

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2021.06.017

正交实验设计方法在助行杖设计评价中的应用

冯涛,林建德,黄佳锐

(福建工程学院 设计学院·海峡工学院,福建 福州 350118)

摘要: 为了研究农村老年群体对助行杖的实际需求,将正交实验设计用于助行杖的设计评价。通过分析测试对象提取正交实验的设计因素,结合问卷调查、访谈以及文献资料分析划分因素水平,测量出相应数据并对所有样本进行定量评价。结果表明:正交实验设计有效缩减了产品样本数量,提高了产品研发效率和准确性,能够为产品设计人员快速获取最佳方案提供参考。

关键词: 助行杖;正交实验;定量评价;设计评价

中图分类号: TB472

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2021)06-0607-06

Application of orthogonal experimental design in the design and evaluation of walking sticks

FENG Tao, LIN Jiande, HUANG Jiarui

(School of Design, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In order to study the actual demand of rural elderly for walking sticks, orthogonal experimental design was used to evaluate the design of walking sticks. The design factors of orthogonal experiment were extracted by analyzing test objects, and the corresponding data was measured for quantitative evaluation of all the samples by combining questionnaire survey, interview and literature analysis. Results show that the orthogonal experiments can effectively reduce the number of product samples, improve the efficiency and accuracy of product development, and provide reference for product designers to quickly obtain the best scheme.

Keywords: walking sticks; orthogonal experiments; quantitative evaluation; design evaluation

目前市面上助行杖有很多种类,但是极少考虑到农村老年群体的特殊使用环境和行为习惯。根据调查^[1],需要使用助行杖的农村老年群体中,70%的人使用的是简单加工的手杖,27%的人直接使用未经修饰的木棍。由于农村老年群体大多曾经从事劳动密集型的农业生产,在体力和健康等方面相对城市老年群体存在更为严重的退行性问题,因此设计一款质量可靠且在功能上满足农村老年群体使用习惯的助行杖是有必要的。

现有的助行杖设计多注重产品的造型、色彩、材料、人机和用户情感体验等方面。史耀军等^[2]从用户体验出发,侧重研究产品的造型色彩设计;

李军华等^[3]从情感设计出发,扩展产品的功能;而杨熊婷^[4]则以智能化和情绪关怀为主进行理论分析。然而,现有的助行杖产品设计较少关注农村老年群体的实际需求。

正交实验设计通常用于材料配比和技术性能测评等,1978年由 Paul Green^[5]等引入市场研究领域之后也开始应用于其他领域。任英丽^[6]等将其用于 APP 界面设计研究,李文华^[7]将其用于玩具价格定价策略,戴晓波^[8]等将其用于家具产品的造型设计,吴俭涛^[9]将其用于健身车的造型设计评价。可见,正交实验设计在工业设计领域的应用以外观设计为主,评价方式以定性评价为

收稿日期: 2021-09-01

第一作者简介: 冯涛(1993—),男,河南息县人,硕士研究生,研究方向:工业设计。

通信作者: 林建德(1965—),男,台湾台南人,教授,博士,研究方向:工业设计、设计学(数字媒体)、分形数学、纳米技术。

主。综上,本研究从功能性设计出发,采取定量评价的正交实验设计方法,探究正交实验设计在助行杖设计中的应用,研究农村老年群体对助行杖的实际需求。

1 正交实验在助行杖设计中的应用

在助行杖设计中,除了用功能属性和形态属性来描述其产品定义,还需考虑目标群体的心理和生理特征及使用环境的适应性。因此,需要对

正交实验各步骤进行细化改良,使其适用于产品设计领域,设计思路如图 1 右所示。

1.1 产品评价指标

笔者通过走访周边乡镇的养老院,调查了 100 位农村老年人,发现 67% 的人有借助助行杖行走的需求或者潜在需求。为进一步研究用户的实际使用习惯,笔者选取其中 4 位对助行杖依赖度较高的老人进行访谈并记录其使用助行杖的肢体动作以供研究,具体情况如表 1。

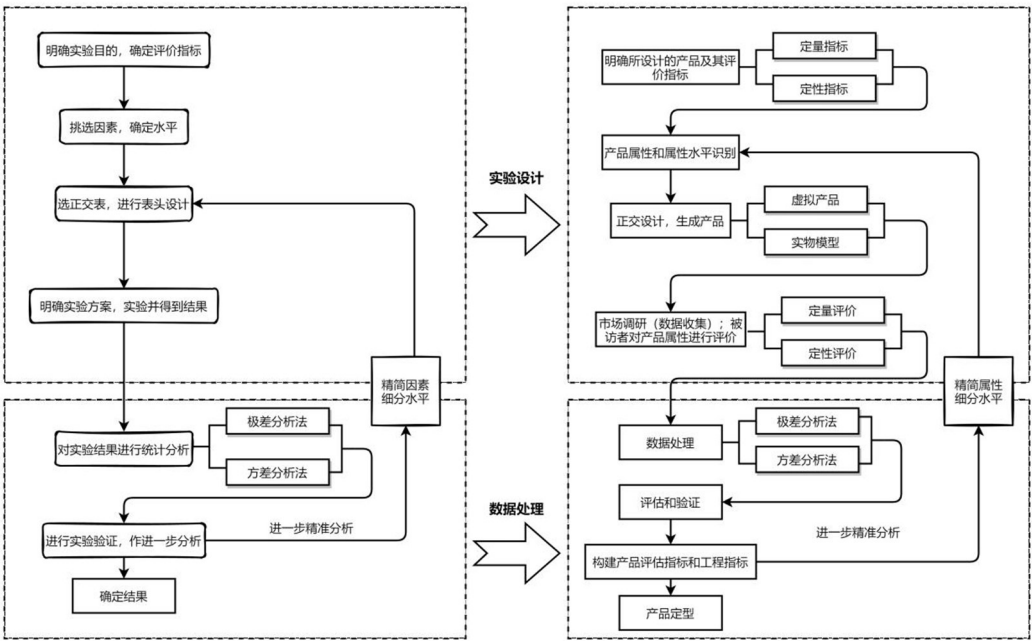


图 1 正交实验到产品设计的迁移示意图

Fig.1 Transfer diagram of orthogonal experiment to product design

表 1 助行杖使用动作分析
Tab.1 Action analysis of walking sticks

基本信息	动作	描述
张姨/85 岁/ 助行杖为竹竿 (无手柄)/ 身高 168 cm	起立	左手撑住座椅,右手握住竹竿,直接起立,有困难;右手放下竹竿,撑住地面,直接起立依然有困难,需要别人帮助才能起立。
	行走	竹杖置于两腿中间正前方,距离脚跟约有小臂距离,竹竿先行,迈左脚,右脚跟,移动杖身,循环往复。
	下坐	转身背对椅子,右手撑杆,头向右后侧看着椅面,左手下放接触椅面,左手手臂使力,慢慢坐到椅子上。
李姨/79 岁/ 助行杖为木制 龙头拐杖/ 身高 169 cm	起立	左手撑住椅背,左臂发力,右手握住拐杖手柄,身体前倾起身,待大腿与小腿夹角 100°左右,左手撑住左膝盖,右臂下压杖身,双臂同时发力,身体立起。
	行走	竹杖在身体右前方大于小臂距离,迈左脚,右脚跟,移动杖身,循环往复。
	下坐	身体在椅子左前方,右手扶着拐杖,腿部弯曲下坐。

续表

基本信息	动作	描述
李叔/83 岁/ 助行杖为金属 曲柄拐杖/ 身高 173 cm	起立	左手握住杖身塑胶包裹处最下方(金属表面上),身子前倾,双腿发力,左臂用力撑住避免身体后翻,直到身体直立,左手由杖身移至曲柄处(需要有人在一旁遮拦防止其跌倒)。
	行走	手杖曲柄朝外,杖身伸出较远距离,与地面夹角约 75°,距左腿外侧约有 10cm(主要还是防止身体前后跌倒,而不是助力),迈左脚,右脚跟上,移动杖身,循环往复。
	下坐	后背正对椅面,杖身前倾,双腿弯曲下坐(此时需有人搀扶其左臂防止跌倒)。
陈姨/76 岁/ 助行杖为金属 直柄四脚拐杖/ 身高 170 cm	起立	左手握住杖柄,抬起左肩,移动拐杖,使得拐杖底座在左脚前方略偏外,左臂发力,右手撑在右腿膝盖,身体站立,手杖交由右手使用。
	行走	右手移动拐杖,使其底座在右腿正前方距离大于小臂长度,迈左脚,右脚跟进,移动拐杖,循环往复。
	下坐	后背正对椅面,杖身位于两腿中间,左手扶手柄,右手握住杖身,自然下坐。

根据表 1 的描述可知,老年群体使用助行杖的姿势普遍不规范,需要在设计中能够温和地纠正其使用习惯,同时降低学习成本。助行杖主要有以下几个部分组成:手柄,杖身,脚垫及其他辅助部分。根据调查和分析,本研究选取杖的重心位置和脚垫落地点位置和手柄倾角作为助行杖使用效果的评价指标。

分析表 1 可知,测试对象在使用助行杖时经常依赖椅子,将其作为提供支撑的物理平台。根据测试对象使用助行杖的姿态分析,将座椅予以保留并作为一个设计要点,并对杖体和椅体进行分离设计,但椅子的加入会改变助行杖的重心位置,进而影响使用感受,本研究选取助行杖的重心位置作为其使用效果的评价指标之一。。

4 位测试对象身高相近,但在使用助行杖行走时,脚垫落地点位置差异较大,而脚垫落地点的位置与助行杖实际助力效果呈正相关性。落地点与同侧脚跟的距离在一定范围内能有效发挥助行杖的实际助力功能^[10]。因此,本研究选取脚垫落地点位置作为助行杖使用效果的评价指标之一。

本研究调查的对象中老年群体所用的助行杖不全都有手柄,手柄倾角也有差异,有手柄的助行杖其助行效果是优于无手柄的,手柄的倾角大小也会影响实际握持的舒适度^[11]。因此,手柄倾角也被作为助行杖使用效果的评价指标之一。

1.2 产品属性和属性水平识别

农村老年群体对于拐杖的产品预期是木制的,因此样品选用竹子和栎树的木材(这些都是当地常见且易于获取的材料)作为主要制作原材料。

本研究采用联合分析法^[5],提取目标用户核心需求,确定具体设计因素,查阅相关文献及结合受试老人的实际使用感受,确定了产品的 3 个主要属性,即手柄倾角、助行杖重心位置和落地点与同侧脚面的距离,距离的控制通过主、辅承重杆之间的高度差来实现;将这 3 个属性分别划分 3 个水平,并入一个客观统一的体系来进行定量评价,如图 2 所示。

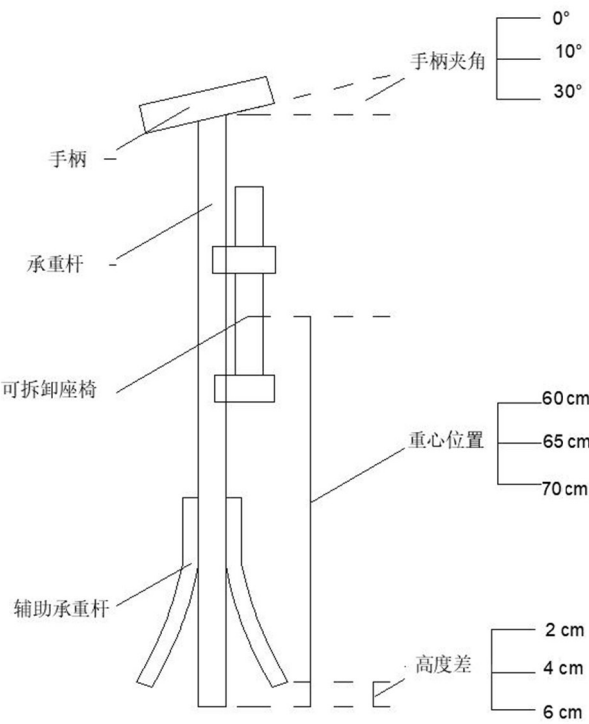


图 2 因素水平分布示意图
Fig.2 Horizontal distribution of factors

手柄倾角可以通过测量确定具体数值,笔者分析现有产品并测量其三视图得出手柄倾角的角度范围为 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$,所以先按照三等分区间对其进行划分。重心位置则按照可拆卸座椅的重心(经过计算,可拆卸座椅的重心与助行杖整体的重心大致重合)到底端的距离测算,图 2 所示的 3 个重心位置为笔者综合考虑 4 位测试对象的身高及其使用习惯得到的^[12]。而高度差的选取则是参考文献资料[10]的研究结果,每侧两个辅助承重杆与主承重杆底端构成一个平面,当此平面与地面贴合时助行杖稳定效果最好,使用也最省力。测试对象经过多次练习使用之后会形成记忆习惯,便会习惯使助行杖落点与同侧脚面处于最佳距离,达到最省力效果。为了避免规律性排序对实验结果造成干扰,实验将所有因素水平按照抽签方式排序,排序结果见表 2。

表 2 因素水平表
Tab.2 Factor level table

水平	因素		
	$A/(^{\circ})$	B/cm	C/cm
1	0	65	6
2	20	60	4
3	10	70	2

注: A 代表手柄倾角, B 代表重心位置, C 代表高度差。

根据正交实验设计表格选取规则,本组定型实验采用 L_93^4 正交实验表,同时制作用来实验的样品,按照实验因素划分,将助行杖拆解成如图 3 所示 5 类单元,组合后逐一测试。

图 3 为测试所用组合,其中序号 1 对应的部分为助行杖顶端,靠斜切角大小来调节手柄倾角;序号 2 对应的部分为辅助承重柱底端,通过其高度来控制高度差;序号 3 对应的部分为连接销,方便拆卸零件;序号 4 对应的部分为座椅配重块(其重量与后续所设计座椅一致);序号 5 对应的部分为手柄握柄。

1.3 助行杖正交实验设计

根据 L_93^4 正交实验表中因素和水平的组合方式,共产生 9 种组合,对应 9 个助行杖样本。要对 9 个助行杖样本进行定量评价,需要有一个统一的标准。鉴于本设计侧重功能性评价,故评价

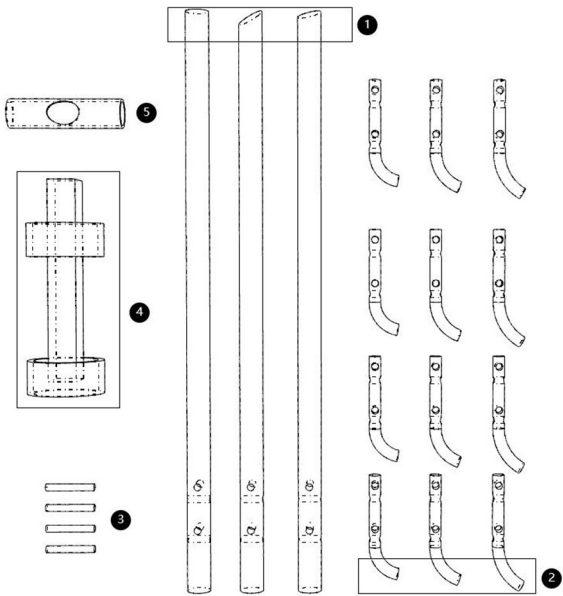


图 3 测试所用组合
Fig.3 Sample groups for testing

标准设定为其实际助行效果。采用控制变量法,将助行杖作为变量,由测试对象使用不同设计组合的助行杖在固定路面上行走,若所用时间最短,则判定该样本助行效果最佳。

测试规则:在 32 m 的直线水泥路面上,让测试对象每次使用 1 个样本,用正常步速行走(测试并未按照序号顺序,而是随机进行,以避免疲劳效应),测量其走完全程所用时间,两次时间取加权平均作为实验结果,4 组测试对象依次测试完成之后,每一项 4 人所用时间加权平均作为最终结果记录在表 3 最右列。

测试场地:河南省息县杨店乡北街幸福家园。

天气状况:雨后多云天气,微风,路面稍有潮湿,气温 26°C 。

通过正交实验方法计算出每个设计要素取不同类别所引起的变化幅度,即极差 R ,可以得出对步行所用时间影响较大的因素。其计算方式如下:

$$R = \max \{ K_1, K_2, \dots, K_n \} - \min \{ K_1, K_2, \dots, K_n \} \tag{1}$$

其中, n 为某一因素所有水平总数; K_i (i 取值 1 到 n 之间的整数) 表示任一系列上水平号为 i 时所对应的实验结果之和, 其结果记录在表 3 最下方一行。由表 3 可知, 3 个因素的影响权重分别为: 落

点距离>手柄倾角>重心位置。当手柄倾角为 20°,重心位置为 65 cm,落点距离为 4.0 cm 时走完全程所用时间最少,也就是最优组合为 A2B1C2,在表格中体现为第 4 号实验,所以不用再次进行实验。

表 3 正交实验结果记录

Tab.3 Records of orthogonal experiment results

实验号	A/(°)	B/cm	C/cm	D	时间/s
1	0	65	6	1	47.56
2	0	60	4	2	47.41
3	0	70	2	3	48.15
4	20	65	4	3	46.08
5	20	60	2	1	47.84
6	20	70	6	2	47.34
7	10	65	2	2	48.28
8	10	60	6	3	48.39
9	10	70	4	1	46.89
R	0.77	0.57	1.30	0.25	

注: A 代表手柄倾角, B 代表重心位置, C 代表高度差, D 为空白对照。

1.4 结果置信度检验

虽然极差分析法具有简单直观、计算量小等优点,但是不能体现误差大小,不能精确计算各因素对结果影响的重要程度,因此还需要进一步做方差分析来弥补其不足。

方差分析法步骤如下:

将正交实验用 $L_n(r^m)$ 表示,则因素水平数为 r ,正交表列数为 m ,总实验次数为 n ,实验结果记为 $y_i(i = 1, 2, \cdots, n)$,因素依次用字母 A、B、C... 表示, e 表示误差。

$$SS_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2$$

(2)

$$SS_j = \frac{n}{r} \sum_{i=1}^n \left(k_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)^2$$

(3)

其中, j 表示将因素 A 安排在正交表的第 $j(j = 1, 2, \cdots, m)$ 列上,实验误差的离差平方和 $SS_e = \sum SS_{空列}$ 。

$$df_j = r - 1$$

(4)

$$df_e = \sum df_{空列}$$

(5)

$$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$$

(6)

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e}$$

(7)

采用 F 检验对实验结果的置信度进行检测,结果如表 4 所示。

表 4 方差分析表

Tab.4 Variance analysis

方差来源	SS	df	MS	F	显著性
A	0.99	2	0.5	10.85	※
B	0.53	2	0.26	5.77	
C	2.73	2	1.36	29.78	※
误差	0.09	2	0.05		
总和	4.34	8			

注: $F_{\alpha=0.1}(2, 2) = 9$, 当 F 值大于 9 时,认为有显著影响。

查表^[13]可知 $F_{\alpha=0.1}(2, 2) = 9$,经过 F 检验,对于给定显著性水平 $\alpha = 0.10$,因素 A、C 对实验结果有显著影响,因素 B 对实验结果没有显著影响。

2 方案优化设计

根据方差分析和 F 检验结果,可以确定 A2B1C2 为最优组合的结论是正确的。已经根据方案申请了实用新型专利^[14],其三视图及效果图如图 4 所示,杖身与凳子分离可以有效协助老年人完成起坐的动作,杖身侧边的收纳桶方便携带收起后的凳子,使用示意图如图 5 所示。

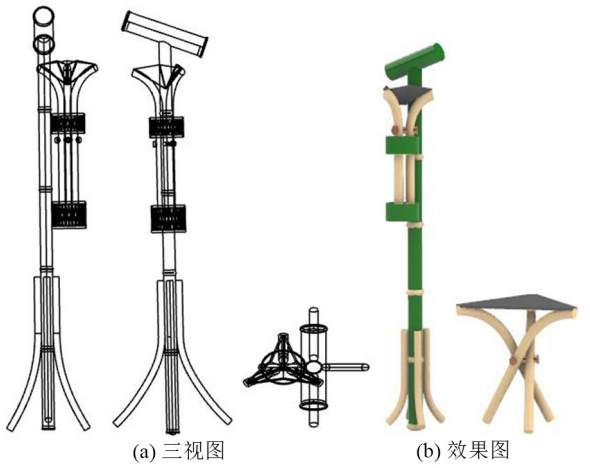


图 4 助行杖改进方案三视图及效果图

Fig.4 Three views and renderings of the improved scheme of walking sticks

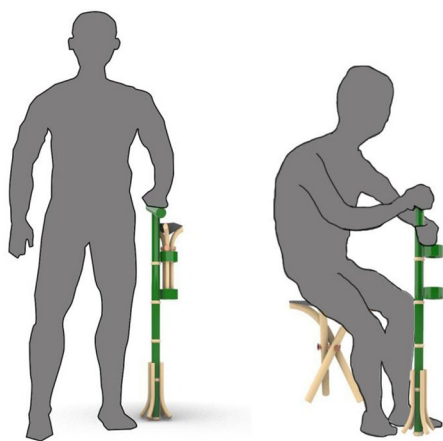


图 5 使用场景示意

Fig.5 Usage scenarios

3 结语

基于正交实验的方法对所收集的产品评价进行因素筛选和水平划分,不但能够提高评价准确性,还能缩减样本数量。本研究在实地调研基础之上,采取定量评价的方式设计出符合用户需求的助行杖,让目标群体能够直观接触到设计模型;基于真实的物理环境进行测试,让设计者也能够收到以时间作为因变量的及时反馈,反过来改进设计元素和评价体系。这种以客观可测的物理量为评价标准的产品定量评价方法,弥补了产品设计评价环节以主观打分等形式使得评价结果难以保持客观性的缺陷,可以为同类产品的定量评价提供参考,也能为其他服务于社会边缘群体需求的产品样品试制提供一种可行性方案。

参考文献:

- [1] SUWANNARATP, THAWEEWANNAKIJ T, KAEWSANMUNG S, et al. Walking devices used by community-dwelling elderly: proportion, types, and associated factors[J]. Hong Kong Physiotherapy Journal, 2015, 33(1): 34-41.
- [2] 史耀军, 常莹, 王新宇. 基于用户体验的老年人助行器设计研究[J]. 设计, 2021, 34(15): 32-34.
- [3] 李君华, 张翰丰. 基于用户体验理念的老年助行产品研究[J]. 设计, 2021, 34(13): 18-21.
- [4] 熊杨婷. UCD 设计方法在老年人助行器设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2020, 41(10): 342-344, 348.
- [5] GREEN P E, SRINIVASAN V. Conjoint analysis in consumer research: issues and outlook[J]. Journal of Consumer Research, 1978, 5(2): 103-123.
- [6] 任英丽, 常虹, 谷岩帅. 基于联合分析法的非遗文化 APP 界面设计研究[J/OL]. 包装工程: 1-9 [2021-10-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.tb.20210510.1619.006.html>.
- [7] 李文华. 智能玩具多因素权衡定价策略选择: 基于联合分析法的研究[J]. 价格理论与实践, 2019(1): 133-136.
- [8] 戴晓波, 关惠元. 正交实验设计方法在家具产品造型设计中的应用[J]. 家具, 2013, 34(3): 63-67.
- [9] 吴俭涛, 占园. 正交试验判定在健身车外观设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(24): 54-58.
- [10] 赵寅. 居家养老人群手杖操作稳定性研究[J]. 家具, 2020, 41(1): 76-81.
- [11] 邓之宜. 步行辅具的评估、选用与使用方法[J]. 台湾老年学论坛, 2012, 8: 3-11.
- [12] 余漾, 王羽, 郝俊红, 等. 老年人人体尺寸测量数据应用报告[J]. 住区, 2016(3): 107-112, 106.
- [13] 李云雁, 胡传荣. 实验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018: 255-260.
- [14] 冯涛, 林建德等. 一种新型拐杖凳: 202022603718.3[P]. 2021-06-18.

(责任编辑: 方素华)