

谢宁 DOE 在弹簧分离装置研制中的应用研究

叶顺坚 梁莹 杨斯达 周鹏飞 钱陈

(上海航天精密机械研究所, 上海 201600)



摘要: 谢宁 DOE 是在较短时间内解决复杂问题的有效方法, 某型号弹簧分离装置面临过低的一次交验合格率, 产品生产效率高、质量差。运用谢宁 DOE 中的部件搜索技术定位了弹簧分离装置弹簧力输出不合格的原因, 运用成对比较技术找到了问题症结。弹簧分离装置产品的谢宁 DOE 实践结果表明, 该实验方法能够高效定位并确定影响因素, 可在类似航天产品上推广应用谢宁 DOE 方法, 提升航天产品质量。

关键词: 谢宁 DOE; 部件搜索; 成对比较; 弹簧分离装置

Application of Shainin DOE in Manufacture of Spring Separation Device

Ye Shunjian Liang Ying Yang Sida Zhou Pengfei Qian Chen

(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600)

Abstract: Shainin DOE is an effective way to solve complex problems in a short time. Spring separation device is faced with a low pass rate, and low production efficiency and quality. By using the technique of component search positioned the reasons for the failure of spring force, and by using the technique of paired comparisons found the crux of the problem. The results of spring separation device showed that the Shainin DOE can locate the problem efficiently and identify influencing factors. In the future, Shainin DOE can be applied to similar aerospace products, and improve the quality of aerospace products.

Key words: Shainin DOE; component search; paired comparisons; spring separation device

1 引言

1935 年, 英国人罗纳德·费雪出版了《The Design of Experiments》, 首次系统介绍了实验设计的原理和方法^[1]。此后几十年, 陆续形成了经典 DOE、田口 DOE、谢宁 DOE 等实验设计方法。DOE 在产品质量控制与改进的过程中扮演了非常重要的角色, 它是工艺参数优化、制造流程改善、产品质量提高的重要保证。

谢宁 DOE 是美国人 Dorian Shainin 在 20 世纪 80 年代发明的一种实验设计方法, 相比经典 DOE 和田口 DOE, 谢宁 DOE 方法更加简单、高效。谢宁 DOE 主要运用部件搜索、成对比较、变量搜索等技术实现与产品对话、与工艺对话, 能够快速提高产品质量。本文主要介绍了谢宁 DOE 的核心工具——部件搜索技

术和成对比较技术, 并将它们应用于某型号弹簧分离装置合格率提升研究的实例中。

2 DOE 介绍

2.1 经典 DOE

经典实验设计又名古典实验设计, 是最基本也是最标准的实验设计, 主要通过筛选实验和析因法, 对实验组和对照组进行测量、激发, 建立关键因子和关键特性之间的数据模型。最后, 对比研究实验组和对照组前后测量的变化, 得出实验结论。

2.2 田口 DOE

田口实验设计是一种聚焦于最小化过程变异或使产品、过程对环境变异最不敏感的实验设计方法; 是

作者简介: 叶顺坚 (1985), 工程师, 机械工程及自动化专业; 研究方向: 航天产品质量控制与质量管理。

收稿日期: 2018-06-13

一种能设计出环境多变条件下能够稳健和优化操作的方法。目前，应用最多的是正交试验方法，通过正交试验、极差分析等得出最优的参数组合。

2.3 谢宁 DOE

谢宁实验设计采用从果到因的分析方法，以输出结果为起点，反向开展搜索，主要通过部件搜索、成对比较、变量搜索、完全析因等 10 种技术实现“与部件对话”、“与工艺对话”，快速提高产品质量^[2]。

2.4 DOE 方法对比

上述三种实验设计对比情况如表 1 所示。

表 1 DOE 方法比较

名称	经典 DOE	田口 DOE	谢宁 DOE
方法	析因法、相应曲面法	正交表、极差分析	部件搜索、成对比较等 10 种方法
原因查找	猜测、头脑风暴法	猜测、头脑风暴法	和部件、工艺对话
效果	中度改进、成功率低	低度改进、成功率低	高度改进、成功率高
成本	高，30~60 次试验	高，50~100 次试验	低，2~30 次试验
复杂度	复杂	复杂	简单
试验准备时间	长，3~14d	长，7~14d	短，1d
统计有效度	弱	较弱	强
适用性	需要硬件，主要用于生产	结合计算机仿真，较多用于理论分析	需要硬件，通用于企业的经营活动
执行难度	难	难	易

3 谢宁 DOE 详解

3.1 谢宁 DOE 一般流程

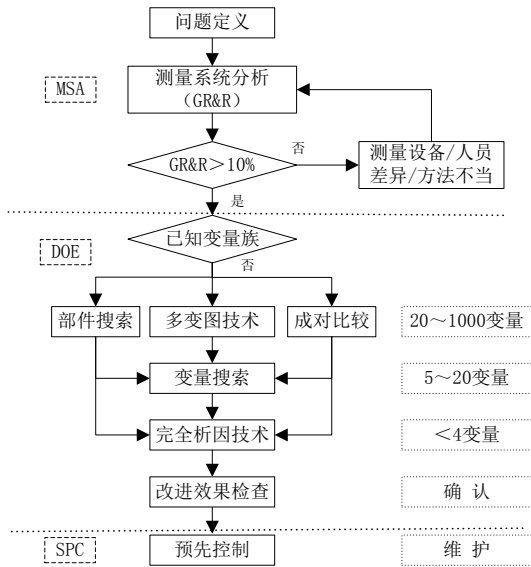


图 1 谢宁 DOE 流程图

谢宁实验设计主要包含如下几个步骤（如图 1 所示）：

- a. 问题定义，根据生产实际、质量提升要求等确定拟解决的问题；
- b. 确定测量系统，并开展测量系统精准度的检验、测量系统稳定性的分析；
- c. 列出可疑变量，采用部件搜索、成对比较、多变图技术等方法缩减变量数目，再进一步确定变量因子；
- d. 运用统计过程控制等技术对产品实现过程中的关键特性进行监控（质量改进范畴）。

实践中最常用的是部件搜索和成对比较技术，对于可拆装产品通过部件搜索技术定位问题，通过成对比较技术找到问题症结。

3.2 部件搜索技术

部件搜索主要用于可拆卸产品，其思路是通过采集极端情况的部件涵盖整个变量的范围^[3]，然后用逐个交换零件的方式查找问题零件或装配过程。实验对象为两个部件，分别为一个最好部件 BOB（Best of Best）和一个最差部件 WOW（Worst of Worst），部件搜索一般流程如下：

- a. 选取一个最好部件 BOB，一个最差部件 WOW；
- b. 拆卸和重新装配 BOB 和 WOW 两次；
- c. 进行显著性检验，由计算的 D/d 值定位装配原因或零件原因（根据部件搜索规范， D/d 值小于 1.25，问题存在于装配过程，反之，存在于零件^[4]）；
- d. 逐个交换 BOB 和 WOW 对应的零件，重新装配，直至结果出现逆转。

3.3 成对比较技术

成对比较的目的是以高置信度（ $\geq 90\%$ ）确定“好的”和“差的”产品之间的重复差异，用以确定影响问题的主要因素，其方法是基于 6~8 个 BOB 产品和 6~8 个 WOW 产品的参数数据^[4]。当部件搜索滤出问题原因后，问题产品不能再拆解时，成对比较就是部件搜索的后续工作。成对比较一般流程如下：

- a. 选取样本，确定 6~8 个 BOB 产品和 6~8 个 WOW 产品，BOB 产品和 WOW 产品相隔越远越好；
- b. 罗列所有可能影响因素，测量并记录参数数据；
- c. 进行图基检验，确定终结计数及合计终结计数；
- d. 由图基检验的置信度确定导致问题的主要因子（当合计终结计数 ≥ 6 时，说明质量参数在解释“好的”与“差的”产品差别方面的重要性上，具有 90% 以上的置信度；如合计终结计数 ≤ 5 ，则不具有充分的置信

度^[4])。

4 谢宁 DOE 应用实例

4.1 弹簧分离装置

弹簧分离装置是由若干零件组成的机械装置，广泛用于航天器产品的分离界面，其工作质量的可靠性，直接决定了航天器任务的成败。如图 2 所示的某型号弹簧分离装置，通过弹簧力的输出，用于分离航天器的作用。

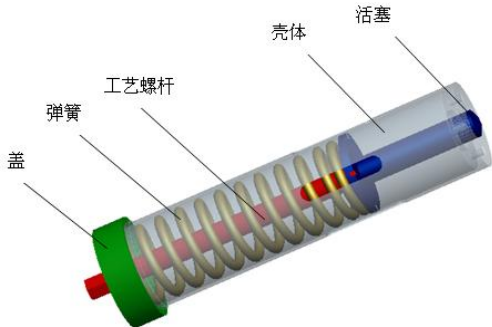


图 2 弹簧分离装置示意图

该型弹簧分离装置在实际研制过程中，面临一次交验合格率过低，生产效率低下的问题，迫切需要开展质量改进工作。

4.2 谢宁实验设计

4.2.1 问题定义

型号研制团队分析了近三个月以来所有返工返修的情况，发现弹簧力输出不合格将近 80%，为主要原因（见图 3）。因此，亟需找到弹簧分离装置力输出不合格的正真原因，提升质量与效率。

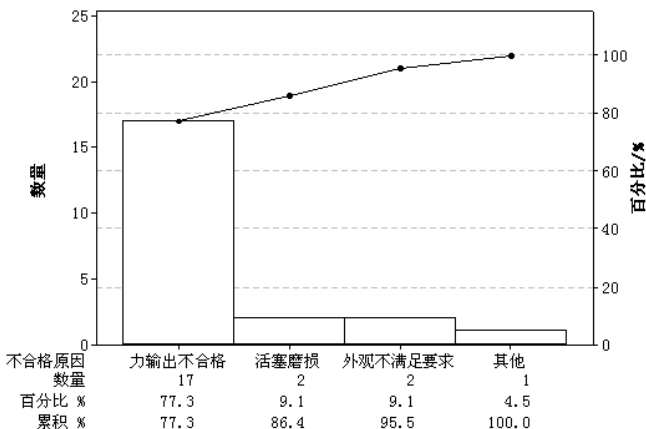


图 3 不合格品的帕累托图

对于弹簧力测量系统，因测量设备均年检合格、人员无差异、测量方法固定，认为测量系统精准度能

够满足要求，测量系统稳定。

4.2.2 问题分析

从所有合格品中选择一个弹簧输出力最优的 BOB 弹簧分离装置和一个输出力偏差最大的 WOW 弹簧分离装置。测量初始弹簧力 BOB 为 398.3N，WOW 为 380.0N，分别将弹簧分离装置拆卸并重新装配两次，弹簧力输出如表 2 所示，弹簧力和初始测量情况基本一致，表明拆卸与装配过程无异常。

表 2 弹簧力部件搜索 N

序号	试验	BOB	WOW
1	初始值	398.3	380.0
2	试验 1	398.9	379.7
3	试验 2	398.5	380.7
中值		398.5	380.0
范围		0.6	1.0
D 值		18.5	
d 值		0.8	
D/d 比值		23.1	

注：D——最好与最差间的中值差；d——最好与最差间的范围平均值。

经计算，D/d 值为 23.1，远大于 1.25，问题出在零件。按重要程度对零件进行罗列并做标签（见表 3），每次将一个 BOB 和 WOW 零件交换装配，并记录产品的输出力，连续进行这个过程，直至弹簧分离装置输出两个完全逆转的结果。

表 3 零件排序表

序号	零件（按重要程度排序）	标签
1	活塞	A
2	弹簧	B
3	壳体	C
4	盖	D
5	工艺螺杆	E

注：BOB 和 WOW 每次只交换一个零件做实验

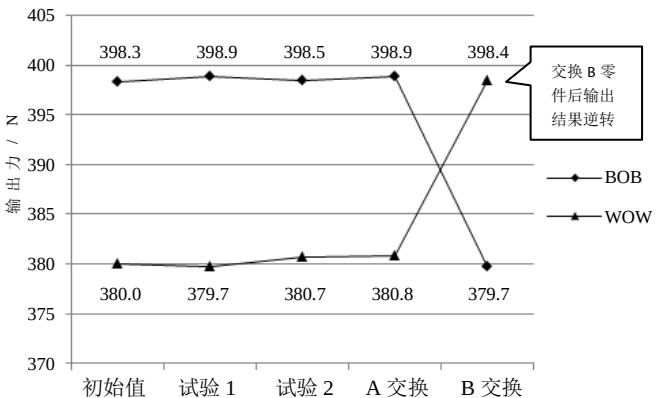


图 4 部件搜索图

在实验过程中，当零件 B（弹簧）交换后，BOB 和 WOW 的力输出结果完全逆转，可知，弹簧零件的质量是导致弹簧分离装置一次校验合格率低的根本原因，分析结果如图 4 所示。

4.2.3 根本原因分析

确定弹簧零件是引起问题的原因之后，进一步分析可能导致发生问题的弹簧零件质量特性。罗列可能

引起弹簧力输出异常的弹簧零件的质量特性，主要有弹簧直径、高度、垂直度、重量四项。选择 8 个 BOB 和 8 个 WOW 弹簧分离装置产品，将全部弹簧拆解下来，研究比较所有 16 个弹簧的疑似变量，测量记录每个参数，将测量值按降序排列，弹簧直径和输出力如图 5 左侧数据所示。

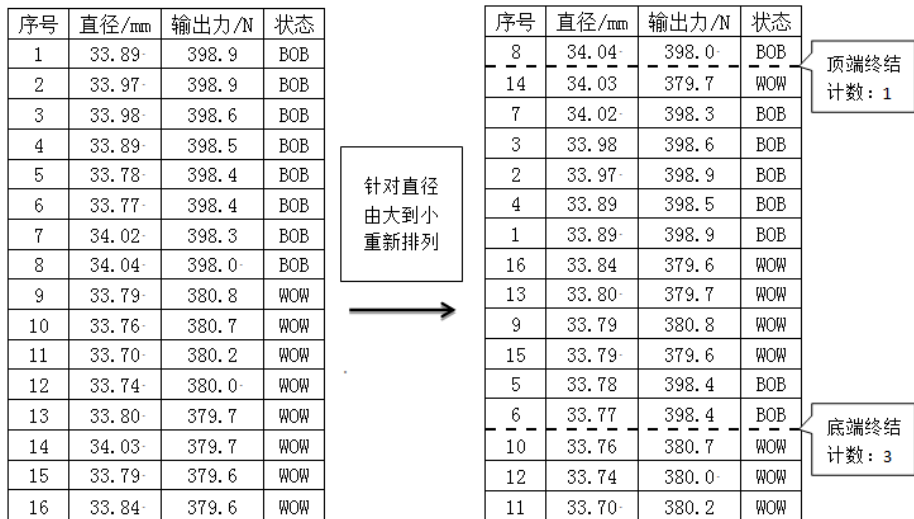


图 5 弹簧直径的成对比较分析表

根据图 5 左侧数据，运用图基检验方法，针对弹簧直径因子将直径由高到低重新排列得到图 5 右侧数据，可知，其顶端终结计数为 1、底端终结计数为 3，合计终结计数为 4。同时，对于其他质量特性根据输出力的结果进行成对比较，得到表 4。其中只有垂直度特性的合计终结计数为 10，对应置信度为 99%^[4]，因此可以确定弹簧垂直度是导致问题的根本原因。

表 4 各质量特性的成对比较结果

质量特性	直径	高度	垂直度	重量
合计终结计数	4	2	10	3
置信度	<90%	<90%	99%	<90%

5 结束语

通过谢宁 DOE 对某型号弹簧分离装置产品合格率开展实验研究，找到了问题症结，后续通过提

高弹簧成型质量，显著提升了弹簧分离装置的一次交验合格率。

该型号产品的谢宁 DOE 实践结果表明，该实验方法能够高效定位问题并确定影响因素，今后，可以在类似航天产品上推广应用谢宁 DOE 方法，提升航天产品质量。

参考文献

1 李遼, 张志英. 谢宁实验设计应用研究[J]. 河北工业科技, 2008(4): 200~202

2 徐哲, 张焱玮. 基于谢宁/博特试验设计的质量改进研究[J]. 航空标准化与质量, 2006(6): 10~13

3 林昕, 张秀梅, 林复. 道林·夏宁方法及其应用[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2001(10): 49~52

4 凯克·博特, 阿迪·博特. 世界级质量管理工具[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2004