

ZHENGJIAOSHIYAN

SHE  
JI

# 正交试验设计

山东科学技术出版社

# 正交试验设计

姜同川 编著

11·11

## 内 容 简 介

本书主要介绍了利用规格化的正交表，来设计试验方案的科学的多因素优选法。内容包括：正交表及原理简介、正交试验方案设计、结果分析及下一轮试验的安排、正交试验的灵活运用及结果的综合评价。并通过大量实例来说明在各种条件下应如何选用正交表设计实验。书后还附有常用正交表，可供企业管理干部、科技人员、技术人员、工科院校学生阅读参考。也可作培训班的教材。

## 正 交 试 验 设 计

姜同川 编著

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂德州厂印刷

787×1092毫米32开本 4.125印张 83千字

1985年4月第1版 1985年4月第1次印刷

印数：1—54,000

书号 13195·137 定价 0.80 元

## 前 言

正交试验设计是利用规格化的正交表来设计试验方案的科学的多因素优选方法。在科学发现、技术发明、产品质量保证、工艺参数确定的过程中，都存在着多因素配合试验的问题。为了确切而客观的总结出优秀的试验方案，需要对各因素的各种试验条件进行完全的组合，逐个地进行试验。但由于人力、物力、财力的限制，特别是时间的约束，这一点很难做到，甚至根本做不到。如果只通过少数次没有代表性的试验，就确定结果，则盲目性很大，没有科学依据，效果很不理想。随着现代科学技术的发展和对试验设计方法的研究，在实际经验与理论认识的基础上，总结出了一种只需做少数次试验而又能反映出试验条件完全组合的内在规律的方法，这就是多因素优选的正交试验设计方法。如能正确地、灵活地运用正交试验设计法，就可以做到在最短的时间内，用最少的投资取得理想的效果。

目前许多国家都非常重视正交试验设计的研究和推广。美国学者在总结日本劳动生产率增长的原因时，除了肯定全面质量管理、技术引进和智力开发的作用外，还认为“用正交表进行试验设计”是个“重要的成分”，是“日本生产率增长的秘诀”。在日本，如果一个工程师没有试验设计的知识，只能算是半个工程师；一个管理人员如果没有试验设计

的知识，被认为是严重缺欠的管理人员；一个技术工人如果没有试验设计的知识，被认为是没有前途的技术工人。正交试验法的应用已达到家喻户晓的程度。

长期以来，我国在正交试验设计的理论研究中，一直处于领先的地位，许多论著有着深刻、精辟的见解，设计了许多具有实用价值的简便易行的正交表，为正交试验设计的普及和运用奠定了良好的基础。为了振兴经济，加速科学技术的发展，促进产品品种规格的开发和升级换代，普及和推广正交试验设计的方法，国家经委已把它列为全国推广普及的十八种现代化管理方法中最重要的方法之一。

本书就是为适应这种形势而编写的，它的特点是，条理分明，论述清楚，深入浅出，通过大量的实例来说明问题，具有初中以上文化程度的读者，都能够看得懂，而从中受益。为了方便读者应用，书后附有常用正交表。

本书写作过程中，参阅了有关正交试验设计的书籍和论文，另外还借用了用正交表进行试验取得比较显著成果的实例，在此一并向有关同志表示衷心感谢。由于作者水平所限，可能有不少缺点、错误，敬请读者批评指正。

1984年9月

责任编辑 孟爱平



书号 13195·137

定价 0.80 元

# 目 录

一、正交试验设计概述 .....	1
(一) 问题的提出 .....	1
(二) 正交试验设计的涵义 .....	3
(三) 正交试验设计中的基本概念 .....	3
二、正交表及原理简介 .....	8
(一) 正交表 .....	8
(二) 正交试验设计原理简介 .....	14
三、正交试验方案的设计 .....	20
(一) 同位级正交试验方案设计 .....	20
(二) 混合位级正交试验方案设计 .....	24
四、正交试验结果分析 .....	29
(一) 同位级正交试验分析 .....	29
(二) 混合位级正交试验分析 .....	36
五、关于试验误差问题 .....	45
(一) 误差的分类 .....	45
(二) 试验误差的一般消除方法 .....	46
六、正交试验设计的下一轮试验 .....	49
(一) 不用正交表安排试验计划 .....	49
(二) 继续用正交表安排试验计划 .....	50
七、正交试验设计的灵活运用 .....	53
(一) 活动位级法 .....	53

(二) 拟位级法.....	55
(三) 后备位级法.....	57
(四) 复合因素法.....	57
(五) 联合试验法.....	58
<b>八、正交试验设计结果的综合评价</b> .....	62
(一) 排队综合评分法.....	62
(二) 加权综合评分法.....	64
<b>九、正交试验设计应用实例</b> .....	71
(一) 新产品开发的应用实例.....	71
(二) 质量保证的应用实例.....	76
(三) 工艺方案确定应用实例.....	85
(四) 工艺改革应用实例.....	90
(五) 电子线路参数设计应用实例.....	94
(六) 新产品销售应用实例.....	101
<b>参考文献</b> .....	105
<b>附录 常用正交表</b> .....	106



# 一、正交试验设计概述

## (一) 问题的提出

在科学研究和工农业生产中，特别是在新产品开发和质量保证过程中，为了认识和探求客观事物的内在规律，需要进行大量的多因素配合试验。例如：

做杏子罐头时，需要将杏子先放在有一定温度和浓度的碱液中去皮。若温度或浓度太低，杏皮可能脱不掉；若温度或浓度太高，则可能脱皮过度影响杏肉的完整。因此，需要考察碱液温度、浓度和杏子浸泡的时间等因素的配合；为提高铸件的质量，需要考察砂子含水量、铁水温度、环境温度、时间等因素的配合；为提高M1040外圆磨床加工效率、提高产量和光洁度，需要考察导垂倾角、导刀架倾角、转速等因素的配合；为提高铰链电镀质量，需要考察铬酸、硫酸、氟酸、氟硅酸、温度等因素的配合；为确定硅霍尔元件的良好光刻工艺，需要考察腐蚀温度、电胶时间、氧化片停放时间、腐蚀时间、显影时间、前烘时间、前烘温度、曝光时间、温度、竖模温度、竖模时间等素的配合。

可以说，在科学研究和工农业生产的一切领域里，都存在着多因素配合的试验问题。由于因素很多，每一因素都要选出好的试验条件，如果对这些因素的各种条件进行完全组合试验，需要进行相当多次的试验。例如，有7个因素，每

一个因素确定二种状态，就需要做 $2^7 = 128$ 次试验。如果有5个因素，每个因素确定5种状态，就需要进行 $5^5 = 3125$ 次试验。由于人力、物力、财力的限制，特别是时间的约束，不可能通过全面试验来达到认识事物内在规律的目的。客观条件制约人们只能进行少数次试验，因此，通常采用两种办法来解决问题。一种办法是减少需要考察的因素，这样也就减少了理论上应做的试验的次数，由于许多因素没有考察，不能掌握它们的变化规律，因此结果很不理想；另一种办法是根据经验主观的确定少数次试验，由于没有科学依据、盲目性很大，试验结果没有代表性，结果也很不理想。

实践迫切要求人们解决科学试验中的两个矛盾：

1. 理论上需要进行的试验次数与实际可行的试验次数的矛盾。

2. 实际所做的少数次试验与要求全面掌握事物内在规律之间的矛盾。

长期以来，人们一直在探索研究这一课题。衡量一个试验方法是否科学合理的准则应该是：第一，尽可能多考察一些因素；第二，尽可能减少试验次数；第三，少数次试验的结果能够反映全面试验的内在规律，具有代表性；第四，能够通过少数次试验结果的分析和处理探求可能更优试验方案。

正交试验设计就是能满足这些要求的科学试验方法。它冲破了传统试验观点的束缚，克服了单因素优选的局限性，应用数理统计观点和正交原理，使试验设计建立在科学的基础上。

## (二) 正交试验设计的涵义

正交试验设计包括原理的探索、研究和方法应用二大部分。这里所说的正交试验设计，主要指应用。就是利用规格化的正交表，恰当地设计试验方案，而不是自己设计、制作正交表。规格化的正交表是数学家们依据数理统计的观点，根据正交性的原理，制作科学的、标准化的表格。

正确掌握正交试验设计，一方面要在试验前要选择好正交表，通过它设计出试验方案；另一方面要学会对试验结果进行分析，并根据分析的结论设计出可能更优秀的试验方案。

## (三) 正交试验设计中的基本概念

正交试验设计中的基本概念主要有指标、因素和位级。

### 1. 指标

指标是目标的分解。任何一种试验都是有目的的，用什么来衡量达到目的的程度呢？例如：试制某一新橡胶品种，目的是保证使用时的质量要求，通过对它的可塑性、扯断力、伸长率等的考核，才能确定它的质量如何。这里，可塑性、扯断力、伸长率等可以反映达到目的的程度就是指标。一般把试验需要考核的项目称为试验指标。指标总是要通过一定的数值来说明，说明指标的数值就是指标值。

按考核项目的个数，试验可分为单指标试验和多指标试验。当考核试验的结果只有一个项目时，就是单指标试验。

在这里，指标就是目标。当考核试验的结果有许多项目时，就是多指标试验，目标由这几种指标共同组成。

按能否直接数量化，指标可分为定性指标和定量指标。定性指标是指不能用数量直接表示的指标，如纺织品的手感、挺括度；食品的酥、脆和色泽；产品的外观造型、颜色；油漆的亮度等。定性指标是由人的感觉器官直接评定的，如手摸、鼻闻、眼看、耳听、嘴尝等。正交试验中，为了比较试验结果，要把定性指标通过评分法化为定量指标，否则不能比较，失去了考核的意义。定量指标是指能够直接用数量值表示的试验指标，如重量、尺寸、速度、温度、压力、寿命、硬度、强度、精度等等，通过检测器具可以得出的数值。由于它们已数量化，可以直接相互比较。

确定考核指标一定要科学、明确。指标有科学性，与试验目的有内在的必然联系，能够直接反映试验目的达到的程度。指标的含义要确切，能够直接进行考核而不会产生误解并且要能够或便于数量化。

正交试验设计一般是解决技术问题的，为了取得好的经济效益，需要把技术与经济联系起来考虑，因此也常常把反映经济效益的指标做为考核项目，如产量、生产周期、成本等。

## 2. 因素

因素是指直接影响试验结果的需要进行考察的不同原因、成分。试验中影响结果的原因很多，有直接的，也有间接的；有内部的，也有外部的；有必然的，也有偶然的。一般情况下，把直接、内在、必然影响试验结果的原因称为正交试验设计中的因素。如轴承圈热处理退火试验。试验目的

是提高轴承圈退火效率，降低轴承圈布氏硬度，改善切削性能，节约用电。影响结果的原因除了有上升温度（℃）、保温时间（h）、出炉温度（℃）等外，还有人的操作技能、设备完好状态、检测仪器的精确程度等。因为上升温度、保温时间、出炉温度直接决定着结果的好坏，就把它叫做因素。至于人的操作技能、设备完好状态、检测仪器的精确程度等，并不直接影响试验的结果，而是可能产生试验误差的原因，没有特别需要一般不把它们称为因素。

正交试验设计中所选因素的内容是很广泛的。可以是物质的，如合金中各种金属的含量、化学纤维中各种成分的比率等；也可以是环境的，如试验中所要求的温度、湿度、压强及环境的清洁程度等；还可以是方法的，如机械加工中挤压成型、切削成型、粘接成型、焊接成型及热处理工艺中所用的不同淬火方法等。

按照因素在试验中能否控制，还可把因素分为可控因素和不可控因素。在试验中，能够人为地加以控制和调节的因素称为可控因素。如物质的含量、溶液的浓度、反应时间、加热温度等等。由于科学技术的原因或试验条件的限制，暂时还不能人为地加以控制和调节的因素称为不可控因素。如在超声波清洗试验中，清洗机的频率是固定的，不能人为地控制；如果没有恒温设备的话，车间的温度、湿度也是不可控制的等。

正交试验所考察的因素，一般都是可控因素。由于正交试验设计是专为多因素优选而设计的试验方法，所以应该充分利用它在不增加试验次数的前提下，能够多排因素的特点。除了那些事先可以完全肯定作用很小的因素不加考察外，其

它因素应尽可能排到正交表中去进行考察，从而增加出现好结果的机会。

### 3. 位级

需要考察的因素在试验中由于状态的改变、条件的变化取了不同的级别和水平，都可能引起考核指标的变化，因素变化的各种状态、级别和水平称为因素的位级。譬如：为了提高有机磷杀虫剂亚胺硫磷的质量进行正交试验设计，影响结果的因素有：反应温度、氯化锌含量、羟基物水分、反应时间等。在试验中反应温度取了 $55^{\circ}\text{C}$ 、 $65^{\circ}\text{C}$ 、 $75^{\circ}\text{C}$ ，这就是反应温度的三个位级；氯化锌的用量取了60克、70克，是氯化锌用量的二个位级；羟基物水分取0、10克、15克，这是羟基物水分的三个位级；反应时间取了升温0.5小时保温2小时、升温0.5小时保温2.5小时、升温1小时保温2小时、升温1小时保温2.5小时，这是反映时间的四个位级。

因素的位级被考察时的状态常常是不同的。有的能够定量，可以连续取值。如长度、温度、压力、速度、时间等等；有的却不能用数值表示。如原料来于西藏、内蒙；催化剂种类甲、乙、丙等等。能够定量的因素所确定的位级的数值叫该因素的位级量。合理地确定位级量在正交试验设计中是十分重要的，它可以使我们少做试验而获得尽可能好的结果。在试验前如何确定位级量呢？通常是这样考虑的：如果已经有了一定的经验，掌握了部分情报和资料，可以在小范围内选取和确定位级量。当一点经验也没有，又缺乏情报资料做参考时，位级量的范围应尽量取大一点避免遗漏试验中的好条件，但所取位级个数不必太多。在位级范围内，根据确定的位级个数让它等分，这种方法叫均分法。按均分法选

或各位级的位级量后先进行首批试探性试验，掌握了部分情况和数据后再安排下一步试验方案。

因素的选取和位级的确定不是只用数学方法就能解决的，需要由试验者根据实际情况、专业知识、情报资料、生产试验经验及判断能力等来确定。

在正交试验中，因素一般用大写的拉丁字母A、B、C、D……来表示；位级用阿拉伯字码1、2、3、4、……来表示。如， $A_1$ 表示A因素的1位级； $B_2$ 表示B因素的2位级等。

## 二、正交表及原理简介

### (一) 正 交 表

国内目前流行着形式不同的两套正交表。分歧的主要焦点在如何对待交互作用。所谓交互作用，是指在一个试验方案里，不仅每个因素的位级在起作用，而且因素的位级之间有时会联合起来影响试验结果中的指标。

一套表是国际上广泛使用的田口型表。该套表的主要特点是非常强调因素之间的交互作用。为了看清“交互作用”，在进行试验时，先要进行表头设计，按照“交互作用”的有以及专为表头设计的用表，来决定各因素应放在哪一列，哪一列应当空出来。另外，为了区分开由于因素的位级的变化所引起的试验结果间的差异和由于试验误差的波动引起的试验结果的差异，强调需要进行“方差分析”。

另一套表是我国科研人员所研究设计成的表。在理论上承认因素之间的交互作用的存在，并认为在试验结果中，实际上已包含有交互作用的影响。根据试验的目的，强调迅速找到好的位级组合。因此，它在试验过程中，不搞表头设计，采取“因素顺序上列，位级对号入座”的方法。所编制成的一整套正交表，可在不增加试验次数的前提下，多安排因素、多分位级。另外，在对结果的计算分析时，不搞繁琐的数学运算。

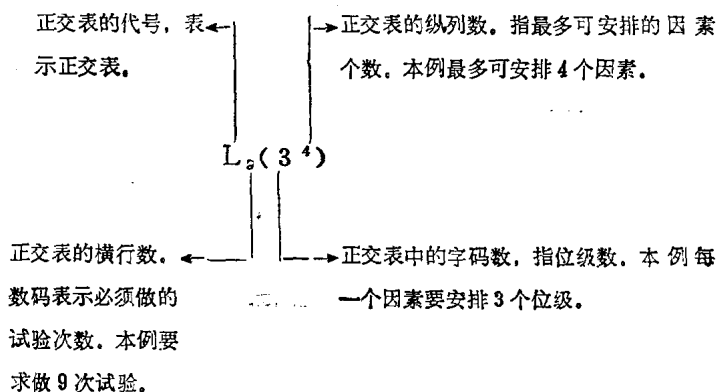


国内自行设计的这一套表是对田口型表的去粗取精、去伪存真，更加完整、严谨。这套表制作科学，方便推广，简单明了，易学易懂，在同外界条件如时间、人力、物力、财力的约束下，能取得更好的结果。本书只介绍这一套正交表以及对它的应用的论述。

### 1、正交表的代号及含义

正交表是已经规格化、标准化的表。现以 $L_9(3^4)$ 和 $L_8(4^1 \times 2^4)$ 为例说明正交表的代号和各字符的含义。

正交表 $L_9(3^4)$ 的代号及含义如下：



$L_9(3^4)$ 表示的是：最多可安排4个因素，每个因素取3个位级共做9次试验的正交表。

正交表 $L_8(4^1 \times 2^4)$ 的代号及含义如下：

$L_8(4^1 \times 2^4)$ 表示的是：有一个因素可以安排4个位级，其余纵列最多安排4个因素，每个因素取2个位级共做8次试验的正交表。