

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.07.028

聚烯烃抗静电 / 导电复合材料的研究进展^{*}

夏雪梅¹, 龚维^{1,2}, 何颖¹, 徐阳¹, 付海^{1,2}

(1. 贵州师范大学材料与建筑工程学院, 贵阳 550014; 2. 贵州省铝电解炭素材料工程技术研究中心, 贵阳 550014)

摘要: 综述了近年来国内外聚烯烃材料抗静电方法的研究进展, 包括抗静电剂的外部涂覆法、内部混炼法以及添加导电填料法。按照上述方法所用抗静电剂及导电填料的品种分类总结, 分析对比各自的实施方式、导电机理及抗静电效果。重点介绍碳系导电添加剂及导电高分子用于聚烯烃材料抗静电性能的研究现状, 展望了未来聚烯烃抗静电改性的发展趋势。

关键词: 聚烯烃; 抗静电剂; 导电添加剂; 碳纳米管; 石墨烯

中图分类号: TB33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)07-0127-05

Research Progress of Antistatic / Conductive Polyolefine Composite

Xia Xuemei¹, Gong Wei^{1,2}, He Ying¹, Xu Yang¹, Fu Hai^{1,2}

(1. College of Materials and Construction Engineering, Guizhou Normal University, Guiyang 550014, China;

2. Guizhou Engineering Research Center for Carbon Materials of Aluminum Electrolytic, Guiyang 550014, China)

Abstract: A series of methods to improve the antistatic property of polyolefine in recent years at home and abroad was reviewed, including a coating method, an internal mixture of the antistatic agents, and an adding method of the conductive fillers. According to the method of classification of the antistatic agent and the conductive filler, which includes aspects related to conductive mechanism, the effect of conduct electricity and characterization of processing were analyzed. The research progress on carbon fillers and conductive polymer, which are applied in the antistatic property of polyolefine were introduced. Finally, the developing trend of the antistatic polyolefine material was also forecasted.

Keywords: polyolefine; antistatic agent; conductive filler; carbon nanotube; graphene

聚烯烃具有耐水性、耐化学药品性、良好的力学性能、电绝缘性等特点, 广泛用于制造薄膜、板材、管材及电线电缆等成型制品, 应用于包装、电子和汽车等行业。由于聚烯烃的体积电阻率一般高达 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18} \Omega \cdot m$, 属于电子的不良导体。在生产和使用过程中, 静电荷容易积聚, 静电荷积累到一定程度后会产生静电放电现象, 妨碍产品的日常使用, 更严重的后果会引起电子设备的损毁, 甚至导致火灾, 存在严重的安全隐患, 因而限制了聚烯烃产品的适用范围。为适应不同领域的特殊性能要求, 近年来对聚烯烃进行改性, 使其具有较高的拉伸、压缩等力学性能, 耐热、阻燃、抗静电 / 导电等物理性能的研究已成为广泛关注的课题。尤其是对抗静电 / 导电改性的研究更是研究的热点。目前, 国内外对聚烯烃抗静电 / 导电改性使用的方法主要有: 添加抗静电剂和添加导电填料法。笔者围绕着聚烯烃中聚乙烯和聚丙烯两类基体材料的抗静电 / 导电改性的方法, 从不同的方法所涉及导电添加剂种类出发, 针对近期的前沿性研究进行了分类总结, 从导电添加剂的导电机理、抗静电效果及不同方法的实施方式等方面展开, 总结各自特点, 比较相互之间的异同点, 阐述各自优缺点, 进而对今后聚烯烃抗静电 /

导电复合材料的研究趋势进行展望。

1 添加抗静电剂法

抗静电剂是一类涂覆于聚合物表面或添加到树脂中, 以防止和消除静电荷产生的化学添加剂, 其抗静电的机理是通过离子化基团或极性基团的离子传导或吸水增潮作用, 构成泄露静电荷的通道。目前聚烯烃材料常用的抗静电剂按照结构特征主要包括大分子型表面活性剂和亲水性聚合物品种两大类。其中大分子型表面活性剂类的抗静电剂从耐久性效果划分属于暂时性抗静电剂; 亲水性聚合物以聚氧化乙烯为主, 属于耐久性抗静电剂。按照抗静电剂的使用方式可分为外部抗静电剂和内部抗静电剂两类。虽然使用方式不同, 但抗静电剂的导电作用机理大致相同。表面活性剂作为抗静电剂时, 其在表面与空气之间形成连续铺展的分子

^{*} 贵州省大学生创新创业训练项目(编号 201410663013), 贵州省科技厅联合基金项目(黔科合 LH 字 [2014]7042 号), 贵州省科技创新人才团队建设(黔科合人才团队 [2014]4006 号)

联系人: 付海, 博士, 副教授, 主要从事聚合物基抗静电复合材料的研究

收稿日期: 2015-04-18

层,分子中的亲油性基团朝向基体树脂一侧,而亲水性基团向空气一侧排列。前者保持与基体树脂的相容性;后者吸附空气中的水分子,进而在材料表面实现溶液层的覆盖,通过离子化传导泄露表面电荷,达到抗静电的效果。

1.1 外部涂覆型抗静电剂

外涂型抗静电剂是涂在聚烯烃材料表面所用的一类抗静电剂,通常以阳离子型表面活性剂所达效果最好。外部涂覆法指在制品成型后的表面抗静电处理的一种方法,该方法先用溶剂将抗静电剂调配成质量分数为2.0%以下的溶液,通过直接喷涂、涂刷于材料表面或使制品充分浸渍,再经过干燥脱除溶剂后,形成抗静电涂层。其优点是所需抗静电剂用量少,操作简单,并且效果直接,但最大的不足在于抗静电时间短,且经过水洗或摩擦后,抗静电涂层容易脱落甚至消失,因而是一种短暂性的抗静电处理方法。为此,研究者在表面涂层的耐水性方面及多种抗静电剂并用提高抗静电效果方向展开研究。

邵水源等^[1]以十二烷基苯磺酸钠(SDBS)为抗静电剂对高密度聚乙烯(PE-HD)进行抗静电性能的改性,体积电阻率与表面电阻率可达 $1.58 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 和 $2.0 \times 10^9 \Omega$ 。Zheng Anna等^[2]发现添加三双键吐温(TDB-T40)的聚丙烯(PP)样品经过表面紫外照射后具有一定的耐水洗能力。TDB-T40的质量分数仅为0.5%时,PP样品的表面电阻率可达 $1 \times 10^{10} \Omega$,且与水的接触角测试结果为 57° ,表现出疏水性,经超声水洗后表面电阻率变化不大。秦岩等^[3]研究了两种抗静电剂十八烷基二甲基羟乙基季铵硝酸盐和硬脂酸单甘油酯混合物(ASA2)对聚乙烯泡沫材料体积电阻率的影响。用ASA2作为抗静电剂,涂覆于聚乙烯泡沫材料表面制备了抗静电聚乙烯泡沫,当抗静电溶液浓度大于8%时,聚乙烯泡沫体积电阻率降低到 $1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 。

1.2 内部混炼用抗静电剂

内混型抗静电剂是指在加工过程中添加的一类抗静电剂,通常使用量在3.0%以下,相比外覆型手段,两者具有相同的导电机理,但在抗静电的实现上,内混型是通过抗静电剂分子从基体内部向表面迁移形成导电层。因此当表面的抗静电剂损伤或缺失后,内部分子可以继续迁移至表面补充,在一定时间内具有持续的抗静电效果。因而该方法在耐久性方面优于外涂法,但缺点是对树脂的种类以及加工条件要求较高,要在添加其它助剂或者两种抗静电剂共用的情况下才能获得较好的抗静电性能。

李国昌等^[4]通过研究各种不同类型抗静电剂对PE-HD吹塑专用料导电性能的影响,得出以抗静电母料在质量分数为3%的情况下就能达到良好的抗静电性能。施明等^[5]研究了十八烷基溴化铵(OMDAB)对PP的抗静电性的影响。

当添加量为PP的0.3%时抗静电效果最好,且具有抗静电耐久、耐擦洗性优良等特点。刘伟等^[6]考察了不同配比的多醇脂肪类抗静电剂、磺酸类抗静电剂对PP的抗静电性能的效果,发现多醇脂肪类抗静电剂的效果要比磺酸类抗静电剂突出,当其在PP中添加6份时,复合材料表面电阻率可降低到 $4.7 \times 10^{11} \Omega$ 。许永昌等^[7]考察了市售永久型抗静电剂、相容剂对PP片表面电阻率的影响。结果表明,永久抗静电剂用量对复合材料的性能影响最为显著,永久型抗静电剂达到25份时,表面电阻率降低到 $2.2 \times 10^9 \Omega$ 。胡志^[8]用改性PP制备了矿用电器外壳材料,考察了抗静电剂并用时产生的协同作用对PP抗静电性能的影响,当抗静电剂129与抗静电剂163的复配质量比为2:1时,表面电阻率从 $2.8 \times 10^{16} \Omega$ 降至 $1.5 \times 10^9 \Omega$ 。Xu Xiang等^[9]选用与PP相容性优异的低分子聚烯烃蜡做为抗静电剂的载体,通过与丙烯酸钠的键合制得新型抗静电剂。所得抗静电剂与PP熔融共混,当添加量为15%时,PP复合材料表面电阻率可下降到 $4.7 \times 10^9 \Omega$ 。此外,该抗静电剂的加入对PP的力学性能影响甚微。

为了克服低分子量的表面活性剂用作抗静电剂时缺乏耐久性,析出影响制品外观,且依赖于环境的温度和湿度等不足,使用各种含亲水性基体的聚合物改善以上问题,当其加入与树脂基体形成合金,抗静电效果几乎可永久保持。研究者从其在基体内部的分散特性及微球表面修饰技术研究影响抗静电的效果。于杰等^[10]对PP/聚氧化乙烯(PEO)/有机蒙脱土(OMMT)复合材料注塑样条断口不同部位材料的组成及聚集态结构进行研究。OMMT的加入改变了PEO与PP形成的合金形态特征,OMMT选择性分布在PEO分散相中,使PEO在复合材料表层形成层状分相微观特征,显著降低了聚烯烃复合材料的表面电阻率。Liu Hongxing等^[11]在等规聚丙烯(iPP)中加入以丙烯酸丁酯修饰的聚苯乙烯小球,通过熔融纺丝获得抗静电纤维,当微球的质量分数为6%时,iPP纤维的体积电阻率降低到 $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

2 添加导电填料法

添加导电填料法是依靠导电填料在基体内部形成连通网络结构,以此为通路来漏泄电荷,达到抗静电及导电的目的^[12-13]。其优点是导电性能具有永久性,不受洗涤和摩擦的影响,不依赖于外部环境。传统的导电介质主要包括金属类添加剂和碳系添加剂。在此针对传统的导电介质用于聚烯烃材料新进展的同时,介绍了新型碳系导电介质如:碳纳米管和石墨烯及结构型导电高分子材料在聚烯烃抗静电复合材料中的应用。

2.1 金属类添加剂

从添加材料本身的导电性质而言,采用金属类添加剂

对提高材料的电导率是最有利的,但其达到逾渗网络的临界浓度较大。另外从加工角度分析,由于金属与聚烯烃基体两者的相容性和密度差异大,不利于加工且会影响基体的力学性能,但在聚烯烃材料特定的加工方式中,金属类填料也发挥着重要的作用。张慧勤等^[14]将聚丙烯/纳米掺铟二氧化锡(ATO)复合材料进行熔融纺丝制备复合导电纤维。PP纤维的导电性能在纳米ATO的质量分数为7.5%时,电导率可达 $1 \times 10^{-6} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

2.2 传统碳系添加剂

传统的碳系导电介质包括炭黑、石墨和碳纤维。近些年碳纳米管和石墨烯的发展也为碳系导电介质添加了新成员。由于碳系添加剂的粒度大都是微米级别,甚至是纳米级别,因此在赋予导电功能的同时,对聚烯烃基体起到良好的补强作用。其与金属系添加剂相比,制得聚烯烃复合材料具有密度较小、弹性好、性能稳定等优点。更深入的研究表明,碳系添加剂表面的含氧基团数量影响其在聚烯烃基体中的分散性,其微观聚集状态易于形成导电网络,从而减低碳系导电介质在聚烯烃基体中的逾渗值。又如,多种碳系导电介质的并用技术,使得零维的粒子与一维的纤维产生协同作用,与单独使用相比得到的聚烯烃复合材料具有更高的导电性能。对传统碳系添加剂改性技术的发展,为其继续应用于聚烯烃抗静电复合材料中提供了更广阔的空间。

潘德等^[15]分别以低含氧量炭黑(CB1)和高含氧量炭黑(CB2)为添加剂,以PE-HD为基体制备了导电复合材料。与碳粒子填充极性聚合物相反,表面含氧量高的CB2填充PE-HD复合物的渗流阈值低。李建华等^[16]利用可膨胀石墨(EGP)和低密度聚乙烯(PE-LD)制备导电复合材料,当EGP质量分数为35%时,电阻率相对于质量分数为20%降低了近6个数量级,继续增加EGP含量后电阻率变化不大。应宗荣等^[17]以膨胀石墨和可膨胀石墨为添加剂、PP为基体制备了兼具导电与阻燃性能的复合材料。复合材料的导电性主要靠膨胀石墨起作用,但可膨胀石墨也能发挥一定的导电作用。

梁琦等^[18]采用鳞片石墨和短纤维对PE-HD进行抗静电改性研究。当石墨的质量分数为15%时,体积电阻率下降到 $1.2 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 。继续添加碳纤维后,两者协同作用使得材料表面电阻率可下降3个数量级。沈烈等^[19]以两种不同形态尺寸的导电添加剂CB、碳纤维(CF)为抗静电添加剂,以PE-HD-PP为基体制备4元导电复合材料。研究其内部导电网络的结构形态:体系中PE-HD与PP呈双连续相分布,形成双渗流导电网络结构,具有较大长径比的CF在两相基体中均匀分布并贯通多个相区,体系的体积电阻率与三元复合体系相比下降了1~5个数量级。张世辉等^[20]以

CB、CF作为添加剂,与PP、热塑性弹性体(POE)熔融共混制备了导电复合材料。利用CF加强和完善CB的导电网络,形成远程导电网络,体积电阻率下降到 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 。Zhao Shuaiguo等^[21]利用CF与CB两种导电介质并用后产生的协同效应,发现当CF和CB体积分数仅在1%时,复合材料的体积电阻率出现逾渗现象。

2.3 新型碳系添加剂

碳纳米管(CNTs)作为一维管状纳米材料,相比碳纤维具有更大的长径比,因此理论上能够在低的填充量下使复合材料获得理想的导电性能。狄莹莹等^[22]使用热压法制备了隔离型超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)/CNTs导电复合材料。CNTs分散于PE-UHMW颗粒表面形成隔离结构,表现出较低的导电逾渗。Song Hongtao等^[23]研究不同温度下多壁碳纳米管(MWCNTs)含量对复合材料电导率的影响。结果表明PE-LD/MWCNTs复合材料的电导率随着MWCNTs含量的增加而增大,在MWCNTs体积分数接近0.081%时,复合材料的电导率得到大幅度提高。丁阳等^[24]使用超声波分散溶液混合法研究不同含量及长径比的MWCNTs对PE-HD导电性能的影响。

聚烯烃制品不同的加工方式,导致CNTs分散特性不同,影响着导电性能。S.Torres-Giner等^[25]利用注射成型制备PP/CNTs复合材料时发现,CNTs质量分数为3%时PP薄制品材料出现电导逾渗行为。在聚烯烃与其它聚合物共混合金中,CNTs产生选择性分布,这种情况为逾渗机理的探讨提供了研究基础。A. M. Aref等^[26]在PP与尼龙(PA)6共混物中加入体积分数为3%的CNTs,研究其分散性对导电性能的影响,发现在聚合物合金中CNTs在PA6中选择性分散,利于导电网络的形成。Lee Taewon等^[27]利用聚乳酸与酸酐改性的PP制备合金聚合物,实现了CNTs在PP中的选择分散,质量分数为10%时其体积电阻率降低至 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

石墨烯是碳原子紧密堆积成单层二维蜂窝状晶格结构的碳质材料,具有优异的导电、导热和力学性能,是制备高强度导电复合材料的理想纳米添加剂。其添加到基体中,由于几个原子层的厚度及二维片状的微观形态,增加了相互搭接形成导电网络的几率,具有更低的渗流阈值。谷敬凯等^[28]对PE-UHMW/石墨烯导电复合材料的导电渗流行为研究发现,当氧化石墨烯(GO)质量分数为3.8%时,材料内部已形成较为完善的导电网络。邢菊香等^[29]研究了石墨烯的功能化对PE复合材料的导电性能的影响,添加质量分数8%改性后的GO,复合材料电导率达 $1 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 。龙谷成等^[30]对聚苯乙烯/化学氧化石墨烯(PS/CRGO)复合材料进行研究,发现CRGO具有极低的渗流阈值(体积分数为0.07%),此

时导电率高达 $74.8 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 。杜彦等^[31]研究了 PE/GO 复合材料的导电渗流行为,发现 GO 在复合材料中的渗流阈值为 4.3%,体积电阻率在 $100 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ 左右。Li Jihui 等^[32]利用热膨胀法原位合成法制备了 PE-HD/石墨烯复合材料,鳞片石墨加入 1 份时,复合材料表面电阻率达 $2.58 \times 10^7 \text{ } \Omega$ 。

2.4 结构型导电高分子添加剂

结构型导电高分子材料中的聚苯胺(PANI)和聚吡咯(PPy)常用于复合材料的制备。导电高分子可以通过溶液聚合、乳液聚合等方法与其它导电介质形成复合导电添加剂,由于其自身良好的导电性及与基体较好的相容性,多数情况下导电高分子充当其它导电介质的表面修饰剂使用。深入的研究也发现,不同的酸掺杂的导电高分子也会影响聚烯烃复合材料的导电性能。

关萍等^[33]以掺杂十二烷基苯磺酸(DBSA)的 PANI 和 CB 共同作为导电添加剂,加入线性低密度聚乙烯制备导电塑料。掺杂态 PANI 与 CB 并用所制备的导电塑料具有更好的导电性能。淡春荣等^[34]利用高倍显微镜及偏光显微镜等对 PANI 与 PP 共混的界面进行测试分析, PANI 与 PP 球晶形成的核-壳结构有助于提高抗静电性效果。祖立武等^[35]通过对在 PP 纤维表面原位生成的 PPy,当 PPy 质量分数为 15.7%时,复合膜达到最高的电导率 $0.75 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。祖立武等^[36-37]对 PP 接枝苯乙烯磺酸-聚苯胺(PP-g-SPS-PANI)复合材料的导电机理进行研究,丙烯酸掺杂使得 PP 分子链上聚苯胺分子链的电荷离域形成共轭结构而具有更优的导电性能。PP 通过苯乙烯磺酸与 PANI 形成化学键,两者有良好的相容性。A.Kaur 等^[38]通过对甲苯磺酸掺杂制得聚苯胺,在 PE-LD 中质量分数仅为 2.0%时,吹塑制品的电导率达到了 $1 \times 10^{-6} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$,满足应用于电子设备的包装所需的抗静电性能要求。

3 结语

综上所述,在聚烯烃材料导电性能的复合方法中,添加导电填料法具有适用性广、制备工艺简便、加工性好、易于工程化制备、电导率可调范围大、材料力学性能优良等优点。近年来,新型的碳素材料如碳纳米管、石墨烯等作为导电介质,在研究关注度上已经超越了传统的碳系和金属系导电介质。除了新型的碳素导电介质,结构型导电高分子用于聚烯烃复合材料的研究已引起越来越多的关注。首先,当其作为单一添加剂时,同无机系的导电介质相比与基体具有更好相容性。其次,当其作为新型碳系导电介质的表面修饰剂时,改善与基体相容性的同时贡献导电性。最后,在导电填料的导电模型与机理研究中,由于导电高分子合成过程中可控的微观形貌,为导电理论的研究提供了实验上的事实验证。

针对添加导电填料法获得抗静电/导电的聚烯烃材料,目前的研究已经转向制备多种导电介质的复合型添加剂,典型的例子是将抗静电剂或导电高分子材料修饰于碳系材料的表面,进行有机化改性。制得的复合型导电介质导电方式更为多样化。具体表现为,其在基体中的存在状态对聚烯烃材料的抗静电性能影响较大,导电性能受到复合导电介质的种类组成、微观形态、分散状况、添加量等多种因素的影响,尤其是在聚烯烃多相体系中导电介质的选择性分布备受关注。因此,针对聚烯烃树脂体系,如何降低复合导电介质的逾渗值,探索多相导电介质存在下的导电协同效应,进一步研究导电性能与改性与否、改性程度的定量关系,是今后聚烯烃复合材料在抗静电/导电功能研究方向的发展趋势。

参考文献

- [1] 邵水源,等. 塑料科技,2015,43(2):42-48.
Shao Shuiyuan, et al. *Plastics and Technology*, 2015, 43(2):42-48.
- [2] Zheng Anna, et al. *Applied Surface Science*, 2012, 258(22):8 861-8 866.
- [3] 秦岩,等. 工程塑料应用,2007,35(2):21-23.
Qin Yan, et al. *Engineering Plastics Application*, 2007, 35(2):21-23.
- [4] 李国昌,等. 工程塑料应用,2009,37(1):48-51.
Li Guochang, et al. *Engineering Plastic Application*, 2009, 37(1):48-51.
- [5] 施明,等. 化工学报,2012,63(11):3 723-3 729.
Shi Ming, et al. *CIESC Journal*, 2012, 63(11):3 723-3 729.
- [6] 刘伟,等. 中国塑料,2010,24(4):39-43.
Liu Wei, et al. *China Plastics*, 2010, 24(4):39-43.
- [7] 许永昌,等. 广东化工,2013,40(14):35-36.
Xu Yongchang, et al. *Guangdong Chemical*, 2013, 40(14):35-36.
- [8] 胡志. 工程塑料应用,2014,42(8):31-34.
Hu Zhi. *Engineering Plastics Application*, 2014, 42(8):31-34.
- [9] Xu Xiang, et al. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, 126(1): 83-90.
- [10] 于杰,等. 高分子材料科学与工程,2011,27(10):70-73.
Yu Jie, et al. *Polymer Materials Science Engineering*, 2011, 27(10):70-73.
- [11] Liu Hongxing, et al. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 131(15):40 568.
- [12] Gabriel P, et al. *Polymer Composites*, 1999, 20(6):804-808.
- [13] Mallette J G, et al. *Polymer Engineering & Science*, 2000, 40(10):2 272-2 278.
- [14] 张慧勤,等. 河南城建学院学报,2011,20(5):33-35.
Zhang Huiqin, et al. *Journal of Henan University of Urban Construction*, 2011, 20(5):33-35.
- [15] 潘懿,等. 功能高分子学报,2012,25(2):135-140.
Pan Yi, et al. *Journal of Functional Polymer*, 2012, 25(2):135-140.
- [16] 李建华,等. 化工新型材料,2009,37(10):31-33.

- Li Jianhua, et al. New Chemical Maritals, 2009, 37(10):31–33.
- [17] 应宗荣, 等. 中国塑料, 2007, 20(11):62–65.
- Ying Zongrong, et al. China Plastics, 2007, 20(11):62–65.
- [18] 梁琦, 等. 塑料, 2007, 36(2):23–25.
- Liang Qi, et al. Plastics, 2007, 36(2):23–25.
- [19] 沈烈, 等. 复合材料学报, 2010, 27(4):9–14.
- Shen Lie, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2010, 27(4):9–14.
- [20] 张世辉, 等. 塑料, 2008, 37(3):67–68.
- Zhang Shihui, et al. Plastic, 2008, 37(3):67–68.
- [21] Zhao Shuaiguo, et al. Materials Letters, 2014, 129(15):72–75.
- [22] 狄莹莹, 等. 复合材料学报, 2012, 29(4):36–41.
- Di Yingying, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2012, 29(4):36–41.
- [23] Song Hongtao, et al. Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010, 17(3):645–652.
- [24] 丁阳, 等. 中国胶粘剂, 2010, 19(6):25–29.
- Ding Yang, et al. China Adhesives, 2010, 19(6):25–29.
- [25] Torres-Giner S, et al. Polymer Composites, 2014, DOI: 10.1002/pc.23204.
- [26] Aref A M, et al. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2014, 53(5):368–378.
- [27] Lee Taewon, et al. Composites Science and Technology, 2014, 103(20):78–84.
- [28] 谷敬凯, 等. 工程塑料应用, 2014, 42(8):26–30.
- Gu Jingkai, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(8):26–30.
- [29] 邢菊香, 等. 工程塑料应用, 2013, 41(5):78–81.
- Xing Juxiang, et al. Engineering Plastic Application, 2013, 41(5):78–81.
- [30] 龙谷成, 等. 塑料工业, 2013, 42(3):51–54.
- Long Gucheng, et al. China Plastics Industry, 2013, 42(3):51–54.
- [31] 杜彦, 等. 航空材料学报, 2013, 33(1):68–71.
- Du Yan, et al. Journal of Aeronautical Materials, 2013, 33(1):68–71.
- [32] Li Jihui, et al. Journal of Low Temperature Physics, 2010, 160(5–6):240–245.
- [33] 关萍, 等. 当代化工, 2014, 43(6):910–912.
- Guan Ping, et al. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(6):910–912.
- [34] 淡春荣, 等. 化学工程师, 2013, 27(4):1–4.
- Dan Chunrong, et al. Chemical Engineer, 2013, 27(4):1–4.
- [35] 祖立武, 等. 材料研究学报, 2012, 26(6):610–614.
- Zu Liwu, et al. Chinese Journal of Material Research, 2012, 26(6):610–614.
- [36] 祖立武, 等. 中国塑料, 2011, 25(6):92–96.
- Zu Liwu, et al. China Plastics, 2011, 25(6):92–96.
- [37] 韩高义, 等. 山西大学学报: 自然科学版, 2012, 35(2):326–332.
- Han Gaoyi, et al. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 2012, 35(2):326–332.
- [38] Amarjeet K, et al. Polymer International, 2014, 63(2):252–257.

石墨烯柔性导电膜制备成功

北京大学纳米化学研究中心的研究人员开发出一种新的卷对卷连续快速生长石墨烯薄膜的方法,并开发了卷对卷热压印—电化学快速鼓泡转移方法,实现了石墨烯从铜箔生长基底直接向工业用聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)柔性透明塑料基底的连续化无损转移,从而制备了高品质PET/石墨烯柔性塑料电极。在此基础上,研究人员在石墨烯快速转移过程中,将金属纳米线(银纳米线、铜纳米线等)网络直接封装在石墨烯与柔性塑料基底之间,批量制备了PET/石墨烯/金属纳米线的复合型柔性导电薄膜。

PET/石墨烯/金属纳米线柔性透明电极显示出超高的导电性和透光性、优异的柔性和抗剥离性能、出色的化学稳定性和抗蚀性。这种连续卷对卷气相沉积(CVD)生长—封装转移—无损剥离的快速制备石墨烯薄膜的方法突破了诸多技术瓶颈,实现了高品质石墨烯薄膜和高性能柔性透明电极的连续化和规模化生产,具有工业化生产的潜力。

(中国聚合物网)

加强流动性仍是国内氯化聚氯乙烯改性主要方向

氯化聚氯乙烯(PVC-C)是以PVC树脂为原料经氯化制得的一种新型高分子材料。其生产方法主要有3种,即溶液法、气固相法和水相悬浮法。PVC-C的含氯量一般为

65%~72%,但大多数情况下含氯量为66%~68%。PVC-C能耐大多数的酸、碱、盐,有很好的耐化学腐蚀性,在耐热方面明显优于其它塑料,作为PVC树脂氯化改性产品,它的使用温度比PVC树脂高35~40℃,它在强度、耐热性、阻燃性等方面比PVC有明显的提高,近年来,PVC-C的需求量迅速增加。

鉴于耐热PVC-C独特的性能,其在电力电缆管的应用上有着广泛的发展前景。一般PVC管的耐热温度在80℃左右,而PVC-C的耐热温度可达100℃以上,由PVC-C制成的电力电缆管主要用于电力电缆的铺设并起导向保护的电缆作用。有关文献指出,改性PVC-C制成的双壁波纹电力护套管,具有耐腐蚀、耐高温、绝缘性好、无污染、韧性好、质量轻、成本低、施工方便等诸多优点,广泛应用于各个工业领域。

PVC-C是PVC进一步氯化的产物,随着氯原子的增加,分子之间的作用力加大,而导致PVC-C加工流动性差,给实际的生产带来了困难,再加之PVC-C脆性大,高温易脆,低温也易脆,因此,近年来国内对PVC-C的改性主要是添加甲基丙烯酸甲酯—丁二烯—苯乙烯塑料(MBS)、氯化聚乙烯(PE-C)、丙烯酸酯类共聚物(ACR)等来提高体系的冲击强度、降低的熔体黏度、改善其加工流动性。(工程塑料网)