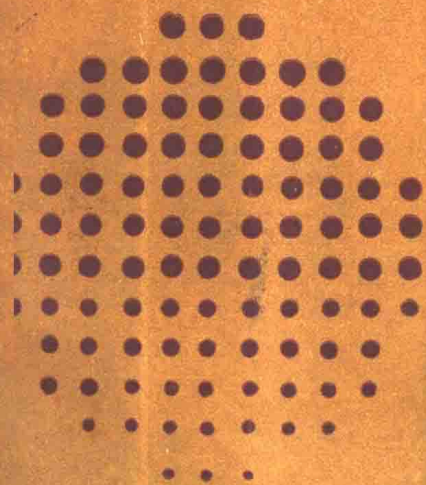


栾 军 编著

试验设计的技术与方法

SHI YAN SHE JI DE
JI SHU YU FANG FA



上海交通大学出版社

试验设计的技术与方法

栾 军 编著



上海交通大学出版社

试验设计的技术与方法

栾 军 编著

上海交通大学出版社出版

(淮海中路 1984 弄 19 号)

新华书店上海发行所发行

江苏常熟文化印刷厂排版、印装

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15 字数 408,000

1987 年 10 月第 1 版 1987 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—4,500

统一书号: ISBN 7-313-00020-0/F2 科技书目: 152-296

定价: 2.50 元

编 著 者 的 话

在工农业生产、科学研究和经营管理中,经常要进行各种试验。如何科学地设计试验方案,正确地分析试验的结果,找出最佳的生产条件和设计参数,以开发新产品或改进旧工艺,这对于提高经济效益,加速“四化”建设的进程,有着极其重要的意义。

从全面质量管理观点来看,产品质量贯穿于设计开发、生产制造、销售服务的全过程。其中,产品的设计质量占有十分重要的位置。若设计质量不好,就很难制造出高质量的产品,即所谓“先天不足,后患无穷”。美国质量管理专家朱兰博士认为,设计质量占整个产品质量的比率为60%;现代试验设计技术创始人,日本田口玄一博士认为,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为70%左右。由此可见,搞好产品的试验设计工作有着十分重要的意义。

试验设计包含的内容十分丰富,本书以目前国内外广泛应用的正交试验设计方法为主,介绍有关试验设计方法。

日本首创的SN比设计及产品的三次设计是现代试验设计技术与方法中极其重要的方法,是对传统的试验设计技术的重要发展和完善。由于它充分利用专业技术、管理技术、工农业生产实践提供的信息资料,因而使用该方法能取得显著的技术、经济效果。本书将以一定篇幅予以介绍。

1957年美国威斯康星(Wisconsin)大学教授博克斯(Box)首先提出的调优运算(EVOP)设计技术,在工业生产中日渐应用,它不需要多少投资,在生产现场的现有设备上边生产操作、边做试验。对这一方法本书也予以介绍。

本书的原型是1983年编写的《正交试验与优选法》讲义。经过多次教学实践,对该讲义作了较大改动,增删后,于1985年重新编写成《试验设计法》教材。在该教材的基础上又进行了必要的修改和增删始成本书。

本书主要内容涉及试验设计的一些基本知识、正交表、正交试验设计的直观分析、方差分析、正交试验设计的灵活运用、SN比试验设计、三次设计以及调优运算试验设计等现代科研、技术、管理上应用的试验设计的技术与方法。本书对于列举的优化设计方法,不作理论上和数学上的证明和推导,仅结合实例力求说清楚方法本身。注意理论联系实际,列举国内外近年来的研究成果,其中包括本人的研究成果。搜集许多实例来说明基本方法,也许是本书的一个特色。

本书在写作过程中,引用一些国内外书刊上发表的实例和资料,在此,对原作者与编著者深表谢意。

作者十分高兴的是,我国著名统计学家、质量管理专家、上海社会科学院教授、上海交通大学顾问教授邹依仁先生能在百忙中对本书的初稿进行认真审阅,提出了十分宝贵的意见,并为本书作序,在此表示衷心的感谢。此外,华东化工学院吴乙申教授,内蒙古工学院张绍镛副教授等都给本书的初稿提出过许多意见,特此致谢。

由于作者水平有限,编写的时间又十分仓促,书中缺点、错误及不当之处在所难免,敬请本书的广大读者批评指正。

上海交通大学管理学院 栾 军

1986年5月

序

栾军同志编著的《试验设计的技术与方法》一书，它的基本内容是正交试验和方差分析。这些技术和方法是实现我国四个现代化不可缺少的重要手段。

我们知道，本世纪初数理统计学这门新兴科学发展迅速，其中最著名的当推廿年代英国统计学家费歇(R. A. Fisher)发明了方差分析方法(Analysis of Variance)。不过，他一开始只把试验设计方法运用于农业及生物学方面。应用这些新技术和新方法，对当时世界上农产品的大量增长曾起过决定性的作用。不久，美国著名统计学家司乃特哥(George W. Snedecor)继续发展费歇的方法，并把这些方法编制成易于应用和查阅的一套表格，登载在他的名著(Statistical Methods Applied to Experiments in Agriculture & Biology, 1937.)上。

从五十年代开始，工业方面也逐渐开展了方差分析和试验设计的应用，并获得极好的效果。同时，西方工业化国家，在工业方面，对多因素的试验，又试用了正交试验法，从而通过少数次的试验，找到了较好的生产条件，得出了最优或较优的方案。在这一方面，日本的田口玄一等人的贡献最大。二次大战后，日本工业经济快速发展，与采用这些新的科技方法，有着密切的关系。

目前，方差分析和正交试验法在国外已得到广泛应用，尤其是在日本，这些方法的应用更为普遍。为了“四化”，我国对这些科技方法，也有急起直追，普及推广的必要。

作者在阐述试验设计的基本内容如正交试验法和方差分析等技术和方法以外，在后面的几章中，还介绍了试验设计的几种类型如完全随机化试验设计，随机区组试验设计，拉丁方试验设计以及正交拉丁方试验设计等。为了使读者易于掌握和运用这些技术方法，作者举出不少工业方面的典型例子，使读者易于学习和仿效。有关拉丁方(Latin square)试验设计等，虽在费歇时代已经提出，并在农业方面进行试验，但在工业方面妥善地运用，还是最近一、二十年来的事。因此，这也是值得提出来的。

作者在最后一章中，还介绍了最新的调优运算方法(Evolutionary Operation, 简称EVOP)。这种方法虽是1957年美国威斯康新(Wisconsin)大学博克斯(Box)教授首创的，但使这种方法成为表格化和程序化，还是最近的事情。通过这种方法的运用，不仅可以探索最优的生产条件，而且可以大大提高劳动生产率，从而获得很好的经济效益。因此，在这一方面，我国也是值得大大提倡的。

总的说来，本书的立论是正确的，所举的实例也是极好的，文字通顺，易于阅读，现在正式出版，作为有关大专院校以及培养研究生的教材是非常适合的。

邹依仁

1986年4月23日

内 容 提 要

本书结合国内外应用实例,介绍工农业生产、科学研究和经营管理中应用的试验设计技术与方法。

全书共分十章。第一章导论,介绍试验设计的概念、意义、发展简史及一些基本知识;第二章介绍正交试验设计的基本工具——正交表及其构造方法;第三章介绍正交试验设计的直观分析;第四、五、六章介绍方差分析及其在正交试验设计中的应用;第七章简略介绍几种常用的试验设计方法;第八、九章介绍最新的试验设计方法——SN 比试验设计和产品的三次设计;第十章介绍生产现场的试验设计方法——调优运算。书末附有试验设计用表及参考文献目录。

本书可作为大专院校管理专业本科生和研究生的教材或主要参考书。也可供一般理工科专业的师生,各工矿企业、各科研单位的工程技术人员和科研人员学习参考。

目 录

第一章 导论	1
§ 1-1 试验设计的概念与意义	1
§ 1-2 试验设计的发展简史及应用效果	2
§ 1-3 指标、因素与水平	4
§ 1-4 试验设计的基本原则	7
§ 1-5 常用统计量及其计算	8
第二章 正交试验设计的基本工具——正交表	12
§ 2-1 正交表的概念与格式	12
§ 2-2 正交表的性质与分类	14
§ 2-3 正交表的正交性	18
§ 2-4 二水平正交表的构造方法	20
§ 2-5 三水平正交表的构造方法	23
§ 2-6 混合型正交表的构造方法	26
第三章 正交试验设计的直观分析	30
§ 3-1 单指标正交试验设计	30
§ 3-2 正交试验设计原理的直观解释	36
§ 3-3 多指标正交试验设计	36
§ 3-4 混合型正交表的试验设计	40
§ 3-5 考虑交互作用的正交试验设计	43
第四章 方差分析	49
§ 4-1 概述	49
§ 4-2 单因素试验的方差分析	50
§ 4-3 双因素试验的方差分析	58
第五章 正交试验设计的方差分析	64
§ 5-1 在正交表上进行方差分析的步骤与格式	64
§ 5-2 二水平正交试验设计的方差分析	69
§ 5-3 三水平正交试验设计的方差分析	76
§ 5-4 四水平正交试验设计的方差分析	81
§ 5-5 混合型正交表的方差分析	84
§ 5-6 重复试验和重复取样的方差分析	86
§ 5-7 试验数据的结构	91
§ 5-8 正交试验设计中的效应计算与指标值的预估	95
第六章 正交试验设计的灵活运用	105
§ 6-1 并列法	105

§ 6-2 拟水平法	107
§ 6-3 拟因素法	110
§ 6-4 组合法	116
§ 6-5 直和法	120
§ 6-6 裂区法(分割法)	127
§ 6-7 直积法	132
§ 6-8 正交多项式及其用法	138
第七章 试验设计的几种类型分析	143
§ 7-1 完全随机化试验设计	143
§ 7-2 随机区组的试验设计	145
§ 7-3 拉丁方试验设计	147
§ 7-4 正交拉丁方试验设计	151
第八章 SN 比及其试验设计	155
§ 8-1 什么叫 SN 比	155
§ 8-2 SN 比法在寻求最佳工艺条件中的应用	158
§ 8-3 $Q_{y2.2kW}$ 潜水电泵定子线圈浸漆工艺参数的 SN 比试验设计	163
第九章 产品的三次设计	169
§ 9-1 概述	169
§ 9-2 参数设计	174
§ 9-3 容差设计	183
第十章 调优运算的试验设计	193
§ 10-1 概述	193
§ 10-2 调优运算试验设计的一般步骤	194
§ 10-3 二因素调优运算试验设计	195
§ 10-4 三因素调优运算试验设计	202
附表 I 拉丁方设计所用标准方表	208
附表 II 正交拉丁方表	209
附表 III 随机数表	212
附表 IV 数字 1 到 9 的随机排列表	215
附表 V F 检验临界值表	216
附表 VI 常用正交表	222
附表 VII 正交多项式系数表	227
主要参考文献	229

第一章 导 论

§ 1-1 试验设计的概念与意义

试验设计(experimental design)是以概率论与数理统计为理论基础,经济地、科学地安排试验的一项科学技术,其主要内容是讨论如何合理地安排试验和正确地分析试验数据,从而达到尽快地获得优化方案的目的。但要设计出一个好的试验方案,除了具备概率论与数理统计知识外,还应有较深、较广的专业技术知识和丰富的实际经验,只有三者紧密结合起来,才能取得良好的结果。

试验设计涉及到的内容十分丰富。目前,国内外广泛采用的是正交试验设计法。正交试验设计法又称正交试验法、正交设计法或正交法,是一种安排和分析多因素试验的科学方法,它是以人们的生产实践经验、有关的专业知识和概率论与数理统计为基础,利用一套根据数学上的“正交性”原理而编制并已标准化了的表格——正交表,来科学地安排试验方案和对试验结果进行计算、分析,找出最优或较优的生产条件或工艺条件的数学方法。简言之,它是一种使用正交表安排试验并对结果进行统计分析,迅速找出优化方案的科学方法。

在工农业生产、科学实验和经营管理中,经常要进行各种试验。凡是试验都有一个试验方法问题。在试验的三个阶段(试验设计、试验的实施和对试验结果的分析)中,尤以试验设计和试验结果分析最为重要。如果试验设计得好,对试验结果分析得法,就能以较少的试验次数、较短的试验周期,以及较低的成本而迅速地获得较正确的结论和较好的试验结果;反之,则增加试验次数、延长试验周期,浪费大量人力、物力、财力和时间,也难以达到预期的效果,甚至导致试验的失败。

国内外实践表明,试验设计可以帮助我们有效地解决如下问题:

1. 科学地、合理地安排试验,减少试验次数,缩短试验周期,提高经济效益,尤其当因素^(一)、水平较多时效果更为显著;
2. 在产品设计和制造中,影响指标值的因素往往很多,通过试验设计就可使我们在众多的因素中分清主次,找出影响指标的主要因素;
3. 通过试验设计可了解各因素之间的交互作用^(二);
4. 通过正交试验设计的方差分析,可以分析出试验误差的大小,从而提高了试验的精确度。同时,能预估试验指标值及其波动范围,即确定目标值的期望值及其置信区间;
5. 通过试验设计能尽快地找出要求的设计参数和生产工艺条件,即迅速地找到优化方案;
6. 试验设计通过对试验结果的计算、分析,可以找出为达到最优化方案进一步试验的方向;
7. 正交试验设计是进行信噪比(SN 比)试验设计和三次设计的得力工具。

(一) 关于因素、水平和指标的解释详见 § 1-3。

(二) 关于因素之间的交互作用详见第三章。

§ 1-2 试验设计的发展简史及应用效果

试验设计是统计数学的一个重要分支。自本世纪二十年代问世迄今, 试验设计技术的发展, 大致经历了三个阶段, 即早期的单因素和多因素方差分析法; 传统的正交试验设计法, 信噪比试验设计法与三次设计法。

试验设计是二十世纪初由英国生物统计学家费歇 (R. A. Fisher) 首创的。他从实践和理论上发展和丰富了统计科学, 将试验设计方法应用于农业、生物学、遗传学等方面, 取得了丰硕的成果。试验设计法首先在英国的罗隆姆斯台特农业试验站被应用于田间试验设计上。据报道, 当时, 英国由于采用了试验设计法, 使农业大幅度增产。1925 年费歇在《研究工作中的统计方法》一书中, 把这种方法称为“试验设计”。后来, 费歇进一步试验研究, 在此基础上, 总结试验设计技术和方法, 于 1935 年出版了他的专著《试验设计》, 从此开创了一门新的应用技术学科。

三十年代、四十年代, 在英国、美国、苏联等国继续对试验设计法进行了研究, 并将试验设计法逐步推广到工业生产领域中去, 在采矿、冶金、建筑、纺织、机械、医药等行业都有所应用。

第二次世界大战期间, 英美等国在工业试验中采用试验设计法取得显著效果。二次大战结束后, 英国皇家军需工厂管理局出版了一个备忘录, 公布了一批应用实例。战后, 日本把试验设计作为质量管理技术之一, 从英美引进。

1949 年, 以田口玄一博士为首的一批研究人员, 在日本电讯研究所 (ECL) 研究电话通讯设备的系统质量时, 他们发现, 在农业生产上应用的试验设计技术, 不论全因素试验法, 还是拉丁方和希腊拉丁方等在工业生产中应用都受到限制。于是, 田口玄一等人实践中努力研究和改进英国人的试验设计技术, 创造了用正交表安排分析试验的正交试验设计法。

1952 年, 田口玄一在日本东海电报公司, 运用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表进行正交试验取得了成功。之后, 正交试验设计法在日本的工业生产中得到迅速地推广。据统计, 推广正交试验设计法的头十年, 试验项目超过 100 万项, 其中三分之一的项目效果十分显著, 获得极大的经济效益。现举电讯研究所研制“线形弹簧继电器”一例说明。他们运用正交试验设计技术, 对数十个特性值 2000 多个变量进行研究, 经过七年的努力取得了成功, 制造出比美国先进的产品。这一产品本身只有几美元, 而设计研制费用花去了几百万美元, 但研究成果给该所带来几十亿美元的利益。几年之后, 他们的竞争对手美国西方电器公司 (Western Electric) 不得不停产, 转而向日本引进这种先进的继电器。在日本, 正交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。

在这里, 要特别指出的是田口玄一博士 1957 年提出的信噪比设计法以及以他为首创立的产品的三次设计。信噪比设计法同试验设计技术 (正交试验设计)、方差分析相结合, 开辟了更为重要、更为广泛的应用领域, 可以进行评价与改善计测仪表、计测方法的误差, 解决产品或工序的最佳稳定性和最佳动态特性问题。产品的三次设计, 可以说是现代试验设计技术中最重要的方法, 是对传统的试验技术的重要发展和完善, 它充分利用专业技术、工业生产实践提供的信息资料, 同试验设计技术 (正交试验设计) 相结合, 取得了十分显著的技术与

经济效果。

国内外实践表明,正交试验设计及产品的三次设计具有巨大的经济效益。日本二次大战后工业生产飞跃地发展的原因之一,就是在各工业领域里普遍推广、应用正交试验设计法和产品的三次设计。日本质量管理权威石川馨教授曾在《质量管理》杂志上载文写道:“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。”日本用试验设计来优选的项目经济效益十分显著。日本昭和石油公司所属的川崎炼油厂用中东原油生产高级润滑油,他们用正交表进行16次试验后,就成功地降低油的凝固点,提高了产量,该炼油厂的利润一年之内就增加1000万日元以上。新日本电气公司生产的彩色电视机稳压电源进行三次设计后,每件产品因质量的改进可增加经济效益6700日元,以年产量100万件计,可增加67亿日元的收益。日本电子产品能打进美国市场、畅销世界各国的秘诀之一就在于运用正交试验设计和产品的三次设计这个得力工具。日本把试验设计技术誉为“国宝”是有一定道理的。

我国从五十年代开始,由中国科学院数学研究所的研究人员开始研究试验设计这门学科,并逐步应用到工农业生产中去。六十年代末,中国科学院系统研究所统计学室的研究人员,在正交试验设计的观点、理论和方法上都有新的创见,编制了一套较为通用的正交表,简化了试验程序和试验结果分析方法,创立了简单易懂、行之有效的正交试验设计法。自1973年以来,特别是推广全面质量管理以来,研究和推广正交试验设计法又有了很大的进展,在正交理论的研究上有了新的突破。许多科研、生产单位、大专院校,应用正交试验设计技术解决了不少科研、生产中的关键问题,取得显著的效果。

就拿上海地区来说,据统计,机电、冶金、化工、仪表、轻工、纺织、手工、医药、电业等行业从1978年至1984年5月,有227个工厂企业应用了正交试验设计法,其中103个单位取得显著成效。上海机电一局所属30多个工厂在100多项课题中,已完成40多项,取得2000多万元的经济效益,攻克技术关键18项。

许多工厂企业采用正交试验设计法后取得十分显著的效果。上海高压油泵厂生产的32 MPa的高压轴向柱塞泵,原来由于摩擦付的结构参数配合不当,经常发生“异常发热”的质量问题,通过正交试验设计找到最佳参数组合,使成品校验合格率从原来的69%提高到90%以上,容积效率从原来的83.4%提高到87.4%,止推板及斜盘的不平度从原来要求0.005 mm放宽到0.01 mm,使该工序平面磨削加工一次合格率从原来的10%提高到95%。上海某汽车附件厂,化油器经过设计参数优选后,比油耗从原来的180 g/(kw·hr),下降到165.6 g/(kW·hr)。每辆汽车按年运行27500 km计算,可节油185.2 kg,若按每公斤汽油0.54元计算,该厂已按新的设计参数生产10万台化油器,将收得社会的经济效益1050万元。上海地毯总厂生产手工全羊毛地毯,长期以来,洗毯这一关键工序质量不高,副次品在59%,采用正交试验设计技术后,1984年1~4月,一级品率从92.89%(1982年)提高到98.12%,洗毯色差从原来的2~3级提高到3~4级。上海吴淞化工厂应用正交试验设计法找到1,4-丁二醇最佳工艺,如按收率10%计算,每年生产100 t,售价18000元/t,则每年18万元的收益。上海大中华橡胶厂“橡胶钢丝粘合配方”采用正交试验设计法粘合水平提高10~15%,赶上日本BS水平,机床寿命提高20%,轮胎变形下降10~15%,以每年生产5万条计算,社会经济效益382.5万元,每条轮胎节约2~20元,全年节约11万元。

产品的三次设计在我国刚刚起步研究。北京、上海、江苏、浙江等省市的大专院校、科研单位及工厂企业,正在从事应用研究,而且已取得可喜的成果。例如,北京761厂在高频负反馈对电路的设计中,对140 MHz主中放电路进行三次设计,仅其中3DG44GO晶体管正确选择一项,一年就增加经济效益3万余元;杭州电视机厂对西湖牌黑白电视机的OTL电路的中点电压设计中运用了三次设计,不仅找到高可靠性、高稳定性、高电性能以及低耗、不调整工艺、降低成本等方面的优化方案,而且,给企业带来了较高的经济效益,仅此一项全年收益为13591元。

然而,我国多数的工厂企业,在设计机电产品时,对元器件、零部件层层筛选,专挑选质量高、成本高的一级品组装整机,这样使整机价格昂贵,质量也未必好。原因是组装整机时,只凭经验进行局部调试而不采用试验设计法和三次设计,元器件、零部件参数搭配得不合理,造成整机性能可靠性差、不稳定。因此,摆在我们面前的任务是,进一步研究、推广应用正交试验设计和三次设计这一有效工具,设计出更多的质量好、价格便宜、性能稳定、可靠性高的用户满意的产品。

最后,再说明一点,试验设计技术除了在技术性领域广泛应用外,在非技术性领域如生产计划、产品销售、事务等管理上也有应用。当然,这些部门中涉及的问题比起自然科学和技术性领域中的问题要复杂得多,但这方面成功的例子也是不少的。

§ 1-3 指标、因素与水平

一、试验指标

通常,我们把试验设计中,根据试验目的而选定的用来考察或衡量试验效果的特性值称为试验指标。试验指标可以是数量指标、质量指标、成本指标、效率指标等。

试验指标可分为两大类,一类是定量指标,也称数量指标,它是在试验中能够直接得到具体数值的指标,如强度、硬度、重量、光洁度、精度、寿命、成本、合格率等;另一类是定性指标,或称非数量指标,它是在试验中不能得到具体数值的指标,如颜色、味道、光泽、手感、图面清晰度等。在试验设计中,为便于分析试验结果,一般把定性指标进行定量化,例如,可把色泽按不同深度分成不同等级。

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。不论单项指标,还是多项指标,都是以专业为主决定的,并且要尽量满足用户的要求。指标值应从本质上表示出某项性能,尽量不要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数据,因为这些计量数据有利于设计参数的计算与分析。当采用计数数据时,应特别注意数据处理的特点。

二、试验因素

通俗地说,对试验指标特性值可能有影响的原因或要素称为因素(factor)。因素也称做因子,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A、B、C、...来标记,如因素A、因素B、因素C...等。

在确定试验因素时,必须以专业知识和生产实践经验为基础,应尽可能列出与研究对象目标有关的各种因素,然后判断哪些是需要探索的因素。

因素有各种分类方法。最简单的分法,可把因素分为控制因素和非控制因素,前者又称可控因素,后者又称不可控因素。所谓可控因素指人们可以控制和调节的因素,如加热温度、熔化温度、切削速度、进给量等;不可控因素指人们暂时不能控制和调节的因素,如机床的轻微振动,刀具轻微磨损等,正交试验设计试验方案时,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、信号因素和误差因素。

1. 可控因素(controlable factor)

所谓可控因素,简单地说,是可以控制的调整因素,是试验研究主要的调查对象。具体地说,可控因素是为了使其本身的波动,其他因素的波动以及误差的影响等达到综合衰减、缩小以及消除而选用的因素。时间、温度、压力、切削速度、进给量、切削深度、材料种类、机床类型……,均可选为可控因素。例如,在车床上加工某种钢制轴类零件,为了提高光洁度(指标特性值)而确定进给量(s)、切削深度(t)、切削速度(v),车刀前角(γ),车刀后角(α)等因素进行切削规范的工艺试验。 s 、 t 、 v 、 γ 、 α 等这些参数是可以预先控制给定的,并且可根据要求改变的,这些因素称为可控因素。一般地说,为了确保试验再现性,应尽可能多指出一些可控因素。

2. 标示因素(indicative factor)

所谓标示因素。一般指不能轻易改变或选择的因素,简言之就是维持环境与使用条件的水平,但不能选择水平的因素。往往对这些因素的研究着眼于与可控因素交互作用的关系,例如,原材料种类,机械设备的使用条件以及环境特性,老化特性,时间变化特性等,其水平本身虽然在技术上已属确定,但不能选择与控制,例如有两台机床,已知其质量的优劣与精度的高低。但是,劣质机床的精度是无法提高的,而又不能停止使用它。在这种情况下,只好高精度零件用优质机床加工,低精度零件用劣质机床加工,无选择余地。

属于标示因素的有如下几种:

(1) 产品的各种使用条件,例如,想以低速、中速、高速的各个水平去调查汽车操纵性时,保持这三种速度的因素,就是标示因素,想以暗、一般、明亮三个水平,调查彩色电视机的色相平衡时,这三个亮度水平也是标示因素;

(2) 时间,例如,劣化时间,试验时间、使用时间等,都是标示因素;

(3) 品种,例如,想同时试验研究若干种产品的功能质量时,这若干种产品就是标示因素;

(4) 机械设备的差别,操作人员差别……也都是标示因素。

3. 区组因素(block factor)

所谓区组因素,是指持有水平、但在技术上不能指定水平,同时在不同时间、空间还可能影响其他因素效应的因素。它与主效应和交互作用无关,是为减少试验分析误差而确定的因素。

例如,加工某种零件时,如果由不同操作者、不同班次、使用不同原材料批号。在不同环境条件下、在不同的设备上进行时,则这些人员、班次、原料批、环境、条件、设备等,就是区组因素。

4. 信号因素(signal factor)

所谓信号因素,是为了实现人们某种意志,或为了实现目标值所要求的结果而选取的因素。具体地说,信号因素是在目的特性值的平均值与目标值不一致时,为使平均值接近目标

值而进行校正的因素。

例如,对于汽车、火车、飞机等行走机械来说,其目标速度可通过改变速度水平达到,这时,速度水平就是信号因素;对机床的切削加工来说,为达到某一质量特性目标值,可通过改变切削参数 v 、 s 、 f ,这时,这三个参数就是信号因素;对轧钢机轧制钢板来说,为达到需要的钢板厚度,可通过改变轧钢机压力达到,这时,压力就是信号因素;对染色工艺来说,为取得一定着色度,可通过改变染料用量与配比来实现,这时,配比与用量就是信号因素;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,这时,电阻就是信号因素。

选择什么因素作为信号因素,是设计研究人员、管理人员的自由,但不能任意决定。由于信号因素是对目的特性值与目标值偏差进行校正的因素,因而信号因素必须具有水平,并且易于改变水平值。同时,信号因素对目的特性值的影响,应是线性关系(一次函数关系),以保证校正易于进行。从这个意义上说,信号因素就是指能够自由地改变水平值,使目的特性值按一定比例随其变化而变化,以保证目的特性值符合目标值的因素。

信号因素在采用 SN 比方法设计时用得最多。

5. 误差因素(error factor)

所谓误差因素,指除可控因素、标示因素、区组因素、信号因素外,对目的特性值有影响的其他所有因素的集合。换句话说。影响产品质量、工序质量发生波动的内外干扰的总和,就是误差因素。

当所选因素中,未提出标示因素(例如,使用条件、环境条件)时,误差因素也包括环境条件所产生的影响。

如果说,如何规定零件特性值的是可控因素的作用,那末,围绕目标值产生的波动,或者在使用期内发生的劣化,就是误差因素的作用结果。一般在正交试验设计中,总希望多提出一些误差因素,但在存在很多误差因素的情况下,应从中选出主要的误差因素。

三、因素的水平(level of factor)

在正交试验设计中,所选定的因素处的状态和条件的变化,可能引起指标特性值的变化,我们称各因素变化的各种状态和条件,即每个因素要比较的具体状态和条件称为水平,水平在数学上又称位级。水平与因素一样应以专业技术为主导,并应注意如下几点:

1. 水平宜取三水平为宜。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,二次曲线有利于呈现试验趋势的结果。若取二水平的因素试验结果的效应图分布是线性的,只能得到因素水平的效果趋向,很难区分最佳区域,这对整个试验分析是不利的。

当充分发挥专业技术的情况下,确定的因素水平值,就可能取在最佳区域中或接近最佳区域,那末,按这样的因素水平做试验的效率会高些;当技术程度较低时,可能把因素水平取不到最佳区域的附近,则就需要把水平区间拉开,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,求出其最佳条件。当所求的最佳条件可靠性认为不太满意时,还可以做第三次最佳条件的验证试验,通过寻找和计算,求出二次函数的最大值。

2. 水平应是等间隔的原则。这是为了便于效应曲线的计算分析。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。在某些特殊的场合下也可以取对数等间隔值。由于技术上的限制,在取等间隔区间时可能有差值,那末可以把这个差值尽可能取小一些,一般不超过 20% 的间隔值。

3. 水平是具体的。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特性值有不同程度的变化。

例如,气焊(氧-乙炔焊)是钢板连接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从喷嘴喷出,点燃后用火焰加热钢板。若把火焰的长度或火焰的温度选作水平,测量就成为问题。若以氧气管道和乙炔管道输出的量来定水平,分别对两管道的开关进行控制是可以实现的,这是一种很具体的操作,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。

水平通常用 1、2、3... 表示。

§ 1-4 试验设计的基本原则

在工农业生产、科学实验和经营管理中,虽然运用的试验设计方法类型很多,但它们都应遵循一些基本原则,这些基本原则包括重复原则,随机化原则和局部控制原则。通常,人们把这三个原则称为费歇(Fisher)三原则。分述如下:

一、重复原则(principle of repetition)

我们把每种试验条件只进行一次的试验,称为一次重复试验,把每种试验条件进行多次的试验,称为多次重复试验。实际工作中,往往见到有些试验只做一次重复就下结论。这个结论往往是偏面的。采用多次重复的目的在于减少误差,因此,只要条件允许,应尽量避免在整个试验中只重复一次的作法。

那末,为什么增加重复次数能缩小误差呢?这是因为尽管对试验条件力求一致,但不免总是有些参差。如果每个试验条件只做一次,只能得出一个数据测量值;如果多次重复,那末,在这几次重复里条件可能不利,但在另外几次重复里条件却有利。这样,就条件的平均值而言,就差不多了。打个比方,就好比排球赛,只赛一场就分高低不大靠得住,多赛几场分出高低才为人们所信服。此外,在试验设计中,试验误差是客观存在和不可避免的,试验设计的任务是尽量能减少误差和正确估计误差。若每个条件只有一次重复,就很难从试验结果中把试验误差估计出来,只有设置几次重复,才能利用同样试验条件下取得多个数据的差异,把误差估计出来。同一条件下的试验重复次数越多,那末,试验的精度也就越高,因此,在条件允许时,应尽可能多做几次重复试验。

必须注意,强调试验的重复,并非盲目地追求反复地试验。没有正确的试验设计方法为指导,再多次的重复也无助于减少试验误差,反而造成人力、物力、财力、时间的大量浪费。与此相反,在正确的试验设计方案指导下的重复,正是做好试验工作所必须的手段,这和我们强调搞好试验设计可以大量减少试验工作,加快试验进度,保证试验质量是完全一致的。

关于重复试验设计方法见第五章。

二、随机化的原则(principle of randomization)

我们知道,在科学实验中,往往人为地有次序安排试验而引起系统性误差,从而混淆了对效应作用有无的判断。令人讨厌的是,一旦有这种系统性误差混入,就不能通过任何数据处理的方法来消除,有时使试验作不出正确的判断而归于失败。为了消除系统性误差,在安排试验时,对各种排列采用随机化的方法可消除之。

所谓随机化,就是在试验中对试验的顺序、步骤按照随机性原则来安排。在对试验对象和观测工具的系统性误差不了解或了解不多时,随机化是消除其影响的有力手段之一,因此,随机化这一原则始终可以作为正确估计试验误差的前提,但它必须在设置适当次数重复的基础上才能发挥作用。

关于随机化问题的进一步讨论详见第七章。

三、局部控制原则(principle of local control)

局部控制原则又称分层原则(principle of stratification),它是将试验对象按照某种分类标准或某种水平加以分组。在同一组内的试验尽量保持受同样的影响,以期尽量减少组内的变化,并使组与组间的变化大些。在试验设计中,这种组称为区组(层),因此,在一个区组内,试验条件比较相似。由于区组内(或层内)变化较小,抽样的样本数较少,而试验精度却较高,误差必然较小。这种把比较的水平设置在差异较小的区组内,以便减少试验误差的原则叫做局部控制。

例如,某工厂的两位工人(一个早班、一个中班)在同一型号的车床上用同样刀具、执行

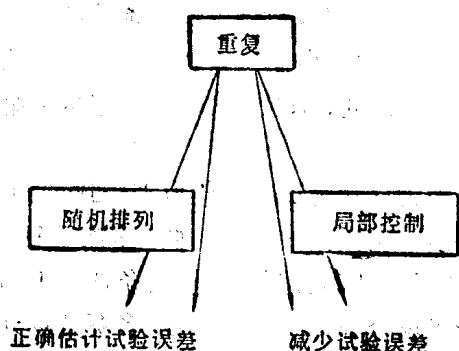


图 1-1 费歇三原则的作用和相互关系

同一的工艺流程加工同样规格的一批零件。如要研究一下这两位工人零件加工质量情况,以便进行质量控制。那末,按局部控制的原则,就应把两位工人加工的零件分别存放,即把它们划为两个内部差异不大的区组,然后分别对这些零件划分试验项目,即施以不同的处理进行分析研究(如表面质量、内孔尺寸、外圆尺寸等),这样就可以分析出两位工人的零件加工质量情况。假如,我们没有局部控制的思考方法,就会把两位工人加工的零件存放在一起,这样就难以区分他们零件加工质量的好坏。由此看来,划分区组(层)是进行局部控制的好方法。

关于局部控制的问题详细讨论见第七章。

费歇(R. A. Fisher)将试验设计这三个基本原则的作用和相互关系归纳为如图 1-1 所示。

§ 1-5 常用统计量及其计算

一、和与平均值

和常以 T 表示,是指数据组的总和。