

PEEK 改性研究进展

王喜梅¹ 齐贵亮¹ 蔡江涛² 张玉龙¹

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2. 西安科技大学化学化工学院, 西安 710054)

摘要 简要介绍了 PEEK 的物理、力学性能及其在机械、石油、化工、医药等领域的应用前景,从纤维增强、无机填料填充、与聚合物共混三个方面对聚醚醚酮的改性技术、聚醚醚酮复合材料的成型工艺及性能进行了讨论。

关键词 聚醚醚酮 改性 纤维增强 填充 共混

聚醚醚酮(PEEK)是一种结晶性、不透明、浅茶灰色的芳香族系超耐热型热塑性工程塑料,一般以 4,4'-二氟苯酮或 4,4'-二氯苯酮与对苯二酚盐或钠盐为原料缩聚而成。

PEEK 由于大分子链上含有刚性的苯环、柔性的醚键及提高分子间作用力的羰基,且结构规整,因而具有耐高温、耐化学药品性、耐辐射、强度高、断裂韧性高、易加工等优异性能及线胀系数较小、自身阻燃、摩擦学性能突出、绝缘、耐水解等特点。因此,其在汽车零部件、半导体、航天、石化、机械、医疗、电子电器等领域得到广泛的应用。

PEEK 可与聚合物如聚四氟乙烯(PTFE)、聚醚砜(PE-SU)、液晶聚合物(TLCP)、聚醚酰亚胺(PEI)等共混;也可与碳纤维(CF)、玻璃纤维(GF)、晶须等复合增强,形成性能更优越的复合材料;还可填充微米、纳米级无机颗粒,如 Al_2O_3 、CuO 等,以期改善其摩擦学性能,同时提高 PEEK 的刚性、尺寸稳定性及冲击强度等性能,从而进一步扩大其应用范围。

笔者从纤维增强、无机填料填充及与聚合物共混三个方面阐述 PEEK 的改性研究进展。

1 纤维增强 PEEK

GF、CF 和各种晶须与 PEEK 有很好的亲和性,可增强 PEEK 制成高性能的复合材料,提高 PEEK 的使用温度、模量、强度、尺寸稳定性等。

1.1 PEEK/GF 复合材料

邓杰等^[1]研制了 GF 增强 PEEK 复合材料。成型工艺是先将 PEEK 预浸带缠绕固定在一板形件模具上,然后再模压成型复合材料。研究发现不同的成型工艺条件对复合材料结晶形态、性能产生较大的影响。使用较低的成型温度和中等冷却速度有利于提高复合材料的力学性能。PEEK/GF 复合材料具有优异的热性能,其热变形温度为 280℃。

顾有伟等^[2]采用挤出造粒制备了 PEEK/GF 复合材料,经注塑成型加工成试样。采用高温上胶剂改善 GF 的表面缺陷,强化与基体树脂的粘结力,并使其在加工温度高达 400℃时仍保持良好的加工性能。高温上胶剂的使用,可有效地提高复合材料的力学性能,更显著提高了冲击强度。PEEK/GF 复合材料界面粘结强度的提高有效阻止了材料因受外力而产生的纵向或横向裂纹。

Lin T W 等^[3]研制了 10% 无规短切 GF 增强 PEEK 复合材料,并将其制成等弹性的体内移植体。该复合材料可促进

人体骨细胞中骨钙素的形成和骨细胞的增加。

Lal Babu 等^[4]研制了 PEEK/GF 复合材料,并将该复合材料浸在不同溶剂中 7~15 d 后,研究溶剂对层间剪切强度的影响效果。同时制造了 GF 增强不饱和聚酯(UP)和 GF 增强环氧树脂(EP)复合材料,并研究了它们的层间剪切强度。测试结果表明,PEEK/GF 复合材料的层间剪切强度远远优于 EP/GF 和 UP/GF 复合材料。

1.2 PEEK/CF 复合材料

崔永丽等^[5]研制了 PEEK/CF 复合材料,并用磨损试验机对 PEEK/CF 复合材料进行室温干滑动磨损试验。结果表明,随着载荷的升高和对磨时间的延长,材料的摩擦系数逐渐降低并趋于稳定,磨损量呈上升趋势。加入 CF 可以明显地降低材料的摩擦系数和磨损量,当 CF 质量分数为 5%~10% 时,复合材料的摩擦系数和磨损量较低;加入适量固体石墨可进一步降低 PEEK 复合材料的摩擦系数和磨损量。

唐磊等^[6]用 CF、TLCP、铜粉等对 PEEK 进行改性,制备了改性 PEEK 复合材料,讨论了各种添加剂对改性 PEEK 性能的影响。结果表明,用 TLCP、CF 等增强的 PEEK 可提高复合材料的强度和耐磨性,并改善加工性。该复合材料能满足发动机油泵齿轮的使用要求。

英国 Invibio 公司^[7]新推出牌号为 PEEK-Optima 的 PEEK/CF 复合材料。这种材料具有优良的力学和物理性能,做成人造骨关节,可与人体骨骼、血液和组织接触 30 年以上。作为结构聚合物材料,PEEK-Optima 的耐磨损性优于超高分子量聚乙烯(UHMWPE),比一般聚合物、金属、陶瓷更适合做活动关节。另外,PEEK-Optima 中 CF 与母体树脂间的界面键合强度远高于 UHMWPE 与母体树脂间的相应强度。与其它材料比,新 PEEK/CF 复合材料的刚性与人体骨骼相近,因而人体受应力负荷合理,应力冲击小,并已被认证为生物相容性材料,符合美国 FDA 关于药品和医用设施相关文件条款要求。

J. Denault 等^[8]将 PEEK/CF 复合材料共固化用于航空航天材料。连续固化工艺条件为 400℃/60 min,在进行几个固化周期后,可使树脂基体的性能得到改善。PEEK 在固化过程中的交联结构可提高 PEEK/CF 复合材料的拉伸和界面

性能。

M. Kurokawa 等^[9]将 PEEK/CF 复合材料注射成型齿轮,并测试了齿轮的性能。研究发现,PEEK/CF 复合材料齿轮的磨损过程依据测试条件不同而不同。在啮合区转移膜是否存在、PEEK 和 CF 的亲合力、压缩弹性模量、齿轮的表面硬度及 CF 的性能都对齿轮的磨损厚度起作用。

K. Fujihara 等^[10]研制了 PEEK/CF 编织物复合材料,用作人体矫形骨板。研究了两种编织方向的 PEEK/CF 编织物复合材料骨板的弯曲性能。与以前制备的编织复合材料骨板相比,此复合材料骨板的弯曲强度仅为原来的 55% ~ 59%,此复合材料可用于人体前臂或肱骨在受伤后骨骼的固定。

C. L. Ong 等^[11]研制了 PEEK/石墨纤维预浸料复合材料,将其固化成型战斗机头部着陆装置门。该复合材料具有先进的力学性能、较短的成型制造周期及优良的耐环境适应性等特点。

Lin S H 等^[12]研制了纤维长度分别为 2、3、4、5 cm 的 AS-4 非连续石墨纤维增强 PEEK 复合材料。研究了该复合材料的力学性能和形态。研究表明,纤维越长,复合材料中纤维的取向一致性越好。纤维长度为 5 cm 时,复合材料中纤维取向度为 83%;纤维长度为 2 cm 时,复合材料中纤维取向度为 69%。用 5 cm 纤维增强的复合材料的拉伸强度比连续纤维增强复合材料高出 60%,而弯曲强度和弯曲弹性模量达到连续纤维增强复合材料的 85%。且在纤维质量分数为 24.4% 时,非连续石墨纤维增强复合材料的性能都远远高于短纤维连续增强的 PEEK 复合材料。

1.3 PEEK/混杂纤维复合材料

刘爱萍等^[13]研制了不锈钢纤维/CF 混杂增强 PEEK 复合材料。其最佳质量配比为 19.63% 的 PEEK、7.57% 的不锈钢纤维、10.97% 的 CF、6.51% 的腰果壳油粉及 55.33% 的填料。经优化工艺制备的复合材料的摩擦系数稳定,磨损率低,在低温区其磨损主要属于磨粒磨损,在较高温度时属于粘着磨损和磨粒磨损的共同作用。

Fu H 等^[14]研制了 PEEK/不锈钢纤维/CF 复合材料。该复合材料的成型过程是:在高速下共混 30 s,在 80℃ 下预热 30 min,而后固化成型。该复合材料具有较高的摩擦系数和较低的磨损量。SEM 结果显示,磨粒磨损随着温度的升高而增大。复合材料的内聚能和树脂基体 PEEK 的高耐热性是导致磨损量大小的关键因素。耐磨性还取决于转移膜的形成和树脂基体的强度。

J. M. Park 等^[15]研制了 PEEK/CF/SiC 纤维复合材料,研究了结晶度和界面性能对材料性能的影响。PEEK/CF/SiC 纤维复合材料的界面剪切强度在结晶度为 30% 时达到最大值,然后下降。拉伸弹性模量随结晶度的增大而逐渐增大。PEEK/CF 复合材料的横向结晶比 PEEK/SiC 纤维复合材料更易形成。这或许是因为晶体单元在纤维轴向更易形成晶核。正因为 PEEK/CF 复合材料的横结晶度高,所以 PEEK/

CF 复合材料的界面剪切强度远远高于 PEEK/SiC 纤维复合材料。

1.4 晶须增强 PEEK

林有希等^[16]研究了 CaCO₃ 晶须和 PTFE 共同填充 PEEK 复合材料的摩擦磨损性能。研究表明,随着晶须含量的增加,复合材料的摩擦系数持续降低,最低降到纯 PEEK 的 1/2;而磨损率先大幅度减小后又缓慢回升,当晶须质量分数为 15% ~ 20% 时,磨损率降至 $3.3 \times 10^{-7} \text{ mm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$,仅为纯 PEEK 的 3.6%,PEEK/CaCO₃/PTFE = 7/2/1 时综合摩擦学性价比较好。CaCO₃ 晶须增强 PEEK 减少了复合材料在摩擦过程中摩擦副表面粘着和剥层,阻止基体的热塑性变形,同时 PTFE 的优先粘着转移使得复合材料在对偶件表面形成连续、均匀的转移膜,两者协同有效降低摩擦系数和磨损率,提高材料的摩擦学性能。

冯新等^[17]发明了一种由钛基晶须增强的 PEEK 耐磨复合材料。其制备方法是用直径为 0.5 ~ 3.0 μm、长径比为 5 ~ 50、经表面改性处理的钛基晶须增强 PEEK。该材料由钛基晶须、PTFE、PEEK 共混而成,配比是 PEEK 质量分数为 50% ~ 90%,PTFE 为 0 ~ 40%,表面改性处理的钛基晶须为 2% ~ 49%。材料采用热模压或注塑挤出成型,其强度高,耐磨、耐温、耐磨性佳。与相同含量的 CF 增强 PEEK 相比,耐磨性提高 10 倍,摩擦系数降低 30%。该材料具有良好的耐碱性能,适合作碱液中的器件和耐磨材料,同时也适合于高温、真空、辐射、腐蚀性等特殊环境,可广泛用于高温、高压压缩机的活塞环、填料、滑片、阀片,其使用寿命大大提高。

2 无机填料填充 PEEK

王齐华等^[18]研究了微粒直径分别为 10、86 nm 的两种纳米 ZrO₂ (填料质量分数为 7.5%) 填充 PEEK 的摩擦磨损性能。粒径 10 nm 的纳米 ZrO₂ 可显著改善其填充 PEEK 的摩擦学性能,这是因为摩擦过程中在对偶 45° 钢环上形成了一层连续的、与底材粘着紧密的薄转移膜。其主要的磨损机制是轻微的粘着转移和疲劳磨损。而粒径 86 nm 的纳米 ZrO₂ 填充 PEEK 不能在其对偶 45° 钢环表面上形成一层性能优良的转移膜,使其摩擦学性能变差,其磨损主要以较为严重的磨粒磨损为主。

王林等^[19]采用水热合成法制备纳米羟基磷灰石 (HA) 粉体,得到与人体骨中无机成分较为接近的纳米 HA 颗粒,并采用注射成型法将纳米 HA 与 PEEK 复合,制备出 PEEK/HA 生物复合材料。结果表明,随着 HA 含量的增加,材料的硬度随之增加;当 HA 质量分数为 0 ~ 5% 时,拉伸强度随 HA 用量的增加而增加,而后随之下降;热处理可以改善复合材料的力学性能。

Xiong Dangsheng 等^[20]研究了纳米 Al₂O₃ 的质量分数对增强 PEEK 复合材料接触角的影响,并在蒸馏水和生理盐水润滑状态下对复合材料的摩擦性能进行了测试,用光学显微镜对该复合材料的磨损表面进行了观察。结果表明,适量的纳米 Al₂O₃ 可提高复合材料的耐湿性和耐磨性。在纳米

Al_2O_3 质量分数为 7% 时,复合材料的耐磨性达到最好。

M. Kuo 等^[21] 用质量分数为 5% ~7.5% 的纳米 SiO_2 或 Al_2O_3 对 PEEK 进行了填充。该纳米复合材料的硬度、拉伸强度和拉伸弹性模量较纯 PEEK 都提高了 20% ~50%, 拉伸延展性略有下降, 结晶度和降解温度都得到了提高。

Lai Y. H. 等^[22] 利用硬脂酸对平均粒径为 30 nm 的纳米 SiO_2 进行表面处理, 通过模压成型工艺制备了纳米 SiO_2 增强 PEEK 复合材料。对纳米 SiO_2 增强 PEEK 复合材料进行了拉伸、硬度、热重 (TG) 分析、差示扫描量热 (DSC)、扫描电子显微镜 (SEM) 等测试。结果表明, 纳米 SiO_2 经表面处理后分散得更均匀。复合材料的热膨胀系数 (CTE) 随纳米 SiO_2 含量的减少而降低, SiO_2 经表面处理后, 复合材料的 CTE 值较高。

Yu Laigui 等^[23] 通过挤压成型制备了微米级 Fe、Cu 颗粒填充 PEEK 复合材料, 并研究了转移膜在提高摩擦和磨损性能方面的作用, 对复合材料的摩擦磨损性能进行了测试。结果表明, 当采用 Cu 颗粒作为填料时, 复合材料形成均匀的薄转移膜; 而采用 Fe 颗粒作为填料时, 复合材料形成不均匀的厚转移膜。转移膜对提高 PEEK 复合材料的磨损性能起到了关键作用, 塑性变形对 PEEK/Cu 复合材料的磨损性能起决定作用, 磨损与粘着对 PEEK/Fe 复合材料的磨损性能起决定作用。作为填料的 Fe 颗粒之间存在强烈的亲和力, 致使 PEEK/Fe 复合材料与对偶不锈钢环表面的粘结力十分差, 从而使 PEEK/Fe 复合材料形成厚的转移膜。

M. Dwivedi 等^[24] 研制了纳米钛酸钡增强 PEEK/铁氧体复合材料。PEEK/铁氧体复合材料的损耗角正切值和玻璃化转变温度 (T_g) 由于纳米钛酸钡的增强而得到了提高。纳米钛酸钡对 PEEK/铁氧体复合材料的熔体性能影响很小。

M. Saito 等^[25] 研制了 PEEK 基密封环。该密封环由 PEEK 和无定形炭黑粉末制成。该密封环对软金属 (例如铝合金) 有较好的耐磨损性能。将质量分数为 10% 的粒径为 20 μm 的炭黑粉末填充 PEEK 共混物模压成密封环, 其动态和静态摩擦系数分别为 0.30 和 0.48, 并且无变形。

Li Song 等^[26] 利用热压成型工艺制备了类似三明治结构的单壁碳纳米管 (SWNT) 纸增强 PEEK 复合材料。SEM 观测表明, PEEK 大分子可以扩散到 SWNT 纸的空隙里, 并与其键合形成纳米管束, 以确保两相之间有效的应力传递。此三明治结构的复合材料 (具有单层 SWNTs 纸) 与纯 PEEK 相比, 其拉伸弹性模量提高了 40%, 拉伸强度提高了 4%。加入 SWNT 后, PEEK 薄膜的表面电导率和热导率都得到了提高。

Zhou Bing^[27] 研制了高岭土纳米管增强 PEEK 复合材料。复合材料的拉伸弹性模量随高岭土纳米管含量的增加而升高, 而冲击强度是先升高后降低。

3 与聚合物共混

来育梅等^[28] 在 380℃ 下熔融挤出制得 PEEK/PEI 共混物。采用 DSC 和广角 X 射线衍射 (WAXD) 研究了共混物的

相容性和结晶行为。结果表明, PEEK/PEI 共混物完全相容, 所有共混物均呈现一个 T_g ; 随着 PEI 含量的增加, 共混物的熔点、整体结晶速率和结晶能力均降低, 而 PEEK 的结晶度呈现先增加后减小的趋势, 当 PEI 质量分数为 50% 时达到最大。

颜红侠等^[29] 研制了 PEEK/PTFE 共混物, 并对共混物的物理、力学性能和摩擦磨损性能进行了测试。研究表明, PEEK/PTFE 共混物的摩擦系数为 0.18, 其主要受粘着磨损机控制, 并伴有热塑性流动磨损。

J. P. Schultz 等^[30] 通过超低温合金化 (CMA) 及激光烧结等工艺成型了 PEEK/尼龙 (PA) 12 复合材料。其步骤为先通过 CMA 制造复合材料粉末, 而后通过激光烧结形成零部件。此外, J. P. Schultz 等^[31] 还研制了超低温 PEEK/PC 共混物粉末合金, 并用于激光烧结。

H. S. Kwon 等^[32] 通过溶液浇注成型制备了硫化 PEEK (SPEEK)/PEI、SPEEK/PC 共混物。其中 SPEEK 是用 95% H_2SO_4 硫化 PEEK 得到的。通过 DSC 测定了共混物的 T_g , SPEEK/PEI 共混物只观测到一个 T_g , 说明二者相容性较好; SPEEK/PC 共混物观测到两个 T_g , 说明两相间存在相分离。

J. Hanchi 等^[33] 制备了 PEEK/PEI/TLCP 三元共混物, 研究了三元共混物的干滑动摩擦和磨损性能。结果表明, 通过共混的方式, PEI 可提高共混物的力学性能 and 高温时的摩擦性能。他们还依照三元共混物的微观结构, 研究了三元共混物的摩擦和磨损机理。

4 结语

采用纤维增强、纤维铺层、混杂纤维增强、晶须增强、无机颗粒填充及与聚合物共混等方法改性 PEEK, 明显改善了 PEEK 的力学、热学、摩擦学性能和加工性能, 扩大了 PEEK 的应用范围。在纤维增强改性方面, 增强纤维及晶须的种类、纤维的混杂增强及纤维与 PEEK 的相容性都有待进一步开发和研究; 在无机颗粒填充方面, 无机颗粒的种类、表面处理及颗粒的分散性都有待继续研究; 在与聚合物共混改性方面, 聚合物的种类及与 PEEK 的相容性问题也有很大的研究和开发空间。随着新的改性方法的不断出现, PEEK 复合材料在化工、机械、电子电气、医疗、交通等领域的应用前景将会越来越广阔。

参考文献

- [1] 邓杰, 等. 高科技纤维与应用, 2004, 29(3): 28-30.
- [2] 顾有伟, 等. 塑料工业, 2000, 28(2): 40-41.
- [3] Lin T W, et al. Journal of Biomedical Materials Research, 1997, 36(2): 137-144.
- [4] Lal Babu, et al. Chemical & Environmental Research, 1996, 5(1-4): 57-64.
- [5] 崔永丽, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(10): 5-8.
- [6] 唐磊, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(5): 24-26.
- [7] 唐伟家. 塑料, 2007, 36(6): 104.
- [8] Denault J, et al. Advanced Performance Materials, 1998(5): 83-96.

- [9] Kurokawa M, et al. Tribol Int, 1999, 32(9): 491-497.
- [10] Fujihara K, et al. Biomaterials, 2004, 25(17): 3877-3885.
- [11] Ong C L, et al. International SAMPE Symposium and Exhibition [C]. [S. l.]: Society for the Advancement of Material and Process Engineering, 1997: 1520-1530.
- [12] Lin S H, et al. Journal of Advanced Materials, 1997, 28(2): 56-62.
- [13] 刘爱萍,等. 机械工程材料, 2007, 31(2): 36-38.
- [14] H Fu, et al. Key Engineering Materials, 2007, 329: 511-518.
- [15] Park J M, et al. Korea Polymer Journal, 1998, 6(2): 200-209.
- [16] 林有希,等. 材料热处理学报, 2006, 27(4): 20-22.
- [17] 冯新,等. 由钛基晶须增强的聚醚醚酮耐磨复合材料及其制备方法: 中国, 1966577[P]. 2007-05-23.
- [18] 王齐华,等. 材料研究学报, 1999, 13(1): 107.
- [19] 王林,等. 纳材料开发与应用, 2006, 21(4): 33-35.
- [20] Xiong Dangsheng, et al. Key Engineering Materials, 2007, 330(2): 1239.
- [21] Kuo M, et al. Materials Chemistry and Physics, 2005, 90(1): 185-195.
- [22] Lai Y H, et al. Materials Science & Engineering, 2007, A458(1-2): 158-169.
- [23] Yu Laigui, et al. J Appl Polym Sci, 2000, 76(2): 179-184.
- [24] Dwivedi M, et al. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2004, 77(3): 947-955.
- [25] Saito M, et al. PEEK-based seal rings: JP, 11343480A2[P]. 1999-12-14.
- [26] Li Song, et al. Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing, 2007, 38A(2): 388-392.
- [27] Zhou Bing. Polymer Preprints, 2004, 45(1): 927.
- [28] 来育梅,等. 塑料工业, 2006, 34(6): 40-42.
- [29] 颜红侠,等. 塑料工业, 2002, 30(4): 44-46.
- [30] Schultz J P, et al. Solid Freeform Fabr Symp Proc[C]. [S. l.]: University of Texas at Austin, 2000: 119-124.
- [31] Schultz J P, et al. Solid Freeform Fabr Symp Proc[C]. [S. l.]: University of Texas at Austin, 1999: 311-318.
- [32] Kwon H S, et al. Polymer Society of Korea[C]. [S. l.]: Korea University, 1997: 786-793.
- [33] Hanchi J, et al. Tribology Transactions, 1997, 40(1): 102-110.

RESEARCH PROGRESS OF PEEK MODIFICATION

Wang Ximei¹, Qi Guiliang¹, Cai Jiangtao², Zhang Yulong¹

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China;

2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an Science & Technology University, Xi'an 710054, China)

ABSTRACT The physical and mechanical properties of PEEK and its application in machinery, chemical and medical industry etc. are briefly introduced. The modifying technique, molding technology and properties of PEEK composites are discussed respectively from fiber reinforcing, adding inorganic fillers and blending with polymers.

KEYWORDS PEEK, modifying, fiber reinforcing, filling, blending

优惠销售 2000 ~2008 年中国工程塑料加工应用技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国工程塑料工业协会加工应用专委会为了配合 2000 ~2008 年先后召开的中国工程塑料加工应用技术研讨会共编辑、出版了 9 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,尤其突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析,应对 REACH、RoHS 的对策等行业规则、政策。现尚有部分《论文集》以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 《论文集》, 优惠价为 240 元/套, 单册价格如下:

《2008 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 351 页, 50 元/册;

《2007 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 343 页, 45 元/册;

《2006 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 346 页, 含中国工程塑料工业“十一五”发展规划, 40 元/册;

《2005 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 338 页, 35 元/册;

《2004 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 337 页, 30 元/册;

《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文

集》, 论文 105 篇, 正文 373 页, 25 元/册;

《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 351 页, 20 元/册;

《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集》, 论文 80 篇, 正文 270 页, 20 元/册;

《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 339 页, 20 元/册。

2. 论文集光盘, 优惠价为 160 元/盘。

本光盘除收录上述 9 本《论文集》的全部内容外, 还包括约 1800 人次的会议代表通讯录。

凡需购买《论文集》或论文集光盘的读者, 请尽快办理邮购手续。汇款时请注明“论文集”或“论文集光盘”。

邮局汇款

收款单位: 山东济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031

电话: (0531) 85878057 85878223 85878278

传真: (0531) 85947355 85878057

银行汇款

户名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐号: 1602001229014425546

网上订购 <http://www.epa1973.com>