

# 木粉增强聚丙烯力学性能 的改善方法

林群芳 周晓东 戴干策 程树军  
(华东理工大学聚合物加工研究室,上海 200237)

**摘要:**以废弃木粉为增强材料,制备了木粉增强聚丙烯复合材料,研究了改善废弃木粉增强聚丙烯复合材料力学性能的途径。结果表明,通过适当的处理方法对木粉进行表面处理、对基体树脂进行改性,可以有效地提高复合体系的界面粘接强度,能大幅度改善复合体系的力学性能;采用短切玻璃纤维及玻璃纤维毡与废弃木粉组合,可以获得力学性能很高、能作为结构材料使用的复合材料。

**关键词:**木粉;聚丙烯;玻璃纤维;热塑性复合材料

中图分类号:TQ325.14

文献标识码:A

## Methods to modify mechanical properties of polypropylene composites reinforced by wood flour

LIN Qun-fang, ZHOU Xiao-dong, DAI Gan-ce, CHENG Shu-jun

(Polymer Processing Laboratory, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** Polypropylene composites reinforced with waste wood flour were prepared and methods to modify their mechanical properties are studied. Results show that the proper surface treatment of wood flour and the modification of matrix resin can effectively increase the interfacial adhesion strength and significantly improve the mechanical properties of the system. Composites with high mechanical properties that can be used as structure materials can be obtained by combining waste wood flour and chopped glass fiber or glass fiber mat.

**Key words:** wood flour; polypropylene; glass fiber; thermoplastic composites

木材加工、建筑及室内装饰等均产生大量的木粉,木粉因具有价廉、高比强度、低密度、可再生、可生物降解等一系列优点,在非结构件和半结构件应用领域具有极强的市场竞争力。但木粉易吸湿、与热塑性塑料粘性差,难以获得力学性能优良的木粉增强热塑性复合材料。为了改善它们之间的界面粘结,各国学者进行了多方有益的尝试<sup>[1-9]</sup>,如何对木粉增强热塑性塑料进行界面改性,是得到高性能植物纤维增强热塑性复合材料的关键。木粉的长径比较小,本身的强度亦不高,木粉增强的复合材料其力学性能与玻璃纤维等增强的复合材料相比有很大的差距,不能作为结构材料应用于对性能要求较高的领域,因此限制了其使用范围,要想进一步拓展此

类材料的应用范围,必须设法提高其力学性能。笔者通过对废弃木粉的表面处理、基体树脂的接枝改性以及引入玻璃纤维与废弃木粉组合增强等手段,探索了提高复合体系的界面粘结强度的方法及改善体系力学性能的途径。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

聚丙烯,牌号 Y1600,上海石油化工股份公司塑料事业部;木粉,废弃锯木屑的混合物,过 40 目筛;改性聚丙烯,马来酸酐接枝聚丙烯(MPP),采用固相接枝工艺自行研制;短切玻璃纤维,上海强塑科技有限公司;玻璃纤维毡,南京玻璃纤维研究设计院,由

收稿日期:2002-01-07

基金项目:上海市教委青年科学基金资助项目(99QF15)

作者简介:林群芳,女,1971年生,硕士,讲师,从事多相、多组合聚合物材料方面的研究工作。

连续玻璃纤维经抛丝铺毡后针刺而成,面密度分别为 330、720、950 g/m<sup>2</sup>;偶联剂 KH-550、KH-570,上海耀华玻璃厂产品;抗氧剂 1010、DSTP,瑞士气巴-基嘉(Ciba-Geigy)公司。

### 1.2 木粉的表面处理

将偶联剂与去离子水在搅拌下使偶联剂水解并形成均匀的混合物。木粉在 120℃ 下烘 5 h,除去大部分吸附水,然后放入高速混合机(GH-100Y 型)内,并加入偶联剂与水的混合物,搅拌均匀后,取出并放置在 80℃ 的烘箱内,以除去大部分水,1 h 后,将温度升高到 120℃,使偶联剂水解形成的反应性基团与木粉表面的极性官能团充分反应。

### 1.3 木粉增强聚丙烯复合材料的制备

木粉与聚丙烯、改性聚丙烯、抗氧剂等按一定的配比混合均匀后经双螺杆挤出机挤出并造粒。

### 1.4 木粉与短切玻璃纤维组合增强聚丙烯的制备

将制得的木粉增强聚丙烯复合材料与适量的短切玻璃纤维混合,于单螺杆挤出机挤出造粒,即获得组合增强的复合材料。

### 1.5 木粉与玻璃纤维毡组合增强聚丙烯的制备

木粉增强聚丙烯由双螺杆挤出机经衣架式平板模头挤出并经三辊压延,制得厚度为 1 mm 的片材。将木粉填充聚丙烯片材与玻璃纤维毡叠层铺放(三层木粉填充聚丙烯、两层玻璃纤维毡,中间的木粉填充聚丙烯层为两片 1 mm 的片材叠层),在自行研制的连续熔融浸渍双钢带压机上经加热、加压、冷却定型后制得木粉与玻璃纤维毡组合增强聚丙烯片材。

### 1.6 材料力学性能的测试

木粉及木粉与玻璃纤维组合增强聚丙烯,经 TTI-80 注塑机注塑成力学性能测试样条,木粉与玻璃纤维毡组合增强聚丙烯片材先裁剪成样条坯料,然后用铣床铣成标准样条。采用 CMT4204 万能材料试验机(深圳新三思公司)测定其拉伸和弯曲性能;采用 WPM 型简支梁冲击试验机(德国产)测定其冲击性能。采用悬臂梁冲击试验机(承德试验机总厂)测定其冲击性能。

## 2 结果与讨论

### 2.1 复合体系的界面改性

采用不同界面改性方法所制得的废弃木粉增强聚丙烯复合材料,其力学性能如表 1。

木粉是一种具有一定长径比的针状物,如在木粉填充聚合物材料的界面形成强的粘接,可以起到增强作用。未经处理的木粉分散性差,与聚丙烯复

合后,由于二者间的相容性较差,在成型加工过程中木粉未能被聚丙烯熔体充分润湿,界面结合较差,因而力学性能较差。在基体中加入改性聚丙烯,改性聚丙烯中的极性基团与木粉表面上的羟基能形成强相互作用,同时改性聚丙烯与基体聚丙烯间因良好的相容性而形成分子链间的相互扩散及相互缠结,因而改性聚丙烯的添加能改善木粉与聚丙烯间的界面结合强度,提高复合材料的力学性能。使用偶联剂 KH-550 或 KH-570 处理木粉,偶联剂水解后生成羟基,与木粉表面的羟基可通过缩合反应形成化学键结合或通过氢键等形成强相互作用,并包覆在木粉表面,减弱了木粉的亲水性<sup>[10,11]</sup>,能有效地降低木粉的表面能,提高木粉的分散性,提高其与低表面能的聚丙烯的润湿性,可在一定程度上改善两相间的界面粘结,因而其力学性能有所提高。当偶联剂与改性聚丙烯同时使用时,包覆在木粉表面的偶联剂上的氨基能与接枝于改性聚丙烯分子链上的马来酸酐形成化学键结合等强相互作用,进一步改善了木粉与聚丙烯间的界面粘结,材料的力学性能有明显的提高。随着改性聚丙烯添加量的增加,能与木粉形成强相互作用的活性点增多,界面结合强度相应提高。但当改性聚丙烯的使用量超过 5% 后,通过界面脱粘所耗散的冲击能减少,复合材料的冲击性能反而有所下降。

表 1 界面处理方法对材料力学性能的影响

木粉表面处理方法	基体组成	拉伸强度/ MPa	弯曲强度/ MPa	弯曲模量/ MPa	简支梁冲击 强度/ kJ·m <sup>-2</sup>
未处理	PP	27.67(0.42)	55.95(2.09)	1902(87)	3.29(0.53)
未处理	PP + 5% MPP	34.19(1.50)	64.16(1.04)	1876(75)	3.38(0.69)
KH-550	PP	29.86(0.59)	57.30(1.25)	1861(32)	3.41(0.52)
KH-550	PP + 2% MPP	33.72(0.83)	65.21(0.69)	1801(39)	3.23(0.70)
KH-550	PP + 5% MPP	34.56(0.76)	65.56(0.36)	1984(92)	3.55(0.63)
KH-550	PP + 8% MPP	36.27(1.13)	66.98(1.25)	1999(32)	3.02(0.65)
KH-550	PP + 10% MPP	36.40(1.51)	67.49(1.32)	1961(54)	2.42(0.22)
KH-570	PP	30.24(0.97)	57.51(1.03)	1841(84)	3.39(0.52)
KH-570	PP + 5% MPP	34.50(0.92)	64.79(0.81)	1895(100)	3.49(0.48)

注:括号内为标准偏差。

### 2.2 木粉与短切玻璃纤维的组合增强

不同木粉含量及玻璃纤维含量的组合增强复合材料的力学性能如表 2。

表2 木粉与短切玻璃纤维组合增强聚丙烯的力学性能

木粉质量分数/ %	短切玻璃纤维质量 分数/%	拉伸强度/ MPa	弯曲强度/ MPa	弯曲模量/ MPa	悬臂梁冲击 强度/ kJ·m <sup>-2</sup>
0	0	32.00(0.00)	52.24(0.11)	1404(12)	36.71(2.72)
10	0	33.81(0.58)	57.32(2.91)	1632(84)	37.30(3.10)
20	0	35.31(0.00)	66.97(1.25)	2097(168)	36.94(3.59)
30	0	38.16(0.58)	71.55(0.66)	2531(121)	36.29(3.62)
0	10	43.75(0.58)	63.79(0.74)	2438(96)	61.27(3.05)
10	10	49.01(1.87)	79.29(4.21)	2866(181)	60.45(3.92)
20	10	59.25(1.10)	94.91(4.43)	3624(175)	67.01(3.30)
30	10	55.90(0.88)	95.04(2.43)	4069(203)	49.18(3.35)
0	20	58.97(0.76)	95.79(1.06)	3612(107)	75.34(4.03)
10	20	65.59(2.21)	104.41(7.26)	3933(183)	73.77(3.46)
20	20	66.93(1.14)	105.48(4.95)	4211(183)	75.36(3.94)
30	20	61.37(1.82)	102.13(3.76)	4396(154)	65.58(3.52)
0	30	72.19(0.89)	112.86(1.14)	4319(114)	99.13(5.18)
10	30	75.36(0.74)	114.59(4.32)	4702(53)	97.34(6.99)
20	30	63.58(1.95)	110.18(5.3)	5012(129)	95.31(5.28)
30	30	58.29(1.32)	101.46(5.12)	5246(177)	80.54(2.73)

注:括号内为标准偏差。

从表2中可以看到,在相同木粉含量的复合体系中,随着玻璃纤维含量的增大,材料的拉伸、弯曲及冲击性能均提高。木粉含量对材料力学性能的影响与其中的玻璃纤维的含量有关。在不含玻璃纤维的体系,随着木粉含量的提高,材料的拉伸、弯曲性能有所改

善;当玻璃纤维质量分数为10%~20%时,木粉的质量分数从0提高到20%,材料的拉伸、弯曲性能提高,随着木粉含量的进一步增加,体系在混合时,一些玻璃纤维及木粉不能完全被聚合物包覆,从而造成界面缺陷,引起材料拉伸、弯曲强度下降。当玻璃纤维质量分数达到30%时,木粉质量分数为20%,材料拉伸及弯曲强度即出现下降。随着木粉或玻璃纤维含量的增大,材料的模量升高。

选择合适的配方,可以获得力学性能好、成本低并可作为结构材料使用的废弃木粉与短切玻璃纤维组合增强聚丙烯材料。

### 2.3 木粉与玻璃纤维毡的组合增强

不同木粉含量及不同玻璃纤维毡面密度的木粉与玻璃纤维毡组合增强聚丙烯复合材料,其力学性能如表3。

表3的结果表明,在木粉含量相同的情况下,组合增强的复合材料其力学性能(包括拉伸强度、拉伸模量、弯曲强度、弯曲模量、缺口悬臂梁冲击强度等)随着玻璃纤维毡面密度的增大(在330、720、950 g/m<sup>2</sup>内)而提高。在木粉与玻璃纤维毡组合增强的复合材料中,存在木粉和玻璃纤维两种增强材料,其中玻璃纤维的强度及模量要高于木粉,组合增强材料的力学性能特别是拉伸及弯曲性能主要取决于玻璃纤维。纤维增强复合材料的强度、模量符合复合定律:

$$T_c = K T_f \nu_f + T_m \nu_m \quad (1)$$

式中: $T_c$ 、 $T_f$ 、 $T_m$ 分别为复合材料、增强材料和基体的强度或模量; $\nu_f$ 、 $\nu_m$ 分别为增强材料与基体的体积分数; $K$ 为与界面相关的系数。

表3 木粉与玻璃纤维毡组合增强聚丙烯的力学性能

木粉质量分数/%	纤维毡面密度/g·m <sup>-2</sup>	拉伸强度/MPa	拉伸模量/MPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/MPa	悬臂梁冲击强度/J·m <sup>-2</sup>
0	320	52.35(4.37)	3221(383)	78.62(8.72)	2412(270)	372.8(49.31)
10	320	58.24(5.85)	3710(449)	83.40(8.69)	2904(467)	360.71(56.83)
20	320	61.08(7.42)	4037(414)	94.47(8.08)	2952(420)	376.92(56.95)
30	320	54.45(4.09)	4028(409)	83.56(6.27)	2897(339)	380.78(51.19)
0	720	69.56(8.31)	4084(491)	114.27(12.04)	4020(310)	602.41(57.65)
10	720	73.99(5.19)	4402(206)	130.43(4.39)	4338(408)	569.77(53.35)
20	720	76.78(3.22)	4471(396)	112.62(3.61)	4350(269)	579.71(87.68)
30	720	65.47(6.39)	4371(223)	108.10(3.42)	4238(254)	586.71(65.90)
0	950	107.65(8.78)	5507(679)	134.20(15.27)	5080(519)	816.37(69.72)
10	950	110.99(9.76)	5888(725)	135.59(6.33)	5176(167)	812.61(74.96)
20	950	105.90(11.39)	5854(832)	126.38(8.26)	5135(439)	824.01(40.83)

注:括号内为标准偏差。

随着使用玻璃纤维毡面密度的增加,材料中的玻璃纤维含量将增大,在体系界面结合状况相同的情况下,材料的拉伸强度及模量、弯曲强度及模量均增大。

在由连续玻璃纤维组成的毡增强的复合材料中,纤维的末端较少,由于纤维末端效应所引起的应力集中及裂纹的引发亦较少。随着玻璃纤维含量的增加,材料通过界面脱粘、纤维拔出、局部基体塑性形变等过程吸收外加冲击能量的能力增强<sup>[12~14]</sup>,所以随着玻璃纤维毡面密度的增大,组合增强材料的缺口悬臂梁冲击强度增大。

木粉含量对组合增强复合材料性能的影响与材料中玻璃纤维毡的面密度有关。由面密度为 330 g/m<sup>2</sup>的玻璃纤维毡制得的材料,当木粉质量分数在 0~20% 范围内变化时,随着木粉含量的增大,材料的拉伸及弯曲性能(包括强度和模量)均有所提高,当木粉达到 30% 时,材料的拉伸及弯曲性能开始出现下降的趋势。对于面密度为 720 g/m<sup>2</sup>的玻璃纤维毡组成的复合材料,含有 10% 木粉的材料其拉伸及弯曲性能高于不含木粉的复合材料;当木粉质量分数达到 20% 时,材料的弯曲性能出现下降。而对于面密度为 950 g/m<sup>2</sup>的玻璃纤维毡组成的复合材料,当木粉质量分数达到 20% 时,材料的拉伸及弯曲性能(包括强度和模量)均出现下降;当木粉质量分数达到 30% 时,在通常的成型条件下,聚合物熔体无法到达纤维毡的中间层,产生明显的缺陷。几种面密度的玻璃纤维毡形成的组合增强材料其冲击强度均表现出相同的趋势,随着木粉的加入,材料的冲击强度有轻微的下降,但随着木粉含量的增大,冲击强度又有所回升。

对于填充聚合物体系,其黏度  $\eta$  与填料含量的关系可用 Einstein 方程来描述<sup>[15]</sup>:

$$\eta = \eta_1(1 + K_g v_f) \quad (2)$$

式中: $\eta_1$  为无填料时的黏度, $v_f$  为填料含量, $K_g$  为与填料几何形状相关的常数。

但是随着木粉含量的增加,体系在聚丙烯熔融状态下的黏度增大、流动性将变差。对于相同几何结构的玻璃纤维毡,毡的面密度不同,在复合材料制备的浸渍过程中,聚合物熔体沿着毡厚度方向的流动距离也不一样,对于面密度大的毡,要想获得良好的浸渍,聚合物熔体沿毡厚度方向的流动距离要长。随着聚合物熔体流动性的下降,熔体对玻璃纤维毡特别是面密度大的玻璃纤维毡的浸渍变得越来越困难,将可能引起一部分纤维不能与聚合物基体充分接触,将造成这部分纤维无法发挥增强作用。

对于木粉与面密度为 330 g/m<sup>2</sup>的玻璃纤维毡组合

增强的复合体系,毡的厚度及厚度方向的流动阻力较小,浸渍过程中聚合物熔体在毡厚度方向的流动距离也较短,聚合物熔体容易与毡形成良好的浸渍。当木粉的质量分数在 0~20% 范围内变化时,聚合物熔体仍能与玻璃纤维毡形成较好的浸渍,因此面密度为 330 g/m<sup>2</sup>的玻璃纤维毡与木粉组合增强的复合材料,其拉伸、弯曲性能随着木粉含量加入的增大而提高。当木粉质量分数到达 30% 时,聚合物熔体黏度的提高降低了体系的浸渍效果,材料的拉伸、弯曲性能呈现下降的趋势。

对于面密度为 720、950 g/m<sup>2</sup>的玻璃纤维毡与木粉的组合增强材料,由于毡的厚度及厚度方向的流动阻力较大,要使体系形成良好的浸渍,聚合物熔体需在毡厚度方向流动的距离较长,聚合物熔体流动性对体系浸渍效果的影响要相对大一些,当体系中木粉质量分数达到 20% 时,体系的浸渍效果开始下降,材料的拉伸及弯曲性能就可能出现降低的现象。

木粉的加入提高了聚丙烯树脂的模量,在受到外加冲击载荷时,基体发生塑性变形的能力下降,从而会使组合增强材料吸收冲击能量的能力降低;随着木粉含量的增加,材料由于木粉与聚丙烯的脱粘、木粉的拔出等方式吸收能量的能力提高<sup>[16]</sup>,因而材料的冲击性能将有所回升。

可见,木粉与玻璃纤维毡组合增强,可以显著提高木粉增强聚丙烯的力学性能。

### 3 结论

(1)通过适当的界面处理,木粉与聚丙烯间的相容性可以得到改善,二者间的界面结合强度有所提高。使用偶联剂 KH-550 对木粉进行表面处理,同时在基体中添加接枝极性基团的改性聚丙烯,可取得显著的效果,随着添加改性聚丙烯的增加,材料的强度、模量增大,但改性聚丙烯质量分数超过 5% 以后,材料的冲击强度出现下降的趋势。

(2)在木粉与短切玻璃纤维组合增强的复合材料中,随着玻璃纤维含量的增大,材料的性能提高;而木粉含量对材料性能的影响与其中的玻璃纤维含量有关;采用短切玻璃纤维与废弃木粉组合增强,可以大幅度提高木粉增强聚丙烯的力学性能,并可降低玻璃纤维增强聚丙烯的成本,有利于拓展木粉及玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的应用范围。

(3)采用玻璃纤维毡与废弃木粉组合增强,可以显著提高木粉增强聚丙烯的力学性能,可减少玻璃纤维的用量,降低材料成本,同时还能减轻材料表面玻璃纤

维对人体皮肤的刺激。

### 参考文献

- [1] Mannan K H M, Mmunir M D S. Characterization of jute fibers treated with soap-glycerol micelles[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2000, 77: 852 ~ 856
- [2] 廖兵, 黄玉惠, 陈鸣才. 改性木纤维对 LDPE 和木纤维复合材料力学性能的影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 1999, 15(3): 123 ~ 125
- [3] Joseph K, Thomas S. Effect of aging on the physical and mechanical properties of sisal-fiber reinforced polyethylene composites[J]. *Composites Science and Technology*, 1995, 53: 99 ~ 110
- [4] 李思良, 刘易凡. 植物纤维/热塑性树脂界面粘接作用研究[J]. *现代塑料加工应用*, 1999, 10(6): 18 ~ 19
- [5] Maldas D, Kokta B V. Influence of organic peroxide on the performance of maleic anhydride coated cellulose fiber-filled thermoplastic composite[J]. *Polymer Journal*, 1991, 23(10): 1163 ~ 1171
- [6] Wu J, Yu D, et al. Effect of fiber pretreatment condition on the interfacial strength and mechanical properties of wood fiber/PP composites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2000, 76: 1000 ~ 1010
- [7] Freddi G, Tsukada M, Shiozaki H. Chemical modification of wool fibers with acid anhydrides[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, 71: 1573 ~ 1579

- [8] 揣成智, 李树, 等. 聚丙烯/接枝木纤维复合材料相容性及性能的研究[J]. *中国塑料*, 2000, 14(5): 23 ~ 28
- [9] 吴国强, 赵便安, 等. 木粉的酯化改性[J]. *应用化学*, 1994, 11(5): 75 ~ 78
- [10] Felix J M, Gatenholm P. Formation of entanglements at brushlike interfaces in cellulose-polymer composites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1993, 50: 699 ~ 708
- [11] Singh B, Verma A, Gupta M. Studies on adsorptive interaction between natural fiber and coupling agents[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1998, 70: 1847 ~ 1858
- [12] Feies-Kozma Z S, Karger-Kocsis J. Fracture mechanical characterization of a glass fiber mat-reinforced polypropylene by instrumented impact bending[J]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 1994, 13: 822
- [13] Ericson M, Berglund L. Deformation and fracture of glass-mat-reinforced polypropylene[J]. *Composites Science and Technology*, 1992, 43: 269
- [14] Subramanian R V, Crasto A S. Electrodeposition of a polymer interphase in carbon-fiber composites[J]. *Polymer Composites*, 1986, 7(4): 201
- [15] 刘英俊, 刘伯元. 塑料填充改性[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998. 106
- [16] Park B, Balatinecz J J. Comparison of compounding processes for wood-fiber/thermoplastic composites[J]. *Polymer Composites*, 1997, 18(1): 79 ~ 89

(上接第 36 页)

液良好的成膜性, 抗水性、抗高低温性和较高的湿态粘接强度。

### 3 结论

依据分子设计原理, 根据乳液性能基本要求, 选用 PHMS/BA/St/MMA/MAA 五元共聚合, 其质量比为 10/43/41/4/2, 采用热分解引发剂 APS 和复配乳化剂, 用量分别为 0.2%、6%, 阴离子和非离子型乳化剂质量比为 1.3:7.5, 交联剂 NMA 用量为 1.5%; 采用预乳化种子乳液聚合工艺和间歇投料方式, 聚合温度为 80℃, 可以得到成膜性、抗水性、抗高低温性和胶膜力学性能优良的核壳结构有机硅/丙烯酸酯复合乳液。根据对乳液性能的具体需求, 选择不同的主硬单体, 在种子聚合阶段适宜调整硬/软单体的配比, 可以满足涂料、粘合剂、织物涂层和皮革涂饰等行业不同用途的需求。

### 参考文献

- [1] 曹同玉, 刘庆普, 胡金生. 聚合物乳液合成原理性能及应用[M]. 北

京: 化学工业出版社, 1999. 515 ~ 592, 420

- [2] 大森英三[口], 张育川. 功能性丙烯酸树脂[M]. 北京: 化学工业出版社, 1993. 308 ~ 595
- [3] 李光亮. 有机硅高分子化学[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [4] 杜作栋. 有机硅化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996
- [5] Noguchi T, Katoh T, Zhang W, et al. [C]. International conference on synthesis and polymer Emulsion, Kobe Japan, 1993, 9 ~ 22
- [6] Kinara Isato. [P] JP, 0892318. 1996
- [7] 黄世强, 彭慧, 李盛彪, 等. 含氢聚甲基硅氧烷/丙烯酸丁酯/羟甲基丙烯酸酯复合乳液的研究[J]. *高分子学报*, 1998 (6): 692 ~ 696
- [8] 阚成友, 孔祥正, 袁青, 等. 有机硅改性丙烯酸酯聚合物研究进展[J]. *高分子材料科学与工程*, 2000, 16(40): 1 ~ 3
- [9] 万超瑛, 卢秀萍. VAC/BA/AA 三元共聚物乳液的合成研究[J]. *涂料工业*, 2000 (12): 5 ~ 7
- [10] 刘德峰. 改性聚乙酸乙烯酯乳液的研究[J]. *中国胶粘剂*, 2001, 10(4): 21 ~ 23
- [11] 刘德峰, 黄艳芹, 张引沁. 聚丙烯酸酯织物涂层剂的合成与性能[J]. *印染助剂*, 2001, 18(3): 25 ~ 27
- [12] 管蓉, 艾照全, 李建宗. BA-MMA 系共聚乳液胶粘剂[J]. *粘接*, 1997, 18(4): 16 ~ 18
- [13] 赵德仁, 张焜盛. 高聚物合成工艺学[M]. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 1999. 80
- [14] 幸松民. 化工百科全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994. 948