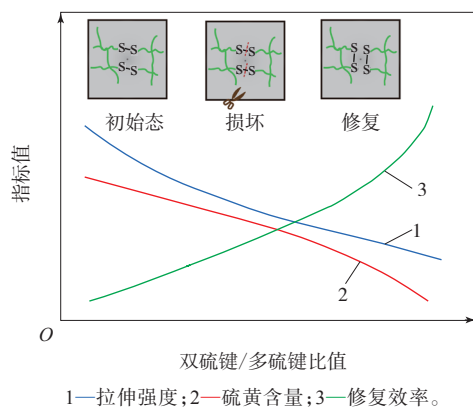


图12 双硫键/多硫键比值与拉伸强度、硫黄含量和修复效率的关系

在传统橡胶工业中,补强填料在改善橡胶材料综合性能(“魔三角”性能、力学性能、导热性能、导电性能等)时往往扮演着十分重要的角色。通过在橡胶分子链和补强填料表面引入可相互反应而生成可交换键的官能团,一方面可以改善填料在橡胶中的分散,另一方面可以利用其可交换属性,制备具有可再加工性能的交联橡胶纳米复合材料,两者均是橡胶行业研究热点。

M. A. Sattar等^[27]受能量耗散机制和牺牲键赋予生物材料可修复性的启发,在传统硫黄硫化体系基础上,利用NR中的蛋白质和磷脂可与白炭黑表面—OH基团形成氢键作用或通过 Mg^{2+} 形成络合作用而引入非共价键动态网络的特性,在保证白炭黑/NR复合材料高力学性能的同时,赋予其自愈合性能。

L. Guadagno等^[28]首先利用三苯基膦为催化剂,将含胺基的环氧前驱体N,N,N,N-四环氧丙基-4,4-二氧基二苯甲烷(TGMDA)接枝到羧基封端的丁腈橡胶(TCTBD)上,接着通过对多壁碳纳米管(MWCNT)进行改性,在MWCNT表面引入可形成氢键作用的基团,然后在超声仪中将两者混合均匀,最后热压,制备了一种同时具有高力学性能和自愈性的MWCNT/TCTBD复合材料。

3 展望

迄今为止,动态可逆共价键在橡胶材料中的应用取得了瞩目的进展,赋予了橡胶材料新的性能,如自愈性和可再加工性等,缓解了传统橡胶材料回收成本高以及环境污染大的压力。但在对橡胶材料动态可逆网络的研究中还存在许多难题和挑战。

(1) 氢键和离子键等虽然能够赋予橡胶材料自愈性和可修复性,并对其力学性能起到促进作用,但是氢键和离子键作为非共价键,对环境极性比较敏感。当橡胶材料在复杂苛刻的环境中使用,如何保证由这种非共价键赋予橡胶材料的一系列性能不会减弱还有待商榷。

(2) 当橡胶材料用于制备工业化产品时,对其综合性能的要求较高。目前关于动态可逆网络构建在橡胶材料中的应用停留于基础研究阶段,在赋予橡胶材料自愈性和可加工性能时,往往牺牲

了橡胶材料的其他性能。如何在不牺牲橡胶材料工业应用固有性能要求的前提下,赋予橡胶材料自愈性将是一个重要课题。

(3) 当前大部分商业橡胶制品的加工成型工艺都已经相当成熟,而大部分橡胶材料中动态网络的构建方法,无论是对橡胶分子链还是对补强填料的化学改性过程都相对复杂且孤立,不能与橡胶制品的成型过程匹配,工业化适用性不强。所以在已有成型工艺中构建橡胶材料动态可逆交联网络,即通过反应型加工的策略构建动态可逆交联网络更具有工业化应用前景。

参考文献:

- [1] 李花婷,陈名行,蔡尚脉.绿色轮胎用橡胶材料功能化的研究概况[J].橡胶工业,2019,66(7):483-488.
- [2] 杨莉.我国橡胶制品行业2010年经济概况及发展趋势[J].橡胶工业,2011,58(5):314-316.
- [3] 于清溪.橡胶配方硫化体系的优化设计(一)[J].世界橡胶工业,2013,40(8):1-8.
- [4] 邹梦娇,陈福林,岑兰,等.纳米填料的改性及其在橡胶中的分散研究进展[J].橡胶工业,2012,59(4):247-255.
- [5] 张松波,周竞发,刘月星,等.氧化石墨烯对炭黑/天然橡胶复合材料耐疲劳性能的影响[J].橡胶工业,2018,65(11):1205-1209.
- [6] 姜敏,寇志敏,彭少贤.废旧橡胶回收与利用的研究进展[J].合成橡胶工业,2013,36(3):239-243.
- [7] 陈兴幸,钟倩云,王淑娟,等.动态共价键高分子材料的研究进展[J].高分子学报,2019,50(5):469-484.
- [8] 张泽平,容敏智,章明秋.基于可逆共价化学的交联聚合物加工成型研究——聚合物工程发展的新挑战[J].高分子学报,2018,49(7):829-852.
- [9] 吴思武,唐征海,郭宝春.动态共价键交联橡胶的设计和性能[J].高分子学报,2019,50(5):442-450.
- [10] Shangguang Y, Yang J, Zheng Q. Rheology of Nitrile Rubber with Hybrid Crosslinked Network Composed of Covalent Bonding and Hydrogen Bonding[J]. RSC Advances, 2017, 7(26): 15978-15985.
- [11] Meng Y, Xu W, Newman M R, et al. Thermoreversible Siloxane Networks: Soft Biomaterials with Widely Tunable Viscoelasticity[J]. Advanced Functional Materials, 2019, 29(38): 1903721.
- [12] Luo M C, Zeng J, Fu X, et al. Toughening Diene Elastomers by Strong Hydrogen Bond Interactions[J]. Polymer, 2016, 106: 21-28.
- [13] Cheng Z, Ya M, Cao L, et al. Design of Nitrile Rubber with High Strength and Recycling Ability Based on Fe^{3+} -catechol Group Coordination[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2019, 58(9): 3912-3920.
- [14] Jia X Y, Mei J F, Lai J C, et al. A Highly Stretchable Polymer that Can Be Thermally Healed at Mild Temperature[J]. Macromolecular Rapid Communications, 2016, 37(12): 952-956.
- [15] Das A, Sallat A, Böhme F, et al. Ionic Modification Turns Commercial Rubber into a Self-healing Material[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2015, 7(37): 20623-20630.
- [16] Xu C, Cao L, Lin B, et al. Design of Self-healing Supramolecular Rubbers by Introducing Ionic Cross-links into Natural Rubber via a Controlled Vulcanization[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2016, 8(27): 17728-17737.
- [17] Xu C, Huang X, Li C, et al. Design of " Zn^{2+} Salt-bondings" Cross-linked Carboxylated Styrene Butadiene Rubber with Reprocessing and Recycling Ability via Rearrangements of Ionic Cross-linkings[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2016, 4(12): 6981-6990.
- [18] Nie Y, Huang G, Qu L, et al. Cure Kinetics and Morphology of Natural Rubber Reinforced by the in Situ Polymerization of Zinc Dimethacrylate[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 115(1): 99-106.
- [19] Lai J C, Jia X Y, Wang D P, et al. Thermodynamically Stable Whilst Kinetically Labile Coordination Bonds Lead to Strong and Tough Self-healing Polymers[J]. Nature Communications, 2019, 10(1): 1164.
- [20] Kuang X, Liu G, Dong X, et al. Correlation between Stress Relaxation Dynamics and Thermochemistry for Covalent Adaptive Networks Polymers[J]. Materials Chemistry Frontiers, 2017, 1(1): 111-118.
- [21] Liu Y, Tang Z, Wu S, et al. Integrating Sacrificial Bonds into Dynamic Covalent Networks toward Mechanically Robust and Malleable Elastomers[J]. ACS Macro Letters, 2019, 8(2): 193-199.
- [22] Li X, Zhang D, Xiang K, et al. Synthesis of Polyborosiloxane and its Reversible Physical Crosslinks[J]. Rsc Advances, 2014, 4(62): 32894-32901.
- [23] Cheng B, Lu X, Zhou J, et al. Dual Cross-linked Self-healing and Recyclable Epoxidized Natural Rubber Based on Multiple Reversible Effects[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2019, 7(4): 4443-4455.
- [24] Xiang H, Yin J, Lin G, et al. Photo-crosslinkable, Self-healable and Reprocessable Rubbers[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 358: 878-890.
- [25] Hernández M, Grande A M, Dierkes W, et al. Turning Vulcanized Natural Rubber into a Self-healing Polymer: Effect of the Disulfide/Polysulfide Ratio[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2016, 4(10): 5776-5784.
- [26] 向洪平,容敏智,章明秋.硫化天然橡胶的本征自修复与固相回收加工[J].高分子学报,2017,48(7):1130-1140.
- [27] Sattar M A, Gangadharan S, Patnaik A. Design of Dual Hybrid Network Natural Rubber-SiO₂ Elastomers with Tailored Mechanical and Self-healing Properties[J]. ACS Omega, 2019, 4(6): 10939-10949.

[28] Guadagno L, Vertuccio L, Naddeo C, et al. Self-healing Epoxy Nanocomposites via Reversible Hydrogen Bonding[J]. Composites.

Part B:Engineering,2019,157:1-13.

收稿日期:2020-02-29

Research Progress of Effect of Dynamic Reversible Network on Performance of Rubber Composites

ZHANG Songbo, LENG Xuefei, HAN Li, LI Chao, LEI Lan, MA Hongwei, LI Yang

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The research progress of the effect of dynamic reversible network on the performance of rubber composites was discussed. The construction of dynamic reversible network was mainly based on non-covalent bond which included hydrogen bond and ionic bond and dynamic reversible covalent bond. The main methods to generate dynamic reversible covalent bond included Diels-Alder reaction, β -hydroxyl ester exchange reaction and disulfide exchange. At present, there were still some problems in the application of dynamic reversible network in rubber composites, such as the unstable properties of rubber composite with the network formed by hydrogen and ionic bonds, and the complexity of the network construction process. Therefore, the main direction of future research was to construct a stable dynamic reversible network which could be incorporated into the current industrial manufacturing process without sacrificing any application performance, and the resulted rubber composites possess re-processing and self-healing properties.

Key words: dynamic network; dynamic reversible covalent bond; non-covalent bond; rubber; performance design

双钱集团自主研发轨道交通轮胎新技术 双钱集团上海轮胎研究有限公司研发的“新型轮式轨道交通配套轮胎开发”项目近日被列入《2020年度中国石油和化学工业联合会科技指导计划》。

双钱集团根据轨道交通车型的技术要求,开发和引进轨道交通轮胎制造所需的零度缠绕设备,形成轨道交通轮胎产品设计和工艺技术,成功自主研制出305/70R22.5,6.00R9和445/65R22.5轨道交通轮胎。轨道车辆由于转弯半径小,易导致轮胎异常磨损,轮胎的合理设计可以改善异常磨损,这取决于车辆与轮胎匹配动态特性。通过开发抗湿滑的胎面胶配方和胎面新花纹能大大提高轮胎抓着力,保证车辆的行驶安全性。

近年来,双钱集团技术中心在企业发展战略的指导下,对企业的技术创新工作进行统一规划,通过与高校搭建产学研合作平台,带动了企业各职能部门科研工作地开展,为企业开创了技术创新的崭新局面。

(双钱集团上海轮胎研究有限公司 苏 博)

基于红外、蒸汽、微波复合加热的宽幅薄橡胶片发泡工艺 由际华三五七橡胶制品有限公司和岳阳市葵力橡胶制品有限公司申请的专利(公布号 CN 110757713A,公布日期 2020-02-07)

“基于红外、蒸汽、微波复合加热的宽幅薄橡胶片发泡工艺”,提供了一种基于红外、蒸汽、微波复合加热的宽幅薄橡胶片发泡工艺。该工艺包括以下步骤:(1)将橡胶、发泡剂和硫化剂等混炼均匀,通过压延机压出宽幅薄橡胶片;(2)通过蒸汽散热器对发泡炉内空气进行加热,让炉内温度分布均匀;(3)将宽幅薄橡胶片送入发泡炉中进行加热,进料段的红外发热管加热,使表层快速固化定型,在微波加热器波导管上裂缝天线辐射出的馈能微波与发泡炉内热空气共同作用下,薄橡胶片由内而外均匀升温、硫化和发泡;(4)发泡完成后出料。该发泡工艺使宽幅薄橡胶片自内向外升温、硫化和发泡,可以提高效率,节约能源,保证产品合格率。

(本刊编辑部 赵 敏)