

改性铸型尼龙的研究现状及发展趋势^{*}

闫 杰 熊党生 薛茂权

(南京理工大学材料科学与工程系,南京 210094)

摘要 综述了近年来 MC 尼龙的改性方法,着重论述了有关 MC 尼龙的增强、填充、共混等常规改性及减摩、纳米插层、功能化等特殊改性方法及其对材料性能的影响,同时解释了相应的改性机理。并针对国内的研究情况提出了几点看法。

关键词 铸型尼龙 改性 性能 纳米插层 发展趋势

铸型尼龙(MC 尼龙)也称单体浇铸尼龙,是一种性能优良的工程塑料。它是在常压下将熔融的己内酰胺减压脱水,并加入强碱性物质作催化剂进一步脱水后,与助催化剂(如聚异氰酸酯)等混合均匀后,直接注入预热到一定温度的模具中进行聚合而制得的。由于 MC 尼龙具有聚合温度低、工艺简单、结晶度高、分子质量大、力学性能高于普通尼龙、耐磨耗、自润滑、减震消音、耐油脂、耐化学腐蚀、使用范围宽等特点,在某些场合可代替铜、铝、钢等金属材料。近年来出现的 MC 尼龙回转型大型中空器件和连续聚合生产高分子质量尼龙 6 粒料技术,使其应用范围进一步扩大。但未经改性的 MC 尼龙在实际应用中存在着耐磨性和自润滑性欠佳、磨损率较大、尺寸稳定性和热稳定性不高等缺点,限制了 MC 尼龙制品的广泛应用。随着现代科学技术和实际应用的发展,人们对 MC 尼龙材料提出了更高的要求,于是,对 MC 尼龙的各種改性研究成为“热门”课题。

1 增强、填充 MC 尼龙

采用纤维增强、无机物填充是改性 MC 尼龙最为普遍的方法。为了使填料与 MC 尼龙有良好的结合力和相容性,一般要用硅烷或钛酸酯偶联剂对纤维、无机物进行预处理。

纤维增强 MC 尼龙是很有效的改性方法。李国禄等^[1]利用碳纤维(CF)增强 MC 尼龙,所用 CF 采用液相氧化法处理,即将 CF 浸泡在 60% 的硝酸溶液中,1 h 后取出。然后用 NaOH 溶液和水充分洗涤至 pH 值不显酸性为止。表 1 列出 MC 尼龙中加入未经表面处理和经表面处理 CF 的复合材料的力学性能,并与基体的性能进行了比较。由表 1 可以看出,经表面处理的 CF 起到了较明显的增强作用。这是因为经表面处理后增大了 CF 表面的凸凹度,比表面积增加,有利于与基体的机械嵌和,促进了两相界面间的粘接强度和层间剪切强度的提高。更重要的是表面处理增加了 CF 表面的含氧官能团(主要是羧基、羟基和羰基),提高了 CF 与基体树脂间的化学键合,从而提高了 CF 增强 MC 尼龙复合材料的层间剪切强度。表 1 还表明,随着 CF 含量的增加,复合材料的拉伸强度和硬度提高,总体来说弹性模量也有增大的趋势,冲击强度在 CF 为 5% 时有最大值,而弯曲强度在 CF 为 10% 时有最大值。而任紫菊等^[2]将碳纤维剪短、加热处理后,铺入模具中,与脱水的己内酰胺活性料聚合成型。虽

然 CF 未经预处理,但结果表明,CF 增强 MC 尼龙的拉伸强度和弹性模量等力学性能及热稳定性均有不同程度的提高,这是因为无机物能否对基体增强主要与它在基体中的分散有关。当无机物均匀地分散在基体中,无论无机物与基体树脂是否有良好的界面结合,都会产生明显的增韧效果^[3]。

表 1 CF 的表面处理及含量对材料力学性能的影响

项 目	MC 尼龙	MC 尼龙/未处理 CF(90/10)	MC 尼龙/处理 CF		
			95/5	90/10	85/15
拉伸强度 /MPa	73.3	68.7	85.2	89.2	90.7
弯曲强度 /MPa	120.0	117.8	135.9	140.3	129.3
弯曲弹性模量 /GPa	3.22	3.66	3.68	3.61	4.01
缺口冲击强度 /kJ·m ⁻²	5.9	4.0	6.9	5.9	4.5
洛氏硬度	48.0		60.0	61.0	69.0

CF 的价格比较昂贵,而玻璃纤维(GF)因具有价格优势,且又能克服 MC 尼龙的许多缺点,所以人们对 GF 增强 MC 尼龙的研究、应用较多^[4-6]。崔周平等的研究表明,加入 1% 的经 KH-550 处理的 GF 后 MC 尼龙的力学性能比加入未处理的 GF 有明显的提高。其原因是 KH-550 的烷氧基水解生成硅羟基,与 GF 表面的硅羟基发生了缩合,同时偶联剂之间的硅羟基互相缩聚,在 GF 表面形成偶联剂膜。而 KH-550 的 R 基团即氨基在 MC 尼龙聚合过程中,可进攻聚合过程中的酰亚胺结构中的羰基,并与之连接起来,这样就通过化学键使基体与 GF 结合起来,从而提高了界面的剪切强度。同时表明,当经表面处理的 GF 加入量为 10% 时,可使拉伸强度提高 32.3%,弯曲强度提高 74.3%,而缺口冲击强度则提高了 162%,弯曲弹性模量提高了 117%。

在 MC 尼龙中加入活性粉煤灰,不仅能减少己内酰胺的用量,显著降低成本,而且其力学性能明显提高,尺寸稳定性和耐热性也都得到较大的改善,同时吸水率和成型收缩率均降低。表 2 给出了活性粉煤灰增强 MC 尼龙的主要性能^[7]。而未活化的粉煤灰不能提高 MC 尼龙力学性能的原因是它与 MC 尼龙的相容性不好。此外,用 Al₂O₃ 填充的 MC 尼龙^[8]可以提高材料的耐磨性、力学强度、硬度和结晶度。以

^{*} 国家 863 计划资助项目(2002AA2Z4143)

收稿日期:2003-05-19

SiC 粒子为填料的改性 MC 尼龙^[9] 在干态摩擦下, 当 PV 值较低时, 复合材料的耐磨性能比纯尼龙好, 其磨损机理主要是磨粒磨损和粘着磨损。晶须增强增韧 MC 尼龙也获得了应用, 如用四脚状氧化锌晶须 (T-ZnO) 增强 MC 尼龙^[10], 使用 KH-550 的最佳用量为晶须用量的 0.5% ~0.8%; 当 T-ZnO 晶须添加量为 5% 时, 可使 MC 尼龙的拉伸强度提高 45%。而用超细冰滑粉对 MC 尼龙进行复配改性^[11] 时, 在不改变原有工艺的前提下, 可使改性 MC 尼龙制品具有外观光泽好、力学性能保留率高及降低成本等综合优势。用 T-ZnO 晶须增强 MC 尼龙, 还可显著提高复合材料的耐老化性能, 同时力学性能也有所提高^[12,13]。但是利用挤出、注射成型等工艺加工时 T-ZnO 晶须会被破坏。

表 2 活性粉煤灰对 MC 尼龙性能的影响

项 目	MC 尼龙	20% 粉煤灰	20% 活性粉煤灰
马丁耐热温度 /℃	68 ~72	74 ~78	76 ~80
吸水率 /% (24h)	0.8 ~1.3	0.6 ~0.9	0.6 ~0.85
(饱和)	5.8 ~6.6	4.2 ~5.0	4.2 ~4.5
尺寸稳定性	较差	较好	较好
收缩率	较大	较小	较小
拉伸强度 /MPa	71.68 ~86.5	66.7 ~73.2	73.6 ~91.6
冲击强度 /kJ · m ⁻²	215.8 ~262.5	210 ~248	226 ~264
弯曲强度 /MPa	135.5 ~157.3	121 ~149	142 ~161.1

注: 以 Na 为催化剂, 乙酰基己内酰胺为助催化剂的试验数据。

通常, 一种无机增强剂有可能会因自聚而影响增强效果, 若使用多种增强剂, 则可通过不同增强剂之间的作用而相对削弱同种增强剂的集束力。掺杂过程中不同增强剂易于进行力和能量的传递而形成良好的分散, 充分发挥各自的优势, 体现了良好的堆砌作用, 使材料的力学性能得到提高。但目前对两种无机增强剂协同增强 MC 尼龙的报道还较少, 有可能会成为今后研究的重点。

2 MC 尼龙的共混改性

在尼龙改性研究中, 有关人员 对尼龙 6 与聚烯烃、烯烃共聚物、弹性体及高性能工程塑料的共混改性作了大量的研究工作^[14-16]。近年来又盛行选用聚醚、聚酯、聚丁二烯等聚合物来改性 MC 尼龙以增加韧性, 提高其使用性能。高建国等^[17] 对丙二醇和四氢呋 共聚醚改性 MC 尼龙进行了研究, 结果表明, 聚醚分子质量对 MC 尼龙的力学性能有很大的影响。当聚醚的分子质量提高时聚醚改性 MC 尼龙的强度增加而韧性降低。他们认为, 造成这一现象的原因是, 一方面确实提高了整个分子链的刚性, 但当聚醚分子质量增大到一定值(如分子质量为 10 000)、分构象数服从统计规律时, 分子质量对分子链柔顺性的影响就非常轻微; 另一方面聚醚的嵌入对 MC 尼龙的聚集态结构尤其是结晶结构产生了影响, 而且在更大程度上结晶结构的变化对 MC 尼龙的韧性影响更大, 聚醚分子质量大小及其含量对 MC 尼龙韧性的影响应在 MC 尼龙聚集态结构尤其是晶体结构变化基础上发挥效应。

刘俊宁^[18] 用 E-51 环氧树脂 (EP) 对 MC 尼龙进行改性, 使其综合性能有了明显的提高, 其中冲击强度提高了数倍。表 3 列出 EP 改性 MC 与普通 MC 尼龙的力学性能比较。它的改性基础是己内酰胺在催化剂 NaOH 和助催化剂 TDI 的作用下生成 MC 尼龙, 生成物中的一HN—CO—基团含有能与 EP 反应的活泼氢, 环氧基与活泼氢作用后生成交联结构, 交联结构的存在破坏了分子空间排列的规整性, 减少了改性 MC 尼龙中的氢键数量, 使改性 MC 尼龙的结晶度下降, 降低了反应时形成的内应力, 从而减少了材料的内部缺陷, 且交联结构本身也能提高材料的力学性能, 故而 EP 改性 MC 尼龙具有较高的冲击性能。

表 3 EP 改性 MC 尼龙的主要力学性能

项目	EP 改性 MC 尼龙	MC 尼龙
冲击强度 /kJ · m ⁻²	405	297
缺口冲击强度 /kJ · m ⁻²	47	7.8
弯曲强度 /MPa	151	147
压缩强度 /MPa	97	104
拉伸强度 /MPa	78	77

用橡胶改性 MC 尼龙实质上是具有松弹性的橡胶分子链段嵌入 MC 尼龙刚性链上, 从而达到增韧改性的目的。这一技术是把两类低分子质量、低粘度的活性单体或预聚体混合注入模具, 瞬间反应固化, 而直接得到橡胶改性 MC 尼龙制品, 在方法上基本与 MC 尼龙本身的工艺技术相似。这种嵌段共聚物是由尼龙硬段提供材料的强度、刚度、模量、耐热性及耐磨性等, 而由橡胶软段提供材料的冲击性、柔韧性和低温性等。要与己内酰胺进行阴离子共聚合反应, 软段组分要满足 2 个条件: (1) 软段组分的一端或两端要接有己内酰胺阴离子聚合的增长中心; (2) 软段组分及软、硬段间的接合键能在共聚反应及成型过程中保持稳定。在软段中, 应含有能与所使用的引发剂发生反应的官能团, 而且软段的 T_g 要比较低。王新华等^[19] 以 B 长链活性剂为 MC 尼龙的改性助剂, 采用嵌段共聚方法进行 MC 尼龙的改性, 获得尼龙嵌段共聚物。当 B 长链活性剂含量从 5% 增至 20% 时, 共聚物的熔点、结晶度降幅不大, 保证了共聚物的刚性(硬度 76 ~83, 拉伸强度 50 ~79.1 MPa, 拉伸弹性模量 1200 ~2500 MPa) 和高韧性(断裂伸长率 30% ~284%, 缺口冲击强度 11.7 ~110.6 kJ/m²) 特征。

3 MC 尼龙的减摩改性

在 MC 尼龙中添加氮化硼、二硫化钼、石墨、油类及油脂类等润滑剂, 可以提高 MC 尼龙的减摩、耐磨及自润滑性。这几种材料是利用 MC 尼龙简便的制造工艺, 在合成过程中加入润滑剂以获得 MC 尼龙为连续相、润滑剂为分散相的复合材料。英国 Nylacast 公司^[20] 推出的 Nylube MC 尼龙具有优良的润滑性能和力学性能, 摩擦系数仅为 0.08, 且不易迁移。许多文献^[21-24] 介绍了固体、液体润滑剂对 MC 尼龙的改性。在固体润滑剂中, 为了使填料分布均匀, 常采用表面活性剂(平平加等) 来分散, 或加入少量聚合物搅拌均匀后

再浇铸成型。其原理是, 润滑剂能在 MC 尼龙制品表面形成一边界面层, 好像由一种微滚轴承构成了两个摩擦面之间的垫层, 从而减小摩擦力。在原 MC 尼龙基体中加入适量的润滑油(主要是油类、油脂类、碳氢化合物或硅酯), 经加工制成均匀一体的减摩自润滑材料。黑龙江省尼龙厂生产的含油 MC 尼龙的各项物理力学性能(见表 4) 达到或超过了英国进口的含油 MC 尼龙, 特别是在吸水率和热变形温度上更为突出, 使含油 MC 尼龙的吸水率明显减小, 尺寸稳定性和热变形温度均明显提高, 因此含油 MC 尼龙具有较高的耐热性和耐载荷能力。其润滑机理是^[25], 油滴被均匀、稳定地分布在尼龙基体内, 却又好像被“冻结”一样, 不会自行析出, 只有处于表层的油滴可渗出到表面起润滑作用。当表面磨损后, 次表层就代替之, 从而大大增加了 MC 尼龙自身的润滑性、耐磨性和润滑的持久性。

表 4 含油 MC 尼龙的物理力学性能

项 目	试验方法	普通 MC 尼龙	含油 MC 尼龙	英国含油 MC 尼龙
拉伸强度 / MPa	GB 1040 - 76	76	72	80 ~91
弯曲强度 / MPa	GB 1042 - 79	132	130	126
压缩强度 / MPa	GB 1041 - 79	98	76	60 ~80
弯曲弹性模量 / MPa	GB 9341 - 88		2970	2800
缺口冲击强度 / $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	GB 1043 - 79	7.0	9.0	160 ~269 (无缺口)
硬度 (HB)	HG2 - 168 - 65	23	23	80 ~850
热变形温度 / $^{\circ}\text{C}$	GB 1634 - 79	76	127	90 ~120
吸水率 / %	GB 1034 - 70	0.34	0.27	0.5 ~1.0

4 MC 尼龙纳米复合材料

蒙脱土(MMT) 具有层状结构, 通过有机膨化, 可使聚合物单体插入 MMT 层间, 然后引发单体聚合, 在聚合过程中 MMT 解离而得到聚合物/MMT 纳米复合材料。最成功的例子有 PA6/MMT 复合材料^[26,27]。美国 RTP 塑料配混公司开发的尼龙纳米复合材料是采用一种特殊的混配方法, 在尼龙中添加 3% ~5% 的有机粘土混合体。该复合材料的冲击强度与尼龙 6 接近, 而热变形温度却可提高 53%, 拉伸强度提高了 63%。张琴等^[28] 将 MMT 用硅烷偶联剂进行处理, 制成改性 MMT, 与己内酰胺一起加入反应器中, 采用正常的 MC 尼龙制备工艺制得复合材料。当 MMT 的用量为 4% 时, 复合材料的热变形温度提高 16 $^{\circ}\text{C}$, MMT 用量为 5% 时, 硬度提高幅度为 24%。表 5 给出了 MMT 用量对 MC 尼龙复合材料热性能和硬度的影响。

表 5 MMT 用量对 MC 尼龙 /MMT 复合材料热性能和硬度的影响

MMT 含量 / %	热变形温度 / $^{\circ}\text{C}$	硬度 / MPa
0	202	0.57
1	202	0.62
2	207	
3	214	0.69
4	218	≈ 0.70
5	212	0.71

5 功能化 MC 尼龙

近年来, MC 尼龙的应用领域不断扩展, 对 MC 尼龙进行阻燃、抗静电改性使之具有阻燃、抗静电性能成为必不可少的研究课题。对 MC 尼龙阻燃、抗静电改性的方法是添加阻燃剂、抗静电剂。对阻燃剂、抗静电剂的选择原则是^[29], (1) 具有化学惰性, 即不与单体和各种助剂发生化学反应; (2) 在高温下稳定, 不挥发、不分解, 能耐受 170 ~180 $^{\circ}\text{C}$ 的聚合温度; (3) 不含水分; (4) 能实现分子分散, 以单个分子较好地分散于己内酰胺单体中。许振山^[30] 认为抗静电效果较好的有磺酸盐和烷基磷酸酯类(阴离子型)、磺酸盐甜菜碱(两性型) 和烷基醇酰胺(非离子型) 等。他采用其中的磺酸盐抗静电剂成功地试制了抗静电 MC 尼龙, 结果表明, 普通 MC 尼龙(干态) 的体积电阻率为 $3 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, 用抗静电剂改性后可下降为 $6 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$, 并且耐洗涤, 可长久抗静电, 外观和其它物性也基本保持不变。同时用季胺盐(如 SN) 阳离子型抗静电剂做了对比试验, 发现季胺盐会使阴离子失去活性, 无法实现 MC 尼龙的聚合, 未能制得产品。磺酸盐的抗静电机理是其分子中含有亲油性和亲水性两种基团, 亲油部分与 MC 尼龙有较强的亲和力, 亲水部分则吸附空气中的水分子, 使尼龙表面形成单分子导电层, 从而起到泄露静电电荷的作用, 产生抗静电效应。

焦斌^[31] 认为添加炭黑能改进 MC 尼龙的抗静电性能。抗静电剂选用磺酸盐 A, 它与 MC 尼龙具有较好的相容性。HPT(六甲基磷酰三酰胺) 对己内酰胺聚合无抑制作用, 对己内酰胺单体及用作抗静电剂的盐类等均有较好的溶解性, 能充当“桥梁”溶剂的作用, 有利于抗静电剂的分散, 大量使用可在 MC 尼龙中均匀分布; 聚合时不会因聚合放热和收缩而在材料内形成气泡或空穴, 效果较好, 另外其分子偶极矩大(25 $^{\circ}\text{C}$ 时为 $18.48 \times 10^{-30} \text{C} \cdot \text{m}$), 具有较强的吸水性, 因而可提供一定的抗静电效果。结果表明, 用磺酸盐 A 和 HPT 配合用作 MC 尼龙的抗静电改性助剂, 可改善抗静电剂的分散性, 使材料表面电阻率长期稳定在 $1 \times 10^7 \Omega$ 数量级。他^[32] 对多种阻燃剂进行试验考察后认为, 红磷 - MgO 、PL - 10(含磷和苯环的化合物) 和 Sb_2O_3 - 溴化物三种阻燃剂适合用作 MC 尼龙的阻燃剂, 见表 6。这些阻燃剂经预处理后, 在 MC 尼龙中分散均匀, 不影响聚合。在 100 质量份己内酰胺中添加 5.0 份红磷和 5.0 份 MgO 或 1.0 份 Sb_2O_3 - 溴化物, 可将 MC 尼龙的氧指数由 22% 分别提高到 26.8% 和 27.5%, 并且在一定用量范围内, 对材料的力学性能无明显影响。上述三种阻燃剂的阻燃机理为, MC 尼龙燃烧时, 红磷解聚为易挥发的白磷(P_4), 首先与尼龙表面的氧反应生成磷酸, 这一方面降低了尼龙表面的含氧量以阻止聚合物氧化分解, 提高其抗氧化稳定性; 另一方面磷酸脱水转化成玻璃状的多磷酸覆盖物, 使聚合物脱水碳化形成坚固的残碳层, 减少了可燃性分解产物向气相的扩散, 降低了火焰与聚合物间的热传递, 抑制了燃烧。另外, 红磷燃烧产生的一氧化磷(PO) 进入蒸气相可有力地抑制活泼自由基的产生, 降低了火焰强度。

MgO 的介入, 促进了红磷的氧化, 使红磷阻燃效果更佳。PL-10 中的磷与红磷阻燃机理类似, 与其中含碳量较高的苯环发生协同作用, 加快了残碳层的生长, 增强了阻燃效果。Sb₂O₃-溴化物则生成大量气态的 SbBr₃ 进入火焰中捕捉聚合物燃烧时的活泼自由基, 起到阻燃作用。

表 6 各种阻燃剂对 MC 尼龙聚合的适用性

阻燃剂	适用性	阻燃剂	适用性
溴联苯醚	阻燃	硼酸锌	聚合、大量沉降
三聚氰胺	阻燃	红磷	缓聚、分散性较差
多磷酸胺	阻燃	Mg(OH) ₂	阻燃
磷酸酯类	阻燃	MgO	聚合、分散性较好
氯化石蜡	阻燃	PL-10	聚合、分散性良好
四溴双酚 A	阻燃	Sb ₂ O ₃ -溴化物	聚合、分散性较差

6 结语

近年来, 随着我国综合实力的不断提高, 人们对高性能塑料的需求日益增强。由于 MC 尼龙特有的高性能, 必然会引起人们的极大关注。同时, 国内外学者对尼龙改性进行了大量的研究, 也获得了许多性能优良的产品。对于国内的研究而言, 应当引起重视的: 一是研究成果的产业化, 应将一些比较成熟的科研成果引入规模生产, 并逐步提高产品的质量。二是开发尼龙改性的新方法, 在传统尼龙改性研究的基础上, 开发一些新型的增韧、增强方法, 如利用互穿聚合物网络(IPN)技术合成尼龙材料; 通过聚烯烃弹性体、纳米材料等对 MC 尼龙增强增韧改性; 利用离子型聚合物与通用聚合物的共混物及各种增强剂的协同效应来对 MC 尼龙进行改性等。

参考文献

1 李国祿, 等. 工程塑料应用, 2001, 29(2) : 9

2 任紫菊, 等. 复合材料学报, 2000, 17(2) : 16

RESEARCH SITUATION AND DEVELOPMENT TREND OF MODIFIED MC NYLON

Yan Jie, Xiong Dangsheng, Xue Maoquan

(Department of Materials Science & Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

ABSTRACT The modification technics of MC Nylon are reviewed in recent years. Then the routine modification means of MC Nylon such as reinforcing, filling, blending, and the especial means such as anti-friction, nanointercalation, functionlization etc. are primarily introduced, including their effects on the properties of materials and the corresponding mechanism of modification. At last, several opinions aiming at the domestic studies are given.

KEYWORDS monomer cast Nylon, modification, property, nanointercalation, developing trend

首套千吨级聚苯硫醚装置通过考核

四川省化工行业办公室受四川省发展计划委员会的委托, 会同德阳市发展计划委员会于 7 月 10 日~14 日组织专家对四川省华拓科技有限责任公司千吨级硫化钠法合成线性高分子量聚苯硫醚(PPS)生产装置进行了 72 h 现场技术考核。总投资 10650 万元的加压法合成注塑级 PPS 技术, 经过 9 个月的建设, 于 2002 年 10 月 20 日一次投料试车成功, 经过 8 个月的试生产, 装置运行正常。考核结果表明, 该装置在中试基础上, 经过产业化转化, 取得了聚合、洗涤、干燥、

3 陈立新, 等. 粘接, 2001, 22(3) : 22

4 李国祿, 等. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(8) : 9

5 崔周平, 等. 北京机械工业学院学报, 1999, 14(1) : 11

6 陈显坤, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(1) : 27

7 吕瑶姣, 等. 塑料科技, 1991(3) : 15

8 段予忠, 等. 塑料工业, 1990(1) : 35

9 李国祿, 等. 清华大学学报(自然科学版), 2000, 40(4) : 111

10 田雅娟, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(8) : 4

11 王新华, 等. 工程塑料应用, 2001, 29(10) : 4

12 Takarada A, et al. JP 07 109418. 1995-04-25

13 Nomura K, et al. JP 0570626. 1993-03-23

14 解孝林, 等. 工程塑料应用, 1997, 25(5) : 50

15 Misra A, et al. J Appl Polym Sci, 1993, 50: 1179

16 傅荣政, 等. 工程塑料应用, 1998, 26(2) : 23

17 高建国, 等. 中国塑料, 2000, 14(10) : 33

18 刘俊宁. 工程塑料应用, 1999, 27(5) : 5

19 王新华, 等. 工程塑料应用, 2000, 28(11) : 4

20 汪多仁. 合成树脂与工程塑料生产技术. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.

21 郑辉, 等. 塑料工业, 1991(1) : 37

22 王敬东. 塑料科技, 1991(5) : 33

23 刘仲文. 工程塑料应用, 1992, 20(4) : 13

24 曲建俊, 等. 工程塑料应用, 1994, 22(3) : 11

25 张吉林. 工程塑料应用, 1998, 26(1) : 28

26 肖泳. 工程塑料应用, 1998, 26(8) : 28

27 乔放, 等. 高分子通报, 1997(3) : 135

28 张琴, 等. 工程塑料应用, 1999, 27(11) : 9

29 陈显坤, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(1) : 27

30 许振山, 等. 塑料科技, 1992(4) : 9

31 焦斌. 塑料工业, 1998, 26(3) : 130

32 焦斌, 等. 工程塑料应用, 1996, 24(5) : 5

溶剂回收、“三废”治理等核心技术上的重大突破和进展, 显著提高了产品质量, 大幅度降低了溶剂消耗, 实现了“三废”的资源化治理, 工艺路线合理, 流程畅通, 自动化控制水平高, 能适应工业化大生产的需要; 合成装置的生产能力为 1420 t/a 高分子量 PPS 树脂, 超过设计值; 主要原材料、动力及能源消耗指标符合设计要求; 高分子量 PPS 树脂、40% 玻纤增强粒料符合有关标准要求; 生产的 PPS 树脂的销售成本为 40807 元/t, 以售价 8 万元/t 计, 利润率 34.19%, 利税率 44.18%, 经济效益良好。(郑刚)