

试验设计与 MATLAB数据分析

王 岩 隋思涟 编著

清华大学出版社

试验设计与 MATLAB数据分析

王 岩 隋思涟 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍了试验设计中常用统计分析方法的基本原理、MATLAB 编程实现及其应用范例。内容包括试验数据的描述性统计分析、误差分析、方差分析、回归分析、正交试验设计、均匀试验设计的方法等。本书附有一张光盘,内含书中所有 MATLAB 程序代码、例题数据和可执行文件(.exe 程序)等。

本书着重基础,强化应用,便于自学,可以作为研究生、本科生相关课程的教材或参考书,也可供科研人员参考和使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

试验设计与 MATLAB 数据分析/王岩,隋思涟编著. --北京:清华大学出版社,2012.4
ISBN 978-7-302-28468-0

I. ①试… II. ①王… ②隋… III. ①试验设计(数学)②MATLAB 软件 IV. ①O212.6 ②TP317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 064482 号

责任编辑:石磊 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:17.75 字 数:385 千字

附光盘 1 张

版 次:2012 年 4 月第 1 版 印 次:2012 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00 元

产品编号:035567-01

本书介绍了试验设计中常用的统计分析方法、MATLAB 编程实现,以及使用作者开发的 MATLAB 程序代码和应用程序进行实际数据分析的具体方法和步骤。全书共分 7 章,第 1 章概述了试验设计中常用的统计分析方法;第 2~7 章依次介绍了试验数据的描述性统计分析、误差分析、方差分析、回归分析、正交试验设计和均匀试验设计的原理、MATLAB 程序代码和应用实例。

本书具有以下特点:第一,注意内容的系统性和实用性。由浅入深地阐述试验设计的基本方法和应用,然后给出 MATLAB 的编程实现,并通过大量范例演示 MATLAB 程序代码、应用程序(.exe 文件)进行数据分析的过程与方法。第二,重视 MATLAB 应用对试验设计方法的简单性和可操作性。本书对所有方法、例题都编制了 MATLAB 例题程序代码,即便是对 MATLAB 知之甚少,或者对统计方法掌握不够全面的读者,只要按照本书给出的技巧,用试验数据代替书中例题中的数据,就可得到计算与分析的结果。操作方法简单、快捷。第三,给出了所有程序的源代码。对于想学习 MATLAB 语言编程的读者,可以通过本书学习、模仿、改写程序的源代码,提高自己的编程能力。第四,提供了.exe 可执行文件。对没有安装 MATLAB 的计算机,读者可按照使用说明在任何 Windows 操作系统中进行计算。界面清晰,提示信息详尽、准确、恰当。第五,书中所有程序都是作者根据内容和解决问题的需求而创建编制的,具有原创性。不同层面的读者既可从中学学习试验设计理论,又可直接进行数据分析,还可学习与模仿 MATLAB 编程。本书同时配备了包含书中所有 MATLAB 方法、例题程序代码、可执行文件(.exe 智能化数据分析平台)及其使用说明的光盘。

本书既可作为本科生和研究生学习试验设计、MATLAB 编程的教材或实验教材,也可作为数据分析的工具书或理论参考书,对从事程序开发的人员也具有重要的参考价值。

在本书的编写过程中,清华大学出版社石磊主任对本书的编写提出了宝贵

◆ II ◆ 试验设计与 MATLAB 数据分析

的意见与建议,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中或有遗漏和不足,恳请读者批评指正。

我们的联系方式:

王岩 wang1231yan@126.com

隋思涟 suisilian@126.com

编 者

2011年11月

第 1 章 试验设计与 MATLAB 数据分析简介	1
1.1 试验设计与数据分析的意义	1
1.2 试验设计中的几个常用概念	2
1.2.1 试验指标	2
1.2.2 因素和水平	2
1.2.3 响应(或输出)	3
1.2.4 试验设计	3
1.3 试验结果的数据处理	4
1.3.1 常用统计方法	4
1.3.2 常用分析工具	4
1.4 试验数据的误差分析	6
1.4.1 试验误差的分类	6
1.4.2 试验数据的精度与判断	6
1.5 数据的整理方法	8
1.5.1 表格法	8
1.5.2 作图法	8
1.5.3 数学模型	8
1.6 MATLAB 程序代码与应用程序(.exe 平台)介绍	8
1.6.1 MATLAB 程序代码	8
1.6.2 “.exe”可执行文件	9
第 2 章 试验数据的描述性统计分析	10
2.1 试验数据的常用数字特征	10
2.1.1 数据的均值、变异度、偏度与峰度	10
2.1.2 常用数字特征的 MATLAB 编程实现	14
2.1.3 应用实例	14

2.2	试验数据的其他数字特征	16
2.2.1	数据的中位数与分位数	16
2.2.2	中位数与分位数的 MATLAB 编程实现	18
2.2.3	应用实例	18
2.3	试验数据的分布描述	20
2.3.1	频数频率分布表	20
2.3.2	直方图	23
2.3.3	经验分布函数	23
2.3.4	QQ 图	24
2.3.5	直方图、经验分布函数与 QQ 图的 MATLAB 编程实现	25
2.3.6	应用实例	26
2.4	试验数据的其他分布描述	30
2.4.1	茎叶图	30
2.4.2	盒形图	31
2.4.3	茎叶图与盒形图的 MATLAB 编程实现	31
2.5	用 MATLAB 程序代码综合分析实例	32
2.6	用配书盘中应用程序(.exe 平台)进行数据分析实例	34
	习题 2	39
第 3 章 试验数据误差的统计分析		41
3.1	异常数据的剔除	41
3.1.1	拉依达(PauTa)准则	41
3.1.2	格拉布斯(Grubbs) 准则	42
3.1.3	t 检验准则	42
3.1.4	异常数据的剔除 MATLAB 编程实现	43
3.1.5	应用实例分析	45
3.2	随机误差的判断	46
3.2.1	χ^2 检验	46
3.2.2	χ^2 检验 MATLAB 编程实现	47
3.2.3	F 检验	49
3.2.4	F 检验 MATLAB 程序代码与应用	50
3.3	系统误差的检验	53
3.3.1	平均值与给定值比较及 MATLAB 程序代码与应用	53
3.3.2	两个平均值的比较及 MATLAB 程序代码与应用	55

3.3.3 成对数据的比较及 MATLAB 程序代码与应用	59
习题 3	62
第 4 章 试验数据的方差分析	65
4.1 单因素方差分析模型	65
4.1.1 重复数相等的单因素方差分析实例	67
4.1.2 多重比较 LSD 法	68
4.1.3 重复数不等的单因素方差分析实例	70
4.1.4 多重比较 S 法	71
4.1.5 方差分析表与多重比较的 MATLAB 编程实现	73
4.1.6 应用实例分析	75
4.2 无交互作用的双因素方差分析	77
4.2.1 无交互作用的方差分析模型	77
4.2.2 无交互作用的方差分析表的 MATLAB 编程实现	79
4.2.3 应用实例分析	80
4.3 有交互作用的双因素方差分析	81
4.3.1 有交互作用的方差分析模型	81
4.3.2 双因素有交互作用的方差分析表的 MATLAB 编程实现	83
4.3.3 应用实例分析	84
4.4 用配书盘中的应用程序(.exe 平台)进行方差分析实例	86
习题 4	89
第 5 章 试验数据的回归分析	92
5.1 一元线性回归分析	92
5.1.1 一元线性回归的数学模型	92
5.1.2 回归方程的显著性检验	93
5.1.3 利用回归方程进行预测	95
5.1.4 一元线性回归分析的 MATLAB 编程实现	96
5.1.5 应用实例	98
5.2 多元线性回归分析	101
5.2.1 多元线性回归分析模型	101
5.2.2 多元回归的显著性检验	102
5.2.3 多元线性回归的预测	108
5.2.4 逐步回归分析法	109

5.2.5	因素主次的判断	110
5.2.6	多元线性回归分析的 MATLAB 编程实现	111
5.2.7	应用实例	116
5.3	用配书盘中应用程序(.exe 平台)分析线性回归实例	127
5.4	一元非线性回归分析	131
5.4.1	常见的可转化为一元线性回归的模型	131
5.4.2	一元多项式回归模型	135
5.4.3	非线性回归的 MATLAB 编程实现	136
5.4.4	一元非线性回归模型的 MATLAB 实例分析	139
5.5	用配书盘中应用程序(.exe 平台)进行一元非线性回归分析实例	145
	习题 5	150
第 6 章	正交试验设计	153
6.1	正交表介绍	153
6.1.1	等水平正交表 $L_n(m^k)$	153
6.1.2	混合水平正交表	154
6.1.3	正交表的基本性质	155
6.2	正交试验方案设计	155
6.2.1	试验方案设计步骤	155
6.2.2	无交互作用的正交试验方案设计	156
6.2.3	考虑交互作用的正交试验方案设计	157
6.3	正交试验结果分析	159
6.3.1	极差分析	159
6.3.2	绘制因素水平与指标趋势图	161
6.3.3	方差分析	162
6.3.4	正交试验数据分析的 MATLAB 编程实现	163
6.3.5	应用实例	173
6.4	正交试验设计与 MATLAB 分析综合实例	175
6.4.1	无交互作用正交试验设计与 MATLAB 分析	175
6.4.2	二水平交互作用正交试验设计与 MATLAB 分析	179
6.4.3	三水平交互作用正交试验设计与 MATLAB 分析	183
6.4.4	利用混合正交表的试验设计与 MATLAB 分析	186
6.5	重复试验的方差分析	188
6.5.1	重复试验的方差分析介绍	188

6.5.2	重复试验的方差分析 MATLAB 编程实现	191
6.5.3	应用实例	195
6.6	重复抽样的方差分析	196
6.6.1	重复抽样的方差分析介绍	196
6.6.2	重复抽样的方差分析 MATLAB 编程实现	197
6.6.3	应用实例	199
6.7	用配书盘中应用程序(.exe 平台)进行正交试验分析实例	200
	习题 6	203
第 7 章	均匀试验设计	208
7.1	均匀设计表	208
7.1.1	等水平均匀设计表 $U_n(q^r)$	208
7.1.2	等水平均匀设计表 $U_n^*(n^r)$	209
7.1.3	均匀设计的使用表	210
7.1.4	混合水平均匀设计表	211
7.2	试验安排	212
7.2.1	试验安排步骤	212
7.2.2	均匀试验设计应注意的问题	213
7.3	试验结果分析	216
7.3.1	直观分析法	217
7.3.2	回归分析法	218
7.4	用 MATLAB 逐步回归法分析均匀试验结果实例	219
7.4.1	MATLAB 编程实现	219
7.4.2	均匀试验结果为线性回归的 MATLAB 程序代码分析实例	222
7.4.3	均匀试验结果为非线性回归的 MATLAB 程序代码分析实例	226
7.5	用配书盘中应用程序(.exe 平台)分析均匀试验设计实例	229
	习题 7	232
附录	常用数理统计表	236
参考文献		273

试验设计与 MATLAB 数据分析简介

1.1 试验设计与数据分析的意义

在科学研究和工农业生产中,经常需要通过试验来寻找所研究对象的变化规律,并通过对规律的研究达到各种实用的目的,如提高产量、降低消耗、提高产品性能或质量等。特别是新产品试验,未知的东西很多,要通过大量的试验来摸索工艺条件或配方。

自然科学和工程技术中所进行的试验,是一种有计划的实践,只有采用科学的试验设计,才能用较少的试验次数,在较短的时间内达到预期的试验目标;反之,往往会浪费大量的人力、物力和财力,甚至劳而无功。另外,随着试验进行,必然会得到大量的试验数据,只有对试验数据进行合理的分析和处理,才能获得研究对象的变化规律,达到指导生产和科研的目的。可见,最优化方案的获得,必然兼顾试验设计方法和数据分析两个方面,两者是相辅相成、互相依赖、缺一不可的。

在试验设计之前,试验者首先应对所研究的问题有一个深入的认识,如试验目的、影响试验结果的因素、每个因素的变化范围等,然后才能选择合理的试验设计方法,达到科学安排试验的目的。在科学试验中,试验设计一方面可以减少试验过程的盲目性,使试验过程更有计划;另一方面还可以从众多的试验方案中,按一定规律挑选出少数试验。

合理的试验设计只是试验成功的必要条件,如果没有试验数据的分析计算,就不能对所研究的问题有一个明确的认识,也不可能从试验数据中找到规律的信息,所以试验设计都是与一定的数据分析方法相对应的。试验设计与数据分析在科学试验中的作用主要体现在如下几个方面:

- (1) 科学、合理地安排试验,可以减少试验次数,缩短试验周期,节约人力、物力,提高经济效益,尤其当因素水平较多时,效果更为显著;
- (2) 通过误差分析,可以评判试验数据的可靠性;

(3) 确定影响试验结果的因素主次,从而可以抓住主要矛盾,提高试验效率;

(4) 可以确定试验因素与试验结果之间存在的近似函数关系,并能对试验结果进行预测和优化;

(5) 找出试验因素对试验结果的影响规律,为控制试验提供思路;

(6) 确定最优试验方案或配方。

试验设计与数据处理虽然归属于数理统计的范畴,但它也属于应用技术学科,具有很强的适用性。一般意义上的数理统计的方法主要用于分析已获得的数据,对所关心的问题作出尽可能精确的判断,而对如何安排试验方案的设计没有过多的要求。试验设计与数据处理则是研究如何合理地安排试验,有效地获得试验数据,然后对试验数据进行综合的科学分析,以求尽快达到优化试验的目的。所以完整意义上的试验设计实质上是试验的最优化设计。

1.2 试验设计中的几个常用概念

1.2.1 试验指标

在试验设计中,根据试验目的而选定的用来衡量试验效果的特征值,称为试验指标。

常见指标有两类:定量指标和定性指标。能用数量表示的指标,称为定量指标或数量指标,通常用测量结果表示,如食品的糖度、物体的吸光度、橡胶件的强度、产品的合格率等。不能用数量表示的指标称为定性指标或非定量指标,通常用等级评分等表示,如色泽、风味、药物疗效、布料的柔软度等。对定量指标要用具有一定准确度和精密度的测量仪器测得,对定性指标要组织专家评判组进行等级评分。由于测量数据含有的信息丰富,故在试验中要尽量选用定量指标,在不得已的情况下才选用定性指标。

在试验设计中,根据试验目的的不同,可以采用一个试验指标,也可以同时采用两个以上试验指标,前者称为单指标试验,后者称为多指标试验。

1.2.2 因素和水平

试验中,凡对试验指标可能产生影响的原因或要素,都称为因素或因子,常用大写字母 A 、 B 、 C 、 D 等表示,如反应时间、反应温度、原料产地等。因子所处的状态称为试验水平,简称水平或位级,如温度 A 选了 30°C 、 50°C 共 2 个水平,用 A_1 、 A_2 表示;时间 B 选了 20 min、40 min、60 min 共 3 个水平,用 B_1 、 B_2 、 B_3 表示。

因子也分为两类:可控因子与不可控因子。可用某种控制方式将其状态(即水平)作审慎改变的因子称为可控因子,如上面的例子都是可控因子。在实际操作中不能控制或难以控制,或要花费昂贵才能控制,或试验人员尚未意识到对试验结果会有影响的因子

统称为不可控因子,又称噪声因子或误差因子,如环境温度与湿度、机器的老化、电源电压的波动等。

1.2.3 响应(或输出)

试验的结果(数据)称为响应(response)或输出(output),常用指标的测量值(或评分值) y 表示。

在试验研究中,所获得的试验结果(数据)总是有差异的,即使在同一条件下重复进行试验,所得试验数据也不会完全一样。引起试验数据产生差异的因素很多,这些因素对试验数据的影响度也是不同的,有主有次,有大有小。如果我们抓住一些主要因素加以控制,使这些因素固定在我们希望的水平上,从理论上讲,它们对试验结果的影响也是固定的,以 μ 表示;而那些次要因素不加控制(有的也难以控制,如天气条件的变化),它们对试验结果的影响可概括为一项,称为误差项,以 ϵ 表示。这样,任何试验结果(数据) y 总可以表示为两部分之和,即

$$y = \mu + \epsilon \quad (1.2.1)$$

式中, μ 为可控因素对试验指标的影响之和,它是在某一工艺下试验指标应有的理论值。 ϵ 是从下料、配料、加工直到测试整个过程中许多未加控制的因素(随机因素)对试验指标的影响之和,称为试验误差。式(1.2.1)称为试验数据的结构式。它是对试验数据进行分析的依据, μ 和 ϵ 在性质上是两类完全不同的量, μ 是常量, ϵ 是随机变量,因而试验数据 y 也是一个随机变量。

1.2.4 试验设计

在明确所要考察的(可控)因子及其水平后对试验进行的总体安排称为试验设计。

要使一项试验设计有效,必须在安排试验时注意以下几点。

首先,尽量减少试验误差。试验设计是费希尔在进行农业田间试验时提出的,他发现在田间试验中,环境条件难以严格控制,试验误差不可忽视,故提出对试验方案必须作合理的安排,以减轻随机误差的影响,提高试验结果的可靠性。

其次,尽量减少试验次数。这意味着减少试验费用、缩短试验周期,特别在生产中更要注意这一点,过多的试验次数使企业难以承受,以至于不得不放弃试验设计方案。

再次,便于对试验结果(即指标值)进行统计分析。由于在试验中存在随机误差,并体现在指标的测量值上,所以对指标值的分析只有用统计方法才是客观的和科学的分析方法。这样,任何一个试验问题都有两个方面:试验的设计和数据的统计分析。这两个方面紧密相连,设计时要想到下一步如何进行统计分析,统计分析时要考虑到试验是按什么设计方案进行的。

1.3 试验结果的数据处理

1.3.1 常用统计方法

1. 直观分析方法

直观分析方法又称为极差分析法,极差是指某因素在不同水平下的指标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影响小,是次要因素或不重要因素。直观分析方法首先要计算出每一个水平的试验指标值的总和与平均值,然后求出极差,根据极差的大小,分析各个因素对试验指标值的影响程度,确定哪些因素是主要因素,哪些因素是次要因素,从而找出主要因素的最好水平。

直观分析方法的优点是简便、工作量小,而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

方差分析方法的实质是总的变差平方和被分解为各个因素的变差平方和与误差的变差平方和,然后求出它们所对应的自由度,求出平均方差,计算出统计量 F ,根据显著性水平查出临界值 F_0 。从而进行判定。对于正交设计方法,正交表能够将变差平方和分解,可根据因素所在列计算出各个因素的变差平方和,没有因素的列可用来估计误差的变差平方和。

方差分析方法的优点是能够充分地利用试验所得的数据估计试验误差,并且分析判断因素效应的精度很高。

3. 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:

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

在试验过程当中,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法是否有意义,要进行统计假设检验。回归分析方法的详细研究见第 5 章。

1.3.2 常用分析工具

1. 散点图与相关分析

如果输入变量和输出变量都能用数据表达,则可以分别将其对应的数据点描绘在直角坐标的区域内,这种没有任何处理的点图称为散点图。从这些一一对应点的分布形式和趋势,可以直观地发现输入和输出变量之间的关系,如图 1.3.1 所示。

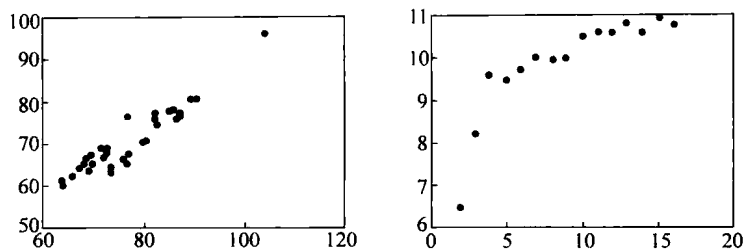


图 1.3.1 散点图

一般来说,散点图适用于观察单一输入变量和输出变量之间的关系。如果是多变量之间的试验,则可以分别绘制一一对应的散点图,即可用多幅图分别表示变量之间的定性关系。如果需要找到变量之间的定量关系,常采用回归分析或曲线拟合的数学方法。

2. 水平响应直观分析图

水平响应直观分析图简称直观图,是一种观察输入因素不同水平值所引起输出指标产生不同响应值之间关系的图形。因为输入的水平值是离散的,所以直观图是将各个响应值连接而成的折线图形。这种折线能够反映不同输入的响应度,根据响应的程度可以判断试验的效果。折线的曲折程度越严重,说明指标对输入变量的响应越强烈,表明试验设计效果越显著;反之,折线越平坦,表明试验设计失效。此外,还可以从直观图上观察到因子之间是否有关联作用,如图 1.3.2 和图 1.3.3 所示。在有重复试验时,将各个响应水平的均值连接起来,可以发现是一条曲折度很大的折线,根据观测指标的性质来判断哪一个水平对指标影响最大,从而确定所需要的水平值。如图 1.3.2 所示, A 表示温度,假定试验要求指标越大越好,则 A_2 是所需要的水平值。

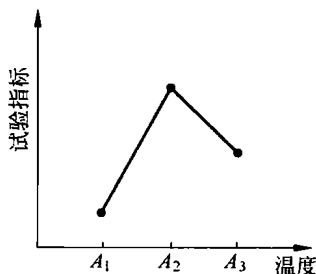


图 1.3.2

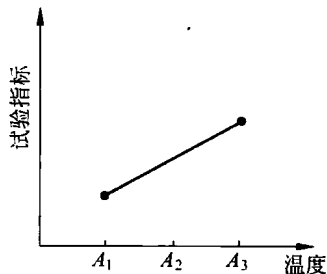


图 1.3.3

3. 水平值的响应图

当因素水平较多,运用散点分布图发现水平取值与指标没有明显规律时,表明需要对试验结果进行进一步分析或研究,最终得出正确结论。一般情况下,可以运用非线性回归或多项式回归的方法将水平值与指标的关系用数学模型表达,同时还可以在坐标中用曲线图形

显示出来,这种曲线图形称为水平值的响应图。

1.4 试验数据的误差分析

1.4.1 试验误差的分类

试验误差按其性质可分为随机误差(random/chance error)、系统误差(systematic error)和过失误差(mistake error)。

1. 随机误差

随机误差是由于在试验过程中一系列有关的细小随机的波动而形成的具有相互抵消性的误差。它决定试验结果的精密度。

在一次试验中,随机误差的大小是无法预言的,没有任何规律性,但多次试验中,随机误差的出现还是有规律的,它具有统计规律性,大多服从正态分布。由于随机误差的形成取决于试验过程的一系列随机因素,这些随机因素是试验者无法严格控制的,因此,随机误差是不可避免的,试验人员可设法将其大大减小,但不可能完全消除它。

2. 系统误差

系统误差是在一定试验条件下由某个或某些因素按照某一确定的规律起作用而形成的误差。它决定了试验结果的准确度。

系统误差的大小及其符号在同一试验中是恒定的,或在试验条件改变时,按照某一确定的规律变化。如果能发现产生系统误差的原因,可以设法避免,或通过校正加以消除。

3. 过失误差

过失误差是一种显然与事实不符的误差,没有一定规律,它主要是由于试验人员粗心大意造成的,如读数错误、记录错误或操作失误等。

试验过程中出现误差是不可避免的,但可以设法尽量减小试验误差,这正是试验设计的主要任务之一。

1.4.2 试验数据的精准度与判断

误差的大小可以反映出试验结果的好坏,误差可能是由于随机误差或系统误差单独造成的,还可以是两者的叠加。为了说明这一问题,引出了精密度、正确度和准确度这三个表示误差性质的术语。通常“精度”包括精密度和准确度两层含义。

1. 精密度

精密度(precision)反映了随机误差大小的程度,是指在一定的试验条件下,多次试验值的彼此符合程度。精密度的概念与重复试验时单次试验值的变动有关系,如果试验数据分

散程度较小,则说明是精密的。例如,甲、乙二人对同一个量进行测量,得到两组试验值:

甲: 11.45, 11.46, 11.45, 11.44

乙: 11.39, 11.45, 11.48, 11.50

很显然,甲组数据的彼此符合程度好于乙组,故甲组数据的精密度较高。

试验数据的精密度是建立在数据用途基础上的,对某种用途可能认为是很精密的数据,但对另一用途可能显得不精密。

由于精密度表示了随机误差的大小,因此对于无系统误差的试验,可以通过增加试验次数而达到提高数据精密度的目的。如果试验过程足够精密,则只需少量几次试验就能满足要求。

通常精密度的好坏常用极差、标准差、方差来度量。如单正态总体用 χ^2 检验,对于两组具有正态分布的试验数据之间的精密度的比较可用 F 检验。

2. 正确度

正确度(correctness)反映了系统误差的大小,是指在一定的试验条件下,所有系统误差的综合。

由于随机误差和系统误差是两种不同性质的误差,因此对于某一组试验数据而言,精密度高并不意味着正确度也高;反之,精密度不好,但当试验次数相当多时,有时也会得到较好的正确度。精密度和正确度的区别和联系,可通过图 1.4.1 得到说明。

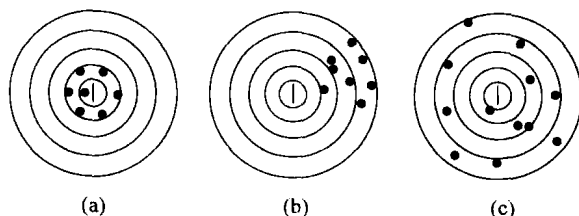


图 1.4.1 精密度和正确度的关系

图(a)表示精密度好,正确度好;图(b)表示精密度好,正确度不好;

图(c)表示精密度不好,正确度好

若试验数据的平均值与真值的差异较大,就认为试验数据的正确性不高,试验数据和试验方法的系统误差较大,所以对试验数据的平均值进行检验,实际上是对系统误差的检验。

系统误差的检验通常用 t 检验法。

3. 准确度

准确度(accuracy)反映了系统误差和随机误差的综合,表示了试验结果与真值的一致程度。

如图 1.4.1 中,(a)具有准确度;(b)具有精密度;(c)具有正确度。