

S H I Y A N   S H E J I   Y U   S H U J U   C H U L I

# 试验设计与数据处理

邱轶兵 主编

中国科学技术大学出版社

# 试验设计与数据处理

主 编 邱轶兵

副主编 张文利 闵凡飞 公茂利

中国科学技术大学出版社

## 内 容 简 介

本书介绍了一些常用的试验设计与数据处理方法, 主要内容包括试验设计与数据处理基本概念及误差控制, 单因素优选法, 方差分析法, 正交试验设计及其结果的直观分析和方差分析, 正交表的灵活应用, 回归分析, 均匀试验设计, Excel 在数据处理中的应用。

本书信息量大, 内容深入浅出、重点突出。可作为材料、矿业、化工、机械、农林、医药、食品等相关专业本科生或研究生用书, 也可供工程技术人员、科研人员和教师参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

试验设计与数据处理/邱轶兵主编. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008. 12  
ISBN 978-7-312-02400-9

I. 试… II. 邱… III. ①试验设计(数学) ②实验数据—数据处理  
IV. O212.6 N33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 175328 号

**出版** 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮编: 230026

电话: 0551-3602905

网址: <http://press.ustc.edu.cn>

**印刷** 合肥学苑印务有限公司

**发行** 中国科学技术大学出版社

**经销** 全国新华书店

**开本** 710 mm×960 mm 1/16

**印张** 18

**字数** 340 千

**版次** 2008 年 12 月第 1 版

**印次** 2008 年 12 月第 1 次印刷

**定价** 28.00 元

## 前 言

在科学研究和生产中,经常需要做许多试验,并通过对试验数据的分析,来寻求问题的解决办法。如此,就存在着如何安排试验和如何分析试验结果的问题,也就是如何进行试验设计和数据处理的问题。

全书共分为 10 章,第 1 章介绍了试验设计与数据处理的一些基本概念;第 2 章介绍了单因素优选法,即试验中只考察一个因素时,如何合理地安排试验,减少试验次数,迅速找到最佳点;第 3 章介绍了试验数据的方差分析法,将试验的多次测量结果间存在的差异分解为试验误差和条件误差,确定出因素水平变化对试验指标的影响程度,及不同因素对试验指标影响的大小;第 4 章介绍了如何利用正交表进行正交试验设计及正交试验设计的优点,即从全面试验中挑选少部分代表性强的试验,这少部分试验中各水平的搭配均衡地分散在一切水平搭配的组合中,通过对这少数试验结果的统计分析,可以推出较优的方案,能取得全面试验的效果;第 5 章介绍了对单指标及多指标正交试验设计及其结果的直观分析法,还介绍了交互作用及混合水平的正交试验设计及其结果的直观分析;第 6 章介绍了正交试验设计结果方差分析法的基本原理,相同水平、不同水平正交试验设计的方差分析及重复试验与重复取样的正交试验设计的方差分析;第 7 章介绍了正交表的并列法、拟水平法、部分追加法及直积法,当实际科研和生产中的问题无法直接找到合适的正交表时,可对现有正交表进行适当变换来安排试验;第 8 章介绍了试验数据的回归分析,通过回归分析确定试验指标与因素之间的近似函数关系;第 9 章介绍了均匀试验设计,它使用均匀表来安排试验,只考虑试验点的均匀散布,对水平数较多的试验使用均匀试验设计可大大减少试验次数;第 10 章介绍了 Excel 在试验数据处理中的应用,通过实例介绍了利用 Excel 进行方差分析与回归分析的几种方法。

本书信息量大,内容深入浅出、重点突出。可作为材料、矿业、化工、机械、农林、医药、食品等相关专业本科生或研究生用书,也可供工程技术人员、科研人员和教师参考。

由于编者经验及水平的限制,书中必会存在一些问题和不妥之处,敬请读者不吝指正。

编者  
2008 年 5 月

# 目 录

前言 .....	( I )
第 1 章 绪论 .....	( 1 )
1.1 试验设计与数据处理的概念和意义 .....	( 1 )
1.1.1 试验设计 .....	( 1 )
1.1.2 数据处理 .....	( 2 )
1.2 试验设计与数据处理的发展和应用 .....	( 4 )
1.3 试验设计与数据处理的基本概念 .....	( 6 )
1.3.1 常用术语 .....	( 6 )
1.3.2 常用统计量 .....	( 9 )
1.4 试验设计中的误差控制 .....	( 11 )
1.4.1 试验误差 .....	( 11 )
1.4.2 试验数据的精准度 .....	( 15 )
1.4.3 坏值及其剔除 .....	( 17 )
1.4.4 误差控制——费歇尔三原则 .....	( 24 )
1.5 试验设计方法 .....	( 28 )
1.5.1 因素的选取 .....	( 28 )
1.5.2 水平的选取 .....	( 28 )
1.5.3 常用试验设计方法 .....	( 30 )
1.5.4 试验设计与数据处理的基本过程 .....	( 34 )
第 2 章 单因素优选法 .....	( 35 )
2.1 均分法 .....	( 35 )
2.2 平分法 .....	( 36 )
2.3 黄金分割法(0.618 法) .....	( 37 )
2.4 分数法 .....	( 42 )
2.4.1 所有可能的试验总数正好是某一个 $F_n - 1$ .....	( 42 )
2.4.2 所有可能的试验总数大于某一个 $F_n - 1$ 而小于 $F_{n+1} - 1$ .....	( 44 )
2.5 抛物线法 .....	( 45 )
2.6 分批试验法 .....	( 46 )

2.6.1	预给要求法 .....	(46)
2.6.2	均分分批试验法 .....	(48)
2.6.3	比例分割分批试验法 .....	(49)
<b>第3章</b>	<b>方差分析法 .....</b>	<b>(51)</b>
3.1	单因素方差分析法 .....	(51)
3.2	多因素方差分析法 .....	(63)
3.2.1	无重复试验时双因素析因试验设计与方差分析 .....	(64)
3.2.2	有重复试验时双因素析因试验设计与方差分析 .....	(70)
<b>第4章</b>	<b>正交试验设计 .....</b>	<b>(77)</b>
4.1	正交表的概念与类型 .....	(77)
4.1.1	完全对 .....	(77)
4.1.2	完全有序对 .....	(78)
4.1.3	正交表的定义 .....	(78)
4.1.4	正交表的种类 .....	(79)
4.2	正交试验设计原理的直观解释 .....	(81)
4.3	正交表的构造 .....	(84)
4.3.1	正交表的正交性及其变换 .....	(84)
4.3.2	有限域的概念 .....	(85)
4.3.3	$L_{m^N}(m^k)$ 型正交表的构造 .....	(87)
4.4	正交试验的基本步骤 .....	(90)
<b>第5章</b>	<b>正交试验设计结果的直观分析 .....</b>	<b>(101)</b>
5.1	单指标正交试验设计及其结果的直观分析 .....	(101)
5.2	多指标正交试验设计及其结果的直观分析 .....	(109)
5.2.1	综合平衡法 .....	(109)
5.2.2	综合评分法 .....	(113)
5.3	有交互作用的正交试验设计及其结果的直观分析 .....	(118)
5.4	混合水平的正交试验设计及其结果的直观分析 .....	(122)
5.4.1	直接利用混合水平的正交表 .....	(122)
5.4.2	拟水平法 .....	(125)
<b>第6章</b>	<b>正交试验设计结果的方差分析 .....</b>	<b>(128)</b>
6.1	正交试验设计方差分析的基本原理 .....	(128)
6.1.1	偏差平方和的计算与分解 .....	(128)
6.1.2	计算平均偏差平方和与自由度 .....	(130)

6.1.3	$F$ 值计算及 $F$ 检验 .....	(131)
6.2	相同水平正交试验设计的方差分析 .....	(134)
6.2.1	二水平正交试验设计的方差分析 .....	(134)
6.2.2	三水平正交试验设计的方差分析 .....	(141)
6.3	不同水平正交试验设计的方差分析 .....	(150)
6.3.1	混合水平正交表法正交试验设计的方差分析 .....	(150)
6.3.2	混合水平的拟水平正交试验设计的方差分析 .....	(153)
6.4	重复试验与重复取样的正交试验设计的方差分析 .....	(157)
6.4.1	基本概念 .....	(157)
6.4.2	误差平方和的分类及其使用方法 .....	(158)
6.4.3	重复试验的正交试验设计方差分析 .....	(159)
6.4.4	重复取样的正交试验设计方差分析 .....	(162)
<b>第 7 章</b>	<b>正交表在正交试验设计中的灵活运用</b> .....	<b>(166)</b>
7.1	并列法 .....	(166)
7.2	拟水平法 .....	(171)
7.3	部分追加法 .....	(171)
7.4	直积法 .....	(175)
<b>第 8 章</b>	<b>回归分析</b> .....	<b>(184)</b>
8.1	基本概念 .....	(184)
8.2	一元线性回归 .....	(185)
8.2.1	概述 .....	(185)
8.2.2	最小二乘原理估计回归直线中的系数 .....	(186)
8.2.3	回归方程的显著性检验 .....	(188)
8.3	多元线性回归 .....	(193)
8.3.1	多元线性回归方程 .....	(193)
8.3.2	多元线性回归的显著性检验 .....	(196)
8.3.3	因素对试验结果影响的判断 .....	(197)
8.4	非线性回归 .....	(202)
8.4.1	一元非线性回归 .....	(202)
8.4.2	一元多项式回归 .....	(205)
8.4.3	多元非线性回归 .....	(209)
<b>第 9 章</b>	<b>均匀试验设计</b> .....	<b>(213)</b>
9.1	均匀设计表 .....	(213)

---

9.1.1 等水平均匀设计表 .....	(213)
9.1.2 混合水平均匀设计表 .....	(216)
9.2 均匀设计基本步骤 .....	(218)
9.3 均匀设计的应用 .....	(219)
<b>第10章 Excel在数据处理中的应用 .....</b>	<b>(222)</b>
10.1 概述 .....	(222)
10.1.1 公式输入方法 .....	(222)
10.1.2 Excel在方差分析中的常用函数 .....	(224)
10.2 Excel函数在方差分析中的应用 .....	(228)
10.3 Excel分析工具在方差分析中的应用 .....	(238)
10.4 Excel在回归分析中的应用 .....	(245)
10.4.1 图表法 .....	(245)
10.4.2 Excel分析工具在回归分析中的应用 .....	(250)
<b>附录1 <math>F</math>分布表 .....</b>	<b>(254)</b>
<b>附录2 常用正交表 .....</b>	<b>(260)</b>
<b>附录3 相关系数临界值表 .....</b>	<b>(270)</b>
<b>附录4 均匀设计表 .....</b>	<b>(271)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(278)</b>



# 第1章 绪 论

试验设计与数据处理是以概率论、数理统计及线性代数为理论基础,经济地、科学地安排试验和分析处理试验结果的一项科学技术。其主要内容是讨论如何合理地安排试验和科学地分析处理试验结果,从而达到解决生产中和科学研究中的实际问题。它要求除具备概率论、数理统计及线性代数等基础知识外,还应有较深和较广的专业知识和丰富的实践经验。只有这三者紧密地结合起来,才能取得良好的效果。

## 1.1 试验设计与数据处理的概念和意义

在科学研究和生产中,经常需要做许多试验,并通过对试验数据的分析,来寻求问题的解决办法。如此,就存在着如何安排试验和如何分析试验结果的问题,也就是如何进行试验设计和数据处理的问题。

### 1.1.1 试验设计

#### 1. 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、能源等资源消耗,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,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效果;反之,试验方案设计不正确,试验结果分析不当,就可能增加试验次数,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。

一项科学合理的试验安排应能做到以下三点:①试验次数尽可能地少;②便于分析和处理试验数据;③通过分析能得到满意的试验结论。

#### 2. 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、数理统计及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,并非轻而易举就能得到,只有试验参加者具备有关试验设计领域里的理论基础、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征值(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的估计。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的对系统寻优的方法。

### 1.1.2 数据处理

试验数据的处理与分析是试验设计与分析的重要组成部分。在生产和科学研究中,会碰到大量的试验数据,试验数据的正确处理关系到能否达到试验目的、得出明确结论,如何从这些杂乱无章的试验数据中取出有用的情报帮助解决问题,用于指导科学研究和生产实践,为此需要选择合理的试验数据分析方法对试验数据进行科学地处理和分析,只有这样才能充分有效地利用试验测试信息。

试验数据分析通常是建立在数理统计的基础上。在数理统计中就是通过随机变量的观察值(试验数据)来推断随机变量的特征,例如分布规律和数字特征。数理统计是广泛应用的一个数学分支,它以概率论为理论基础,根据试验或观察所得的数据,对研究对象的客观规律做出合理的估计和判断。

常用的试验数据分析方法主要有以下几种:

### 1. 直观分析方法

直观分析法是通过对试验结果的简单计算,直接分析比较确定最佳效果。直观分析主要可以解决以下两个问题:

① 确定因素最佳水平组合。该问题归结为找到各因素分别取何水平时,所得到的试验结果会最好。这一问题可以通过计算出每个因素每一个水平的试验指标值的总和与平均值,通过比较来确定最佳水平。

② 确定影响试验指标的因素的主次地位。该问题可以归结为将所有影响因素按其试验指标的影响大小进行排队。解决这一问题采用极差法,某个因素的极差定义为该因素在不同水平下的指标平均值的最大值与最小值之间的差值。极差的大小反映了试验中各个因素对试验指标影响的大小,极差大表明该因素对试验结果的影响大,是主要因素;反之,极差小表明该因素对试验结果的影响小,是次要因素或不重要因素。

值得注意的是,根据直观分析得到的主要因素不一定是影响显著的因素,次要因素也不一定是影响不显著的因素,因素影响的显著性需通过方差分析确定。

直观分析方法的优点是简便、工作量小;缺点是判断因素效应的精度差,不能给出试验误差大小的估计,在试验误差较大时,往往可能造成误判。

### 2. 方差分析方法

简单说来,把试验数据的波动分解为各个因素的波动和误差波动,然后对它们的平均波动进行比较,这种方法称为方差分析。方差分析的中心要点是把试验数据总的波动分解成两部分,一部分反映因素水平变化引起的波动;另一部分反映试验误差引起的波动,亦即把试验数据总的偏差平方和( $S_T$ )分解为反映必然性的各个因素的偏差平方和( $S_1, S_2, \dots, S_N$ )与反映偶然性的误差平方和( $S_e$ ),并计算比较它们的平均偏差平方和,以找出对试验数据起决定性影响的因素(即显著性或高度显著性因素)作为进行定量分析判断的依据。

方差分析方法的优点主要是能够充分地利用试验所得数据估计试验误差,可以将各因素对试验指标的影响从试验误差中分离出来,是一种定量分析方法,可比性强,分析判断因素效应的精度高。

### 3. 因素—指标关系趋势图分析方法

即计算各因素各个水平平均试验指标,采用因素的水平作为横坐标,采用各水平的平均试验指标作为纵坐标绘制因素—指标关系趋势图,找出各因素水平与试验指标间的变化规律。

因素—指标关系趋势图分析方法的主要优点是简单,计算量小,试验结果直观

明了。

#### 4. 回归分析方法

回归分析方法是用来寻找试验因素与试验指标之间是否存在函数关系的一种方法。一般回归方程的表示方法如下：

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \cdots + b_nx_n$$

在试验过程中,试验误差越小,则各因素  $x_i$  变化时,得出的考察指标  $y$  越精确。因此,利用最小二乘法原理,列出正规方程组,解这个方程组,求出回归方程的系数,代入并求出回归方程。对于所建立的回归方程是否有意义,要进行统计假设检验。

回归分析的主要优点是应用数学方法对试验数据去粗取精,去伪存真,从而得到反映事物内部规律的特性。

在试验数据处理过程中可以根据需要选用不同的试验数据分析方法,也可以同时采用几种分析方法。

## 1.2 试验设计与数据处理的发展和应用

数理统计是应用概率论的基本理论,而试验设计与数据处理则是数理统计的重要分支和组成部分,因此试验设计与数据处理是在概率论和数理统计的基础上不断完善和发展起来的。

早在 17 世纪,随机试验是与掷硬币和掷骰子等游戏紧密联系在一起,硬币和骰子就是最简单的概率模型。数学家赫依琴斯(Huygens)就曾预言过,不要小看这些博弈游戏,它有更重要的应用。

18 世纪,法国科学家巴芬(Buffon)对概率论在博弈游戏中的应用深感兴趣,发现了用随机投币试验计算  $\pi$  的方法。

1908 年,统计学家戈塞特(Gosset)在推导  $t$  分布的同时,通过抽样的试验方法对总体方差和样本方差的分布进行了研究。

20 世纪初,英国生物统计学家费歇尔(R. A. Fisher)在统计学的基础上首创了“试验设计”方法,在农业、生物学和遗传学等方面都取得了丰硕成果,使农业大幅度增产。费歇尔于 1935 年出版了他的“试验设计”专著,从此开创了试验设计这门新的应用技术科学。

20 世纪 30 年代和 40 年代,英国、美国和前苏联把试验设计推广到采矿、冶金、建筑、纺织、机械和医药等行业,都取得了很好的经济效益。

二次世界大战后,日本从英、美引进了这一技术。1949 年,日本的田口玄一博

士在试验设计的基础上又创造了“正交试验设计”方法。

1952年,田口玄一在日本东海电报公司运用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表进行正交试验取得成功,之后在日本工业生产中得到了迅速推广,仅在1952年至1962年的10年中,试验达到了100万项,其中三分之一的项目都取得了十分明显的效果,并获得了极大的经济效益。其中之一,如他们运用正交试验设计对电讯研究所研制的“线形弹簧继电器”的数十个特性值两千多个变量进行了试验研究,经过7年的努力,制造出了比美国先进的产品。这一产品本身价格只有几美元,而试验研制花费了几百万美元,但研究成果给该研究所带来了几十亿美元的利益。几年后,他们的竞争对手美国西方电器公司不得不停产,转而从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、工程技术界的研究人员和管理人员必备的技术知识,已成为工程师的共同语言的一部分。

1957年,田口玄一博士在正交试验设计的基础上又提出了“信噪比设计”和“产品三次设计”。

信噪比 $SN(\text{Signal-Noise Ratio})$ 通常被用来表示信号功率与噪音功率的比值,即 $\eta = \frac{S}{N} = \frac{\text{信号功率}}{\text{噪音功率}}$ ,可以用来评价仪器和设备质量的好坏。

产品三次设计(即系统设计 System design、参数设计 Parameter design、容差设计 Tolerance design)是使整机的元器件或零部件各参数合理搭配,对于某些地方,采用低级价廉的元器件或零部件仍能保证整机质量稳定和高的可靠性。

二次世界大战后,日本工业飞速发展的原因之一,就是在工业领域里普遍推广和应用正交试验设计和产品三次设计的结果。日本的电子产品能够打进美国市场,畅销世界各国的秘诀之一也是运用了正交试验设计和产品三次设计这两个得力工具。因此,日本把正交试验设计技术誉为“国宝”是有一定道理的。

数据处理是在大量试验数据基础上,也可在正交试验设计的基础上,通过数学处理和计算,揭示产品质量和性能指标与众多影响因素之间的内在关系,还可以回归出数学表达式,在生产和科研中得到广泛应用,并起到了重要作用和显著效果。

我国从20世纪50年代开始研究“试验设计”这门科学。20世纪60年代末,中国科学院统计数学研究室在“正交试验设计”的观点、理论和方法上都有新的创见,编写了一套较为适用的正交表,创立了简单易懂的正交试验设计法。1973年以来,许多科研、生产单位和大专院校应用正交试验设计方法解决了不少科研和生产中的关键问题。例如上海地区,从1978年至1984年,有227个单位应用了正交试验设计方法,其中103个单位取得了成效。上海高压油泵厂生产的32 MPa高压轴向柱塞泵原来由于摩擦副的结构参数配合不好,经常发生异常发热的质量问题,通

过正交试验设计找到了最佳参数组合,不仅降低了止推板和斜料盘的精度要求(不平度从 0.005 mm 放宽到 0.01 mm),而且成品合格率由原来的 69% 提高到了 90% 以上。随着科学技术工作的深入发展,中国数学家王元与方开泰于 1978 年首先提出了均匀设计,该设计考虑如何将设计点均匀地散布在试验范围内,使得能用较少的试验点获得最多的信息。

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(20 世纪 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(20 世纪 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(20 世纪 70 年代~现在)。

## 1.3 试验设计与数据处理的基本概念

### 1.3.1 常用术语

#### 1. 试验考察指标

在试验设计和数据处理中,我们通常根据试验和数据处理的目的是而选定用来考察或衡量其效果的特征值,称为试验考察指标。试验考察指标可以是产品的质量、成本、效率和经济效益等。

试验考察指标分为定量指标和定性指标两大类。定量指标(如精度、粗糙度、强度、硬度、合格率、寿命和成本等)可以通过试验直接获得,它方便计算和数据处理。而定性指标(如颜色、气味、光泽等)不是具体数值,一般要定量化后再进行计算和数据处理。

试验考察指标可以是一个,也可以是几个,前者称为单考察指标试验设计,后者称为多考察指标试验设计。

#### 2. 试验因素

对试验考察指标产生影响的原因或要素称为试验因素。例如在合金钢 40Cr 的淬火试验中,淬火硬度与淬火温度(如 770 °C、800 °C、850 °C)和冷却方式(如水冷、油冷、空冷)有关,其中淬火温度和冷却方式是试验因素,而淬火硬度是试验考察指标。因素一般用大写字母 A, B, C, … 来表示。

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、信号因素和误差因素,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,机械加工中的切削速度、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。属于标示因素的有产品使用条件,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 $v$ 、 $s$ 、 $f$ ,这时这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(如在试验过程中测量、仪器和环境条件等的影响)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。

### 3. 因素的水平

试验因素在试验中所处状态、条件的变化可能会引起试验指标的变化,我们把因素变化的各种状态和条件称为因素的水平。试验中需要考虑某因素的几种状态时,则称该因素为几水平因素。如 40Cr 的淬火试验中,淬火温度为 770 °C、800 °C、850 °C 三种状态,则淬火温度这个试验因素为三水平因素。因素的水平应是能够直接被控制的,并且水平的变化能直接影响试验考察指标有不同程度的变化。

水平通常用数字 1,2,3,⋯表示。

### 4. 试验效应

某因素由于水平发生变化所引起的试验指标发生变化的现象叫试验效应。

实例分析:考察某化学反应中温度(A)和反应时间(B)对产品转化率的影响。该研究考察的因素及水平如表 1-1 所示。

表 1-1 试验因素及水平表

水平 \ 因素	A	B
	反应温度(°C)	反应时间(min)
1	60	50
2	80	60

考察指标:产品转化率(%)。

现安排如下试验并得到相应试验结果如表 1-2 所示。

表 1-2 试验安排及试验结果表

因素 \ 试验号	A	B	转化率(%)		平均值	差值
	反应温度(°C)	反应时间(min)	试验 1	试验 2		
1	60	50	73	77	75	10(1,2)
2	60	60	83	87	85	10(3,4)
3	80	50	89	91	90	15(1,3)
4	80	60	78	82	80	5(2,4)

从表 1-2 可以看出,对于 1、2 号试验来说,因素 A 不变,因素 B 由 50 min 变为 60 min 时转化率由 75%变为 85%,增加了 10%,这个变化值称为试验效应,即由于因素 B 的变化引起试验指标产品转化率的变化。其他几个试验与此相似。

### 5. 交互作用

除了单个因素对试验指标产生影响外,因素间还会联合起来影响试验指标,这种联合作用的影响称为交互作用。

如考察某化学反应的温度(A)与时间(B)对产品收率的影响。温度和时间均取 2 个水平,即

$$A: A_1, A_2 \quad B: B_1, B_2$$

在各  $A_i B_j$  条件下的平均收率可能有三种情况,如图 1-1 所示。

第 I 种情况:不论 B 因素取哪个水平, $A_2$  水平下收率总比  $A_1$  水平高 10;同样,不论 A 因素取哪个水平, $B_2$  水平下的收率总比  $B_1$  水平下高 5。这种情况下,一个因素水平的好坏或好坏程度不受另一个因素水平的的影响,这种情况称为因素 A 与因素 B 之间无交互作用。但由于误差的存在,如果两直线近似相互平行,也可以认为两因素间无交互作用,或交互作用可以忽略。

第 II 种情况:在  $B_1$  水平下  $A_2$  比  $A_1$  的收率高,但在  $B_2$  水平下  $A_2$  比  $A_1$  的收率



低。这种一个因素水平的好坏或好坏程度受到另一个因素水平制约的情况称为因素 A 与因素 B 存在交互作用,记作  $A \times B$ 。这两条直线明显相交,这是交互作用很强的一种表现。

第Ⅲ种情况:不论 B 因素取哪个水平,  $A_2$  水平下收率总比  $A_1$  水平高,但高的程度不同,也就说明因素 A 与因素 B 存在交互作用。

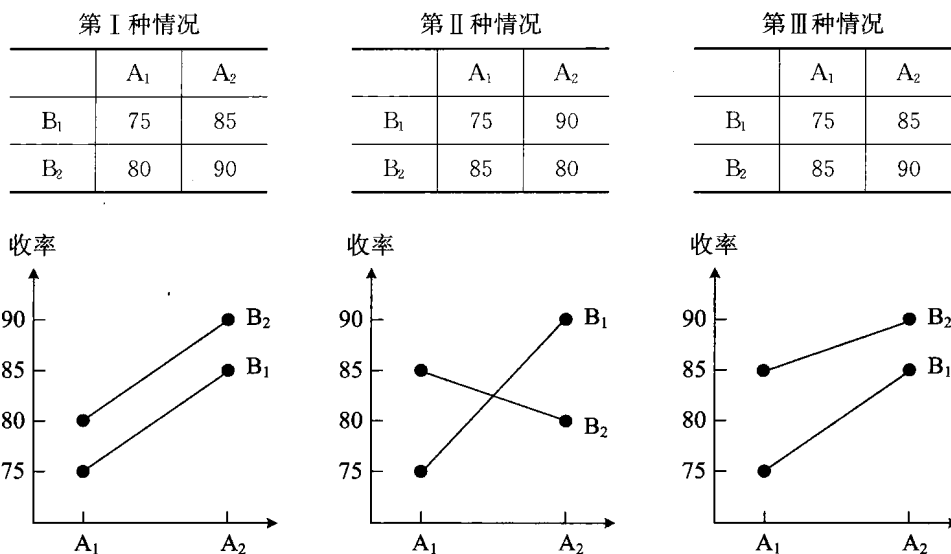


图 1-1 温度(A)与时间(B)对产品收率的影响

根据参与交互作用的因素的多少,交互作用可分为:

一级交互作用:两个因素,记为  $A \times B$ ;

二级交互作用:三个因素,记为  $A \times B \times C$ ;

.....

## 6. 重复试验

重复试验指在同一试验室中,由同一个操作者,用同一台仪器设备在相同的试验方法和试验条件下,对同一试样在短期内(一般不超过 7 天),进行连续两次或多次分析的试验。

### 1.3.2 常用统计量

#### 1. 极差

极差是一组数据中的最大值与最小值之差,其计算公式为