

基于 FMEA 的老年人电子产品交互设计研究

许若飞, 李永锋

(江苏师范大学, 徐州 221116)

摘要: **目的** 设计适合老年人使用的电子产品。**方法** 提出基于失效模式与效应分析的方法, 成立 FMEA 专家小组进行讨论; 对现有老年人电子产品进行潜在失效模式分析, 计算风险优先数值 (RPN); 针对需要改进的失效模式进行合理的设计改良; 针对改良后的产品进行设计评价。**结论** 将失效模式与效应分析的方法应用于老年人电子产品设计, 可以发现设计源头问题, 尽早采取改进方案, 从而使老年人在使用电子产品时, 拥有一个良好的交互体验。

关键词: 老年人; 失效模式与效应分析; 电子产品; 交互设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)20-0222-06

Interaction Design of the Electronic Product for the Elderly Based on Failure Mode and Effects Analysis

XU Ruo-fei, LI Yong-feng

(Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: It aims to design the electronic products suitable for the elderly. Based on failure mode and effects analysis, firstly, the team of FMEA experts is set up and the related issues are discussed. Secondly, the potential failure mode of the elderly electronic products is analyzed and the risk priority number (RPN) is calculated. And then, reasonable design improvement is launched according to the failure mode which is needed to be improved. At last, design evaluations were proposed after the improvement of products. Applying the failure mode and effects analysis on the design of the elderly electronic products will be beneficial for identifying problems in the early stage of product design as well as taking the improvement measures as soon as possible. So, good interactive experience will be possessed by the elderly when using electronic products.

KEY WORDS: the elderly; failure mode and effects analysis; electronic product; interaction design

据第六次人口普查数据显示,我国已经步入老龄化社会^[1]。老龄化问题受到社会越来越多的关注,在设计领域表现为重视老年人的产品设计。失效模式与效应分析(Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)是现代西方工业广泛使用的分析方法和可靠性设计,同时也是一种模式化的思考形式和系统化的工作技

术^[2]。将 FMEA 应用于老年人产品设计,有助于设计者避开设计不当的风险,提高设计方案可行性^[3]。

FMEA 方法在服务设计^[4]、产品设计^[5]领域都得到了广泛应用,但在交互设计领域内应用较少。因此,本研究提出基于 FMEA 的交互设计研究方法,并通过该方法评估现有老年人电子产品中潜在的失效模

收稿日期: 2017-06-21

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(14YJCZH084); 江苏省高校哲学社会科学研究基金资助项目(2014SJB390); 江苏省普通高校研究生创新计划项目(SJLX16_0640)

作者简介: 许若飞(1993—),女,河南人,江苏师范大学硕士生,主攻用户体验设计和交互设计。

通讯作者: 李永锋(1979—),男,陕西人,台湾国立成功大学博士生,江苏师范大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为产品设计、人机交互、感性工学等。

式，据此制定防范、改善的措施，进而得到合理的解决方案^[6]。

1 研究方法

FMEA 最早是由美国国家宇航局 (NASA) 形成的一套缺陷预防技术分析模式，是一种实用的解决问题方法。FMEA 指导贯穿设计的整个过程，最大程度地保证所有潜在失效模式及有关起因得到充分的思考和说明，以最严谨的形式总结一个部件、子系统或系统时小组的设计思想^[7]。

本研究提出基于失效模式与效应分析的设计方法，对现有电子产品进行分析和评估，共 4 个阶段，分别为前期准备、FMEA 分析、设计改良以及改良后的设计评价，见图 1。

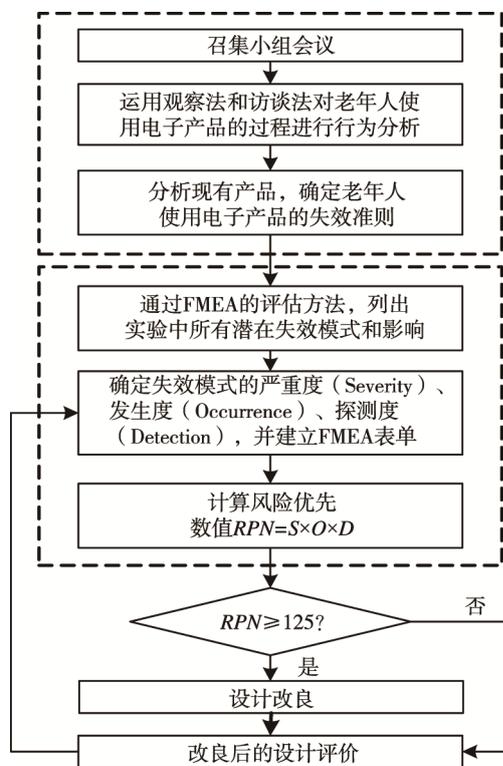


图 1 研究方法流程

Fig.1 Flow chart of research method

1.1 前期准备

成立老年人电子产品 FMEA 小组，先召集小组成员开会讨论电子产品潜在的失效模式，最大限度地保证所有潜在的失效模式和引起失效模式的原因都得到认真的分析和探讨。再运用观察法和访谈法对老年人使用电子产品的过程进行行为分析，并详细记录，以确定老年人在使用电子产品时的失效准则。

1.2 FMEA 分析

FMEA 分析共有以下 3 步。

1) 邀请老年人配合进行实验。通过 FMEA 的评估方法，在实验过程中记录所有潜在的失效模式及影响。

2) 根据记录的所有潜在失效模式，这里潜在的失效模式是指产品在使用过程中所观察到故障现象的表现形式。FMEA 表单的建立是根据用户具体的实验过程来记录和完善的，先确定所有的失效模式，再依次评估失效模式潜在失效后果的严重度和潜在失效原因的发生度，然后根据采取的措施评估探测度。

3) 评估风险优先数值。计算每一个失效模式的风险优先数值 (Risk Priority Number, RPN)，公式如下：

$$RPN = S \times O \times D \tag{1}$$

其中： S 为严重度，是指失效模式发生时影响后果严重程度的评价指标； O 为发生度，是指失效起因发生的频率；探测度 D 为探测度，是针对现有设计管制能力的评估，以探测措施发现潜在的原因和设计缺陷。 S, O, D 的评估等级从低到高分为 1~10 级。 RPN 的范围为 1~1000，如果 RPN 较高，说明所分析的环节应该进行改善。在医疗行业一般认为当 $RPN \geq 125$ 时，必须要通过改进措施合理降低 RPN 以缩小差距^[8]，即 S, O, D 每个采用第 5 级相乘 ($5 \times 5 \times 5 = 125$)。 RPN 在 1~125 之间称为“用户可容忍区域”，在 125~1000 之间称为“用户无法容忍区域”^[9]。 RPN 在“用户可容忍区域”内，数值越小，说明用户满意度越高。

1.3 设计改良

根据 FMEA 方法评估出所有潜在的失效模式及影响，从老年人的心理、生理、感官、情绪等方面对这些潜在的失效模式及影响进行详细分析和探讨。对 FMEA 表单中所有 $RPN \geq 125$ 提出合理的改善和解决方案，以提高老年人对电子产品的满意度，并降低失效模式的发生。

1.4 改良后的设计评价

针对设计改良后的方案再进行实验验证，利用 FMEA 方法，建立改良后的预防措施表单，重新评估严重度、发生度、探测度，以确定新方案的风险优先数值，进而得到改进后的血压仪综合评估结果。如果经过设计改良后的各项 RPN 都小于 125，就说明用户可以接受此方案；设计改良后 RPN 若还大于等于 125，就需要再进行设计直至 RPN 小于 125 为止，FMEA 是一个持续改进的过程^[10]。作为代表，本次研究把电子产品的失效标准^[11]定位于老年人不能顺利使用电子产品和老年人不明白电子产品界面显示的信息。

2 案例研究

在我国, 心血管疾病的死亡率占据首位, 其主要原因来自于高血压^[12]。如果能对血压进行合理控制, 将会大大降低心血管疾病的发生。电子血压仪可以为高血压患者进行血压监测和并发症预防, 在老年人日常生活中扮演着重要的角色。本研究基于 FMEA 的研究方法, 邀请 25 位年龄在 60~70 岁之间的老年人为被试, 对鱼跃 YE660D 臂式电子血压仪 (见图 2) 进行实验。

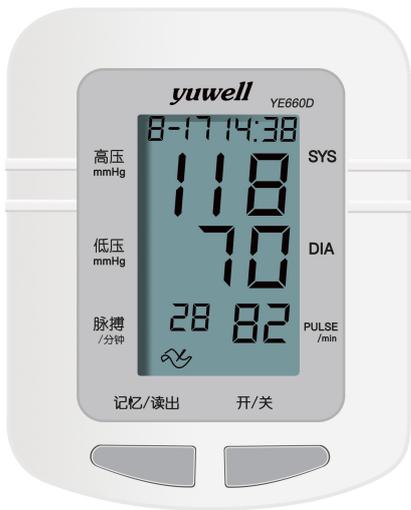


图 2 鱼跃 YE660D 臂式电子血压仪
Fig.2 Yu well YE660D arm electronic manometer

2.1 前期准备

本研究由 7 位专家组成 FMEA 小组, 在实地调研之前召集小组成员开会讨论。运用观察法和访谈法到老年人家中, 观察他们的使用情况, 跟他们进行沟通和交流, 询问老年人使用电子血压仪的一些困惑并

进行记录, 得出现有电子血压仪在设计过程中并没有充分考虑老年人的生理、心理感受。本次实验以老年人测量血压到认读血压仪界面整个过程为研究对象, 分析老年人在阅读电子血压仪界面过程中可能出现的失效模式。

2.2 FMEA 分析

根据血压仪的实际使用情况, 被试者对潜在失效模式的严重度、发生度、探测度进行打分, 再结合 FMEA 专家小组会议中的打分, 确定 *S*, *O*, *D* 的平均数值。老年用户和 FMEA 专家小组的部分打分情况如表 1 所示。然后, 把得出的 *S*, *O*, *D* 数值汇总在电子血压仪界面设计失效模式分析表中, (见表 1), 其中“*A1*”代表界面显示不清楚, 色彩搭配不当; “*A2*”代表不会使用和测量; “*A3*”代表不理解图标含义; “*A4*”代表按键过小、标识不明确; “*A5*”代表界面显示内容过多, 没有主次之分; “*A6*”代表不明白英文显示的含义; “*A7*”代表界面没显示血压测量结果是否正常; “*A8*”代表商标也是一个图标, 易混淆。

通过实验测试和数据记录, 得出的结果如表 2 所示。*A1* 的 *RPN* 按照公式 (1) 计算如下:

$$RPN = 7 \times 6 \times 3 = 126$$

同理可得 *A2*~*A8* 的 *RPN*。从表 2 中最后一栏的“*RPN*”能够看出, 除了 *A8* 的 *RPN* < 125, 属于“用户可容忍区域”, 其余 7 项的 *RPN* > 125, 属于“用户无法容忍区域”。因此, 必须要进行设计改良。在测量过程中还发现, 老年人的坐姿、袖带的位置和视线高度也会引起不正确的测量结果, 因此要时刻提醒老年人使用电子血压仪应注意的有关事项。例如: 测量时身体挺直, 不要移动; 袖带中心与心脏保持在同一高度; 测量完毕时, 视线尽量保持与界面同一水平高度阅读等。

表 1 老年用户和 FMEA 专家小组的评分情况
Tab.1 The rating situation of the elderly users and FEMA expert group

评估 人员	A1			A2			A3			A4			A5			A6			A7			A8		
	严 重 度 <i>S</i>	发 生 度 <i>O</i>	探 测 度 <i>D</i>																					
用户1	8	7	3	9	8	3	9	9	2	9	7	4	8	7	4	9	8	3	8	7	4	3	3	1
用户2	6	5	2	8	7	2	7	8	2	6	7	2	7	6	6	8	8	2	6	6	3	3	1	2
用户3	5	6	2	7	7	4	9	8	3	9	7	4	8	9	4	9	9	3	7	7	4	5	3	3
专家1	5	4	3	7	6	2	8	8	3	7	6	3	7	6	4	8	9	3	5	4	3	3	2	1
专家2	4	5	4	8	7	3	7	7	2	5	4	2	6	7	6	7	8	3	6	5	3	2	1	1
专家3	6	6	3	7	5	2	7	6	3	6	5	3	7	8	5	8	9	2	5	4	3	2	1	1
平均值	7	6	3	8	6	4	8	9	3	7	6	3	6	8	5	8	9	2	7	6	3	4	2	1

表 2 电子血压仪界面失效模式分析
Tab.2 Analysis of failure mode of interface of electronic manometer

编号	风险名称	潜在失效模式	潜在失效后果	严重程度S	潜在失效原因	发生程度O	现行流程		探测度D	RPN
							预防管制	探测方法		
1	A1界面显示不清楚, 色彩搭配不当	看不清数字, 易造成误读	读数信息出现错误	7	尺寸设计、色彩搭配不当, 界面设计不合理	6	设计时要考虑屏幕、字体大小和颜色	设计师需要查阅国标等相关规定	3	126
2	A2不会使用和测量	易出现误操作	测量失败	8	用户不会使用	6	有合理说明或提示	进行用户认知测试	4	192
3	A3不理解图标含义	造成误读	不易辨识	8	设计不合理	9	考虑老年人文化程度, 认知水平	进行老年人用户测试	3	216
4	A4按键过小、标识不明确	易出现误操作	用户体验差, 不会使用	7	设计不合理, 未考虑老年人的认知水平	6	清晰划分功能区域	进行调查	3	126
5	A5界面显示内容过多, 没有主次之分	不明白意图, 看不清楚, 不易读	不易辨识	6	设计不合理	8	设计师要从用户出发进行设计	进行用户测试	5	240
6	A6不明白英文显示的含义	读不懂	不明白表达的意思	8	未考虑用户文化程度	9	考虑老年人文化程度	进行用户测试	2	144
7	A7界面没显示血压测量结果是否正常	不知道测量结果是否正常	不知道身体不适的原因	7	缺乏说明	6	需添加血压标准值	了解正常血压范围	3	126
8	A8认为商标也是一个图标, 易混淆	易造成误读	不易辨识	4	设计不合理	2	划分上标和主屏幕区域	进行合理设计	1	8

2.3 设计改良

从心理角度上看, 随着年龄的增长, 老年人身体机能衰退, 脑功能下降, 反应迟钝, 对新事物接受缓慢, 情绪易不稳定^[13], 在操作电子血压仪时可能会遇到一些障碍。运用 FMEA 方法进行实验时发现老年人对鱼跃血压仪产生了排斥心理, 主要体现在: A2, A3, A5, A6。以上所产生的这些失效模式会导致较差的交互体验, 使老年人情绪低落。

从生理方面来看, 老年人感官功能减退, 视力下降, 触觉不灵敏^[14]。进行实验时, 老年人还提到的失效模式有: A1, A4, A7。

所以, 针对以上老年人在使用血压仪时所产生的失效模式, 并结合老年人生理、心理特征, 对电子血压仪屏幕尺寸、字体大小、色彩、图标、按键等进行设计改良(见图3)。

本次改良依据美国食品药品监督管理局(FDA)制定的设计注意事项, 做到家庭环境使用, 保证医疗设施安全、有效, 防止不良事件发生。针对失效模式A1和A5, 改良后的屏幕尺寸是60×80 mm, 将屏幕背景设计为易辨别的橙底黑字, 同时对界面信息进行重新布置, 这样界面整洁对比明显, 易于认读; 针对A2失效模式, 将开始和记忆读出键分别使用不同色彩, 对比清晰; 对于A3和A4这两个失效模式, 将



图 3 电子血压仪界面设计改良
Fig.3 Improvement of interface design of electronic manometer

按键和图标均采用文字说明式, 方便老年人认读和使用。按键的尺寸长度为 20 mm, 间距为 18 mm, 符合人机工程学按键设计标准, 保证在使用过程中不会产生误操作; 对于 A6, 在改良设计中把英文显示删去, 避免产生误解。本次改良还针对 A7 失效模式, 把“测量血压结果是否正常”和“红、黄、绿”信号灯这两个提示信息放在血压仪界面上, 血压正常绿灯亮, 血压偏高黄灯亮, 血压过高红灯亮, 文字刺激加上颜色刺

激更能够使老年人直观的了解血压状况。同时,重新设计的电子血压仪还带有语音播报功能。

2.4 改良后的设计评价

针对改良后的方案重新进行实验,建立 FMEA 失效模式的预防措施表单,再次评估 S 、 O 、 D 数值,从而得出 RPN 。本次实验仍然邀请上述 25 位老年人作为实验对象。FMEA 的测试结果见表 3。

表 3 针对改良后电子血压仪界面的失效模式预防措施的测试结果

Tab.3 The test results of the preventive measures of failure mode for the interface of the improved electronic manometer

编号	风险名称	预防措施	措施结果			
			S	O	D	RPN
1	A1	利用人机工程学界面布局原理和色彩搭配原理,进行合理的布局和色彩搭配	2	2	2	8
2	A2	需要先对用户进行一个简短的使用说明介绍,从色彩上增加按键的辨识度	1	3	2	6
3	A3	需要先对用户简单介绍图标含义	2	5	3	30
4	A4	明确各个按键含义,全部使用文字说明	2	4	2	16
5	A5	尽量减少屏幕上不必要的内容显示,做到简单、易懂	1	3	4	12
6	A6	删去英文显示,避免造成用户的不理解和误读	1	1	2	2
7	A7	显示增加测量结果是否正常和“红、黄、绿”信号灯提示	1	3	3	9
8	A8	把商标设计在最上方远离屏幕和文字	2	3	1	6

人机交互界面是人和机器进行互动交流的视觉表达形式,良好的交互界面可以传递产品的使用信息和功能,为用户提供便捷舒适的使用氛围。从表 3 中可以看出,经过设计改良后的电子血压仪界面的 $RPN < 125$,属于“用户可容忍区域”。研究表明,经过改良后的血压仪界面其显示内容、信息排布、色彩搭配、图标和按键,都方便老年人认读和操作,深受老年人喜欢。

3 讨论

本研究提出基于 FMEA 方法设计电子血压仪界面,在设计阶段能够减少潜在的诸多风险,此方法也可以扩展至其他电子产品,例如老年人手机、医疗 APP、电子血糖仪等。在电子产品的交互设计使用 FMEA 方法,需要先对该产品可能产生的所有失效模式全部列出,通过用户测试的方法得出 S 、 O 、 D 和 RPN ,进而采取有效的改善措施。在产品中运用 FMEA 方法,可以有效评估潜在失效模式,使风险逐步降低。运用 FMEA 方法时还需注意评价 S 、 O 、 D 的准确性和客观性,以确定潜在的风险优先数值。

4 结语

本论文对 FMEA 方法和电子产品交互设计进行了详细分析,并结合现在老年人使用电子产品所遇到的问题,提出将 FMEA 方法运用到电子产品交互设计领域,提高老年人对界面设计的满意度,避免老年人难以操作等诸多问题。该方法不仅为交互设计研究提供新的思路,同时也降低了新产品开发的风险。研究结果有望为老年人独立使用电子产品提供一种便捷的解决方法,推动以用户为中心的交互设计的发展。后续研究将会针对 RPN 在 1~125 之间取值的分

段量化进行深入研究,以充分发挥 FMEA 在交互设计中的作用。

参考文献:

- [1] 黄毅, 佟晓光. 中国人口老龄化现状分析[J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(21): 4853—4855.
HUANG Yi, TONG Xiao-guang. Present Situation Analysis of Aging Population in China[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2012, 32(21): 4853—4855.
- [2] MESA F A. Application of Failure Mode and Effect Analysis in Laparoscopic Colon Surgery Training[J]. World Journal of Surgery, 2014, 39(2): 536—542.
- [3] DEROSIER J, STALHANDSKE E, BAGIAN J P, et al. Using Health Care Failure Mode and Effect Analysis: the VA National Center for Patient Safety's Prospective Risk Analysis System[J]. Joint Commission Journal on Quality Improvement, 2002, 28(5): 248—267.
- [4] CHUANG Pao-tiao. Combining Service Blueprint and FMEA for Service Design[J]. Service Industries Journal, 2007, 27(1/2): 91—104.
- [5] WU Z. Nuclear Product Design Knowledge System Based on FMEA Method in New Product Development [J]. Arabian Journal Forence & Engineering, 2013, 39 (3): 2191—2203.
- [6] 刘胧, 刘虎沉. 运用 FMEA 的产品可用性评价方法 [J]. 工业工程, 2010, 13(3): 47—50.
LIU Long, LIU Hu-chen. FMEA Based Product Usa-

- bility Evaluation[J]. *Industrial Engineering*, 2010, 13(3): 47—50.
- [7] SCHMITTNER C, GRUBER T, PUSCHNER P, et al. Security Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)[J]. *Yearbook of Institute of Economic Researches*, 2014, 8666(18): 310—325.
- [8] 张道丽, 张丽萍, 杨越. 失效模式和效应分析在护理管理中的应用[J]. *中国医院管理*, 2014, 34(8): 79—80.
ZHANG Dao-li, ZHANG Li-ping, YANG Yue. Application of FMEA and Effect Analysis in Nursing Management[J]. *Chinese Hospital Management*, 2014, 34(8): 79—80.
- [9] TEIXEIRA F C. Failure Mode and Effects Analysis Based Risk Profile Assessment for Stereotactic Radio-surgery Programs at Three Cancer Centers in Brazil[J]. *Medical Physics*, 2016, 43(1):171—178.
- [10] CHIOZZA M L, PONZETTI C. FMEA: a Model for Reducing Medical Errors[J]. *International Journal of Clinical Chemistry*, 2009, 404(1):75—78.
- [11] 白晓丽, 鲁选民, 贾长学. FMEA 在商品包装设计中的应用[J]. *包装工程*, 2010, 31(11): 74—76.
- BAI Xiao-li, LU Xuan-min, JIA Chang-xue. FMEA (Failure Mode Effect Analysis) Applied in Commodity Packaging Design[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(11): 74—76.
- [12] 陈莘桃. 高血压合并糖尿病对老年人心血管疾病的影响研究[J]. *现代预防医学*, 2011, 38(16): 3253—3254.
CHEN Xin-yao. Study on the Effect of Hypertension and Diabetes for Elderly with Cardiovascular Disease [J].
- [13] 刘卓, 张芳燕, 郭伟. 基于用户体验角度的老年人交互性产品设计研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(2): 63—66.
LIU Zhuo, ZHANG Fang-yan, GUO Wei. The Interactive Product Design for the Elderly Based on User Experience[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(2): 63—66.
- [14] 李永锋, 柏锦燕. 老年人网页的情感化设计研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(20): 30—33.
LI Yong-feng, BAI Jin-yan. Emotional Design of Webpage for the Elders[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(20): 30—33.