

〔日〕森口繁一 编

新编

质量管理的统计方法

机械工业出版社

新编质量管理的统计方法

〔日〕森口繁一 编

王世芳 译



机械工业出版社

B 572008

新编本前言

本书是日本规格协会“质量管理与标准化研究会”所用的统计方法教材。

1973年11月，改变了研究方向，加强了实验设计法，特别是正交配列等内容。为适应此种情况，增加了统计方法的总时数。此新编本就是全面修改后的版本。旧版本的例题虽然大部分保留了，但在时间允许限度内，也尽量增换了一些新例题。

本书曾以暂定版形式，在研究会实际使用了两年。新编本是吸收了两年来在使用中教师及学生们的意见后修订的。因而，内容更加充实了，望能对统计方法的广泛普及有所助益。

1976年3月

森口繁一

本教材编辑委员由下列人员组成：

主 编 森口繁一（东京大学）

编辑委员

小野藤男（日本油封公司）

岸 晓男（武藏工业大学）

君塚洋司（日本啤酒公司）

工藤纪彦（东京芝浦电气公司）

古 林 隆（埼玉大学）

清水龍藏（第二精工舍公司）

芳賀敏郎（山阳国策纸浆公司）

広津千尋（东京大学）

川村正信（日本规格协会）

译 序

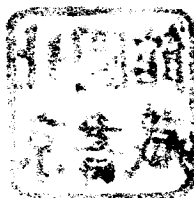
质量管理科学是现代管理科学的主要组成部分。从方法论来说,质量管理科学要综合运用管理技术、专业技术与各种科学方法。统计方法就是科学方法之一。

日本著名统计学家森口繁一教授所编《新编质量管理的统计方法》一书,是日本规格协会“质量管理与标准化”研究会所用的统计方法教材。

本书的特色是,结构严谨、逻辑性强,理论与实际相结合,运用实例较多,每章后附有习题(习题答案略)。因此,除宜作质量管理统计方法的教材外,还可作统计方法的自学读本。

译者水平有限,不妥之处,请读者指正。

王 世 芳



目 录

1.统计的思考方法.....	1
1.1 统计的思考方法.....	1
1.2 数据的性质.....	2
1.3 统计的推断.....	4
1.4 波动的原因.....	6
习题	7
2.频数分布	9
2.1 频数表.....	9
2.2 分 层.....	11
2.3 排列图(曲线)	12
2.4 缺陷易发生部位的调查方法.....	14
2.5 分区间的频数表.....	15
2.6 直方图.....	16
2.7 均值与标准差的计算.....	20
习题	22
3.概率与分布	25
3.1 概率.....	25
3.2 概率分布.....	29
3.3 不良品数的概率分布(二项分布)	41
3.4 缺陷数的分布(泊松分布)	43
3.5 正态分布.....	46
3.6 方差的加法性.....	52
习题	57
4.总体均值的推断(σ 已知)	60
4.1 样本均值 $\bar{x}$ 的分布	60
4.2 总体均值 μ 的假设检验(σ 已知)	81

4.3 总体均值 μ 的区间估计 (σ 已知)	88
4.4 均值之差的估计与检验 (σ 已知)	91
习题	95
5. 总体方差的推断	96
5.1 平方和	96
5.2 无偏方差	101
5.3 总体方差的检验	108
5.4 方差比的估计与检验	111
5.5 运用极差的估计与检验	117
习题	122
6. 总体均值的推断 (σ 未知)	125
6.1 总体均值 μ 的检验	125
6.2 总体均值的区间估计	128
6.3 均值之差的检验 (有对应的情况)	129
6.4 两个总体均值之差的估计与检验	134
习题	140
7. 取样	143
7.1 从有限总体中取样	143
7.2 二段取样	146
7.3 分层取样	150
7.4 其它取样	154
习题	156
8. 实验设计与结果分析	158
8.1 单因素设计 (总体参数模型)	158
8.2 单因素设计 (变量模型)	169
8.3 双因素设计 (无重复)	175
8.4 双因素设计 (有重复)	185
8.5 分割实验	195
8.6 正交配列	203
习题	222
9. 二变量间的关系	226
9.1 相关分析	226

9.2	散布图与二元频数分布	227
9.3	相关系数的计算	232
9.4	相关的检验与估计	239
9.5	回归分析	242
9.6	回归分析 (有重复)	250
	习题	260
10.	计数值的推断	262
10.1	不良品率的估计	262
10.2	缺陷数的估计	263
10.3	统计分析纸	263
10.4	符号检验	268
10.5	相关的推断	271
10.6	适合度的检验	278
10.7	分割表的检验	283
	习题	293
附表		295

1. 统计的思考方法

本章将为学习统计方法的人，阐述有关统计方法的基本思考方法，以及在质量管理中运用统计方法的基本原则。

1.1 统计的思考方法

现代质量管理有两个特征，一是以统计思考方法和做法为中心；二是有组织地进行全面管理。统计质量管理一词，强调了第一个特征。从美国的休哈特（W.A.Shewhart）提出控制图时起，各种统计方法就被广泛运用了。但是，质量管理如果只偏重于统计方法而忽视其它方面，就不会收到实际效果。所以必须把工厂全体职工组织起来同心协力开展质量管理。

在质量管理中，统计思考方法之所以重要，是由于产品质量经常发生波动。不管用多么精密的机械设备、不管多么精心地制造，产品质量都会发生波动（dispersion）。但是，在正常状态下，产品质量的波动是存在统计规律性的。掌握产品质量的统计分布，根据统计推断，实施质量管理，乃是“统计质量管理”的根本。

所谓掌握产品质量的统计分布，就是不去注视单个产品的质量状态，而注重观察产品全体的分布状态。因而，要从乍一看无规则的波动中，找出规律性。这里必须注意的是，我们推断的对象，不是观测数据（data）本身。所观测的数据，与统计推断的对象不同。

现在考察金属线材的验收检验。这时，要从许多线卷中取出几个样品，测量其抗拉强度，根据测量结果来决定是否接收整批（lot）线材。这时，所测量的每个数据是否满足标准要求，并

不紧要，主要是想根据所测得的数据，来推断整批产品是否满足要求。

注1 波动：也叫散差，是指数据的值参差不齐。波动的大小，一般用标准差表示（参看2.7）。

注2 批：指依某一目的将产品、半成品或原材料等的单位体或单位量集合起来的整体。

另外，考察人造丝制造工序时，需每隔一定时间，测量人造丝的粗细，绘制 $\bar{x}-R$ 控制图。测量人造丝粗细的目的，不在于了解每根人造丝的粗细，而在于综合所得数据，以期尽早发现该工序的异常。

为了强调推断对象与观测数据的关系，称提供数据的原始实体为总体（population），如线卷的批和人造丝工序。从总体中抽取出来的一部分，称为样本（Sample）。统计推断，就是以样本为根据，推断总体的状况。

如把上述加以整理，则如图1-1-1。

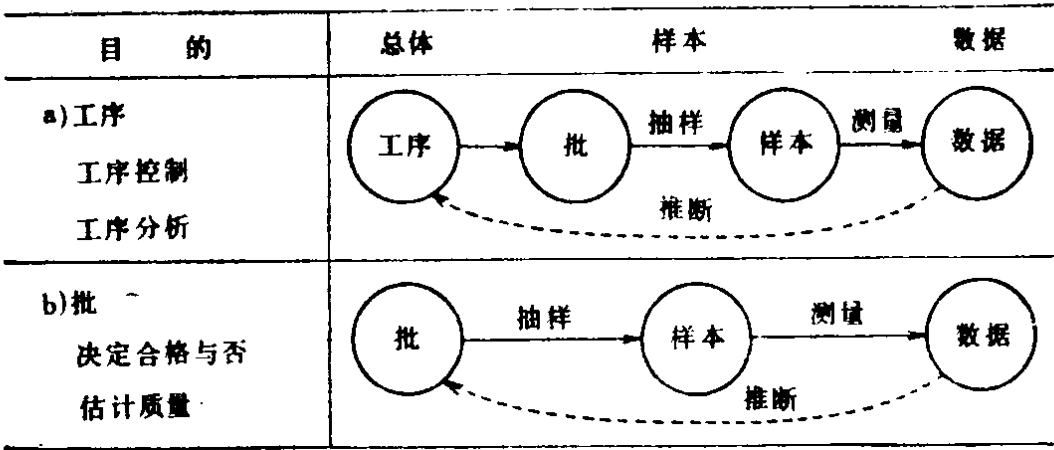


图1-1-1 统计推断

统计推断，作为行动的指南，具有现实作用。在决定行动（采取什么行动，或什么行动都不采取）时，不仅要考虑统计推断的结果，而且要考虑专业技术的理论与经验，以及经济条件等等，作出综合判断。

1.2 数据的性质

进行统计推断，必须有数据。而收集数据是有一定目的的，

统计推断就是按此目的进行的。本节讨论作为统计推断基础的数据。

我们取得的数据，可分为计量值与计数值。计量值是作为连续量测得的质量特性值，计数值是以个数数得的质量特性值，如不良品数和缺陷数等。

计量值例：一个药片的重量（g），金属线材的抗拉强度（kg/cm²），玻璃板厚度（mm），电灯泡的光通量（lm）。

计数值例：一平方米布的疵点数，一个月的事故数，一张玻璃板的气泡数，涂饰不合格的零件数。

还有，圆棒直径等虽然都是计量值，但也有用通止规检验直径是否处于一定界限，来区分合格品与不合格的情况。这样一来，本来是计量值的数据，就当作计数值（直径不合格的件数）来处理了。当计量值的测量费时费钱时，往往采用这种简易测量方法。一次测量所得情报虽然少，但增加每次测量的个数后，就能以相同费用取得更多情报。

数据是波动的。其分布中心通常以均值（mean） $\bar{x}$ 表示，其分布宽度即数据波动程度，以极差（range） R （最大值—最小值）表示。例如，当给出数据

35, 32, 34, 37, 38

时，均值 $\bar{x}$ 等于

$$\bar{x} = \frac{35 + 32 + 34 + 37 + 38}{5} = 35.2$$

极差 R 等于

$$R = 38 - 32 = 6$$

应指出，由五个数据求出的 $\bar{x}$ 值，即使同是由一百个数据求出的 $\bar{x}$ 值，两者的置信度也是不同的。同时可以预计，即使数据是从同一总体取出的，如果观测数据很多，这些数据的分布宽度即极差 R 就会变大。因而，在表示 $\bar{x}$ 与 R 时，需要指出它们是根据多少数据算出的。

注 表示数据波动时，有时用标准差（无偏方差平方根）

$$\sqrt{V} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} \quad (\text{参阅5.2节})$$

数据是用来推断总体状态的，所以，抽取的样本必须尽可能正确地反映总体状态。如果抽取的样本特小、或者只取良品，都无作用。然而，完全反映总体状态的样本，往往是不可能得到的。如果能得到这种样本，也就没有必要取样观测了。一般来说，都采取随机抽样 (random Spmpling) 方法，亦即使总体各部分都有相等机会进入样本的抽样方法。

1.3 统计的推断

从总体抽样进行测量，根据测量所得数据推断总体状态。这就是整个统计方法的原理。因为，样本是总体的一部分，所以统计推断是根据部分推断全体。当然，仅仅调查部分是不能完全掌握全体的。例如，样本均值偏离总体均值是不可免的。这种偏离就是“取样误差”。如果这种误差充分小，那就能够以相当的精度，根据部分推断总体。利用随机抽样方法进行大规模调查，始于印度本格尔地方的播种调查，那是本世纪30年代后半期的事。40年代前半期，美国利用随机抽样方法进行大规模社会调查，取得显著效果。在战后，这种抽样调查方法，成了官方统计、民间各种统计调查、市场调查、舆论调查的标准方法。

例1 1944年，美国迫切需要利用尽量不拖延时日的方法，与估计急速发展起来的九个城市的人口，以作为粮食、学校等的施政决策的依据。例如，就洛杉矶市来说，从全部20000个街区中，随机选出了3000个进行调查，估计出了一个街区的平均人口，用街区数乘上此平均人口数，对全市人口作出了估计。

在质量管理方面，为了估计平均值和总数，也常用随机取样方法。

例2 为估计500袋羊毛的总重量，随机抽取了25袋计算其重量。得知该25袋的平均重量为296kg，所以296kg的500倍

$$296 \times 500 = 148000 \text{ (kg)}$$

就是总重量的估计值。

例3 为了解焦炭所含灰分，一个工作班从传送带上取样三次，每次取一米长传送带上所分布的焦炭，进行分析，所得结果作为一个工作班的平均灰分估计值。

在抽样检验中，也是把整批产品的一部分作为样本，进行抽样检验，根据其结果，决定整批是否合格。这时必须注意，样本不合格率并不是原批的不合格率。根据样本调查结果决定产品批合格与不合格时，存在着不合格率低的优质批被判为不合格、或不合格率高的劣质批被判为合格的风险。在决定抽样个数和合格判定基准时，若想使这两种风险充分小，可以运用概率论进行随机抽样。而根据这种理论设计抽样检验，并且按照理论实际地进行抽样检验与判定，却是战后的事。

在总体与样本关系上，最应注意的是，主要影响估计精度的，与其说是抽取率，莫如说是抽取个数。例如，在市场调研中，为掌握某种新产品的质量水平、而抽取含量为5000件的样本调查时，总体大小为一百万件也好，一千万件也好，一亿件也好，抽样误差几乎是相同的。按抽取率说，虽然有0.5%、0.05%、0.005%之差，但由于所抽样本含量为5000件，所以在任一抽取率的情况下，都能得到精度很高的抽样结论。

例如，为掌握某种机械设备的利用率，在一个月内存选100个时点，调查该机械设备是在工作还是闲置时，能取得精度颇佳的利用率数据。而在这种情况下，按照抽取率办法，就要从无限多的时点中选100个时点，所以抽取率几乎变为零，尽管如此，由于样本含量相当于100，还是能够确保取得精度颇佳的利用率数据。

就工序状态，或在某种条件下的收率来说，应考虑其在相当长的时间内的平均状态，这时，如果按上述办法，在适当时点取数百个数据，就能以充分高的精度，作出指导实际行动的推断。

就波动来说，也是一样。当要掌握总体分布的宽度时，可以通过样本的数据波动程度的调查，作出总体分布的推断。

注意取样误差的大小，尽可能合理地推断总体性质，不搞过剩精度，是统计推断的重要经验。

1.4 波动的原因

统计质量管理的目的，可以说在于缩小产品质量的波动。影响产品质量的因素有无限多个，要从中找出重要的因素。如果此因素是可以控制的，则应尽力使其均一化，如果此因素是不可控制的，则应对应于此因素，改变其它因素，以使产品质量保持稳定。

例如，人造丝的粗细，由粘胶纤维浓度、粘胶的粘度以及纺织机喷出量等条件决定。这些量在时间上、空间上一变动，就带来人造丝粗细的波动。在某一瞬间，各个喷嘴吐出的人造丝的粗细，是互相不同的。同时，一个喷嘴喷出的人造丝粗细，还随时间而变化。因而，如果从几个喷嘴取若干次人造丝样本，测量其粗细，就能得到反映人造丝粗细的波动数据。

人们总希望把所有的波动原因都控制起来，但是，这既不可能，也无必要。即使已知微小波动的原因，也不妨把它忽略，而引起巨大波动的原因，就不能不把它找出来，加以控制。在制造过程中，如把几个重叠的波动原因加以图示，则如图1-4-1所示。这种图有助于找到应该控制的目标。表示其它两个例子的因果图，如图1-4-2所示。

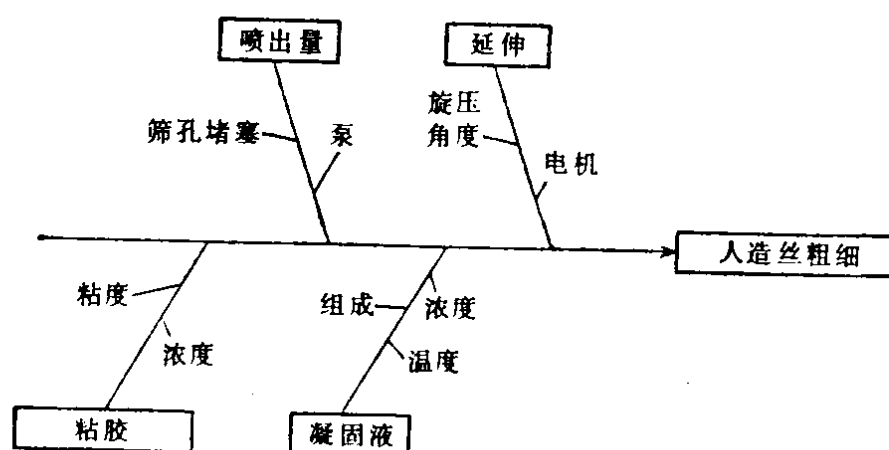


图1-4-1 人造丝粗细因果图

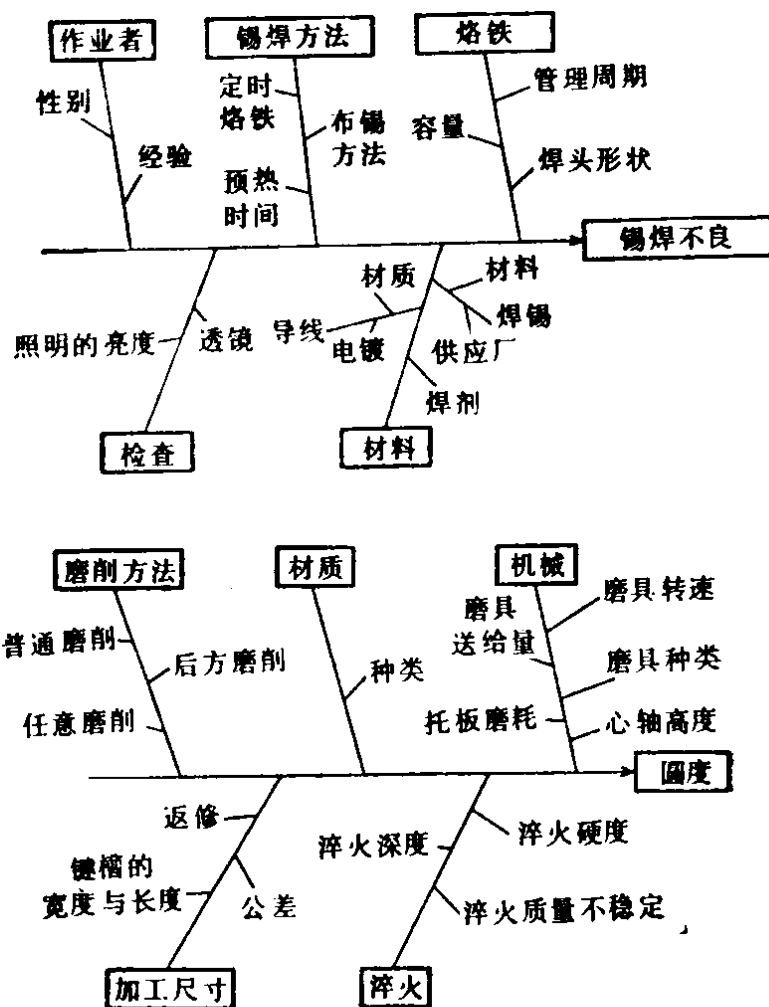


图1-4-2 两种因果图

习 题

(1.1) 试简述下列术语的含义

总体 样本 波动

(1.2) 试把计量值数据与计数值数据加以分类:

(1) 溶液的浓度 (%)

(2) 机械的故障次数 (次)

(3) 真空管的寿命 (时间)

(4) 药片的成分含量 (g)

(5)合金钢板的抗拉强度 (kg/cm^2)

(6)钢板厚度 (mm)

(7)电灯泡的不良率 (%)

(8)钢珠外径 (mm)

(9)油漆表面的气孔数 (个)

(1.3)求下列数据的平均值与极差

(1) 5.5 5.0 5.1 5.6 5.2

(2) 50 55 51 56 52

(3) 10.095 10.090 10.091 10.096 10.092

(4) 1059.5 1059.0 1059.1 1059.6 1059.2

2. 频 数 分 布

为掌握、控制产品质量的波动原因，首先要正确掌握产品质量的波动状态。为了以可见形式掌握产品质量波动，可以研究产品质量的频数分布 (frequency distribution)，也就是说，频数表与频数图是有效的。这些图表虽然非常简单，但却是理解统计方法的基础，并且其本身也有实际作用。

所谓频数表，是指在数据中有同一数值重复出现的情况下，把各个数值的出现次数加以排列而成的表。在把数据的存在范围分为几个区间时，频数表就是把属于各区间的数据的出现次数加以排列的表。因此，把数据的出现次数，用坐标图表示，就是频数图。

2.1 频 数 表

在机械零件的加工工序中，每一小时随机抽取50个零件，就几个质量特性进行了检验。其中，通过外观检验所判定的不良零件个数，如表2-1-1所示。由表中数据可知，零件不良数是存在波动的。为掌握波动状态，我们研究频数分布。

把同一数据的出现次数加以计数，则得表 2-1-2 所示的频数表。为要掌握机械加工工序的不良零件数的分布，只用频数表就足够了，如果把频数分布用图象显示，则会更加醒目。

以横轴标示特性值、以纵轴标示频数绘制的频数图，如图2-1-1所示。

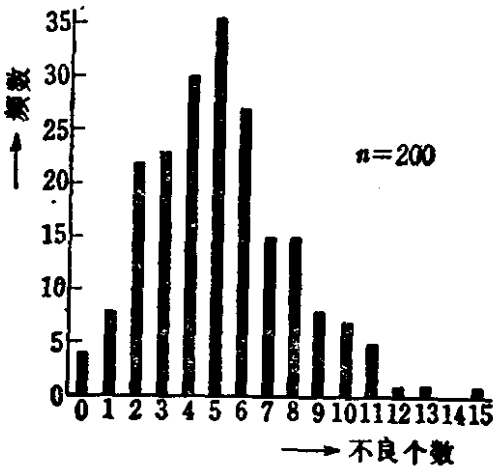


图2-1-1 频数图

表2-1-1 不良零件的数据

批 号	1~20	21~40	41~60	61~80	81~100	101~120	121~140	141~160	161~180	181~200
1	5	2	6	6	5	3	3	7	6	1
2	3	4	9	9	8	0	2	5	1	1
3	3	2	15	6	10	3	3	5	2	5
4	5	4	4	5	4	4	2	6	3	4
5	6	6	5	6	7	2	2	5	2	4
6	7	2	8	4	8	3	6	3	3	3
7	5	5	10	5	3	4	5	1	1	2
8	7	5	5	5	10	4	4	2	6	4
9	4	8	5	6	9	3	5	8	2	5
10	12	3	2	7	8	1	4	4	3	8
11	5	6	3	4	8	2	7	6	2	9
12	3	13	7	5	10	5	9	5	3	6
13	6	5	11	5	6	5	6	5	1	7
14	6	6	6	4	5	2	8	4	2	7
15	8	7	4	11	4	1	10	2	4	4
16	6	11	6	5	5	4	4	7	3	3
17	10	7	8	9	4	4	5	0	0	10
18	7	5	7	11	7	2	11	3	0	8
19	4	3	9	8	5	4	6	2	3	6
20	6	4	8	8	6	4	6	2	2	9