线外质量管理技术

于俊年 编

中国铁道出版社

线外质量管理技术

于俊年 编

中国铁道出版社
1990年·北京

内 容 简 介

本书系统地论述了提高产品设计质量的理论和方法。全书共分十二章。第一至三章，介绍单因素和双因素设计；第四、五章，介绍01数据分析法和累积法；第六、七章，介绍正交表的使用技巧——点线图、拟水平法和组合法；第八至十章，介绍损失函数、信噪(SN)比和三次设计的应用；第十一章，国内企业的应用实例；第十二章，习题解答。对于电子、机械等产品的最佳参数选择，加工工艺的最佳参数组合，化工产品的最佳配比等都适用。它是选择最佳参数组合的通用技术。

本书是从事设计、工艺、管理等工程技术人员和企业、质量管理人员的基本读物之一，也可作为大专院校的管理、设计、工艺等有关专业的教学参考书。

线外质量管理技术
于俊年 编

中国铁道出版社出版、发行
（北京市东单三条14号）
责任编辑 于淑荣 封面设计 刘景山
各地新华书店经售
中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092mm 1/32 印张：8.875 插页：2 字数：199千
1990年10月 第1版 第1次印刷
印数：0001—1800册

ISBN7-113-00782-1/F·49 定价：4.00 元

前　　言

人们把产品质量的形成分为三个阶段，即设计质量、制造质量和使用质量。日本的田口玄一教授创建的线外质量管理技术，给如何提高设计质量提供了理论和方法上的保证。

田口是从工程观点来研究质量管理的理论和方法。它是一种通用的边缘性技术。特别是信噪（SN)比技术的应用，为工业产品的优化设计开辟了新途径，大大提高了设计信息的利用效率。线外质量管理技术，受到世界许多国家的重视。目前已在日本、美国、苏联等国推广应用。

我国在1979年开始引进此项技术。1982年在北京、上海、天津、广西、湖北、辽宁等地举办了线外质量管理函授班。目前，全国各地正积极推广此项技术。

特别值得提出的是，要使那些由精度较低的元件组装成的产品质量不至降低，而利用这项技术往往可以达到此目的。这对我国在新技术引进上、在产品质量赶超世界先进水平上，都具有重大意义。

系统地阐述线外质量管理的书籍，目前国内尚不多见，尤其是适合我国工程技术人员阅读的书籍更是少见。笔者编写此书的目的，就是把线外质量管理技术的理论和方法深入浅出地介绍给读者，为其提供一本学习线外质量管理新技术的入门书籍。

本书是根据北京地区辅导函授班时所用的讲稿整理而成的。书中引用了田口原著中和国内一些实例，在此对诸位表示感谢。

本书在编写过程中，得到中国现场统计研究会副秘书长、北京市技术交流站培训部部长韩以俊同志，对外经济贸易大学何益平同志，以及北京开关厂孙正等同志的大力支持，在此亦深表谢意。

笔者水平有限，错误之处，敬请读者批评指正。

编　者

1989年6月

目 录

第一章　单因素设计

在生产过程或科学试验中，当我们重复观测产品的某一特性值时，可以发现它们总是存在着差异。例如，考察维尼纶工厂生产的维尼纶纤维的若干质量特性有：强伸度、水中软化点、缩醛化度及色相，等等。尽管工艺上要求这些性能都应达到一定的指标以保证质量的稳定，但如果我们把每天生产的产品的这些质量特性值加以比较，则会发现这些质量特性值或多或少总有些变化。这些偏离指标的变化，就是差异或称误差。

对试验所得的数据，由于试验条件不同而引起试验结果的差异，称为条件误差或因素误差。由于各种偶然因素的干扰，对试验结果的影响所产生的差异，称为随机误差或试验误差。误差是由多方面原因造成的。条件误差与随机误差的原则区别，在于前者是系统性的，后者是偶然性的。

方差分析就是通过对试验数据差异的分析，来确定一项试验中有无条件误差存在的一种统计分析方法。对一个或多个因素的试验数据，应用方差分析可以判定这些因素是否对试验结果有显著影响，并估计此项试验中误差有多大，从而得出合乎科学的结论。我们这里介绍的试验设计法，就是利用方差分析的方法，对试验结果进行评价，找出较好的因素水平，并给出估计的一种方法。

第一节　单因素试验的方差分析

一、方差分析的基本思想

假设在一项试验中，所考察的因素只有一个，我们的目的是根据试验数据判断这个因素对试验结果有无显著影响，从而对试验作出评价。我们先看一个例子。

例1—1　加工某个插孔时，加工顺序A采用下列三水平，重复取样为10，插销孔的圆度（单位为微米）的测量结果，如表1—1所示。

圆度的测量数据（微米）　　　表1—1

水平	试验数据										计	平均
A_1	10	15	8	18	8	4	6	10	0	18	87	8.7
A_2	12	14	5	6	4	1	11	15	7	10	85	8.5
A_3	8	2	0	4	1	6	5	3	2	4	35	3.5
计											207	

A_1：底孔加工成通孔——绞底孔——绞孔——加工退刀孔；

A_2：底孔为盲孔，深为原来的一半——绞底孔——绞孔；

A_3：加工退刀孔——加工底孔——绞底孔——绞孔。

对表1—1的数据进行初步分析可以看出：

（1）圆度在各次试验中都有变化，说明存在差异；

（2）从表中列出的各因素水平的平均数来看，它们之间也存在差异，说明不同的加工方法对圆度指标有一定影响；

（3）观察每个因素水平内的10个数据，发现其间也有

差异，显然这些差异不是由于加工方法不同引起的，而是由于其他偶然因素引起的；

（4）由于随机误差的存在，我们自然就对（2）中的结论发生了怀疑：不同加工方法之间的差异是否一定是由于方法的差别引起的，是否有可能是加工方法对圆度没有显著影响，而这些差别只不过是随机误差的反映。

因此，为了得出正确结论，就有必要对上述试验数据作进一步的分析。

为了使问题的讨论具有一般性，我们把问题改述为：设A因素的A_1，A_2，……A_a的a个水平，进行试验的重复取样都是n次。试验数据表，如表1—2所示。

表1—2

A的水平	试验数据				共计
A_1	Y_{11}	Y_{12}	…………	Y_{1n}	A_1
A_2	Y_{21}	Y_{22}	…………	Y_{2n}	A_2
⋮	⋮	⋮	…………	⋮	⋮
A_a	Y_{a1}	Y_{a2}	…………	Y_{an}	A_a

记
$$\overline{Y}_{i.}=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}$$

$$\overline{Y}_{.j}=\frac{1}{a}\sum_{i=1}^{a}Y_{ij}$$

$$\overline{Y}_{..}=\frac{1}{an}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}$$

an个观测值Y_{ij}之间的总变差（总误差），可用每次观测值对总平均数$\overline{Y}_{..}$的离差，即$Y_{ij}-\overline{Y}_{..}$的平方和表示：

$$S_T=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{..})^2 \qquad (1-1)$$

S_T称为总离差平方和，在不引起混淆的情况下简称为总平方和。若Y_{ij}之间的差异较大，S_T值就较大；反之，若Y_{ij}彼此都很接近，则S_T值就较小。当所有的Y_{ij}都相等也就没有差异，此时$S_T=0$。

在计算S_T值时，利用下面的公式（1—3）比较方便：

由于

$$
\begin{aligned}
S_T &= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{..})^2 \\
&= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}^2-2\overline{Y}_{..}Y_{ij}+\overline{Y}_{..}^2) \\
&= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2-2\overline{Y}_{..}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij} \\
&\quad +\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}\overline{Y}_{..}^2 \\
&= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2-an\overline{Y}_{..}^2 \\
&= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2-\frac{1}{an}\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}\right)^2
\end{aligned}
$$

记 $$S_m(\text{或}CF)=\frac{1}{an}\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}\right)^2 \qquad （1—2）$$

则 $$S_T=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2-S_m \qquad （1—3）$$

其中 S_m称为平均值平方和或修正项。

这样，我们研究刚才提出的问题，就转化为研究总离差平方和的问题。

二、总离差平方和的分解

我们注意到若将每个观测值Y_{ij}对总平均值$\overline{Y}_{..}$的离差表示成Y_{ij}对该因素水平平均值$\overline{Y}_{i.}$的离差加上$\overline{Y}_{i.}$对总平均值$\overline{Y}_{..}$的离差之和，即

$$Y_{ij}-\overline{Y}_{..}=(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})+(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})$$

那么S_T可以写成：

$$\begin{aligned}S_T&=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{..})^2\\&=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}[(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})+(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})]^2\\&=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})^2+\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(\overline{Y}_{i.}\\&\quad-\overline{Y}_{..})^2+2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})(\overline{Y}_{i.}\\&\quad-\overline{Y}_{..})\end{aligned}$$

式中最后一项是交叉乘积项，它可以写成：

$$\begin{aligned}&2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})\\&=2\sum_{i=1}^{a}(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})\left[\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})\right]\\&=2\sum_{i=1}^{a}(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})(n\overline{Y}_{i.}-n\overline{Y}_{i.})\\&=0\end{aligned}$$

从而交叉项为零，故总离差平方和可以分解成两项。

$$S_T=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})^2+\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})^2$$

其中，第一项$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})^2$是在同一因素水平内造成的偏差平方和，称为随机误差平方和，简称误差平方和。记作：

$$S_e=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{i.})^2$$

第二项$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})^2$是由因素水平间（组间）造成的偏差平方和，称为因素误差平方和，简称因素平方和。记作：

$$S_A=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})^2$$

从而有

$$S_T=S_A+S_e \qquad (1-4)$$

在具体计算S_A时可根据下面的公式（1—5）进行计算：

$$S_A=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(\overline{Y}_{i.}-\overline{Y}_{..})^2$$

$$=n(\sum_{i=1}^{a}\overline{Y}_{i.}^2-a\overline{Y}_{..}^2)$$

$$=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}(\sum_{j=1}^{n}Y_{ij})^2-\frac{1}{an}(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij})^2$$

$$=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}A^2-S_m \qquad (1-5)$$

其中 $A_i=\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}$， $S_m=\frac{1}{an}\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}\right)^2$

归纳起来我们有下面的计算公式：

$$S_m=\frac{1}{an}\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}\right)^2$$

$$=\frac{(A_1+A_2+\cdots+A_a)^2}{an}$$

$$=\frac{T^2}{an} \qquad (1-6)$$

其中 $T=A_1+A_2+\cdots+A_a$

$$S_T=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2-S_m$$

$$S_A=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}A_i^2-S_m$$

$$S_e=S_T-S_A \qquad (1-7)$$

设 $S_{T_0}=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2$

便有 $S_{T_0}=S_T+S_m=S_m+S_A+S_e \qquad (1-8)$

S_{T_0}称为虚拟平均值$\overline{Y}_{..}=0$时的总离差平方和，简称总平方和。

上面我们将总平方和S_T分解成因素平方和S_A与误差平方和S_e两项，分别表示试验中的条件误差和随机误差的大小。为了使它们能够进行比较，我们还要引进“自由度”的概念。

S_T是an个离差$Y_{ij}-\overline{Y}_{..}$的平方和，它的大小是与观测值的个数an有直接关系。在方差分析中我们总是假定每次试

验都是独立进行的，也就是说每次试验结果与其他各次试验无关，因此试验结果得到an个相互独立的观测值Y_{ij}。但现在我们关心的并不是观测值本身，而是它们之间的内在差异，即它们的离差$Y_{ij}-\overline{Y}_{..}$。这an个离差的总和$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}(Y_{ij}-\overline{Y}_{..})=\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}-an\overline{Y}_{..}=0$，因此在这$an$个离差中，若其中$an-1$个已确定，那么剩下一个也就随之确定而不能再自由变动了。这表明，总平方和S_T虽然是an个离差的平方和，但其中相互独立的个数只有$an-1$个，因此我们将S_T的自由度f_T定为$an-1$即$f_T=an-1$。同样的道理，S_A的自由度为$f_A=a-1$，S_e的自由度为$f_e=a(n-1)$，S_{T_0}的自由度为$f_{T_0}=an$，S_m的自由度为$f_m=1$。注意到：

$$(a-1)+a(n-1)=an-1$$

便有
$$f_T=f_A+f_e \qquad (1-9)$$

或
$$f_{T_0}=f_T+f_m=f_m+f_A+f_e \qquad (1-10)$$

三、显著性检验与方差分析表

为了判别所考察的因素对观测值的影响是否显著，需要将因素平方和与误差平方和进行比较。但是，由于这些平方和与观测值的个数及因素水平的水平数有关，因此我们不能直接进行比较，而应先将它们与相应的自由度进行平均。离差平方和按自由度的平均值称为均方，其意义相当于方差。将因素平方和的均方

$$V_A=\frac{S_A}{a-1}$$

与随机误差平方和的均方

$$V_e=\frac{S_e}{a(n-1)}$$

进行比较，定义

$$F_A=\frac{S_A/(a-1)}{S_e/a(n-1)}=\frac{V_A}{V_e} \qquad (1-11)$$

所考察的因素A的影响越大，则F_A的数值也就愈大。如果不存在A的效应，那么（1—11）式中的F_A几乎不可能比F分布的某个小概率α的临界值F_α大。也就是对显著水平α，查第一自由度为$(a-1)$，第二自由度为$a(n-1)$的F分布的临界值$F^{(a-1)}_{a(n-1)}(\alpha)$，当$F_A>F^{(a-1)}_{a(n-1)}(\alpha)$时，称$A$因素在显著性水平$\alpha$下显著，简称因素$A$显著。否则，认为非显著。这里显著水平$\alpha$表示，当作出显著这个结论时，发生错误判断的概率的最大值。当$\alpha=0.05$显著时，称为一般显著；当$\alpha=0.01$显著时，称为高度显著。一般显著记作"$*$"，高度显著记作"$**$"。上述分析计算结果可以列成表格，更清楚地表达出来，它称为方差分析表。如表1—3所示。

方 差 分 析 表　　　　表1—3

来　源	f	S	V	F	S'	$\rho(\%)$
m	1	S_m	V_m	F_m	S'_m	ρ_m
A	$a-1$	S_A	V_A	F_A	S'_A	ρ_A
e	$a(n-1)$	S_e	V_e		S'_e	ρ_e
T_0	an	S_{T_0}			S_{T_0}	100

在表1—3中

$$V_m=\frac{S_m}{1}=S_m$$

$$F_m=\frac{V_m}{V_e}$$