

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.04.014

基于计算机辅助的聚乳酸 3D 打印工艺研究

崔荣荣¹, 吴海花²

(1. 长治职业技术学院土木工程系, 山西长治 046011; 2. 山西大学应用生物学研究所, 太原 030006)

摘要:以聚乳酸骨钉为例,利用计算机辅助技术对其加工温度、打印速率和冷却速率进行了优化,通过对制件尺寸精度和力学强度的模拟,得到了最佳加工工艺为供料段、压缩段和均化段温度分别为 230,250,260℃;打印速率为 70 mm/s,冷却速率为 30℃/s。在该工艺下制得的骨钉制件尺寸精度和力学强度高。另外,还通过实际实验对模拟结果进行了验证,所得制件的尺寸误差和标准差均较小,力学强度为 54.7~56.9 MPa,与模拟结果相近。将计算机辅助技术应用到 3D 打印工艺优化中,可使优化参数周期缩短,大幅提升工作效率。

关键词:3D 打印;计算机辅助技术;模拟;工艺优化

中图分类号:TQ320.66 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2021)04-0075-05

Study on 3D Printing Processing of PLA Based on Computer Aided

Cui Rongrong¹, Wu Haihua²

(1. Department of Civil Engineering, Changzhi Polytechnic, Changzhi 046011, China;

2. Institute of Applied Biology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract : Taking polylactic acid bone nail as an example, the processing temperature, printing rate and cooling rate were optimized by using computer-aided technology. Through the simulation of the dimensional accuracy and mechanical strength of the parts, the optimal processing conditions were obtained as follows: the temperature of feeding section, compression section and homogenization section were 230, 250, 260 °C respectively, the printing rate was 70 mm/s, the cooling rate was 30 °C /s. The results show that the precision of dimension and mechanical strength of bone nail are high. In addition, the simulation results are verified by actual experiments. The dimension error and standard deviation of the parts are small, and the mechanical strength is 54.7~56.9 MPa, which is close to the simulation results. By computer-aided technology being applied to 3D process optimization, the work efficiency can be greatly improved.

Keywords : 3D printing ; computer aided technology ; simulation ; process optimization

3D 打印是一种新型的材料加工成型技术,在 高分子材料加工成型方面,尤其是在具有复杂形状的制件和薄壁制件的加工中,有着广泛的应用。3D 打印技术可以应用到诸多高分子材料的加工中,如 聚乙烯、聚丙烯等通用塑料,聚醚砜、聚醚醚酮等工 程塑料,聚乳酸 (PLA)、聚己内酯等可降解塑料^[1-5]。 这些高分子材料的 3D 打印制件在汽车工程、生物 工程、医疗卫生等不同的领域均有不同的应用。

在利用 3D 打印技术进行薄壁制件或是具有复 杂形状制件加工时,3D 打印工艺对制件的质量和性 能具有十分显著的影响。加工温度会影响高分子丝

材的流动性,冷却速率会影响高分子熔体内应力的 释放,打印速率一般需要和加工温度进行匹配,使得 高分子熔体充分熔融后再注射到打印平台。因此, 对加工工艺进行优化是保证高分子 3D 打印制件优 异性能的先决条件^[6-10]。

PLA 是一种可降解的高分子材料,具有较高的 力学强度和优异的生物相容性,常用于医疗缝合线、 可降解骨钉的生产^[11-15]。PLA 是一种热塑性塑料, 熔点约为 155~185℃,可以通过 3D 打印技术进行 加工成型。笔者拟利用 3D 打印技术制造一种 PLA 材质的骨钉,然而通过实验进行工艺优化过程较为

通信作者: 崔荣荣,讲师,主要从事化工材料及建筑 3D 建模研究 E-mail: 77NR@163.com

收稿日期: 2021-02-02

引用格式: 崔荣荣,吴海花. 基于计算机辅助的聚乳酸 3D 打印工艺研究 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(4):75-79.

Cui Rongrong, Wu Haihua. Study on 3D printing processing of PLA based on computer aided[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(4):75-79.

繁琐,因此采用计算机辅助的方法对加工工艺进行模拟和优化,研究不同工艺对骨钉质量和性能的影响。并以最优的加工工艺进行 PLA 材质骨钉的生产,对仿真结果进行验证。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PLA : 4032D, 美国 Nature Works 公司。

1.2 主要设备及仪器

3D 打印机: DC-1000 型, 湖北地创三维科技有限公司;

万能试验机: CMT4202 型, 深圳三思纵横科技股份有限公司。

1.3 3D 打印试样制备

准确称量 5 g PLA 丝材, 将其加入到 3D 打印机喂料口中。在电脑控制端输入 PLA 骨钉模型, 设定 3D 打印机供料段、压缩段和均化段温度分别为 200 ~ 230, 220 ~ 250, 230 ~ 260 °C; 打印速率为 30 ~ 90 mm/s, 冷却速率为 20 ~ 50 °C / s。3D 打印机以间歇式方式进行 PLA 骨钉的打印成型, 于打印平台上获得 PLA 骨钉制件。

1.4 性能测试

拉伸性能: 按照 GB/T 16421-1996 对 PLA 骨钉制件进行测试。

1.5 仿真实验

利用 Auto CAD 建立了 PLA 材质骨钉的模型, 其结构如图 1 所示。螺纹部分直径 (Φ) 为 3.5 mm; 长度 (l) 为 20 mm, 螺距 (d) 为 1.0 mm; 螺帽部分直径为 5 mm。PLA 骨钉的 3D 打印加工过程是利用 Moldflow 进行模拟, 研究了加工工艺对骨钉尺寸精度的影响; 骨钉的拉伸强度是利用 Material Studio 软件进行模拟, 主要研究了不同加工工艺下所制备骨钉的力学强度。

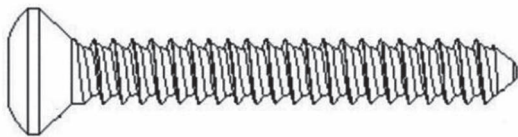


图 1 PLA 骨钉模型

2 结果与讨论

2.1 温度工艺参数的影响

利用 3D 打印技术制备 PLA 骨钉时, 3D 打印设备的温度参数主要包括供料段、压缩段和均化段的温度。其中, 供料段的温度一般略高于丝材的熔

点, 用于丝材的预热, 使 PLA 丝材发生软化; 进入到压缩段和均化段, 加工温度一般需进一步梯度提升, 使得软化的 PLA 丝材转变为流动性较好的熔体。

首先, 对 PLA 3D 打印加工温度参数进行优化, 通过正交实验研究了供料段、压缩段和均化段温度对 PLA 骨钉尺寸精度和拉伸强度 (σ) 的影响, 结果见表 1。其它工艺参数为: 打印速率 70 mm/s, 冷却速率为 30 °C / s。所有模拟结果均显示, 与 PLA 骨钉预设尺寸相比, 3D 打印骨钉 l 和 Φ 偏小, d 偏大, 这主要是由于 PLA 熔体冷却后发生尺寸收缩所导致的, 从而导致制件出现尺寸偏差。当把压缩段温度和均化段温度控制在较高范围内, 分别为 250 °C 和 260 °C, 供料段温度由 200 °C 升至 230 °C 后, 骨钉制件的尺寸精度出现了小幅上升。这是由于供料段温度上升后, PLA 丝材软化程度较高, 因此进入到压缩段和均化段后, 熔体流动性更好。

表 1 3D 打印温度参数正交试验

组别	供料段 温度 / °C	压缩段 温度 / °C	均化段 温度 / °C	Φ / mm	l / mm	d / mm	σ / MPa
1	200	250	260	3.497 7	19.992	1.000 3	54.2
2	210	250	260	3.498 2	19.995	1.000 3	54.7
3	220	250	260	3.498 9	19.997	1.000 2	55.2
4	230	250	260	3.499 6	19.998	1.000 2	55.6
5	200	220	260	3.495 7	19.983	1.000 6	52.7
6	200	230	260	3.496 4	19.987	1.000 4	53.3
7	200	240	260	3.497 2	19.990	1.000 3	53.7
8	200	220	230	3.493 1	19.972	1.001 1	46.6
9	200	220	240	3.493 9	19.977	1.000 8	49.7
10	200	220	250	3.495 1	19.981	1.000 6	51.2

而当供料段温度保持不变为 200 °C, 均化段温度保持在 260 °C, 压缩段温度由 220 °C 升至 250 °C 后, 骨钉制件的尺寸精度变化较为明显。较高的压缩段温度下, 骨钉的尺寸精度更高。这是因为较高的压缩段温度有利于 PLA 丝材的熔融; 而且压缩段温度较高, 与均化段温度接近, 更有利于熔体内应力的排除。同时, 研究了均化段温度的影响, 当供料段和压缩段温度控制为 200 °C 和 220 °C 不变时, 均化段温度由 230 °C 升至 260 °C 后, 骨钉制件的尺寸精度变化非常明显。较低的均化段温度 (230 °C) 下, PLA 骨钉 Φ 为 3.493 1 mm, l 为 19.972 mm, d 为 1.001 1 mm; 而较高的均化段温度 (260 °C) 下, PLA 骨钉 Φ 为 3.495 7 mm, l 为 19.983 mm, d 为 1.000 6 mm。这是由于, 均化段温度的高低直接影响聚合物熔体的流动性和残留内应力的分布, 较高的均化段温度有利于提高熔体的流动性, 消除内应

力,降低熔体的收缩率。

由表 1 数据还可以看出,在供料段、压缩段和均化段三个温度参数中,均化段温度对制件尺寸精度的影响最大,压缩段的影响最小。经仿真优化,可得到最佳的温度参数组合为,供料段、压缩段和均化段温度分别为 230,250,260℃。

除此之外,打印温度参数对骨钉制件的拉伸强度影响也较为显著。随着供料段、压缩段和均化段温度的降低,相应骨钉制件的拉伸强度也出现了一定程度的降低。供料段、压缩段和均化段温度对骨钉制件拉伸强度的影响趋势与对制件尺寸精度的影响趋势相似。其中供料段的影响程度较小,当保持压缩段 250℃和均化段 260℃时,供料段温度在 200~230℃范围内变化,制件的拉伸强度处于 54.2~55.6 MPa 之间,变化不大;压缩段对制件强度影响程度要高于供料段,当保持供料段 200℃和均化段 260℃,压缩段温度在 220~250℃范围内变化,制件的拉伸强度在 52.7~54.2 MPa 范围内变化;对制件强度影响最显著的温度参数为均化段温度,当保持供料段 200℃和压缩段 220℃,均化段温度在 230~260℃范围内变化,相应骨钉制件的拉伸强度由 46.6 MPa 提升到了 52.7 MPa。在最佳温度参数组合(供料段、压缩段和均化段温度分别为 230,250,260℃)下制得的骨钉制件的拉伸强度最高,为 55.6 MPa。

2.2 打印速率的影响

打印速率主要决定了 PLA 丝材在打印设备中的停留时间。若停留时间较短,高分子丝材熔体的流动性较差,导致制件中残余内应力大,制件尺寸精度较差,力学强度降低;若停留时间过长,高分子丝材则会出现烧焦的现象,也会影响到制件的尺寸精度和力学强度。因此,详细研究了打印速率对 PLA 骨钉尺寸精度和力学强度的影响,实验结果见表 2。其他工艺参数为:供料段、压缩段和均化段温度分别为 230,250,260℃;冷却速率为 30℃/s。

表 2 3D 打印速率对制件质量的影响

组别	打印速率 / (mm·s ⁻¹)	Ø / mm	l / mm	d / mm	σ /MPa
1	30	3.4987	19.993	1.000 4	47.2
2	50	3.4991	19.995	1.000 3	53.7
3	70	3.4996	19.998	1.000 2	55.6
4	90	3.4971	19.983	1.000 6	49.6

由表 2 可知,当打印速率较高时(90 mm/s),PLA 丝材熔体在打印设备中的停留时间较短,PLA

丝材熔体的流动性较差,因此相应 PLA 骨钉制件的尺寸精度也较差;骨钉制件中有残余内应力,故导致其拉伸强度也较低,仅为 49.6 MPa;随着打印速率降低至 70 mm/s,PLA 丝材停留时间延长,熔体流动性能得到改善,因此制件的尺寸精度有所提升;而且由于熔体流动性好,内应力容易排除,制件残余内应力低,制件 σ 也有所提升,为 55.6 MPa;将打印速率进一步降低至 50 mm/s 后,制件的尺寸精度和 σ 都有所降低;进一步将打印速率降低至 30 mm/s 后,由于熔体在打印设备中的停留时间过长,导致 PLA 出现一定程度的烧焦和降解现象,相应制件的尺寸精度出现了一定程度下降;然而由于打印速率过慢,与冷却速率不匹配,喷射到打印平台上的熔体冷却速率高于打印速率,层与层的粘结性能较差,制件出现缺陷,因此 σ 出现了较大程度的降低,仅为 47.2 MPa。根据以上结果可知,当打印速率为 50~70 mm/s 的范围内,制件的成型质量较高。当打印速率为 70 mm/s 时,制件的 Ø 为 3.499 6 mm, l 为 19.998 mm, d 为 1.000 2 mm,拉伸强度 σ 为 55.6 MPa。

2.3 冷却速率的影响

制件的冷却过程较为复杂,一方面熔体冷却时发生尺寸收缩,冷却速率与物料补充速率相匹配,能够保证制件的尺寸精度;另一方面,熔体在冷却过程中涉及到其内部残余应力的释放,较慢的冷却速率有利于内应力释放,从而有利于提高制件的尺寸精度和力学性能。研究了冷却速率对 PLA 骨钉质量的影响,结果见表 3。其它工艺参数为:供料段、压缩段和均化段温度分别为 230,250,260℃;打印速率为 70 mm/s。

表 3 冷却速率对制件质量的影响

组别	冷却速率 / (℃·s ⁻¹)	Ø / mm	l / mm	d / mm	σ /MPa
1	20	3.502 1	20.007	0.999 4	53.2
2	30	3.499 6	19.998	1.000 2	55.6
3	40	3.497 1	19.987	1.000 5	47.6
4	50	3.495 6	19.973	1.000 7	43.9

由表 3 可知,在较低的冷却速率下,冷却过程有较多的物料补充到打印平台,所以会导致相应骨钉制件的直径和长度偏大,螺距偏小;冷却速率为 20℃/s 时,相应制件的 Ø, l 和 d 分别为 3.502 1, 20.007, 0.999 4 mm;而在较高的冷却速率下,由于没有物料的及时补充,会导致骨钉制件出现较为明显的尺寸收缩,骨钉制件的直径和长度偏小,螺距偏

大;当冷却速率为 $40^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,相应制件的 $\varnothing$, l 和 d 分别为 3.4971, 19.987, 1.0005 mm;当冷却速率为 $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,相应制件的 $\varnothing$, l 和 d 分别为 3.4956, 19.973, 1.0007 mm。另外,较高的冷却速率下,制件内应力来不及释放,导致其力学强度较低;冷却速率为 $40, 50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,相应制件的 σ 为 47.6, 43.9 MPa。当冷却速率为 $30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,骨钉制件的尺寸精度和拉伸强度最高,制件的 $\varnothing$, l 和 d 分别为 3.4996, 19.998, 1.0002 mm, σ 为 55.6 MPa。这是由于较为合适的冷却速率与物料的补充速率相匹配,而且有足够的时间将制件的内应力释放。根据以上结果可得知,利用 3D 打印技术制备 PLA 骨钉的最佳工艺参数为:供料段、压缩段和均化段温度分别为 230, 250, 260 $^{\circ}\text{C}$;打印速率为 70 mm/s,冷却速率为 $30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

2.4 3D 打印实验

为了进一步验证计算机模拟所得最佳工艺参数的精确度和准确度,在最佳工艺参数下对 PLA 骨钉进行了 3D 打印实验验证。一共进行了 10 组 PLA 骨钉的 3D 打印实验,并对制件的尺寸和拉伸强度进行了测试,实验结果见表 4。

表 4 3D 打印实验结果

组别	$\varnothing/\text{mm}$	误差 /%	l/mm	误差 /%	d/mm	误差 /%	σ/MPa
1	3.9995	0.014	19.997	0.015	1.0002	0.020	55.6
2	3.9996	0.011	19.996	0.020	1.0003	0.030	55.1
3	3.9996	0.011	19.999	0.005	1.0003	0.030	55.0
4	3.9995	0.014	19.998	0.010	1.0003	0.030	54.7
5	3.9994	0.017	19.996	0.020	1.0002	0.020	55.0
6	3.9998	0.006	19.996	0.020	1.0001	0.010	54.7
7	3.9994	0.017	19.997	0.015	1.0002	0.020	55.7
8	3.9994	0.017	19.999	0.005	1.0003	0.030	55.6
9	3.9996	0.011	19.996	0.020	1.0002	0.020	56.3
10	3.9998	0.006	19.998	0.010	1.0002	0.020	56.9

由表 4 可知,按照最佳 3D 打印工艺参数进行 PLA 骨钉的制备,所制得的骨钉制件尺寸精度均较高。 $\varnothing$ 最大误差仅为 0.017%, l 最大误差仅为 0.020%, d 最大误差仅为 0.030%,这说明计算机仿真模拟结果的精确度较高;另外,通过计算 10 组实验的标准差对仿真模拟结果的准确度进行了评估, $\varnothing$ 标准差为 0.00005, l 标准差为 0.0004, d 标准差为 0.00002,说明了仿真结果也具有较高的准确度。另外,利用万能试验机对所制备螺钉的拉伸性能进行了测试,结果表明所制备的螺钉均具有较高的拉伸强度,为 54.7 ~ 56.9 MPa,且与模拟结果相差不大。

3 结论

对 PLA 材质的骨钉制件进行了 3D 打印工艺优化,通过对温度参数、打印速率和冷却速率进行模拟,得到了最佳的工艺参数组合为:供料段、压缩段和均化段温度分别为 230, 250, 260 $^{\circ}\text{C}$;打印速率为 70 mm/s,冷却速率为 $30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。在该 3D 打印工艺参数下,所制备制件的尺寸精度和力学强度高。制件的 $\varnothing$, l 和 d 分别为 3.4996, 19.998, 1.0002 mm, σ 为 55.6 MPa。为了验证仿真模拟结果的准确度和精确度,在最佳工艺组合的工艺参数下进行了 10 组骨钉制件的 3D 打印实验,所制备的骨钉制件的尺寸和力学强度与模拟结果相近。

参考文献

- [1] 任何东,杨景宇,李超林,等.3D 打印技术及应用趋势[J].成都工业学院学报,2018,21(2):30-36.
Ren Hedong, Yang Jingyu, Li Chaolin, et al. 3D printing technology and its application trend[J]. Journal of Chengdu Electromechanical College, 2018, 21(2):30-36.
- [2] 张胜,徐艳松,孙姗姗,等.3D 打印材料的研究及发展现状[J].中国塑料,2016,30(1):7-14.
Zhang Sheng, Xu Yansong, Sun Shanshan, et al. A review on the progress of 3D printing materials[J]. China Plastics, 2016, 30(1):7-14.
- [3] 李新,孙良双,杨亮,等.FDM 3D 打印高分子材料改性及应用进展[J].胶体与聚合物,2017,35(3):139-141.
Li Xin, Sun Liangshuang, Yang Liang, et al. FDM 3D printing polymer modification progress and application[J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2017, 35(3):139-141.
- [4] 冷洋,许苗军,李斌.3D 打印高分子材料的研究进展[J].化工新型材料,2017,45(12):198-201.
Leng Yang, Xu Miaojun, Li Bin. Development of polymer material used in three-dimension printing[J]. New Chemical Materials, 2017, 45(12):198-201.
- [5] 刘晓妹,黄关葆,马昊,等.几种用于 3D 打印的高分子材料的性能对比[J].塑料,2020,49(1):134-138.
Liu Xiaomei, Huang Guanbao, Ma Hao, et al. Performance comparison of several polymer materials used for 3D printing[J]. Plastics, 2020, 49(1):134-138.
- [6] 白鹤,苏亚辉,王核心,等.FDM 3D 打印工艺参数对 PLA 制件力学性能的影响[J].工程塑料应用,2020,48(1):72-75.
Bai He, Su Yahui, Wang Hexin, et al. Influence of FDM 3D-printing process parameters on mechanical property of PLA sample[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1):72-75.
- [7] 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.
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.
- [8] 丁易人. 基于挤出成型的食材 3D 打印工艺研究[D]. 杭州:浙江大学, 2017.
- Ding Yiren. Research on the three dimensional printing process of food materials based on extrusion molding[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [9] 胡程诚,王成诺,耿广旭,等. 聚乳酸/有机蒙脱土改性复合材料 3D 打印工艺的研究[J]. 广州化工, 2020, 48(2):59-62.
- Hu Chengcheng, Wang Chengnuo, Geng Guangxu, et al. Study on PLA / O-MMT composite material as 3D printing material[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(2):59-62.
- [10] 习武,张效迅,金鸣,等. 石墨烯增强尼龙复合材料 3D 打印工艺研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(12):38-41, 50.
- Xi Wu, Zhang Xiaoxun, Jin Ming, et al. 3D printing technology research on graphene reinforced nylon composites[J]. China Plastic s Industry, 2016, 44(12):38-41, 50.
- [11] 马修钰,王建清,王玉峰. 聚乳酸改性的研究进展[J]. 现代塑料加工应用, 2016, 28(5):57-59.
- Ma Xiuyu, Wang Jianqing, Wang Yufeng. Research progress of modified polylactic acid[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2016, 28(5):57-59.
- [12] 袁理,李芬芬,康睿玲,等. 聚乳酸增韧改性研究进展[J]. 中国塑料, 2017, 31(1):7-12.
- Yuan Li, Li Fenfen, Kang Ruiling, et al. Progress in toughening modification of poly(lactic acid)[J]. China Plastics, 2017, 31(1):7-12.
- [13] 胡堃,张余,任卫卫. 羟基磷灰石/聚乳酸人工骨修复材料的研究进展[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志, 2013(1):56-62.
- Hu Kun, Zhang Yu, Ren Weiwei. Current approaches of artificial bone repair material-hydroxyapatite / polylactide composite[J]. Chinese Jounsl of Clinical and Basic Orthopedic Research, 2013(1):56-62.
- [14] 崔阳,刘一,陈学思,等. 改性羟基磷灰石骨修复纳米复合材料的制备及生物学评价[J]. 中国组织工程研究, 2007(26):5 074-5 077.
- Cui Yang, Liu Yi, Chen Xuesi, et al. Preparation and biological evaluation of the nano-composite of modified hydroxyapatite as a bone repairing material[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2007(26):5 074-5 077.
- [15] 许国军,朱成兵,李勃,等. 3D 打印 β -TCP/HA/PLA 骨移植支架材料的研究[J]. 国际生物医学工程杂志, 2016(4):212-216.
- Xu Guojun, Zhu Chengbing, Li Bo, et al. Research on 3D printed β -TCP / HA / PLA scaffolds for bone grafts[J]. International Journal of Biomedical Engineering, 2016(4):212-216.

欢迎订阅 2021 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2021 年定价 20 元/期,全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2021 年定价 20 元/期,全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2019 年底共 47 卷 362 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2019 年底

共 28 卷 133 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 250 元。

邮局汇款:

收款地址:济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款:

户 名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

账 号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.net>