

第一章

6Sigma 品质理论

- 第一节 6Sigma 介绍
- 第二节 6Sigma 的基础——变量/数据/问题
- 第三节 6Sigma 与客户/可靠性/周期时间/
品质成本

第一节 6Sigma 介绍

个人的生存和发展依赖于某个特定组织，组织的生存和发展依赖于其业务的增长，组织的业务增长很大程度上依赖于其客户对其产品或服务的满意程度，客户满意度又由组织所提供产品和服务的品质、价格和交付状况所决定，而品质、价格和交付又由组织的过程能力所决定，过程能力又由过程因受各种因素影响而产生的非预期变异所限制。6Sigma 是研究过程变量与过程能力间相互关系的科学。简言之，是通过对过程能力的测量，确定过程所处的状态，再通过比较分析，找出影响过程能力的主要变量，用过程优化方法找出其变化规律，再对其予以消除或控制，通过连续的测量——分析——改善——控制循环，使过程能力不断提高并最终达到或超过 6Sigma 水平。对于新产品和新过程，在测量之前又增加了一个设计（新产品和过程）环节。

6Sigma 作为品质理论，最早被摩托罗拉公司用于品质管理，取得了令人瞩目的成功。后逐步推广到通用电气、IBM 等一些大公司，并很快成为新的品质标准。现在，6Sigma 系统和方法因其良好的经济性和可操作性，已为全球许多先进公司接受和采用。

一、Sigma (σ) 的涵义

σ 是希腊字母，术语 σ 用来描述任一过程参数的平均值的分布或离散程度。对商务或制造过程而言， σ 值是指示过程作业状况良好程度的标尺。 σ 值越高，则过程状况越好。 σ 值用来测量过程完

成无缺陷作业的能力，因为缺陷在任何情况下都会导致客户的不满意。

对 6Sigma 而言，共同的测量指引是“每单位缺陷数”。在这里，单位代表了许多东西，如组件、原材料、表格、时间段、产品等。

σ 值指示了缺陷发生的频度。 σ 值越高，过程不良品率越低，当 σ 值增大时，成本降低，过程周期时间缩短，客户满意度提高。

二、6Sigma 的涵义

6Sigma 是一个统计测量基准，它告诉我们目前自己的产品、服务和过程的真实水准如何。6Sigma 方法可使我们将自己与其他类似的或不同的产品、服务和过程进行比较，通过比较，我们可以知道自己处于什么位置。最重要的一点是，我们可以知道自己的努力方向和如何才能达到此目的。换言之，6Sigma 帮助我们建立了目标和测试客户满意度的标尺。例如，我们说一个过程具有 6Sigma 能力时，可以肯定它是世界上最好的。这种能力意味着生产一百万件产品只有大约 3 件不良品出现的机会。由此可见，6Sigma 测量标尺提供给我们一个精确测量自己产品、服务和过程的“微型标尺”。

6Sigma 是一种工作策略，它将极大地帮助我们在竞争中占取先机。原因很简单，当改进了过程之 Sigma 值，产品品质改善，成本下降，客户满意度自然上升。

6Sigma 是一种处事哲学，它总结出一种业务方法，特别是它能使工作更精确，使我们在做任何事时将失误降到最低。因为已发现和避免了不利因素，Sigma 值上升，这表明过程能力的改善和缺陷的减少或消除。

6Sigma 是一个多面体，有多种涵义，表示如下：

- ①质量标准；
- ②基准；
- ③设想；
- ④方法；
- ⑤工具；
- ⑥价值；
- ⑦基本原理；
- ⑧目标。

6Sigma 作为质量标准有以上多种涵义，但无论如何，它都首先被看作是一个质量标准，一个衡量过程能力水平的标准，Sigma 值愈高，意味着过程能力愈高，产生缺陷的概率愈低，过程的 Y_{FT} 愈高，则产品质量愈高。Sigma 与过程不良率 PPM 及过程首次通过率 Y_{FT} 间的对应关系表 1-1：

表 1-1 Sigma 与 PPM & Y_{FT} 的对应关系

Sigma	PPM	Y _{FT}	不良状况
2	308537	69.15%	减少约 5 倍 减少约 11 倍 减少约 26 倍 减少约 68 倍
3	66807	93.32%	
4	6210	99.38%	
5	233	99.9767%	
6	3.4	99.99966%	
评价：6 Sigma 比 Sigma 好 20000 倍			

从表 1-1 可看出，当 Sigma 从一个水平提高到另一个水平，

缺陷会按指数规律降低。

三、6Sigma 系统的普遍适用性

Sigma 测量标尺具有普遍适用性，因为共同的要素是“单位缺陷数”，这个单位可能是各种任务或实体，如一个小时的工作、一个写作的人、一个零件、一份文件等，“机会”也可指任意事件。因此，错误或缺陷机会是任何人都不希望的任意事件。基于此，我们认为 6Sigma 可以作为一切工作、活动的基准。例如，我们说一部收音机具有 3Sigma 的品质，则说明它低于平均质量。一般地说，全球各大公司的产品、服务的平均品质水准约为 4Sigma，最好的已达到 6Sigma。填写一份发票也是同样道理，在这里，发票本身是一个产品单位，填入的内容构成了误差机会数，误差是指不正确或不可读的记录，据此可确定填写发票作业的 Sigma 值。因此，根据 Sigma 值我们能公正地评价产品、过程或作业，而这是一切改善的基础。

四、6Sigma 方法与传统方法的比较

表 1-2 6Sigma 方法与传统方法的比较

问题	传统方法特点(着眼点)	6Sigma 方法特点(着眼点)
分析方法	估计	变化点
管理重点	成本和时间	品质和时间
生产能力	实验和误差	全面设计
公差	最差项	均方根
变量分析	同一时间单个因子	实验设计
过程调整	经验	SPC 图
问题解决	基于专家	基于系统

(续表)

问题	传统方法特点(着眼点)	6Sigma 方法特点(着眼点)
分析	靠经验	靠数据
焦点	产品	工艺/过程
行动	反应	灵活行动
供方	成本	相关能力
原因	基于经验	基于统计
思路	短期	长期
决策	印象,直觉	概率
处理	现象	问题
设计	性能	生产性
目标	公司	客户
组织	授权	研究
培训	奢侈	必须项目

从表 1-2 可看出,传统方法在管理方面偏重于经验、直觉,其关注的是最终产品,着眼点在本公司,其组织结构是基于授权、集约制。6Sigma 方法更依赖于系统、数据和设计,其关注的是活动过程,着眼点在客户,其组织结构是基于研究的。相比之下,6Sigma 系统更客观、高效、准确。

五、实施 6Sigma 系统的利益

制造业和非制造业正越来越认识到 6Sigma 带给投资者的巨大利益,这些利益包括:

- 降低总消耗;
- 提高产品质量和可靠性;
- 缩短生产周期;

- 减少设计变更。

以上利益最终表现为客户满意度上升、市场扩大而带来的公司有形和无形收益的增加。

六、6Sigma 系统的突破模式

任何系统的运作都是依靠特定模式实施的，6Sigma 系统推行时，也有其特定的策略和模式，其模式如图 1-1 所示。

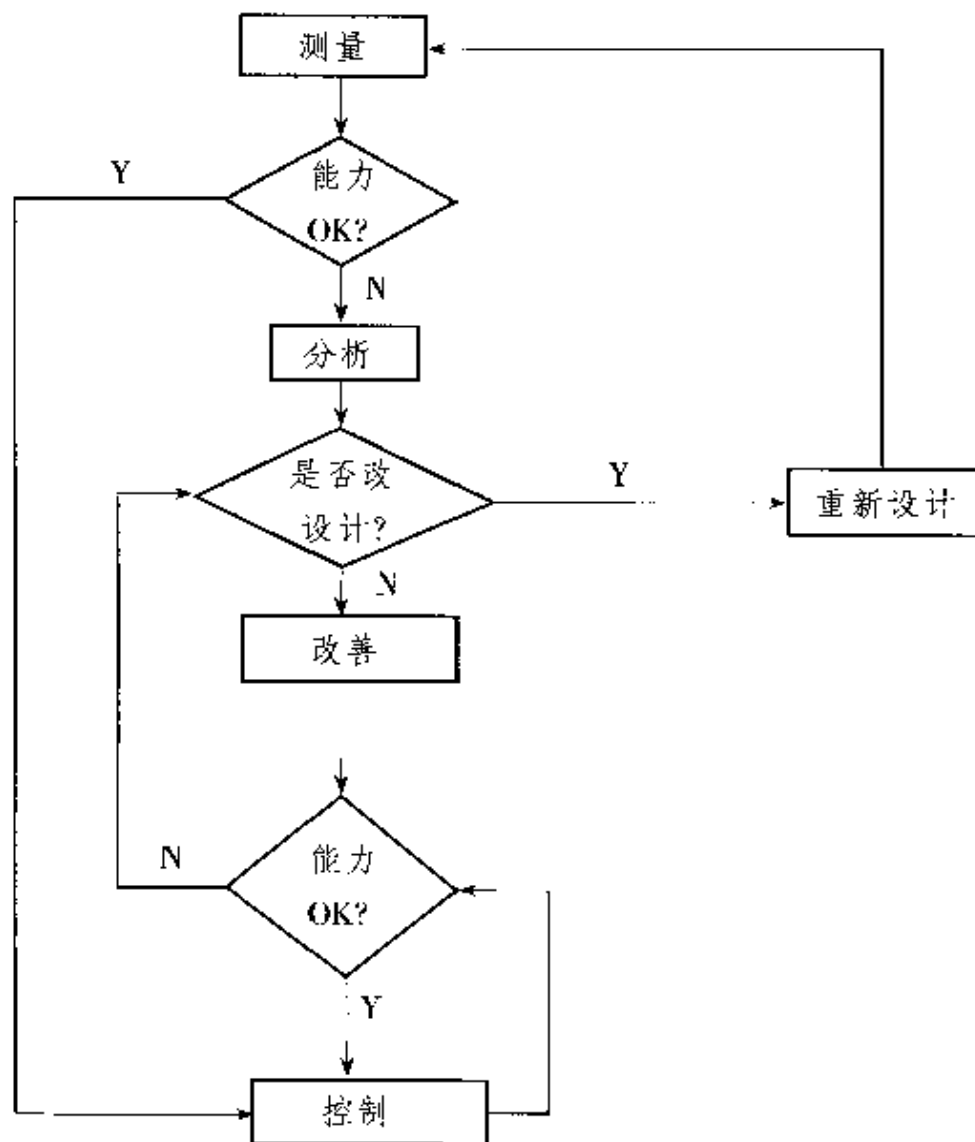
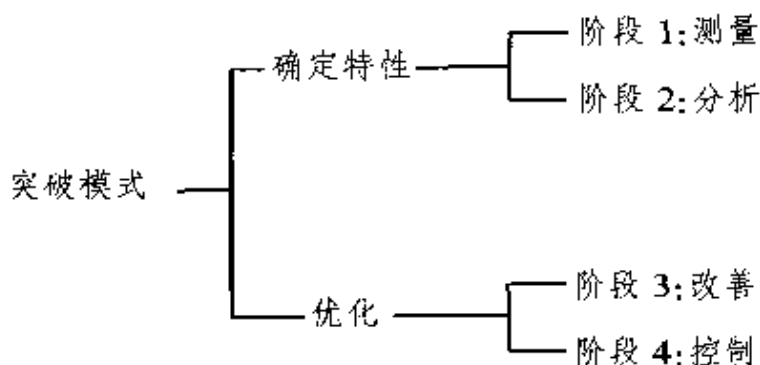


图 1-1 6Sigma 系统的突破模式

图 1-1 可归纳为：



阶段 1：测量

这个阶段是选择 1 个或几个产品特性作为因变量，将各过程流程图示化，对因变量进行必要的测量，将测量结果记录在过程控制卡上，并评估短期和长期过程能力。

阶段 2：分析

这一阶段是将主要产品性能与基准值相比较，然后用方差分析法确定共同的成功因子，在某些时候，须重新设计产品或过程。

阶段 3：改善

这一阶段是选择必须进行改善的因子，然后进行诊断，以减少主要的变异来源。用实验设计（DOE）对因子参数进行优化；用相关品质工具对过程进行改善。

阶段 4：控制

此阶段是用统计过程控制（SPC）方法对过程进行管制。经过一段时间，发现有新的变化因素加入后，过程能力须重新进行评估。

第二节 6Sigma 的基础——变量/数据/问题

一、变量研究

前面已经讨论过，过程能力受过程变化的影响，所以说变化是过程品质控制的重大障碍，过程能力与过程变化的关系可用一个函数来表示：

$$Y = f(x_1 \cdots x_n)$$

Y 为过程能力，为因变量； $x_1 \cdots x_n$ 为影响过程能力的各种因素，为自变量。

1. 变量的分类

变量据其性质可分为连续变量、分类变量和非连续变量三种。

连续变量：对其度量时连续可分。如重量、体积、速度等。

分类变量：测量基准由指定的序列组成。如 1~5 级天平砝码。

非连续变量：测量基准不可连续分。如合格，不合格；黑，白；是，否等。

2. 过程能力与变量控制

①按 80/20 的规律，20% 的关键少数变量对过程能力的影响程度达到 80%，80% 的多数变量只能影响过程能力的 20%。故改善的重点应放在那些关键的少数变量上。

②变量的选择

因变量（Y）的选择基于问题状况及研究目标而确定，如研究的目的是提高过程首次通过率，则选择的 Y 应为 Y_{FT} & PPM。

在对自变量 (x) 进行实验研究的时候, 可称其为试验因子, 实验因子根据其性质不同, 分为如下几类:

重复因子: 一个用于调整因变量特性到所希望或特定水平的自变量, 可被实验者建立和控制, 又叫调整因子。

控制因子: 其现存设置可被实验者确定并相对容易预测或控制的变量。这类变量选择的目的是降低成本和对因变量特性的敏感度。

噪声因子: 其现存设置可被确定但不容易控制或预测, 在正常过程运作时这类变量会引起因变量的严重偏差。

背景变量: 其存在很难确定且不容易预测或控制。通常在实验过程中不能控制, 其影响明显表现在处理 (within) 中而非处理之间 (between)。这类变量会引起随机偏差。

3. 选择因子水平的指引

实验的目的在于捕捉各实验因子对所选因变量的最大影响, 总体上, 因子水平的选择要足够宽, 但不能超过允许操作范围, 也不可太窄, 否则可能看不出交互作用的影响。

从实际观点来讲, 如因子水平设置太窄, 可能缩小甚至抵消变量影响。另一方面, 如水平范围过宽, 同样的影响也将发生。

如一个因子水平设置相对于其他因子水平设置过宽, 则其他因子的影响将被掩盖。如图 1-2 及图 1-3。

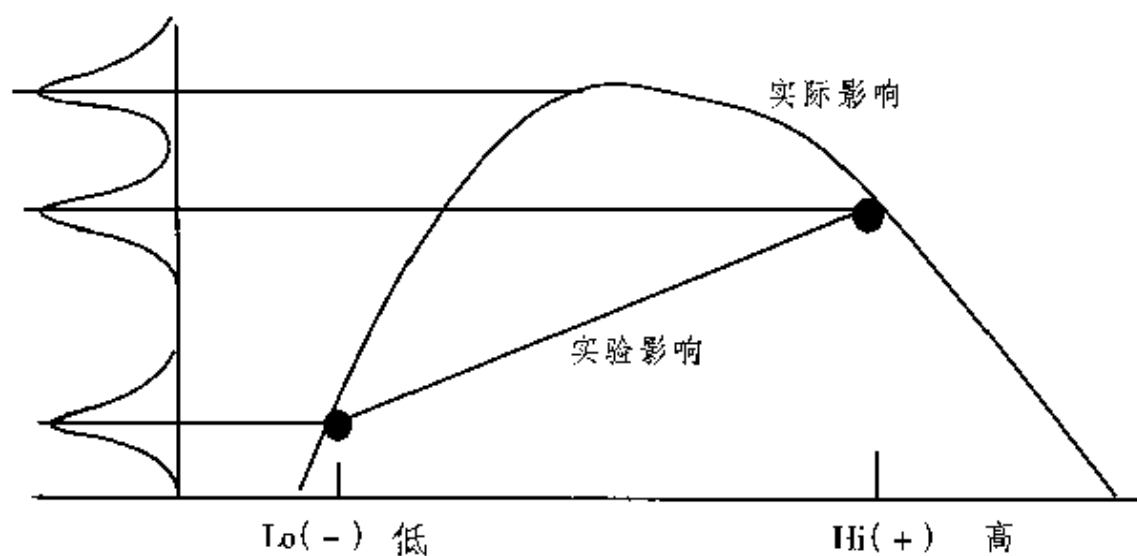


图 1-2 因子水平选择——因子设置水平过宽

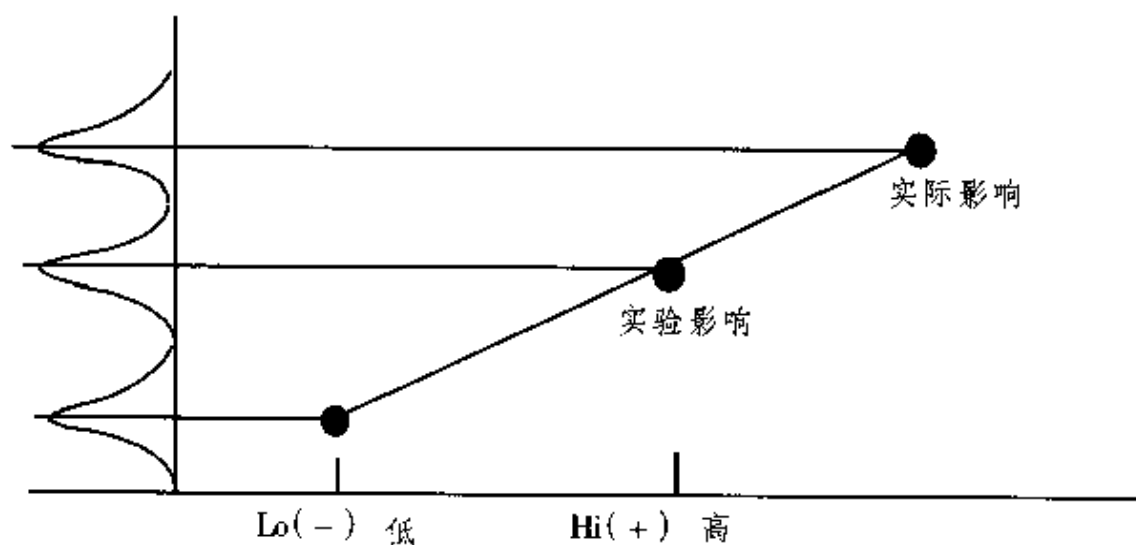


图 1-3 因子水平选择——因子设置水平过窄

二、数据

1. 测量

数据是通过测量各实体或状态所取得的，数据被用来分类、描

述、改善、控制实体或状况。

有两类数据可以用来测量过程能力。一类是根据尺寸、重量、电压等确定产品或过程特点，这类数据具有连续的性质，测量单元可一直细分。在应用正态分布时，必须使用连续数据。另一种数据是仅记录发生的频率，如某段时间缺陷发生数，这些数据具有离散的性质。

用离散数据得出结论的有效性依赖于观察的数量，即用离散数据确定一个产品或过程特点所需样本数量远大于运用连续数据时的样本数。

2. 分析水平的确定（由低到高）

- ①只凭经验进行分析，从不需数据。
- ②收集数据，但只是看看数字大小。
- ③收集数据并用其画出控制图。
- ④用描述统计和调查数据。
- ⑤用描述统计和推断统计。

3. 实例

千分尺测得一工件尺寸如表 1-3:

①数据列表:

表 1-3 工件尺寸数据表（连续） 规格：4.976 ± 0.003

1	4.9787	6	4.9768	11	4.9751	16	4.9780
2	4.9760	7	4.9759	12	4.9780	17	4.9754
3	4.9762	8	4.9755	13	4.9760	18	4.9758
4	4.9772	9	4.9779	14	4.9765	19	4.9763
5	4.9767	10	4.9771	15	4.9761	20	4.9767

根据表 1-3 可知以上数据为连续性质的数据。

②可根据一定规则将上表尺寸分为 -1, 0, 1。-1 代表测量值小于 4.976, 0 代表测量值等于 4.976, 1 代表测量值大于 4.976。

表 1-4 工件尺寸数据表 (非连续)

1	1	6	1	11	-1	16	1
2	0	7	-1	12	1	17	-1
3	1	8	-1	13	0	18	-1
4	1	9	1	14	1	19	1
5	1	10	1	15	1	20	1

以上数据为非连续性质的数据。

③下面用推移图表示两类不同的数据, 图 1-4 表示连续数据, 图 1-5 用规格值将其对分为不连续的。

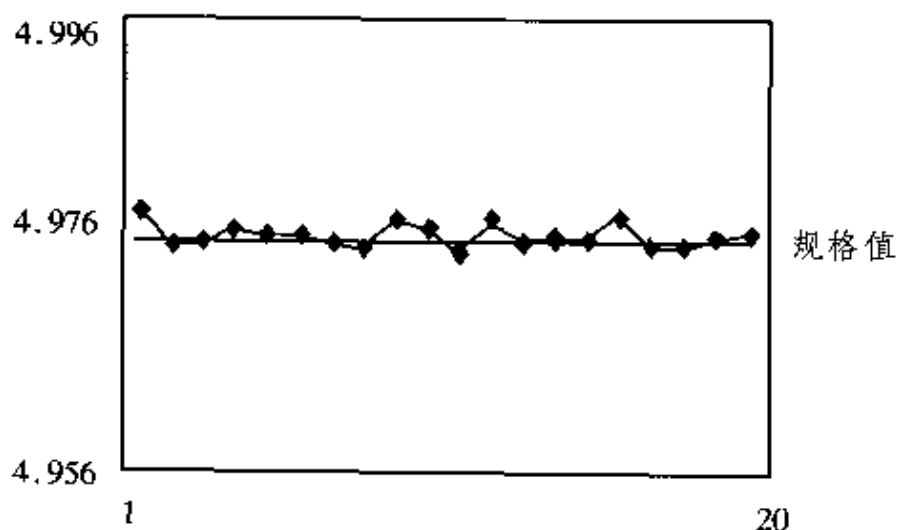


图 1-4 工件尺寸数据推移图 (连续数据)

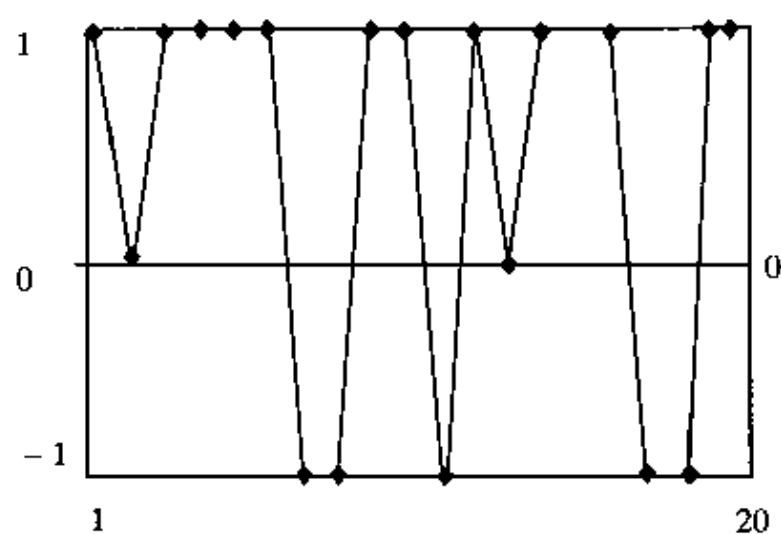


图 1-5 工件尺寸数据推移图(非连续数据)

④以上数据(连续数据)还可用从小到大排序方式画出其分布及走势:

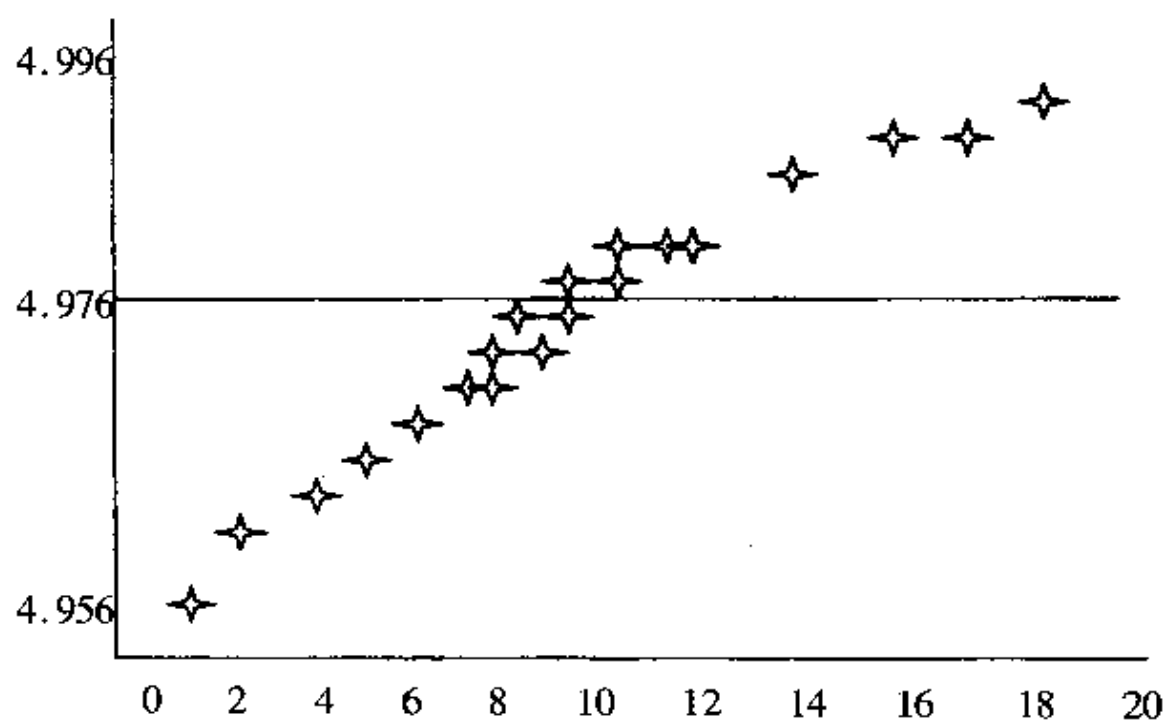


图 1-6 工件尺寸数据排序

三、问题

1. 问题的转化

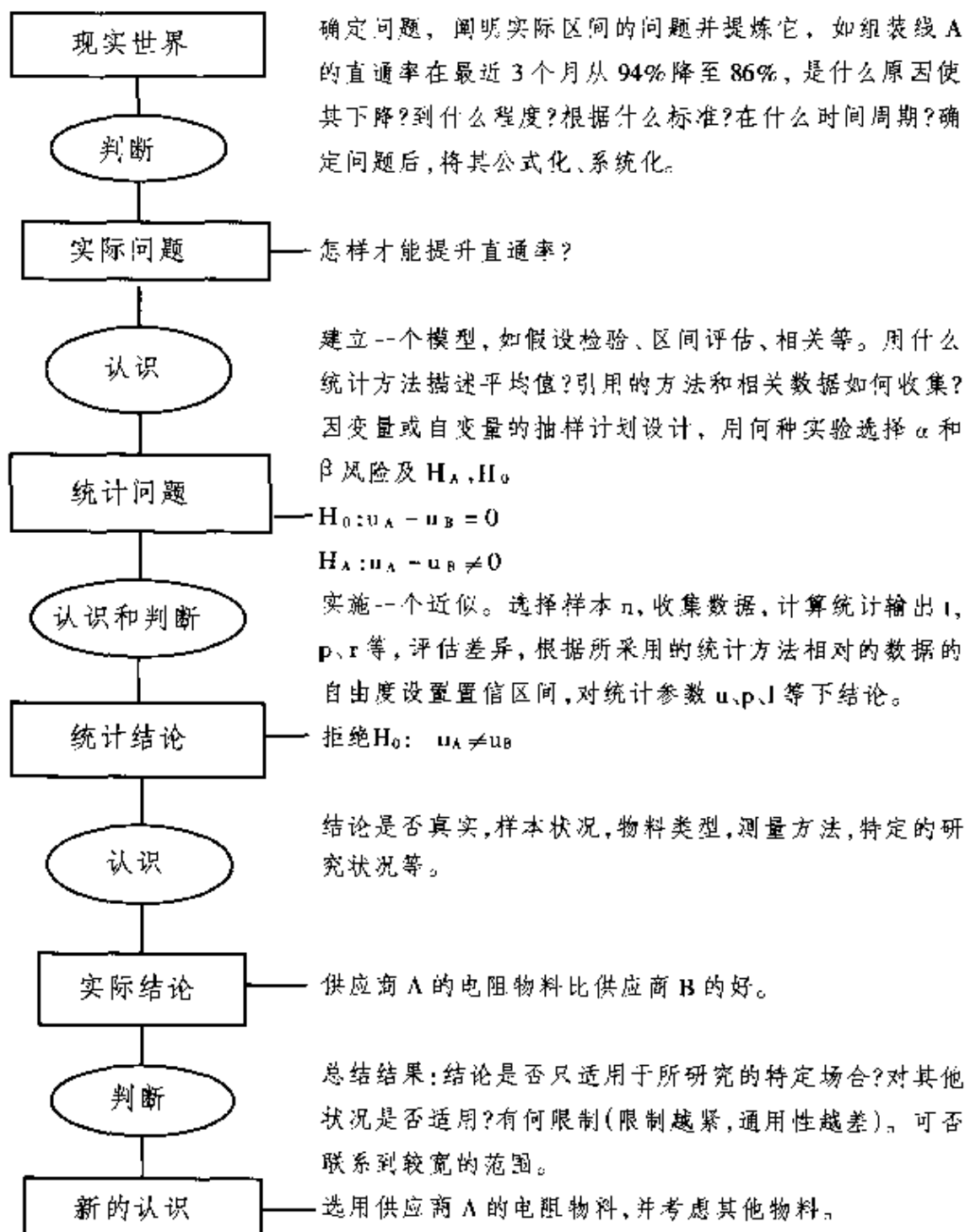


图 1-7 问题的转化

2. 问题的性质

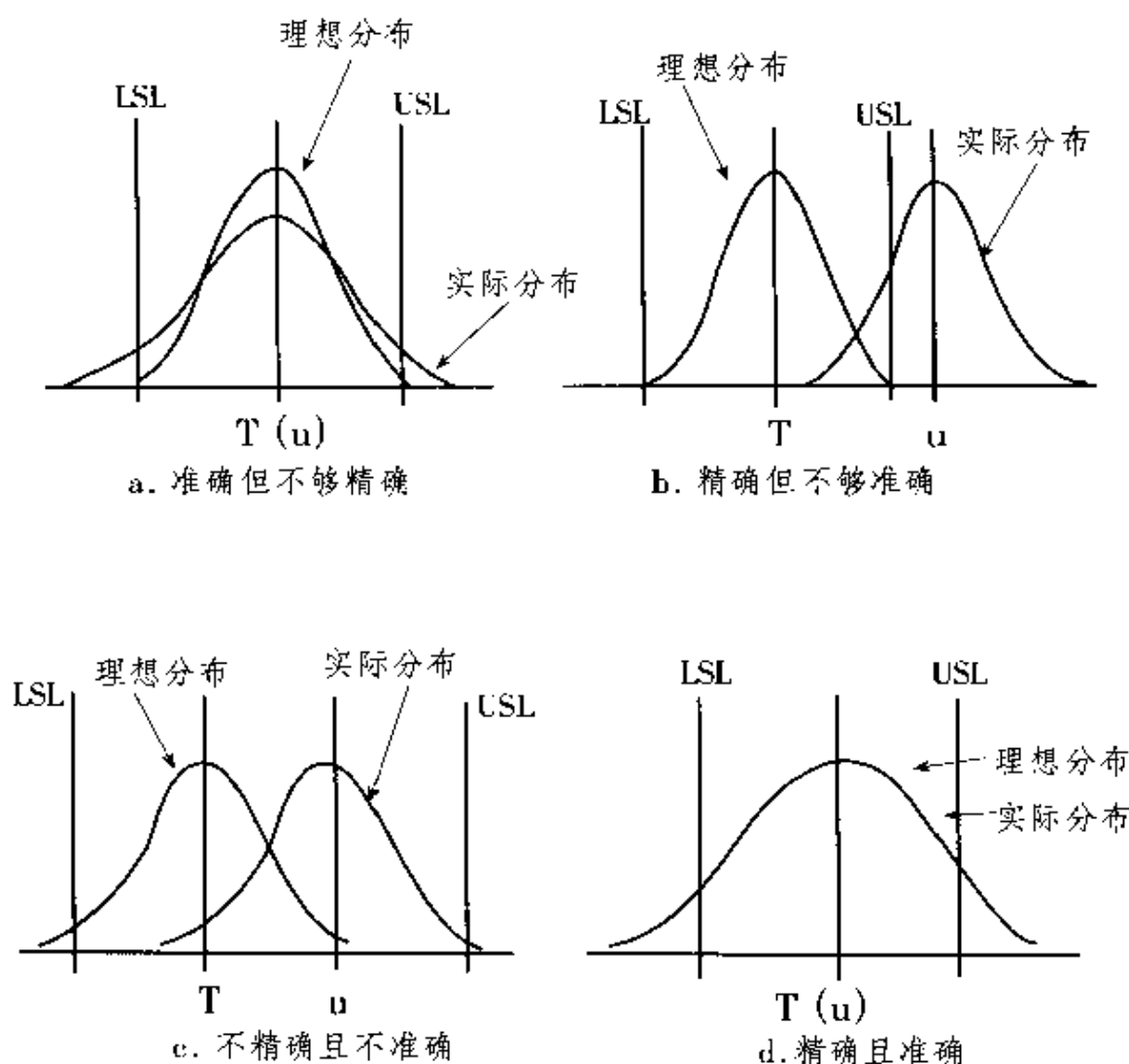


图 1-8 过程问题的性质

从图 1-8 可知，所有的过程问题都可归纳为三种状况：一是平均值偏离目标（图 b）；二是分布过宽，即标准差过大（图 a）；三是平均值与标准差均有较大变异（图 c）。理想状态为目标值和平均值完全重合（图 d）。

第一种情况表现为过程的精确度正常但准确度不够，第二种情况为过程准确度正常但精确度不够，第三种情况表现为过程在准确

度和精确度方面均有明显偏差。

3. 问题的结构

问题产生后需及时确定和解决，图 1-9 表明了问题的结构。

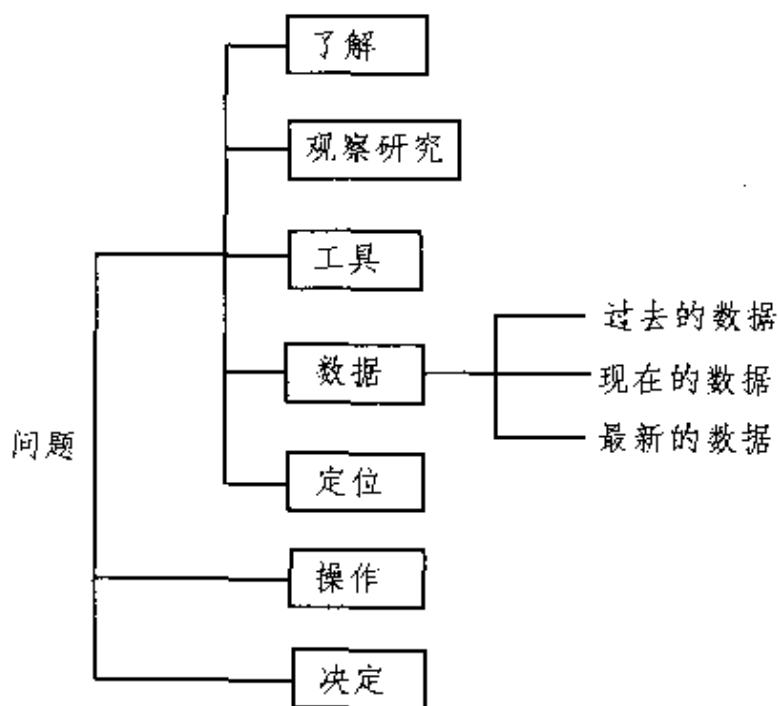


图 1-9 过程问题的结构

4. 问题解决流程

实际问题→统计问题→解决统计问题→解决实际问题

例：实际问题：波峰炉焊接直通率低

转化成统计问题：平均值偏离目标值

统计问题解决：找出主要变量为松香比重偏低

实际问题解决：安装自动控制器以及时补充松香，达到理想焊接效果。

5. 问题表述

问题表述的准确程度直接影响问题解决的可能性。

图 1-10 表述了二者间的关系。

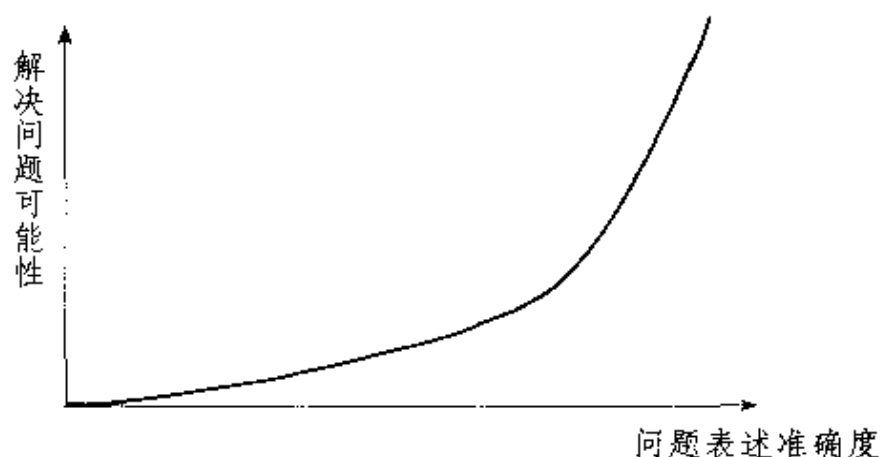


图 1-10 问题表述准确度与其解决可能性的关系

6. 问题解决计划指引

为解决问题，须考虑以下几点：

- ①成立问题解决小组；
- ②对问题进行描述；
- ③确定围绕此问题的现象；
- ④对可能的原因进行分类；
- ⑤对原因分类排序；
- ⑥在每个类型中确立理想改善目标；
- ⑦理论排序；
- ⑧测量实际参数；
- ⑨将问题转化为统计问题；
- ⑩确定实验阶段；
- ⑪列明实验设计方法；
- ⑫列明各阶段的统计方法；
- ⑬评估统计假设；
- ⑭评估测量精度；

- ⑮确定抽样量；
- ⑯确定抽样计划；
- ⑰确定数据收集形式和记录；
- ⑱抽取样本；
- ⑲样本贴标贴；
- ⑳数据收集点的状况记录；
- ㉑所需的样本参数测量；
- ㉒数据转换成所需格式；
- ㉓测量记录排序；
- ㉔数据分析；
- ㉕对分析数据进行控制以确保其有效性；
- ㉖统计假设验证；
- ㉗判断是否需优化；
- ㉘问题解决的满意度评估；
- ㉙实验结果的准确性评估；
- ㉚准备技术报告；
- ㉛技术报告传阅各组员。

第三节 6Sigma 与客户/可靠性/周期时间/品质成本

一、6Sigma 系统关于客户与供应商关系的描述

1. 客户

客户是任一内部或外部需要我们的产品或服务的组织。这些组

织的成功或满意度依赖于我们的行动。

2. 满意的含义

- (1) 满足全部期望或要求
- (2) 无疑虑、担心或不肯定
- (3) 遵守合同、标准和法令

3. 供应商与客户的联系

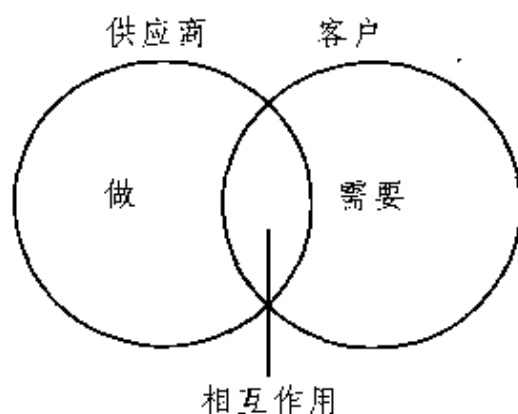


图 1-11 供应商与客户的联系

如图 1-11 所示，客户和供应商是通过相互需要而交换价值的。供应商和客户的目标是在相互作用中取得最大价值。

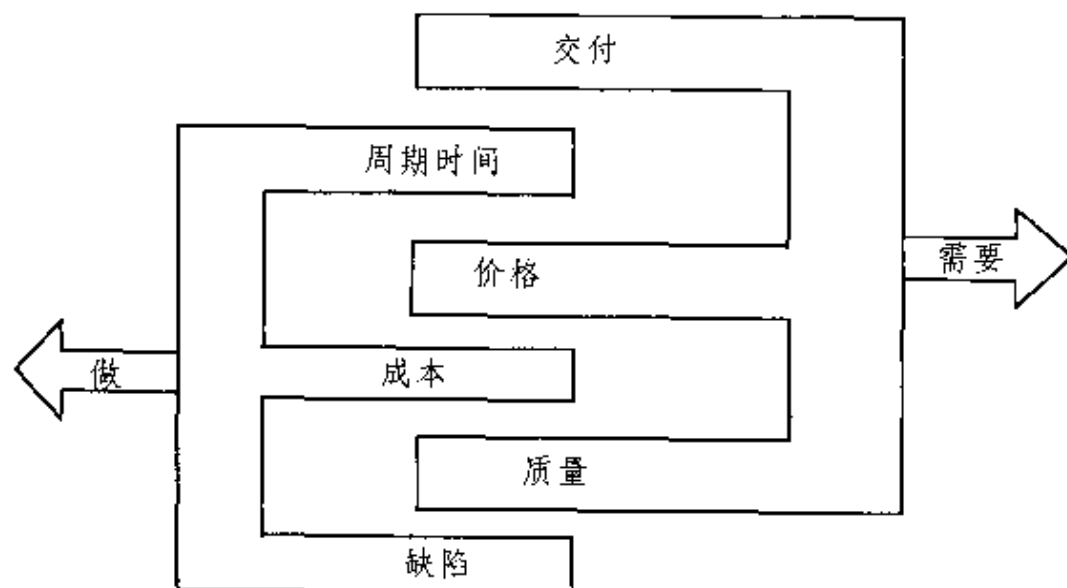


图 1-12 供方与需方相互作用图

供应商须不断追求生产周期、成本和缺陷的改善来满足客户在交付期、价格和品质方面不断增长的需要。

二、品质和周期时间的描述

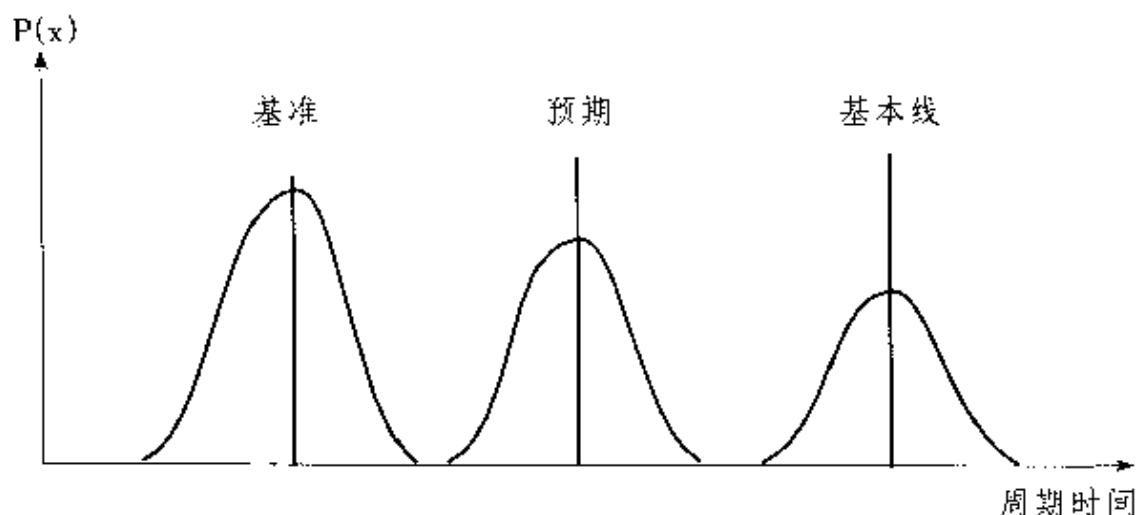


图 1-13 周期时间比较

图 1-13 中，基准来自世界级公司的水准；预期为投资后可达到的水平；基本线为现在的周期时间水平。

1. 降低过程周期时间的因素

- (1) 搬运；
- (2) 检查；
- (3) 测试；
- (4) 分析；
- (5) 等待；
- (6) 延迟；
- (7) 存贮；
- (8) 调整。

2. 理论周期时间

没有等待、停留或放置地完成所有过程所需的过程时间。

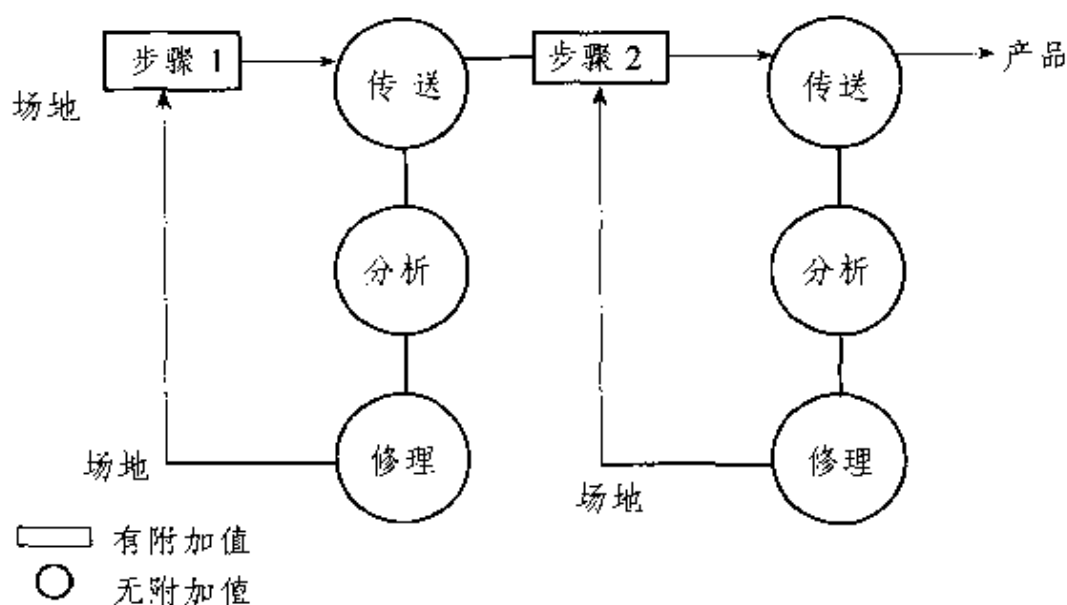


图 1-14 周期时间分解图

3. 过程能力对周期时间的影响

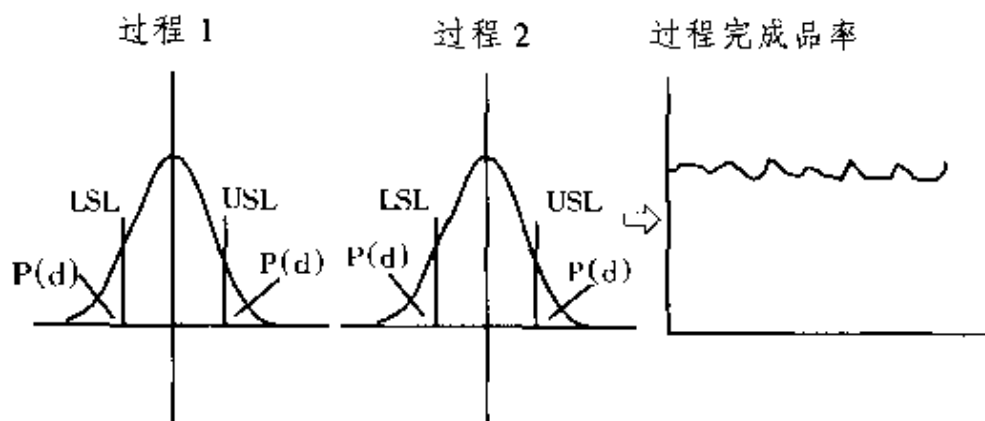


图 1-15 过程能力与周期时间

在过程操作中，任何时间产生的不良均会在检查、分析、测试、修理上附加周期时间。总的说，这些无附加值的操作也需要设备、物料、人员和场地，所以当缺陷上升时，成本上升。

实际周期时间与理想周期时间的关系式如下：

$$T_{\text{total}} = T_{\text{min}} + T_{\text{insp}} + T_{\text{test}} + (1 - Y_{\text{RT}})T_{\text{insp}} + \text{DPU}(T_{\text{test}} + T_{\text{analy}} + T_{\text{repa}}) + T_{\text{queue}}$$

其中：

T_{total} = 总的周期时间

T_{min} = 理想周期时间

T_{insp} = 检查时间

T_{test} = 测试时间

Y_{RT} = 全过程通过率

DPU = 单位产品缺陷率

T_{analy} = 不良分析时间

T_{repair} = 不良修理时间

T_{queue} = 等待时间

WIP = 生产率 $\times$ 周期时间

其中：WIP (Work in Process) = 在制品

生产率 = 单位时间内的产量

三、品质和可靠性

生产性和变异是以协同作用的动态方式相联系的，从这一点可容易地看到变异是描述产品质量时首先要关注的问题。产品质量的多面性又间接或直接地对最终产品的可靠性产生影响，作为联系的结果，优化和保证产品可靠性与组织在设计产品时的理念及能力是分不开的。影响产品品质和可靠性的主要因素有三个，它们分别为：设计方面、原材料方面、过程能力。

设计方面的影响由于设计公差固定，可以认为是恒定的。

原材料即组件方面的影响主要因为组成产品的各组件的自然损耗，一个部品经过较长期的运作后产生疲劳的可能性比经较短期运作后的可能性大。

过程能力对可靠性的影响表现为可靠性与品质缺陷相关。一个新产品比已经过一段时间工作后的产品更容易出现问题，这种情况的首要原因是这些缺陷品脱离了制造过程。当一个新产品在经过短期工作后发生故障，称其为“婴儿夭折”。为避免这种产品交付给顾客，须定期进行所谓“burn-in”（通电加热）测试，或仿真产品实际功能工作一段时间，以在产品交付前取得一个与可靠性有关的信息。

给定的检查和测试效率从单位产品到单位产品是相对固定的，漏掉的缺陷随着制造组件和材料变异的增加而增加时产品状况变差。因此当制造过程的能力减小时，对“burn-in”实验的需要相应增加。当然，如初始的过程、组件、材料能力足够高，能确保产品在初始运作阶段不出问题，则对测试检查或“burn-in”的需要减少。

可靠性预期的能力高度依赖于测量设计、制造过程和物料之间的相互作用。可以说可靠性的“成本效能”的优化需要我们进行生产性设计，根据已知的不可避免的变异来设计产品比随机设计产品显然更有利于可靠性的提高。

1. 可靠性

可靠性是指相对于预先确定的时间操作成功的概率。

$$P_S = R = e^{-t/u} = e^{-\lambda t}$$

$P_S = R$: 无故障操作时间等于或大于 t 的概率

t : 特定的无故障操作的时间周期

u : 故障间的平均时间间隔，或称 MTBF

λ : 故障率 (u 的倒数)

例：一个产品的 MTBF 已被证明为 8760h (一年)，假定其为恒

定故障率，则其无故障工作 24 小时概率为：

$$P_S = R = e^{-24/8760} = 0.99724$$

MTBF 是故障间的平均时间，不同于工作寿命及修理或代替时间，MTBF 的增加并不会使继续使用的概率成比例地增加。

2. 可靠性和置信度

表 1-5 显示了当 $t=1$ 时，不同的 MTBF 所对应的可靠性。

表 1-5 $t=1$ 时不同 MTBF 的可靠性表

MTBF	可靠性	σ 置信度
10	0.9048374	2.8
100	0.9900498	3.8
1000	0.9990005	4.6
10000	0.9999000	5.2
100000	0.9999900	5.8
1000000	0.9999990	6.3

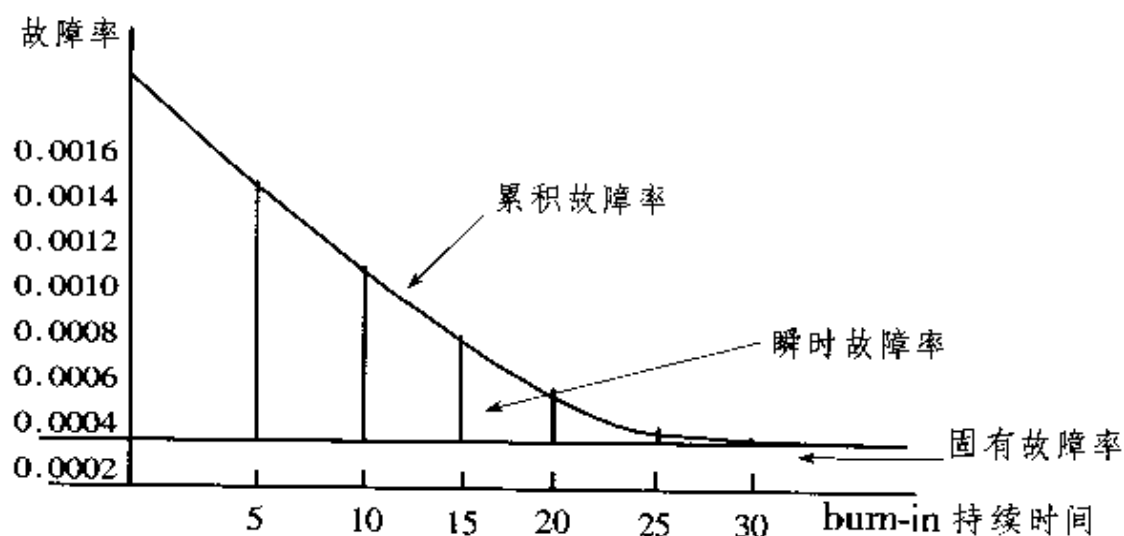


图 1-16 Burn-in 时间与故障率关系图

3. 潜在缺陷对可靠性的影响

通过图 1-16 可看出, 固有故障率不随实验时间的延续而变化, 故障率集中在 0.0003 左右。瞬时故障率在实验开始 15 小时较高, 随时间呈下降趋势, 二者累积而成的累积故障率随时间而减小。

$$\lambda_i = [1 + (k - 1) e^{-t/T}] \lambda_c$$

λ_i : 瞬时故障率

λ_d : 交付故障率

λ_c : 固有故障率

k : 交付故障率和固有故障率的比率 (λ_d/λ_c)

t : 从交付开始算起的实际时间

T : 除去潜在缺陷的时间常数

单位产品潜在缺陷 LDPU (Latent Defects Per Unit) 可被表达为:

$$\text{LDPU} = (k - 1) T \lambda_c$$

对潜在缺陷的注释:

- (1) 没有任何检查和测试可发现 100% 的缺陷。
- (2) 交付的缺陷是在公司检查或测试时漏出去的。
- (3) 交付的缺陷和在整个过程中发现的总缺陷成直接比例。
- (4) 早期故障是潜在缺陷作用的结果。
- (5) 潜在的缺陷是在制造过程中进行控制的。
- (6) 潜在缺陷和在整个制造过程中发现的缺陷成正比例。
- (7) 潜在的缺陷是一些异常特性, 可能导致故障发生。

(8) 这个缺陷依赖于异常程度、施加应力的大小、施加应力维持的时间。

(9) 当实施纠正后，异常特性返回到正常状态，因此，明显的缺陷率降低。

(10) 须持续降低不良率，直到所有潜在缺陷被发现并加以纠正。

四、品质 and 成本

6 Sigma 的实践已经表明：最高质量的制造者同时也是最低成本的制造者。

1. 品质成本的分类

品质成本分为预防成本、鉴定成本、缺陷成本。其中缺陷成本又分为内部缺陷成本和外部缺陷成本。

(1) 预防成本：为预防品质问题发生而投入的资源成本。如品质管理/品质工程/信赖性工程/培训/过程控制/质量计划等所需成本。

(2) 鉴定成本：为鉴定品质状况而发生的成本。如检查/测试/供应商控制/测量控制/材料控制/质量审核等所需成本。

(3) 缺陷成本：由于品质失效而导致的成本。如（内部）报废/修理/返工/因供应而导致的损失/缺陷分析所需成本。

（外部）制造缺陷/工程（设计）缺陷/营销缺陷/担保货物/故障分析（出货后返品）所需成本。

2. 品质成本汇总表

表 1-6 品质成本汇总表

项目 \ 成本	月总成本	月成本率	年总成本	年成本率
预防				
鉴定				
内部缺陷				
外部缺陷				
总品质成本				

3. 品质成本的计算

下面给出一种典型的计算方法：

$$COQ = \frac{MS + LS + RC + PC + AC}{TMC}$$

COQ: 品质成本率

MS: 材料报废

LS: 工时损失

RC: 返工费用

PC: 预防成本

AC: 鉴定成本

TMC: 总制造成本

需要说明的是, 对品质成本的测量, 重点应放在改善率而非绝对的数值上。因为计算成本的目的是减少或消除它, 而不是反对或否定它。

图 1-17 是某公司 1994~1998 年的品质成本趋势。

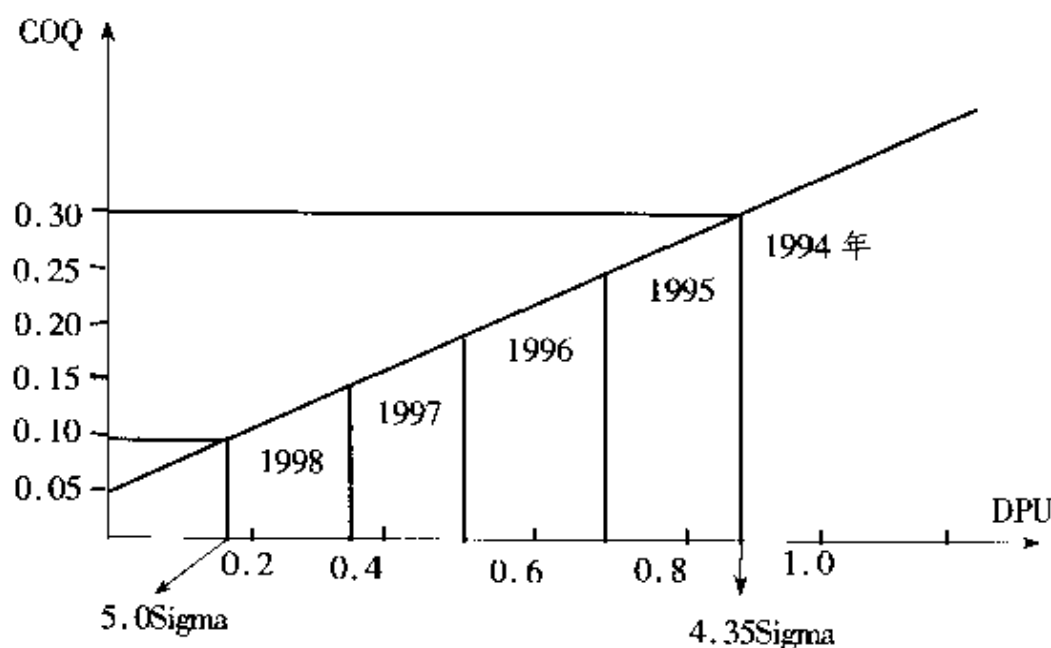


图 1-17 某公司 1994~1998 年品质成本趋势图

从图 1-17 可以看出, 此公司在 1994 年的品质成本占了总制造成本的 30%。以后逐年下降, 到 1998 年只占 8%。

一般公司的品质成本占总销售收入的 30% 左右, 品质管理水平较高的公司已达到 8%。

4. 品质成本控制成熟度评价表

表 1-7 品质成本控制成熟度评价表

说明 \ 水平评估	推行阶段	目标(项目)阶段	受控阶段
行动	进行品质成本初步统计并予以验证	观察并激励取得的进步	取得利益并连续改善
信息来源	品质专家		会计专家
发布者	QA 部	QA 和会计验证	QA 对责任区域进行说明
发布频度	一次或罕有的	年度,有时季度	季度和月度

5. 改善品质的动力

大量研究发现以下几个事实:

(1)品质方面取得重要改善的公司,比一般公司可多赚得约 8% 的利润。

(2)品质管理极好的公司(接近 6Sigma 水平)可赚取比较低管理水平公司高约 3 倍的利润。

(3)坚持持续改善品质的公司每年可增长约 4% 的市场份额。

(4)每个过程能力的重要提升,等于收益提高。

对许多公司而言,品质成本占了销售收入的 30%。假设一个公司每年收入 1 亿美元,收益(利润)为 1000 万美元,品质成本为营业收入的 25%,即 2500 万美元,如此公司若能将品质成本由 25% 降至 20%,则可增加 500 万美元的利润,或者说比现在增加 50% 的利润。

第二章

6Sigma 品质策划

- 第一节 6Sigma 品质策划
- 第二节 6Sigma 供应商开发
- 第三节 6Sigma 系统分析

第一节 6Sigma 品质策划

实施 6Sigma 品质是一个系统工程，牵涉到一个组织内部的方方面面。只有紧紧围绕 6Sigma 品质做文章，不断地推进品质改善，使之达到 6Sigma 品质要求，才能使客户得到最大程度的满足。

图 2-1 表明了 6Sigma 与客户满意度的关系：

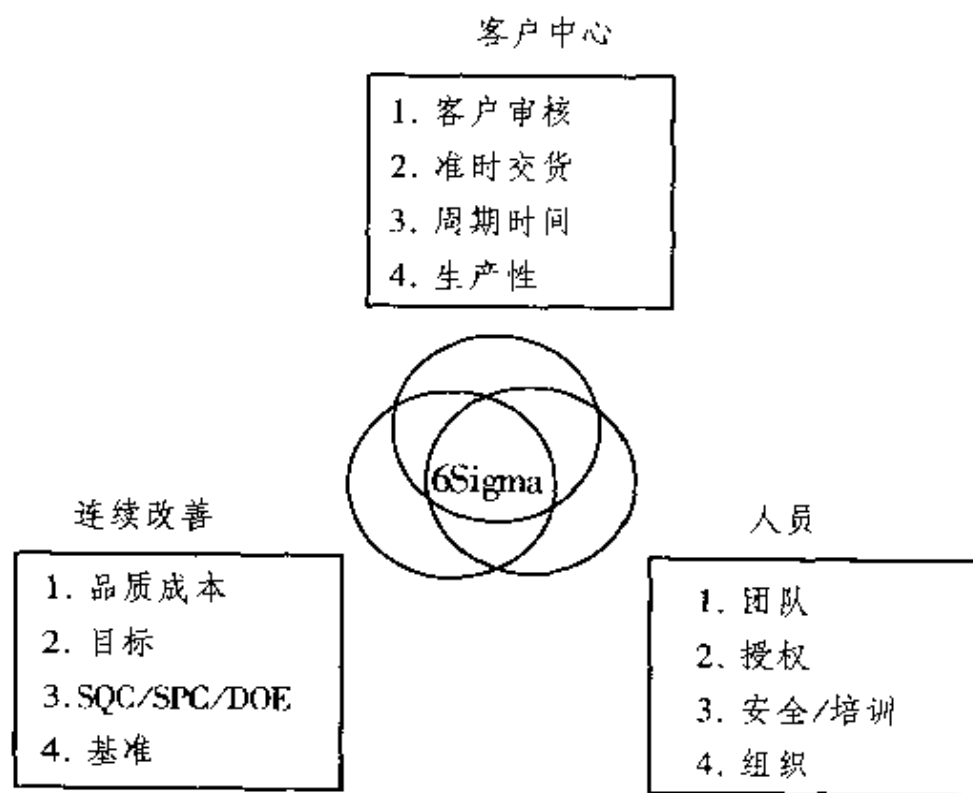


图 2-1 6Sigma 与客户满意度

一、以客户为中心的原则

客户是我们的上帝，我们的商业利益都来源于客户。没有客户

的组织将会失掉一切。因此须定期接受客户的评审，最大限度地满足客户要求。及时交货，减少周期时间（Cycle Time），加强工程设计研究，消除不必要的过程或动作，减少在制品（WIP），提高生产效率，以达到或超过客户的期望。

二、连续改善

达到 6Sigma 不可能一蹴而就，要有进行持续改善的心理准备，不断进行“M - A - I - C”循环，一步步向 6Sigma 品质逼近。6Sigma 品质连续改善研究分析方法如表 2-1 所示。

表 2-1 6Sigma 品质连续改善研究分析方法

项目	工具及信息来源
1. 市场分析	· 市场调查 · 客户评审 · 潜在客户分析
2. 产品设计	· 可靠性设计/安全设计 · 最优化设计 · 可创造性设计/可维修性设计
3. 可靠性分析	· 可靠性试验 · DOE 试验 · 最优化试验
4. 过程能力研究	· DPU/DPMO/Z_{ST}/Z_{LT} · CP/CP_K · 变异原因研究
5. 确定质量水平的方案	· AQL 水平 · α, β 风险系数 · 抽样方案

(续表)

项目	工具及信息来源
6. 数据分析	· 方差分析法 · 回归分析法
7. 性能评定	· 图表分析 · 重要品质特性矩阵

三、人力资源的改善

实施 6Sigma 品质目标, 人是最主要的因素, 人力资源是最大的可创造性资源, 加强对人员的培训, 是实施 6Sigma 品质的关键所在。表 2-2 是 6Sigma 品质培训内容。

表 2-2 6Sigma 品质培训内容

日期	培训内容
第一期	1. 了解基本的 6Sigma 内容 2. 了解 6Sigma 的统计知识 3. 统计知识的基本应用 4. 计算过程能力及过程基准
第二期	1. 了解抽样原理及假设检验方法 2. 如何应用统计工具进行假设检验 3. 如何应用和实施突破策略 4. 如何决定占主导地位的因子 5. 如何建立真实的性能公差
第三期	1. 了解实施的基本原理 2. 如何进行多因子实验 3. 如何解释实验结果 4. 如何进行变量研究
第四期	1. 了解基本的过程控制内容 2. 如何建立、使用和保持特性数据 3. 如何建立、使用和保持变量数据 4. 如何计划和执行过程控制系统

第二节 6Sigma 供应商开发

随着全球经济一体化进程的加快，传统品质管理正在发生裂变：由一个公司的品质管理（CQC）向全集团（含供应商）品质管理（GWQC）转变，供应商品质成为集团公司品质中的重要一环。

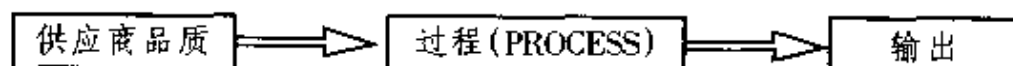


图 2-2 6Sigma 品质链

一、供应商品质开发（SQD）

供应商品质开发（SQD）主要是帮助供应商建立和完善品质体系，使之符合客户日益增长的品质要求。

1. 将先进的品质管理技术和方法推荐给供应商

如将 6Sigma 品质系统介绍给供应商等。运用实验设计方法（DOE）改善品质，运用统计过程控制方法（SPC）加强过程控制。

2. 加强培训和沟通

利用自己的技术力量，不定期对供应商进行培训交流，并加强彼此之间的沟通，从而使产品质量达到最优。

3. 建立健全供应商品质体系，使供应商品质成为系统品质的一部分

完善的品质体系是品质保证的基础，只有加强供应商品质体系的管理，品质才有根本保证。

4. 不断追求完善、卓越，一步步向世界级品质靠拢

严格要求供应商按合同要求履行合约，最大限度地满足客户要求。

二、供应商品质评估

供应商品质评估是评价供应商品质状况的一种手段。通过对供应商品质评估，加强对供应商品质的管理，减少坏品率，提高直通率，缩短周期时间（Cycle Time）和交货期，从而提高客户满意度。

1. 供应商评估内容

供应商评估内容包括生产、工程、品质及整个企业系统。

（1）生产方面有生产效率/生产直通率/交货期等内容。

（2）工程方面有技术能力/CAD 设计能力/新产品开发能力/仪器校正/设备维护/管理信息系统评价等内容。

（3）品质方面有品质方针/品质体系/预防措施/纠正措施/品质改善等内容。

（4）其他方面有人事管理/人员素质/财务管理/信息管理/电子数据处理/后勤管理等内容。

2. 供应商品质评估方法

供应商品质评估方法有系统评价法和量化评分法。系统评价法是对某一系统进行定性评价的方法。量化评分法是通过对其某一要素进行量化，然后根据实际评分的结果确定供应商品质水平的方法。

3. 供应商品质评价表

表 2-3 供应商品质评价表

系统名	项目内容	评分	系统评价
生产	1. 生产效率情况 2. 生产直通率和不良率(Y_{FT} & DP-MO)情况 3. 周期时间 4. 交货期		
W_1	加权总分		
工程	1. 技术能力 2. CAD 设计能力 3. 新产品开发能力 4. 仪器校正 5. 设备维护 6. 测量系统分析(MSA)		
W_2	加权总分		
品质	1. 品质方针 2. 品质体系 3. 预防措施 4. 纠正措施 5. 品质改善		
W_3	加权总分		
总评			
排序			

第三节 6Sigma 系统分析

6Sigma 系统之所以先进, 主要在于它的经济性。我们知道 6Sigma 只有 3.4PPM 的不良率, 几乎可以说是零缺陷, 追求零缺陷

是我们最终的目的。图 2-3 是 6Sigma 系统结构图。

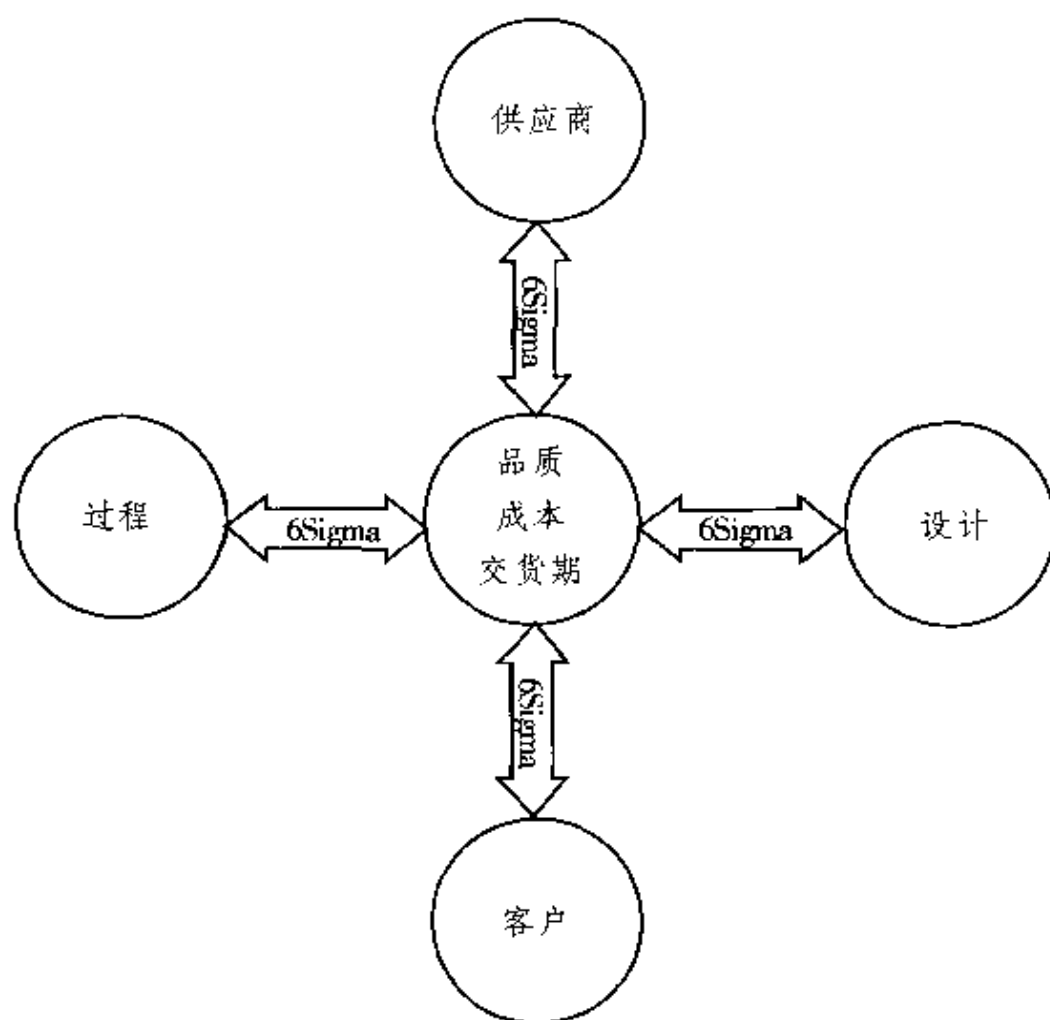


图 2-3 6Sigma 系统结构图

我们要求供应商、过程、设计和服务品质都达到 6Sigma，才可能使我们的产品达到 6Sigma 的要求。

一、6Sigma 系统与传统品质系统的区别

6Sigma 系统将不良率（DPU、DPMO）转换成 Z（sigma）来衡量过程能力和水平。Z 值可作为衡量每一个产品或服务的尺度，也

是我们评价供应商品质的一个基准。6Sigma 系统与传统品质系统的区别如表 2-4 所示。

表 2-4 6Sigma 系统与传统品质系统的区别

项目	6Sigma 系统	传统品质系统
表征特性	Sigma 值	合格率
控制方法	SPC 控制	事后检验
分析方法	统计分析	数字处理
品质改善	持续改善	解决问题
经济评价	品质成本	利润

二、6Sigma 系统解决问题的基本方法

6Sigma 系统解决问题的方法有两种，一是 DMAIC，另一种是 DMADV，虽然路径不同，但也有异曲同工之妙，为我们解决问题和处理问题指明了方向。下面是它们的方法表：

1. DMAIC 方法

表 2-5 DMAIC 方法

项目	内容
确定问题 (Define)	1. 确定实体的关键质量 (CTQ'S) 值 2. 认可的实体图表 3. 高水平的过程图纸
测量 (Measurement)	4. 实体 (目标) Y 值 5. 标准的 Y 值 6. 实体数据的收集计划与有效的测量系统 7. 记录实体 Y 值 8. 用实体 Y 值进行过程能力分析 9. 不断改善达到实体目标 Y 值
分析 (Analysis)	10. 先将所有自变量 x 值列出来 11. 列出具有重要特性的 x 值 12. 最后量化计算出 P 值
改善 (Improvement)	13. 发现问题 14. 解决问题 15. 持续改善
控制 (Control)	16. 保持过程的稳定性 17. 实体文件化 18. 将 P 值转换成 Z 值

2. DMADV 方法

表 2-6 DMADV 方法

项目	内容
确定问题 (Define)	1. 根据实体图表确定
测量 (Measurement)	2. 优先满足客户的需求 3. 关键质量 (CTQ'S) 值
分析 (Analysis)	4. 设计内容 5. 设计内容的性能评价

(续表)

项目	内容
设计 (Design)	6. 部件 (品) 设计 7. 实验验证计划 8. 控制计划
验证 (Verify)	9. 验证设计 10. 完成实体设计任务

DMAIC 主要是针对 $Y = f(x)$ 进行研究的, 而 DMADV 是针对设计方面进行的, 各有特点。

第三章

6Sigma 产品设计

- 第一节 6Sigma 产品设计方法
- 第二节 6Sigma 产品设计成本分析
- 第三节 6Sigma 设计案例研究
- 第四节 设计 FMEA (DFMEA)

第一节 6Sigma 产品设计方法

为达到 6Sigma 品质标准，从研究开发（R&D）阶段就应该有 6Sigma 的设计意识，在达到实体性能指标的前提下尽量满足可生产性和可靠性的要求。

一、可互换性设计

可互换性是零件的可替代性。为满足大批量生产和机械化、自动化生产的需求，特别是对一些标准件需进行可互换性设计，这将大大节约成本和提高生产效率，而且能保证部品质量。

二、可生产性（制造性）设计

可生产性（制造性）设计是指设计出的产品在现代化工艺条件下能够制造出来，而且能保证质量，可生产性设计要求过程能力 CP_K 达到 1.5 以上。可制造性设计也要尽量使制造工艺满足现代化加工中心的需要。

三、高可靠性设计

高可靠性设计是指产品能够满足预期使用寿命要求的设计。在故障（失效）情况下，尽量使平均故障间隔时间（MTBF）设计得最大。运用现代设计方法，利用有限元设计方法，使零件的强度达到最大；利用优化设计方法，使产品的价质比达到最优；利用计算机模拟设计，使设计制造成本达到最小。

四、最小单位缺陷数（DPU）设计

最小单位缺陷数（DPU）设计是指设计出来的产品，有良好的工艺性，有优良的品质，很少出现不良，它要求设计者有丰富的经验，娴熟的工艺技巧，敏捷的思维能力，并借助现代化的设计工艺和制造工艺，使 DPU 达到最小。

五、最优化设计

建立设计参量的目标函数 $Y = f(x)$ 和参量矩阵，通过计算机寻找最优解。首先要确定产品的重要特性，多视角分析市场和潜在顾客的影响；其次进行达成这些特性的特定产品要素分析，确定重要品质特性的设计中心值与最大误差，进行早期产品的试验或仿真试验，解决设计中存在的问题，确保 $CP \geq 2$ ($CP_K \geq 1.5$) 的要求。

第二节 6Sigma 产品设计成本分析

生产一种部件或产品的可能最低成本是由设计师最初设计的，无论生产工程师怎样努力，也无法改变事实，他只能在已有设计的限度内使生产成本最低。因此，设计师在满足功能设计的情况下，应尽量进行低成本设计。这种为降低制造成本的设计工作叫生产设计，以区别于功能设计。

生产设计应根据材料、公差、基本结构、各部件的联结方法等方面的任务，初步确定可能达到的最低成本。

受设计影响的成本因素很多，其可能的范围也许要比我们预想

的大得多。直接劳动力和材料是明显影响成本的因素，可是设备费用、工艺费用、间接劳动力费用，以及非生产方面的工程技术费用也有较大的影响。间接成本的影响通常较隐蔽，可以设想某产品的一种设计要求有 30 个不同部件，而另一种设计要求有 18 个即可。那么，对每件成品来说，由于 30 个而不是 18 个部件，就要有更多文书工作以及订货、储存和管理费用，这样，间接成本就有了差异。

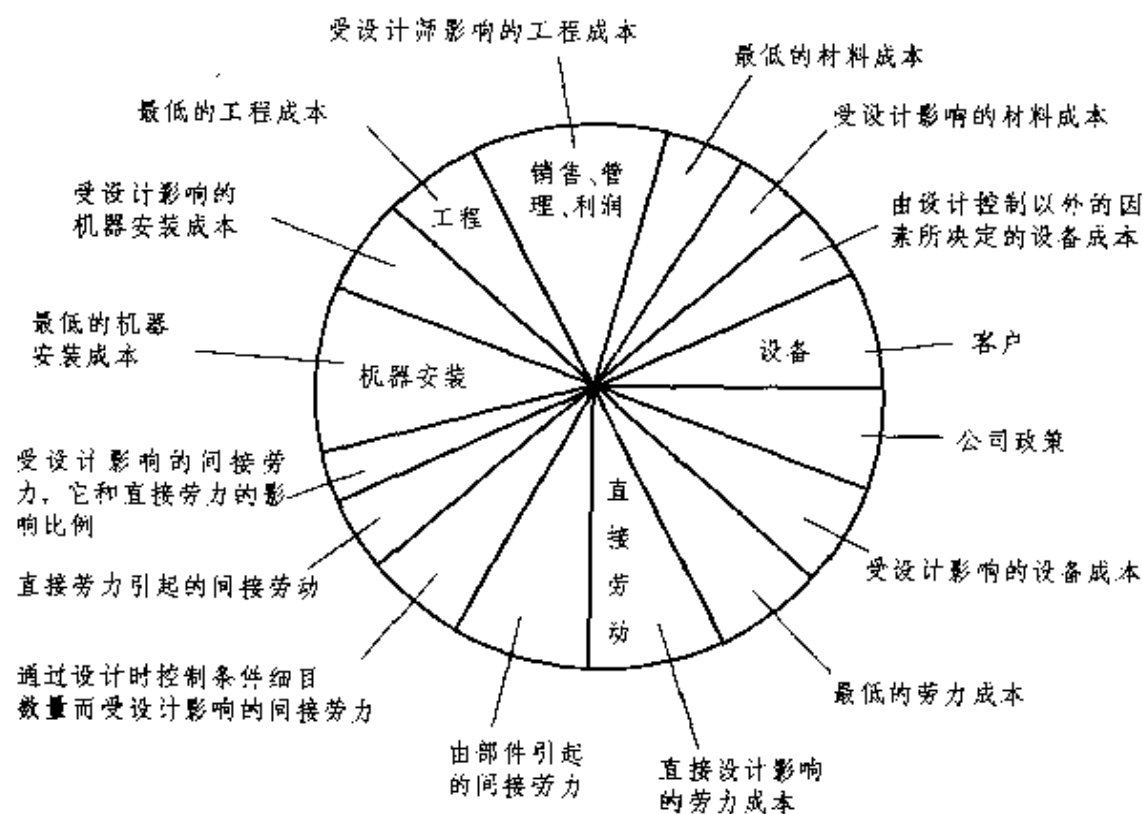


图 3-1 产品设计影响成本的各个组成部分的状况

图 3-1 是一个典型的成本分析，它表示产品设计影响成本的各个组成部分的状况。图中各部分表示在设计工程师的直接控制下，各个成本因素的相对量。通过比较两个或两个以上从功能上看都可以接受的设计的最低和最高成本之间的差异，来表明设计工程师对决定产品成本的影响。因此，一个优秀的设计师要考虑产品设

计与制造成本的关系，为达到 6Sigma 品质奠定良好的基础。

第三节 6Sigma 设计案例研究

带通滤波器设计，规格为：中心频率 110.7MHz，阻抗 5000HMS，输入漏感 - 5dB Max，平均漏感分布 $\pm 2000\text{kHz}$ ，漏感在 89.3MHz 70dB，最小振幅分布 $\pm 200\text{kHz} < 0.5\text{dB}$ 。

一、基本设计流程

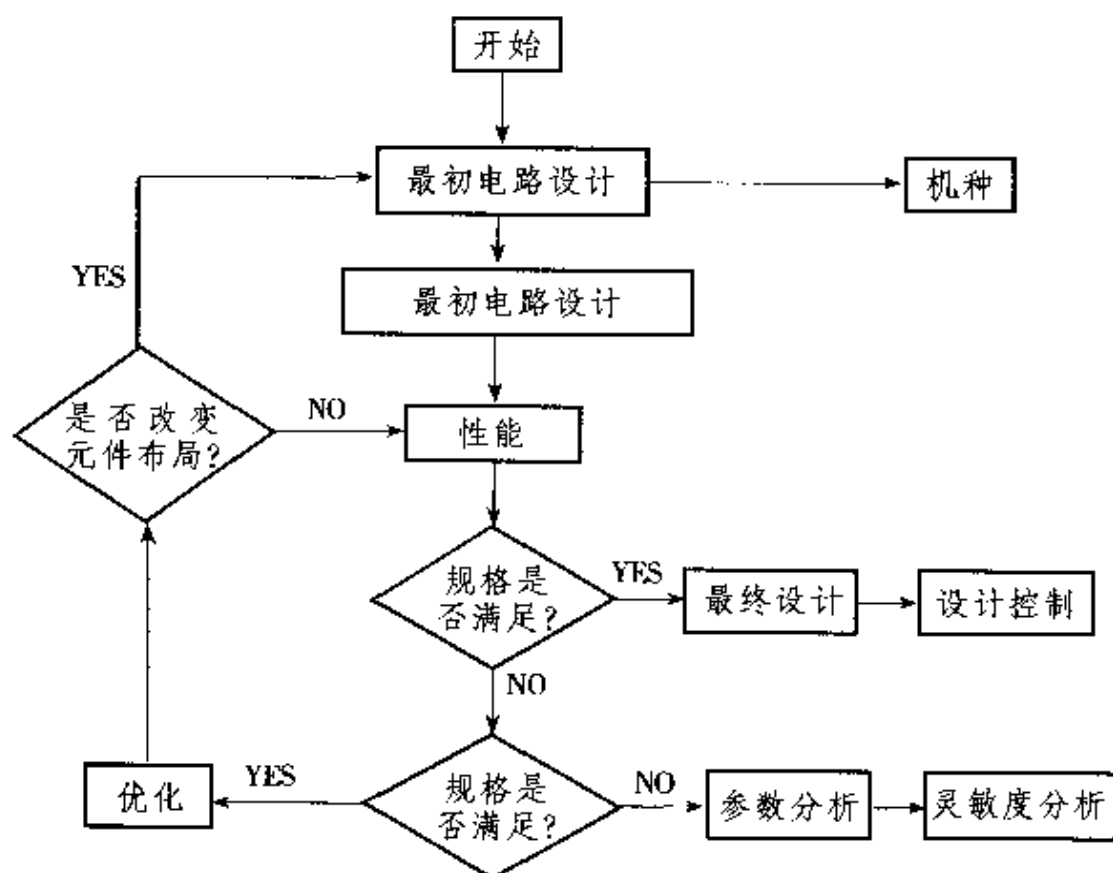


图 3-2 6Sigma 基本设计流程

二、运用 DOE 单音数组和噪音数组实验

表 3-1 单音和噪音阵列实验表

单音阵列				噪音阵列			
RUN	A	B	C	RUN	A	B	C
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	1	1	2
3	1	1	3	3	1	1	3
4	1	2	1	4	1	2	1
5	1	2	2	5	1	2	2
6	1	2	3	6	1	2	3
7	1	3	1	7	1	3	1
8	1	3	2	8	1	3	2
9	1	3	3	9	1	3	3
10	2	1	1	10	2	1	1
11	2	1	2	11	2	1	2
12	2	1	3	12	2	1	3
13	2	2	1	13	2	2	1
14	2	2	2	14	2	2	2
15	2	2	3	15	2	2	3
16	2	3	1	16	2	3	1
17	2	3	2	17	2	3	2
18	2	3	3	18	2	3	3
19	3	1	1	19	3	1	1
20	3	1	2	20	3	1	2
21	3	1	3	21	3	1	3
22	3	2	1	22	3	2	1
23	3	2	2	23	3	2	2
24	3	2	3	24	3	2	3
25	3	3	1	25	3	3	1
26	3	3	2	26	3	3	2
27	3	3	3	27	3	3	3

运行每一步单因子数组，使噪音数组也得到运行。

注：因子 A: R 电阻 因子 B: L 电感 因子 C: C 电容

1, 2, 3 为各因子水平低 (Lo), 中 (Md), 高 (Ho)

三、对实验进行分析

1. 建立蒙特卡罗 (Mente Carlo) 分布模型

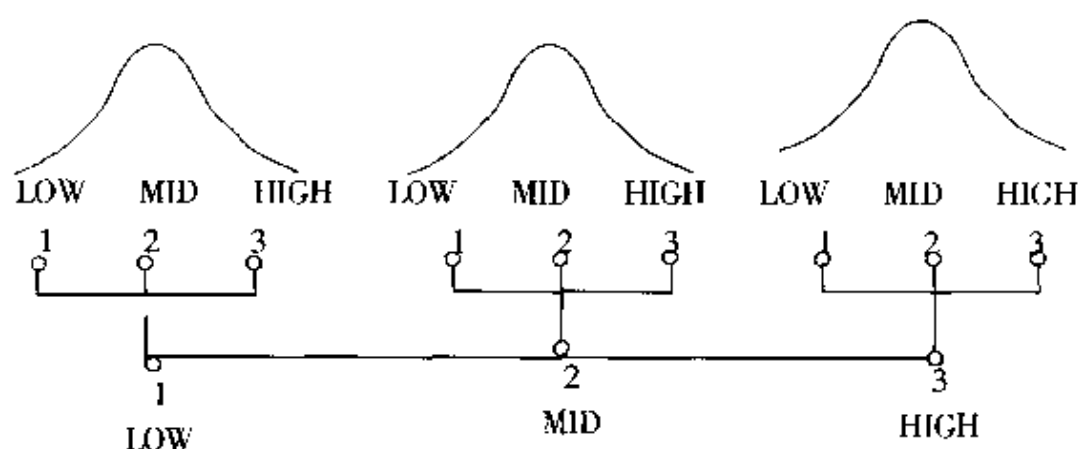


图 3-3 实验因子水平的蒙特卡罗模型

2. 各水平分析

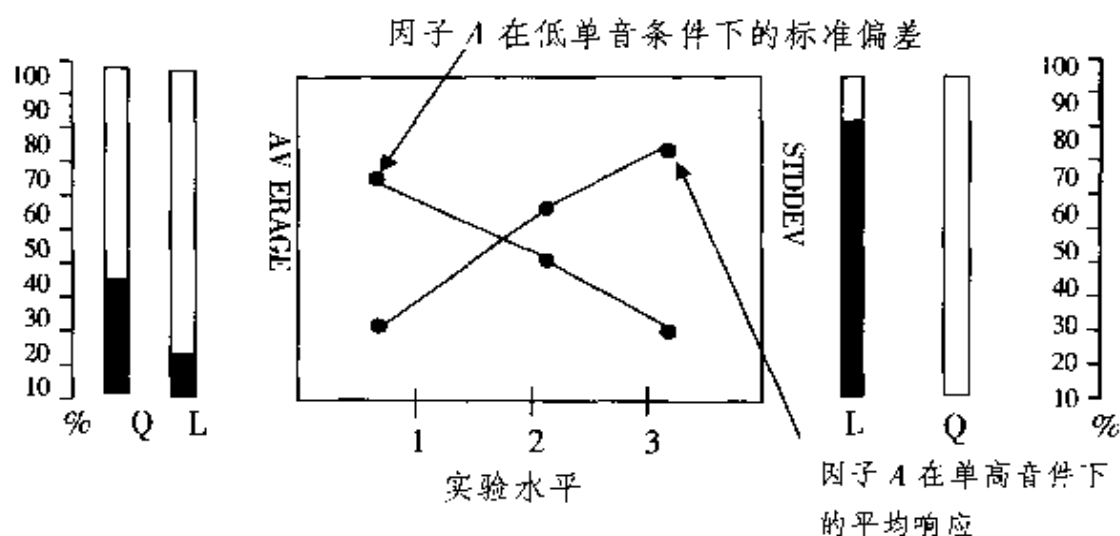


图 3-4 实验因子平均水平情况

四、实验结果

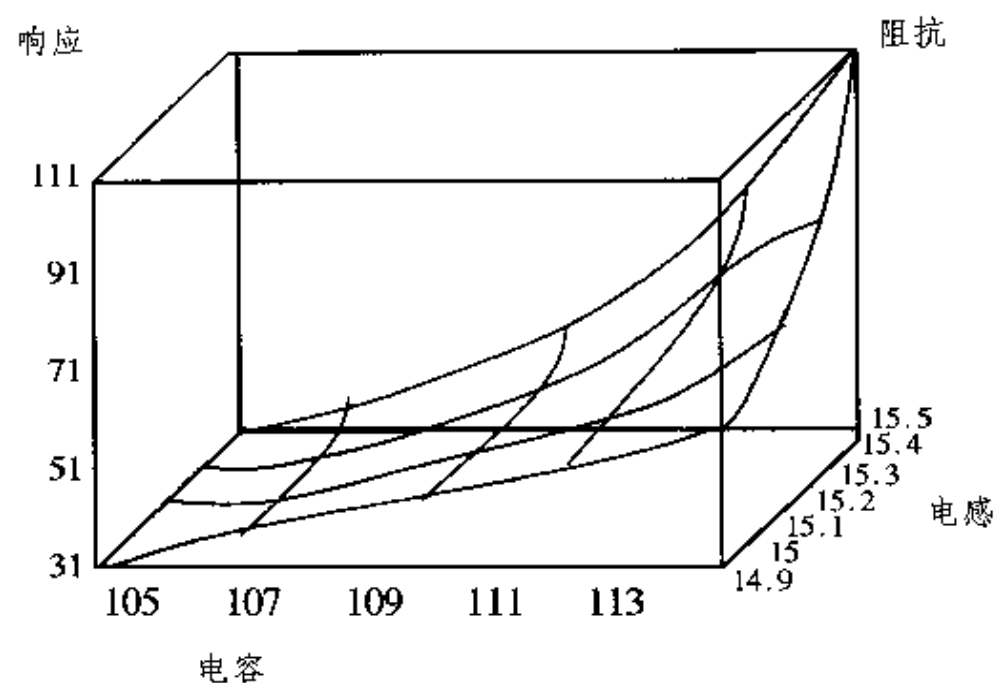


图 3-5 实验因子结果

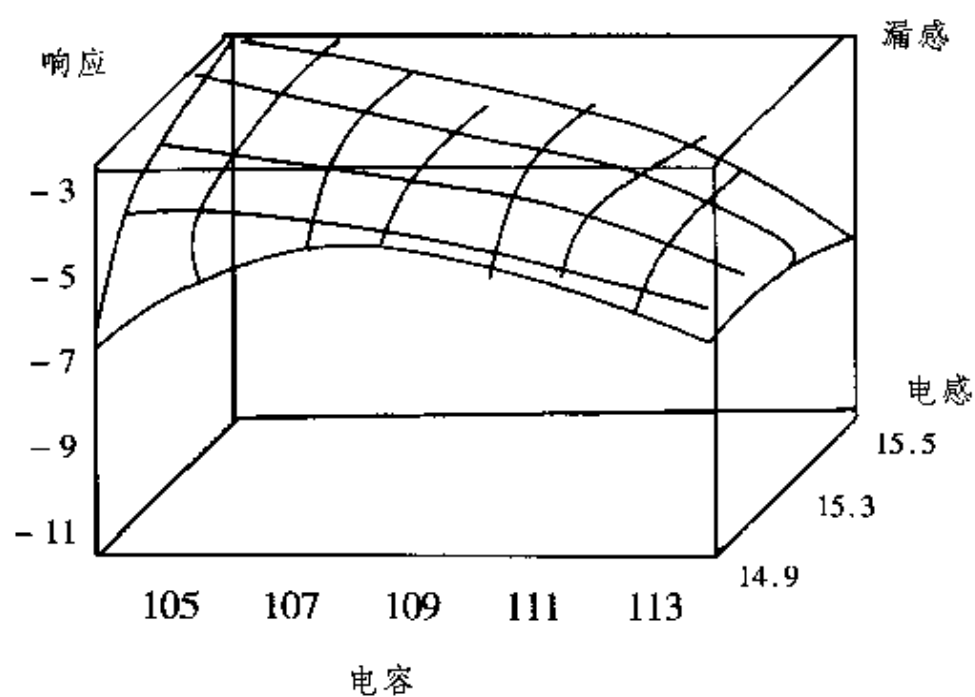


图 3-6 实验因子结果

五、确定变量

1. 条件

响应变量	响应频率 MHz
回输漏感	132
反射耦合器	153
前置耦合器	174

2. 各变量描述

表 3-2 变量描述表

变量名称	标准	公差
介电参数	4.4	0.2
条件区间	0.01	10%
导体极地区间	0.047	10%
偶极子宽	0.023	0.003
T 形条宽	0.042	0.003
偶极子长	0.72	0.003
端电阻 1	50	2%
端电阻 2	50	2%
电感 1	39	10%
电感 2	39	10%
电感 3	39	10%
电感 4	39	10%
电容 1	39	5%
电容 2	39	5%

1. 各因子 DOE 表

各因子 DOE 实验表

[illegible]

2. 各因子成分

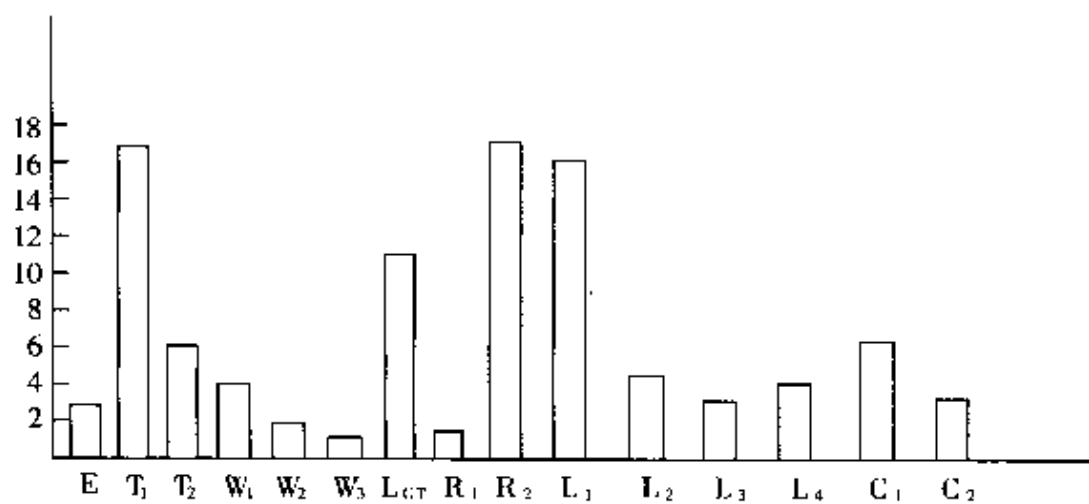


图 3-7 各因子成分

七、第二层次分析

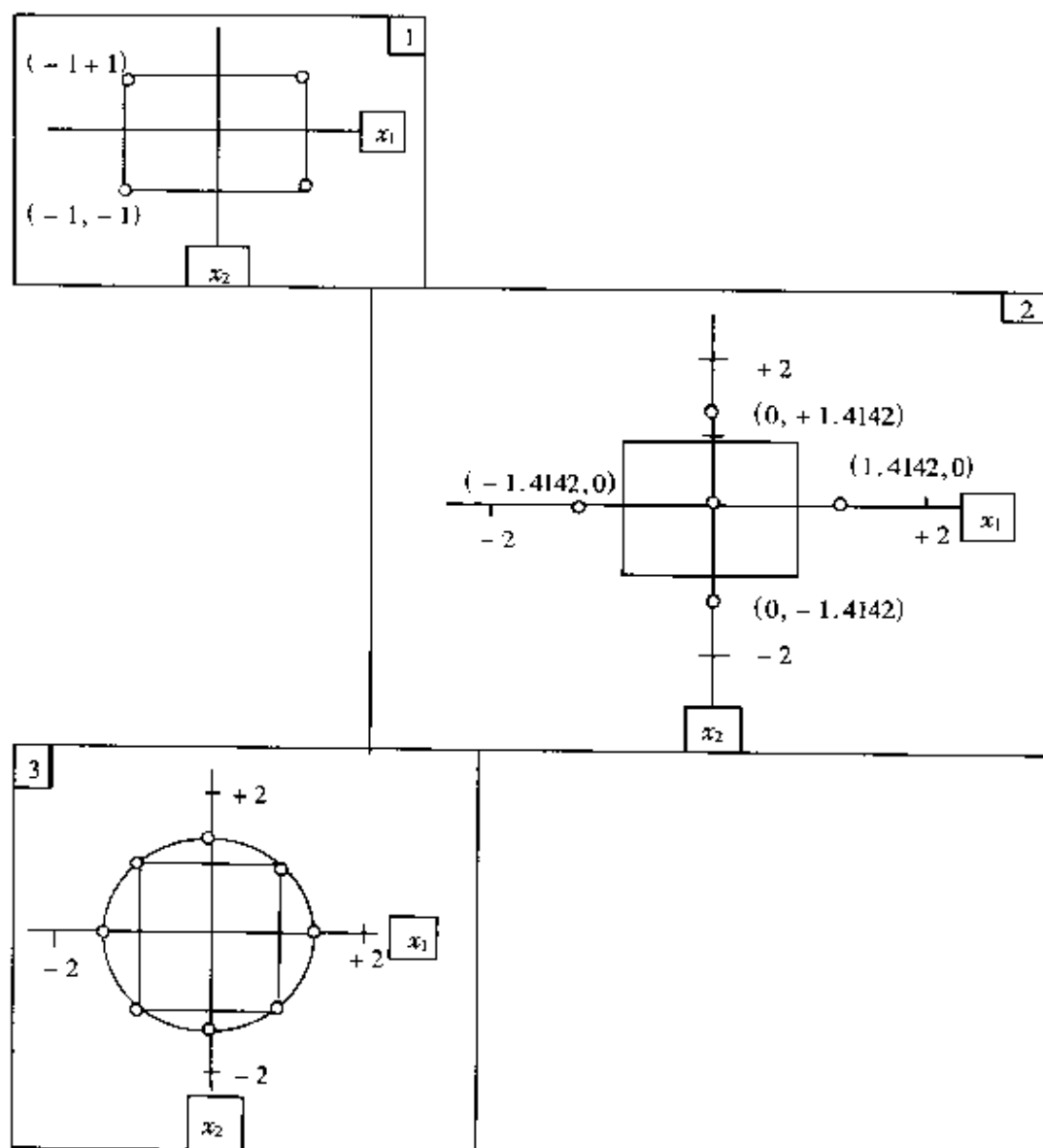


图 3-8 因子第二层次分析

八、输出的图解

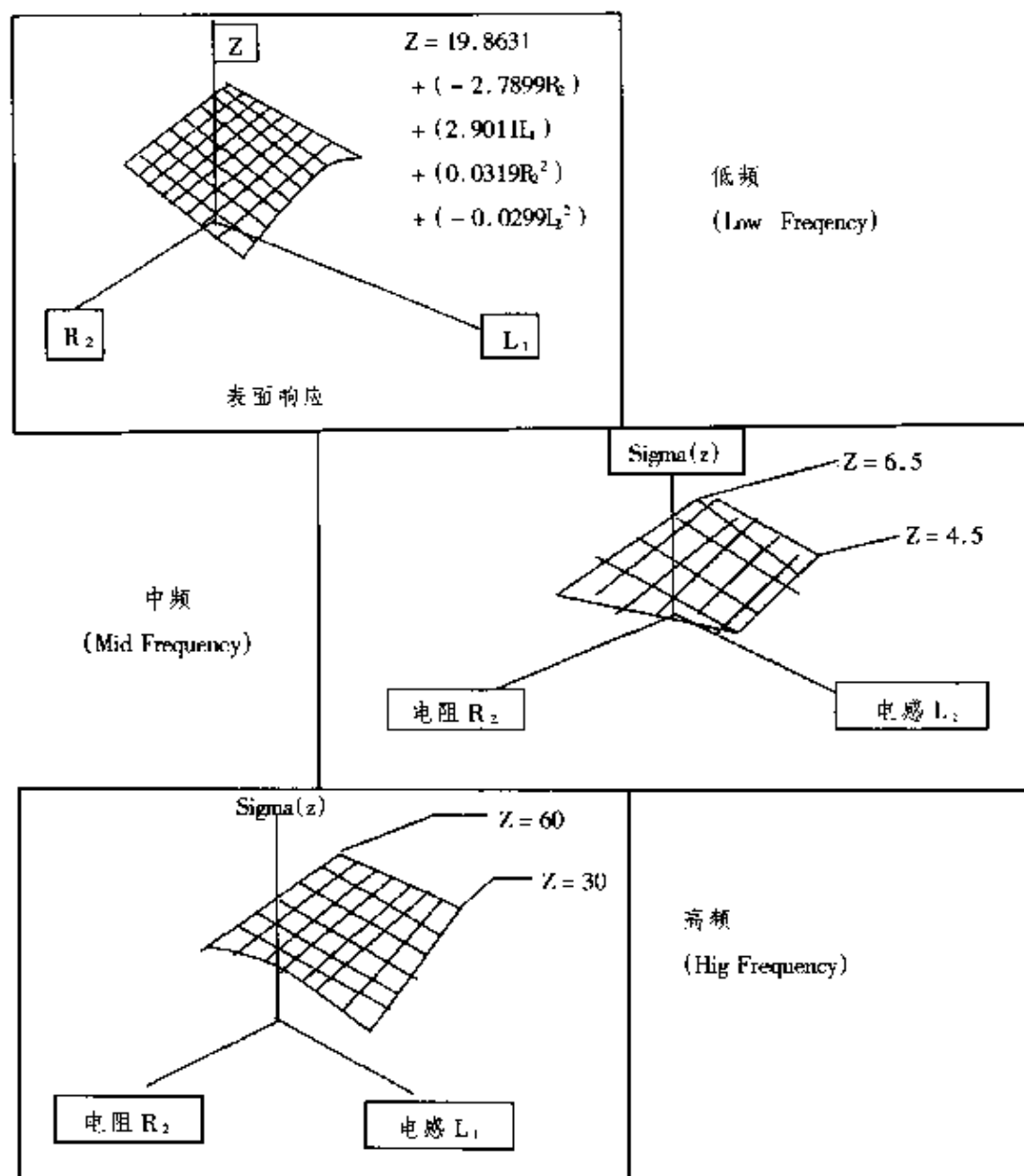


图 3-9 频率与 Sigma 值的关系

九、建立设计公差

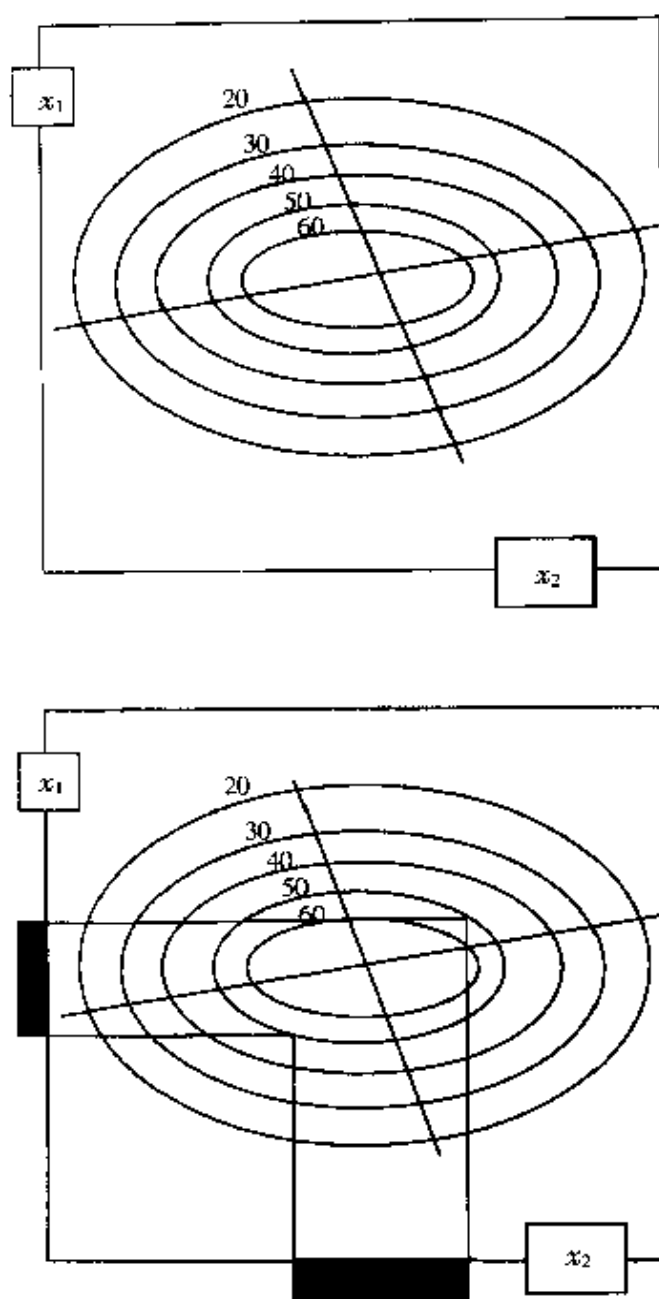


图 3-10 因子设计公差

第四节 设计 FMEA (DFMEA)

设计 FMEA 是用于研究产品在正式投产之前的可能潜在坏品模式及其影响的一种分析方法。在设计阶段,通过 DFMEA 及时发现产品中存在的问题,以便及早得到改善,提高产品的可靠性。

一、设计 FMEA 的作用

1. 帮助我们发现在产品开发阶段的潜在坏品模式及其影响
2. 分析可能的高坏品率会影响到高效率地生产装配,因此在设计阶段我们就应该加以考虑
3. 帮助我们验证产品的设计要求和选择最优化设计方案
4. 提供一些必要的信息,以便通过测试程序对产品设计加以验证
5. 帮助我们确定潜在缺陷对关键性能和重要性能的影响
6. 建立产品设计的优先改善行动机制
7. 使产品设计改变后的相关资料文件化
8. 使产品设计开发规范化

二、什么时候需要开始做 FMEA

1. 当一个新的系统、产品或过程开始设计时
2. 当存在的设计或过程需要改变时
3. 当设计或过程应用到新的地方或新的环境
4. 研究或解决的问题完成后,防止问题再发生

5. 设计的产品功能被确定，在产品的设计被批准开始制造之前

三、重要的 FMEA 定义

1. 严重度 (Severity)

严重度是潜在坏品模式对客户的影响程度，这里的客户是下一个操作者或最终的用户。

2. 产生概率 (Occurrence)

概率是坏品模式发生的概率。

3. 发现度 (Detection)

发现度是当前的设计或工艺控制发现坏品模式的概率。

4. 当前的控制 (Current Control)

当前的控制是指为预防坏品的出现或发现坏品已采取的控制手段。在产品完成之前，必须使坏品能够被发现。当前的控制包括 SPC、检验、写程序文件、培训、设备的维护保养和其他一些行动来确保过程的平稳运行。

5. 关键特性

如果这些项目与实际规格不一致，一定要调整到 100% 相符合，通常的过程设定参数，如温度、时间、速度等均为关键特性。

6. 重要特性

这些项目要求 SPC 和质量计划加以控制来确定其处于可接受的水平。

四、风险系数 (RPN)

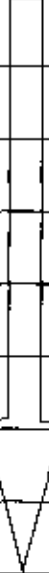
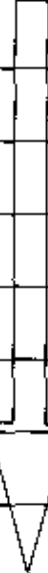
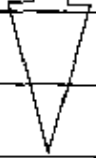
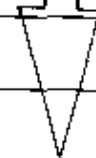
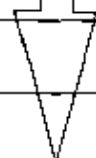
风险系数表征特定不良项的危害程度，它由三部分组成，即：发生特定坏项的严重度 (Severity)、产生这种坏项的概率 (Occur-

rence) 以及这种坏项被发现的概率 (Detection)。

$$PRN = S \cdot O \cdot D$$

这种风险系数越大, 表明特定坏项潜在影响危害性越大, 对特定项目需制定品质计划和加以改善。

表 3-4 风险系数 RPN 与 S、O、D 的关系表

排序	严重度	发生概率	可侦测度	备注
1	没有影响	几乎没有坏	容易被发现	小(好)
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
	非常危险	非常高	几乎很难发现	大(差)

风险系数值一般在 1 ~ 1000 之间, 对于高 RPN 值要采取改善行动; 对高的严重度, 不论 RPN 有多大, 也要采取改善行动。

五、设计 FMEA (DFMEA) 的开展

设计 FMEA 由设计工程师负责实施, 根据潜在坏品影响程度确定其要采取的行动。主要根据标准的 DFMEA 表格进行运作。

1. DFMEA 编号

填写 DFMEA 编号，用于归档，文件记录，以便于查询。

2. 各组成要素名称或编号

填入所分析的系统、子系统或零件的名称及编号。

3. 设计责任人

填入设计部门或设计组的设计者，也包括客户名。

4. 作成者

设计工程师负责作成 FMEA，要写明作成者及其联系电话号码。

5. 年型/机型

填入年型或需做 DFMEA 的项目。

6. 关键日期

填入 FMEA 初始完成日期，此日期不应超过计划开始生产的日期。

7. FMEA 日期

填入 FMEA 开始日期及最后修订版的日期。

8. 核心小组成员

填入责任部门和组员姓名及所执行的任务。

9. 项目/功能

填入分析项目名称或编号。用专业术语评价设计水平，将更改或变动内容标注在工程图纸上。

10. 潜在坏品模式

指过程可能发生不满足过程要求或设计意图的形式。常见的坏品模式有：断裂、变形、松、泄漏、粘贴、短路、破裂等。

11. 潜在坏品的影响

指潜在坏品对客户的影响后果。常见的影响后果有：噪音、运行不稳定、外观不美观、运行出错、运行中止、粗糙、不能运行、令人不舒服的气味、操作能力减弱等。

12. 严重度评估表

表 3-5 严重度评估表

影响	影响严重性的标准	RANK
无事先预兆的破坏	非常高的严重性，当此缺陷模式影响安全操作和（或）与政府法规相违背且无预兆	10
有预兆的破坏	当此缺陷模式影响安全操作或与政府法规冲突，并有预兆，严重性很高	9
很高	当操作无法进行，丧失主要功能	8
高	操作可实施，但降低了性能，客户不满意	7
中	操作可实施，但舒适与方便方面有损失，客户的实践证实不舒适	6
低	操作功能可实现，但舒适与方便方面性能降低，客户有些不满意	5
很低	舒适程度不够，这类缺点被大多数客户发现	4
非常低	舒适度等项目不合适，被部分客户发现	3
罕见	舒适度等项目不合适，被个别客户发现	2
极为罕见	无影响	1

13. 产生概率评估表

表 3-6 产生概率评估表

缺陷概率	可能不良率	CP _k (过程能力)	排序
很高, 缺陷几乎不可避免	$\geq 1/2$	< 0.33	10
	1/3	≥ 0.33	9
高, 重复发生的缺陷	1/8	≥ 0.51	8
	1/20	≥ 0.67	7
中等, 偶然缺陷	1/80	≥ 0.83	6
	1/400	≥ 1.00	5
低, 相对少的缺陷	1/2000	≥ 1.17	4
	1/15000	≥ 1.33	3
极低, 缺陷基本不会发生	1/150000	≥ 1.50	2
	1/1500000	≥ 1.67	1

14. 发现度评估表

表 3-7 发现度评估表

探测性	标准：设计（过程）探测出的可能性	排序
绝对不可能	设计（过程）控制不能侦测出潜在原因和缺陷模式，或没有设计（过程）控制	10
非常困难	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率微乎其微	9
困难	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率极低	8
很低	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率很低	7
低	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率低	6
中等	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率一般	5
较高	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率较高	4
高	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率高	3
非常高	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率很高	2
几乎没问题可查测出	设计（过程）控制侦测出潜在原因或不良模式的概率没有问题	1

15. 风险系数

风险系数是严重度、产生概率和发现度三者之乘积：

$$RPN = S \times O \times D$$

根据 RPN 及 S 大小采取改善行动。

16. 建议改善行动

根据 RPN 排序的结果，排在前面的（RPN 最高）优选采取改善行动，具体的改善行动有以下内容：

- ① DOE 实验；
- ② 测试计划修订；
- ③ 设计修改；
- ④ 更改物料规格等。

17. 责任

负责实施建议措施的组织和个人以及预计完成日期。

18. 采取的措施

当实验一次措施后，简单记载具体执行情况，并记下生效日期。

19. 纠正后的 RPN

正确的纠正行动实施后，应重新评估 $S \times O \times D$ 结果，再计算 RPN，看是否达到预定目标，否则须重新做 DFMEA。

20. 跟踪

设计主管工程师应负责验证所有的建议已被实施或已妥善落实，并不断完善 DFMEA 文件，使设计达到最优化。

第四章

6Sigma 测量

- 第一节 单位缺陷数
- 第二节 过程首次通过率
- 第三节 6Sigma 测量

第一节 单位缺陷数

单位缺陷数又叫 DPU (Defects Per Unit)，意即每个单位所包含的缺陷的个数。它是一个通用的衡量产品和服务良好程度的量。这里的单位可以代表任一事件，如一个产品、一个组件、一页报告、一节课等。

一、DPU 的测量

为方便讨论，我们假设一个产品设计可用矩形区域代表，我们要求每个矩形包含 10 个相等的可能不合格区域。表 4-1 表明了该产品概念：

表 4-1 理想的产品单位（由 10 个相等的不合格机会组成）

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

假设本例的质量报告显示在制造的 1000 个单位产品中，共发现 1000 个缺陷。我们将计算得 $DPU = D/U = 1000/1000 = 1.0$

其中：D 为观察到的缺陷数；

U 为产品单位数。

这意味着平均每个单位产品包含了一个这种不良。当然这种不良是随机分布的，还须认识到在每个单位产品有 10 个相等的区域有机会产生不良，因此可计算 $DPM = DPU/m = 1.0/10 = 0.1$,

0.1DPM 为每个单位机会里的缺陷。

m 是每个单位中不合格的独立机会数, 对本例而言, $m = 10$ 。

反之可知有 0.9 即 90% 的机会在任一给定单元中不会遇到不合格。对于任一给定的单位产品, 零缺陷的概率为 $0.9^{10} = 0.348678$ 或 34.87%, 如增加每个单位中不合格的独立机会数, 如 $m = 100$, 每个机会出现不合格的概率将为 $1/100 = 0.01$ 。同样地, 给定单位产品零缺陷的概率为:

$$(1 - 0.01)^{100} = 0.99^{100} = 36.60\%$$

在确定 $DPU = 1.0$, 而 m 增加时零缺陷的概率如表 4-2。

表 4-2 每单位产品机会数与零缺陷的概率

每单位产品机会数 (m)	给定机会中出现零缺陷的 概率 (Y)	给定单位产品出现零缺陷 的概率 (Y_m)
10	0.9	0.348678440
100	0.99	0.366032341
1000	0.999	0.367695425
10000	0.9999	0.367861050
100000	0.99999	0.367877601
1000000	0.999999	0.367879625
10000000	0.9999999	0.367879459

二、两类缺陷模式

统一缺陷: 同样的缺陷出现在一个产品单元中, 如不锈钢错型号。

随机缺陷: 缺陷是间歇性的和不相关的, 如完成品表面裂缝。

实例：工件生产中的缺陷

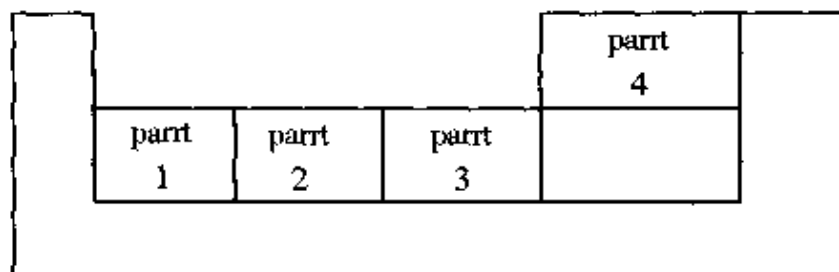


图 4-1 工件图

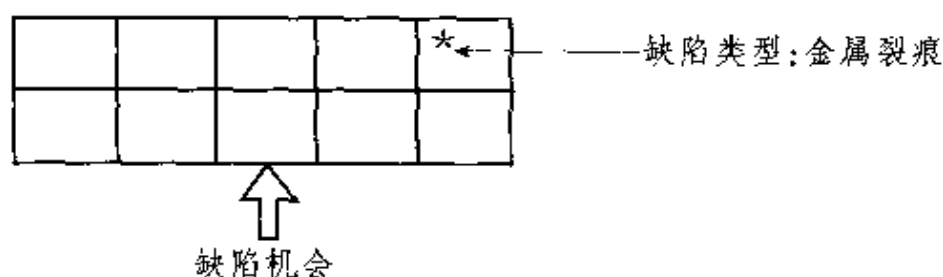


图 4-2 工件缺陷示意

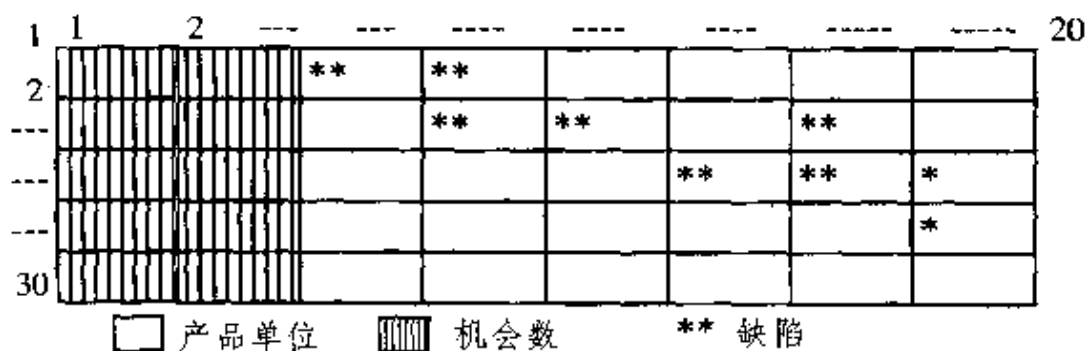


图 4-3 工件缺陷与机会数

- 此例中：① 据问题可知缺陷是随机分布的；
 ② 60 个缺陷分布在 60 个产品单位中；
 ③ $DPU = 60/60 = 1.0$ ；
 ④ 每个单位产品有 10 个缺陷机会。

$DPM = DPU/m = 1.0/10 = 0.1$ ，即任一机会缺陷的概率为 0.1，

无缺陷的概率是 0.9，任一给定的单位在每个其所包含机会数为 10 时，零缺陷的概率为 31.87% (0.9^{10})。

三、对 DPU 进行图示

1. 实例

根据以下信息连续绘出独立的 DPU 测量图。

表 4-3 10 组抽样数据 DPU 测量结果

抽样组	产品中总缺陷数	DPU
1	17	1.7
2	14	1.4
3	6	0.6
4	23	0.5
5	5	0.9
6	18	0.8
7	21	1.4
8	9	1.1
9	23	2.8
10	13	1.8

连续绘出 DPU 测量结果如图 4-4：

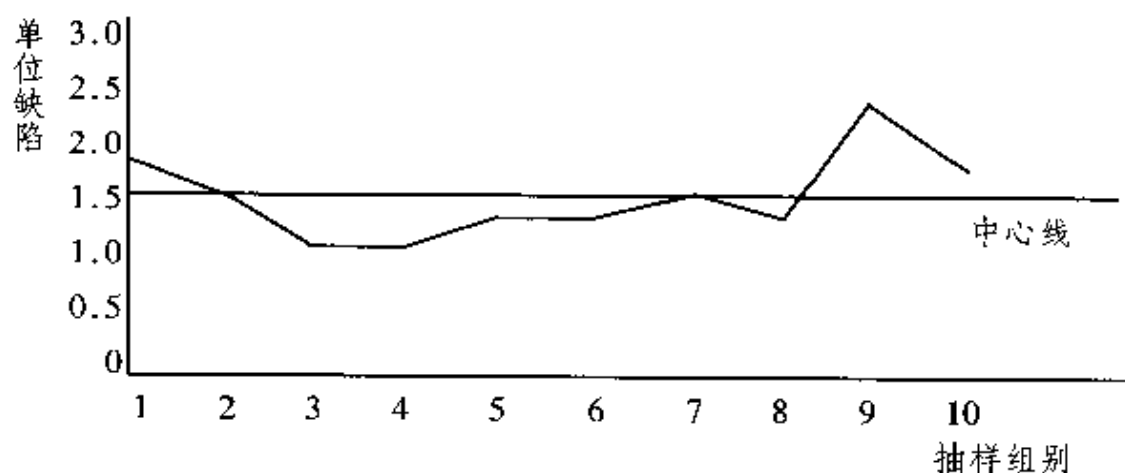


图 4-4 DPU 测量结果图示

根据图 4-4，如对第 7 点进行观察，是否需采取纠正行动呢？这要根据其性质来决定。如果这不是一个偶然事件（随机事件），即有可寻找的原因，就应采取行动并进行验证。如果为偶然因素所致，则任一纠正行动将无法验证。因其为随机变化的。例如本例第 7 点是由随机因素引起的，消除和解决很不经济。

图 4-5 加上了控制界限，用 $\pm 3\text{Sigma}$ 原则提供了一个界限供评估。这两条线（UCL 和 LCL）分别描述了随机原因导致出现的最大和最小 DPU。

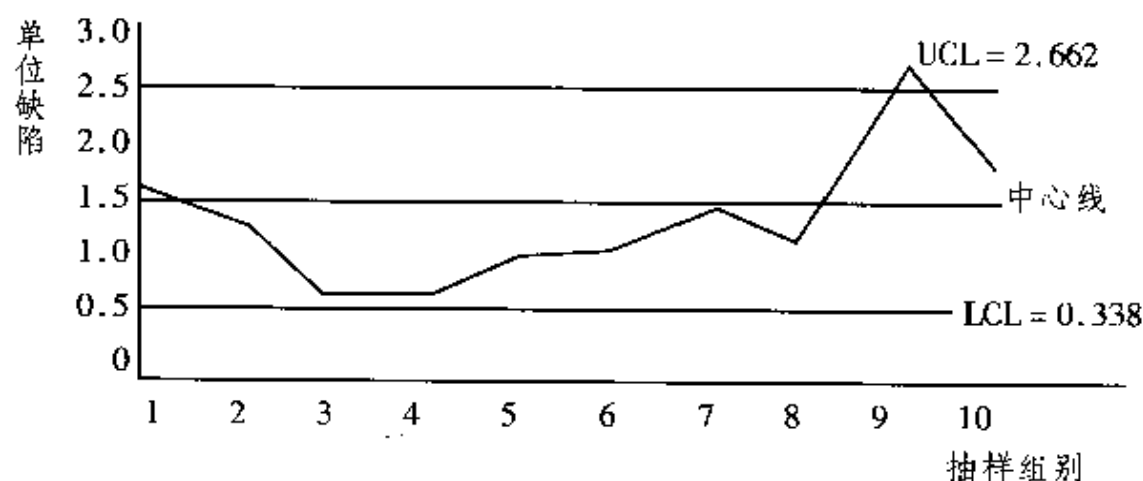


图 4-5 DPU 测量结果图示(带控制界线)

根据上下限，我们可以发现与 DPU 相关联的样本数 7 是归因于材料或生产过程方面的随机变化所致（假设产品设计未变），可以肯定，消除这类随机因素引起的变异是很不经济的。同时观察发现样本数 9 中的 DPU 点高于 3Sigma 上限，也就是说第 9 点由随机因素引起的可能性很小。因此，须采取纠正行动。

统计控制界限的附加特点是可在数据范围飘移到较高水平或范围增大时须进行第二次描述，当存在超出控制界限的状况时，须组织人力去分析解决这些问题。

2. DPU 图的特点及用途

(1) DPU 图可以累加（假定缺陷是独立的）。这样 DPU 可通过累加来创造一个和组装过程相联系的 DPU，组装 DPU 又可通过累加产生系统 DPU。

(2) 当高层次（如系统、项目、部门等） $\bar{u}$ 图显示一个超出控制的状况或一些非随机图样时，问题可通过 DPU 的分解而追溯到较低的制造过程。这种方法提供了标识和消除过程变化源头的解决办法。

(3) 简单，明了，人人会做，这样更便于其推广及发挥作用。

3. 作 DPU 图的步骤

(1) 确定研究目的。DPU 图是通过“不合要求”的情况来了解品质状况的。

(2) 确定如何研究。DPU 允许方便地作成图示形式。

(3) 列出用来作图的数据，通过列出所有的缺陷类型可得到。

(4) 确定处理这些数据的方法。

用 $\bar{u}$ 图表示，计算平均 DPU 和控制界限即可。步骤如下：

① 计算每个样本的 DPU；

② 计算 $\bar{u}$ （样本的平均 DPU）；

③ 作图；

④ 对图加以解释；

⑤ 根据需要采取适当行动。

第二节 过程首次通过率

一、过程首次通过率的概念

过程直通率是指在某个时段过程检查通过的良品数与总检查数的比值，直通率用下式表示：

$$Y_{FT} = S/U$$

Y_{FT} 为 first time yield (首次通过率)

S 为直接通过检查或测试的单位产品数

U 为检查或测试的产品总数

图 4-6 为 Y_{FT} —时间关系图。

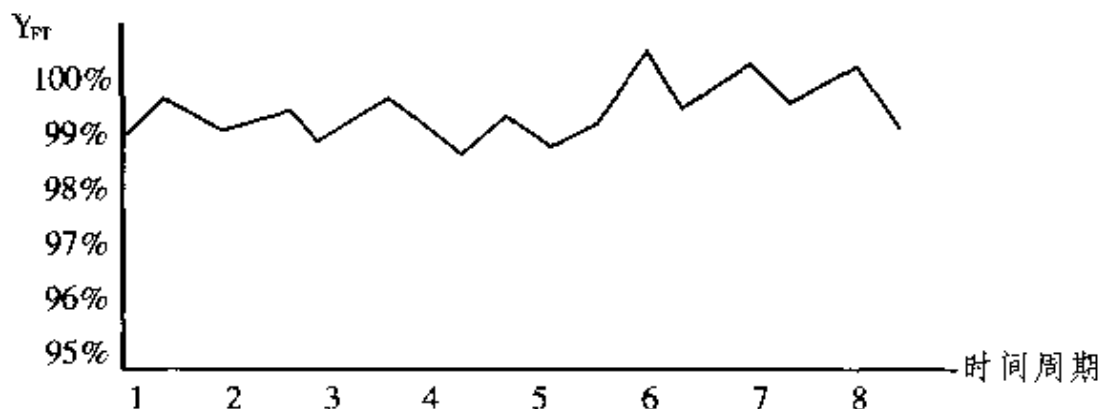


图 4-6 Y_{FT} —时间关系图

二、过程首次通过率与过程产出率的比较

假定生产某个产品需有 5 个主要过程，在这种情况下，零缺陷地完成此任务的概率是多少？

表 4-4 过程首次通过率与总通过率

	3 σ	6 σ
第一过程	99.7%	0.999999998
第二过程	99.7%	0.999999998
第三过程	99.7%	0.999999998
第四工序	99.7%	0.999999998
第五工序	99.7%	0.999999998
总的通过率	98.66%	0.9999999990

假设每一过程步骤中有 18 个部位要作业，则总的机会数将变为： $m = 5 \times 18 = 90$

因此，100%无缺陷通过整个过程的概率如下：

(1) 过程有 3Sigma 能力时在 90 个机会中无缺陷的概率为：

$$0.9973^{90} = 0.7840 \quad (\text{过程中心未变})$$

$$0.8663^{90} = 0.0000 \quad (\text{过程中心偏移 } 1.5\text{Sigma})$$

(2) 过程有 6Sigma 能力时在 90 个机会中无缺陷的概率为：

$$0.999999998^{90} = 0.999999990 \quad (\text{过程中心未变})$$

$$0.99999966^{90} = 0.9997000 \quad (\text{过程中心偏移 } 1.5\text{Sigma})$$

表 4-5 3 σ 与 6 σ 过程能力比较

	3 σ	6 σ
过程中心未变 ϕ 长期能力	0.7840	0.9999998
过程中心偏移 ϕ 长期能力	0.0000	0.9997000

(3) 若 100 个产品中有 10 个缺陷产品 (表 4-6)，那么 Y_{FT} 、 Y_{TP} 关系如下：

$$Y_{FT} = S/U = 90/100 = 0.90 = 90\%$$

$$Y_{TP} = e^{-DPU} = e^{-1.0} = 0.3699\% \approx 37\%$$

Y_{TP} = Yield throughput = 过程产出率

以上计算是假定 100 个产品单元中共有 100 个缺陷, $DPU = 100/100 = 1.0$, 为何 Y_{FT} 与 Y_{TP} 会有如此大的差异 (对同一问题), 图 4-7、图 4-8 表示了 Y_{FT} & Y_{TP} 的意义。

表 4-6 隐藏的操作缺陷

隐藏的操作	缺陷类型	缺陷品
1	A	3
2	B	1
3	C	0
4	D	2
5	E	4
总的缺陷		10

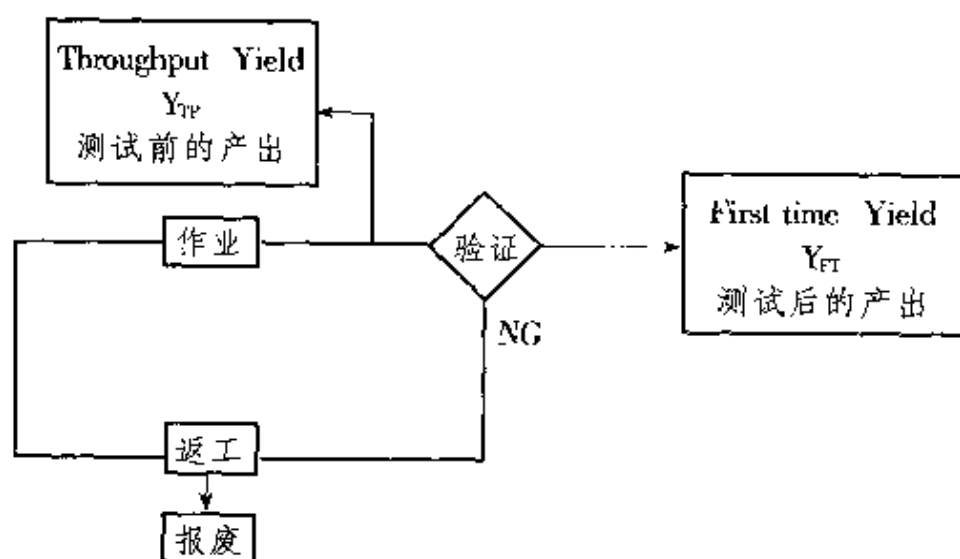
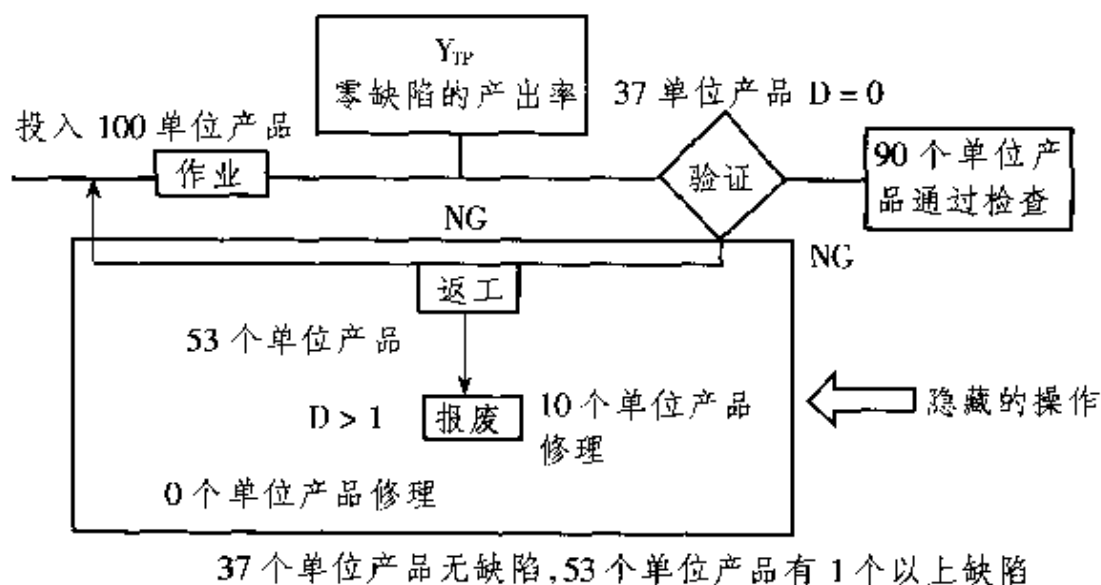
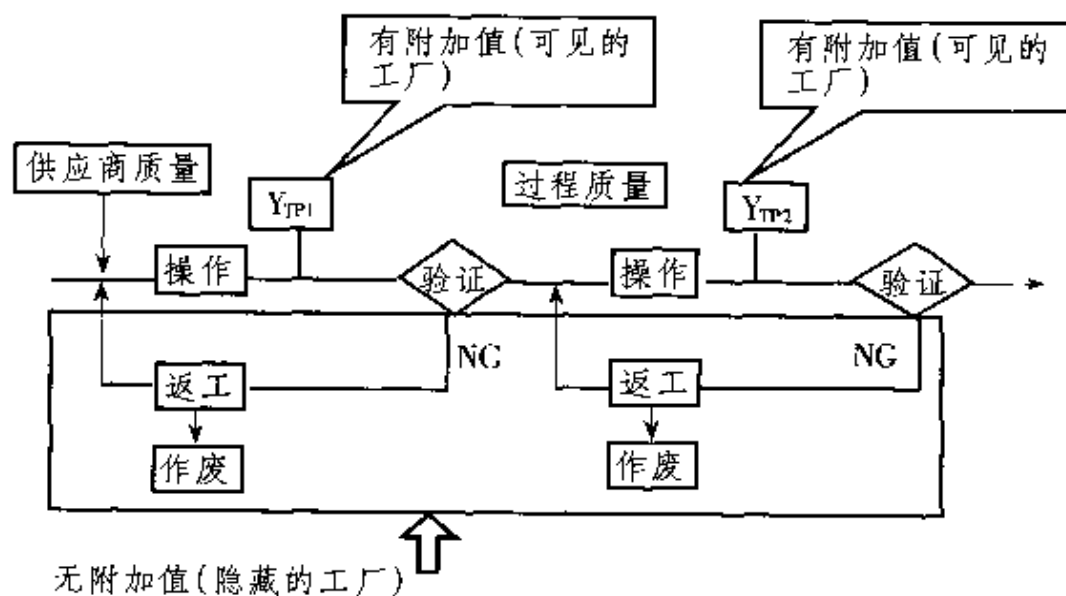


图 4-7 Y_{FT} 与 Y_{TP} 比较(1)

图 4-8 Y_{FT} 与 Y_{TP} 比较(2)

三、关于工厂的新观点

图 4-9 过程 Y_{TP} 与过程附加值

$$Y_{RT} = \prod_{i=1}^m Y_{TP_i}$$

Y_{RT} 为总的过程首次通过率

降低 DPU 意味着增加 Y_{RT} ，也意味着改善产品可靠性和客户满意度。

例：一条生产线有两个作业过程，每个过程有 99% 的 Y_{TP} ，总的 Y_{RT} 为多少？

操作 1 × 操作 2 = 总通过率 Y_{RT}

99% —————→ 99% —————→ 98%

没经检查或测试 没经检查和测试 没经检查和测试

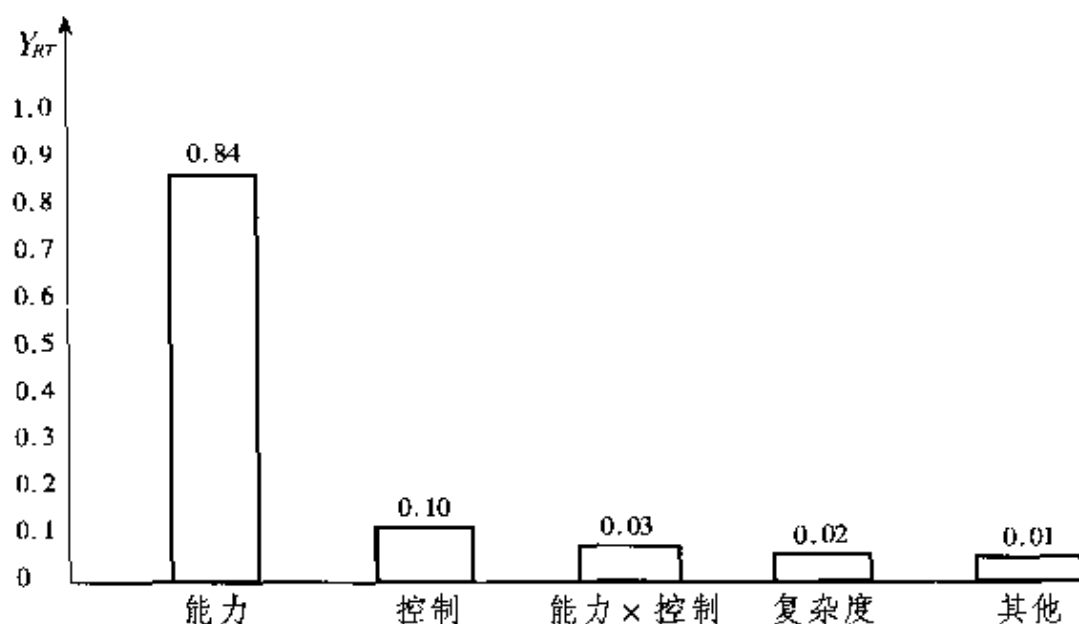
可知对任何给定的单位产品通过这两个操作不出现缺陷的概率为 98%。

每个测试故障均由一个或多个缺陷引起，但是并非任一缺陷都可引起测试故障。

四、改善 Y_{RT} 的方法

为改善一个典型制造过程的 Y_{RT} ，应将焦点集中在何种因子上？

经实验分析，在制造过程的复杂度、过程能力、过程控制三个因素中，各因素对 Y_{RT} 影响程度用柏拉图表示如下（见图 4-10）：

图 4-10 Y_{RT} 与过程能力、过程控制、过程复杂度的关系

从柏拉图可以看出，过程能力对 Y_{RT} 的影响最大，在三个因素中，其影响所占比例为 84%，过程控制对 Y_{RT} 的影响占 10%，其次是能力和控制的综合影响，达到 3%，复杂度对 Y_{RT} 之影响最小，只占 2%。由此可见，我们在改善 Y_{RT} 时，应将主要精力放在改善过程能力上。

五、仿真一个典型过程

一条生产线有 1200 个作业步骤，对其进行能力研究，如图 4-11、图 4-12 所示。

注：每个操作机会数均为 1。

1. 短期能力

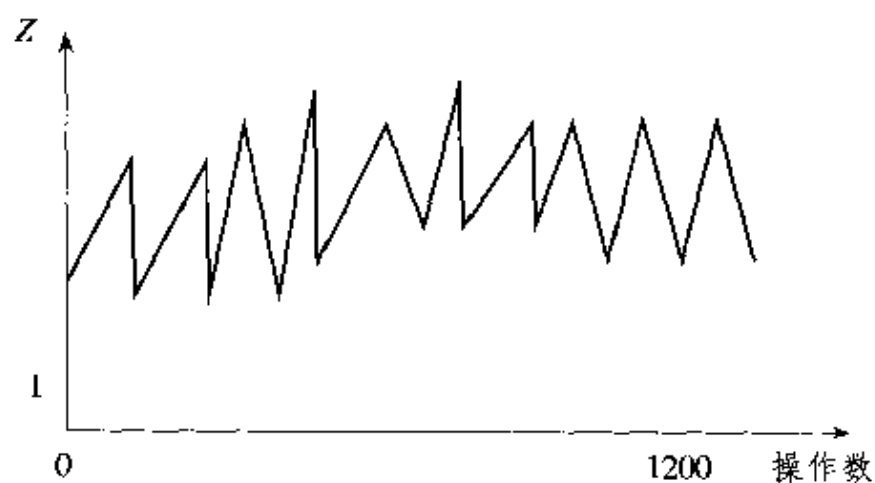


图 4-11 操作数与短期能力

2.Z 偏移

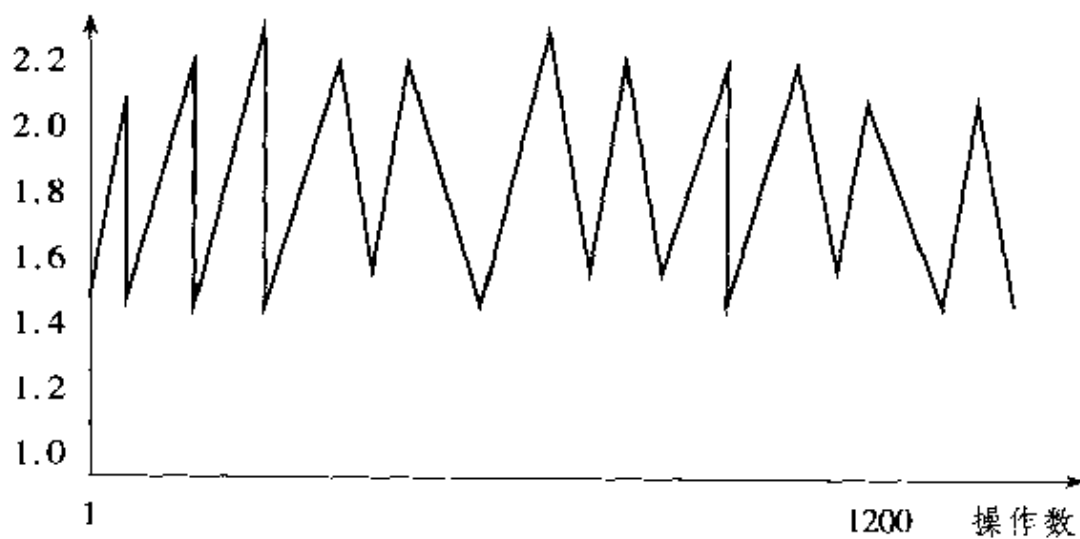


图 4-12 操作数与过程偏移

3. 短期能力直方图

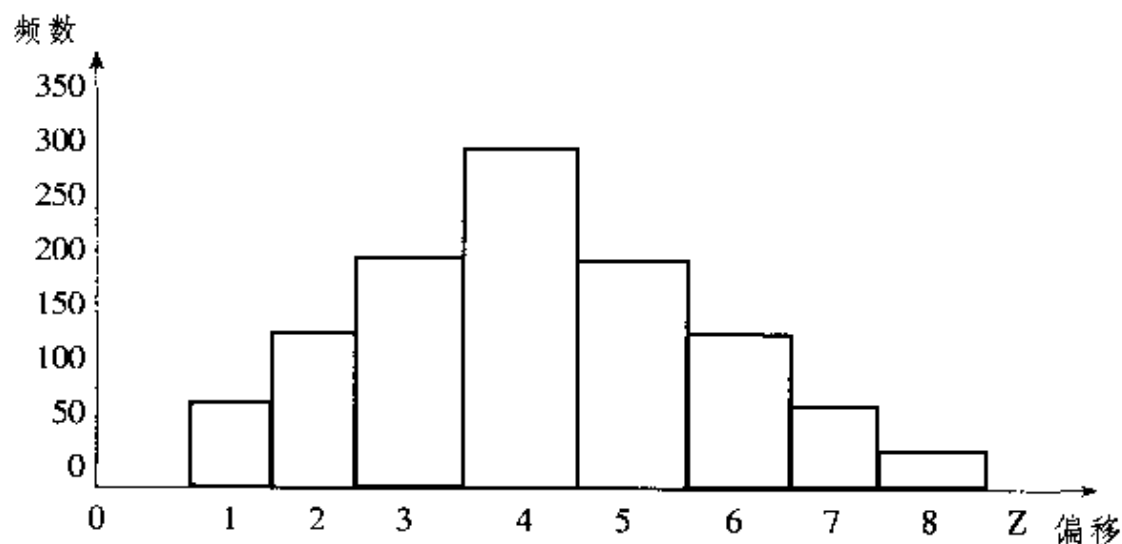


图 4-13 过程短期能力分布直方图

4. Z 偏移直方图

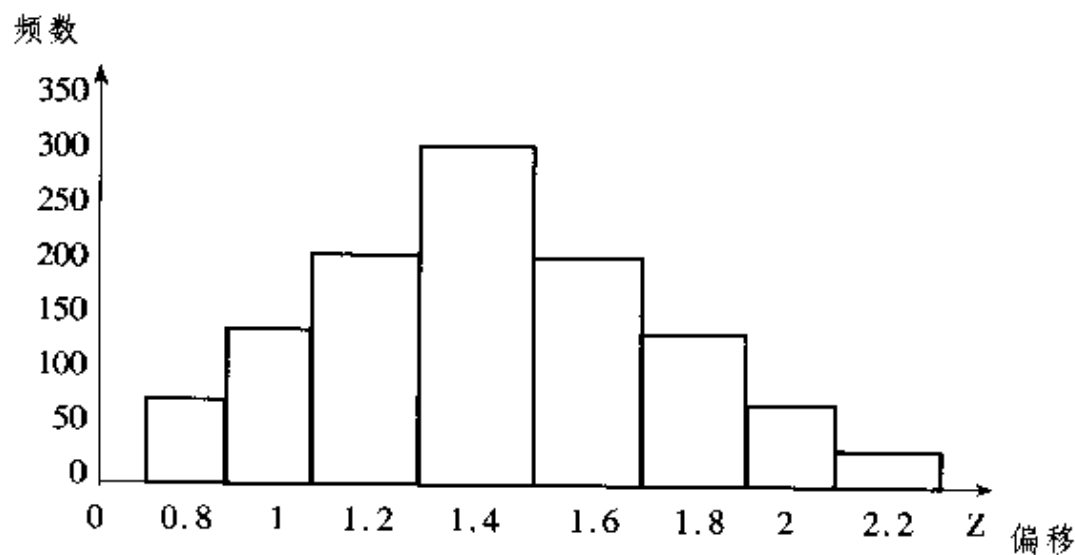


图 4-14 过程偏移分布直方图

5. 计算机仿真结果

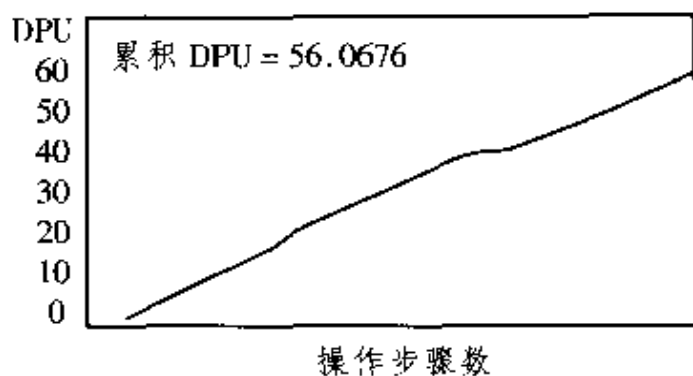


图 4-15 操作步骤数与累积 DPU 的关系

6. DPU 移动平均值 = 0.046723

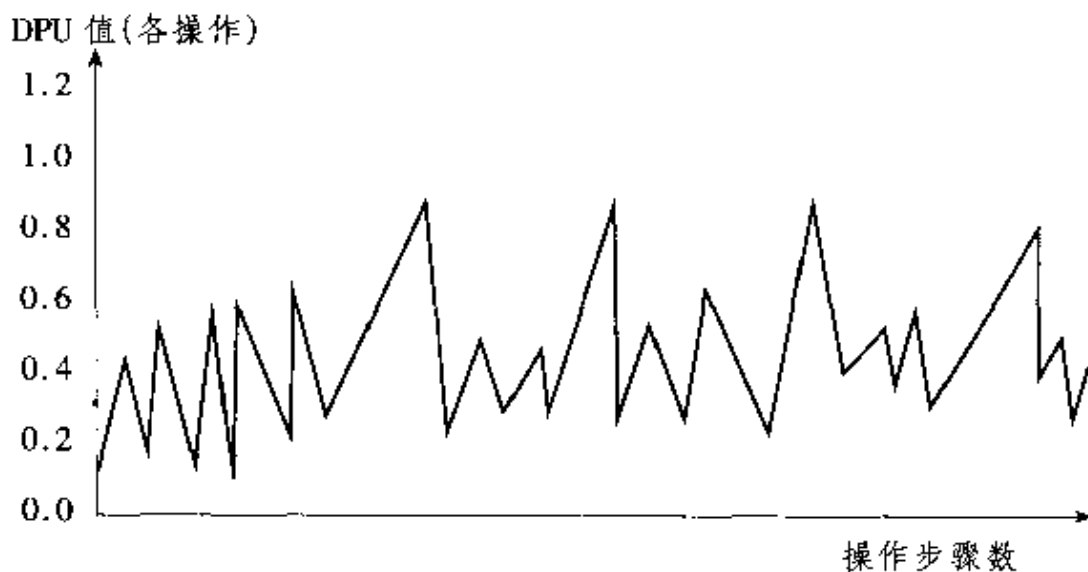


图 4-16 操作步骤与 DPU

从以上数据处理可看出：3.18Sigma 是未经检查时过程的典型能力。4.10Sigma 是有检查时的典型能力。

注：3.18Sigma 是从 $DPM = DPU/m = 56.0676/1200 = 0.046723 = 46723PPM$ ，查正态分布表得出。

第三节 6Sigma 测量

6Sigma 系统是以 M-A-I-C 之模式来实施业务突破的。通过 M（测量）来知己，通过 A（分析）来知彼和寻找变异原因，通过 I（改善）来消除主要变异，最后通过 C（控制）来巩固和指示改善结果。通过不断的 M-A-I-C 过程，来达到突破和提高。这个循环最基本的工作就是进行过程测量。测量过程（以一个制造过程为例）示意如图 4-17：

过程“A”——加工一个工件

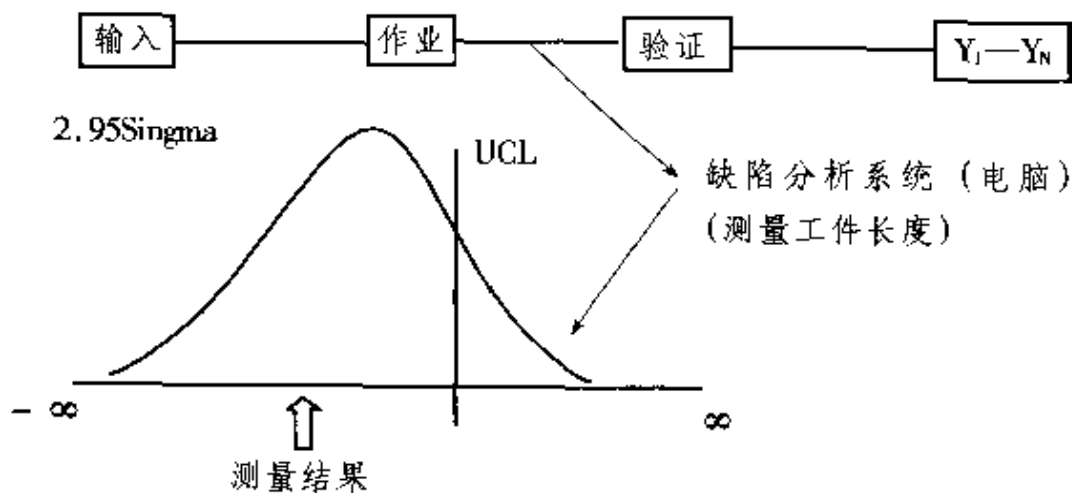


图 4-17 工件加工作业测量

一、测量的基本步骤

1. 选择关键产品
2. 建立产品树

3. 确定性能变量
4. 创建过程图
5. 测量过程变量
6. 建立过程能力

二、Z 分布

在许多工程问题中，我们需要计算超过给定公差的概率。在这样的例子中，我们只需使用标准 Z 转换即可，或者称 Z 的测量，Z 可以作为过程能力的测量。

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

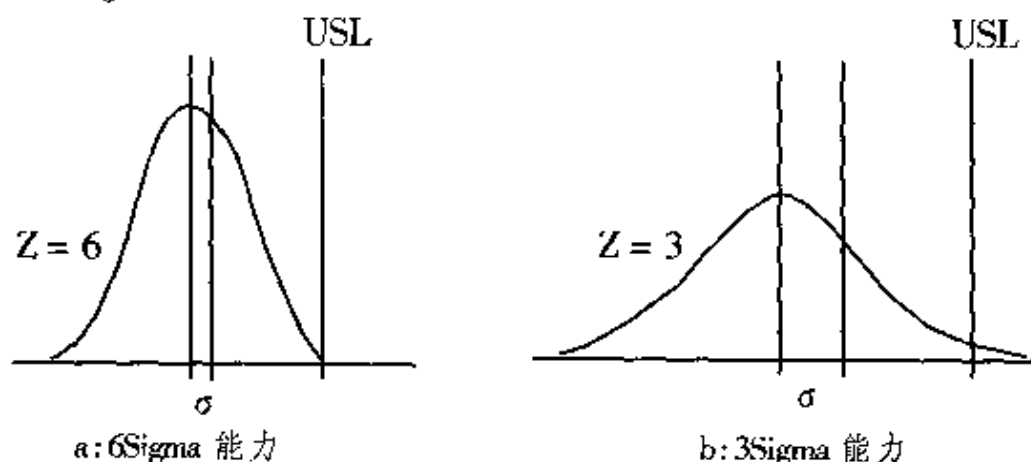


图 4-18 Sigma 值与过程能力

大家都知道，当方差降低时，能力提升，从图 4-18 也可看出，当标准偏差降低时，也降低了不良概率。

例：一个工程师想了解一个切削加工过程的不良概率，他随机抽取了 30 个样本，测量其外径，计算（外径）超过上下限的概率。

已知：外径规格中心 $T = 2.000\text{mm}$ ，规格上限为 3.000mm ，规格下限为 1.000mm 。计算得： μ （平均值） $= 2.31$ ，标准差 $\sigma = 0.310$

计算 Z 值、CP、CP_K、不良概率 P 及通过率 (Yield)。

$$Z_{USL} = \frac{USL - u}{\sigma} = \frac{3.0 - 2.31}{0.31} = 2.33$$

$$Z_{LSL} = \frac{|LSL - u|}{\sigma} = \frac{|1 - 2.31|}{0.31} = 4.23$$

$$CP = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{3 - 1}{6 \times 0.31} = 1.075$$

$$CP_K = \frac{USL - LSL - 2|u - T|}{6\sigma} = \frac{3 - 1 - 2 \times |2.31 - 2.0|}{6 \times 0.31} \\ = 0.74$$

据 Z_{USL} 及 Z_{LSL} 查正态分布表得:

$$P(x > USL) = 0.01287 \quad PPM(x > USL) = 12870$$

$$P(x < LSL) = 0.00001168 \quad PPM(x < LSL) = 11.7$$

$$P(d) = 0.01287$$

$$Yield = 1 - P(d) = 1 - 0.01287 = 0.98713 = 98.713\%$$

三、计算一个概率

在已知 Z (Sigma) 值后, 我们可比较容易地查正态分布表求得不良概率, 即正态分布双尾区 (规格以外) 的概率, 也可通过下列公式用计算机方便地进行 Z 与 P 或 P 与 Z 之间的转化。

1. Z 转换成 P 的公式

$$P = [(1 + C_1 Z + C_2 Z^2 + \cdots + C_6 Z^6)^{-16}] / 2$$

其中: Z 和 P 均为单尾

Z 是标准正态偏差

P 是不良概率 (PPM)

$C_1, C_2, \cdots, C_6$ 为常数

$$C_1 = 0.07498673470 \quad C_2 = 0.0211410061 \quad C_3 = 0.0032776263$$

$$C_4 = 0.0000380036 \quad C_5 = 0.0000488906 \quad C_6 = 0.000005383$$

2. P 转换成 Z 的公式

$$Z = \frac{C_1 + C_2\lambda + C_3\lambda^2}{1 + C_4\lambda + C_5\lambda^2 + C_6\lambda^3} \quad \lambda = \sqrt{\ln(1/p^2)}$$

$C_1, C_2, \dots, C_6$ 为常数

$$C_1 = 2.515517 \quad C_2 = 0.802853 \quad C_3 = 0.010328$$

$$C_4 = 1.432788 \quad C_5 = 0.189269 \quad C_6 = 0.00308$$

通过设置电子表格，以上转换可非常容易地实现。

3. Sigma (Z) 与 CP (CP_K) 及 PPM 转换表

表中： Z_{ST} 为短期 Sigma 值， Z_{LT} 为长期 Sigma 值

表 4-7 Z_{ST} 与 CP 及 PPM 转换表

CP	Z_{ST}	DPO	PPM
0.5	1.5	0.0668072	6.6807
0.67	2.0	0.022751	22750
0.83	2.5	0.0062097	6210
1.00	3.0	0.00135	1350
1.17	3.5	0.0002327	233
1.33	4.0	0.0000317	32
1.50	4.5	0.0000034	3.4
1.67	5.0	0.0000003	0.3
1.83	5.5	0.0000000	0.02
2.00	6.0	0.0000000	0.001

注：DPO 为单位机会内的缺陷数。

表 4-8

 Z_{LT} 与 CP_k 及 PPM 转换表

CP_k	Z_{LT}	DPO	PPM
0.00	0.0	0.5000000	500000
0.17	0.5	0.3085375	308538
0.33	1.0	0.1586553	158655
0.50	1.5	0.0668072	66807
0.67	2.0	0.0227501	22750
0.83	2.5	0.0062097	6210
1.00	3.0	0.0013500	1350
1.17	3.5	0.0002327	233
1.33	4.0	0.0000317	32
1.50	4.5	0.0000034	3.4

注：DPO 为单位机会内的缺陷数。

四、过程中心的偏移

经研究表明，过程在经过长时间运作后，其中心值会偏离 1.5Sigma （围绕中心值，在正方向或负方向）。

1.5Sigma 的偏移对过程能力的影响如图 4-19、图 4-20 所示。

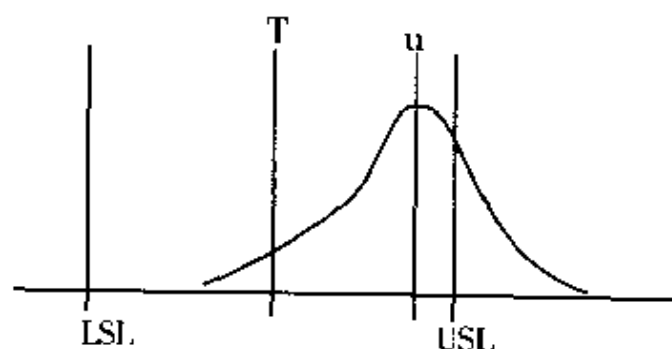


图 4-19 过程中心偏移示意

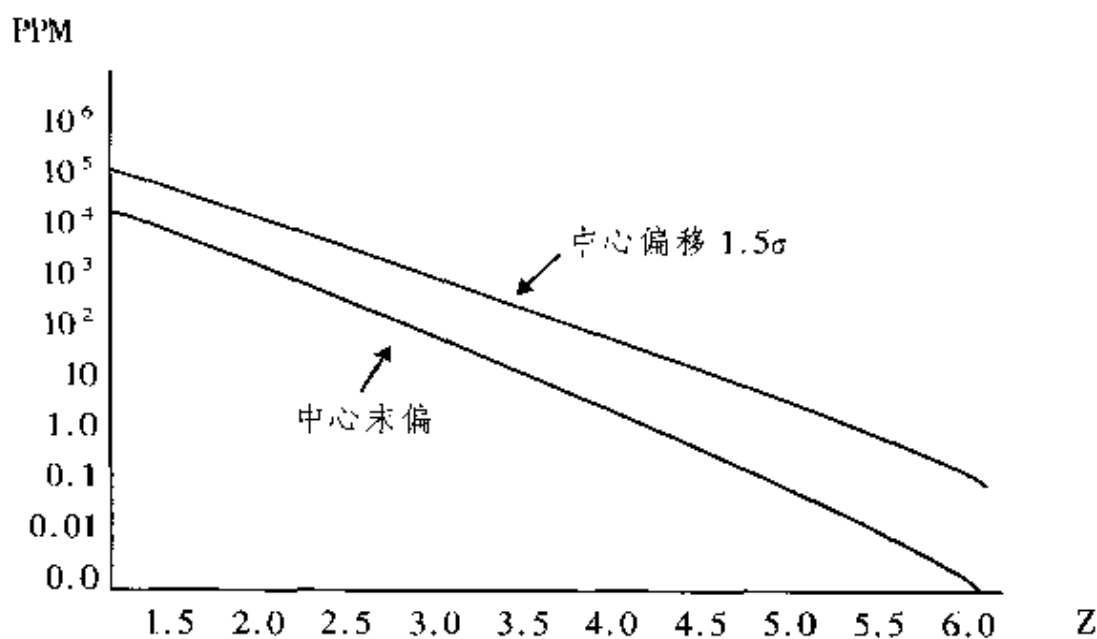
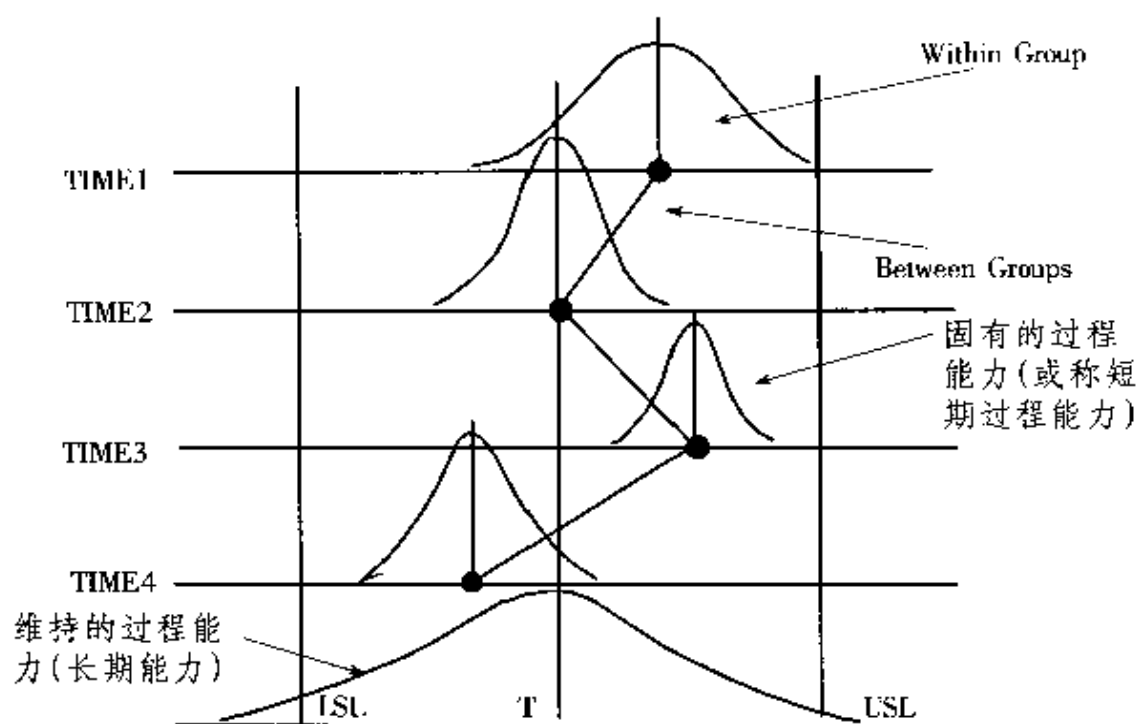


图 4-20 过程中心偏移对 PPM 的影响

五、过程的动态

1. 形态

经过一段时间，一个典型的过程将飘移或偏移 1.5Sigma 。如图 4-21 所示。



注: Within Group 为组内变异; Between Group 为组间变异

图 4-21 工序中心偏移示意

2. 合理分组 (取样时)

例: 假定一个过程连续生产, 每隔一定时间取样 5PCS 以把握其工件参数, 如图 4-22 所示。

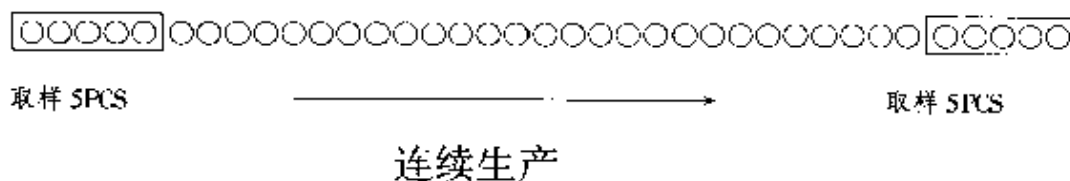


图 4-22 连续生产时取样示意

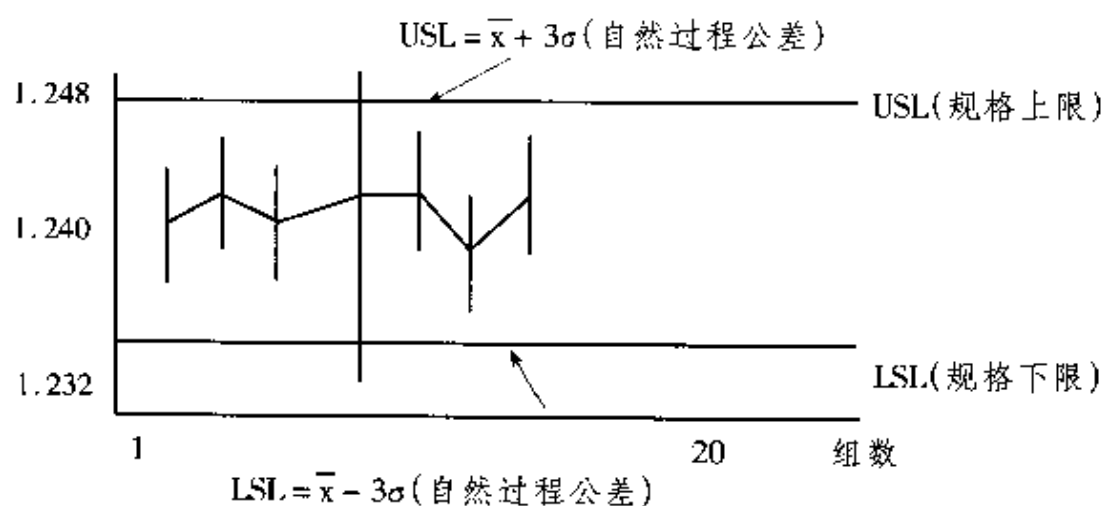


图 4-23 抽样数据控制图

取样时每组数量须足够小，以排除系统非随机因素的影响。

3. 组间与组内样本与总体关系的方差计算公式

$$\sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2 = n \sum_{j=1}^g (X_j - \bar{\bar{X}})^2 + \sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

总体	=	组间	+	组内
能力	=	准确度	+	精密度

这个公式很重要，是过程能力、DOE 实验结果等分析的基础。

4. 上例中的数据用上式运算可得到图 4-24。

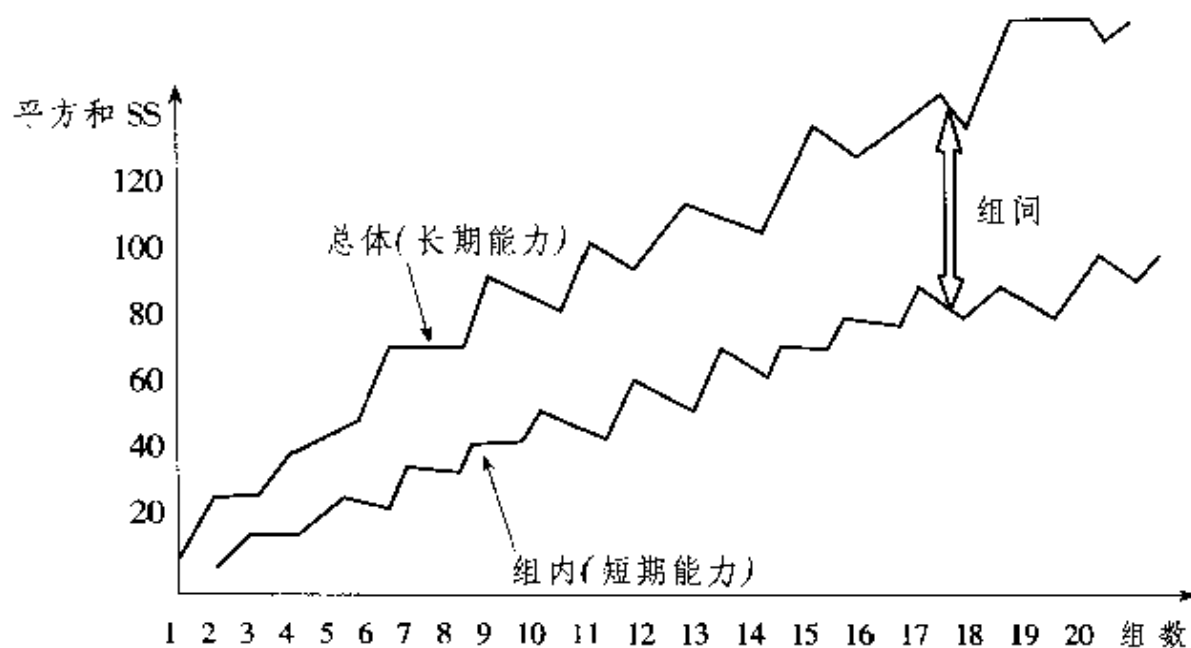


图 4-24 样本组间、组内及总体关系图

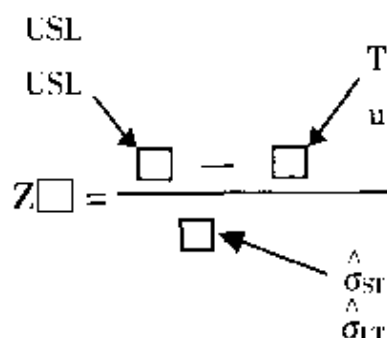
六、过程能力的测量单位——Z

1. Z 的通用等式

$$Z = \frac{SL - \lambda}{\sigma} \dots\dots\dots (a)$$

其中： $\lambda = \begin{matrix} T \text{ (Taget)} & \text{目标值} \\ u \text{ (Mean)} & \text{平均值} \end{matrix}$

$$SL = \frac{USL}{LSL}$$



LT 为长期能力

$$(1) \quad Z = \frac{SL - T}{\sigma_{SL}}$$
$$(2) \quad Z = \frac{SL - \frac{1}{2}u}{\sigma_{ST}}$$
$$(3) \quad Z = \frac{SL - T}{\sigma_{LY}}$$

这个 Z 值代表 Z_{LT} ，用以测量长期过程能力。它反映了随机变化及因特定因素引起的过程中心的偏移。经过长时间以后假定过程中心的变化是动态的且最后的平均值超出目标规格。

$$(4) \quad Z = \frac{\bar{SL} - \bar{u}}{\sigma_{LT}}$$

这个值代表了过程维持能力（再生性），因此，它又称长期过程能力。常用它来评估长期不良率 PPM。它反映了随机变化和特定因素及一切静态补偿的影响。考虑了所有关键的少数变量的影响，它适用于各种公差。

3. Z 值的偏移（长期能力与短期能力）

根据抽样的合理范围要求，每小组数量 $4 \leq n \leq 6$ 。

小组数 $25 \leq g \leq 100$ ，最常用的 $n = 5$ ， $g = 50$ ，总的抽样量为 $ng = 250$ 。

根据 $n = 5$ ， $g = 50$ ，结合常数 C，用典型的动态平均值偏移公式可计算出 Z 值的偏移。

$$C = \frac{\sigma_T}{\sigma_W}$$

C 为常数，表示过程短期能力的变化幅度，对典型的制造过程，C 的范围为 1.4 ~ 1.8。

σ_T ：总的 σ 值

σ_W ：每组的 σ 值

$$Z_{\text{典型偏移}} = \sqrt{\frac{\bar{C}^2(ng-1) - g(n-1)}{ng}} = \sqrt{\frac{1.8^2 \times (250-1) - 50 \times (5-1)}{250}} \\ = 1.49 \sim 1.5$$

上式为典型的动态平均值偏移公式，在 $C = 1.8$ ， $n = 5$ ， $g = 50$

时，可计算出 Z 典型偏移，为 1.5σ ，如图 4-25 所示。

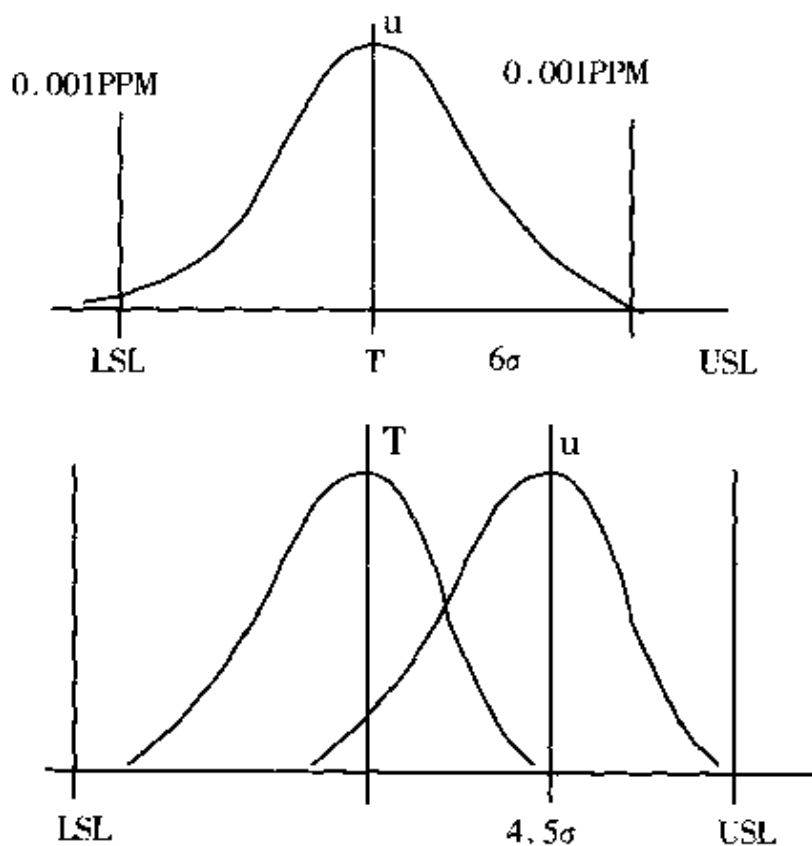


图 4-25 Z 值偏移对过程能力的影响

1.5σ 移动用来作为均值补偿（动态非随机变量对过程中心的影响），它代表了典型过程在经过长时间工作后的变化。

4. 长期数据和短期数据

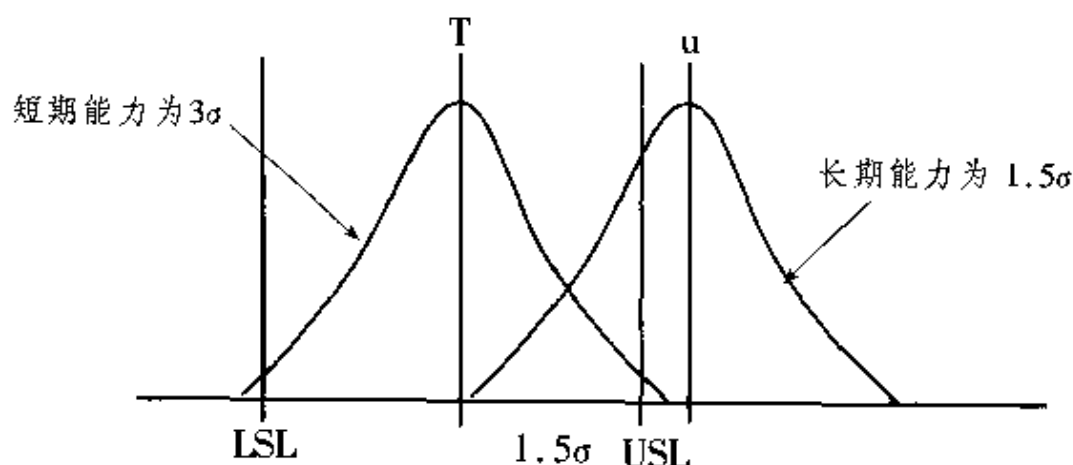
(1) 短期数据没有可确定的原因，因此它代表了随机因素的影响；长期数据代表了随机因素和影响过程中心的特殊因素的影响。

(2) 如果数据的收集范围覆盖了较长时间，可考虑作为长期数据，否则，认为其为短期数据。

表 4-9 长期能力与短期能力的关系

	长期能力	长期能力
短期能力	$\nearrow$	$+1.5\sigma$
长期能力	-1.5σ	$\nearrow$

(3) 如初始数据给定短期能力为 3σ ，转化为长期能力为：



LSL: 短期能力为 1350PPM USL: 短期能力为: 1350PPM
 长期能力为 0PPM 长期能力为: 66810PPM

图 4-26 Z 值偏移对过程能力的影响

(4) 如数据为非连续性质，转换成 Z 值后认为是长期能力。

如原始数据是连续性的且收集数据的数目和时间间隔很短，Z 值代表短期能力。

当希望报告过程 Sigma 能力时，一般使用短期 Z 值。例如假设发现过程不良为 36210PPM，须先转换成相应的 Sigma 值， $Z_{LT} = 2.50$ ，因为初始数据为长期的，可用下式求得短期能力：

$$Z_{LT} + Z_{\text{shift}} = 2.5 + 1.5 = 4.0$$

第五章

6Sigma 统计方法

- 第一节 正态分布曲线
- 第二节 标准偏差 (σ)
- 第三节 直方图
- 第四节 F - 检验
- 第五节 t - 检验
- 第六节 X^2 - 检验
- 第七节 样本大小 (假定测试表)
- 第八节 回归分析

第一节 正态分布曲线

一、正态分布曲线

若因变量与自变量满足

$$p(x > a) = \int_a^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(1/2)[x - \mu/\sigma^2]} dx$$

则服从正态分布。

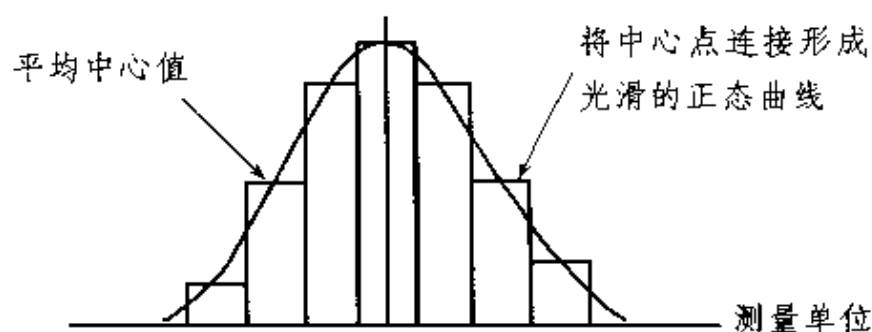


图 5-1 正态分布图

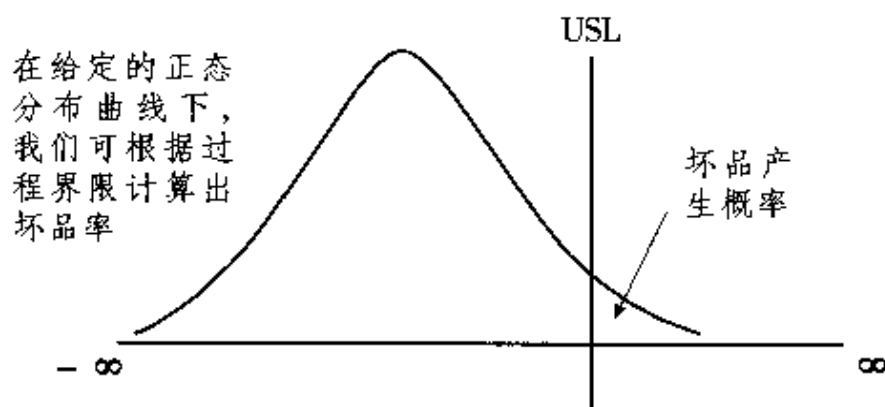


图 5-2 过程的坏品产生概率

二、正态分布曲线与过程能力

正态分布曲线是反映过程变动的晴雨表。

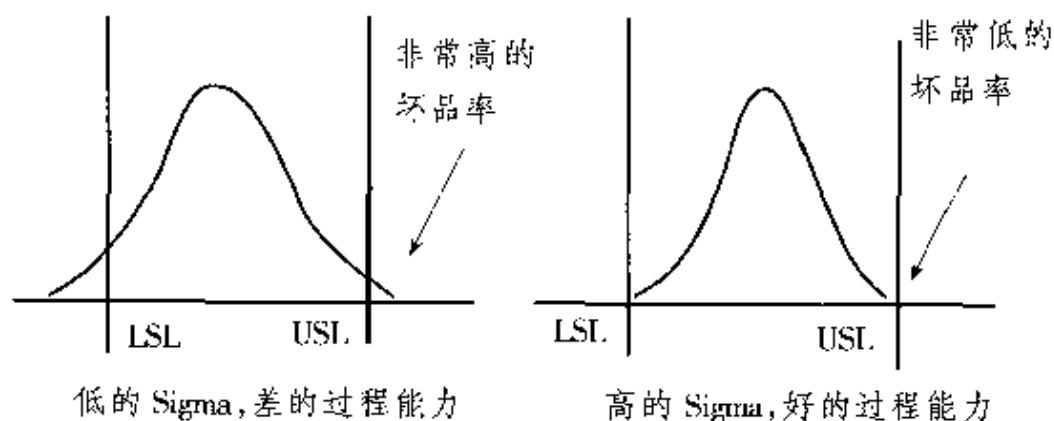


图 5-3 正态分布与过程能力

三、实际案例

某工件的标准尺寸为 1.240 ± 0.003 ，根据所测尺寸绘出的正态分布曲线如图 5-4 所示。

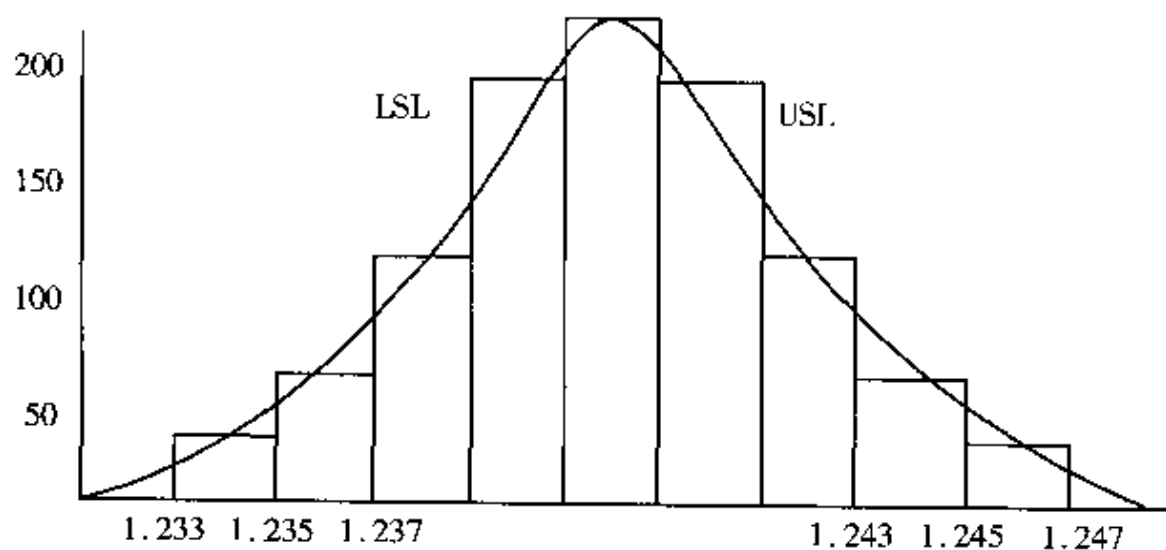


图 5-4 工件尺寸的正态分布曲线

四、过程能力改善

自变量 $x_1 \cdots x_n$ 决定因变量的结果 Y 值，我们要努力寻找最佳自变量，使过程产生最低的坏品率。

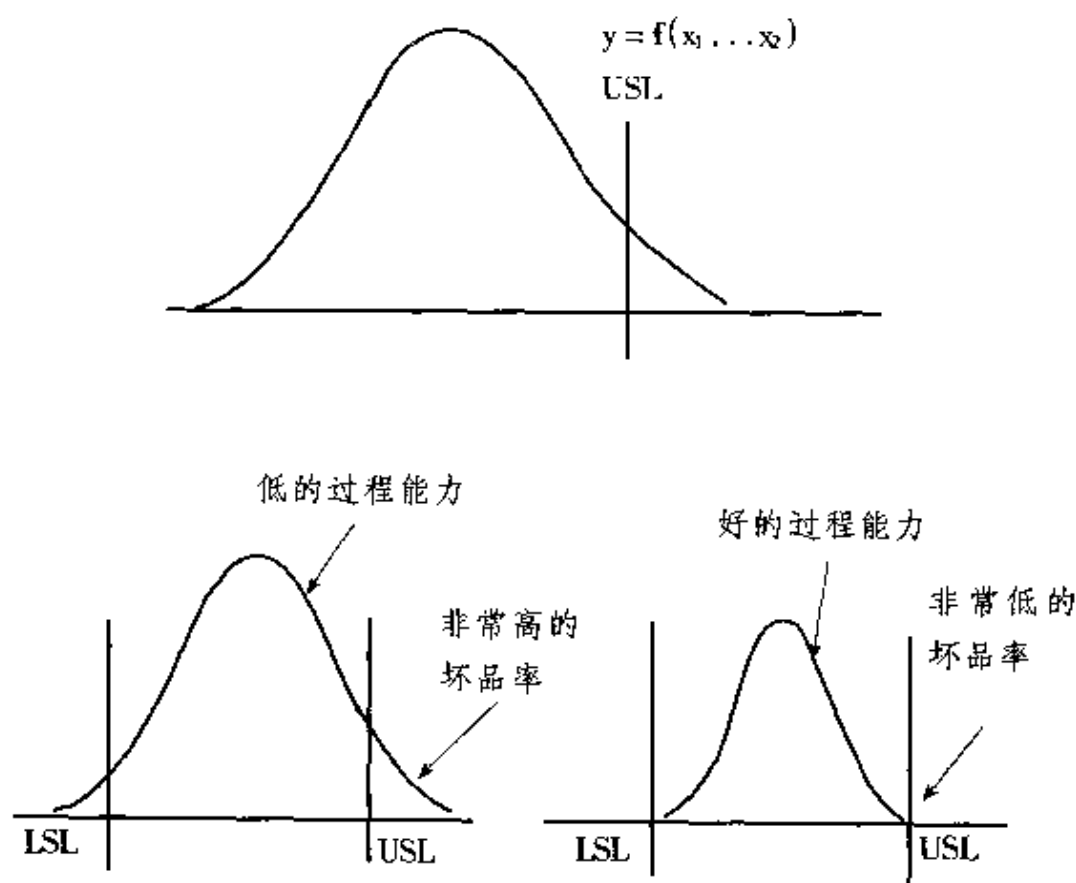


图 5-5 过程能力改善与低的坏品率

五、找准改善的焦点问题

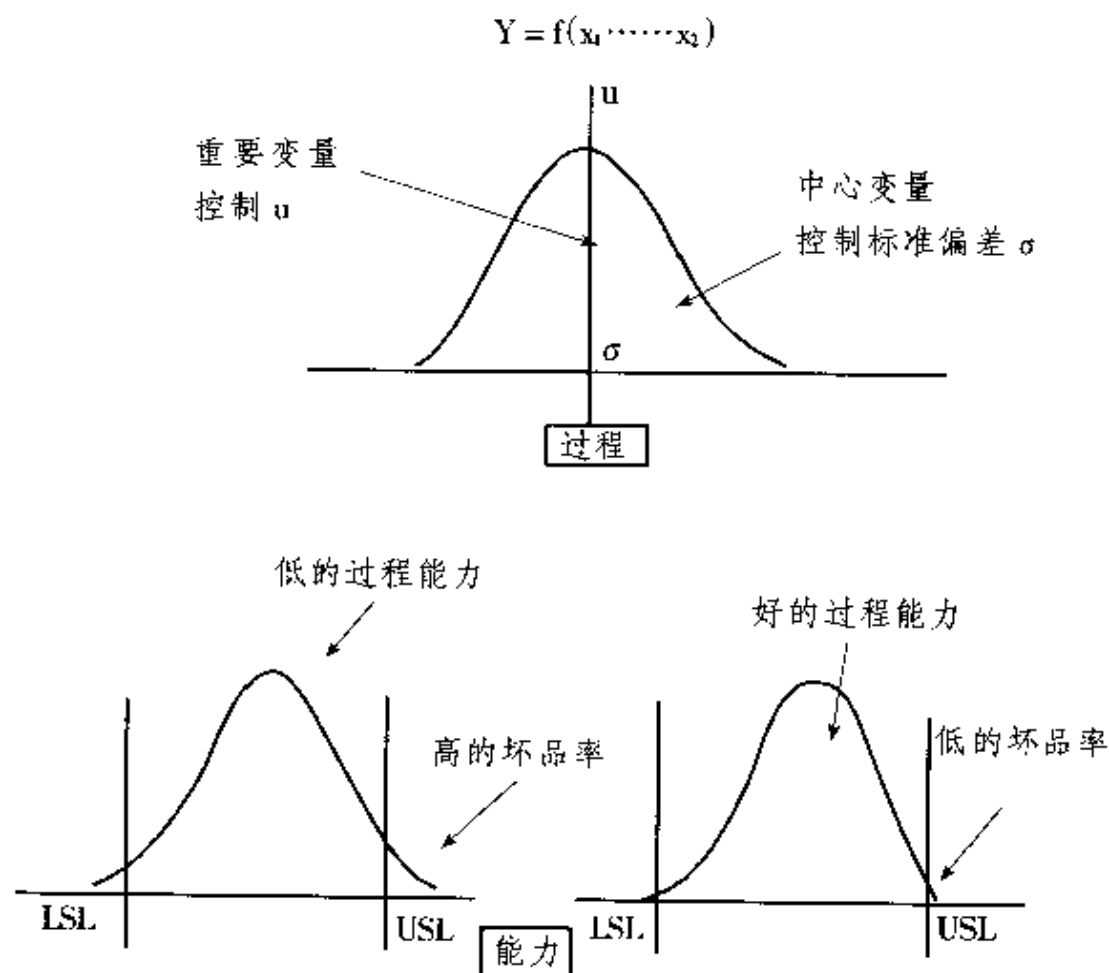


图 5-6 过程能力与正态分布曲线

第二节 标准偏差 (σ)一、应用极差求 σ 的方法

这种方法是应用极差求标准偏差。

1. 求每一组的极差

$$R_j = x_{\max} - x_{\min}$$

2. 求平均极差 $\bar{R}$

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^n R_j / N$$

3. 标准偏差 (σ)

$$S = \bar{R} / d_2$$

d_2 值见表 5-1 ($n=5$ 的情形), N 为组数

表 5-1 d_2 系数表

N	d_2	N	d_2
1	2.474	8	2.346
2	2.405	10	2.342
3	2.379	11	2.339
5	2.358	20	2.334
6	2.353	∞	2.326

二、标准偏差

标准偏差表示过程偏离标准的程度。6Sigma 也称 6 个标准偏差。

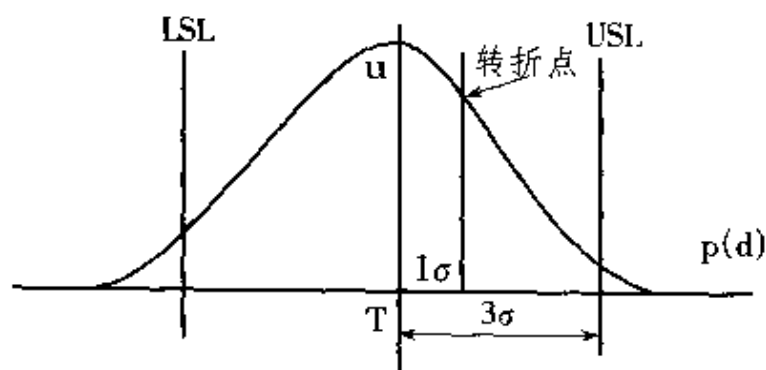


图 5-7 标准偏差图示

USL: 上规格界限

T: 规格

LSL: 下规格界限

μ : 平均值

σ : 标准偏差

$$\text{总体平均值 } \mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

$$\text{总体标准差 } \sigma = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N}}$$

$$\text{样本平均值 } \hat{\mu} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

$$\text{样本标准偏差 } \hat{\sigma} = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

三、方差

方差是数据与平均值的偏差程度。

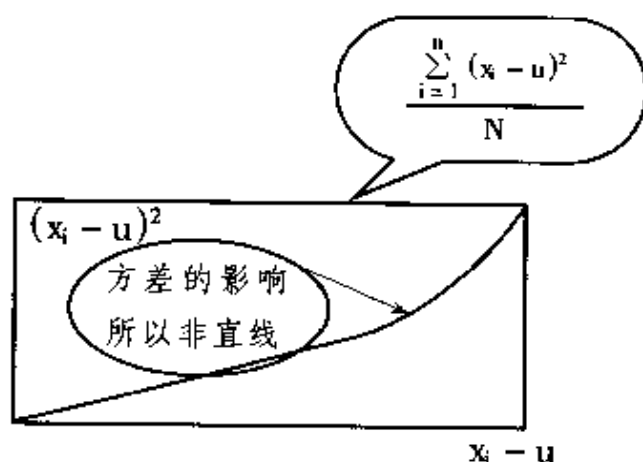


图 5-8 方差影响图示

四、自由度

$$\sigma = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

n 个数的自由度为 $n-1$

五、样本大小的影响

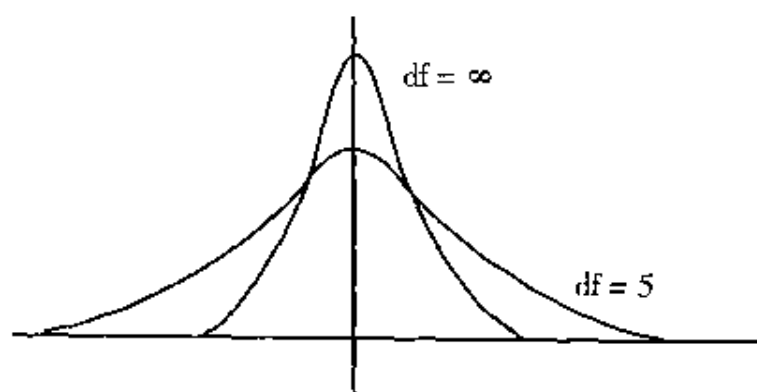


图 5-9 样本大小对标准偏差的影响

六、应用实例 1

一个工程师作一些产品性能方面的测量叫“y”，每小时测一次，收集数据的区间为 AM8:00-AM12:00，工程师准备计算出 y 数据的标准偏差。

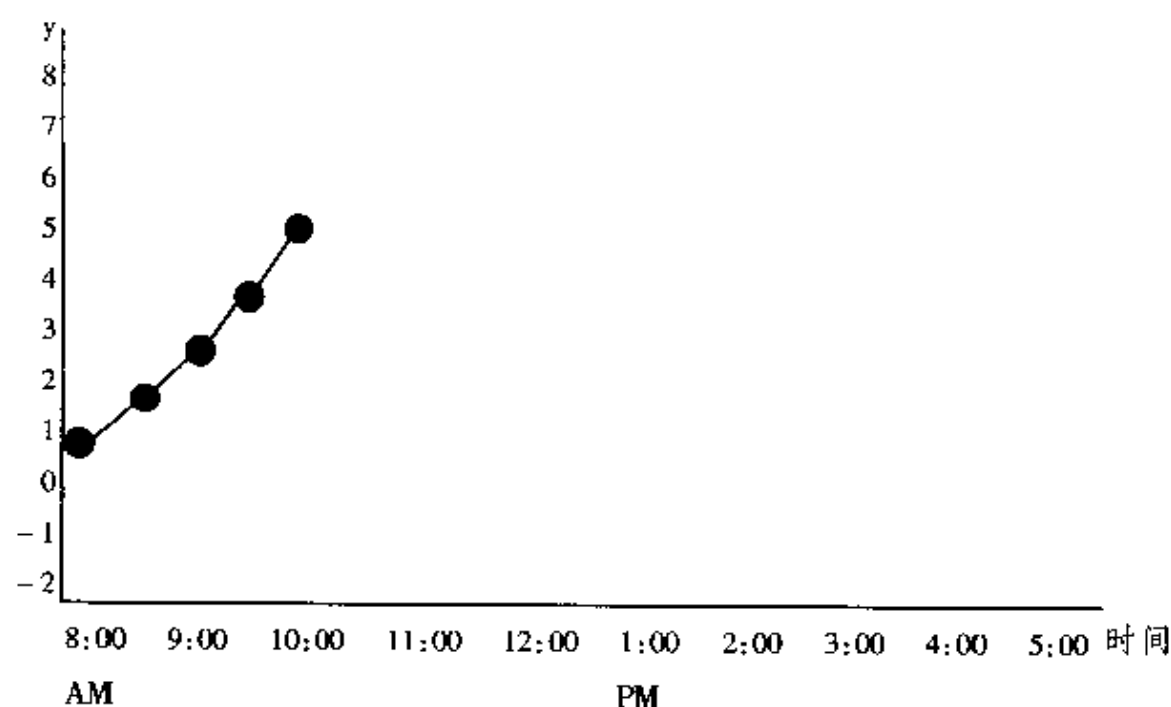


图 5-10 测量值 y 与时间关系图

计算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

y	y - $\bar{y}$	(y - $\bar{y}$) ²
1.0	-2.0	4.0
2.0	-1.0	1.0
3.0	0.0	0.0
4.0	1.0	1.0
5.0	2.0	4.0
$\sum$	0	10.0
Avg = 平均值		2.00
Var = 方差		2.50
Std.Dev = 标准偏差		1.50

七、应用实例 2

某产品工程师测得一批工件的长度尺寸如下，求标准偏差。

表 5-2 测量数据表

75	80	75	65	70
85	70	70	85	70
60	80	80	80	65
80	75	75	70	85
70	75	75	75	85
80	55	70	70	85
65	70	80	75	65
75	85	90	80	65
70	75	75	80	80
75	95	90	80	65

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

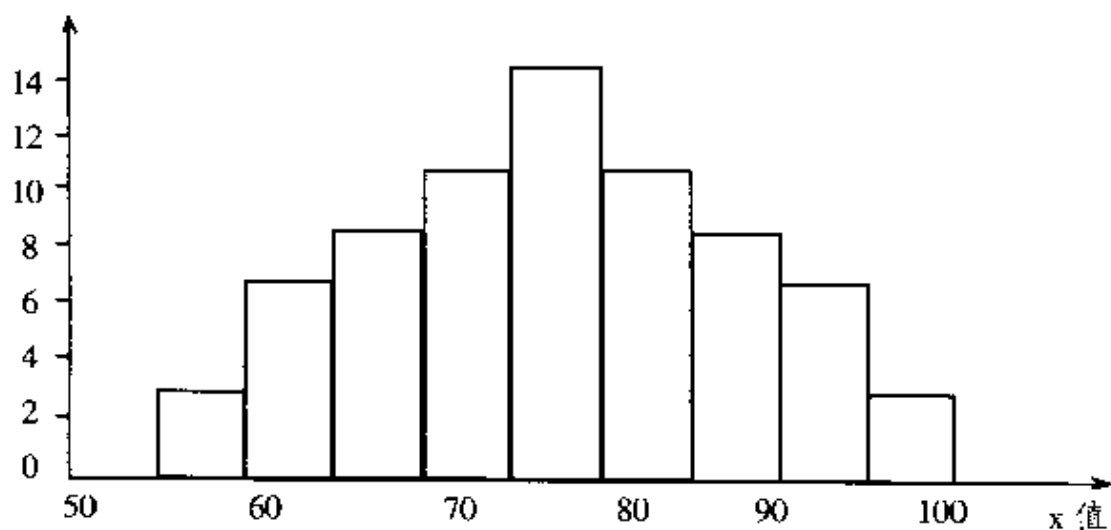


图 5-11 直方图

$n = 50$

平均数 (Mean) = 75

中位数 (Median) = 75

标准差 (Standard Deviation) = 8.3299

极差 (Range) = 40

方差 (Variance) = 69.388

最小值 (Minimum) = 55

最大值 (Maximum) = 95

八、应用实例 3

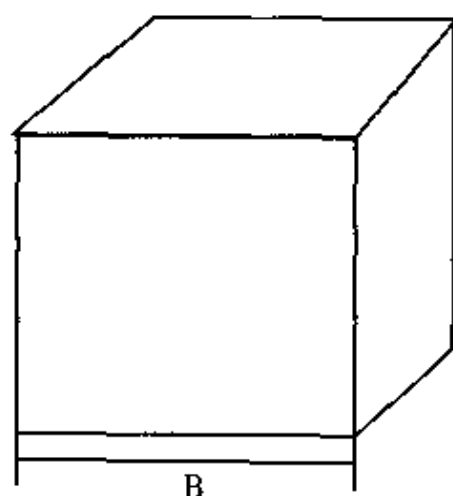
某工程师为了解某加工过程的能力而测量被加工零件的尺寸 B (见图 5-12), 其规格为 1.240 ± 0.003 , 每小时抽 5 个零件, 共抽样 20 次, 测得零件的尺寸 B 如表 5-3:

表 5-3 工件尺寸数据表

g	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	R	Std. Dev
1	1.242	1.239	1.239	1.242	1.240	0.003	0.001516575
2	1.238	1.238	1.237	1.238	1.238	0.001	0.000447214
3	1.235	1.237	1.238	1.239	1.237	0.004	0.00148324
4	1.237	1.239	1.239	1.237	1.236	0.003	0.001341641
5	1.239	1.241	1.241	1.241	1.240	0.002	0.000894427
6	1.238	1.242	1.242	1.238	1.241	0.004	0.00204939
7	1.241	1.237	1.238	1.239	1.242	0.005	0.002073644
8	1.238	1.237	1.239	1.237	1.241	0.004	0.00167332
9	1.239	1.238	1.241	1.239	1.237	0.004	0.00148324
10	1.237	1.239	1.238	1.238	1.238	0.002	0.000707107
11	1.238	1.241	1.237	1.238	1.237	0.004	0.001643168

续表

g	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	R	Std. Dev
12	1.238	1.239	1.241	1.237	1.238	0.004	0.001516575
13	1.241	1.241	1.242	1.241	1.239	0.003	0.001095445
14	1.242	1.242	1.238	1.242	1.238	0.004	0.00219089
15	1.236	1.238	1.239	1.243	1.241	0.007	0.002701851
16	1.237	1.239	1.238	1.238	1.241	0.004	0.001516575
17	1.242	1.238	1.241	1.237	1.242	0.005	0.002345208
18	1.238	1.237	1.239	1.239	1.241	0.004	0.00148324
19	1.239	1.239	1.238	1.238	1.238	0.001	0.000547723
20	1.242	1.239	1.241	1.237	1.239	0.005	0.001949359



$$B = 1.240 \pm 0.003$$

图 5-12 工件尺寸图

数据分析结果如下：

平均值 (Mean) = 1.23905

标准偏差 (Std. Dev) = 0.001805575

频数 (Count) = 100

最小值 (Minimum) = 1.2350

最大值 (Maximum) = 1.2430

方差 (Variance) = $3.2601\text{E} - 06 = 3.26 \times 10^{-6}$

极差 (Range) = 0.0080

和 (Sum) = 123.905

平方和 (Sum Squares) = 153.524813

中位数 (Median) = 1.2390

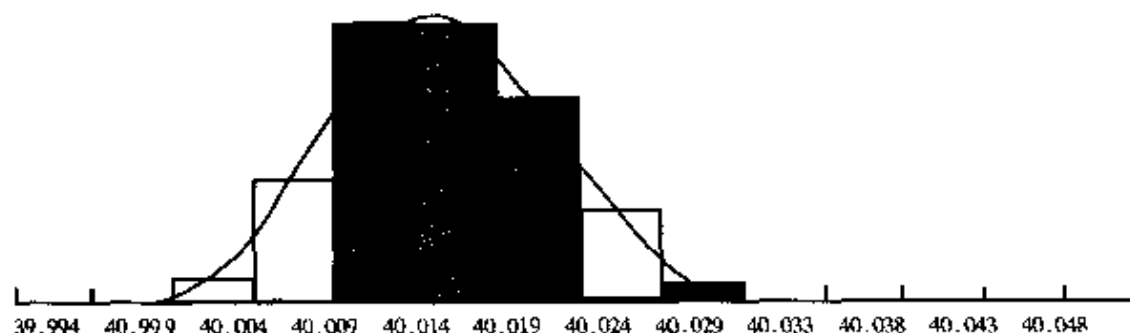


图 5-13 工件尺寸分布直方图

第三节 直方图

一、直方图

直方图用以描述过程分布中心（准确度）及分布状况（精密度）与规格的关系。

直方图的中心高度是在给定区间观测值的最大平均高度。

直方图的总宽度是过程能力的最小值，这个范围覆盖过程的整个时间过程。

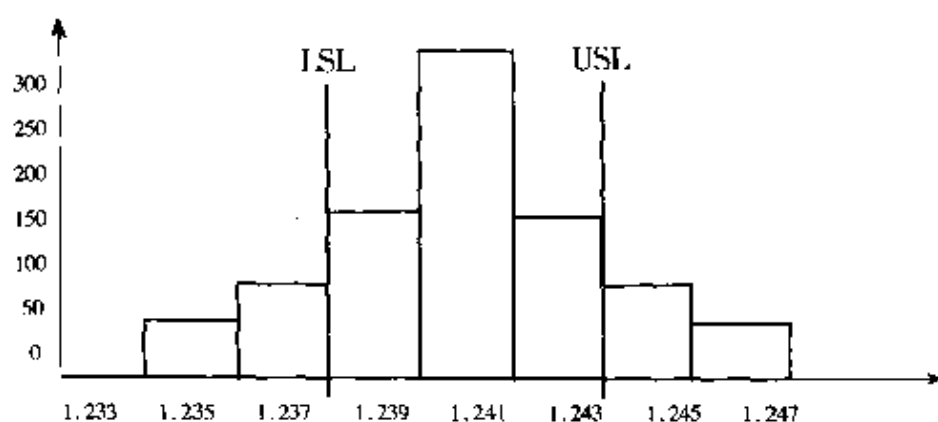


图 5-14 直方图

如某过程生产了 1000 个零件，22 个零件超出上限 USL，31 个零件小于下限 LSL，53 个零件中有 12 个零件报废。

坏品率是 $53/1000 = 0.053$

此过程的合格率是 $1 - 0.053 = 0.947$ 或 94.7%

二、过程的自然变化

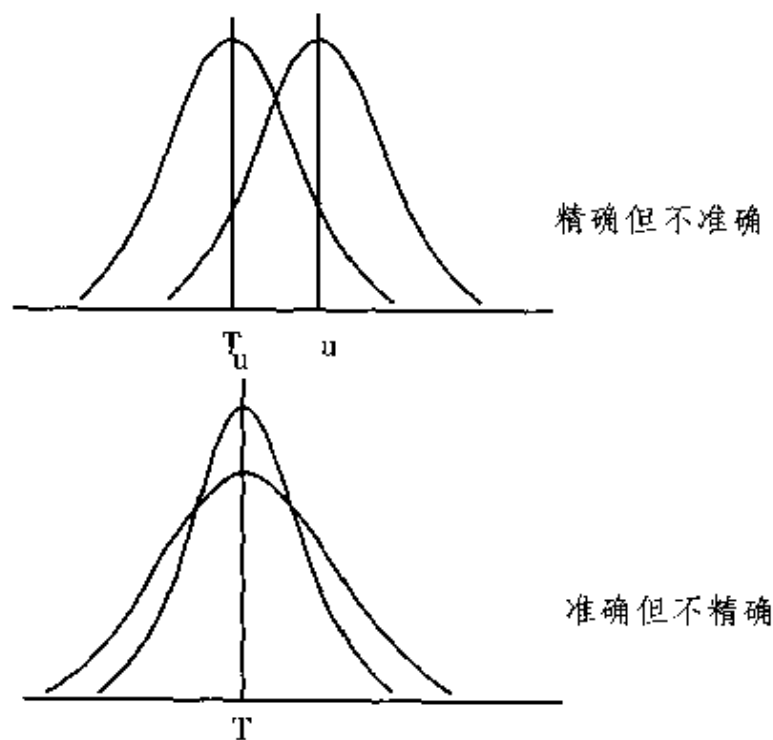


图 5-15 过程与实际的偏差

三、过程的准确宽度不依赖于设计宽度，另一方面，制造精度不会决定设计标准

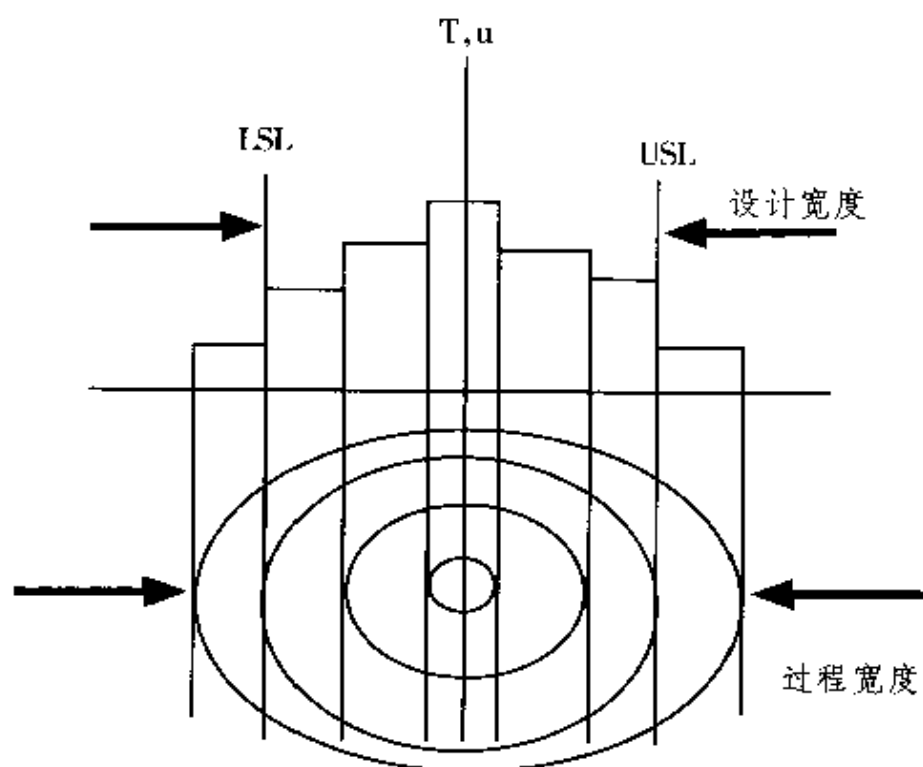


图 5-16 过程的精确度图示

四、过程的精确度

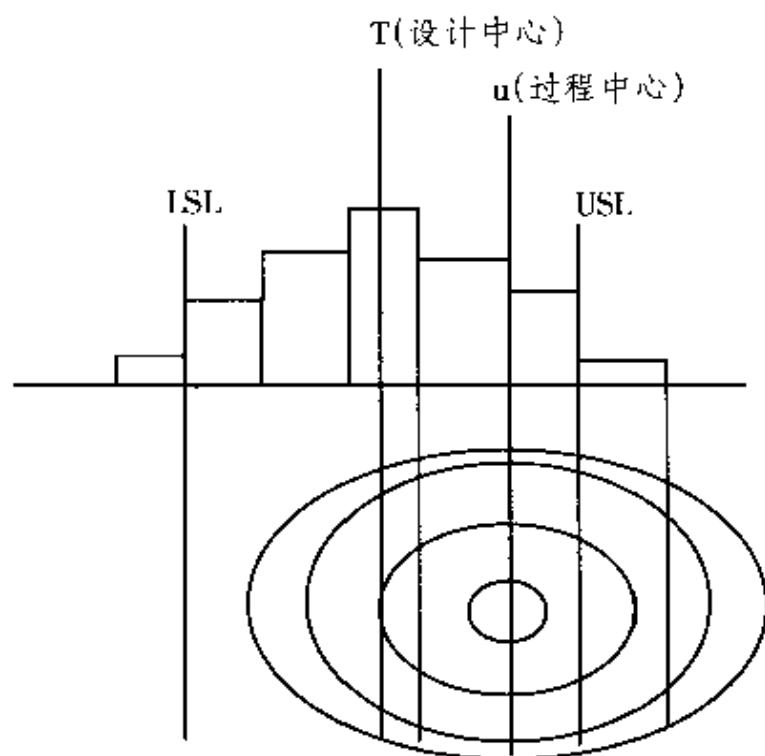


图 5-17 过程的准确度图示

从图 5-17 可以看出，过程中心 u 不依赖于设计中心 T ，另一方面，过程的重复再现能力不依赖于设计标准。

第四节 F - 检验

一、F - 检验方法

F - 检验法是判别两个总体方差是否相等的一种方法。如两个过程差异情况的判别，步骤如下：

1. 从要比较的两个分布中随机抽取样本并计算方差

2. 计算出 F 值的比率 $F_{\text{calc}} = (\sigma_1/\sigma_2)^2$

3. 计算出每一个样本的自由度 (degree of freedom)

当样本大小为 N 时, 其自由度 = $N - 1$

4. 根据判断确定该偏差的风险度水平, 通常设定为 5%

5. 根据风险度水平和样本的自由度大小, 查 F 分布表, 决定临界值 F_{crit}

6. 比较计算值 F_{calc} 与临界值 F_{crit}

如果 $F_{\text{calc}} < F_{\text{crit}}$, 接受零假设 H_0 , 即方差来自两个分布相同的样本, 如果 $F_{\text{calc}} > F_{\text{crit}}$, 拒绝零假设 H_0 , 即这两个样本有不同的方差。

二、应用实例

某 CNC 加工中心在镗孔换刀具前后测得其加工后的尺寸为:

A	35.1	35.2	35.3	35.4	35.2	35.3
B	35.4	35.3	35.4	35.2	35.3	35.4

问: 换刀具前后过程是否发生了变化?

1. 零假设 $H_0: \sigma_A = \sigma_B$

2. 计算 $F_{\text{calc}} = \sigma_A/\sigma_B = 0.104881/0.08165 = 1.28$

3. 根据风险度水平和自由度大小, 查 F 分布表得:

$F_{\text{crit}} = f_{0.95}(5, 5) = 5.05$

注: 上式中 0.95 为风险水平为 5% 时的置信度。

4. 由于 $F_{\text{calc}} = 1.28 < F_{\text{crit}} = 5.05$ 接受零假设 H_0 , 即换刀具前后

过程没有发生变化。

第五节 t-检验

一、t-检验

t-检验用于比较两个平均值的分布，t-检验可以验证过程改变前后平均值的变化情况。

二、t-检验的注意事项

1. t-检验是假定两个分布的平均值是相等的
2. 在需要改变过程，并需判断过程改变后，结果是否也有改变时，可运用 t-检验
3. 如果实验样本数大于 30，可以用 Z 变换代替 t-检验
4. 特别要注意样本数增加或改变对检验结果的影响

三、t-检验方法

1. 从要进行比较的样本中随机抽取样本
2. 计算每一个样本的平均值 $\bar{x}$ ，标准偏差 σ
3. 计算每一个置信度区间

$$\text{置信度} = \bar{x} \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

n 是样本数量，t 从 t-检验表中得出，通常以 95% 的置信度水平获得

4. 作出两样本的置信度区间, 如果重合, 样本有 95% 的可能来自总体样本。换言之, 可接受零假设 H_0 , 即平均值没有显著变异

5. 可供选择的方法

我们也可计算出 t_{calc} 与临界值 (t_{crit}) 进行比较。如果 $t_{\text{calc}} < t_{\text{crit}}$, 则我们接受零假设 H_0 。

四、应用实例

某过程服从 $N(500, \sigma^2)$ 的正态分布, 现测得过程的实际状况为 498, 502, 496, 503, 498, 问现在过程是否正常?

1. $H_0: \mu = 500$, 对 $H_1: \mu < 500$

2. 计算得 $\bar{x} = 499.4$, $\sigma = 2.65$

$$t = [(\bar{x} - \mu_0) / \sigma] \sqrt{n} = [(499.4 - 500) / 2.65] \times \sqrt{5} \\ = -0.59568$$

3. 查 t 分布表 $t_{0.95}(5) = 2.015$, 接受域为 $[-\infty, -2.015]$

4. 由于 $t_{\text{calc}} = -0.59568 > -2.015$, 拒绝零假设, 即过程发生了显著变化。

第六节 χ^2 - 检验

一、 χ^2 - 拟合优度检验

1. X^2 - 拟合优度检验

X^2 - 拟合优度检验用以确定被检验样本是否符合某种假定的分布。被假定分布可以是正态分布、二项分布、泊松分布、维泊尔分布等。

2. X^2 - 拟合优度检验的基本方法

(1) X^2 - 拟合优度检验的零假设为 H_0 ，即样本的数据符合假定的分布。

(2) 将样本的数据分成几个区间，然后用 X^2 - 检验去比较区间观察的频率与希望出现的频率在假定的区间是否一致。

3. X^2 - 拟合优度检验的基本步骤

(1) 将样本数据分成几个区间并得到在此区间内观测到频率 f_{obs} 。

(2) 对于此区间，按设定假定分布计算出期望频率 f_{exp} 值。

(3) 对每一区间，计算出 f_{obs} 和 f_{exp} ，并列下表：

区间	f_{obs}	f_{exp}	$(f_{obs} - f_{exp})^2 / f_{exp}$
-	-	-	-

(4) 计算出 X^2_{calc} 值， $X^2_{calc} = \sum (f_{obs} - f_{exp})^2 / f_{exp}$ 。

(5) 根据区间数或数据计算出自由度

$df = \text{列数 (rows)} - 1$

(6) 确定 X^2_{crit} 临界值（根据自由度 df 的置信度水平 95% 查 X^2 分布表所得）。

(7) 比较计算值。若 $X^2_{calc} < X^2_{crit}$ ，接受零假设，即样本数据适合假定分布，否则样本数据不适合假定分布。

二、 X^2 - 独立性检验

1. X^2 - 独立性检验

用于检验两个变量之间的互不相关性，即独立性。

2. X^2 - 独立性检验的基本方法

(1) X^2 - 检验的零假设为 H_0 ，即两个变量关系是独立的。

(2) 将相关两个变量的数据放到列联表中，并将观测值 (observed frequency) 和期望值 (expected frequency) 也记录于表中。

(3) X^2 检验能够检验两个变量之间的独立性，但变量的连续数据必须转变成不连续的数据，如高/低或 pass/fail 等，对于连续数据，检验其相关性的最好方法是回归分析 (Regression analysis)。

3. 如何做 X^2 - 独立性检验

(1) 选择两个变量作研究。例如高度和重量，建立零假设 H_0 ，即高度和重量是两个独立的变量。

(2) 对每一个因子选择两个条件：

重量 $H_i > 140$ 磅 $L_o < 140$ 磅

高度 $H_i > 5$ 码 $L_o < 5$ 码

(3) 建立 2×2 列联表，计算各数据：

		高 度		总计行
		Lo	Hi	
重量	Hi	$F_{obs} = 9$	$F_{obs} = 2$	11
	Lo	$F_{obs} = 4$	$F_{obs} = 7$	11
总计列		13	9	22

(4) 计算 $f_{exp_{ij}} = \frac{(\text{Row Total})_i \cdot (\text{Column Total})_j}{N}$

N 是 4 层

对于此例 $N = 22$

$$f_{\text{exp}}(1, 1) = 11 \times 13/22 = 6.5$$

$$f_{\text{exp}}(1, 2) = 11 \times 9/22 = 4.5$$

$$f_{\text{exp}}(2, 1) = 11 \times 13/22 = 6.5$$

$$f_{\text{exp}}(2, 2) = 11 \times 9/22 = 4.5$$

(5) 计算 X^2_{calc}

$$X^2_{\text{calc}} = \sum (f_{\text{obs}} - f_{\text{exp}})^2 / f_{\text{exp}} = (6.5 - 9)^2 / 6.5 + (4 - 6.5)^2 / 6.5 + (2 - 4.5)^2 / 4.5 + (7 - 4.5)^2 / 4.5 = 4.7$$

(6) 计算自由度 df

$$\text{df} = (\text{Rows} - 1) \times (\text{columns} - 1)$$

对于此例 $\text{df} = 1$

(7) X^2_{crit} 临界值, 查表 $X^2_{\text{crit}} = 0.00393$

($\text{df} = 1$, 通常 5% 风险)

(8) 如果 $X^2_{\text{calc}} < X^2_{\text{crit}}$, 接受零假设, 即重量独立于高度, 否则, 拒绝 H_0 。此例中, 我们拒绝 H_0 , 即重量不能独立于高度而存在。

第七节 样本大小 (假定测试表)

一、样本大小 (Sample Size)

测试因子灵敏度 (比例) 依靠样本大小。

二、样本大小的作用

样本大小必须选择 α 和 β 风险系数与总的偏移值 (δ/σ), 以观

察到实际影响。

三、应用方法

1. 确定总的测试灵敏度及 δ/σ
2. 确定可接受的 α 和 β 风险系数
3. 根据 δ/σ , α 和 β 系数, 查样本表以确定样本大小

例如: 假定影响的程度不知道, 但要知道 δ (delta) 和 σ (sigma), 现在 $\delta/\sigma = 1$ 的情形下确立对因子的实际影响, 如 $\alpha = 5\%$, $\beta = 10\%$, 查表后我们需要 21 个样本, 切记我们需要用 21 个样本对每一个因子进行检验, 总之需满足这个 δ/σ 对应的样本数的要求。

第八节 回归分析

一、回归分析

一元线性回归分析是研究自变量 (重要因子 x_1 和 x_2) 与因变量 Y 的关系

$$Y = Ax_1 + Bx_2 + \text{常数}$$

(注意: 开始可用散布图验证数据)

二、线性方程

也可以用线性方程来决定 x_1 和 x_2 的误差对期望的因变量 Δy 的影响:

$$\Delta y = A\Delta x_1 + B\Delta x_2$$

三、用统计软件 MINITAB 作成线性回归

1. 收集样本或变量的数据
2. 将数据用于 MINITAB 回归分析表 STAT > PLOT
3. 建立回归方程，用 STAT > REGRESSION > FITTED LINE POT
4. 解释回归方程或计算 R^2 值
5. 验证残差 (Residuals)

RUN STAT > REGRESSION > RESIDUAL PLOTS

第六章

6 Sigma 分析方法

- 第一节 多变量分析
- 第二节 卡方分析
- 第三节 最坏情况分析
- 第四节 蒙特卡罗分析
- 第五节 总平方根分析
- 第六节 风险分析

第一节 多变量分析

运用多因子分析可监督控制过程的变动情况，收集大量的数据可判断当前的运作情况，分析因变量（结果）与自变量（过程中的作用因子）间的相互作用关系，研究自然或人为的变异以及过程对生产的影响。

一、因子组成体系

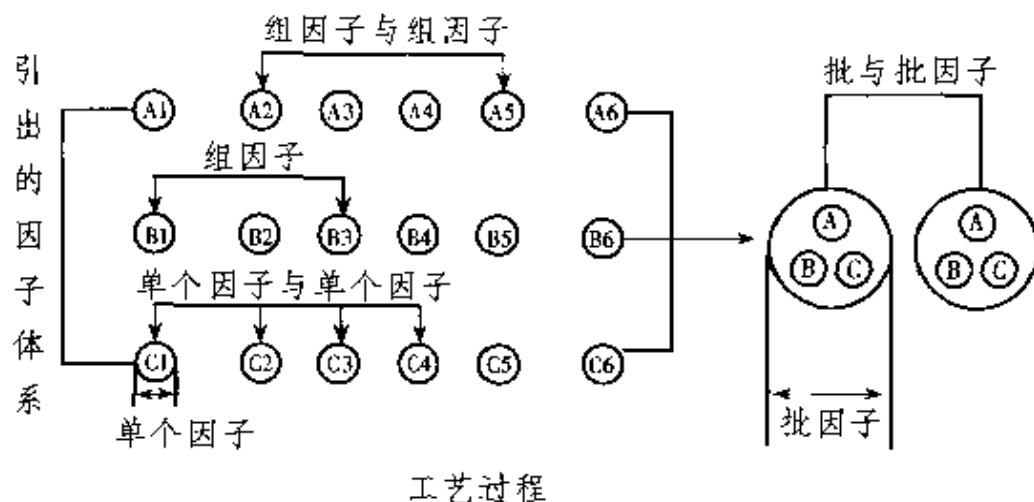


图 6-1 因子组成图示

二、界定多因子问题

首先要界定 A 代表什么，B 代表什么，C 代表什么，其次要确定测试频率（每隔多少时间测量一次）。

三、应用实例

某工程师每 2 小时在 10 条生产线连续测量 3 个零件，测得数据如表 6-1，试作多因子分析以确定零件、时间及加工地点对生产的影响。

1. 记录测量数据（每 2 小时连续测量 3 个零件）

表 6-1 多因子分析测量数据表

	Time1			Time2			Time3		
地点	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉
1	53.3	63.1	52.9	59.9	21.8	42.8	37.2	42.0	21.9
2	37.3	70.5	54.1	45.6	45.7	28.0	7.5	42.3	32.9
3	47.9	91.1	46.9	47.7	21.3	28.4	39.2	27.0	27.0
4	52.5	79.8	46.3	57.7	42.9	34.6	25.2	60.7	38.9
5	63.4	77.7	38.0	66.5	22.8	26.9	6.0	43.6	51.1
6	39.1	65.5	46.6	52.5	54.7	46.0	40.0	52.2	33.6
7	68.0	86.2	30.5	57.4	18.4	41.0	12.4	57.9	37.7
8	43.8	62.6	44.9	49.1	26.8	24.7	21.8	44.5	24.1
9	54.6	57.1	49.4	54.0	40.8	45.0	9.9	54.8	48.9
10	51.6	66.9	34.7	59.6	42.5	19.5	28.6	43.2	49.3
最小值	37.3	57.1	30.5	45.6	18.4	19.5	6.0	27.0	21.9
最大值	68.0	86.2	54.1	66.5	54.7	46.0	40.0	60.7	51.1
极 差	30.7	29.1	23.5	20.9	36.3	26.5	34.0	33.7	29.3
平均值	51.1	71.0	44.4	55.0	33.8	33.7	22.8	46.8	36.5
标准差	9.7	9.6	7.7	6.5	12.9	9.5	13.3	9.9	10.6

注：每一列代表一个零件的数据。

2. 绘出数据图

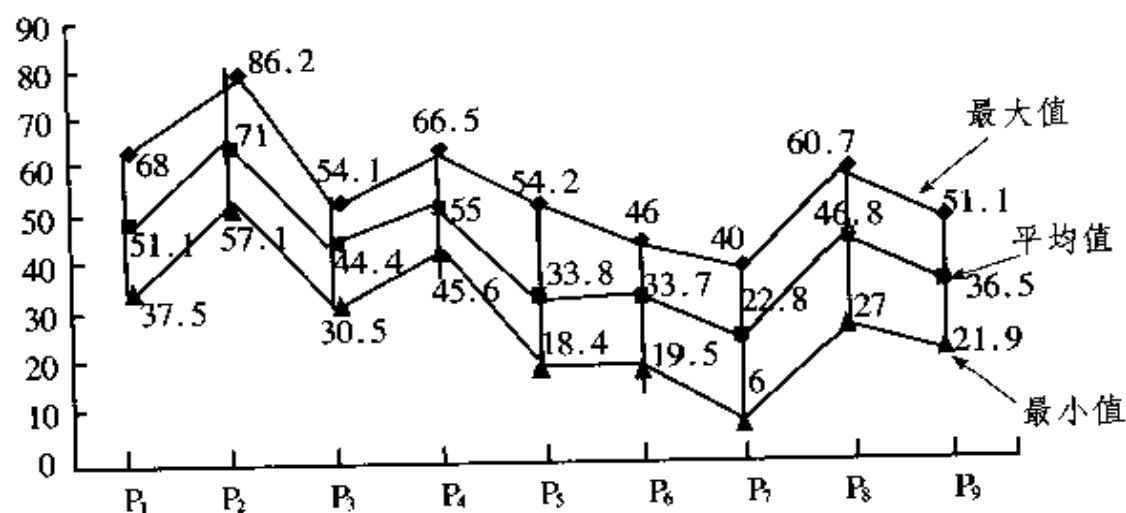


图 6-2 因子分布图

3. 应用统计技术工具分析

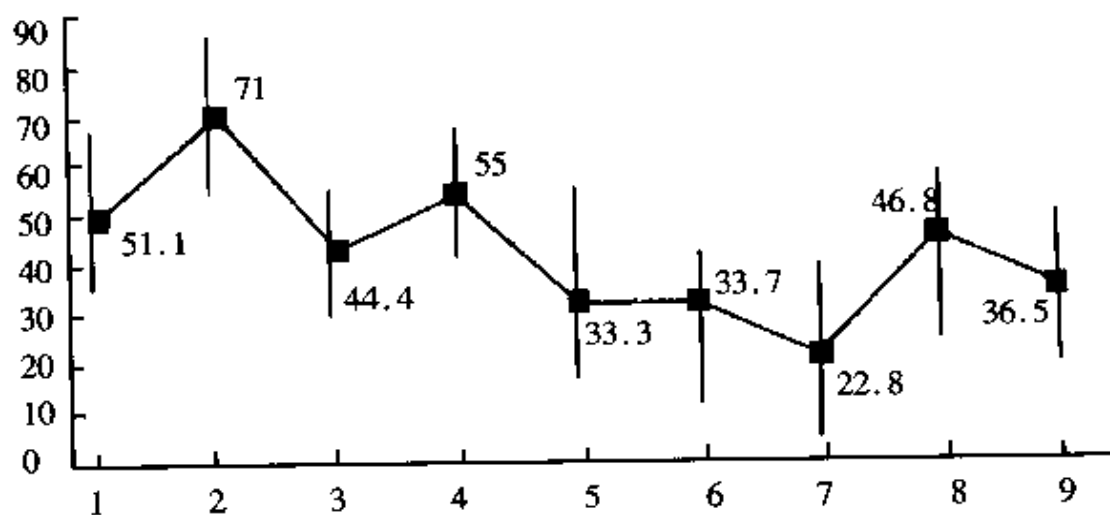


图 6-3 零件影响图

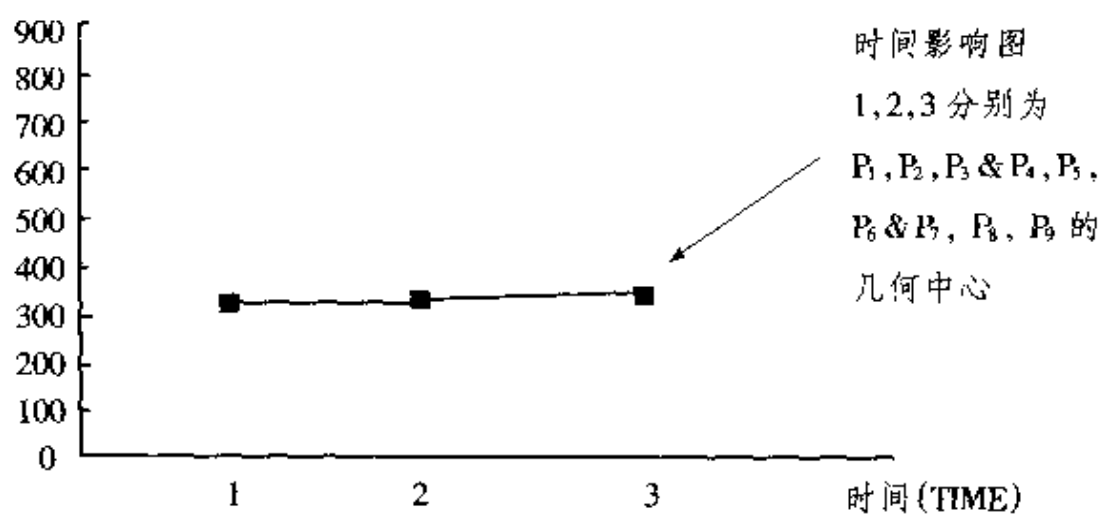


图 6-4 时间影响图

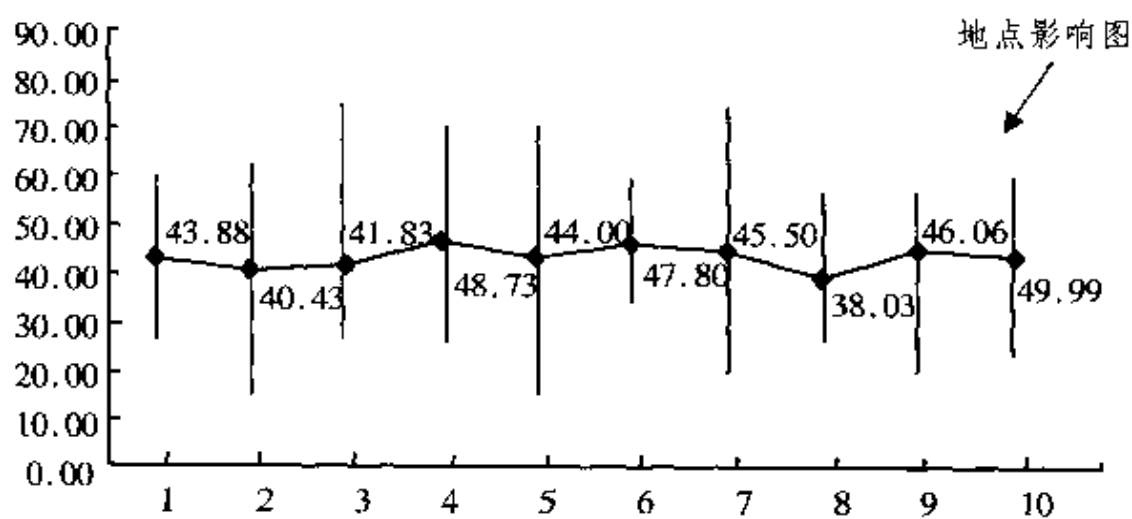


图 6-5 地点影响图

4. 计算各相关部分的影响 (用方差分析法所得)

方差来源 Source	df	Sum of Square	Mean Square	F - value	P - value
零件 Part	8	16279.524	2034.940	19.679	0.0001
残差 Residual	81	8377.188	103.422		

因变量 Dependent; 测量 measurement

方差来源 Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F - value	P - value
时间 Time	2	6519.717	3259.859	15.637	0.0001
残差 Residual	87	18136.994	208.471		

因变量 Dependent: 测量 measurement

方差来源 Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F - value	P - value
地点 Location	9	922.009	102.445	0.345	0.9567
残差 Residual	80	23734.702	296.684		

因变量 Dependent: 测量 measurement

注: df: 自由度

Sum of Square: 平方和

Mean Square: 均方和

F - value: 方差测试值

P - value: 可信度判定值

$$\text{零件 Part 部分影响比例} = 16279.524 \div (16279.524 + 6519.717 + 922.009) = 68.63\%$$

$$\text{时间 Time 部分影响比例} = 6519.717 \div (16279.524 + 6519.717 + 922.009) = 27.48\%$$

$$\text{地点 Location 部分影响比例} = 922.009 \div (16279.524 + 6519.717 + 922.009) = 3.89\%$$

第二节 卡方分析

一、用一枚硬币掷 100 次，观察到正面 65 次，反面 35 次，那么我们根据卡方公式

$$X^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

计算得出表 6-1：

表 6-2 卡方值分析表

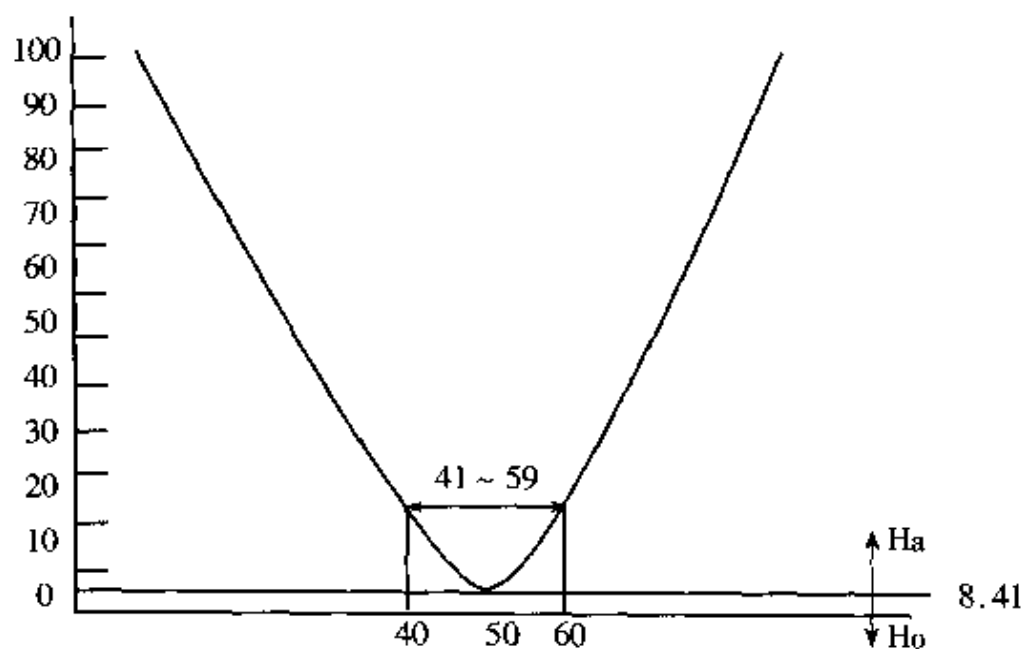
项目	observed (f_o)	expected (f_e)	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
正面	65	50	4.5
反面	35	50	4.5
卡方值 (X^2)			9.0

从上面的例子，我们知道其卡方值为 $X^2 = 9.0$ ，从理论上讲卡方分布是连续光滑的曲线，但实际却是不连续的，这是因为观测频率不同和存在偏差。特别情况 $df = 1$ ，最小偏差是 0.5，所以正确的卡方值是：

$$X^2 = \frac{(|65 - 50| - 0.5)^2}{50} + \frac{(|35 - 50| - 0.5)^2}{50} = 8.41$$

由于计算出卡方值 (8.41) 大于临界值 (3.841)，临界值以 $(1 - \alpha) \times 100\% = 95\%$ 的置信度 ($df = 1$) 查表得。这表明这些经验数据不适用。我们也可以说这枚硬币的厚度不均或重心是偏的。

上例的卡方分布曲线如图 6-6 所示。



卡方分布可作为测试

图 6-6 卡方分布曲线

二、卡方分布与散布图相关关系

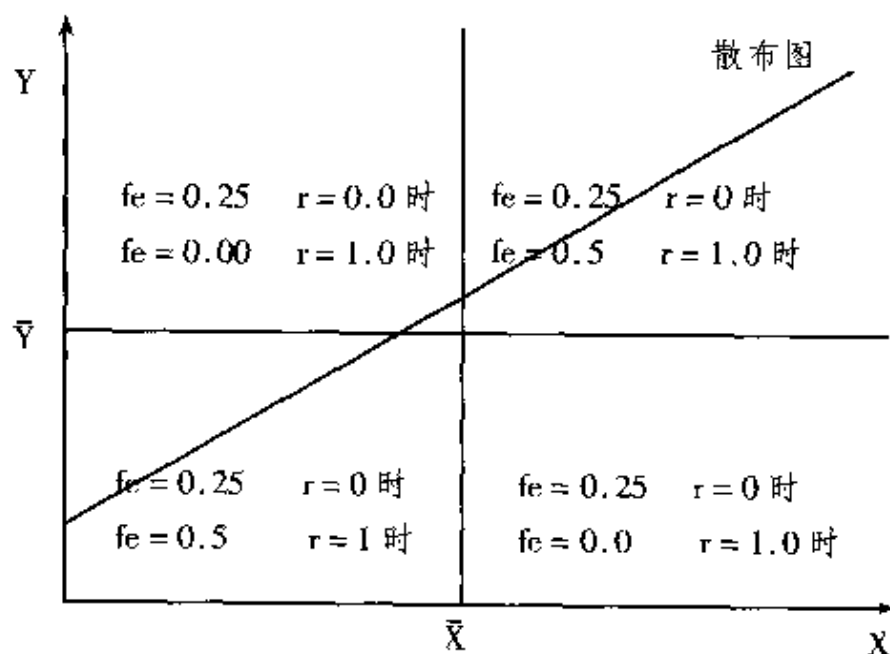


图 6-7 卡方分布与散布图的相关关系

例：有一组数据如表 6-3，试作卡方分析判断此数据是否服从正态分布。

表 6-3 数据表

75	80	75	65	70
85	70	70	85	70
60	80	80	80	65
80	75	75	70	85
70	75	75	75	85
80	55	70	70	85
65	70	80	75	65
75	85	90	80	65
70	75	75	80	80
75	75	90	60	65

以上数据可作如下转换：

表 6-4 卡方分析表 (1)

组 号	从：(>)	到：(<)	频数	%
1	-3	-2.325	1	2%
2	-2.325	-1.65	2	4%
3	-1.65	-0.975	6	12%
4	-0.975	-0.3	10	20%
5	-0.3	0.375	12	24%
6	0.375	1.05	10	20%
7	1.05	1.725	6	12%
8	1.725	2.4	2	4%
9	2.4	3.075	1	2%
10	3.075	3.75	0	0%

表 6-5 卡方分析表 (2)

组 号	从	到	从	到	实际区间	期望频数 (E)	观察频数 (O)	$\frac{(O-E)^2}{E}$
1	-3.000	-2.3250	0.0013	0.0100	0.0087	0	1	0.000
2	-2.325	-1.6500	0.0100	0.0495	0.0394	2	2	0.000
3	-1.6500	-0.9750	0.0495	0.1648	0.1153	6	6	0.000
4	-0.9750	-0.3000	0.1648	0.3821	0.2173	11	10	0.091
5	-0.3000	0.3750	0.1179	0.1462	0.2641	13	12	0.077
6	0.3750	1.0500	0.3538	0.1469	0.2070	10	10	0.000
7	1.0500	1.7250	0.1469	0.0423	0.1046	5	6	0.200
8	1.7250	2.4000	0.0423	0.0082	0.0341	2	2	0.000
9	2.400	3.0750	0.0082	0.0011	0.0071	0	1	0.000
10	3.0750	3.7500	0.0011	0.0001	0.0010	0	0	0.000

N = 50

卡方 = 0.368

表 6-6 卡方分析表 (3)

组 号	从	到	从	到	实际区间	期望频数 (E)	观察频数 (O)	$\frac{(O-E)^2}{E}$
1	3.0000	-1.6500	0.0013	0.0495	0.0481	2	3	0.500
2	-1.6500	-0.9750	0.0495	0.1648	0.1153	6	6	0.000
3	-0.9750	-0.30000	0.1648	0.3821	0.2173	11	10	0.091
4	-0.3000	0.3750	0.1179	0.1462	0.2641	13	12	0.077
5	0.3750	1.0500	0.3538	0.1469	0.2070	10	10	0.000
6	1.0500	1.7250	0.1469	0.0423	0.1046	5	6	0.200
7	1.7250	3.0750	0.0423	0.0011	0.0412	2	3	0.500

N = 50

卡方 = 1.368

因计算出卡方值 (1.368) 小于临界值 (12.592), 所以我们可以判定以上数据服从正态分布。

第三节 最坏情况分析

最坏情况可用于装配间隙的分析，用下式表示：

$$Q \leq Ne - Te - \sum_{i=1}^m (|N_{pi} + T_{pi}|)$$

$$Ne + Te - \sum_{i=1}^m (N_{pi} - T_{pi}) \leq R$$

N_{pi} : 第 i 个标称设计值

T_{pi} : 第 i 个标称设计值的规定公差

m : 总零件数

T : 半公差(公差之一半)

Ne : 机壳标称设计值

Te : 机壳设计公差

Q : 最小装配尺寸

R : 最大装配尺寸

最大和最小的装配间隙可用下式计算出：

$$G_{max} = Ne + Te - \sum_{i=1}^m (N_{pi} - T_{pi})$$

$$G_{min} = Ne - Te - \sum_{i=1}^m (N_{pi} + T_{pi})$$

$$G_{nom} = Ne - \sum_{i=1}^m N_{pi}$$

$$G_{nom} = \sum_{i=1}^m N_i V_i B_i$$

B_i = 径向尺寸，即实际直径值

V_i : 第 i 个标称尺寸

最坏情况分析也有其局限性，若每一个零件都有 $G \pm 3\sigma$ 的过程能力，则 Y_{FT} (first-time yield) = 0.9973，坏品率是 0.0027，那么装配 5 个零件可能出现良品的概率为：

$$P_{wc} = Y_{FT}^n = 0.9973^5 = 0.986572703$$

σ 与正态分布概率的关系见表 6-7。

表 6-7 σ 与正态分布概率的关系

$\pm \sigma$	68.26%
$\pm 2\sigma$	95.46%
$\pm 3\sigma$	99.73%
$\pm 4\sigma$	99.9937%
$\pm 5\sigma$	99.999943%
$\pm 6\sigma$	99.9999998%

第四节 蒙特卡罗分析

一、蒙特卡罗分析

蒙特卡罗分析是通过对过程的分布进行分析使我们了解目前过程的实际状况及过程能力的一种方法。

二、分析实例

一个装配环中装有 4 个零件，已知装配环尺寸为 $4.976 \pm 0.003\text{in}$ ，每一个零件尺寸为 $1.240 \pm 0.003\text{in}$ ，怎样的加工能力才能保证其装配的要求呢？我们用蒙特卡罗分析建立其数学模型。

假定装配环和 4 个零部件的加工尺寸服从正态分布。其 $\sigma =$

0.001in, $u = 4.976\text{in}$, $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = 1.240\text{in}$, 随机抽取一批加工零件进行测量, 其数据处理结果如表 6-8 所示:

表 6-8 数据表

项目	平均值	标准差	标准误差	频数	最小值	最大值
装配环	4.9762	0.0010	0.0002	30	4.9742	4.9779
零件 1	1.2399	0.0010	0.0002	30	1.2375	1.242
零件 2	1.2402	0.0009	0.0002	30	1.2385	1.2419
零件 3	1.2402	0.0013	0.0002	30	1.2378	1.2428
零件 4	1.2399	0.0008	0.0001	30	1.2384	1.2415
组装间隙	0.0160	0.0023	0.0004	30	0.0113	0.0209

矩阵运算结果如表 6-9 所示:

表 6-9 矩阵运算表

项目	装配环	零件 1	零件 2	零件 3	零件 4	组装间隙
装配环	1.000	0.082	-0.031	-0.250	0.235	0.475
零件 1	0.082	1.000	0.078	0.251	-0.088	-0.564
零件 2	-0.031	0.078	1.000	-0.213	-0.276	-0.214
零件 3	-0.250	0.251	-0.213	1.000	0.006	-0.726
零件 4	0.235	-0.088	-0.276	0.006	1.000	-0.094
组装间隙	0.475	-0.564	-0.214	-0.726	-0.094	1.000

表 6-10 蒙特卡罗分析表 (1)

计算项	均值	自由度	t 值	P 值	95% 下限	95% 上限
组装间隙	0.016007	29	0.016104	0.9873	0.1516	0.16853

间隙变差 $\text{Variance} = 0.000005$

表 6-11 蒙特卡罗分析表 (2)

计算项	方差	自由度	卡方值	P 值	95% 下限	95% 上限
组装间隙	0.000005	29	29.819733	0.8461	0.000004	0.000008

所以装配环间隙中心值 $\text{Mean} = 0.016$

第五节 总平方根分析

一、间隙 (Gap) 分析方法

传统的分析方法是经典逼近法。

如 $0.0150 = 0.003 + 0.003 + 0.003 + 0.003 + 0.003$

$$T_G = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \cdots + T_N^2}$$

总的平方根逼近式为：

$$0.0067 = \sqrt{0.003^2 + 0.003^2 + 0.003^2 + 0.003^2 + 0.003^2}$$

二、用 6σ 的方法

装配间隙分布如图 6-8 所示。

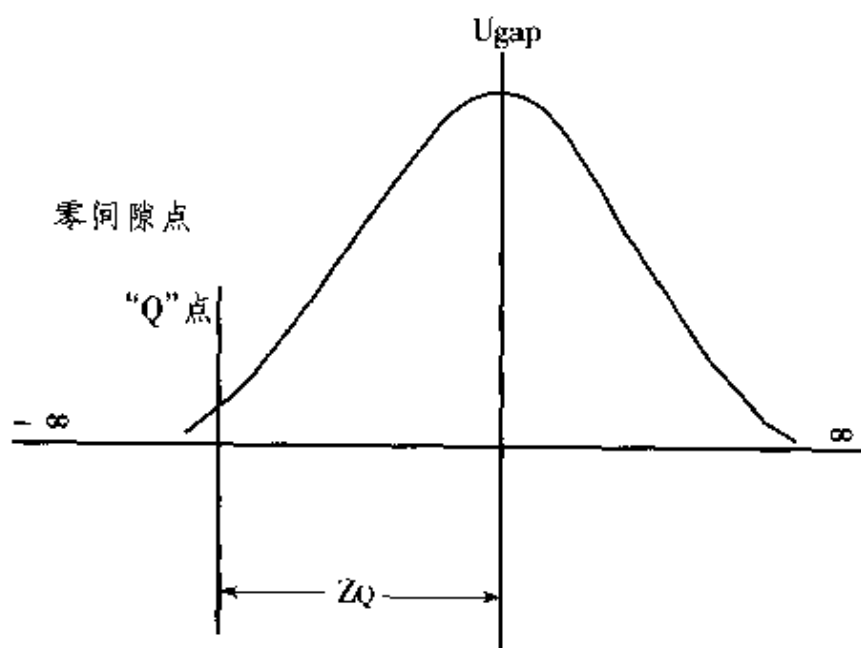


图 6-8 零件间隙分布

$$Z_Q = \frac{U_{Gap}}{\sigma_{Gap}} = \frac{U_E - U_{P_1} + U_{P_2} + U_{P_3} + U_{P_4}}{\sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2 + \sigma_{P_3}^2 + \sigma_{P_4}^2}}$$

U_{Gap} : 间隙的平均值

σ_{Gap} : 间隙的标准差

为使设计牢靠, 需计算间隙的变动和偏移。

$$Z_{FLT}^* = \frac{F - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m (U_{STij} + \alpha_{ij} Z_{shiftij} \sigma_{STij}) V_{ij} B_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m (C_{ij} \sigma_{STij})}}$$

$$Z_{FLT} = \frac{F - \sum_{i=1}^m (U_{STi} T_{\alpha i} Z_{shifti} \sigma_{STi}) V_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (C_{iSTi})^2}}$$

F : 装配约束

m : 矢量组成

U_{STi} : 短期过程平均

α_i : 过程平均值的矢量变换系数

Z_{shifti} : 过程平均的偏差值

V_i : 设计矢量

B_i : 径向矢量

σ_{STi} : 短期过程标准偏差

C_i : 长期过程的膨胀比

$$C = \frac{\sigma_{LT}}{\sigma_{ST}}$$

$$\lambda_1 = \sigma_{GLT} (Z_{FLT}^* - Z_{FLT})$$

$$U_{STadji} = U_{STi} + W_i \lambda_1$$

λ_1 : 总均值

σ_{GLT} : 间隙的标准偏差

Z_{FLT}^* : 目标 Sigma 值

Z_{FLT} : 计算出的 Sigma 值

U_{STi} : 优化的矢量平均值

λ_z : 权重系数

$$\lambda_z = \frac{(F - U_{GLT})^2}{Z_{FLT}^*} \sigma_{GLT}^2$$

$$\sigma_{STadj} = \sqrt{\frac{\sigma_{STi}^2 + W_i \lambda_z}{C_i^2}}$$

λ_z : 总方差

U_{GLT} : 长期间隙平均值

σ_{GLT} : 长期间隙变差

σ_{STadj} : 优化矢量的标准偏差

σ_{STi} : 原矢量的变差

C_i : 膨胀比值

W_i : 权数

第六节 风险分析

一、风险分析类似于总平方根分析方法

例如对 4 种产品进行总平方根分析, 如表 6-12 所示:

表 6-12 风险分析数据表

项目	目标成本值	最大风险成本	最大风险率
1	\$ 100	\$ 120	5%
2	\$ 100	\$ 120	5%
3	\$ 100	\$ 120	5%
4	\$ 100	\$ 120	5%

$Y = \$ 525$ (销售价格)

期望的利润: $\text{Gap} = \text{利润}$

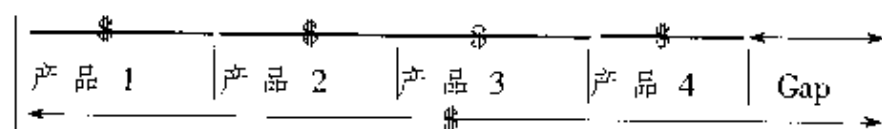


图 6-9 风险分析图示

Y 是实际销售值, 若 $T_1 = \$ 100$, $R_1 = \$ 120$, $P_1 = 5\%$, 那么查正态分布表可得:

$Z_1 = 1.645$, 如图 6-10 所示。

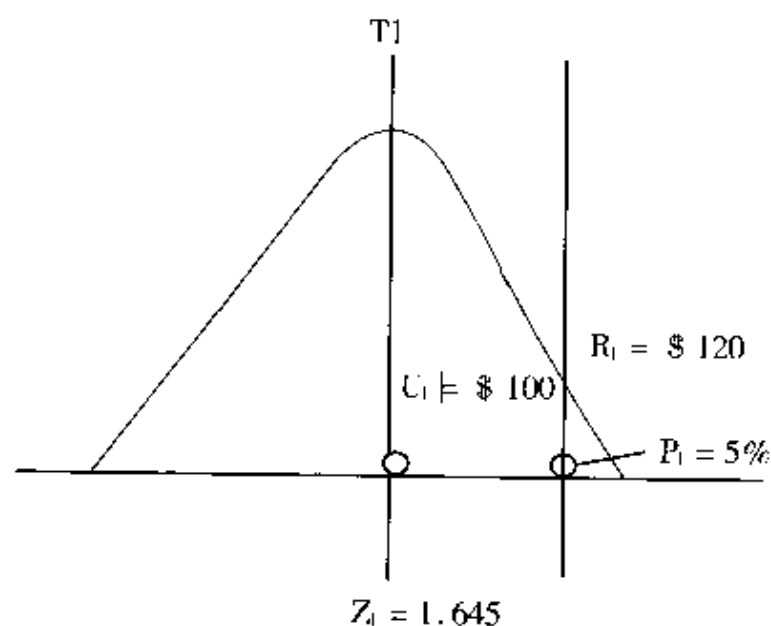


图 6-10 正态分布图示

$$\text{则 } \sigma_i = \frac{|R_i - U_i|}{Z_i}$$

其中： R_i 为各产品的最大风险成本

U_i 为各产品的目标成本值

Z_i 为各产品的能力值

二、Gap 分布

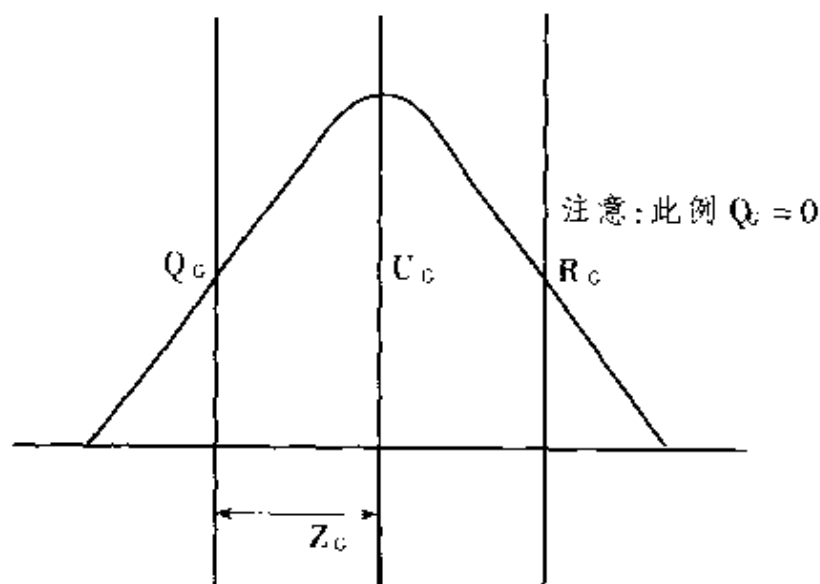


图 6-11 Gap 分析图示

$$U_G = F - \sum_{i=1}^m U_i$$

$$\sigma_G = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}$$

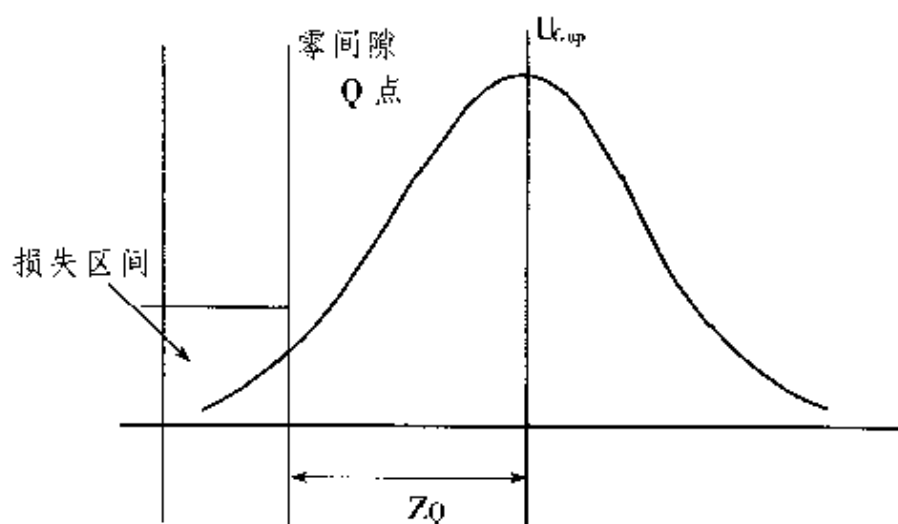
$$Z_G = \frac{Q_G - U_G}{\sigma_G}$$

Q_G : Gap 的下限值

R_G : Gap 的上限值

F : 总的目标值

评价超过 Q 点风险 (如图 6-12 所示)

图 6-12 Z_Q 分布图标

$$Z_Q = \frac{Q_0 - U_{gap}}{\sigma_{Gap}} = \frac{F - U_1 + U_2 + U_3 + U_4}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2}}$$

注： Q_0 为零间隙的 Q_C

三、上例分析结果

表 6-13

风险分析表

项目	销售价格	产品 1	产品 2	产品 3	产品 4	间隙	备注
+TOL		20	20	20	20		公差上限
期望值	525	100	100	100	100	125	
-TOL							公差下限
USL		-80	-80	-80	-80		规格上限
T	525	-100	-100	-100	-100	125	规格
LSL							规格下限
U_{sr}	525	100	100	100	100		短期均值
σ_{sr}		12.16	12.16	12.16	12.16	24.32	短期 σ 值
$\frac{g}{V}$	1	1	1	1	1	5	
Z_{shift}		1.5	1.5	1.5	1.5		标准偏移
α		1	1	1	1		
β	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
ε	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
ω		0.25	0.25	0.25	0.25	1.00	
δ		18.24	18.24	18.24	18.24		偏移量

续表

项目	销售价格	产品 1	产品 2	产品 3	产品 4	预算	备注
Ult	525	-118.24	-118.24	-118.24	-118.24		长期均值
Ucum.st	525	-100	-100	-100	-100	125	短期累积均值
Ucum.lt	525	-118.24	-118.24	-118.24	-118.24	52.04	长期累积均值
Var.st		147.87	147.87	147.87	147.87	591.46	短期方差
σlt		12.16	12.16	12.16	12.16	24.32	长期σ值
Var.lt		147.87	147.87	147.87	147.87	591.46	长期方差
σcum.st		12.16	12.16	12.16	12.16	24.32	短期累积σ值
Varcum.st		147.87	147.87	147.87	147.87	591.46	短期累积方差
σcum.lt		12.16	12.16	12.16	12.16	24.32	长期累积σ值
Varcum.lt		147.87	147.87	147.87	147.87	591.46	长期累积方差
Zusl.st		1.645	1.645	1.645	1.645		短期上限能力
Zisl.st							短期下限能力
Pisl.st		5.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}		短期超下限概率
Pusl.st							短期超上限概率
Ptol.st		5.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}		短期超规格概率
Ytl.st		95%	95%	95%	95%	81.4%	短期通过概率
Zusl.lt		0.145	0.145	0.145	0.145		长期上限能力
Zisl.lt							长期下限能力
Pisl.lt		4.42×10^{-1}	4.42×10^{-1}	4.42×10^{-1}	4.42×10^{-1}		长期超上限概率
Pisl.lt							长期超上限概率
Ptol.lt		4.42×10^{-1}	4.42×10^{-1}	4.42×10^{-1}	4.42×10^{-1}		长期超规格概率
Ytl.lt		55.8%	55.8%	55.8%	55.8%	9.7%	长期通过率
ZR.st							短期上限能力
ZQ.st						-5.14	短期下限能力
PR.st							短期超上限概率
PQ.st						1.46×10^{-7}	短期超下限概率
Ptotal.st						1.46×10^{-7}	短期超规格概率
ZR.lt							长期上限能力
ZQ.lt						1.62×10^{-2}	长期下限能力
PR.lt							长期超上限概率
PQ.lt						1.62×10^{-2}	长期超下限概率
Ptotal.lt							长期超规格概率
Zopt	-2.139803						优化的能力
Zdiff	-2.360197						能力差异
λ ₁	-57.4						总均值
λ ₂	-457.76025						总方差
σsr		5.78	5.78	5.78	5.78		短期σ
Usr		85.65	85.65	85.65	85.65		短期均值
CP		1.15	1.15	1.15	1.15		过程能力

第七章

6Sigma 品质改善策略

- 第一节 6Sigma 品质改善策略
- 第二节 实验设计 (DOE) 方法
- 第三节 单因子 DOE 设计案例
- 第四节 双因子 DOE 设计案例
- 第五节 多因子 DOE 设计案例
- 第六节 分部 DOE 设计案例

第一节 6Sigma 品质改善策略

一、实验设计 (DOE) 流程

实验设计 (DOE) 是 6Sigma 品质改善的利器。

通过“M-A-I-C”循环可达到品质改善之目的，图 7-1 表示它们之间的关系。

二、实验设计 (DOE) 分析

不同程度或分辨率 DOE 设计，对应不同产品设计要求。表 7-1 是 DOE 实验设计分级表。

表 7-1 DOE 实验设计分级表

ITEM	程度或分辨率等级	应用特点
Screening Designs 筛选 DOE 设计	III 级	1. 因子数较多 2. 两个水平
Characterization Designs 性能实验 DOE	IV 或 V 级	1. 因子数较少 2. 两个或两个以上水平
Optimization Designs 优化设计 DOE	V 或最高级	1. 两个或三个因子 2. 用精确的数学方法进行处理

三、实验设计 (DOE) 的意义

1. 实验设计的必要性

①优化因子水平，使之与制造工艺相适应。

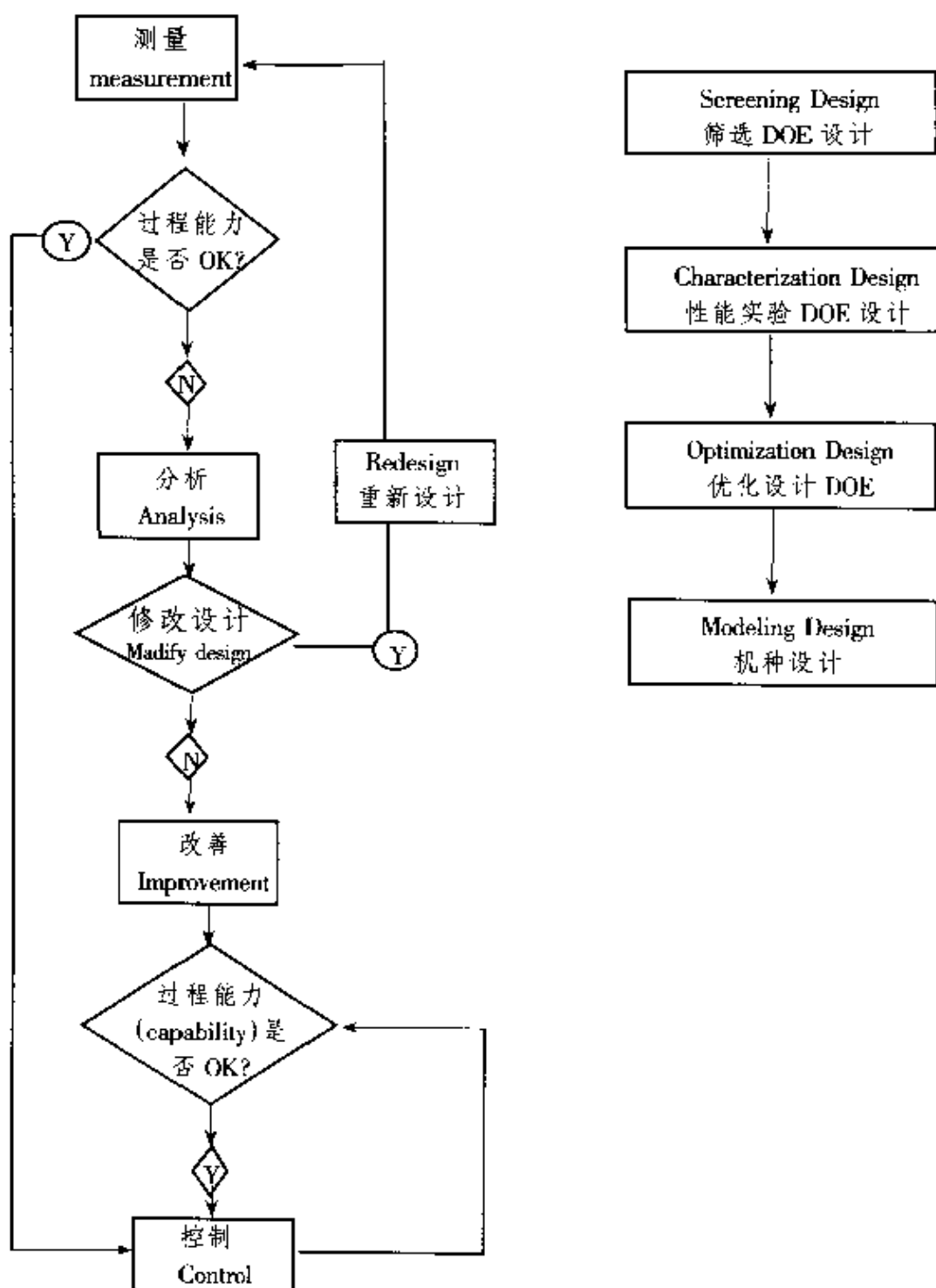


图 7-1 DOE 设计流程

②用于建立与原材料或部件制造有关的工艺，使其在规定的范围内。

- ③使设计的产品能够稳定或者牢靠运行于实际的环境中。
- ④减少总的工程设计周期。
- ⑤减少 ECN 的数量。
- ⑥改善产品性能、质量及成本，最大限度地满足客户要求。
- ⑦改善产品的可制造性。
- ⑧减少实际制造工艺中的问题。
- ⑨减少产品的检查和性能测试强度。

2. 实验设计的作用

表 7-2 实验设计的作用

基础研究 (Basic Research)	1. 发现相关问题 2. 明了技术要点
产品设计 (Product Design)	1. 灵敏度分析 2. 建立可靠的公差 3. 特征组件 4. 特征结构 5. 包括低成本组件 6. 包括低等级物料 7. 最小的变化 8. 性能的改善
工艺研发 (Process Development)	1. 变量研究 2. 变量的优化设置 3. 建立可靠公差 4. 发现降低成本的解决办法 5. 减少变化 6. 改善过程中心 7. 减少生产周期 8. 降低坏品率 9. 改善产品的可靠性

续表

基础研究 (Basic Research)	1. 发现相关问题 2. 明了技术要点
工艺改善 (Process Improvement)	1. 解决问题 2. 明了变量及过程之关系 3. 进行过程能力研究 4. 设备及方法比较
计量 (Metrology)	1. 进行测量系统研究 (GageR&R) 2. 判定误差的主要来源 3. 最小测量误差

四、实验设计 (DOE) 计划

1. 实验设计中需考虑的 60 个因素

- (1) 实验中包含的变量数或因子数
- (2) 判定误差引起的结果
- (3) 工序的稳定状况
- (4) 潜在因素影响程度
- (5) 非线性影响的可能性有多大
- (6) 均方差
- (7) 正态分布
- (8) 趋势、变动、周期对变量的影响
- (9) 实验时间的影响
- (10) 相关平均值
- (11) 错误数据的影响
- (12) 需要重复实验的次数

- (13) 样本标记和可判断性
- (14) 测量的精度
- (15) 抽样成本
- (16) 测试成本
- (17) 劳动力成本
- (18) 实验及其方向性影响
- (19) 抽样偏差
- (20) 混淆及其影响
- (21) 背景变量及其影响
- (22) 人为偏差（有意或无意）
- (23) 实验中包含仪器设备的影响
- (24) 重复性
- (25) 数据收集
- (26) 控制要求保持其有效性
- (27) 研究问题的知识
- (28) 主要因子影响程度比较
- (29) 实验误差
- (30) 测量影响
- (31) 测试灵敏度
- (32) 定义平均值
- (33) 定义方差值
- (34) 过程控制
- (35) 环境的影响
- (36) 材料的影响
- (37) 机器设备的影响

- (38) 测试设备的影响
- (39) 领导者的支持
- (40) 制造者的支持
- (41) 工程部门的支持
- (42) 优化后的合格率
- (43) 配合度
- (44) 测量精度
- (45) 随机抽样
- (46) 块的区分
- (47) 决定区分程度
- (48) 假设构造
- (49) 测量方法
- (50) 管理者支持
- (51) 将实验结果图表化
- (52) 确定主要因子
- (53) 计算出各因子影响大小
- (54) 作出相关因子影响图
- (55) 连续样本
- (56) 从样本收集到样本测量的时间
- (57) 误差复合影响
- (58) 因子量化及分层表示
- (59) 样本复杂性分析
- (60) 因变量及其影响

2. DOE 实验计划

在进行 DOE 实验之前, 要充分考虑 $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 因

变量 Y 和自变量 x 的关系。确定实验因子的个数，据此可确定实验因子表进行实验，一般实验计划包括如下内容。

(1) 确定实验目的：要有一个明确的实验目的，以此才能达到需要的目标。

(2) 确定实验因子：要分析影响因变量变化的因子个数，进行全因子的 DOE 实验。

(3) 确定实验因子水平：不同的实验因子水平会影响实验结果。

(4) 选定 DOE 实验表格：根据因子数和因子水平确定 DOE 实验表格。

(5) 安排实验时间：根据 DOE 进行次数确定实验时间。考虑过程的连续性，尽量安排在同一阶段进行实验为好。

(6) 分析实验结果：将实验结果进行方差分析，确定实验因子的重要性及各因子对实验结果的影响程度。

(7) 重复性实验：将重要因子或影响实验的主要因素进行评估，重新进行 DOE 实验，以确定其实验的真实性。

(8) 作出结论：对实验结果进行分析后作出结论。

第二节 实验设计 (DOE) 方法

一、根据具体要求选择 DOE 实验方法

DOE 实验方法流程如图 7-2 所示。

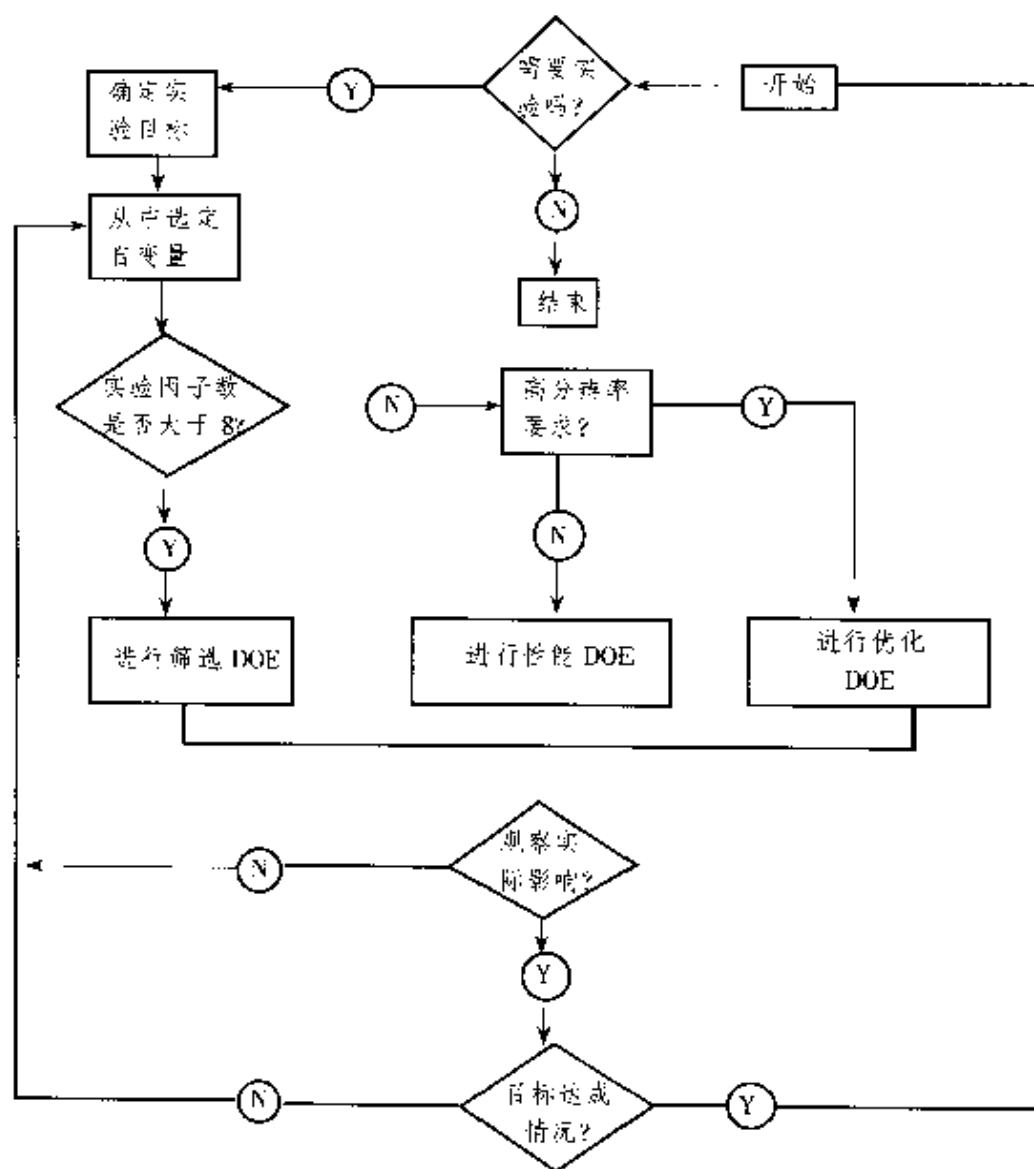


图 7-2 DOE 实验方法流程

二、实验设计的基本策略

1. 确定问题

为解决何种问题，需要进行何种实验，应做到心中有数，有的放矢。

2. 建立实验目标

实验要达到何种目的，要达到怎样的指标，应从实际出发，根据当时当地的实情，确定实验目标，不要夸大其辞，矫揉造作。

3. 选择因变量 Y

实验中因子随自变量 X 的变化而变化的变量叫因变量。因变量和自变量的关系为 $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。

4. 选择自变量 x

实验中因子不随因变量变化而变化的变量叫自变量。也叫受控变量。

5. 选择因子水平

不同的因子水平必然会引起不同的实验结果，根据实验要求，确定因子水平，也是实验成功与否的关键一环。这不仅要有丰富的实际经验，而且要有把握问题本质的能力。

6. 收集数据

实验要用数据说话，一切的实验数据从实验中来，切忌弄虚作假，DOE 实验是科学，来不得半点虚假的东西，否则就会失去实验的本来意义。

7. 分析数据

数据为实验提供了强有力的佐证，说明了什么问题，是一清二楚的，因此需认真分析数据，进行科学运算，以找出实验本质性的

可以代表实验结果的东西。

8. 作出结论

有实验数据，给问题下一个令人信服而又真实的结论，找出问题的症结所在。

9. 达到目标

通过实验解决品质中存在的问题，使过程能力得到提升，使我们又向 6Sigma 靠近了一步。

三、筛选实验设计方法

1. 选择因变量 Y (或实验结果)

2. 选择实验因子且确信是最重要的因子

3. 确定因子水平——只允许有两个水平

4. 根据因子数量确定实验表格

5. 对每一次实验，根据实验表格按一个水平进行，根据重复运行的结果计算出平均值 ($\bar{Y}$)

6. 按标准计算软件或 EXCEL 进行计算

7. 作出实验因子的影响及关系图

8. 进行方差分析，用以决定实验因子是否重要，用 P 值进行衡量 ($P < 0.05$)

9. 对方差分析结果进行评价，以确定因子对实验的影响程度

10. 选择重要因子 (通常不超过 4 个) 而进行全因子 DOE 实验，以确定实验的最终结果

11. 筛选 DOE 实验表格，如表 7-3 所示

表 7-3

筛选 DOE 实验表

运行	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
6	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1
8	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1
10	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
11	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

四、全因子和分部 DOE

1. 确定问题

2. 建立实验目标

3. 选择因变量和自变量关系 $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

4. 选择因子水平

5. 选择实验表格，全因子 DOE 每一个因子或水平都要进行实验，分部 DOE 相对于全因子 DOE 来说有少的实验次数，因为分部 DOE 可对部分因子进行组合

6. 收集数据并按筛选 DOE 方法进行方差分析计算

7. 分析数据及实验结果

8. 分析实验误差对实验结果的影响

9. 作出结论

10. 达到实验目标

第三节 单因子 DOE 设计案例

一、案例 1

某电路板厂有一批 PCB 发生铜箔腐蚀的坏品率很高，经仔细分析是与印刷锡浆的成分有关。一工艺工程师针对此问题用三种不同的锡浆 RA、RMA 和 SA 进行 DOE 试验，得到 15 个随机数据，如表 7-4 所示：

表 7-4 测量数据表

	RA	RMA	SA
	10	18	21
	12	15	18
	13	14	15
	14	17	12
	19	15	16

试用方差分析方法（ANOVA）分析锡浆成分对铜箔有无重大影响。

1. 计算出因子每一种锡浆的总和

$$I_1 = \sum_{i=1}^{n_1=5} x_{i1} = 10 + 12 + 13 + 14 + 19 = 68$$

$$I_2 = \sum_{i=1}^{n_2=5} x_{i2} = 18 + 15 + 14 + 17 + 15 = 79$$

$$I_3 = \sum_{i=1}^{n_3=5} x_{i3} = 21 + 18 + 15 + 12 + 16 = 82$$

2. 计算出总的观测值

$$T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} = 68 + 79 + 82 = 229$$

3. 计算出每一种锡浆的平均值

$$\bar{x}_1 = 68/5 = 13.6$$

$$\bar{x}_2 = 79/5 = 15.8$$

$$\bar{x}_3 = 82/5 = 16.4$$

4. 计算出总的平均值

$$\bar{x} = T/ng = 229/15 = 15.27$$

5. 计算出观测值总的平方和

$$Q = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 = 102 + 122 + \cdots + 162 = 3619$$

6. 计算出 C 值

$$C = T^2/ng = 229^2/15 = 3496.07$$

7. 计算出总的均方值

$$SS_T = Q - C = 3619 - 3496.07 = 122.93$$

8. 计算出组间均方值

$$SS_B = \frac{\sum_{i=1}^k I_i^2}{n} - C = (68^2 + 79^2 + 82^2) / 5 - 3496.07 = 21.73$$

9. 计算出组内均方值

$$SS_W = SS_T - SS_B = 122.93 - 21.73 = 101.2$$

10. 建立方差分析表

通用的方差分析表如表 7-5 所示。

表 7-5 方差分析表 (1)

方差来源	平方和	自由度	均方根	F 值	临界值
(1) 组间	(4) SS_B	(7) $g-1$	(10) $\frac{SS_B}{df_B}$	(12) $\frac{MS_B}{MS_W}$	(13) F_{crit}
(2) 组内	(5) SS_W	(8) $g(n-1)$	(11) $\frac{SS_W}{df_W}$		
(3) 总体	(6) SS_T	(9) $ng-1$			

所以用方差分析表可得如下结果

表 7-6 方差分析表 (2)

方差来源	平方和	自由度	均方根	F 值	临界值
组间	21.73	2	10.9	1.29	3.89
组内	101.2	12	8.43		
总体	122.93	14			

由于 $F_{calc}(1.29) < F_{crit}(3.89)$, 所以拒绝原假设, 即锡浆成分对铜箔腐蚀无太大影响。

11. 计算相关的影响

$$R_B = \frac{SS_B}{SS_T} = \frac{21.73}{122.93} = 17.68\%$$

12. 作出平均值分布图

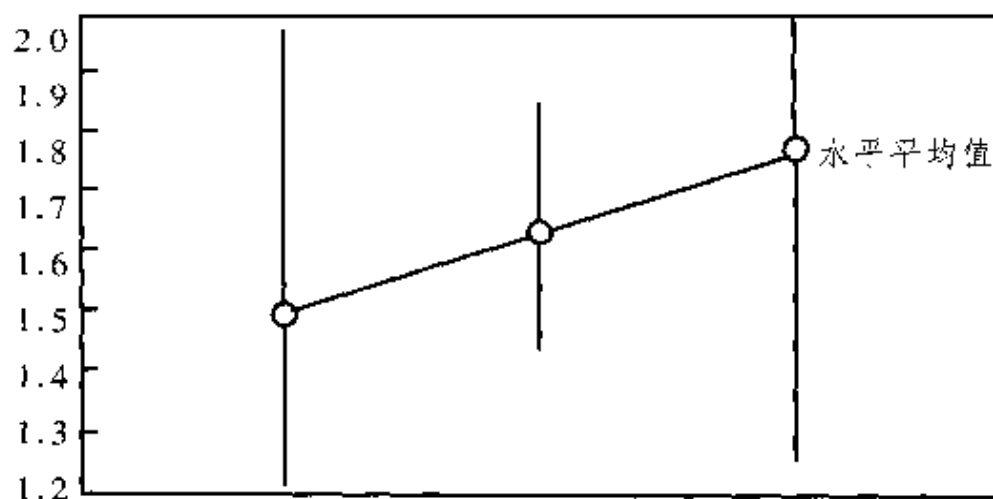


图 7-3 因子平均值分布图

13. 根据分析作出结论

根据因子的自由度，在 95% 的置信度下 F 值 (F_{calc}) 没有超过临界值 F_{crit} ，所以，同时可以观察每个水平的平均值变化也是很小的。由于这个原因，我们也可以说这个因子不是重要的，也就是说该因子是“次要的多数”而非“关键的少数”。

二、案例 2

为验证压力阀与压力渗漏的关系，我们设计了三种阀型 (A, B, C) 供研究，其数据见表 7-7：

表 7-7 数据表

A	B	C
128	174	134
139	134	118
113	177	133
145	163	115
104	159	125
142	139	128
113	139	110
117	141	106
108	149	117
142	147	101

1. 方差分析结果

表 7-8 方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
设计阀型	2	6325.400	3162.700	15.5	0
残差	27	5492.600	230.430		

因变量：渗漏

2. A、B、C 设计方案比较

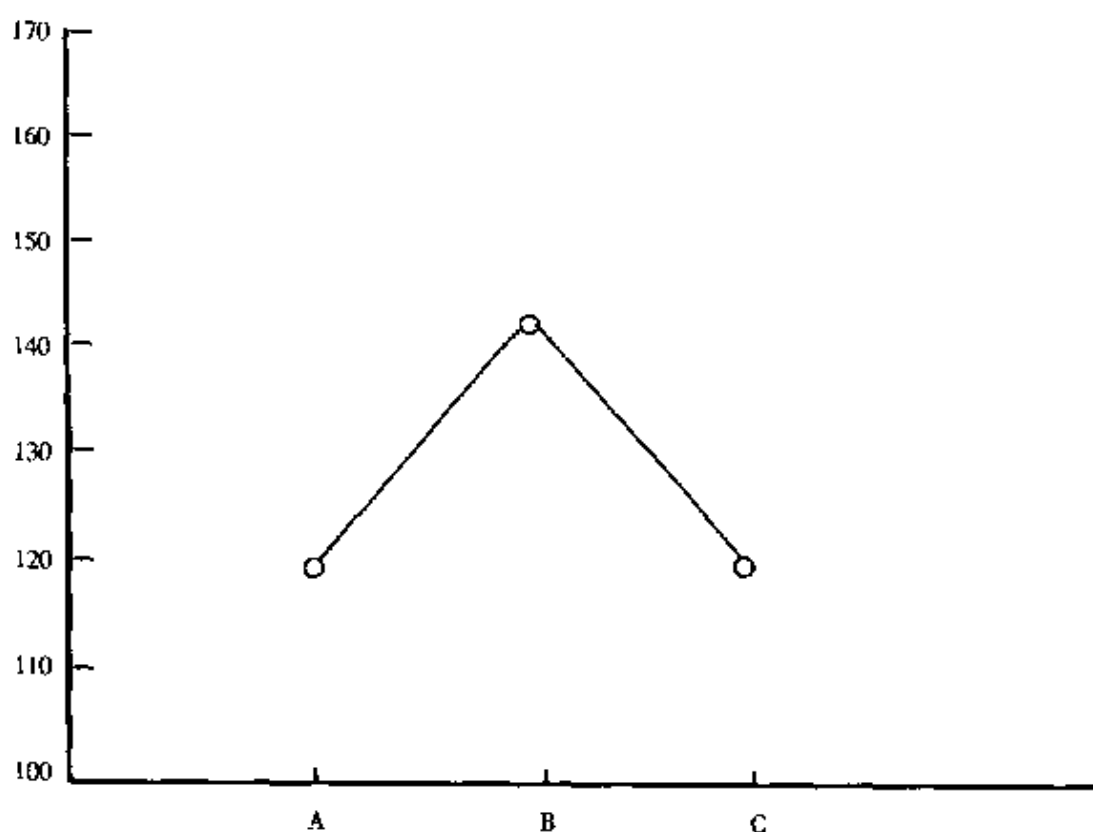


图 7-4 A、B、C、设计方案比较

表 7-9 A、B、C 设计方案结果分析表

	频数	平均值	标准差	标准误差	95%可信度的 下限值	95%可信度的 上限值
A	10	125	15.864	5.017	113.752	136.448
B	10	152	15.259	4.825	141.284	163.116
C	10	119	11.216	3.547	110.677	126.723

3. 判别方程

$$|X_i - X_j| \geq T_{crit} \sqrt{2MS_{residual}/n}$$

$$df = (n - 1)$$

在此例中, $|152.2 - 125.1| > 2.052 \sqrt{203.43/10}$

所以接受 H_a (0.95 的置信度)。即不同的设计方案对渗漏有影响。

4. 可解释原因分析

可解释的比例 = $SS_{\text{source}}/SS_{\text{Total}} = 6325.400 / (6325.400 + 5492.600) = 53.5\%$ ，如图 7-5 所示。

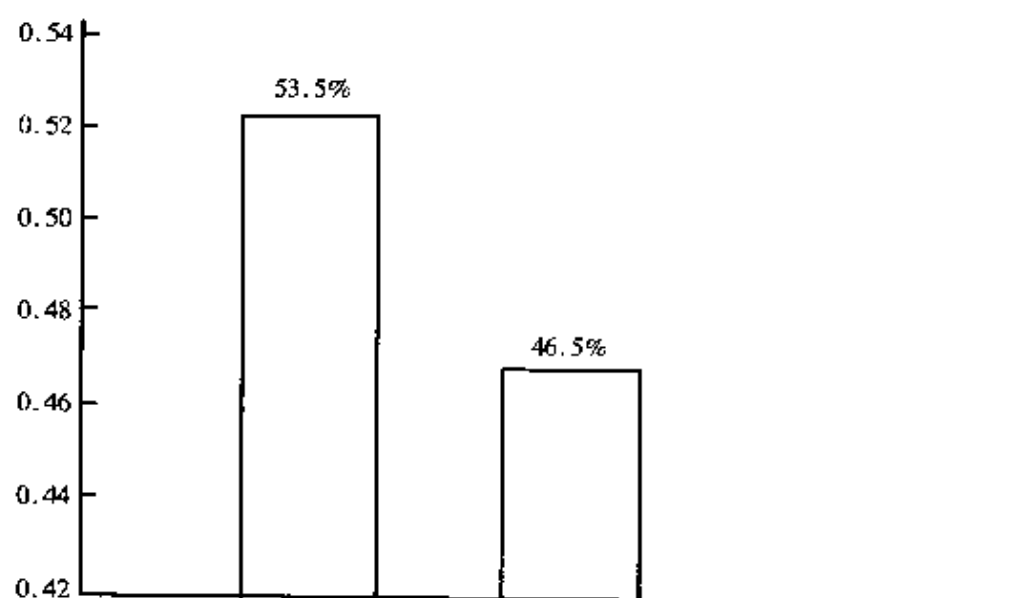


图 7-5 可解释与不可解释原因比较

三、案例 3

对某因子 A 进行四水平试验以确定对因变量 Y 的影响，通过运行实验得到单因子 DOE 结果，见表 7-10：

表 7-10 实验结果表

A1	A2	A3	A4
21	20	19	18
19	22	18	26
25	12	22	14
16	24	17	23

1. 方差分析

表 7-11

方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
因子 A	3	4.5	1.5	0.08	0.9695
残差	12	225	18.7		

因变量: Y

2. 作出各水平平均值图, 如图 7-6 所示:

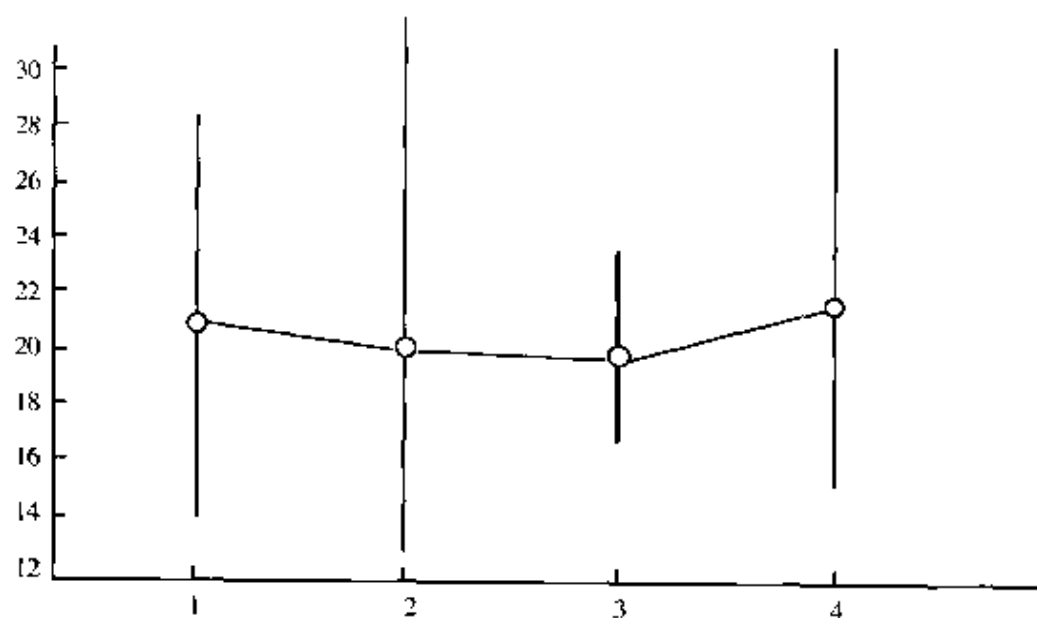


图 7-6 各因子水平平均值图

从图 7-6 中看出每一个因子水平没有太大影响, 当 ANOVA 结果无重要差异, 那么因子就不是重要的。当 ANOVA 结果是重要的, 那么一个或多个因子必然是重要的。

3. 特定比较结果

表 7-12 比较结果表

	Vs	Diff	Crit. Diff	P - Value
3	2	0.5	6.66	0.8729
	1	1.25	6.66	0.6900
	4	1.25	6.66	0.6900
2	1	0.75	6.66	0.8104
	4	0.75	6.66	0.8104
1	4	0.000	6.66	1.0000

4. 平均值表

表 7-13 平均值表

	频数	平均值	标准差	标准误差
1	4	20.3	3.78	1.89
2	4	19.5	5.26	2.63
3	4	19	2.16	1.08
4	4	20.3	5.32	2.66

第四节 双因子 DOE 设计案例

一、双因子两水平 DOE 设计

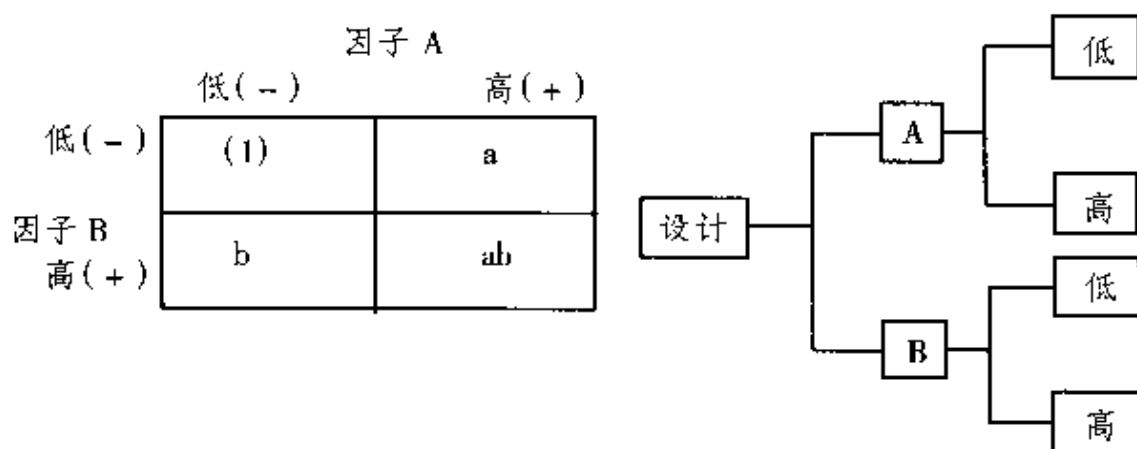


图 7-7 双因子两水平 DOE 设计图示

表 7-14 双因子 DOE 实验运行表

运行	组合	A	B	AB
1	(1)	-1	-1	1
2	a	1	-1	-1
3	b	-1	1	-1
4	ab	1	1	1

二、案例 1

一工程师为验证某胶水固化温度(A)和固化时间(B)与胶水贴力(Y)的关系进行了双因子 DOE 试验，其数据如表 7-15:

表 7-15 实验结果表

运行	组合	A	B	AB	Y
1	(1)	-1	-1	1	1.5
2	a	1	-1	-1	4.5
3	b	-1	1	-1	4.5
4	ab	1	1	1	13.5

1. 计算出 A、B 两因子在不同水平 ± 的对比度及其影响

表 7-16 双因子 A、B 实验运行表

运行	组合	A	B	AB	Y
1	(1)	-1	-1	1	1.5
2	a	1	-1	-1	4.5
3	b	-1	1	-1	4.5
4	ab	1	1	1	13.5
对比度		12	12	6	
影响		6	6	3	
Avg +		9	9	7.5	
Avg -		3	3	4.5	
Δ		6	6	3	

2. 计算出总的平方和

$$SS = \text{对比度}^2 / N$$

N 是总的实验次数

对于 A 因子

$$SS_A = (12)^2 / 4 = 36$$

表 7-17

方差分析表

因子	自由度	SS 值
因子 A	1	36
因子 B	1	36
交互 AB	1	9

3. 计算出因子各部分的相互影响

敏感度 = $SS_{\text{source}}/SS_{\text{Total}}$

$$\%A = \frac{(SS_A)}{SS_{\text{Total}}} \times 100\% = 36/81 = 44.44\%$$

$$\%AB = 11.11\%$$

$$\%B = 44.44\%$$



图 7-8 因子影响成分图

4. 作出各因子主要影响图表

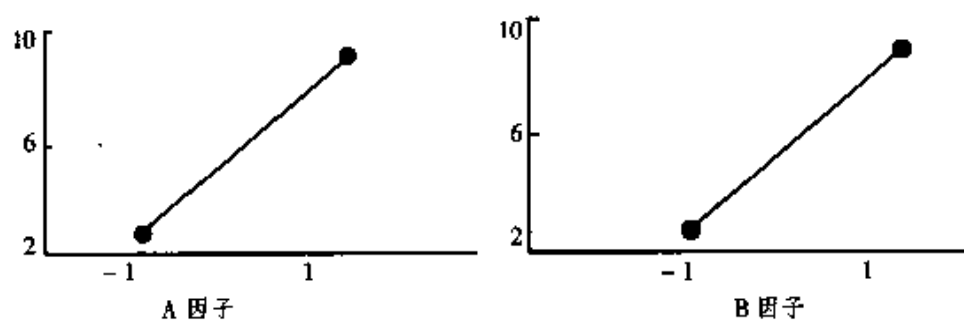


图 7-9 各因子主要影响

5. 作出有交互作用的影响图表

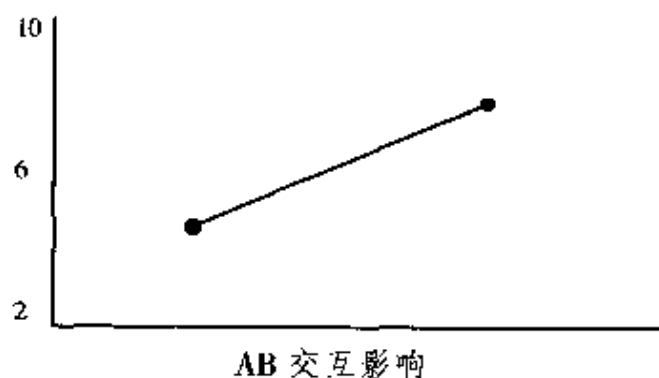


图 7-10 有交互作用的影响图

6. 因子 A 分析

影响 = $2 \times \text{对比度} / N$

对比度 = $(ab - b) + (a - (1))$

$$Y = \frac{(ab - b) + (a - (1))}{2}$$

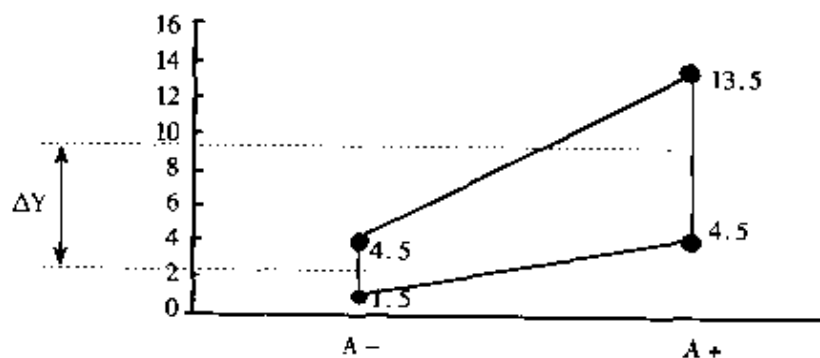


图 7-11 A 因子分析

7. 因子 B 的分析

影响 = $2 \times \text{对比度} / N$

对比度 = $(ab - a) + (b - (1))$

$$Y = \frac{(ab - a) + (b - (1))}{2}$$

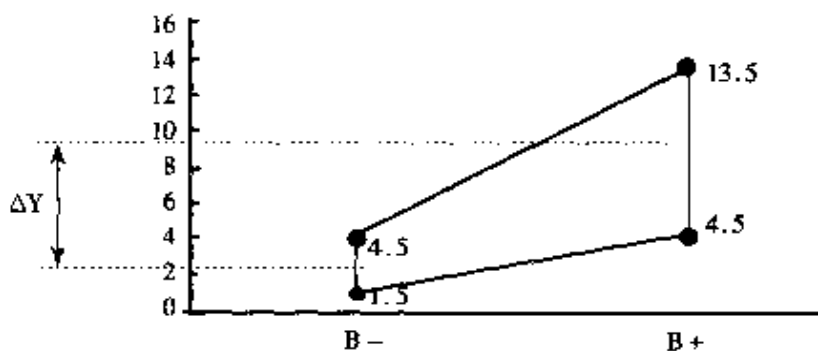


图 7-12 B 因子分析

8. 交互作用因子 AB 的分析

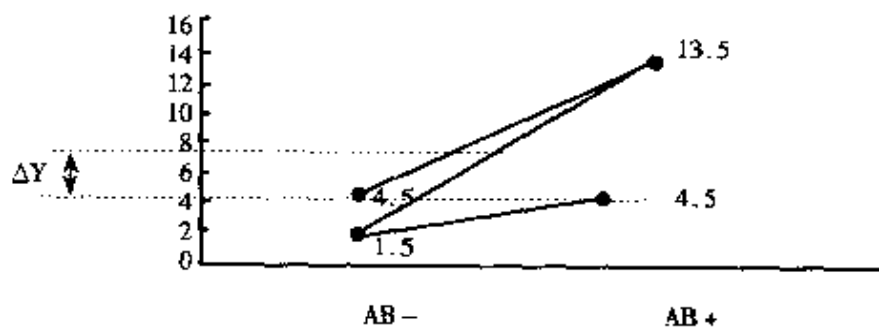


图 7-13 交互作用因子 AB 的分析

影响 = $2 \times \text{对比度} / N$

对比度 = $(ab - b) + ((1) - a)$

$$Y = \frac{(ab - b) + ((1) - a)}{2}$$

三、案例 2

某工艺工程师接受了一项任务对注塑机的注塑品质进行改善，表 7-18 是改善实验的结果，问实验因子 A、B 对实验结果 Y 的影响程度如何。

表 7-18 实验结果表

运行	组合	A	B	AB	Y_1	Y_2	Y_3
1	(1)	-1	-1	1	40.7	38.6	38.4
2	a	1	-1	-1	74.2	68.4	64.4
3	b	-1	1	-1	44.1	42.1	41.1
4	ab	1	1	1	72.6	86	85.6

1. 计算出 ΣY , u , σ 值

表 7-19 实验结果分析表 (1)

运行	组合	A	B	AB	Σ	u	σ
1	(1)	-1	-1	1	118	39.2	1.27
2	a	1	-1	-1	207	69	4.97
3	b	-1	1	-1	127	42.4	1.58
4	ab	1	1	1	244	81.4	7.62

2. 计算出因子对比度、影响、方差来源等项目

表 7-20 实验结果分析表 (2)

运行	组合	A	B	AB
1	(1)	-117.7	-118	118
2	a	207	-207	-207
3	b	-127.3	127	-127
4	ab	244.2	244	244
因子对比度		206.2	46.8	27.6
因子影响		34.37	7.8	4.6
相关影响比率		89.40%	4.60%	1.60%

续表

运行	组合	A	B	AB
方差来源		3543	183	63.5
可解释方差		3789		
总方差		3962		
残差		172.7		

3. 计算出因子方差及 F 值、P 值

表 7-21 方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
A	1	3543.20	3543.20	164.12	0.0001
B	1	182.52	182.52	8.45	0.0197
AB	1	63.5	63.5	2.94	0.1247
残差	8	172.71	21.6		
因变量: Y					

因 F 值为 164.12 (A 因子) 和 8.45 (B 因子), 均大于 5.32, 故接受 H_a , 即 A、B 因子对实验结果有较大影响。

4. 影响程度及比例

$$SS_A = \frac{3543.20}{3543.20 + 182.52 + 63.48 + 172.71} \times 100\% = 89.4\%$$

$$SS_B = \frac{185.52}{SS_{Total}} = 4.6\%$$

$$SS_{AB} = \frac{63.48}{SS_{Total}} = 1.6\%$$

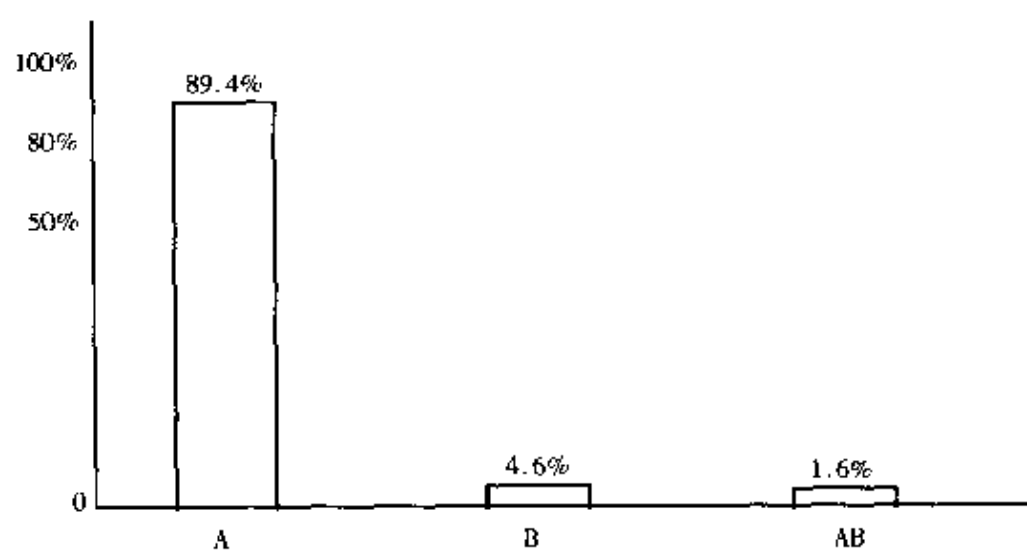


图 7-14 各因子成分比例

四、案例 3

波峰炉的上锡品质与锡炉温度 (A) 和 PCB 板的含湿度 (B) 有关, 为验证此结论, 我们进行了如下 DOE 实验, 其数据见表 7-22 (两因子三水平 DOE)。

表 7-22 实验结果表

A	B	Y ₁	Y ₂
1	1	40	20
1	2	50	30
1	3	60	50
2	1	50	10
2	2	70	60
2	3	50	60
3	1	30	40
3	2	20	10
3	3	70	80

1. 计算出各因子的方差

 $r =$ 行数 $c =$ 列数 $N = 18 =$ 总的测量次数 $T = \Sigma Y = 800$ $T^2/N = 800^2/18 = 35555$ $\Sigma Y^2 = 40^2 + 20^2 + \dots + 80^2 = 43000$ $\Sigma T_c^2 = 250^2 + 300^2 + 250^2 = 215000$ $\Sigma T_r^2 = 190^2 + 240^2 + 370^2 = 230600$

$$\begin{aligned} \Sigma T_{cr}^2 &= 60^2 + 80^2 + 110^2 + 60^2 + 130^2 + 110^2 + 70^2 + 30^2 + 150^2 \\ &= 83000 \end{aligned}$$
 $SS_c = \Sigma T_c^2 / nr - T^2 / N = 215000 / 6 - 35555 = 278.33$ $SS_r = \Sigma T_r^2 / nc - T^2 / N = 230600 / 6 - 35555 = 2878.33$ $SS_{cr} = \Sigma T_{cr}^2 / n - T^2 / N - SS_c - SS_r = 2788.9$ $SS_{\text{Total}} = \Sigma X^2 - T^2 / N = 43000 - 35555 = 7445$ $SS_{\text{residual}} = SS_{\text{total}} - SS_c - SS_r - SS_{cr} = 1500$

2. 计算平均值表

表 7-23

实验结果分析表

A	B	频数	平均值	标准差	标准误差
1	1	2	30	14.1	10
1	2	2	40	14.1	10
1	3	2	55	7.07	5
2	1	2	30	28.3	20
2	2	2	65	7.07	5
2	3	2	55	7.07	5
3	1	2	35	7.07	5
3	2	2	15	7.07	5
3	3	2	75	7.07	5

3. 方差分析

表 7-24 方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
A	2	277.778	138.889	0.833	0.4655
B	2	2877.778	1438.889	8.633	0.0081
AB	4	2788.889	697.222	4.183	0.0347
残差	9	1500.000	166.667		

从表 7-24 可以看出 B 是影响 PCB 上锡品质的重要因子，可作出 B 因子平均值在不同水平下的影响图。

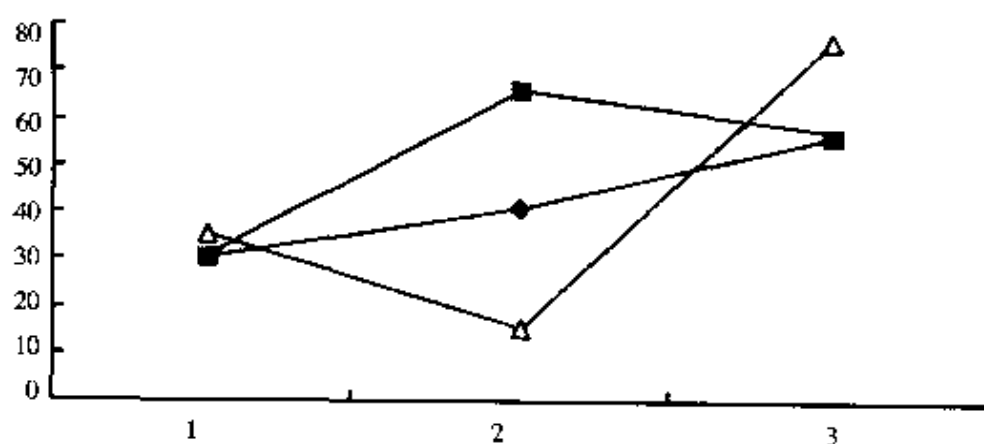


图 7-15 B 因子水平影响

第五节 多因子 DOE 设计案例

一、三因子两水平 DOE 设计

三因子两水平的 DOE 实验表如表 7-25 所示。

表 7-25 三因子两水平 DOE 实验表

运行	组合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	a	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	b	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	abc	1	1	1	1	1	1	1

二、案例 1

波峰炉 PCB 半焊和短路与带速 (A)、松香比重 (B) 和锡炉温度 (C) 有关。为确立其影响程度,进行了如下 DOE 实验,其结果如表 7-26 所示:

表 7-26 实验结果表

运行	组合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y_1	Y_1	Avg	Var
1	(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1	28	21	25	24.5
2	a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	43	43	43	0
3	b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	30	30	30	0
4	ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1	47	47	47	0
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	59	66	63	24.5
6	ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1	88	86	87	2.0
7	bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1	65	60	63	12.5
8	abc	1	1	1	1	1	1	1	81	83	82	2.0
Avg + Level		64.8	55.4	73.5	54	55.9	53	54.4				
Avg - Level		44.8	54.2	36.1	55.6	53.7	56.6	55.3				
Δ		20	1.2	37.4	-1.6	2.2	-3.6	-0.9				

1. 计算出总的方差及影响

$$\sigma^2 = \frac{\sum \text{var}}{n} = \frac{24.5 + 24.5 + 2.0 + 12.5 + 2.0}{8} = 8.19$$

$$\sigma = 2.86 \quad df = 8$$

$$t = 2.306 \text{ (95\% 的置信度)}$$

$$\text{影响 (effect)} = \pm \frac{2t\sigma}{\sqrt{N}} = \pm 3.3$$

2. 方差分析表

表 7-27 方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
A	1	1580	1580	193	0
B	1	5.06	5.06	0.62	0.45
C	1	5588	5588	682	0
AB	1	10.6	10.6	1.29	0.29
BC	1	52.6	52.6	6.42	0.04
AC	1	18.1	18.1	2.21	0.18
ABC	1	3.06	3.06	0.37	0.56
残差	8	65.5	8.19		

因变量: Y

从上表可以看出 A、C 因子是影响波峰炉半焊和短路的主要因素。

3. 作出各因子平均值分布图

表 7-28 因子分析表

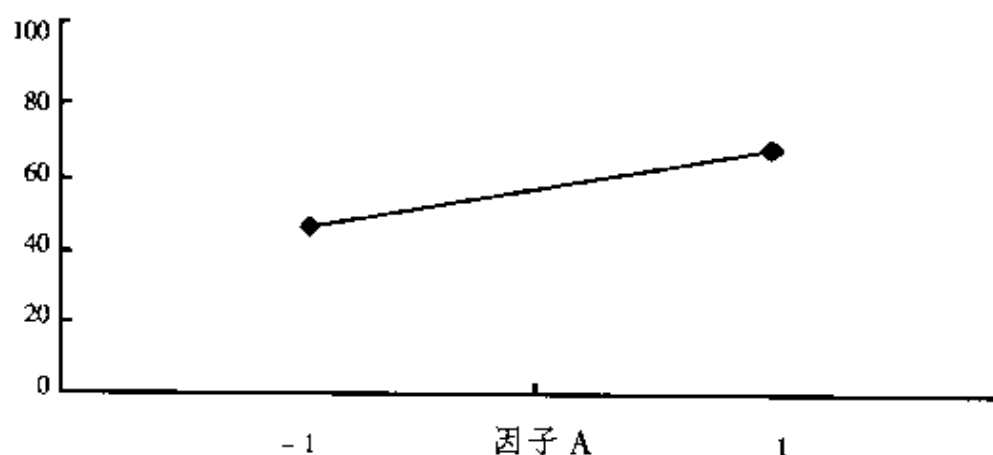
因子 A	频数	平均值	标准差	标准误差
-1	8	44.875	19.187	6.783
1	8	64.750	21.265	7.578

表 7-29 B 因子分析表

因子 B	频数	平均值	标准差	标准误差
-1	8	54.25	24.944	8.819
1	8	55.375	20.570	7.273

表 7-30 C 因子分析表

因子 C	频数	平均值	标准差	标准误差
-1	8	36.125	10.006	3.538
1	8	73.500	12.154	4.297



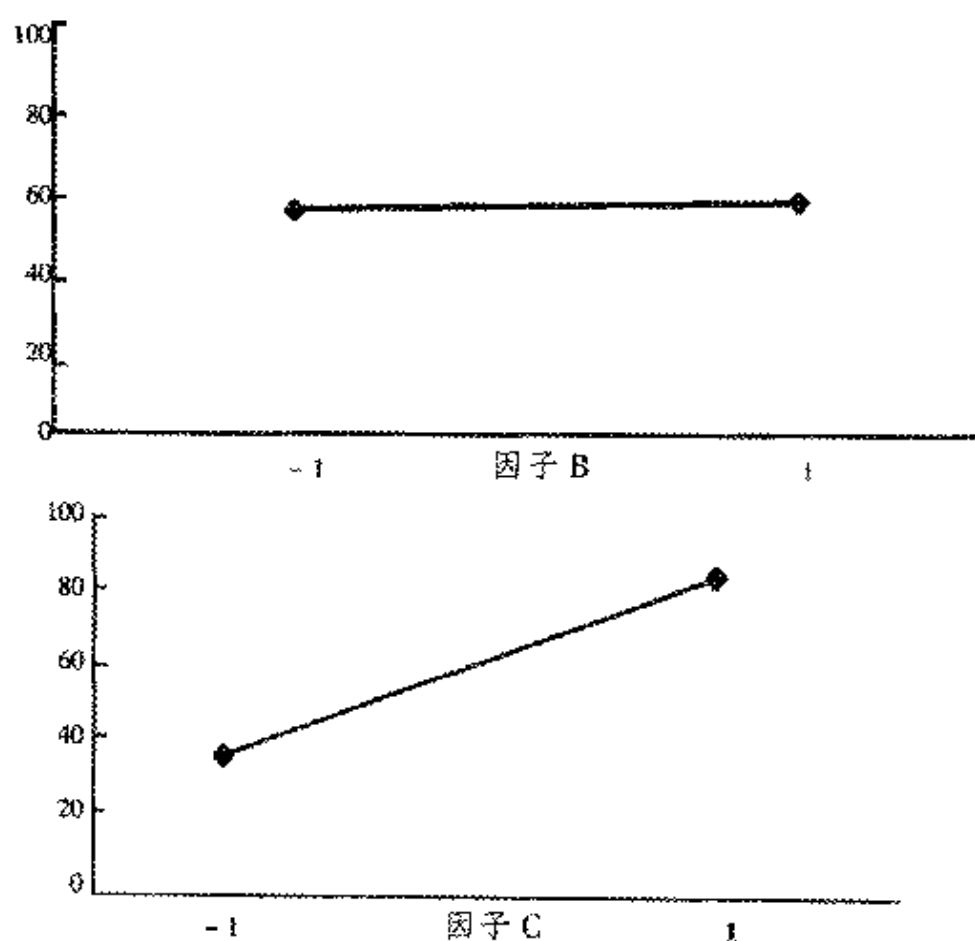


图 7-16 各因子平均值分布图

三、案例 2

某搪瓷厂为改善涂搪质量（即粘结力）进行了 DOE 实验，其结果如表 7-31 所示：

表 7-31 实验结果表

运行	组合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y_1	Y_2	Y_3	平均值	标准差
1	(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1	45.1	39.8	33.5	39.47	5.81
2	a	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	72.7	61.4	69.2	67.77	5.78
3	b	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	41.7	46.0	40.2	42.63	3.01
4	ab	1	1	-1	-1	1	-1	-1	70.4	82.2	88.0	80.20	8.97
5	c	-1	-1	1	1	1	-1	-1	57.4	59.5	57.5	58.13	1.18
6	ac	1	-1	1	1	-1	1	-1	85.7	92.7	91.6	90.00	3.76

续表

运行	组合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y_1	Y_2	Y_3	平均值	标准差
7	bc	-1	1	1	1	-1	-1	1	5.1	58.5	53.7	54.30	3.93
8	abc	1	1	1	1	1	1	1	87.5	91.3	96.8	91.87	4.68

1. 计算出对比度及方差和影响

根据 $\Sigma = Y_1 + Y_2 + Y_3$ 计算出总的影响, 按表 7-32 运算。

表 7-32 实验分析表

运行	组合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	(1)	-118.4	-118.4	-118.4	118.4	118.4	118.4	-118.4
2	a	203.3	-203.3	-203.3	-203.3	-203.3	203.3	203.3
3	b	-127.9	127.9	-127.9	-127.9	127.9	-127.9	127.9
4	ab	240.6	240.6	-240.6	240.6	-240.6	-240.6	-240.6
5	c	-174.4	-174.4	174.4	174.4	-174.4	-174.4	174.4
6	ac	270	-270	270	-270	270	-270	-270
7	bc	-162.9	162.9	162.9	-162.9	-162.9	162.9	-162.9
8	abc	275.6	275.6	275.6	275.6	275.6	275.6	275.6
对比度		405.9	40.9	192.7	44.9	10.7	-52.7	-10.7
方差		6865	6907	1547	84	4.8	115.7	4.8
影响		33.8	3.4	16.1	3.7	0.9	-4.4	-0.9

2. 列出方差表

表 7-33 方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
A	1	6864.78	6864.78	262.01	0.0001
B	1	69.70	69.70	2.66	0.1224
C	1	1547.22	1547.22	59.05	0.0001
AB	1	84.00	84.00	3.21	0.0923
BC	1	115.72	115.72	4.42	0.0518
AC	1	4.77	4.77	0.18	0.6753
ABC	1	4.77	4.77	0.18	0.6753
残差	16	419.21	26.20		

3. 计算各组份比率及分布图

表 7-34 各因子组成比例表

影响	平方和	组成比例	显著性
A	6864.78	75.40%	是
B	69.70	0.80%	否
C	1547.22	17.00%	是
AB	84.00	0.90%	否
BC	115.72	1.30%	是
AC	4.77	0.10%	否
ABC	4.77	0.10%	否
误差	419.21	4.60%	
总和	9110.17		

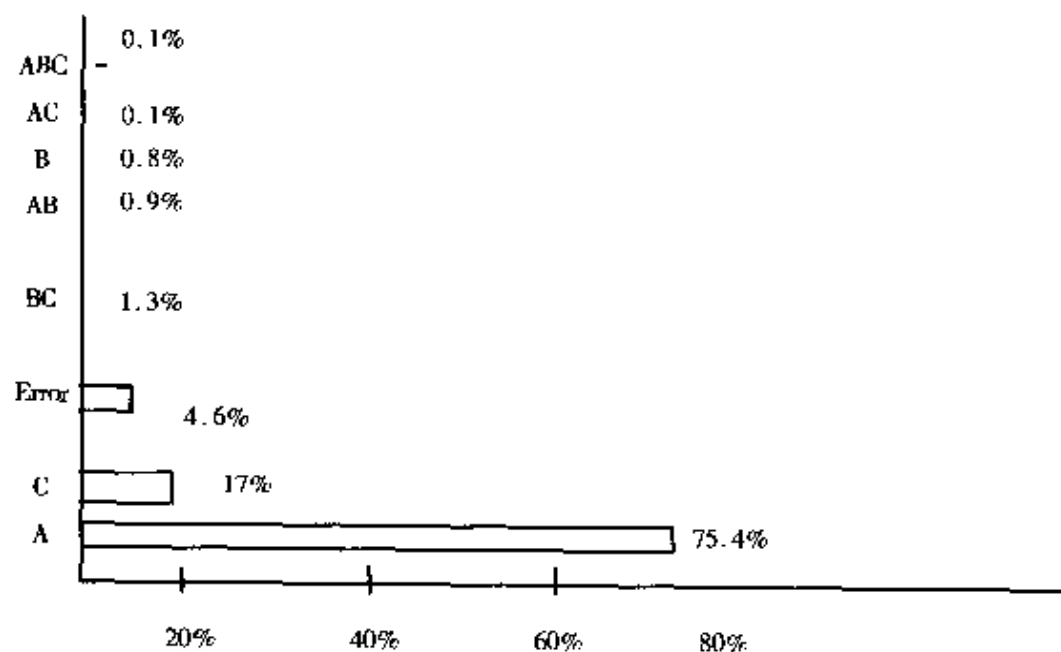


图 7-17 各因子成分

从表 7-34 可以看出 A、C 是影响因变量 Y 的主要因素。

四、四因子二水平 DOE

表 7-35 四因子二水平 DOE 实验表

运行	组合	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
1	(1)	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	a	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
3	b	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
4	ab	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
5	c	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1
6	ac	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
7	bc	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
8	abc	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
9	d	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
10	ad	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
11	bd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
12	abd	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
13	cd	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
14	acd	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
15	bcd	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
16	abcd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

五、案例 1

某化工厂为改善产品品质，提高合格率，用下列因子进行 DOE 实验，如表 7-36 所示，其实验结果如表 7-37 所示，试分析各因子作用及其影响。

表 7-36 因子水平表

因子	描述	低 (Lo)	高 (Hi)	单位
A	反应型式	1	2	
B	温度	230	300	F
C	反应时间	30	60	Min
D	催化剂种类	标准	新的	

表 7-37

实验结果

运行	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Y	44	59	39	73	94	126	158	168	36	65	65	73	94	122	148	182

1. 计算出对比度、方差和影响

表 7-38

实验结果分析

运行	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-44	-44	-44	-44	44	44	44	44	44	44	-44	-44	-44	-44	44
2	59	-59	-59	-59	-59	-59	-59	59	59	59	59	59	59	-59	-59
3	-39	39	-39	-39	-39	39	39	-39	-39	39	39	39	-39	39	-39
4	73	73	-73	-73	73	-73	-73	-73	-73	73	-73	-73	73	73	73
5	-94	-94	94	-94	94	-94	94	-94	94	-94	94	-94	94	94	-94
6	126	-126	126	-126	-126	126	-126	-126	126	-126	-126	126	-126	126	126
7	-158	158	158	-158	-158	-158	158	158	-158	-158	-158	158	158	-158	158
8	168	168	168	-168	168	168	-168	168	-168	-168	168	-168	-168	-168	-168
9	-36	-36	-36	36	36	36	-36	36	-36	-36	-36	36	36	36	-36
10	65	-65	-65	65	-65	-65	65	65	-65	-65	65	-65	-65	65	65
11	-55	55	-55	55	-55	55	-55	-55	55	-55	55	-55	55	-55	55
12	73	73	-73	73	73	-73	73	-73	73	-73	-73	73	-73	-73	-73
13	-94	-94	94	94	94	-94	-94	-94	-94	94	94	94	-94	-94	94
14	122	-122	122	122	-122	122	122	-122	-122	122	-122	-122	122	-122	-122
15	-148	148	148	148	-148	-148	-148	148	148	148	-148	-148	-148	148	-148
16	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182
对比度	200	256	648	14	-8	8	18	184	26	-14	-24	-2	22	-10	58
平方和	2500	4096	26244	12	4	4	2.0	2116	42	12	36	0	30	6	210
Δ影响	25.00	32.00	81.00	1.75	-1.00	1.00	2.25	23.00	3.25	-1.75	3.00	-0.25	2.75	-1.25	7.25

2. 标准误差及其影响分析

$$\text{标准误差影响} = \sqrt{\frac{\Delta_{11}^2 + \Delta_{12}^2 + \Delta_{13}^2 + \Delta_{14}^2}{c}} = 2.13229 \quad (\alpha = 0.05)$$

c 是计算误差的列数

影响一个因子置信区间 = 影响 $\pm t_{\alpha/2}$ (影响的标准误差)

对于 A 因子影响的置信区间 = $25 \pm 2.78 \times 2.13 = 25 \pm 5.93$

3. 各影响分析并作出其分布图

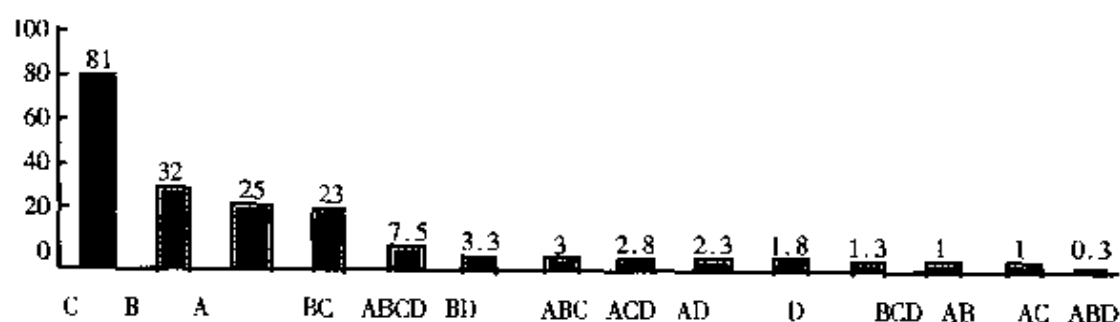


图 7-18 各因子成分

4. 方差分布及主要因子影响分布

表 7-39

方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和
A	1	2500.000	2500.000
B	1	4096.000	4096.000
C	1	26244.000	26244.000
D	1	12.250	12.250
AB	1	4.000	4.000
AC	1	4.000	4.000
AD	1	20.250	20.250
BC	1	2116.000	2116.000
BD	1	42.250	42.250
CD	1	12.250	12.250
ABC	1	36.000	36.000
ABD	1	0.250	0.250

续表

方差来源	自由度	平方和	均方和
ACD	1	30.250	30.250
BCD	1	6.250	6.250
ABCD	1	210.25	210.25
残差	0	0.000	0.000

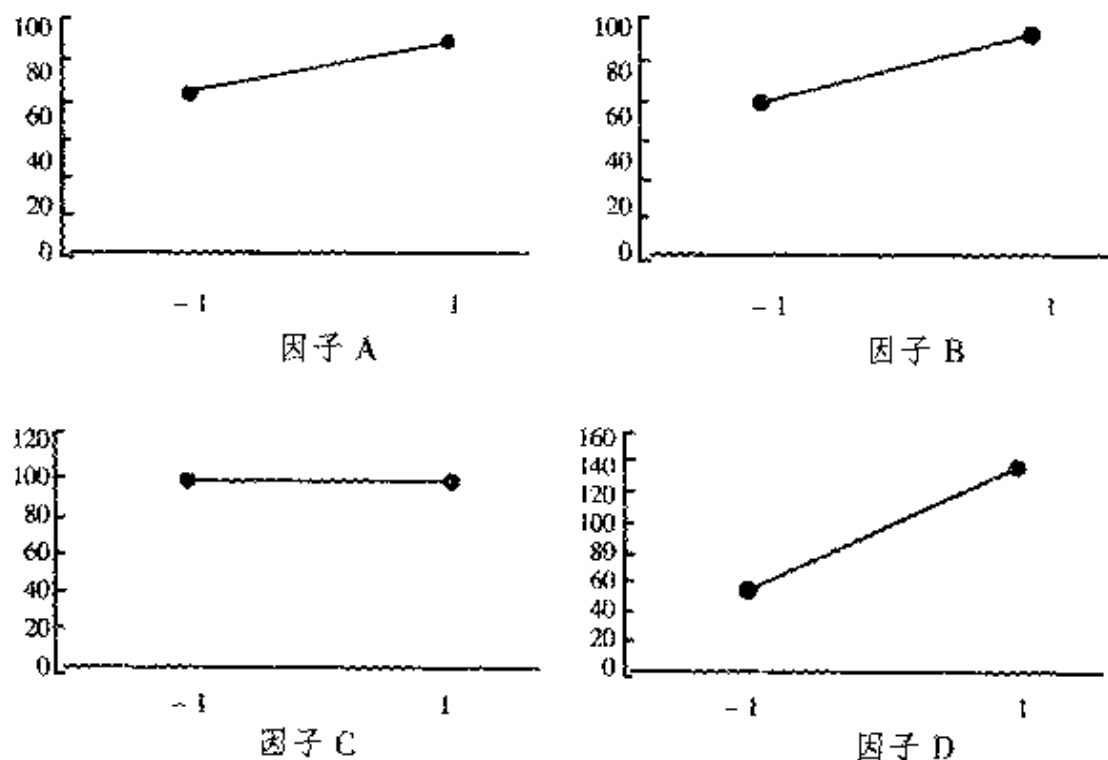


图 7-19 主要因子影响分布图

5. 重要影响因子及其推算

$$Y = \bar{Y} + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 D + \beta_5 AB + \beta_6 AC + \beta_7 AD + \beta_8 BC + \beta_9 BD + \beta_{10} CD + \beta_{11} ABC + \beta_{12} ABD + \beta_{13} ACD + \beta_{14} BCD + \beta_{15} ABCD$$

β 用影响的一半作推算

$$\text{影响的一半} = \frac{\text{因子影响}}{2} = \frac{\Delta}{2}$$

$\bar{Y}$ 是测量值的平均值

$$\begin{aligned}
 Y &= \bar{Y} + \left[\frac{\Delta A}{2} \right] A + \left[\frac{\Delta B}{2} \right] B + \left[\frac{\Delta C}{2} \right] C + \left[\frac{\Delta BC}{2} \right] BC \\
 &= 96.0 + \frac{25.0}{2} \times (+1) + \frac{32.0}{2} \times (+1) + \frac{81.0}{2} \\
 &\quad \times (+1) + \frac{23.0}{2} \times (+1) \\
 &= 96.0 + 12.5 + 16.0 + 40.5 + 11.5 = 176.5
 \end{aligned}$$

注：+1 选择的为高水平。

第六节 分部 DOE 设计案例

一、三因子分部 DOE 设计

我们知道三个因子的全数 DOE 需进行 2^3 次实验。

表 7-40

三因子 DOE 设计

2^3		A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	a	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	b	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	abc	1	1	1	1	1	1	1

AB 是 A、B 因子交互作用的结果。同样 ABC 是因子 A、B、C

交互作用的结果。

为进行分部 DOE 试验，我们必需减少交互作用（ABC）因子的组合，在这种情况下，在进行分部 DOE 实验时可以不考虑 ABC 之组合，这样可以节约实验费用和实验时间，达到经济性的目的。

同时，我们也可以将其分成两部分：部分 1 和部分 2。

表 7-41 部分 1 因子表

部分 1		A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1
4	ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1
6	ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1

表 7-42 部分 2 因子表

部分 2		A	B	C	AB	AC	BC	ABC
2	a	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	b	-1	1	-1	-1	1	-1	1
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1
8	abc	1	1	1	1	1	1	1

其中部分 1 是 $ABC = -1$ ，部分 2 是 $ABC = 1$

对于部分 2 即 $ABC = 1$ ，A 和 BC 因子的水平变化是一样的，因此可组合成如下型式。

表 7-43 部分 1 组合因子表

$2m^{3-1}$		ABC = -1		
因子影响		BC	AC	AB
		A	B	C
1	(1)	-1	-1	-1
4	ab	1	1	-1
6	ac	1	-1	1
7	bc	-1	1	1

表 7-44 部分 2 组合因子表

$2m^{3-1}$		ABC = 1		
因子影响		BC	AC	AB
		A	B	C
2	a	1	-1	-1
3	b	-1	1	-1
5	c	-1	-1	1
8	abc	1	1	1

二、四因子分部 DOE 设计

全四因子 DOE 实验表如下，需进行 2^4 即 16 次实验。

表 7-45 全四因子 DOE 实验表

运行	组合	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
1	(1)	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	a	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
3	b	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
4	ab	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
5	c	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
6	ac	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
7	bc	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1

续表

运行	组合	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
8	abc	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
9	d	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1
10	ad	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
11	bd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
12	abd	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
13	cd	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
14	acd	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
15	bcd	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
16	abcd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表 7-46

四因子组合表

2^4		D -	D -	D +	D +
		C -	C +	C -	C +
B -	A -	(1)	c	d	cd
B -	A +	a	ac	ad	acd
B +	A -	b	bc	bd	bcd
B +	A +	ab	abc	abd	abcd

我们也可将全四因子 DOE 实验表分成部分 1 ($ABCD = -1$) 和部分 2 ($ABCD = 1$) 两部分, 最后可将两部分组合如表 7-47:

表 7-47

四因子分部 DOE 实验表

因子影响		BCD	ACD	ABD	ABC	CD	BD	BC	AD	AC	AB
		A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD
2	a	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
3	b	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
5	c	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
8	abc	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
9	d	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
12	abd	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1
14	acd	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
15	bcd	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1

其实质是相同组合的整合，节省实验成本和时间。

三、案例 1

某公司产品品质的合格率徘徊在 60% ~ 65%，为使产品合格率提高 10%。某工程师对其进行了研究，知道其工序标准偏差大概在 3% 左右，因此须作出 $\delta/\sigma = 10/3 = 3.3\sigma$ 的工序改善。经过仔细分析认为下面四个因子是影响工序品质的主要因素。

表 7-48 因子水平表

因子	描述	低 (Lo)	高 (Hi)
A	反应速率	1	1.5
B	调节剂水平	0.02	0.06
C	催化剂量水平	1	1.5
D	反应温度	400F	600F

我们按分部 DOE 进行实验得到如下结果（见表 7-49）：

表 7-49 DOE 实验表

运行	组合	BCD	ACD	ABD	BCD	CD	BD	BC	Y
		A	B	C	D	AB	AC	AD	
1	(1)	-1	-1	-1	-1	1	1	1	70.7
2	ab	1	1	-1	-1	1	-1	-1	74.7
3	ac	1	-1	1	-1	-1	1	-1	69.0
4	bc	-1	1	1	-1	-1	-1	1	65.2
5	ad	1	-1	-1	1	-1	-1	1	71.1
6	bd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	86.0
7	cd	-1	-1	1	1	1	-1	-1	73.2
8	abcd	1	1	1	1	1	1	1	86.8

1. 计算出对比度和平方和

表 7-50 DOE 分析表

运行	组合	BCD	ACD	ABD	BCD	CD	BD	BC
		A	B	C	D	AB	AC	AD
1	(1)	-71	-71	-71	-71	71	71	71
2	ab	75	75	-75	-75	75	-75	-75
3	ac	69	-69	69	-69	-69	69	-69
4	bc	-65	65	65	-65	-65	-65	65
5	ad	71	-71	-71	71	-71	-71	71
6	bd	-86	86	-86	86	-86	86	-86
7	cd	-73	-73	73	73	73	-73	-73
8	abcd	87	87	87	87	87	87	87
对比度		6.5	28.7	-8.3	37.5	14.1	28.3	-9.1
平方和		5.3	103	8.6	176	24.9	100	10.4

2. 进行方差分析及画出各因子比率图

表 7-51 方差分析表

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
A + BCD	1	5.28	5.28		
B + ACD	1	102.96	102.96		
C + ABD	1	8.61	8.61		
D + BCD	1	175.78	175.78		
AB + CD	1	24.85	24.85		
AC + BD	1	100.11	100.11		
AD + BC	1	10.35	10.35		
残差	0				
因变量	Y				

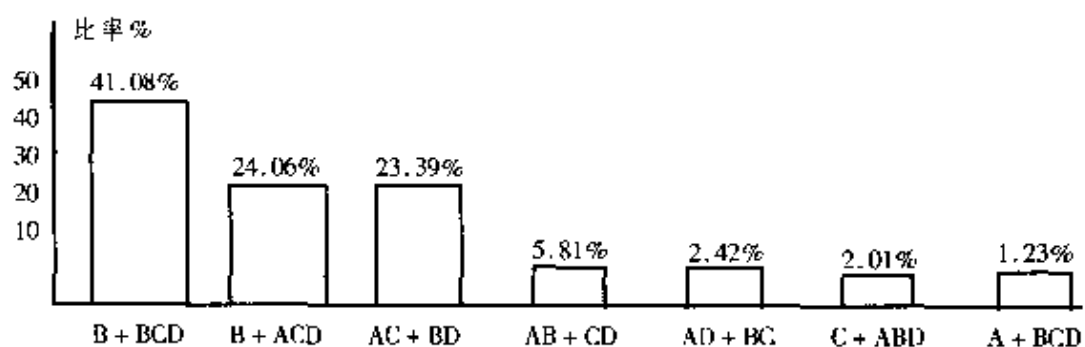
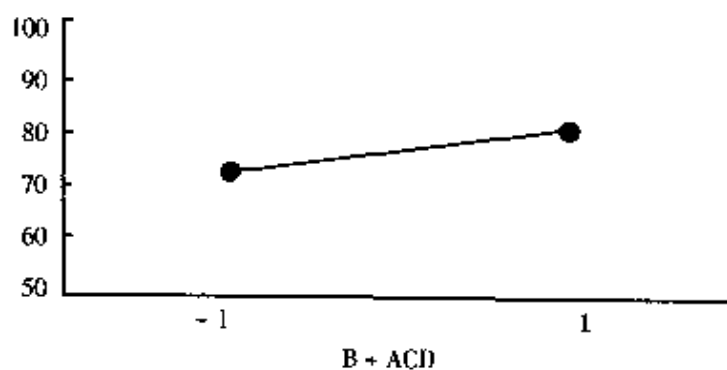
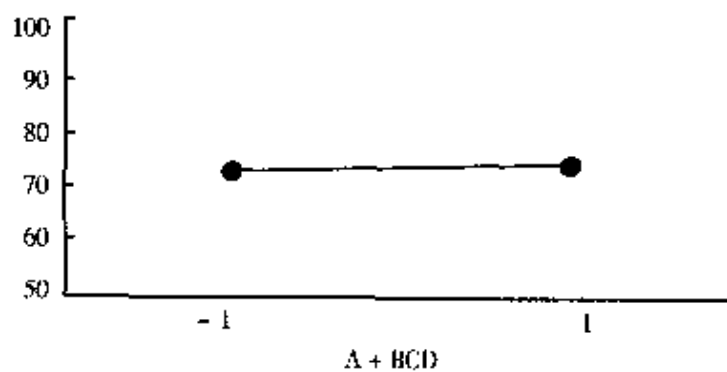


图 7-20 因子成分图

3. 各因子平均值分布图



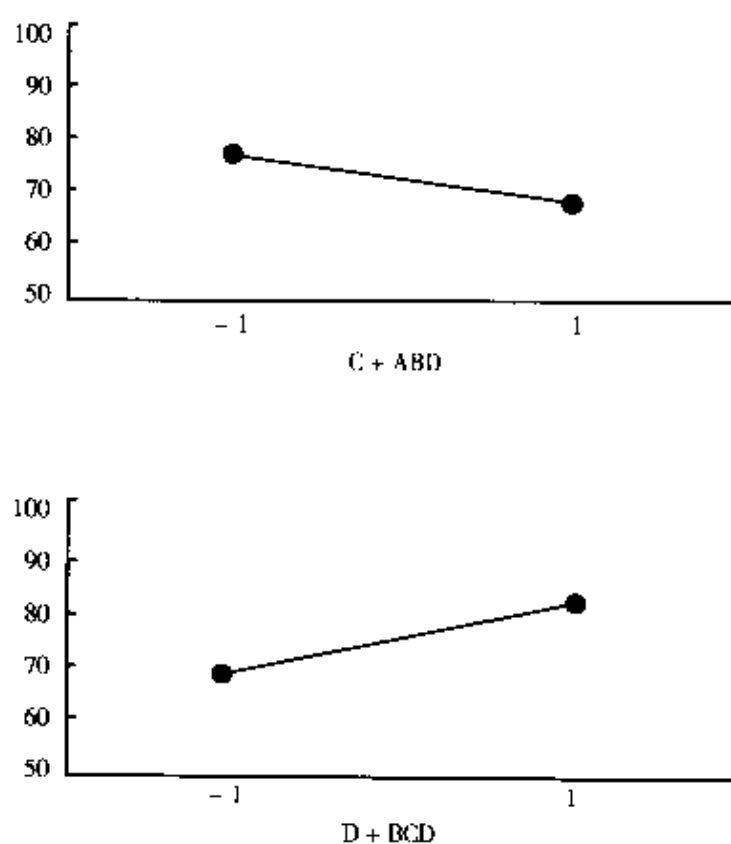


图 7-21 因子平均值分布图

四、五因子分部 DOE 设计

五因子分部 DOE 实验表格如表 7-52 所示：

表 7-52

五因子 DOE 实验表

RUN	A	B	C	D	E
1	-1	-1	-1	-1	1
2	1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1	1
8	1	1	1	-1	-1

续表

RUN	A	B	C	D	E
9	-1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	1
11	-1	1	-1	1	1
12	1	1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	1
14	1	-1	1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1

五、六因子分部 DOE 设计

六因子分部 DOE 实验表格如表 7-53 所示：

表 7-53

六因子 DOE 实验表

运行	A	B	C	D	E	F
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1
4	1	1	-1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1
8	1	1	1	-1	1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1	1
10	1	-1	-1	1	1	-1
11	-1	1	-1	1	1	1
12	1	1	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	1	-1
14	1	-1	1	1	-1	1
15	-1	1	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	1	1

六因子分部 DOE 实验也可组成如下形式 (见表 7-54):

7-54

六因子分部 DOE 实验表

运行	A	B	C	AB	AC	BC
				D	E	F
1	-1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1
4	1	1	-1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1
8	1	1	1	1	1	1

六、七因子分部 DOE 设计

七因子分部 DOE 实验表格如表 7-55 所示:

表 7-55

七因子 DOE 实验表

运行	A	B	C	D	E	F	G
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	1	-1
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	1
8	1	1	1	-1	1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	1	-1	-1
11	-1	1	-1	1	1	-1	1
12	1	1	-1	1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	1	1	-1
14	1	-1	1	1	-1	-1	1
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1
16	1	1	1	1	1	1	1

七因子分部 DOE 实验也可组合成如下形式:

表 7-56 七因子分部 DOE 实验表

运行	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

七、八因子分部 DOE 设计

八因子分部 DOE 实验表如表 7-57 所示：

表 7-57 八因子分部 DOE 设计

运行	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1
4	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1
8	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1
10	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1
11	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1
12	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
14	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1
15	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	1	1	1	1

这种多因子的 DOE 应用比较少，多用的是二、三、四因子的 DOE。因为因子太多，亦即变量太多，较难控制实验效果。

第八章

6Sigma 品质过程控制方法

- 第一节 统计过程控制
- 第二节 过程预控制
- 第三节 过程能力研究
- 第四节 测量系统控制

第一节 统计过程控制

一、统计过程控制溯源

统计过程控制 (SPC)，主要应用于对过程变量的控制，它的基本控制原理是 3Sigma 原则，即以过程平均值 $\pm 3\text{Sigma}$ 作为过程控制上下界限。它是修华特 (WALTERA) 博士在 1924 年提出的。其作用可概括为：

1. 从数据到图形应用统计技术用以反馈生产或过程性质变化的信息。
2. 帮助我们基本了解引起生产和过程性质变化的原因。
3. 控制图反映生产/过程性质的变化状况。
4. 最初应用于对过程中心值变化趋势的评价和分析引起过程变化的原因。
5. 客户作为一种评定供应商生产/过程性质的工具。
6. 评定生产/过程性质变化与原来过程状况进行比较。
7. 根据样本数据可对过程性质作出评价。
8. 对于超出控制界限点需采取纠正行动，并使我们知道其风险度和置信度。

二、SPC 应用的益处

SPC 从问世以来，一直是品质控制的有力手段。SPC 具有以下优点：

1. 它可大大节约制造成本。

2. 它能使标准趋于准确。
3. 它能使过程更加稳定。
4. 它能使控制规格更加真实。
5. 减少检查频度。
6. 减少问题出现的频度。
7. 改善与提高客户满意度。
8. 较为可靠地测量出实际的过程能力。
9. 改善预测结果的准确度。
10. 改善产品质量。
11. 减少出货周期时间。

三、过程的变化情况

过程并非是一成不变的，而是随着时间的推移及各变量因素的变化而变化。图 8-1 是一些过程的变化情况分布图。

过程	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
平均值	过程持续变化	不规则变化	有一定趋势	过程稳定	不规则变化
标准偏差	恒定	恒定	恒定	变小	不规则

数据类型：

1. 调节数据

- (1) 用作“调节数据”；
- (2) 用来调整参数使机器或操作达到标准要求；
- (3) 正确的行动规定来自每一个数据。

2. 接受或拒绝数据

- (1) 用作“接受数据”；

- (2) 用来作为产品检查后判定接受或拒绝的数据;
- (3) 有助于我们了解产品检查后的品质状况。

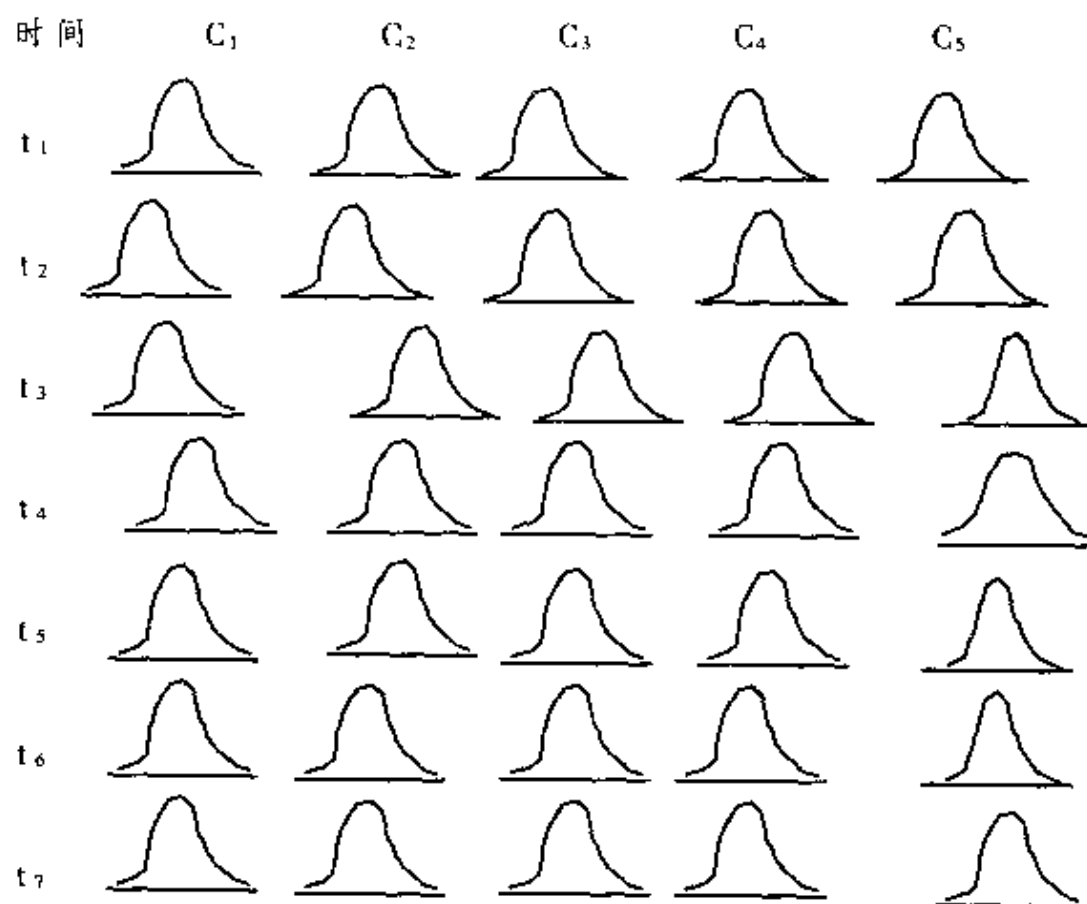


图 8-1 过程的变化情况分布图

四、子群取样原则

在 SPC 控制图取样过程中, 子群取样数一般控制在 $2 < n < 6$ 的范围内较好。随着 n 的增加, 控制界限越来越小, 这样将会产生 α 偏差。从图 8-2 可以看出子群取样数对控制界限的影响。

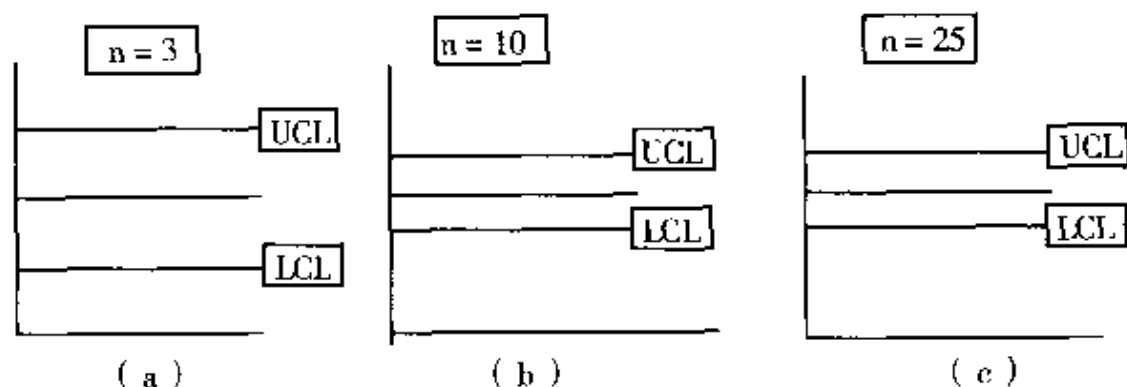
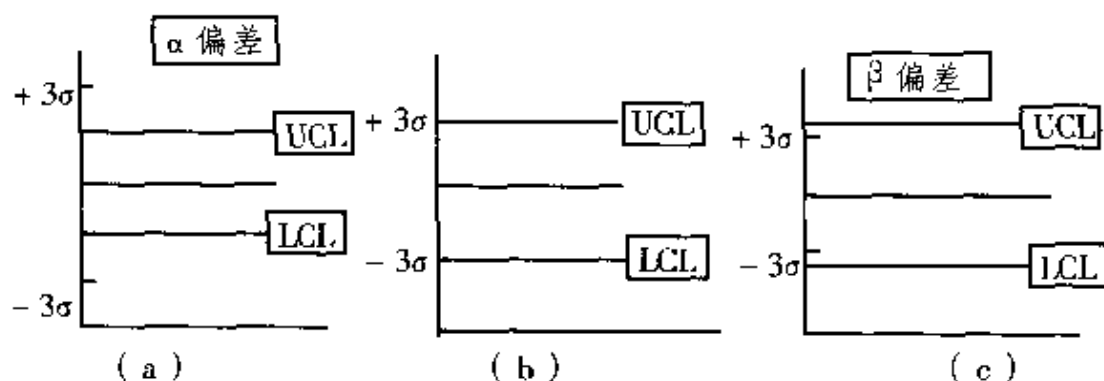


图 8 - 2 子群取样数对控制规格的影响

五、控制界限的问题

在 SPC 控制过程中，控制界限非常重要，通常为 $\pm 3\text{Sigma}$ 区域，控制界限过小容易产生 α 偏差，同样控制界限过宽容易产生 β 偏差。如图 8 - 3。

图 8 - 3 控制界限与 α 、 β 偏差的关系

六、SPC 控制点的变化性质

SPC 控制点是随过程变化而变化，其基本的分布是服从正态分布的，下面是几种 SPC 控制点变化的情形。

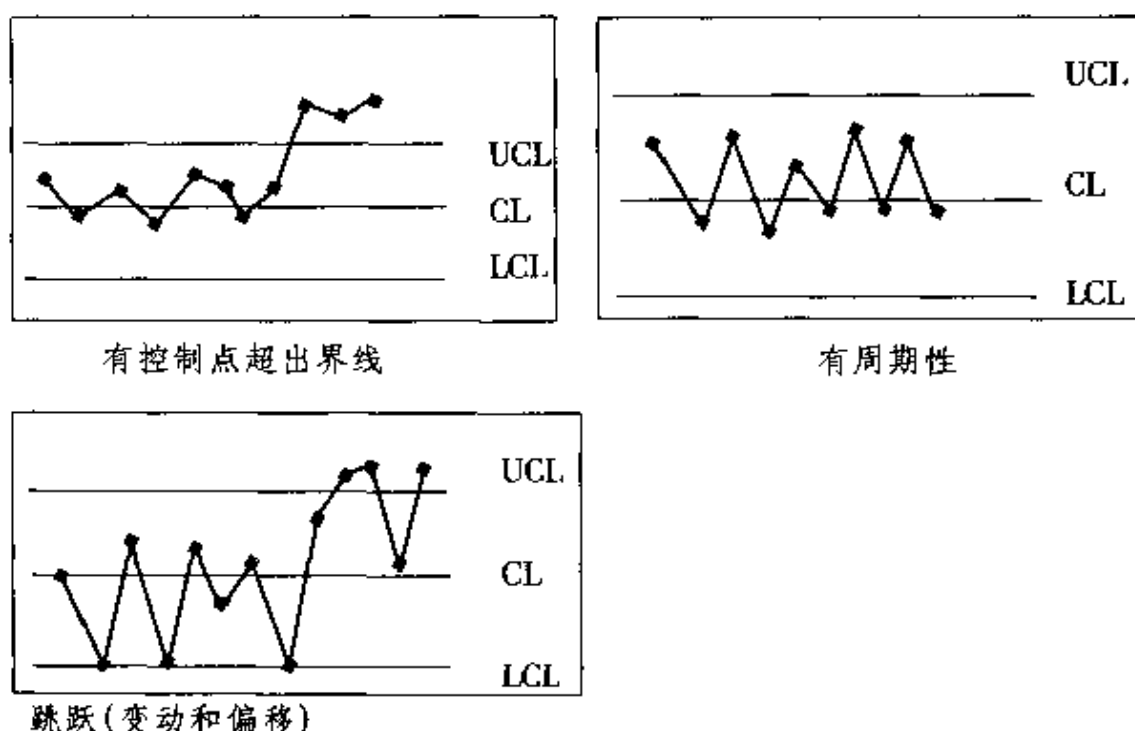


图 8-4 SPC 控制点的变化情形

七、过程取样数据与正确的行动

过程是变化的，一旦有超出控制界限点，说明过程存在问题，应该立即采取纠正行动，使过程处于稳定状态。

1. 我们应该采取怎样的行动呢？

- (1) 调整控制中心；
- (2) 减小变量的变化范围；
- (3) 改变控制规格；
- (4) 不采取任何行动；
- (5) 放弃行动，让它变化。

将以上几点进行讨论，大家一起拿出一个可行的方案来尽快使问题得到解决。在行动中以下因素切不可忽视：

- | | |
|--------|-----------|
| · 操作者 | · 设定 |
| · 测量 | · 客户 |
| · 维护 | · 财务 |
| · 材料 | · 环境 |
| · 规格 | · 管理 |
| · 工具 | · 生产计划 |
| · 安全 | · 程序 |
| · 预算 | · 检查/测试程序 |
| · 工厂布置 | · 过程流程 |

2. 我们应该先回答以下问题，然后积极地去行动，使问题得到及时改善

- (1) 如果可能，都可采用什么样的行动？
- (2) 当行动毫无理由，有多大的把握才采取行动？
- (3) 当行动不得不采取，有多大的把握可不采取行动？

只有通过分析问题，权衡利弊，牢牢把握住问题的实质，才可能采取正确行动，把过程控制在稳定的状态。

3. 收集数据信息是我们讨论和采取行动的基础

(1) 数据帮助我们了解过程的实际状况，确认当前存在的问题、合格率及品质成本，有助于我们控制过程状况。

(2) 数据分析

运用统计技术分析各种数据，有助于我们了解过程能力。

(3) 过程控制数据

过程控制数据用来控制一个操作或一个过程，并作为一个基准帮助我们采取正确行动。

八、变量的 SPC 控制图

1. SPC 的作用

过程是变化的，是变量变化所引起的结果。

- (1) SPC 是产品和过程变化的一个判定基准。
- (2) 用以改善产品质量和过程性能。
- (3) 获得产品程序或规格改变的信息。
- (4) 确定过程能力指数。
- (5) 找出或查出产品和过程变化的原因。
- (6) 监视产品和过程的变化趋势。
- (7) 建立或改变检验方法、技术或程序。
- (8) 向管理者报告过程状况及相关产品影响情况。
- (9) 节约成本。
- (10) 过程性能文件化。
- (11) 用以确定没有给定标准或过程参数的 SPC 控制方法。
- (12) 用以确立给定标准或过程参数的 SPC 控制方法。
- (13) 更好地了解实际产品或过程的频率分布。

2. SPC 常用术语的解释

表 8-1 SPC 常用术语解释

名称	解释
平均值 ($\bar{X}$)	用以测量一个过程的目标或中心，监督过程或产品在整个时间段内的变化平均值
极差 (Range)	用以测量变量的变动范围，监督过程或产品在整个时间段内的变化过程

续表

名称	解释
σ (Sigma)	用以测量标准偏差, 监控过程和产品性能在整个时间内的变化状况
个体 (Individuals)	用以测量中心变化趋势, 显示两个个体在整个时间内的变化状况
求和 (Cum sum)	发现突然变化的过程水平, 使过去的数据与现在的数据相比较
中位数 (Median)	用以测量过程中心, 监督过程和产品在整个时间的中位数变化状况过程
移动平均 (Moving average)	强调数据的平滑趋势, 是每一个个体的测量平均值, 用于过程长期能力评估
几何平均 (Geometric moving average)	强调数据的平滑趋势, 利用加权平均的方法对一些重要数据处理, 预测到权数的大小按几何级数递减的趋势
变化点 (Joint variables)	用以说明两个或多个变化点对过程或产品性能的影响
指数加权平均 (Exponentially weighted average)	强调数据的平滑趋势, 利用加权平均的方法对一些重要数据进行处理。预测到加权指数衰减的趋势
移动极差 (Moving range)	强调数据的平滑趋势, 新的极差是每一个个体测量的结果, 用于过程长期能力的评估

九、 $\bar{X}-R$ 控制图

$\bar{X}-R$ 图用于对单个变量的控制。而且是用于对计量值的控制。

1. $\bar{X}-R$ 控制图的基本概念

- (1) $\bar{X}-R$ 图可帮助我们深入了解过程变量的长期变化。
- (2) $\bar{X}-R$ 图应用于对同一批或批次取样不方便和不可能获得

更多样本的场所。

- (3) 没有灵敏度相同的 $\bar{X}$ 图。
- (4) 需确定控制规格的界限。
- (5) 取样数最少为 30 个, 最好在 45 ~ 60 之间。
- (6) 非自然形式的测试是不可靠的。
- (7) 中心趋势、周期、变异在 $\bar{X}-R$ 图上一目了然。
- (8) 控制界限、中心线在 $\bar{X}-R$ 图上更精确地界定过程的变化趋势。

- (9) 用 $\bar{X}-R$ 图说明问题更加具有实际意义。

2. $\bar{X}-R$ 控制图特点

$\bar{X}-R$ 控制图反映单个变量的变化及中心线变化趋势。

- (1) $\bar{X}-R$ 控制图也常常被称作“平均值和极差”控制图。
- (2) 测量出控制中心和反映产品或过程的变化趋势。
- (3) $\bar{X}-R$ 控制图更加精确地反映引起产品或过程变化的原因。
- (4) $\bar{X}-R$ 控制图常用于以机器为主的过程。
- (5) 有利于建立过程或产品变化的连续控制机制。
- (6) 控制常数 A_2 、 D_3 、 D_4 等服从正态分布。
- (7) 样本数越多, 样本的中心值越趋于正态分布 (中心趋向定律)。
- (8) 子群的标准偏差小于样本的标准偏差。
- (9) 可对短期过程变化进行深入研究。
- (10) 对过程能力研究是一个有力的工具。
- (11) 3σ 界限用于区分随机变量变化的界限。
- (12) $\bar{X}-R$ 控制图有其实际意义, 关键在于区分不同的应用场所。

(13) $\bar{X}-R$ 控制图测量的数据应该得到妥善保存。

3. $\bar{X}-R$ 控制图应用的注意事项

(1) 实际应用时, R 图与 σ 图提供的信息是相同的。

(2) 实际应用时, R 图比 σ 图更能反映子群的变化状况。

(3) R 图不能用于没有变化的过程变量的控制。

(4) R 图和 σ 图评价总体标准偏差。

(5) 当子群组样本数 $n=2$ 时, $\bar{R}$ 和 σ 同自然标准偏差一样。

(6) 当子群组样本数 $n \leq 6$ 时, R 图的控制下限为零 (假定是连续取样数据)。

(7) 当用 2σ 控制界限时, α 风险性会增大。

(8) 通常, 当以 2σ 作为控制界限时, 区分变量的变化程度比以 3σ 作为控制界限困难。

(9) 为减少 β 风险宜增加子群取样数。

(10) 增加子群取样数也会增加加权平均数的变化幅度。

(11) R 图依赖于制造过程, R 图适用于以操作者为主的过程; X 图适用于以机器操作为主的过程。

(12) 总之, 使用 $\bar{X}-R$ 控制图能比较深入地了解变量性质和频数分布情况。

4. 子群样本的问题

下列各点决定了子群样本大小与 R 图应用的关系:

(1) 控制图的成功 ($\bar{X}-R$ 控制图) 依靠于子群部分。

(2) 选择子群时, 应使每个子群的取样条件尽可能接近。

(3) 子群组应包含所有的样本, 而且一个子群组一个点。

(4) 选择的子群组应能够代表所在时间段的总体水平, 且具有连续性。

(5) 为了作好过程的分析和控制, 样本所包含的子群组应从时序上尽量接近。

——子群组内的变化越小越好, 子群与子群的变化越大越好。

——总的标准偏差越小, 过程控制越好。

——过程平均对变化更敏感。

——需保持过程平均的连续性。

(6) 对于实际的控制程序, 样本中的子群组应便于抽样。

——允许子群组内变化最大。

——过程平均稍许变动会引起出现超控点, 甚至标准偏差也发生变化。

十、 $\bar{X}-R$ 图应用实例

1. $\bar{X}+3\sigma$ 控制图

例 1: 某 PCB 在锅炉上的过炉品质如表 8-2 所示。

表 8-2 PCB 过炉品质数据表

日期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	备注
过炉 PPM	200	180	190	185	210	198	205	215	185	195	190	195	198	205	210	$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\sigma$ $LCL = \bar{\bar{x}} - 3\sigma$ $CL = \bar{\bar{x}}$
日期	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
过炉 PPM	220	195	210	185	200	195	175	180	190	205	190	195	170	185	195	

试作出 PCB 过炉品质的控制图。

(1) 求出 30 个样本的标准偏差和平均值

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 11.6 \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 195$$

(2) 求出控制界限

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\sigma = 195 + 3 \times 11.6 = 229.8$$

$$LCL = \bar{x} - 3\sigma = 195 - 3 \times 11.6 = 160.2$$

$$CL = \bar{x} = 195$$

(3) 作出 $\bar{x} \pm 3\sigma$ 控制图

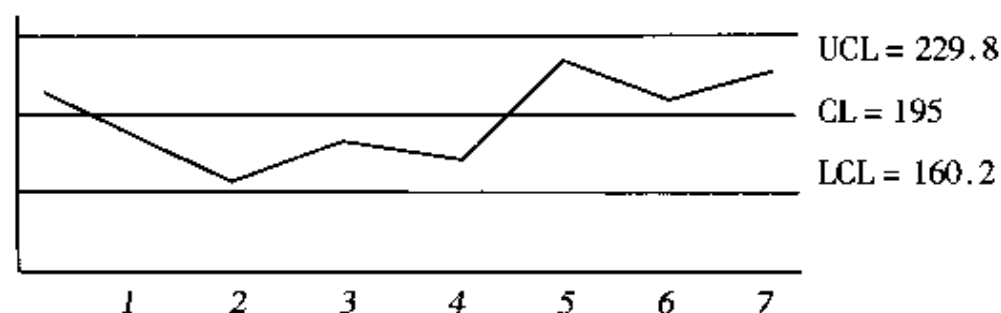


图 8-5 $\bar{x} \pm 3\sigma$ 控制图

2. $\bar{X} - R$ 控制图

例 2. 某检验员测得某自动绕线机的张力数据如表 8-3, 试确定该绕线机的张力规格。

表 8-3 绕线机张力数据表

组号	测量值 (单位: N)					合计	平均值	极值
G	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	SUM	Avg	R
1	10	11	12	13	15	61	12.2	5
2	11	13	14	15	16	81	16.2	5
3	10	12	13	14	15	61	12.8	5
4	11	12	14	16	18	71	14.2	7
5	19	18	17	15	20	89	17.8	5
6	10	20	11	13	14	68	13.6	4
7	10	13	14	18	19	74	14.8	9
8	11	14	16	17	18	76	15.2	7
9	10	11	13	14	19	67	13.4	9

续表

组号 G	测量值 (单位: N)					合计	平均值	极值
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	SUM	Avg	R
10	10	12	15	16	20	73	14.6	10
11	13	14	16	17	20	80	16	7
12	16	18	19	20	12	85	17	8
13	11	13	14	19	20	77	15.4	9
14	15	16	17	18	10	76	15.2	8
15	11	12	13	19	20	75	15	9
16	13	14	16	20	11	74	14.8	9
17	10	11	16	18	19	75	15	9
18	11	13	14	17	20	75	15	9
19	12	13	16	17	18	76	15.2	6
20	10	20	19	18	17	84	16.8	10
						合计	300	10
						平均	15	7.5

(1) 根据表 8-3 数据, 可计算出绕线机张力控制规格。

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 15 + 0.5777 \times 7.5 = 19.33 \text{ (N)}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 15 - 0.5777 \times 7.5 = 10.67 \text{ (N)}$$

$$CL = \bar{\bar{X}} = 15 \text{ (N)}$$

(2) R-Chart

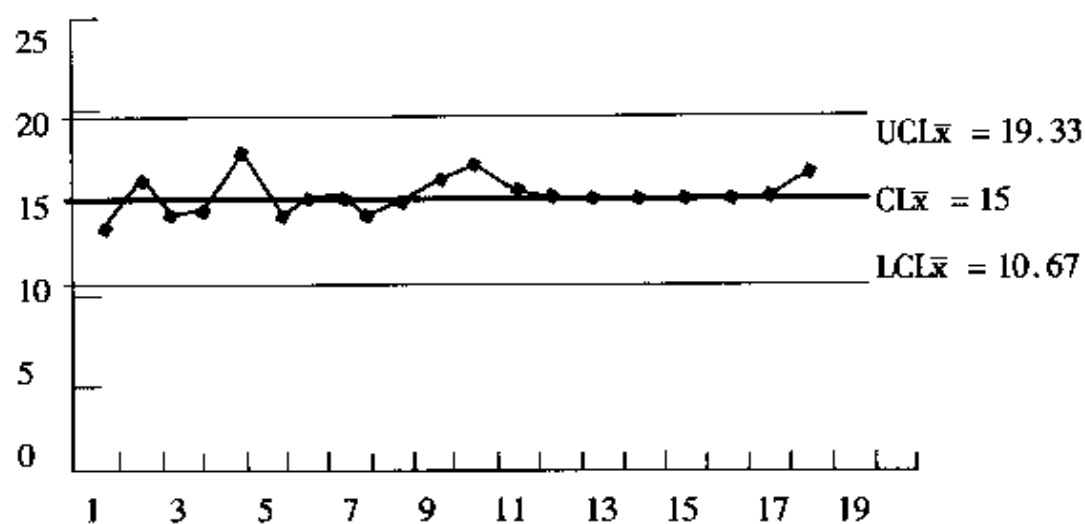
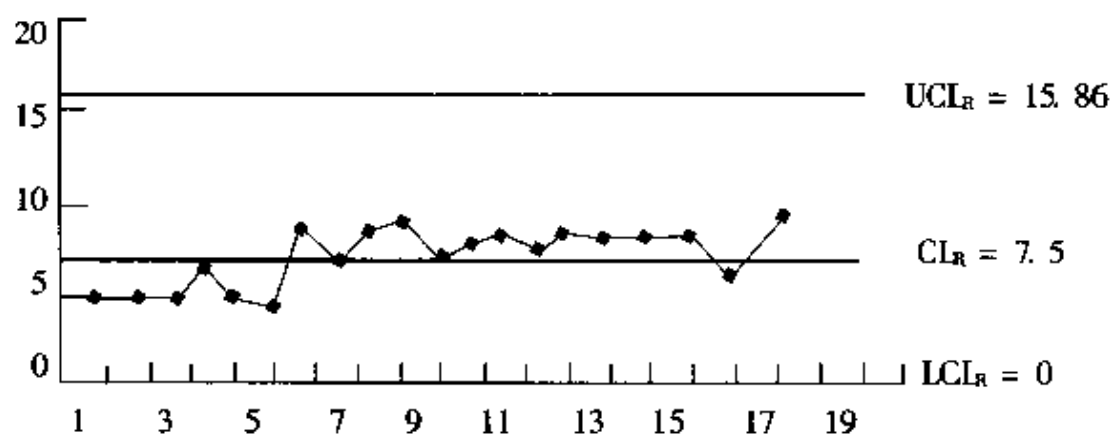
$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.115 \times 7.5 = 15.86$$

$$LCL = \bar{R} = 0$$

$$CL = \bar{R} = 7.5$$

A_2 、 D_4 为查 $\bar{X}-R$ 图系数表所得。

(3) 作出 $\bar{X}-R$ 控制图。

图 8-6 $\bar{X}$ 控制图图 8-7 R 控制图

十一、P - Chart (P 控制图)

1. P - Chart

P 图的基本概念:

(1) P 图为 SPC 的另一种形式。

(2) 当不良品比例增加或减少时, 或当不良品控制标准改变时, 可用 P 图予以控制。

(3) 如果 P 图显示不稳定, 要寻找过程变化的原因。

(4) P 图反映实体整个性能的变化。它有可能漏掉某个特征的控制, 这是因为统计性能之间平衡的问题。如: 实际情形是这样, 每一个特征处于受控状态, 但总的性能可能超出控制界限。反之亦然。

(5) 借助 P 图研究问题需要实际工作经验。

(6) 在 P 图中引起超出控制界限的条件是由于中心趋势的影响或产品分布的变化。

(7) 超出控制界限的点必集中在有高坏品率的地方。

(8) 如果有超出控制规格的点被观察到, 首先要检查拒收标准是否改变或重新计算后是否还会出现超出控制规格的点。因为它包括外观标准, 改变检查者也严重影响 P 控制图的控制界限。

(9) 拒收标准大的变动会严重影响到控制界限。

2. P 图的子群样本

下列各点与 P 图子群样本有关:

(1) 当计算控制界限时, 我们希望子群样本具有多样性, 下面几点可以说明。

①当抽样量不等时, 要计算出新的控制界限。

②抽样前须先评估平均子群样本大小。

③当子群样本发生变化时需建立新的控制界限。

④可根据特别的子群样本设立多个控制界限。

(2) 当子群样本太小时, 控制界限趋势变得较宽。

(3) 在品质稳定的情况下抽取大的样本是为了发现超界的条件。

(4) 形成子群样本的基础为:

①生产地点。

②一天的检查项目。

③先决定抽样区间, 如: 抽样表。

④产品订单。

⑤其他相关的组内平均值。

(5) 须将子群样本汇总成一周或一月统计数以便进行管理。

(6) 总之, 子群样本的变化尽可能变化小而且能够代表总体样本的性能。

(7) 相关子群样本应尽可能接近, 增加同一性能将会减少组内变化的概率。

3. P 图使用说明

(1) 首先应确定选用何种控制图。

(2) 选择收集的数据点。

(3) 建立基本的子群样本。

(4) 选择控制图的类别 (P 或 np)。

(5) 建立取样区间。

(6) 确定样本大小。

(7) 将控制界限计算出来并作为基本控制标准。

- (8) 设定记录控制数据的表格。
- (9) 写出使用控制图的应用程序。
- (10) 收集和记录数据。
- (11) 计算每一组 P 值。
- (12) 计算出 $\bar{P}$ 。
- (13) 计算出初步的控制界限。
- (14) 将控制点绘在控制图上。
- (15) 说明控制图，如有必要，对超控点要采取正确的行动。
- (16) 选择标准的 P_0 值。
- (17) 计算出控制界限。
- (18) 画出 P 图及其控制界限。
- (19) 说明控制图，如有必要，采取正确的行动。
- (20) 评审标准 P_0 值，如有必要，周期性地修订控制规格。

4. 应用实例

例一：某机种报验 QA，其不良率如表 8-4，试作出其 P 控制图。

表 8-4 报验 QA 不良率分布表

序号	报验数	不良数	不良率 P
1	200	1	0.005
2	200	0	0
3	200	1	0.005
4	200	2	0.01
5	200	1	0.005
6	200	2	0.01
7	200	1	0.005

续表

序号	报验数	不良数	不良率 P
8	200	3	0.015
9	200	0	0
10	200	1	0.005
11	200	2	0.01
12	200	0	0
13	200	3	0.015
14	200	1	0.005
15	200	2	0.01
16	200	3	0.015
17	200	0	0
18	200	1	0.005
19	200	2	0.01
20	200	1	0.005
合计	4000	37	0.00925

(1) 计算 $\bar{P}$

$$\bar{P} = \frac{37}{4000} = 0.00925$$

(2) 计算出控制界限

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.00925 + 3\sqrt{\frac{0.00925(1-0.00925)}{200}} \\ &= 0.02955 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCL &= \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0.00925 - 3\sqrt{\frac{0.00925(1-0.00925)}{200}} \\ &= -0.01105 \end{aligned}$$

(3) 作出 P 图

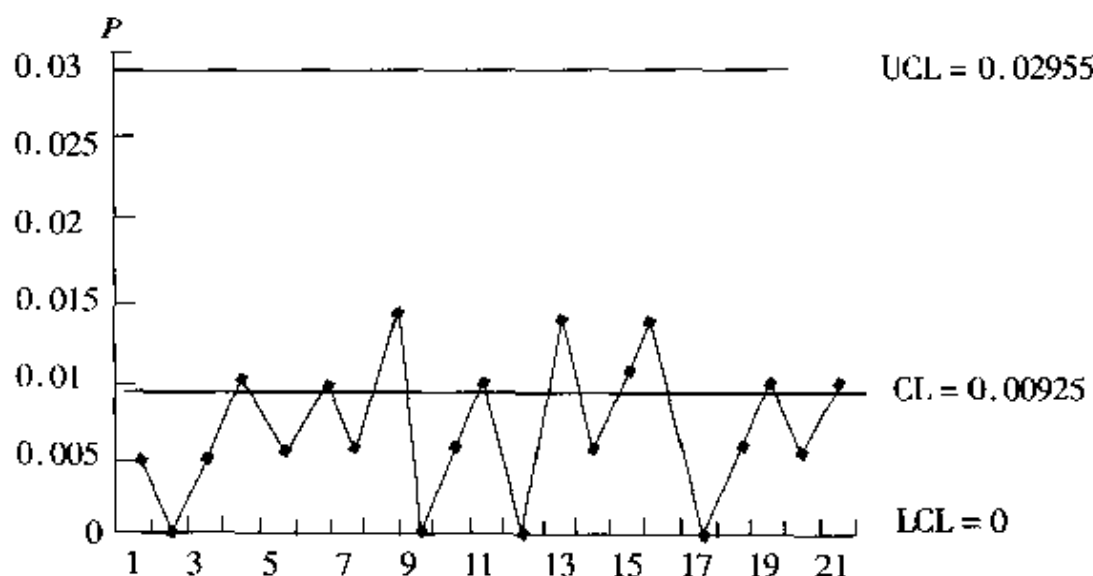


图 8-8 P 控制图

十二、SPC 控制图判定规则

当 SPC 控制图显示以下特征时，表明过程出现变异，须采取行动调查变异原因，必要时予以改善。

1. 一个点大于 3σ 。
2. 连续 7 个点在平均值以上。
11 个点中有 10 个点在平均值以上。
14 个点中有 10 个点在平均值以上。
3. 连续 7 个点在平均值以下。
4. 连续 7 个点有上升趋势。
5. 连续 7 个点有下降趋势。
6. 连续 14 个点交替上升或下降变化。
7. 3 个点中有 2 个点在 $2\sigma \sim 3\sigma$ 的控制区域。

8. 5 个点中有 4 个点在小于 1σ 区域而且在平均值之上。
9. 连续 14 个点在小于 1σ 的区域且分布在平均值的两边。
10. 连续 8 个点在小于 1σ 的区域交替变化。

第二节 过程预控制

一、过程预控制

过程预控制是分区对过程平均值连续控制的方法。

二、过程预控制规则

1. 给作业者一个判定原则, 是继续生产还是停止作业。
2. 所给定的原则是根据总体平均值偏移的概率。

三、过程预控制方法

1. 建立过程控制区域

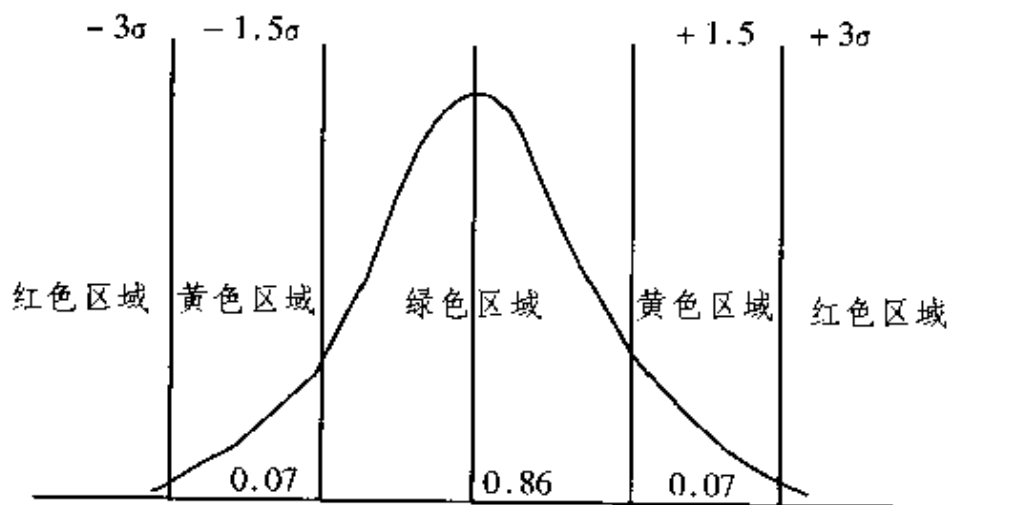


图 8-9 过程预控制分区图

将其分成五个区：

$(-\infty, -3\sigma) \cup (3\sigma, \infty)$ 为红色区域

$(-1.5\sigma, 1.5\sigma)$ 为绿色区域

$(-3\sigma, -1.5\sigma) \cup (1.5\sigma, 3\sigma)$ 为黄色区域

2. 当有 5 个点同时在绿区，则该过程是稳定的

3. 一个生产班次的基本要求是连续取样两个点

4. 判定规则

①如果第一个点在绿区，则不需要采取行动，继续进行生产。

②如果第一个点在黄区，则需检查第二个点：

如果第二个点在绿区，则不必要采取行动。

如果第二个点在黄区的同一边，则过程需要调整。

如果第二个点在黄区的相反的一边，则停止生产并通知支援工程师改善。

③如果有任何一点在红区，应通知支援工程师改善。

5. 通过采取正确的行动后，重新开始生产，并且要达到连续 5 个点在绿区的原则，以保持过程稳定

第三节 过程能力研究

一、过程能力

过程能力是过程性能的允许最大变化范围与过程的正常偏差的比值。

即：

$$CP = \frac{|USL - LSL|}{6\sigma}$$

$$Z_{ST} = 3CP$$

$$CP_K = CP (1 - K)$$

$$K = \frac{|T - u|}{(USL - LSL) / 2}$$

$$CP_K = \frac{(USL - LSL) - 2 \times |T - u|}{6\sigma}$$

T 是公差中心

u 是样本或总体的平均值

二、SPC 控制图的过程能力

表 8-5

SPC 过程能力计算公式

控制图	控制界限	标准偏差	过程能力指数	备注
$\bar{X} - R$ Chart	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$	$\sigma = \bar{R} / d_2$	$CPU = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma}$ $CPL = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma}$	$Z = \frac{USL - LSL}{\sigma}$
	$UCL_R = D_3 \bar{R}$ $LCL_R = D_4 \bar{R}$ $CL_R = \bar{R}$	$\sigma_R = \bar{R} / d_2$	$CPU = \frac{USL - \bar{R}}{3\sigma}$ $CPL = \frac{\bar{R} - LSL}{3\sigma}$	

续表

控制图	控制界限	标准偏差	过程能力指数	备注
P - chart	$UCL = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$ $LCL = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$ $CL = \bar{P}$	$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$	$CPU = \frac{USL - \bar{P}}{3\sigma_p}$ $CPL = \frac{\bar{P} - LSL}{3\sigma_p}$	
np - chart	$UCL = \bar{np} + 3\sqrt{\frac{\bar{np}(1-\bar{np})}{n}}$ $LCL = \bar{np} - 3\sqrt{\frac{\bar{np}(1-\bar{np})}{n}}$ $CL = \bar{np}$	$\sigma_{np} = \sqrt{\frac{\bar{np}(1-\bar{np})}{n}}$	$CPU = \frac{USL - \bar{np}}{3\sigma_{np}}$ $CPL = \frac{\bar{np} - LSL}{3\sigma_{np}}$	

第四节 测量系统控制

一、测量系统

测量系统是一切测量的基础，如果测量系统达不到测量的要求和精度，势必影响 6Sigma 测量系统的准确性。

测量系统是由人、仪器设备、软硬件所组成的系统，它是对实体进行测量评价的基础，测量系统的精度要比被测实体的精度高一个数量级，才可达到对实体进行评估的目的。

重复性也叫设备变差，用同一评价者在同一测量设备上多次测

量同一部件，可评价测量设备的变差有多大。

再现性也叫人为变差。用不同的评价者在同一测量设备上多次测量同一部件，可分析人为因素的影响有多大。

二、测量系统评价

测量系统评价用 GageR&R 来表示。

$$\text{GageR\&R} = 5.15\sigma_m \text{ 或 } \text{GageR\&R} = \sqrt{\text{EV}^2 + \text{AV}^2}$$

σ_m : 测量系统的标准偏差;

EV: 设备变差;

AV: 人为变差。

三、测量系统的评价方法

1. 被测系统 $\text{GageR\&R} < 10\%$ ，且辨别力类别大于 5，则较理想。

2. $20\% > \text{GageR\&R} > 10\%$ ，且辨别力类别等于 5，则此系统可以接受。

3. $30\% > \text{GageR\&R} > 20\%$ ，且辨别力类别等于 4，测量系统可否接受取决于被测特性的重要程度和成本。

4. 如 $\text{Gage R\&R} > 30\%$ ，或辨别力小于 4，此测量系统不可接受，须进行改善。

四、测量系统的控制

测量系统控制需要注意以下几点：

1. 定期对测量系统进行评估，看 $\text{GageR\&R}$ 是否超出标准范围。
2. 定期对仪器设备进行检定使其符合标准要求。

3. 对测量系统要有规范的仪器校正标识卡和最后使用期限。
4. 要有专人负责和管理仪器软硬件，并定期加以维护，确保其工作在正常状态。

第九章

6Sigma 品质突破策略—— “D - M - A - I - C”

- 第一节 6Sigma 解决问题的基本步骤
- 第二节 6Sigma 品质实施方法
- 第三节 6Sigma 品质突破策略
- 第四节 6Sigma 品质突破工具

第一节 6Sigma 解决问题的基本步骤

通过对问题的性质进行分析后，我们可通过如下步骤对问题进行解决。

1. 选择问题的变量
 - 列出问题
 - 确定因变量 Y
 - 问题的数量
2. 对问题进行诊断
 - 收集数据
 - 作分析图
 - 分析数据
3. 提出影响问题的因素
 - 头脑风暴法
 - 结构树
 - 排列图
4. 确定影响问题的因素
 - 实验设计
 - 影响成分分析
 - 验证
5. 建立动作的界限
 - 确定公差
 - 最小成分/非线性分析
6. 验证并进行改善
 - 过程改善
7. 过程控制
 - 过程控制研究
 - 统计过程控制
 - 品质计划

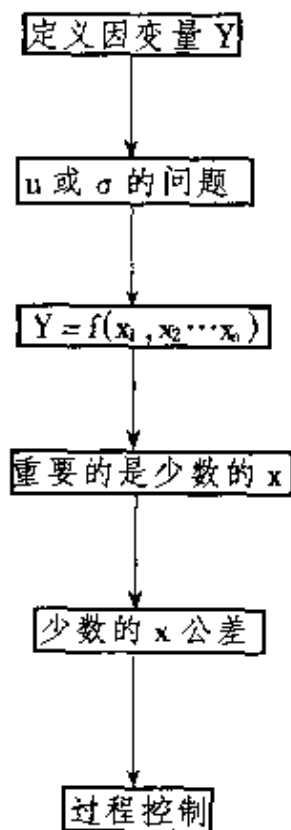


图 9-1 问题处理流程

第二节 6Sigma 品质实施方法

(1) 建立 $Y = f(x)$ 设计模型，寻找最佳 x ，使设计目标函数最优化。

(2) 测量 Y 值：

$$Y = f(x)$$

如果 $Z_{LT} < 3\text{Sigma}$ 90%要减少 DPMO

如果 $Z_{LT} < 3\text{Sigma}$ 50%要减少 DPMO

注：DPMO (Defects Per Million Opportunity) 每百万个机会中的缺陷数

(3) 分析 Y 受潜在的 x 的影响。

(4) 改善：通过优化 x 来改善 Y 。

(5) 控制：控制 x 的变化。

(6) “D - M - A - I - C” 流程图如图 9 - 2。

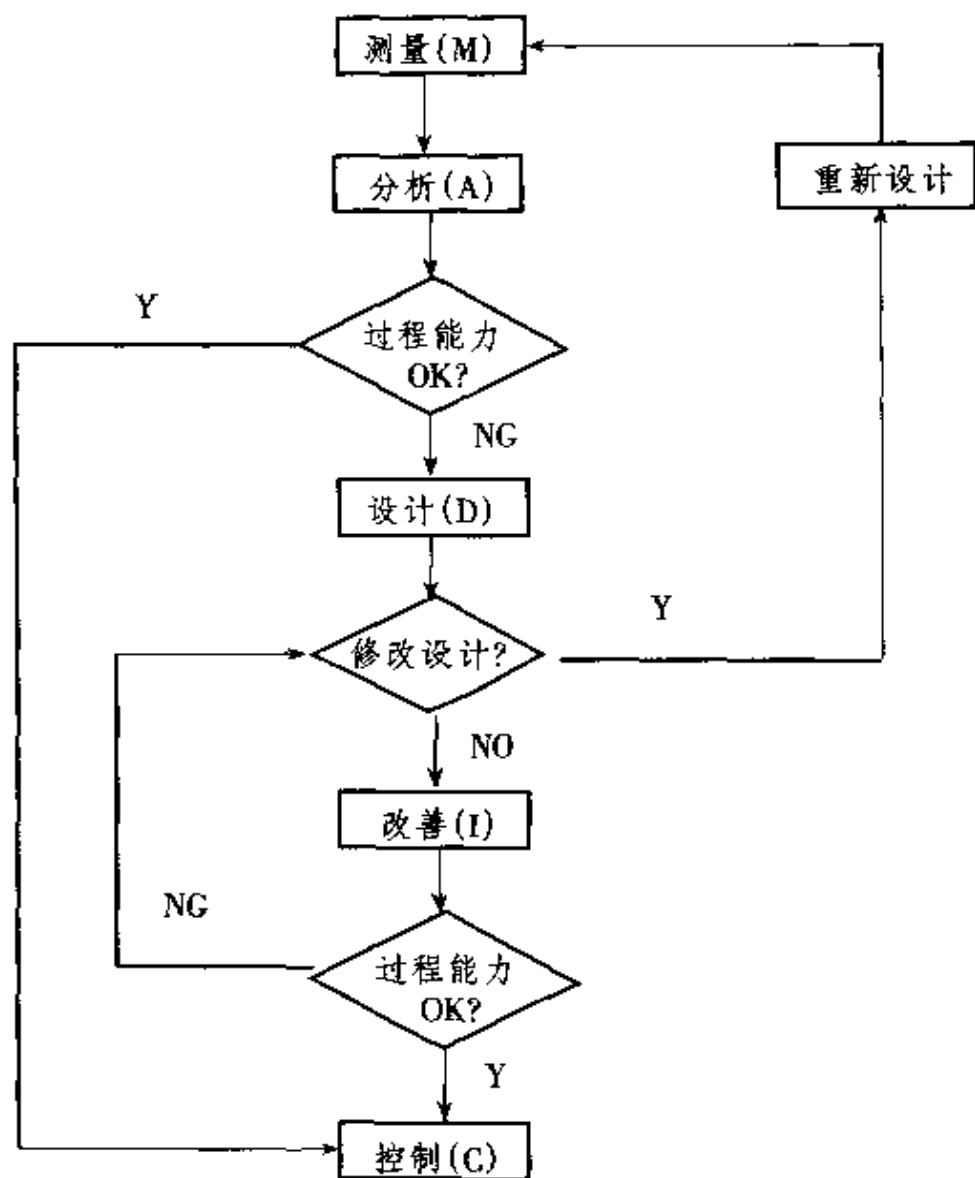


图 9-2 D-M-A-I-C 流程

第三节 6Sigma 品质突破策略

一、6Sigma 品质的突破结构

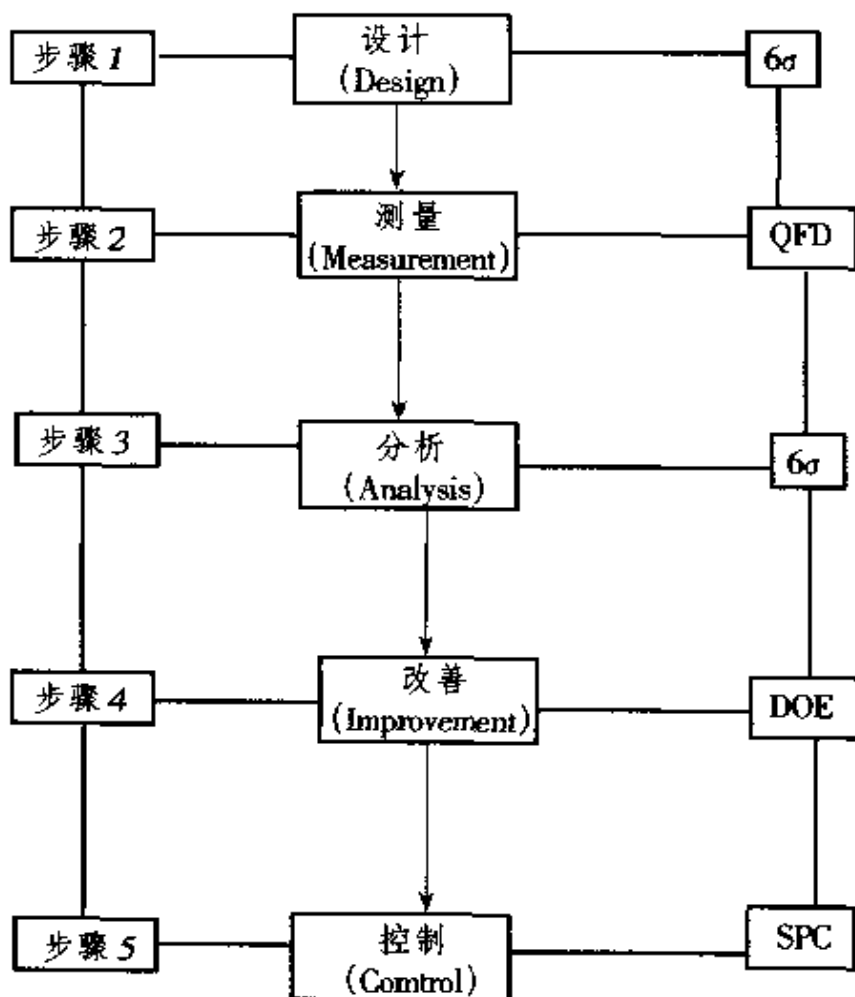


图 9-3 6Sigma 品质的突破结构

步骤 1: 设计 (Design)。确定设计变量因子, 寻找最优化方

案，满足可互换性和高可靠性及最小 DPU 设计要求，运用 DFMEA 分析方法和 DOE 实验方案达到 6Sigma 设计。

步骤 2：测量（measurement）。确定主要测量的产品或因变量，作出测量记录和测量结论，评价其短期或长期过程能力。

步骤 3：分析（Analysis）。这一步必须分析新产品或过程的基本性能是否满足设计要求，运用 Gap 分析对产品进行 6Sigma 优化设计。有时必须重新设计产品或过程。

步骤 4：改善（Improvement）。选择新产品或过程性能指南针进行改善，以达到实际目标。诊断分析问题来源，对关键过程变量进行 DOE 实验。

步骤 5：控制（Control）。这一步确保新的过程被文件化和进行 SPC 控制。

二、6Sigma 突破要素

1. 过程性能（process characterization）

确定过程性能与其相关新产品关键性能。运用 Gap 分析确定影响成功因素的因子。

2. 过程优化（process optimization）

过程优化的目的在于确定产品的关键性能，并将影响过程的变量予以优化。

三、6Sigma 突破策略

如何突破 6Sigma 品质，首先在于最高管理者有深刻的认识和中层管理者的积极参与。加强培训并灌输 6Sigma 品质意识，建立一支 6Sigma 突破策略的实施队伍，分析目前的品质水准（ Z_{ST} 、 Z_{LT} 、

DPU、DPMO、PPM)。

首先，找出与 6Sigma 要求的差距，制定实施计划和实施策略，可分近期、中期、长期计划，找出制约 6Sigma 瓶颈的过程问题并进行持续品质改善。建立一支品质改善队伍，围绕影响过程品质的关键因素，找出问题的症结所在，一步一个脚印向成功因子逼近，才可达到过程品质的最优化效果。

其次在于实施。在 6Sigma 目标已经建立的情况下，关键在于我们必须一步一步实施。在 6Sigma 推行委员会领导下，全面部署实施 6Sigma。

1. 计划 (plan)

- (1) 实施 6Sigma 策略。
- (2) 实施 6Sigma 的短期目标。
- (3) 实施 6Sigma 的中期目标。
- (4) 实施 6Sigma 的长期目标。

2. 培训 (training)

- (1) 6Sigma 基本知识培训。
- (2) 统计知识培训。
- (3) 如何建立 6Sigma 标准和测量 6Sigma 值。
- (4) 过程能力研究。
- (5) 统计过程控制 (SPC)。
- (6) 怎样进行实验设计 (DOE) 达到品质改善的目标。
- (7) 如何运用 6Sigma 分析方法解决过程问题。
- (8) 掌握 6Sigma 解决问题的工具和方法。
- (9) 6Sigma 品质与制造周期、成本和可靠性的关系。
- (10) 怎样建立一支高素质的品质改善队伍。

3. 应用 (apply)

- (1) 6Sigma 标准应用。
- (2) 利用统计知识解决过程中存在的问题。
- (3) 进行 Z_{ST} 、 Z_{LT} 、DPU、DPMO、PPM 测量, 计算出 Sigma 水平值。
- (4) 分析过程能力及改善方法。
- (5) 应用 $\bar{X}-R$ 、 P/np 、U 图进行过程控制, 使过程处于受控状态。
- (6) 用 DOE 设计方法进行品质改善。
- (7) 用 6Sigma 分析方法分析过程中的实际问题。
- (8) 用 6Sigma 解决问题的工具和方法处理过程中存在的问题。
- (9) 分析产品制造周期、产品成本和产品可靠性。
- (10) 成立一支高素质的品质改善队伍, 群策群力, 持续推进品质改善。

4. 评审 (review)

- (1) 是否各过程已开展 6Sigma 评价。
- (2) 是否运用统计技术解决问题。
- (3) 是否用 Z_{ST} 、 Z_{LT} 、DPU、DPMO、PPM 等作 6Sigma 品质评价。
- (4) 是否用 CP、 CP_K 测量过程能力。
- (5) 是否用 SPC 控制过程水平。
- (6) 是否用 DOE 进行过程改善。
- (7) 是否用 6Sigma 分析方法分析实际过程问题。
- (8) 是否运用 6Sigma 工具和方法解决过程问题。
- (9) 是否有控制产品生产周期、成本、可靠性的工具和方法。

(10) 是否成立了 6Sigma 品质改善队伍。

第四节 6Sigma 品质突破工具

一、6Sigma 分步突破工具

第一步设计 (Design) 突破工具有：

- 可互换性设计
- 高可靠性设计
- 最小 DPU 设计
- 最优化设计
- DFMEA&DOE

第二步测量 (Measurement) 突破工具有：

- 计划和组织
- 6Sigma 测量： Z_{ST} 、 Z_{LT} 、CP、 CP_K 、DPU、DPMO、PPM

第三步分析 (Analysis) 突破工具有：

- 过程性能基准
- 6Sigma 品质分析方法
- Gap 分析

第四步改善 (Improvement) 突破工具有：

- 诊断方法
- 实验设计
- 公差性能

第五步控制 (Control) 突破工具有：

- 统计过程控制

二、6Sigma 应用工具包

此工具包有 50 种应用工具

1. 协方差分析

协方差分析用来统计两个随机变量 (x_1 、 x_2) 之间的离散程度, 协方差为零是随机变量相互独立的必要条件。

2. 方差分析

方差分析是统计自变量 (x_s) 对因变量 (Y) 的影响程度, 它要求自变量 (x_s) 是绝对或不连续的。方差分析用来决定不同水平的平均值是否大于期望的变差, 它允许同时研究比较几个平均值或整个水平的风险。

3. 二项分布

如果随机变量 x 的概率分布为 $P\{x=K\} = C_n^k p^k q^{n-k}$ ($k=0, 1, \dots, n$) ($0 < p < 1, q=1-p$), 则称 x 服从二项分布。

4. 头脑风暴法

头脑风暴法为奥斯本所创, 它要求每个人在同一场合对同一问题充分发挥联想, 不妄加评论, 不作提示, 尽自己的所能, 对问题点进行全方位多角度分析, 找到问题的突破口或产生新的思想火花。

5. 因果矩阵

因果矩阵是用来研究产生问题的原因的一种方法, 罗列出产生问题的几种可能原因, 从而找到根本的原因。

6. 检查表

利用检查表可以十分便利地说明不良分布的数量及内容, 为分析问题产生的原因提供依据。

7. 卡方分布

皮尔逊提出的 X^2 统计量服从卡方分布, 即 $X^2 = \sum_{j=1}^s \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$, f_o 为统计量的观测值, f_e 为统计量的期望值。

8. 卡方检验的拟合优度

X^2 统计量 $X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i}$, 若 n 充分大 ($n \geq 50$), 则不论总体为什么分布, 统计量 X^2 总是近似服从自由度为 $k - r - 1$ 的 X^2 分布, 其中 r 是被估计的参数, 用 X^2 统计量的假设检验称为拟合优度 X^2 - 检验法。

9. 卡方分布的独立性检验

独立性检验用来检验两种分类特征或两个随机变量是否独立。

X^2 的统计量为 $X^2 = \frac{n(ad - bc)^2}{(a+b)(a+d)(a+c)(b+d)}$, 其 2×2 联立表为:

表 9-1 X^2 联立表

	I	II	
1	a	b	a + b
2	c	d	c + d
	a + c	b + d	a + b + c + d

10. 置信区间

置信区间是一个总体值的范围, 如总体平均 (population mean) μ < 样本平均的置信区间是 $\bar{X} \pm t\sigma/\sqrt{n}$, t 来自于 t 统计表在 $n - 1$ 自由度下的 95% 置信度, σ 为样本的标准偏差。不同的两个样本, 如果变量相同, 那么置信区间为 $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 \pm t_{Sp} \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$, n 为在自由度 $n_1 + n_2 - 2$ 的情形下的置信度, Sp 为联合标准偏差,

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}。$$

11. 控制卡

控制卡用来分析控制关键过程或变量的变化点，使之处于稳定状态。

12. 相关分析

相关分析是研究两个变量的相互关系的方法。自变量（x）与因变量（Y）相关程度用相关系数表示。 $r=1$ 完全正相关， $r=-1$ 完全负相关， $r=0$ 不相关。

13. 交叉表

14. 数据收集表

数据收集用于统计数据收集的表格，形式因事而异。

15. 指数分布

如果随机变量有概率密度：

$$P(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

则称 x 服从参数为 λ 的指数分布。

16. F 分布

F 分布是统计量 $F = \frac{S_1^2/\sigma_1^2}{S_2^2/\sigma_2^2}$ 服从自由度 $(n_1 - 1, n_2 - 1)$ 的分布，可用来判断两总体方差是否相等。

17. F - 测试

F - 测试法是判断两总体方差是否相等的一种方法。统计假设 $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 对 $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ 的 F - 检验法，选取统计量 $F = S_1^2/S_2^2$ ，取显著水平 α ，由于统计量 F 在零假设 H_0 成立时服从 $F(n - 1,$

$n_2 - 1$)分布, 查 F 分布表确定临界值, 从而可判断零假设 H_0 是否成立。

18. 缺陷模式与影响分析

缺陷模式与影响分析 (FMEA) 用于分析产品设计、过程或系统潜在缺陷的影响程度, 以使设计、过程或系统达到理想的最佳状态。FMEA 对缺陷的严重度 (S)、发生的频率 (O) 及被侦测度 (D) 进行分析, 这种影响越大, 风险系数越大。无论 RPN 有多大, 严重度 (S) 大都要加以改善。

19. 鱼刺图

鱼刺图也叫“因果”图, 帮助我们确定潜在影响因子 $\sigma(X_s)$, 分析产生问题的原因, 一般用 5M + 1E (机器、材料、方法、人、测量、环境) 进行分析。如图 9-4 所示:

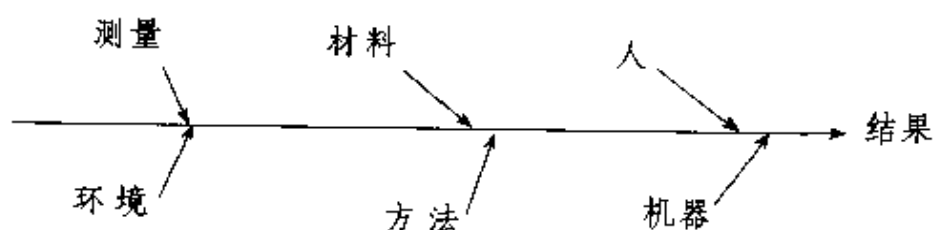


图 9-4 鱼刺图

20. 作用因子分析图

21. 分部 DOE 设计

大部分因子被测试。

22. 全因子 DOE 设计

所有因子组合被测试。

23. 分组筛选 DOE 设计

24. 直方图

直方图是一种重要的数据分析工具，它能反映数据的分布范围及频率数，我们能够计算出平均值（mean）及方差（variance），如果过程是正常的，那么数据分布是服从标准的正态分布的。

25. 假设构造

26. Location 指数

27. 过程能力指数

过程能力指数是指过程的最大变动状态，是评价过程是否稳定的一个参量。

$$CP_K = \frac{(USL - LSL) - 2|T - u|}{6\sigma}$$

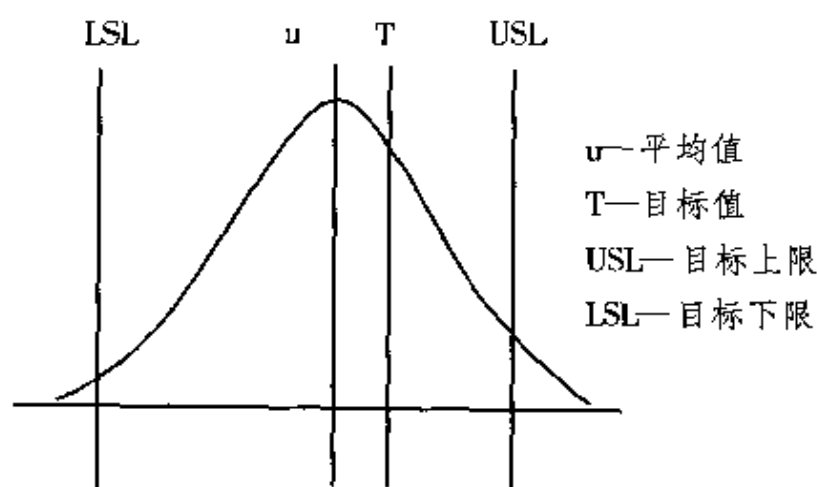


图 9-5 过程能力与正态分布

28. 变量指数

变量指数是反映过程变动或差异程度的指针，用以分析各因素对总体综合变动的影响程度。

29. 线、条、饼图

线、条、饼图是用于直观分析品质问题的图形，通过对线、

条、饼图的观察可以发现并分析问题的实质。

30. 数学变换

31. 中位数检验

中位数检验可以检验处于中间位置的数值大小，它是由数所处的位置决定的。由中位数可以确定上下值，从而可以确定其分布。

$$\text{下限公式: } Me = L + \frac{\frac{\sum f}{2} - (S_m - 1)}{f_m} \cdot i$$

$$\text{上限公式: } Me = U - \frac{\frac{\sum f}{2} - (S_m + 1)}{f_m} \cdot i$$

Me 代表中位数

L 代表下限

U 代表上限

$S_m - 1$ 代表中位数所在组的下一组以下累积次数

$S_m + 1$ 代表中位数所在组的上一组以上累积次数

$\sum f$ 代表次数之和

f_m 代表中位数所在组的次数

i 代表中位数所在组距

32. 正态分布

33. 排列图

分析绝对坏品数时，我们可以用排列图分析其不良类别的频率，如图 9-6 所示，从图中可看出 A、B、C 为三大主要坏项。

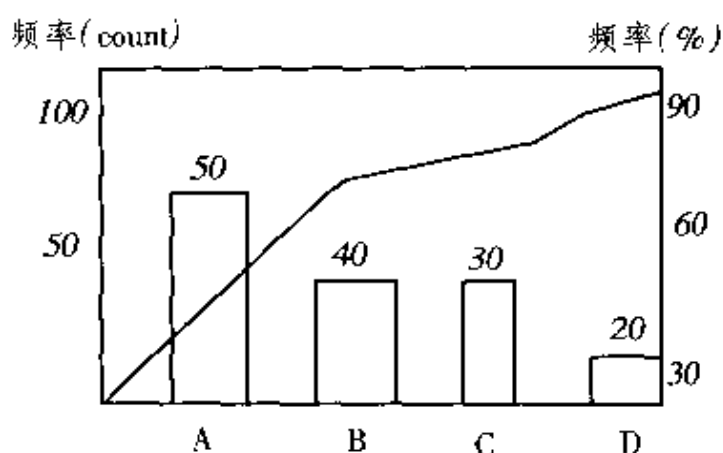


图 9-6 排列图

34. 品质因子

35. 性能公差

性能公差是指为满足 6Sigma 设计的公差要求，用 Gap（间隙）可确定其最大公差范围。

36. 泊松分布

37. 泊斯托记录

38. 过程预控制

过程预控制是控制过程处于稳定状态的方法。它是以过程总体平均值（population mean）是否发生偏移为报警信号，依 6σ 分成绿、黄、红几个区域。控制点在绿区时可继续运行，控制点在黄区时要引起注意。连续两个点在黄区同一边时要调整，其中第二个点分布在两边或在红区时要停止或需进行原因分析。

39. 过程流程图

过程流程图是研究过程排列情况及某重要过程品质控制点的分布图。其基本形式如图 9-7 所示：

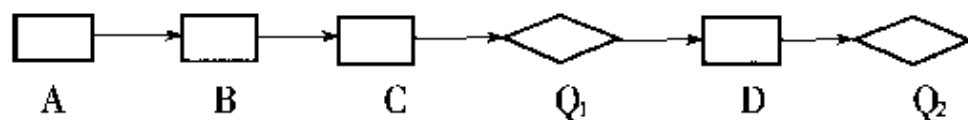


图 9-7 过程流程图

40. 随机数表

随机数表是 0~99 范围内每次产生五组，每组 5 个随机数，据此可进行抽样数实验。

41. 实验设计 (DOE) 的随机性策略

实验设计随机性是为了确保实验变异对每一因子均等和不因某一随机因素的变化而影响到总的实验结果。

42. 回归分析

回归分析可用来研究自变量 (x) 和因变量的相关程度，如果自变量 (x) 是连续的，我们可以决定误差是否在规定的范围内。

43. 表面响应实验设计

表面响应 DOE 可以用来研究非线性相关关系。使每一个因子在 5 个水平被检验，可增大因子实验的范围。

44. 总均方根

总均方根是用来测量样本的总变异，在 Gap 分析中， $Gap = A - B_1 - B_2 - B_3 - B_4$ ，用总均方根 (RSS) 分析时，我们可以统计出 Gap 设计的平均值和标准偏差 (A 为总装尺寸， B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 为装配件尺寸)。

$$Gap = A - B_1 - B_2 - B_3 - B_4$$

$$S_{gap}^2 = S_A^2 + S_{B_1}^2 + S_{B_2}^2 + S_{B_3}^2 + S_{B_4}^2$$

45. 抽样表

抽样表是抽样检验的一种工具，它规定了抽样样本大小和抽样范围及相关的允许接受水平（AQL）值，分正常、加严、放宽三个抽样表。

46. SPC 控制图

SPC 控制图有：

① $\bar{X} - R$ 控制图

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_k}{K} \quad \text{即：} \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_K}{K}$$

$$USL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

② $\bar{X} - R_m$ 控制图：

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_k}{K}$$

$$R_m = X_{i+1} - X_i, \quad \bar{R}_m = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_k - 1}{K}$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{X} \pm \bar{E}_2 \bar{R}_m$$

$$UCL_{R_m} = D_4 \bar{R}_m$$

$$LCL_{R_m} = D_3 \bar{R}_m$$

③ np 控制图：

$$UCL_{np} = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np} (1 - \bar{p})}, \text{ 其中: } \bar{np} = np/K$$

$$LCL_{np} = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np} (1 - \bar{p})}$$

④p 控制图

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p} (1 - \bar{p}) / n}$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\bar{p} (1 - \bar{p}) / n}$$

47. 统计表

把统计调查得来的数字资料经过整理后, 按照它们的对应关系填在一定表格内, 这种表格就叫统计表。

48. t 分布

t 分布是统计量 $t = [(X - u_0) / s] \sqrt{n}$ 在零假设 H_0 成立时服从自由度为 $n - 1$ 的 t 分布, 可用来判断两总体平均是否相等。

49. t 检验

t 检验是用来判断两个样本的平均值是否相等的一种方法。当过程发生变化时, 可用 t 检验法判断前后过程是否发生了变化, 提出零假设 $H_0: u = u_0$, 对 $H_1: u \neq u_0$ 。对统计量 $t = [(X - u_0) / s] \sqrt{n}$, 及给定显著水平 α , 查 t 分布表, 可确定临界域, 从而可判断零假设是否成立。

50. 随机检验

三、6Sigma 品质改善基本工具包

- 检查表
- 排列图
- 运行图
- 直方图

- 散布图
- 鱼刺图
- 基准表
- 脑力激荡法
- 相似图
- 设计表
- 作用因子分析
- 甘特图
- 关联图
- 升降图
- 长城图
- 产品图
- 质量功能开展
- 实验设计
- 设计缺陷模式和影响分析
- 树图
- 分层设计
- 出错证据
- 为什么——为什么——为什么

四、数据是基本的工具

为实现 6Sigma 的长期过程能力，我们必须随时进行科学和先进的数据统计及处理，不要忘记，基本的数据是我们解决问题和进行设计的基础。

1. 解决问题要以数据为基础。

2. 收集数据是第一位的信息。
 3. 将收集的数据存入计算机磁盘以便将来应用。
 4. 将收集的信息进行记录整理以便将来进入计算机使用。
 5. 如果数据结构与相关应用不一致，应重新格式化使其能够使用。
 6. 每一次使用后，应该增加新的信息。
 7. 每一件新的信息必须标识。
 8. 有些数据可能随各事件的完毕而消失。
 9. 解决重要的问题需长期的数据支持。
- 总之数据是品质管理的基础，一切用数据说话。

第十章

6Sigma 实施案例研究

第一节 6Sigma 推行的十六个步骤

第二节 国外公司实施 6Sigma 系统的
成功经验

第一节 6Sigma 推行的十六个步骤

6Sigma 系统在一个公司的实施不是一蹴而就的事，它需要该公司做好文化、组织、人力资源、操作技能、信息系统等方面的一系列准备，需要长期努力，才可能收到预期的成果。图 10-1 表明了实施 6Sigma 系统所需的关键因子。

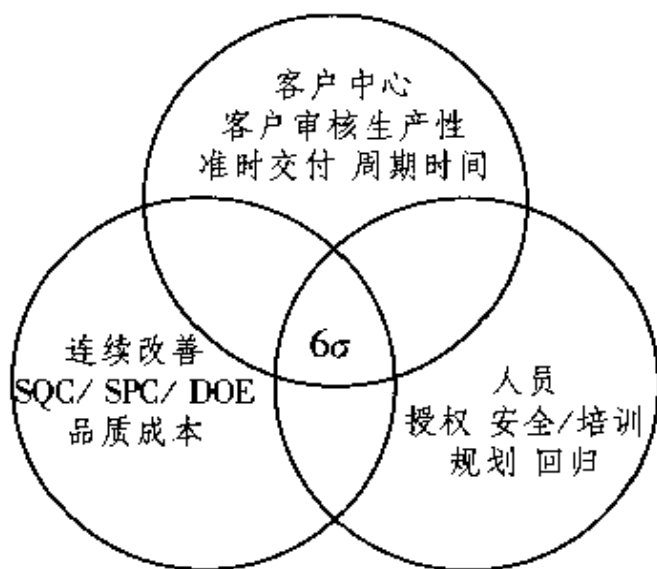


图 10-1 推行 6Sigma 系统的关键因子

一、6Sigma 系统推行的十六个步骤

第一阶段：规划，培训

1. 培训

(1) 高层培训

(2) 6Sigma 执行人员培训

2. 总经理动员会

3. 6 σ 推行委员会成立
4. 6 σ 推行目标规划出台
5. 各层次员工品质统计知识摸底
6. 培训计划出台
7. SPC 培训
8. 员工 6Sigma 知识培训

第二阶段：测量，分析

1. 建立品质改善团队“QIT”
2. 分析现状
 - (1) 确定并测量关键过程
 - (2) 分析关键过程
3. 导入品质信息系统“QIS”
4. 工厂推行 SPC
5. 计算品质成本

第三阶段：改善，控制

1. 确立改善目标
2. 优化关键过程
3. 控制关键过程

二、各阶段实施内容如下

第一阶段：规划，培训

1. 培训
 - (1) 高层培训

①高层培训的目标听众是对公司制定方针政策具有重要影响力的高层管理人员。一般为部门经理以上级别。

②培训讲授者：6Sigma 专职人员。某些公司称其为“主任黑带”。

③高层培训的目的在于：

- 认识 6Sigma 主要概念、工具和实施过程。
- 讲述 6Sigma 在世界知名公司的实施状况及所取得的成果。
- 确定 6Sigma 项目（系统）取得成功的关键因素。
- 让受训者明白其可通过 6Sigma 项目使公司业绩实现最大限度的突破。

- 建立 6Sigma 系统和品质改善系统使高层得到承诺。

④培训期限：一天

⑤培训内容

- 何为 6Sigma。
- 为什么要实施 6Sigma 系统。
- 确定、测量、分析、改善、控制（DMAIC）基本介绍。
- 6Sigma 实施策略。
- 著名成功案例介绍。
- 成功实施 6Sigma 系统的要素。

(2) 6Sigma 执行人员培训

①6Sigma 执行人员指建立、维护、推广 6Sigma 系统的相关人员，如 6Sigma 推行委员会人员等。

②培训期限一般为 10~20 天。

③授课人为 6Sigma 专职人员（专家）

④培训目标

- 掌握 6Sigma 方法及工具。
- 6Sigma 系统应用及系统管理方面知识。

⑤培训内容

围绕 6Sigma 之品质改善流程展开，主要讲述各个阶段的方法、工具。

D = Define 确定阶段：关键质量 (CTQ)

过程流程图 (QCFS)

品质功能展开 (QFD)

潜在缺陷模式和影响分析 (FMEA)

鱼刺图 (Fishbone Diagram)

M = Measure 测量阶段：基本统计

测量系统分析 (Gage R&R)

基准

合理分组

A = Analyze 分析阶段：方块图 F - 测试 回归分析

柏拉图 信赖区间

测试 方差分析

I = Improvement 改善阶段：实验设计 (DOE)；相互作用图；轮廓图等。

C = Control 控制阶段：统计过程控制

管理图表

内审

工作描述

2. 总经理动员会

(1) 与会者：各部门初级以上管理人员。

(2) 目的：

①认识 6Sigma 概念、实施 6Sigma 系统的利益和实施程序。

②介绍 6Sigma 在世界各国的实施状况及所取得的成果。

③宣布 6Sigma 系统将在本公司实施的计划及日程安排。

④激起员工对此系统的兴趣。

(3) 会议时间：4 小时。

(4) 会议主持：总经理。

(5) 会议内容：

①6Sigma 概念及实施意义。

②国外 6Sigma 实施状况介绍。

③成功案例介绍。

④本公司 6Sigma 系统实施计划。

3. 6Sigma 推行委员会成立

(1) 推行委员会负责统筹 6Sigma 系统的建立、推广和日常运作以及 6Sigma 方法工具和实施方面的培训。

(2) 推行委员会人员组成：由财务部、品质部、工程部、生产部等抽调有统计基础，接受、协调能力强的人员担当。

(3) 推行委员会为专门组织，一般人员均应为专职，尽量避免兼职。

(4) 推行委员会主要职责：

①开展 6Sigma 知识培训。

②负责本公司 6Sigma 系统的建立。

③统筹 6Sigma 系统的运作及推进。

④负责在适当时间帮助供应商建立 6Sigma 系统。

4. 6Sigma 推行目标规划出台

6Sigma 推行目标规划由推行委员会负责制定，总经理批准后予以公布实施。

目标规划应包含：

- (1) 公司推行 6Sigma 系统的计划日程表。
- (2) 6Sigma 系统推行的短、中、长期目标。
- (3) 6Sigma 系统推行所需的资源准备。
- (4) 6Sigma 系统推行各部之职责。

5. 各层次员工品质统计知识摸底。

(1) 摸底的目的是了解员工的知识面，以便针对性地制订培训计划。

(2) 摸底以问卷方式进行，问卷由 6Sigma 推行委员会拟定，内容包括：①基本数学知识；②基本统计知识；③企业管理知识；④实验设计知识；⑤SPC 知识；⑥品质手法。

(3) 摸底的对象是全体员工。

(4) 6Sigma 推行委员会将问卷进行处理，分类量化，对员工各方面知识状况进行分析，据此制订培训计划。

6. 培训计划出台。

培训计划由 6Sigma 推行委员会依据摸底结果制订，内容包括培训对象、内容、时间、周期、目标、考核方法等，正式的培训依此计划进行。

7. SPC 培训。

(1) SPC 培训的对象是全体员工，依岗位不同而有不同的培训内容。如员工 SPC 培训内容是了解 SPC 的概念、种类、用途和一般方法。品质技术人员须详细掌握 SPC 的运作及管理方法。

(2) 培训由 6Sigma 推行委员会实施。

8. 员工 6Sigma 知识培训

培训对象：一般管理人员及员工。

由 6Sigma 推行委员负责进行。

讲述 6Sigma 基本知识、基本工具、基本方法等基础性问题。

第二阶段：测量，分析

1. 建立品质改善团队“QIT”

品质改善团队的目标是连续测量和改善工程、品质问题。品质改善团队由生产、技术、品质、计划等部门人员组成，均为专职人员。

品质改善团队的运作通过 D-M-A-I-C 的模式进行。

2. 分析现状

(1) 确定测量关键过程

确定测量关键过程是确定对产品关键参数有影响的过程，如测试、检查、精加工等。对关键过程的测量通过 Y_{FT} 、PPM 等来表示。一般在确定过程前须先做成过程品质控制流程图（QCFS），再根据流程图对关键过程予以确定。

(2) 分析关键过程

分析关键过程是运用分析方法对影响关键过程的所有因素进行分析，确定关键的少数因素的过程。

3. 导入品质信息系统 QIS

品质信息系统的作用是实施收集、处理品质信息，以利于及时决策、消除问题、预防损失。品质信息系统在导入时须考虑以下因素：

- (1) 覆盖区域；
- (2) 接口方法；
- (3) 数据处理要求；
- (4) 数据格式/种类；

(5) 班别;

(6) 与其他系统的兼容性。

建立良好的品质信息系统对公司品质改善作用巨大。

4. 推行 SPC

SPC 的推行责任部门是品质部门, 在充分利用品质信息系统 (QIS) 数据的基础上制作 SPC, 对过程进行实施监控。SPC 能及时发现过程的异常波动, 是维持品质水平的重要技术。

5. 品质成本计算

品质成本计算由品质部门协同财务部门进行, 一般每月计算一次, 并需召集会议讨论品质成本控制计划达成状况及制订下一步降低成本的计划。

品质成本须连续进行跟踪计算, 所有的改善都可以成本来量化, 故品质成本计算是衡量公司 Sigma 水平的主要指标之一。

第三阶段: 改善, 控制

1. 确立改善目标

在上阶段分析确定关键的少数影响因素后, 本阶段通过运用 6Sigma 品质改善工具进行改善, 改善须连续实施和跟进。

2. 优化关键过程

用实验设计方法对关键过程进行参数优化。

3. 控制关键过程

用 SPC 对优化后的关键过程进行控制。

第二节 国外公司实施 6Sigma 系统的成功经验

一、摩托罗拉公司

1. 总的策略

(1) 用总的客户满意度激励所有业务计划，将客户满意度转化成主要目标和动力。

(2) 建立具体的、量化的目标。

(3) 客户满意等于业务成功。

(4) 连续提升目标，即连续改善。

(5) 建立将客户要求转化成产品、服务的机构。

(6) 建立机构确保以最少时间生产出零缺陷的产品。

(7) 连续指示业绩水平。

(8) 连续设置期望的目标水平来作为业务基准。

2. 取得质量目标的策略

(1) 采用缺陷预算。

(2) 设计新产品时，必须考虑使其有较现有水平更低的 DPU。

(3) 控制设计和制造过程。

(4) 将年度质量目标分解成更细的层次。

(5) 对目标的取得进行激励。

(6) 设法降低周期时间。

(7) 连续展示所取得的进步。

(8) 需为解决问题而成立各种小组。

3. 摩托罗拉推行 6Sigma 状况研究

1981 年, 摩托罗拉设定了至 1985 年为止质量改进 10 倍等十个主要的公司目标, 当时一些部门经理的第一反应是表示怀疑: “我们不知道怎样才可取得这一目标。” 公司管理者的回答是: “这一目标看起来似乎不可实现, 但如开始朝目标方向努力, 我们将发现新的改进质量的方法, 每一个新方法将带领我们向 10 倍的改善目标靠拢。” 这种理解一下子将看似遥不可及的目标化入日常的业务操作中, 非常精辟地道出了目标与现实间的联系。在摩托罗拉, 质量文化无处不在, CEO 会正式宣布公司目标、经营理念和赖以发展的企业文化。全面的客户满意度是摩托罗拉追求的基本目标, 也是公司每个人的责任, 是一切努力的中心。

首先是 6Sigma 的品质, 1992 年, 摩托罗拉提出要使所有产品和服务达到 6Sigma 水平。设计产品时须考虑随机因素引起的部品变异; 改善制造工序使最终输出的产品产生的偏差最小。也意味着需分析提供的所有服务, 再追溯到设计部分, 从设计处取得 6Sigma 的性能, 广泛使用统计技术, 将其转化为每个员工的日常工作; 测量业务中各方面的缺陷并记录, 再将其与产品和过程相联系; 将通过率转化为 PPM, 整个公司的缺陷率要求为 3.4PPM, 尽管公司涉及的领域和产品非常广泛, 但各种目标均为同样的 6Sigma。

第二个主要创举是降低总的周期时间, 这与 6Sigma 品质紧密相关。摩托罗拉将周期时间的概念规定为: 从客户下订单到交付产品给客户的时间段。周期时间的缩短意味着效率的提高和利润的增加。

第三个主要创举是努力成长为同行业的领袖, 特别强调产品改进和整个摩托罗拉的实际制造水平的提升。

第四个主要创举是收益增长，这是一个长期目标，其目的是改善长期利益。摩托罗拉坚信今天对质量的投资会导致以后的业务增长。

第五个创举为组织间的合作，以取得更好的协作，更高的效率和改善质量。

1986 年，摩托罗拉总裁开始运作一个在客户访问方面更有效的程序。传统程序的访问不够系统化且只能覆盖一些特殊的项目，新的程序中出访的高层管理人员会与客户讨论各种层次的业务问题，他们一般会向客户问询两个问题：①你喜欢摩托罗拉哪些方面？②你不喜欢摩托罗拉哪些方面？每次访问后，出访人员须向公司提交一份详细的报告及推荐改善建议。管理者会以各种方式阐明摩托罗拉在质量创始领域的领导地位。

公司 CEO 每季度出席两次公司“运作和方针制订”会议，在为期一天的会期中，品质董事首先介绍最新的品质程序——包括管理人员参观客户的结果，公司主要产品品质系统评审结果，缺陷品质成本，供应商品质，品质突破点和失败点的评审，这些项目由各主要业务经理提交报告来跟进，报告中需包含计划进度状况、成功之处、失败之处、下一步为确保在 1992 年取得 6Sigma 能力的行动计划，在会上还讨论以下议题：

(1) 将精力集中在很特殊的目标上，如 10 倍、100 倍的改善。

(2) 质量体系评审不是一项新技术，但目前很少有公司采用这一系统。它其实是很成功的。

(3) 周期时间管理在公司的计划中是需着重控制的，它与 6Sigma 相关，对公司收益有重大影响。

(4) 在摩托罗拉公司的 6Sigma 品质系统中，主要的数据是发

现的缺陷。摩托罗拉公司已采用数据处理系统来记录缺陷、机会平均值、方差和产品及过程控制界限等。通过运用柏拉图、直方图、散布图、鱼刺图等来分析和纠正问题。

(5) 分析技术开始用于产品设计。

(6) 在产品设计阶段建立“单位缺陷数”(DPU)目标,并通过早期试产予以验证。

(7) 只有当实际 DPU 达到设计目标且样本通过可靠性试验时才出货。

(8) 在现有的产品上采取常规的纠正行动以在两年内达到 10 倍的改善率是不可行的,纠正行动须以渐进的方式进行,所以摩托罗拉公司认为改善的策略是让新产品在单位缺陷水平方面降至典型产品的 1/15,或低于同类产品。

(9) 将基本的质量目标与管理人员及员工激励相结合,是摩托罗拉激励计划的一部分。

(10) 培训和教育:摩托罗拉培训和教育中心负责所有层次员工的培训,特别提供给所有员工为取得质量目标所需的知识和技能。

(11) 摩托罗拉分析了世界上管理运作最好的公司,并以其为基准进行改善,这种努力使其许多产品及过程达到世界级水平。例如焊锡、表面装贴设备、记事本和移动通信系统的周期时间。这些已达到的目标,使摩托罗拉更有信心追求在各方面均达到世界最好水平。

摩托罗拉公司培训的任务是:在适当的时间、给适当的人提供适当的培训。平均而言,公司每年提供 106 小时的培训给其每位员工。1987 年,公司花在培训方面的费用为 44×10^6 美元。其中 40% 的培训是针对品质改善过程、技术、原理和目标设置。过去的几年间,针对组装员工、技术员、工程师、各种团队及管理人员进行了

大量相关培训。

品质培训的 3 个重要组成部分是：①培训；②产品、过程特别培训；③特别的管理培训。

在 SPC、生产性设计和理解 6Sigma 方面的培训使公司员工掌握了一套解决问题的策略和工具，通过连续改善而使所做的所有工作更加完善。

为支持通过提供高品质的产品和服务而使客户完全满意的承诺，摩托罗拉成立了摩托罗拉管理学会，目标为建设以客户为中心的文化和拓展全球市场——在品质、生产性设计、制造、信息系统、周期时间管理、技术、供应商及变化点管理方面倾听客户的声音，评估客户对摩托罗拉品质的印象是通过总裁、CEO 和公司其他高层管理者访问客户来完成的。

二、德州仪器公司

1. 改善行动团队

(1) 品质改善小组 (QIT) 具有跨功能小组的性质，其职责为在制造组织内建立和管理品质改善方面的业务。

(2) 1988 年，QIT 调查发现 30% 的制造成本归因于报废、返工、检查和无附加值的工作，这些项目成为组织能力测量的基础。

(3) 每周五，QIT 要开会确定问题及其改善的机会，以及纵览纠正行动组和其他功能小组的工作，改善方面取得的进步由品质成本方面的递减来评定。

(4) QIT 定期举行特别会议评审客户审核结果及设定下一步改善目标。

(5) 基于客户反馈信息及品质成本分析，QIT 分工明确并督导

多个改善行动队去解决关键问题。

2. 改善努力的成果

项目	改善前	改善后
品质成本	30.10%	7.40%
DPU	0.104	0.009
报废	US \$ 3.0M	US \$ 0.3M
批合格率	92.0%	99.8%
总的工序直通率	84.3%	98.9%
周期时间 (周)	10.6	3.9
库存	US \$ 3.9M	US \$ 1.1M

团队努力的结果,使品质成本下降至 7.4%,节约成本 US \$ 12.7M,从 1988 年到 1993 年,降低了 90%,将其转化为过程能力刚好大于 5Sigma,仅 209DPMO。1988 年劳动力和材料浪费 US \$ 3M,现在 96% 的浪费成本已被消除,导致每年节约成本 US \$ 2.7M,检查成本降低了 31%,因为在同一时间返工减少了 51.4%。

3. 公司对品质成本 (COQ) 的计算

$$COQ = \frac{M + S + R + P + A + L}{T}$$

其中: M = 浪费的材料总成本

S = 报废成本

R = 返工总成本

L = 浪费的工时成本

A = 鉴定成本

P = 预防成本

T = 总制造成本

4. 品质和周期时间的关系

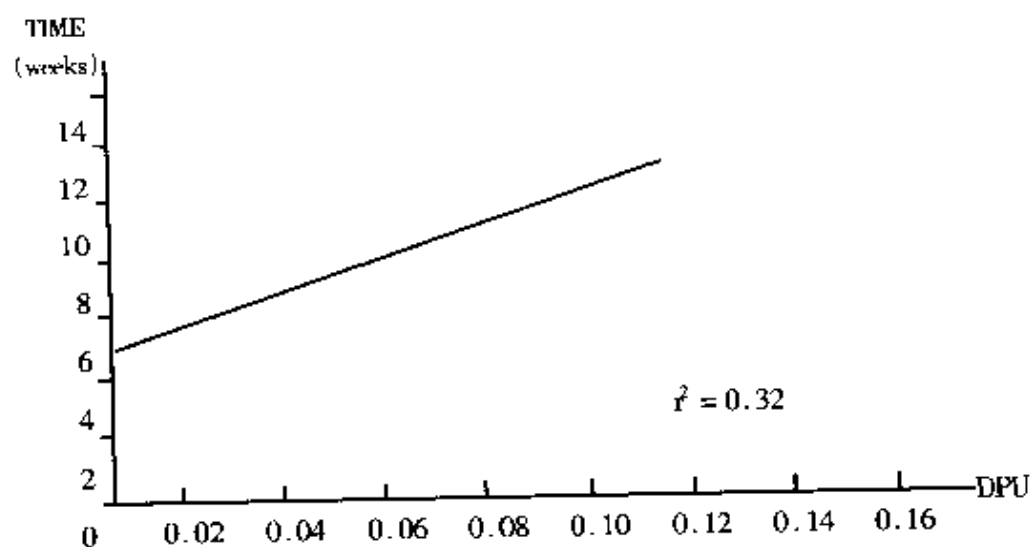


图 10-2 品质和周期时间关系图

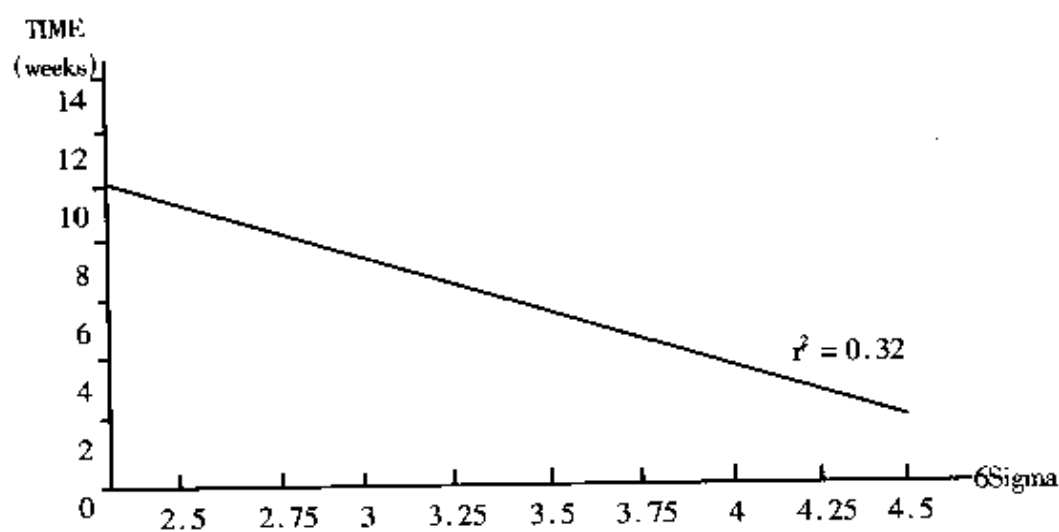


图 10-3 周期时间和 Sigma 关系图

5. 品质和制造成本间的关系

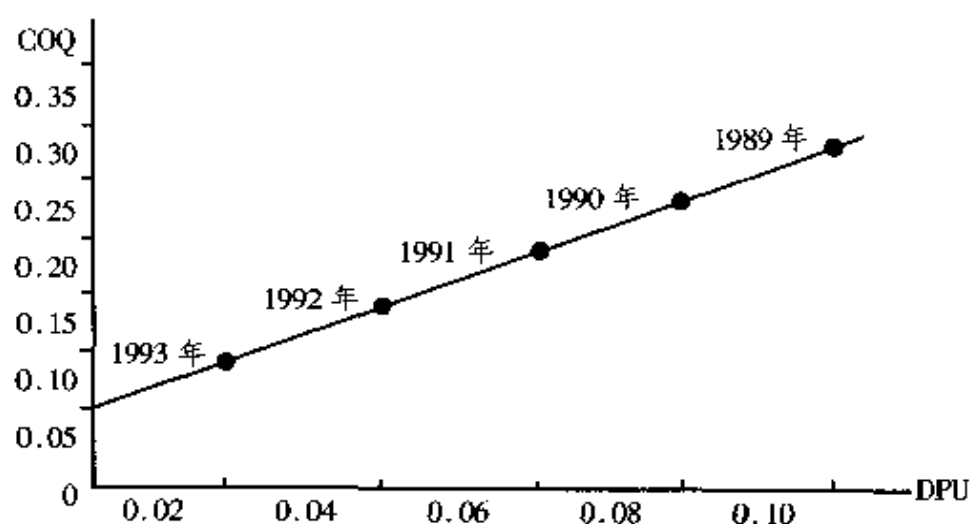


图 10-4 品质和制造成本关系图

6. 基准线设置

即将自身产品能力与竞争对手能力、平均能力和世界级能力图示比较，以了解自己所处位置。总的业务基准设置如图 10-5。

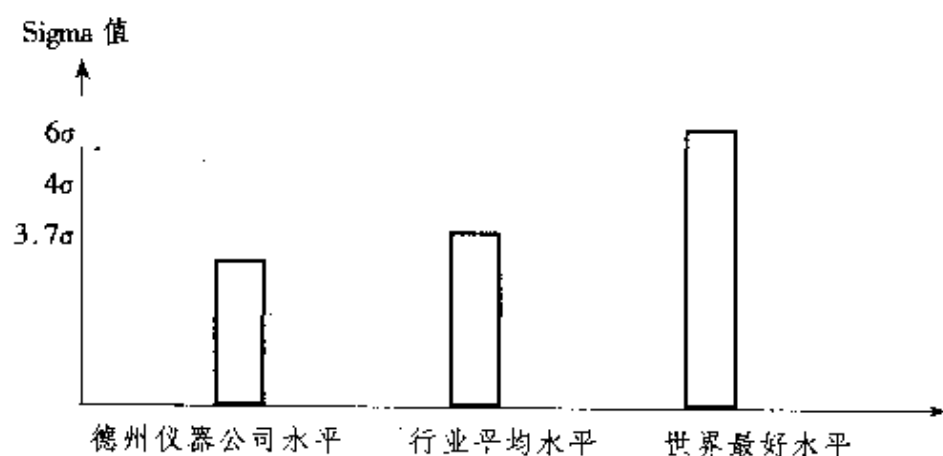


图 10-5 Sigma 水平比较

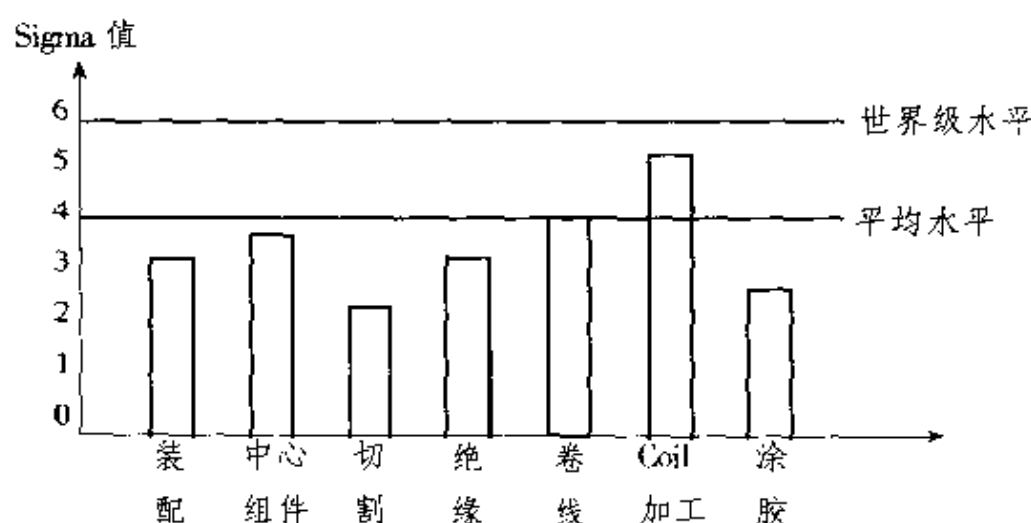


图 10-6 德州仪器公司各分部能力状况图

7. 德州仪器公司实施 6Sigma 系统的经验

- (1) 6Sigma 是以新的角度看待系列工具如 SPC 和 DOE。
- (2) 高层领导接受、承诺和支持是 6Sigma 系统成功实施必不可少的条件。
- (3) 6Sigma 的成功实施需要有正确的态度和灵活的计划。
- (4) 管理者必须清楚地传达他们关于 6Sigma 应用方面的意图给下属。
- (5) “6Sigma 实施团队”的运作可加快 6Sigma 系统实施的进程。
- (6) “6Sigma 设计协作会”的工作开展确保了 6Sigma 系统的连续性和广泛普及。
- (7) 特定培训的完成需要一个独立的组织和资源。
- (8) 为了保证系统顺利实施，6Sigma 指导者必须和其他专家一样受到应有的尊重。
- (9) 培训须以自上而下的方式进行。

(10) 须将供应商和客户纳入 6Sigma 体系。

(11) 肯定有部分人会拒绝改变——无论其职位高低，教育和引导是克服这种想法的主要方法。

(12) 由内行的 6Sigma 顾问进行培训是必不可少的。

(13) 宣传成功案例是实施 6Sigma 系统必不可少的一个环节。

第十一章

6Sigma 品质应用软件

第一节 Minitab 简介

第二节 Minitab 应用举例

第一节 Minitab 简介

现代品质管理是以数据统计分析为基础的，6Sigma 品质系统更是建立在现代统计理论的基础之上。6Sigma 系统的推行无疑可为公司带来巨大利益，但系统所倚重的大量复杂公式及冗长计算又限制了它的大范围推广。Minitab 应用程序的推出完美地解决了这一矛盾，如同数以亿计的人每日使用 Windows 操作系统但完全不必过问此系统的原理和结构一样，对品质理论稍有认识的人均可方便地使用这一软件而不必过问“为什么”？正如有人所说的那样：“你只要输入数据，确定你想了解或知道什么，余下的事由 Minitab 替你做好了。”这就是 Minitab 的“迷你”（mini）之处。“Minitab”试用版可通过访问 www.Minitab.com 网站得到。

“Minitab”应用程序是由美国 Minitab 公司开发的综合性数据分析处理软件，主要配合 6Sigma 品质系统使用。最新版本为 Ver13.2，适用于各行业的数据分析与处理。

一、Minitab 的基本界面

Minitab 在 Windows 环境下运行，窗口结构共有 9 个下拉式主菜单，分别为：File（文件）/Edit（编辑）/Mainip（主要转换）/Calc（计算）/Stat（统计）/Graph（图表）/Editor（编辑器）/Window（窗口）/Help（帮助）。

1. “File”菜单类似于 EXCEL 的 File 菜单，主要功能为文件打开、储存、打印等

2. “Edit” 菜单类似于 EXCEL 的 Edit 菜单, 主要功能为单元格编辑

3. “Mainip” 菜单主要功能为做一般的数据转换及处理, 如数据分类、数据排序等

4. “Calc” 菜单主要功能为基本统计和计算, 以及标准化数据格式

5. “Stat” 菜单包含了 Minitab 的主要功能, 涉及①基本统计②回归③方差分析④实验设计⑤控制图⑥品质工具⑦可靠性分析⑧维持性试验⑨多变量分析⑩样本大小等

每个项目下面又有详细的应用工具供选用, 可满足不同行业、不同层次的数据处理需要。

6. “Graph” 菜单主要功能为图解一组变量的相互关系或变量性质。如直方图、散布图、茎叶图、点图、素描图、方块图等, 通过作图, 可很直观地描述出数据所难以或无法展示的信息。“Graph” 菜单与 Stat 菜单相结合。是 “Minitab” 的两大主要功能菜单。

7. “Editor” 菜单: 类似于 Edit 菜单, 主要功能为编辑行、列、工作表。

8. “Windows” 菜单: 类似于 EXCEL 中的 Window 菜单, 主要功能为管理工作窗口。

9. “Help” 菜单: 帮助功能。

要想知道更多的功能, 请访问 www.minitab.com。

二、Minitab 的数据表

Minitab 的数据输入是在一份电子表格中进行的, 格式类似于

EXCEL 表格，编有行号和列号。数据表与主菜单在一个窗口内各占半边，可通过点击放大钮使其变为全屏显示。在运行任何数据处理功能前，须先在数据表中输入所收集到的数据，然后根据数据性质选择合适的格式进行处理。

第二节 Minitab 应用举例

一、测量系统分析 (Gage R&R)

1. 基本方法

(1) 确定测量仪器，其分辨率须为其所测量的参数的 10 倍以上，如需测参数须精确到 0.001mm，测量仪器的分辨率（精度）须为 0.0001mm。

(2) 选 10 个被测部品，它须能完全代表过程变化的范围，并包括几个超规格的部品（如其存在），编好号。

(3) 由 2 或 3 个检验员进行测量，每个部品测量 2 到 3 次，测量须随机进行。

(4) 在 Minitab 工作表中输入测量结果。

① 一列中输入部品编号；

② 一列中输入检验员数或名字；

③ 一列中输入测量结果。

(5) 用 Minitab 分析测量结果

① 在 Stat 菜单选 Quality Tools，在 Quality Tools 菜单选 Gage R&R Study，在内部对话框中选择 ANOVA 方法（方差分析法）或 $\bar{X}_{\text{bar}}/R$ 方法。

②确定部品、检验员和测量数据栏。

③如需包含过程公差分析，选择“Option”按钮，这适用于做测量系统 OK 或 NG 的判断，不适用于过程控制。

④如希望图型输出中包含统计信息如仪器号等时，选“Gage information”按钮。

(6) 分析标准。

①被测系统 Gage R&R < 10%，且辨别力类别大于 5，则较理想。

② $20\% > \text{GageR\&R} > 10\%$ ，且辨别力类别等于 5，则此系统可以接受。

③ $30\% > \text{GageR\&R} > 20\%$ ，且辨别力类别等于 4，测量系统可否接受取决于被测实体特性的重要程度和成本。

④如 $\text{Gage R\&R} > 30\%$ ，或辨别力类别小于 4，此测量系统不可接受，须进行改善。

(7) Minitab 分析结果。

Minitab 提供一组表格和图型输出（表 11-3、表 11-4；图形输出略）。以表 11-4 为例，表格输出中包含 3 部分表格：第一部分为方差分析表；第二部分为 Gage R&R 研究的初始计算结果，第三部分为变异的百分比分布；Gage R&R 结果解释主要在第三部分。它显示了“分布百分比”和“变异百分比”，“变异百分比”图被解释为 Gage R&R。如你选择时包括了公差范围，这个表格也会显示“公差百分比”的结果。

表中也显示了辨别力类别数，这个数字表明对观察的过程变异而言能可靠地区分多少类别。

图型分析提供了几个重要的工具。

①控制图将可能超出控制，检验员之间的差异决定控制界限，如量具超出本身的精度范围，超过 50% 的点将超出控制界限，否则，此系统不适于测量部品间的变异。

②极差图将是受控的，显示了检验员间的一致程度，如果图中只显示有两三个明显的极差，则表明测量仪器精度不够。

③条型图表示了 3 个表格提供数据的图型，右边的图表示了各种相互作用图案，可能对有问题的测量系统的故障排除有所帮助。

例 1：三个测试员 John、Star、Sunny 用一台功能测试仪分别测量 10 个部品的功能数据各两次，所得数据如表 11 - 1，试用 Minitab 对其进行测量系统分析

表 11 - 1

测量原始数据表

部品规格：1680

公差：± 10

序号	部品号	Join		Star		Sunny	
		第一次	第二次	第一次	第二次	第一次	第二次
1	2871	1681	1681	1681	1681	1681	1681
2	2872	1680	1682	1680	1681	1682	1682
3	2873	1683	1687	1683	1683	1683	1683
4	2874	1684	1680	1684	1684	1684	1684
5	2875	1681	1680	1681	1683	1685	1684
6	2876	1682	1681	1682	1682	1680	1680
7	2877	1683	1680	1683	1683	1681	1681
8	2878	1684	1682	1684	1684	1680	1682
9	2879	1685	1680	1685	1685	1683	1683
10	2880	1680	1681	1680	1680	1684	1684

(1) 将数据输入 Minitab 工作表中，部品号、测量者、测量值各占一列（按表 11 - 2 格式）。

表 11-2 Minitab 工作表 GageR&R 分析数据输入格式

部 品 名	测 量 者	测 量 值
2871	JOHN	1681
2872	JOHN	1680
2873	JOHN	1683
2874	JOHN	1684
2875	JOHN	1681
2876	JOHN	1682
2877	JOHN	1683
2878	JOHN	1684
2879	JOHN	1685
2880	JOHN	1680
2871	STAR	1681
2872	STAR	1680
2873	STAR	1683
2874	STAR	1684
2875	STAR	1681
2876	STAR	1682
2877	STAR	1683
2878	STAR	1684
2879	STAR	1685
2880	STAR	1680
2871	SUNNY	1681
2872	SUNNY	1682
2873	SUNNY	1683
2874	SUNNY	1684
2875	SUNNY	1685
2876	SUNNY	1680
2877	SUNNY	1681
2878	SUNNY	1680
2879	SUNNY	1683
2880	SUNNY	1684
2871	JOHN	1681
2872	JOHN	1682

(续表)

部品名	测量者	测量值
2873	JOHN	1687
2874	JOHN	1680
2875	JOHN	1680
2876	JOHN	1681
2877	JOHN	1680
2878	JOHN	1682
2879	JOHN	1680
2880	JOHN	1681
2871	STAR	1680
2872	STAR	1681
2873	STAR	1683
2874	STAR	1684
2875	STAR	1683
2876	STAR	1682
2877	STAR	1683
2878	STAR	1684
2879	STAR	1685
2880	STAR	1680
2871	SUNNY	1681
2872	SUNNY	1682
2873	SUNNY	1683
2874	SUNNY	1684
2875	SUNNY	1684
2876	SUNNY	1680
2877	SUNNY	1681
2878	SUNNY	1682
2879	SUNNY	1683
2880	SUNNY	1684

(2) 运行 Minitab 的 GageR&R, 得如下分析结果:

① $\bar{X}_{bar}/R$ 方法

表 11-3 $\bar{X}_{bar}/R$ 分析法 GageR&R 结果输出

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for 测量值

Gage name: 功能测试仪

Date of study: 2000/11/20

Reported by: SUNNY

Tolerance: 10

Misc:

% Contribution

Source	Variance (of Variance)
Total Gage R&R	0.82955 51.10
Repeatability	0.78593 48.41
Reproducibility	0.04362 2.69
Part - to - Part	0.79385 48.90
Total Variation	1.62340 100.00

Source	StdDev	Study Var	% Study Var	% Tolerance
Total Gage R&R	0.91080	4.69060	71.48	46.91
Repeatability	0.88652	4.56560	69.58	45.66
Reproducibility	0.20886	1.07564	16.39	10.76
Part - to - Part	0.89099	4.58857	69.93	45.89
Total Variation	1.27413	6.56176	100.00	65.62

Number of distinct categories = 1

② 方差分析法

表 11-4 方差分析法 Gage R&R 结果输出

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for 测量值

Gage name: 功能测试仪

Date of study: 2000/11/20

Reported by: SUNNY

Tolerance: 10

Misc:

Two - Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
部品号	9	59.933	6.65926	1.71320	0.15818
测量者	2	3.700	1.85000	0.47594	0.62890
测量者 * 部品号	18	69.967	3.88704	2.65025	0.00884
Repeatability	30	44.000	1.46667		
Total	59	177.600			

Gage R&R

		% Contribution	
Source	VarComp	(of VarComp)	
Total Gage R&R	2.6769	85.28	
Repeatability	1.4667	46.73	
Reproducibility	1.2102	38.55	
测量者	0.0000	0.00	
测量者 * 部品号	1.2102	38.55	
Part - To - Part	0.4620	14.72	
Total Variation	3.1389	100.00	
StdDev Study Var %Study Var %Tolerance			
Source	(SD)	(5.15 * SD)	(%SV) (SV/Toler)

Total Gage R&R	1.63611	8.42596	92.35	84.26
Repeatability	1.21106	6.23696	68.36	62.37
Reproducibility	1.10008	5.66543	62.09	56.65
测量者	0.00000	0.00000	0.00	0.00
测量者 * 部品号	1.10008	5.66543	62.09	56.65
Part - To - Part	0.67973	3.50063	38.37	35.01
Total Variation	1.77169	9.12421	100.00	91.24

Number of Distinct Categories = 1

Gage R&R for 测量值

(3) 分析结论：从 Minitab 运行结果可得用 $\bar{X}_{bar}/R$ 方法和方差分析法得出的结论相同：此测量系统不可接受，需进行改善。

二、方差分析 (ANOVA)

1. 双因子

双因子方差分析用于评估两个独立因子对一个因变量影响程度，每个单元格（不同的变量）须包含相等的数字（平衡）。在下面的数据设置中，推力是因变量，温度和传送速度是两个独立因子 (x_1 和 x_2)。为分析这两个因子对于因变量“推力”的重要程度，可在 Minitab 中 Stat 菜单下选 ANOVA，再选 “Two WAY”，在对话框中，输入因变量“推力”，在 “Row factor” 框中，输入第一个因子，在 “Display Means” 进行每个因子信赖区间和平均值分析。选择 “Store residuals”，然后选择 “Store fits”。如需要图示方差分析结果，选择 “Graphs” 按钮并选中一个或所有 4 个诊断图。这个分析不能提供 F 和 P 值，因无法确定影响是随机的还是固定的。可用平衡的方差分析确定的影响是固定还是随机，显示 F 和 P 值（当有平衡数据时），当数据不平衡和随机影响时，用总的线性模式来显示适当

的测试结果。

2. 平衡的方差分析

平衡的方差分析可进行两个及以上因子的过程数据分析。如果 B 因子的水平只对应于 A 因子水平中的一个, 称 B 因子包容于 A 因子。如果各因子具有相同数量的水平数, 称两因子正交。不同因子的水平数须平衡, 即每个变量的组合必须具有相等的数目。

为分析这些因子相对一因变量 Y 的重要性, 在 Minitab Stat 菜单中选 ANOVA > BALANCED ANOVA, 在对话框中, 在 Resource 框中确定因变量 Y, 在 Model 框中确定各因子。适合选择 “Storage” 来存贮 “residuals” (残差), 选择 “fit” 为下一步分析做准备。选择 “Options” 及 “Display means” 可以显示每个因子及水平的数据均值信息。

表 11-6 是这一分析的主要输出。

第一部分列出了因子和水平。从表中可看出, 有两个因子, “温度” 和 “传送速度”。对于 “温度” 和 “传送速度” 而言均有 3 个水平 1、2、3。

第二部分为 ANOVA 输出, 其意义如下:

Source: “Source” 表示了方差分析模型的确定因子, 表明了各因子信息如 “温度”。

DF: 表示特定因子的自由度。“温度” 和 “传送速度” 有 3 个水平, 其自由度为 $3 - 1 = 2df$ 。

SS: 因子 “Sum of Squares” (平方和) 用以测量各因子均值变异。

MS: 因子 “Mean Square” (均值平方) 是由 SS 除以 df 所得。

F: “Fcalc” 值为各因子的 MS 除以 “Error” (误差) 项的 MS,

对本例“传送速度”而言， $F = 3.0525 \div 0.0802 = 38.08$ 。

如要用 F_{crit} 来分析重要性，在表格中输入因子的自由度和 $\alpha = 0.05$ ，比较 F_{calc} 和 F_{crit} ，如 $F_{calc} = 38.08$ ，大于 $F_{crit} = 4.46$ ，则此因子是对因变量有重要影响的因子。

P：计算出的 P 值代表观察到的重要性水平，如 $P < 0.05$ ，则此因子从统计角度来说为重要因子的置信度为 95%。

注意：误差因子的 SS 和总的 SS 的比值代表了不能被方差分析模式解释的变异的百分率。在本例中，不能解释的变异为 4.99%。如无法解释的变异的较大而不能使过程取得期望的能力状态，需重新寻找其 WB 因子。

例 2：为研究温度和传送速度对 PCBA 过炉后胶水推力的影响，做 DOE 实验取得以下数据（见表 11-5），试用 Minitab 之方差分析法对其作分析。

表 11-5 平衡双因子方差分析数据表

推力	温度	传送速度
3.46	1	1
2.07	1	2
2.63	1	3
3.97	2	1
1.64	2	2
2.41	2	3
4	3	1
1.8	3	2
2.34	3	3

(1) 将此数据输入 Minitab 工作表，格式为推力、温度、传送速度各占一列，见表 11-5。

(2) 运行 Minitab，其结果如表 11-6：

表 11-6 平衡双因子方差分析结果输出

ANOVA: 推力 versus 温度, 传送速度

Factor Type Levels Values

温度 fixed 3 1 2 3

传送速度 fixed 3 1 2 3

Two-way ANOVA: 推力 versus 传送速度, 温度

Analysis of Variance for 推力

Source	DF	SS	MS	F	P
传送速度	2	6.1051	3.0525	38.08	0.002
温度	2	0.0038	0.0019	0.02	0.977
Error	4	0.3206	0.0802		
Total	8	6.4296			

Individual 95% CI

传送速度 Mean - + ---- + ----- + ----- + ----- +

1 3.81 (----- * -----)

2 1.84 (----- * -----)

3 2.46 (----- * -----)

- + ----- + ----- + ----- + ----- +

1.40 2.10 2.80 3.50 4.20

Individual 95% CI

温度 Mean -- + ---- + ----- + ----- + -----

1 2.72 (----- * -----)

2 2.67 (----- * -----)

3 2.71 (----- * -----)

- + ----- + ----- + ----- + ----- +

2.25 2.50 2.75 3.00

(3) 分析结论: 从表 11-6 可看出, 传送速度是影响胶水推力

的主要因素，因为：

①其 F 值为 38.08，而 F_{crit} 为 4.46（查 F 分布表得）， $F_{calc} > F_{crit}$ ，且 $P = 0.002 < 0.05$ ，故传送带速度为影响推力的重要因子。

②从平均值表可看出，传送速度中有三个水平的区域有不重合部分。

附录

附表 1: T 分布表

附表 2: F 分布表

附表 3: 卡方分布表

附表 4: 正态分布表

附表 5: 样本表

附表 1:

T 分 布 表

df	0.600	0.700	0.800	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
1	0.325	0.727	1.376	3.073	6.314	12.706	31.321	63.657
2	0.289	0.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.559	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.542	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.540	0.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.538	0.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.859	1.323	1.721	2.080	2.513	2.831
22	0.256	0.532	0.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.532	0.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.531	0.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.531	0.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.531	0.855	1.314	1.703	2.052	2.472	2.771
28	0.256	0.530	0.855	1.313	1.701	2.043	2.467	2.763
29	0.256	0.530	0.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.530	0.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.255	0.529	0.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.254	0.527	0.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.254	0.526	0.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	1.986	2.326	2.576

附表 2: F 分布表 ($\alpha=0.05$)

D/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234	236.8	238.9	240.5	241.9	243.90	245.90	248.00	249.10	250.10	251.0	252.50	253.30	254.3 ¹
2	18.51	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.35	1534	19.38	19.4	19.14	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.14	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.52	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	5.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.59	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.9	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.3
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.66	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.5	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96
18	4.71	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.4	2.34	2.3	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.8	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.3	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.2	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.88	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.7	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.27	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.7	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.5	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3	2.5	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1

附表 3: 卡方分布表

df	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.750	0.500	0.250	0.00	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001
1	0.000039	0.00016	0.00098	0.00393	0.0158	0.1015	0.455	1.323	2.706	3.341	5.024	6.635	7.879	10.828
2	0.01	0.02	0.051	0.103	0.211	0.575	1.386	2.773	4.505	5.991	7.373	9.21	10.597	13.816
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	2.366	4.108	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838	16.266
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.357	5.385	7.779	9.488	11.143	13.277	14.86	18.467
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.61	2.675	4.351	6.626	9.236	11.07	12.832	15.096	16.75	20.515
6	0.676	0.872	1.237	1.535	2.204	3.455	5.348	7.841	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548	22.458
7	0.989	1.239	1.39	2.167	2.833	4.255	5.346	9.037	12.017	14.67	16.013	18.475	20.278	24.322
8	1.344	1.646	2.18	2.733	3.49	5.071	7.344	10.219	13.362	15.507	17.535	20.09	21.955	26.125
9	1.735	2.088	2.7	3.325	4.163	5.899	8.343	11.389	17.684	16.919	19.023	21.656	23.589	27.877
10	2.156	2.558	3.247	3.94	4.865	6.737	9.342	12.549	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188	29.588
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	7.584	10.341	13.701	17.275	19.675	21.92	24.725	26.757	31.264
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.438	11.34	14.845	18.549	21.026	23.337	26.217	28.3	32.909
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	12.34	15.984	19.812	22.362	24.736	27.638	29.819	34.528
14	4.075	4.66	5.629	6.571	7.79	10.155	13.339	17.117	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319	36.123
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	11.036	14.339	18.245	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801	37.697
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.912	15.338	19.369	23.542	26.296	28.845	32	34.267	39.252
17	5.697	6.408	7.107	8.572	10.085	12.792	16.338	20.489	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718	40.79
18	6.265	7.015	7.831	9.39	10.865	13.675	17.338	21.605	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156	43.312
19	6.844	7.633	8.407	10.117	11.651	14.552	18.338	22.718	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582	45.82
20	7.434	8.26	9.591	10.851	12.443	15.452	19.337	23.828	28.412	31.41	34.17	37.566	39.997	48.315
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.24	16.344	20.337	24.935	29.615	32.61	35.479	39.932	41.401	50.797
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.041	17.24	21.337	26.039	30.813	33.924	36.781	40.239	42.796	53.202
23	9.26	10.196	11.683	13.091	14.848	18.137	22.337	27.141	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181	55.62
24	9.886	10.846	12.401	13.848	15.659	19.037	23.337	28.241	33.196	36.415	39.364	42.98	45.558	58.02
25	10.52	11.524	13.12	14.611	16.473	19.939	24.337	29.339	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928	60.42
26	11.16	12.198	13.844	15.379	17.292	20.843	25.336	30.434	35.563	38.885	41.923	45.642	48.29	62.82
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	21.749	26.336	31.528	36.741	40.113	43.194	46.953	49.645	65.22
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993	67.62
29	13.121	14.256	16.047	17.708	19.768	23.557	28.336	33.711	39.087	42.557	45.722	49.538	52.336	70.02
30	13.787	14.953	16.791	18.493	20.599	24.478	29.336	34.8	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672	72.42
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	33.66	39.335	45.616	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766	79.49
50	27.991	29.707	32.357	34.764	37.689	42.942	49.335	56.334	63.167	67.505	71.42	76.154	79.49	99.607
60	35.535	37.485	40.482	43.188	46.459	52.294	59.335	66.981	74.397	79.082	83.298	88.379	91.952	112.317
70	43.275	45.442	48.758	51.739	55.329	61.698	69.334	77.577	85.527	90.531	95.023	100.425	104.215	124.835
80	51.172	53.54	57.153	60.391	64.278	71.145	79.334	88.13	96.578	101.879	106.629	112.329	116.321	137.202
90	59.196	61.754	65.647	69.126	73.291	80.625	89.334	98.65	107.565	113.145	118.136	124.116	128.299	149.445
100	67.328	70.065	74.222	77.929	82.358	90.133	99.334	109.141	118.498	124.342	129.551	135.807	140.169	

附表 4:

正态分布表

Z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	5.00E-01	4.96E-01	4.92E-01	4.88E-01	4.84E-01	4.80E-01	4.76E-01	4.72E-01	4.68E-01	4.64E-01
0.1	4.60E-01	4.56E-01	4.52E-01	4.48E-01	4.44E-01	4.40E-01	4.36E-01	4.33E-01	4.29E-01	4.25E-01
0.2	4.21E-01	4.17E-01	4.13E-01	4.09E-01	4.05E-01	4.01E-01	3.97E-01	3.94E-01	3.90E-01	3.86E-01
0.3	3.82E-01	3.78E-01	3.75E-01	3.71E-01	3.67E-01	3.63E-01	3.59E-01	3.56E-01	3.52E-01	3.48E-01
0.4	3.45E-01	3.41E-01	3.37E-01	3.34E-01	3.30E-01	3.26E-01	3.23E-01	3.19E-01	3.16E-01	3.12E-01
0.5	3.09E-01	3.05E-01	3.02E-01	2.98E-01	2.95E-01	2.91E-01	2.88E-01	2.84E-01	2.81E-01	2.78E-01
0.6	2.74E-01	2.71E-01	2.68E-01	2.64E-01	2.61E-01	2.58E-01	2.55E-01	2.51E-01	2.48E-01	2.45E-01
0.7	2.42E-01	2.39E-01	2.36E-01	2.33E-01	2.30E-01	2.27E-01	2.24E-01	2.21E-01	2.18E-01	2.15E-01
0.8	2.12E-01	2.09E-01	2.06E-01	2.03E-01	2.01E-01	1.98E-01	1.95E-01	1.92E-01	1.89E-01	1.87E-01
0.9	1.84E-01	1.81E-01	1.79E-01	1.76E-01	1.74E-01	1.71E-01	1.69E-01	1.66E-01	1.64E-01	1.61E-01
1.0	1.59E-01	1.56E-01	1.54E-01	1.52E-01	1.49E-01	1.47E-01	1.45E-01	1.42E-01	1.40E-01	1.38E-01
1.1	1.36E-01	1.34E-01	1.31E-01	1.29E-01	1.27E-01	1.25E-01	1.23E-01	1.21E-01	1.19E-01	1.17E-01
1.2	1.15E-01	1.13E-01	1.11E-01	1.09E-01	1.08E-01	1.06E-01	1.04E-01	1.02E-01	1.00E-01	9.85E-02
1.3	9.68E-02	9.51E-02	9.34E-02	9.18E-02	9.01E-02	8.85E-02	8.69E-02	8.53E-02	8.38E-02	8.23E-02
1.4	8.08E-02	7.93E-02	7.78E-02	7.64E-02	7.49E-02	7.35E-02	7.21E-02	7.08E-02	6.94E-02	6.81E-02
1.5	6.68E-02	6.55E-02	6.34E-02	6.30E-02	6.18E-02	6.06E-02	5.94E-02	5.85E-02	5.71E-02	5.59E-02
1.6	5.48E-02	5.37E-02	5.26E-02	5.16E-02	5.05E-02	4.95E-02	4.85E-02	4.75E-02	4.65E-02	4.55E-02
1.7	4.46E-02	4.36E-02	4.27E-02	4.18E-02	4.09E-02	4.01E-02	3.92E-02	3.84E-02	3.75E-02	3.67E-02
1.8	3.59E-02	3.52E-02	3.44E-02	3.36E-02	3.29E-02	3.22E-02	3.14E-02	3.07E-02	3.01E-02	2.94E-02
1.9	2.87E-02	2.81E-02	2.74E-02	2.68E-02	2.62E-02	2.56E-02	2.50E-02	2.44E-02	2.39E-02	2.33E-02
2.0	2.28E-02	2.22E-02	2.17E-02	2.12E-02	2.07E-02	2.02E-02	1.97E-02	1.92E-02	1.88E-02	1.83E-02
2.1	1.79E-02	1.74E-02	1.70E-02	1.66E-02	1.62E-02	1.58E-02	1.54E-02	1.50E-02	1.46E-02	1.43E-02
2.2	1.39E-02	1.36E-02	1.32E-02	1.29E-02	1.26E-02	1.22E-02	1.19E-02	1.16E-02	1.13E-02	1.10E-02
2.3	1.07E-02	1.04E-02	1.02E-02	9.90E-03	9.64E-03	9.39E-03	9.14E-03	8.89E-03	8.66E-03	8.42E-03
2.4	8.20E-03	7.98E-03	7.76E-03	7.55E-03	7.34E-03	7.14E-03	6.95E-03	6.76E-03	6.57E-03	6.39E-03
2.5	6.21E-03	6.04E-03	5.87E-03	5.70E-03	5.54E-03	5.39E-03	5.23E-03	5.09E-03	4.94E-03	4.80E-03
2.6	4.66E-03	4.53E-03	4.40E-03	4.27E-03	4.15E-03	4.02E-03	3.91E-03	3.79E-03	3.68E-03	3.57E-03
2.7	3.47E-03	3.36E-03	3.26E-03	3.17E-03	3.07E-03	2.98E-03	2.89E-03	2.80E-03	2.72E-03	2.64E-03
2.8	2.56E-03	2.48E-03	2.40E-03	2.33E-03	2.26E-03	2.19E-03	2.12E-03	2.05E-03	1.99E-03	1.93E-03
2.9	1.87E-03	1.81E-03	1.75E-03	1.70E-03	1.64E-03	1.59E-03	1.54E-03	1.49E-03	1.44E-03	1.40E-03
3.0	1.35E-03	1.31E-03	1.26E-03	1.22E-03	1.18E-03	1.14E-03	1.11E-03	1.07E-03	1.04E-03	1.00E-03
3.1	9.68E-04	9.35E-04	9.04E-04	8.74E-04	8.45E-04	8.16E-04	7.89E-04	7.62E-04	7.36E-04	7.11E-04
3.2	6.87E-04	6.64E-04	6.41E-04	6.19E-04	5.98E-04	5.77E-04	5.57E-04	5.38E-04	5.19E-04	5.01E-04
3.3	4.84E-04	4.67E-04	4.50E-04	4.34E-04	4.19E-04	4.04E-04	3.90E-04	3.76E-04	3.63E-04	3.50E-04
3.4	3.37E-04	3.25E-04	3.13E-04	3.02E-04	2.91E-04	2.80E-04	2.70E-04	2.60E-04	2.51E-04	2.42E-04
3.5	2.33E-04	2.24E-04	2.16E-04	2.08E-04	2.00E-04	1.93E-04	1.86E-04	1.79E-04	1.72E-04	1.66E-04
3.6	1.59E-04	1.53E-04	1.47E-04	1.42E-04	1.36E-04	1.31E-04	1.26E-04	1.21E-04	1.17E-04	1.12E-04
3.7	1.08E-04	1.04E-04	9.97E-05	9.59E-05	9.21E-05	8.86E-05	8.51E-05	8.18E-05	7.85E-05	7.55E-05
3.8	7.25E-05	6.96E-05	6.69E-05	6.42E-05	6.17E-05	5.92E-05	5.68E-05	5.46E-05	5.24E-05	5.03E-05
3.9	4.28E-05	4.63E-05	4.44E-05	4.26E-05	4.09E-05	3.92E-05	3.76E-05	3.61E-05	3.46E-05	3.32E-05
4.0	3.18E-05	3.05E-05	2.92E-05	2.80E-05	2.68E-05	2.57E-05	2.47E-05	2.36E-05	2.26E-05	2.17E-05
4.1	2.08E-05	1.99E-05	1.91E-05	1.82E-05	1.75E-05	1.67E-05	1.60E-05	1.53E-05	1.47E-05	1.40E-05
4.2	1.34E-05	1.29E-05	1.23E-05	1.18E-05	1.13E-05	1.08E-05	1.03E-05	9.86E-06	9.43E-06	9.01E-06
4.3	8.62E-06	8.24E-06	7.88E-06	7.53E-06	7.20E-06	6.88E-06	6.57E-06	6.28E-06	6.00E-06	5.73E-06
4.4	5.48E-06	5.23E-06	5.00E-06	4.77E-06	4.56E-06	4.35E-06	4.16E-06	3.97E-06	3.79E-06	3.62E-06
4.5	3.45E-06	3.29E-06	3.14E-06	3.00E-06	2.86E-06	2.73E-06	2.60E-06	2.48E-06	2.37E-06	2.26E-06
4.6	2.15E-06	2.05E-06	1.96E-06	1.87E-06	1.78E-06	1.70E-06	1.62E-06	1.54E-06	1.47E-06	1.40E-06
4.7	1.33E-06	1.27E-06	1.21E-06	1.15E-06	1.10E-06	1.05E-06	9.96E-07	9.48E-07	9.03E-07	8.59E-07
4.8	8.18E-07	7.79E-07	7.41E-07	7.05E-07	6.71E-07	6.39E-07	6.08E-07	5.78E-07	5.50E-07	5.23E-07

4.9	4.98E-07	4.73E-07	4.50E-07	4.28E-07	4.07E-07	3.87E-07	3.68E-07	3.50E-07	3.32E-07	3.16E-07
5.0	3.00E-07	2.85E-07	2.71E-07	2.58E-07	2.45E-07	2.32E-07	2.21E-07	2.10E-07	1.99E-07	1.89E-07
5.1	1.80E-07	1.71E-07	1.62E-07	1.54E-07	1.46E-07	1.39E-07	1.31E-07	1.25E-07	1.18E-07	1.12E-07
5.2	1.07E-07	1.01E-07	9.59E-08	9.10E-08	8.63E-08	8.18E-08	7.76E-08	7.36E-08	6.98E-08	6.62E-08
5.3	6.27E-08	5.95E-08	5.64E-08	5.34E-08	5.06E-08	4.80E-08	4.55E-08	4.31E-08	4.08E-08	3.87E-08
5.4	3.66E-08	3.47E-08	3.29E-08	3.11E-08	2.95E-08	2.79E-08	2.64E-08	2.50E-08	2.37E-08	2.24E-08
5.5	2.12E-08	2.01E-08	1.90E-08	1.80E-08	1.70E-08	1.61E-08	1.53E-08	1.44E-08	1.37E-08	1.29E-08
5.6	1.22E-08	1.16E-08	1.09E-08	1.03E-08	9.78E-09	9.24E-09	8.74E-09	8.26E-09	7.81E-09	7.39E-09
5.7	6.98E-09	6.60E-09	6.24E-09	5.89E-09	5.57E-09	5.26E-09	4.97E-09	4.70E-09	4.44E-09	4.19E-09
5.8	3.96E-09	3.74E-09	3.53E-09	3.34E-09	3.15E-09	2.97E-09	2.84E-09	2.65E-09	2.50E-09	2.36E-09
5.9	2.23E-09	2.11E-09	1.99E-09	1.88E-09	1.77E-09	1.67E-09	1.58E-09	1.49E-09	1.40E-09	1.32E-09
6.0	1.25E-09	1.18E-09	1.11E-09	1.05E-09	0.83E-10	9.31E-10	8.78E-10	8.28E-10	7.81E-10	7.36E-10
6.1	6.94E-10	6.54E-10	6.17E-10	5.81E-10	5.48E-10	5.16E-10	4.87E-10	4.59E-10	4.32E-10	4.07E-10
6.2	3.84E-10	3.61E-10	3.40E-10	3.21E-10	3.02E-10	2.84E-10	2.68E-10	2.52E-10	2.38E-10	2.24E-10
6.3	2.11E-10	1.98E-10	1.87E-10	1.76E-10	1.66E-10	1.56E-10	1.47E-10	1.38E-10	1.30E-10	1.22E-10
6.4	1.15E-10	1.08E-10	1.02E-10	9.59E-11	9.02E-11	8.49E-11	7.98E-11	7.51E-11	7.06E-11	6.65E-11
6.5	6.25E-11	5.88E-11	5.53E-11	5.20E-11	4.78E-11	4.60E-11	4.32E-11	4.07E-11	3.82E-11	3.59E-11
6.6	3.38E-11	3.18E-11	2.98E-11	2.81E-11	2.64E-11	2.48E-11	2.33E-11	2.19E-11	2.06E-11	1.93E-11
6.7	1.82E-11	1.71E-11	1.60E-11	1.51E-11	1.42E-11	1.33E-11	1.25E-11	1.17E-11	1.10E-11	1.04E-11
6.8	9.72E-12	9.13E-12	8.57E-12	8.05E-12	7.56E-12	7.10E-12	6.66E-12	6.26E-12	5.87E-12	5.52E-12
6.9	5.18E-12	4.86E-12	4.56E-12	4.28E-12	4.05E-12	3.77E-12	3.54E-12	3.32E-12	3.12E-12	2.93E-12
7.0	2.75E-12	2.58E-12	2.42E-12	2.27E-12	2.13E-12	2.00E-12	1.87E-12	1.76E-12	1.65E-12	1.55E-12
7.1	1.45E-12	1.36E-12	1.28E-12	1.20E-12	1.12E-12	1.05E-12	9.88E-13	9.26E-13	8.69E-13	8.15E-13
7.2	7.64E-13	7.16E-13	6.72E-13	6.30E-13	5.90E-13	5.54E-13	5.19E-13	4.86E-13	4.56E-13	4.28E-13
7.3	4.01E-13	3.76E-13	3.52E-13	3.30E-13	3.09E-13	2.90E-13	2.72E-13	2.55E-13	2.39E-13	2.24E-13
7.4	2.10E-13	1.96E-13	1.84E-13	1.72E-13	1.62E-13	1.51E-13	1.42E-13	1.33E-13	1.24E-13	1.17E-13
7.5	1.09E-13	1.02E-13	9.58E-14	8.98E-14	8.41E-14	7.87E-14	7.38E-14	6.91E-14	6.47E-14	6.06E-14
7.6	5.68E-14	5.32E-14	4.98E-14	4.66E-14	4.37E-14	4.09E-14	3.83E-14	3.58E-14	3.36E-14	3.14E-14
7.7	2.94E-14	2.76E-14	2.58E-14	2.42E-14	2.26E-14	2.12E-14	1.98E-14	1.86E-14	1.74E-14	1.63E-14
7.8	1.52E-14	1.42E-14	1.33E-14	1.25E-14	1.17E-14	1.09E-14	1.02E-14	9.58E-15	8.97E-15	8.39E-15
7.9	7.85E-15	7.35E-15	6.88E-15	6.44E-15	6.02E-15	5.64E-15	5.28E-15	4.94E-15	4.62E-15	4.32E-15
8.0	4.05E-15	3.79E-15	3.54E-15	3.31E-15	3.10E-15	2.90E-15	2.72E-15	2.54E-15	2.38E-15	2.22E-15
8.1	2.08E-15	1.95E-15	1.82E-15	1.70E-15	1.59E-15	1.49E-15	1.40E-15	1.31E-15	1.22E-15	1.14E-15
8.2	1.07E-15	9.99E-16	9.35E-16	8.74E-16	8.18E-16	7.65E-16	7.16E-16	6.69E-16	6.26E-16	5.86E-16
8.3	5.48E-16	5.12E-16	4.79E-16	4.48E-16	4.19E-16	3.92E-16	3.67E-16	3.43E-16	3.21E-16	3.00E-16
8.4	2.81E-16	2.62E-16	2.45E-16	2.30E-16	2.15E-16	2.01E-16	1.88E-16	1.76E-16	1.64E-16	1.54E-16
8.5	1.44E-16	1.34E-16	1.26E-16	1.17E-16	1.10E-16	1.03E-16	9.60E-17	8.98E-17	8.40E-17	7.85E-17
8.6	7.34E-17	6.87E-17	6.42E-17	6.00E-17	5.61E-17	5.25E-17	4.91E-17	4.59E-17	4.29E-17	4.01E-17
8.7	3.75E-17	3.51E-17	3.28E-17	3.07E-17	2.87E-17	2.68E-17	2.51E-17	2.35E-17	2.19E-17	2.05E-17
8.8	1.92E-17	1.79E-17	1.68E-17	1.57E-17	1.47E-17	1.37E-17	1.28E-17	1.20E-17	1.12E-17	1.05E-17
8.9	9.79E-18	9.16E-18	8.56E-18	8.00E-18	7.48E-18	7.00E-18	6.54E-18	6.12E-18	5.72E-18	5.35E-18
9.0	5.00E-18	4.68E-18	4.37E-18	4.09E-18	3.82E-18	3.57E-18	3.34E-18	3.13E-18	2.92E-18	2.73E-18
9.1	2.56E-18	2.39E-18	2.23E-18	2.09E-18	1.95E-18	1.83E-18	1.71E-18	1.60E-18	1.49E-18	1.40E-18
9.2	1.31E-18	1.22E-18	1.14E-18	1.07E-18	9.98E-19	9.33E-19	8.73E-19	8.16E-19	7.63E-19	7.14E-19
9.3	6.67E-19	6.24E-19	5.83E-19	5.46E-19	5.10E-19	4.77E-19	4.46E-19	4.17E-19	3.90E-19	3.65E-19
9.4	3.41E-19	3.19E-19	2.98E-19	2.79E-19	2.61E-19	2.44E-19	2.28E-19	2.14E-19	2.00E-19	1.87E-19
9.5	1.75E-19	1.63E-19	1.53E-19	1.43E-19	1.34E-19	1.25E-19	1.17E-20	1.09E-19	1.02E-19	9.56E-20
9.6	8.94E-20	8.37E-20	7.82E-20	7.32E-20	6.85E-20	6.40E-20	5.99E-20	5.60E-20	5.24E-20	4.90E-20
9.7	4.58E-20	4.29E-20	4.01E-20	3.75E-20	3.51E-20	3.28E-20	3.07E-20	2.87E-20	2.69E-20	2.52E-20
9.8	2.35E-20	2.20E-20	2.06E-20	1.93E-20	1.80E-20	1.69E-20	1.58E-20	1.48E-20	1.38E-20	1.29E-20
9.8	1.21E-20	1.13E-20	1.06E-20	9.90E-21	9.26E-21	8.67E-21	8.11E-21	7.59E-21	7.10E-21	6.64E-21
10.0	6.22E-21	5.82E-21	5.44E-21	5.09E-21	4.77E-21	4.46E-21	4.17E-21	3.91E-21	3.66E-21	3.42E-21

附表 5: 样本表

$\alpha=20\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$	β
δ/σ				↓
0.2	20%	20%	20%	1%
0.3	225	309	392	5%
0.4	100	137	174	10%
0.5	56	77	98	1%
0.6	36	49	63	5%
0.7	25	34	44	10%
0.8	18	25	32	1%
0.9	14	19	25	5%
1.0	9	12	16	10%
1.1	7	10	13	1%
1.2	6	9	11	5%
1.3	5	7	9	10%
1.4	5	6	8	1%
1.5	4	5	7	5%
1.6	4	5	6	10%
1.7	3	4	5	1%
1.8	3	4	4	5%
1.9	2	3	4	10%
2.0	2	3	4	1%
2.1	2	3	4	5%
2.2	2	3	4	10%
2.3	2	2	3	1%
2.4	2	2	3	5%
2.5	1	2	3	10%
2.6	1	2	3	1%
2.7	1	2	3	5%
2.8	1	2	3	10%
2.9	1	2	3	1%
3.0	1	1	2	5%
3.1	1	1	2	10%
3.2	1	1	2	1%
3.3	1	1	2	5%
3.4	1	1	2	10%
3.5	1	1	2	1%
3.6	1	1	2	5%
3.7	1	1	2	10%
3.8	1	1	2	1%
3.8	1	1	2	5%
4.0	1	1	2	10%

后 记

在本书即将完稿之际，由于公司发生一起意外电力事故，我们有幸与前来帮助公司处理事故的日本、美国同行进行切磋，他们严谨高效的工作风格和务实求真的科学态度使我们感触尤深。正是由于他们的敬业和努力，使公司在大量 SANYO、YAMAHA 等 SMT 设备主板被烧坏、功能测试仪和测试机架被烧损的情况下，在一周内修复设备，恢复正常生产。他们常常是晚上加班到深夜 1 点多，早上 8 点开工，在维修中遇到技术难题，往往需打电话回日本本部请求技术支持，对方永远有专家守在电话机旁，在第一时间遥控解决问题或传来所需资料。在这段时间里，我也有幸同 Chris Beaufait (GEA 认证的 Six Sigma 绿带、GEA 海外供应商项目经理人) 讨论了 6Sigma 的一些核心问题及 GEA 公司开展 6Sigma 的情况。

一、6Sigma 品质的经济性问题

Chris Beaufait 认为：6Sigma 品质是一种哲学，它最终关注的是成本。故不可片面地认为 6Sigma 品质意味缺陷数必须达到 3.4PPM，在某些情况下，要在所有过程做到 3.4PPM 的品质水平是比较困难的，同时也不经济，即在做到 3.4PPM 的同时，品质成本也在大幅攀升，可能付出多于收获。因为对过程中肯定存在的随机变异是难以分析和控制的。所以要将重点放在关键过程的能力提高上，他认为比较经济的 PPM 值应为 300PPM 左右（对电子产品类公司而言）。

二、内部 Sigma 值为与外部 Sigma 值

内部 Sigma 值是以生产某种产品的总缺陷率转换成 Z 值所得。衡量一个公司对产品的过程能力。外部 Sigma 值是以出货到客户手中所发现的不良比率，这个比率转化成 Z 值即为一个公司真实的 Sigma 值，外部 Sigma 值反映了一个公司综合的品质保证水平，一般所讲的 Sigma 值指的就是外部 Sigma 值。

三、成本与品质

Chris 认为，品质与成本是同样重要的两个项目，其关系是并列关系，6Sigma 追求的目标为：单位时间产出量增加，意味着降低成本，总的 FPY 增加或保持。如 GEA 公司评价供应商的标准如下所示：

供应商	A	B	C	D
价格	↑	↔ ↓	↓	↓
品质	↔	↑	↔ ↑	↓

对同一部品有 A、B、C、D 四家供应商，“↑”代表有走高趋势。“↓”代表有走低趋势。“↔”代表保持稳定，对于以上 4 家供应商，Chris 认为选供应商 C 比较合适。因为 C 在保持品质稳定的同时，价格降低了。B 虽提升了品质，但价格未变。由此可见，在 GEA 公司的 6Sigma 要求中，在保证品质的前提下更关注成本，因为一切工作的核心是成本问题。

四、整条生产线 Z 值的计算

假定某个电子公司生产某种电子产品，其整条生产线 Sigma 值计算步骤如下：

1. 画出整条生产线的工序流程图

(如 A 产品工序流程图)

2. 分别列出所有工序、作业工序及检查工序 (用 y , y' 及 y'' 表示)

3. 计算整个工序的 Y_{RT} (Yield Roll Throughput, 意为整个产出率)

$$Y_{RT} = y''_1 \times y''_2 \times y''_3 \times y''_4 \times y''_5$$

$y''_1 \dots y''_5$ 为各个检查/测试工序的产出率 y''

假设其值如下：

$$y''_1 = 90\%$$

$$y''_2 = 95\%$$

$$y''_3 = 80\%$$

$$y''_4 = 99\%$$

$$y''_5 = 96\%$$

$$Y_{RT} = 90\% \times 95\% \times 80\% \times 99\% \times 96\% = 65\%$$

4. 计算总的不良率

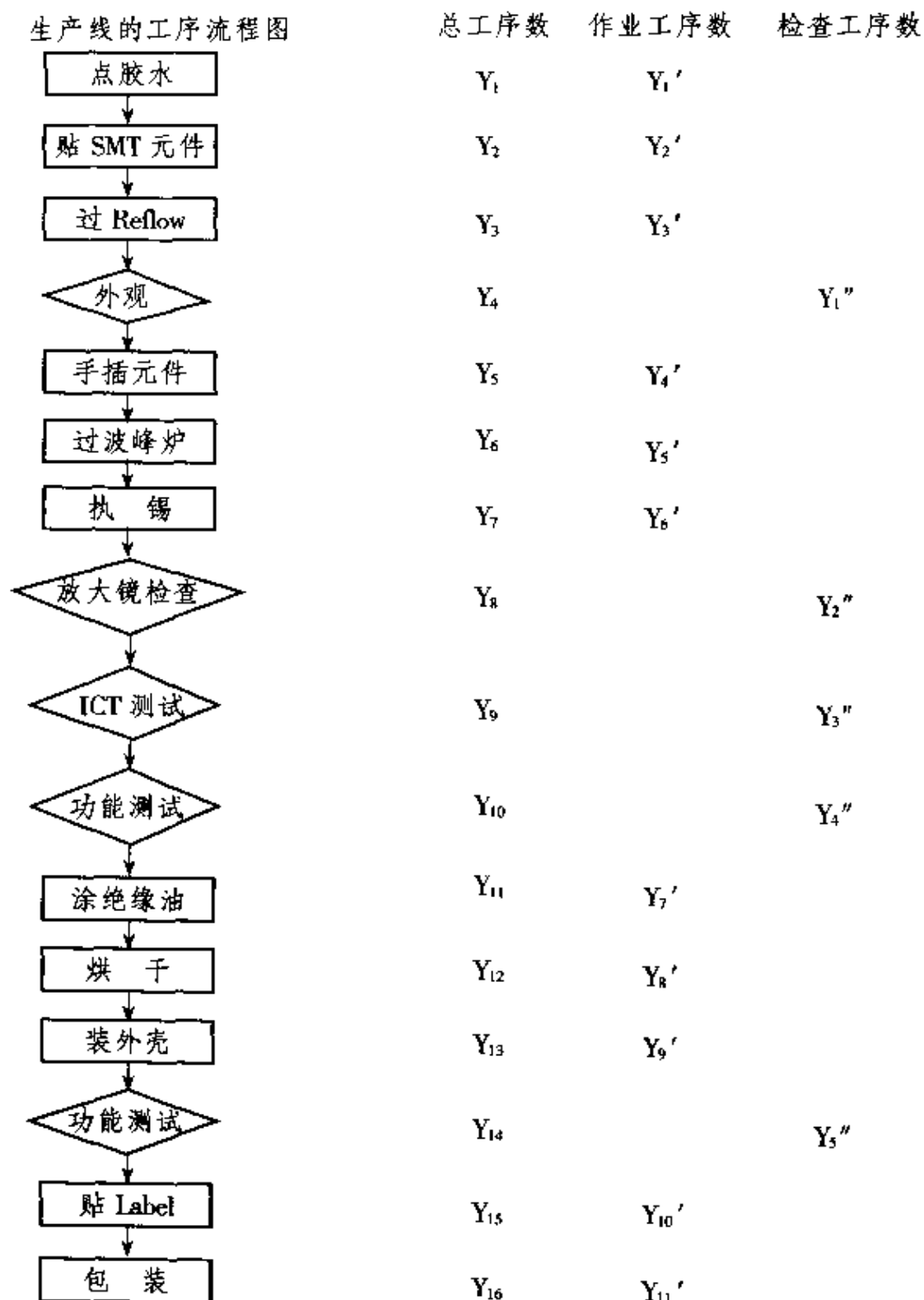
$$\text{不良率 } P = (1 - Y_{RT}) \times 10^6$$

$$= (1 - 65\%) \times 10^6$$

$$= 0.35 \times 10^6$$

$$= 350000\text{PPM}$$

A 产品工序流程图

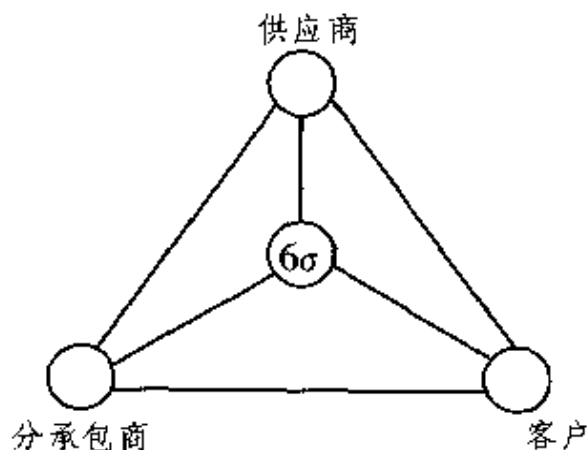


5. 查正态分布表得： $Z_{LT} = 0.39$ $Z_{ST} = 1.89$

由此得出此间公司本生产线的 Sigma 长期值为 0.39，短期值为 1.89。

根据上述知识，我们可方便地对公司的各条生产线进行能力评估，并在此基础上确定新的目标 Sigma 值，通过连续的 D-M-A-I-C 循环，逐步提高过程能力。

GE 从 1995 年以来推行 6Sigma 取得了令人瞩目的成绩，1996 年至 1999 年连续 4 年获全球 500 强盈利第一。6Sigma 系统的成功运作是其取得如此巨大成功的主要因素之一。以 Six Sigma 黑带作为纽带，维系各个部门的运作，使品质、成本、交货期达到目标最优化。GE 为实现全球化商业运营，供应商、分承包商、客户构成牢固的铁三角关系，重心在 6Sigma 品质上（如图示）。



GE 运作模式，对我国现代企业的改革具有重要的借鉴意义。

编者

2001 年 4 月