

用 2^n 完全析因实验法改进产品质量

季士东¹, 刘红², 张小水²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:应用 2^n 完全析因实验技术,设计了一种实验方法,给出了该方法应用条件,据此,通过测量产品的特性参数,来改良产品的质量,提高产品的性能,并结合实例加以验证。

关键词:完全析因实验;质量;因素

中图分类号:F273.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)02-0081-03

在工业企业管理中,人们对产品的质量和性能极为关注,并提出了许多方法加以改进,如:田口玄一、价值工程、失效模式效应分析等,在种种质量改良技术中,试验设计方法^[1]是很重要的一种,产品的研制、生产、实验和使用都有质量问题,产品生产出来以后,需要对其性能进行检测,在此过程中会遇到指标不稳定的情况,对这一问题的处理,我们可以采用上述方法加以解决,下面我们就用完全析因实验设计方法来解决质量控制^[2-3]中的一个问题。

1 2^n 完全析因实验设计数学模型的建立

产品质量波动过大,会严重影响产品的性能,要找出真正的原因,可以直接从影响产品的因素中去找,就是要通过设计一系列实验,即用完全析因实验法来确定影响产品质量的因素。下面把影响产品质量的因素分别称为“主要因素”、“次要因素”。

设影响产品质量的因素有 n 个,即 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$,每一因素有两个水平 A_{i1} 、 A_{i0} ,前者为高水平,后者为低水平,同时假定产品的指标 y 是线性的。因此共需做 2^n 组随机实验,以估测实验 y 值,从 y 值即可确定出影响产品质量的因素。

一般地,记 $y(A_{1j_1}, A_{2j_2}, \dots, A_{nj_n}) = y_{j_1 j_2 \dots j_n}$ 表示第 i 个因素取水平 $j_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 时得到的实验 y 值,且 $j_1, j_2, \dots, j_n = 0$ 或 1 。

则 A_i 的主效应为:

$$A_i = A_{i1} - A_{i0} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$A_{i1} = \sum_{j_1=0}^1 \dots \sum_{j_{i-1}=0}^1 \sum_{j_{i+1}=0}^1 \dots \sum_{j_n=0}^1 y_{j_1 \dots j_{i-1} 1 j_{i+1} \dots j_n} \quad (j_i = 1)$$

$$A_{i0} = \sum_{j_1=0}^1 \dots \sum_{j_{i-1}=0}^1 \sum_{j_{i+1}=0}^1 \dots \sum_{j_n=0}^1 y_{j_1 \dots j_{i-1} 0 j_{i+1} \dots j_n} \quad (j_i = 0)$$

A_i 与 A_k 两因素交互作用为:

$$A_i A_k = y[(A_{i1} - A_{i0})(A_{k1} - A_{k0}) \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i \\ l \neq k}}^n \sum_{j_l=0}^1 A_{l j_l}] =$$

$$y[(A_{i1} - A_{i0})(A_{k1} - A_{k0}) \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i \\ l \neq k}}^n (A_{l1} + A_{l0})]$$

类似地,可推出三个因素、四个因素的交互作用等。

一个 2^n 完全析因实验共做实验 2^n 次,有 n 个因素是主效应,有 C_n^2 个二因素交互作用,有 C_n^3 个三因素交互作用,有 C_n^4 个四因素交互作用等等,这种交互作用互不干扰,这在统计学上称之为没有“混杂”又是相互正交,田口玄一所采用的表干扰太多,有的主效应和二因素交互混杂了,故难得干净利落的结论,这是最致命的一个缺点,并且田口玄一所采用的方法繁、难在实际应用中比较困难。从上述 2^n 次完全析因实验所得数据,即 y 值大小,可断定哪一因素是影响产品质量的“主要因素”、“次要因素”等,以上就是完全析因实验的基本方法。由于 2^n 成指数倍增长,假如 $n=8$ 时,要做 256 次实验,在实际操作时比较困难,应用时受到一定的局限性,故一般取 $n \leq 4$, 否则需做实验次数太多。下面以 $n=3$ 为例说明 2^n 完全析因实验法。

2 应用实例

某产品在进行检验过程中,测量的误差参数不合格,经过科研人员研究提出了三个可能的因素,用 2^3 完全析因实验技术来改良产品质量表。见表 1 所示。

只有三个因素 A_1, A_2, A_3 起作用,主效应为

$$A_i = A_{i1} - A_{i0} \quad (i=1,2,3)$$

其中 $A_{i1}(A_{i0})$ 表示第 i 个因素取水平 1(0),其它因素取两种水平的和,如:

表 1 3 因素水平

序	因素	水平	
		改进前(0)	改进后(1)
A_1	时间增益控制制电路	t_1	t_2
A_2	天线角度	α_1	α_2
A_3	接收机频带宽度	$W_1 - W_2$	压窄 $Z_1 - Z_2$

$$A_{11} = \sum_{j_2=0}^1 \sum_{j_3=0}^1 y_{1j_2j_3} \triangleq y_{1..}$$

$$A_{10} = \sum_{j_2=0}^1 \sum_{j_3=0}^1 y_{0j_2j_3} \triangleq y_{0..}$$

两因素交互作用为

$$A_1 A_2 = y[(A_{11} - A_{10})(A_{21} - A_{20})(A_{31} - A_{30})] = y_{11..} + y_{00..} - y_{01..} - y_{10..}$$

$$A_1 A_3 = y_{1.1} + y_{0.0} - y_{0.1} - y_{1.0}$$

$$A_2 A_3 = y_{.11} + y_{.00} - y_{.01} - y_{.10}$$

三因素交互作用为

$$A_1 A_2 A_3 = y[(A_{11} - A_{10})(A_{21} - A_{20})(A_{31} - A_{30})] = y_{111} + y_{100} + y_{010} + y_{001} - y_{110} - y_{011} - y_{101} - y_{000}$$

以上交互作用中,各项系数之和为零,这种线性组合称为可比的。

y 为测量误差数据, y 的两次平均值在()内,水平的高低以 0,1 区分如表 2 所示。

表 2 3 因素完全析因实验结果

时间电路 角度	A_{10}		A_{11}		行之和
	A_{20}	A_{21}	A_{20}	A_{21}	
A_{30}	1) y_{000}	2) y_{010}	3) y_{100}	4) y_{110}	129.25
	42 (42.5)	41.5 (41.25)	23 (22.5)	22 (23)	
频带 A_{31}	5) y_{001}	6) y_{011}	7) y_{101}	8) y_{111}	100
	34 (33)	31 (32)	19 (18.5)	16 (16.5)	
列之和	75.5	73.25	41	39.5	

$$A_{10} = y_{000} + y_{001} + y_{010} + y_{011} = 75.5 + 73.25 = 148.75$$

$$A_{11} = y_{100} + y_{101} + y_{110} + y_{111} = 80.5$$

$$A_{20} = y_{000} + y_{001} + y_{100} + y_{101} = 75.5 + 41 = 116.5$$

$$A_{21} = y_{010} + y_{001} + y_{110} + y_{111} = 73.25 + 39.5 = 112.75$$

$$A_{30} = y_{000} + y_{010} + y_{100} + y_{110} = 129.25$$

$$A_{31} = y_{001} + y_{011} + y_{101} + y_{111} = 100$$

$$A_1 = A_{11} - A_{10} = -68.25 \text{ (主要因素)}$$

$$A_2 = A_{21} - A_{20} = -3.75$$

$$A_3 = A_{31} - A_{30} = -29.25 \text{ (次要因素)}$$

$$A_1 A_2 = y[(A_{11} - A_{10})(A_{21} - A_{20})(A_{31} - A_{30})] =$$

$$y_{11\cdot} + y_{00\cdot} - y_{01\cdot} - y_{10\cdot} =$$

$$39.5 + 75.5 - 73.25 - 41 = 0.75$$

$$A_1 A_3 = y_{1\cdot 1} + y_{0\cdot 0} - y_{0\cdot 1} - y_{1\cdot 0} =$$

$$y_{101} + y_{111} + y_{000} + y_{010} - y_{001} - y_{011} - y_{100} - y_{110} =$$

$$18.5 + 16.5 + 42.5 + 41.5 - 33 - 32 - 23 - 22.5 = 8.25 \text{ (没有交互作用)}$$

$$A_2 A_3 = y_{11} + y_{00} - y_{01} - y_{10} =$$

$$y_{111} + y_{001} + y_{000} + y_{100} - y_{001} - y_{101} - y_{010} - y_{110} =$$

$$16.5 + 32 + 42.5 + 22.5 - 33 - 18.5 - 41.25 - 23 = -2.25 \text{ (没有交互作用)}$$

$$A_1 A_2 A_3 = y[(A_{11} - A_{10})(A_{21} - A_{20})(A_{31} - A_{30})] =$$

$$y_{111} + y_{100} + y_{010} + y_{001} - y_{110} - y_{011} - y_{101} - y_{000} =$$

$$16.5 + 22.5 + 41.25 + 33 - 23 - 32 - 18.5 - 42.5 = -2.75 \text{ (没有交互作用)}$$

因素 A_1 、 A_2 、 A_3 经过 2^3 完全析因实验后,可知 A_1 是影响产品参数变化的主要因素, A_3 是次要因素,对时间电路,可加装电容,放电时间从 t_1 变到 t_2 ,频带压窄到 Z_1 到 Z_2 。

3 结束语

2^n 完全析因实验法,将因素完全分解了,主效应和交互作用一目了然,是一种比较高级的实验方法,用此法可解决工程技术中,由于质量问题引起的产品波动。

参考文献:

- [1] 曾风章. 稳健性设计[M]. 北京:兵器工业出版社,1996.
- [2] 村松林太郎. 生产管理[M]. 陈汝,陈重. 北京:中国人民大学出版社,1982.
- [3] 王众诤,张军. 系统管理[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,1985.

(编辑:田新华)

An Improvement on the Quality of Product with 2^n Full Factorial

JI Shi - dong¹, LIU Hong², ZHANG Xiao - shui²

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: In this paper, an experimental method is designed and its applied condition is given by applying 2^n full factorial experimental technique. Accordingly, through testing the characteristic parameters of product, the product can be improved in both quality and performance, which is verified by examples.

Keywords: full factorial; factor; quality