

正交试验法

国防工业出版社

正交试验法

《正交试验法》编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍安排和分析多因素试验的一种方法——正交试验法，重点介绍常用正交表的使用和简易的极差分析法，对方差分析、回归分析也作了简单介绍。本书不作数学上的推导或证明，在介绍基本原理时力求结合实例、直观通俗。本书适于广大工人和技术人员阅读。

正交试验法

《正交试验法》编写组 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 6³/₄ 138千字

1976年12月第一版 1976年12月第一次印刷 印数：00,001—21,000册

统一书号：15034·1523 定价：0.67元

(限国内发行)

目 录

前言	5
第一章 正交试验的基本方法(一)	7
第一节 什么是“正交试验法”	7
第二节 用正交表安排试验	11
第三节 用正交表分析试验结果——极差分析	16
第四节 交互作用	25
第二章 正交试验的基本方法(二)	34
第一节 重复试验、重复取样	34
第二节 非数量指标	38
第三节 多指标试验的极差分析	44
第四节 对较优生产条件的指标值的预估	52
第三章 水平数不同的试验及相对水平	56
第一节 水平数不同的正交表的使用	56
第二节 并列法	59
第三节 拟水平法	63
第四节 关于交互作用的处理问题	66
第四章 正交试验的方差分析	74
第一节 方差分析简介	74
第二节 正交试验的方差分析	85
第三节 重复试验、重复取样的方差分析	90
第四节 不同水平试验的方差分析	95
第五章 一元线性回归	103
第一节 一元线性回归所解决的问题	104

第二节	回归直线方程的确定	106
第三节	回归方程的显著性检验	108
第四节	预测与控制	113
第五节	具体计算步骤和格式	116
第六节	化非线性回归为线性回归	119
附录一	八个实例	125
实例 1	珠状热敏电阻制造工艺试验	125
实例 2	压气机设计参数最佳组合的选择	131
实例 3	$W_6Mo_5Cr_4V_2$ 材料淬火工艺试验	137
实例 4	排除 $\times \times$ 火焰筒啸声试验	142
实例 5	控制型材拉弯回弹量试验	148
实例 6	用回归分析法对应变放大器输出电压进行标定	153
实例 7	钢、铝组合件铰孔试验	158
实例 8	高强度铸造铝合金 ZL-202 冶炼试验	167
附录二	$L_{1^u}(t^q)$ 型正交表的构造	175
一.	二水平正交表的构造	175
二.	三水平正交表的构造	181
三.	$L_{1^u}(t^q)$ 型表的一般构造方法	185
四.	加法与乘法表	187
附录三	附表	191
表 1	常用正交表	191
表 2	F 检验临界值表	204
表 3	相关系数临界值表	210

正交试验法

《正交试验法》编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍安排和分析多因素试验的一种方法——正交试验法，重点介绍常用正交表的使用和简易的极差分析法，对方差分析、回归分析也作了简单介绍。本书不作数学上的推导或证明，在介绍基本原理时力求结合实例、直观通俗。本书适于广大工人和技术人员阅读。

正交试验法

《正交试验法》编写组 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 6³/₄ 138千字

1976年12月第一版 1976年12月第一次印刷 印数：00,001—21,000册

统一书号：15034·1523 定价：0.67元

(限国内发行)

目 录

前言	5
第一章 正交试验的基本方法(一)	7
第一节 什么是“正交试验法”	7
第二节 用正交表安排试验	11
第三节 用正交表分析试验结果——极差分析	16
第四节 交互作用	25
第二章 正交试验的基本方法(二)	34
第一节 重复试验、重复取样	34
第二节 非数量指标	38
第三节 多指标试验的极差分析	44
第四节 对较优生产条件的指标值的预估	52
第三章 水平数不同的试验及相对水平	56
第一节 水平数不同的正交表的使用	56
第二节 并列法	59
第三节 拟水平法	63
第四节 关于交互作用的处理问题	66
第四章 正交试验的方差分析	74
第一节 方差分析简介	74
第二节 正交试验的方差分析	85
第三节 重复试验、重复取样的方差分析	90
第四节 不同水平试验的方差分析	95
第五章 一元线性回归	103
第一节 一元线性回归所解决的问题	104

第二节	回归直线方程的确定	106
第三节	回归方程的显著性检验	108
第四节	预测与控制	113
第五节	具体计算步骤和格式	116
第六节	化非线性回归为线性回归	119
附录一	八个实例	125
实例 1	珠状热敏电阻制造工艺试验	125
实例 2	压气机设计参数最佳组合的选择	131
实例 3	$W_6Mo_5Cr_4V_2$ 材料淬火工艺试验	137
实例 4	排除 $\times \times$ 火焰筒啸声试验	142
实例 5	控制型材拉弯回弹量试验	148
实例 6	用回归分析法对应变放大器输出电压进行标定	153
实例 7	钢、铝组合件铰孔试验	158
实例 8	高强度铸造铝合金 ZL-202 冶炼试验	167
附录二	$L_{1u}(t^q)$ 型正交表的构造	175
一.	二水平正交表的构造	175
二.	三水平正交表的构造	181
三.	$L_{1u}(t^q)$ 型表的一般构造方法	185
四.	加法与乘法表	187
附录三	附表	191
表 1	常用正交表	191
表 2	F 检验临界值表	204
表 3	相关系数临界值表	210

前 言

在生产斗争和科学实验中，为了试制新产品，改革旧工艺，提高产品的质量和数量，降低原材料消耗，都需要做试验。一项试验如何安排，这有一个方法问题。毛主席教导我们：“我们不但要提出任务，而且要解决完成任务的方法问题。”一个好的试验方法，只要用少量试验，就能得到较好的效果和分析出较为正确的结论；如果试验方法不好，试验次数既多，结果还不一定理想。正交试验法是以工人同志的实践经验为基础，利用一套规格化的表（正交表）来安排试验方案，使得试验次数尽可能地少；并通过对试验数据的简单分析，帮助我们在错综复杂的影响因素中抓住主要矛盾，揭示事物发展的内在联系，从而找出较好的生产条件。几年来推广应用的实践表明，“正交试验法”应用的范围是非常广泛的，在冷、热加工工艺、非金属加工工艺、热处理及表面处理、理化分析、装配调试以及产品的设计和试验等各方面的应用都获得了可喜的成果。同时，由于广大工人、技术人员和科学工作者的努力，正交试验法现已成为比较简便、易行的一种应用数学方法。

为了满足广大工人、干部和技术人员进行科学试验的需要，为了进一步推广和普及正交试验法，我们编写了这本小册子。

这本小册子的第一、二章是介绍正交试验的基本方法。

对于大部分实际问题，只要掌握这些简单的基本方法就够用了。在有了应用正交试验法的初步实践经验之后，如果还有进一步的需要，可以参看第三章和第四章。第一章、第二章、第三章均采用了简便的极差分析法来分析试验数据。第四章则给出了试验数据的方差分析法。第五章回归分析的内容虽不属于正交试验法，但当用正交试验法找到对指标影响显著的因素之后，有时可以用回归分析的方法探讨一个或几个显著因素和指标之间的经验公式，这对有些实际问题是很有意义的。因此，我们把一元线性回归的方法也作了简单的介绍。

本书在编写过程中，得到了各有关工厂、学校的大力支持，中国科学院数学研究所概率统计室给予了热情指导和帮助，在此表示感谢。

由于我们水平所限，应用正交试验法的实践经验不多，本书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

《正交试验法》编写组

1975年12月

第一章 正交试验的基本方法(一)

本章共四节，前三节通过两个例子说明正交试验法解决什么问题；介绍有关术语；如何用正交表安排试验；以及如何分析试验结果。第四节介绍怎样安排具有交互作用的试验。

第一节 什么是“正交试验法”

采用什么样的设计方案能使一项新产品满足有关的性能要求，采用什么样的工艺方案能够做到优质、高产、低消耗；要突破一项生产质量关键，进行一项技术革新，应该改进哪些生产条件……。由于客观事物是受许多方面的因素的影响，人们常常不能立即回答这些问题。为此，往往需要进行试验来增加对于客观事物的认识，以便摸索其中的规律性。

凡是要做试验，就存在着如何安排试验和如何分析试验结果的问题。这就是做试验的方法问题。一项科学的安排试验的方法应能做到以下两点：1) 在试验安排上尽可能地减少试验次数；2) 在进行较少次数试验的基础上，能够利用所得到的试验数据，分析出指导实践的正确结论，并得到较好的结果。因此，科学的试验方法是使我们的工作达到多快好省的一个工具。

“正交试验法”就是一种科学地安排与分析多因素试验的方法。下面通过一个例子初步认识一下，它是解决什么类

型的问题。

例 1 柱塞组合件收口强度稳定性试验。

油泵中的柱塞组合件，是由柱塞杆和柱塞头在收口机上组合收口而成(见图1-1)。组合件要满足承受拉脱力 $F \geq 900$ 公斤的要求。某厂生产中，存在柱塞组合件质量不稳定，拉脱力波动大的问题。工厂决定进行试验，以提高产品质量。

根据以往的经验，柱塞头的外径 ϕD 、高度 L 、倒角 $K \times \beta^\circ$ 和收口油压等四个因素对拉脱力可能有影响，决定在试验中考察这四个因素，每个因素比较三种不同的条件(见图1-2)。

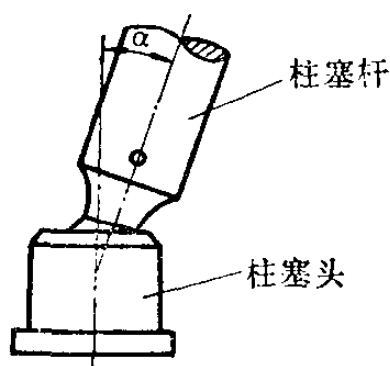


图 1-1

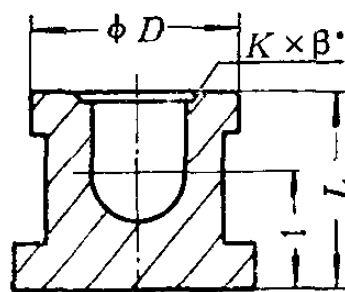


图 1-2

这些因素及条件列出如下：

试验考察的因素	试验比较的条件		
柱塞头外径 (毫米)	14.8	15.1	15.3
柱塞头高度 (毫米)	11.6	11.7	11.8
柱塞头倒角 (毫米 $\times$ 度)	1 $\times$ 30 $^\circ$	1.5 $\times$ 30 $^\circ$	1 $\times$ 50 $^\circ$
收口油压 (公斤/厘米 2)	15	17	20

类似这样的问题，在生产斗争和科学实验中是经常遇到

的。我们把它叫做多因素试验问题。“正交试验法”正是解决这类问题的行之有效的一种方法。

为了叙述的方便，下面介绍一下有关的术语和符号。

今后，把试验需要考察的结果称为指标。如产品的性能、质量、成本、产量等均可做为衡量试验效果的指标。本例中的拉脱力就是试验的指标。把在试验中要考察的对试验指标可能有影响的因素简称为因素。本例中的柱塞头的外径、高度、倒角及收口油压就是四个因素。把每个因素在试验中要比较的具体条件称为水平。如 14.8、15.1、15.3 就是柱塞头外径这个因素的三个水平；11.6、11.7、11.8 就是柱塞头高度这个因素的三个水平。

例 1 中共有四个因素，每个因素都是三个水平，所以把它称为三水平四因素试验，简记为 3^4 型试验。

为了书写方便，我们引入了一些符号。通常用大写字母 A 、 B 、 C 、 D 等代表因素。本例中用 A 表示柱塞头外径， B 表示柱塞头高度， C 表示柱塞头倒角， D 表示收口油压。用在字母右下方加足标 1、2、……等表示因素的不同水平，如 A_1 、 A_2 、 A_3 、 B_1 、 B_2 、 B_3 ……。本例中 A_1 表示 A 因素取“1”水平，即取 14.8 毫米， B_2 表示 B 因素取“2”水平，即取 11.7，……。这样，我们可以把例 1 中的因素水平写成：

A (柱塞头外径)	$A_1 = 15.1$	$A_2 = 15.3$	$A_3 = 14.8$
B (柱塞头高度)	$B_1 = 11.6$	$B_2 = 11.7$	$B_3 = 11.8$
C (柱塞头倒角)	$C_1 = 1 \times 30^\circ$	$C_2 = 1.5 \times 30^\circ$	$C_3 = 1 \times 50^\circ$
D (收口油压)	$D_1 = 15$	$D_2 = 17$	$D_3 = 20$

在选定了因素、水平之后，很自然地要考虑试验怎样进

行的问题。在我们所举的例题中共有四个三水平的因素，各因素所取的水平之间全部可能的搭配有 $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 3^4 = 81$ 种[●]。当然，我们如把各因素所取水平间全部可能搭配的全面试验作完，就可以选出其中最好的试验条件。但是，每次都做全面试验不仅是不必要的，而且当因素、水平取得较多时，往往也是不可能做到的。因此，我们希望只选做其中的一部分试验，就能相当好地反映全面试验可能出现的各种情况，以便从中选出较好方案。

那么，究竟选择哪一部分试验才能反映全面的情况呢？显然，随手拈来几个试验是不可能满足上述要求的。“正交试验法”就能够帮助我们选择一部分有代表性的试验方案，并给出了科学地分析试验结果的方法。

利用“正交试验法”可以解决多因素、多水平及多指标这一类的试验问题。采用“正交试验法”虽然试验次数比较少，但同样能够明确回答下面的几个问题：

1. 因素的主次。如例 1 中所考察的四个因素中哪个是影响拉脱力的主要因素，哪个是比较次要的，哪些是影响很小的。

- 三水平四因素全面试验共有八十一一种不同的试验条件，现写出其中因素 D 取 D_1 时的二十七种（只要把因素 D_1 改换为 D_2 、 D_3 ，又可各写出二十七种）。

$A_1B_1C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_3D_1$
$A_2B_1C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_3D_1$
$A_3B_1C_1D_1$	$A_3B_1C_2D_1$	$A_3B_1C_3D_1$
$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_3D_1$
$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_3D_1$
$A_3B_2C_1D_1$	$A_3B_2C_2D_1$	$A_3B_2C_3D_1$
$A_1B_3C_1D_1$	$A_1B_3C_2D_1$	$A_1B_3C_3D_1$
$A_2B_3C_1D_1$	$A_2B_3C_2D_1$	$A_2B_3C_3D_1$
$A_3B_3C_1D_1$	$A_3B_3C_2D_1$	$A_3B_3C_3D_1$

2. 因素与指标的关系。如例 1 中每个因素各取不同水平时拉脱力是怎样变化的。

3. 什么是较好的生产条件。也就是例 1 中所考察的四个因素各取什么水平能获得较满意的拉脱力。

4. 进一步试验的方向。

因素水平确定之后，全面试验的次数，可由各因素水平数的乘积算得。如本例中有三水平因素四个，所以全面试验的次数为 $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ 。如另一试验为二水平五因素试验，那么全面试验的次数应为 $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$ 。

第二节 用正交表安排试验

前一节介绍了“正交试验法”是解决什么样问题的。“正交试验法”是用正交表安排试验的。本节开始叙述如何用正交表安排试验。

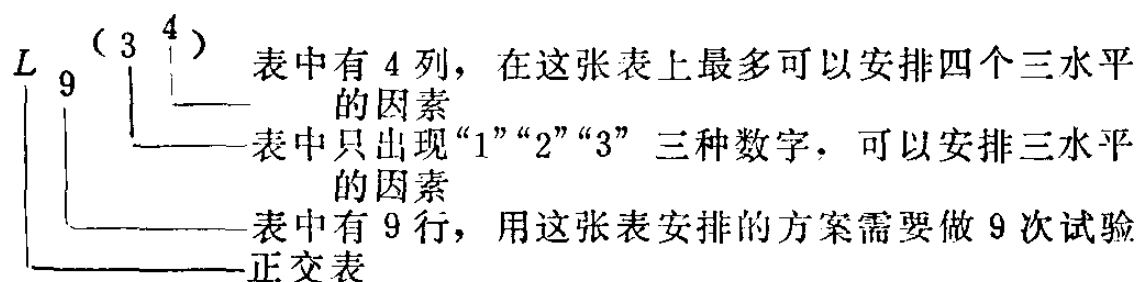
根据试验的目的，确定了试验指标，例 1 中指标为拉脱力，又分析了可能影响指标的因素，选取了各因素的水平，于是可以列出因素水平表[●]。例 1 的因素水平表(见表 1-1)如下。

表 1-1 因素水平表

因 素	1 水 平	2 水 平	3 水 平
A 柱塞头外径 ϕD (毫米)	15.1	15.3	14.8
B 柱塞头高度 L (毫米)	11.6	11.8	11.7
C 柱塞头倒角 $K \times \beta^\circ$ (毫米 $\times$ 度)	$1 \times 50^\circ$	$1.5 \times 30^\circ$	$1 \times 30^\circ$
D 收口油压 P (公斤/厘米 ²)	15	17	20

● 在正交试验中，各因素“1”、“2”、“3”水平的排列不一定要从小到大或从大到小按顺序排列，水平排列的顺序可以是任意的。从表 1-1 中可以看出，A 因素的三个水平 15.1、15.3、14.8 就不是按大小顺序排列的。

在确定了因素、水平之后，就要选一张合适的正交表来安排试验方案。为此，先介绍一下正交表。表 1-2 是一张正交表，记为 $L_9(3^4)$ 。其符号和数字的意义是：



除了 $L_9(3^4)$ 之外，还有一些常用的正交表，如，二水平表有 $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{16}(2^{15})$ 、 $L_{32}(2^{31})$ ，三水平表还有 $L_{27}(3^{13})$ ，……等（详见附录三），其中的符号和数字的含义与 $L_9(3^4)$ 类似。

例 1 是一个三水平试验，应该从三水平表 $L_9(3^4)$ 、 $L_{27}(3^{13})$ 中选一张比较合适的表。例 1 中只有四个因素，这两张表都至少有四个列。因此，都可用来安排这个试验。选用它们则分别要做 9 次、27 次试验。我们要求尽量少做试验， $L_9(3^4)$ 表正好可以安排四个因素，所以就选用这张表。

表 1-2 $L_9(3^4)$ 正交表

列号 试验号	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1