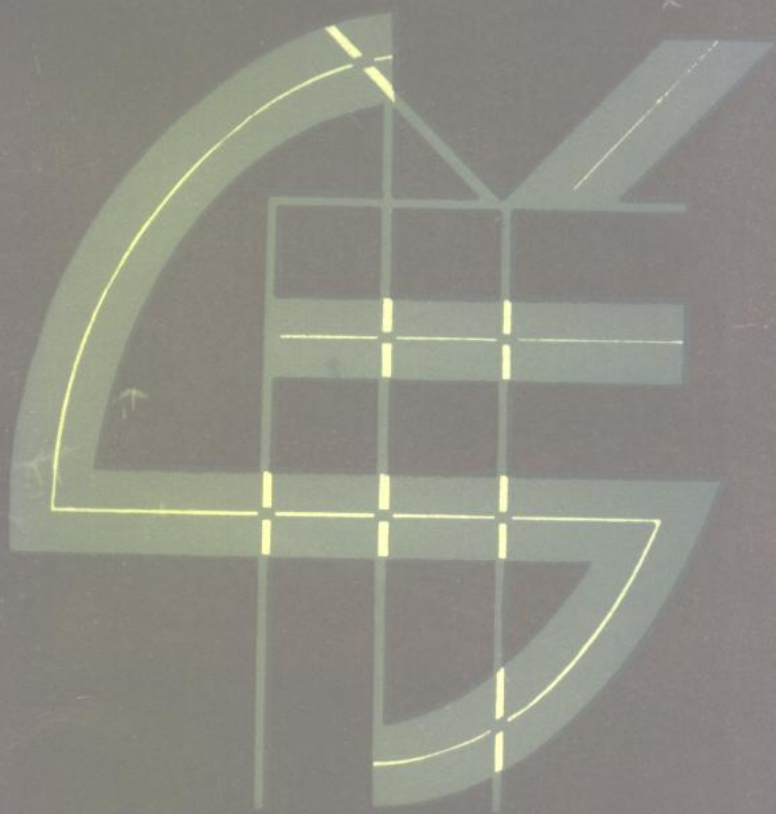


栾 军 编著

现代试验设计 优化方法



上海交通大学出版社

现代试验设计优化方法

栾 军 编著

上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

内 容 提 要

本书系统地介绍在工业生产、产品设计、经营管理及科学研究中行之有效的现代试验设计方法。全书共分十一章。第一章试验设计基础,介绍试验设计的概念、意义、历史发展及一些基本知识;第二、三、四章是本书的重点和基础,介绍正交试验设计方法,包括直观分析、统计分析及正交表的实际运用;第五、六两章介绍的是产品设计优化技术——SN 比试验设计及产品的三次设计;第七章介绍我国学者首创的试验设计新方法——均匀试验设计;第八章介绍生产作业过程的动态优化——调优试验设计;第九、十、十一章重点讨论在传统的回归分析和试验设计基础上迅速发展起来的一种试验设计方法——回归试验设计,主要介绍回归正交试验设计、回归旋转试验设计及混料试验设计。每章末均配有复习题与作业题。书末附有试验设计用表及主要参考文献。

本书可作为高等院校理工科各专业、工业工程,管理工程的本科生、硕士研究生的教材或主要参考书,也可供从事科研、设计、工艺、管理等有关人员学习现代试验设计方法之用。

现代试验设计方法

出版:上海交通大学出版社

(上海市华山路1954号 邮政编码:200030)

发行:新华书店上海发行所

印刷:常熟市文化印刷厂

开本:787×1092 (毫米) 1/16

印张:18 字数:449000

版次:1995年3月 第1版

印次:1995年3月 第1次

印数:1-1200

科目:342-270

ISBN 7-313-01411-2/TB·025

定 价:10.40元

前 言

经济发达国家的产品有很强的竞争力，同他们十分重视试验设计技术是分不开的。二次大战后，日本经济飞速发展成为经济大国的重要原因之一，被公认为在工业领域里普遍应用试验设计技术。实践表明，试验设计在工农业生产、科学研究和经营管理中得到广泛应用，给企业和社会带来极大的经济效益和社会效益。

本人编著的《试验设计的技术与方法》一书1987年出版后，收到许多读者的来信、来函，提出一些宝贵意见和建议，在此表示谢意。本书在此基础上，结合近几年来国内外试验设计技术新发展，自成体系重新编写而成。

本书最突出的特点是理论联系实际。所介绍的试验设计方法，不注重数学的证明与推导，而是列举实例说明试验设计方法，有利于对方法的理解、掌握与实际应用，“一法一例或几例”是本书的特点。

本书编写中，除了采用本人科研和教学所积累的资料与实例外，还引用国内外书刊上发表的资料与实例，在此对原作者及编著者深表谢意。

作者对上海交通大学、管理学院、工业管理工程系各级领导和上海交通大学出版社的同志对于本书出版的大力支持，以及对上海交通大学博士生导师黄洁纲教授、工业管理工程系主任范煦教授的指导和帮助表示衷心地感谢。

由于水平所限，书中难免有错误与不足之处，请读者批评指正。

编著者

1994年6月

目 录

第一章 试验设计基础	1
第一节 试验设计的基本概念	1
一、试验为什么要设计	1
二、试验设计的含义	2
第二节 试验设计的历史发展及其重要意义	3
一、试验设计历史发展的三个阶段	3
二、推广试验设计的重要意义	4
第三节 试验设计中的几个名词概念	5
一、质量特性值	5
二、试验指标	6
三、试验因素	6
四、因素的水平	7
五、计算用名词术语	7
第四节 试验设计中的误差控制	10
一、试验误差	10
二、误差控制——费歇尔(Fisher)三原则	11
复习题与作业题	12
第二章 正交试验设计(I)——直观分析	14
第一节 正交表的基本概念	14
一、完全有序元素对	14
二、正交表的定义与格式	15
三、正交表的正交性	16
四、正交表的种类	17
五、正交表的构造方法	17
第二节 单指标正交试验设计与分析	21
一、正交试验设计的基本方法	21
二、水平数不同的正交试验设计	24
三、考虑交互作用的正交试验设计	26
第三节 多指标正交试验设计与分析	33
一、综合平衡法	33
二、综合评分法	36
三、考虑交互作用的混合水平的正交试验设计	37
复习题与作业题	40

第三章 正交试验设计(I)——统计分析	45
第一节 基本原理	45
一、正交表上偏差平方和的计算	45
二、偏差平方和的分解	47
三、因素显著性检验	49
四、工程平均值的估计与效应计算	50
五、确定优化的生产条件	50
第二节 正交试验设计几种类型的方差分析	51
一、二水平正交试验设计的方差分析	51
二、三水平正交试验设计的方差分析	54
三、水平数不同的正交试验设计的方差分析	58
四、重复试验的方差分析	62
五、重复取样的方差分析	66
第三节 数据结构与效应估计	67
一、数据结构的基本概念	67
二、正交试验设计的数据结构	68
三、正交试验设计的效应估计	71
复习题与作业题	77
第四章 正交试验设计(II)——方法与应用	80
第一节 正交表的改造	80
一、并列设计法	80
二、拟水平设计法	80
三、赋闲列设计法	80
四、拟因素设计法	84
五、组合设计法	88
第二节 正交表的灵活应用	91
一、裂区设计法	91
二、部分追加设计法	95
三、直积设计法	98
四、直和设计法	102
第三节 非计量指标的计算分析	108
一、0、1数据分析法	108
二、累积法	110
复习题与作业题	114
第五章 信噪比试验设计	116
第一节 信噪(SN)比及其定义式	116
一、SN比的提出	116
二、SN的定义式	116
第二节 SN比计算式的几种类型	117

一、望目特性值的 SN 比计算式	118
二、望小、望大特性值的 SN 比计算式	119
三、动态特性值的 SN 比计算式	120
第三节 SN 比试验设计应用实例	122
一、减少水泵阀头部位磨损的 SN 比试验设计	122
二、Q _y 2.2kw 潜水泵定子线圈浸漆工艺参数的 SN 比试验设计	124
三、SN 比试验设计在评价弹簧秤质量中的应用	127
复习题与作业题	130
第六章 产品的三次设计	132
第一节 概述	132
一、三次设计方法的提出	132
二、三次设计的概念	132
第二节 质量波动与质量损失函数	133
一、质量波动及其原因	133
二、质量波动损失	133
三、质量损失函数表达式	134
第三节 质量波动损失计算实例——日制与美制彩色电视机质量的比较	135
一、问题的提出	135
二、理论分析	135
三、质量波动损失计算分析	136
四、结论与启示	137
第四节 正交多项式回归及其应用	138
一、正交多项式回归	138
二、应用实例	139
第五节 三次设计的基本方法与实例	141
一、内外表设计法	141
二、综合误差因素法	149
三、三次设计新方法——参数设计和容差设计同时完成	155
复习题与作业题	159
第七章 均匀试验设计	161
第一节 概述	161
一、均匀性	161
二、均匀试验设计的优点	162
三、均匀试验设计的应用与效果	162
第二节 均匀设计表及其使用表	163
一、均匀设计表与使用表	163
二、均匀设计表的特点	165
第三节 均匀试验方案设计	166
一、因素与水平的选取	166

二、选择均匀设计表及表头设计	166
三、确定试验方案	167
四、试验方案设计中的几个问题	167
第四节 试验结果的计算与分析	169
第五节 均匀试验设计应用实例	172
复习题与作业题	175
第八章 调优试验设计	176
第一节 概述	176
第二节 调优试验设计的步骤	176
第三节 二因素调优试验设计	177
一、平均值的计算	179
二、效应的计算	179
三、标准差的计算	180
四、误差限的计算	181
第四节 三因素调优试验设计	183
复习题与作业题	188
第九章 回归正交试验设计	191
第一节 概述	191
第二节 一次回归正交试验设计	191
一、一次回归正交试验设计概念	191
二、回归正交试验设计的一般步骤	192
第三节 一次回归正交试验设计应用实例	198
一、因素水平编码	198
二、确定试验设计方案	199
三、计算回归系数, 建立回归方程	199
四、回归方程的显著性检验	200
第四节 二次回归正交试验设计	201
一、组合设计法的基本原理	201
二、组合设计方法步骤与统计分析	206
第五节 二次回归正交试验设计应用实例	211
复习题与作业题	215
第十章 回归旋转试验设计	217
第一节 旋转性与回归旋转试验设计	217
一、旋转性的概念	217
二、回归旋转试验设计	217
第二节 二次回归旋转试验设计具备的条件	217
一、旋转性条件	218
二、非退化条件	218
第三节 二次旋转组合设计的统计分析	219

一、因素水平编码及试验计划	219
二、回归系数的计算	220
三、回归方程及回归系数的显著性检验	221
第四节 二次回归旋转设计应用实例	223
复习题与作业题	235
第十一章 混料试验设计	236
第一节 混料问题与混料试验	236
第二节 单纯形格子设计	238
一、引言	238
二、单纯形格子点的概念	239
三、单纯形格子设计法	239
四、回归系数的计算	240
五、单纯形格子设计实例	242
第三节 单纯形重心设计	244
一、基本原理	244
二、单纯形重心设计实例	245
第四节 存在下界约束条件的混料设计	246
一、基本原理	246
二、存在下界约束条件的混料设计实例	248
第五节 极端顶点设计	249
一、引言	249
二、极端顶点设计实例	250
复习题与作业题	253
附表 I 常用正交表	254
附表 II $F_{\alpha}(f_1, f_2)$ 检验临界值表	263
附表 III 均匀设计表	265
附表 IV 二次回归正交表	268
附表 V 单纯形格子点设计点集 $\{p, d\}$ 表	270
主要参考文献	275

第一章 试验设计基础

第一节 试验设计的基本概念

一、试验为什么要设计

在工农业生产、科学研究和管理实践中,为了开发设计研制新产品、更新老产品,降低原材料、动力等资源消耗,提高产品的产量和质量,做到优质、高产、低消耗即提高经济效益,都需要做各种试验。凡是试验就存在着如何安排试验方案,如何分析试验结果的问题,也就是要解决试验设计的方法问题。若试验方案设计正确,对试验结果分析得法,就能够以较少的试验次数,较短的试验周期,较低的试验费用,迅速地得到正确的结论和较好的试验结果;反之,试验方案设计不正确,试验结果分析不当,就会增加试验次数,延长试验周期,造成人力、物力和时间的浪费,不仅难以达到预期的效果,甚至造成试验的全盘失败。因此,如何科学地进行试验设计是一个非常重要的问题。

在试验中经常遇到的是多因素试验设计的问题,先看一个例子。

例 1-1 某五金厂生产某种牌号的弹簧。为了提高弹性、防止弹簧的断裂,进行热处理回火工艺试验。根据专业知识和生产经验,选取回火温度、保温时间和工件重量三个因素(注)(每个因素取三个水平)进行试验。希望通过试验确定最好的生产条件。因素与水平如表 1-1 所示。

表 1-1 因素水平表

因素 水平	A 回火温度	B 保温时间	C 工件重量
1	440℃	3 min	7.5 kg
2	470℃	4 min	9.0 kg
3	500℃	5 min	10.5 kg

这是一个三因素三水平的试验。对这一试验可采取如下方法:首先固定 A 为 A_1 、 B 为 B_1 , 变化 C , 即做三次试验: ① $A_1B_1C_1$; ② $A_1B_1C_2$; ③ $A_1B_1C_3$, 结果发现 C_2 最好(好用□表示)。然后,固定 A 为 A_1 、 C 为 C_2 , 变化 B , 即做三次试验: ① $A_1C_2B_1$; ② $A_1C_2B_2$; ③ $A_1C_2B_3$, 结果发现 B_2 最好。最后,固定 B 为 B_2 、 C 为 C_2 , 变化 A , 即做三次试验: ① $B_2C_2A_1$; ② $B_2C_2A_2$; ③ $B_2C_2A_3$ 。结果 A_1 好。于是得出结论是 $A_1B_2C_2$ 最好。这种固定其他因素,改变某个因素,从而考察因素的水平变化对试验结果影响大小的试验方法,叫做单因素轮换法。这种方法一般能取得一定的效果,但有其缺点。用这种方法选取的生产条件局限性很大,也就是很难做到“最优”。这是因为参加试验的各因素都在变化,却人为

【注】关于因素、水平和指标的解释见本章第四节。

地固定在某个水平,很有可能把影响因素间许多好的搭配方案扼杀掉。本例只做9个因素水平组合的试验,如做全面试验需做 $3^3=27$ 次试验,好的生产条件完全可能在另外18次试验之中,因此选取的9个因素水平组合代表性不一定强。此外,用这种方法做试验,如不做重复试验,就不能对误差进行估计,当然就不知道试验的精度。

采用全面试验方法固然能把最佳方案选择出来,但因素水平较多时,试验次数大大增加。例如,对于二水平的试验来说,因素的个数为4、7、11、15时,则全面试验的次数分别为16、128、2,048、32,768。工业生产中一次科学试验,参加试验的因素在六、七个以上是常事,试验的次数相当可观,所需的费用和时间是惊人的,实践中,有些试验也是不可能做到的。

那么,如何保持单因素轮换法即部分试验法的优点(试验次数少)而克服他的缺点呢?试验设计的理论和实践提供了许多行之有效的方法,进行多因素试验优化设计。例如,本例选取 $L_9(3^4)$ 正交表(注)只做9次试验基本上找到优化的生产条件。再如,对于15个二水平因素的试验。全面试验需做32,768次试验。若选择一张 $L_{16}(2^{15})$ 正交表,只做16次试验基本上可以得出结论。历史上,如果在当时有一个比较科学的试验设计方法,德国著名的医学家、化学家欧立希和日本学者泰佐次郎共同发明的对梅毒和其他螺旋体病有特效的药物,就不需要做六百零六次试验才获得成功。

二、试验设计的含义

试验设计,顾名思义,研究的是有关试验的设计理论与方法。通常所说的试验设计是以概率论、数理统计和线性代数等为理论基础,科学地安排试验方案,正确地分析试验结果,尽快获得优化方案的一种数学方法。

一般认为,试验设计是统计数学的一个重要分支。

必须指出,试验设计的是否科学,是否经济合理,能否取得良好的效果,并非轻而易举就得到的,只有试验参加者具备有关试验设计领域里的理论基础和知识以及方法、技巧,才能胜任这项工作。此外,搞好试验设计工作还必须具有较深、较广的专业技术理论知识和丰富的生产实践经验。因此,只有把试验设计的理论、专业技术知识和实际经验三者紧密结合起来,才能取得良好的效果。

由此看来,试验设计的目的是为了获得试验条件与试验结果之间规律性的认识。对于一个良好的试验设计来说,都要经过三个阶段,即方案设计、试验实施和结果分析。在方案设计阶段,要明确试验的目的,即明确试验达到什么目标,考核的指标和要求是什么,选择影响指标的主要因素有哪些以及因素变动的范围(即水平多少)怎样,制定出合理的试验方案(或称试验计划);试验实施阶段是根据试验方案进行试验,获得可靠的试验数据;结果分析阶段是采用多种方法对试验测得的数据进行科学的分析,找出考察的因素哪些是主要的,哪些是次要的,并选取优化的生产条件或因素水平组合。

最后,还需指出,试验设计能从影响试验结果的特性值(指标)的多种因素中,判断出哪些因素显著,哪些因素不显著,并能对优化的生产条件所能达到的指标值及其波动范围给以定量地估计。同时,也能确定最佳因素水平组合或生产条件的预测数学模型(即所谓经验公式)。因此,试验设计适合于解决多因素、多指标的试验优化设计问题,特别是当一些指标之间相互矛盾时,运用试验设计技术可以明了因素与指标间的规律性,找出兼顾各指标的适宜

(注) 关于正交表详见第二章第一节。

的生产条件或优化方案。

第二节 试验设计的历史发展及其重要意义

一、试验设计历史发展的三个阶段

试验设计的基本思想和方法是英国统计学家、工程师费歇尔(R. A. Fisher, 1890~1962)于本世纪 20 年代创立的。

20 年代初,费歇尔在英国伦敦郊区农场的洛萨姆斯斯台特农业试验站任职期间,将试验设计法应用于田间试验中,对高产小麦品种遗传进行试验研究。他指出,在由于环境条件难以严格控制,试验数据受到偶然性因素的影响下,必须承认误差的存在。试验设计的基本思想是减少偶然性因素的影响,使试验数据有一个合适的数学模型,一改传统的逐一因素依次试验的方法,对不同因素的每一水平组合进行试验,最后,用方差分析对数据进行统计分析来评价指标的优劣。

1923 年费歇尔同 W. A. 梅克齐合作共同发表了试验设计应用实例。1925 年,费歇尔在《研究工作中的统计方法》一书中称这种方法为试验设计。后来,费歇尔尽力从事于试验设计的研究工作。在总结他的试验设计的思想和方法的基础上,于 1935 年出版了他的名著《试验设计法》,从此开创了一门新的应用数学的学科领域。因此,费歇尔被誉为试验设计的奠基者和创始人。

40 年代前后,英国、美国、苏联等国将试验设计法逐渐应用到工业生产领域中去,在采矿、冶金、建筑、纺织、化工、机械、医药等行业都有所应用。二次大战期间,美英等国在国防工业试验中采用试验设计法取得成效。二次大战后,英国皇家军需工厂管理局出版了一份备忘录,公布了一批应用实例。D. J. 劳尼在 40 年代提出的多因素试验的部分实施方法,奠定了现代试验设计理论与方法基础。

40 年代末、50 年代初,日本电讯研究所(EOL)以田口玄一为首的一批研究人员在研究电话通讯设备系统质量时发现,自费歇尔以来创造的试验设计方法,不论全因素试验法,或是随机区组法、拉丁方格法等在生产中应用均受到限制。于是,他们在实践中努力研究和改进英国人创立的试验设计技术,开发了用正交表安排试验、分析试验结果的正交试验优化技术方法。1952 年,田口玄一在日本东海电报公司运用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表进行项目的试验设计获得成功。之后,正交试验设计法在日本,继而在国际上得到迅速地推广。

与此同时,从 50 年代初,在综合回归分析与试验设计最新研究应用成果的基础上,创立了回归试验设计技术,这也是应用数学的一个新发展。它将试验的方案设计、数据处理与回归方程统一起来进行优化,已成为现代通用的一种试验设计优化技术。回归试验设计主要从正交性、旋转性等优良性出发,利用正交表、正交多项式回归、中心组合设计、单纯形,以及计算机编制试验方案等,直接建立各种线性和非线性回归方程。由于它具有设计表格化,公式规范化,分析程式化等特点,为这项技术的实际应用提供了方便条件。

1957 年田口玄一提出了信噪比(SN 比)试验设计法,以解决产品设计中的动态特性和稳定性问题,为试验设计拓宽了新的内容,为工业产品的三次设计即正交优化设计开辟了新的途径。

G. E. 博克斯和 J. S. 亨特于 1959 年提出的调优操作(EVOP),是借助于主动试验

对系统寻优的方法。因此,也可称为一种试验方法——调优试验设计。从控制论观点来看,它是一种有工艺反馈的控制,具有自动寻求最优生产条件的特点,适于生产工艺改进过程中筹划、安排试验,寻找每个发展阶段中最优条件,以实现生产作业过程的动态优化。这种方法,自60年代以来,在国内外一些行业里得到较广地应用。

70年代中期,田口玄一博士提出了工业产品开发设计中运用三次(段)设计的思想和方法,是对传统的试验设计技术方法的完善和重要发展,为企业研究产品质量与成本的最佳配合及其试验设计技术提供了系统方法。该方法灵活运用SN比设计法,充分利用产品或系统中存在的非线性效应,利用专业技术、生产实践提供的信息资料,同正交试验设计技术相结合,取得高质量、低费用的十分显著的技术经济效果。从试验设计技术发展的历程来看,如果说费歇尔创立的早期的、传统的试验设计是第一个里程碑,正交表的开发和正交试验设计法的广泛应用是第二个里程碑,那么,田口玄一的SN比试验设计的开发和三次设计的创立则是第三个里程碑。

在上述的基础上,田口玄一博士从80年代开始,提出走质量工程学道路,编著《质量工程学》丛书,将质量管理、质量控制及试验设计科学的发展,提高到一个新的水平。

我国从50年代开始,开展对试验设计这门学科的研究,并逐步应用到工农业生产中去。60年代末,在正交试验设计的观点、理论和方法上都有新的创见,编制了一套较为适用的正交表,简化试验程序和试验结果的分析方法,自70年代以来,大力推广。同时,在正交试验设计理论上也有新的突破。

从80年代开始,我国学者方开泰教授等又创立了均匀试验设计法,在工业生产中取得了初步效果。

SN比试验设计和三次设计以及各种回归试验设计技术的理论、方法和实际应用,都有了长足的进步^[18]。

综合上述,试验设计技术的历史发展大致分三个阶段,即费歇尔创立的早期、传统的试验设计法阶段(大约20年代~50年代),正交表的开发、正交试验设计和回归试验设计广泛应用阶段(大约50年代~70年代)以及SN比试验设计技术的开发、三次设计的创立、均匀试验设计的开发、回归试验设计深入发展的现代试验设计阶段(大约70年代~现在)。

二、推广试验设计的重要意义

1. 试验设计是提高产品开发设计质量的有力工具

工业企业的基本任务是向市场、用户或消费者提供满足需要的产品,并获得经济效益。从全面质量管理观点来看,产品质量的保证与控制应贯穿于产品开发设计、生产制造、销售服务的全过程。其中,尤以提高产品的设计质量占有十分重要的位置。若设计质量水平不高,生产制造中再怎么控制也很难制造出高质量的产品,即所谓“先天不足,后患无穷”。全面质量管理科学创始人之一,美国质量管理专家朱兰(J·M·Juran)博士认为,设计质量占整个产品质量的比率为60%左右。现代试验设计技术奠基者,日本质量管理权威田口玄一博士认为,设计质量(包括产品设计和工艺设计)占整个产品质量的比率70%左右。由此可见,搞好产品的试验设计工作是搞好产品开发设计关键的第一步,有着十分重要的意义。

2. 试验设计是加速国民经济发展的有效方法

市场经济发展的历史证明,企业不断地开发设计与制造出受用户或消费者欢迎、质优价廉的产品,就能在激烈的市场竞争中兴旺发达、立于不败之地。经济发达国家,例如美国、日本、德国,他们的产品在国际上享有很高的声望,是与十分重视产品开发设计工作、注重试验设计技术的研究与推广分不开的。日本二次大战后工业生产飞跃地发展的原因之一,就是在工业领域里普遍推广应用试验设计技术方法。已故的日本质量管理专家石川馨教授曾在日本的《质量管理》杂志上撰文写道:“日本是世界上应用正交表很广泛的国家之一。这是由于以田口玄一先生为首的很多人努力的结果,正交表这个试验设计法对日本生产的发展作出了大的贡献,这是众所周知的事实。”日本的产品能打进美国市场、畅销世界各国的秘诀之一,就是运用试验设计这种被誉为日本“国宝”的技术。在日本,试验设计技术已成为企业界人士、工程技术人员、研究人员和管理人员必备的技术,已成为工程师们共同语言的一部分。试验设计技术的应用与推广给日本企业带来极大的经济效益。

我国研究推广试验设计优化技术的实践也证明了这一点。改革开放的深入,建设有中国特色的社会主义市场经济,在下一世纪中叶,我国经济上达到中等发达国家的水平的任务十分艰巨。其中,一个重要方面就是加强我国的产品开发设计工作,运用现代试验设计优化技术,以较短的周期,较低的费用,设计生产出质量高、成本低,即经济效益好的产品,参与国际市场竞争。这无疑,对于提高企业的经济效益和社会效益,加速我国经济发展,提高我国的综合国力,有着十分重要的意义。

第三节 试验设计中的几个名词概念

一、质量特性值

通常,人们把各种事物与现象的性质、状态称为特性,把表现质量的数据,称为质量特性值,简称特性值。

1. 特性值

(1) 具有单调性。单调性是指特性值随影响因素变化呈加法性的变化。在试验范围内,特性值具有单调时被作为考核指标值是合适的,并能提高试验设计时统计分析的效率。

(2) 具有可测度性。对于各种特性值,不论是计量的,或是计数的都是能被测量的。

(3) 能够反映试验设计的目的。即使用代用特性值代替时,这个代用特性值也能确切地反映其所代替项目的特性。

2. 特性值的分类

在试验设计中,可从不同角度分类:

(1) 按特性值的性质分为三类:计量特性值、计数特性值和0,1数据。

用连续变量表示的特性值,称为计量特性值,例如,重量、尺寸、产量、成本、寿命、硬度等;用离散变量表示的特性值,称为计数特性值。它可细分为计点特性值和计件特性值,例如废品件数、疵点数等;

只能用“1”、“0”表示“合格”、“不合格”或“正品”、“次品”等的特殊分等数据,称为0,1数据,例如,100件产品中工件不合格,98件合格,把合格的以“0”表示,不合格的以“1”表示(亦

可相反),则两个“1”表示两个不合格,98个“0”表示98个合格,使计算大大简化。

(2) 按特性值趋势分望目特性值、望大特性值和望小特性值(见第五章第二节)。

(3) 按特性值的状态分为静态特性值和动态特性值(同(2))。

二、试验指标

在试验设计中,根据试验目的而选定的用来考察试验效果的特性值称为试验指标,简称指标。

试验指标可分为数量指标(如重量、强度、精度、合格率、寿命、成本等)和非数量指标(如光泽、颜色、味道、手感等)。试验设计中,应尽量使非数量指标数量化。

试验指标可以是一个,也可以同时是几个,前者称单指标试验设计,后者称多指标试验设计。不论是单项指标,还是多项指标,都是以专业为主确定的,并且要尽量满足用户或消费者的要求。指标值应从本质上表示出某项性能,决不能用几个重复的指标值表示某一性能。

试验指标应尽量取计量特性值,因为这些计量特性值有利于设计参数的计算与分析。当采用计数特性值时,应特别注意数据处理的特点。

三、试验因素

对试验结果特性值(指标)可能有影响的原因或要素称为试验因素,简称因素。因素有时叫做因子,它是在进行试验时重点考察的内容。因素一般用大写英文字母来标记,如因素A、因素B、因素C等。

因素有各种分类方法。最简单的分类,把因素分为可控因素和不可控因素。加热温度、熔化温度、切削速度、走刀量等人们可以控制和调节的因素,称为可控因素;机床的微振动,刀具的微磨损等人们暂时不能控制和调节的因素,称为不可控因素。试验设计中,一般仅适于可控因素。

从因素的作用来看,可把因素分为可控因素、标示因素、区组因素和误差因素,简介如下:

1. 可控因素。可控因素是水平可以比较并且可以人为选择的因素。例如,机械加工中切削速度、走刀量、切削深度;电子产品中的电容值、电阻值;化工生产中的温度、压力、催化剂种类等。

2. 标示因素。标示因素是指外界的环境条件、产品的使用条件等的因素。标示因素的水平在技术上虽已确定,但不能人为地选择和控制。属于标示因素有产品使用条件,如电压、频率、转速等;环境条件,如气温、湿度等。

3. 区组因素。区组因素是指具有水平,但其水平没有技术意义的因素,是为了减少试验误差而确定的因素。例如,加工某种零件,不同的操作者、不同原料批号、不同的班次、不同的机器设备等均是区组因素。

4. 信号因素。信号因素是为了实现人的某种意志或为了实现某个目标值而选取的因素。例如,对于切削加工来说,为达到某一目标值,可通过改变切削参数 v 、 s 、 t ,这时三个参数就是信号因素;在稳压电源电路设计中,调整输出电压与目标值的偏差,可通过改变电阻值达到,电阻就是信号因素。信号因素在采用SN比方法设计时用得最多。

5. 误差因素。误差因素是指除上述可控因素、标示因素、区组因素、信号因素外,对产

品质量特性值有影响的其他因素的总称。也就是说，影响产品质量的外干扰、内干扰、随机干扰的总和，就是误差因素。如果说，如何规定零件特性值是可控因素的作用，那么，围绕目标值产生的波动，或者在使用期限内发生老化、劣化，就是误差因素作用的结果。

四、因素的水平

试验设计中，选定的因素处的状态和条件的变化，可能引起试验指标的变化，我们称各因素变化的状态和条件叫做水平或位级。在选取水平时，应注意如下几点：

1. 水平宜选取三水平。这是因为三水平的因素试验结果分析的效应图分布多数呈二次函数曲线，而二次曲线有利于观察试验结果的趋势，这对试验分析是有利的。

当充分发挥专业技术作用所确定的因素水平时，就可能取在最佳区域中或接近最佳区域，按选择的因素水平做试验，其效率会高些；当专业技术水平较低时，可能把因素的水平取不到最佳区域附近，这时可把水平间隔拉开，尽可能使最佳区域能包含在拉开的水平区间内，然后通过1~2次的试验逐次缩小水平区间，求出最佳状态或条件。当所求的最佳条件可靠性认为不太满意时，还可以再做重复试验，但无须无止境地做下去，这就需要寻找和计算，求出二次函数极大值。

2. 水平取等间隔的原则。水平的间隔宽度是由技术水平、技术知识范围所决定的。水平的等间隔一般是取算术等间隔值，在某些场合下也可取对数等间隔值。由于各种客观条件的限制和技术上的原因，在取等间隔区间时可能有差值，但可以把这个差值尽可能地取小些，一般不超过20%的间隔值。

3. 所选取的水平应是具体的。所谓水平是具体的，指的是水平应该是可以直接控制的，并且水平的变化要能直接影响试验指标有不同程度的变化。例如，焊接工艺中普遍应用气焊（氧-乙炔焊）是连接钢板形成永久性接头的一种重要方法。它是将氧气和乙炔气在焊枪内混合后从喷嘴喷出，经点燃形成火焰加热钢板。若把火焰长度或火焰温度选作水平，测量就成问题；若以氧气管道和乙炔管道输出的气体流量来确定水平，分别可以用两管道的开关进行控制是可以实现的，即只要控制两种气体的流量就能找到加热的最佳条件，将开关直接控制的气体流量大小取为水平，这就是一种具体的水平。

因素的水平通常用1、2、3...表示。

五、计算用名词术语

1. 和与平均值

和是指数据组的总和，常以 T 表示。

设： n 个观测值 x_1, x_2, \dots, x_n ，其和

$$T = x_1 + x_2 + \dots + x_n = \sum_{i=1}^n x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1-1)$$

平均值是表示数据的平均水平的定量指标。可分为算术平均值 \bar{x} ，表示和 T 除以数据约个数 n

$$\bar{x} = \frac{T}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1-2)$$

总平均值 $\bar{\bar{x}}$ ，表示总和 T' 除以数据总个数 N

$$\bar{x} = \frac{T'}{N} \quad (1-3)$$

2. 偏差与偏差平方和

偏差又称为离差。偏差分为与目标值之间的偏差及与平均值之间的偏差。

(1) 与目标值 x_0 之间的偏差

目标值一般有图纸上尺寸规定的公差界限；标准文件规定的标准值；用户提出的期望值；按理论公式计算出来的理论值；按经验公式计算出来的经验值；用科学的预测方法取得的预测值；与其他国家、地区、公司、企业同类产品的数据比较值，等等。

设： n 个观测值 x_1, x_2, \dots, x_n ，若存在目标值 x_0 ，则把 $x_1 - x_0, x_2 - x_0, \dots, x_n - x_0$ 称为与目标值之间的偏差。

(2) 与平均值 \bar{x} 之间偏差

若不存在目标值 x_0 ，则可取与平均值 \bar{x} 之间的偏差。

设： n 个观测值 x_1, x_2, \dots, x_n ，若不存在目标值 x_0 ，则把 $x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, \dots, x_n - \bar{x}$ 称为与平均值之间的偏差。显然，与平均值 \bar{x} 之间的偏差的总和为零。

处理实际问题，重要的是区分观测值与平均值的偏差，还是与目标值的偏差。应用最多的是前者，通常不事先说明这是与平均值 \bar{x} 的偏差，而只是称为偏差。

观测值与目标值或平均值的偏差，其数值有正、负或零，为消除正、负的影响，表征数据的分散程度而采用偏差平方和，简称平方和，常以 S 表示。

存在目标值时，总偏差平方和

$$\begin{aligned} S_T &= (x_1 - x_0)^2 + (x_2 - x_0)^2 + \dots + (x_n - x_0)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2 \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1-4)$$

不存在目标值时，总偏差平方和

$$\begin{aligned} S_T &= (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1-5)$$

3. 自由度与平均偏差平方和(方差)、标准差

简单来说，自由度 f 是在偏差平方和中独立平方的数据的个数。存在目标值 x_0 时，自由度就是数据的个数，即 $f = n$ ；对平均值 \bar{x} 时的自由度 f 是数据的个数减去 1，即 $f = n - 1$ 。原因是，有将 n 个偏差 $(x_1 - \bar{x}), (x_2 - \bar{x}), \dots, (x_n - \bar{x})$ 相加之和等于零的一个关系式存在，即

$$(x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + \dots + (x_n - \bar{x}) = 0$$

故自由度

$$f = n - 1 \quad (1-6)$$

平均偏差平方和，又称为方差、均方和或均方，用自由度除偏差平方和即得

$$\text{总的方差} \quad V_T = \frac{S_T}{f_T} \quad (1-7)$$

$$\text{因素方差} \quad V_A = \frac{S_A}{f_A}, V_B = \frac{S_B}{f_B}, \dots \quad (1-8)$$

$$\text{误差方差} \quad V_e = \frac{S_e}{f_e} \quad (1-9)$$