

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.02.009

基于面成型光固化 3D 打印制件的尺寸精度

宗学文,肖涵,徐文博,王丹
(西安科技大学机械工程学院,西安 710054)

摘要:利用面成型光固化 3D 打印平台制作 80 mm×10 mm×4 mm 的光敏树脂长方体样件,研究了分层厚度、曝光时间、回合等待时间等因素对制件尺寸精度的影响。利用正交试验法和极差分析法,确定了制件尺寸精度最佳的参数组合。结果表明,随着分层厚度和曝光时间的增加,制件的尺寸精度呈现由低到高再到低的发展趋势;随着回合等待时间的增加,制件的尺寸精度由低到高并趋于稳定。由极差分析得知,使制件获得最高尺寸精度的最佳参数组合为分层厚度 0.15 mm、曝光时间 25 s、回合等待时间 20 s,此时高度方向尺寸精度误差为 1.05%。

关键词:面成型光固化工艺;尺寸精度;正交试验法;极差分析法;工艺参数优化

中图分类号:TQ325 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)02-0041-06

Dimensional Accuracy of Mask Exposal Stereolithography 3D Printing Workpiece

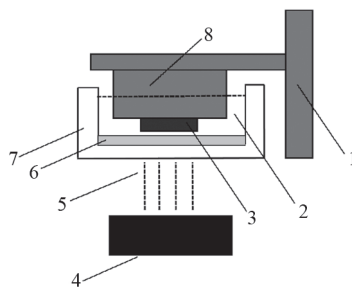
Zong Xuwen, Xiao Han, Xu Wenbo, Wang Dan

(College of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract : A rectangular specimen of 80 mm×10 mm×4 mm was made by mask exposal stereolithography 3D printing platform. The influence of the layer thickness, exposure time and round waiting time on the dimensional accuracy of the workpiece was studied. Using orthogonal experimental method and the range analysis method, the parameters combination of the best dimension accuracy of the workpiece was determined. The results show that with the increase of layer thickness and the exposure time, the accuracy of component size is from low to high to low; with the increase of round waiting time, the accuracy of component size is from low to high and stable. It is known from the range analysis that the best combination of parameters to obtain the highest dimensional accuracy of the workpiece is as follows: the thickness of the layer is 0.15 mm, the exposure time is 25 s, the round waiting time is 20 s, and the dimension error of the height direction is 1.05%.

Keywords : mask exposal stereolithography; dimensional accuracy; orthogonal experimental method; range analysis method; process parameter optimization

面成型光固化技术作为 3D 打印技术中的重要组成部分,是近几年来迅速发展起来的一种快速成型技术。面成型光固化技术利用分层叠加的制造方法,其光源提供方式为面曝光,每次曝光后可以直接成型一层,相对于立体光固化成型等点线光源曝光的光固化技术,成型速度得到了大幅提升^[1]。图 1 为面成型光固化技术的原理,初始时成型平台与离型层之间仅有薄薄的一层液态光敏树脂,面光源发射出 405 nm 波长的光线,穿过透明的树脂槽和离型层,使光敏树脂固化,此时 Z 运动轴带动成型平



1—Z 运动轴; 2—液态光敏树脂; 3—已固化实体; 4—面光源;
5—405 nm 波长光线; 6—离型层; 7—树脂槽; 8—成型平台

图 1 面成型光固化技术的原理图

基金项目:国家 863 计划项目 (2015AA042503)

通讯作者:宗学文,副教授,主要研究方向为增材制造技术、快速铸造技术 E-mail: zongw007@163.com

收稿日期:2017-12-05

引用格式:宗学文,肖涵,徐文博,等. 基于面成型光固化 3D 打印制件的尺寸精度 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(2):41-46.

Zong Xuwen, Xiao Han, Xu Wenbo, et al. Dimensional accuracy of mask exposal stereolithography 3D printing workpiece[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(2):41-46.

台上升,固化的实体与离型层分离并紧贴在成型平台上,下方液态树脂补充后,成型平台重新下降并保持已固化实体与离型层之间为一个已设置好的层厚的距离,之后重复上述动作,层层固化,完成实体零件的制作^[2]。

目前,面成型光固化技术主要利用了动态数字掩膜技术,分为数字投影技术(DLP)和液晶显示技术(LCD)两大类。其中DLP面成型基于数字微镜元件,其控制灵敏,清晰度高,但掩膜图像的畸变问题导致制作较大零件时尺寸精度有所降低;而LCD面成型则使用了液晶显示屏来作为曝光光源,成本低廉,维护简单,但LCD显示屏会受紫外光损伤,使用寿命较短,需要定期更换^[3]。

面成型光固化技术的相关研究近年来得到了不少专家学者的重视。西安工程大学胥光申等^[4]利用田口方法的信噪比对DLP面成型系统进行了工艺参数优化,显著提高了成型制件精度;西安交通大学邱志惠等^[5]利用灰度掩膜、自动化数据采集和反馈、设计误差剔除算法等方法,有效解决了DLP光固化成型中光强分布不均匀问题;山东大学闫鑫等^[6]利用面积加权的方式优化了DLP灰度掩膜生成算法,有效减少了成型件的边缘锯齿效应;西安工程大学宫静等^[7]结合原理理论和模拟仿真,分析了面成型光固化技术中的变形问题;华中科技大学汪敏等^[8]建立了应力应变和线收缩率的数学模型,对制件翘曲变形等问题进行了优化。Xu Guangshen等^[9]通过空间变量线性差值的灰度重建,提高了面成型制造精度;J. R. Tumbleston等^[10]提出了连续液面生长技术,利用透氧膜建立含氧“死区”,不必离型即可使面成型连续进行,极大提高了DLP面成型光固化技术的打印速度,并且解决了3D打印制件各向异性的难题。

面成型光固化技术具有明显的打印速度优势,但是还存在制件成型精度较差等问题,完善和优化该技术的相关课题具有重要的研究价值。笔者注意到上述各学者的研究成果均基于DLP技术,对基于LCD技术的面成型光固化研究相对较少,所以笔者对LCD面成型光固化技术中的尺寸精度问题进行了相关研究。

1 实验部分

1.1 原材料

液态光敏树脂:LCD 1500,墨绿色半透明液体,深圳神说科技有限公司。

1.2 主要仪器及设备

LCD光固化成型机:L-one型,济宁雷克电子技术有限公司;

数显游标卡尺:精度0.01 mm,德清盛泰芯电子科技有限公司。

1.3 试样制备

为方便尺寸测量,试验设计了尺寸为80 mm×10 mm×4 mm的长方体样件。利用LCD光固化成型机进行固化成型,环境温度为23℃。每组试验中同一参数的试验样件制作5个,以减小试验误差。光敏树脂见光易固化,且有轻微毒性,所以试验需要在遮光环境下进行,并佩戴一次性丁腈手套,避免皮肤接触。

1.4 尺寸精度测试

使用数字显示游标卡尺对试验样件进行测量,计算出长($\bar{X}$)、宽($\bar{Y}$)、高($\bar{Z}$)三个方向的尺寸相对误差,来表征试验样件的尺寸精度。对于每个试验样件,每个方向的尺寸等精度测量5次并计算平均值作为该试验样件的实际值;每个参数的5个试验样件均按上述方式进行测量,计算5个样件的平均值作为该参数样件的实际值。尺寸相对误差=|实际值-理论值|/理论值×100%,即绝对误差占理论值的百分比。样件长、宽、高的尺寸相对误差分别用 ΔX 、 ΔY 和 ΔZ 表示。

2 结果与分析

根据西安工程大学杨根^[11]对于DLP面成型光固化工艺参数的优化研究,影响加工精度的参数有分层厚度、曝光时间、回合等待时间;试验台上位机中可供调整的参数还有底层层数、底层曝光时间等,故试验首先选用上述5个因素作为实验对象,然后进行单因素实验以筛选出对LCD面成型制件尺寸精度影响最大的因素,最后对筛选后的因素进行工艺参数优化。结果发现,分层厚度、曝光时间、回合等待时间对制件尺寸精度影响最大,而底层层数、底层曝光时间对制件尺寸精度影响不明显。

2.1 分层厚度对试验样件尺寸精度的影响

图2为不同分层厚度时的尺寸相对误差。从图2可以看出,随着分层厚度的增加,试验样件 X 、 Y 、 Z 这3个方向的尺寸相对误差均呈现由大到小再逐渐增大的趋势,即各方向的尺寸精度均遵循由低到高再到低的变化规律。此外,随着分层厚度的增加,各方向尺寸精度的绝对误差值均为由正转负,即制件各方向尺寸的测量值从大于设计值逐渐变为小于设

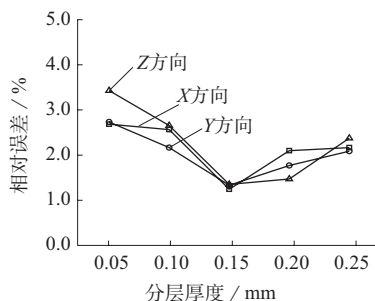


图2 不同分层厚度时的尺寸相对误差

计值。

光敏树脂的固化过程遵循 Beer-Lambert 定律^[12],见式(1)。

$$C_d = D_p \ln \frac{E}{E_c} \quad (1)$$

式中: C_d 为固化深度; D_p 为光的传播深度; E 为曝光能量; E_c 为临界曝光量。

随着分层厚度的增加,单层液态树脂完全固化所需要吸收的能量随之增加^[13]。其他参数不变的条件下,分层厚度小于0.15 mm时,单层液态树脂厚度小于固化深度 C_d ,液态光敏树脂过固化致使其固化后的Z方向实际尺寸大于设计尺寸,同时过多的曝光能量 E 会固化部分水平方向的液态树脂,使X、Y方向的实际尺寸大于设计尺寸;分层厚度大于0.15 mm时,单层液态树脂厚度大于固化深度 C_d ,液态光敏树脂欠固化致使其固化后的Z方向实际尺寸小于设计尺寸,同时水平方向边缘轮廓部分的曝光能量 E 不足以固化液态树脂,使X、Y方向的实际尺寸小于设计尺寸。在光敏树脂的固化试验过程中,笔者发现分层厚度在0.1 mm以下时,试验样件的翘曲变形过大,尺寸精度和形状精度无法保证;分层厚度在0.2 mm以上时,由于曝光能量 E 不足以产生足够的固化深度 C_d ,液态光敏树脂会出现部分无法固化的欠固化现象。所以,选择分层厚度为0.1,0.15,0.2 mm的三个水平值作为正交试验值。

2.2 曝光时间对试验样件尺寸精度的影响

图3为不同曝光时间时的尺寸相对误差。从图3可以看出,随着曝光时间的增加,试验样件X、Y、Z这3个方向的尺寸相对误差均呈现由大到小再逐渐增大的趋势,即各方向的尺寸精度均遵循由低到高再到低的变化规律。此外,随着曝光时间的增加,各方向尺寸精度的绝对误差值均为由负转正,即制件各方向尺寸的测量值从小于设计值逐渐变为大于设计值。

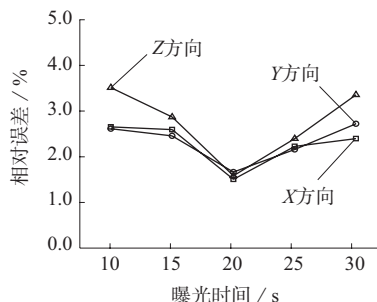


图3 不同曝光时间时的尺寸相对误差

已知曝光能量公式见式(2)^[12]。

$$E = I t \quad (2)$$

式中: I 为透射光强; t 为曝光时间。

试验所用的LCD光固化成型机的透射光强 I 不能调整,故在透射光强 I 不变的前提下,曝光时间 t 越长,曝光能量 E 越大。结合 Beer-Lambert 定律和曝光能量公式,在其他参数不变的条件下,曝光时间小于20 s时,曝光能量 E 不足以使单层液态光敏树脂的固化程度达到固化深度 C_d ,致使制件Z方向尺寸小于设计值,同时水平方向边缘轮廓部分的曝光能量 E 不足以固化液态树脂,使X、Y方向的实际尺寸小于设计值;曝光时间大于20 s时,液态光敏树脂过固化致使其固化后的Z方向实际尺寸大于设计值,多余的曝光能量会将工作层水平方向的液态树脂固化,使X、Y方向的实际尺寸大于设计值。在光敏树脂的固化试验过程中,笔者发现曝光时间在15 s以下时,曝光能量 E 不足致使液态光敏树脂出现部分无法固化的欠固化现象;曝光时间在25 s以上时,试验样件的翘曲变形过大,尺寸精度和形状精度较难保证。所以,试验选择曝光时间15,20,25 s这三个水平值作为正交试验值。

2.3 回合等待时间对试验样件尺寸精度的影响

图4为不同回合等待时间时的尺寸相对误差。从图4可以看出,随着回合等待时间增加,试验样件X、Y、Z这3个方向的尺寸相对误差均迅速减小并

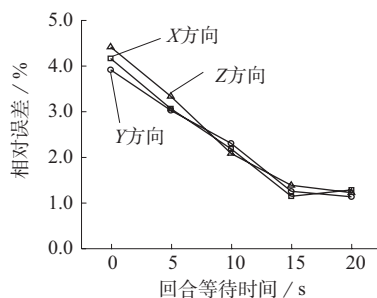


图4 不同回合等待时间时尺寸相对误差

趋于稳定,即各方向的尺寸精度均遵循由低到高的变化规律。这是由于光固化工艺是将液态光敏树脂转化为固态的过程,分子间隙大小变化产生了体积的收缩问题和制件内部残余应力问题^[14]。

回合等待时间的设置,有利于体积收缩的完成,减小制件内部的残余应力,保证了制件打印完成后一段时间内,尺寸和形状不会产生较大变化。若回合等待时间过短,则上一层刚刚固化的树脂分子还没有完全完成收缩过程即进行下一层的固化,造成试验样件的实际尺寸大于设计值,同时样件内部产生的残余应力将会使样件翘曲变形;回合等待时间增加到一定值,每一层的树脂分子都能够完成收缩,制件的尺寸精度随之趋于稳定。试验发现,回合等待时间在 10 s 以下时,样件翘曲变形较大,回合等待时间在 20 s 以上时,样件的翘曲较小,尺寸精度和形状精度较高,而回合等待时间高于 20 s 后,固化成型的效率较低,所以试验选择回合等待时间 10, 15, 20 s 这三个水平值作为正交试验值。

2.4 工艺参数的优化

笔者选用正交试验法进行多因素的参数优化^[15]。正交试验法通过科学选择部分具有代表性的点进行试验,利用较少的试验次数即可获得准确的试验结果,具有效率高、速度快、经济性强等优点,是一种应用广泛的研究多因素水平的试验方法。本次试验的影响因素有 3 个,分别为分层厚度(A)、曝光时间(B)和回合等待时间(C),因素水平取值见表 1。

表 1 因素水平表

水平	因素		
	A/mm	B/s	C/s
1	0.10	15	10
2	0.15	20	15
3	0.20	25	20

采用 $L_9(3^3)$ 正交试验表,在 LCD 面成型光固化打印平台上完成 9 组正交试验,利用数显游标卡尺分别从 X, Y, Z 三个方向上对试验样件进行尺寸测量,计算相对误差。正交试验表和正交试验结果如表 2 所示。从表 2 可以看到, X 方向尺寸相对误差为 1.13%~2.62%, Y 方向尺寸相对误差为 1.05%~2.87%, Z 方向尺寸相对误差为 1.21%~3.06%。

利用极差分析法可以判断各因素对尺寸精度的作用大小、优水平和最优参数组合^[16]。计算 X, Y, Z 方向的尺寸相对误差,根据正交试验结果,选择相对误差较大的 Z 方向作为尺寸精度参考标准,其尺寸相对误差的极差分析如表 3 所示。

表 2 正交试验表和正交试验结果

试验号	A/mm	B/s	C/s	$\Delta X/\%$	$\Delta Y/\%$	$\Delta Z/\%$
1	0.10	15	10	2.62	2.87	3.06
2	0.10	20	20	1.13	1.05	1.21
3	0.10	25	15	1.56	1.38	1.62
4	0.15	15	20	1.29	1.17	1.36
5	0.15	20	15	1.69	1.88	1.73
6	0.15	25	10	2.27	2.37	2.12
7	0.20	15	15	2.41	2.44	2.44
8	0.20	20	10	2.54	2.66	2.81
9	0.20	25	20	2.02	2.12	1.91

表 3 Z 向尺寸相对误差极差分析表

项目 ¹⁾	A	B	C	%
K_1	5.89	6.86	7.99	
K_2	5.21	5.75	5.79	
K_3	7.16	5.65	4.48	
$K_{总}$	18.26	18.26	18.26	
极差	1.95	1.21	3.51	
优水平	A2	B3	C3	

注: 1) K_i 为 i 水平下的均值。

极差越大的因素,其对优化效果的影响越大,通过比较极差的大小,可以得知影响因素的主次顺序为 $C > A > B$,即影响因素的作用由大到小顺序依次为:回合等待时间、分层厚度、曝光时间。

为了分析更加直观,将表 3 中的各因素水平与其 K_i 值绘制折线,如图 5 示。对于尺寸相对误差来说,数值越小,说明尺寸相对误差越小,优化效果越好,所以由图 5 可以直观得出因素 A, B, C 的优水平分别为 A_2, B_3, C_3 ,尺寸精度最佳的因素水平组合为 $A_2B_3C_3$ 。所以,对尺寸精度的最佳参数优化结果为分层厚度 0.15 mm、曝光时间 25 s、回合等待时间 20 s。

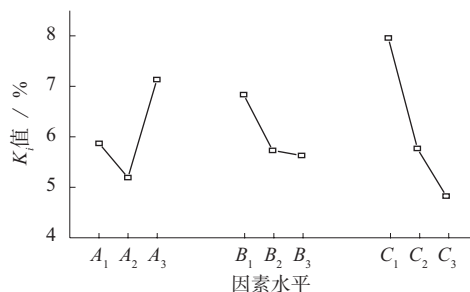


图 5 各因素水平的 K_i 值

3 优化方案的验证

将正交试验得到的最佳组合 $A_2B_3C_3$ 以及理论精度最差的组合 $A_3B_1C_1$ 再次进行试验,比较验证其参数优化的正确性。通过数显游标卡尺测量并计算其 Z 向尺寸相对误差,分别为 1.05% 和 3.55%。利用最优优化参数组合,进行了结构较为复杂的零件的试制,如图 6 所示,经测量计算得知该零件各方向尺

寸均误差在1.05%以内。以上两个验证例子,均证明本试验优化方案明显提高了制件的尺寸精度。

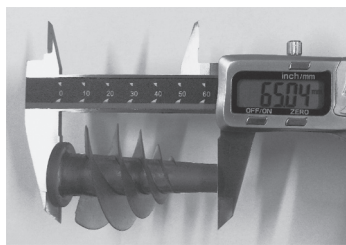


图6 利用最优化参数试制的零件

4 结论

(1) 随着分层厚度和曝光时间的增加,制件的尺寸精度呈现由低到高再到低趋势;随着回合等待时间的增加,制件的尺寸精度由低到高并趋于稳定。

(2) 由极差分析得知,制件尺寸精度的影响因素作用由大到小顺序依次为:回合等待时间、分层厚度、曝光时间。

(3) 制件尺寸精度最优的参数组合为分层厚度0.15 mm、曝光时间25 s、回合等待时间20 s,此时高度方向尺寸精度误差为1.05%。

(4) 利用多因素正交试验和极差分析得到的最优优化参数组合,确实在工艺上提高了光敏树脂制件的尺寸精度,对于通过优化工艺参数来提高制件质量具有较好指导意义。

参考文献

- [1] 李东方,陈继民,袁艳萍,等.光固化快速成型技术的进展及应用[J].北京工业大学学报,2015,41(12):1769-1774.
Li Dongfang, Chen Jimin, Yuan Yanping, et al. Development and application of stereo lithography apparatus[J]. Beijing University of Technology, 2015, 41(12):1769-1774.
- [2] 吴懋亮,朱东波,刘贵喜,等.面成型光固化方法研究[J].机械设计与制造,2007(6):128-130.
Wu Maoliang, Zhu Dongbo, Liu Guixi, et al. A novel plane prototyping method based on stereolithography[J]. Machinery Design & Manufacture, 2007(6):128-130.
- [3] 王伊卿,贾志洋,赵万华,等.面曝光快速成形关键技术及研究现状[J].机械设计与研究,2009,25(2):96-100.
Wang Yiqin, Jia Zhiyang, Zhao Wanhua, et al. The key technology and research status of mask projection stereolithography[J]. Machine Design and Research, 2009, 25(2):96-100.
- [4] 胥光申,杨根.面曝光快速成形系统制作工艺参数的优化研究[J].机械科学与技术,2015,34(2):224-228.
Xu Guangshen, Yang Gen. Optimization of the processing parameters of mask projection stereolithography system[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34(2):224-228.
- [5] 邱志惠,陈号,黄祺,等.面曝光3D打印机光强检测补偿系统研究与实现[J].西安交通大学学报,2017,51(8):77-83.
Qiu Zhihui, Chen Hao, Huang Qi, et al. Measurement and compensation of DLP projector light intensity for mask projection stereolithography[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2017, 51(8):77-83.
- [6] 闫鑫,赵学进,胡天亮,等.MIP-SLA面曝光快速成型精度改善方法[J].精密制造与自动化,2017(1):1-7,33.
Yan Xin, Zhao Xuejin, Hu Tianliang, et al. Method for improving the precision of MIP-SLA rapid prototyping[J]. Precise Manufacturing & Automation, 2017(1):1-7,33.
- [7] 宫静,胥光申,金京,等.面曝光快速成形技术的变形[J].纺织高校基础科学学报,2011,24(4):585-589.
Gong Jing, Xu Guangshen, Jin Jing, et al. The deformation of mask projection stereolithography[J]. Basic Sciences Journal of Textile Universities, 2011, 24(4):585-589.
- [8] 汪敏.面曝光快速成形的关键技术研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
Wang Min. The key technology research in mask projection stereolithography[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [9] Xu Guangshen, Yang Gen. Distortion correction of image in integral stereolithography system[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 63-64:197-200.
- [10] Tumbleston J R, Shirvanyants D, Ermoshkin N, et al. Additive manufacturing continuous liquid interface production of 3D objects[J]. Science, 2015, 347:1349.
- [11] 杨根.面曝光快速成形制作参数优化研究[D].西安:西安工程大学,2012.
Yang Gen. Research on optimization of the building parameter for mask projection stereolithography system[D]. Xi'an: Xi'an Polytechnic University, 2012.
- [12] 洪小芹,赵志敏,李鹏,等.基于光纤传感的光固化材料临界曝光量测试[J].郑州大学学报:工学版,2009,30(1):78-81.
Hong Xiaoqin, Zhao Zhimin, Li Peng, et al. Method of measuring the critical exposure of the light curing material based on optical fiber sensor[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2009, 30(1):78-81.
- [13] 杨继全.光固化快速成型的理论、技术及应用研究[D].南京:南京理工大学,2002.
Yang Jiquan. Research on theories, technologies and applications of stereolithography process[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2002.
- [14] 刘杰.光固化快速成型技术及成型精度控制研究[D].沈阳:沈阳

- 阳工业大学,2014.
- Liu Jie. Study on stereo lithography technology and control measures of prototy[D]. Shenyang:Shenyang University of Technology,2014.
- [15] 杨来侠,周文明,王勃,等. PS/ABS复合粉末选择性激光烧结工艺参数的实验研究[J]. 工程塑料应用,2017,45(5):57-62.
- Yang Laixia, Zhou Wenming, Wang Bo, et al. Experimental study on process parameters of PS / ABS composite powders based on selective laser sintering[J]. Engineering Plastics Application, 2017,45(5):57-62.
- [16] 韩江,王益康,田晓青,等. 熔融沉积(FDM)3D打印工艺参数优化设计研究[J]. 制造技术与机床,2016(6):139-142,146.
- Han Jiang, Wang Yikang, Tian Xiaoqing, et al. Design and study of fused deposition modeling(FDM) 3D printing process parameters optimization[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool,2016(6):139-142,146.

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,纵横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16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。