

基于正交试验的枕型空气衬垫优选方法

李志强^{a,b}, 任思蓉^a, 张素风^{a,b}

(陕西科技大学 a.轻工科学与工程学院 b.轻化工程国家级实验教学示范中心, 西安 710021)

摘要: **目的** 基于正交试验的方法, 探究枕型空气衬垫的规格、初始充气压强、温度、压缩速率在准静态压缩试验下对其缓冲性能影响的主次关系, 得到一组使衬垫缓冲性能优良稳定的试验变量和一种枕型空气衬垫的优选方法。**方法** 采用正交试验的方法设计 $L_9 = (3^4)$ 的正交试验, 以枕型空气衬垫为研究对象进行准静态压缩试验, 将试验结果归纳整理并进行极差分析和综合优选, 判断所研究因素对枕型空气衬垫缓冲性能影响的主次关系, 综合优选缓冲性能最优的枕型空气衬垫。**结果** 通过极差分析, 得到了影响枕型空气衬垫缓冲性能的主次因素, 由主到次依次为枕型空气衬垫规格、初始充气压强、温度、压缩速率, 继而结合试验的易操作性综合优选了枕型空气衬垫的规格为 100 mm×150 mm, 初始充气压强为 5 kPa, 温度为 30 °C, 压缩速率为 100 mm/min, 确定了一组使衬垫缓冲性能优良稳定的试验因素。**结论** 采用正交试验方法综合优选缓冲性能最优的枕型空气衬垫这一方法是可行的, 结果也明确了 4 个试验变量对枕型空气衬垫缓冲性能影响的主次关系, 这种思路能够为后续类似缓冲包装试验研究设计提供参考。

关键词: 枕型空气衬垫; 正交试验; 综合优选

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)11-0157-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.11.023

Optimization Method of Pillow-Shaped Air Cushion Based on Orthogonal Test

LI Zhi-qiang^{a,b}, REN Si-rong^a, ZHANG Su-feng^{a,b}

(a.College of Bioresources Chemical & Materials Engineering b.National Experiental Teaching Demonstration Center for Experimental Light Chemistry Engineering, Shaanxi University of Science &Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: Static compression test is carried out on the basis of orthogonal test to study the influence of the specification, initial air pressure, temperature and compression rate of pillow-shaped air cushion on its cushioning performance, to explore the primary and secondary factors influencing its cushioning performance under static compression test. A set of test variables are obtained to make the cushioning performance of pillow-shaped air cushion good and stable, and an optimal selection method for pillow-shaped air cushion is proposed. An orthogonal test table of $L_9 = (3^4)$ is designed by means of orthogonal test, and then static compression test is carried out with pillow-shaped air cushion as the research object. The experimental results are summarized and sorted out, and range analysis is carried out on the basis of which synthetic optimization selection is carried out. The order of the influence of several factors to be studied on cushioning performance of pillow-shaped air cushion is arranged by this method, so as to select a pillow-shaped air cushion with stable and excellent cushioning performance. Through the range analysis, the order of the factors that affect the cushioning performance of the pillow-shaped air cushion is obtained, from the main to the next, namely the specification of the pillow-shaped air cushion, the initial gas pressure, the temperature and the compression rate. Then combined with the ease of

收稿日期: 2020-10-25

作者简介: 李志强 (1976—), 男, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为绿色包装技术。

operation of the test, the pillow-shaped air cushion has a specification of 100 mm×150 mm, an initial inflation pressure of 5 kPa, a temperature of 30 °C, and a compression rate of 100 mm/min. Therefore, a set of test factors which make the pillow-shaped air cushion good and stable are determined. The study shows that it is feasible to select the pillow-shaped air cushion with the best cushioning performance synthetically by orthogonal test method, the results also clarify the sequence of the four test variables' influence on the cushioning performance of pillow-shaped air cushion, which can also provide reference for the subsequent similar cushioning packaging test and design.

KEY WORDS: pillow-shaped air cushion; orthogonal test; synthetic optimization

为缓解包装废弃物对环境的压力,研究开发可生物降解的环保包装新材料成为热门。空气衬垫在缓冲包装中属于绿色包装形式^[1],但其材料本身不属于环境友好型材料,有待开发可满足其性能的新型环保材料。在这种趋势下,研究空气衬垫的薄膜材料性能具有重要意义。薄膜材料的拉伸强度直接关系到空气衬垫的缓冲性能^[2],因此,拟进行以薄膜材料拉伸强度为自变量的准静压、动压试验。由于在前期探索空气衬垫规格和充气压强对其缓冲性能影响的试验中,根据试验结果得到的应力-应变图线是指数函数曲线很难选择合适的衬垫规格和初始充气压强,即难以确定控制变量,因此,采用正交试验方法进行多因素多水平的准静态压缩试验,探究枕型空气衬垫的规格、初始充气压强、温度及压缩速率对其缓冲性能影响的主次关系,得到一组综合性能最优的试验变量,也得到一种枕型空气衬垫的优选方法。

正交试验利用标准化正交表安排试验方案,并对结果进行计算分析,最终迅速找到优化方案,是一种高效处理多因素优化问题的科学计算方法^[3]。张荣等^[4]引入正交试验,得到薄膜厚度等工艺参数对塑料薄膜气垫密封性能的影响程度。廖东燕等^[5]通过正交试验,筛选出夏枯草复方的最佳提取工艺。李志强等^[6]在进行某大型机电产品的木包装结构设计时,通过正交试验和有限元法得到一组强度和稳定性最优的木支撑结构。李毅等^[7]采用正交试验设计法分析了消费者对包装设计的喜好。靳阳^[8]基于正交试验法,研究了外转角、侧壁长度等工艺参数对壁厚的主次影响关系,获得了最佳的成形工艺参数组合。史贵才等^[9]引入正交试验表安排试验方案,快速合理地确定基坑设计参数,得到了最优方案。黄庆宝等^[10]采用正交试验法筛选六高康方的最佳提取工艺,并进行了验证。袁玮^[11]采用正交试验设计方法分析了密封包装内部湿度影响弹药质量相关因素的强弱程度。宋庭新等^[12]通过正交试验选择了缓冲包装件 9 组不同的结构参数,确定了缓冲件的动态性能,优选出动态性能最佳的结构参数。

文中针对安至包装材料有限公司的枕型空气衬垫,基于正交试验确定枕型空气衬垫的规格、初始充气压强、温度、压缩速率对其缓冲性能影响的主次关系,为薄膜拉伸强度对衬垫缓冲性能影响试验提供一

组控制变量,得到一种枕型空气衬垫的优选方法,为类似缓冲材料的性能试验提供一种新方法。

1 试验

1.1 目的分析

在针对枕型空气衬垫薄膜材料拉伸强度对其缓冲性能影响的准静态压缩试验研究中,自变量为不同拉伸强度的枕型空气衬垫薄膜材料,其余因素为控制变量。枕型空气衬垫的规格、初始充气压强为枕型空气衬垫本身缓冲性能的影响因素,温度为外界因素,压缩速率为试验因素。然而,这些因素对其缓冲性能的影响都不是绝对的正比或反比关系,且各因素对缓冲性能影响的主次关系无相关理论研究来参考借鉴,确定一组合理的控制变量就会存在试验量大、分析困难等问题。由此可见,与 EPE, EPS 这些缓冲材料不同,在进行枕型空气衬垫的相关试验研究时,很难确定一组使得衬垫性能优良稳定的控制变量,从而更好地研究自变量对其性能的影响。文中试验旨在寻求一种综合优选枕型空气衬垫各变量的方法,为研究枕型空气衬垫薄膜材料性能对其缓冲性能的影响奠定基础,也为类似缓冲性能的性能试验提供一种新方法。

1.2 变量分析

1) 枕型空气衬垫规格。枕型空气衬垫的规格常用长宽具体数值以及对应的长宽比来表示,选取常用的空气衬垫规格作为试验规格,且长宽比要存在差异。

2) 初始充气压强。在前期的初步试验探索中发现,对于枕型空气衬垫来说,初始充气压强越小,缓冲效果反而越好,但气压也要在一定范围内,太小或者太大都起不到该有的缓冲效果。选取枕型空气衬垫试样的 3 种初始充气压强,使枕型空气衬垫分别达到“未充满、刚好充满、充气过度”这 3 种效果。

3) 温度。早期用于空气衬垫的聚氯乙烯薄膜会因温度的变化而发生变形,现如今用于空气衬垫的聚乙烯与尼龙复合薄膜或由聚氨酯、尼龙、聚氯乙烯组成的复合膜对光和热的稳定性较好,气垫薄膜不易受外界环境的变化而发生变形^[13]。尽管如此,交通及物

流的发展带来的物流距离和地域跨度增大,导致整个物流过程中可能会发生很大的温度变化。因此,温度对空气衬垫缓冲性能的影响在物流飞速发展的今天是有必要的研究因素。温度的选取参考南北方的平均温度和试验标准所要求的条件,重点在试验室设备可满足的温度条件范围(恒温恒湿箱最低温度为 0 °C,最高温度为 60 °C)内进行取整划分,取 0, 30, 50 °C。在实际试验过程中,温度无法满足试验所需条件,因此,将试验样品按照试验所要求的温度在恒温箱中进行 24 h 的预处理,预处理完成后马上进行试验。

4) 压缩速率。空气衬垫的缓冲性能在于其内部气体可吸收能量,空气衬垫在压缩过程中会发生变形,其内部气体的稳定状态也会发生改变,从而影响气体缓冲性能。理论上来说,压缩速率影响空气衬垫的缓冲性能,选取静态试验国标要求速率为试验的最低速率,参考沈剑锋^[14]在进行空气衬垫准静压试验选取的压缩速率。试验中发现压缩速率过高时,在压缩量小于 10 mm 内需手动控制压缩量具体数值,影响试验的精确度和试验数据的科学性,因此基于以上因素,确定试验压缩速率为 12, 100, 200 mm/min。

2 正交试验设计

2.1 因素与水平的选取

根据对试验目的以及试验变量的分析,选择以下 4 个设计变量:A 为枕型空气衬垫规格;B 为初始充气压强;C 为温度;D 为压缩速率。

每个因素选择 3 个水平,分别为:枕型空气衬垫规格(100 mm × 150 mm, 150 mm × 200 mm, 100 mm × 200 mm);初始充气压强(5, 10, 15 kPa);温度(0, 30, 50 °C);压缩速率(12, 100, 200 mm/min)。

试验指标:Y₁ 为厚度变化率(%),Y₂ 为最大应力(MPa),Y₃ 为总吸能(J)。

厚度变化率 Y₁ 为压缩前后厚度值的差与压缩前厚度值的比值,其计算公式为:

$$Y_1 = \frac{|d - d_0|}{d_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:d 为压缩过程中枕型空气衬垫的厚度(mm);d₀ 为压缩前枕型空气衬垫的厚度(mm)。

最大应力 Y₂ 为枕型空气衬垫被压爆前所能承受的最大应力,单位为 MPa,应力的计算公式为:

$$Y_2 = \frac{F}{A} \quad (2)$$

式中:F 为枕型空气衬垫承受的载荷(N);A 为枕型空气衬垫的有效承载面积(mm²)。

总吸能 Y₃ 为准静态压缩过程中上压板施加的外力对枕型空气衬垫做功,单位为 J。根据功能原理,

枕型空气衬垫的弹性变形能等于外力所做的功,对 F-x 曲线积分有:

$$Y_3 = \int_0^{x_m} F dx \quad (3)$$

式中:F 为空气衬垫承受的载荷(kN);x_m 为枕型空气衬垫的压缩变形量(mm)。综合考虑试样规格和不同试样被压爆时的压缩量,选取压缩量为 24 mm 时所对应的总吸能为试验结果。

根据确定的试验因素和水平,试验选用 L⁹(3⁴) 正交表^[15](见表 1)。

表 1 因素水平
Tab.1 Factor level

水平	A 枕型空气衬垫规格/mm	B 初始充气压强/kPa	C 温度/°C	D 压缩速率/(mm·min ⁻¹)
1	100×150	5	0	12
2	150×200	10	30	200
3	100×200	15	50	100

2.2 试验方案的确定

根据表 1 的正交表确定试验方案,见表 2。

表 2 试验方案
Tab.2 Test scheme

试验序列	因素				试验方案
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁
2	1	2	2	2	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂
3	1	3	3	3	A ₁ B ₃ C ₃ D ₃
4	2	1	2	3	A ₂ B ₁ C ₂ D ₃
5	2	2	3	1	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁
6	2	3	1	2	A ₂ B ₃ C ₁ D ₂
7	3	1	3	2	A ₃ B ₁ C ₃ D ₂
8	3	2	1	3	A ₃ B ₂ C ₁ D ₃
9	3	3	2	1	A ₃ B ₃ C ₂ D ₁

根据表 2 确定的试验方案,将对应的因素水平代入各个试验方案中,具体的正交试验方案见表 3,一共 9 组试验。

2.3 准静态压缩试验

2.3.1 试验原理

准静态压缩试验在低速状态下对包装用缓冲材料施加压缩载荷,求取缓冲包装材料压缩应力-压缩应变曲线,转换得到的静态缓冲系数-最大静应力曲线可以反映材料在上述试验条件下的缓冲性能。

表3 正交试验方案
Tab.3 The scheme of orthogonal test

试验序列	A 枕型空气衬垫规格/mm	B 初始充气压强/kPa	C 温度/℃	D 压缩速率/(mm·min ⁻¹)
1	100×150	5	0	12
2	100×150	10	30	200
3	100×150	15	50	100
4	150×200	5	30	100
5	150×200	10	50	12
6	150×200	15	0	200
7	100×200	5	50	200
8	100×200	10	0	100
9	100×200	15	30	12

2.3.2 试验材料与仪器

试验材料:浙江省义乌市安至包装材料有限公司的枕型空气衬垫,衬垫所用薄膜材料为PE/PA复合薄膜,厚度为55 μm。部分试样模型见图1。



图1 枕型空气衬垫模型

Fig.1 Pillow-shaped air cushions models

试验仪器:CMT4304 微机控制电子万能试验机,美特斯工业系统有限公司;游标卡尺,精度为0.02 mm;手动式充气筒;YSD-Y60-2 型径向数显压力控制器,德清亚士达数字仪表有限公司。

2.3.3 试验方法

准静态压缩试验参考 GB/T 8168—2008《包装用缓冲材料准静态压缩试验方法》^[16],加载方式为固定压头连续加载,控制压缩速度,最大压缩量控制为试样厚度的80%。每个试验方案重复3次,剔除异常试验数据,记录载荷-位移曲线。

1) 厚度测量。枕型空气衬垫厚度参考 GB/T 451.3—2002《测纸和纸板厚度的测定》。方法为:将试样置于水平面上,上表面放置一块平整的正方形刚性板,使得试样受到(0.20±0.02)kPa 的压缩载荷,30 s 后在上压板稳定平衡的状态下用游标卡尺分别测量4个边的厚度,每边测量3次,4个边的平均值即为空气垫的厚度。

2) 接触面积测量方法。采用拓色法来得到枕型

空气衬垫和压板之间的接触面积,将充气后的衬垫下表面涂覆颜料,在下压板上放置一张面积大于未充气衬垫面积的白纸,在不同的压缩量下更换不同的白纸,测量每张白纸上颜料的面积,不同压缩量下的颜料面积即表示了压缩过程中接触面积的变化特征。

3) 预压力的设定。试验所用万能材料试验机自带的上下压板面积小,因此使用2个面积比试样大的刚性压板,将上压板重力对试样造成的压力设定为预压力,预压力为14 N。为防止试样压爆时上压板掉下与下压板重合影响接触面积的测量,在下压板四周放置垫块,垫块厚度为试样压缩前厚度的80%。

2.3.4 试验结果

正交试验方案和试验结果见表4。

表4 正交试验方案和试验结果
Tab.4 Orthogonal test scheme and test results

试验序列	因素				指标		
	A	B	C	D	Y ₁ /%	Y ₂ /MPa	Y ₃ /J
1	1	1	1	1	13.77	26.40	7.93
2	1	2	2	2	7.70	17.85	4.84
3	1	3	3	3	9.43	20.51	2.80
4	2	1	2	3	5.71	6.45	3.74
5	2	2	3	1	8.73	4.68	2.33
6	2	3	1	2	10.68	4.83	1.67
7	3	1	3	2	10.09	17.48	6.82
8	3	2	1	3	5.33	13.85	4.02
9	3	3	2	1	12.67	12.13	2.53

3 试验结果分析

对试验结果进行极差分析,见表5。

由表5可知,影响厚度变化率这一指标的因素主次和所对应的最优方案明显有别于最大应力及总吸能这2个指标,因此,在分析枕型空气衬垫缓冲性能时,枕型空气衬垫可承受的最大应力和总吸能可直接表征枕型空气衬垫缓冲性能的优劣,压缩前后的厚度变化率可作为枕型空气衬垫维持最佳缓冲性能状态的评价指标。

影响枕型空气衬垫压缩前后厚度变化率的因素从主到次排列为D, B, A, C。由此可知,枕型空气衬垫的实际使用情况决定其是否能发挥自身最佳缓冲性能;影响枕型空气衬垫可承受最大应力的因素从主到次排列为A, B, C, D,由此可知,枕型空气衬垫规格越大、长宽比越小,其可承受的最大应力越小;影响枕型空气衬垫总吸能的因素从主到次排列为B, A, D, C。由此可知,在有效范围内,枕型空气衬垫

表 5 试验结果极差分析
Tab.5 Range analysis of test results

指标	极差分析	A	B	C	D
厚度变化率/%	K_1	30.90	29.57	29.78	35.17
	K_2	25.12	21.76	26.08	28.47
	K_3	28.09	32.78	28.25	20.47
	k_1	10.30	9.86	9.93	11.72
	k_2	8.37	7.25	8.69	9.49
	k_3	9.36	10.93	9.42	6.82
	极差 R	1.93	3.67	1.23	4.90
因素主次	DBAC				
最优方案	$A_2B_2C_2D_3$				
最大应力/MPa	K_1	64.76	50.33	45.08	12.79
	K_2	15.96	36.38	33.13	13.33
	K_3	40.16	34.17	42.67	10.56
	k_1	21.59	16.78	15.03	4.26
	k_2	5.32	12.13	11.04	4.44
	k_3	13.39	11.39	14.22	3.52
	极差 R	16.27	5.39	3.98	0.92
因素主次	A B C D				
最优方案	$A_1B_1C_1D_2$				
总吸能/J	K_1	15.57	18.49	13.62	12.79
	K_2	7.74	11.19	11.11	13.33
	K_3	13.37	7.00	11.95	10.56
	k_1	5.19	6.16	4.54	4.26
	k_2	2.58	3.73	3.70	4.44
	k_3	4.46	2.33	3.98	3.52
	极差 R	2.61	3.83	0.84	0.92
因素主次	B A D C				
最优方案	$A_1B_1C_1D_2$				

的初始充气压强越大,其吸收能量的性能越低。结合极差的数值去进一步分析可知,影响枕型空气衬垫缓冲性能的因素从主到次为 A, B, C, D, 规格选取的重要性也为空气衬垫由最初的枕型到柱形的发展做出了解释。

由表 5 可知,因素 A 和 B 对于 Y_2 , Y_3 指标来说为最主要的影响因素,且对于这 2 个指标来说最好的水平皆为 A_1 , B_1 , 因此, A 取 A_1 , B 取 B_1 ; 因素 C 对于 3 个指标来说都为次要的影响因素,其水平改变对试验结果的影响不是很大,因此考虑到实际试验条件的易操控性,取 C_2 ; 因素 D 对于 Y_2 , Y_3 指标来说为次要的影响因素,但是对于 Y_1 来说为最主要的影

响因素,考虑对于 Y_1 指标来说最好的水平,则取 D_3 。根据正交试验的极差分析及试验易操控性,综合优选 $A_1B_1C_2D_3$ 方案为最优方案,即确定了目标试验的控制变量,控制变量为规格为 $100\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 的枕型空气衬垫、初始充气压强为 5 kPa , 试验预处理温度为 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、压缩速率为 100 mm/min , 得到了一组缓冲性能优良且稳定的枕型空气衬垫试验变量。

4 结语

采用正交试验法,基于对试验目的和试验变量的分析,确定了正交试验中的 4 个因素,选取四元素三水平表,设计 $L_9=(3^4)$ 的正交试验表,确定了 9 个试验方案。将 9 个方案进行准静态压缩试验,处理数据得到枕型空气衬垫压缩前后的厚度变化率、可承受的最大应力、总吸能。将试验结果进行极差分析,并结合试验操作进行综合优选,得出了影响枕型空气衬垫缓冲性能的主次因素,得到一组使衬垫缓冲性能优良稳定的试验变量,为研究薄膜材料的拉伸强度对枕型空气衬垫缓冲性能的影响提供了最科学合理的试验方案,也得到一种枕型空气衬垫的优选方法。

根据以上分析,在枕型空气衬垫的设计和实际应用中,应首先考虑空气衬垫的规格,包括大小、长宽比,在满足实际应用需求的基础上尽可能选择规格小、长宽比大的空气衬垫;其次考虑初始充气压强,充气过满反而减弱了缓冲性能;温度对枕型空气衬垫缓冲性能虽有一定影响,但在一般运输储存条件下这种影响可忽略不计;低速下衬垫的缓冲性能较为稳定且能保持最佳的缓冲性能,因此要在使用中注意衬垫可能受到的冲击,尽量避免高速冲击和突然冲击。

基于正交试验对枕型空气衬垫的优选,初步探究了枕型空气衬垫规格和初始充气压强等元素对其缓冲性能影响的主次关系,既为研究薄膜材料拉伸强度对其缓冲性能的影响研究提供了科学合理的试验方案,也为枕型空气衬垫的设计和实际应用提供了理论数据支撑,得到一种枕型空气衬垫的优选方法。这种思路也为后续类似缓冲包装试验研究设计提供参考。

参考文献:

- [1] KANG Y G, ZHANG D, DU H G. Air Filled Cushioning Material, Structures and Properties[C]// Proceedings of the 17th IAPRI World Conference on Packaging, Tianjin, 2010: 1—4.
- [2] 范珺. 空气垫缓冲包装承载性验证及影响分析[J]. 上海包装, 2016, 36(6): 41—42.
FAN Jun. Validation and Impact Analysis of Air Cushion Packing[J]. Shanghai Packaging, 2016, 36(6): 41—42.
- [3] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析

- 方法研究[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52—55.
LIU Rui-jiang, ZHANG Ye-wang, WEN Chong-wei, et al. Design and Analysis of Orthogonal Experiment[J]. Experimental Technology and Management, 2010, 27(9): 52—55.
- [4] 张荣, 张新昌. 塑料薄膜气垫密封性能及其影响因素研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(11): 92—97.
ZHANG Rong, ZHANG Xin-chang. Sealing Performance and Influencing Factors of Plastic Film Air Cushion[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(11): 92—97.
- [5] LIAO D Y, HUANG J, MA X C. Optimization of Extraction Process of Prunellae Spica Compound by Orthogonal Test[J]. Medicinal Plant, 2019, 10(3): 60—62.
- [6] 李志强, 樊博, 张素凤. 基于正交试验和有限元法的木支撑结构优化设计[J]. 包装工程, 2019, 40(19): 109—114.
LI Zhi-qiang, FAN Bo, ZHANG Su-feng. Optimization of Wooden Support Structure Based on Orthogonal Experiment and Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(19): 109—114.
- [7] 李毅, 张杰, 蔡惠平. 正交试验设计法在包装设计中的应用研究[J]. 北京印刷学院学报, 2008, 16(4): 44—46.
LI Yi, ZHANG Jie, CAI Hui-ping. Study on the Application of Orthogonal Test Design in Packaging Design[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2008, 16(4): 44—46.
- [8] 靳阳. 基于正交试验的内凹形零件成形工艺参数优化[J]. 锻压技术, 2020, 45(5): 105—109.
JIN Yang. Optimization on Forming Process Parameters for Concave Part Based on Orthogonal Test[J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45(5): 105—109.
- [9] 史贵才, 施维成, 代国忠. 基于正交试验的水利工程基坑设计方案参数优选[J]. 中国农村水利水电, 2019(12): 150—154.
SHI Gui-cai, SHI Wei-cheng, DAI Guo-zhong. Parameter Optimization of Hydraulic Engineering Foundation Pit Design Scheme Based on Orthogonal Test[J]. China Rural Water and Hydropower, 2019(12): 150—154.
- [10] 黄庆宝, 黄诗莹, 陈剑平, 等. 正交试验设计法优选六高康颗粒水提工艺[J]. 中国药业, 2020, 29(7): 74—77.
HUANG Qing-bao, HUANG Shi-ying, CHEN Jian-ping, et al. Optimization of Water Extraction Process for Liugaokang Granules by Orthogonal Experiment[J]. China Pharmaceuticals, 2020, 29(7): 74—77.
- [11] 袁玮. 正交试验设计法研究弹药密封包装内部湿度变化规律[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 50—51.
YUAN Wei. Research on the Humidity Variation inside the Sealed Ammunition Containers with Orthogonal Experimental Design[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 50—51.
- [12] 宋庭新, 刘么和, 朱若燕. 基于动态性能测试和正交试验的缓冲包装结构优化设计[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 56—57.
SONG Ting-xin, LIU Yao-he, ZHU Ruo-yan. Structure Optimization Design of Cushion Packaging Based on Dynamic Property Test and Orthogonal Design[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 56—57.
- [13] 王慧. 空气衬垫的缓冲防护机理与冲击特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2014: 3—5.
WANG Hui. The Research on Buffer Protection Mechanism and Impact Properties of the Air Cushion[D]. Harbin: Harbin University Of Commerce, 2014: 3—5.
- [14] 沈剑锋. 空气垫基本力学与缓冲性能试验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 8—9.
SHEN Jian-feng. The Basic Mechanic and Cushioning Performance Test Analysis of the Plastic Air Cushion[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008: 8—9.
- [15] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 124—132.
LI Yun-yan, HU Chuan-rong. Experimental Design and Data Processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 124—132.
- [16] GB/T 8168—2008, 包装用缓冲材料静态压缩试验方法[S].
GB/T 8168—2008, Test Method for Static Compression of Cushioning Materials for Packaging[S].