

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.06.030

长贮存期低温固化环氧树脂基预浸料研究进展

王志远,陈刚,王启芬,于倩倩,崇琳,王忠,吴忠泉

(山东非金属材料研究所,济南 250031)

摘要: 主要介绍了长贮存期低温固化环氧树脂基预浸料研究进展,包括国内外低温固化预浸料的概况及固化剂的改性,着重介绍了咪唑类固化剂的化学改性、微胶囊固化剂和超支化化合物及分子筛等方法,并对未来发展趋势和应用前景进行了展望。

关键词: 低温固化; 预浸料; 环氧树脂; 微胶囊; 咪唑

中图分类号: TQ322.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)06-0148-05

Research Progress of Low Temperature Curing Epoxy Prepreg with Long Pot Life

Wang Zhiyuan, Chen Gang, Wang Qifen, Yu Qianqian, Chong Lin, Wang Zhong, Wu Zhongquan

(Shandong Non-metallic Materials Institute, Jinan 250031, China)

Abstract: The research progress of low temperature curing epoxy prepreg was introduced, including the general situation of the low temperature curing prepreg at home and abroad and the modification of the curing agents. The chemical modification of the imidazole curing agent, microcapsule curing agent, hyperbranched compounds and molecular sieve were emphasized. Also the future development trend and application prospect was also forecast.

Keywords: low temperature curing; prepreg; epoxy resin; microcapsule; imidazole

树脂基复合材料具有高比强度和比刚度、可设计性强、抗疲劳性能好、耐腐蚀性能好、结构尺寸稳定好以及利于大面积整体成型等优势,在航空航天工业和体育用品等领域得到了大量的应用,成为发展迅速、应用广泛的一类最重要的复合材料。但是成本过高成为限制其扩大应用与发展的主要因素,因此如何降低复合材料的成本是目前先进树脂基复合材料研究的一个重要内容^[1-2]。

预浸料是制造复合材料的中间材料,很大程度上决定了复合材料的性能。采用中高温固化预浸料制备复合材料,固化温度高达120~180℃,存在固化内应力大、成型周期长、能源消耗高、制造成本高等问题^[3]。降低固化温度、缩短固化时间并尽可能地延长室温储存期是近年来预浸料发展的主要方向之一。

低温固化预浸料一般指固化温度低于100℃,更优选的在80℃以下,室温下适用期大于10 d以满足复合材料的制造周期需要,固化后具有很好的固化程度,可在自由状态下进行中温或高温后处理,以获得较高的玻璃化转变温度和力

学性能^[4-5]。采用低温固化预浸料,能够明显降低复合材料固化过程中的内部应力和对设备、模具及其它辅助材料的要求,减少裂纹等缺陷的发生和能源的消耗,能够降低复合材料的制造成本,提高复合材料的综合性能^[6]。

但是低温固化预浸料的贮存期通常较短,限制了其应用,提高预浸料的贮存期可扩大其应用范围,这就需要采用特殊的固化体系。长贮存期低温固化环氧树脂预浸料技术的关键在于长潜伏性低温固化剂的制备,使固化剂在室温下具有较长的潜伏性,而在较低温度时活性增加与环氧树脂发生固化反应。

同时环氧树脂体系应满足一定的流变特性,以满足预浸料的制备和成型工艺要求,使在成型温度时具有较小的黏度,以利于树脂浸透纤维。笔者主要介绍了长贮存期低温固化环氧树脂基预浸料国内外研究概况及固化剂改性的研究进展。

1 长贮存期低温固化环氧树脂预浸料的国内外研究概况

低温固化预浸料最初仅是用于制备低成本复合材料工

通讯作者: 王志远,工程师,主要从事树脂基复合材料的研究 E-mail: zhiyuan83@126.com

收稿日期: 2018-04-07

引用格式: 王志远,陈刚,王启芬,等. 长贮存期低温固化环氧树脂基预浸料研究进展[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(6): 148-152.

Wang Zhiyuan, Chen Gang, Wang Qifen, et al. Research progress of low temperature curing epoxy prepreg with long pot life[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(6): 148-152.

装,但由于其良好的材料性能和低成本特点,后来逐步拓展到用于复合材料结构件的制备。

国外对低温固化预浸料的研发较早、应用较多,如英国 ACG 公司开发的 LTM10~40 系列预浸料,固化温度在 50~80℃,室温储存期 2~30 d,-18℃存储寿命 6~12 个月,可进行后处理或者不需后处理,具有良好的室温力学性能和 120℃湿热性能,热稳定性在 120~250℃,可用于制造中高温条件下使用的部件,如先进战斗机机翼、前缘、蒙皮,无人侦察机机身导弹构件,弹射座等^[4]。

美国 Umeco 结构材料公司开发的 MTM[®]47, MTM[®]44-1, MTM[®]45-1 和 MTM[®]46 等多种高韧性低压低温固化预浸料体系,广泛应用于民用和军用飞机的一级和二级结构,使热/湿缺口冲击性能最优化,大幅降低了先进复合材料结构的制造成本,而不影响性能。

固瑞特复合材料公司开发有多种型号的低温固化预浸料,包括 SE 70, ST 70, SE 84LV 等高力学强度的低温固化体系。其中 SE 70, ST 70 是一种热熔型、70℃固化体系,用于使用低能量固化周期的大型部件的构造,具有优异的压缩和层间剪切强度,在 23℃下具有 30 d 的寿命。SE 84LV 是低黏度体系,在 80℃的相对低温即可固化成型,常温 18~22℃贮存期长达 8 周,可用于低流动性工艺条件,更加适用于复合高质量增强纤维材料,非常适用于低压真空袋成型工艺,表面粘性非常好,有利于预浸料的铺层;体系中加入增韧成分,与多种增强纤维有着出色的复合力学性能,广泛应用于大体积高载荷部件和承受高应力的场合,如风电叶片的主芯轴及游艇船壳等。

美国的 Cytec 公司开发的 Cycom X5215 低温固化预浸料,典型固化工艺为 65℃/14 h,湿态使用温度达到 121℃,粘性寿命 10~12 d,可采用真空袋成型工艺,具有孔隙率低、性能接近热压罐固化的预浸料等特点,用于复合材料构件和修补^[7-8];美国 Hexcel 公司开发的低温真空压力成型预浸料体系 46-1、HX1567,可在 80~90℃固化,使用温度达到 130℃,用于复合材料的修补^[7]。

国内关于低温固化复合材料的研究较晚,北京航空材料研究院率先开发出 LT-01~03A 等系列低温固化环氧树脂预浸料,固化温度 70~75℃,经适当的后处理工艺后,可达到与中高温固化复合材料相当的性能,应用于无人机和直升机等结构部件。

深圳朗搏万先进材料有限公司研制的低成本低温快速固化预浸料,可在 100℃下 40 min 内固化,常温储存期高达 40 d 左右,生产效率提高了十几倍,为复合材料在工业化领域产业化应用的发展起到了极大的推动作用。

哈尔滨玻璃钢研究院^[8-9]用热熔法研制一种可在 90℃

下固化的碳纤维增强环氧树脂预浸料,常温下具有较长潜伏期、良好的工艺和力学性能,适用于制备高性能复合材料。

上海石油化工研究院^[10]采用热熔法制备了一种可在 100℃下 2 h 固化完全,室温储存期超过 2 个月的中低温快速固化环氧树脂预浸料,解决了常规预浸料固化温度高、固化速度慢、贮存期短等问题,可应用于航空航天、军工、体育休闲、汽车等领域。

此外,刘永刚等^[11]采用聚胺类潜伏性固化剂 A-100 与 E-51 环氧树脂及核壳橡胶增韧剂等组分制备了一种低温快速单组分环氧树脂体系,可在 80℃下 20 min 内固化,固化后韧性较好,40℃下贮存期为 20 d。李亚峰等^[12]通过在环氧树脂体系制备过程中引入三聚氰胺及其磷酸盐等改性助剂,降低了体系在低温下($\leq 80^\circ\text{C}$)反应活性,解决了脲促进双氰胺固化环氧树脂体系室温贮存期短的问题,室温贮存期可达 6 个月以上。

2 长贮存期低温固化预浸料用固化剂的改性研究进展

通常的低温固化剂由于活性太高,与环氧树脂混合几小时后就发生固化反应而不适于制备长贮存期低温固化预浸料。所以需要对常用的低温固化剂进行改性,以降低其反应活性,常采用的改性方法有咪唑类固化剂的化学改性、微胶囊固化剂及分子筛技术等。

2.1 咪唑类固化剂的化学改性

咪唑类固化剂是常用的环氧树脂中低温固化剂,具有分子结构易于设计和一定的潜伏性特点,但贮存期较短,通常对咪唑类化合物仲胺原子上的活泼氢采用不同的取代基取代,改变咪唑类固化剂的电负性、碱性和增大位阻效应,降低其反应活性;同时控制改性后的固化剂的形态,使其在室温下为不溶于环氧树脂的固体颗粒,减小反应面积,进一步延长树脂体系的适用期。常采用的反应物有环氧化合物、有机酸、配位化合物、异氰酸酯等^[13-16]。

张宝艳等^[17]对 2-甲基咪唑进行改性,获得了熔点在 70~80℃的固化剂,粉碎成微细颗粒后均匀分散于环氧树脂中,树脂与固化剂颗粒保持两相结构,采用热熔法制备了预浸料,室温黏性贮存期大于 2 周,可在 80℃左右固化,固化后复合材料具有良好的弯曲和层间剪切性能,与常规中温固化复合材料的性能相当。

白雪莲等^[18]采用 α -甲基丙烯酸与 2-乙基-4-甲基咪唑进行反应,降低了其反应活性,与环氧树脂复合后,室温储存期可达 15 d,且综合性能优异,可用于高性能聚合物基复合材料的低成本制造。程秀莲等^[19]利用酒石酸对咪唑进行了改性,得到的产物比咪唑的潜伏性有很大提高,80℃下潜伏性由不足 0.5 h 提高到 7 h。

康富春等^[20]采用芳香族异氰酸酯对脂环胺进行改性,

制得一种潜伏性固化剂,与环氧树脂混合后,40℃贮存期超过6周,90~100℃固化1~2 h能得到较完全的固化产物。刘图远等^[21]、吴思保^[22]、高洁等^[23]采用异氰酸酯对咪唑类固化剂进行了改性,并研究了改性固化剂的解封与固化行为,为研制高性能咪唑类固化剂提供数据支持和理论指导。

微胶囊固化剂是指用物理或者化学方法在固化剂表面形成一层微胶囊,使固化剂与树脂基体实现物理阻隔,从而提高树脂体系及其预浸料的储存期。在一定温度或压力下微胶囊破裂,释放出固化剂与树脂发生固化反应^[24-25]。常用的包覆材料有热塑性树脂、异氰酸酯化合物等,常用的制备工艺有喷雾干燥法/溶剂蒸发法、界面聚合法等方法。

(1) 喷雾干燥法/溶剂挥发法。

喷雾干燥法/溶剂挥发法是将固化剂和包覆材料溶解于有机溶剂中,然后分散于分散剂/乳化剂体系中,形成均匀稳定的乳液,当有机溶剂挥发后,由于囊芯囊壳表面张力不同而形成微胶囊,具有操作简单,包覆效果较好的特点。

周晓峰等^[26]以改性2-甲基咪唑为芯材,以聚醚酰亚胺为壳材,采用喷雾干燥法制备了一种微胶囊固化剂。当壳芯质量比为1:2时得到规则球形、表面光滑、粒径分布较窄的微胶囊,具有良好的固化促进活性和贮存稳定性,与环氧树脂混合后室温贮存期大于32 d。

Y. R. Ham等^[27]以二苯基咪唑为囊芯,聚己内酯为囊壁,采用溶剂挥发法制备了微胶囊固化剂,探讨了囊芯囊壁比、囊壁的分子量对微胶囊的形貌、包覆率和耐溶剂性的影响。将微胶囊固化剂与环氧树脂混合后贮存期超过30 d。

Xing Suli^[28]以丁基缩水甘油醚改性2-乙基-4-甲基咪唑(EMI)为囊芯,以聚醚酰亚胺为壁材,二氯甲烷为溶剂,PVA水溶液为分散介质,采用溶剂挥发技术,成功制备了具有规则的球形、粒径分布较窄的微胶囊固化剂,室温储存期3个月。此外汪海平等^[29]也采用溶剂挥发法,以改性胺固化剂(1618)为囊芯、聚醚酰亚胺为囊壁,制备了表面光滑、分散性和热稳定较好的微胶囊固化剂。柴云等^[30]以DG593改性固化剂为芯材,乙基纤维素为包覆材料,采用溶剂挥发法制备了一种可室温固化的微胶囊固化剂。

史有强、齐宇等^[31-33]以2-甲基咪唑和2-苯基咪唑为芯材,以聚苯乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)为壁材,采用溶剂挥发技术,系统地研究了溶剂种类及油水比、表面活性剂种类及用量、核壳投料比等参数对微胶囊形貌、粒径大小及分布、囊芯含量及产率等的影响,制备了表面光滑、粒径分布较窄的微胶囊固化剂,与环氧树脂E-51复合后,可在100℃下1 h内实现固化,室温储存期达1个月以上。

郑裕东等^[34]发明一种不用聚乙烯醇稳定剂的微胶囊固化剂的制备与分离提纯方法,得到粒径可控、固化剂缩二脲

含量可调的固化剂微胶囊,具有性状优良,杂质含量少的优点。

(2) 界面聚合法/原位聚合法。

界面聚合法是指囊壁材料与固化剂颗粒发生界面聚合反应,从而将固化剂颗粒紧密包覆起来,由于囊壁和固化剂之间是化学键连接,因此具有包覆效果好、耐溶剂性及稳定性强等特点。

蔡秀兰等^[35]以改性胺1618固化剂为囊芯、脲醛树脂为壁材单体,采用界面聚合技术,成功制备了一种新型聚脲改性胺微胶囊固化剂,具有热稳定性高、外形规则、分散性及致密性好、能大幅提高基体材料的拉伸性能等特点。

吕小燕等^[36]以丙烯酸树脂(PAA)与钛酸正丁酯发生交联反应形成壁材,以二甲基咪唑(2MI)为芯材,采用原位乳液法及相分离技术制备了一种新型的W/O型潜伏性微胶囊型环氧固化剂,平均粒径约为4.5 μm,具有一定的固化活性和储存稳定性。

陶瑜尧等^[37]以聚三聚氰胺-甲醛树脂为壁材、三羟甲基丙烷三(3-巯基丙酸酯)为芯材,采用原位乳液聚合法制备了微胶囊固化剂,粒径为50~125 μm,并且具有很好的封闭性和耐热性,能在0℃以上达到较好的固化效果。

(3) 点击化学法。

“点击化学”是以碳-杂原子键(C-X-C)合成为基础的组合化学新方法,借助点击反应通过小单元的拼接,简单、高效、可靠地完成分子的化学合成,可获得分子多样性,目前已经成为最为有用和吸引人的合成理念之一^[38]。Li Chunmei等^[39]采用巯基烯单体和异氰脲酸酯化合物,以聚乙烯醇水溶液为分散介质,在紫外光引发下,与1-苄基-2-甲基咪唑发生“点击化学”反应,成功制备了微胶囊固化剂,与环氧树脂混合后,20℃储存期超过30 d,100℃下1 h固化完全。

2.2 超支化化合物及分子筛等方法

超支化化合物具有较高的分子量(3 000~7 000)和大量的空穴结构,固化剂分子分布于其中,分子运动受阻,从而赋予固化剂良好的贮存稳定性。随着温度的升高,超支化聚合物的分子运动变得容易,固化剂游离释放出来,与环氧树脂发生反应。

张宝华等^[40-41]采用叔胺基改性后的柔性超支化聚酯与改性咪唑固化剂混合,形成了一种固溶体,与环氧树脂混合后,25℃下适用期可达3个月,60℃下固化时间100 min,制得的固化物具有优异的贮存稳定性和低温固化性。

Lou Chunhua等^[42]合成了一种笼型结构的2,4-甲苯二异氰酸酯封端超支化聚酯化合物,咪唑固化剂分散于笼型结构中,延长了树脂体系的贮存期,且显著改善环氧树脂的韧性。

分子筛是一种多孔材料,含有的大量孔隙可以吸附固化剂分子,可以实现固化剂的潜伏性。包建文等^[43]采用分子筛作为载体吸附环氧树脂固化剂分子,实现对树脂固化体系的催化,与未采用分子筛相比,可将树脂体系的适用期延长5倍以上。

3 存在的问题和展望

复合材料的成本过高已成为限制其拓展应用的主要限制条件之一,采用低温固化的预浸料是降低复合材料成本的有效途径。目前,国外对低温固化预浸料及复合材料的应用已经比较广泛,形成了成熟的材料体系,而国内只有少数的单位成功开发出了低温固化预浸料,主要应用于航空航天等领域,没有得到进一步的拓展应用。未来需进一步扩大低温固化预浸料的应用范围,在国防军工、汽车零部件、高铁列车等领域都有广泛的应用前景。

目前的固化剂改性方法存在着过程较为复杂,需要使用较多的挥发性有机溶剂等问题,未来还需要加强新型低温固化剂及绿色环保固化剂改性技术的研发,提高固化剂的低温潜伏性和较高温度快速固化性。相信随着低温固化预浸料的优势日趋明显和降低复合材料制造成本的客观要求,低温固化预浸料一定会得到越来越广泛的应用。

参考文献

- [1] 汪亮,等. 玻璃钢/复合材料,2010(3):32-35.
Wang Liang, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2010(3):32-35.
- [2] 邢丽英,等. 复合材料学报,2013,30(2):1-7.
Xing Liying, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(2):1-7.
- [3] 陈祥宝,等. 材料工程,2011(1):1-6.
Chen Xiangbao, et al. Journal of Materials Engineering, 2011(1):1-6.
- [4] 陈祥宝. 先进复合材料低成本技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
Chen Xiangbao. Low cost technology for advanced composite materials[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2004.
- [5] 初琳,等. 化工装备技术,2013,34(1):43-46.
Chu Lin, et al. Chemical Equipment Technology, 2013, 34(1):43-46.
- [6] 马如飞,等. 航空材料学报,2017,37(1):99-103.
Ma Rufe, et al. Journal of Aeronautical Materials, 2017, 37(1):99-103.
- [7] 张宝艳,等. 真空成型高性能复合材料[C] //第十四届中国科协年会:低成本、高性能复合材料发展论坛论文集. 石家庄:中国科学技术协会,2012:303-309.
Zhang Baoyan, et al. Vacuum cure high performance composite[C] // The 14th annual meeting of the china association of science and technology:proceedings of the forum on development of low-cost and high-performance composite materials. Shijiazhuang:China Association of Science and Technology, 2012:303-309.
- [8] 刘亚威. 国防制造技术,2013(5):17-20.
Liu Yawei. Defense Manufacturing Technology, 2013(5):17-20.
- [9] 李树茂,等. 纤维复合材料,2014(1):34-38.
Li Shumao, et al. Fiber Composites, 2014(1):34-38.
- [10] 张藕生,等. CN104558525[P].2015-04-29.
Zhang Ousheng, et al. CN104558525[P].2015-04-29.
- [11] 刘永刚,等. 粘结,2016(6):43-45.
Liu Yonggang, et al. Adhesion, 2016(6):43-45.
- [12] 李亚峰,等. CN105368010A[P].2016-03-02.
Li Yafeng, et al. CN105368010A[P].2016-03-02.
- [13] 李彦玲,等. 化学与黏合,2016,38(6):417-419.
Li Yanling, et al. Chemistry and Adhesion, 2016, 38(6):417-419.
- [14] 潘锦平,等. 化学与黏合,2010,32(2):45-49.
Pan Jinping, et al. Chemistry and Adhesion, 2010, 32(2):45-49.
- [15] 张宝华,等. 上海大学学报:自然科学版,2010,16(5):407-411.
Zhang Baohua, et al. Journal of Shanghai University:Natural Science Edition, 2010, 16(5):407-411.
- [16] Arimitsu K, et al. Materials Letters, 2015, 161:408-410.
- [17] 张宝艳,等. 航空材料学报,2003,23(增刊):151-155.
Zhang Baoyan, et al. Journal of Aeronautical Materials, 2003, 23(z1):151-155.
- [18] 白雪莲,等. 中国胶粘剂,2010,19(6):11-13.
Bai Xuelian, et al. China Adhesives, 2010, 19(6):11-13.
- [19] 程秀莲,等. 粘接,2016(11):35-38.
Cheng Xiulian, et al. Adhesion, 2016(11):35-38.
- [20] 康富春,等. CN105646843 A[P].2016-06-08.
Kang Fuchun, et al. CN105646843 A[P].2016-06-08.
- [21] 刘图远,等. 玻璃钢/复合材料,2015(3):26-30.
Liu Tuyuan, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2015(3):26-30.
- [22] 吴思保. 异氰酸酯改性咪唑类固化剂的合成及其解封与固化行为评价研究[D]. 北京:北京化工大学,2016.
Wu Sibao. Synthesis and evaluating the deblocking and curing performance of isocyanate modified imidazole using as hardener[D]. Beijing :Beijing University of Chemical Technology, 2016.
- [23] 高洁,等. 化学与黏合,2017,39(4):243-247.
Gao Jie, et al. Chemistry and Adhesion, 2017, 39(4):243-247.
- [24] 史有强,等. 中国胶粘剂,2010,19(8):43-47.
Shi Youqiang, et al. China Adhesives, 2010, 19(8):43-47.
- [25] 刘宁,等. 包装学报,2011,3(4):39-42.
Liu Ning, et al. Packaging Journal, 2011, 3(4):39-42.
- [26] 周晓峰,等. 化学与黏合,2014,36(2):97-100.
Zhou Xiaofeng, et al. Chemistry and Adhesion, 2014, 36(2):97-100.

- [27] Ham Y R, et al. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2010, 16(5):729-733.
- [28] Xing Suli, et al. Materials & Design, 2015, 85:661-670.
- [29] 汪海平,等. 中国胶粘剂, 2017, 26(11):31-34.
Wang Haiping, et al. China Adhesives, 2017, 26(11):31-34.
- [30] 柴云,等. 化工新型材料, 2017, 45(12):68-71.
Chai Yun, et al. New Chemical Materials, 2017, 45(12):68-71.
- [31] 史有强,等. 化工学报, 2011, 62(9):2 651-2 656.
Shi Youqiang, et al. CIESC Journal, 2011, 62(9):2 651-2 656.
- [32] 齐宇,等. 航空材料学报, 2015, 35(1):51-58.
Qi Yu, et al. Journal of Aeronautical Materials, 2015, 35(1):51-58.
- [33] 史有强,等. 材料工程, 2013(11):32-36.
Shi Youqiang, et al. Journal of Materials Engineering, 2013(11):32-36.
- [34] 郑裕东,等. CN104772085 A[P]. 2015-07-15.
Zheng Yudong, et al. CN104772085 A[P]. 2015-07-15.
- [35] 蔡秀兰,等. 功能高分子学报, 2014, 27(1):41-46.
- Cai Xiulan, et al. Journal of Functional Polymers, 2014, 27(1):41-46.
- [36] 吕小燕,等. 化学与生物工程, 2017, 34(11):62-66.
Lyu Xiaoyan, et al. Chemistry & Bioengineering, 2017, 34(11):62-66.
- [37] 陶瑜骁,等. 中国胶粘剂, 2016, 25(8):1-6.
Tao Yuxiao, et al. China Adhesives, 2016, 25(8):1-6.
- [38] Tan J, et al. Polymer Chemistry, 2015(6):4 366-4 373.
- [39] Li Chunmei, et al. Composites Science and Technology, 2017, 142:198-206.
- [40] 张宝华. CN101260185A[P]. 2008-09-10.
Zhang Baohua. CN101260185A[P]. 2008-09-10.
- [41] 张宝华,等. 热固性树脂, 2011, 26(6):4-7.
Zhang Baohua, et al. Thermosetting Resin, 2011, 26(6):4-7.
- [42] Lou Chunhua, et al. Composites Part B:Engineering, 2018, 136:20-27.
- [43] 包建文,等. CN104292754 A[P]. 2015-01-21.
Bao Jianwen, et al. CN104292754 A[P]. 2015-01-21.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,我刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 15 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。