

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.01.025

极性聚丙烯的研究进展及应用

董穆¹, 张翼清², 张琦¹, 初立秋¹, 邵静波¹

(1. 中国石化北京化工研究院, 北京 100013; 2. 香港科技大学机械工程系, 香港 999077)

摘要:介绍了极性PP几种常见的制备方法,包括一步法接枝(溶液接枝、悬浮接枝、熔融接枝和固相接枝等)、二步法接枝、丙烯和极性单体直接聚合以及中介物功能化法等,同时综述了极性PP的表征方法和应用情况。通过对PP进行极性化处理,可以使其作为界面相容剂和大分子偶联剂或其它助剂使用。

关键词:聚丙烯;接枝;极性;功能化

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)01-0128-05

Research Development and Application of Polar Polypropylene

Dong Mu¹, Zhang Yiqing², Zhang Qi¹, Chu Liqiu¹, Shao Jingbo¹

(1. SINOPEC Beijing Research Institute of Chemical Industry, Beijing 100013, China; 2. Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hongkong 999077, China)

Abstract: The common several preparation methods of the polarized polypropylene were introduced, which including the one-step grafting (solution grafting, suspension grafting, melting grafting and solid phase grafting etc.), two-step grafting, direct polymerization of propylene and polar monomer, functionalization of medium and so on. The characterization and application of polarized polypropylene were illustrated. Polarized polypropylene can be utilized as interface compatilizer and macromolecular coupling agent and other additives.

Keywords: polypropylene; grafting; polarity; functionalization

聚丙烯(PP)属于热塑性树脂,作为五大通用树脂之一,其晶体结构规整,具有易加工、生物安全性好、抗挠曲性以及电绝缘性好等优点,在汽车工业、电子、包装、家用电器及建材家具等方面有广泛的应用。

虽然PP有很多优点,但在低温环境下其冲击强度下降,制品受光、热和氧的作用时容易发生老化,不易上色,印刷性和粘合性差,这是由其对称、非极性的分子链结构决定的。为增强其综合性能,通常使用极性单体对PP链进行接枝共聚,可明显改善PP的染色性、粘接性及与其它材料的相容性,可以明显增强PP的热稳定性、光化学稳定性、印刷性等。

笔者介绍了极性PP的制备方法、表征方法和应用,以及笔者正在进行的研究工作和未来研究方向。

1 极性PP的制备方法

1.1 一步接枝改性法

常用的接枝单体有马来酸酐(MAH),不饱和一元酸类(如丙烯酸、甲基丙烯酸),以及甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)、甲基丙烯酸甲酯等。

(1) 溶液接枝法。

溶液接枝法是PP接枝方法中应用最早的一种。常见的溶剂为甲苯、二甲苯或苯等有机溶剂。溶液法反应温度较

低(90~140℃),副反应少,接枝共聚物纯度高,接枝率相对较高。但此方法需要大量的溶剂,反应结束后还要对反应产物进行分离以脱除溶剂和副反应产物,过程复杂且溶剂毒性较大,实验操作复杂且污染环境,故目前对该方法的研究已经很少。

(2) 悬浮接枝法。

悬浮接枝法是将PP颗粒、单体和引发剂一起放在水相中反应,反应前一般在低温下将PP和单体混合一定时间,然后进行升温反应。悬浮接枝法反应温度低、工艺及设备简单、操作容易、产物降解少,产物后处理简单,能够避免反应温度过高和PP降解、产物变色、反应粘连等问题。周成等^[1]以水为分散介质,二甲苯为界面剂,过氧化苯甲酸叔丁酯为引发剂,考察了PP悬浮法接枝马来酸酐反应中组分配比、反应温度和反应时间对接枝率的影响。研究发现由悬浮法制备的PP接枝物纤维的极性得到改善,可以吸附水中的铜离子。

(3) 熔融接枝法。

熔融接枝法是将PP、接枝单体、引发剂等一同加入螺杆挤出机中进行熔融接枝反应。该方法反应时间少,接枝产物

联系人:董穆,博士,高级工程师,主要研究方向为高分子材料

收稿日期:2016-10-10

性能好,用于接枝的实验设备简单,可进行连续化生产。但由于反应物受到热和螺杆剪切作用,副反应(交联或降解)严重,对反应时间、反应物浓度也有一定限制。因此,有效限制副反应、促进主反应,以提高接枝率、改善加工性能是这类接枝反应需要注意的问题。

A. Oromichie 等^[2]研究了单体浓度和引发剂浓度对 PP 接枝率的影响,发现 PP 极性化程度依赖于反应中单体和引发剂的起始浓度。可借助傅里叶变换红外光谱分析、热重分析、差示扫描量热法和力学性能测试来衡量引发剂对 PP 热稳定性和性能的影响^[3]。王鉴等^[4]以甲基丙烯酸丁酯(BMA)为共单体,采用熔融挤出法制备了 MAH 与 BMA 接枝 PP 共聚物 [PP-g-(MAH-BMA)],共单体提高了接枝产物的接枝率,同时能有效抑制 PP 分子断链降解,产品凝胶率为零。

(4) 固相接枝法。

固相接枝法兴起于 20 世纪 90 年代,该方法将 PP 粉末和适量的单体、引发剂以及其它助剂放在同一容器中直接接触,进行接枝反应。固相法反应温度较低(100~130℃),反应压力不高。其优点是生产成本低,断链降解少,反应时间短,反应装置通用性好,接枝效果好,只使用很少量溶剂作为界面剂,后处理简单。

刘太闯等^[5]以季戊四醇三丙烯酸酯为接枝剂,通过固相接枝法制备了高熔体强度 PP,研究发现熔体强度为原来的 50 倍左右,这种改性后的 PP 粉料适合用作发泡材料。

Hong Haoqun 等^[6]研究了三单体(MAH、苯乙烯、丙烯酸丁酯)与 PP 发生固相接枝反应时的非等温动力学,结果显示接枝侧链不仅可以促进 PP 异相成核从而降低球晶尺寸,还能够抑制晶体的生长,导致 PP 中形成不完善的结晶区域。

王正洲等^[7]发明了一种 PP 悬浮固相接枝制备 MAH 共聚物的方法,所用原料包含 PP 粉末、水、MAH、界面剂、引发剂和共接枝单体,将共接枝单体和引发剂先溶于界面剂再与 PP 粉末一起悬浮于水中,搅拌、冷却后,得到 PP-g-MAH。

杨万泰等^[8]公开了一种多孔型 PP 粒子悬浮固相接枝改性方法,将多孔型 PP 粒子在接枝单体与引发剂的混合溶液中浸泡,待单体与引发剂被 PP 粒子的空隙充分吸附之后置于盐水溶液中,搅拌、干燥后得到接枝改性的 PP。

(5) 其它方法。

超临界 CO₂ 协助固相接枝:超临界 CO₂ 协助固相法是利用超临界 CO₂ 流体能使大多数聚合物不同程度地溶胀而不溶解的原理,使单体与 PP 充分接触并进入 PP 颗粒内部,然后进行固相接枝反应。CO₂ 无毒、化学惰性、不污染环境,与 PP 分离操作简单。M. H. Kunita 等^[9]研究了 GMA 接枝到 PP 膜上的固相反应,以超临界 CO₂ 作为溶剂和溶胀剂。

PP 膜在单体 GMA 中浸泡,然后以过氧化苯甲酰作为引发剂,并改变超临界 CO₂ 的压力、温度和热处理时间等工艺,通过调节压力、温度和浸泡时间来控制接枝率。

辐射接枝:辐射接枝是指利用高能射线如 X 射线、γ 射线、电子束、微波等对聚合物进行辐射,产生大分子自由基并进一步与其它单体接枝共聚的一种技术。低能射线如紫外线也可用于表面接枝,如在难于染色的聚合物表面接枝极性不饱和酯或乙烯基吡啶等进行染色性改善^[10];在疏水聚合物表面接枝含亲水基团(如—COOH 或—OH)的单体使其具有亲水性,从而可以抗静电。高建明等^[11]采用一种具有多孔结构的球形 PP,向其加入极性物质,通过辐照制备接枝 PP,该材料具有较高的表面张力和熔体强度。刘中伟等^[15]采用紫外光引发接枝法对 PP 纤维进行了表面改性,接枝单体为丙烯酸。实验结果表明,经接枝改性后的 PP 纤维表面引入了极性基团,亲水性能明显变好。

等离子体处理:等离子体接枝聚合是由活性离子与有机物分子发生相互反应而引发聚合或接枝反应。程春伟等^[12]研究了等离子体聚合、等离子体表面处理、等离子体引发气相接枝等方法对 PP 薄膜表面亲水改性的效果,并对氧等离子体表面处理 PP 膜的条件进行优化处理。L. Černáková 等^[13]将经等离子体(N₂)激发后的 PP 无纺布纤维与不含催化剂的丙烯酸的溶液进行接枝反应,接枝的无纺布表现出改良的水传递能力和染色性能,在氮气等离子体中的等离子体激发效应要好于空气的等离子体激活效应。

1.2 二步接枝改性法

二步接枝法主要原理是先经光还原把引发基团引入聚合物表面,然后再将聚合物放入单体溶液中^[14],在光或热活化下进行接枝。该方法的优点是:①接枝效率高;②单体范围扩大,可适用于许多不适合光接枝的单体。宋婷等^[15]先用光还原-热接枝研究了丙烯酸在 PP 流延膜表面接枝的效率,考察了溶剂、光敏剂浓度、单体浓度、界面温度对接枝率和亲水性的影响。甘胜华等^[16]利用光接枝的方法对 PP 膜进行表面改性,在 PP 膜表面分别接枝一层聚丙烯酸、聚丙烯酰胺和 MAH,然后在接枝层表面对牛血清蛋白(BSA)进行固定。固定效率以 MAH 接枝改性最优。

1.3 丙烯和极性单体直接聚合

董金勇等^[17]利用多壁碳纳米管负载 Ziegler-Natta 催化剂,通过丙烯在多壁碳纳米管表面的原位聚合获得 PP/多壁碳纳米管纳米复合材料,然后再利用多壁碳纳米管表面的羟基引发 ε-己内酯开环聚合,得到 PP/聚己内酯合金。

陈广强等^[18]公开了一种用于 PP 的大分子成核剂,其是丙烯与单体发生聚合反应或者接枝反应生成的聚合物,单体是苯乙烯、α-甲基苯乙烯、丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯,单

体位于大分子的主链或侧链。将该大分子成核剂加入到 PP 中可以提高 PP 注塑周期和极性,与 PP 相容性极好,改善了 PP 的可喷涂性。

1.4 中介物功能化法

PP 中介物功能化法是指选择一种含有反应性基团的单体,首先通过共聚合进入 PP 分子中,然后借助该物质的化学性质进行各种反应引入相应的功能性基团来实现 PP 的功能化。例如,引入硼官能团、与二烯烃共聚、与对甲基苯乙烯共聚等。

梁淑君等^[19]在热作用下使 PP 分子链断裂产生自由基,然后与带有半频哪醇休眠基的 GMA 低聚物进行熔融接枝反应。

贾军纪等^[20]公开了一种端氨基 PP 及其制备方法,首先利用端羟基 PP 的羟基基团发生酰氯化的二酸反应,再将得到的末端带有酰氯基团的 PP 与二胺进一步反应从而制得端氨基 PP。

2 极性 PP 的表征方法

PP 极性大小通常以其表面亲水性的好坏来衡量,所采用的表征方法一般为接触角测量方法。常用的仪器有接触角测量仪等。由于物体表面积改变而引起内能改变,单位面积的表面能的数值和表面张力相同,因此测量表面张力同时又可以得到表面能的数值。固体高聚物的表面张力不能直接测定,一般通过测量接触角而间接计算得出。目前,还有其它方法可以对 PP 的表面极性进行表征。

2.1 反气相色谱表面能分析

反气相色谱表面能分析法是常规气相色谱分析方法的反向操作。样品柱填充所需研究的固体材料,如粉末、纤维、薄膜等,气体通入样品柱。反气相色谱表面能分析可以获得多种物质(固体、粉末、颗粒、纤维和薄膜等)的整体及表面性质。已有研究将这一表征方法用于计算 PP 复合材料中无机填料改性前后表面能的变化,以改善填料分散性及与基体聚丙烯的相容性^[21];也可定量计算 PP 与其它极性高分子共混后的相互作用参数以得到两者界面相容性的信息^[22]。

2.2 衰减全反射傅里叶变换红外光谱(ATR-FTIR)

衰减全反射红外光谱对于测试表面性能、材料立体结构、化学结构、分子取向能提供高精度和高灵敏性的数据结果,是目前表面性能测试的重要手段之一。

孙梦寒^[23]将异氰酸酯与 PP 进行固相接枝作为 PP 的表面功能化处理,再将功能化处理的 PP 无纺布浸渍到多巴胺溶液中,用 ATR-FTIR 表征发现改性后的 PP 无纺布表面生成了聚多巴胺层。

田书亚^[24]以等离子接枝聚合的方式将丙烯酸接枝聚合到 PP 薄膜表面,结合 ATR-FTIR 及扫描电子显微镜研究发

现当接枝溶液浓度为 50%、反应时间为 90 min 时,可以获得接枝量高、分布较均匀的改性薄膜表面。

2.3 X 射线光电子能谱(XPS)

XPS 是以软性 X 射线作激发源对材料最外层表面区域(数埃)内的包括氢的全部元素及化学键状态相关信息进行分析,其灵敏度较高,分析迅速,是一种重要的高分子表面分析方法。Jin Jing 等^[25]研究了 PP 接枝物的表面生物相容性,结合接触角测量和 XPS 表征方法,发现改性 PP 膜的表面能和极性组成与其中一种接枝单体聚乙二醇甲基丙烯酸酯的接枝率有关。

3 极性 PP 的应用

3.1 界面增容作用

PP 接枝改性产物的一个重要用途是作为相容剂应用于塑料合金。接枝聚合物的活性基团与尼龙、聚碳酸酯等工程塑料分子链端的官能团发生化学反应并形成化学键,同时由于两相界面张力减小,使得分散相在合金中分散更为均匀,粒径更小,合金相容性明显改善^[26]。例如,PP 与尼龙在不添加相容剂的条件下相容性较差,在加入 PP-g-GMA 后,分散相区域和连续相区域的尺寸下降,PP/尼龙共混物的模量和强度都提高了 90% 以上^[27]。

3.2 大分子偶联作用

PP 与 MAH 的接枝物和 PP 与丙烯酸的接枝物由于含有强极性基团,与无机材料如碳酸钙、滑石粉等有很强的作用力,可以作为这些复合材料的大分子偶联剂。接枝物不但与无机填料、玻璃纤维表面极性官能团相互作用形成化学键,并且与基体树脂产生长链缠结和共结晶的物理交联作用^[28]。界面相互作用极大影响了填充改性聚合物的性能^[29-30]。

含有强极性基团的 PP 接枝丙烯酸、PP 接枝己内酯以及 PP-g-MAH 和 PP-g-GMA 等可作为 PP/磷酸钙、PP/滑石粉、PP/玻璃纤维、PP/云母、PP/木纤维^[31-32]、PP/蒙脱土^[33]等复合材料的大分子偶联剂。

T. Taniike 等^[34]研究了接枝 PP 纳米粒子对 PP 基复合材料的增强作用, SiO₂ 纳米粒子与端基羟基化的 PP 进行接枝反应生成了接枝 PP 纳米粒子(PP-g-SiO₂), PP 与 PP-g-SiO₂ 纳米粒子进行混合后,能够达到均匀分散的最高添加量达到了 10%,结晶速率、拉伸弹性模量和拉伸强度均有大幅度提高。

H. S. Kim 等^[35]研究了不同类型的 PP-g-MAH 与生物面粉填充 PP 复合材料体系,发现复合材料的界面粘附作用、力学性能和热稳定性受到 MAH 接枝率和 PP-g-MAH 分子量的影响。

R. Sakahara^[36]将 PP-g-MAH 加入到 PP/纳米碳酸钙的体系中,当碳酸钙尺寸最小时,其与 PP-g-MAH 起到了协同

作用, β 晶含量提高,冲击性能、弯曲弹性模量和拉伸强度均达到最佳。

Ding Chao 等^[37]在 PP/有机蒙脱土中加入高接枝率的固相接枝 PP,发现当接枝 PP 与有机蒙脱土的质量比高于 1:1 时,有机蒙脱土能够以纳米级别均匀分散在 PP 基体中。由于有机蒙脱土和接枝 PP 在 PP 结晶时起到了协同作用,纳米复合材料的结晶温度明显提高,接枝 PP 起到 β 成核作用。

3.3 胶粘、涂覆作用

聚合物涂覆的应用日益广泛,它可以保护基体对抗外部环境 and 局部腐蚀的影响,降低由于摩擦和腐蚀给基体带来的磨损。B. T. Mahendrakar Sridhar^[38]研究了在模压条件下用于铁基体的不同种类的接枝 PP 涂覆物,MAH 接枝率达到最高时,金属与 PP 之间的粘结性最好,这是由于主链上酸酐的水解程度对提高粘结强度有明显效果。敖玉辉等^[39]采用甲基丙烯酸甲酯等多单体熔融接枝改性 PP 材料作为保险杠专用料,这种专用料极性较高,可以同时与油漆中的各种化学成分形成物理吸附或化学键合,可喷涂性好,加工流动性和韧性也符合客户要求。

3.4 在其它方面应用

PP 与极性不同的单体接枝后,性能得到了很大改善,从而进一步扩大了其应用范围。例如,研究者们发现接枝改性 PP 几乎可以使所有染料着色,其中 PP 接枝乙烯吡咯酮接枝物的染色效果最好^[40]。

PP 与极性官能团接枝后,PP 与其它材料之间的粘合力大大增强,改善了长期以来 PP 层压材料粘结性不良、不耐高温蒸煮的缺点。C. Rustal 等^[41]制备了 PP/PP 接枝物/尼龙三层共挤吹薄膜,发现接枝 PP 的分子量和结构是决定 PP/尼龙粘结性能的决定因素,而这个因素可通过接枝组成和条件进行改变。

PP 接枝共聚物在生物医学中也有广泛应用。Jin Jing 等^[25]成功的通过熔融法将 PP 与聚乙二醇甲基丙烯酸酯接枝,以 *N*-乙烯基吡咯烷酮作为共接枝单体,当聚乙二醇甲基丙烯酸酯接枝率达到最大值(3.22%),*N*-乙烯基吡咯烷酮接枝率适中时,PP 接枝物能够有效的阻止蛋白质吸收和抑制血小板的粘附。

另外,PP 接枝物可为挤出成型的聚合物制品提供更光滑的表面外观,由清理口模引起的螺杆堵塞问题也可得到改善。PP 接枝物还可改善注塑制品中染料的分散和流动性,提高薄壁制品的尺寸稳定性。PP 接枝物可以用作染料和颜料的润湿剂和分散助剂,改善染料在基体中的分散,尤其是在要求比较高的加工条件下(如双向拉伸 PP 和纤维中),可使染料的分散性得到明显提高,这相当于降低了原料成本、

提高了生产效率。

4 未来研究工作展望

目前来看,对极性 PP 的研究很多,但仍存在一些关键性问题没有解决好。如接枝率不高、反应体系组分复杂、杂质难去除、易产生均聚物或均聚链段等。在 PP 极性表征方面,采用反气相色谱表面能分析并结合其它光谱、能谱、质谱的表征方法,都是未来极性 PP 分析表征研究的热点和重点。开发极性 PP 更多的应用,也是研究者和工业使用者正在考虑的问题。

笔者所在的课题组正在通过水相悬浮接枝法制备新型功能化 PP,以作为特种 PP 材料直接使用。将制备得到的极性 PP 用于 PP 薄膜等应用时,可使产品具有较高的表面张力,提高产品的稳定性能,使产品具有可涂刷性、亲水性等优点,可应用于产品包装、印刷领域。制备的极性 PP 也可用于工程塑料领域,充当高分子合金或聚合物共混物的良好相容剂,提高工程塑料的综合性能;也可以用直接用于制备木塑材料,利用其高接枝率的官能团含量与木纤维素反应,可以有效地改善相容性,同时可以用于高填充的填料或相容剂,改善复合材料的综合性能。

参考文献

- [1] 周成,等.化工新型材料,2015(8):240-243.
Zhou Cheng, et al. New Chemical Materials, 2015(8):240-243.
- [2] Oromiehie A, et al. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2014, 5(2), 117-122.
- [3] 韦良强,等.塑料工业,2013,43(9):101-104.
Wei Liangqiang, et al. China Plastics Industry, 2013, 43(9):101-104.
- [4] 王鉴,等.塑料工业,2015,43(4):5-9.
Wang Jian, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(4):5-9.
- [5] 刘太闯,等.工程塑料应用,2015,43(12):35-38.
Liu Tai Chuang, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(12):35-38.
- [6] Hong Haoqun, et al. Journal of Elastomers and Plastics, 2013, 45(1):15-31.
- [7] 王正洲,等. CN1948356[P].2007-04-18.
Wang Zhengzhou, et al. CN1948356[P].2007-04-18.
- [8] 杨万泰,等. CN1884326[P].2006-12-27.
Yang Wantai, et al. CN1884326[P].2006-12-27.
- [9] Kunita M H, et al. European Polymer Journal, 2005, 41(9): 2176-2182.
- [10] 王蕾.中空纤维膜的表面结构调控及性能研究[D].天津:天津工业大学,2016.
Wang Lei. The surficial structure modification and property study of hollow fiber membrane[D]. Tianjin:Tianjin Polytechnic University, 2016.

- [11] 高建明,等. CN1513888[P].2004-07-21.
Gao Jianming, et al. CN1513888[P].2004-07-21.
- [12] 刘中伟,等. 山东化工,2015,44(6):31-38.
Liu Zhongwei, et al. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(6):31-38.
- [13] 程春伟. PP的亲水改性及表征[D]. 兰州:西北师范大学,2009.
Chen Chunwei. Hydrophilicity modification and characterization of polypropylene[D]. Lanzhou:Northwest Normal University, 2009.
- [14] Černáková L, et al. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2005, 25(4):427-437.
- [15] 宋婷,等. 高分子学报,2002(5):632-635.
Song Ting, et al. Acta Polymerica Sinica, 2002(5):632-635.
- [16] 甘胜华,等. 北京化工大学学报,2008,35(4):61-64.
Gan Shenghua, et al. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2008, 35(4):61-64.
- [17] 董金勇,等. 石油化工,2015(12):1443-1447.
Dong Jinyong, et al. Petrochemical Technology, 2015(12):1443-1447.
- [18] 陈广强,等. CN101348535[P].2009-01-21.
Chen Guangqiang, et al. CN101348535[P].2009-01-21.
- [19] 梁淑君,等. 北京化工大学学报,2006,33(4):21-25.
Liang Shujun, et al. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2006, 33(4):21-25.
- [20] 贾军纪,等. CN101812147A[P].2010-08-25.
Jia Junji, et al. CN101812147A[P].2010-08-25.
- [21] 史学涛. 弹性体包覆无机刚性粒子增韧聚丙烯研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
Shi Xuetao. Toughening of polypropylene with elastomer / inorganic rigid particles core-shell morphology[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007.
- [22] 张洪峰. 聚醚砜改性聚丙烯的界面性能研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2008.
Zhang Hongfeng. Study on surface / interfacial properties of polyethersulfone modified polypropylene[D]. Harbin:Northwest Forest University, 2008.
- [23] 孙梦寒. 聚丙烯固相接枝异氰酸酯及其应用研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2016.
Sun Menghan. Surface functional of polypropylene-bearing isocyanate groups in solid state and their application study[D]. Hangzhou:Zhejiang Sci-Tech University, 2016.
- [24] 田书亚. 聚丙烯薄膜抗静电改性研究及应用[D]. 杭州:浙江理工大学,2014.
Tian Shuya. The antistatic modification research and application of polypropylene film[D]. Hangzhou:Zhejiang Sci-Tech University, 2014.
- [25] Jin Jing, et al. Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects, 2012, 407:141-149.
- [26] Inuwa I M, et al. Journal of Vinyl and Additive Technology, 2015:DOI:10.1002 / vnl.21484.
- [27] Uribe-Calderon J, et al. Polymer Bulletin, 2016:DOI:10.1007 / s00289-016-1790-4.
- [28] 王鉴,等. 高分子材料科学与工程,2015(7):169-173.
Wang Jian, et al. Polymer Materials Science & Engineering, 2015(7):169-173.
- [29] Ghasemi F A, et al. Polymer Testing, 2016, 53:283-292.
- [30] Lin J H, et al. Materials, 2015, 8:8279-8291.
- [31] 朱德钦,等. 应用化学,2014(8):885-891.
Zhu Deqin, et al. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2014(8):885-891.
- [32] 冯绍华,等. 塑料科技,2006,34(1):1-4.
Feng Shaohua, et al. Plastics Science & Technology, 2006, 34(1):1-4.
- [33] Kannan M, et al. Macromolecular Engineering, 2015, 44(6):245-251.
- [34] Taniike T, et al. Polymer, 2014, 55(4):1012-1019.
- [35] Kim H S. Composites Part A:Applied Science and Manufacturing, 2007, 38:1473-1482.
- [36] Sakahara R. Polimeros, 2014, 24(5):554-560.
- [37] Ding Chao, et al. Polymer Composites, 2008, 29(6):698-701.
- [38] Mahendrakar Sridhar B T. Maleic anhydride grafted polypropylene coatings on steel:Adhesion and wear[D]. Denton:University of North Texas, 2010.
- [39] 敖玉辉,等. CN101423637[P].2009-05-06.
Ao Yuhui, et al. CN101423637[P].2009-05-06.
- [40] Sundardi F. Journal of Applied Polymer Science, 1978, 22:3163-3176.
- [41] Rustal C. Functionalization of PP for the enhancement of adhesion between polypropylene and polyamide multilayers[D]. Fort-de-France:der Universität Stuttgart, 2008.

欢迎订阅 2017 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅 2017 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志, 订阅杂志及合订本光盘及过期刊物的读者可直接向杂志社办理订阅。《工程塑料应用》为月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版, 2017 年定价 15 元 / 期, 全年 180 元。《化学分析计量》为双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版, 2017 年定价 15 元 / 期, 全年 90 元。

电话: (0531)85878223 85878057 传真: (0531)85947355