

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.03.017

芳纶纸抗张性能的测试影响因素

林晓凤, 王雪明, 严瑾, 杨刚, 刘茜

(中航复合材料有限责任公司, 北京 101300)

摘要: 为进一步提高芳纶纸抗张性能评价的可靠性和一致性, 对芳纶纸抗张性能测试过程中的影响因素进行分析和实验研究。以某规格为2 mil和1.5 mil的两种国产间位芳纶纸作为试验对象, 分析测试标准及测试过程, 主要考虑试样宽度、夹距长度和加载速率为抗张强度和断裂伸长率测试过程中的主要影响因素。对三个影响因素进行正交试验设计和方差分析, 得到影响芳纶纸抗张强度和断裂伸长率测试的主要因素并确定最佳测试条件。结果表明, 加载速率的变化对两种国产芳纶纸的抗张强度均有较显著的影响, 夹距长度的变化对2 mil国产芳纶纸的断裂伸长率有较显著的影响。改变测试条件时2 mil芳纶纸的抗张强度和断裂伸长率变化较1.5 mil芳纶纸更显著。最佳测试条件为试样宽度15 mm、夹距长度180 mm、加载速率25 mm/min。

关键词: 芳纶纸; 抗张性能; 试样宽度; 夹距长度; 加载速率

中图分类号: TS761.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)03-0101-06

Influencing Factors of Tensile Properties of Domestic Aramid Paper

Lin Xiaofeng, Wang Xueming, Yan Jin, Yang Gang, Liu Qian

(AVIC Composite Corporation Ltd., Beijing 101300, China)

Abstract : In order to improve the reliability and consistency of tensile property evaluation of aramid paper, the influencing factors for tensile property were studied and analysed. The tensile strengths for 2 mil and 1.5 mil domestic meta-aramid paper were tested. The main influencing factors of sample width, clamp distance length and loading rate were considered. The orthogonal tests were conducted and variance was analysed. The main influencing factors for tensile strength and elongation were found. The results indicate that tensile strengths are mainly influenced by loading rate for both aramid papers and the elongation for 2 mil aramid paper is significantly influenced by clamp distance length. The 2 mil aramid paper is more sensitive to 1.5 mil aramid paper with the variation of sample width, clamp distance length and loading rate. The results show that the optimum condition for tensile strength and elongation evaluation of aramid paper is 15 mm sample width, 180 mm clamp distance length and 25 mm/min loading rate.

Keywords : aramid paper ; tensile property ; sample width ; clamp distance length ; loading rate

芳纶纸蜂窝是芳纶纸经涂胶、叠合、热压等一系列复杂工艺而制作成的芳纶增强先进复合材料, 具有比强度高、轻质、阻燃、耐高温、低介电损耗等性能, 已广泛应用于航空航天等领域^[1-3]。芳纶纸是芳纶纸蜂窝主要组成材料, 芳纶纸是指以芳纶纤维及浆粕为原材料, 通过湿法成型技术抄造成原纸, 再经热压成型制得, 芳纶纸的性能对蜂窝制造工艺和性能有着重要的影响^[4-8]。抗张强度和断裂伸长率属于抗张性能, 是判定芳纶纸非常关键的指标参

数, 一方面, 在用芳纶纸制造蜂窝的过程中, 芳纶纸会拖动纸卷转动, 高抗张强度可以保证芳纶纸幅不被拉断; 另一方面, 高抗张强度有利于提高蜂窝的力学性能。高断裂伸长率能改善蜂窝内部应力的分布, 减少应力集中, 防止纸张断裂^[9-11]。

目前常用的纸张抗张性能试验方法 GB/T 12914-2018 和 ISO 1924-2-2008 中, 部分参数如试样宽度、加载速率等规定的范围较宽, 上述参数对抗张性能的影响如何也无相关研究, 故笔者选取影

基金项目: 国家质量基础设施体系项目(GZ012220406)

通信作者: 林晓凤, 硕士, 主要研究方向为复合材料检测技术

收稿日期: 2023-01-15

引用格式: 林晓凤, 王雪明, 严瑾, 等. 芳纶纸抗张性能的测试影响因素[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(3): 101-106.

Lin Xiaofeng, Wang Xueming, Yan Jin, et al. Influencing factors of tensile properties of domestic aramid paper[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3): 101-106.

响测试结果的关键因素进行三水平正交试验^[12-14],并进行方差分析,得出影响国产芳纶纸抗张性能测试的主要因素及最佳测试条件,为进一步提高国产芳纶纸抗张性能评价的可靠性和一致性提供参考。

1 试验部分

1.1 主要原材料

芳纶纸A、芳纶纸B:间位,规格分别为2 mil, 1.5 mil,超美斯新材料股份有限公司。

1.2 主要仪器及设备

抗张强度测试仪:Lorentzen & Wettre 066型,瑞典L & W公司;

场发射扫描电子显微镜(FESEM): Quattro S111230型,美国FEI公司。

1.3 测试方法

依据常用的纸张抗张性能测试方法 GB/T 12914-2018 和 ISO 1924-2-2008,采用恒速加荷法进行测试,主要参数列于表1。

表1 纸张抗张性能测试主要参数

标准名称	试样宽度/mm	夹距长度/mm	加载速率/(mm·min ⁻¹)
GB/T 12914-2018	15, 25, 50	180	15~25
ISO 1924-2-2008	15	180	15~25

1.4 测试条件的选定

(1)试样宽度的选定。

标准中规定的试样宽度最小为15 mm,最大可至50 mm。为选取合适的宽度水平,在标准规定的夹距长度180 mm及加载速率20 mm/min的条件下,试样宽度从15 mm至50 mm,选定每间隔5 mm进行一次试验,得出抗张强度和断裂伸长率,2 mil芳纶纸抗张强度随宽度的变化如图1所示,1.5 mil芳纶纸抗张强度随宽度的变化如图2所示。

由图1可看出,试样宽度在15, 20, 25, 30 mm时,2 mil芳纶纸抗张强度和断裂伸长率处于高点且较集中,自试样宽度至35 mm开始,抗张强度先降后升。

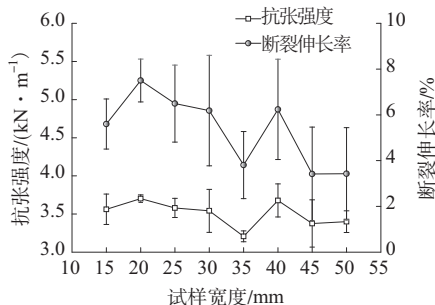


图1 2 mil芳纶纸试样抗张强度—宽度曲线

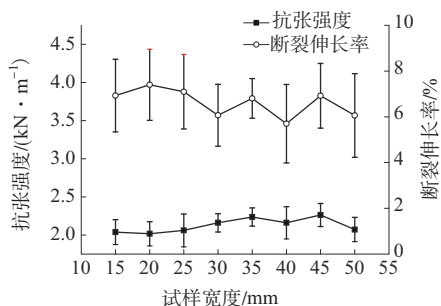


图2 1.5 mil芳纶纸试样抗张强度—宽度曲线

从图2可看出,试样宽度的变化对1.5 mil芳纶纸抗张强度影响不大,在试样宽度为15, 20, 25 mm时,1.5 mil芳纶纸断裂伸长率处于高点,自试样宽度至25 mm后,断裂伸长率波动较大。

综合2 mil芳纶纸和1.5 mil芳纶纸抗张性能随试样宽度变化的情况,为分析试样宽度对抗张性能测试的影响,取抗张性能较高且稳定的3个点对应的3个宽度水平作为测试条件,即15, 20 mm和25 mm。

(2)夹距长度的选定。

夹距长度以标准规定的180 mm为中间水平,选取165, 180, 195 mm 3个长度水平作为测试条件。

(3)加载速率的选定。

依据标准规定的加载速率,选取15, 20 mm/min和25 mm/min 3个速率水平作为测试条件。

1.5 试验设计

结合试验标准及试验过程,主要考虑试样宽度(A)、夹距长度(B)和加载速率(C)三个影响因素,对上述3个因素各选定3个水平值,以两种规格的国产间位芳纶纸为试验对象,进行3因素3水平正交试验,试验设计列于表2。为进行方差分析,每组试验至少20个样品。

表2 3因素3水平正交试验

水平	因素		
	A/mm	B/mm	C/(mm·min ⁻¹)
1	15	165	15
2	20	180	20
3	25	195	25

1.6 方差分析

方差分析所要研究的是分类自变量对数值因变量的影响,主要通过F检验对效果进行测评^[11],即检验样本的方差是否有显著性差异。

根据各组测试的自由度查F检验表,得到F,如果F值对应的显著性<0.05,则说明对应的因素各水平间差异显著,反之则无显著差异。如果F检验

不显著,说明实验中的自变量(因素)对因变量没有显著影响。如果 F 检验显著,表明差异达到了显著水平,需要进行Duncan多重比较检验出影响显著的因素。

2 结果与讨论

2.1 抗张强度测试结果分析

根据表2对规格为2 mil和1.5 mil的国产间位芳纶纸进行抗张性能测试,抗张强度结果列于表3。

表3 2 mil和1.5 mil芳纶纸抗张强度测试结果汇总

编号	A水平	B水平	C水平	抗张强度/(kN·m ⁻¹)	
				2 mil	1.5 mil
1	1	1	1	3.367	2.190
2	1	2	2	3.841	2.256
3	1	3	3	3.967	2.299
4	2	1	2	3.835	2.282
5	2	2	3	3.903	2.200
6	2	3	1	3.493	2.140
7	3	1	3	3.883	2.307
8	3	2	1	3.350	2.170
9	3	3	2	3.846	2.316

利用SPSS数据分析软件,对2 mil国产芳纶纸的抗张强度进行方差分析,结果列于表4。可看出,试样宽度和夹距长度两个因素对应的显著性均大于0.05,即试样宽度、夹距长度在一定范围内的变化对2 mil国产芳纶纸的抗张强度没有显著影响;加载速率因素对应的显著性小于0.05,即加载速率的变化对2 mil国产芳纶纸的抗张强度有较显著的影响。

表4 2 mil芳纶纸抗张强度测试正交试验分析

因素	偏差平方和	自由度	均方	F 值	显著性
A	0.004	2	0.002	2.26	0.307
B	0.010	2	0.005	5.97	0.143
C	0.462	2	0.231	264.32	0.004

对1.5 mil国产芳纶纸的抗张强度进行方差分析,结果列于表5。可看出,试样宽度和夹距长度两个因素对应的显著性均大于0.05,即试样宽度、夹距长度在一定范围内的变化对1.5 mil国产芳纶纸的抗张强度没有显著影响;加载速率因素对应的显著性小于0.05,即加载速率的变化对1.5 mil国产芳纶纸的抗张强度有较显著的影响。

表5 1.5 mil芳纶纸抗张强度测试正交试验分析

因素	偏差平方和	自由度	均方	F 值	显著性
A	0.005	2	0.003	10.76	0.085
B	0.005	2	0.002	9.36	0.096
C	0.025	2	0.012	51.00	0.019

方差分析只能判断各总体平均数间是否有差异,若要进一步确定哪两个水平间有差异,哪两个水平间没有差异,尚要进一步做两两比较,即多重比较。多重比较的方法较多,尤其在工业、农业、医学、生物学等各领域普遍应用,进行不同处理或不同总体的实验效应之间有无差别分析,从而为选择有效的处理方式提供依据,指导科学研究和生产实践。Duncan法(新复极差法)为常用的多重比较方法之一,计算公式如式(1),算得 q 值后查 q 界值表,判断各两两水平间的差异是否显著^[15-16]。

$$q = (\bar{X}_A - \bar{X}_B) / \sqrt{\frac{MS}{2} \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)} \quad (1)$$

式中: $\bar{X}_A$ —A组平均值;

$\bar{X}_B$ —B组平均值;

MS —方差分析中的计算得出的组内均方;

n_A —A组样本数;

n_B —B组样本数。

经过上述方差分析可以说明加载速率对国产芳纶纸的抗张强度有显著影响,对加载速率的各水平测试结果进行Duncan法多重比较,列于表6。可看出在2 mil和1.5 mil国产芳纶纸抗张强度测试过程中,加载速率水平1和水平2之间有显著差异,加载速率水平1和水平3之间有显著差异,加载速率水平2和水平3之间无显著差异。

表6 芳纶纸抗张强度测试中加载速率的Duncan多重比较

速率水平	速率对比水平	2 mil显著性	1.5 mil显著性
1	2	0.003	0.011
	3	0.002	0.015
2	1	0.003	0.011
	3	0.086	0.334
3	1	0.002	0.015
	2	0.086	0.070

为了选定合适的测试条件组合,通过SPSS软件得到国产芳纶纸抗张强度齐性子集,列于表7。从表7可以看出,当加载速率处于水平3时,芳纶纸抗张强度测试结果最佳。由于试样宽度和夹距长度都不是显著影响因素,结合标准要求,综合考虑试验便捷性,可选择出最佳的抗张强度测试条件为:试样宽度15 mm、夹距长度180 mm、加载速率25 mm/min。

表7 芳纶纸各速率水平下抗张强度齐性子集

规格	水平1	水平2	水平3
2 mil	3.403	3.841	3.918
1.5 mil	2.167	2.269	2.285

2.2 断裂伸长率分析

根据表2对规格为2 mil和1.5 mil的国产间位芳纶纸进行抗张性能测试,断裂伸长率结果列于表8。

表8 2 mil和1.5 mil芳纶纸断裂伸长率测试结果汇总

编号	A	B	C	断裂伸长率/%	
				2 mil	1.5 mil
1	1	1	1	4.431	4.115
2	1	2	2	4.627	4.069
3	1	3	3	4.492	3.636
4	2	1	2	4.227	4.092
5	2	2	3	4.638	3.998
6	2	3	1	4.449	3.936
7	3	1	3	4.451	3.407
8	3	2	1	4.665	3.720
9	3	3	2	4.312	3.945

对2 mil国产芳纶纸的断裂伸长率进行方差分析,结果列于表9。可看出,试样宽度和加载速率两个因素对应的显著性均大于0.05,即试样宽度、加载速率在一定范围内的变化对2 mil国产芳纶纸的断裂伸长率没有显著影响;夹距长度因素对应的显著性小于0.05,即夹距长度的变化对2 mil国产芳纶纸的断裂伸长率有较显著的影响。

表9 2 mil芳纶纸断裂伸长率测试正交试验分析

因素	偏差平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	0.009	2	0.005	2.00	0.333
B	0.128	2	0.064	27.60	0.035
C	0.035	2	0.018	7.59	0.116

对1.5 mil国产芳纶纸的断裂伸长率进行方差分析,结果列于表10。可看出,试样宽度、夹距长度和加载速率三个因素对应的显著性均大于0.05,即试样宽度、夹距长度和加载速率在一定范围内的变化对1.5 mil国产芳纶纸的断裂伸长率没有显著影响。

表10 1.5 mil芳纶纸断裂伸长率测试正交试验分析

因素	偏差平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	0.168	2	0.084	1.91	0.343
B	0.012	2	0.006	0.14	0.876
C	0.198	2	0.099	2.25	0.308

由于夹距长度对2 mil国产芳纶纸的断裂伸长率有显著影响,故对夹距长度的各水平测试结果进行多重比较,列于表11。可看出在2 mil国产芳纶纸断裂伸长率测试过程中,夹距长度在水平1和水平2之间有显著差异,夹距长度水平2和水平3之间有显著差异,夹距长度水平1和水平3之间无显著差异。

表11 芳纶纸断裂伸长率测试中夹距长度的Duncan多重比较

夹距长度水平	夹距长度对比水平	2 mil显著性
1	2	0.020
	3	0.347
2	1	0.020
	3	0.029
3	1	0.347
	2	0.029

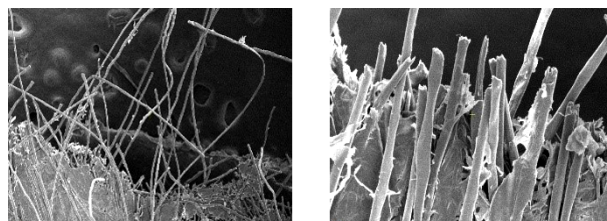
为了选定合适的测试条件组合,计算出国产芳纶纸断裂伸长率齐性子集,列于表12。从表12可以看出,对于2 mil芳纶纸,当夹距长度处于水平2时,2 mil芳纶纸断裂伸长率测试结果最佳。由于试样宽度和加载速率都不是显著影响因素,结合标准要求,综合考虑试验便捷性和高效率,可选择出最佳的断裂伸长率测试条件为:试样宽度15 mm、夹距长度180 mm、加载速率25 mm/min。

表12 国产芳纶纸各夹距长度水平下断裂伸长率齐性子集

规格	水平1	水平2	水平3
2 mil	4.370	4.643	4.418
1.5 mil	3.871	3.929	3.839

2.3 芳纶纸拉伸破坏断口分析

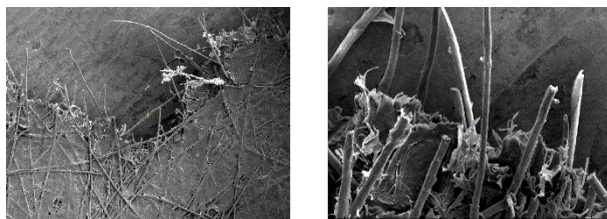
从两种芳纶纸的抗张强度和断裂伸长率正交试验结果显著性看出,对1.5 mil芳纶纸来说,加载速率和夹距长度的变化对抗张性能的影响不如2 mil芳纶纸显著。针对上述问题,笔者进行了芳纶纸拉伸破坏断口分析。对2 mil和1.5 mil芳纶纸最佳测试条件下的破坏断口进行SEM微观分析如图3和图4所示。



(a) (b)

a—放大100倍; b—放大500倍

图3 2 mil芳纶纸破坏断口微观图



(a) (b)

a—放大100倍; b—放大500倍

图4 1.5 mil芳纶纸破坏断口微观图

纤维的强度主要来源于纤维结合力,根据 Page 的纸张弹性模量理论,纤维结合力越大应力分布越均匀,断裂韧性也越高。通过图 3 和图 4 可看出,2 mil 芳纶纸断裂面上纤维被拉出的数量较 1.5 mil 芳纶纸多,且缠绕情况更明显。当纸张受力时,较多纤维缠绕时容易发生应力集中,受力情况一旦发生变化,应力集中处对力的承受力改变更明显,故改变加载速率和夹距长度时,2 mil 芳纶纸的抗张强度和断裂伸长率变化更显著。

3 结论

对某型规格为 2 mil 和 1.5 mil 的国产间位芳纶纸抗张性能测试影响因素进行正交试验设计和方差分析,结合试验标准及试验过程,主要考虑试样宽度、夹距长度和加载速率三个影响因素,结论如下:

(1)试样宽度、夹距长度在一定范围内的变化对两种规格国产芳纶纸的抗张强度没有显著影响,加载速率的变化对两种国产芳纶纸的抗张强度有较显著的影响。本试验设计中最佳的加载速率为 25 mm/min。

(2)试样宽度、加载速率在一定范围内的变化对 2 mil 国产芳纶纸的断裂伸长率没有显著影响,夹距长度的变化对 2 mil 国产芳纶纸的断裂伸长率有较显著的影响。试样宽度、夹距长度和加载速率在一定范围内的变化对 1.5 mil 国产芳纶纸的断裂伸长率没有显著影响。这是由于 2 mil 芳纶纸在受力过程中应力集中现象较 1.5 mil 芳纶纸更加明显。本试验设计中最佳的夹距长度为 180 mm。

(3)结合试样宽度、夹距长度和加载速率对抗张强度和断裂伸长率测试结果的影响,综合考虑试验标准要求、试验便捷性和高效率,为得到最佳抗张性能,提供了一种确定最佳测试条件的试验设计方法,最佳测试条件为试样宽度 15 mm、夹距长度 180 mm、加载速率 25 mm/min。

参考文献

- [1] 张建明,党晓娟.芳纶纸蜂窝芯材的制备技术及其应用研究进展[J].新材料产业,2019(12):52-56.
Zhang Jianming, Dang Xiaojuan. Research on preparation technology and application of aramid paper honeycomb core material[J]. Advanced Materials Industry, 2019(12):52-56.
- [2] Johanna S. A new approach for determining the hidden material parameters of a honeycomb[J]. Journal of Materials Science, 2014, 49(14):4 998-5 005.
- [3] 轩立新,夏晨斌,苏韬,等.对位芳纶纸蜂窝异面压缩强度影响因素

素的探究[J].中国造纸,2021,40(5):41-45.

- Xuan Lixin, Xia Chenbin, Su Tao, et al. Study on the influence factors of out-of-plane compression strength of para-aramid paper honeycomb[J]. China Pulp & Paper, 2021, 40(5):41-45.
- [4] 刘文品,杨进军,马建忠.低密度芳纶纸蜂窝制备及力学性能[J].工程塑料应用,2019,47(8):96-100.
Liu Wenpin, Yang Jinjun, Ma Jianzhong. Preparation and mechanical properties of low density aramid paper honeycomb[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(8):96-100.
- [5] Foo C C, Chai G B, Seah L K. Mechanical properties of nomex material and nomex honeycomb structure[J]. Composite Structures, 2007, 80(4):588-594.
- [6] 王盈聪,何志平,白江坡.过拉伸芳纶纸蜂窝的性能研究[J].高科技纤维与应用,2022(2):33-37.
Wang Yingcong, He Zhiping, Bai Jiangpo. Properties of the over-stretched aramid paper honeycomb[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2022(2):33-37.
- [7] 黄钧铭,孙茂健,朱敏英,等.蜂窝结构材料用国产芳纶纸性能分析[J].高科技纤维与应用,2008,33(6):33-38.
Huang Junming, Sun Maojian, Zhu Minying, et al. Performance analysis of the domestic meta-aramid paper (PMIA) used for honeycomb structure material[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2008, 33(6):33-38.
- [8] Meo M, Morris A J, Vignjevic R, et al. Numerical simulations of low-velocity impact on an aircraft sandwich panel[J]. Composite Structures, 2003, 62(3/4):353-360.
- [9] 王厚林,王宜,姚运振,等.芳纶纸结构性能及其对蜂窝力学性能的影响[J].功能材料,2013,44(15):2 184-2 187.
Wang Houlin, Wang Yi, Yao Yunzhen, et al. Aramid paper's structure and performance and their effect on the mechanical properties of aramid paper honeycomb[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44(15):2 184-2 187.
- [10] 周凯运,轩立新,王志强,等.新型蜂窝浸渍树脂及对位芳纶纸蜂窝性能[J].工程塑料应用,2021,49(2):22-28.
Zhou Kaiyun, Xuan Lixin, Wang Zhiqiang, et al. New impregnating resin and properties of para-aramid paper honeycomb[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(2):22-28.
- [11] 王萌,罗玉清,陆志远,等.对位芳纶纸性能评价方法研究[J].高科技纤维与应用,2021(2):41-50.
Wang Meng, Luo Yuqing, Lu Zhiyuan, et al. Study on properties evaluation methodology of para-aramid fiber paper[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2021(2):41-50.
- [12] 朱晓娜,马千里,邱召明,等.正交法研究国产对位芳纶拉伸强度测试的影响因素[J].合成纤维,2012,41(11):27-30.
Zhu Xiaona, Ma Qianli, Qiu Zhaoming, et al. Study on the influencing factors of the tensile strength of domestic para-aramid filament by orthogonal experimental design[J]. Synthetic Fiber in China, 2012, 41(11):27-30.
- [13] 苏玉芹,陈俊林,熊舒,等.碳纤维复丝拉伸性能测试影响因素

- 研究[J].合成纤维工业,2019,42(3):34-37.
- Su Yuqin, Chen Junlin, Xiong Shu, et al. Study on influential factors on tensile properties test for carbon fiber[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2019, 42(3):34-37.
- [14] 黄伯强,李启才.带交互作用的双因素方差分析的线性回归建模[J].统计与决策,2021(1):10-14.
- Huang Boqiang, Li Qicai. Linear regression modeling of two-factor ANOVA with interaction[J]. Statistics and Decision, 2021 (1):10-14.
- [15] 胡纯严,胡良平.如何正确运用方差分析—多个均值之间的多重比较[J].四川精神卫生,2022,35(1):22-25.
- Hu Chunyan, Hu Liangping. How to use analysis of variance correctly-the multiple comparisons among the multiple means[J]. Sichuan Mental Health, 2022, 35(1):22-25.
- [16] 许卫华,温泽淮,王奇.重复测量资料的单独效应分析及多重比较[J].广州中医药大学学报,2017,34(5):766-770.
- Xu Weihua, Wen Zehuai, Wang Qi. Single effect analysis and multiple comparison of repeated measurement data[J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 34 (5):766-770.

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,本刊将优先刊登。

(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<http://www.epa1973.net>,点击“作者投稿”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。