

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.10.030

动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体的研究进展*

石敏,朱建华,蒋团辉

(贵州省材料产业技术研究院,贵阳 550014)

摘要: 阐述了动态硫化聚丙烯(PP)/三元乙丙橡胶(EPDM)共混型热塑性弹性体的发展历史和发展状况;概述了动态硫化 PP/EPDM 共混型热塑性弹性体的硫化体系及硫化原理;总结了共混体系的成份配置和工艺条件对 PP/EPDM 共混物性能和结构的影响;简述了动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体的研究现状与应用;最后展望了动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体的发展趋势。

关键词: 三元乙丙橡胶;聚丙烯;动态硫化;硫化体系;结构性能

中图分类号: TQ334.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)10-0138-05

Progress of Dynamic Vulcanization PP/EPDM Thermoplastic Elastomer

Shi Min, Zhu Jianhua, Jiang Tuanhui

(Guizhou Material Industrial Technology Institute, Guiyang 550014, China)

Abstract: The development history and status of the dynamic vulcanized polypropylene (PP) / ethylene-propylene-diene misch-polymer (EPDM) thermoplastic elastomer were elaborated. The vulcanization system and principle of PP / EPDM were outlined. The effect of the composition and process conditions on the structure and performance of PP / EPDM were summarized. The current research and application of PP / EPDM was introduced. Finally, the future development in PP / EPDM was prospected.

Keywords: ethylene-propylene-diene misch-polymer; polypropylene; dynamic vulcanization; vulcanizing system; structure performance

热塑性弹性体最早出现于 20 世纪 50 年代,经过长期的发展,种类越来越多,可分为苯乙烯类热塑性弹性体,聚氨酯类热塑性弹性体和聚烯烃类热塑性弹性体以及少部分其它热塑性弹性体,动态硫化热塑性弹性体是热塑性弹性体中的一种,是在熔融温度下,橡胶与塑料熔融共混的同时,橡胶“就地硫化”并在高剪切力的作用下被剪切成硫化橡胶颗粒,均匀分散于塑料基质中,形成以橡胶为分散相,树脂为连续相的两相结构,常温下共混物显示橡胶的弹性,高温下可采用树脂的加工方式进行加工,兼具了橡胶和树脂的特性。

1 发展历史

动态硫化热塑性弹性体的典型代表是三元乙丙橡胶(EPDM)与聚丙烯(PP)的机械共混体系,其发展经历了 3 个阶段,即简单机械共混、动态部分硫化共混和动态完全硫化共混。

简单机械共混阶段: 主要采用机械共混法将橡胶和塑料进行简单的机械共混,采用这种方法制备的共混物,橡胶没有被硫化且其颗粒尺寸比较大,导致其弹性、力学性能以及耐介质性能等较差。

动态部分硫化共混阶段: 动态硫化的概念首次出现于 A. M. Gessler 等^[1]在 1958 年提出的动态硫化工艺制备 PP

/ 氯化丁基橡胶(CIIR)热塑性弹性体专利中。20 世纪 70 年代初^[2-3], W. K. Fisher 提出了动态部分硫化的概念,并在 1972 年, W. K. Fisher 等^[2]采用部分动态硫化方法,用局部交联的 EPDM 与 PP 共混,制成 PP/EPDM 热塑性弹性材料,并申请了动态部分硫化 PP/EPDM 的制备专利,基于 Fisher 的研究工作,美国 Uniroyal 公司于 1973 年推出了牌号为 TPR 的产品。

动态全硫化阶段: 1975 年美国 Monsanto 公司的 Y. A. Coran 等^[4]在 Fisher 研究成果的基础上提出动态全硫化技术,在 1979 年,制得了以 PP/EPDM 为代表的一系列动态全硫化热塑性弹性体。S. Abdou-Sabet 等^[5]进一步完善了 Y. A. Coran 关于完全动态硫化制备热塑性弹性体的理论,1981 年,美国的 Monsanto 公司率先将 PP/EPDM 热塑性弹性体投入市场,包括通用品级、阻燃品级、软品级等产品。

我国于 1982 年开始进行 PP/EPDM 热塑性弹性体的

* 贵州省科学技术基金项目,黔科合 J 字[2015]2079 号,贵州省科学技术基金,黔科合 J 字[2012]2205 号

联系人:朱建华,博士,副研究员,主要从事聚合物材料改性及其工艺装备研究

收稿日期:2016-07-24

研究:很多科研院校开始对动态硫化技术进行研究并也取得了一定的进展^[6]。殷敬华^[7]和朱玉俊^[8]分别于1986年和1992年申请制备出动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体的专利。经过长期的发展,我国对PP/EPDM热塑性弹性体的研究已从理论转入工业化生产。目前,国内很多知名企业已进行了产业化生产,但是很难将动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体的高弹性以及高流动性集合在一起,其综合性能与汽车材料性能要求存在一定差距。

2 硫化体系

合理的硫化体系选择对PP/EPDM热塑性弹性体的力学性能和加工性能至关重要,选用不同的硫化体系硫化原理不同,所得的热塑性弹性体的性能不同^[9]。EPDM由于分子中含有侧挂的不饱和键,分子链的交联活性增强,所以动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体除可使用过氧化物/助交联剂作为硫化体系外,还可以采用硫磺/促进剂、酚醛树脂/促进剂作为硫化体系。

2.1 硫磺硫化体系

硫磺或者硫磺给予体作为硫磺硫化体系的硫化剂,秋兰姆(TMTD)和噻唑(DM)一般作为硫磺硫化体系的促进剂,其作用主要用于促进硫磺的硫化,缩短硫化时间,降低硫化温度,提高热塑性弹性体性能,氧化锌和硬脂酸作为活性剂,用于增强促进剂(主要是噻唑类)的活化能力,硫化过程中,在热的作用下,开环的硫磺先与促进剂,氧化锌和硬脂酸形成络合物,然后再取代烯丙基上的氢原子形成交联母体,最后,交联母体相互之间或者交联母体与大分子之间形成交联键^[10]。

根据硫磺和促进剂用量不同,在硫化过程中可形成不同的交联键:即多硫交联键,双硫交联键和单硫交联键^[11]。高硫低促进剂体系易形成多硫交联键,当形成多硫交联键时,硫化胶料有良好的撕裂强度、拉伸强度、耐疲劳性能和低扯断永久变形,但这种交联键的稳定性较差,交联易发生硫化返原,耐热性和压缩永久变形性能相应也较差,低硫高促进剂硫化体系由少量硫磺和大量的促进剂组成,主要形成的是单硫键和双硫键,交联键的稳定性较高,胶料的耐热性和压缩永久变形明显改善,断裂伸长率较高,综合性能以低硫高促进剂体系最佳^[12]。

有研究认为^[13],TMTD用量一般为硫磺的1/2,DM用量一般为硫磺的1/4,氧化锌为无机活性剂,一般用量为3~10份,通常采用5份,采用活性氧化锌,可明显提高EPDM的硫化速度和交联程度。硬脂酸为有机活性剂,用量一般为1~3份,硬脂酸除了作为活性剂以外,还可以改善工艺性能,提高EPDM的分散性,同时还能提高挤出速度和产品的外观质量。

2.2 过氧化物硫化体系

过氧化物硫化体系一般由过氧化物和交联助剂组成,一般常用过氧化二异丙苯(DCP)作为硫化剂,三烯丙基异氰脲酸酯(TAIC)作为助剂^[14]。采用过氧化物对EPDM进行交联,交联以后形成的是碳-碳交联键,由于碳-碳交联键较短,因此其刚性比较大,稳定性高^[15]。过氧化物作为硫化剂引发交联需要经历三个过程^[10,16],①在硫化过程中,过氧化物受热的作用,均裂形成两个烷基自由基,②均裂形成的烷基自由基夺取聚合物上的氢原子形成聚合物自由基,③相邻两个聚合物自由基偶合形成碳-碳交联键。作为有效交联的先决条件,必须要有两个或两个以上的自由基生成,在这样的体系中,特别是当有叔碳结构的自由基生成时,就会引发如裂解和歧化等一些副反应的发生^[17]。

在硫化的过程中,过氧化物的用量和分解速度决定橡胶的硫化速度,而过氧化物的分解速度与其受热的程度有关,温度越高,半衰期越短,分解速度越快,当温度为104℃时,DCP的半衰期为104 h,当温度为128℃时,DCP的半衰期为1 h,当温度为171℃时,DCP的半衰期为1 min^[18]。共混温度一般比PP的熔融温度高10~20℃,温度过高会导致PP的降解严重,温度过低DCP的分解时间较长,导致硫化不完全,影响热塑性弹性体的性能。在动态硫化的过程中需要根据基体材料特性、硫化剂特性及所选用设备设定共混温度。

2.3 酚醛树脂硫化体系

二甲基苯酚-甲醛树脂(SP-1045)常被用作酚醛树脂硫化体系的硫化剂,促进剂采用 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,在硫化过程中,酚醛树脂的醚键受热分解,之后按照碳阳离子的机理进行交联,最后形成稳定的亚甲基交联键($\text{H}_2\text{C}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})-\text{CH}_2-$),这种交联键的刚性和稳定性较大,因此,酚醛树脂硫化EPDM的硬度较大,胶料的耐热性和压缩永久变形性能很好^[12,19,20]。酚醛树脂的添加量一般为EPDM的4%~8%就能使EPDM达到完全交联,添加过多的酚醛树脂EPDM产生过度交联,导致其综合性能降低,每100份EPDM添加助剂和促进剂的量为1份ZnO和1份 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,酚醛树脂硫化体系仅对双键起作用,对树脂的影响较小^[21]。

3 结构与性能

3.1 硫化体系

硫磺硫化体系对EPDM进行交联以后会带进新的元素硫(S),形成单硫交联键或者多硫交联键,而过氧化物硫化体系对EPDM进行交联以后不会带入新的元素,只形成碳-碳交联键,但是其对PP具有降解作用,从而对共混物的性能产生影响,不同的硫化机理导致性能不同。3种硫化体系相

比较,硫磺硫化体系共混物有良好的撕裂强度、拉伸强度、耐疲劳性能及较高的断裂伸长率,但采用硫磺硫化体系容易产生硫化返原,酚醛树脂硫化体系综合性能最好,但是流动性较差,硬度和压缩永久变形大,过氧化物硫化体系流动性最好,压缩永久变形小,回弹性高,但其撕裂强度、拉伸强度以及动态疲劳性能差。这主要是因为,不同的硫化体系产生不同的交联键,键的特性不同导致材料性能不同,同时硫磺体系的共混物的橡胶相黏度要大于树脂和过氧化物体系共混物的橡胶相黏度,因此采用硫磺体系所制共混物的胶相粒径略小于酚醛树脂与过氧化物硫化体系,其物理力学性能较过氧化物硫化体系高。

杨世元等^[22]研究发现,采用过氧化二异丙苯(DCP)与硫磺的并用体系,无论是采用莫来石或者是碳酸钙作为填料,其拉伸强度都是最高的,流动性最好,有最好的加工性能,同时因为有S的存在,可以有效地防止DCP诱发PP降解,改进了体系的性能。

3.2 橡塑体系

有研究表明^[23-24],对不同橡塑比的EPDM增韧PP体系的力学性能进行研究,随着橡塑比的增大,动态硫化PP/EPDM及其简单共混物的缺口冲击强度逐渐增大,弯曲弹性模量、撕裂强度和拉伸强度逐渐降低,熔体流动速率逐渐减小,因为随着橡胶含量的增加,分布于PP连续相中的交联橡胶颗粒增多且尺寸变小,PP的高结晶性的破坏程度增加,共混物韧性逐渐增加,同时由于EPDM交联以后被剪切成粒子分散于PP基质中,当受外界作用力时,主要由基体承载应力,EPDM含量增加,PP含量降低,虽然应力传递效应增加,但其有效承载面积减小,从而使拉伸强度、硬度、拉伸永久变形、撕裂强度等性能随橡塑比的增加而降低。

研究者^[23,25-26]对动态硫化PP/EPDM共混物的力学行为进行研究发现,当橡塑比小于25/75时,动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体显示出与硬而脆的半结晶PP相似的应力-应变特征,当橡塑比大于25/75时,动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体与橡胶应力-应变特征相似。这是因为当EPDM含量小时,动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体的力学性能主要由PP相控制,对PP/EPDM热塑性弹性体力学性能起主导作用,当EPDM含量大时,即PP含量降低,在动态硫化共混过程中由于交联的进行,EPDM黏度增大,其所遭受的剪切力也增大,导致交联颗粒尺寸变小且数目增多,有利于外界应力在橡胶粒子上传递并引起弹性形变,从而赋予共混物较好的弹性,即具有类似橡胶的应力-应变行为。

3.3 相态结构

EPDM与PP在熔融共混过程中,EPDM产生“就地”

硫化交联,同时被剪切成硫化橡胶颗粒分散于基质PP连续相中,形成“海-岛”结构,其独特的相态结构决定了其具有橡胶的弹性和PP的热塑加工性,能使动态硫化PP/EPDM的综合性能达到最好的相态结构使大量的EPDM交联颗粒以微米级尺寸均匀分散于树脂基体中,这样的相态结构,可得到综合性能较好的共混物,交联橡胶颗粒越小,含量越多,分散越均匀,共混物的弹性越好,耐热性、耐油性、压缩永久变形以及耐介质性能越好,力学性能越高^[25]。

金自游等^[23]研究发现,随着橡塑比的增大,未经硫化的PP/EPDM共混物中橡胶颗粒粒径增大,主要是由于EPDM含量增加,容易聚集成团(团聚),导致颗粒粒径的增大,动态硫化PP/EPDM共混物的颗粒尺寸随着橡塑比的增加,橡胶颗粒增多且颗粒尺寸减小,主要是因为橡胶相交联以后黏度增大,剪切作用增大,橡胶颗粒尺寸变小,弹性提高,综合性能变好。

3.4 加工设备

动态硫化PP/EPDM是一个集EPDM与PP物理共混、化学引发EPDM交联、PP降解以及橡胶破碎细化和分散为一体的复杂过程,制备动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体的混炼设备主要有:开炼机、密炼机、双螺杆挤出机和单螺杆挤出机。开炼机暴露于空气中,不能提供稳定的温度场,同时空气中的氧气容易引起共混物的降解;密炼机的优点是能提供可控的最佳温度场和可变的剪切力,可以实现不同的共混方案,如控制各种成份的添加顺序、考察不同混炼时间对共混物性能及相态结构的影响等,同时橡胶和塑料的混合、橡胶的交联以及在共混过程中橡胶被剪切的情况等可以通过扭矩曲线进行判断。而单螺杆挤出机和双螺杆挤出机更高的剪切力和混合作用,便于橡胶相的熔融、硫化和分散,使橡胶在树脂中分散得更好,同时还可以避免交联剂的聚集对热塑性弹性体性能造成不良影响。此外,单双螺杆挤出机还能提供最佳温度场,但是,由于剪切作用较强,在共混过程中需要考虑PP的降解问题,同时由于时间较短,还需要考虑硫化剂的分解情况及EPDM的交联完成程度^[6,9]。用双螺杆挤出机动态硫化PP/EPDM热塑性弹性体的100%定伸应力、拉伸强度以及断裂伸长率均优于密炼机动态硫化的PP/EPDM热塑性弹性体,双螺杆挤出机剪切作用优于密炼机,EPDM粒子受到的破碎效应相对较强,粒子尺寸较小,分散性更好,因而制备的PP/EPDM热塑性弹性体具有更好的力学性能^[27]。

3.5 共混工艺

PP/EPDM热塑性弹性体材料性能除了受橡塑比、硫化体系、相态结构等的影响,同时硫化工艺(如硫化时间、剪切速度以及硫化温度等)也是影响其性能的重要因素。选

用适当的共混工艺,既能使橡胶充分硫化,又能尽量减少 PP 的降解,同时能更好地将橡胶剪切并均匀地分散于 PP 基体中,提高共混物的性能。沈军等^[25,28]研究发现,随着螺杆转速的提高,剪切和共混作用增强,橡胶颗粒尺寸减小,细化分散均匀,材料的拉伸强度及断裂伸长率升高,当共混剪切速率太高时,剧烈的剪切导致温度过高,硫化速度加快,同时硫化时间缩短,容易导致硫化不完全或被硫化的 EPDM 橡胶相来不及被剪切,结果造成橡胶颗粒尺寸变大以及 PP/EPDM 热塑性弹性体的相态结构不均匀等,同时,过高的剪切作用使 PP 分子链断裂程度加剧,降解严重,共混物的综合性能降低。有研究发现^[29],共混时间决定硫化剂的分解程度和橡胶交联程度,适宜的硫化时间能保证 EPDM 充分交联,同时避免 PP 因过多的剪切而产生降解,选用 DCP 作为硫化剂时,动态硫化时间控制在 DCP 半衰期的 6~7 倍比较理想,用硫磺硫化体系动态硫化 PP/EPDM 共混体时,共混时间为 12 min 时,酚醛树脂作为硫化体系,动态硫化时间为 10 min,硫化温度为 180℃,所得的 PP/EPDM 热塑性弹性体的力学性能最佳。共混温度主要是影响橡胶与 PP 的熔融、硫化剂的分解速度以及 PP 的降解程度,为了使 PP 与弹性体充分熔融共混,共混温度一般比 PP 的熔点高 10~20℃。温度过低,PP 与 EPDM 橡胶不能完全熔融共混,相容性不好,导致力学性能较差,同时温度过低,导致硫化剂分解速度慢,硫化程度不足,共混物性能降低。当温度过高时,硫化剂分解速度过快,橡胶的硫化速度快于剪切分散速度,导致橡胶颗粒尺寸大分散不均匀,同时,PP 在高温剪切作用下易降解断裂,力学性能降低,当共混温度为 175~180℃时,PP/EPDM 热塑性弹性体综合性能较佳。

4 研究现状与应用

动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体的发展迅速,应用广泛,研究者对成份配置、组份相互影响,工艺条件等进行了大量的研究,取得了长足的进展。近年来越来越多的研究者关注于高性能、功能化(如增强填料、阻燃、导电、磁性)等 PP/EPDM 的研究。孙贤等^[30]研究发现,硫酸钙晶须的加入,可使动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体断裂伸长率提高 38%,压缩永久变形提高 19.8%,经过硅烷偶联剂 KH-550 处理后的硫酸钙晶须有利于 PP/EPDM 材料间形成良好的界面层。采用 CaCO₃ 在降低成本的同时,可在一定程度上增大 PP/EPDM 拉伸强度、断裂伸长率等,同时提高 PP/EPDM 的热分解温度,降低了 PP/EPDM 材料中 PP 的结晶速率和结晶度^[31]。纳米 SiO₂ 的加入能使 EPDM 粒径减小,有利于应力的传递,PP/EPDM 的拉伸强度、回弹性得到提高, SiO₂ 的加入在一定程度上提高了 EPDM 的交联程度,有利于热稳定性的提高,同时当添加一定量纳米 SiO₂ 时,在动

态硫化过程中, SiO₂ 和 PP 间形成柔性界面层,这种分散状态可以阻碍气体和热量的传导,有利于 PP/EPDM 耐老化性能的提高^[32]。

臧亚南等^[33]研究发现,随着聚磷酸铵(APP)与氨基硅油(ASO)的含量的增加,PP/EPDM 的拉伸强度和撕裂强度下降,但是其极限氧指数增大,阻燃性能提高。王再学等^[34]采用十溴二苯醚(FR-10)以及其分别与三氧化二锑(Sb₂O₃)、氢氧化铝[Al(OH)₃]复配作为阻燃剂对 PP/EPDM 热塑性硫化胶阻燃性能和力学性能的影响进行了研究,单用 FR-10 阻燃剂时,FR-10 对 PP/EPDM 有一定的阻燃效果不明显,FR-10/Sb₂O₃ 复合阻燃体系有协同阻燃的作用,阻燃效果较好,同时比采用 FR-10/Al(OH)₃ 时 PP/EPDM 力学性能更好。动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体,以其优异的性能,在家用电器、电子电器、交通器材、建筑器材、医用领域以及汽车工业等领域得到广泛的应用,尤其是在汽车工业领域,广泛用于汽车门框密封条、防尘罩、导槽密封条、车身消防栓、通风管、保险杠罩、垫圈、防震支座、风雨胶条等部件。

5 结语及展望

动态硫化 PP/EPDM 是聚烯烃热塑性弹性体中发展最成功的一种,从其发展历史来看,从最初的简单共混到现在的完全动态硫化,很多学者对硫化体系、相态结构、加工工艺等进行了大量的研究,使其得到广泛的应用。随着社会的不断发展,对材料性能的要求不断提高,高性能化、功能化 PP/EPDM 将会是人们关注的重点,动态硫化 PP/EPDM 热塑性弹性体的发泡研究,将是未来发展的一个重要方向。

参考文献

- [1] Gessler A M. Process for preparing a vulcanized blend of crystalline polypropylene and chlorinated butyl rubber:US,3027954[P].1962-06-05.
- [2] Fischer W K. Thermoplastic blend of partially cured mono olefin rubber and polypropylene plastic: US, 3758643[P].1972-09-11.
- [3] Fischer W K. Dynamically partially cured thermoplastic blend of mono olefin copolymer rubber and polyolefin plastic:AU, 3792072 [P].1973-07-19.
- [4] Coran Y A. Thermoplastic vulcanizates of olefin rubber and polyolefin resin: US, 4130535[P].1978-11-08.
- [5] Abdou-Sabet S. Thermoplastic elastomeric blends of olefin rubber and polyolefin resin: US, 4311628[P].1980-07-31.
- [6] 陈小斌. 动态硫化 PPO/PS/SBR 热塑性弹性体的制备及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
Chen Xiaobin. Study on preparation and properties of PPO/PS/SBR thermoplastic elastomer by dynamic vulcanization[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [7] 殷敬华. 乙丙橡胶/聚丙烯热塑性弹性体及制备方法: 中国, ZL85102222[P].1986-08-06.

- Yin Jinhua. EPDM/PP thermoplastic elastomer and preparation method:CN:ZL85102222[P].1986-08-06.
- [8] 朱玉俊. 乙丙橡胶 / 聚烯烃弹性体及制备方法: 中国, ZL9109976[P].1992-03-08.
Zhu Yujun. EPDM / polyolefin elastomer and preparation method:CN,ZL9109976[P].1992-03-08.
- [9] 童荣柏. 动态硫化 EPDM/PP 热塑性弹性体的制备与研究 [D]. 成都: 西华大学, 2010.
Tong Rongbo. Study on preparation and properties of EPDM / PP thermoplastic elastomer by dynamic vulcanization[D]. Chengdu:Xihua University, 2010.
- [10] 刘璐. 三元乙丙橡胶发泡材料的制备及阻尼性能研究 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2010.
Liu Lu. Research on preparation and damping property of EPDM foamed material[D]. Wuhan:Hubei University of Technology, 2010.
- [11] 唐斌, 等. 乙丙橡胶应用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
Tang Bin, et al. EPDM Applications[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2005.
- [12] 谢圣鸣, 等. 广东塑料, 2005(8):27-29.
Xie Shengming, et al. Guangdong Plastics, 2005(8):27-29.
- [13] 杨其, 等. 中国塑料, 2002, 16(11):29-32.
Yang Qi, et al. China Plastics, 2002, 16(11):29-32.
- [14] 周坤, 等. 橡胶技术与装备, 2010, 36(7):6-9.
Zhou Kun, et al. Rubber Technology & Equipment, 2010, 36(7):6-9.
- [15] 张艳芬. EPDM/POE/PP 三元共混改性热塑性弹性体 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014.
Zhang Yanfen. The blending modification of EPDM / POE / PP thermoplastic elastomer[D]. Qingdao:Qingdao University of Science and Technology, 2014.
- [16] 丁莹, 等. 特种橡胶制品, 2015, 36(1):6-9.
Ding Ying, et al. Special Purpose Rubber Products, 2015, 36(1):6-9.
- [17] Naskar K, et al. Noordermeer, Rubber Chemistry & Technology, 2003, 76(4):10-15.
- [18] 胡盛, 等. 杭州化工, 2014, 44(4):8-11.
Hu Sheng, et al. Hangzhou Chemical Industry, 2014, 44(4):8-11.
- [19] 张辉, 等. 广州化学, 2012, 37(3):50-59.
Zhang Hui, et al. Guangzhou Chemical, 2012, 37(3):50-59.
- [20] 吴丽娟. 无卤阻燃型三元乙丙橡胶的制备与性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
Wu Lijuan. Study on preparation and properties of halogen free flame retardant Ethylene propylene diene monomer[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2010.
- [21] 程思怡. 三元乙丙橡胶 / 聚丙烯热塑性弹性体的结构与性能 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2015.
Cheng Siyi. The structure and Properties of EPDM / PP-TPV[D]. Wuhan:Hubei University of Technology, 2015.
- [22] 杨世元, 等. 兰化科技, 1992, 10(2):116-119.
Yang Shiyuan, et al. Lanhua Technology, 1992, 10(2):116-119.
- [23] 金自游, 等. 中国塑料, 2006, 20(1):25-30.
Jin Ziyou, et al. China Plastics, 2006, 20(1):25-30.
- [24] 李俊山, 等. 特种橡胶制品, 2006, 27(4):1-5.
Li Jinshan, et al. Special Purpose Rubber Products, 2006, 27(4):1-5.
- [25] 江学良, 等. 特种橡胶制品, 2000, 21(2):1-4.
Jiang Xueliang, et al. Special Purpose Rubber Products, 2000, 21(2):1-4.
- [26] 蒋鹏程, 等. 广东化工, 2009, 36(12):28-30.
Jiang Pengcheng, et al. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36(12):28-30.
- [27] 严满清, 等. 塑料科技, 2003, 156(4):5-7.
Yan Manqing, et al. Plastics Science and Technology, 2003, 156(4):5-7.
- [28] 沈军, 等. 合成橡胶工业, 2006, 29(5):356-359.
Shen Jun, et al. China Synthetic Rubber Industry, 2006, 29(5):356-359.
- [29] 王春玮. 动态硫化 EPDM/PP 热塑性弹性体的研究 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2011.
Wang Chunwei. Study on the dynamic vulcanization EPDM / PP elastomers[D]. Qingdao:Qingdao University of Science and Technology, 2011.
- [30] 孙贤, 等. 塑料工业, 2015, 43(5):102-105.
Sun Xian, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(5):102-105.
- [31] 郝赫, 等. 弹性体, 2014, 24(6):70-73.
Hao He, et al. China Elastomeric, 2014, 24(6):70-73.
- [32] 林艳梅, 等. 弹性体, 2012, 22(4):41-47.
Lin Yanmei, et al. China Elastomeric, 2012, 22(4):41-47.
- [33] 臧亚南, 等. 化工新型材料, 2013, 41(7):184-187.
Zang Yanan, et al. New Chemical Materials, 2013, 41(7):184-187.
- [34] 王再学, 等. 河南化工, 2012, 29(9):14-15.
Wang Zaixue, et al. Henan Chemical Technology, 2012, 29(9):14-15.

新型催化剂助力 PLA 生物聚酯生产更快速、便宜

IBM 研究机构宣布, 由来自美国斯坦福大学和 IBM 研究机构领衔的研究团队确认了一种化学催化剂, 让生产聚乳酸 (PLA) 生物聚酯比现有方法更快速、精准和便宜。

据介绍, 催化剂在交酯制作 PLA 发生反应时被添加。这些物美价廉的生物塑料可用来制作大众消费塑料制品, 如

餐具、医疗设备, 并且对环境更安全。

这一发现是 IBM 和斯坦福大学就聚合物绿色化学技术展开合作的研究结晶。这一发现的一大好处是我们现在可以用更便宜的方式将植物转化成可随时间分解的大众消费塑料制品, 让我们除了可回收塑料以外多了一些选择。

(工程塑料网)