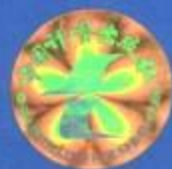


# 供应商质量控制 实用统计技术

王毓芳 肖诗唐 主编



中国计量出版社  
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

# 前 言

在经济全球化的大前提下，随着科学技术和生产力的高速发展，企业生产的规模化及精细分工，特别是装配性产品的生产，需要大量配套的原材料、零部件、元器件。因此，有更多的企业为了切实保证产品质量而更加重视对供应商的质量控制。通过 ISO 9000 标准的实施，企业已充分认识到质量管理体系相关方受益的重要意义，所以并不满足于仅与供应商建立简单的、单向有利的采购关系，而需要建立一个互利共赢的战略伙伴关系。

要做好一件事情，重要的是企业的高层领导在理念上需要变革，同时需要有正确的工作程序和科学的工作方法。在实施对供应商全面质量控制的过程中，必然需要应用一系列的统计方法和工具（统计技术），其应用的正确性和有效性将成为保证实施成效的前提条件。为此，我们根据多年的工作实践，特别是近年来在多次“供应商质量控制”培训班授课的经验，并结合学员们遇到和提出的实际问题，编写了这本针对性很强的《供应商质量控制实用统计技术》一书。

本书在第一章中简述了实施供应商质量控制的工作程序及各步骤所需要的统计方法；第二章讲述了统计技术应用的前提条件，即质量数据的正态分布和测量系统分析；从第三章起对实施供应商质量控制所需要的主要统计方法（质量功能展开、质量损失函数、过程能力分析、控制图、质量检验与抽样检验方案分析及试验设计等内容）做了详细的讲解。在讲解过程中与实施供应商质量控制紧密相联系，大量引用实施供应商质量控制的案例和大量的图表，紧密结合企业实践，具有很强的指导性和可操作性。

本书可作为企业实施供应商质量控制工作的指导及培训教材，也可供企业技术质量主管、质量工程师、技术管理工程师、采购工程师以及从事质量管理咨询和审核的人员参考。由于编审人员水平有限，错误和不足在所难免，恳请广大读者和专家予以指正。

编 者

2007 年 4 月

# 目 录

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| <b>第一章 供应商质量控制及常用统计技术</b> | <b>( 1 )</b>  |
| 一、供应商战略的确定                | ( 1 )         |
| 二、供应商基本情况调查               | ( 2 )         |
| 三、对供应商的质量审核               | ( 2 )         |
| 四、供应商的评价与选择               | ( 3 )         |
| 五、供应商的质量认定                | ( 3 )         |
| 六、供应商供货质量控制               | ( 3 )         |
| 七、供应商业绩评定及供应商的调整 (动态管理)   | ( 4 )         |
| 八、供应商质量控制需要的统计技术          | ( 4 )         |
| <b>第二章 统计技术应用的特点及应用前提</b> | <b>( 6 )</b>  |
| 一、统计技术定义及应用的特点            | ( 6 )         |
| 二、统计技术应用的作用及优势            | ( 7 )         |
| 三、统计分析方法的应用依据——质量数据的分布    | ( 9 )         |
| 四、统计分析的基础——质量数据的可信性       | ( 22 )        |
| <b>第三章 质量功能展开 (QFD)</b>   | <b>( 27 )</b> |
| 一、QFD 概述                  | ( 27 )        |
| 二、QFD 与 ISO 9000 标准       | ( 27 )        |
| 三、QFD 与并行工程               | ( 27 )        |
| 四、QFD 的基本原理及其框架           | ( 28 )        |
| 五、QFD 的量化方法——加权评分法        | ( 31 )        |
| 六、QFD 应用示例                | ( 33 )        |
| <b>第四章 质量损失函数的应用</b>      | <b>( 43 )</b> |
| 一、质量损失函数的基本概念             | ( 43 )        |
| 二、望目值质量特性的质量损失函数          | ( 46 )        |
| 三、产品质量的波动损失               | ( 51 )        |
| 四、产品质量损失函数在供应商质量控制中的应用    | ( 53 )        |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| <b>第五章 过程能力分析</b>        | ( 60 )  |
| 一、过程能力与过程能力指数的概念         | ( 60 )  |
| 二、过程能力指数的计算              | ( 60 )  |
| 三、过程能力分析 with 计算的条件      | ( 63 )  |
| 四、过程能力等级评价               | ( 63 )  |
| 五、有关标准对企业提高过程能力的要求       | ( 65 )  |
| 六、提高过程能力的途径              | ( 67 )  |
| 七、C 系列过程能力指数与 P 系列过程性能指数 | ( 74 )  |
| <b>第六章 控制图的应用</b>        | ( 77 )  |
| 一、控制图的定义和功能              | ( 77 )  |
| 二、控制图的设计原理               | ( 78 )  |
| 三、控制图的分类                 | ( 80 )  |
| 四、控制图的特性及应用的重要性          | ( 83 )  |
| 五、控制图的应用程序               | ( 90 )  |
| 六、控制图应用案例                | ( 91 )  |
| <b>第七章 质量检验及抽样检验方案分析</b> | ( 97 )  |
| 一、质量检验概述                 | ( 97 )  |
| 二、抽样检验概述                 | ( 99 )  |
| 三、对供应商提供产品的检验            | ( 105 ) |
| <b>第八章 试验设计</b>          | ( 119 ) |
| 一、试验设计概述                 | ( 119 ) |
| 二、试验设计的由来及发展             | ( 119 ) |
| 三、试验设计的术语                | ( 120 ) |
| 四、正交试验设计                 | ( 122 ) |
| 五、无交互作用正交试验设计案例          | ( 126 ) |
| 六、有交互作用正交试验设计案例          | ( 129 ) |
| 七、多指标要求的试验设计及案例          | ( 132 ) |
| 八、线索生成技术与试验设计 (DOE)      | ( 136 ) |
| 九、试验设计 (DOE) 常用正交表       | ( 137 ) |
| <b>附录 本教材培训日程与练习题</b>    | ( 145 ) |
| <b>参考文献</b>              | ( 153 ) |

# 第一章 供应商质量控制及常用统计技术

## 一、供应商战略的确定

任何一种产品都是由许许多多原材料、元器件、零部件及组件等构成。所以，在产品质量产生、形成和实现的全过程中，出于质量、经济等各方面的原因，必须确定哪些需要自制，哪些需要外购，需要什么样的供应商以及与供应商建立什么样的关系等问题。解决这些问题就是企业确定供应商战略的过程。

### （一）自制或外购的选择

企业应用调查表等工具，通过以下内容的调查并应用二维分析法（见图1—1所示）进行分析，以确定自制还是外购：

- （1）企业经营环境分析；
- （2）市场供应状况分析；
- （3）企业内部状况分析。

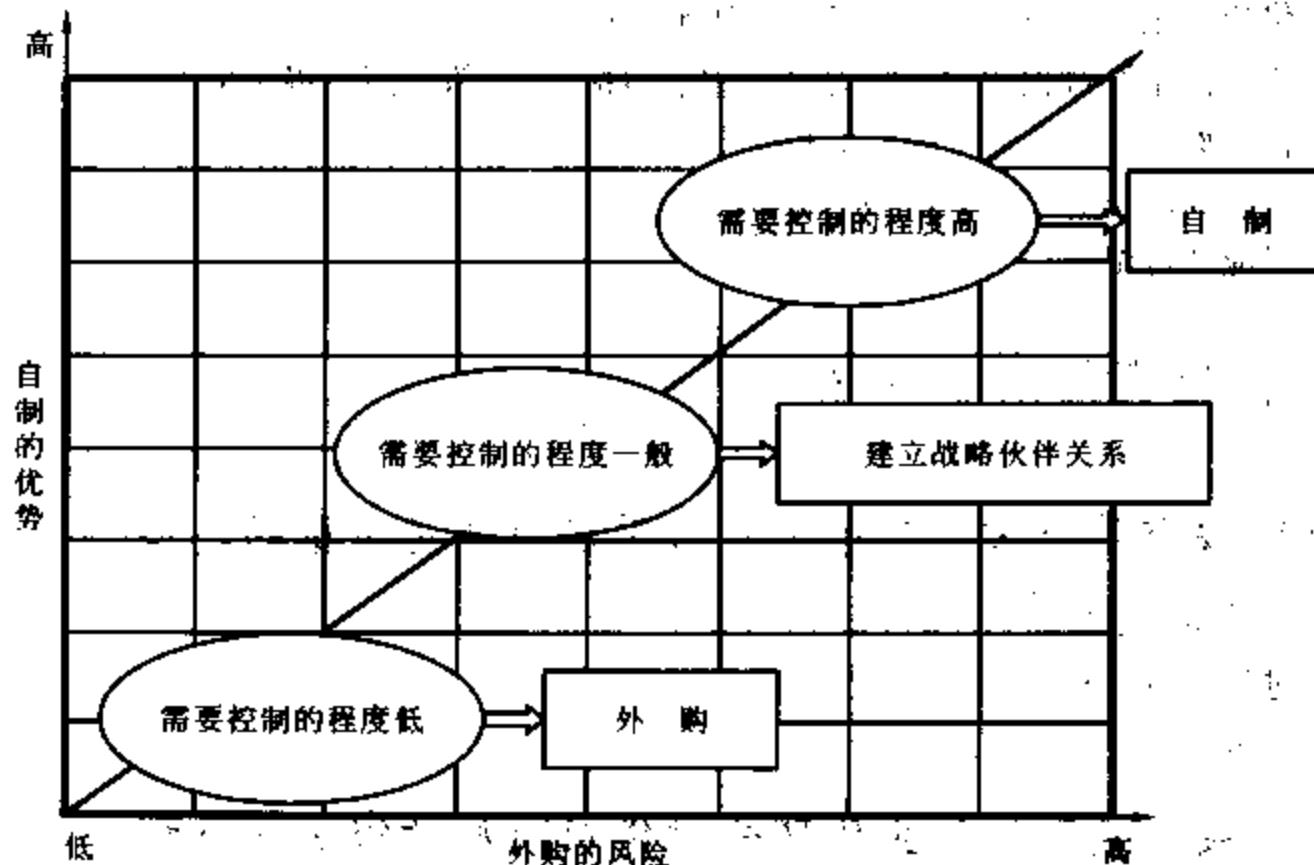


图1—1 自制与外购的二维分析法模型

## (二) 供应商的重要性分类

由于产品组成中各种原材料或零部件的重要性不同,因而企业与不同供应商的关系密切程度不同。按照提供零部件对产品影响的重要程度,可将供应商分为以下三类:

### 1. I类供应商

所供应的产品对企业生产产品质量具有非常重要的影响,应建立战略伙伴关系,在这种关系中不是简单的采购,应在更多的范围内进行经济和技术合作。

### 2. II类供应商

所供应的产品对企业生产产品质量具有比较重要的影响,应综合考虑所供应产品的质量、价格、数量及供应商的规模等因素,进行适当的关系定位。

### 3. III类供应商

所供应的产品对企业生产产品质量影响较小,一般只是简单的合作关系,可直接进行采购。

## 二、供应商基本情况调查

按照产品对采购产品的质量要求,制定供应商评价准则,并依此应用调查表等工具对供应商的基本情况进行调查,并实施过程能力分析。

调查内容主要有:

- (1) 供应商生产设备与检测设备的整体水平;
- (2) 供应商生产过程的过程能力(过程能力指数  $C_p$  值或西格玛水平  $Z$ );
- (3) 供应商生产产品的主要原材料来源;
- (4) 供应商的主要顾客及市场信誉;
- (5) 供应商遵纪守法的情况等。

## 三、对供应商的质量审核

### (一) 按质量审核的对象区分对供应商质量审核的类型

- (1) 产品质量审核;
- (2) 过程质量审核;
- (3) 质量管理体系审核。

### (二) 按质量审核的主体区分对供应商质量审核的类型

#### 1. 第一方质量审核

第一方质量审核是指供应商的内部质量审核。第一方质量审核主要是查阅供应商内部质量审核的报告。

## 2. 第二方质量审核

第二方质量审核是指使用方对供应商实施的质量审核,是实施对供应商的质量控制过程中的重点审核类型。其中特别是过程质量审核,必须通过第二方质量审核实现。

## 3. 第三方质量审核

第三方质量审核是指国家认可委认可的、具有权威性的审核机构对供应商实施的质量审核。第三方质量审核主要是查阅审核机构对供应商质量审核的报告。

# 四、供应商的评价与选择

对供应商的评价与选择应遵循全面兼顾与突出重点的原则、保持科学性的原则和具有可操作性的原则。在评价与选择过程中重要的是应用质量损失函数的方法,综合考虑质量与成本两方面的因素,同时应用流程图、直方图和排列图等方法择优选择。

# 五、供应商的质量认定

对供应商的质量认定包括质量保证能力认定和供货实物质量水平认定。在产品实物质量水平认定过程中需应用分析用控制图对供应商生产过程是否稳定和过程能力水平进行评定。对于欲建立战略伙伴关系的供应商,若在认定过程中发现一些重大问题,本着互利共赢的原则,双方应实施有效的技术合作。为解决存在的质量问题,可采用线索生成技术,分析产生质量问题的主要原因,有针对性地采取解决措施。

# 六、供应商供货质量控制

经过一系列评价与选择,确定最优供应商后,关键是如何长期稳定地保证供应商供应优质的产品和优良的服务。为此,对供应商供货过程实施质量控制必将成为一项长期的任务。

## (一) 产品设计开发阶段对供应商的质量控制

应注重让供应商参与产品的设计开发,鼓励供应商提出降低成本、改善性能、提高产品质量和可靠性、改善可加工性等方面的意见。这样,由于供应商充分了解了产品的质量要求,使供应商从起始时间就开始控制质量,这对供需双方都是有利的。

同时,对供应商进行培训,明确产品设计开发的目标质量,与供应商共同探讨,在质量控制、质量检验等方面达成一致。

在这一过程中应有效应用质量功能展开等科学方法。

## (二) 批量生产阶段对供应商的质量控制

在批量生产阶段应特别注意长期供货过程的稳定性。首先要应用控制用控制图监控供货过程的稳定性并进行过程能力分析,评定过程能力指数  $C_p$  或西格玛水平  $Z$ ; 对供货质量应实施统计抽样检验,在确定抽样检验方案后应进行质量检验特性分析。

## 七、供应商业绩评定及供应商的调整（动态管理）

通过实施顾客满意度评价、水平对比法和卓越模式分析对供应商进行业绩评定。根据评定结果（如图 1—2 所示）对供应商关系分级（A、B、C、D）并实施动态管理（调整供应商）。

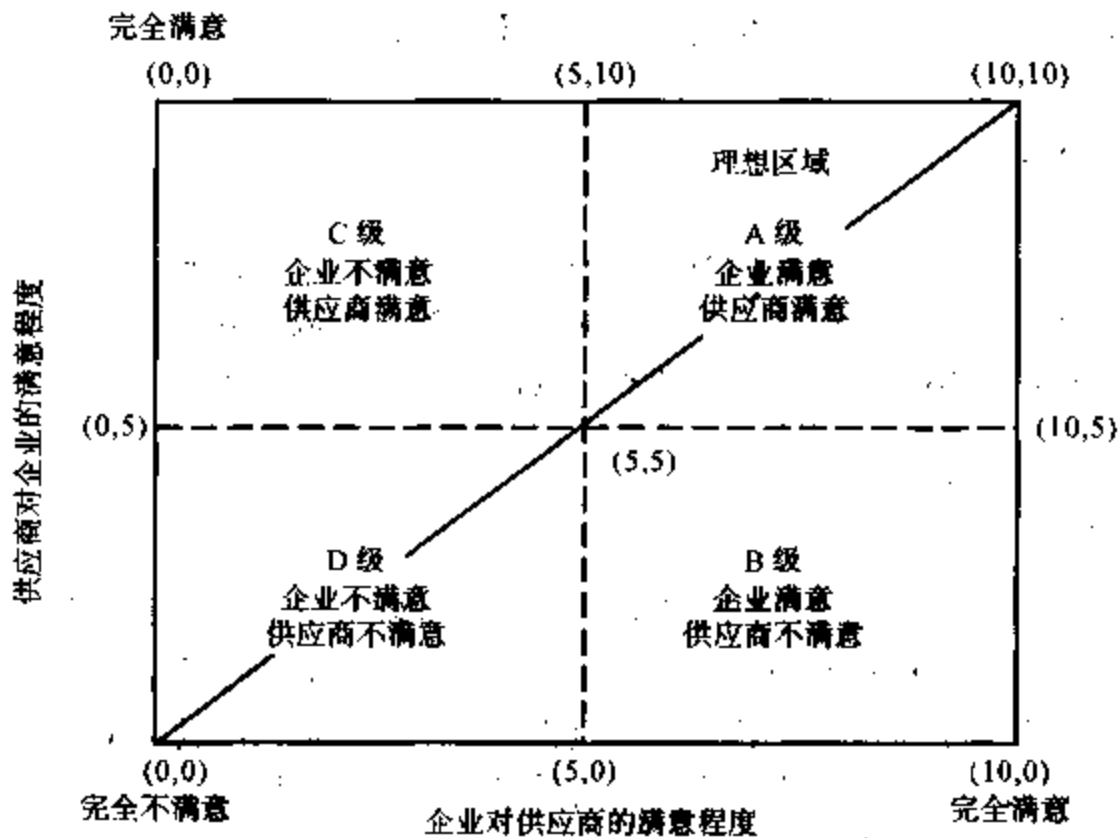


图 1—2 企业对供应商满意度评价及分级

A 级关系：双方都满意，合作的稳定性高，应建立互利共赢的战略伙伴关系。

B 级关系：企业满意，供应商不满意。供应商应改变现状，改变行为，力争进入 A 级，达到双赢的局面。

C 级关系：供应商满意，企业不满意。企业应分析原因，帮助供应商进行改进以达到企业的要求。对于确实没有能力满足企业要求的供应商应将其淘汰，企业需要更换新的供应商。

D 级关系：双方都不满意，供需关系极不稳定，双方的合作关系随时都有瓦解的可能。此时，企业应分析供应商对于企业的重要程度并采取不同的措施。若该供应商只是一个普通的供应商，则可以考虑将其淘汰；若该供应商所提供的产品对于企业来说是非常重要的而且替代供应源不足，企业应考虑加强与该供应商的沟通，以便双方共同努力和加强技术合作，改善双方的关系状态。

## 八、供应商质量控制需要的统计技术

### （一）统计技术应用的前提

#### 1. 以质量数据的分布作为分析的方法依据

从产品质量的统计观念可知，产品质量具有变异性，而产品质量的变异具有规律性。质



量数据的分布反映了产品质量变异的规律。

- (1) 计量值数据服从正态分布;
- (2) 计件值数据服从二项分布;
- (3) 计点值数据服从泊松分布。

## 2. 以质量数据的可信性作为分析的基础

质量数据的可信性必须以测量及监控装置的稳定受控来保证。因此,企业应用统计技术必须有正确的测量系统分析。

## (二) 供应商质量控制过程中需要的统计技术

图 1—3 给出了实施供应商质量控制的程序及相应的统计技术(工具和方法)应用情况。

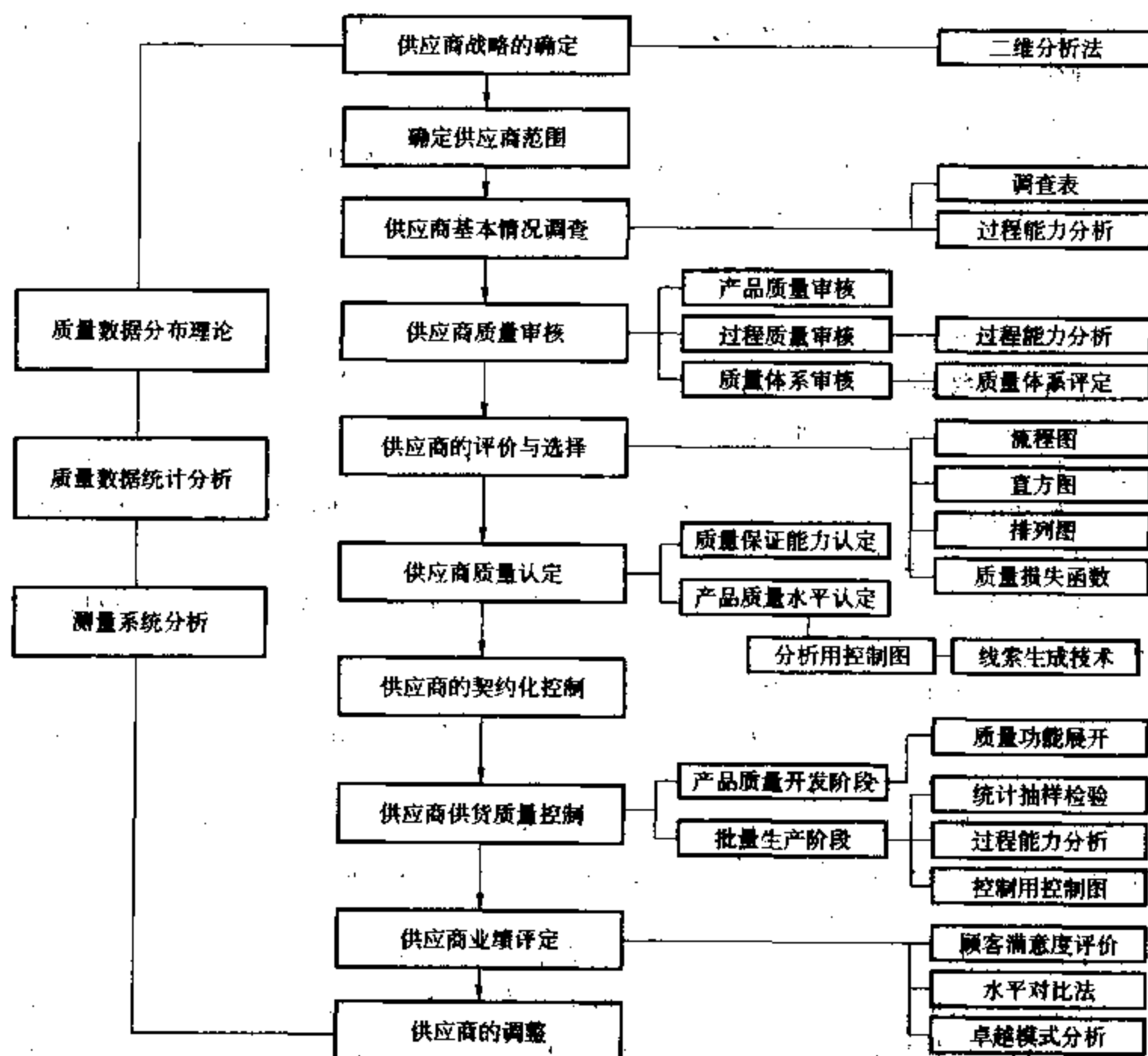


图 1—3 实施供应商质量控制的程序及所需统计技术

## 第二章 统计技术应用的特点及应用前提

### 一、统计技术定义及应用的特点

#### (一) 统计技术的定义

##### 1. 数学定义

统计技术是以概率为理论基础的应用数学的一个分支。统计技术是研究随机现象中确定的数学规律的学科。

##### 2. 实用性定义

可理解为：运用有关的统计方法收集、整理、分析和解释统计数据，并对其所反映的问题（产品质量变异的性质、程度和原因）做出一定结论的科学技术。

#### (二) 统计技术应用的特点

##### (1) 合理地收集统计数据（随机性）。

用于统计的数据必须是真实的、随机的，对取样过程有代表性。

##### (2) 必要的统计计算（科学性）。

统计技术包含有统计型和情理型两大类方法。应注意到，情理型方法并不具有统计特征，其分析结果往往因人而异，无法确认置信程度。所以，应当强调在有条件的情况下尽可能采用具有统计特征的统计型方法进行分析。

在统计技术应用中，应选用恰当的公式；要保证计算过程正确无误，必要时应对计算结果进行验证。

##### (3) 适当的图形表达（直观性）。

绝大部分统计方法都以图形表达，要求作图规范、正确，真正反映出统计结果的特征。

##### (4) 深入细致的分析（正确性）。

图形表达是现象，要求透过现象看本质，只有通过深入细致的分析才能得到正确的结论。分析过程要应用适当的分析方法（如在原因分析过程中应采用线索生成技术）进行分析。

##### (5) 最终落实到质量改进（有效性）。

ISO 9000 标准明确提出：通过统计技术的应用，实现持续改进。

应注意，在质量管理体系运行过程中，最重要的工作包括：过程控制、质量检验和质量改进。通常认为过程控制的作用是质量保持，质量检验的作用是质量验证。但绝不能看作为消极的质量保持和质量验证，在统计质量控制和统计抽样检验的实施过程中会发现很多质量缺陷，通过统计分析将获得大量质量信息，为质量改进和质量决策提供可靠的依据。所以，统计过程控制和统计抽样检验的实施是持续质量改进的基础。企业必须在搞好统计过程

控制和统计抽样检验的基础上实施持续质量改进。图 2—1 表达了这种关系。

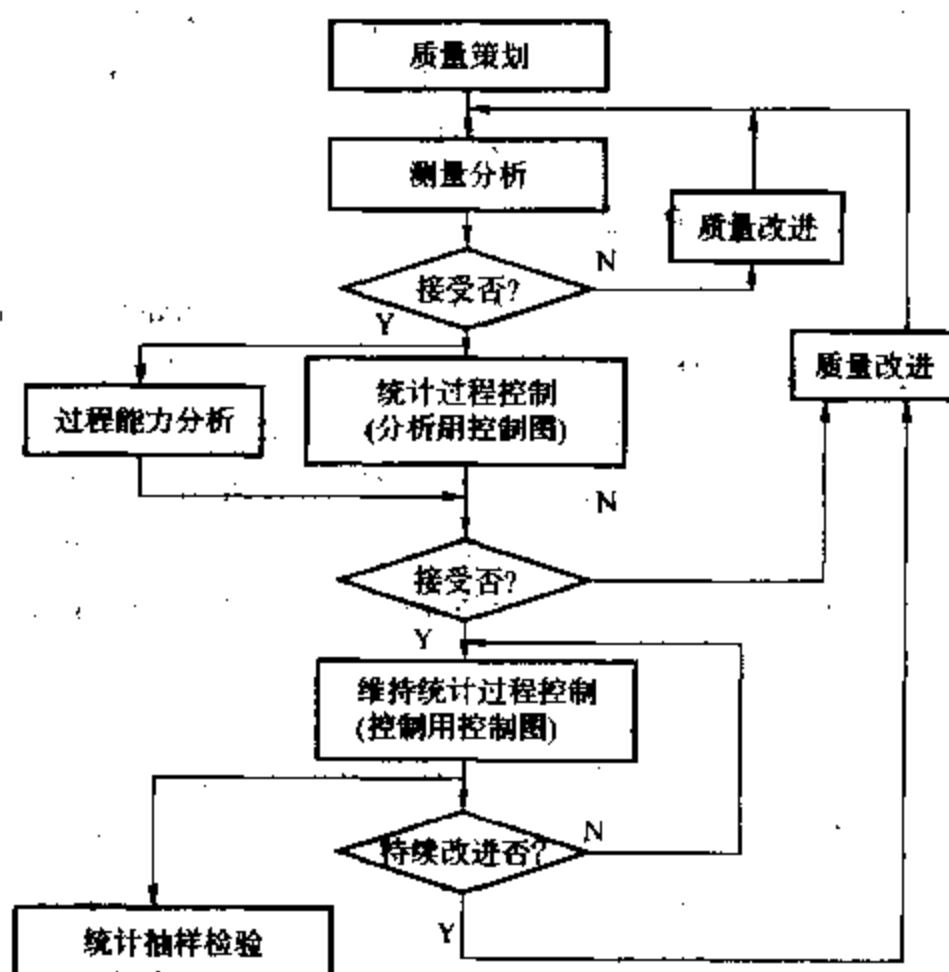


图 2—1 质量控制、质量检验与质量改进的相互关系

## 二、统计技术应用的作用及优势

### (一) 统计技术应用的作用

#### 1. ISO 9000 标准的要求

2000 版 ISO 9000 标准以“统计技术的作用”为标题提出对统计技术应用的基本要求：应用统计技术可帮助组织了解变异，从而有助于组织解决问题并提高有效性和效率。这些技术也有助于更好地利用可获得的数据进行决策。在许多活动的状态和结果中，甚至是在明显的稳定条件下，均可观察到变异。这种变异可通过产品和过程可测量的特性观察到，并且在产品的整个寿命周期（从市场调研到顾客服务和最终处置）的各个阶段，均可看到其存在。统计技术有助于对这类变异进行测量、描述、分析、解释和建立模型，甚至在数据相对有限的情况下也可实现。这种数据的统计分析能对更好地理解变异的性质、程度和原因提供帮助。从而有助于解决，甚至防止由变异引起的问题，并促进持续改进。

ISO/TR 10017:1999 给出了统计技术在质量管理体系中的指南。

#### 2. 对统计技术作用的理解

(1) 在质量管理体系建立和运行的全过程中，以及在产品质量产生、形成和实现的全过程中，都可以观察到质量变异。

- (2) 所谓掌握和控制产品质量变异, 必须理解变异的性质、程度和原因。
- (3) 一切质量改进的决策过程应以统计技术应用的结果作为输入。
- (4) 对任何组织而言, 统计技术的应用只存在多和少的问题, 不存在有无的问题。
- (5) 统计技术的应用应强调正确和有效的原则。

## (二) 统计技术应用的优势

- (1) 可以从一组数据中找出某种趋势和规律, 以利于寻求质量问题的解决。

例如: 某产品关键零件是一种精密机械加工的工件, 需要诊断该种零件加工过程是否处于稳定受控状态, 因而在实际生产过程中随机抽取 100 ~ 125 个零件并分为 20 ~ 25 组, 测量出与其相对应的数据, 并将这些数据计算控制界限和做出分析用控制图, 才能从控制图中判断该零件的生产过程是否处于稳定受控状态。如果判定过程是处于稳定受控状态, 还需要计算过程能力  $C_p$  或  $C_{pk}$  的数值和预测过程的不合格品率  $P$  的数值, 以判断是否达到技术稳态。这样, 可以为以后的质量改进提供机会。

- (2) 针对产品或过程所存在的质量问题, 可以快速、准确地确定影响质量问题的关键因素及其交互作用, 以便采取纠正和预防措施, 有效解决所存在的质量问题。

例如: 摩托罗拉公司的波峰焊过程中, 缺陷水平高达  $10^{-2}$ , 公司要求通过质量改进将缺陷水平降到  $2 \times 10^{-4}$  以下。研究小组采用现代统计技术——线索生成技术 (本书将在第五章过程能力分析的讲解中应用线索生成技术中的多变异分析方法提高轴零件加工的过程能力), 从诸多因素中确定焊剂类型 ( $A$  因素)、传送带速度 ( $B$  因素)、倾角 ( $C$  因素)、预热温度 ( $D$  因素) 是主要因素, 但是, 因素之间的交互作用  $AB$  是关键因子,  $AD$  和  $BCD$  是重要因子。从而针对这些因素及其交互作用, 进行全析因试验设计, 最终使过程缺陷水平稳定在  $10^{-5}$  以下。

- (3) 由于条件限制不可能或需要高额投入的情况下, 只能获得相对有限的数, 也可以应用统计技术对其进行规律性分析, 帮助得到某种理想的结果。

例如: 某公司研制一种新型绝缘材料, 专家们通过预测, 要求其在正常工作温度 ( $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 下的平均寿命应达到 10 000 h 以上。为获得这样的平均寿命的估计值, 需要进行 20 000 h 以上的可靠性试验 (寿命试验), 这相当于 2 年多的时间。公司认为试验时间长, 花费大, 是承受不了和不可接受的。有关专家提出采用加速老化寿命试验的解决方案, 要求试验过程中失效数最小不能低于 4 个的情况下进行可靠性分析。为此, 可靠性工程师选取  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$  这 4 个温度水平作为加速应力水平, 在这 4 个温度水平下分别做了一个截尾寿命试验。在这样的方案指导下, 各获得了加速应力寿命试验截尾样本的一个失效数 ( $r=1$ )。然后由这些数据计算出各温度水平下的平均寿命:  $\theta_{(T=190\text{ }^{\circ}\text{C})}=5\,046\text{ h}$ ;  $\theta_{(T=220\text{ }^{\circ}\text{C})}=2\,638\text{ h}$ ;  $\theta_{(T=240\text{ }^{\circ}\text{C})}=1\,572\text{ h}$ ;  $\theta_{(T=260\text{ }^{\circ}\text{C})}=1\,016\text{ h}$ 。加速寿命试验, 数学上称为加速模型, 有对应函数表达式和曲线, 常用的有阿伦尼斯模型和逆幂律模型。上面所讲的绝缘材料高温加速老化试验符合阿伦尼斯模型。经对上述数据进行一元线性回归分析, 即使该加速寿命试验仅有 4 个失效数据的情况下, 最后也能推断出在温度为  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  的条件下, 其平均寿命  $\theta$  为 16 624 h。这就充分说明, 在获得相对有限数据的情况下也是可以获得规律性、科学性的结论, 并为缩短新产品开发周期和降低产品成本提供强有力的技术支持。

(4) 统计技术应用的优势还在于它是企事业单位实施现代化管理的重要标志。

当过程能力指数达到  $C_p = 2$  时, 即使分布中心发生  $1.5\sigma$  的情况, 过程不合格品率也不超过  $3.4 \times 10^{-6}$ , 这是在讨论是否能达到世界级质量水平的问题。元器件的可靠性水平其失效率  $\lambda = ?$ , 整机的平均无故障工作时间  $MTBF = ?$ , 这都会成为顾客在咨询你们公司产品时的可靠性指标。AQL = ?, IL = ?, 采用的抽样检验方案以及产品交验批量的大小如何组成等, 这些提问或讨论都可能成为双方正在商定进货检验的细节问题。还有, 你们公司主导产品及零部件的生产过程是否采用了控制图? 是采用计量值控制图还是计数值控制图? 过程能力指数  $C_{pk} = ?$  等等。这些都是世界各大企业了解对方质量水平, 确定是否进行贸易和合作的一种通用语言和工具, 不可缺少。

### (三) 统计技术应用的条件

是否能够应用统计技术, 关键是看事物是否存在质量变异, 而且这种质量变异应具有可测量性。一般在产品整个寿命周期, 即从市场调查、新产品开发设计、工艺设计、采购、生产、检验、贮存、产品交付、售后服务等各个阶段均可观察到质量变异, 通过测量系统的测试可以得到所需要的数据。因此就可以根据数据的情况和分析对象, 恰当选择所需要的统计技术(方法)。

例如: 进行市场调查, 可以采用统计抽样、时间序列分析、描述性统计等方法; 新产品开发设计可以采用质量功能展开、并行(同步)工程、试验设计与田口方法(三次设计)、可靠性设计、故障模式及影响分析等统计方法和工程技术; 在生产制造过程可采用 SPC 理论及控制图、过程能力分析、测量分析、回归分析、统计抽样、可靠性分析、描述性统计等方法。

## 三、统计分析方法的应用依据——质量数据的分布

从产品质量的统计观念可知, 产品质量具有变异性, 而产品质量的变异具有规律性。质量数据的分布反映了产品质量变异的规律。因此, 正确掌握质量数据的分布理论是统计技术应用的前提之一。鉴于绝大部分质量特性值是计量值数据, 所以在这里只讲解计量值数据的正态分布。

### (一) 正态分布的图形(正态分布曲线)及其特征

从正态分布曲线的图形(图 2-2)可见, 正态分布曲线很像寺院中倒扣着的一口钟, 所以又称为钟形曲线, 其特征为:

- (1) 在  $x = \mu$  处有对称轴, 且有  $f(x)$  最大值, 称  $\mu$  为分布中心。
- (2) 拐点到对称轴的距离为  $\sigma$ , 称  $\sigma$  为正态分布的标准差。
- (3) 理论上认为, 正态分布曲线向  $\pm \infty$  无限延伸, 且以  $x$  轴为渐近线,  $f(x) > 0$ 。

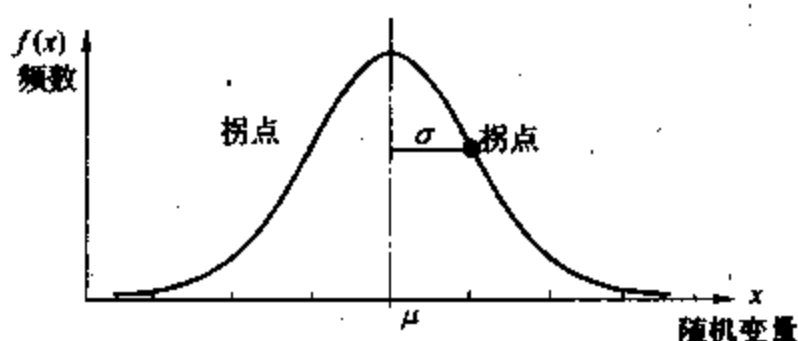
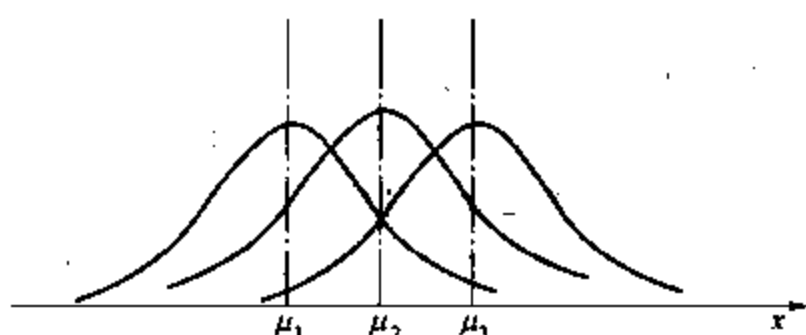


图 2—2 正态分布曲线

## (二) 正态分布的特征值

图 2—3 分布中心  $\mu$  对正态分布的影响

分布中心  $\mu$  和标准差  $\sigma$  是正态分布的特征值，也称为分布参数，二者的数值决定了正态分布的特征。所以若有随机变量  $X$  服从正态分布，应记为  $X \sim N(\mu, \sigma)$ ，也可记为  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。 $\sigma^2$  称为正态分布的方差。

### 1. 分布中心 $\mu$ 对正态分布的影响

当正态分布的标准差  $\sigma$  不变时，正态分布曲线的形状不变， $\mu$  的改变使正

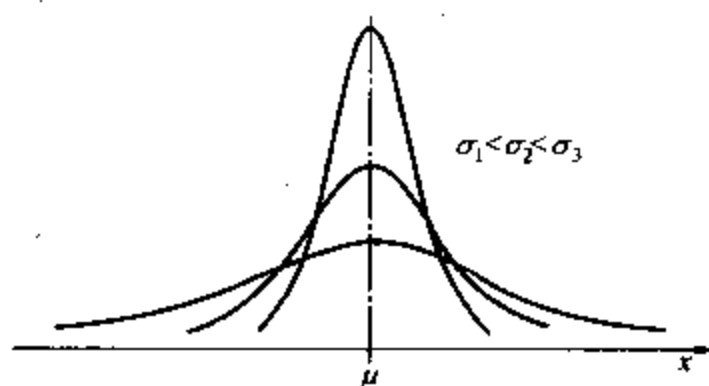
态分布曲线沿  $x$  轴平行移动（如图 2—3 所示）。

分布中心  $\mu$  表征数据的集中位置， $\mu_1 < \mu_2 < \mu_3$ 。

### 2. 标准差 $\sigma$ 对正态分布的影响

当正态分布的  $\mu$  不变时，正态分布曲线的集中位置不变， $\sigma$  的改变使正态分布曲线的形状改变。由于正态分布曲线与  $x$  轴所夹的面积为 1（即使 100%），在同一坐标系内的相同  $\sigma$  倍数区间内正态分布曲线下所夹的面积相等，所以  $\sigma$  大时曲线“矮胖”， $\sigma$  小时曲线“瘦高”（如图 2—4 所示）。

标准差  $\sigma$  表征数据的离散程度。

图 2—4 标准差  $\sigma$  对正态分布的影响

## (三) 正态分布的密度函数

正态分布的密度函数是正态分布曲线的函数式。

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

式中： $x$ ——随机变量（质量特性值），是平面直角坐标系的横坐标值；

$\mu$ ——分布中心；

$\sigma$ ——标准差;

$\pi$ ——圆周率;

$e$ ——自然常数;

$f(x)$ ——密度函数值, 是平面直角坐标系的纵坐标值。

正态分布密度函数  $f(x) > 0$  (永远取正值)。

#### (四) 正态分布的概率分布

在理论上认为正态分布曲线向  $\pm\infty$  无限延伸, 其区间内的概率值为 1, 即 100%。

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

但是, 在实际工作中任何质量特性值都不可能在这么大的区间内取值。因此, 正态分布概率在有限区间  $[x_1, x_2]$  内的数值为

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

值得注意的是,  $\mu$  和  $\sigma$  是正态分布的总体分布特征值 (总体分布参数), 只有当取得无穷多数据后才能获得, 实际在一般情况下是不可知的。所以在实际工作中, 从批量  $N$  中随机抽取一定数量的样本 (大小为  $n$ ), 对  $n$  个样本进行测量, 收集测数据, 以样本分布特征值 (样本分参数) 对总体特征值进行估计。

#### (五) 对总体分布特征值的估计

##### 1. 无偏估计

##### (1) 样本均值 $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

当  $n$  足够大时,  $\bar{x} \rightarrow \mu$ 。

##### (2) 样本标准差 $s$

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

当  $n$  足够大时,  $s \rightarrow \sigma$ 。

##### 2. 近似估计

将数据排列为有序样本:  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_{n-1} \leq x_n$

##### (1) 样本中位数 $\hat{x}$

当  $n$  为奇数时,  $\hat{x} = x_{\frac{n+1}{2}}$ ;

当  $n$  为偶数时,  $\bar{x} = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2}$ ;

当  $n$  足够大时,  $\bar{x} \rightarrow \bar{x} \rightarrow \mu$ 。

(2) 样本极差  $R$

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

则总体标准差  $\sigma$  的估计值  $\hat{\sigma}$  可表示为:  $\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{d_2}$  ( $d_2$  为常数, 可由查表获得)

若数据可以分组, 则:  $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$

## (六) 产品质量特性的类别

### 1. 望目值质量特性

产品设计时应设定目标值  $M$  和允许偏差  $\Delta$ , 则有双向公差

$$T_U = M + \Delta, T_L = M - \Delta$$

要求产品质量特性值围绕  $M$  波动 (变异), 波动幅度越小越好。

在产品图样或技术文件中给定双向公差  $T_U$  和  $T_L$ , 则大部分产品尺寸及部分质量特性属于望目值质量特性。

### 2. 望小值质量特性

望小值质量特性不取负值, 要求质量特性值越小越好, 波动 (变异) 幅度越小越好。

在产品图纸或技术文件中给定单向公差  $T_L$ 。

常见的望小值质量特性有测量误差、零件表面的清洁度、形位公差 (不平行度、不圆度等) 等。

### 3. 望大值质量的特性

望大值质量特性不取负值, 要求质量特性值越大越好, 波动 (变异) 幅度越小越好。

在产品图样或技术文件中给定单向公差  $T_U$ 。

如: 材料的强度、产品的寿命等。

## (七) 对样本分布特征值的要求

### 1. 样本均值 $\bar{x}$

$\bar{x}$  表征质量数据分布集中位置, 描述平均质量水平。

要求:

望目值质量特性,  $\bar{x} = M$ ;

望小值质量特性,  $\bar{x} \ll T_U$ ;

望大值质量特性,  $\bar{x} \gg T_L$ 。

### 2. 样本分布标准差 $s$

$s$  表征质量数据离散程度, 描述质量不一致性。

要求: 无论望目值、望小值、望大值质量特性, 其分布标准差  $s$  应尽可能小。



【例1】某建工企业为选择最优供应商，对4家水泥厂进行实物质量认定，经抽样测试标准块的抗压强度试验数据列于表2—1。

对表2—1中的数据绘制如图2—5的正态分布曲线可以更直观地进行分析 and 评价。

评价：抗压强度为望大值质量特性，要求样本均值  $\bar{x}$  尽可能大，样本标准差  $s$  尽可能小。经描述（无论是从表2—1中的数据还是图2—5中的图形）后评价认为丙厂水泥的质量最佳，应确定为合格供应商。

表2—1 砼标准块抗压强度试验数据表 (单位:  $\text{N}/\text{cm}^2$ )

|              |  |                            |
|--------------|--|----------------------------|
| 甲厂<br>$n=13$ | 17.1, 17.5, 22.0, 21.5, 17.8, 19.0, 20.0, 24.0, 25.0, 19.8, 26.0, 25.0, 22.0 | $\bar{x}=21.3$<br>$s=3.05$ |
| 乙厂<br>$n=13$ | 19.1, 19.5, 20.5, 22.0, 24.0, 23.5, 22.5, 19.8, 20.8, 23.6, 20.1, 22.0, 19.3 | $\bar{x}=21.3$<br>$s=1.74$ |
| 丙厂<br>$n=11$ | 22.0, 22.5, 23.0, 23.2, 24.0, 22.5, 22.8, 23.5, 24.0, 23.2, 24.5             | $\bar{x}=23.2$<br>$s=0.75$ |
| 丁厂<br>$n=10$ | 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 18.5, 19.2, 19.6, 19.0, 18.7, 17.2                   | $\bar{x}=18.3$<br>$s=0.87$ |

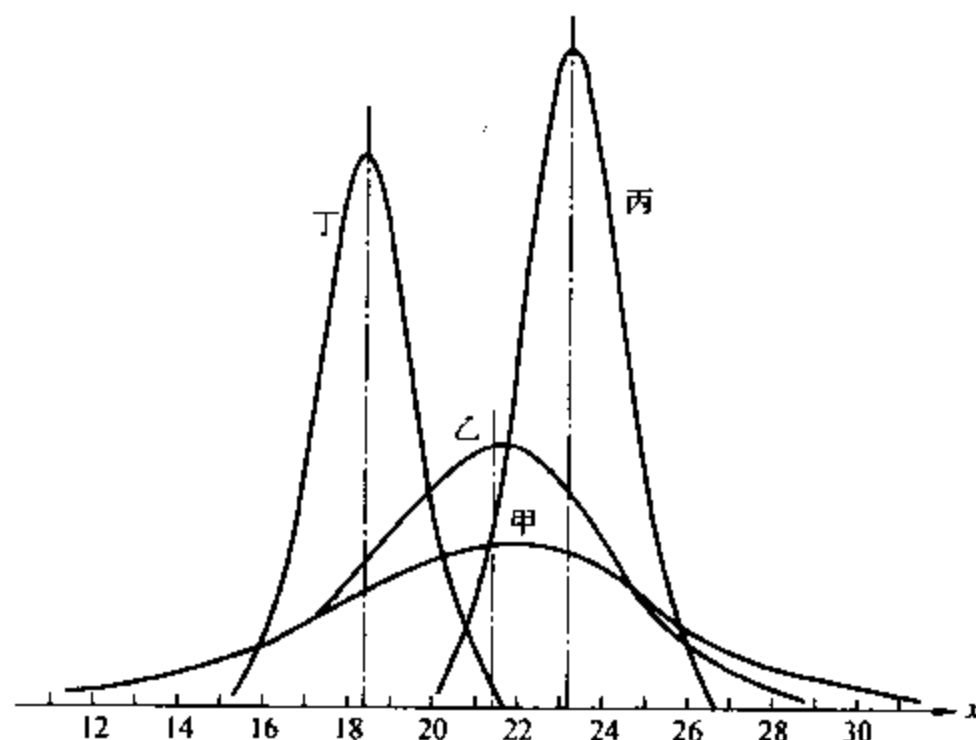


图2—5 砼标准块抗压强度正态分布曲线

## (八) 正态分布的计算及正态分布的标准变换

### 1. 正态分布的计算

通常对正态分布的计算应包括:

#### (1) 正态分布概率值 $P$ 的计算

已知随机变量 (质量特性值) 的区间  $[x_1, x_2]$ , 求该区间内的正态分布概率  $P$  的数值。

#### (2) 正态分布密度函数值 $f(x)$ 的计算

已知随机变量 (质量特性值) 的数值 (横坐标值), 求正态分布密度函数值 (纵坐标值)  $f(x)$ 。

### (3) 随机变量（质量特性值）的区间 $[x_1, x_2]$ 值的计算

已知正态分布概率值  $P$ ，求相应的随机变量（质量特性值）的区间  $[x_1, x_2]$  的值。

但是，对任何企业而言，所能见到的正态分布将会有千千万万，甚至会无穷多，这种情况下正态分布的计算将无法进行。为使正态分布的有关计算成为可能，需对正态分布进行标准变换，使千千万万个正态分布转换为一个正态分布——标准正态分布。

### 2. 正态分布的标准变换

若随机变量  $X$  服从正态分布  $X \sim N(\mu, \sigma)$ ，则可进行如下数学变换：

$$u_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

则变换后的随机变量  $u$  服从标准正态分布，即： $U \sim N(0, 1)$ 。

标准正态分布密度函数：

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

标准正态分布曲线如图 2—6 所示。

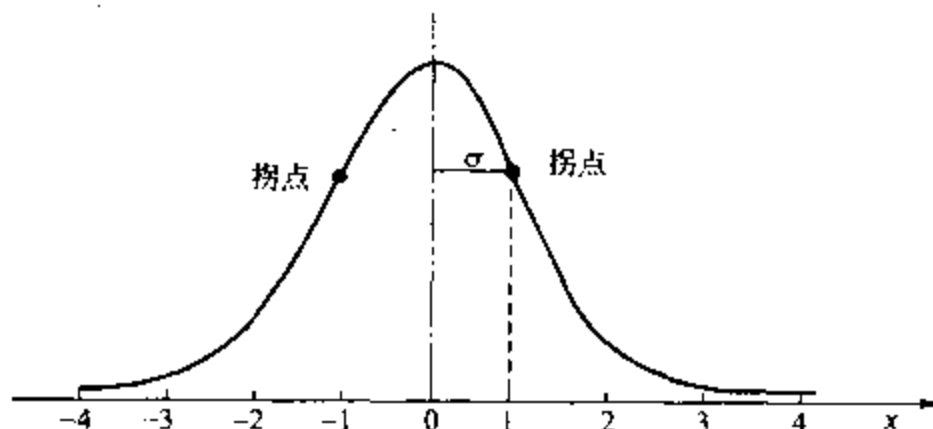


图 2—6 标准正态分布曲线

对正态分布进行标准变换后，正态分布的计算可以经过查相应的表格（如表 2—2 的正态分布表、表 2—3 的正态分布密度函数表和表 2—4 的正态分布单侧和双侧分位数表）直接获得计算结果。以下仅以正态分布的概率计算为例。

### (九) 利用正态分布表计算正态分布概率

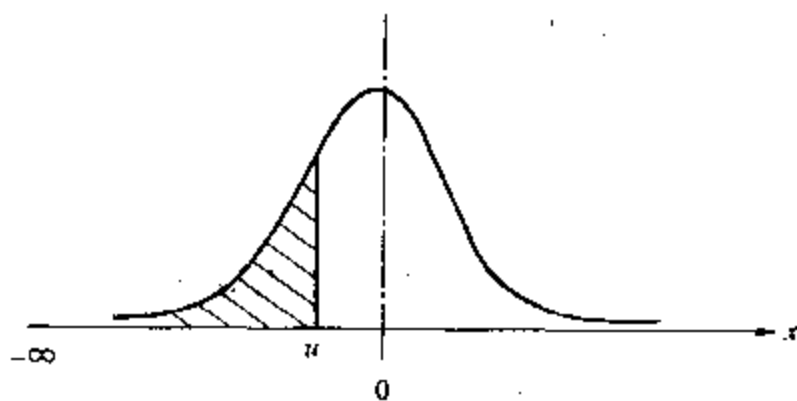


图 2—7 计算区间  $[-\infty, u]$  的正态概率图形

若按计算概率公式  $P(-\infty, u) =$

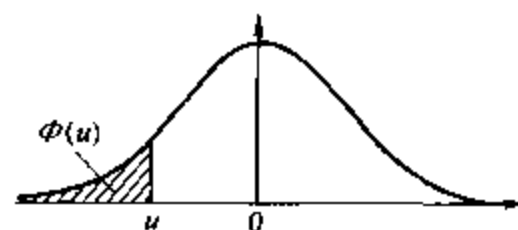
$\int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$  计算正态分布的概率，很麻烦。

反映在正态分布图形如图 2—7 所示。

一般情况下，不需要按积分公式计算，可从表 2—2 的正态分布表中直接查得结果。

表 2-2 正态分布表

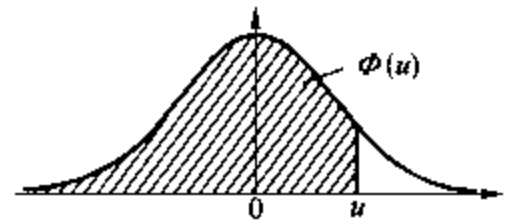
$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (u \leq 0)$$



| u    | 0.00       | 0.01       | 0.02       | 0.03       | 0.04       | 0.05       | 0.06       | 0.07       | 0.08       | 0.09       | u    |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| -0.0 | 0.500 0    | 0.496 0    | 0.492 0    | 0.488 0    | 0.484 0    | 0.480 1    | 0.476 1    | 0.472 1    | 0.468 1    | 0.464 1    | -0.0 |
| -0.1 | 0.460 2    | 0.456 2    | 0.452 2    | 0.448 3    | 0.444 3    | 0.440 4    | 0.436 4    | 0.432 5    | 0.428 6    | 0.424 7    | -0.1 |
| -0.2 | 0.420 7    | 0.416 8    | 0.412 9    | 0.409 0    | 0.405 2    | 0.401 3    | 0.397 4    | 0.393 6    | 0.389 7    | 0.385 9    | -0.2 |
| -0.3 | 0.382 1    | 0.378 3    | 0.374 5    | 0.370 7    | 0.366 9    | 0.363 2    | 0.359 4    | 0.355 7    | 0.352 0    | 0.348 3    | -0.3 |
| -0.4 | 0.344 6    | 0.340 9    | 0.337 2    | 0.333 6    | 0.330 0    | 0.326 4    | 0.322 8    | 0.319 2    | 0.315 6    | 0.312 1    | -0.4 |
| -0.5 | 0.303 5    | 0.300 0    | 0.296 5    | 0.293 1    | 0.289 7    | 0.286 4    | 0.283 1    | 0.279 8    | 0.276 6    | 0.273 3    | -0.5 |
| -0.6 | 0.274 3    | 0.270 9    | 0.267 6    | 0.264 3    | 0.261 1    | 0.257 8    | 0.254 6    | 0.251 4    | 0.248 3    | 0.245 1    | -0.6 |
| -0.7 | 0.242 0    | 0.238 9    | 0.235 8    | 0.232 7    | 0.229 7    | 0.226 6    | 0.223 6    | 0.220 6    | 0.217 7    | 0.214 8    | -0.7 |
| -0.8 | 0.211 9    | 0.209 0    | 0.206 1    | 0.203 3    | 0.200 5    | 0.197 7    | 0.194 9    | 0.192 2    | 0.189 4    | 0.186 7    | -0.8 |
| -0.9 | 0.184 1    | 0.181 4    | 0.178 8    | 0.176 2    | 0.173 6    | 0.171 1    | 0.168 5    | 0.166 0    | 0.163 5    | 0.161 1    | -0.9 |
| -1.0 | 0.158 7    | 0.156 2    | 0.153 9    | 0.151 5    | 0.149 2    | 0.146 9    | 0.144 6    | 0.142 3    | 0.140 1    | 0.137 9    | -1.0 |
| -1.1 | 0.135 7    | 0.133 5    | 0.131 4    | 0.129 2    | 0.127 1    | 0.125 1    | 0.123 0    | 0.121 0    | 0.119 0    | 0.117 0    | -1.1 |
| -1.2 | 0.115 1    | 0.113 1    | 0.111 2    | 0.109 3    | 0.107 5    | 0.105 6    | 0.103 8    | 0.102 0    | 0.100 3    | 0.098 53   | -1.2 |
| -1.3 | 0.096 80   | 0.095 10   | 0.093 42   | 0.091 76   | 0.090 12   | 0.088 51   | 0.086 91   | 0.085 34   | 0.083 79   | 0.082 26   | -1.3 |
| -1.4 | 0.080 76   | 0.079 27   | 0.077 80   | 0.076 36   | 0.074 93   | 0.073 53   | 0.072 15   | 0.070 78   | 0.069 44   | 0.068 11   | -1.4 |
| -1.5 | 0.066 81   | 0.065 52   | 0.064 26   | 0.063 01   | 0.061 78   | 0.060 57   | 0.059 38   | 0.058 21   | 0.057 05   | 0.055 92   | -1.5 |
| -1.6 | 0.054 80   | 0.053 70   | 0.052 62   | 0.051 55   | 0.050 50   | 0.049 47   | 0.048 46   | 0.047 46   | 0.046 48   | 0.045 51   | -1.6 |
| -1.7 | 0.044 57   | 0.043 63   | 0.042 72   | 0.041 82   | 0.040 93   | 0.040 06   | 0.039 20   | 0.038 36   | 0.037 54   | 0.036 73   | -1.7 |
| -1.8 | 0.035 93   | 0.035 15   | 0.034 38   | 0.033 62   | 0.032 88   | 0.032 16   | 0.031 44   | 0.030 74   | 0.030 05   | 0.029 38   | -1.8 |
| -1.9 | 0.023 72   | 0.022 87   | 0.022 43   | 0.021 80   | 0.021 19   | 0.020 59   | 0.020 00   | 0.019 42   | 0.018 85   | 0.018 30   | -1.9 |
| -2.0 | 0.022 75   | 0.022 22   | 0.021 69   | 0.021 18   | 0.020 68   | 0.020 18   | 0.019 70   | 0.019 23   | 0.018 76   | 0.018 31   | -2.0 |
| -2.1 | 0.017 86   | 0.017 43   | 0.017 00   | 0.016 59   | 0.016 18   | 0.015 78   | 0.015 39   | 0.015 00   | 0.014 63   | 0.014 26   | -2.1 |
| -2.2 | 0.013 90   | 0.013 55   | 0.013 21   | 0.012 87   | 0.012 55   | 0.012 22   | 0.011 91   | 0.011 60   | 0.011 30   | 0.011 01   | -2.2 |
| -2.3 | 0.010 72   | 0.010 44   | 0.010 17   | 0.009 903  | 0.009 642  | 0.009 387  | 0.009 137  | 0.008 894  | 0.008 656  | 0.008 424  | -2.3 |
| -2.4 | 0.008 198  | 0.007 976  | 0.007 760  | 0.007 549  | 0.007 344  | 0.007 143  | 0.006 947  | 0.006 756  | 0.006 569  | 0.006 387  | -2.4 |
| -2.5 | 0.006 210  | 0.006 037  | 0.005 868  | 0.005 703  | 0.005 543  | 0.005 386  | 0.005 234  | 0.005 085  | 0.004 940  | 0.004 799  | -2.5 |
| -2.6 | 0.004 661  | 0.004 527  | 0.004 396  | 0.004 269  | 0.004 145  | 0.004 025  | 0.003 907  | 0.003 793  | 0.003 681  | 0.003 573  | -2.6 |
| -2.7 | 0.003 467  | 0.003 364  | 0.003 264  | 0.003 167  | 0.003 072  | 0.002 980  | 0.002 890  | 0.002 803  | 0.002 718  | 0.002 635  | -2.7 |
| -2.8 | 0.002 555  | 0.002 477  | 0.002 401  | 0.002 327  | 0.002 256  | 0.002 186  | 0.002 118  | 0.002 052  | 0.001 988  | 0.001 926  | -2.8 |
| -2.9 | 0.001 866  | 0.001 807  | 0.001 750  | 0.001 695  | 0.001 641  | 0.001 589  | 0.001 538  | 0.001 489  | 0.001 441  | 0.001 395  | -2.9 |
| -3.0 | 0.001 350  | 0.001 306  | 0.001 264  | 0.001 223  | 0.001 183  | 0.001 144  | 0.001 107  | 0.001 070  | 0.001 035  | 0.001 001  | -3.0 |
| -3.1 | 0.000 9676 | 0.000 9354 | 0.000 9043 | 0.000 8740 | 0.000 8447 | 0.000 8164 | 0.000 7888 | 0.000 7622 | 0.000 7364 | 0.000 7114 | -3.1 |
| -3.2 | 0.000 6871 | 0.000 6637 | 0.000 6410 | 0.000 6190 | 0.000 5976 | 0.000 5770 | 0.000 5571 | 0.000 5377 | 0.000 5190 | 0.000 4909 | -3.2 |
| -3.3 | 0.000 4834 | 0.000 4665 | 0.000 4501 | 0.000 4342 | 0.000 4189 | 0.000 4041 | 0.000 3897 | 0.000 3758 | 0.000 3624 | 0.000 3495 | -3.3 |
| -3.4 | 0.000 3369 | 0.000 3248 | 0.000 3131 | 0.000 3018 | 0.000 2909 | 0.000 2803 | 0.000 2701 | 0.000 2602 | 0.000 2507 | 0.000 2415 | -3.4 |
| -3.5 | 0.000 2326 | 0.000 2241 | 0.000 2158 | 0.000 2078 | 0.000 2001 | 0.000 1926 | 0.000 1854 | 0.000 1785 | 0.000 1718 | 0.000 1653 | -3.5 |
| -3.6 | 0.000 1591 | 0.000 1531 | 0.000 1473 | 0.000 1417 | 0.000 1363 | 0.000 1311 | 0.000 1261 | 0.000 1213 | 0.000 1166 | 0.000 1121 | -3.6 |
| -3.7 | 0.000 1078 | 0.000 1036 | 0.000 9961 | 0.000 9574 | 0.000 9201 | 0.000 8842 | 0.000 8496 | 0.000 8162 | 0.000 7841 | 0.000 7532 | -3.7 |
| -3.8 | 0.000 7235 | 0.000 6948 | 0.000 6673 | 0.000 6407 | 0.000 6152 | 0.000 5906 | 0.000 5669 | 0.000 5442 | 0.000 5223 | 0.000 5012 | -3.8 |
| -3.9 | 0.000 4810 | 0.000 4615 | 0.000 4427 | 0.000 4247 | 0.000 4074 | 0.000 3908 | 0.000 3747 | 0.000 3594 | 0.000 3446 | 0.000 3304 | -3.9 |
| -4.0 | 0.000 3167 | 0.000 3036 | 0.000 2910 | 0.000 2789 | 0.000 2673 | 0.000 2561 | 0.000 2454 | 0.000 2351 | 0.000 2252 | 0.000 2157 | -4.0 |
| -4.1 | 0.000 2066 | 0.000 1978 | 0.000 1894 | 0.000 1814 | 0.000 1737 | 0.000 1662 | 0.000 1591 | 0.000 1523 | 0.000 1458 | 0.000 1395 | -4.1 |
| -4.2 | 0.000 1385 | 0.000 1277 | 0.000 1222 | 0.000 1168 | 0.000 1118 | 0.000 1069 | 0.000 1022 | 0.000 9774 | 0.000 9345 | 0.000 8934 | -4.2 |
| -4.3 | 0.000 8540 | 0.000 8163 | 0.000 7801 | 0.000 7455 | 0.000 7124 | 0.000 6807 | 0.000 6503 | 0.000 6212 | 0.000 5934 | 0.000 5668 | -4.3 |
| -4.4 | 0.000 5413 | 0.000 5169 | 0.000 4935 | 0.000 4712 | 0.000 4498 | 0.000 4294 | 0.000 4098 | 0.000 3911 | 0.000 3732 | 0.000 3561 | -4.4 |
| -4.5 | 0.000 3398 | 0.000 3241 | 0.000 3092 | 0.000 2949 | 0.000 2813 | 0.000 2682 | 0.000 2558 | 0.000 2439 | 0.000 2325 | 0.000 2216 | -4.5 |
| -4.6 | 0.000 2112 | 0.000 2013 | 0.000 1919 | 0.000 1828 | 0.000 1742 | 0.000 1660 | 0.000 1581 | 0.000 1506 | 0.000 1434 | 0.000 1366 | -4.6 |
| -4.7 | 0.000 1301 | 0.000 1239 | 0.000 1179 | 0.000 1123 | 0.000 1069 | 0.000 1017 | 0.000 9680 | 0.000 9211 | 0.000 8765 | 0.000 8339 | -4.7 |
| -4.8 | 0.000 7933 | 0.000 7547 | 0.000 7178 | 0.000 6827 | 0.000 6492 | 0.000 6173 | 0.000 5869 | 0.000 5580 | 0.000 5304 | 0.000 5042 | -4.8 |
| -4.9 | 0.000 4792 | 0.000 4554 | 0.000 4327 | 0.000 4111 | 0.000 3906 | 0.000 3711 | 0.000 3525 | 0.000 3348 | 0.000 3179 | 0.000 3019 | -4.9 |

正态分布表 (续表)

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (u \geq 0)$$

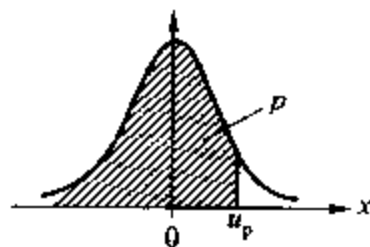


| u   | 0.00   | 0.01   | 0.02   | 0.03   | 0.04   | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   | u   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 0.0 | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 | 0.0 |
| 0.1 | 0.5398 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5753 | 0.1 |
| 0.2 | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 | 0.2 |
| 0.3 | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 | 0.3 |
| 0.4 | 0.6554 | 0.6591 | 0.6628 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 | 0.4 |
| 0.5 | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7123 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 | 0.5 |
| 0.6 | 0.7257 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7422 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7517 | 0.7549 | 0.6 |
| 0.7 | 0.7580 | 0.7611 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7703 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7823 | 0.7852 | 0.7 |
| 0.8 | 0.7881 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7995 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8078 | 0.8106 | 0.8133 | 0.8 |
| 0.9 | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 | 0.9 |
| 1.0 | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 | 1.0 |
| 1.1 | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8830 | 1.1 |
| 1.2 | 0.8849 | 0.8869 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8925 | 0.8944 | 0.8962 | 0.8980 | 0.8997 | 0.9014 | 1.2 |
| 1.3 | 0.9032 | 0.9049 | 0.9065 | 0.9082 | 0.9098 | 0.9114 | 0.9130 | 0.9146 | 0.9162 | 0.9177 | 1.3 |
| 1.4 | 0.9192 | 0.9207 | 0.9222 | 0.9236 | 0.9251 | 0.9266 | 0.9281 | 0.9296 | 0.9310 | 0.9324 | 1.4 |
| 1.5 | 0.9339 | 0.9354 | 0.9368 | 0.9382 | 0.9396 | 0.9411 | 0.9425 | 0.9439 | 0.9453 | 0.9467 | 1.5 |
| 1.6 | 0.9479 | 0.9493 | 0.9506 | 0.9519 | 0.9532 | 0.9545 | 0.9558 | 0.9571 | 0.9584 | 0.9596 | 1.6 |
| 1.7 | 0.9609 | 0.9621 | 0.9633 | 0.9645 | 0.9657 | 0.9669 | 0.9681 | 0.9692 | 0.9704 | 0.9716 | 1.7 |
| 1.8 | 0.9727 | 0.9738 | 0.9749 | 0.9760 | 0.9771 | 0.9781 | 0.9792 | 0.9802 | 0.9812 | 0.9822 | 1.8 |
| 1.9 | 0.9832 | 0.9841 | 0.9851 | 0.9860 | 0.9869 | 0.9878 | 0.9887 | 0.9896 | 0.9904 | 0.9913 | 1.9 |
| 2.0 | 0.9922 | 0.9930 | 0.9938 | 0.9946 | 0.9954 | 0.9961 | 0.9969 | 0.9976 | 0.9983 | 0.9990 | 2.0 |
| 2.1 | 0.9997 | 0.9998 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.1 |
| 2.2 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.2 |
| 2.3 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.3 |
| 2.4 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.4 |
| 2.5 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.5 |
| 2.6 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.6 |
| 2.7 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.7 |
| 2.8 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.8 |
| 2.9 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 2.9 |
| 3.0 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.0 |
| 3.1 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.1 |
| 3.2 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.2 |
| 3.3 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.3 |
| 3.4 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.4 |
| 3.5 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.5 |
| 3.6 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.6 |
| 3.7 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.7 |
| 3.8 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.8 |
| 3.9 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 3.9 |
| 4.0 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.0 |
| 4.1 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.1 |
| 4.2 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.2 |
| 4.3 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.3 |
| 4.4 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.4 |
| 4.5 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.5 |
| 4.6 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.6 |
| 4.7 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.7 |
| 4.8 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.8 |
| 4.9 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 4.9 |



表 2—4.1 正态分布单侧分位数表

$$u_p: \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du = p$$



| $p$  | 0.000     | 0.001     | 0.002     | 0.003     | 0.004     | 0.005     | 0.006     | 0.007     | 0.008     | 0.009     |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.50 | 0.000 000 | 0.002 507 | 0.005 013 | 0.007 520 | 0.010 027 | 0.012 533 | 0.015 040 | 0.017 547 | 0.020 054 | 0.022 562 |
| 0.51 | 0.025 069 | 0.027 576 | 0.030 084 | 0.032 592 | 0.035 100 | 0.037 608 | 0.040 117 | 0.042 626 | 0.045 135 | 0.047 644 |
| 0.52 | 0.050 154 | 0.052 664 | 0.055 174 | 0.057 684 | 0.060 195 | 0.062 707 | 0.065 219 | 0.067 731 | 0.070 243 | 0.072 756 |
| 0.53 | 0.075 270 | 0.077 784 | 0.080 298 | 0.082 813 | 0.085 329 | 0.087 845 | 0.090 361 | 0.092 879 | 0.095 396 | 0.097 915 |
| 0.54 | 0.100 434 | 0.102 953 | 0.105 474 | 0.107 995 | 0.110 516 | 0.113 039 | 0.115 562 | 0.118 085 | 0.120 610 | 0.123 135 |
| 0.55 | 0.125 661 | 0.128 188 | 0.130 716 | 0.133 245 | 0.135 774 | 0.138 304 | 0.140 835 | 0.143 367 | 0.145 900 | 0.148 434 |
| 0.56 | 0.150 969 | 0.153 505 | 0.156 042 | 0.158 580 | 0.161 119 | 0.163 658 | 0.166 199 | 0.168 741 | 0.171 285 | 0.173 829 |
| 0.57 | 0.176 374 | 0.178 921 | 0.181 468 | 0.184 017 | 0.186 567 | 0.189 118 | 0.191 671 | 0.194 225 | 0.196 780 | 0.199 336 |
| 0.58 | 0.201 893 | 0.204 452 | 0.207 013 | 0.209 574 | 0.212 137 | 0.214 702 | 0.217 267 | 0.219 835 | 0.222 403 | 0.224 973 |
| 0.59 | 0.227 545 | 0.230 118 | 0.232 693 | 0.235 269 | 0.237 847 | 0.240 426 | 0.243 007 | 0.245 590 | 0.248 174 | 0.250 760 |
| 0.60 | 0.253 347 | 0.255 936 | 0.258 527 | 0.261 120 | 0.263 714 | 0.266 311 | 0.268 909 | 0.271 508 | 0.274 110 | 0.276 714 |
| 0.61 | 0.279 319 | 0.281 926 | 0.284 536 | 0.287 147 | 0.289 760 | 0.292 375 | 0.294 992 | 0.297 611 | 0.300 232 | 0.302 855 |
| 0.62 | 0.305 481 | 0.308 108 | 0.310 738 | 0.313 369 | 0.316 003 | 0.318 639 | 0.321 278 | 0.323 918 | 0.326 561 | 0.329 206 |
| 0.63 | 0.331 858 | 0.334 503 | 0.337 155 | 0.339 809 | 0.342 466 | 0.345 126 | 0.347 787 | 0.350 451 | 0.353 118 | 0.355 787 |
| 0.64 | 0.358 459 | 0.361 133 | 0.363 810 | 0.366 489 | 0.369 171 | 0.371 856 | 0.374 543 | 0.377 234 | 0.379 926 | 0.382 622 |
| 0.65 | 0.385 320 | 0.388 022 | 0.390 726 | 0.393 433 | 0.396 142 | 0.398 855 | 0.401 571 | 0.404 289 | 0.407 011 | 0.409 735 |
| 0.66 | 0.412 463 | 0.415 194 | 0.417 928 | 0.420 665 | 0.423 405 | 0.426 168 | 0.428 895 | 0.431 644 | 0.434 397 | 0.437 154 |
| 0.67 | 0.439 913 | 0.442 676 | 0.445 443 | 0.448 212 | 0.450 985 | 0.453 762 | 0.456 542 | 0.459 326 | 0.462 113 | 0.464 904 |
| 0.68 | 0.467 699 | 0.470 497 | 0.473 299 | 0.476 104 | 0.478 914 | 0.481 727 | 0.484 544 | 0.487 365 | 0.490 189 | 0.493 018 |
| 0.69 | 0.495 850 | 0.498 687 | 0.501 527 | 0.504 372 | 0.507 221 | 0.510 073 | 0.512 930 | 0.515 792 | 0.518 657 | 0.521 527 |
| 0.70 | 0.524 401 | 0.527 279 | 0.530 161 | 0.533 049 | 0.535 940 | 0.538 836 | 0.541 737 | 0.544 642 | 0.547 551 | 0.550 466 |
| 0.71 | 0.553 385 | 0.556 308 | 0.559 237 | 0.562 170 | 0.565 108 | 0.568 051 | 0.570 999 | 0.573 952 | 0.576 910 | 0.579 873 |
| 0.72 | 0.582 242 | 0.585 815 | 0.588 793 | 0.591 777 | 0.594 766 | 0.597 760 | 0.600 760 | 0.603 765 | 0.606 775 | 0.609 791 |
| 0.73 | 0.612 813 | 0.615 840 | 0.618 873 | 0.621 912 | 0.624 956 | 0.628 006 | 0.631 062 | 0.634 124 | 0.637 192 | 0.640 266 |
| 0.74 | 0.643 345 | 0.646 431 | 0.649 524 | 0.652 622 | 0.655 727 | 0.658 838 | 0.661 955 | 0.665 079 | 0.668 209 | 0.671 346 |
| 0.75 | 0.674 490 | 0.677 640 | 0.680 797 | 0.683 961 | 0.687 131 | 0.690 309 | 0.693 493 | 0.696 685 | 0.699 884 | 0.703 089 |
| 0.76 | 0.706 303 | 0.709 523 | 0.712 751 | 0.715 986 | 0.719 229 | 0.722 479 | 0.725 737 | 0.729 003 | 0.732 276 | 0.735 558 |
| 0.77 | 0.738 847 | 0.742 144 | 0.745 450 | 0.748 763 | 0.752 085 | 0.755 415 | 0.758 754 | 0.762 101 | 0.765 456 | 0.768 820 |
| 0.78 | 0.772 193 | 0.775 575 | 0.778 966 | 0.782 365 | 0.785 774 | 0.789 192 | 0.792 619 | 0.796 055 | 0.799 501 | 0.802 956 |
| 0.79 | 0.806 421 | 0.809 896 | 0.813 380 | 0.816 875 | 0.820 379 | 0.823 894 | 0.827 418 | 0.830 953 | 0.834 499 | 0.838 055 |
| 0.80 | 0.841 621 | 0.845 199 | 0.848 787 | 0.852 386 | 0.855 996 | 0.859 617 | 0.863 250 | 0.866 894 | 0.870 550 | 0.874 217 |
| 0.81 | 0.877 896 | 0.881 587 | 0.885 290 | 0.889 006 | 0.892 733 | 0.896 473 | 0.900 226 | 0.903 991 | 0.907 770 | 0.911 561 |
| 0.82 | 0.915 365 | 0.919 183 | 0.923 014 | 0.926 859 | 0.930 717 | 0.934 589 | 0.938 476 | 0.942 376 | 0.946 291 | 0.950 221 |
| 0.83 | 0.954 165 | 0.958 124 | 0.962 099 | 0.966 088 | 0.970 093 | 0.974 114 | 0.978 150 | 0.982 203 | 0.986 271 | 0.990 356 |
| 0.84 | 0.994 458 | 0.998 576 | 1.002 712 | 1.006 844 | 1.011 034 | 1.015 222 | 1.019 428 | 1.023 651 | 1.027 893 | 1.032 154 |

续表

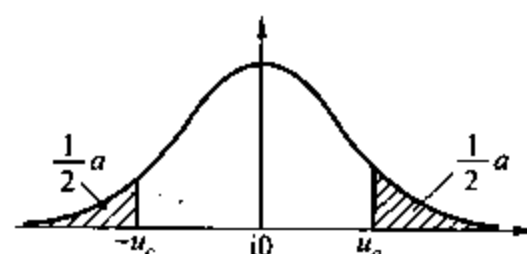
| $p$  | 0.000     | 0.001     | 0.002     | 0.003     | 0.004     | 0.005     | 0.006     | 0.007     | 0.008     | 0.009     |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.85 | 1.036 433 | 1.040 732 | 1.045 050 | 1.049 387 | 1.053 744 | 1.058 122 | 1.062 519 | 1.066 938 | 1.071 377 | 1.075 837 |
| 0.86 | 1.080 319 | 1.084 823 | 1.089 349 | 1.093 897 | 1.098 468 | 1.103 063 | 1.107 680 | 1.112 321 | 1.116 987 | 1.121 677 |
| 0.87 | 1.126 391 | 1.131 131 | 1.135 896 | 1.140 687 | 1.145 505 | 1.150 349 | 1.155 221 | 1.160 120 | 1.165 047 | 1.170 002 |
| 0.88 | 1.174 987 | 1.180 001 | 1.185 044 | 1.190 118 | 1.195 223 | 1.200 359 | 1.205 527 | 1.210 727 | 1.215 960 | 1.221 227 |
| 0.89 | 1.226 528 | 1.231 864 | 1.237 235 | 1.242 641 | 1.248 085 | 1.253 565 | 1.259 084 | 1.264 641 | 1.270 238 | 1.275 874 |
| 0.90 | 1.281 552 | 1.287 271 | 1.293 032 | 1.298 837 | 1.304 685 | 1.310 579 | 1.316 519 | 1.322 505 | 1.328 539 | 1.334 622 |
| 0.91 | 1.340 755 | 1.346 939 | 1.353 174 | 1.359 463 | 1.365 806 | 1.372 204 | 1.378 659 | 1.385 172 | 1.391 744 | 1.398 377 |
| 0.92 | 1.405 072 | 1.411 830 | 1.418 654 | 1.425 544 | 1.432 503 | 1.439 531 | 1.446 632 | 1.453 806 | 1.461 056 | 1.468 384 |
| 0.93 | 1.475 791 | 1.483 280 | 1.490 853 | 1.498 513 | 1.506 262 | 1.514 102 | 1.522 036 | 1.530 068 | 1.538 199 | 1.546 433 |
| 0.94 | 1.554 774 | 1.563 224 | 1.571 787 | 1.580 467 | 1.589 268 | 1.598 193 | 1.607 248 | 1.616 436 | 1.625 763 | 1.635 234 |
| 0.95 | 1.644 854 | 1.654 628 | 1.664 563 | 1.674 665 | 1.684 941 | 1.695 398 | 1.706 043 | 1.716 886 | 1.727 934 | 1.739 198 |
| 0.96 | 1.750 686 | 1.762 410 | 1.774 382 | 1.786 613 | 1.799 118 | 1.811 911 | 1.825 007 | 1.838 424 | 1.852 180 | 1.866 296 |
| 0.97 | 1.880 794 | 1.895 698 | 1.911 036 | 1.926 837 | 1.943 134 | 1.959 964 | 1.977 368 | 1.995 393 | 2.014 091 | 2.033 520 |
| 0.98 | 2.053 749 | 2.074 855 | 2.096 927 | 2.120 072 | 2.144 411 | 2.170 090 | 2.197 286 | 2.226 212 | 2.257 219 | 2.290 368 |
| 0.99 | 2.326 348 | 2.365 618 | 2.408 916 | 2.457 263 | 2.512 144 | 2.575 829 | 2.652 070 | 2.747 781 | 2.878 162 | 3.090 232 |

本表对于下侧概率  $p$  给出正态分布的分位数  $u_p$ 。

例：对于  $p=0.95$ ， $u_p=1.644\ 854$ 。

表 2—4.2 正态分布的双侧分位数 ( $u_\alpha$ ) 表

$$\alpha = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-u_\alpha}^{u_\alpha} e^{-u^2/2} du$$



| $\alpha$   | 0.00      | 0.01      | 0.02      | 0.03      | 0.04        | 0.05         | 0.06          | 0.07            | 0.08             | 0.09      | $\alpha$   |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|-----------|------------|
| 0.0        | $\infty$  | 2.575 829 | 2.326 348 | 2.170 090 | 2.053 749   | 1.959 964    | 1.880 794     | 1.811 911       | 1.750 686        | 1.695 398 | 0.0        |
| 0.1        | 1.644 854 | 1.598 193 | 1.554 774 | 1.514 102 | 1.475 791   | 1.439 531    | 1.405 072     | 1.372 204       | 1.340 755        | 1.310 579 | 0.1        |
| 0.2        | 1.281 552 | 1.253 565 | 1.226 528 | 1.200 359 | 1.174 987   | 1.150 349    | 1.126 391     | 1.103 063       | 1.080 319        | 1.058 122 | 0.2        |
| 0.3        | 1.036 433 | 1.015 222 | 0.994 458 | 0.974 114 | 0.954 165   | 0.934 589    | 0.915 365     | 0.896 473       | 0.877 896        | 0.859 617 | 0.3        |
| 0.4        | 0.841 621 | 0.823 894 | 0.806 421 | 0.789 192 | 0.772 193   | 0.755 415    | 0.738 847     | 0.722 479       | 0.706 303        | 0.690 309 | 0.4        |
| 0.5        | 0.674 490 | 0.658 838 | 0.643 345 | 0.628 006 | 0.612 813   | 0.597 760    | 0.582 841     | 0.568 051       | 0.553 385        | 0.538 836 | 0.5        |
| 0.6        | 0.524 401 | 0.510 073 | 0.495 850 | 0.481 727 | 0.467 699   | 0.453 762    | 0.439 913     | 0.426 148       | 0.412 463        | 0.398 855 | 0.6        |
| 0.7        | 0.385 320 | 0.371 856 | 0.358 459 | 0.345 125 | 0.331 853   | 0.318 639    | 0.305 481     | 0.292 375       | 0.279 319        | 0.266 311 | 0.7        |
| 0.8        | 0.253 347 | 0.240 426 | 0.227 545 | 0.214 702 | 0.201 893   | 0.189 118    | 0.176 374     | 0.163 658       | 0.150 969        | 0.138 304 | 0.8        |
| 0.9        | 0.125 661 | 0.113 039 | 0.100 434 | 0.087 845 | 0.075 270   | 0.062 707    | 0.050 154     | 0.037 608       | 0.025 069        | 0.012 533 | 0.9        |
| $\alpha$   | 0.001     | 0.000 1   | 0.000 01  | 0.000 001 | 0.000 000 1 | 0.000 000 01 | 0.000 000 001 | 0.000 000 000 1 | 0.000 000 000 01 |           | $\alpha$   |
| $u_\alpha$ | 3.290 53  | 3.890 59  | 4.417 17  |           | 4.891 64    | 5.326 72     |               | 5.730 73        |                  |           | $u_\alpha$ |

一般的数理统计教材都会给出两张正态分布表，第一张表用于查  $u [-4.99, 0]$  区间的概率值，第二张表用于查  $u [0, 4.99]$  区间的概率值。

【例 2】计算如图 2—8 所示的  $P(-\infty, -1)$  的概率值。

计算为：

$$\Phi(u = -1) = 1 - \Phi(u = 1) = 1 - 0.8413 = 0.1587$$

【例3】计算如图2—9所示的 $P(-\infty, 1)$ 的概率值。

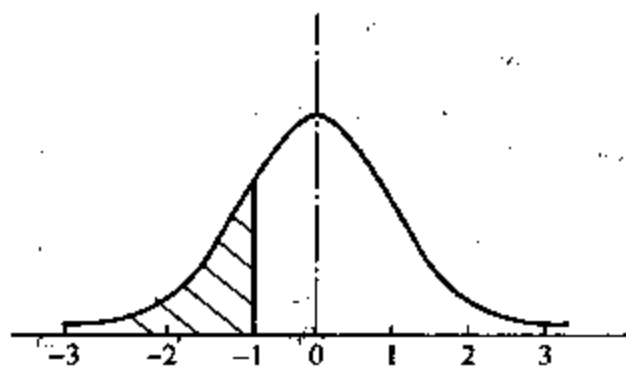


图2—8 区间 $[-\infty, -1]$ 的正态分布概率图形

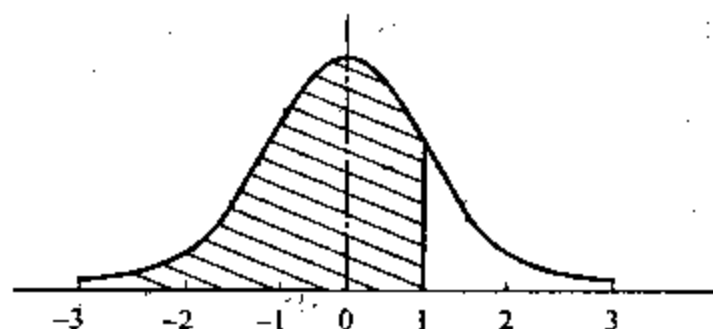


图2—9 区间 $[-\infty, 1]$ 的正态分布概率图形

正态分布表的结构及查正态分布表的方法如图2—10所示。

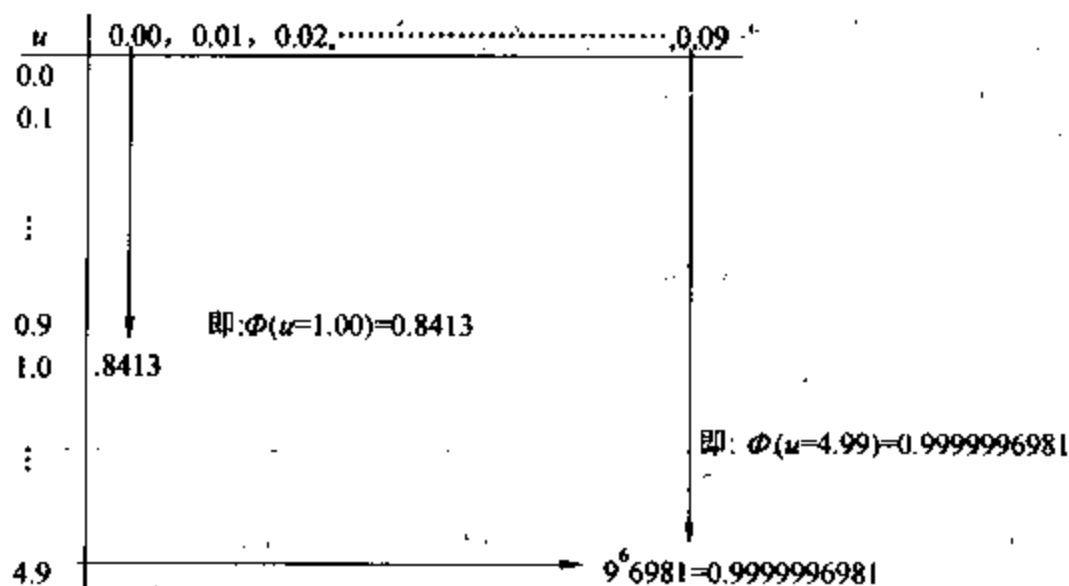


图2—10 正态分布表的结构及查正态分布表的方法

计算为:

$$\Phi(u = 1) = 1 - \Phi(u = -1) = 1 - 0.1587 = 0.8413$$

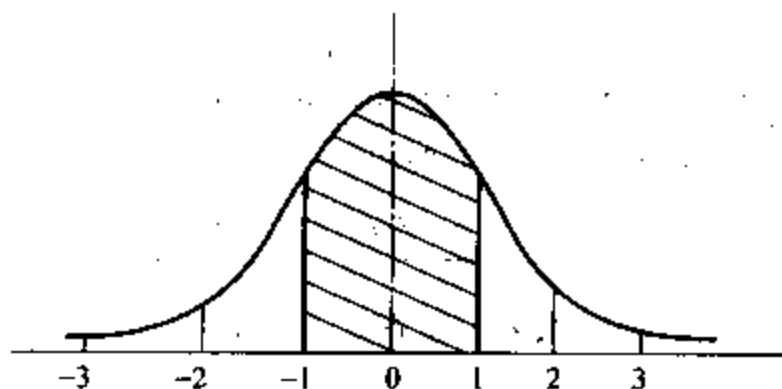


图2—11 区间 $[-1, 1]$ 的正态分布概率图形

【例4】计算如图2—11所示的 $P(-1, 1)$ 的概率值。

计算为:

$$\begin{aligned} \Phi(-1, 1) &= \Phi(1) - \Phi(-1) \\ &= 0.8413 - 0.1587 = 0.6826 \end{aligned}$$

依此方法计算可得到如图2—12的正态分布的一个重要结论。

应注意: 正态分布的概率计算必须经过标准变换。

过标准变换。



若已知随机变量  $X \sim N(\mu, \sigma)$ , 则有

$$(1) P(x \leq b) = \Phi\left(\frac{b - \mu}{\sigma}\right)$$

$$(2) P(x \geq a) = 1 - \Phi\left(\frac{a - \mu}{\sigma}\right)$$

$$(3) P(a \leq x \leq b) = \Phi\left(\frac{b - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu}{\sigma}\right)$$

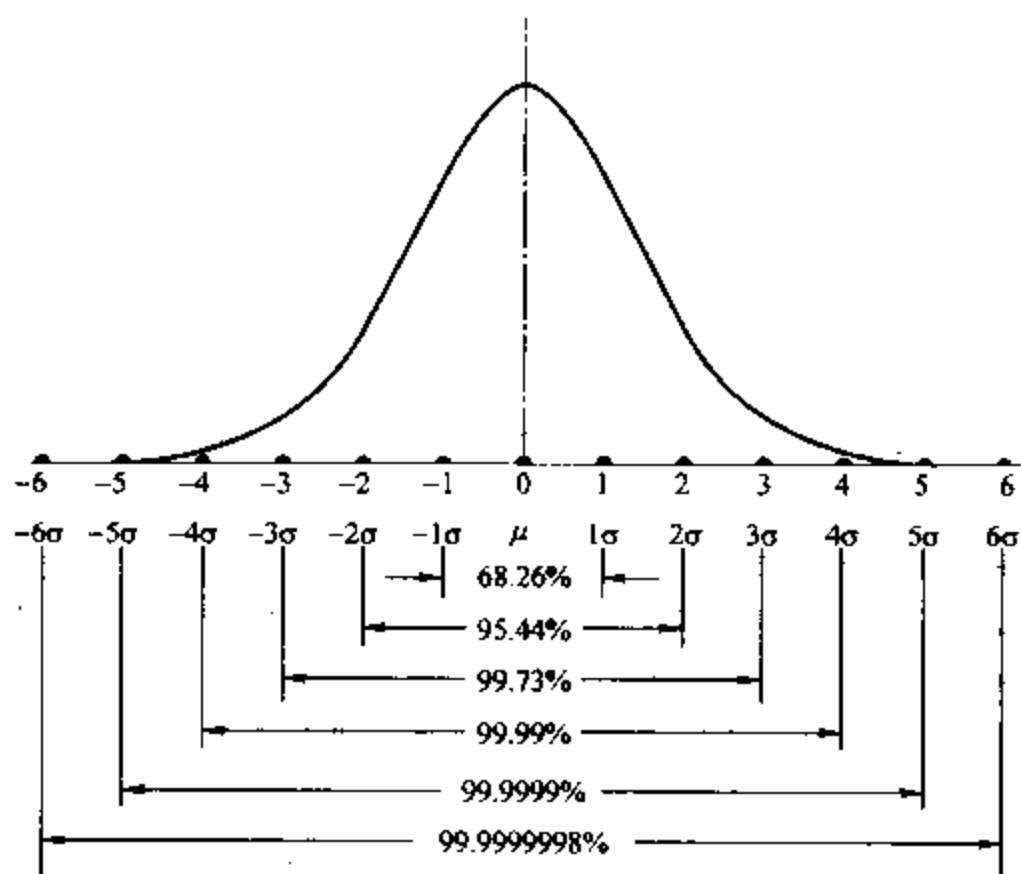


图 2—12 正态分布的重要结论

## (十) 样本分布特征值的概率计算

### 1. 样本分布特征值的分布

若已知随机变量  $X \sim N(\mu, \sigma)$ , 则其样本分布的各特征值也各自服从各自的正态分布, 即:

$$\bar{x} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

$$\bar{x} \sim N\left(\mu, m_3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

$$s \sim N(c_4 \sigma, c_5 \sigma), \hat{\sigma} = \frac{s}{c_4}$$

$$R \sim N(d_2 \sigma, d_3 \sigma), \hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}$$

其中,  $m_3, c_4, c_5, d_2, d_3$  为控制图系数。

## 2. 样本分布特征值的概率计算

经标准变换, 同样可以通过查表计算样本分布特征值的概率。

$$(1) P(x \leq a) = \Phi\left(\frac{a - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}\right)$$

$$(2) P(\bar{x} \leq a) = \Phi\left(\frac{a - \mu}{m_3\sigma/\sqrt{n}}\right)$$

$$(3) P(s \leq a) = \Phi\left(\frac{a - c_4\sigma}{c_5\sigma}\right)$$

$$(4) P(R \leq a) = \Phi\left(\frac{a - d_2\sigma}{d_3\sigma}\right)$$

## 四、统计分析的基础——质量数据的可信性

质量数据的可信性必须以测量及监控装置的稳定受控来保证。因此, 企业应用统计技术必须有正确的测量系统分析。

质量管理的一个很重要的原则就是用数据说话。因此, 进行任何质量分析都必须取得可信的数据。在析因分析过程中要应用线索生成工具确定关键因素。这里首先应当强调一下与质量问题有关的测量系统的问题。因为经常会有这样的问题, 经过大量分析工作后发现, 发生质量问题的原因原来是测量系统的弱点和变异, 而并非是产品内部的质量变异。因此, 在定义质量问题之后, 第一个要提出的问题应该是: 测量系统达到了什么水平, 相对于产品质量变异与测量系统本身变异的比达到什么程度。这也就是需要进行测量系统分析的提出原因。

对于这一要求, 在 ISO 9000 标准中也有明确的规定:

“……为了获得可信的数据, 测量和监视过程应当包括: 对装置是否适用进行确认; 对装置是否保持适宜的准确度并符合验收标准和测量要求进行确认, 以及识别装置状态的手段……”

### (一) 测量系统的统计特性

对于不同的测量系统, 其统计特性会因其各自的用途和适用条件不同而不同, 但总的来讲以下几个方面则是对各种类型的测量系统的共同要求:

(1) 测量系统在工作过程中必须处于稳定受控状态, 即随机因素的作用 (表现为随机误差) 必须被控制在合理范围之内; 而系统因素的作用 (表现为系统误差) 应该被完全消除。

(2) 测量系统的变异必须小于被测量对象 (例如产品质量特性) 的允许变异或容差, 一般二者的比例应保证为 5:1, 最好为 10:1。当然应根据测量任务的质量要求 (精确程度) 的不同区别对待, 在有条件的情况下应通过测量能力指数的计算确定。

## (二) 对测量系统的评价

对测量系统的评价一般应包括：分辨率、精密度、准确度和偏移等。当然，进一步还应有重复性、再现性、稳定性、线性等要求。而具体评价一个测量系统，通常需要确定以下三个基本问题：

- (1) 测量系统应具备符合测量要求的分辨率；
- (2) 测量系统在一定时间内和一定条件下应保证测量结果在统计上的一致性；
- (3) 测量系统的统计特性在预期范围内应保持一致。当然，测量系统分析是为质量工作服务的，以上三个问题还应与过程/产品质量变异相联系才具有实际意义。

## (三) 测量系统分辨率、精密度、准确度和偏移的概念

应用分布的概念解释测量系统的分辨率、精密度、准确度和偏移就更容易理解。设  $D$  为设计中心值或目标值， $\bar{x}$  为测量数据的平均值。 $\sigma_m$  为测量数据分布的标准差，测量数据的范围  $R$  相当于  $6\sigma_m$ 。

精密度可以定义为围绕着频率平均值的频率分布的概率分布，可以用测量数据的分布范围  $R$  表示，分布中心值与设计中心值相重合 ( $\bar{x} = D$ ) 时的测量能力指数  $M_{cp}$  就反映了测量系统的精密度。

偏移可以定义为测量数据分布中心值偏离设计中心值的偏移量 (偏移程度)。当测量系统发生偏移时测量能力指数则以  $M_{cpk}$  表示，此时测量能力将大幅度降低。测量系统的精密度与偏移的结合就是测量系统不准确度。

而分辨率则是指测量数据概率分布与产品概率分布的比值，最小应为 5:1。

以上概念可以用图 2—13 的概率分布的图形表达。

## (四) 对测量系统的要求

### 1. 减少测量装置的变异

若已保证总分辨率比值小于 5:1，则减少测量装置中固有变异应比减少产品中的变异更为重要。测量装置的总容差  $T_m$  一般由三部分组成，即：装置内部的容差  $T_{in}$ ，装置与装置之间的容差  $T_{i-j}$ ，人员操作的容差  $T_{o-o}$ 。总容差由均方根定律决定，即

$$T_m = \sqrt{T_{in}^2 + T_{i-j}^2 + T_{o-o}^2}$$

组成总容差的三部分容差一般不太可能相等，必要时可应用帕累托原理确定三者中哪一个容差将对总容差  $T_m$  有重大影响，对其应采取措施减少其容差。

### 2. 减少测量装置内部的变异

造成同一测量装置内部变异的原因很多，在假定由于操作人员技术原因造成的变异除外的条件下，其原因包括：

- (1) 在每次测量过程中，环境温度、湿度等有显著差异；
- (2) 测量过程受到电磁场、瞬态电压、电压、外部噪声、位置、材料、振动等的影响；
- (3) 滞后 (如齿轮的游隙) 随着输入的减小而增加；

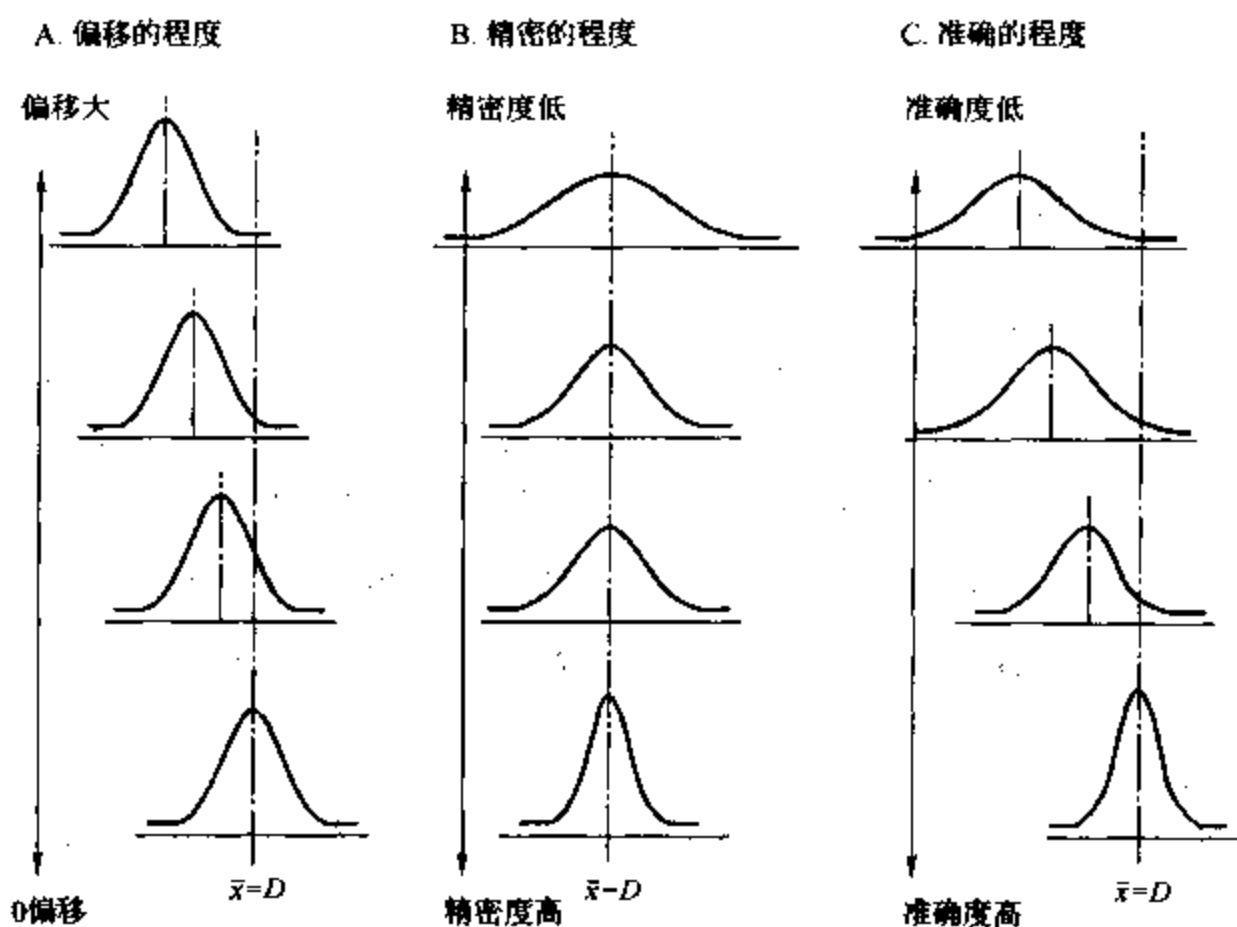


图 2—13 测量系统精密度、准确度、偏移的概率分布图

(4) 非线性的影响;

(5) 装配过程, 如连接、销钉、机械连接、负载、定位等方面的影响。

### 3. 减少测量装置与测量装置之间的变异

两个或两个以上相同型号的测量装置之间产生的变异, 其原因一般有:

- (1) 不同的制造厂家;
- (2) 使用前的校准;
- (3) 材料、部件、元器件、线路、机械装配等方面的差异, 以及连接方法等。

### 4. 减少操作人员之间的变异

两个或两个以上操作人员之间产生变异的原因包括:

- (1) 操作规程不明确;
- (2) 程序和步骤顺序不统一;
- (3) 技术水平低;
- (4) 读数或记录错误;
- (5) 身体方面的差别 (如视力、高度、熟练程度等)。

## (五) 测量能力指数 ( $M_{cp}$ )

关于测量能力的要求在 ISO 9000 标准中是有明确规定的:

“……为了获得可信的数据, 测量和监视过程应当包括: 对装置是否适用进行确认; 对装置是否保持适宜的准确度并符合验收标准和测量要求进行确认, 以及识别装置状态的手段……”

这一规定的含义是：对测量和监视装置的控制包括两个确认。

(1) 对装置是否适用进行确认：测量装置能否满足测量任务的质量要求，即测量能力是否合格。

(2) 对装置是否保持适宜的准确度进行确认：测量装置能否保持原有的测量能力，即周期计量检定合格。

### 1. 测量能力的概念

测量能力指测量过程的过程能力，以测量能力指数  $M_{cp}$  作为定量表达。针对 ISO 9000 标准的两方面要求，测量能力指数的计算有两套公式：

(1) 用于选择适宜的测量装置时

$$M_{cp} = \frac{T}{2V} = \frac{T}{3V_1}$$

式中： $T$ ——测量任务的质量要求；

$V$ ——测量装置的测量误差，其包含  $V_1$ 、 $V_2$  两个分量；

$V_1$ ——测量误差的系统误差分量；

$V_2$ ——测量误差的随机误差分量。

三者的关系应按均方根定律计算，即

$$V^2 = V_1^2 + V_2^2$$

一般取  $V_1 = V_2$ ，所以有

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = \sqrt{2}V_1 \approx 1.4V_1$$

(2) 用于周期计量检定时

$$M_{cp} = \frac{T}{6\sigma_m}$$

计量检定合格的要求为  $6\sigma_m \leq 2V$ ，故有

$$\frac{T}{6\sigma_m} \geq \frac{T}{2V}$$

即必须保持原有的测量能力。

式中： $\sigma_m$ ——测量数据分布的标准差。

### 2. 测量能力的等级划分

下面引用 ISO 10012-1《测量设备的计量确认体系》4.3“确认体系”的有关规定：

“……校准误差应尽可能小，在大多数测量领域不应超过被确认设备在使用时允许误差的 1/3，最好 1/10。”

这里的“校准误差”即测量误差  $V$ ，“被确认设备在使用时允许误差”即测量任务的质量要求  $T$ 。即

$$V = \left( \frac{1}{3} \sim \frac{1}{10} \right) T$$

当  $V = \frac{1}{3}T$  时， $M_{cp} = 1.5$ ；

当  $V = \frac{1}{10}T$  时,  $M_{cp} = 5.0$ 。

中国计量科学研究院根据测量能力指数数值大小将测量能力划分为 5 个等级, 其中适用于测量的有 A, B, C 三个等级 (见表 2—5)。

表 2—5 测量能力的等级划分

| 等 级      | A            | B              | C              | D      | E     |
|----------|--------------|----------------|----------------|--------|-------|
| $M_{cp}$ | >3~5         | >2~3           | >1.5~2         | >1~1.5 | <1    |
| 适用范围     | 高精密度<br>测量任务 | 适用于一般工业测量      |                | 用于非测量  | 不允许使用 |
|          |              | 精密度较高的<br>测量任务 | 精密度较低的<br>测量任务 |        |       |
| 能力评价     | 足 够          | 一 般            | 一 般            | 不 足    | 过 低   |

注: 关于测量误差与测量任务质量要求的比例, 很多部门粗略定为 5 : 1, 是有一定道理的。在质量分析过程中发生的质量变异称其为“总变异  $T_t$ ”, 它是由两部分组成的, 即产品允许偏差  $T_p$  和测量系统允许偏差  $T_m$ , 二者并不是简单的算术相加, 而是遵循均方根定律, 由下式决定:

$$T_t = \sqrt{T_p^2 + T_m^2}$$

如果产品允许偏差 ( $T_p$ ) 为 5 个单位, 测量系统允许偏差 ( $T_m$ ) 为 1 个单位, 其比例为 5 : 1, 则总容差为:

$$T_t = \sqrt{5^2 + 1^2} = \sqrt{26} = 5.1$$

可以想到, 即使测量系统的允许偏差为零, 总偏差将仍高达 5.0, 仅仅改变了 0.1 即 2% 的变化。也就是说, 当产品允许偏差与测量系统允许偏差的比例为 5 : 1 时, 意味着总偏差的 98% 来自产品, 仅有 2% 来自测量系统。这是可以忽略不计的。



请勿用于商业用途或准商业用途，  
谢绝 3722.cn 等商业网站转载！  
吴国林 MSN: colin\_21st@hotmail.com

## 第三章 质量功能展开 (QFD)

### 一、QFD 概述

质量功能展开,简称 QFD (Quality Function Deployment),是一种直观地将用户需求逐步展开和分解的分析技术,是新产品开发和质量改进工作有力的质量工具。它产生于日本,1972 年三菱公司的神户造船厂首先使用了“质量屋”。1978 年水野滋和赤尾洋二编写出版《质量功能展开》之后,日本科技联组织研讨、交流和推广 QFD 的应用。1988 年美国国防部发布 DODD 5000.51《全面质量管理》文件,明确规定 QFD 为军工产品承制厂商必须采用的技术。中国航空工业于上世纪 80 年代中期引进 QFD,并取得成果。90 年代在汽车、电子、机械等行业也有一定进展。我国台湾在工业、服务业均有应用的案例,特别是在我国航天产品开发、研制过程中的应用,为载人飞船的成功发射发挥了重要作用。

### 二、QFD 与 ISO 9000 标准

#### (一) ISO 9000 族标准的要求

(1) 在产品实现的各过程中应确定采用包括 QFD 在内的统计技术。

(2) 产品实现的策划关系到能否满足顾客要求和期望。QFD 作为顶层展开步骤,将顾客要求转换为产品设计要求,特别在解决瓶颈项目中是非常关键的。

#### (二) QFD 的作用

QFD 在产品开发、工艺改进中,作为策划工具,可以将顾客需求量化为产品的规格要求,找出重点,采取有力措施,对于缩短开发周期、提高工效等具有突出作用。

### 三、QFD 与并行工程

#### (一) 并行工程 (CE)

并行工程 (CE) 是对产品及相关的设计、工艺、制造等过程进行的并行、综合设计的一种工程方法。使用并行工程可以使产品开发、工艺改进、生产过程缩短,满足现代化顾客需求的快节奏,也满足市场竞争的要求。

(二) QFD 与 CE 联合应用的要点

- (1) 用 QFD 将顾客需求层层展开，转换为产品设计要求 and 过程措施、技术要求。
- (2) 使产品实现策划、设计、工艺、制造、交付、服务等过程“并行”进行，缩短周期。
- (3) 打破部门界限，协调市场销售、设计、工艺、生产、质检、质管等各部门“并行”工作。

四、QFD 的基本原理及其框架

QFD 是开展稳健设计的顶层步骤，利用矩阵表等工具，科学地将顾客需求逐层展开，一般可分为四个阶段：产品设计要求（设计规格或规范）；分系统、零部件的设计要求；工艺要求；生产要求等。

QFD 应用过程中，在各阶段分别建立一系列如图 3—1 所示的“质量屋”，运用加权评分法（常规法）、层次分析法（AHP）等方法将用户需求逐步转换展开，对设计、工艺要求的重要性做出评定，并通过量化的计算，找出产品的关键单元、关键部件、关键工艺，从而为应用优化设计这些“关键”，提供方向和采取有效措施，最终保证产品设计开发和生产质量。这种方法具有直观形象、适用面广、可操作性强的特点。因此，从这个意义上讲，QFD 的实质是用一种系统的保证方法，将顾客、市场的需求，通过产品开发设计各个阶段的展开，准确地转化为相关的技术要求和管理要求，从而使企业的管理者及相关人员能清楚地了解并跟踪从产品初期

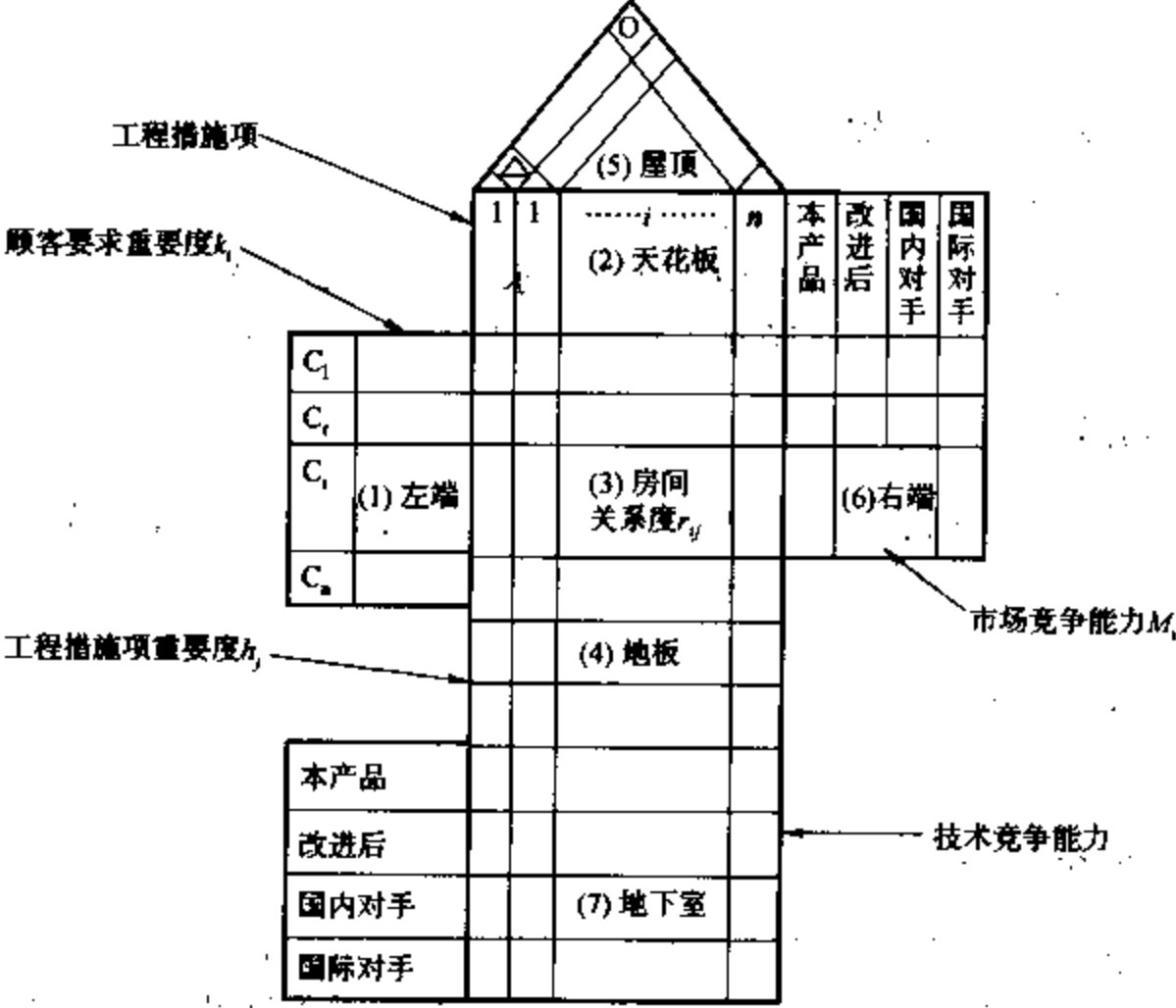


图 3—1 质量屋结构图



的顾客需求到操作层的详细指令及活动的途径。顾客的需求是 QFD 方法的出发点, 听取顾客意见、理解顾客的需求并将顾客的反映转化为现实行动, 这是 QFD 方法的核心思想。因此, 邀请供应商一道采用 QFD 的方法进行产品设计与开发, 不仅有助于供应商明了最终顾客的需求, 更重要的是供应商可以直接将顾客要求供应的零部件质量需求转化为零部件设计特性要求和工艺要求, 从而达到控制供应商设计质量和制造质量的目的。

### (一) 质量屋的结构要素

- (1) 左墙: 表达顾客的需求及其重要度。
- (2) 天花板: 表达工程措施 (设计要求或质量特性)。
- (3) 房间: 表达顾客需求与工程措施的关系矩阵。
- (4) 地板: 表达工程措施的指标及其重要度。
- (5) 屋顶: 表达各项工程措施的关系矩阵。
- (6) 右墙: 表达对市场竞争能力的评估。
- (7) 地下室: 表达对技术竞争能力的评估。

根据上述结构以及需要, 可以对结构灵活地进行剪裁或扩充。

### (二) 建造质量屋的要求

(1) 在建造质量屋的过程中, 从事产品设计开发的人员必须掌握第一手的市场信息, 整理出顾客对产品的需求并评定各项需求的重要程度, 填入左墙。

(2) 应从技术角度提出对产品的设计要求 (工程措施), 明确产品应具备的质量特性, 整理后填入“天花板”。

(3) 质量屋的“房间”用于记录顾客需求与工程措施之间的关系矩阵, 其取值  $r_{ij}$  代表第  $i$  项顾客需求与第  $j$  项工程措施的关系度, 关系越密切, 其取值也就越大。

(4) “屋顶”用于评估各项工程措施之间的相关程度。因为各项工程措施可能存在交互作用 (正相关或负相关), 在选择措施时必须考虑交互作用的影响。

(5) 在“地板”上填入工程措施的指标及其重要度。

(6) 给产品的市场竞争能力和技术竞争能力打分, 填入“右墙”和“地下室”的相应部分。

然后, 进行各项计算, 质量屋的建造即告完成。

### (三) 顾客需求与工程措施的设定

以开发某型号的 PECVD 设备为例:

(1) 收集整理、加工、提炼, 形成系统的、有层次的、有条理的、有前瞻性的顾客需求 (6 条) 列入“左墙”。

(2) 从技术角度出发, 针对顾客需求, 将产品质量特性展开 (7 项) 为“天花板”。

### (四) 关键措施与瓶颈技术的确定

(1) 对顾客需求进行评估, 给出重要度系数  $k_i$ 。

顾客的重要度系数 $k_i$ 采用1~5的加权,其“1”为不影响功能实现需求;“5”为基本的、涉及安全的、特别重要的需求。

(2) 建立顾客需求与工程措施二者之间的相互关系,评出相关度 $r_{ij}$ 。

相关度 $r_{ij}$ 采用1~9的加权,其“1”为所对应的技术措施与顾客需求之间只有微弱的影响;“9”为所对应的技术措施与顾客需求之间存在非常密切的关系。

(3) 分别计算每一项工程措施的重要度 $h_j$ 。

(4) 计算出的工程措施的重要度 $h_j$ 中数值最大的列为关键措施,例如某型号 PECVD 设备的质量功能展开的两项:气密性设计和可靠性维修性设计。对解决关键技术措施的项目称为“瓶颈技术”,在质量功能展开过程中必须找出瓶颈,以便攻克难关。

### (五) 四个阶段的质量功能展开

由于产品开发设计一般要经过产品规划、零部件展开、工艺计划、生产计划四个阶段。根据下道工序就是上道工序的“顾客”这一原理,各个阶段都可以建立质量屋。

上一阶段质量屋“天花板”的关键工程措施将转化为下一阶段质量屋的“左墙”;第一阶段的质量屋最完整,其他阶段的质量屋有可能将右墙、地下室等要素剪裁。产品设计开发阶段四个阶段的质量功能展开示意图如图3—2所示。当然,质量功能展开的方法不仅能够用于生产领域,图3—3就是管理工作中进行策略规划的四个阶段的质量功能展开示意图。

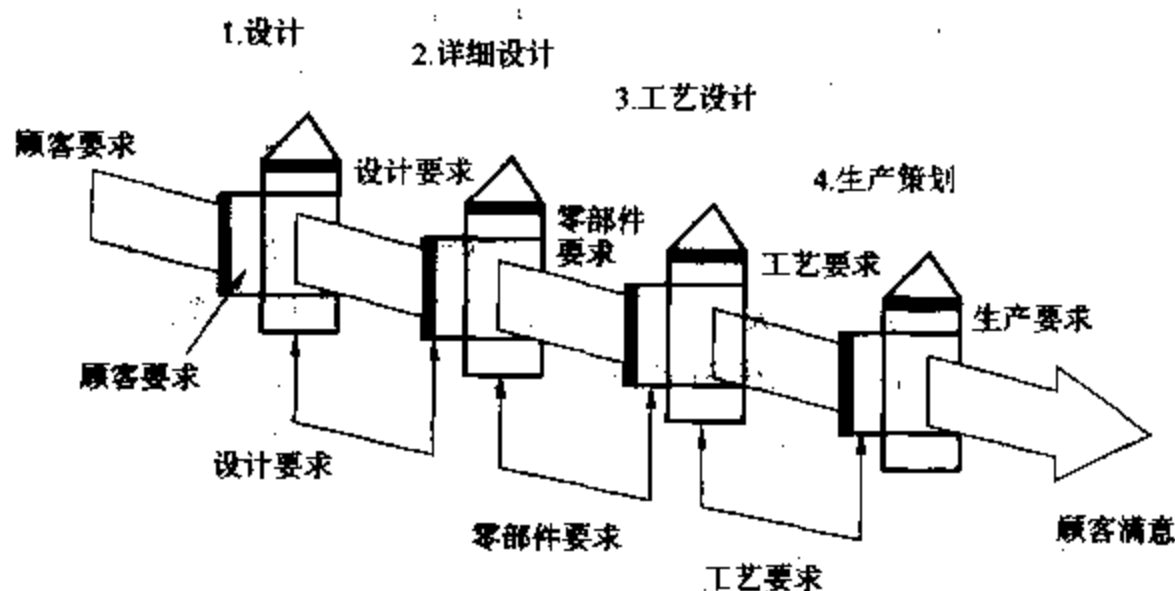


图3—2 产品开发设计四个阶段的质量功能展开示意图

在产品的设计开发阶段要求供应商参与质量功能展开活动,这对供需双方都是有益的。在质量功能展开的四个阶段中,第一阶段是总的要求,而其后的各个阶段则详细地研究分析构成产品的各种原材料、零部件、元器件的质量要求、工序要求和生产要求。供应商参与质量功能展开活动可以最直接地了解用户开发的产品对供货质量及服务的具体要求,从而使供应商能够最大限度地向用户提供优质的产品和服务;而生产方(用户)通过质量功能展开也明确了对供应商的具体要求,为制订详细规范提供了依据。当然,最重要的还在于为供需双方建立友好和谐、互利共赢的战略伙伴关系打下良好的基础。

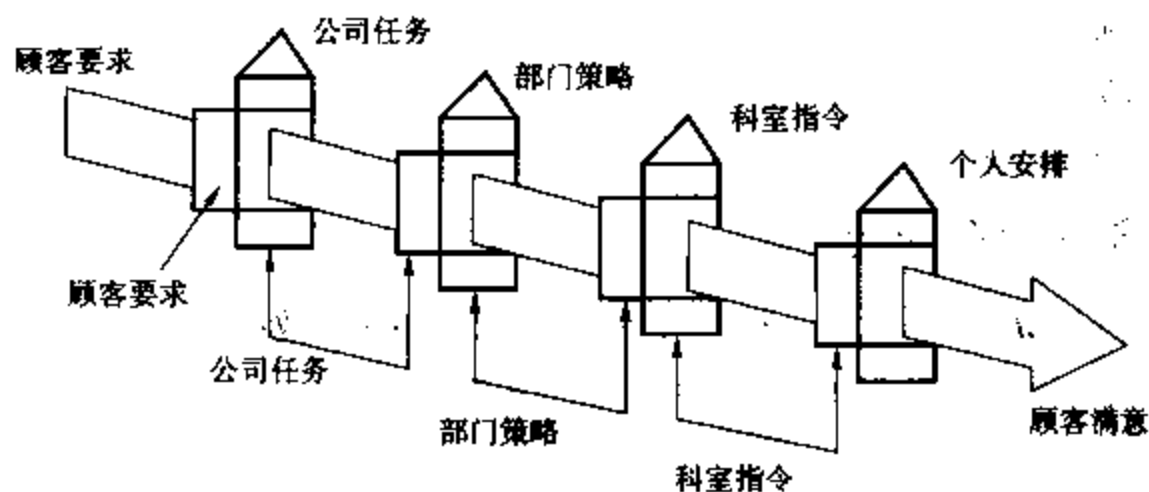


图 3—3 策略规划质量功能展开的四个阶段

## 五、QFD 的量化方法——加权评分法

### （一）顾客需求重要度 $k_i$

顾客需求重要度  $k_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, m$ ) 可取以下 5 个等级：

- $k_i=1$  不影响功能实现的需求；
- $k_i=2$  不影响主要功能实现的需求；
- $k_i=3$  比较重要的影响功能实现的需求；
- $k_i=4$  重要的影响功能实现的需求；
- $k_i=5$  基本的、涉及安全的、特别重要的需求。

### （二）关系矩阵

关系矩阵中的数据是  $r_{ij}$ ，采用 9 级区分， $r_{ij}$  的数值表示该交点所对应的技术措施对顾客需求的影响程度：1 表示有微弱影响；3 表示有一定影响；5 表示有比较密切的关系；7 表示有密切的关系；9 表示有非常密切的关系。2, 4, 6, 8 表示处于中间状态。

有时也采用 3 个等级，并用符号表示。

- △：表示一般重要的关系；
- ：表示比较重要的关系；
- ⊙：表示很重要的关系。

### （三）相关矩阵

所谓“相关”是指两个（或多个）变量之间存在着相关关系，而不是确定的数学关系。相关矩阵在交点处用一定的符号表达相关性质和相关程度。

- ：表示正相关；

○: 表示强正相关;

×: 表示负相关;

#: 表示强负相关。

#### (四) 市场竞争能力

市场竞争能力  $M_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, M$ ) 可取下列 5 个数值:

$M_i=1$  表示无竞争能力可言, 产品积压无销路;

$M_i=2$  表示竞争能力低下, 市场占有率递减;

$M_i=3$  表示可以进入市场, 但不具有优势;

$M_i=4$  表示在国内市场竞争中拥有优势;

$M_i=5$  表示在国内市场竞争中拥有优势并可以参与国际市场竞争, 占有一定的国际市场份额。

#### (五) 加权后工程措施的重要度

加权后工程措施的重要度  $h_j$  可按下式计算:

$$h_j = \sum k_i r_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m)$$

如果  $j$  项工程措施与多项顾客需求密切相关, 并且这些顾客需求较重要 ( $k_i$  的数值较大), 则  $h_j$  的取值就会较大, 表明该项措施较重要。

#### (六) 技术竞争能力

技术竞争能力  $T_j$  表示第  $j$  项工程措施的技术水平。所谓技术水平包括指标本身的水平、本企业的设计水平、工艺水平、制造水平、测试水平等, 可取下列 5 个数值:

$T_j=1$  表示技术水平低下;

$T_j=2$  表示技术水平一般;

$T_j=3$  表示技术水平达到行业先进水平;

$T_j=4$  表示技术水平达到国内先进水平;

$T_j=5$  表示技术水平达到国际先进水平。

#### (七) 市场竞争能力指数

对市场竞争能力  $M_i$  进行综合后, 获得市场竞争能力指数  $M$ 。计算公式为:

$$M = \sum k_i M_i / \sum k_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, M)$$

$M$  的取值越大越好。

#### (八) 技术竞争能力指数

对技术竞争能力  $T_j$  进行综合后, 获得技术竞争能力指数  $T$ 。计算公式为:

$$T = \sum h_j T_j / 5 \sum h_j \quad (j=1,2,3,\dots,m)$$

$T$  的取值越大越好。

### (九) 综合竞争能力指数

由市场竞争能力指数  $M$  和技术竞争能力指数  $T$ ，可得综合竞争能力指数  $C$ 。其计算公式为：

$$C = MT$$

$C$  的取值越大越好。

## 六、QFD 应用示例

### (一) 某公司在开发设计 PECVD 设备时质量功能展开应用示例

#### 1. 加权后工程措施重要度 $h_j$ 的计算

已知： $i=6, j=7$  (即顾客需求有 6 项，工程措施有 7 项)

根据公式  $h_j = \sum k_i r_{ij}$ ，得

$$\begin{aligned} h_1 &= k_1 r_{11} + k_2 r_{21} + k_3 r_{31} + k_4 r_{41} + k_5 r_{51} + k_6 r_{61} \\ &= 5 \times 9 + 5 \times 3 + 4 \times 5 + 2 \times 1 + 2 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 1 = 85 \\ h_2 &= 5 \times 3 + 5 \times 5 + 4 \times 5 + 2 \times 1 + 2 \times 1 = 64 \\ h_3 &= 5 \times 5 + 5 \times 9 + 4 \times 7 + 2 \times 1 + 2 \times 1 = 102 \\ h_4 &= 5 \times 5 + 5 \times 5 + 4 \times 5 + 2 \times 1 + 2 \times 1 = 74 \\ h_5 &= 5 \times 5 + 5 \times 4 + 2 \times 1 + 2 \times 3 = 53 \\ h_6 &= 5 \times 5 + 5 \times 7 + 4 \times 7 + 2 \times 3 + 2 \times 1 = 96 \\ h_7 &= 5 \times 1 + 5 \times 3 + 4 \times 5 + 2 \times 1 + 2 \times 3 + 1 \times 1 = 49 \end{aligned}$$

$h_i$  取值越大，则该项工程措施就越重要。根据上述计算结果， $h_3 = 102$ ， $h_6 = 96$ ，为关键工程措施。

#### 2. 市场竞争能力指数 $M$ 的计算

现市场竞争能力有 4 项，即  $i=4$ 。

(1) 本产品

$$\sum k_i = 19$$

根据公式  $M = \sum k_i M_i / 5 \sum k_i$ ，得

$$\begin{aligned} M_A &= \sum k_i M_i / 5 \sum k_i = (5 \times 4 + 5 \times 3 + 4 \times 3 + 2 \times 3 + 2 \times 4 + 1 \times 3) / (5 \times 19) \\ &= 0.67 \end{aligned}$$

(2) 改进后的产品

$$M_{\text{改}} = (5 \times 5 + 5 \times 4 + 4 \times 4 + 2 \times 4 + 2 \times 5 + 1 \times 4) / (5 \times 19) = 0.87$$

(3) 国内对手的产品

$$M_{\text{内}} = (5 \times 4 + 5 \times 3 + 4 \times 3 + 2 \times 3 + 2 \times 3 + 1 \times 3) / (5 \times 19) = 0.65$$

(4) 国外对手的产品

$$M_{\text{外}} = (5 \times 5 + 5 \times 5 + 4 \times 5 + 2 \times 5 + 2 \times 4 + 1 \times 5) / (5 \times 19) = 0.98$$

### 3. 技术竞争能力指数 $T$ 的计算

现有:  $h_j$  的  $j=7$ ;  $T_j$  的  $j=4$

根据公式  $T = \sum h_j T_j / 5 \sum h_j$ , 得

(1) 本产品

$$\begin{aligned} T_{\text{本}} &= (85 \times 4 + 64 \times 4 + 102 \times 3 + 74 \times 3 + 53 \times 3 + 96 \times 4 + 49 \times 4) / (5 \times 523) \\ &= 0.71 \end{aligned}$$

(2) 改进后的产品

$$\begin{aligned} T_{\text{改}} &= (85 \times 5 + 64 \times 5 + 102 \times 4 + 74 \times 4 + 53 \times 4 + 96 \times 5 + 49 \times 5) / (5 \times 523) \\ &= 0.91 \end{aligned}$$

(3) 国内竞争对手的产品

$$\begin{aligned} T_{\text{内}} &= (85 \times 3 + 64 \times 4 + 102 \times 3 + 74 \times 3 + 53 \times 3 + 96 \times 3 + 49 \times 3) / (5 \times 523) \\ &= 0.62 \end{aligned}$$

(4) 国外竞争对手的产品

$$\begin{aligned} T_{\text{外}} &= (85 \times 5 + 64 \times 5 + 102 \times 5 + 74 \times 5 + 53 \times 5 + 96 \times 5 + 49 \times 4) / (5 \times 523) \\ &= 0.98 \end{aligned}$$

### 4. 综合竞争能力指数 $C$ 的计算

根据公式  $C = MT$ , 得

(1) 本产品

$$C_{\text{本}} = 0.67 \times 0.71 = 0.48$$

(2) 改进后的产品

$$C_{\text{改}} = 0.87 \times 0.91 = 0.79$$

(3) 国内竞争对手的产品

$$C_{\text{内}} = 0.65 \times 0.62 = 0.40$$

(4) 国外竞争对手的产品

$$C_{\text{外}} = 0.98 \times 0.98 = 0.96$$

绘制的 PECVD 设备一级质量屋见图 3—4。

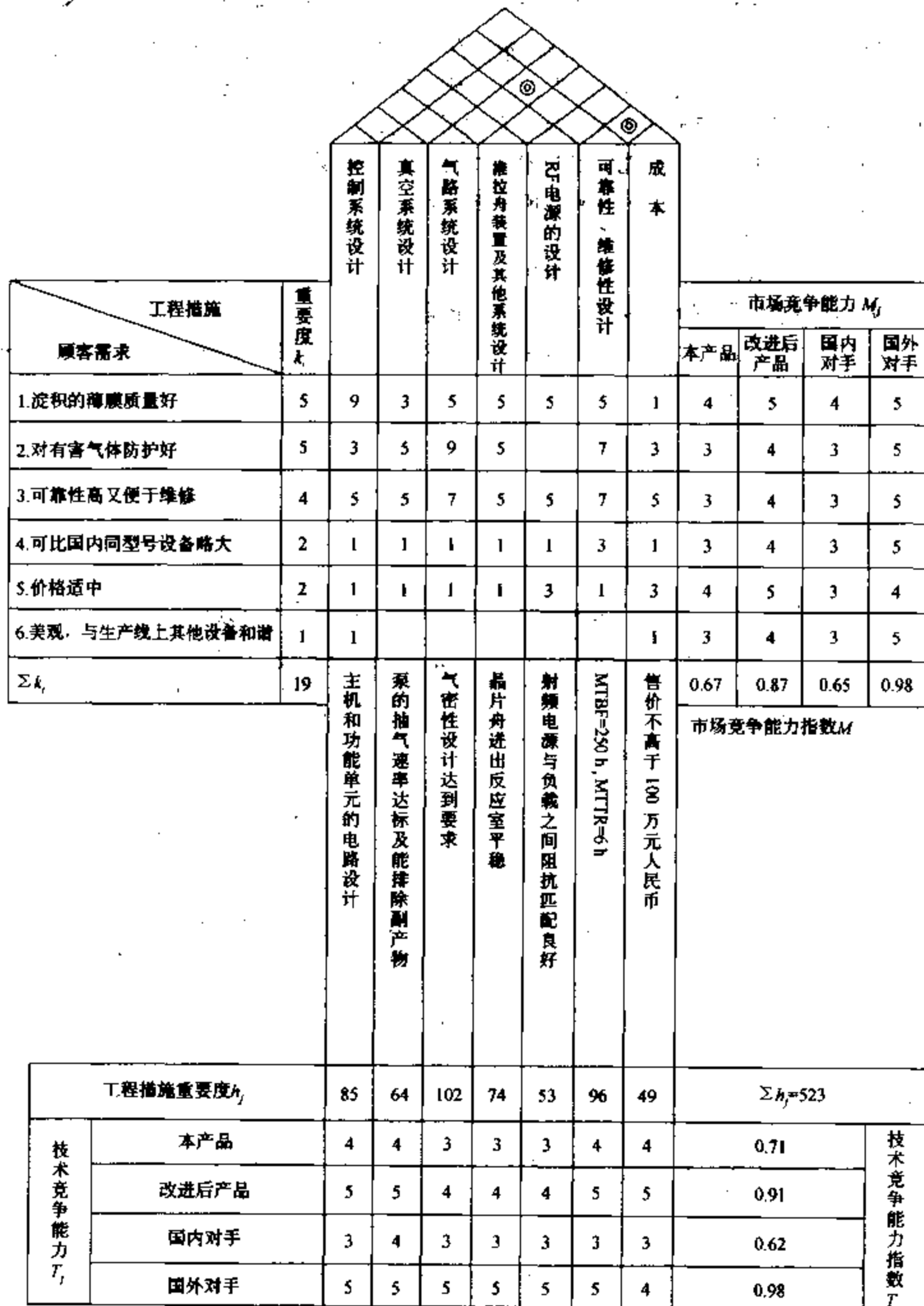


图 3—4  $\times \times$  型号 PECVD 设备一级质量屋

## (二) 微型汽车发动机机油压力传感器质量改进的质量功能展开示例

某汽车制造厂对供应商提供的机油传感器存在的质量问题提出质量改进意见, 该供应商采用质量功能展开的方法实施质量改进, 以满足汽车制造厂的质量要求。

### 1. 微型汽车发动机机油压力传感器存在的质量问题

- (1) 在高低温的环境下不能满足技术文件规定的性能要求;
- (2) 在长时间使用后由于橡胶膜片的老化使耐油性差;
- (3) 机油压力增高时发生漏油;
- (4) 报警器灵敏度差, 时有虚发报警。

### 2. 应用质量功能展开的方法解决以上质量问题

在计划阶段将以上4个质量问题作为顾客需求, 得出7项工程措施, 建立了两级质量屋(见图3—5和图3—6)。

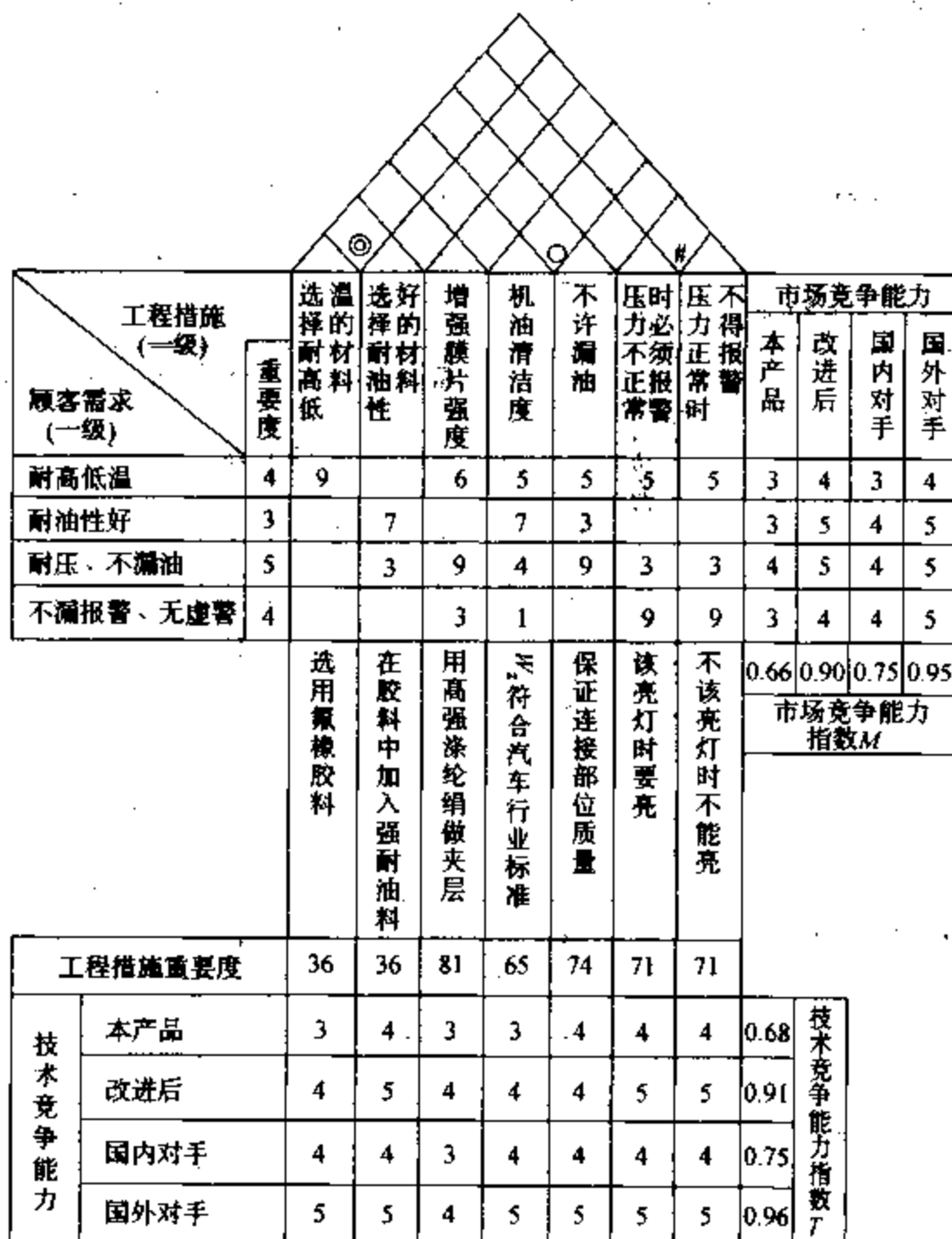


图3—5 微型汽车发动机机油压力传感器一级质量屋



| 工程措施<br>(二级)<br><br>顾客需求<br>(二级) |      | 重要度 | 保证收口质量 | 膜片组件优化设计    | 弹簧组件优化设计  | 报警门限值                 | 机油成分                    | 管螺纹质量        | 成品厂质量检验 | 市场竞争能力    |           |      |      |
|----------------------------------|------|-----|--------|-------------|-----------|-----------------------|-------------------------|--------------|---------|-----------|-----------|------|------|
|                                  |      |     |        |             |           |                       |                         |              |         | 本产品       | 改进后       | 国内对手 | 国外对手 |
| 选择耐高低温的材料                        |      | 2   |        | 2           | 3         |                       |                         | 2            | 3       | 3         | 4         | 3    | 4    |
| 选择耐油性好的材料                        |      | 2   |        | 3           | 3         |                       | 2                       |              | 3       | 3         | 4         | 4    | 4    |
| 增强膜片强度                           |      | 5   |        | 9           |           |                       |                         |              | 1       | 4         | 5         | 4    | 5    |
| 机油清洁度                            |      | 3   |        |             |           |                       | 9                       |              | 5       | 3         | 4         | 4    | 5    |
| 不许漏油                             |      | 4   | 9      | 3           | 3         | 3                     | 5                       | 9            | 5       | 4         | 5         | 4    | 5    |
| 压力不正常时必须报警                       |      | 4   | 1      | 3           | 9         | 9                     |                         | 4            | 3       | 3         | 4         | 3    | 4    |
| 压力正常时不得报警                        |      | 4   | 1      | 3           | 9         | 9                     |                         | 4            | 3       | 3         | 4         | 3    | 5    |
|                                  |      |     |        |             |           |                       |                         |              |         | 0.68      | 0.88      | 0.72 | 0.93 |
|                                  |      |     | 保证施压紧度 | 保证耐油、耐酸、耐老化 | 温、不破裂、抗老化 | 合理选择刚度、长度、表面处理、保证性能稳定 | 3±0.1 N/cm <sup>2</sup> | 无污染、无腐蚀、性能稳定 | 做到密封性良好 | 与工作状态一致   | 市场竞争能力指数M |      |      |
| 工程措施重要度                          |      | 44  | 91     | 96          | 84        | 51                    | 72                      | 76           |         |           |           |      |      |
| 技术竞争能力                           | 本产品  | 3   | 4      | 3           | 4         | 4                     | 3                       | 3            | 0.69    | 技术竞争能力指数T |           |      |      |
|                                  | 改进后  | 5   | 5      | 4           | 5         | 5                     | 4                       | 4            | 0.91    |           |           |      |      |
|                                  | 国内对手 | 4   | 4      | 3           | 4         | 5                     | 4                       | 4            | 0.78    |           |           |      |      |
|                                  | 国外对手 | 5   | 5      | 5           | 5         | 5                     | 4                       | 5            | 0.97    |           |           |      |      |

图 3—6 微型汽车发动机机油压力传感器二级质量屋

按照加权评分准则进行评估和计算。经分析认为：耐高压不漏油是最重要的，是关系到安全的基本要求，将需求重要度定为5；耐高低温和报警的准确度，因将直接影响传感器功能的实现，是很重要的，所以重要度定为4；对耐油性的要求是次要的，重要度定为3。经评定，计算出工程措施重要度。经过对市场竞争能力和技术竞争能力分析，得出产品改进后的综合竞争能力比国内同类型产品提高了39个百分点。

(三) 新型飞机研制过程的质量功能展开示例

现代武器系统是集各门类科学技术为一体的高新科技产品，需要有大量的机载配套产品。在总体设计时应将用户提出的主机战术要求分解为对成品整机的战术技术要求，所有辅机单位应以这些战术技术要求为目标，分别完成各自的研制任务。一种新型飞机的研制成功，不仅取决于主机研制单位，还取决于所有参与配套产品研制单位，是一项协同配合的系统工程。所以，新型飞机研制过程需要精心组织与管理。

某科研部门为在研制新型飞机过程中实施全面的、系统的、有效的质量管理和控制，运用质量功能展开的方法分别建立三级质量屋。各配套产品研制单位根据分解的技术要求，向主机研制单位提供成品质量保证大纲，明确分阶段研制等有效的质量控制方法，并认真贯彻执行三级质量屋（见图3—7，图3—8和图3—9）中的各项实施措施，使新型飞机研制过程始终处于全面、系统、有效的质量管理和控制之中。

| 对<br>应<br>策<br>略<br><br>顾<br>客<br>需<br>求 | 重<br>要<br>度<br>$k_i$ | 质量<br>保证<br>（能力）<br>单位      | 求和<br>进度<br>明确<br>技术<br>指标、<br>质量要  | 建<br>立<br>体<br>系<br>建立<br>跨建<br>制、<br>跨部<br>门的<br>质保 | 贯<br>彻<br>列<br>标<br>准<br>贯彻<br>质量<br>管理<br>和质<br>量保<br>证系 | 形<br>成<br>化<br>规<br>范<br>体<br>系<br>形成<br>配<br>套<br>和<br>相<br>互<br>协<br>调<br>的<br>标<br>准 | 严<br>格<br>计<br>量<br>测<br>试<br>控<br>制 |
|--|----------------------|-----------------------------|---|--|---|---|--------------------------------------|
|  |                      | 寻找<br>具有<br>新成<br>品研<br>制（含 |   |  |   |   |                                      |
| 新成品的性能要求                                 | 5                    | 5                           | 5   | 9  | 5   | 3   | 3                                    |
| 新成品的进度要求                                 | 4                    | 3                           | 3   | 5  | 1   | 3   | 1                                    |
| 可靠性要求                                    | 4                    | 3                           | 3   | 7  | 5   | 3   | 1                                    |
| 综合保障要求                                   | 3                    | 3                           | 7   | 7  | 5   | 3   | 1                                    |
| 质量保证要求                                   | 4                    | 5                           | 5   | 9  | 7   | 3   | 1                                    |
| 成本合适                                     | 1                    | 5                           | 7   | 1  | 3   | 3   | 3                                    |
|  |                      | 确定<br>新成<br>品研<br>制单<br>位   | 技<br>术<br>协<br>议<br>和<br>工<br>作<br>说<br>明<br>签<br>定<br>技<br>术<br>经<br>济<br>合<br>同 | 成<br>立<br>型<br>号<br>质<br>量<br>师<br>系<br>统            | 国<br>军<br>标<br>和<br>ISO<br>9000<br>系<br>列<br>标<br>准       | 成<br>立<br>标<br>准<br>化<br>工<br>作<br>系<br>统   | 成<br>立<br>计<br>量<br>师<br>系<br>统      |
| 加权后工程措施重要度 $h_j$                         |                      | 83                          | 105   | 151  | 93  | 63  | 33                                   |

图 3—7 新型飞机研制过程一级质量屋  
(经过剪裁)

| 措施<br>对应策略      | 重要度 $h_i$ | 质量师系统的组织落实       | 编制型号质量师系统质量      | 编制型号质量师系统质量   | 编制全机和各成品质量 | 保证大纲         | 明确划分研制阶段、实施分阶段质量控制      | 明确设计、试验、生产、服务的质量控制 | 严格试验质量控制      | 定期检查           | 推广应用有效的质量管理方法 |
|-----------------|-----------|------------------|------------------|---------------|------------|--------------|-------------------------|--------------------|---------------|----------------|---------------|
|                 |           | 质量师系统的组织落实       | 编制型号质量师系统质量      | 编制型号质量师系统质量   | 编制全机和各成品质量 | 保证大纲         | 明确划分研制阶段、实施分阶段质量控制      | 明确设计、试验、生产、服务的质量控制 | 严格试验质量控制      | 定期检查           | 推广应用有效的质量管理方法 |
|                 |           | 质量师系统的组织落实       | 编制型号质量师系统质量      | 编制型号质量师系统质量   | 编制全机和各成品质量 | 保证大纲         | 明确划分研制阶段、实施分阶段质量控制      | 明确设计、试验、生产、服务的质量控制 | 严格试验质量控制      | 定期检查           | 推广应用有效的质量管理方法 |
|                 |           | 质量师系统的组织落实       | 编制型号质量师系统质量      | 编制型号质量师系统质量   | 编制全机和各成品质量 | 保证大纲         | 明确划分研制阶段、实施分阶段质量控制      | 明确设计、试验、生产、服务的质量控制 | 严格试验质量控制      | 定期检查           | 推广应用有效的质量管理方法 |
| 成立型号质量师系统       | 5         | 7                | 9                | 9             | 9          | 9            | 9                       | 9                  | 9             | 7              | 7             |
| 签定技术协议和工作说明     | 4         | 5                | 3                | 3             | 7          | 9            | 7                       | 7                  | 7             | 7              | 3             |
| 贯彻质量管理与质量保证系列标准 | 3         | 5                | 5                | 3             | 3          | 7            | 5                       | 5                  | 5             | 9              | 9             |
|                 |           | 总质量师、主任质量师、主管质量师 | 使各级质量师职责明确、管理有依据 | 使各种质量问题得到及时报告 | 检查性的原则     | 要坚持指令性、系统性、可 | 规定各阶段的研制任务和研制目标，并进行阶段评审 | 贯彻质量是设计进去生产出来的思想   | 验收试验规范和验收试验程序 | 使成品研制全过程处于受控状态 | 开展质量工程技术研究与推广 |
| 加权后措施重要度 $h_j$  |           | 70               | 72               | 60            | 82         | 102          | 94                      | 94                 | 94            | 90             | 74            |

图 3—8 新型飞机研制过程二级质量屋  
(经过剪裁)

#### (四) 小型传动锥形齿轮改进的质量功能展开示例

为机床厂提供配件的齿轮制造厂，根据用户提出的质量问题，采用质量功能展开的方法实施质量改进。

### 1. 产品质量状况

- (1) 运行中发生齿面擦伤、剥落等缺陷;
- (2) 在疲劳试验中, 在 3 小时 15 分钟内两次发生轮齿折断故障, 没有达到质量要求。

## 2. 建立质量屋

为提高产品质量，企业组织攻关小组，根据用户要求，从设计、冷热工艺等方面入手进行分析，建立质量屋（见图3—10）。经改进后，齿轮在300 kW 载荷下的强度超过了法国齿轮在200 kW 载荷下的强度，从而保证了国产化产品的发展需要。

| 实施<br>措施             | 重要度 $k_j$ | 型号各阶段的质量法规并进行监控<br>各级质量师应主动参与研制，制定 | 足规定要求<br>确保设计产品的固有质量水平满 | 实施技术状态管理                     | 落实各级责任制，严把质量关         | 进行转阶段评审      | 试验需经开工评审、验收评审  | 要求<br>在生产制造过程中要满足符合性   | 对关键工序制定专门的质量控制<br>程序 | 承制单位质量、可靠性信息管理<br>制度 |                             |   |
|----------------------|-----------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------|----------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|---|
|                      |           | 明确划分研制<br>阶段，实施分阶<br>段质量控制         | 5                       | 7                            | 9                     | 7            | 3              | 9                      |                      | 5                    | 5                           |   |
|                      |           | 明确设计、试<br>制、生产服务的<br>质量控制          | 4                       | 7                            | 5                     | 7            | 5              |                        | 3                    | 7                    | 7                           | 5 |
|                      |           | 严格试验质量<br>控制                       | 4                       | 7                            |                       | 3            | 3              |                        | 9                    |                      |                             | 5 |
|                      |           | 定期对承制单<br>位进行质量检查                  | 3                       | 3                            | 5                     | 3            | 5              | 3                      | 1                    | 5                    | 3                           | 5 |
|                      |           | 对研究、设计试制和试验等工作实施有                  | 效的质量监控、保证成品的研制质量        | 运用优化设计技术，择优确定产品技<br>术参数的最佳组合 | 实施技术状态更改控制，进行统计报<br>告 | 明确图样技术文件审查责任 | 在各节点上组织不同层次的评审 | 要有试验任务书、试验大纲和试验报<br>告等 | 满足设计图纸和技术文件的要求       | 用控制图等实施重点控制          | 按实施闭环管理<br>要求及时向质量师系统办公室传递、 |   |
| 加权后工程措施<br>重要度 $h_j$ |           | 100                                | 80                      | 84                           | 62                    | 54           | 51             | 68                     | 37                   | 80                   |                             |   |

图 3—9 新型飞机研制过程三级质量屋  
(经过剪裁)

(五) 质量功能展开在我国新一代运载火箭总体设计方案论证中的应用

我国航天工业的载人飞船技术已处于国际领先地位，这与新一代运载火箭的不断研发成功有着极为密切的关系。我国航天工业在研发新一代运载火箭总体设计方案论证中充分应用质量功能展开技术并取得成功。图 3—11，图 3—12 和图 3—13 是应用质量功能展开的示意图。

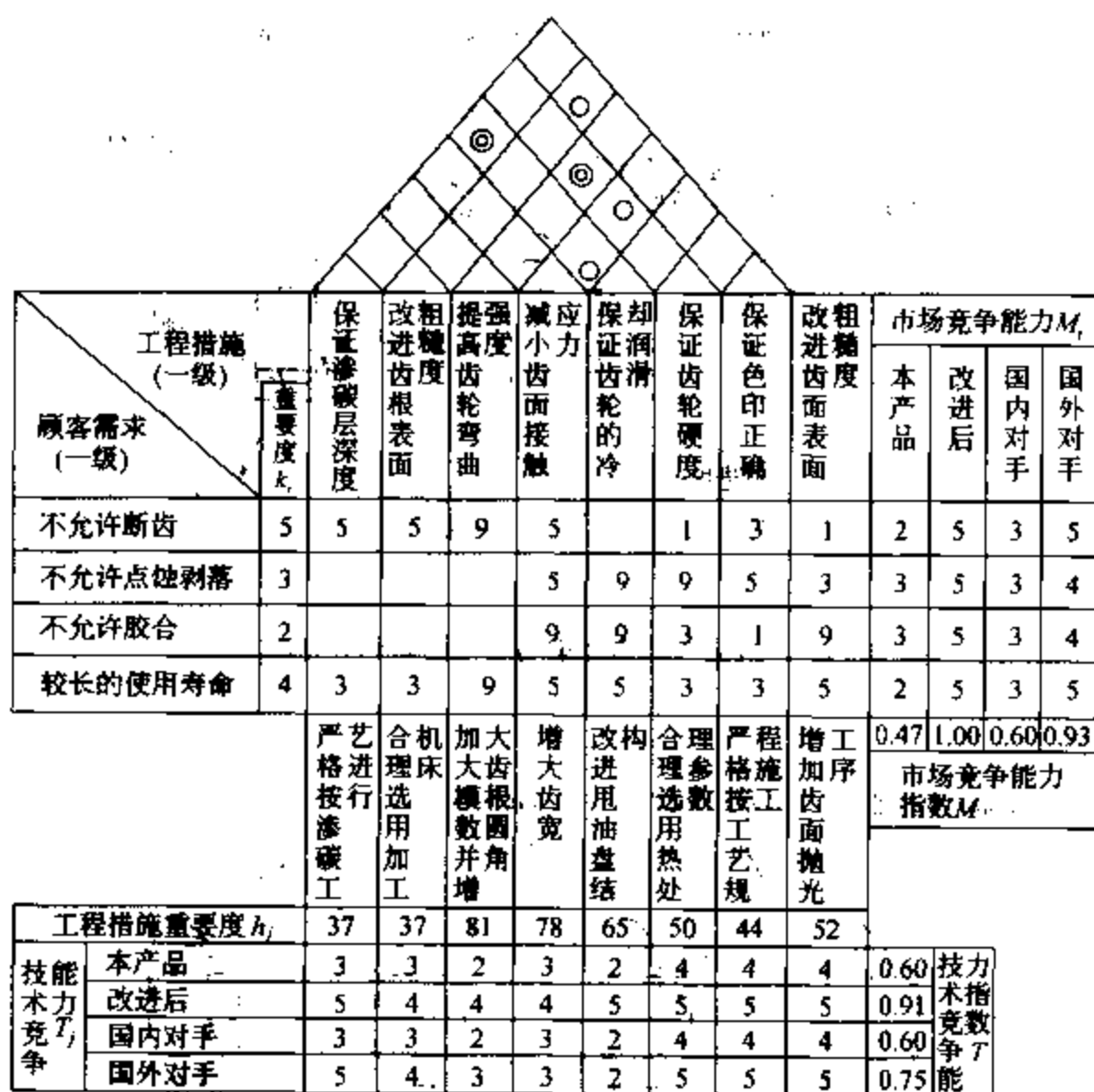


图 3—10 小型传动锥形齿轮改进一级质量屋

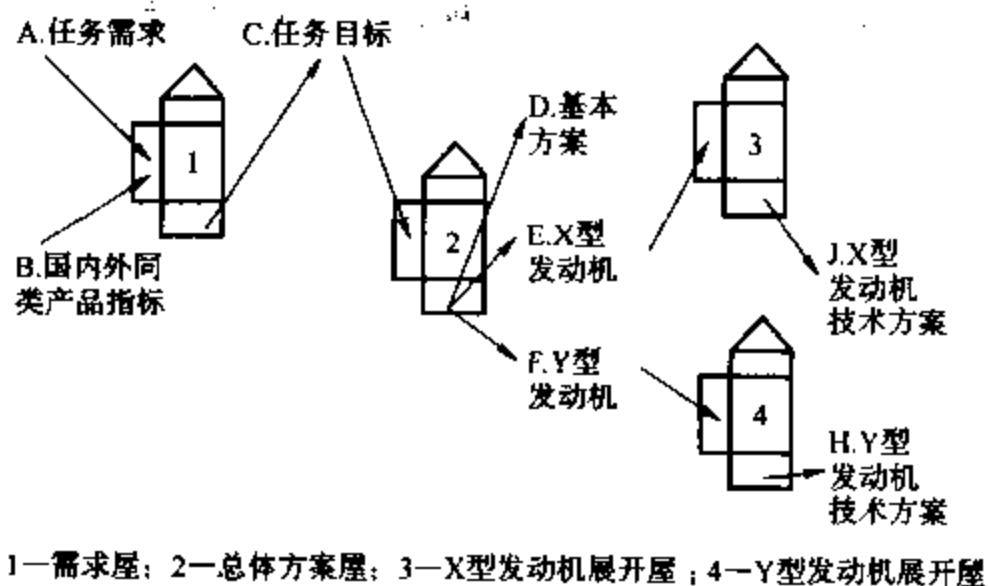


图 3—11 火箭发动机质量屋系列展开示意图

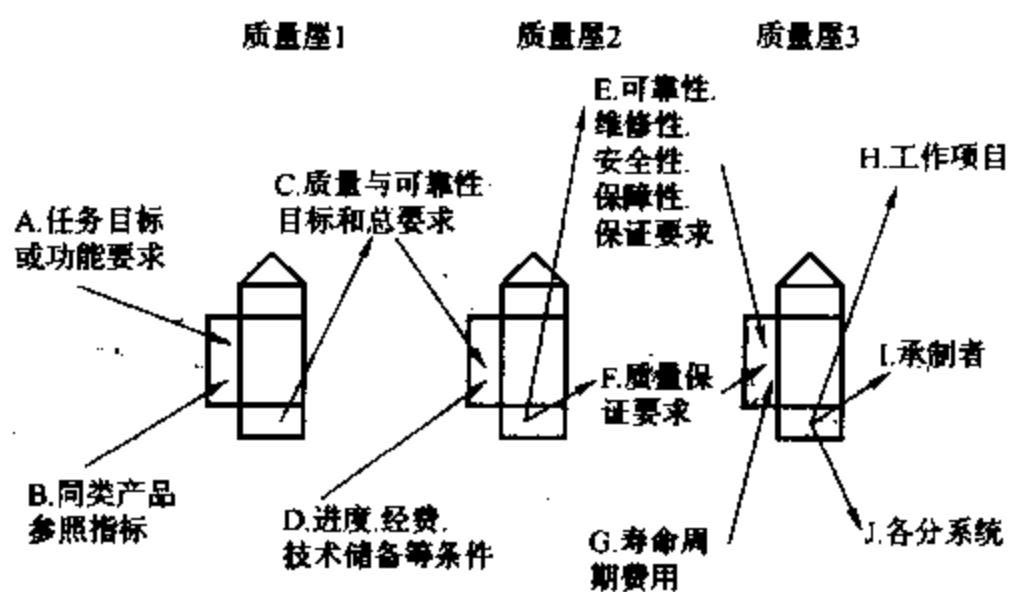


图 3—12 质量与可靠性策划质量屋系列展开示意图

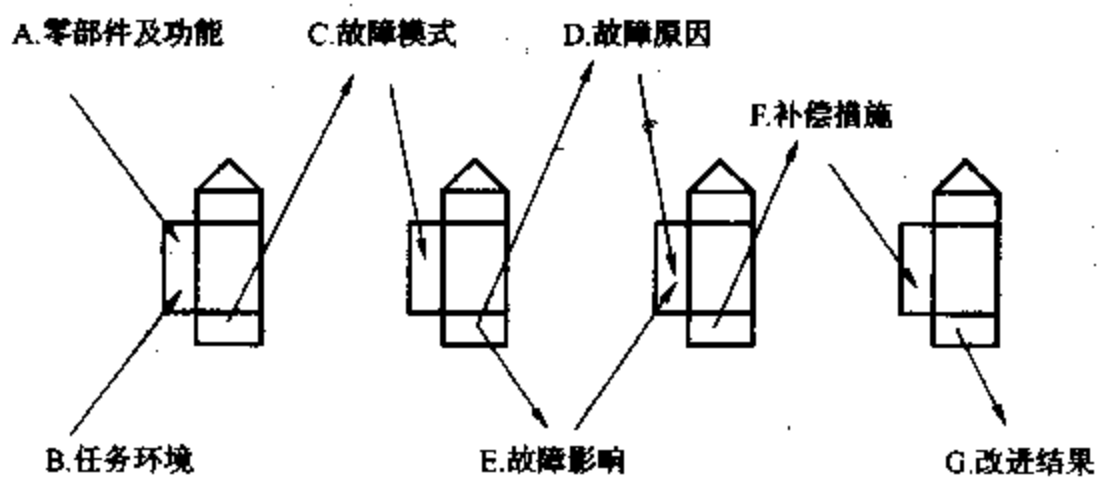


图 3—13 故障模式及影响分析质量屋系列展开示意图

## 第四章 质量损失函数的应用

### 一、质量损失函数的基本概念

#### (一) 质量损失的定义

ISO 9000 标准对质量损失的定义如下:

“在过程和活动中, 由于没有发挥资源的潜力而导致的损失。”

一般会认为只有发生不合格, 造成返工、返修、降等级使用和报废才有质量损失, 而 ISO 9000 标准的定义明确界定, 在过程和活动中只要所投入的资源 (人力、物力、财力及技术资源等) 没有充分发挥其应有的作用, 所导致的损失均称为质量损失。所以, 质量管理要求在任何活动和工作过程中, 均应做到人尽其才、物尽其用, 充分发挥各自的作用。

#### (二) 只要有质量波动就会有质量损失

产品质量的统计观念认为, 产品质量具有变异性 (波动性), 而且产品质量的变异性 (波动性) 具有规律性。这为研究质量损失提供了理论依据。

产品质量的统计观念:

##### 1. 产品质量具有变异性 (不一致性)

影响质量变异的有人、机、料、法、环等诸因素。

处于正常状态时, 称为正常因素, 由正常因素引起的质量变异称为 正常质量波动 (也称为经常性问题);

处于异常状态时, 称为异常因素, 由异常因素引起的质量变异称为异常质量波动 (也称为系统性或突发性问题)。

##### 2. 产品质量变异具有规律性 (分布)

产品质量的变异并非是漫无边际的变异, 而是在一定范围内且符合一定规律的变异。产品质量变异的规律性就是质量数据的分布, 称为产品质量的统计规律。

各类不同的数据各自服从一定的分布:

计量值数据服从正态分布;

计件值数据服从二项分布;

计点值数据服从泊松分布。

研究质量数据的分布, 是研究、计算和分析过程或产品质量损失的基本条件。

#### (三) 质量损失评价

有波动就会有损失, 但如何度量这种损失是研究的重点。为了合理评价产品质量水平,

引入质量损失函数的概念,以便定量评价质量损失。

一个质量好的产品,在用户手中应能发挥正常的效能,而不会消耗过多的资源,不需要额外的维修等。总之,不使用户(顾客)增加额外的损失。即质量好的产品给用户带来的损失小,而质量差的产品会给用户带来巨大的损失,这就是引入质量损失函数这一概念的基本点。

#### (四) 质量损失函数的表达

若以随机变量  $y$  表示产品质量特性值,当  $y$  的数值不同时所造成的损失也不同。质量损失函数  $Q(y)$  就是质量损失与产品质量特性值的关系函数。质量损失函数  $Q(y)$  的图像称为质量损失函数曲线。

任何产品的设计,对产品质量特性均应通过科学计算设定目标值  $M$  (产品质量水平达到最佳状态时的质量特性值)。当产品质量特性值达到目标值 ( $y=M$ ) 时,产品功效达到最佳状态;当产品质量特性值偏离目标值 ( $y \neq M$ ) 时,就会造成质量损失。偏移量 ( $\varepsilon = |y - M|$ ) 越大,所造成的质量损失也越大。

应注意目标值与标称值的区别:

(1) 目标值  $M$  是质量水平处于最佳状态时的质量特性值。在产品的设计过程中通过科学计算确定目标值  $M$  和允许偏差  $\Delta$ ,则可计算出质量特性值的公差界限,  $T_U = M + \Delta$ ,  $T_L = M - \Delta$ 。当从产品图样或技术文件中得知公差界限后即可计算出质量特性值的目标值:  $M = (T_U + T_L) / 2$ 。由于产品质量特性值大多数情况下属于计量值数据,服从对称的正态分布,因而有  $M \pm \Delta$ 。

(2) 标称值  $B$  是产品图样或技术文件标出的质量特性的名义值。根据图样管理制度的要求,往往与标称值相关的公差值是不对称的,如:  $B_{\phi}^{\delta_1}_{\delta_2}$ 。如产品图样中标出的孔径尺寸及质量要求为:  $\phi 20^{+0.15}_{+0.05}$ , 即  $\delta_1 = +0.15$ ;  $\delta_2 = +0.05$ 。这种情况下的公差界限分别为:  $T_U = 20.15$ ,  $T_L = 20.05$ 。目标值  $M = (20.15 + 20.05) / 2 = 20.10$ 。显然,这种情况下标称值并不等于目标值。又如产品图样中标出的轴径尺寸及质量要求为:  $\phi 20^{-0.10}_{0.00}$ , 即  $\delta_1 = 0.00$ ,  $\delta_2 = -0.10$ 。这种情况下的公差界限分别为:  $T_U = 20.00$ ,  $T_L = 19.90$ 。目标值  $M = (20.00 + 19.90) / 2 = 19.95$ 。这种情况下标称值也不等于目标值。又如产品图样标出板材剪切长度尺寸及质量要求为:  $200 \pm 5$ , 即  $\delta_1 = +5$ ,  $\delta_2 = -5$ 。这种情况下的公差界限分别为:  $T_U = 205$ ,  $T_L = 195$ 。目标值  $M = (205 + 195) / 2 = 200$ 。这种情况下标称值就等于目标值。

【例1】电视机电源电路的输出电压设计的目标值为直流 115 V。整个电视机的结构、电路都是按输出电压 115 V 设计的。

若电源电压偏离目标值 115 V,必然会影响电视机的性能,使用户蒙受损失。这种情况下,其质量损失函数曲线  $Q(y)$  在  $y=115$  V 处有最小值。只要电源电压偏离 115 V,质量损失就会增加,偏移量越大时质量损失增大的幅度也越大。整个质量损失函数曲线类似于二次曲线(开口向上的抛物线)的一条曲线。

图4—1是电视机电源电路输出电压的质量损失曲线。这类质量特性属于望目值质量特性,存在一个确定的目标值  $M$ ,无论质量特性值  $y$  大于还是小于目标值  $M$ ,质量损失都会增



大。

【例2】农用塑料薄膜，其厚度为重要的质量特性 $y$ 。当厚度 $y$ 的数值越小（薄）时就越容易破损。破损后需要修补或更换，用户的损失就会增大。因此，当厚度 $y$ 的数值在一定范围内变化时，质量损失 $Q(y)$ 基本上是减函数（如图4—2所示）。

这类质量特性属于望大值质量特性，不取负值，在一定范围内期望质量特性值尽可能大。因此，质量损失 $Q(y)$ 随质量特性值 $y$ 的增大而减小。

【例3】汽车轮胎等橡胶制品的磨损系数为产品的重要质量特性 $y$ 。当磨损系数 $y$ 增大时磨损速度加快，使用户的损失增大。因此，质量损失 $Q(y)$ 是质量特性值 $y$ 的增函数（如图4—3所示）。

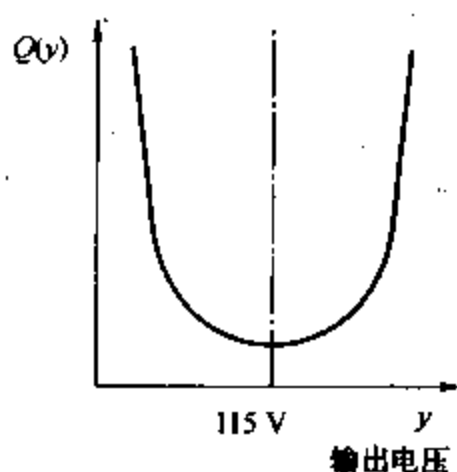


图4—1 电视机电源电路输出电压的质量损失曲线

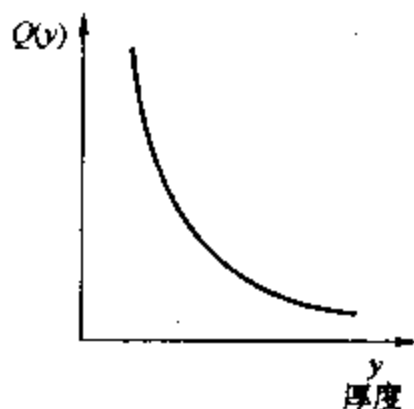


图4—2 塑料薄膜厚度与质量损失函数曲线

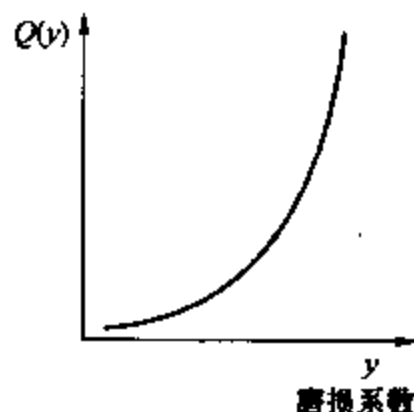


图4—3 橡胶制品磨损系数与质量损失函数曲线

这类质量特性属于望小值质量特性，不取负值，在一定范围内期望质量特性值尽可能小。因此，质量损失 $Q(y)$ 随质量特性值 $y$ 的增大而增大。

应该注意的是，以上讨论是站在用户的立场而确定的，对于生产企业而言还应考虑成本损失。所以，在生产企业产品的质量损失函数应包括质量损失函数 $Q(y)$ 和成本损失 $C(y)$ 两部分。

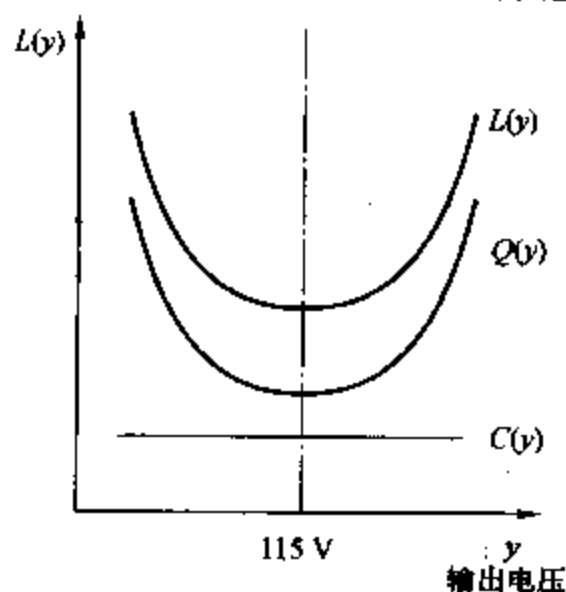


图4—4 电视机电源电路输出电压的产品质量损失曲线

生产企业产品的质量损失函数记为 $L(y)$ ，则有

$$L(y) = Q(y) + C(y)$$

对以上三个例子，其产品质量损失函数曲线实际是 $Q(y)$ 和 $C(y)$ 曲线的叠加。

【例4】电视机电源电路所用的电子元器件，同一等级的价格相差不大。为调整输出电压采用不同规格的电子元器件，其成本损失应为常数。此时的产品质量损失函数曲线的形状应与质量损失函数曲线的图形相同，如图4—4所示。

【例5】农用塑料薄膜厚度 $y$ 增加，企业的生产成本（用料）也随之增加。此时， $C(y)$ 是 $y$ 的增函

数。 $C(y)$  与  $Q(y)$  的叠加也成为相当于二次曲线（开口向上的抛物线）的一条曲线，如图 4—5 所示。

【例 6】汽车轮胎等橡胶制品，若使磨损系数小（其他性能不变），一般需要采用好的原材料和特殊的加工工艺（硫化）等，这样，必然使生产成本增加。此时， $C(y)$  是  $y$  的减函数。 $C(y)$  与  $Q(y)$  的叠加也成为相当于二次曲线（开口向上的抛物线）的一条曲线，如图 4—6 所示。

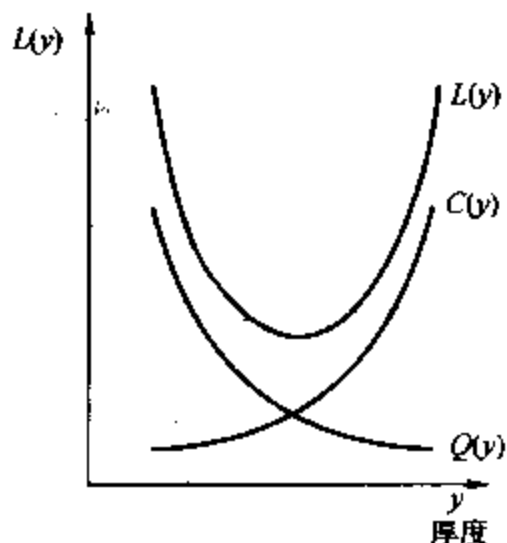


图 4—5 塑料薄膜厚度产品质量损失曲线

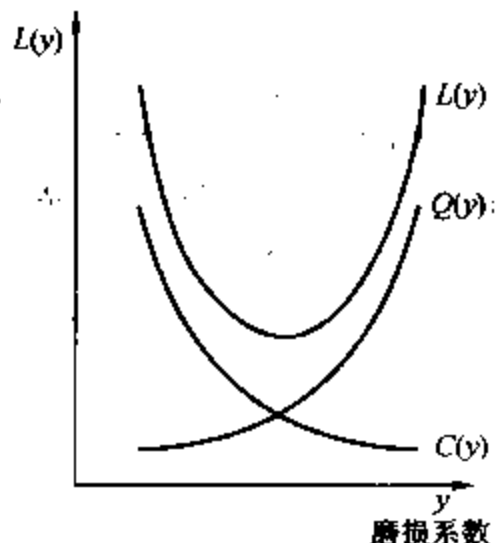


图 4—6 橡胶制品磨损系数产品质量损失曲线

对以上三个例子，其产品质量损失函数曲线实际是  $Q(y) + C(y)$  曲线的叠加，成为相当于二次曲线（开口向上的抛物线）的一条曲线。

我们所研究的质量损失在大多数情况下，实际上是指全部损失  $L(y)$ ，其在  $x = M$  处有最小值。但是，站在用户的立场，实施供应商的评价与选择，针对供货实物质量评定时，应采用质量损失函数  $Q(y)$ 。

## 二、望目值质量特性的质量损失函数

### （一）计量值质量特性的类别

#### 1. 望目值质量特性

产品设计时应设定目标值  $M$  和允许偏差  $\Delta$ ，则有双向公差  $T_U = M + \Delta$ ， $T_L = M - \Delta$

例如：加工尺寸为  $(20 \pm 0.05)$  mm，目标值设定为 20 mm，设计允许偏差为 0.05 mm。则有：

$$T_U = 20 + 0.05 = 20.05 (\text{mm})$$

$$T_L = 20 - 0.05 = 19.95 (\text{mm})$$

对望目值质量特性而言，要求产品质量特性值围绕目标值  $M$  波动（变异），波动幅度越小越好。在产品图样或技术文件中给定双向公差  $T_U$  和  $T_L$ ，则有

$$M = \frac{T_U + T_L}{2}$$

大部分产品尺寸及部分质量特性属于望目值质量特性。

### 2. 望小值质量特性

望小值质量特性不取负值, 要求质量特性值越小越好, 波动(变异)幅度越小越好。在产品图纸或技术文件中给定单向公差  $T_U$ 。

常见的望小值质量特性有测量误差、零件表面的清洁度及形位公差(不平行度、不圆度等)等。

### 3. 望大值质量特性

望大值质量特性不取负值, 要求质量特性值越大越好, 波动(变异)幅度越小越好。在产品图样或技术文件中给定单向公差  $T_L$ 。

常见的望大值质量特性有材料的强度、产品的寿命等。

## (二) 望目值质量特性的质量损失函数

定义: 设产品质量特性值为随机变量  $y$ , 并经科学计算设定目标值  $M$ 。当  $y \neq M$  时, 则造成质量损失。当质量特性值偏离目标值的偏移度  $\varepsilon$ , 若  $\varepsilon = |y - M|$  越大, 则质量损失就越大。相应产品质量特性值为  $x$  时的质量损失为  $L(y)$ 。若有  $L(y)$  在  $y = M$  处存在二阶导数, 即可按泰勒公式展开:

$$L(y) = L(M) + \frac{L'(M)}{1!}(y-M) + \frac{L''(M)}{2!}(y-M)^2 + \dots$$

设  $x = M$  时  $L(y) = 0$ , 又因  $L(y)$  在  $x = M$  处有最小值, 所以  $L'(M) = 0$ , 再略去二阶以上的所有高阶项, 则有

$$L(y) = k(y-M)^2$$

式中:  $k = \frac{L''(M)}{2!}$  是不依赖于  $y$  的常数。

则称  $L(y) = k(y-M)^2$  为质量损失函数。

若有  $n$  件产品, 其质量损失的平均值为

$$\bar{L}(x) = k \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - M)^2 \right]$$

从产品质量的变异性可知, 产品质量特性值总是在波动的。根据以上分析可知: 由于产品质量特性值的波动所造成的质量损失与质量特性值偏离目标值的偏差平方或偏差均方成正比。也就是说, 不仅是不合格品会造成质量损失, 即使是合格产品, 只要其质量特性值偏离目标值, 就会造成质量损失, 偏离目标值越远, 所造成的质量损失也就越大, 如图 4—7 的质量损失函数曲线所示。因此, 必须树立这样的概念, 合格产品不一定是质量好的产品。

【例 7】某包装材料厂生产塑料薄膜, 国家标准对厚度的要求为  $(1.0 \pm 0.2)$  mm。该厂的设备、工艺比较先进, 制造过程对厚度的控制可以达到  $\pm 0.02$  mm。因此, 该厂制定的企业内控标准为  $(0.82 \pm 0.02)$  mm。应该说, 所生产的塑料薄膜的厚度按国家标准要求是合格的, 但从图 4—8 的质量损失函数曲线进行分析, 显然这种行为是极为不妥的。

从图 4—8 可见, 该厂由于将标称尺寸由 1.0 mm 减小到 0.82 mm, 可以使材料费、加

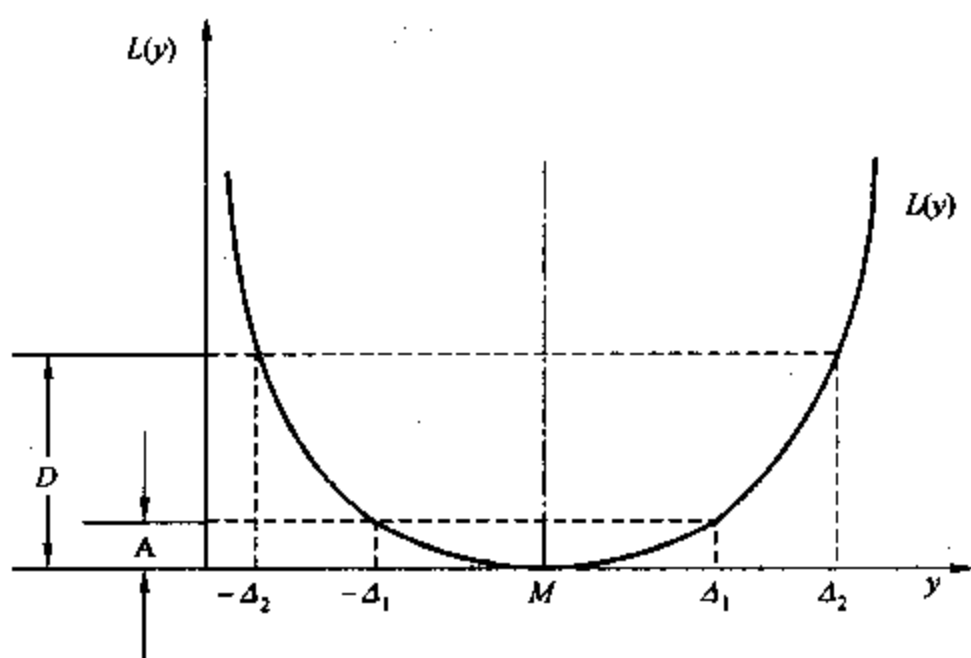


图 4—7 质量损失函数曲线

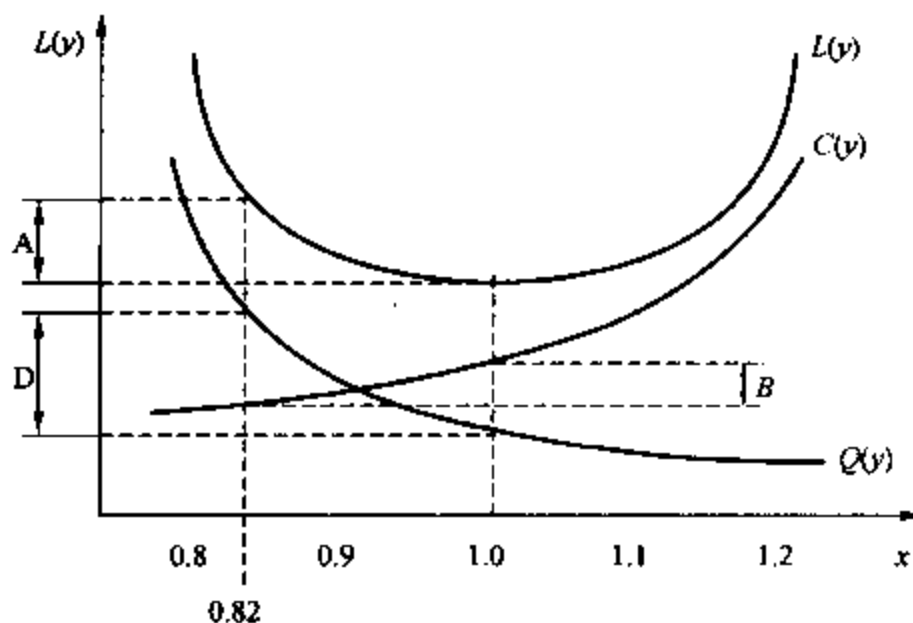


图 4—8 塑料薄膜厚度标称尺寸改变后质量损失的变化

工费、搬运费等累积减少为“B”的数值 [即成本损失  $C(y)$  的减小数值]。但是, 由于厚度的减小, 用户在使用过程中很容易破损, 使用费用必然增加。当厚度从 1.0 mm 减小为 0.82 mm 后, 质量损失  $Q(x)$  则增加了“D”这样的数值, 而  $D > B$ , 显然给社会造成了  $(D - B)$  这样大的、不应有的损失。

### (三) 提高过程能力是减小质量损失的有效途径

目前, 有些企业的过程能力明显不足, 但是企业 (特别是企业领导) 却错误地认为: 虽然过程能力不足会造成不合格品率增大, 但通过严格的检验剔除了全部不合格品, 只要交给用户的产品是合格的就可以了。实际上因为没有考虑到质量特性值偏离目标值后的质量损失, 所谓产品质量合格的说法是不确切的。所以, 必须树立“合格产品不一定是质量好的产品”这一观念。从图 4—9 所示的质量特性值数据的分布可以看出, 当过程能力不足时,

质量特性值偏离目标值的概率明显加大, 质量损失明显加大。

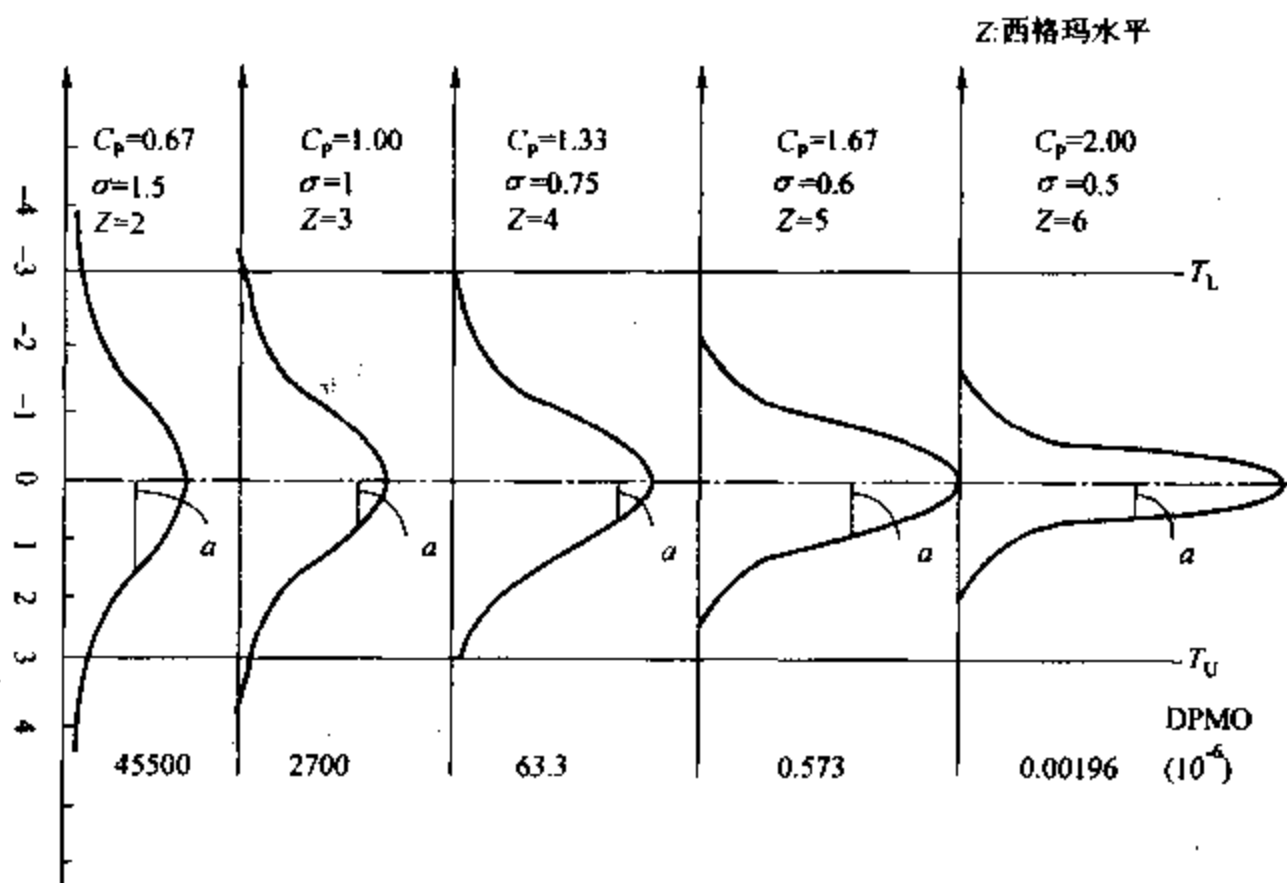


图4—9 典型  $C_p$  值情况下质量特性值正态分布图形

#### (四) 质量损失函数的确定

从质量损失函数的公式  $L(y) = k(y - M)^2$  可知, 确定和研究质量损失函数的第一步是确定比例系数  $k$ 。为此, 就需要知道产品质量的功能界限和失去功能时的质量损失。还应了解, 对产品质量而言, 应当区别产品质量特性的功能界限和公差界限。

(1) 产品质量特性的功能界限: 判断产品能否正常发挥其功能的界限。当  $|y - M| > \Delta'$  时产品将失去功能, 称  $\Delta'$  为产品质量特性的功能界限, 见图4—7, 相当于该图的  $\Delta_2$ 。

(2) 产品质量特性的公差界限: 判断产品合格与不合格的界限。当  $|y - M| > \Delta$  时产品质量不合格, 称  $\Delta$  为产品质量特性的公差界限, 见图4—7, 相当于该图的  $\Delta_1$ 。

以电视机电源电路为例: 电视机是按电源电压 115 V 设计的。当电源电压偏离 115 V 时, 电视机就不能充分发挥其应有的功能, 将产生质量损失。电视机电源电路的质量损失函数可表示为

$$L(X) = k(y - 115)^2$$

用户(顾客)在使用电视机过程中, 由于电子元器件的劣化等原因, 电源电路的输出电压会发生变化, 当电压变化达到  $(115 \pm 25)$  V 时, 电视机就会丧失功能, 这时因需要更换电视机的电源部分而造成的平均损失为  $D = 300$  元。

功能界限  $\Delta' = 25$  V。此时有

$$k(25)^2 = 300, \text{ 即: } k = \frac{300}{25^2} = 0.48$$

质量损失函数确定为

$$L(y) = 0.48(y - 115)^2$$

### (五) 产品质量特性公差界限的确定

产品质量特性公差界限应按“给社会所造成的损失最小”这一原则来确定，应区别功能界限与公差界限。

仍以电视机电源电路为例：企业在电视机生产过程中，当输出电压偏离 115 V，这时的电压值若为  $y_0$ ，此时需要调整电路使输出电压达到 115 V。为使输出电压达到 115 V 而付出的材料、人工费等为  $A = 1$  元，则有： $L(y_0) = A = 1$  (元)。即

$$0.48(y_0 - 115)^2 = 1$$

可求出： $y_0 = 115 \pm \sqrt{\frac{1}{0.48}} = 115 \pm 1.4$

这样，工厂在生产过程中应控制电源电路的输出电压使其保持在  $(115 \pm 1.4)$  V，超出这一范围就应当返修。这样才能使社会损失达到最小。若在生产过程中发现某一部电视机的电源输出电压为 112 V，但工厂没有进行返修而直接投放市场，这时工厂可以节省 1 元钱的返修费用。但给用户（顾客）所造成的质量损失为

$$L(112) = 0.48(112 - 115)^2 = 4.32 \text{ (元)}$$

显然，这是一种不道德的行为。企业为了省去 1 元钱的返修费用，却给社会造成 4.32 元不应有的损失。所以，当电源电路的输出电压偏离 115 V 时就必需进行调整，使其达到 115 V 后再出厂。

产品质量特性公差界限的确定：

若已知产品质量特性的功能界限为  $\Delta'$ ，产品丧失功能时给用户造成的损失为  $D$ 。企业为了对不合格产品进行返修（或报废）所造成的损失为  $A$ 。这时产品该质量特性的公差界限  $\Delta$  应定为

$$\Delta = \Delta' \sqrt{\frac{A}{D}}$$

式中， $\sqrt{\frac{A}{D}}$  称为安全系数。

从质量损失函数可知  $L(y) = k(y - M)^2$ ，当产品丧失功能时给用户造成的损失为  $D$ ，则有  $D = k(\Delta')^2$ ，而工厂对不合格品返修（或报废）的平均损失为  $A$ ，按社会损失最小的原则应有  $A = k\Delta^2$ ，则有  $\frac{\Delta^2}{(\Delta')^2} = \frac{A}{D}$ ，即

$$\Delta = \Delta' \sqrt{\frac{A}{D}}$$

说明：这里所指的安全系数  $\sqrt{\frac{A}{D}}$  是质量工程学中的安全系数，其与工程技术中的安全系数是不同的概念。

这里的安全系数 $\sqrt{\frac{A}{D}}$ 适用于望目值质量特性和望小值质量特性。目前,在日本、美国等一些企业一般对安全系数大约取值为0.20~0.25,大多数情况下是根据长期积累的经验而确定的,也有的是根据技术的可能性或发生故障的频数来确定。

对于望大值质量特性,其安全系数应为 $\sqrt{\frac{D}{A}}$ 。

【例8】平板玻璃安装尺寸的功能界限为 $\Delta' = 5 \text{ mm}$ ,安装不好造成的损失为250元,商店切割不合格的损失为30元。问:切割时应控制的公差界限应为多少?

解: 
$$\Delta = \Delta' \sqrt{\frac{A}{D}} = 5 \times \sqrt{\frac{30}{250}} = 1.732 (\text{mm})$$

答:切割时应控制的公差界限应为 $M \pm 1.732 (\text{mm})$ 。

【例9】某企业采用气体切割方法切割20件零件,测量后尺寸偏差分别为:0.3, 0.6, -0.5, -0.2, -0.2, 0.0, 1.0, 1.2, 0.8, -0.6, 0.9, 0.0, 0.2, 0.8, 1.1, -0.5, 0.0, 0.3, 0.8, 1.3 (mm),其功能界限 $\Delta' = 3 \text{ mm}$ 。超过功能界限时因无法装配所造成的损失为180元,切割不合格每一件的平均损失为20元。问:所切割的20件零件中有多少件不合格?

解: 
$$\Delta = \Delta' \sqrt{\frac{A}{D}} = 3 \times \sqrt{\frac{20}{180}} = 1 (\text{mm})$$

即所切割零件的公差应为 $M \pm 1 \text{ mm}$ 。因此,切割的零件中有3件不合格,即偏差为1.2 mm, 1.3 mm和1.1 mm的零件。

### 三、产品质量的波动损失

前面已经介绍了产品质量损失函数为

$$L(y) = k(y - M)^2$$

在批量生产过程中,产品质量特性值(随机变量) $y$ 若能在目标值两侧随机波动(即平均值 $\bar{y} = M$ ),用数学语言讲,即数学期望值 $E(y) = M$ 。

产品质量特性值分布的方差为 $\sigma^2$ ,用数学语言描述为 $D(y) = \sigma^2$ ,表征质量波动的幅度。

产品质量损失函数 $L(y)$ 的数学期望(平均值)为

$$\begin{aligned} E[L(y)] &= E[k(y - M)^2] \\ &= kE[y - E(y)]^2 \\ &= k[D(y)]^2 \\ &= k\sigma^2 \end{aligned}$$

这就是说,产品质量特性值的波动给社会造成的平均损失与产品质量特性值分布的方差 $\sigma^2$ 成正比,即波动幅度越大,给社会造成的损失就越大。

【例10】某零件质量要求(规格)为 $M \pm 5 (\mu\text{m})$ 。若超出规格作为不合格产品的损失为

600 元, 则有

$$L(M \pm 5) = k(\pm 5)^2 = 600(\text{元})$$

可确定:  $k = 600/5^2 = 24.0$

则质量损失函数为:  $L(y) = 24.0(y - M)^2$

若过程能力指数  $C_p = 1$ , 即  $T = 2\Delta = 6\sigma = 10$ , 则

$$\sigma = 10/6, \sigma^2 = (10/6)^2$$

零件的平均损失为

$$E[L(y)] = k\sigma^2 = 24.0 \times (10/6)^2 = 66.93(\text{元})$$

若过程能力指数  $C_p = 0.67$ , 即  $T = 2\Delta = 4\sigma = 10$ , 则

$$\sigma = 10/4, \sigma^2 = (10/4)^2$$

零件的平均损失为

$$E[L(y)] = k\sigma^2 = 24.0 \times (10/4)^2 = 150(\text{元})$$

显然, 当  $C_p = 1$  时生产的产品比  $C_p = 0.67$  时生产的产品, 平均每件产品减少质量损失为:  $150 - 66.93 = 83.07(\text{元})$ 。

若月产量为 10 万元, 仅过程能力由 0.67 提高到 1.0, 即可以给社会增加收益达 830.7 万元, 即使为提高  $C_p$  值使每件产品成本增加 10 元, 社会增加的收益仍有 730.7 万元。可见, 提高过程能力具有重要意义。

同理, 若  $C_p = 1.33$ , 即  $T = 2\Delta = 8\sigma = 10$ , 则

$$\sigma = 10/8, \sigma^2 = (10/8)^2$$

零件的平均损失为

$$E[L(y)] = k\sigma^2 = 24.0 \times (10/8)^2 = 37.50(\text{元})$$

同样, 若  $C_p = 1.67$ , 即  $T = 2\Delta = 10\sigma = 10$ , 则

$$\sigma = 10/10 = 1, \sigma^2 = 1$$

零件的平均损失为:

$$E[L(y)] = k\sigma^2 = 24.0 \times 1 = 24.0(\text{元})$$

应注意的是以上讨论的是  $\bar{y} = M$  的情况, 若出现偏移量  $\varepsilon = |\bar{y} - M|$  时, 其平均损失将会更加增大。

若实际分布中心偏移达到  $M \pm 2.5 (\mu\text{m})$  时, 其平均损失为

$$E[L(y)] = k[\sigma^2 + (2.5)^2]$$

若  $C_p = 1$ , 而又有分布中心偏移  $M \pm 2.5$  时, 每件产品的平均损失为:

$$\begin{aligned} E[L(y)] &= k[\sigma^2 + (2.5)^2] \\ &= 24.0 [(10/6)^2 + (2.5)^2] \\ &= 216.96 (\text{元}) \end{aligned}$$

同样在  $C_p = 1$  的条件下, 若发生分布中心偏移  $M \pm 2.5$  时, 产品平均损失将由 66.93 元



增加到 216.96 元。可见, 分布中心的偏移所造成的质量损失是很大的。

【例 11】某零件质量要求(规格)为  $M \pm 5$  ( $\mu\text{m}$ )。若超出规格作为不合格产品的损失为 600 元, 则有

$$L(M \pm 5) = k(\pm 5)^2 = 600(\text{元})$$

可确定:  $k = 600/5^2 = 24.0$

则质量损失函数为:  $L(y) = 24.0(y - M)^2$

若过程能力指数  $C_p = 1$ , 即  $T = 2\Delta = 6\sigma = 10$

则  $\sigma = 10/6$ ,  $\sigma^2 = (10/6)^2$

则零件的平均损失为

$$E[L(y)] = k\sigma^2 = 24.0 \times (10/6)^2 = 66.93(\text{元})$$

若过程能力指数  $C_p = 0.67$ , 即  $T = 2\Delta = 4\sigma = 10$

则  $\sigma = 10/4$ ,  $\sigma^2 = (10/4)^2$

则零件的平均损失为

$$E[L(y)] = k\sigma^2 = 24.0 \times (10/4)^2 = 150(\text{元})$$

表 4—1 列出的是几种有代表性的计算结果。

表 4—1 产品质量波动损失表

| 产品状况 | 产 品 公<br>差 损 失<br>函 数 关<br>系 | 公差 $M \pm 5$ 超出公差作为不合格品的损失 600 元<br>损失函数 $L(y) = k(y - M)^2$<br>损失函数的平均值 $E[L(y)] = k\sigma^2$<br>系 数 $k = \frac{600}{5^2} = 24$ |      |             |            |                 |
|------|------------------------------|--|------|-------------|------------|-----------------|
| 序 号  | $C_p$                        | 分布中心   | 标准差  | 出厂不合格<br>品率 | 是否经过<br>全检 | 出厂产品平均<br>损失(元) |
| 1    | 0.33                         | $M$  | 10/2 | 32.26%      | 不检         | 600.00          |
| 2    | 0.33                         | $M$  | 10/2 | 0           | 全检         | 174.30          |
| 3    | 0.67                         | $M$  | 10/4 | 4.56%       | 不检         | 150.00          |
| 4    | 0.67                         | $M$  | 10/4 | 0           | 全检         | 116.20          |
| 5    | 1.0                          | $M$  | 10/6 | 0.27%       | 不检         | 66.72           |
| 6    | 1.0                          | $M$  | 10/6 | 0           | 全检         | 64.80           |
| 7    | 1.0                          | $M \pm 2.5$  | 10/6 | 6.68%       | 不检         | 216.70          |
| 8    | 1.33                         | $M$  | 10/8 | 0.01%       | 不检         | 37.50           |

#### 四、产品质量损失函数在供应商质量控制中的应用

##### (一) 基于质量和成本对供方的择优选择

在对供方的整个比较选择过程中, 企业应遵循高质量、低价格、重合同、守信用、管理

好、距离近的原则。当然，对重要程度不同的产品，其原则的侧重点也应有所不同。一般来讲，单纯的比价采购或比质采购都是不可靠的，应综合考虑价格和质量两方面的因素，以避免简单采用比价采购给企业带来的质量风险或简单采用比质采购给企业带来的价格风险。这就需要应用产品质量损失函数的概念对供方提供的产品进行评价和对供方进行优选。

## (二) 供方产品质量特性值分布的经济意义

根据质量损失函数理论，即使进货产品全部是合格产品，但其质量损失仍会有所不同，有时会有很大的差异（再次强调，应树立“合格产品不一定是质量好的产品”这一新的概念）。

质量损失函数：

$$L(y) = k(y - M)^2$$

式中： $M$ ——目标值；

$y$ ——产品质量特性值；

$k$ ——常数。

从前面的讨论可知，产品质量特性值偏离目标值越远其质量损失就越大。图 4—10 所示的是质量损失函数曲线及相关特性值的关系。

假定有两批相同产品进货，经抽样检验两批进货全部被判定接收，但根据样本质量分布发现，两批产品的质量特性值的平均值都是等于目标值，即  $\bar{y} = M$ ，而第 1 批产品的过程能力指数  $C_{p1} = 1$ ，质量特性值分布的标准差为  $\sigma_1$ ；第 2 批产品过程能力指数  $C_{p2} = 1.33$ ，质量特性值分布的标准差为  $\sigma_2$ 。显然有： $C_{p1} = 1 = \frac{T}{6\sigma_1}$

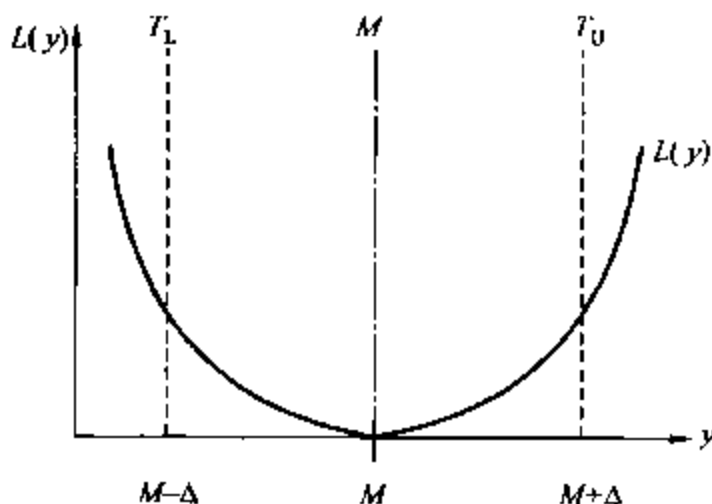


图 4—10 质量损失函数曲线及相关特性值

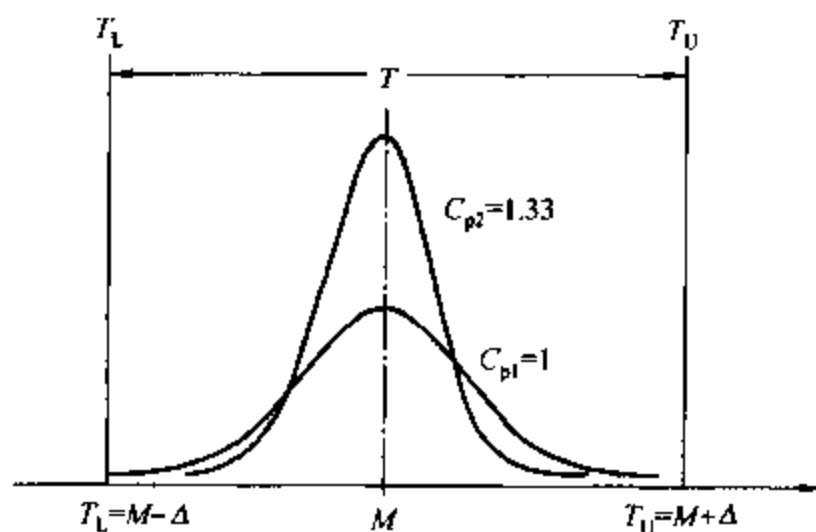


图 4—11 质量特性值的分布

这种情况从图 4—11 的质量特性值的分布也可明确看出。

在实施统计抽样检验过程中，两批产品虽然同为被接收批，但给企业带来的质量损失却大不相同，如果进价一样的话，质量损失小的产品批应成为优先选择；如果进价不同的话，则应对价格和质量损失二者综合考虑。

和  $C_{p2} = 1.33 = \frac{T}{6\sigma_2}$ ，即  $\sigma_1 = \frac{T}{6}$  和  $\sigma_2 = \frac{T}{1.33 \times 6}$ 。对两批产品的质量损失进行比较，则有：

$$\frac{L_1(y)}{L_2(y)} = \frac{k\sigma_1^2}{k\sigma_2^2} = \frac{\frac{T}{6}}{\frac{T}{1.33 \times 6}} = 1.33$$

可见，第 1 批产品的质量损失是第 2 批产品的 1.33 倍。

### (三) 对供方选择的经济评价的简化模型

一般来讲,不同供方所供应的产品质量特性值的分布不同,价格也会有所差别。目前,许多企业在选择供方时往往采用单纯的“比价采购”的原则,以价格选定供方,而忽略了供方提供的产品在质量损失上的差别,由此选定的供方往往并非最佳供方。而结合供方提供产品的质量损失和价格进行综合评价,可以得出对企业更为有利的评价结果。

为使分析过程简洁明了,首先分析供方提供产品只存在单一质量特性的情况,这时选择供方的评价依据为:

$$C_{\min} = P + L$$

式中:  $P$ ——产品单价;

$L$ ——产品质量特性值偏离目标值造成的质量损失。

根据产品质量特性的类别不同,有不同的分析模型。

#### 1. 望目值质量特性的分析模型

望目值质量特性具有双侧公差:  $M \pm \Delta$

若产品质量特性值超出公差界限的不合格损失为  $A$ , 则其质量损失函数为:

$$L(y) = k(y - M)^2$$

式中: 系数  $k = A/\Delta^2$

【例 12】某厂可以从 A, B, C 三家供方采购同一种零件, 该零件的质量标准为  $30 \pm 0.6$ 。这三家供方除报价相差较大外, 其他方面如企业信誉、售后服务等方面无明显差异。三家供方的报价分别为:  $P_A = 22$  元/件,  $P_B = 25$  元/件,  $P_C = 30$  元/件。使用质量超标的零件平均每件将给企业带来 100 元的损失。现对三家供方所提供的产品随机抽样计算, 其质量特性值各自服从的正态分布为:  $(30.1, 0.2^2)$ ,  $(30, 0.15^2)$ ,  $(30, 0.1^2)$ 。问: 应选择哪一家供方?

由题意可知:  $A = 100$ ,  $\Delta = 0.6$ , 则

$$k = A/\Delta^2 = 100/0.36 = 277.78$$

$$L_A(y) = k(\sigma_A^2 + \varepsilon^2) = 277.78 \times (0.04 + 0.01) = 13.89$$

$$L_B(y) = k\sigma_B^2 = 277.78 \times 0.0225 = 6.25$$

$$L_C(y) = k\sigma_C^2 = 277.78 \times 0.01 = 2.78$$

$$C_A = P_A + L_A(y) = 22 + 13.89 = 35.89 (\text{元})$$

$$C_B = P_B + L_B(y) = 25 + 6.25 = 31.25 (\text{元})$$

$$C_C = P_C + L_C(y) = 30 + 2.78 = 32.78 (\text{元})$$

显然有  $C_B < C_C < C_A$ , 即  $C_{\min} = C_B = 31.25$  (元)

应选择供方 B 作为最优供方。

#### 2. 望小值质量特性的分析模型

对于望小值质量特性, 如形位公差 (不圆度、不平行度等), 只有上侧公差限  $T_U$ 。这种

情况下，一般取  $M=0$ ， $\Delta=T_U$ 。质量损失函数曲线如图 4—12 所示。

质量损失函数为：

$$L(y) = ky^2$$

$$k = A/\Delta^2 = A/T_U^2$$

则有： $C = P + L(y) = P + Ay^2/T_U^2$

选择供方时比较各供方的  $C$  值选择  $C_{\min}$  为最佳供方。

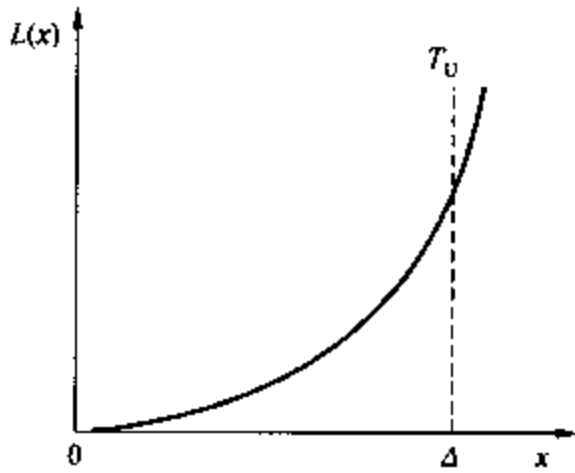


图 4—12 质量损失函数曲线

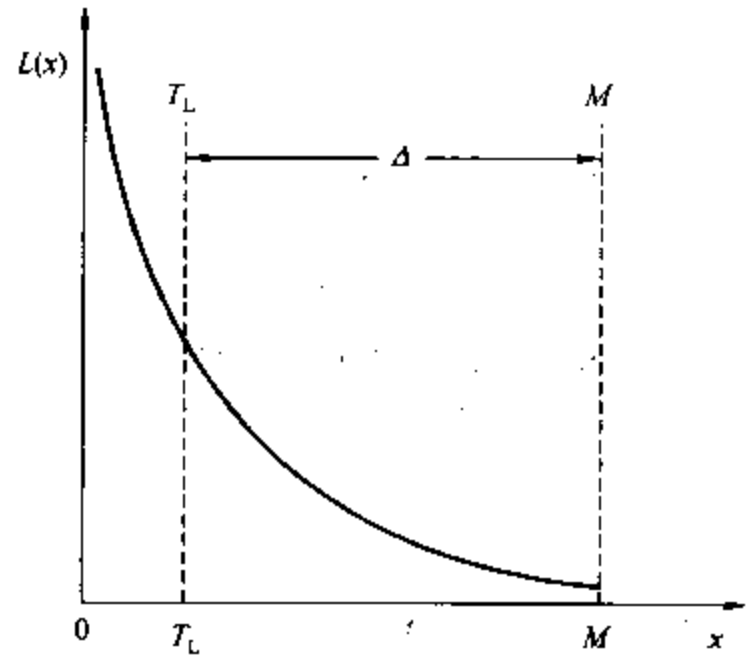


图 4—13 质量损失函数曲线

### 3. 望大值质量特性的分析模型

对于望大值质量特性，如材料强度等，只有下侧公差限  $T_L$ 。这种情况下，一般取一个可以使质量损失近似为零的质量特性值为目标值  $M$ 。这个近似值的确定应由经验丰富的工程技术人员经研究讨论后确定。质量损失函数曲线如图 4—13 所示。

质量损失函数为：

$$\begin{cases} L(y) = k(y - M)^2, y \leq M \text{ 时} \\ L(y) = 0, y > M \text{ 时} \end{cases}$$

选择供方时比较各供方的  $C$  值选择  $C_{\min}$  为最佳供方。

### (四) 当考虑产品具有 $N$ 项质量特性时对供方选择的经济评价的模型

对于一种产品而言，企业所关心的质量特性往往并非只有一项，有时需要同时考察二项、三项甚至更多的质量特性。例如，对于一种钢材来说，企业不仅对其强度值有要求，可能还要对其某些元素成分的含量有限制。因此，建立同时考虑产品具有  $N$  项质量特性时对供方选择的经济评价的模型是非常必要的。

应当注意的是，对于有  $N$  项质量特性的产品而言，其实只要其中有一项质量特性不合格，即应判定产品不合格。

## 1. 望目值质量特性的分析模型

假设对一种产品同时有  $N$  项质量特性的要求, 每一项质量特性的质量要求为:  $M_i \pm \Delta_i$ ,

设造成产品不合格的质量损失为  $A$ , 质量损失函数的比例常数  $k_i = A/\Delta_i^2$ 。

设  $L(y)$  为整体质量损失函数,  $L(y_i)$  为第  $i$  项质量特性所造成的质量损失函数。整体质量损失为各单项质量损失之和, 即:

$$L(y) = \sum_{i=1}^N L(y_i) = \sum_{i=1}^N k_i (y_i - M_i)^2$$

【例 13】某厂采购的一种零件有三项质量特性要求, 各自的质量标准分别为:  $30 \pm 0.6$ ,  $50 \pm 0.4$ ,  $15 \pm 0.5$ 。零件不合格造成的平均损失  $A = 100$  元。现对三家供方所供应的零件随机抽样检验, 经计算各自服从的正态分布为:

$$\{(30.1, 0.2^2), (30, 0.15^2), (30, 0.1^2)\};$$

$$\{(50, 0.2^2), (50, 0.2^2), (50, 0.23^2)\};$$

$$\{(15, 0.2^2), (15, 0.1^2), (15, 0.2^2)\}。$$

三家供方的报价分别为:  $P_A = 22$  元/件,  $P_B = 25$  元/件,  $P_C = 30$  元/件。问: 应选择哪家供方?

由题意可知:  $k_1 = A/\Delta_1^2 = 100/0.36 = 277.78$

$$k_2 = A/\Delta_2^2 = 100/0.16 = 625$$

$$k_3 = A/\Delta_3^2 = 100/0.25 = 400$$

则有:

$$\begin{aligned} L_A(y) &= k_1(\sigma_{A1}^2 + \varepsilon^2) + k_2\sigma_{A2}^2 + k_3\sigma_{A3}^2 \\ &= 277.78 \times (0.04 + 0.01) + 625 \times 0.04 + 400 \times 0.04 \\ &= 54.89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_B(y) &= k_1\sigma_{B1}^2 + k_2\sigma_{B2}^2 + k_3\sigma_{B3}^2 \\ &= 277.78 \times 0.0225 + 625 \times 0.04 + 400 \times 0.01 \\ &= 35.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_C(y) &= k_1\sigma_{C1}^2 + k_2\sigma_{C2}^2 + k_3\sigma_{C3}^2 \\ &= 277.78 \times 0.01 + 625 \times 0.0529 + 400 \times 0.04 \\ &= 37.44 \end{aligned}$$

$$C_A = P_A + L_A(y) = 54.89 + 22 = 76.89$$

$$C_B = P_B + L_B(y) = 35.25 + 25 = 57.25$$

$$C_C = P_C + L_C(y) = 37.44 + 30 = 67.44$$

显然有  $C_B < C_C < C_A$  即  $C_{\min} = C_B$

应选择供方  $B$  作为最优供方。

## 2. 望小值质量特性的分析模型

产品的  $N$  项质量特性均为望小值质量特性, 只有上侧公差限  $T_U$ , 各自的目标值  $M_1 = M_2 = M_3 = \dots = M_N = 0$ , 单项质量损失函数为  $L(y_i) = ky_i^2$ ,  $k = A/\Delta_i^2$ ,

则整体质量损失函数可以表示为:

$$L(y) = \sum_{i=1}^N k_i y_i^2 = \sum_{i=1}^N \frac{A}{\Delta_i^2} y_i^2$$

则计算  $C = P + L(y)$ , 比较各个供方的  $C$  值, 取  $C$  值最小的供方为最优供方。

### 3. 望大值质量特性的分析模型

产品的  $N$  项质量特性均为望大值质量特性, 只有下侧公差限  $T_L$ , 各自的目标值应取一个可以使质量损失降为零的最小近似值  $M_i$ 。则整体质量损失函数可以表示为:

$$L(x) = \sum_{i=1}^N k_i (y_i - M_i)^2$$

式中: 当  $y_i \leq M_i$  时,  $k_i = A/\Delta_i^2$

当  $y_i > M_i$  时,  $k_i = 0$

计算  $C = P + L(y)$ , 比较各个供方的  $C$  值, 取  $C$  值最小的供方为最优供方。

### 4. 望目值质量特性与望小值质量特性并存时的分析模型

在实际情况当中, 产品的  $N$  项质量特性往往并非一定是上述简单的三种情况, 而很有可能是望目值、望小值、望大值质量特性中两项或三项并存。下面, 首先讨论望目值质量特性与望小值质量特性并存时的分析模型。

假设某种产品有  $N$  项质量特性, 其中有  $N_1$  项为望目值质量特性,  $N_2$  项为望小值质量特性, 在这种情况下其整体质量损失函数为:

$$L(y) = \sum_{i=1}^{N_1} k_i (y_i - M_i)^2 + \sum_{j=1}^{N_2} k_j y_j^2$$

其中: 第  $i$  项质量特性为望目值质量特性, 且

$$k_i = A_i/\Delta_i^2$$

第  $j$  项质量特性为望小值质量特性, 设目标值  $M_j = 0$ , 则

$$k_j = A_j/\Delta_j^2$$

同理, 计算  $C = P + L(y)$ , 比较各个供方的  $C$  值, 取  $C$  值最小的供方为最优供方。

### 5. 望目值质量特性与望大值质量特性并存时的分析模型

假设某种产品有  $N$  项质量特性, 其中有  $N_1$  项为望目值质量特性,  $N_2$  项为望大值质量特性, 在这种情况下其整体质量损失函数为:

$$L(y) = \sum_{i=1}^{N_1} k_i (y_i - M_i)^2 + \sum_{j=1}^{N_2} k_j (y_j - M'_j)^2$$

式中: 第  $i$  项质量特性为望目值质量特性, 且

$$k_i = A_i/\Delta_i^2$$

第  $j$  项质量特性为望大值质量特性, 且

$$\begin{aligned} k_i &= A_i / \Delta_i^2, y_i \leq M_i \\ k_i &= 0, y_i > M_i \end{aligned}$$

同理，计算  $C = P + L(x)$ ，比较各个供方的  $C$  值，取  $C$  值最小的供方为最优供方。

#### 6. 望小值质量特性与望大值质量特性并存时的分析模型

假设某种产品有  $N$  项质量特性，其中有  $N_1$  项为望小值质量特性， $N_2$  项为望大值质量特性，在这种情况下其整体质量损失函数为

$$L(x) = \sum_{i=1}^{N_1} k_i y_i^2 + \sum_{j=1}^{N_2} k_j (y_j - M'_j)^2$$

式中：第  $i$  项质量特性为望小值质量特性，设目标值  $M_i = 0$ ，

$$k_i = A_i / \Delta_i^2$$

第  $j$  项质量特性为望大值质量特性，则

$$\begin{aligned} k_j &= A_j / \Delta_j^2, y_j \leq M_j \\ k_j &= 0, y_j > M_j \end{aligned}$$

同理，计算  $C = P + L(y)$ ，比较各个供方的  $C$  值，取  $C$  值最小的供方为最优供方。

#### 7. 望目值质量特性与望大值质量特性和望小值质量特性并存时的分析模型

望目值质量特性与望大值质量特性和望小值质量特性并存的情况是普遍存在的，它可以看作前几种情况的综合。现假设某种产品有  $N$  项质量特性，其中有  $N_1$  项为望目值质量特性， $N_2$  项为望大值质量特性， $N_3$  项为望小值质量特性，则可以得出其整体质量损失函数为

$$L(y) = \sum_{i=1}^{N_1} k_i (y_i - M_i)^2 + \sum_{j=1}^{N_2} k_j (y_j - M'_j)^2 + \sum_{l=1}^{N_3} k_l y_l^2$$

式中情况及最优供方可按前面的情况确定。



请勿用于商业用途或准商业用途，  
谢绝 3722.cn 等商业网站转载！

吴国林 MSN: colin\_21st@hotmail.com

## 第五章 过程能力分析

### 一、过程能力与过程能力指数的概念

#### (一) 过程能力

过程能力是指过程处于正常状态下加工质量满足技术标准的能力，在特殊情况下也称为工序能力。记为

$$B = 6\sigma \approx 6s$$

可见，过程能力即过程在正常状态下所加工产品质量特性值实际分布的6倍标准差。实际考核的是过程的99.73%的能力。过程能力用于衡量过程加工的内在一致性，是稳态下的最小波动，数值越小越好。过程能力决定于质量因素人、机、料、法、环、测（技术水平与管理水平的综合反映）而与技术文件给定的公差界限无关。

应区分过程能力与生产能力的不同：过程能力是生产过程保证产品质量的能力；生产能力指生产过程保证产品数量方面的能力。

#### (二) 过程能力指数

过程能力指数指过程能力满足质量要求的程度，是过程能力的量化表征。其定义公式为：

$$C_p = \frac{T}{B} = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T_U - T_L}{6s}$$

过程能力指数  $C_p$  与西格玛水平  $Z$  的含义是相近的。这从它们的变形公式可以看出：

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T/2}{3\sigma}$$

西格玛水平

$$Z = \frac{T/2}{\sigma} = \frac{T}{2\sigma}$$

### 二、过程能力指数的计算

过程能力指数是针对产品质量特性计算的，而质量特性的类别不同时计算方法也不同。



计量值质量特性分为望目值质量特性、望小值质量特性和望大值质量特性。

### (一) 望目值质量特性过程能力指数的计算

给定双向公差  $T_U$  和  $T_L$ 。

#### 1. 无偏移情况 (质量特性值的分布如图 5—1 所示)

计算公式为

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}$$

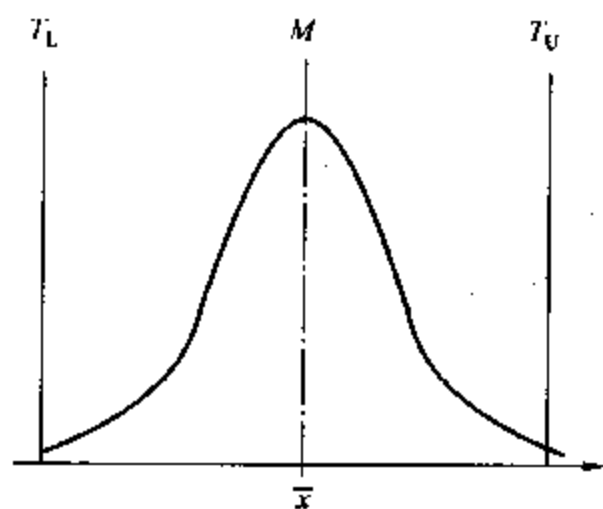


图 5—1 无偏移时的质量特性值正态分布

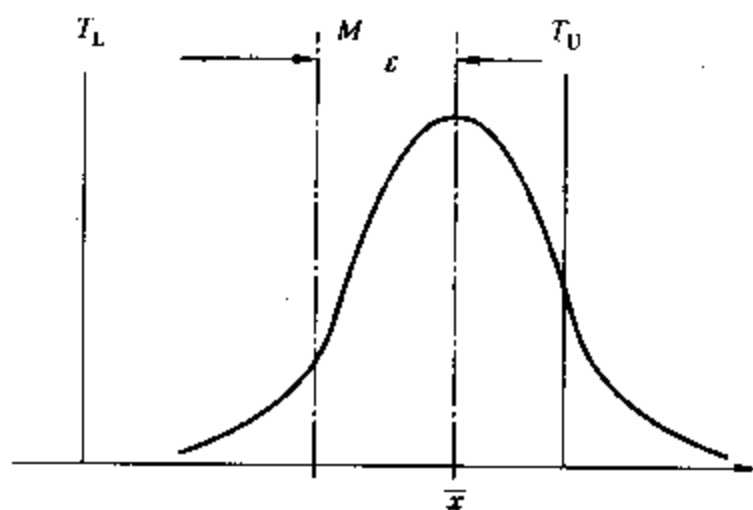


图 5—2 有偏移时的质量特性值正态分布

#### 2. 有偏移情况

当质量特性值的均值偏离目标值时, 有偏移量  $\varepsilon = |\bar{x} - M|$ , 存在的情况如图 5—2 所示, 其计算公式为

$$C_{pk} = (1 - k) C_p = \frac{T - 2\varepsilon}{6\sigma}$$

式中,  $k$  为相对偏移量 (偏移系数), 且  $k = \frac{\varepsilon}{T/2} = \frac{2\varepsilon}{T}$ 。

【例 1】某零件尺寸规格要求为  $20 \pm 0.15$ , 经抽样  $n = 100$ , 经计算  $\bar{x} = 20.05$ ,  $s = 0.05$ 。要求计算过程能力指数及过程不合格品率, 并预测若将均值 (分布中心) 调整到与目标值相等 ( $\bar{x} = M$ ) 时的质量状况。

已知: 偏移量为  $\varepsilon = 0.05$ , 相对偏移量 (偏移系数)  $k = 0.3$ ,  $\sigma \approx s = 0.05$ 。

根据过程能力指数与过程不合格率的计算公式, 分别有:

$$C_{pk} = \frac{T - 2\varepsilon}{6\sigma} = \frac{0.3 - 2 \times 0.05}{6 \times 0.05} = 0.67$$

$$\begin{aligned} p &= \Phi[-3(1+k)C_p] + \Phi[-3(1-k)C_p] \\ &= \Phi[-3(1+0.3) \times 1] + \Phi[-3(1-0.3) \times 1] \\ &= \Phi[-3.9] + \Phi[-2.1] \\ &= 0.000\ 048\ 1 + 0.017\ 86 \end{aligned}$$

$$=0.0179=1.79\%$$

若调整工艺参数,使均值(分布中心)等于目标值( $\bar{x}=M$ ),则有过程能力指数

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{0.3}{6 \times 0.05} = 1.0$$

过程不合格品率

$$\begin{aligned} p &= 2\Phi[-3C_p] = 2\Phi[-3 \times 1] = 2 \times 0.00135 \\ &= 0.0027 = 0.27\% \end{aligned}$$

从本例可以看出,对加工过程要求质量特性值等于目标值的重要意义,出现偏移量 $\varepsilon$ 是浪费固有过程能力的表现。

## (二) 望小值质量特性过程能力指数的计算

望小值质量特性值的分布如图5—3所示,其过程能力指数的计算公式为

$$C_{pu} = \frac{T_u - \bar{x}}{3\sigma}$$

【例2】某精密加工零件表面清洁度要求 $\leq 96$  mg,经抽样 $n=100$ ,计算得 $\bar{x}=48$ , $s=12$ 。要求计算过程能力指数。

解:过程能力指数为

$$C_{pu} = \frac{T_u - \bar{x}}{3\sigma} = \frac{96 - 48}{3 \times 12} = 1.33$$

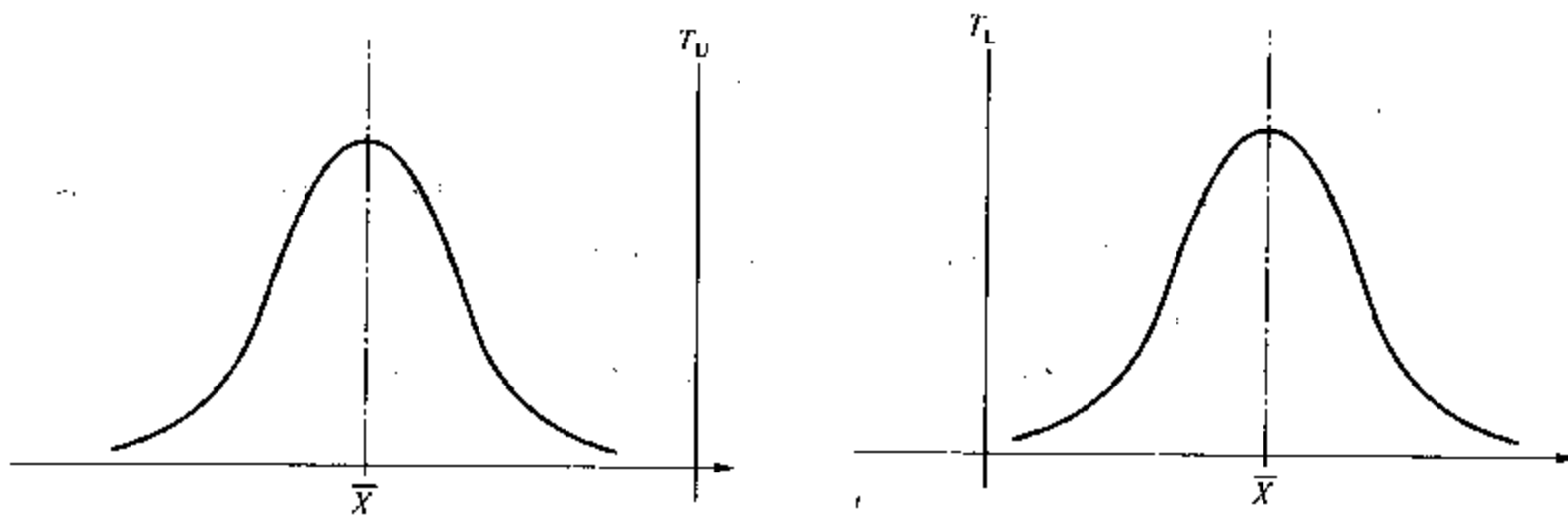


图5—3 望小值质量特性图正态分布图形

过程不合格品率为

$$\begin{aligned} p &= \Phi(-3C_{pu}) = \Phi(-3 \times 1.33) \\ &= \Phi(-3.99) = 33 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

### (三) 望大值质量特性过程能力指数的计算

望大值质量特性值的分布如图 5—4 所示, 其过程能力指数的计算公式为

$$C_{PL} = \frac{x - T_L}{3\sigma}$$

【例 3】某金属材料抗拉强度要求  $\geq 32 \text{ kg/cm}^2$ , 经抽样  $n = 100$ , 计算得  $\bar{x} = 38$ ,  $s = 1.8$ , 要求计算过程能力指数。

解: 过程能力指数

$$C_{PL} = \frac{\bar{x} - T_L}{3\sigma} = \frac{38 - 32}{3 \times 1.8} = 1.11$$

过程不合格品率

$$\begin{aligned} p &= \Phi[-3C_{PL}] = \Phi[-3 \times 1.11] \\ &= \Phi(-3.33) = 0.0004342 = 43 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

## 三、过程能力分析 with 计算的条件

### 1. 过程处于正常状态 (稳定受控状态)

过程的正常状态 (稳定受控状态) 是指过程中只有正常因素起作用, 没有异常因素作用时的状态。

对过程是否处于正常状态应进行如下验证:

(1) 应用分析用  $\bar{x} - R$  或  $\bar{x} - s$  控制图验证过程是否处于稳定受控状态 (详见本书第六章控制图的应用)。

(2) 当过程处于稳定受控状态时, 其质量特性值应服从正态分布, 则需要应用正态概率纸验证质量特性值是否服从正态分布。

### 2. 公差应完全满足顾客 (用户) 要求

(1) 产品设计时应用“质量功能展开”的方法将顾客要求转换为“规范质量”, 以保证所设定的公差能完全满足顾客 (用户) 要求, 具有最高的适用性。

(2) 产品设计时应用“质量损失函数”等方法设定目标值  $M$  和允许偏差  $\Delta$ , 或用田口方法的参数设计找出最佳公差  $T$ 。产品质量特性的公差不可随意或凭经验设定, 以保证产品质量特性公差范围的设定具有科学性。

## 四、过程能力等级评价

### (一) 传统过程能力等级评价

根据过程能力指数的数值, 传统过程能力等级评价将过程能力分为表 5—1 所示的 5 个等级。

表 5—1 传统过程能力等级评价表

| 等 级   | 特 级         | 一 级                   | 二 级                | 三 级                | 四 级      |
|-------|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------|
| $C_p$ | $\geq 1.67$ | $\geq 1.33 \sim 1.67$ | $\geq 1 \sim 1.33$ | $\geq 0.67 \sim 1$ | $< 0.67$ |
| 评 价   | 过 高         | 充 分                   | 尚 可                | 不 充 分              | 不 足      |

## (二) 传统过程能力等级评价的不足之处

(1) 认为  $C_p = 1.33$  最佳, 不符合现代质量要求;

(2) 未考虑产品质量特性重要度分级。

应以产品-过程“综合能力等级评价”方法评价

## (三) 产品-过程综合能力等级评价

产品-过程综合能力等级评价, 结合产品质量特性重要度分级并根据过程能力指数的数值进行分级, 如表 5—2 所示。

表 5—2 产品-过程综合能力等级评价表

| 过程能力等级<br>特性 | $C_p$ | 过程能力指数范围    |                       |                    |                    |          |
|--------------|-------|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------|
|              |       | $\geq 1.67$ | $\geq 1.33 \sim 1.67$ | $\geq 1 \sim 1.33$ | $\geq 0.67 \sim 1$ | $< 0.67$ |
| 关键特性 (A 类)   |       | Ⅲ           | Ⅳ                     | V                  | Ⅵ                  | Ⅶ        |
| 重要特性 (B 类)   |       | Ⅱ           | Ⅲ                     | Ⅳ                  | V                  | Ⅵ        |
| 一般特性 (C 类)   |       | I           | Ⅱ                     | Ⅲ                  | Ⅳ                  | V        |

说明: Ⅲ级为最理想状态

## (四) 对不同质量特性重要度的产品及过程应采取的措施

(1) 对具有关键质量特性的产品及过程应采取的措施如表 5—3 所示。

(2) 对具有重要质量特性的产品及过程应采取的措施如表 5—4 所示。

表 5—3 关键质量特性 产品-过程综合能力等级评价及措施

| 等 级 | 过程能力                   | 判 断  | 应采取的措施   |
|-----|------------------------|------|--|
| Ⅲ 级 | $C_p \geq 1.67$        | 理想状态 | 制定作业指导书, 实施标准化作业; 应用控制图或其他手段对过程实施控制  |
| Ⅳ 级 | $1.67 > C_p \geq 1.33$ | 低风险  | 分析影响过程能力的主要因素, 建立质量控制点   |
| V 级 | $1.33 > C_p \geq 1$    | 中等风险 | 强化质量检验, 增加检验频次, 及时反馈质量信息, 分析散差大的程度 ( $\sigma$ ) 和原因, 采取纠正和预防措施, 提高过程能力 ( $C_p$ ) |
| Ⅵ 级 | $1 > C_p \geq 0.67$    | 高风险  | 必须进行全数检验, 剔除不合格品, 或进行分级筛选, 对不可修复的产品应停止加工   |
| Ⅶ 级 | $C_p < 0.67$           | 极高风险 | 停止加工, 查明过程中的系统因素, 采取纠正措施, 进行技术改造和工艺改进, 提高过程能力 ( $C_p$ )                          |

(3) 对具有一般质量特性的产品及过程应采取的措施如表 5—5 所示。

表 5—4 重要质量特性 产品—过程综合能力等级评价及措施

| 等 级 | 过程能力                   | 判 断  | 应 采 取 的 措 施   |
|-----|------------------------|------|---|
| Ⅱ 级 | $C_p \geq 1.67$        | 能力富余 | 简化质量检验, 采取统计抽样检验或减少检验频次   |
| Ⅲ 级 | $1.67 > C_p \geq 1.33$ | 理想状态 | 对过程实施标准化作业, 应用控制图或其他手段对过程实施监控   |
| Ⅳ 级 | $1.33 > C_p \geq 1$    | 低风险  | 对产品按正常规定进行检验, 若采用统计抽样检验在抽样方案设计时应考虑合理的 AQL 值和检验水平 IL 以及检验频次            |
| V 级 | $1 > C_p \geq 0.67$    | 中等风险 | 对过程加强检验和严格监控, 采取纠正措施提高过程能力 ( $C_p$ ), 在不影响最终产品质量的前提下确认原设计不合理时适当放宽公差范围 |
| Ⅵ 级 | $C_p < 0.67$           | 高风险  | 实行全数检验, 剔除不合格品或进行分级筛选   |

表 5—5 一般质量特性 产品—过程综合能力等级评价及措施

| 等 级 | 过程能力                   | 判 断    | 应 采 取 的 措 施                                  |
|-----|------------------------|--------|--|
| I 级 | $C_p \geq 1.67$        | 过程能力过剩 | 更换机器、设备, 降低机床精度要求, 降低技术工人等级, 降低生产成本          |
| Ⅱ 级 | $1.67 > C_p \geq 1.33$ | 过程能力富余 | 采用统计抽样检验, 减少检验频次, 对装配质量没有影响的情况下适当降低机器设备的精度等级 |
| Ⅲ 级 | $1.33 > C_p \geq 1$    | 理想状态   | 对过程实施标准化作业和正常的检验和监控                          |
| Ⅳ 级 | $1 > C_p \geq 0.67$    | 低风险    | 在确认不影响最终产品质量, 经验证明原设计确实不合理的情况下适当放宽公差范围       |
| V 级 | $C_p < 0.67$           | 中等风险   | 增加检验频次, 加严检验, 如对下道工序质量有影响, 应查明原因采取纠正措施加以改进   |

## 五、有关标准对企业提高过程能力的要求

ISO 9000: 2000 标准给出“质量改进”的定义中指出: “质量改进是质量管理的一部分, 致力于增强满足质量要求的能力”。这里所指的“致力于增强满足质量要求的能力”, 就是要求组织应致力于提高过程能力。而且随着科学技术和生产力的不断发展, 对提高过程能力的要求也越来越高, 如 GB 4091—1983 标准要求  $C_p \geq 1$ , 而 GB/T 4091—2001 标准要求  $C_p \geq 1.33$ , 目前一些先进企业则要求  $C_p \geq 1.67$ 。在实施六西格玛管理时, 对提高西格玛水

平  $Z$  的要求实际与提高过程能力  $C_p$  的概念相同。

对过程能力可理解为实现目标的能力。质量管理体系的组织目标是什么？在 ISO 9004-1 标准 0.2 章“组织目标”中明确指出：为了达到目标，组织应确保影响其质量的技术、管理和人的因素处于受控状态。无论是硬件、软件、流程性材料还是服务，所有的控制都应针对减少和消除不合格，尤其是预防不合格。

其中：组织目标为“减少和消除不合格，尤其是预防不合格”。其保证手段为“技术、管理和人的因素处于受控状态”

“技术受控（过程处于技术稳态）”即采用最先进的工艺技术生产产品，使过程具备保证不出现不合格品的能力（过程能力）；“管理受控（过程处于统计稳态）”即采用现代科学方法（统计技术）实施统计过程控制，使过程具备保持不出现不合格品的能力；“人的因素受控”是技术受控和管理受控的基础，主要指职工应具有高的素质（文化水平、技能和实践经验等）。

ISO 9000 标准所以提出企业应致力于提高过程能力的要求，主要在于：提高过程能力可以有效减少企业的质量损失，增加经济效益；可以有效提高产品的可靠性，降低产品失效率；可以有效减少社会损失，降低用户的使用成本；是提高产品质量等级品率的有效途径。

结合第四章讲述的质量损失函数的概念，应明确：合格产品不一定是质量好的产品。所以，无论是企业自制产品，还是从供应商采购的产品（原材料、零部件、元器件等），都应按以上要求具有相当的过程能力。

可以想像，如果某机床的机械结构共有 10 处轴与孔的配合部位，若采购的零部件有以下 3 种情况，则可判断机床的质量状况：

(1) 所有轴径和孔径的尺寸都恰好达到设计的目标值  $M$ ：这种情况下机床运行平稳、精密程度高、使用寿命长，加工产品质量最佳。

(2) 所有轴径尺寸都恰好达到设计的上公差界限值  $T_U$ ，而所有孔径的尺寸都恰好达到设计的下公差界限值  $T_L$ 。这种情况下机床运行无功负荷加大，运行困难磨损严重，寿命低，加工产品质量差。

(3) 所有轴径尺寸都恰好达到设计的下公差界限值  $T_L$ ，所有孔径的尺寸都恰好达到设计的上公差界限值  $T_U$ 。这种情况下机床运行松弛振动严重，寿命低，加工产品质量差。

显然，当零部件生产过程的过程能力越差时，出现第 (2) 和第 (3) 种情况的概率就越大。

《中国质量报》曾经有过“机床回娘家”的报道：

广西柳州空压机二厂 60 年代中期从武汉重型机床厂购买的一台型号为 T 612 的落地镗床作为骨干设备使用。使用 28 年后因“超期服役”，被送回武汉重型机床厂请求帮助大修。机床在车间解体后经过清洗露出了原来的“靓容”：床身光滑如砥；各铸件棱角分明，厂徽线条清晰，富有美感。老机床精良的品质引来武汉重型机床厂新老职工驻足围观。这时，车间里正在装配一台同类型的新机床，新旧相比，大家看到了新机床的另一种面目，主轴箱盘带宽窄不匀，床身等处毛毛糙糙，连企业象征的厂徽也疙疙瘩瘩，使人看了很不舒服。新旧机床鲜明的反差，无形中引发了职工的纷纷议论。曾经参与那台老机床制造工作的装配一厂厂长李立和回

忆当年做这台机床时的情况,老一辈工人的工作是精益求精,严格按设计的目标值加工,质量一致性非常高,质量检验也非常严格,一遍又一遍直到满意为止;这种劲头当然出精品。担负机床大修任务的主轴箱小组组长贺新滨颇有感慨地说:看了我们前辈生产的机床感到很惭愧。虽然现在生产技术水平比过去提高了很多,但管理意识淡薄,所以产品质量不如昔日。一位老工人发问,目前生产设备比过去好,有许多引进的现代化设备;职工文化程度比过去高,管理制度比过去多,有关质量管理的规章、文件、材料堆起来有一尺多高,不下百万条;工厂上上下下、年年月月都在强调抓质量,为何今天生产的机床反而不如28年前。

## 六、提高过程能力的途径

### (一) 从计算公式进行分析

具有普遍意义的过程能力计算公式:

$$C_{PK} = \frac{T - 2\varepsilon}{6s}$$

可以看出,对分式计算而言,分子越大,分母越小,其计算结果越大。由此引出提高过程能力的途径:

- (1) 首选项:  $\varepsilon \rightarrow 0$ , 减小偏移量达到  $\bar{x} = M$ 。此举只需局部措施,是最容易实现的途径,这一点应从过程能力分析理解。
- (2) 减小标准差  $s$ 。此举需采取系统措施,需要进行系统的技术改造,实施比较困难。
- (3) 在经过验证,确实证明原设计不合理(过严)时,可适当放宽公差范围。这一措施的采纳必须非常慎重,轻易不要采用。

### (二) 提高过程能力的案例

某电子元器件企业,在外购配套轴零件的一家主要供应商供货实物质量认定中发现,在其生产过程中对轴外径尺寸测定过程能力指数达不到质量要求。由于该供应商是一家很重要的供应商,很多零部件均从该供应商采购;双方已建立战略伙伴关系。在双方的技术合作中确定了由采购方派出质量管理人员协助该供应商进行分析,找出影响过程能力的关键因素,采取措施提高轴零件加工的过程能力指数。

#### 1. 分析确定关键因素的途径——三个方面(出发点)

为准确确定影响质量问题的关键因素,应根据生成质量变异的三个方面(可以称为三个变异族)作为出发点:位置变异(零件内的变异族系);过程变异(生产过程中零件与零件之间的变异族系);时间变异(随着时间变化而产生的变异族系)。

##### (1) 位置变异(零件内的变异族系)

① 在一个零件内的变异(产生于零件内的不同位置。如:左面和右面、顶面和底面、中心和边缘、圆柱的锥度、圆柱的不圆度、铸件的壁厚、偏转等);

② 包含若干部分的单一零件中的变异(如包含许多芯片的半导体硅晶片、包含许多种

元器件类型或缺陷反复出现的印刷电路板电路等)；

- ③ 在成批加料时出现的位置或方位的变异（如多件模压加工时模腔对模腔的变异等）；
- ④ 机器对机器的变异；
- ⑤ 试验位置对试验位置的变异；
- ⑥ 操作者对操作者的变异；
- ⑦ 生产线对生产线或工厂对工厂的变异。

(2) 过程变异（生产过程中部件与部件之间的变异族系）

- ① 在生产过程中连续抽取零件与零件之间的变异；
- ② 零件组之间的变异；
- ③ 批次与批次之间的变异；
- ④ 批量与批量之间的变异。

(3) 时间变异（随着时间变化而产生的变异族系）

- ① 小时与小时之间的变异；
- ② 班次与班次之间的变异；
- ③ 每天与每天之间的变异；
- ④ 每周与每周之间的变异。

之后，根据所确定的变异族系再决定采用线索生成技术中的哪一种或哪几种方法进行分析（如图5—4所示）。

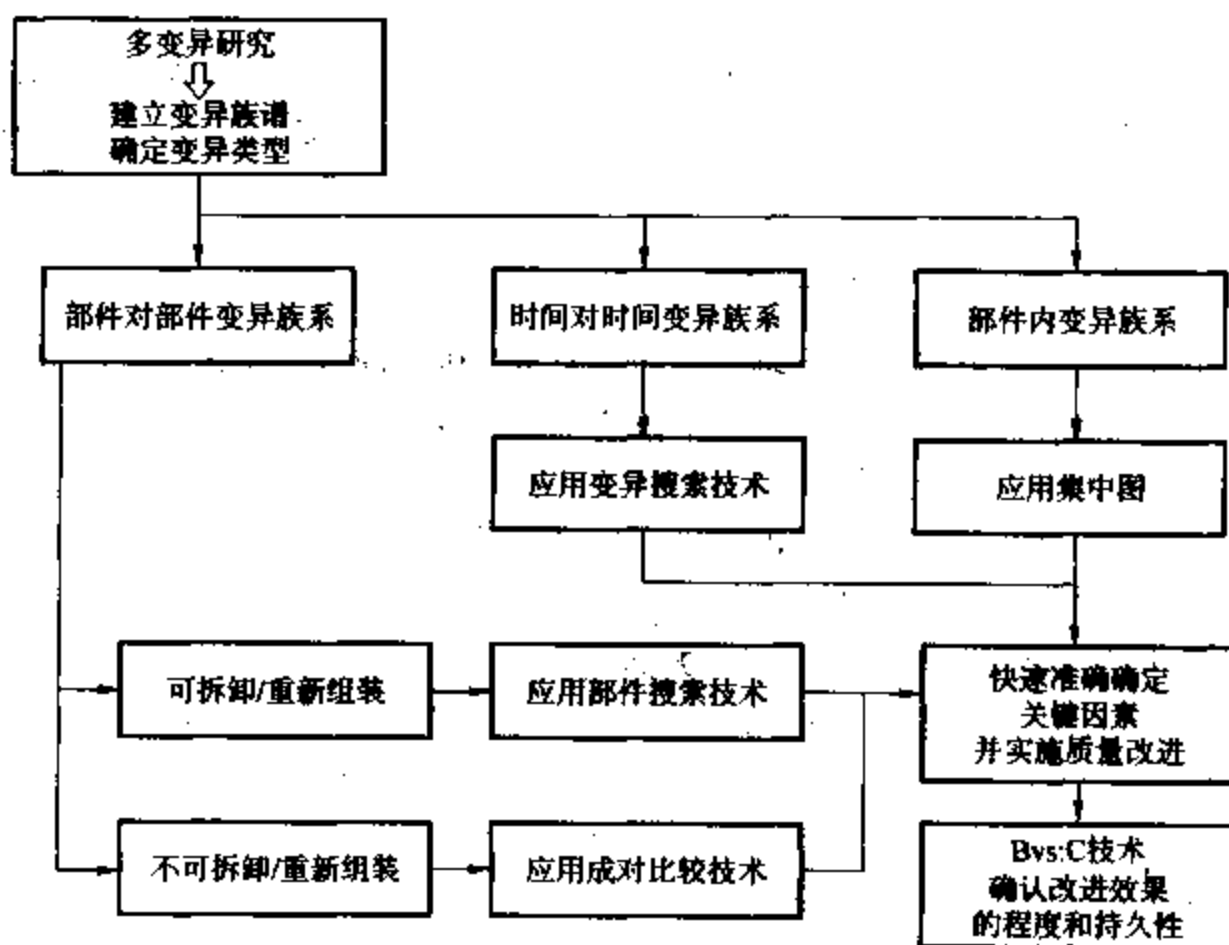


图5—4 变异族系及相应的线索生成技术



## 2. 案例状况

该供应商是专业生产为电子元件配套零部件的大型企业，供应的轴零件直径质量要求为： $\Phi(6 \pm 0.2)$  mm。经过程能力研究表明，总体标准差  $\sigma = 0.1$  mm，过程能力指数  $C_p = 0.67$ ，处于严重不足的状态。为满足顾客的需求，企业领导曾计划废弃老式车床，欲投资60万元购买一台新式车床，预计加工过程能力指数可达到1.33。在供需双方的技术合作中，质量管理部门提出，应当先进行多变异研究（多变异研究是线索生成技术中的一种方法），之后再决定是否投资购买新机床。为此，专门成立了质量改进团队。

经研究，首先绘制了图5—5的质量变异系统图（族谱图）。该质量变异系统图已包括采集数据后的计算结果。

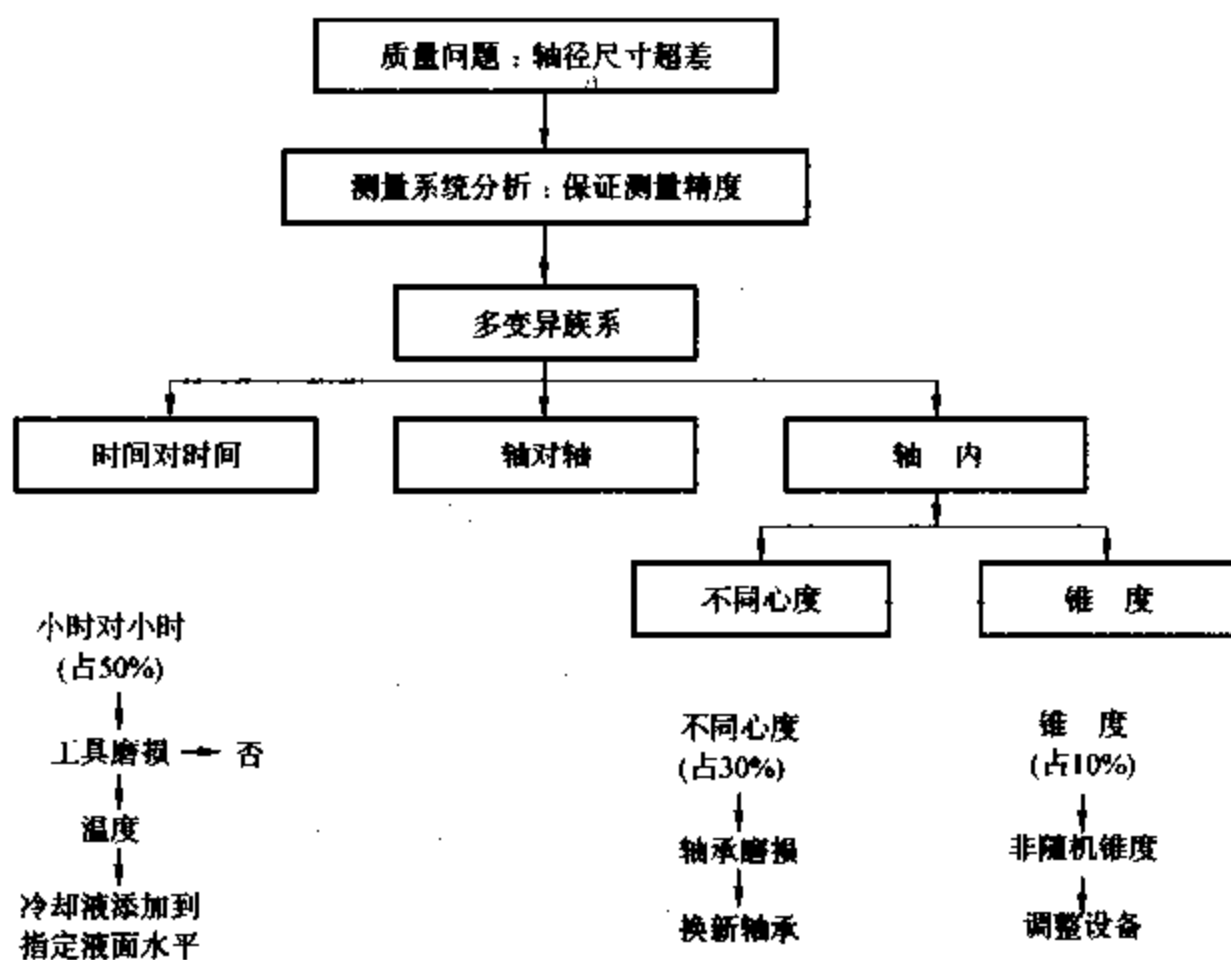


图5—5 轴零件质量变异系统图

## 3. 采集样本

由于轴径尺寸本身就是定量的，所以确定了抽样样本量后即可直接测量得到变异数据（见表5—6～表5—10的数据表）。多变异研究的采集数据要求最少应包含80%以上的质量变异数据，即80%的质量特性值分布包含 $6\sigma$ 范围的数据，否则难以保证分析结果的置信水平。

(1) 从时间对时间而言，确定分别在上午8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00抽取样本测量质量变异数据。期望在上午至少采集到80%的重要质量变异数据（即包含有 $6\sigma$ 范围内的数据）。

(2) 从轴径尺寸测量而言，确定每次取3个轴，每一个轴要进行4次测量：两次在左面，两次在右面，以对每一个轴都应从左至右测量锥度；从圆周的不同角状测量不同心度，

让轴旋转，以测量最大直径点和最小直径点。这样一来，在零件内的质量变异（位置变异）数据中，就会出现两个子族系：锥度和不同心度。

表 5—6 轴零件实测数据及相关计算表 1

|                 |       |      |      |            |       |               |        |  |
|-----------------|-------|------|------|------------|-------|---------------|--------|--|
| 时间、             | 8: 00 |      |      |            |       |               |        |  |
| 样本              |       | 左    | 右    | 平均         | 轴对轴变异 |               | 不同心度变异 |  |
| 1               | 大     | 6.18 | 6.15 | 6.12       | 0.01  | 最大值平均<br>6.17 | 0.10   |  |
|                 | 小     | 6.08 | 6.07 |            |       |               |        |  |
| 2               | 大     | 6.20 | 6.15 | 6.13       | 0.01  | 最小值平均<br>6.07 |        |  |
|                 | 小     | 6.09 | 6.08 |            |       |               |        |  |
| 3               | 大     | 6.18 | 6.17 | 6.11       | 0.01  |               |        |  |
|                 | 小     | 6.09 | 6.00 |            |       |               |        |  |
| 平 均             |       | 6.14 | 6.10 | 锥度变异: 0.04 |       |               |        |  |
| 总 平 均<br>(时间变异) |       | 6.12 |      |            |       |               |        |  |

表 5—7 轴零件实测数据及相关计算表 2

|                 |       |       |       |            |       |               |        |  |
|-----------------|-------|-------|-------|------------|-------|---------------|--------|--|
| 时间              | 9: 00 |       |       |            |       |               |        |  |
| 样 本             |       | 左     | 右     | 平 均        | 轴对轴变异 |               | 不同心度变异 |  |
| 1               | 大     | 6.10  | 6.00  | 6.00       | 0.01  | 最大值平均<br>6.05 | 0.08   |  |
|                 | 小     | 5.98  | 5.92  |            |       |               |        |  |
| 2               | 大     | 6.08  | 6.01  | 6.01       | 0.01  | 最小值平均<br>5.97 |        |  |
|                 | 小     | 6.00  | 5.95  |            |       |               |        |  |
| 3               | 大     | 6.11  | 6.00  | 6.02       | 0.01  |               |        |  |
|                 | 小     | 6.00  | 5.97  |            |       |               |        |  |
| 平 均             |       | 6.045 | 5.975 | 锥度变异: 0.07 |       |               |        |  |
| 总 平 均<br>(时间变异) |       | 6.01  |       |            |       |               |        |  |

表 5—8 轴零件实测数据及相关计算表 3

| 时间            | 10:00 |      |      |            |       |               |        |  |
|---------------|-------|------|------|------------|-------|---------------|--------|--|
| 样本            |       | 左    | 右    | 平均         | 轴对轴变异 |               | 不同心度变异 |  |
| 1             | 大     | 5.97 | 5.84 | 5.88       | 0.02  | 最大值平均<br>5.91 | 0.07   |  |
|               | 小     | 5.92 | 5.79 |            |       |               |        |  |
| 2             | 大     | 5.95 | 5.83 | 5.86       |       |               |        |  |
|               | 小     | 5.85 | 5.81 |            |       |               |        |  |
| 3             | 大     | 5.97 | 5.91 | 5.89       | 0.03  | 最小值平均<br>5.84 |        |  |
|               | 小     | 5.87 | 5.81 |            |       |               |        |  |
| 平均            |       | 5.92 | 5.83 | 锥度变异: 0.09 |       |               |        |  |
| 总平均<br>(时间变异) |       | 5.88 |      |            |       |               |        |  |

表 5—9 轴零件实测数据及相关计算表 4

| 时间              | 11: 00 |       |       |             |       |                |        |  |
|-----------------|--------|-------|-------|-------------|-------|----------------|--------|--|
| 样 本             |        | 左     | 右     | 平 均         | 轴对轴变异 |                | 不同心度变异 |  |
| 1               | 大      | 6. 18 | 6. 04 | 6. 07       | 0. 01 | 最大值平均<br>6. 12 | 0. 08  |  |
|                 | 小      | 6. 06 | 6. 00 |             |       |                |        |  |
| 2               | 大      | 6. 16 | 6. 06 | 6. 08       | 0. 01 | 最小值平均<br>6. 04 |        |  |
|                 | 小      | 6. 10 | 6. 00 |             |       |                |        |  |
| 3               | 大      | 6. 17 | 6. 10 | 6. 09       | 0. 01 | 最小值平均<br>6. 04 |        |  |
|                 | 小      | 6. 09 | 6. 00 |             |       |                |        |  |
| 平 均             |        | 6. 14 | 6. 03 | 锥度变异: 0. 11 |       |                |        |  |
| 总 平 均<br>(时间变异) |        | 6. 08 |       |             |       |                |        |  |

表 5—10 轴零件实测数据及相关计算表 5

| 时间              | 12: 00 |      |      |            |       |               |        |
|-----------------|--------|------|------|------------|-------|---------------|--------|
| 样 本             |        | 左    | 右    | 平 均        | 轴对轴变异 |               | 不同心度变异 |
| 1               | 大      | 6.10 | 6.00 | 6.02       | 0.01  | 最大值平均<br>6.05 | 0.06   |
|                 | 小      | 6.00 | 5.98 |            |       |               |        |
| 2               | 大      | 6.08 | 6.01 | 6.01       | 0.02  | 最小值平均<br>5.99 |        |
|                 | 小      | 6.00 | 5.95 |            |       |               |        |
| 3               | 大      | 6.11 | 6.02 | 6.02       | 0.02  | 最小值平均<br>5.99 |        |
|                 | 小      | 6.02 | 5.97 |            |       |               |        |
| 平 均             |        | 6.05 | 5.99 | 锥度变异: 0.06 |       |               |        |
| 总 平 均<br>(时间变异) |        | 6.02 |      |            |       |               |        |

将测量数据绘制如图 5—6 所示的多变异图。

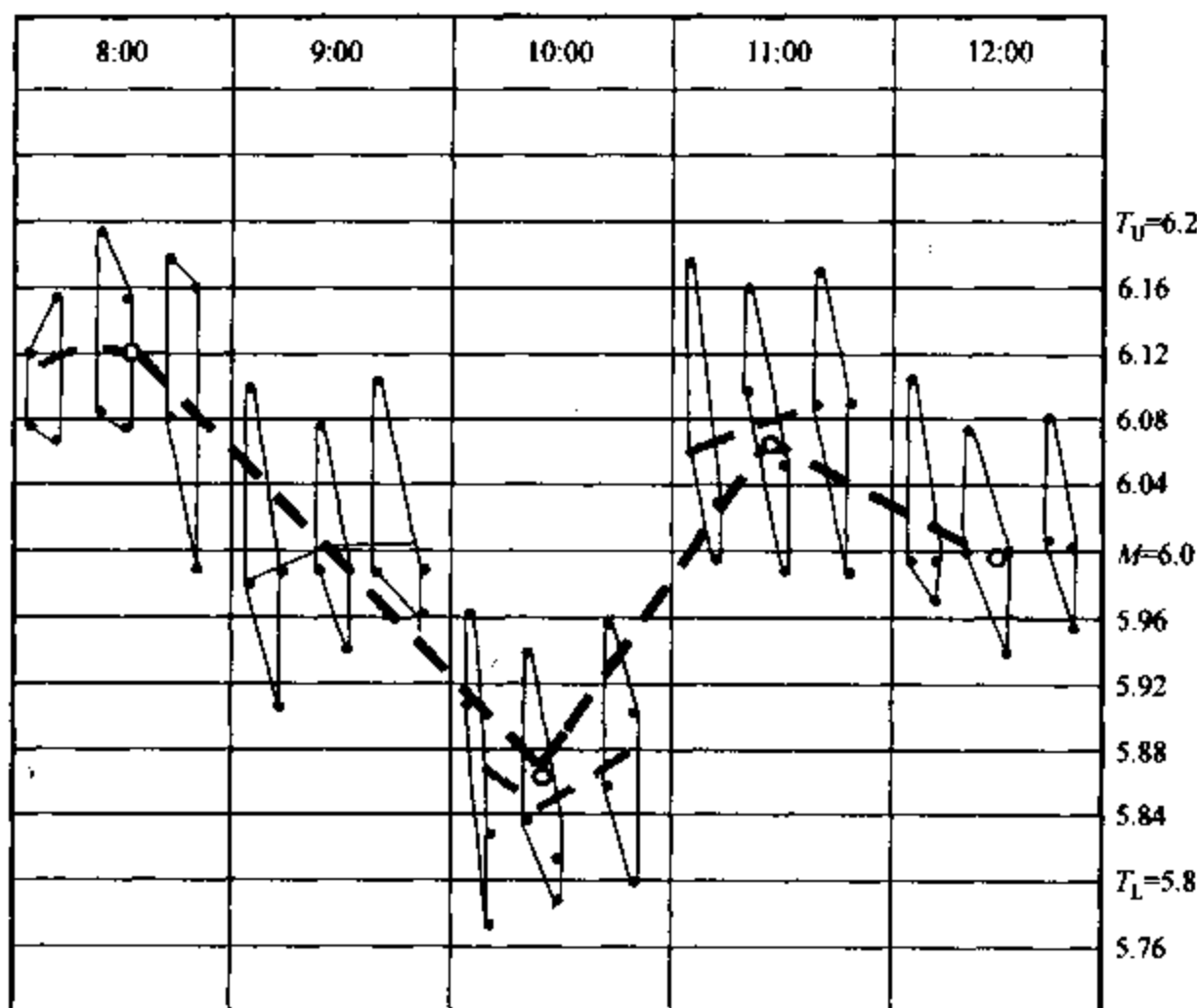


图 5—6 轴零件轴径尺寸多变异图

\* 注：多变异图的解释：

(1) 每一个时间测量 3 个轴径的 4 次测量数值用圆点在多变异图中标出。每一个轴的测量数值用直线连接，表现出轴的锥度和不同心度。

(2) 连接每一个轴的 4 个测量值平均值，用虚线连接表示的是过程质量变异（制造过程中的部件对部件的质量变异）。

(3) 双虚线则表示时间对时间的质量变异（周期性质量变异）。

#### 4. 多变异分析

即使对多变异分析技术不了解的人，对图 5—6 的多变异图一看也会发现，最大的质量变异似乎是时间对时间的变异。从 8:00 到 9:00 这一时间变化过程中，轴径尺寸在减小，到 10:00 进一步在减小；但是在 10:00 和 11:00 之间，情况又向反方向发展。是什么原因造成这种时间对时间的质量变异？工长怀疑是刀具磨损所造成的，但如果刀具磨损是原因的话，测量数值在 8:00 到 10:00 这段时间内应上升可是实际反而在下降，这就排除了刀具磨损这一原因。从 10:00 到 11:00 发生的反向现象提供了一条有效的线索。在一般情况下 10:00 左右会发生什么问题？工间休息！当下一个轴在 11:00 被采样时，测量数值的情况如同在 8:00 开始生产时一样了。这样一来，工长立即将时间变异与温度变异等同起来，因为随着车床自 8:00 起由于连续运转，使温度逐渐升高，所以造成到 9:00，再到 10:00，测量值变低了；但是，当工人工间休息关掉车床后，温度又降低到和早晨 8:00 时的情况一样。因此，较低的温度条件就导致了 11:00 时样本的测量值又恢复到和 8:00 时

样本的测量值相同。经分析,认为温升可能是由于箱中冷却液的量不足造成的。经确认是冷却液的液位降低了,当将冷却液添加(提升)到指定的液位之后,这种为数占允许误差数量达 50% 的时间对时间的质量变异几乎被消除了(降到 0)。这表明了我们怎样从时间线索引导到温度线索,再由温度线索引导到冷却液液位,则关键因素找到了。

零件对零件的质量变异(过程质量变异)只占总允许误差的 5%,是微乎其微的,不值得花费时间去研究。

零件内的质量变异(即正向控制)则有两个显著的子变异族系,一个是不同心度,占总允许误差的 30%;另一个是锥度,占总允许误差的 10%。每个轴的不同心度的存在是由于卡盘轴的轴承磨损造成的,更换了新的轴承就又消除了 30% 的质量变异。每个轴的锥度显示出是一个非随机性的变异,所有 15 个轴的测量值都是左面高于右面(从多变异图中搜索这样的非随机性质量变异的趋势以便提供有力的线索是很重要的)。由此可得到结论:由于刀具在从左到右切削轴时,不平行于轴的中心线造成了轴的锥度。只需稍稍调整一下导轨,即可将锥度完全消除,则使质量变异又减少 10%。

将以上变异量化和修正的结果归纳于表 5—11 则可清楚地看出改进的效果。

表 5—11 轴零件质量变异量化和修正的结果表

| 变异族   | 变异子族  | 占总变异的比例<br>(%) | 变异原因   | 变异修正  | 变异减少的比例<br>(%) |
|-------|-------|----------------|--------|-------|----------------|
| 时间对时间 | 小时对小时 | 50             | 冷却液液位低 | 冷却液加量 | 接近 50          |
| 部件内   | 不同心度  | 30             | 轴承磨损   | 换新轴承  | 接近 30          |
|       | 锥度    | 10             | 设置不当   | 调整导轨  | 接近 10          |
| 部件对部件 | 轴对轴   | 5              | ?      | ——    | ——             |

概括而言,对轴零件加工的多变异研究获得了非常显著的成效。在随后的生产过程中,总变异由原来的 0.6 mm 下降为 0.06 mm,使过程能力指数达到  $C_p = 6.67$ 。所得到的效果是不合格品率几乎为零,因而没有必要再购买新设备,从而节省了 60 万元的购买资金。

显然,通过对从轴零件加工多变异研究,大幅度提高了零件加工的过程能力指数,显示了供需双方技术合作的成就。这在供应商质量控制工作中是非常有意义的案例。而且通过这一案例的研究,给我们一个深刻的教训,就是很多企业常常没有对暗藏的质量变异原因进行调查研究,就把旧机器或生产过程当作“垃圾”而丢弃。我们的经验表明,90% 以上的类似案例是可以鉴别出并修正故障原因的,从而无需承受沉重的资本投资负担。应该注意到,像日本等一些科技发达的国家,他们一方面在自己的企业中应用多变异研究,在旧机器中仔细地寻找变异的原因,一方面向国外推销价格昂贵的新式机器设备。我们的企业家和质量管理人员,应当认清这种局面,学习并掌握多变异研究的理论和方法,在不断提高产品质量水平的同时,不断降低生产成本,在质量改进过程中为企业创造巨额的经济效益。

这里还需特别强调,通常人们是采用因果图(或因素展开型系统图、关联图)作为原因分析工具,但这些方法都属于情理型工具,并不具有统计特征,其分析结果与分析人员的

素质（知识面、专业技术知识、工作经验等）有很大关系，分析结果往往会因人而异，也不具有确定的置信度。而本案例所应用的线索生成技术，是量化的数据统计分析技术，具有很强的统计特征和确定的置信度，是快速、准确地确定影响质量问题关键因素的有效工具。

对于初次应用多变异研究的人员，图 5—6 这样的多变异图也许不能适应其分析方法，此时则可绘制另一种如图 5—7 的多变异图。在绘制多变异图时，既可以把各种变异族系综合在一个图中，也可以对每一个族系或子族系分别进行绘制。当族系和子族系的总数不超过 3 个或 4 个时，最好采用第 1 种方法。若族系和子族系的数量较多时，绘制在一个图中必然使图变得很复杂，给多变异分析造成不必要的困难。在轴加工多变异研究的案例中，虽然只有 4 个变异族系，前面所绘制的多变异图对于一个初次作多变异分析的人而言，确实太复杂了。当变异族系多于 4 个时，分开显示每一个变异族系是一种可取的方法。图 5—7 就是将轴零件加工的多变异图分开来绘制的图形。

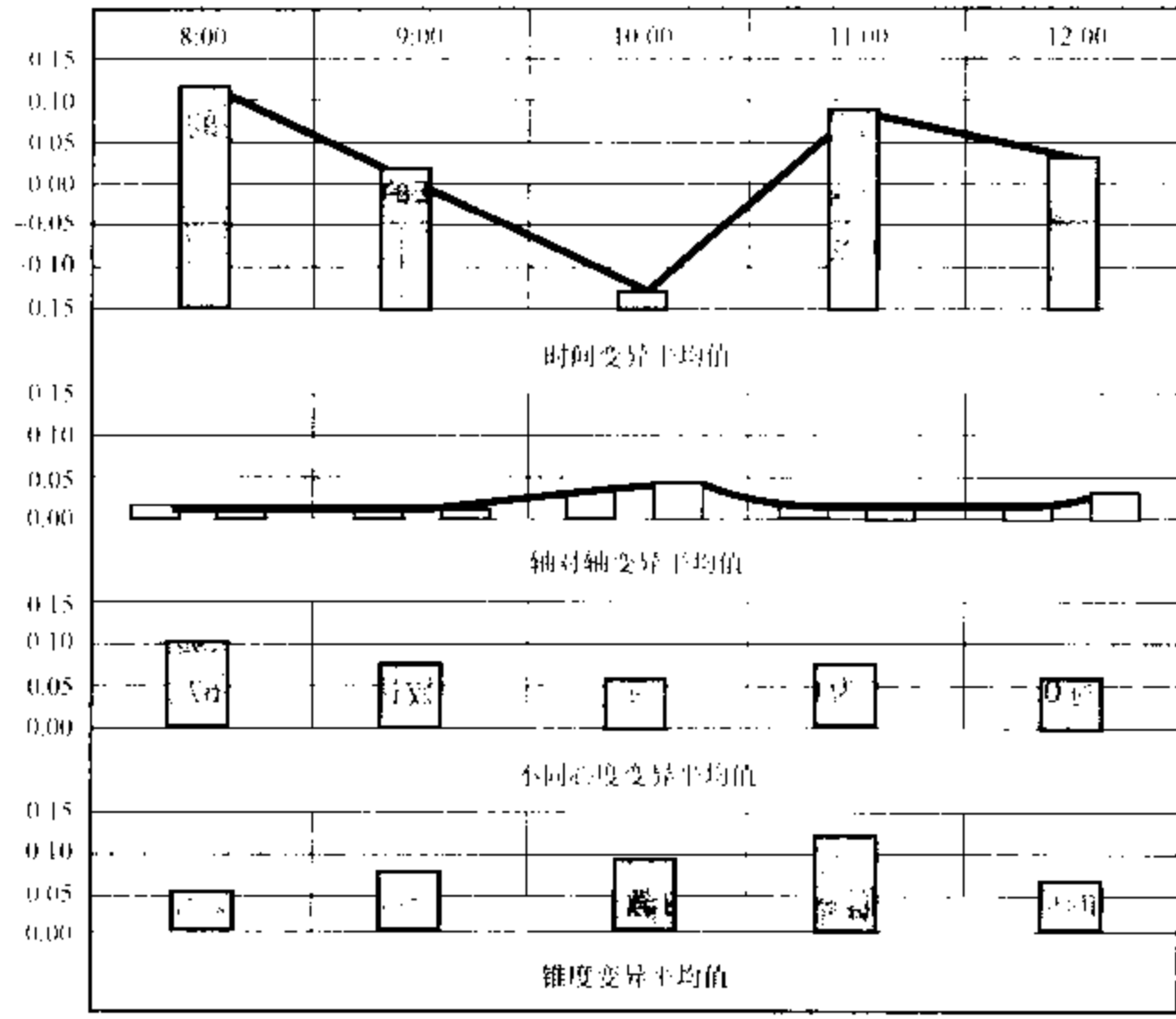


图 5—7 分开绘制的轴零件加工多变异图

七、C 系列过程能力指数与 P 系列过程性能指数

过程能力指数  $C_p$  值是短期内计算的结果。对过程能力指数要求过程必须处于正常状态（统计稳态）下进行计算。过程性能指数  $P_p$  值是长期内计算的结果。过程性能指数不要求过程必须处于正常状态（统计稳态）。对于过程而言，长期内计算的  $\sigma_p$  值有可能大于短期

内计算的  $\hat{\sigma}_s$ 。因此, 要求过程必需实施持续质量改进就是逐步减小  $\hat{\sigma}_1$ , 使之不断向  $\hat{\sigma}_s$  逼近。根据  $\hat{\sigma}_1$  与  $\hat{\sigma}_s$  的差值 (称为过程稳定系数) 可以对过程的稳定性进行评定, 过程能力指数及性能能力指数的计算公式列于表 5-12。

过程稳定系数:  $d_s = \hat{\sigma}_1 - \hat{\sigma}_s$

过程相对稳定系数:  $d_m = \frac{\hat{\sigma}_1 - \hat{\sigma}_s}{\hat{\sigma}_1}$

- (1) 若  $d_m < 10\%$ , 则判定过程接近于稳定;
- (2) 若  $10\% \leq d_m < 20\%$ , 则判定过程不太稳定;
- (3) 若  $20\% \leq d_m < 50\%$ , 则判定过程不稳定;
- (4) 若  $50\% \leq d_m$ , 则判定过程很不稳定。

图 5-8 所示的是过程稳定时的过程性能指数图形; 图 5-9 所示的是过程不稳定时的过程性能指数图形。表 5-12 列出的是过程能力指数及性能能力指数的计算公式。

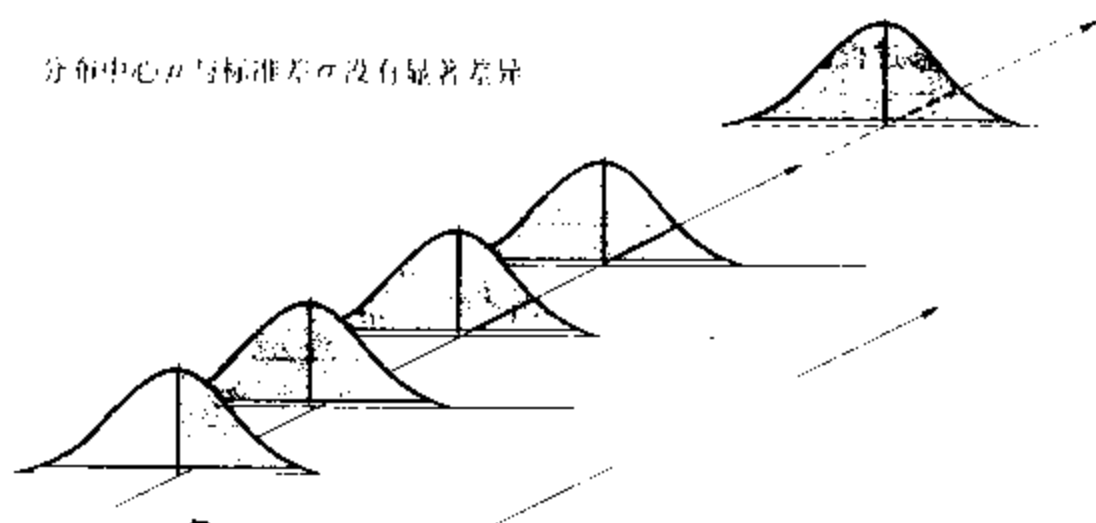


图 5-8 过程稳定时的过程性能指数图形

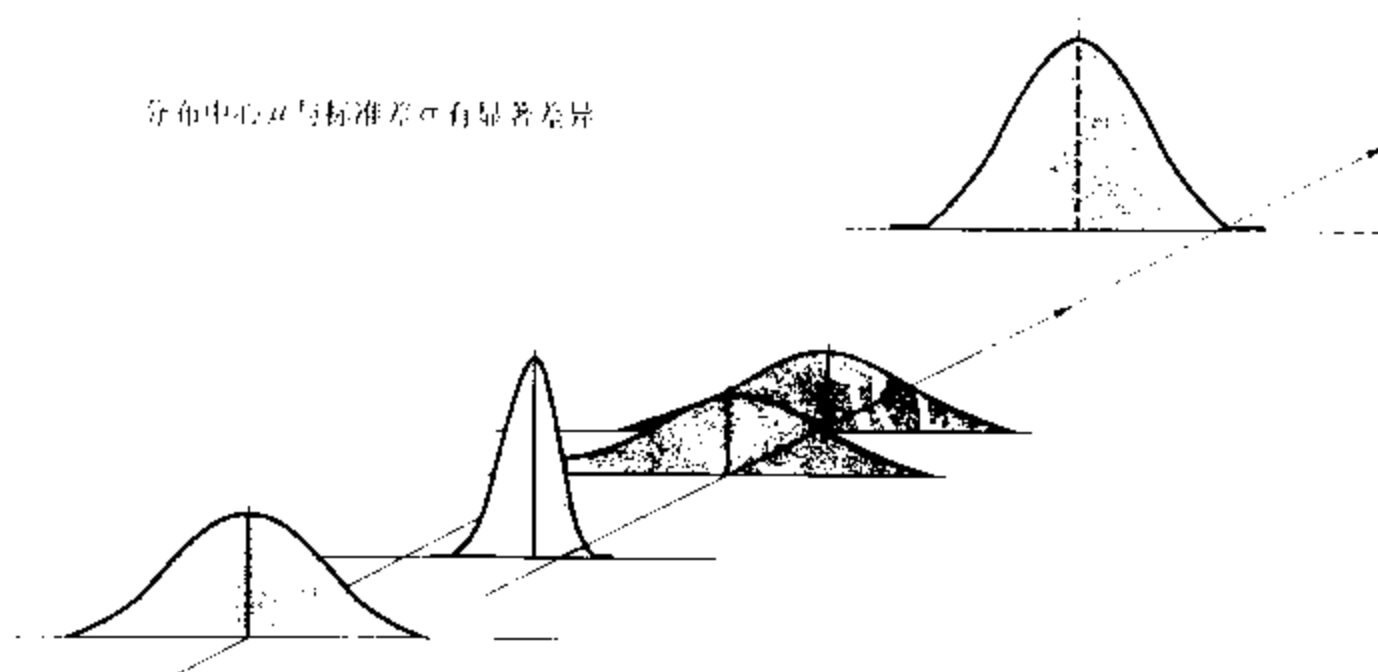


图 5-9 过程不稳定时的过程性能指数图形

表 5—12 过程能力指数及性能能力指数的计算公式

| 系 列        | 符 号      | 名 称                    | 计 算 公 式   |
|------------|----------|------------------------|---|
| C 系列过程能力指数 | $C_p$    | 望目值质量特性<br>无偏移短期过程能力指数 | $C_p = \frac{T}{6\sigma_s} = \frac{T_U - T_L}{6s}$                  |
|            | $C_{pk}$ | 望目值质量特性<br>有偏移短期过程能力指数 | $C_{pk} = (1 - k) C_p = \frac{T - 2\varepsilon}{6s}$                |
|            | $C_{pu}$ | 望小值质量特性<br>短期过程能力指数    | $C_{pu} = \frac{T_U - \mu}{3\sigma_s} = \frac{T_U - \bar{X}}{3s}$   |
|            | $C_{pl}$ | 望大值质量特性<br>短期过程能力指数    | $C_{pl} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma_s} = \frac{\bar{X} - T_L}{3s}$   |
| P 系列过程能力指数 | $P_p$    | 望目值质量特性<br>无偏移过程性能指数   | $P_p = \frac{T}{6\sigma_L} = \frac{T_U - T_L}{6s}$                  |
|            | $P_{pk}$ | 望目值质量特性<br>有偏移过程性能指数   | $P_{pk} = \min(P_{pu}, P_{pl})$                                     |
|            | $P_{pu}$ | 望小值质量特性<br>过程性能指数      | $P_{pu} = \frac{T_U - \mu}{3\sigma_L} = \frac{T_U - \bar{x}}{3s_L}$ |
|            | $P_{pl}$ | 望大值质量特性<br>过程性能指数      | $P_{pl} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma_L} = \frac{\bar{x} - T_L}{3s_L}$ |



请勿用于商业用途或准商业用途，  
请于下载后24小时内删除！如无法遵守此规定，则谢绝下载！！  
吴国林 MSN: colin\_21st@hotmail.com



## 第六章 控制图的应用

### 一、控制图的定义和功能

#### (一) 控制图的定义

在 ISO 9004-4 标准中对控制图的说明可作为控制图的定义：

“控制图是用于区分异常或特殊原因所引起的波动和过程所固有的随机波动的一种统计工具。”

以上定义可由控制图的两种解释加以理解：

第一种解释：控制图对过程异常报警的理论依据是“小概率事件原理”。以过程中的小概率事件定义为异常事件，当过程中受到异常因素的影响而发生异常质量波动时，控制图将在其图形上显示出过程异常的检验模式（见本章二（二）控制图对过程异常的判断的有关内容）。

第二种解释：影响质量变异有两大类因素，因而过程中存在两种质量波动。对正常因素（随机因素）所引起的正常质量波动，必需限制在合理的范围内；任何过程必需杜绝由异常因素（系统因素）引起的异常质量波动。实现这一状态的过程，称为稳定受控过程，是任何产品生产所追求的目标。

结论：常规控制图的实质是为了区分正常因素（随机因素）和异常因素（系统因素）两类不同因素的作用。

#### (二) 控制图的功能（用途）

##### 1. 诊断功能

控制图可用于评估一个过程的稳定性，即判断过程是否处于稳定受控状态。若供应商所供产品的生产过程不稳定，产品质量波动过大，必将导致本企业生产过程的不稳定。

所谓稳定受控状态（统计稳态）是指过程中只有正常因素起作用，且完全杜绝了异常因素作用的过程。稳定受控状态是过程控制的基准，是生产过程追求的目标。因而在控制状态下具有很多优越性：

- (1) 产品质量有完全的把握。
- (2) 生产是最经济的。
- (3) 过程的质量变异达到最小。

##### 2. 控制功能

决定某一个过程何时需要调整，何时需要保持原有状态。即当过程不稳定或过程能力不能满足要求时，应对过程实施质量改进。任何企业不仅要在本企业生产产品实施持续质量改进，而且对供应商所提供的产品也同样要求实施持续质量改进。

### 3. 确认功能

确认某一过程的改进效果。

显然，由于控制图具有以上三项功能，所以将成为实施供应商质量控制过程中的重要统计方法。

## 二、控制图的设计原理

### (一) 正态分布的重要结论启发了控制图的发明

#### 1. 休哈特的设想

对过程中百分之百的质量数据进行控制是不可能的，那么在过程中应控制多少质量数据可以实现过程控制呢？休哈特受到如图 6—1 所示的正态分布重要结论的启发，认为若能控制 99.73% 的数据（质量数据正态分布的  $\pm 3\sigma$  范围），则过程基本受控。

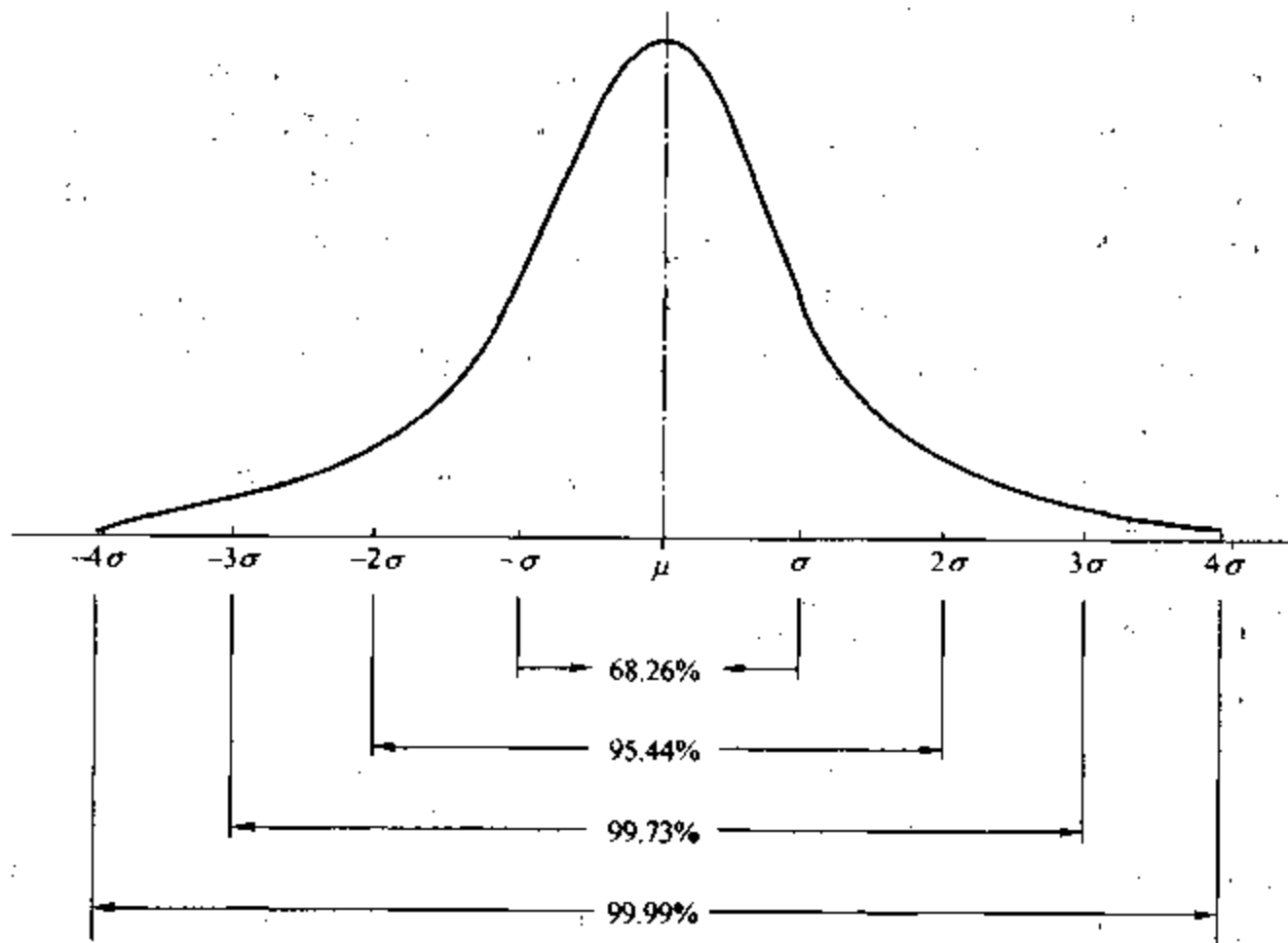


图 6—1 正态分布的重要结论（典型区间概率分布）

#### 2. 控制图的形成

根据休哈特的设想，将过程处于正常状态时的正态分布曲线逆时针转  $90^\circ$ ，使质量特性值增加的方向垂直向上，分别将  $\mu$ ， $\mu + 3\sigma$  和  $\mu - 3\sigma$  设定为控制界限，并记为  $\bar{CL}$ ， $UCL$  和  $LCL$ ，这样就得到了一张控制图。休哈特后期，将控制图的图形作了修改，分别在  $\mu \pm \sigma$  和  $\mu \pm 2\sigma$  处增加四条线，与原有的  $\bar{CL}$ ， $UCL$  和  $LCL$  共 7 条线，将控制界限内划分为 6 个区域。靠近中心线两侧为 2 个 C 区，C 区以外为两个 B 区，B 区以外为两个 A 区（如图 6—2

所示)。这一修改,使控制图对过程异常判断的精确度大幅度提高。

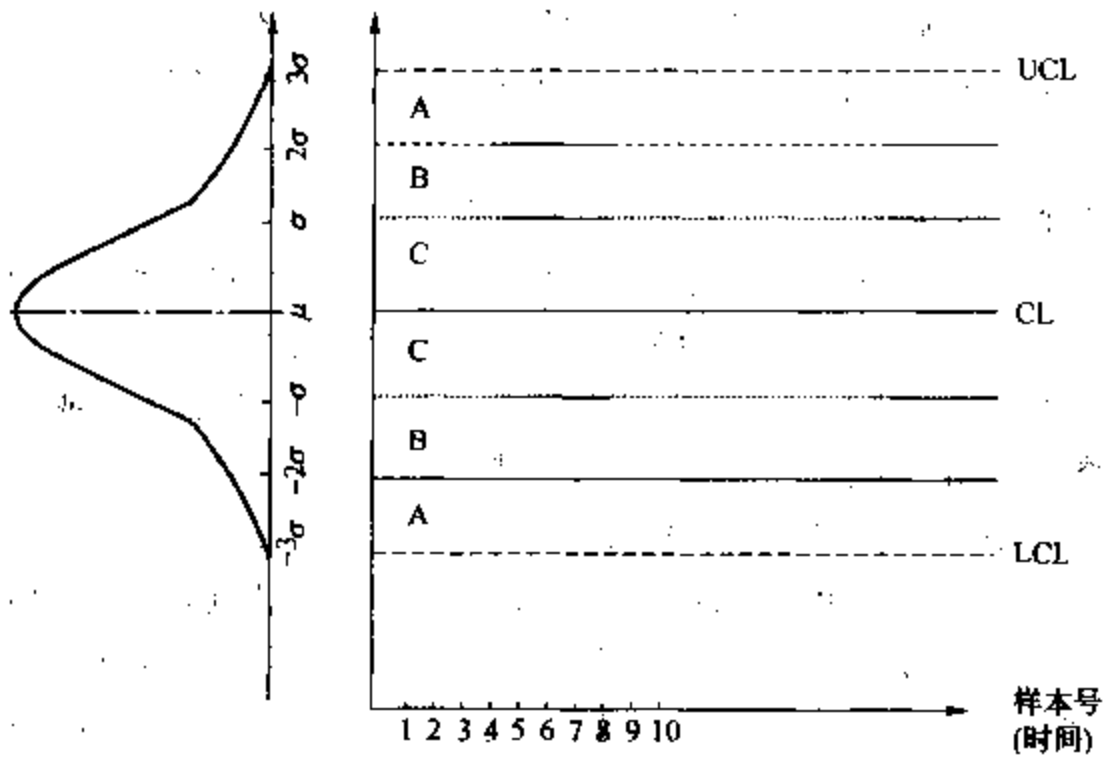


图 6—2 控制图的图形

## (二) 控制图的控制作用

控制图是通过对过程质量特性值进行测定、记录、评估从而可以监察过程是否处于统计控制状态的用一种统计方法所设计的图。图中根据过程质量特性值正态分布而设计的中心线 CL、上控制限 UCL、下控制限 LCL, 并有按时间顺序抽取的样本统计量数值的描点序列 (通俗地讲, 控制图的操作方法就是“按时打点”)。见图 6—3。

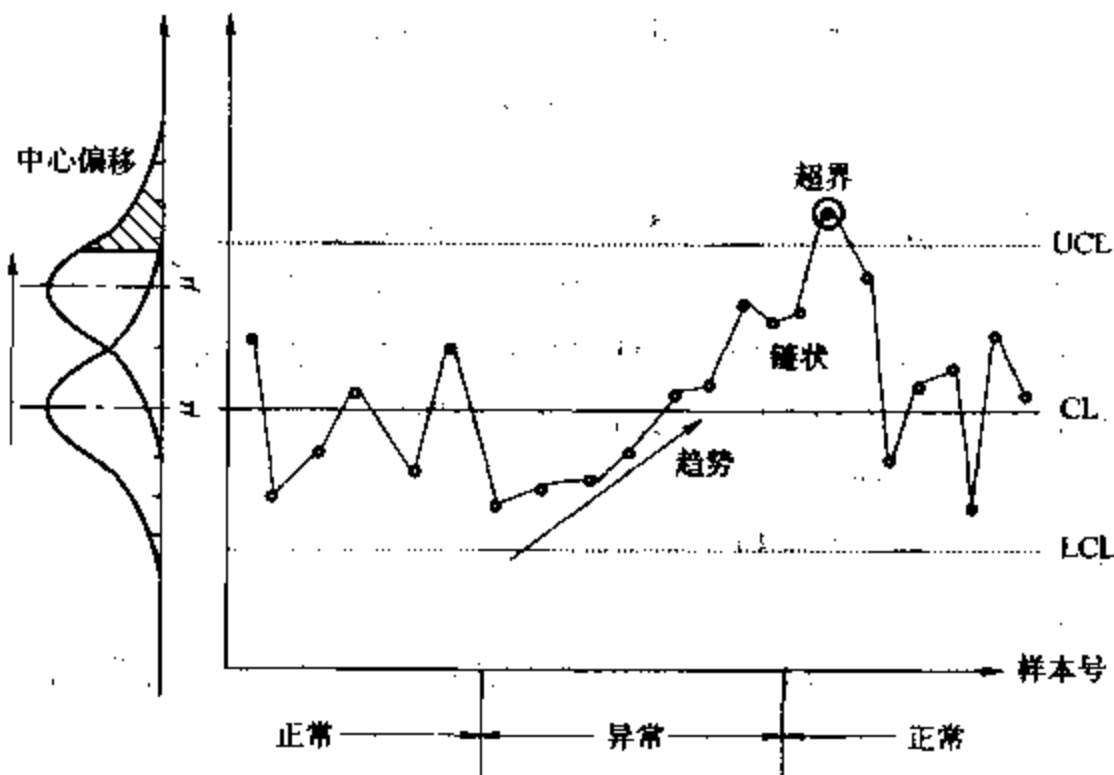


图 6—3 控制图对过程实施控制作用的示意图

(1) 控制图是由过程处于正常状态时质量特性值实际分布正负三倍标准差范围内正态分布曲线转化而来。控制图所控制的对象是质量特性值实际分布（典型分布） $\pm 3\sigma$  范围内的正态分布，所以无论是望目值、望小值、望大值质量特性的控制图，都同样存在上、下控制界限和控制中心线。

(2) 由于上下控制界限是按  $\pm 3\sigma$  设计，所以在正常状态下，控制图有 99.73% 的点子落在控制界限内，并在中心线两侧随机分布。一旦过程发生异常质量波动，控制图中的描点就会出现超出控制界限（超界）或在控制界限内排列不随机（趋势、链状等）。所以，如果控制图内出现“趋势”、“链状”、“超界”等现象，表明过程中有异常先兆或异常，即向生产者和管理者报警。控制图捕捉异常先兆后，生产者和管理者应立即进行质量分析，确定造成异常的关键因素并采取措施加以消除，使过程恢复正常。

特别提示：控制图的作用是及时报警。只在控制图上描点是不可能起到预防作用的。现场第一线的工程技术人员，特别是工艺工程师，必须把推行统计过程控制作为日常工作的一部分，而质量管理人员则应起到组织、协调、监督、鉴定与当好领导参谋的作用。

### 三、控制图的分类

在 GB/T 4091-2001 标准中，对控制图分别按控制图的用途、按被控对象的数据性质和按是否给定分布参数三种方法进行分类。

#### （一）按控制图的用途进行分类

按控制图的用途可分为分析用控制图和控制用控制图。

##### 1. 分析用控制图（过程分布参数未知的阶段）

分析什么？

(1) 过程是否处于统计稳态（正常状态、稳定受控状态）；

(2) 过程是否处于技术稳态（过程能力指数是否满足要求）。

过程是否处于统计稳态和技术稳态可见图 6—4 所示的 4 种情况：

状态 D：统计稳态和技术稳态同时达到要求，最理想。

状态 C：统计稳态未达到，技术稳态达到。

状态 B：统计稳态达到，技术稳态未达到。

状态 A：统计稳态与技术稳态均未达到。

显然，状态 A 最不理想，也是生产现场所不能容忍的，需加以调整，使之逐步达到状态 D。

在实施供应商质量控制过程中，需应用分析用控制图验证供货产品生产过程的稳定性，同时进行过程能力分析，期望供应商提供产品的生产过程应处于 D 状态。

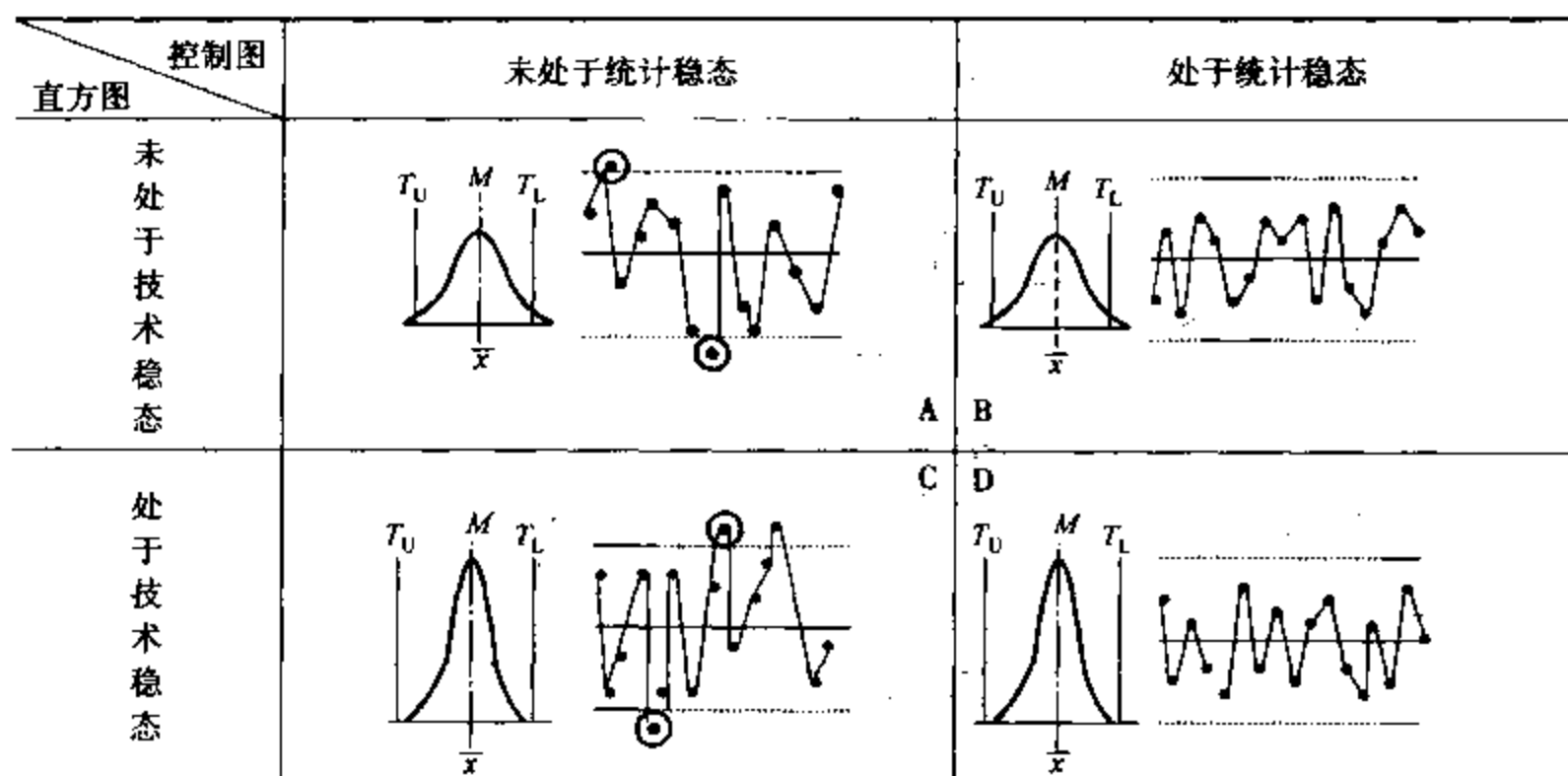


图6—4 过程的4种状态

## 2. 控制用控制图

当过程达到既处于统计稳态，又处于技术稳态的状态D时才能将分析用控制图的控制界限延长，转化为控制用控制图，对过程实施日常控制。这一转化过程相当于生产过程的立法，故由分析用控制图转化为控制用控制图时应当有正式的交接手续。

过程中的异常总是有限的，控制图的作用在于捕捉异常先兆，之后采取措施将异常消除。对异常捕捉一个，消除一个，总会将过程中的异常全部消除，所以过程的稳定受控状态是完全可以实现的。

分析用控制图一般由质量控制工程师负责实施；控制用控制图一般由工艺工程师负责实施。交接过程中既要用到“判稳准则”，又要用到“判异准则”。进入日常质量控制后，关键是保持确定的状态。经过一个阶段的过程控制后，有可能会出现新的异常，这时应查出异常因素，采取必要的纠正和预防措施，消除异常因素，使过程恢复稳定受控状态。当过程的技术状态发生变化时，如质量改进、原材料改变、设备更新、工艺方法改进等，应重新作分析用控制图，重复以上工作。图6—5所示的是分析用控制图与控制用控制图的关系。

在实施供应商质量控制过程中，需应用控制用控制图对供货过程实施质量控制。供应商的供货过程保持稳定是使用方产品质量保证的重要条件。

## (二) 按被控制对象的数据性质分类

### 1. 计量值控制图

计量值控制图适用于对计量值质量数据的样本分布特征值实施控制。计量值控制图是根据正态分布所设计，由于正态分布的特征值——分布中心 $\mu$ 和标准差 $\sigma$ 是相互独立的数据，必须分别实施控制。所以，计量值控制图都是两图联合使用，二者缺一不可。

计量值控制图主要包括：

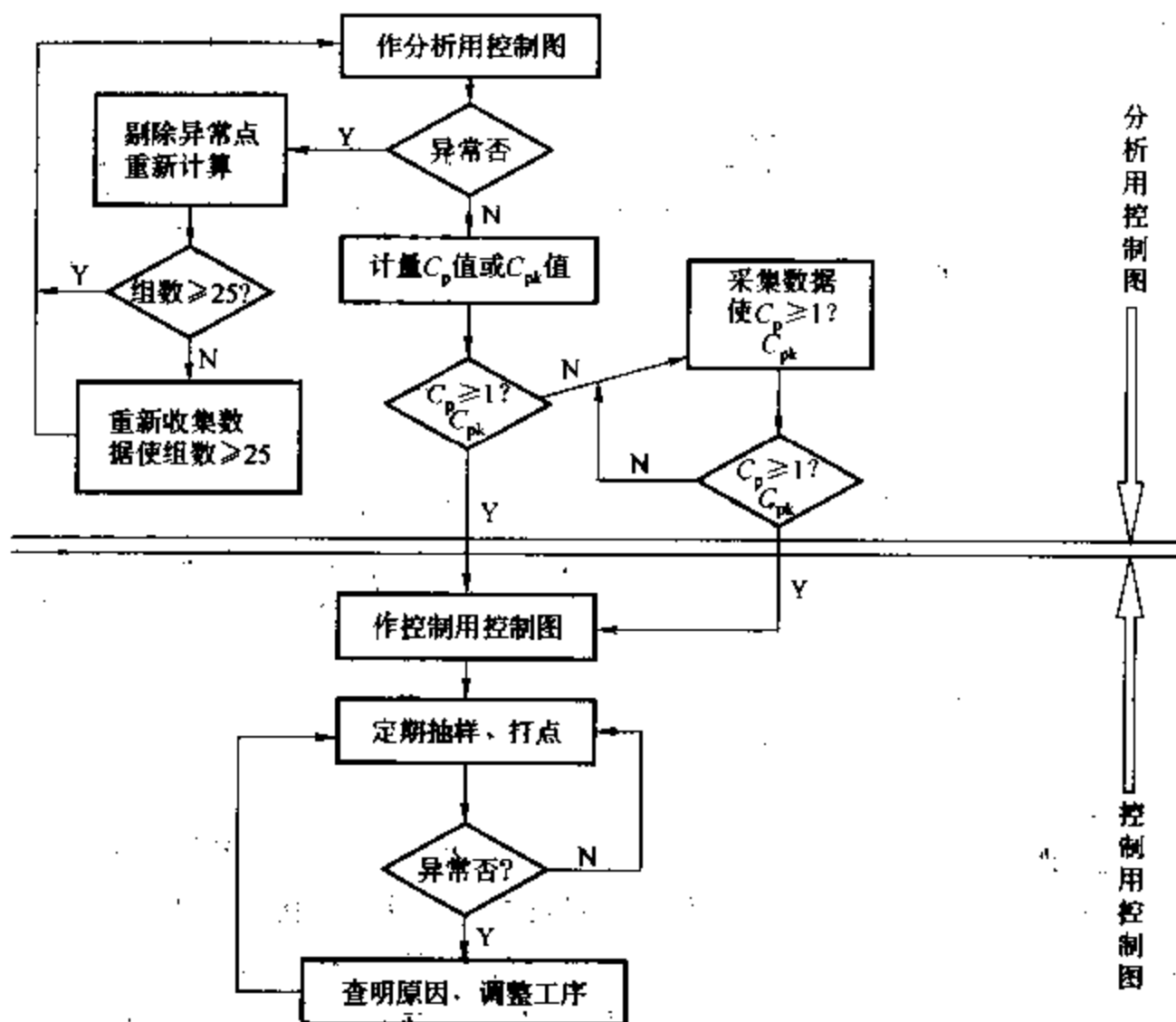


图 6—5 分析用控制图与控制用控制图的关系

- (1) 均值 ( $\bar{x}$ ) - 极差 ( $R$ ) 控制图;
- (2) 均值 ( $\bar{x}$ ) - 标准差 ( $s$ ) 控制图;
- (3) 中位数 ( $\bar{x}$ ) - 极差 ( $R$ ) 控制图;
- (4) 单值 ( $x$ ) - 移动极差 ( $R_s$ ) 控制图。

## 2. 计数值控制图

计数值控制图适用于对计数值质量数据的样本分布特征值实施控制。其中计件控制图是根据二项分布所设计; 计点控制图是根据泊松分布所设计。二项分布和泊松分布的特征值 (分布中心和标准差) 都是相关数据, 知其一即可计算出其二, 也就是说只要控制了其中一个特征值, 另一个特征值同时受控。由于分布中心值的计算要比标准差的计算容易, 所以计数值控制图是单图使用, 只控制分布中心值。

计数值控制图主要有:

- (1) 不合格品率 ( $p$ ) 控制图;
- (2) 不合格品数 ( $pn$ ) 控制图;
- (3) 缺陷数 ( $c$ ) 控制图;
- (4) 单位缺陷数 ( $\bar{a}$ ) 控制图。

### (三) 按是否给定分布参数分类

#### 1. 给定分布参数控制图

由顾客或标准给定过程分布参数, 如: 分布中心  $\mu = M$  和标准差  $\sigma$ 。既然给定过程分布参数, 过程实际分布必须符合给定的参数, 则不需要再作分析用控制图去取得分布参数 (当然, 在需要对过程稳定性进行判断时还是需要应用分析用控制图), 而使用给定参数设计控制用控制图。在科学技术水平达不到一定程度的情况下, 很难实现使用给定分布参数控制图的条件。

#### 2. 未给定分布参数控制图

由于未给定分布参数, 所以必须作分析用控制图取得过程实际分布的分布参数, 并以分析用控制图验证取样过程:

- (1) 处于“统计稳态”, 即分析用控制图中没有八个检验模式出现。
- (2) 处于“技术稳态”, 即过程能力指数  $C_p$  或  $C_{pk} \geq 1.33$ 。

## 四、控制图的特性及应用的重要性

### (一) 控制图的两类错误和检出力

#### 1. 第 I 类错误 (弃真, 弃真概率记为 $\alpha$ )

第 I 类错误 (弃真) 是将正常的过程判为异常, 即虚发警报, 将造成寻找根本不存在的异因的损失。

影响因素: 控制界限幅度 (上下控制界限的间距)。

当采用  $3\sigma$  原则设计控制图时,  $\alpha = 0.0027$ 。

#### 2. 第 II 类错误 (取伪, 取伪概率记为 $\beta$ )

第 II 类错误 (取伪) 是将异常的过程误判为正常, 即漏发警报, 将造成不合格品增加的损失。

影响因素:

- (1) 控制界限幅度;
- (2) 均值偏移幅度;
- (3) 标准差变动幅度;
- (4) 样本大小。

当 4 个影响因素量化后, 可应用分布理论的概率计算方法计算取伪概率  $\beta$  的数值。

因素的量化值:

控制界限系数  $k = 3$ ;

均值偏移系数  $\delta = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma_0}$ ;

标准差变动系数  $f = \sigma_1 / \sigma_0$ ;

样本大小为  $n$ 。

则取伪概率  $\beta$  的数值可用以下公式计算 (如图 6—6 所示):

$$\beta = \Phi\left[\frac{k - \delta\sqrt{n}}{f}\right] - \Phi\left[\frac{-k - \delta\sqrt{n}}{f}\right]$$

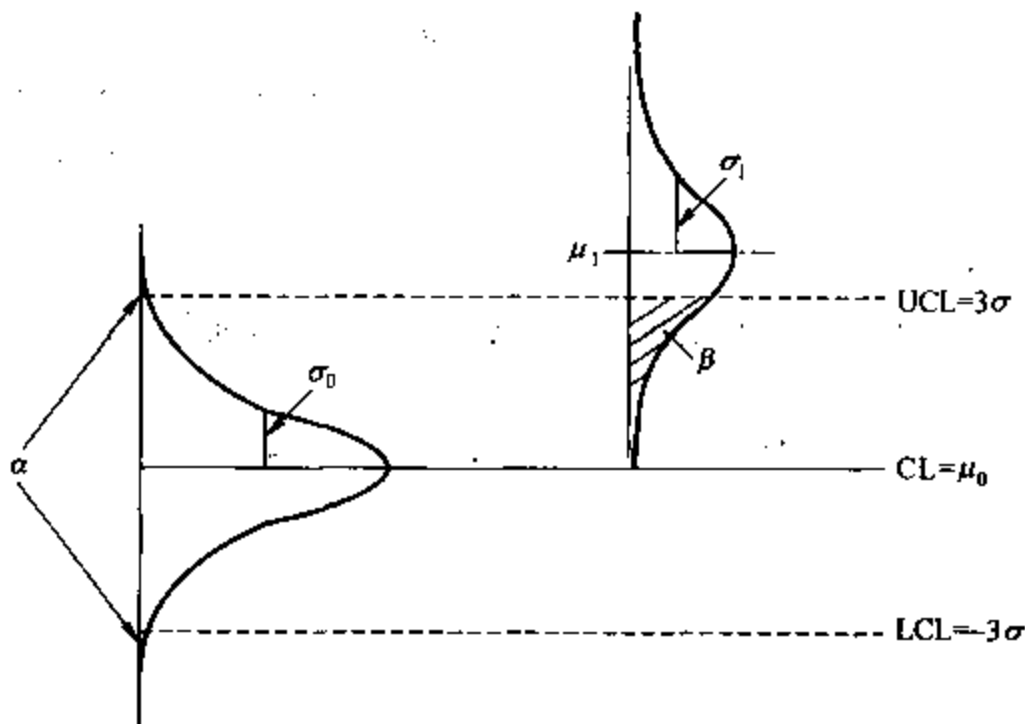


图 6—6 取伪概率  $\beta$  的数值计算公式的示意图形

### 3. 弃真概率 $\alpha$ 与取伪概率 $\beta$ 的关系

影响弃真概率  $\alpha$  与取伪概率  $\beta$  的共有因素是控制界限幅度。下面, 在其他因素确定的情况下观察控制界限幅度对弃真概率  $\alpha$  与取伪概率  $\beta$  的影响:

(1) 控制界限幅度对第 I 类错误 (弃真概率  $\alpha$ ) 的影响

从图 6—7 可见: 控制界限越宽, 所犯第 I 类错误的数值 (弃真概率  $\alpha$ ) 就越小。

(2) 控制界限幅度对第 II 类错误 (取伪概率  $\beta$ ) 的影响

从图 6—8 可见: 控制界限越宽, 所犯第 II 类错误的数值 (取伪概率  $\beta$ ) 就越大。

(3) 弃真概率  $\alpha$  与取伪概率  $\beta$  的关系

从图 6—7 和图 6—8 可以看出, 控制界限幅度对弃真概率  $\alpha$  与取伪概率  $\beta$  的影响是相反的, 而我们在应用控制图时考虑的是犯两类错误所造成损失的总和, 这种关系从图 6—9 可以明确看出。

结论: 以  $\pm 3\sigma$  设计控制界限时两类错误所造成的总损失达到最小, 所以称  $3\sigma$  原则为最经济的原则。

### 4. 检出力 (检出功效)

检出力 (检出功效) 是指当过程发生异常时, 控制图能够将异常检测出来的概率。显然, 应用控制图对过程异常进行检测时只有两种可能, 即能够检测出来和不能够检测出来, 二者的概率之和为 1。而不能够检测出来的概率 (取伪概率  $\beta$ ) 为, 所以能够检测出来的概率 (检出力) 为  $(1 - \beta)$ 。由于当影响因素确定时, 取伪概率  $\beta$  是可以计算的, 所以检出力  $(1 - \beta)$  也是可以计算得到的。



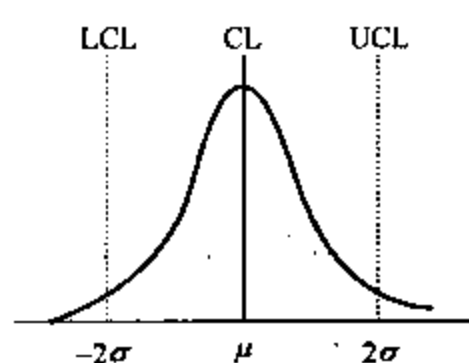
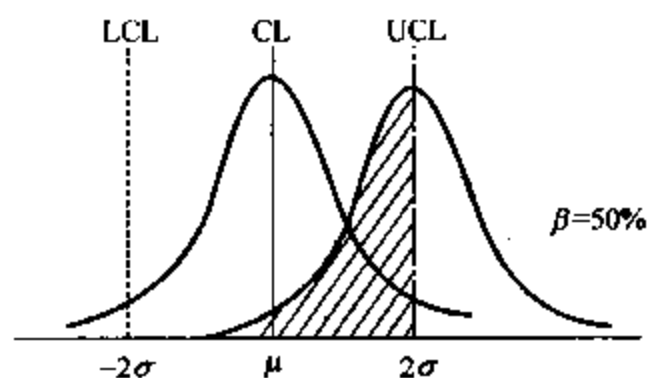
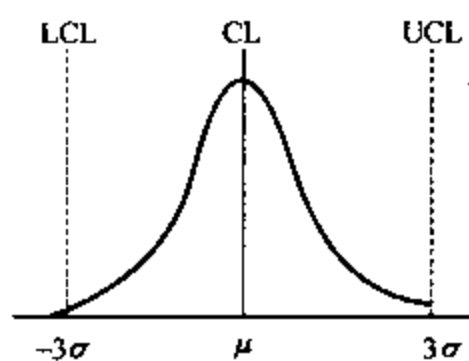
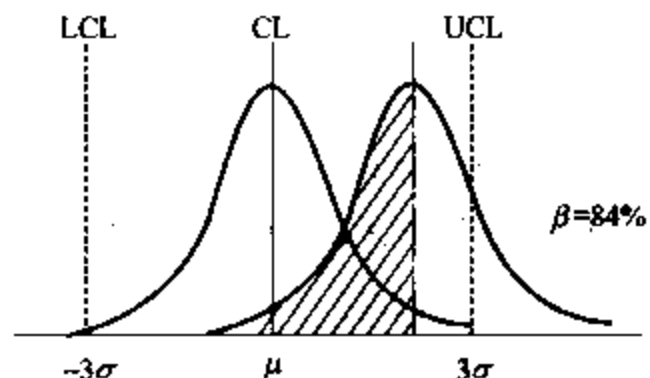
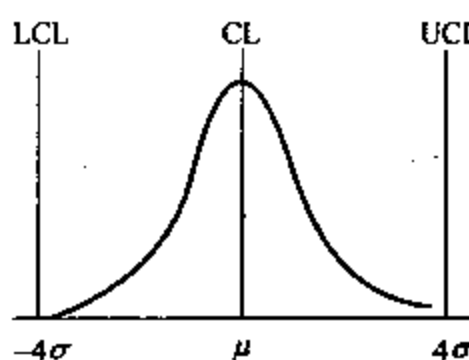
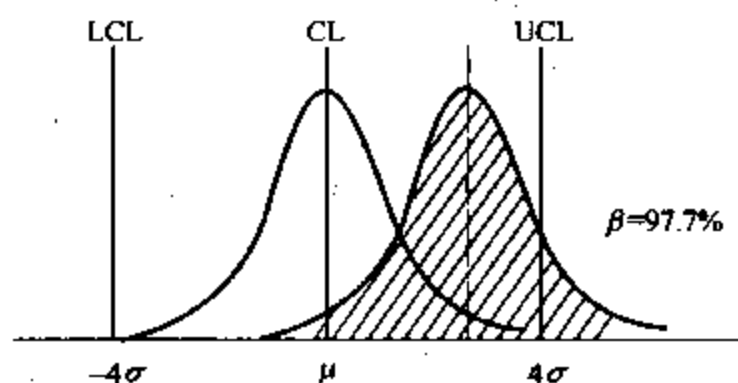
 $\alpha = 4.65\%$  $\beta = 50\%$  $\alpha = 0.27\%$  $\beta = 84\%$  $\alpha = 0.01\%$  $\beta = 97.7\%$ 

图6—7 控制界限幅度对第I类错误的影响

图6—8 控制界限幅度对第II类错误的影响

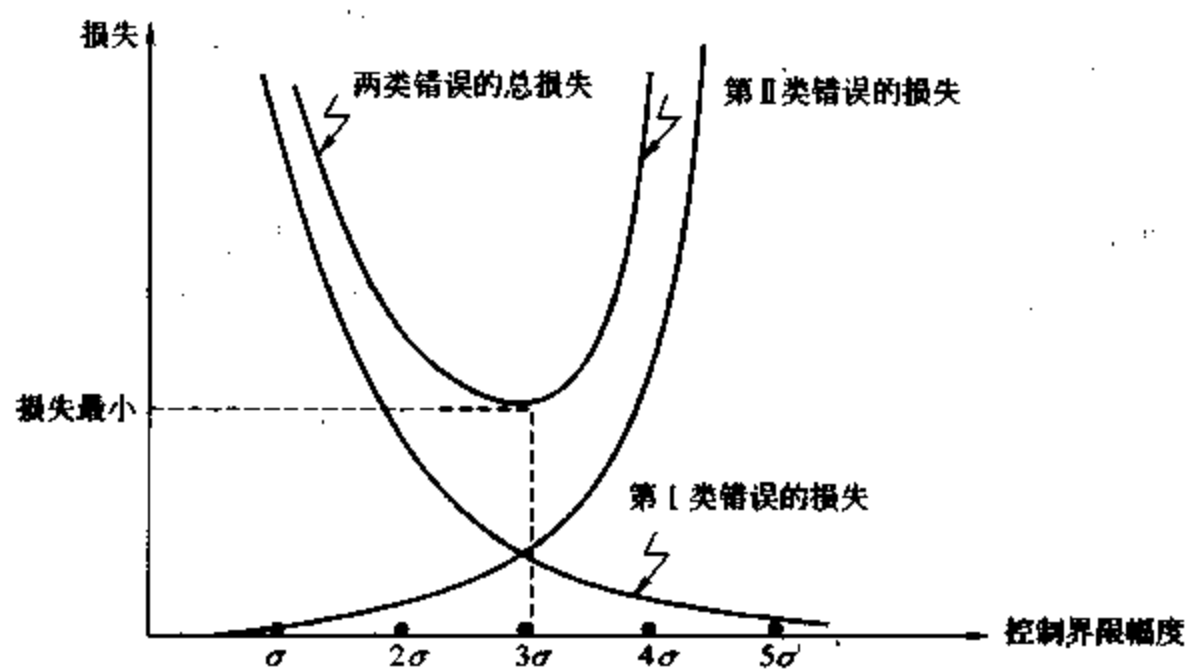


图6—9 控制界限幅度对两类错误总和的影响

## (二) 控制图对过程的判断

控制图对过程的判断有判稳和判异两种判断方法。

### 1. 判稳的概念

(1) 由于  $\alpha = 0.0027$  数值很小 (虚发警报的概率很小), 所以在控制图中打 1 点超界就判异, 置信度达 99.73%, 很可靠。

(2) 由于  $\beta$  数值很大 (漏发警报的概率很大), 所以, 在控制图中打 1 点在界内就判稳, 置信度很低, 不可靠。

但是, 总有  $\beta < 1$

所以连续打  $m$  点进行判稳时,  $\beta_m = \beta^m$ , 数值很小, 很可靠。

### (3) 判稳准则

在控制图中连续打  $m$  点, 界外点数  $\leq d$  时判稳。

①  $m = 25, d \leq 0$ ;

②  $m = 35, d \leq 1$ ;

③  $m = 100, d \leq 2$ 。

### 2. 判异准则的制定

#### (1) 判异的理论基础是“小概率事件原理”

小概率事件原理又称小概率事件不发生原理。其数学定义是: 事件  $A$  发生的概率很小 (如 0.01), 现经过一次或少数次试验, 事件  $A$  居然发生了, 就有理由认为事件  $A$  的发生是异常。

统计方法的应用是为捕捉异常先兆。因此, 在应用前应确定小概率  $\alpha$ , 小概率  $\alpha$  实际是允许判断错误的概率, 称为风险度、风险概率、风险水平或显著水平。

根据被判断事物的重要度,  $\alpha$  可取 0.01, 0.05, 0.10 等。

与风险度  $\alpha$  相对应的是置信度  $(1 - \alpha)$ , 又称为置信概率、置信水平。由于风险度  $\alpha$  不可能为“0”, 所以置信度  $(1 - \alpha)$  不可能为 100%。

#### (2) 判异准则的制定步骤

##### ① 设定小概率 $\alpha$

休哈特早期设定的小概率  $\alpha$  为: a. 点子超界,  $\alpha = 0.0027$ ; b. 点在界内排列不随机,  $\alpha = 0.01$ 。英国以没有做到等概率为由, 一律取  $\alpha = 0.01$ 。休哈特后期设定的小概率, 一律取  $\alpha = 0.0027$ 。

GB/T 4091-2001 idt ISO 8258: 1991《常规控制图》标准制订的判断准则即为休哈特后期所制订。

② 充分设想过程中所发生的各种事件, 逐一计算其发生概率  $P$ 。

##### ③ 制订准则

若  $P > \alpha$ , 判断过程正常; 若  $P \leq \alpha$ , 判断过程异常, 则该事件本身即为对过程异常的判断准则。

### 3. 判异准则

GB/T 4091-2001 idt ISO 8258: 1991《常规控制图》标准, 给出 8 个判异的检验模式。

凡在控制图中出现 8 个检验模式中任何一个时,即可判断过程异常。

在 8 个检验模式中,除第 4 个模式由蒙特卡罗试验(统计模拟试验)确定以外,其他 7 个模式均由概率计算而确定。

(1) 准则 1: 一点落在 A 区以外(见图 6—10)。

控制图中有 1 点越出控制界限的概率为

$$0.0027 = \alpha。$$

准则 1 是控制图判异准则中最为重要的检验模式。

准则 1 可以对分布参数  $\mu$  的变化或分布参数  $\sigma$  的变化给出信号,变化越大给出信号的速度越快(时间周期越短)。

准则 1 还可以对过程中的单个失控做出反应,如计算错误、测量误差大、原材料不合格、设备工装发生故障等。

(2) 准则 2: 连续 9 点落在中心线同一侧(见图 6—11)。

控制图中有 1 点落于中心线一侧的概率为 0.50, 则连续 9 点落于中心线同一侧的概率为

$$0.50^9 = 0.00195 < \alpha$$

准则 2 是对准则 1 的补充,以改进控制图的灵敏度。

准则 2 是为了检验分布中心线以下,则反应了参数  $\mu$  的减小,若连续 9 点落于中心线以上,则反应了分布参数  $\mu$  的增大。

(3) 准则 3: 连续 6 点递增或递减(见图 6—12)。

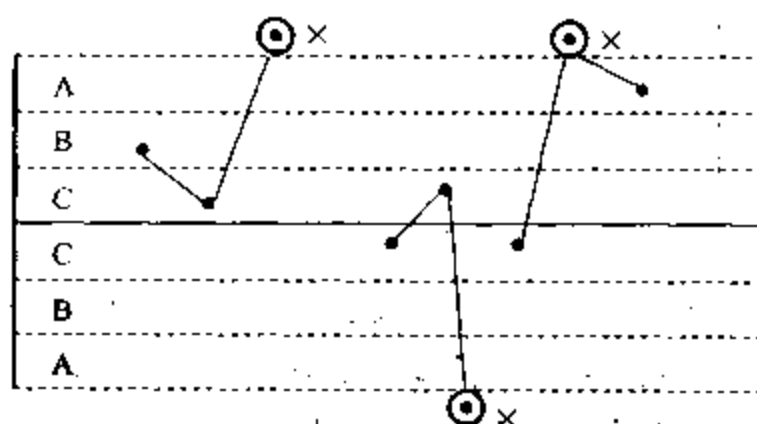


图 6—10 准则 1 的图形

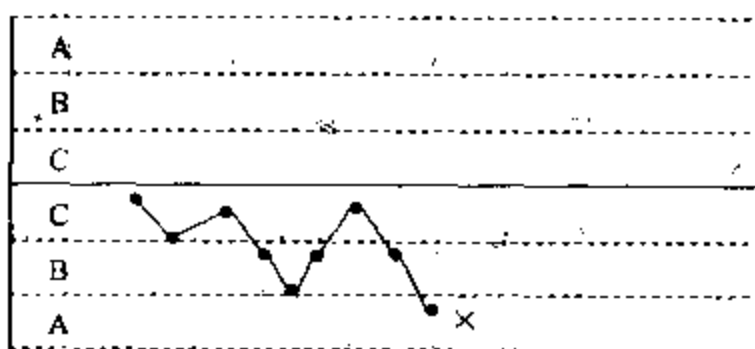


图 6—11 准则 2 的图形

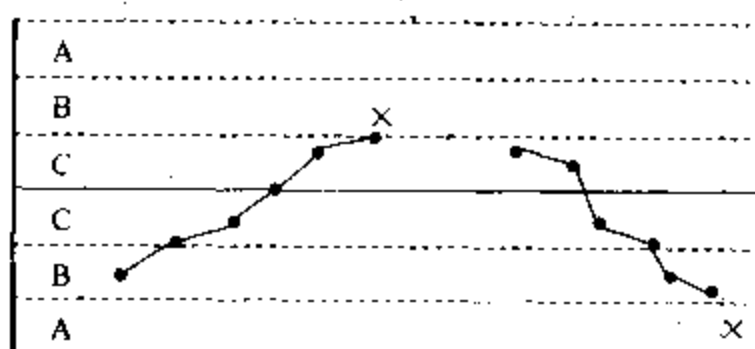


图 6—12 准则 3 的图形

控制图中连续 6 点递增或递减的发生概率为

$$P = \frac{1}{n!} = \frac{1}{6!} = 0.00138 < \alpha$$

准则 3 是针对分布参数  $\mu$  (过程平均值) 的趋势变化而设计的,它判定分布参数  $\mu$  (过程平均值) 的较小的趋势变化的灵敏度比准则 2 要高(更为灵敏)。过程中产生趋势变化的

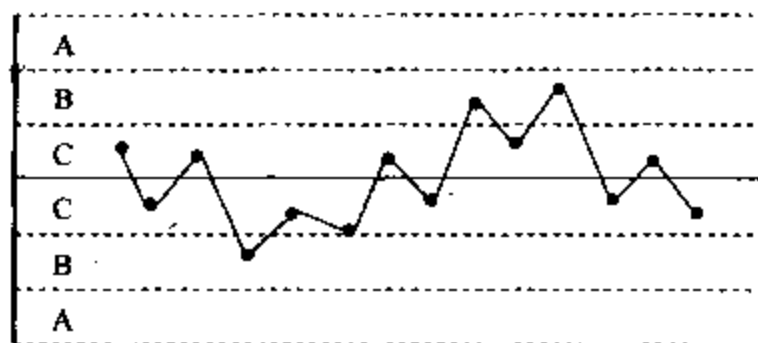


图 6—13 准则 4 的图形

通过蒙特卡罗试验（统计模拟试验）所决定的。

准则 4 用于检验由于数据未分层（数据来源于两个总体，如轮流使用两台设备加工或由两位操作人员轮流进行操作）而引起的系统效应，准则 4 也可以检验过程中存在的周期性变化的异常。

(5) 准则 5：连续 3 点中有 2 点落在中心线同一侧的 B 区以外（见图 6—14）。

在控制图中有 1 点落入中心线同一侧 A 区的概率为

$$\frac{0.9973 - 0.9544}{2} = 0.0429/2 = 0.02145$$

2 点落入中心线同一侧 A 区的概率为

$$P = 0.02145^2 = 0.00046 < \alpha$$

3 点中的 2 点可以是任何 2 点，至于第 3 点可以在任何处，甚至不存在。

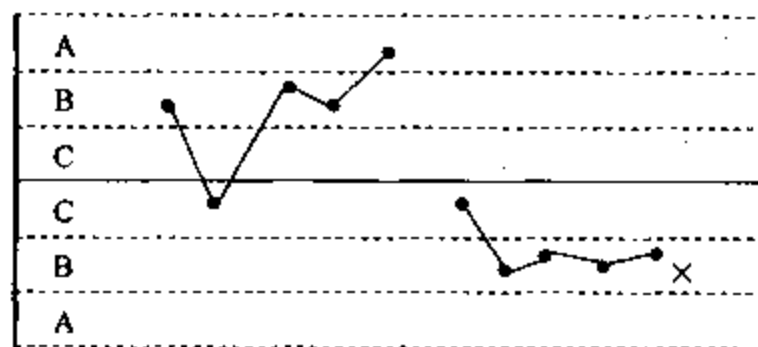


图 6—15 准则 6 的图形

原因可能是刀具、工具的磨损、维修水平降低、操作人员技能的逐渐变化等，这种变化往往会造成概率  $\alpha$  也随之变化。递增或递减显示了趋势的变化方向。

(4) 准则 4：连续 14 点中相邻两点上下交替（见图 6—13）。

准则 4 由于并不限定点子落入哪个区域，因而不能由概率计算来决定。准则 4 是

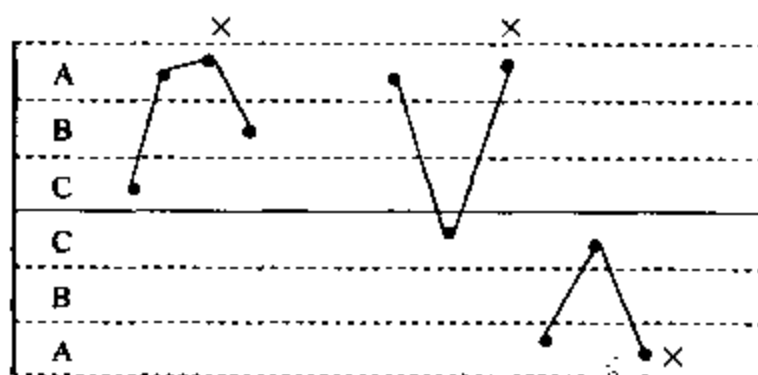


图 6—14 准则 5 的图形

准则 5 用于检验分布参数  $\mu$ （过程平均值）的变化，对于分布参数  $\sigma$  的变化的检验也很灵敏。

(6) 准则 6：连续 5 点中有 4 点落在中心线同一侧 C 区以外（见图 6—15）。

在控制图中，有 1 点落入中心线同一侧 C 区以外的概率为

$$\frac{0.9973 - 0.6826}{2} = 0.3174/2 = 0.157$$

4 点落在中心线同一侧 C 区以外的概率为

$$P = 0.157^4 = 0.0006 < \alpha$$

准则 6 与准则 5 的情况类似，第 5 点可以在任何处。

准则 6 是为了检验分布参数  $\mu$  的变化，其对过程平均值偏移的检验是很灵敏的。

(7) 准则7: 连续15点中全部在中心线两侧C区以内 (见图6—16)。

连续15点落在中心线两侧C区以内的  
概率为

$$0.682\ 6^{15} \approx 0.003\ 25$$

连续16点落在中心线两侧C区以内的  
概率为

$$0.682\ 6^{16} \approx 0.002\ 2 < \alpha$$

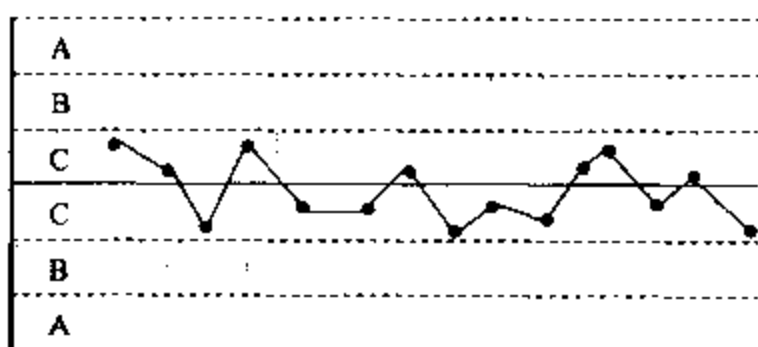


图6—16 准则7的图形

应注意出现准则7的现象可能有两种情况:

① 由于分布参数 $\sigma$ 的减小, 这是一种良好的异常, 应进行质量分析, 找出原因将良好的状况加以巩固。

② 不要輕易被这种良好的“外貌”所迷惑。应注意到可能是非随机性所致, 如数据的虚假、数据分层不够以至控制图设计中的错误等。只有排除了这些可能之后才能总结分析现场减小标准差 $\sigma$ 的先进经验。

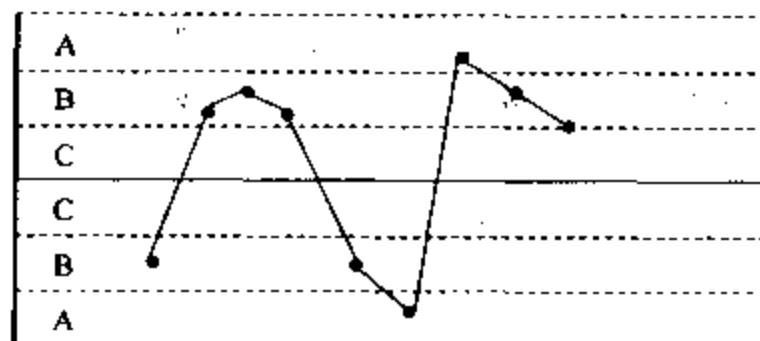


图6—17 准则8的图形

(8) 准则8: 连续8点在中心线两侧, 但无1点在C区以内 (见图6—17)。

连续8点在中心线两侧C区以外的概率为

$$(0.997\ 3 - 0.682\ 6)^8 = 0.314\ 7^8 = 0.000\ 1 < \alpha$$

出现准则8的现象可能是分布参数 $\sigma$ 的显著增大, 也有可能是数据分层不够, 应认真分析。

### (三) 应用控制图的重要性

(1) 控制图是SPC的重要工具, 是各种统计方法中的核心工具, 可以直接对过程进行控制和诊断。

(2) 日本名古屋大学对200家中小型企业进行业调查, 有115家应答, 结果发现平均每家工厂采用137张控制图, 这个数字对推行SPC有一定参考意义。

(3) 美国柯达彩色胶卷公司有5000名职工, 一共应用了35000张控制图, 平均每个职工7张。这是因为彩色胶卷的工艺很复杂, 在基片上要涂覆8层厚度为 $1\ \mu\text{m}$ 的药膜; 此外, 种类繁多的化工原料还需要用SPC进行控制。

(4) 我国湖北神龙汽车公司的生产过程应用了上千张控制图, GB/T 4091-2001《常规控制图》标准发布前曾在该公司进行验证。

### (四) 目前我国工业企业统计过程控制应用存在的主要问题及其原因

#### 1. 主要问题

##### (1) 行为不良

为了应付质量管理体系审核、上级主管部门的检查以及顾客的要求,制造假数据,搞形式主义。

## (2) 认识不良

认为只要有控制图,即使只有一个工序有控制图就是实现了统计过程控制。

## (3) 技术不良

① 以分析用控制图代替过程控制,没有真正的控制用控制图,因而没有实际效果。

② 混淆公差界限 ( $T_U, T_L$ ) 与控制界限 ( $UCL, LCL$ ) 的区别,当控制图异常时认为并未超过公差界限就可以不分析、不处理,因而失去了预防的作用。

③ 对给定分布参数控制图的应用,尚存在更多的问题。

## 2. 主要原因

(1) 企业的管理层,特别是主管质量的高层领导尚未认识到实施统计过程控制的重要性。在实施企业管理和质量管理体系建设中,质量管理体系与统计过程控制分离,形成“两张皮”。

(2) 员工素质有待提高,特别是从事质量工作的工程技术人员和质量管理人员对统计过程控制的基础理论及相关方法的应用技能掌握不够,企业缺乏有计划的系统的培训教育。

(3) 由于企业管理层存在对统计过程控制的误解,在企业内缺乏对统计过程控制的精心策划和认真的实施。

(4) 企业关于统计过程控制的工作制度尚未确立。

## 五、控制图的应用程序

应用控制图时应严格按 GB/T 4091 - 2001 《常规控制图》国家标准文本实施。

常规控制图的 8 种常用图种的应用程序基本上是相同的,只是各自的控制界限计算公式不相同。表 6—1 给出了各种常规控制图的控制界限计算公式。

(1) 预备数据的取得:预备数据是作分析用控制图的数据,要求取样组数  $k \geq 25$  组。

(2) 计算统计量:不同种的控制图所计算的统计量各不相同。

$\bar{x}-R$  图的统计量: $\bar{x}$  为各子组的平均值; $R$  为各子组的极差; $\bar{\bar{x}}$  为预备数据总平均值; $\bar{R}$  为各子组极差的平均值。

$\bar{x}-s$  图的统计量: $\bar{x}; s; \bar{\bar{x}}; \bar{s}$

$\bar{x}-r$  图的统计量: $\bar{x}; R; \bar{\bar{x}}; \bar{R}$

$x-R_s$  图的统计量: $x; R_s; \bar{x}; \bar{R}_s$

$P$  图的统计量: $p; \bar{p}$

$pn$  图的统计量: $pn; \bar{pn}$

$c$  图的统计量: $c; \bar{c}$

$u$  图的统计量: $u; \bar{u}$

表 6—1 各种常规控制图的控制界限计算公式

| 数 据         | 分 布              | 控制图名称及符号   |             | 中 心 线           | 上下控制界限                                      |
|-------------|------------------|------------|-------------|-----------------|---|
| 计<br>量<br>值 | 正<br>态<br>分<br>布 | 均值-标准差控制图  | $\bar{x}$ 图 | $\bar{\bar{x}}$ | $\bar{\bar{x}} \pm A_3 \bar{s}$             |
|             |                  |            | $s$ 图       | $\bar{s}$       | $B_4 \bar{s}; B_3 \bar{s}$                  |
|             |                  | 均值-极差控制图   | $\bar{x}$ 图 | $\bar{\bar{x}}$ | $\bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$             |
|             |                  |            | $R$ 图       | $\bar{R}$       | $D_4 \bar{R}; D_3 \bar{R}$                  |
|             |                  | 中位数-极差控制图  | $\bar{x}$ 图 | $\bar{\bar{x}}$ | $\bar{\bar{x}} \pm m_3 A_2 \bar{R}$         |
|             |                  |            | $R$ 图       | $\bar{R}$       | $D_4 \bar{R}; D_3 \bar{R}$                  |
|             |                  | 单值-移动极差控制图 | $x$ 图       | $\bar{\bar{x}}$ | $\bar{\bar{x}} \pm 2.66 \bar{R}_s$          |
|             |                  |            | $R_s$ 图     | $\bar{R}_s$     | $3.27 \bar{R}_s; —$                         |
| 计<br>数<br>值 | 二<br>项<br>分<br>布 | 不合格品率控制图   | $p$ 图       | $\bar{p}$       | $\bar{p} \pm 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$ |
|             |                  | 不合格品数控制图   | $pn$ 图      | $\bar{pn}$      | $\bar{pn} \pm 3 \sqrt{\bar{pn}(1-\bar{p})}$ |
|             | 泊<br>松<br>分<br>布 | 单位缺陷数控制图   | $u$ 图       | $\bar{u}$       | $\bar{u} \pm 3 \sqrt{\bar{u}/n}$            |
|             |                  | 缺陷数控制图     | $c$ 图       | $\bar{c}$       | $\bar{c} \pm 3 \sqrt{\bar{c}}$              |

若样本量为非常量时, 计数值控制图应改用通用控制图

(3) 计算控制界限: 不同图种的控制图, 其控制图界限计算公式各不相同, 应用时按表 6—1 或控制图国家标准给出的公式进行计算。

(4) 作分析用控制图并打点。

(5) 分析取样过程是否处于统计稳态。

(6) 分析取样过程是否处于技术稳态。

(7) 对分析用控制图的要求: 对分析用控制图的分析, 若 (5)、(6) 两条均符合要求时, 延长分析用控制图的控制界限, 转化为控制用控制图, 实施日常过程控制。

(8) 根据控制图的分析调整生产过程: 控制图反映了生产过程的状态, 一般有图 6—4 所示的 A、B、C、D 四种状态, 其中以 D 状态为最佳 (既处于统计稳态, 又处于技术稳态), 对其他状态应采取措施转为 D 状态。

## 六、控制图应用案例

【例 1】某植物油生产厂, 采用灌装机灌装, 每桶标称重量为 5 000 克, 要求溢出量 0 ~ 50 克。应用  $\bar{x} - R$  控制图对灌装质量进行分析和过程控制。

### 步骤 1 预备数据的取得

按工艺文件规定, 每间隔 30 分钟在灌装线连续取  $n = 5$  的样本计量溢出量, 共抽取 25 组样本作分析用控制图。数据记入数据表。

### 步骤 2 计算统计量

- (1) 计算每一组数据的平均值  $\bar{x}_j$ , 记入数据表。
- (2) 计算每一组数据的极差  $R_j$ , 记入数据表。
- (3) 计算 25 组数据的总平均值  $\bar{\bar{x}}$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{x}_j}{K}$$

本例  $\bar{\bar{x}} = 29.86$  (克)

### 步骤3 计算控制界限

#### (1) $\bar{x}$ 控制图

$$CL = \bar{\bar{x}} = 29.86$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 29.86 + 0.58 \times 27.44 = 45.69$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 14.03$$

#### (2) $R$ 控制图

$$CL = \bar{R} = 27.44$$

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.115 \times 27.44 = 58.04$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = (\text{不考虑})$$

### 步骤4 作分析用控制图并打点

建立平面直角坐标系, 根据  $\bar{x}$  控制图和  $R$  控制图所计算的控制界限值刻度并绘出控制界限、打点, 做出图 6—18 所示的分析用控制图。

### 步骤5 分析取样过程是否处于统计稳态

按控制图判异准则的 8 个检验模式对照检查, 本例  $\bar{x}$  控制图、 $R$  控制图均无异常, 判断取样过程处于统计稳态。

### 步骤6 分析取样过程是否处于技术稳态

本例溢出量  $T_U = 50$ ,  $T_L = 0$ ,  $M = 25$ 。

而  $\bar{\bar{x}} = 29.86 \approx 30$ , 为偏心型, 偏移量  $\varepsilon = 5$ 。

$$\text{标准差 } s = \frac{\bar{R}}{d_2} = 11.8$$

则过程能力指数

$$C_{pk} = \frac{T - 2\varepsilon}{6S} = \frac{50 - 2 \times 5}{6 \times 11.8} = 0.56$$

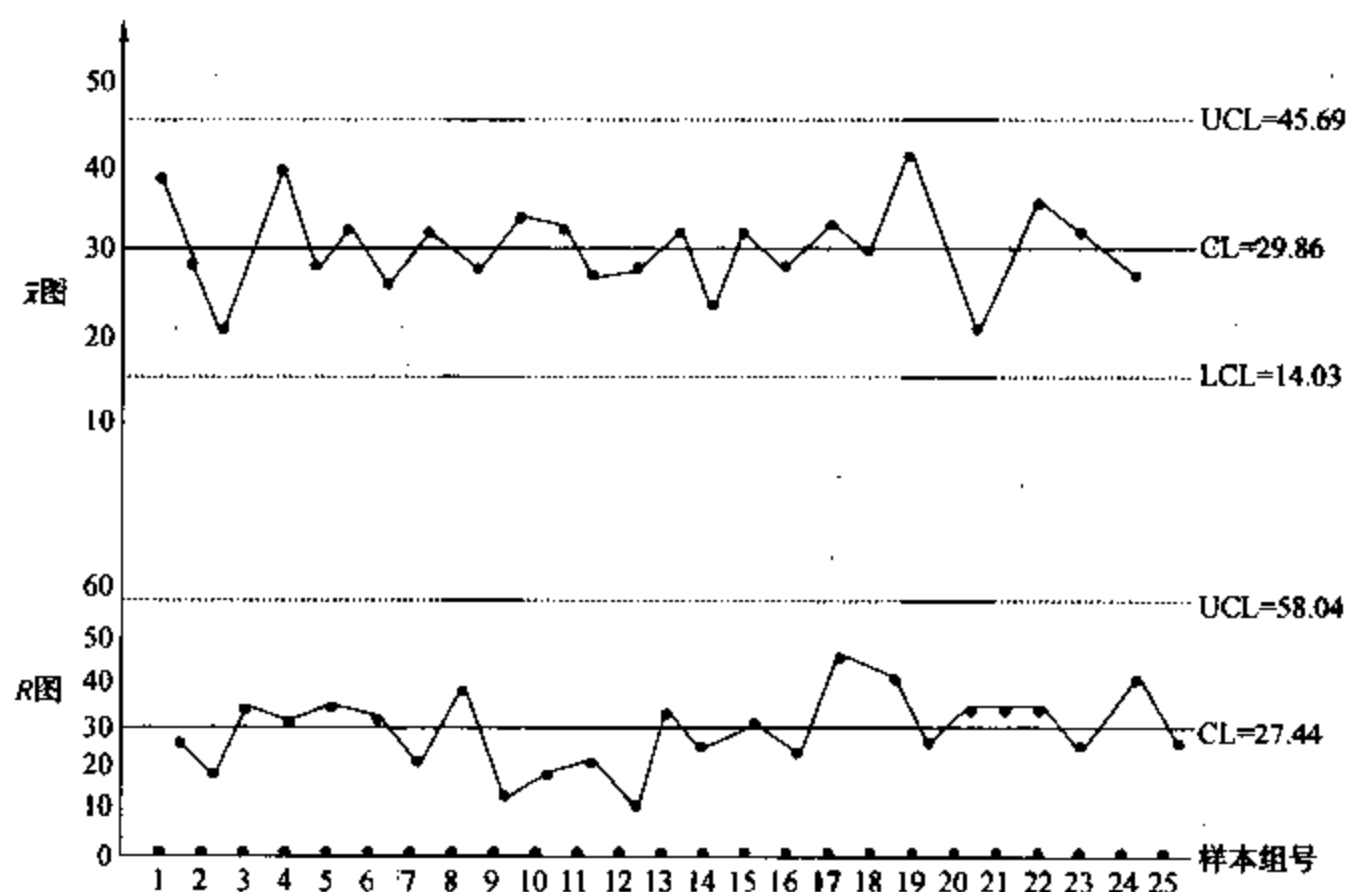
过程能力严重不足。

### 步骤7 对分析用控制图分析的结果

分析结果证明取样过程虽然处于统计稳态, 但过程能力严重不足 ( $C_{pk} = 0.56$ ), 取样过程处于技术稳态。不宜用作控制用控制图实施过程控制。

应采取相应措施如下:



图 6—18  $\bar{x}-R$  分析用控制图

- (1) 若灌装机为旧设备, 应进行大修或技术改造。
- (2) 若灌装机为新购设备, 则验收不合格, 应退货。

#### 步骤 8 过程状态

过程处于状态 B, 应向状态 D 转化或技术改造。

【例 2】某服装厂在对供方产品实物质量认定中, 对用于衬衫的涤棉纺印染布 (府绸) 的重要质量特性, 经向和纬向断裂强度作  $\bar{x}-R$  控制图, 判定供方 (印染厂) 生产过程是否稳定并测定过程能力指数。

涤棉纺印染布 (府绸) 国家标准 GB/T 5236-1997 规定, 经向断裂强度  $\geq 245$  (强力  $N/5 \times 20 \text{ cm}$ ); 纬向断裂强度  $\geq 196$  (强力  $N/5 \times 20 \text{ cm}$ )。

按控制图应用程序对涤棉纺印染布取样分别测定经向和纬向断裂强度记入数据表 (见表 6—2 和表 6—3 所示) 并进行相关计算。

表 6—2 经向数据表及相关计算

| 序号 | 测定值   |       |       |       |       | 统计量       |     |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|
|    | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $\bar{x}$ | $R$ |
| 1  | 570   | 550   | 555   | 560   | 560   | 559       | 20  |
| 2  | 780   | 745   | 755   | 760   | 770   | 762       | 35  |
| 3  | 758   | 782   | 767   | 742   | 762   | 762.2     | 40  |
| 4  | 689   | 670   | 678   | 645   | 656   | 667.2     | 44  |

续表

| 序号 | 测定值   |       |       |       |       | 统计量       |     |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|
|    | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $\bar{x}$ | $R$ |
| 5  | 710   | 750   | 780   | 735   | 740   | 743       | 70  |
| 6  | 716   | 728   | 785   | 736   | 748   | 742.6     | 69  |
| 7  | 770   | 742   | 738   | 736   | 728   | 742.8     | 42  |
| 8  | 745   | 740   | 710   | 725   | 698   | 723.6     | 47  |
| 9  | 795   | 785   | 780   | 790   | 800   | 790       | 20  |
| 10 | 664   | 672   | 640   | 658   | 685   | 663.8     | 45  |
| 11 | 742   | 706   | 725   | 751   | 732   | 731.2     | 45  |
| 12 | 716   | 708   | 742   | 748   | 738   | 730.4     | 40  |
| 13 | 734   | 728   | 706   | 738   | 734   | 728       | 32  |
| 14 | 576   | 544   | 548   | 580   | 546   | 558.8     | 36  |
| 15 | 665   | 645   | 655   | 660   | 670   | 659       | 25  |
| 16 | 700   | 712   | 699   | 686   | 742   | 708       | 57  |
| 17 | 672   | 672   | 650   | 668   | 696   | 671.6     | 46  |
| 18 | 665   | 678   | 606   | 665   | 642   | 651.2     | 72  |
| 19 | 560   | 500   | 545   | 535   | 520   | 532       | 60  |
| 20 | 632   | 638   | 646   | 598   | 602   | 623.2     | 48  |
| 21 | 510   | 525   | 536   | 546   | 508   | 525       | 38  |
| 22 | 600   | 635   | 645   | 602   | 618   | 620       | 45  |
| 23 | 675   | 715   | 665   | 650   | 680   | 677       | 65  |
| 24 | 602   | 576   | 594   | 622   | 617   | 602.2     | 46  |
| 25 | 710   | 702   | 712   | 715   | 708   | 709.4     | 13  |

$\bar{\bar{x}} = 675.328 \quad \bar{R} = 44$

$CL = \bar{\bar{x}} = 675.3$

$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 700.7$

$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 649.9$

$CL = \bar{R} = 44$

$UCL = D_4 \bar{R} = 93$

$LCL = D_3 \bar{R} = -$

$Cp = \frac{\bar{x} - T_L}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = 7.58$

表 6—3 纵向数据表及相关计算

| 序号 | 测定值   |       |       |       |       | 统计量       |     |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|
|    | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $\bar{x}$ | $R$ |
| 1  | 240   | 260   | 255   | 270   | 235   | 252       | 35  |
| 2  | 380   | 390   | 400   | 405   | 395   | 394       | 25  |
| 3  | 400   | 398   | 382   | 388   | 414   | 396.4     | 32  |
| 4  | 390   | 410   | 402   | 386   | 394   | 396.4     | 24  |
| 5  | 410   | 395   | 385   | 435   | 410   | 407       | 50  |
| 6  | 408   | 395   | 384   | 426   | 414   | 405.4     | 42  |
| 7  | 430   | 436   | 408   | 395   | 387   | 411.2     | 43  |
| 8  | 420   | 378   | 386   | 445   | 466   | 419       | 88  |
| 9  | 360   | 360   | 380   | 375   | 365   | 368       | 20  |
| 10 | 342   | 366   | 353   | 348   | 359   | 353.6     | 24  |
| 11 | 358   | 346   | 349   | 372   | 363   | 357.6     | 26  |
| 12 | 408   | 395   | 398   | 442   | 408   | 410.2     | 47  |
| 13 | 328   | 349   | 376   | 365   | 378   | 359.2     | 50  |
| 14 | 378   | 352   | 364   | 308   | 386   | 357.6     | 78  |
| 15 | 400   | 390   | 395   | 385   | 390   | 392       | 15  |
| 16 | 415   | 426   | 413   | 408   | 437   | 419.8     | 29  |
| 17 | 343   | 366   | 315   | 348   | 369   | 348.2     | 54  |
| 18 | 285   | 342   | 320   | 365   | 336   | 329.6     | 80  |
| 19 | 395   | 360   | 375   | 385   | 380   | 379       | 35  |
| 20 | 440   | 452   | 458   | 398   | 430   | 435.6     | 60  |
| 21 | 345   | 365   | 336   | 358   | 382   | 357.2     | 46  |
| 22 | 335   | 346   | 342   | 316   | 346   | 337       | 30  |
| 23 | 425   | 400   | 385   | 430   | 390   | 404       | 45  |
| 24 | 332   | 340   | 338   | 316   | 344   | 334       | 28  |
| 25 | 460   | 475   | 480   | 465   | 438   | 463.6     | 42  |

$$\bar{\bar{x}} = 379.504 \quad \bar{R} = 41.92$$

$$CL = \bar{\bar{x}} = 379.504$$

$$CL = \bar{R} = 41.92$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 403.69$$

$$UCL = D_4 \bar{R} = 88.62$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 353.32$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = -$$

$$C_p = \frac{\bar{x} - T_L}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = 3.39$$

分析：对本例从数据表已经可以做出分析结论，因此不必再作控制图。

该厂是生产中高档衬衫的大型企业，涤棉纺印染布（府绸）是最主要的原材料，需求量很大。涤棉纺印染布（府绸）的断裂强度又是最重要的质量特性。因此，其对供方产品实物质量认定工作应慎之又慎。经应用质量损失函数对几家供方进行质量-成本综合分析后，选择该印染厂作为合格供方，并期望能建立互利共赢的战略伙伴关系。因此，采用分析用控制图判定其生产过程是否稳定并测定过程能力指数。

经过对采购的涤棉纺印染布（府绸）按国家标准分别测定经向和纬向断裂强度并制作分析用控制图进行分析，从所测定的数据可以看到，经向和纬向断裂强度控制图数据中出现了完全相同的情况。二者的极差控制图数据都是正常的，而二者的均值控制图数据中大量出现超界（超上界的数据居多），出现极不正常的状况，说明其生产过程处于极不稳定的状态。但是，由于其过程能力很强（过程能力指数分别为 7.58 和 3.39）所以即使采用全数检验（产品合格品率非常高）也会完全掩盖这一状况。然而，这种现象又是使用方所不希望的，会造成衬衫生产过程质量产生大幅度波动，而影响成品衬衫的质量（手感、穿着舒适度等）。假如用户对断裂强度提出一个范围的要求（如经向断裂强度为 300 ~ 400），而不是望大值质量要求，则必然有大批供货被检验不合格。鉴于双方期望建立一种互利共赢的战略伙伴关系，所以不再是简单的采购，而应加强技术合作。印染厂的生产过程处于 C 状态，虽然在专业技术方面具有很强的能力，但在统计过程控制方面不足。这就需要双方实施技术互补，在统计过程控制的策划与实施方面下功夫，促使过程进入稳定受控，进入到最佳的 D 状态。这对供需双方都将是有利的。

应当强调的是“一切以顾客为关注焦点”绝非一句空话。有这样一个沉痛的教训：某电子元件厂一直是一家大型电子整机厂的主要供应商。电子整机厂为研制一种新产品，希望该电子元件厂能够提供超出国家标准要求的电子元件，而该电子元件厂总工程师却回答：你们要买西红柿我有，要买肉味西红柿我没有。听起来很幽默，但极大地伤害了顾客。电子整机厂在对另一家供应商提出这一要求时，得到的回答是：目前我们没有这种电子元件，但我们可以为顾客研制，没有多久电子整机厂得到了完全满足质量要求的这种电子元件。于是电子整机厂与不能提供“肉味西红柿”的电子元件厂解除了合作关系。当然，在激烈的市场竞争下很多企业已认识到“一切以顾客为关注焦点”的重要意义。如北京一家从试验室起家的小型助焊剂厂，多年来发挥技术优势以研发新产品争取市场。在一次走访用户时，检验员提出用肉眼在强光照射下检验焊点很伤视力。于是该助焊剂厂组织攻关很快研制成功消光助焊剂并得到用户的好评，订单大量增加，很快发展为拥有自动化生产设备的中型助焊剂厂。

## 第七章 质量检验及抽样检验方案分析

### 一、质量检验概述

#### (一) 质量检验的定义

##### 1. ISO 9000: 2000 标准给出的定义

检验：通过观察和判断，适当时结合测量、试验所进行的符合性评价。

##### 2. ISO 8402: 1994 标准给出的定义

检验：是对实体的一个或多个特性，进行诸如测量、检查、试验或度量，并将其结果与规定要求进行比较，以确定每项特性合格情况所进行的活动。

##### 3. ISO 2859-1:1999 标准给出的定义

检验是为确定产品或服务的各种特性是否合格，测定、检查、试验或度量产品或服务的一种或多种特性，并且与规定要求进行比较的活动。

##### 4. 对标准给出定义的理解

从三个标准所给出的定义，对质量检验可以得到一致的理解。

##### (1) 质量检验的对象是实体的质量特性。

① ISO 9000 标准指出：一切可以想像到的事物都是实体。因此，产品（包括有形产品和无形产品）是实体；组织（公司、企业、车间、部门、班组以及个人）是实体；一切活动、过程以及以上各类的组合均可称为实体。所以，检验是针对一切事物的活动。

② 质量特性应按其重要度分级：任何产品都具有许多不同的质量特性，但其各自的重要程度各不相同。在产品的设计过程中应进行产品质量特性重要度分级。

A 类质量特性（关键质量特性）：产品的安全性指标以及不合格将会导致功能丧失的质量特性都属于 A 类质量特性（关键质量特性）。

B 类质量特性（重要质量特性）：产品质量特性不合格时虽然不会丧失功能，但将严重影响顾客（用户）的使用时，称为 B 类质量特性（重要质量特性）。

C 类质量特性（一般质量特性）：产品质量特性虽然不合格，但不会影响顾客（用户）使用的质量特性称为 C 类质量特性（一般质量特性）。

##### ③ 质量特性的重要度决定了不合格的类型。

A 类不合格：产品只要具有至少一项 A 类质量特性不合格，无论是否还具有 B 类质量特性或 C 类质量特性不合格，称其为 A 类不合格。该产品称为 A 类不合格品。

B 类不合格：产品只要具有至少一项 B 类质量特性不合格，无论是否还具有 C 类质量特性不合格但绝对没有 A 类质量特性不合格时，称为 B 类不合格。该产品称为 B 类不合格品。

C类不合格：产品至少具有一项C类质量特性不合格，但绝对没有A类质量特性或B类质量特性不合格时，称为C类不合格。该产品称为C类不合格品。

在设计统计抽样检验方案的过程中，应针对产品的不合格项目及其类别，首先区别设定先决条件。相对而言，对A类不合格项目的要求应非常严格，对B类不合格项目的要求次之。

(2) 对产品的质量检验工作程序中有很多步骤，但其最关键的步骤应包括：测量、比较和判断。

## (二) 产品质量检验的工作程序

- (1) 熟悉掌握规定的质量要求；
- (2) 随机抽取检验用的样本；
- (3) 测量并对数据进行处理；
- (4) 将测量结果与规定的质量要求相比较；
- (5) 判断产品或产品批合格与否；
- (6) 处理；
- (7) 记录并提出检验报告或分析报告。

## (三) 对产品质量检验工作程序几个关键步骤的要求

### 1. 测量

要求应在测量和监视装置在受控条件下进行测量（见第二章测量系统分析的相关内容）。

- (1) 测量能力满足测量任务的质量要求；
- (2) 周期计量检定保持合格。

### 2. 比较（与质量标准相比较）

验收标准：供需双方交接（验收）产品时使用。

内控标准：生产方自行检验时使用。

内控标准是在验收标准的基础上加严，但应符合以下加严原则：

- (1) 扣除因产品质量稳定性而造成的差异；
- (2) 扣除因测量误差而造成的差异。

企业内部的检验判定必须严格按内控标准执行。

### 3. 判断（根据比较结果判断产品合格与否）

从质量检验的定义可知，检验是一种符合性判断，是一项原则性很强的工作。但是，质量管理还具有灵活性。

- (1) 原则性——符合性判断：合格（符合标准要求）；不合格（不符合标准要求）；符合性判断是检验部门的职能，检验部门只能做符合性判断。

- (2) 灵活性——适用性判断：不适用；适用——让步接收。

① 对进厂原材料的适用性判断，应由技术部门进行验证试验，确认不影响最终产品质量时让步接收；

- ② 关键原材料 (A 类) 不允许让步接收;
- ③ 不允许同时有多种原材料让步接收;
- ④ 最终产品不合格的让步接收应由用户决定。

## 二、抽样检验概述

### (一) 抽样检验的概念

抽样检验是指从交验的一批产品 (批量为  $N$ ) 中, 随机抽取一个样本 (样本量为  $n$ ) 进行检验, 从而对批产品质量做出判断的过程。抽样检验有三个步骤: 抽样、检验、判断。图 7—1 给出的是抽样检验的示意图。其中检验属于专业技术, 与抽样无关。因而, 抽样 (抽多少?) 和判断 (怎样判断) 两项内容就构成抽样检验方案。如: 一次抽样检验方案为  $[N, n, A_c]$  或  $[n, A_c, R_c]$ 。

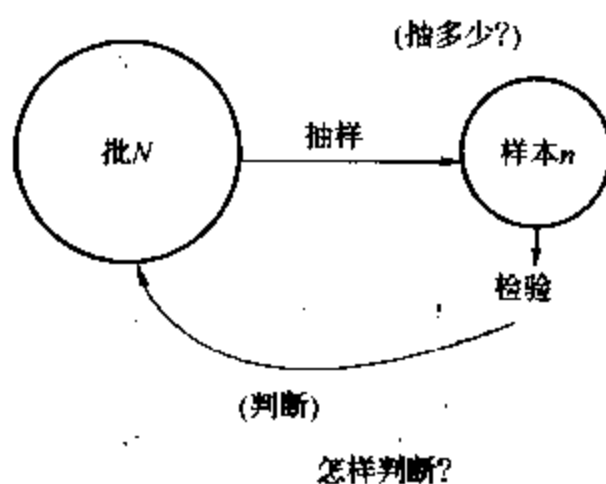


图 7—1 抽样检验的示意图

### (二) 统计抽样检验与非统计抽样检验

按抽样检验方案的不同确定方法, 抽样检验可分为统计抽样检验与非统计抽样检验。

#### 1. 统计抽样检验

统计抽样检验的方案完全由统计技术所决定。统计抽样检验方案的接收概率只受交验批批质量水平这个唯一的因素所影响, 即:  $P_a(p)$ 。所以统计抽样检验是科学的、合理的抽样检验方法, 应当推广应用。

#### 2. 非统计抽样检验

非统计抽样检验方案不是由统计技术所决定, 方案的接收概率除受交验批批质量水平影响之外, 还受到交验批批量的影响。因此, 非统计抽样检验是不科学、不合理的抽样检验方法, 应当淘汰。

百分比抽样是典型的非统计抽样检验。

我国在建国初期从原苏联学习使用百分比抽样检验方法, 但原苏联早在 20 世纪 70 年代即废除了百分比抽样检验而改用统计抽样检验。虽然我国从 80 年代起已陆续制定颁布了一系列 (22 个) 统计抽样检验国家标准, 但至今仍有部分企业采用百分比抽样检验方法, 这是很不正常的现象。

### (三) 抽样检验方案及其接收概率

#### 1. 概率计算公式

从  $N$  件中随机抽取  $n$  件产品, 在样本  $n$  中恰好有  $d$  件不合格品的概率的计算公式:

(1) 根据超几何分布得到的公式:

$$P(d) = \frac{\binom{Np}{d} \binom{N-Np}{n-d}}{\binom{N}{n}}$$

式中:  $\binom{Np}{d}$ ——从批的不合格品数中抽取  $d$  个不合格品的全部组合数;

$\binom{N-Np}{n-d}$ ——从批的合格品数中抽取  $(n-d)$  个合格品的全部组合数;

$\binom{N}{n}$ ——从批量  $N$  的一批产品中抽取样本量  $n$  个单位产品的全部组合数。

(2) 根据二项分布得到的公式

$$P(d) = \binom{n}{d} p^d (1-p)^{n-d}$$

式中:  $\binom{n}{d}$ ——从样本  $n$  中抽取的不合格品数  $d$  的全部组合数;

$p$ ——批不合格品率。

(3) 根据泊松分布得到的公式

$$P(d) = \frac{(np)^d}{d!} e^{-np}$$

【例1】设交验批批量  $N=50$ , 假定批不合格品率为  $p=0.06=6\%$ , 现随机抽取  $n=5$  的样本, 试求不合格品数  $d=0, 1, 2, 3$  的概率。

(1) 用超几何分布公式计算

$$P(0) = \frac{\binom{3}{0} \binom{47}{5}}{\binom{50}{5}} = 0.7298$$

$$P(1) = \frac{\binom{3}{1} \binom{47}{4}}{\binom{50}{5}} = 0.25255$$

$$P(2) = \frac{\binom{3}{2} \binom{47}{3}}{\binom{50}{5}} = 0.02296$$

$$P(3) = \frac{\binom{3}{3} \binom{47}{2}}{\binom{50}{5}} = 0.00051$$



(2) 用二项分布公式计算

$$P(0) = \binom{5}{0} (0.06)^0 (0.94)^5 = 0.7339$$

$$P(1) = \binom{5}{1} (0.06)^1 (0.94)^4 = 0.2342$$

$$P(2) = \binom{5}{2} (0.06)^2 (0.94)^3 = 0.0299$$

$$P(3) = \binom{5}{3} (0.06)^3 (0.94)^2 = 0.0019$$

(3) 用泊松分布公式计算

$$P(0) = \frac{(5 \times 0.06)^0}{0!} e^{-5 \times 0.06} = 0.7428$$

$$P(1) = \frac{(5 \times 0.06)^1}{1!} e^{-5 \times 0.06} = 0.0000$$

$$P(2) = \frac{(5 \times 0.06)^2}{2!} e^{-5 \times 0.06} = 0.03334$$

$$P(3) = \frac{(5 \times 0.06)^3}{3!} e^{-5 \times 0.06} = 0.0033$$

显然, 三种公式的计算结果很接近, 我国统计抽样检验国家标准中的接收概率计算一般采用二项分布公式或泊松分布公式。

## 2. 一次抽样方案的接收概率及 OC 曲线

接收概率指当使用一个确定的抽样方案时, 具有给定质量水平的批被接收的概率 (可能性)。如: 用给定的抽样检验方案  $[n, A_c, R_c]$  去检验, 批量为  $N$ , 批质量水平 (不合格品率) 为  $p$  的交验批时, 被判为接收的概率记为  $P_a(p)$ 。

一次抽样检验方案表示为:  $[N, n, A_c]$  或  $[n, A_c, R_c]$

当采用一次抽样检验方案, 若一批交验产品的不合格品率为  $p$  时, 能有多大的可能性被接收, 这个可能性的定量表示为该方案的接收概率。对于同一方案而言, 交验批的不合格品率越大则接收概率越小; 反之亦然。因此, 一个方案的接收概率是批不合格品率的函数, 记为:  $P_a(p)$ , 其图像称为“抽样检验特性曲线”, 简称“OC 曲线”。有一个抽样检验方案就一定能绘制出一条与之相对应的 OC 曲线, OC 曲线表述了一个抽样方案对一个批质量的辨别能力。

已知方案  $[50, 1, 1]$ , 通过计算得到表 7-1 的数据表:

表 7—1 数据表

|          |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $p$      | 0.000   | 0.005   | 0.007   | 0.010   | 0.020   | 0.030   | 0.040   | 0.050   |
| $P_a(p)$ | 1.00 0  | 0.973 9 | 0.951 9 | 0.910 6 | 0.735 8 | 0.555 3 | 0.400 5 | 0.279 4 |
| $p$      | 0.060   | 0.070   | 0.076   | 0.080   | 0.100   | 0.200   | ...     | 1.000   |
| $P_a(p)$ | 0.190 0 | 0.126 5 | 0.098 2 | 0.082 7 | 0.033 7 | 0.000 2 | ...     | 0.000   |

按描点法可将表 7—1 的数据绘制成图 7—2 的 OC 曲线。

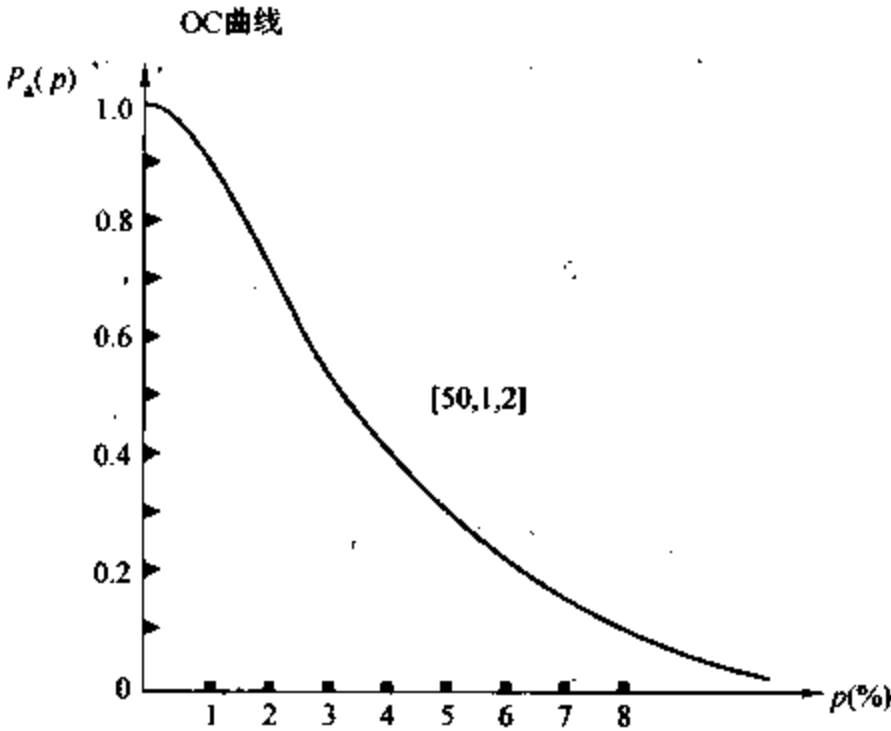


图 7—2 OC 曲线

3. OC 曲线分析

(1) 理想的 OC 曲线

若供需双方已经确定以  $p_0$  作为交验批质量优劣的界限，即当交验不合格品率  $p \leq p_0$  时为优质批；当交验不合格品率  $p > p_0$  为劣质批。显然，理想情况下的 OC 曲线如图 7—3 所示。但是，即使全数检验也存在错检再漏检，所以理想的 OC 曲线是不可能存在的。

(2) 不理想的 OC 曲线

在实施抽样检验时，也不希望采用不理想的方案。例如方案  $[20, 1, 0]$ ，是要求从交验批中抽取 1 个产品进行检验，若检验合格则接收该批，若检验不合格则拒收该批。该方案的接收概率为：

$$P_a = \frac{\binom{20p}{0} \binom{20-20p}{1-0}}{\binom{20}{1}} = \frac{20-20p}{20} = 1-p$$

该方案的 OC 曲线如图 7—4 所示，为一条直线。这种方案对交验批质量水平的判断能

力非常之差,是绝对不希望有的。

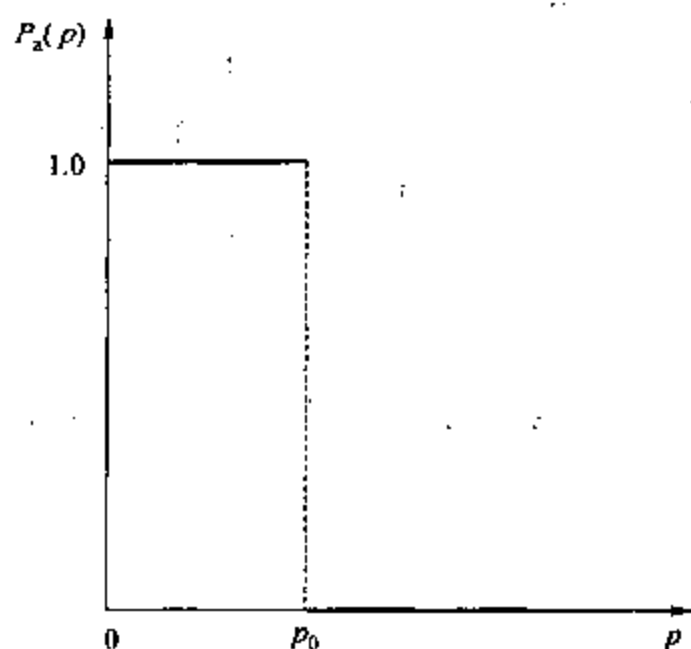


图 7-3 理想的 OC 曲线

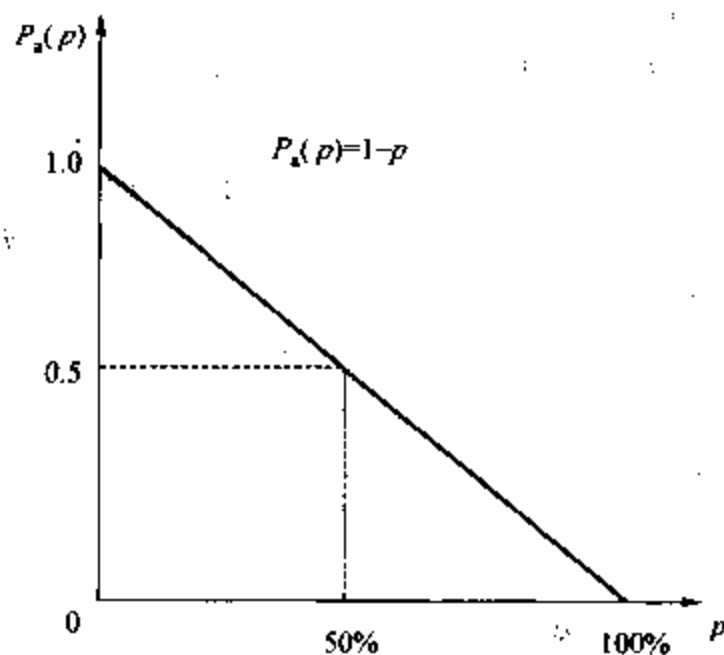


图 7-4 不理想的 OC 曲线

### (3) 实际的 OC 曲线

我们期望实际的 OC 曲线应尽可能接近于理想的 OC 曲线,要求在实施统计抽样检验时对交验批质量水平有相当好的判断能力,使质量好的批能以大概率接收,对质量差的批能以大概率拒收。图 7-5 给出的是实际的 OC 曲线的图形。

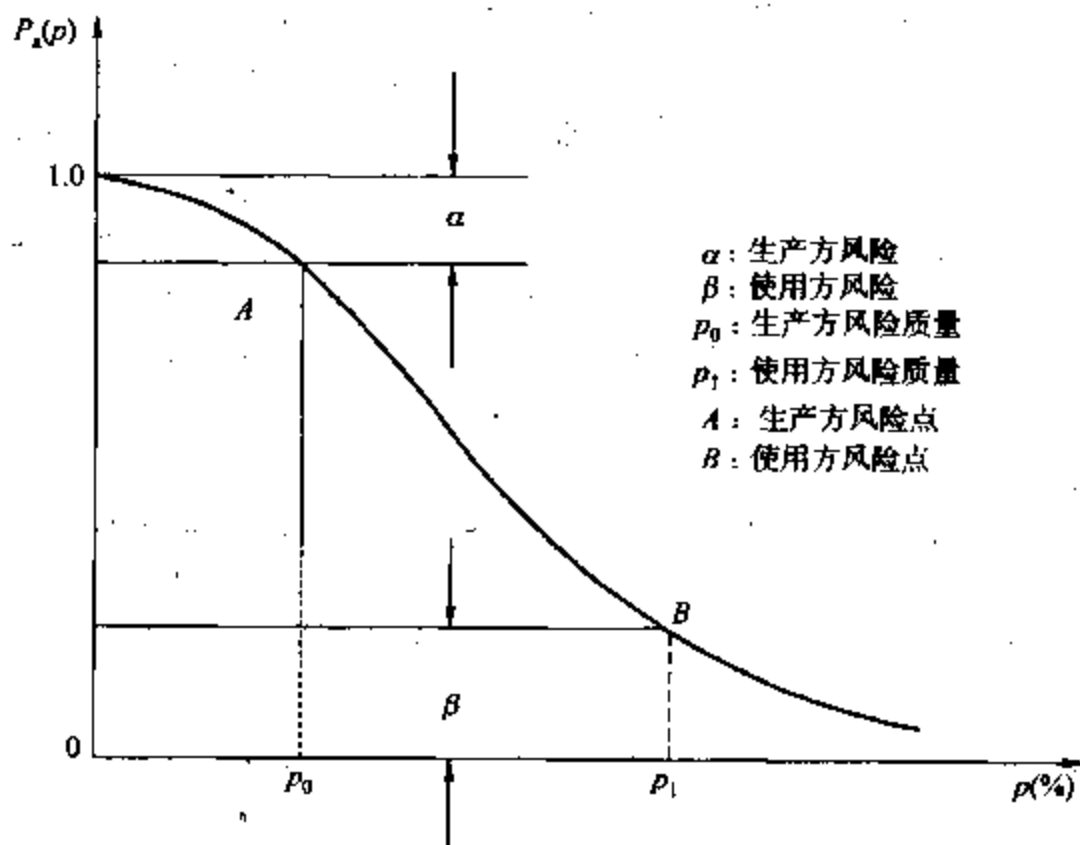


图 7-5 实际的 OC 曲线

对图 7-5 OC 曲线的说明:

OC 曲线中的诸参数将直接影响统计抽样检验方案的确定。

$p_0$  为需求方可接受的质量水平,当提交批不合格品率  $p \leq p_0$  时,需求方认为是优质批,

所以  $p_0$  相当于统计抽样检验标准中规定的接收质量限 AQL。提交批不合格品率为  $p_0$  的优质批被拒收的概率为  $\alpha$  (在统计抽样检验标准中一般定为 0.05 左右), 是生产方所承担的风险。 $p_1$  为需求方不可接受的质量水平, 当提交批不合格品率  $p \geq p_1$  时, 需求方认为是劣质批, 所以  $p_1$  相当于统计抽样检验标准中规定的极限质量水平 LQ。提交批不合格品率为  $p_1$  的劣质批被接收的概率为  $\beta$  (在统计抽样检验标准中一般定为 0.10 左右), 是使用方所承担的风险。通过适当地确定  $\alpha$  和  $\beta$  的数值, 做到既对使用方提供质量保证, 又对供应商有一定的经济利益保护。

在制定统计抽样检验方案时, 应尽可能考虑到: 希望不合格品率为  $p_1$  的提交批尽量被判为拒收, 而其接收概率为  $P_a(p_1) = \beta$ ; 希望不合格品率为  $p_0$  的提交批尽量被判为接收, 而其拒收概率为

$$1 - P_a(p_0) = \alpha$$

生产方风险  $\alpha$  是对于给定的抽样检验方案, 当提交批不合格品率为某一指定的可接收值 (如可接收质量水平  $p_0$ ) 时的接收概率, 即优质提交批被拒收时生产方所承担的风险。

使用方风险  $\beta$  是对于给定的抽样检验方案, 当提交批不合格品率为某一指定的不满意值 (如极限质量水平  $p_1$ ) 时的接收概率, 即劣质提交批被接收时使用方所承担的风险。

与  $p_0$  所对应的 OC 曲线上的点 A, 称为生产方风险点; 与  $p_1$  所对应的 OC 曲线上的点 B, 称为使用方风险点。 $p_0$  和  $p_1$  是确定统计抽样检验方案的两个重要参数, 如果能将点 A 和点 B 控制住, 就等于做到了既保证了使用方对产品质量的要求又保护了供应商的经济利益。所以, 如何正确确定  $p_0$  和  $p_1$  的数值是非常重要的。从下面讲解的 OC 曲线的特征可知:  $p_0$  和  $p_1$  应拉开一定距离, 且  $p_0 < p_1$ 。当  $p_0$  和  $p_1$  的数值大时, OC 曲线向右移动, 统计抽样检验方案放宽; 当  $p_0$  和  $p_1$  的数值距离加大时, OC 曲线变平, 统计抽样检验方案放宽。统计抽样检验方案的放宽就是放松了质量要求, 对使用方不利。当  $p_0$  和  $p_1$  的数值小时, OC 曲线向左移动, 统计抽样检验方案加严; 当  $p_0$  和  $p_1$  的数值接近时, OC 曲线变陡, 统计抽样检验方案加严。统计抽样检验方案加严, 虽然质量保证程度有所提高, 但会增大抽样检验的样本量, 使检验费用增加。 $p_0$  和  $p_1$  的数值应由供需双方协商确定, 并考虑到不同不合格类型的质量特性应有所区别, 对 A 类不合格要严, 对 B 类不合格次之, 对 C 类不合格可适当放宽。

#### 4. OC 曲线的特征

- (1) OC 曲线越接近理想曲线时, 抽样检验方案对批质量好坏的辨别能力越强。
- (2) OC 曲线越陡, 抽样检验方案越严格, OC 曲线越平, 抽样检验方案越松。
- (3) 在坐标系中, OC 曲线越靠左, 抽样检验方案越严格, OC 曲线越靠右, 抽样检验方案越松。
- (4) 当样本量  $n$  和接收数  $A_c$  保持不变时, 批量  $N$  的变化对 OC 曲线影响不大。
- (5) 当批量  $N$  和接收数  $A_c$  保持不变时, 样本量  $n$  的数值越大, OC 曲线越陡, 即抽样检验方案越严格。
- (6) 当批量  $N$  和样本量  $n$  保持不变时, 接收数  $A_c$  的数值越小, OC 曲线越陡, 即抽样检验方案越严格。

应用统计抽样检验应当正确选择抽样检验方案, 而选择抽样检验方案必须掌握方案 OC 曲线的特征。

### 三、对供应商提供产品的检验

#### (一) 设计开发阶段与大批量生产阶段对供应商提供产品的检验

##### 1. 设计开发阶段对供应商提供产品的检验

在产品的设计开发阶段由于供应商所提供的产品数量有限,而且存在一定的变数,这个阶段的供应商并不一定会自然成为将来大批量生产阶段的供应商,因而没有必要对其实施全面的质量控制。但必需对其质量保证能力、过程能力和测量系统进行评价。但是,考虑到工作过程的连续性,企业应有意识地对供应商进行考察,尽量使将来大批量生产时的供应商从产品设计开发阶段的供应商中产生。

在产品的设计开发阶段对供应商提供的产品一般采用全数检验,但当提供的产品属于流程性材料、检验项目为破坏性检验或提供数量较大时也会采用统计抽样检验。当然,产品设计开发阶段的统计抽样检验与将来大批量生产过程中的统计抽样检验有所区别。在产品的设计开发阶段应执行 GB/T 2828.2-2003《计数抽样检验程序第2部分孤立批计数抽样检验程序及抽样表》国家标准。

##### 2. 在大批量生产阶段对供应商提供产品的检验

在大批量生产过程中对供应商提供的产品因数量较大,一般应实施统计抽样检验,大多数情况下应执行 GB/T 2828.1-2003《计数抽样检验程序第1部分按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》国家标准。在需要大幅度减小抽样样本量并能取得计量值质量特性值的情况下,应采用计量抽样检验(如采用 GB/T 8503 标准)。这里特别应提出的是在大批量生产过程中对供应商提供的产品应实施全面的质量控制,包括质量保证能力监控和产品实物质量控制(控制图的应用及过程能力分析)。

#### (二) GB/T 2828.2《计数抽样检验程序第2部分孤立批计数抽样检验程序及抽样表》的使用

使用时应按标准文本实施。

##### 1. 连续批与孤立批的概念

###### (1) 连续批的概念

所谓连续批是指产品连续生产并连续提交检验的产品批,对连续批可利用最近已检验过的批所提供的质量信息。

连续批的条件:

- ① 产品设计、结构、工艺、材料均无显著变化;
- ② 生产人员的技术水平比较稳定;
- ③ 生产环境和设备无显著变化;
- ④ 中间停产时间间隔不超过一个月。

###### (2) 连续批抽样检验方案的质量保证

连续批的抽样检验可以将通过批的不合格率控制在事先规定的数值范围之内。

### (3) 孤立批的概念

孤立批指脱离已生产或汇集的批系列,不属于当前连续检验批系列的产品批。孤立批是已排除了制造过程影响的产品批。即使是连续生产的若干批,但分别被若干不同的使用方所购买,对每一个使用方而言,所购买的只是其中的一批(在产品的设计开发阶段供应商所供应的产品就属于这种情况),也属于孤立批。

### (4) 孤立批抽样检验方案的质量保证

孤立批的抽样检验只能起到概率把关的作用,并不能将某一批的不合格品率控制在预先规定的数值范围内。

## 2. GB/T 2828.2 的质量指标

GB/T 2828.2 国家标准是以极限质量 LQ (相当于使用方风险质量  $p_1$ ) 作为质量指标和检索抽样检验方案的。

所谓“极限质量”是为了对孤立批进行抽样检验,把接收概率限制在某一低接收概率的质量水平。也就是说,极限质量并不是使用方所希望的质量水平,而是不希望的质量水平。所以,当提交检验批的不合格品率接近极限质量时,抽样检验方案就会将其接收概率控制在一个很小的数值(低于使用方风险  $\beta \approx 0.10$ )。只要能够控制住当批质量水平接收极限质量时有一个很小的接收概率,对孤立批的产品质量也就具有保护作用了。极限质量 LQ 的确定方法与使用 GB/T 2828.1 国家标准时确定接收质量限 AQL 的方法原则上相同。

GB/T 2828.2 国家标准包括有一次抽样和二次抽样检验方案,并提供了模式 A 和模式 B 两种抽样检验模式。其中模式 A 是在供需双方都确认为是孤立批的情况下使用;而模式 B 则是当生产方认为是连续生产的产品批中的一批,而使用方是作为孤立批接收时使用。

## 3. 模式 A 抽样检验方案的检索

### (1) 模式 A 的一次抽样检验方案的检索

模式 A 的一次抽样检验方案的检索非常简单,只要确定了极限质量 LQ,即可根据交验批的批量  $N$ ,从标准中的表 1 查得所需的一次抽样检验方案。

【例 2】某产品批,供需双方都认为是孤立批,现采用模式 A 检索一次抽样检验方案。规定极限质量  $LQ = 32\%$ ,交验批批量  $N = 1000$ 。则可从表 1 中查得一次抽样检验方案为: $n = 32, A_c = 5, R_c = 6$ 。

### (2) 模式 A 的二次抽样检验方案的检索

模式 A 的二次抽样检验方案的检索也非常简单,只要确定了极限质量 LQ,即可根据交验批的批量  $N$ ,从标准中的表 12 查得所需的二次抽样检验方案。

【例 3】条件同案例 1,检索二次抽样检验方案为:

$$n_1 = 20, A_{c1} = 2, R_{c1} = 5, n_2 = 20, A_{c2} = 6, R_{c2} = 7$$

## 4. 模式 B 抽样检验方案的检索

### (1) 模式 B 的一次抽样检验方案的检索

模式 B 一次抽样检验方案的检索,应根据所确定的检验水平 IL (其概念待讲解国家标准 GB/T 2828.1 时介绍)和极限质量 LQ,在标准中的表 2 至表 11 中查得所需的一次抽样检验方案。

【例4】供应商所生产的某一批产品虽然是连续生产,但某使用方只购买其中的一批,故应按模式B检索抽样检验方案。

现规定采用一般检验水平Ⅱ级,极限质量  $LQ = 2\%$ , 交验批批量  $N = 2\ 000$ 。则可从标准中的表5查得一次抽样检验方案:

$$n = 200, A_c = 1, R_c = 2$$

### (2) 模式B的二次抽样检验方案的检索

模式B的二次抽样检验方案的检索与模式A的二次抽样检验方案的检索方法相同,当确定极限质量  $LQ$  后,可从标准中的表12查得所需的二次抽样检验方案。

【例5】与案例3的条件相同,检索二次抽样检验方案。从标准中的表12可查得二次抽样检验方案:

$$n_1 = 125, A_{c1} = 0, R_{c1} = 2, n_2 = 125, A_{c2} = 1, R_{c2} = 2$$

## (三) GB/T 2828.1-2003《计数抽样检验程序 第1部分 按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》的使用

使用时按标准文本实施。

### 1. 应用GB/T2828.1标准检索抽样方案的先决条件

#### (1) 批量 $N$

这里并非是交验批数量的大小,而是要求构成检验批的产品应是相同生产条件所制造的产品。

#### (2) 接收质量限 AQL

##### ① 接收质量限 AQL 的概念

AQL称为计数抽样检验批的接收质量限,是计数调整型抽样检验系统的基础,其主抽检表就是按照AQL来设计的。AQL在抽样检验中,认为可以接受的提交检验批生产过程平均质量水平的上限值(相当于供应方风险质量  $p_0$ ),可视为允许接收的批质量水平。

AQL是计数调整型抽样检验对交验批判断的质量标准。计数调整型抽样检验方案可以保证需方得到具有AQL水平的平均质量水平的产品。当交验批不合格品率  $p \leq AQL$  时,方案应以大概率接收;当  $p > AQL$  时方案应以大概率拒收。

##### ② AQL 的数值

在抽样检验方案检索的主抽检表上,AQL的数值由0.01%~1 000%。

AQL可以定义为:

- “每百件产品中的不合格品数”(即批不合格品率,为计件值数据)。
- “每百件产品中的不合格数”(指缺陷数,为计点值数据)。

AQL  $\leq 10\%$  时,只能用第1种含义。

AQL值采用以 $\sqrt[5]{10}$ 为等比系列的E5优先系列。即每数量级只有1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 6.5五个数值。

##### ③ AQL 值的确定原则

以产品需求的必要性和产品生产的可能性为总原则由供需双方协商确定。

具体原则:

- a. 单项检验的 AQL 应严于多项检验;
- b. 原材料、零部件、元器件检验的 AQL 应严于产品的成品检验;
- c. 对 A 类不合格的要求严于 B 类不合格, 对 B 类不合格的要求严于 C 类不合格;
- d. 航天产品检验的 AQL 应十分严格, 其他依次为军工产品、工业产品和民用产品;
- e. 电气性能的检验 AQL 应严于机械性能, 其次为外观性能。

### (3) 检验水平 IL

检验水平反映了批量  $N$  和样本量  $n$  之间的关系。

#### ① 检验水平的概念

在抽样检验过程中, 检验水平 IL 用于表征抽样检验方案的判断能力, 即判断能力强时检验水平高 (对检验批质量保证能力强)。实际上, 检验水平是为确定判断能力而规定批量  $N$  与样本大小  $n$  之间的关系 (抽检率) 的等级划分。

#### ② 检验水平的等级划分及判断能力比较

一般检验水平:  $I < II < III$  (判断能力), 没有特殊说明的情况下, 一律选用 II 级水平; 对判断能力要求高时应选择一般 III 级水平; 对判断能力要求较低时选择一般 I 级水平。

特殊检验水平:  $S-1 < S-2 < S-3 < S-4$  (判断能力), 特殊检验水平的判断能力低于一般检验水平, 只有破坏性检验或外观检验时, 才能采用特殊检验水平。

### (4) 检验的严格程度

检验的严格程度是指提交检验批所接受抽样检验的宽严程度。

#### ① 检验的严格程度划分

GB 2828 标准规定检验的严格程度有正常检验、放宽检验和加严检验。初次提交检验时一律从正常检验开始, 在供货质量水平下降或过程不稳定的情况下应转移至加严检验。由于加严检验的接收概率降低, 加大了生产方风险对生产方不利, 因而促进了生产方加强质量改进。只有充分证明供应商质量改进有成效的情况下才能恢复正常检验。在供货质量水平提高且过程非常稳定的情况下可由正常检验转移到放宽检验。由于放宽检验接收概率提高, 减小了生产方风险, 对生产方有利, 因而促进了生产方加强质量改进。但是, 应特别注意放宽检验必然加大使用方风险, 要非常谨慎, 一旦供货质量水平有下降或不稳定的趋势应立即恢复正常检验。

国家标准 GB/T 2828.1-2003 明确规定, 加严检验是强制的 (必须有); 而放宽检验是企业的自愿行为 (可有可无)。

#### ② 检验严格程度的转移规则

检验严格程度的转移必须按国家标准 GB/T 2828.1-2003 规定的转移规则实施。

### (5) 抽样方式 (抽样方案的类型)

GB/T 2828.1 标准规定有: 一次抽样检验方案、二次抽样检验方案和五次抽样检验方案。

#### ① 一次抽样

只需抽取一个样本, 一定能做出判断。

一次抽样检验方案:  $[N, n, A_c]$  或  $[n, A_c, R_c]$

方案中:  $N$ ——批量;



$n$ ——样本量大小;

$A_c$ ——接收数;

$R_c$ ——拒收数 (在一次抽样检验中总有  $R_c = A_c + 1$ , 所以有时在方案中不标出)。

一次抽样检验方案对交验批的判断程序如图 7—6 所示。

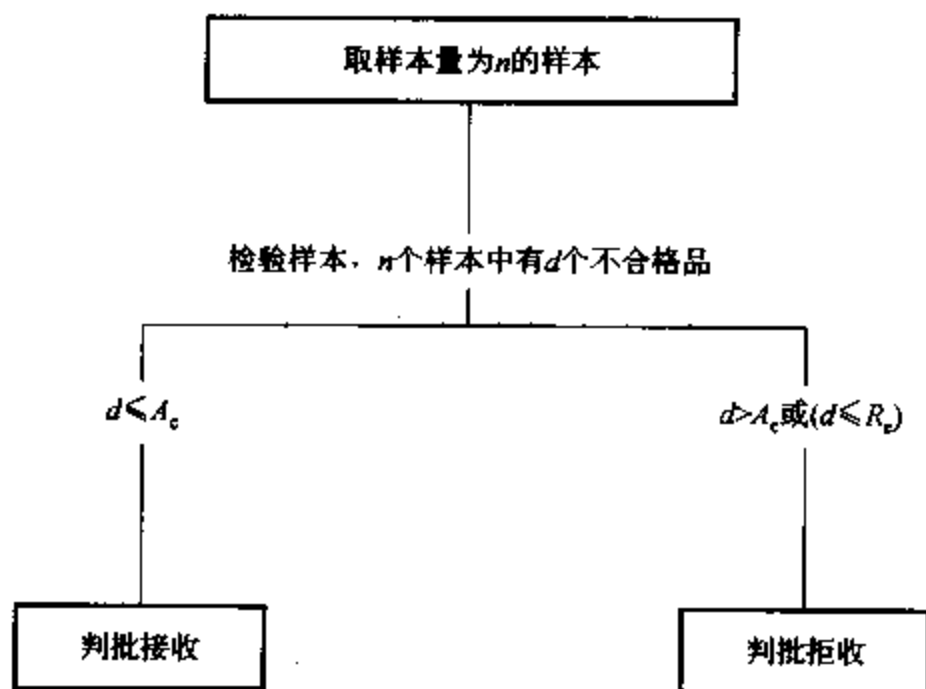


图 7—6 一次抽样检验的判断程序

## ② 二次抽样

二次抽样指抽取一个样本时有可能做出判断也有可能做不出判断。当第一个样本做不出判断时抽取第二个样本, 抽取第二个样本后一定可以做出判断。

二次抽样检验方案:  $N \left[ \begin{matrix} n_1, A_{c1}, R_{c1} \\ n_2, A_{c2}, R_{c2} \end{matrix} \right]$

方案中:  $n_1$ ——所抽取的第 1 个样本的大小;

$n_2$ ——所抽取的第 2 个样本的大小;

$A_{c1}$ ——第 1 个样本的接收数;

$R_{c1}$ ——第 1 个样本的拒收数;

$A_{c2}$ ——第 2 个样本与第 1 个样本的累积接收数;

$R_{c1}$ ——第 2 个样本与第 1 个样本的累积拒收数, 且永远有  $R_{c2} = A_{c2} + 1$

二次抽样检验方案对交验批的判断程序如图 7—7 所示。

## ③ 多次抽样

多次抽样是二次抽样的延伸, 国家标准 GB/T 2828.1-2003 标准规定的多次抽样为五次抽样, 而国际标准 ISO 2859-1:1999 规定为七次抽样。五次抽样检验方案的判断程序如图 7—8 所示。

## ④ 一次抽样、二次抽样、五次抽样的比较

- 只要先决条件相同, 一次抽样、二次抽样、五次抽样的质量保证能力是相同的。
- 当产品批的质量水平与设定的 AQL 值相比较为明显的优或劣时, 二次抽样的平均样

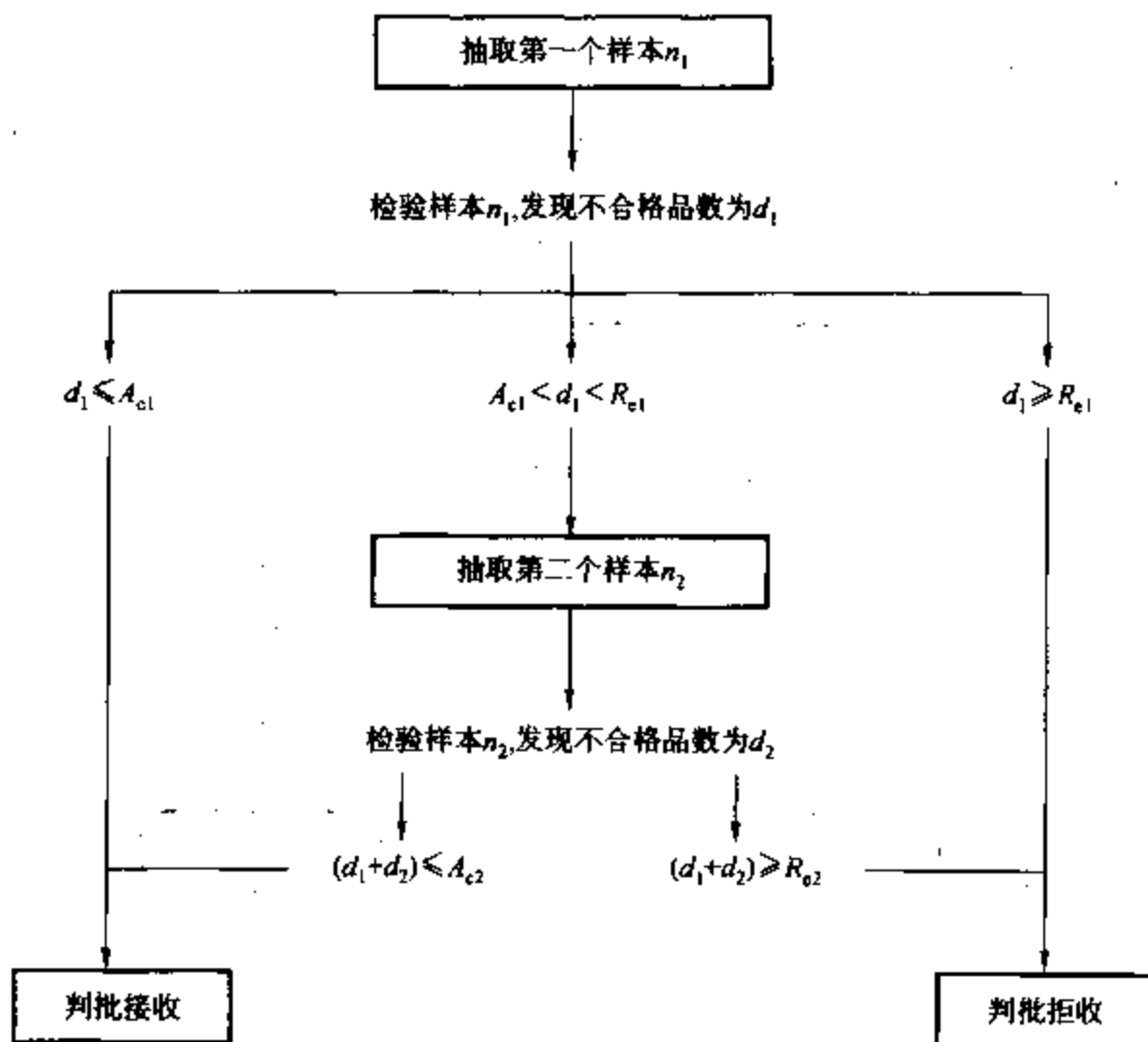


图 7—7 二次抽样检验方案的判断程序

本量明显比一次抽样要少，而五次抽样则会更少。

c. 从检验成本考虑，五次抽样的费用最低，而此抽样的费用比一次抽样要低。

d. 从检验的组织与管理工作考虑，一次抽样检验方案简便，批合格与否的误判危险性小。而二次抽样方法复杂，对检验的组织与管理工作及对检验员的素质要求高，需经专门的培训。

e. 往往人们在心理上可能会认为多次抽样的合格判定机会多，心理上满意，就认为多次抽样效果好，其实是没有必要的。

## 2. 抽样检验方案的检索

对一次抽样、二次抽样和五次抽样检验方案的检索方法是相同的，GB/T 2828.1 国家标准给出了一次抽样、二次抽样、五次抽样以及各自的正常检验、加严检验、放宽检验的共 12 张主抽检表，使用时应根据需要查相应的主抽检表即可得到需要的抽样检验方案。

一次抽样正常检验方案的检索：

### (1) 确定样本大小字码 CL

① 根据给定的批量  $N$  和检验水平  $IL$  查样本量字码表得到样本量字码  $CL$ 。

② 根据得到的样本量字码  $CL$  和给定的接收质量限  $AQL$  查一次抽样正常检验主抽检表，得到需要的一次抽样正常检验方案  $[n, A_c, R_c]$ 。

应当注意的是 GB/T 2828.1 国家标准要求的是抽样检验计划，所以应包括正常检验、加严检验和放宽检验方案。同时应牢记查主抽检表规则为：“跟着箭头走，见数就停留，同

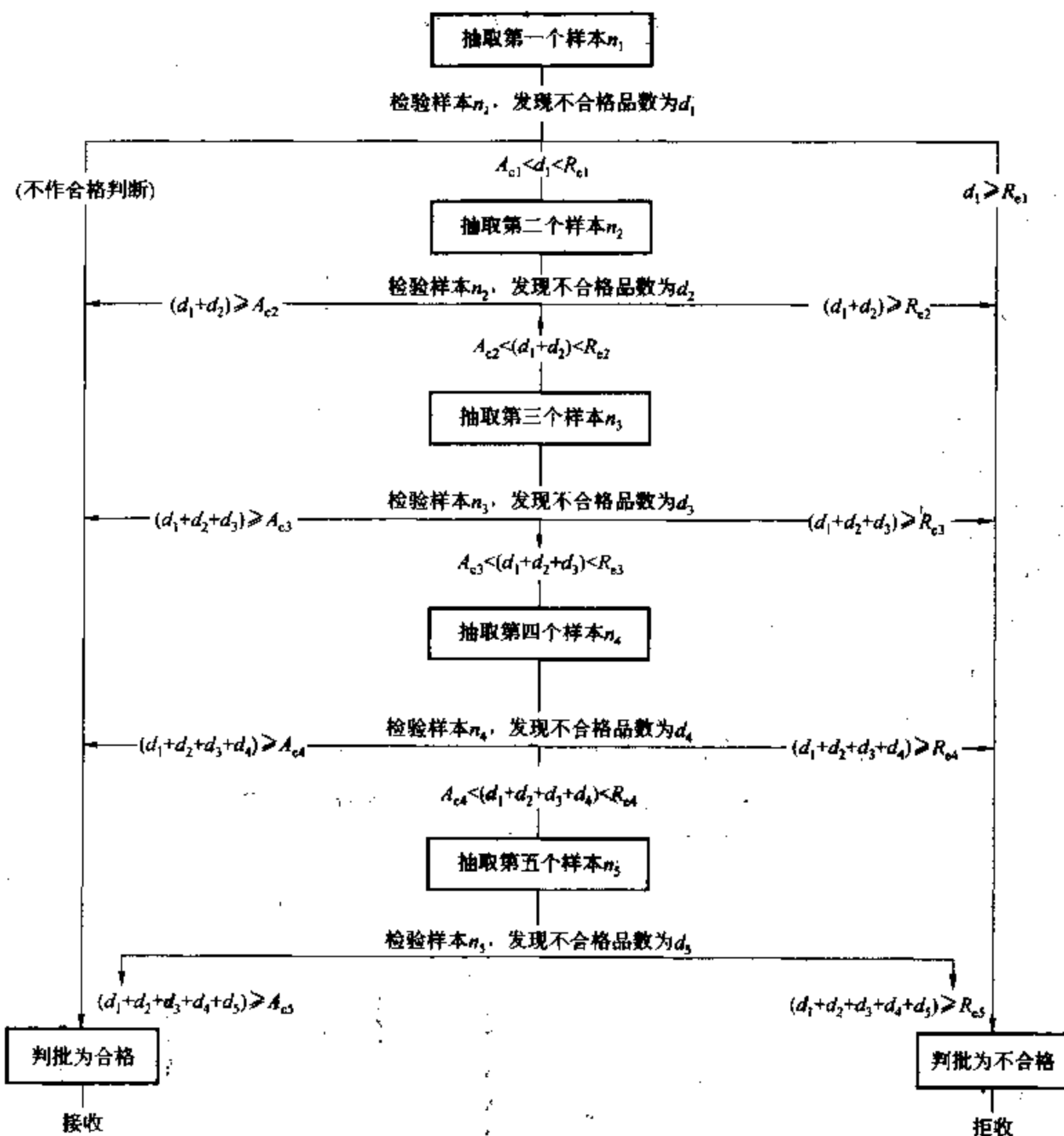


图 7—8 五次抽样检验方案的判断程序

行是方案，千万别回头”。

【例 6】导弹发射器上的某零件出厂采用 GB/T2828.1-2003 标准，已知： $N=500$ ， $IL=II$ ， $AQL=0.10$  求一次抽样检验计划。

查样本量字码表查得样本量字码 CL

根据样本量  $N=500$ ，检验水平  $IL=II$ ，则可从表 7—2 的样本量字码表中查得样本量字码  $CL=H$ 。

(2) 根据给定的接近质量限  $AQL=0.10$  和样本量字码  $CL=H$ ，从标准中的相应主抽检表中查得抽样检验计划的各个方案  $[N, n, A_c]$ 。

表 7—2 样本量字码表

| 批量范围            | 特殊检验水平 |     |     |     | 一般检验水平 |    |     |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|--------|----|-----|
|                 | S-1    | S-2 | S-3 | S-4 | I      | II | III |
| 1~8             | A      | A   | A   | A   | A      | A  | B   |
| 9~15            | A      | A   | A   | A   | A      | B  | C   |
| 16~25           | A      | A   | B   | B   | B      | C  | D   |
| 26~50           | A      | B   | B   | C   | C      | D  | E   |
| 51~90           | B      | B   | C   | C   | C      | E  | F   |
| 91~150          | B      | B   | C   | D   | D      | F  | G   |
| 151~280         | B      | C   | D   | E   | E      | G  | H   |
| 281~500         | B      | C   | D   | E   | F      | H  | J   |
| 501~1 200       | C      | C   | E   | F   | G      | J  | K   |
| 1 201~3 200     | C      | D   | E   | G   | H      | K  | L   |
| 3 201~10 000    | C      | D   | F   | G   | J      | L  | M   |
| 10 001~35 000   | C      | D   | F   | H   | K      | M  | N   |
| 35 001~150 000  | D      | E   | G   | J   | L      | N  | P   |
| 150 001~500 000 | D      | E   | G   | J   | M      | P  | Q   |
| > 500 001       | D      | E   | H   | K   | N      | Q  | R   |

得：正常检验方案 [500, 125, 0]；

加严检验方案 [500, 200, 0]；

放宽检验方案 [500, 50, 0]。

表 7—3 所示的是一次抽样正常检验主抽检表（局部）查找方案的示意。

表 7—3 一次抽样正常检验主抽检表（局部）查找方案示意表

| 样本量字码 | 样本量 | 接收质量限制(AQL) |           |           |           |           |           |           |           |
|-------|-----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|       |     | 0.010       | 0.015     | 0.025     | 0.040     | 0.065     | 0.10      | 0.15      | 0.25      |
|       |     | $A_c R_c$   | $A_c R_c$ | $A_c R_c$ | $A_c R_c$ | $A_c R_c$ | $A_c R_c$ | $A_c R_c$ | $A_c R_c$ |
| A     | 2   |             |           |           |           |           |           |           |           |
| B     | 3   |             |           |           |           |           |           |           |           |
| C     | 5   |             |           |           |           |           |           |           |           |
| D     | 8   |             |           |           |           |           |           |           |           |
| E     | 13  |             |           |           |           |           |           |           |           |
| F     | 20  |             |           |           |           |           |           |           |           |
| G     | 32  |             |           |           |           |           |           |           |           |
| H     | 50  |             |           |           |           |           |           |           | 0 1       |
| J     | 80  |             |           |           |           |           |           | 0 1       | ↑         |
| K     | 125 |             |           |           |           |           | 0 1       | ↑         | ↓         |
| L     | 200 |             |           |           | ↓         | 0 1       | ↑         | ↓         | 1 2       |
| M     | 315 |             |           |           | 0 1       | ↑         | ↓         | 1 2       | 2 3       |

#### (四) 计量抽样检验国家标准的使用

##### 1. 计数抽样检验与计量抽样检验的比较

通过表 7-4 对计数抽样检验与计量抽样检验的比较可知:

- (1) 计量抽样检验较计数抽样检验可以获得更多的产品质量信息;
- (2) 在相同的生产方风险  $\alpha$  和使用方风险  $\beta$  的情况下可使抽样样本量  $n$  大幅度减小;
- (3) 在相同的抽样样本量  $n$  的情况下可使生产方风险  $\alpha$  和使用方风险  $\beta$  大幅度下降。

表 7-4 计数抽样检验与计量抽样检验的比较

| 项 目 \ 类 型  | 计数抽样检验                                      | 计量抽样检验  |
|------------|---|---|
| 质量特性表示方法   | 不合格数、不合格品率每百件产品中的不合格数                       | 质量特性的分布均值、标准差不合格品率                            |
| 接收、拒收的判断   | 样本中的不合格品数 $d$ 与方案中的接收数 $A_c$ 和拒收数 $R_c$ 相比较 | 样本均值与质量统计量 $Q$ 相比较                            |
| 应用限制条件     | 应保证随机抽样                                     | 应保证质量特性值服从正态分布                                |
| 样本相同时的判别能力 | 低   | 高   |
| 判别能力相同时样本量 | 大   | 小   |
| 实施计数检验时    | 可用  | 不可用   |
| 实施计量检验时    | 可用  | 可用  |
| 样本信息的利用率   | 低   | 高   |
| 对检验员素质的要求  | 低   | 高 (计算量大且复杂)                                   |
| 适用场合       | 检验费用比产品低、检验时间、设备、人员不足; 检验项目多、保证批综合质量水平时采用   | 检验费用比产品价值高、检验时间、设备、人员充足; 检验项目单一, 保证批产品关键项目时采用 |
| 应用特点       | 使用方便、时间短、设备简单、记录简单、直观性好、易于理解                | 对检验员要求高, 检验时间长, 设备多而复杂, 记录复杂, 直观性差不易理解        |

##### 2. 计量抽样检验的应用场合

- (1) 产品质量特性值服从正态分布;
- (2) 生产过程处于统计稳态;
- (3) 进货检验、过程检验、成品检验均可采用;
- (4) 单批生产不宜采用;
- (5) 计量抽样检验同时考虑生产方风险  $\alpha$  和使用方风险  $\beta$  的情况下判断产品质量水平更为有利。

##### 3. 计量抽样检验方案的分类及国家标准

- (1) 按产品质量水平的衡量方式分类

① 以质量特性总体分布平均值 $\mu$ 为质量指标;

② 以总体不合格品率为质量指标。

(2) 按总体分布标准差是否已知分类

①  $\sigma$  法;

② S 法。

(3) 按产品规格(公差)界限分类

① 给定双侧界限(望目值质量特性);

② 给定上侧界限(望小值质量特性);

③ 给定下侧界限(望大值质量特性)。

(4) 按抽样方式分类

① 一次抽样;

② 二次抽样;

③ 多次抽样。

(5) 计量抽样检验国家标准

① GB/T 8053 - 2001《不合格品率计量标准型一次抽样检验程序及表》(将主要介绍本标准的使用);

② GB/T 8054 - 1995《平均值计量标准型一次抽样检验程序及表》。

4. 国家标准 GB/T 8053 - 1987《不合格品率计量标准型一次抽样检验程序及表》的使用  
使用时按标准文本实施。

(1) 有关规定

① 可接收质量 $p_0$

GB/T 8053 - 2001 标准以不合格品率 $p$ 为质量指标。

可接收质量是在抽样检验中,对应一个确定的、较高的接收概率 $P_1$  ( $p = p_0$ ) = 0.95 (即生产方风险 $\alpha = 0.05$ ),质量水平 $p_1$ ,称为极限质量。

② 抽样检验类型

标准规定,在确定抽样检验方案时,按批标准差 $\sigma$ 是已知或未知而划分的抽样检验类型,分别为 $\sigma$ 法和S法,放生产过程稳定(产品质量稳定)且有近期20~25组样本数据预先确定批标准时,可采用 $\sigma$ 法,否则应采用S法。

如果生产方与使用方有较长供货期时,无论采用 $\sigma$ 法还是采用S法,均应绘制控制图。在使用S法时,若控制图显示过程是处于“统计稳态”时,允许由S法转入 $\sigma$ 法。在使用 $\sigma$ 法时,若控制图显示过程已失去“统计稳态”时,则应立即由 $\sigma$ 法转回到S法。

由于各种原因,当过程处于统计稳态,但批标准差数值已明显改变时,则应重新确定所使用的标准差数值。

③ 检验方式

检验方式根据被检验产品质量特性的类别而确定。标准规定有双侧规格限(对望目值质量特性)、上规格限(对望小值质量特性)、下规格限(对望大值质量特性)三种检验方式。

④ 确定抽样检验方案的方法

表 7—5 给出的是  $\sigma$  法和 S 法确定抽样检验方案的工作步骤和工作内容。

表 7—5 确定抽样检验方案的工作步骤和工作内容

| 工作步骤 | 工作内容              | 检验类型       | 检验方式   |                                |               |
|------|-------------------|------------|--|--------------------------------|---------------|
|      |                   |            | 双侧规格限  | 上规格限                           | 下规格限          |
| 1    | 规定质量要求            | —          | $U, L, p_0, p_1$   | $U, p_0, p_1$                  | $L, p_0, p_1$ |
| 2    | 确定 $\sigma$       | $\sigma$ 法 | 由生产厂近期生产的 20~25 组数据作 $\bar{x}-R$ (或 $\bar{x}-s$ ) 控制图或近期 20~25 批抽样检验数据, 由公式 $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$ 或 $\hat{\sigma} = \bar{s}/C_4$ 计算得到批标准差 $\sigma$ 的估价值 |                                |               |
|      |                   | S 法        | 由抽样的样本标准差 $s$ 作为 $\sigma$ 的估价值。  |                                |               |
| 3    | 确定抽样检验方案 $[n, k]$ | $\sigma$ 法 | 由 $p_0, p_1$ 及 $\frac{U-L}{\sigma}$ 检索方案 $[n, k]$  | 由 $p_0, p_1$ 检索抽样检验方案 $[n, k]$ |               |
|      |                   | S 法        | 经验证符合给定条件满足双侧规格限标准使用条件后由 $p_0, p_1$ 检索方案   | 由 $p_0, p_1$ 检索抽样检验方案 $[n, k]$ |               |

\* 注: 使用 GB/T 8053 - 2001 标准, 采用 S 法时, 对双侧规格限的情况应验证满足以下两个条件:

$$\frac{U-L}{\hat{\sigma}} > 2.89U_{1-p_1} \text{ 和 } \frac{U-L}{\hat{\sigma}} > 2U_{1-0.2p_0}$$

式中:  $U_{1-p_1}, U_{1-0.2p_0}$  分别为标准正态分布上侧概率分位数。

常用不合格品率与对应的分位数值见表 7—6。

表 7—6 常用不合格品率与对应的分位数值表

| $p$ (%) |       | $U_{1-p}$ | $p$ (%) |       | $U_{1-p}$ |
|---------|-------|-----------|---------|-------|-----------|
| $p_0$   | $p_1$ |           | $p_0$   | $p_1$ |           |
| 0.100   | —     | 3.090 23  | 2.00    | 2.00  | 2.053 75  |
| 0.125   | —     | 3.023 34  | 2.50    | 2.50  | 1.959 96  |
| 0.160   | —     | 2.947 84  | 3.15    | 3.15  | 1.859 19  |
| 0.200   | —     | 2.878 16  | 4.00    | 4.00  | 1.750 69  |
| 0.250   | —     | 0.807 03  | 5.00    | 5.00  | 1.644 85  |
| 0.315   | —     | 2.731 74  | 6.30    | 6.30  | 1.530 07  |
| 0.400   | —     | 2.652 07  | 8.00    | 8.00  | 1.405 07  |
| 0.500   | —     | 2.575 83  | 10.00   | 10.00 | 1.281 55  |
| 0.630   | —     | 2.494 88  | —       | 12.50 | 1.150 35  |
| 0.800   | 0.800 | 2.408 92  | —       | 16.00 | 0.994 46  |
| 1.00    | 1.00  | 2.326 35  | —       | 20.00 | 0.841 62  |
| 1.25    | 1.25  | 2.241 40  | —       | 25.00 | 0.674 49  |
| 1.60    | 1.60  | 2.144 41  | —       | 31.50 | 0.481 73  |

⑤ 判断规则

$\sigma$  法: a. 双侧规格限时 (望目值质量特性), 计算

$$Q_U = \frac{U - \bar{x}}{\sigma}, \quad Q_L = \frac{\bar{x} - L}{\sigma}$$

若  $Q_U \geq K$  且  $Q_L \geq K$ , 判批接收; 否则拒收。

b. 上侧规格限时 (望小值质量特性), 计算

$$Q_U = \frac{U - \bar{x}}{\sigma}$$

若  $Q_U \geq K$ , 判批接收; 否则拒收。

c. 下侧规格限时, 计算

$$Q_L = \frac{\bar{x} - L}{\sigma}$$

若  $Q_L \geq K$ , 判批接收; 否则拒收。

S 法: 判断方法与  $\sigma$  法相同, 只是计算统计量时可以  $s$  代替  $\sigma$ 。

## (2) 实施程序

① 选择抽样检验类型: 采用  $\sigma$  法还是 S 法。

② 确定抽样检验方式。根据检验对象的质量特性类型确定

a. 望目值质量特性给定双侧规格限  $U, L$ 。

b. 望小值质量特性给定上侧规格限  $U$ 。

c. 望大值质量特性给定下侧规格限  $L$ 。

③ 规定质量要求 (可接收质量与极限质量)。

a. 双侧规格限:  $U, L, p_0, p_1$ 。

b. 上侧规格限:  $U, p_0, p_1$ 。

c. 下侧规格限:  $L, p_0, p_1$ 。

④ 确定抽样方案: 按表 7—5 工作步骤和工作内容表中的规定方法检索抽样检验方案  $[n, k]$ 。

⑤ 从交验批中抽取样本: 从交验批批量  $N$  中按抽样方案规定的样本量  $n$  随机抽样。

⑥ 检验样本并计算结果: 检验样本中每个单位产品的质量特性值并计算样本均值  $\bar{x}$  标准差  $s$  和质量统计量  $Q_U, Q_L$ 。

⑦ 判断交验批是否接收或拒收。

⑧ 对交验批处理。

## (3) 案例

①  $\sigma$  法

【例 7】某产品质量特性为望小值, 规定上规格限  $U = 200$ ,  $p_0 = 2\%$ ,  $p_1 = 10\%$ , 已知  $\sigma = 6$ , 求抽样检验方案。

解: i. 由给定的条件  $p_0, p_1$  值查标准 GB/T 8053 中的表 1 得抽样检验方案,  $[n, k]$  为  $[14, 1.62]$ 。



ii. 判断: 从交验批中随机抽取  $n = 14$  的样本, 并检测每一单位产品的质量特性值。计算样本分布特征值  $\bar{x}$  和上规格界限质量统计量  $Q_U$ 。

若  $Q_U \geq 1.62$ , 则判批接收, 否则拒收。

【例 8】某产品质量特性为望大值, 规定下规格限  $L = 500$ ,  $p_0 = 1\%$ ,  $p_1 = 8\%$ , 已知  $\sigma = 2$ , 求抽样检验方案。

解: i. 根据给定的条件, 由  $p_0$ 、 $p_1$  值查标准中的表 1 得抽样检验方案  $[n, k]$  为  $[10, 1.81]$ 。

ii. 判断: 从交验批中随机抽取  $n = 10$  的样本, 逐一检测产品质量特性值并计算均值  $\bar{x}$  和下规格限质量统计量  $Q_L$ 。

若  $Q_L \leq 1.81$ , 则判该批接收; 否则拒收。

【例 9】某产品质量特性为望目值, 规定  $U = 67$ ,  $L = 58$ ,  $p_0 = 5\%$ ,  $p_1 = 16\%$ , 已知  $\sigma = 1.3$ , 求抽样检验方案。

解: i. 计算

$$\frac{U-L}{\sigma} = \frac{67-58}{1.3} = 6.923$$

ii. 依据给定的条件  $p_0$ ,  $p_1$  和计算值 6.923, 查标准中的表 2 得抽样验方案  $[n, k]$  为  $[19, 1.29]$ 。

iii. 判断: 从交验批中随机抽取  $n = 19$  的样本, 测量每一单位产品的质量特性值并计算样本均值  $\bar{x}$  和上下质量统计量  $Q_U$ ,  $Q_L$ 。

若  $Q_U \geq 1.29$  且  $Q_L \geq 1.29$ , 则判该批接收。

若  $Q_U < 1.29$  或  $Q_L < 1.29$ , 则判该批拒收。

## ② S 法

【例 10】某产品质量特性为望小值, 规定  $U = 200$ ,  $p_0 = 2\%$ ,  $p_1 = 10\%$ 。

若质量特性值分布标准差未知, 求抽样检验方案。

解: i. 依据给定的条件  $p_0$ ,  $p_1$  查标准中的表 3 得抽样检验方案  $[n, k]$  为  $[34, 1.63]$ 。

ii. 判断: 从交验批中随机抽取  $n = 34$  的样本, 检测每一单位产品的质量特性值并计算样本均值  $\bar{x}$  和标准差  $s$ , 进而计算上质量限质量统计量  $Q_U$ 。

$$Q_U = \frac{U - \bar{x}}{s}$$

若  $Q_U \geq 1.63$ , 判该批接收; 否则拒收。

【例 11】某产品质量特性为望大值, 规定  $L = 500$ ,  $p_0 = 1\%$ ,  $p_1 = 8\%$ , 质量特性值分布标准差  $\sigma$  未知, 求抽样检验方案。

解: i. 依据给定的条件  $p_0$ ,  $p_1$  查标准中的表 3, 得抽样检验方案  $[n, k]$  为  $[28, 1.83]$ 。

ii. 判断: 从交验批中随机抽取  $n = 28$  的样本, 检测每一单位产品的质量特性值, 计算样本均值  $\bar{x}$  和标准差  $s$  及下质量限特征值  $Q_L$ 。若  $Q_L \leq 1.83$  判批接收, 否则拒收。

【例 12】某产品质量特性为望目值, 规定  $U = 67$ ,  $L = 58$ ,  $p_0 = 5\%$ ,  $p_1 = 16\%$ , 质量特

性值分布标准差  $\sigma$  为未知, 求抽样检验方案。

解: i. 验证是否符合双侧规格限的标准使用条件:

查分位数表, 得  $U_{1-p_0} = U_{1-5\%} = 1.644\ 85$

$$U_{1-p_1} = U_{1-16\%} = 0.994\ 46$$

$$U_{1-0.2p_0} = U_{1-1\%} = 2.326\ 35$$

$$\begin{aligned} \text{则有 } 2.89U_{1-5\%} - 0.89U_{1-16\%} &= 2.89 \times 1.644\ 85 - 0.89 \times 0.994\ 46 \\ &= 3.869 \end{aligned}$$

$$2U_{1-0.2p_0} = 2U_{1-1\%} = 2 \times 2.326\ 35 = 4.653$$

验证有

$$\frac{U-L}{\sigma} = \frac{67-58}{1.3} = 6.923$$

即  $6.923 > 3.869$  和  $6.923 > 4.653$ , 符合标准使用条件。

ii. 依据给定的条件  $p_0, p_1$  查标准表 3 得抽样检验方案  $[n, k]$  为  $[38, 1.29]$

iii. 判断: 从交验批中随机抽取  $n=38$  的样本, 检测每一单位产品的质量特性, 计算样本均值  $\bar{x}$  和标准差  $S$  及上、下规格限质量统计量  $Q_U, Q_L$ 。

若有  $Q_U \geq 1.29$  且  $Q_L \geq 1.29$ , 判该批接收。

若有  $Q_U < 1.29$  且  $Q_L < 1.29$ , 判该批拒收。

从以上各案例可以看出, 当采用 S 法时, 虽然质量要求完全相同, 但采用  $\sigma$  法时过程是保证处于统计稳态的, 而采用 S 法时无此保证。为达到一定的质量保证程度, 必须加大抽样检验的样本量  $n$ 。



请勿用于商业用途或准商业用途,

请于下载后24小时内删除! 如无法遵守此规定, 则谢绝下载!!

吴国林 MSN: colin\_21st@hotmail.com

# 第八章 试验设计

## 一、试验设计概述

### (一) 实施供应商质量控制的企业对试验设计的需求

从1999年以来本书编著者(王毓芳、肖诗唐)在全国大中城市举办的各类质量管理、质量工程技术学习班上授课,其中包括课题为“互利共赢的供应商质量控制”的授课。授课期间,来自河南某公司的李先生告诉编著者,最近他所在的公司生产的一种钢结构焊接件,是供应某整机厂使用的部件,它出现了重大质量问题;主要钢结构件的强度不够,在焊连接处脱落,占交货量15%~20%。编著者和李先生研讨时指出:焊接加工过程是一个特殊过程,受①焊接电流强度、②焊接时间、③焊料及④两块被焊钢材的厚度等多个可控因素的影响。因此,编著者建议李先生采用试验设计(DOE)来解决此钢结构件的质量问题。

又如,来自杭州某电源器件公司的学员,他们生产的铃流电源模块的频率值超差,批不合格品率为10%,直接影响了对深圳某工厂集团公司的交货。经编著者和学员研讨,该电子产品的铃流频率是由振荡器产生,它受①电阻器、②电容器及③三极晶体管等多个可控因素的影响,建议该学员采用试验设计(DOE)解决频率超差问题。

### (二) 试验设计的含义

试验设计(DOE)是指有关试验的设计方法,是在试验前明确目标的前提下,对投入的因素(因子)、位级(水平)及试验次数做具体的设计和安排。试验设计是产品开发、工艺设计、过程优化等方面最重要的统计方法之一。试验设计需要对系统引入变化(因素、位级)并通过试验了解和确认某个或多个因素对系统某些特性的影响,从而对系统的变化效应做出统计评价。试验设计的目标在于使产品或系统特性达到最大或最优或减小其变异幅度,通过科学、合理安排试验,识别最有影响的因素及因素间的相互作用来提高产品质量水平和过程优化水平。

## 二、试验设计的由来及发展

(1) “试验随机化”由英国的费夏(R. A. Fisher)提出。是试验设计的基础。

(2) 正交试验设计:日本质量管理专家田口玄一创立的正交试验设计法使正交试验设计工业化。田口型正交试验设计的试验结果分析采用的方差分析法需要复杂的计算,适用于科研机构应用。

(3) 中国数学家张里千教授创立的中国型正交试验设计的试验结果分析采用极差分析

法，计算简便，适宜生产现场应用。

(4) 试验设计的方法很多，如优选法、正交试验设计、析因设计、调优运算法等。目前最常用的就是正交试验设计，它是以最少的试验次数取得较好试验结果的方法。

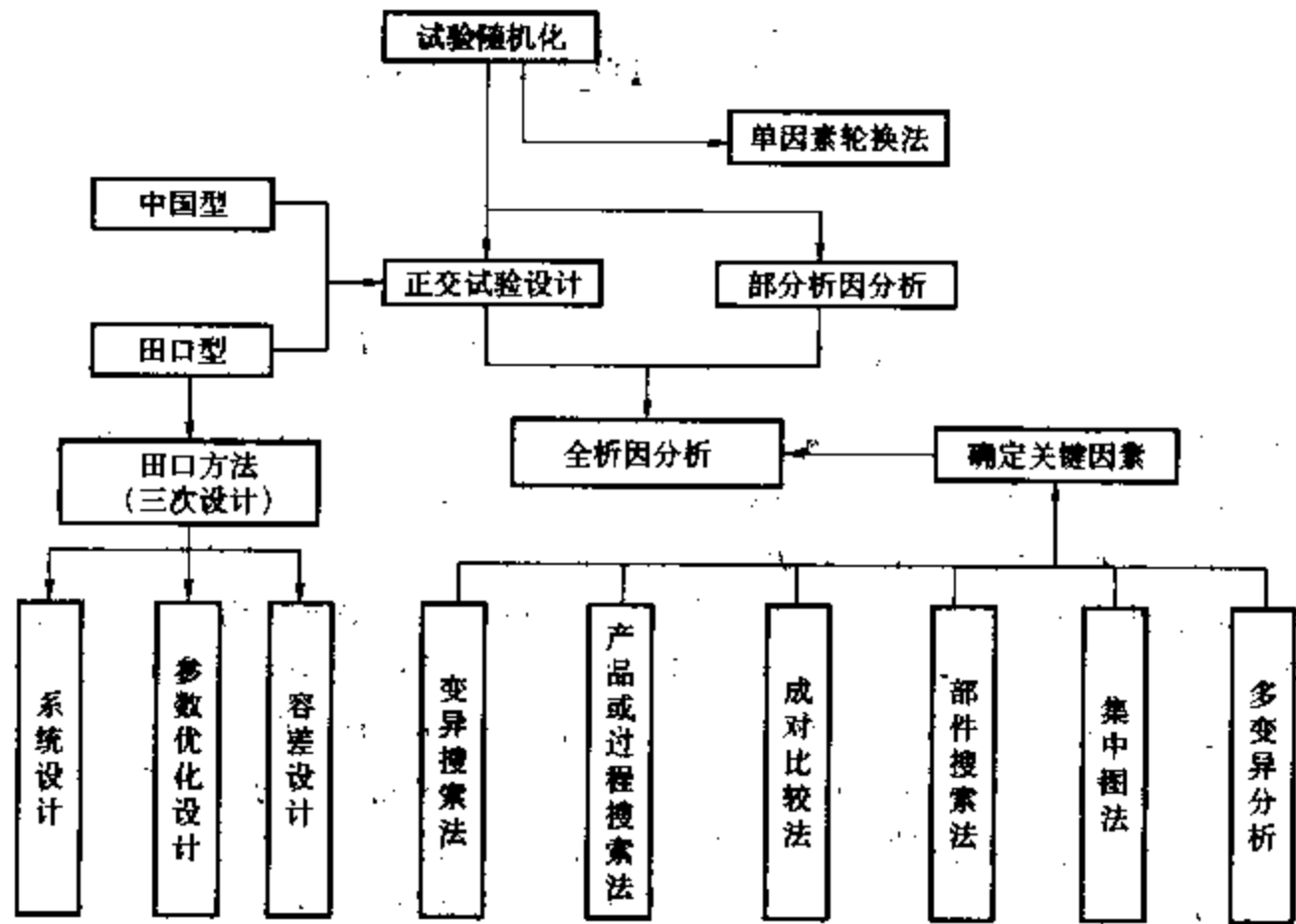


图 8-1 试验设计的发展过程

(5) 近几年试验设计向全析因分析发展，同时由于全析因分析的需要，线索生成技术也得到不断完善。

试验设计的发展过程可参见图 8-1。

三、试验设计的术语

1. 试验因素（因子）

试验因素是指当试验条件变化，试验考核指标也发生变化时，影响考核指标取值的量。一般记为 A，B，C 等。试验因素可以理解为试验过程中的自变量。如：化学试验中的温度、时间、压力、催化剂的量等；机械加工中的切削速度、吃刀量、刀具的几何参数、冷却方式等。试验因素可以是定量的，也可以是定性的。

试验因素分为可控因素和不可控因素（干扰因素）。可控因素是指在试验过程中因素所处的状态可以控制或调整的因素，如加热温度、熔化温度、切削速度等。不可控因素（干扰因素）则是因素所处的状态是不能控制或调整的因素。在试验设计应用过程中，若无特殊规定，其因素一般是指可控因素。

2. 因素的位级（水平）

试验因素的位级（水平）是指试验因素所处的状态。试验方案是由若干试验因素所组

成的若干组合, 因素在试验过程中变化的几种状态, 就称为有几个位级 (水平)。例如试验方案中:

温度可以是 100 °C, 120 °C, 150 °C 等;

时间可以是 1 h, 1.5 h, 2 h 等;

压力可以是 1 MPa, 1.5 MPa, 2 MPa 等。

试验设计的目的是取得试验因素位级的最佳组合, 也就是使产品质量缺陷数量少, 产品成本最低。

### 3. 考核指标

考核指标是在实验设计中, 根据试验目的而选定的用来衡量试验效果的量值 (指标)。考核指标可以是定量的, 也可以是定性的 (对于定性指标应采用李克特度量尺度将其转换为定量指标)。考核指标就其预期结果而言可分为望目值、望小值和望大值三种类型。考核指标可以是一个, 也可以是多个。前者称为单指标试验设计, 后者称为多指标试验设计。在多指标试验设计中, 一般要根据指标的重要程度予以加权, 确定为一个综合性考核指标, 以便进行计算。

### 4. 完全因素位级组合

完全因素位级组合是指参与试验的全部因素 (包括因素及其交互作用) 与全部位级相互之间的全部组合次数, 即全部试验次数。若试验过程中共有  $i$  个因素, 每个因素各有  $j$  个位级, 则其完全因素位级组合数 (全部试验次数应有)  $N = j^i$  次。由于因素及相交互作用数量多, 完全因素位级组合是很难实现的。

### 5. 部分因素位级组合

部分因素位级组合是从完全因素位级组合中抽取一部分因素位级组合构成试验方案, 实际上是对完全因素位级组合的抽样。最早的部分因素位级组合是采用单因素轮换法实施, 是一种不合理的抽样。只有正交试验设计法发明之后, 才真正实现了科学的、合理的部分因素位级组合。正交试验设计法是对完全因素位级组合的统计抽样。然而, 由于正交试验设计以及后面所讲到的部分析因分析所取的部分因素是由经验决定的, 带有一定的主观性; 同时舍弃了大部分交互作用, 就很有可能形成错误的结论。只有经过线索生成技术确定关键因素后的全析因分析才能取得正确的结论。

### 6. 主效应和交互影响效应

(1) 主效应: 主效应是某因素各位级试验观测值的平均值的差值。

(2) 交互影响效应: 一个因素的效应在另一个因素的不同位级上是不同的, 则称这两个因素之间存在交互作用。如, 某试验结果的质量水平与投入的两个因素  $A$  和  $B$  有关, 则可根据试验结果计算主效应和交互影响效应。

### 7. 重复

重复是指对某一测量值在相同条件下重复试验取得的值。若试验重复  $R$  次, 则称含有  $R$  个重复, 重复的目的是为了提高试验的精度。

### 8. 随机化

在正交表中各因素占有的位置以及试验顺序的随机化是最大限度减小试验系统误差的有效措施。

四、正交试验设计

正交试验设计法是研究与处理多因素试验的一种科学方法，是在实践经验和理论认识的基础上，利用一种规格化的表格——正交表，科学地挑选试验条件，合理安排试验的一种方法。其优点在于能从很多试验条件中，选出代表性强的少数次条件，并能通过少数次试验结果的分析找出较好的试验方案。

(一) 正交表

1. 正交表的符号

正交表是安排试验方案的规格化表格，正交表的符号如图 8—2 所示。

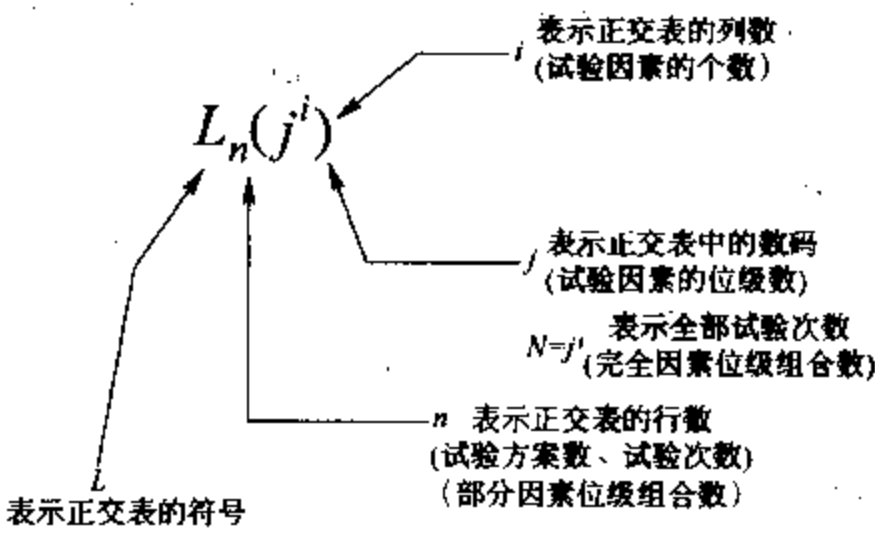


图 8—2 正交表的符号

2. 正交表的结构

(1) 正交表  $L_8(2^7)$  (表 8—1)

表 8—1 正交表  $L_8(2^7)$

| 列<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1        | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 2        | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3        | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 4        | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 5        | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 6        | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 7        | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8        | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |

该表可容纳 7 个因素各 2 个位级，具有 8 个试验方案。其特点为：

- ① 具有 8 个横行表示 8 个试验方案的因素位级组合；

- ② 具有 7 个直列表示最多可容纳 7 个试验因素；
- ③ 正交表中横行与直列的交点的数码表示该因素的位级号码；
- ④ 每个因素的位级各出现 4 次；
- ⑤ 任意两列横向组合的数字对完全一致。

(2) 正交表  $L_9(3^4)$  (表 8—2)

表 8—2 正交表  $L_9(3^4)$

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

该表可容纳 4 个因素，各 3 个位级，具有 9 个试验方案。其特点为：

- ① 9 个横行表示 9 个试验方案的因素位级组合；
- ② 4 个直列表示最多可容纳 4 个试验因素；
- ③ 横行与直列交点数码表示该列因素的位级号码；
- ④ 每个因素的每个位级各出现 3 次；
- ⑤ 任意两例其横向组合的数字对完全一致。

### 3. 正交表的正交性

正交表的正交性反映在整齐可比性和均衡分散性两个方面。只有使用具有正交性的正交表安排试验方案才有效。

#### (1) 整齐可比性

整齐可比性是指在同一张正交表中，每个因素的每个位级出现的次数是完全相同的。由于每个因素的每个位级参与试验的几率完全相同，保证各个位级最大限度地排除了其他因素位级的干扰，能有效进行展望，容易找到好的试验条件。

#### (2) 均衡分散性

均衡分散性指在同一张正交表中，任意两列间位级的搭配（组合）是完全相同的。这就保证了试验条件均衡分散于因素位级的完全组合之中，因而具有很强的代表性，容易找到好条件。

说明：① 只要符合正交性要求，就可以使用，同样级别的正交表可能会具有几种不同的形式。

② 在安排具有交互作用的试验时应使用有交互作用的配套正交表（见表 8—3）。

表 8—3 正交表  $L_8(2^7)$  及配套表

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2         | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3         | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4         | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5         | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6         | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7         | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8         | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

| (列号)<br>列号 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|            | (1) | 3   | 2   | 5   | 4   | 7   | 6 |
|            |     | (2) | 2   | 6   | 7   | 4   | 5 |
|            |     |     | (3) | 7   | 6   | 5   | 4 |
|            |     |     |     | (4) | 1   | 2   | 3 |
|            |     |     |     |     | (5) | 3   | 2 |
|            |     |     |     |     |     | (6) | 1 |

(二) 正交试验设计法的基本应用程序

(1) 明确试验目的，确定考核指标。

(2) 挑因素，选位级，确定因素位级表。若需考虑因素间的交互作用，应根据理论认识和专业技术等实践经验确定哪些因素之间有交互作用。

(3) 选择适宜的正交表。若考虑因素间的交互作用，应按交互作用表进行表头设计，应避免发生“混杂”现象。对试验结果分析若采用极差分析法时因素可填满正交表的每一列，若采用方差分析法时最好应空一列。

(4) 因素、位级上正交表，对号入座。提出试验方案报请领导批准并配备资源（人、财、物、场地）。

(5) 实施试验计划。

(6) 试验结果分析，展望好条件（用极差分析法或方差分析法）。

(7) 进行新一轮的调优试验：按调优原则可反复试验，逼近最优试验方案。调优试验应遵守以下原则：

- ① 重要因素有苗头处加密；
- ② 次要因素按技术、经济两方面综合考虑；
- ③ 有疑问的因素可重复考虑；
- ④ 意外的发现补充考虑；
- ⑤ 试验结果与预期目标差距较大时重新考虑因素位级。



- (8) 进行生产验证, 确定新的设计值。通过生产验证, 证实试验方案的有效性。  
 (9) 标准化。试验结果用新的设计、工艺标准指导生产。

### (三) 极差分析法与方差分析法

即把正交表的每一行作为试验方案做试验, 并做好每次试验的测量工作, 收集数据, 以及对这些试验结果数据进行统计分析。

#### 1. 极差分析法

极差分析法的步骤为:

- (1) 计算各因素各位级的贡献系数  $k$ 。

$k$  为该位级参加试验的试验方案结果的考核指标的累积和。

- (2) 计算各因素贡献系数的极差  $R$ 。

$R$  为该因素各位级贡献中的最大值与最小值之差。

- (3) 按极差  $R$  的大小将因素顺序排列, 显示各因素在试验中的重要性。

- (4) 按贡献系数的数值确定各因素的好位级。

若考核指标为望大值时, 则贡献系数的数值越大其位级越优。

若考核指标为望小值时, 则贡献系数的数值越小其位级越优。

若考核指标为望目值时, 则贡献系数的数值应按该位级参加试验的次数取平均值, 其平均值越接近目标值其位级越优。

- (5) 展望好条件 (最佳因素, 位级的组合)。

#### 2. 方差分析法

方差分析法的步骤为:

- (1) 计算各列由于因素的水平不同引起的波动, 用各列平方和  $S_i$  表示对每一列; 包括因素、交互作用及空项均应计算  $S_i$

$$S_i = \sum_{j=1}^j \frac{k_{ij}^2}{n/j} - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$$

对于二位级

$$S_i = \frac{1}{n} (k_{1i}^2 + k_{2i}^2) - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$$

对于三位级

$$S_i = \frac{1}{n} (k_{1i}^2 + k_{2i}^2 + k_{3i}^2) - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$$

式中:  $n$ ——试验次数;

$i$ ——正交表中的列号;

$j$ ——位级数;

$k_{1i}$ ——该列第 1 位级的贡献;

$k_{2i}$ ——该列第 2 位级的贡献;

$k_{3i}$ ——该列第 3 位级的贡献;

$m$ ——1, 2, ...,  $j$  (位级数)。

(2) 计算自由度  $f$ 。

$f_T = n - 1$  为总自由度。

$f_j = j - 1$  为各因素的自由度。

$j$  为位级数。

$f_e = f_T - \sum f_j$  为误差自由度。

(3) 计算均方  $\bar{S} = \frac{S}{f}$ 。

(4) 列出方差分析表, 计算  $F$  值 (或称  $F$  比)。

$$F = \frac{\bar{S}_j}{\bar{S}_e}$$

式中:  $\bar{S}_j$ ——各因素的均方;

$\bar{S}_e$ ——小数值项累积和的均方。

(5) 设置显著性水平  $\alpha$ , 对各因素进行显著性检验。

显著性水平  $\alpha$ , 是犯第一类错误的风险度 (概率), 一般  $\alpha$  取 0.01 或 0.05 等。

若  $F \geq F_{0.01}(f_1, f_2)$  判该因素对试验结果特别显著, 该因素特别重要, 记 \* \*。

若  $F \geq F_{0.05}(f_1, f_2)$  判该因素对试验结果显著, 该因素很重要, 记 \*。

若  $F < F_{\alpha}(f_1, f_2)$  判该因素对试验结果不显著, 表明此因素与随机误差为同一数量级水平。

(6) 展望好条件, 即列出最佳组合条件。

注: 采用极差分析法时, 因素 (包括交互作用) 可以占满正交表所有的列; 采用方差分析法时, 正交表中可空出一列, 作为误差项。

## 五、无交互作用正交试验设计案例

### (一) 提高磁鼓电机合格品率的试验设计

磁鼓电机是彩色录像机磁鼓组件的关键部件之一, 按质量要求, 其输出力矩应当大于 0.021 0 N·m。某生产厂过去这项产品的合格品率较低, 从而希望通过试验找出好的条件, 以提高磁鼓电机的输出力矩。

应用步骤:

第一步 明确试验目的, 确定考核指标。

① 试验目的: 提高磁鼓电机的输出力矩。

② 考核指标: 输出力矩 (望大值)。

第二步 挑因素, 选位级, 确定因素位级表。

根据理论知识和实践经验 (主要是专业技术) 确定 3 个因素各 3 个位级, 因素位级表

见表 8—4。

第三步 选择适宜的正交表。

因为只有 3 个因素各 3 个位级，所以选择  $L_9(3^4)$  适宜。

第四步 因素位级上正交表，安排试验计划并提出申请报告。报批后配置试验所需资源，再按试验方案一个个做试验。

表 8—4 因素位级表

| 因 素 \ 位 级             | 1   | 2     | 3     |
|-----------------------|-----|-------|-------|
| A: 充磁量 ( $10^{-4}$ 特) | 900 | 1 100 | 1 300 |
| B: 定位角度 (度)           | 10  | 11    | 12    |
| C: 定子线圈匝数 (匝)         | 70  | 80    | 90    |

由于本案是 3 个因素，占据  $L_9(3^4)$  表的前三列，第四列为空项。各因素各位级按  $L_9(3^4)$  表规定的结构填入相应的位置，形成 9 个试验方案。按试验方案进行试验，将试验结果记录于正交表右侧。表 8—5 为本例试验计划与试验结果。

表 8—5 试验计划与试验结果

| 列 号 | A                  | B        | C          | y    |
|-----|--------------------|----------|------------|------|
| 试验号 | 充磁量 ( $10^{-4}$ 特) | 定位角度 (度) | 定子线圈匝数 (匝) | 试验结果 |
| 1   | (1) 900            | (1) 10   | (1) 70     | 160  |
| 2   | (1) 900            | (2) 11   | (2) 80     | 215  |
| 3   | (1) 900            | (3) 12   | (3) 90     | 180  |
| 4   | (2) 1 100          | (1) 10   | (2) 80     | 168  |
| 5   | (2) 1 100          | (2) 11   | (3) 90     | 236  |
| 6   | (2) 1 100          | (3) 12   | (1) 70     | 190  |
| 7   | (3) 1 300          | (1) 10   | (3) 90     | 157  |
| 8   | (3) 1 300          | (2) 11   | (1) 70     | 205  |
| 9   | (3) 1 300          | (3) 12   | (2) 80     | 140  |

第五步 试验结果分析。

下面以极差分析法为例分析。

① 按极差分析法计算贡献系数  $k$  和极差  $R$ ，见表 8—6。

本案例的极差  $R$  及计算与上例略有不同，但不影响“展望好条件”得到的因素位级排

列结果，其计算式为： $R = \frac{K_{\max}}{3} - \frac{K_{\min}}{3}$

② 统计分析。(详见表 8—6)

展望好条件为： $B_2A_2C_3$  (或  $C_1$ )，即充磁量为  $1\,100 \times 10^{-4}$  特，定位角度为 11 度，定子线圈为 70 匝 ( $C_1$ )，既节约成本，又方便生产时嵌线操作。

③ 各因素对输出力矩 (试验指标) 的影响程度，见图 8—3。

表 8—6 极差分析表

| 因 素            | A    | B   | C    |   | Y       |
|----------------|------|-----|------|---|---------|
| 列号<br>试验号      | 1    | 2   | 3    | 4 |         |
| 1              | 1    | 1   | 1    | 1 | 160     |
| 2              | 1    | 2   | 2    | 2 | 215     |
| 3              | 1    | 3   | 3    | 3 | 180     |
| 4              | 2    | 1   | 2    | 3 | 168     |
| 5              | 2    | 2   | 3    | 1 | 236     |
| 6              | 2    | 3   | 1    | 2 | 190     |
| 7              | 3    | 1   | 3    | 2 | 157     |
| 8              | 3    | 2   | 4    | 3 | 205     |
| 9              | 3    | 3   | 2    | 1 | 140     |
| k <sub>1</sub> | 555  | 485 | 555  |   | Σ 1 651 |
| k <sub>2</sub> | 594  | 656 | 523  |   |         |
| k <sub>3</sub> | 502  | 510 | 573  |   |         |
| R              | 30.7 | 57  | 16.7 |   |         |

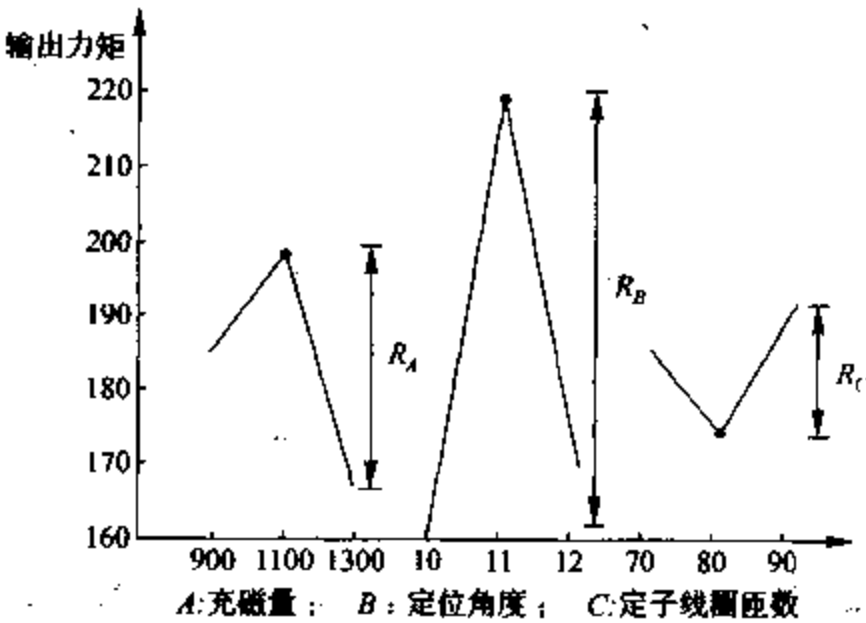


图 8—3 因子各水平对输出力矩的影响（趋势图）

(二) 载重汽车降低油耗的改进

(1) 课题的提出

试验目的：汽车修理厂对载重汽车油路的改造，降低汽车行驶过程中的油耗。

考核指标：耗油量，g/马力小时\*。

(2) 因素位级表（表 8—7）

从理论认识和实践经验认为 5 个因素中的“供油提前角”应重点考察，所以选 4 个位级，其他因素各选 2 个位级。

表 8—7 因素位级表

| 因素<br>位级 | A<br>供油提前角 | B<br>高压油管内径 | C<br>机油温度 | D<br>气缸垫厚度 | E<br>喷油嘴 |
|----------|------------|-------------|-----------|------------|----------|
| 位级 1     | 17°        | φ2          | 75 °C     | 2          | 三孔       |
| 位级 2     | 18°        | φ1.7        | 80 °C     | 1.62       | 二孔       |
| 位级 3     | 19°        |             |           |            |          |
| 位级 4     | 20°        |             |           |            |          |

(3) 正交表及试验结果分析 (表 8—8)

表 8—8 正交表  $L_8 (4^1 \times 2^4)$ 

| 因素<br>试验号 | A<br>供油提前角 | B<br>高压油管内径 | C<br>机油温度 | D<br>气缸垫厚度 | E<br>喷油嘴 | 油耗<br>g/马力 [小] 时 |
|-----------|------------|-------------|-----------|------------|----------|------------------|
| 1         | 1 (17°)    | 1 (φ2)      | 2 (80 °C) | 2 (1.62)   | 1 (三孔)   | 188.40           |
| 2         | 3 (19°)    | 2 (φ1.7)    | 2         | 1 (2)      | 1        | 187.50           |
| 3         | 2 (18°)    | 2           | 2         | 2          | 2 (二孔)   | 190.04           |
| 4         | 4 (20°)    | 1           | 2         | 1          | 2        | 190.60           |
| 5         | 1          | 2           | 1 (75°C)  | 1          | 2        | 191.32           |
| 6         | 3          | 1           | 1         | 2          | 2        | 188.68           |
| 7         | 2          | 1           | 1         | 1          | 1        | 189.40           |
| 8         | 4          | 2           | 1         | 2          | 1        | 187.27           |
| $K_1$     | 379.72     | 757.08      | 756.67    | 758.82     | 752.57   |                  |
| $K_2$     | 379.44     | 756.13      | 756.54    | 754.39     | 760.64   |                  |
| $K_3$     | 376.18     |             |           |            |          |                  |
| $K_4$     | 377.87     |             |           |            |          |                  |
| R         | 3.54       | 0.95        | 0.13      | 4.43       | 8.07     |                  |
| $\bar{R}$ | 1.77       | 0.24        | 0.03      | 1.11       | 2.02     |                  |

(4) 展望好条件

$$E_1 A_3 D_2 B_2 C_1$$

(5) 注意事项: 此课题是“望小值”, 在择优时, 选消耗低的位级。

## 六、有交互作用正交试验设计案例

有交互作用的试验设计程序与无交互作用的试验设计程序基本相同、不同之处有:

(1) 首先要确定因素的数量。例如, 现有 A, B, C, D, E, F 6 个因素, 每个因素两个位级 (水平), 又已知  $A \times B$ ,  $D \times E$  有交互作用。因此, 可确定为 8 个因素 2 个位级 (水平), 选  $L_{16} (2^{15})$ 。

(2) 进行表头设计, 表头设计的原则是不能产生混杂。步骤是: 在有交互作用的表 (列/列) 上, 先安排有交互作用的因素及其交互作用; 然后再安排无交互作用的因素。上

例中，安排的次序为：A 为第 1 列，B 为第 2 列， $A \times B$  为第 3 列；D 为第 4 列，E 为第 8 列， $D \times E$  为第 12 列；剩下的 C，F 可以安排正交表上空余列。本例安排 C 为第 5 列，F 为第 6 列。

(3) 将表头设计的因素及其交互作用放入正交表的主表中，按主表进行试验。上例，即将 A，B， $A \times B$ ，D，E， $D \times E$ ，C，F 放入  $L_{16}(2^{15})$  主表中，对号入座。还有 7 列空列，可作为计算随机误差使用。

【例 1】某铸造厂为了消除 Cr17Ni2 叶片的脆性做了正交试验。试验指标是延伸率。

该试验选取的因素水平如表 8—9 所示。根据实际经验，浇铸速度固定在 3~5 s，模壳预热温度为 108℃，保温 1 h。另外还需考察交互作用  $A \times B$ ， $A \times C$ ， $B \times E$ ， $D \times E$ 。其他交互作用可以忽略。希望用较少的试验，摸清这 5 个因素和 4 个交互作用中，哪些对指标延伸率影响较大，哪些影响较小，并找出使延伸率较高的生产条件。

表 8—9

| 因素<br>水平 | 含碳量%<br>A | 含镍量%<br>B | 含铜量%<br>C | 出炉温度<br>D | 冷却方式<br>E |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1        | 0.12      | 2.5       | 0         | 1 620℃    | 不造型       |
| 2        | 0.07      | 4.0       | 3.5       | 1 560℃    | 造型        |

试验要考虑 5 个因素和 4 个交互作用。设计试验方案时，表头设计与以前不同。造表时应注意，这里不仅每个因素要占一列，而且 4 个交互作用也要各占一列，共要占 9 列，本试验是二水平的试验，所以要选用至少有 9 列的二水平正交表。 $L_{16}(2^{15})$  满足这个要求，我们就试用  $L_{16}(2^{15})$  来安排这个试验， $L_{16}(2^{15})$  见表 8—19①和表 8—19②。

先把 A 排在第 1 列，B 排在第 2 列，查  $L_{16}(2^{15})$  的交互作用表， $A \times B$  应排在第 3 列，则 C 不能放在第 3 列，否则就产生“混杂”了，现将 C 排在第 4 列，查表知  $A \times C$  在第 5 列。然后将 E 排在第 15 列，则  $B \times E$  应排在第 13 列。再将 D 排在第 8 列，查表知  $D \times E$  应在第 7 列。这样就完成了表头设计。本试验的表头设计、试验方案、试验结果、计算与分析均列于表 8—10 中。

需要注意，交互作用不是具体因素，而是因素之间的联合搭配作用，当然也就无所谓水平。因此，交互作用所在列，在试验方案中是不起作用的，而只是在分析试验结果时有用。例如第 1 号试验条件是：含碳量 0.12%，含镍量 2.5%，铜量为 0；出炉温度 1 620℃，冷却方式为不造型等。其他各号试验条件可类似写出。

有交互作用的试验，其结果的分析与无交互作用试验结果的分析在方法上没有本质的不同。事实上，如果把每个交互作用作为一个“因素”看待，其计算分析的方法与没有交互作用试验的一致。所不同的主要是最后一步，即较优生产条件的选择。前已述及，某因素极差 R 的大小，代表了该因素对指标影响的大小。同样，某交互作用列极差 R 的大小，也代表了该交互作用对指标影响的大小。于是我们比较各列极差的大小来确定各因素与交互作用的主次顺序。由表 8—10 下面一行的极差 R 可得到本例各因素与交互作用的主次顺序为  $D \times E$ ， $A \times B$ ， $A \times C$ ，A，C，B， $B \times E$ ，E，D。据以上分析，因素 D 和 E 本身对指标影响不大，但它们的交互作用影响却最大；其次是  $A \times B$ ， $A \times C$ ；再次是含碳量 A，含铜量 C，含

镍量  $B$ ,  $B \times E$ , 出炉温度  $D$  与冷却方式影响较小。

有交互作用的试验, 选取水平时要区分两类因素: (1) 不涉及交互作用的因素或交互作用影响较小的因素, 它们的水平的选取和以前的一样, 选取合计指标值较好的所对应的水平。(2) 有交互作用的因素, 它们的水平的选取不能单独考虑, 而要列出二元表, 根据各种搭配情况, 选取对指标影响较好的水平组合。例中, 对出炉温度  $D$  和冷却方式  $E$  的交互作用列出二元表, 如表 8—4。

从表 8—11 看出取  $D_1E_1$  搭配较好, 即  $D_1 = 1620^\circ\text{C}$ ,  $E_1 =$  不造型。对交互作用  $A \times B$ , 同样可列出二元表 (表 8—12)。从表 8—12 看出取  $A_2B_1$  较好, 即  $A_2 = 0.07$ ,  $B_1 = 2.5$ 。类似地, 可列出  $A \times C$  的二元表, 并看出应选  $A_1C_1$  或  $A_2C_1$  搭配。但  $A$  已取  $A_2$ , 从而决定选  $A_2C_1$  搭配。

综上所述, 得到较优生产条件为  $A_2B_1C_1D_1E_1$ , 即含碳量 0.07%, 含镍量 2.5%, 含铜量为零, 出炉温度  $1620^\circ\text{C}$ , 冷却方式为不造型。

表 8—10

| 试验号 | 列号 | A    | B    | A×B  | C    | A×C  | D×E  |      | D    | B×E  |      |      |      |      |      | E    | Y <sub>i</sub> |
|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
|     | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |      |                |
| 1   |    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 9.2  |                |
| 2   |    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 4.8  |                |
| 3   |    | 1    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2.0  |                |
| 4   |    | 1    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 3.8  |                |
| 5   |    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 2    | 3.8  |                |
| 6   |    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 3.6  |                |
| 7   |    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 1    | 8.6  |                |
| 8   |    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 9.6  |                |
| 9   |    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 9.4  |                |
| 10  |    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 12.0 |                |
| 11  |    | 2    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 8.6  |                |
| 12  |    | 2    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1    | 9.8  |                |
| 13  |    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 9.2  |                |
| 14  |    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 9.6  |                |
| 15  |    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 3.0  |                |
| 16  |    | 2    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    | 2    | 2.4  |                |
| I   |    | 45.4 | 59.6 | 44.0 | 61.6 | 45.2 | 59.0 | 69.4 | 53.8 | 57.4 | 54.4 | 58.4 | 57.2 | 59.6 | 57.0 | 57.4 | T =<br>109.4   |
| II  |    | 64.0 | 49.8 | 65.4 | 47.8 | 64.2 | 50.4 | 40.4 | 55.6 | 52.0 | 55.0 | 51.0 | 52.2 | 49.8 | 52.4 | 52.0 |                |
| R   |    | 18.6 | 9.8  | 21.4 | 13.8 | 19.0 | 8.6  | 29.4 | 1.8  | 5.4  | 0.6  | 7.4  | 5.0  | 9.8  | 4.6  | 5.4  |                |

表 8—11

| D \ E | E   |  |
|-------|---|--|
|       | $E_1$                                     | $E_2$                                    |
| $D_1$ | $\frac{9.2 + 8.6 + 8.6 + 9.2}{4} = 8.9$   | $\frac{2.0 + 3.8 + 9.4 + 3.0}{4} = 4.55$ |
| $D_2$ | $\frac{3.8 + 3.6 + 12.0 + 2.4}{4} = 5.45$ | $\frac{4.8 + 9.6 + 9.8 + 9.6}{4} = 8.45$ |

表 8—12

| $A$   | $B$ | $B_1$                            | $B_2$                            |
|-------|-----|----------------------------------|----------------------------------|
|       |     |                                  |                                  |
| $A_1$ |     | $\frac{9.2+4.8+2.0+3.8}{4}=4.95$ | $\frac{3.8+3.6+8.6+9.6}{4}=6.4$  |
| $A_2$ |     | $\frac{9.8+9.4+12+2.4}{4}=9.95$  | $\frac{9.2+9.6+3.0+2.4}{4}=6.05$ |

七、多指标要求的试验设计及案例

在前面的案例中，我们衡量的指标只有一个，如铸件叶片的延伸率，磁鼓电机的力矩等，这叫做单指标的试验设计。但是在很多情况，产品的要求，需要多个指标来衡量试验的效果，这称为多指标的试验设计。而在各个指标之间又可能存在一定的矛盾，怎样兼顾找出好的生产条件呢？常用的方法有两种：综合平衡法和综合评分法。

(一) 综合平衡法及其案例

这个方法的基本步骤与单指标分析方法完全一样：首先分别找出各个指标的展望好条件，即较优生产条件；然后，将各个指标的较优生产条件综合平衡，找出兼顾每个指标都尽可能好的生产条件。下面用机械产品柱塞组合件收口强度稳定性试验来说明。

柱塞组合件如图 8—4 所示，它是经过机械加工、组合收口、去应力、加工  $\phi D$  等道工序制成的。最后，测量转角  $\alpha$ ，转向游隙  $\delta$ ，试验拉脱力  $F$ 。质量指标  $F \geq 900 \text{ kgf}$  ( $\text{kgf}$  为非法定计量单位，它与相应法定计量单位  $\text{N}$  的换算关系为： $1 \text{ kgf} \approx 9.8 \text{ N}$ )， $\alpha \geq 20^\circ$ ， $\delta \leq 0.02 \text{ mm}$ 。试验前产品拉脱力波动大，且因拉脱力与转角、轴向游隙两项指标往往有矛盾，不易保证质量。本试验的目的就是为了改进工艺条件，提高产品质量。试验指标有三项：

- (1) 拉脱力  $F \geq 900 \text{ kgf}$ ；
- (2) 轴向游隙  $\delta \leq 0.02 \text{ mm}$ ；
- (3) 转角  $\alpha \geq 20^\circ$ 。

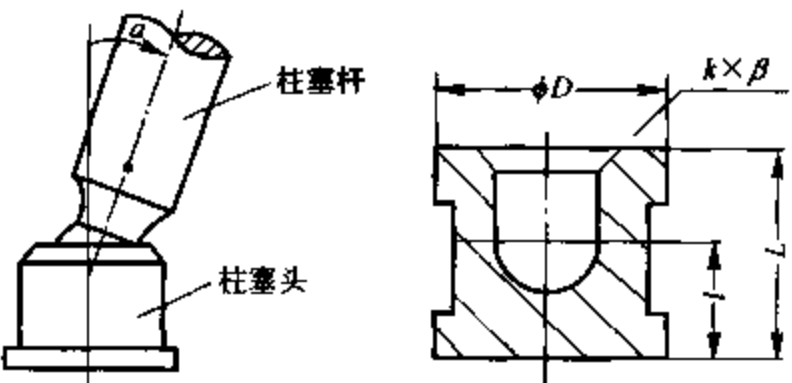


图 8—4



表 8—13

| 因素 \ 位级 |   | 1      | 2        | 3      |
|---------|---|--------|----------|--------|
| A       | $\Phi D_{\text{рас}}$ (mm)              | 15.1   | 15.6     | 14.8   |
| B       | $L_{-0.05}$ (mm)                        | 11.6   | 11.8     | 11.7   |
| C       | $k \times \beta$ ( $k$ —mm; $\beta$ —°) | 1 × 50 | 1.5 × 30 | 1 × 30 |
| D       | 收口压力 $P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )         | 15     | 17       | 20     |

表 8—14 柱塞组合件试验数据分析

|      | 因素<br>试验号 | A            | B      | C     | D     | 拉脱力<br>$F'_i = 7/10$<br>( $\bar{f}_i - 900$ )  | 轴向游隙<br>$\delta'_i = 7/1000$<br>( $\bar{\delta}_i - 0.01$ ) | 转角<br>$\alpha'_i = 7$<br>( $\bar{\alpha}_i - 20$ ) |
|------|-----------|--------------|--------|-------|-------|--|---|--|
|      |           | 1            | 2      | 3     | 4     |  |   |  |
|      | 1         | 1            | 1      | 1     | 1     | -30  | 20  | 25.5   |
|      | 2         | 1            | 2      | 2     | 2     | 36   | 48  | -1.0   |
|      | 3         | 1            | 3      | 3     | 3     | 6  | 27  | 17.5   |
|      | 4         | 2            | 1      | 2     | 3     | -15.5  | 6   | 21.5   |
|      | 5         | 2            | 2      | 3     | 4     | 51   | 128   | -10.0  |
|      | 6         | 2            | 3      | 1     | 3     | -1   | 25  | 26.5   |
|      | 7         | 3            | 1      | 3     | 2     | -68  | 28  | 18.5   |
|      | 8         | 3            | 2      | 1     | 3     | 91   | 52  | 0.5  |
|      | 9         | 3            | 3      | 2     | 1     | 19   | 56  | -4.5   |
| 拉脱力  | $k_1$     | 12           | -113.5 | 60    | 40    | 注: $\bar{f}_i$ 是 7 个数据的平均值;<br>$\bar{\delta}_i$ 是 7 个数据的平均值;<br>$\bar{\alpha}_i$ 是 7 个数据的平均值;<br>以上三项数据均作了数值变换 |   |  |
|      | $k_2$     | 34.5         | 178    | 39.5  | -33   |  |   |  |
|      | $k_3$     | 42           | 24     | -11   | 81.5  |  |   |  |
|      | $R$       | 30           | 291.5  | 71    | 114.5 |  |   |  |
|      | 较优水平      | $A_3$        | $B_2$  | $C_1$ | $D_3$ |  |   |  |
|      | 因素主次      | $B, D, C, A$ |        |       |       |  |   |  |
| 轴向游隙 | $k_1$     | 95           | 54     | 97    | 204   |  |   |  |
|      | $k_2$     | 159          | 228    | 110   | 101   |  |   |  |
|      | $k_3$     | 136          | 108    | 183   | 85    |  |   |  |
|      | $R$       | 64           | 174    | 86    | 119   |  |   |  |
|      | 较优水平      | $A_1$        | $B_1$  | $C_1$ | $D_3$ |  |   |  |
|      | 因素主次      | $B, D, C, A$ |        |       |       |  |   |  |
| 转角   | $k_1$     | 42           | 65.5   | 52.5  | 11    |  |   |  |
|      | $k_2$     | 38           | -10.5  | 16    | 44    |  |   |  |
|      | $k_3$     | 14.5         | 39.5   | 26    | 39.5  |  |   |  |
|      | $R$       | 27.5         | 76     | 36.5  | 33    |  |   |  |
|      | 较优水平      | $A_1$        | $B_1$  | $C_1$ | $D_2$ |  |   |  |
|      | 因素主次      | $B, C, D, A$ |        |       |       |  |   |  |

因素及位级见表 8—13。

固定  $L=8.5 \pm 0.05$  及滚轮结构。滚压时间  $t$  在保证  $\alpha, \delta$  的前提下由试验决定。

试验采用  $L_9(3^4)$  表, 表头设计见表 8—14。每种试验条件重复做 7 次试验, 每次试验都分别对每一个指标进行测定, 测定结果取平均值。下面我们着重来看, 如何找出兼顾三个指标都尽可能好的工艺条件。

首先, 分别对每个指标进行极差分析, 区分因素的主次, 找出各个因素的较优水平, 填在表 8—14 上。并且画出各个因素的不同水平与三个指标的关系图 (图 8—5)。

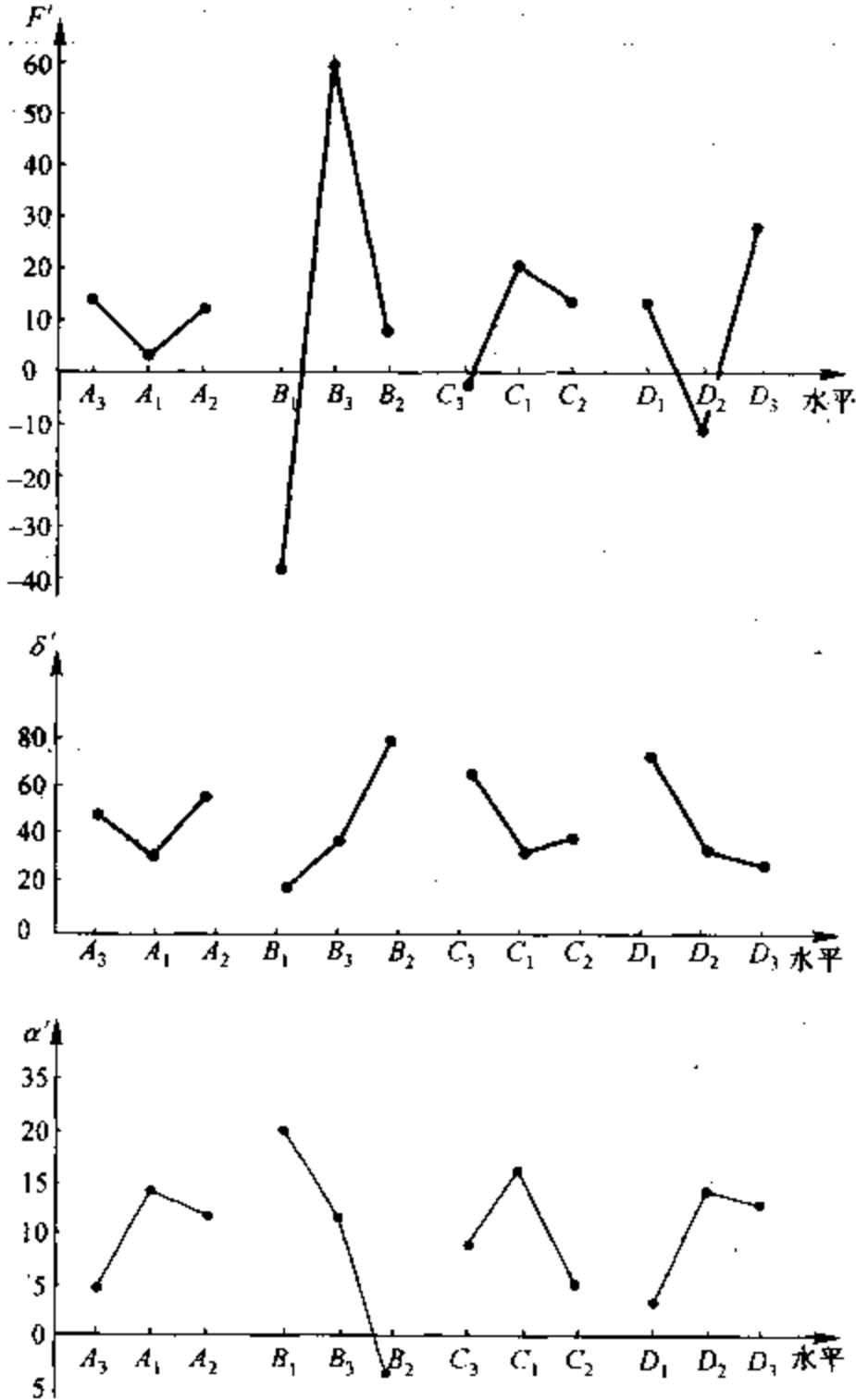


图 8—5 因素与指标关系图

然后, 分别对每个指标, 将其各个因素的较优水平, 按照因素的主次顺序排列。例如, 对拉脱力来说, 因素的主次顺序是:  $B_2, D_3, C_1, A_3$ 。同样, 对其余两个指标, 也做类似的

排列, 汇集起来。即

拉脱力:  $B_2, D_3, C_1, A_3$

轴向游隙:  $B_1, D_3, C_1, A_1$

转角:  $B_1, D_2, C_1, A_1$

综合三个指标, 因素  $C$  的较优水平, 三个指标一致为  $C_1$ ; 而因素  $A, B, D$  的较优水平, 三个指标的选择均有矛盾。如何处理这种矛盾? 一般说来, 如果几个指标在试验中的主次地位不相上下, 那么在综合平衡较优水平时, 要看多数的倾向, 还要看这个因素对哪个指标是主要的因素, 就优先考虑该指标的选择; 如果几个指标在该项试验中有主次之分, 那么应当先考虑主要指标的选择。在本例中, 因素  $B$  对三个指标均是最主要的因素, 一般可根据多数的倾向取  $B_1$ , 但由于本试验拉脱力是主要指标, 因此选取  $B_2$ 。因素  $D$  对拉脱力、轴向游隙都是较主要的因素, 且以  $D_3$  较优, 而对转角来说是较次要的因素, 且  $D_3$  与  $D_2$  相差不多。因此, 优先考虑拉脱力和轴向游隙对因素  $D$  的水平选择, 即选取  $D_3$ 。因素  $A$  对于三个指标均是次要, 选取哪个水平都无关紧要, 根据多数倾向选取  $A_1$ 。

经过上面一番综合平衡, 得到本试验的结论; 除固定因素外, 柱塞组合件较优工艺参数应选为  $A_1, B_2, C_1, D_3$ , 即

柱塞头上口外径  $\Phi D$  为  $15.1_{-0.05} \text{ mm}$ ;

柱塞头高度  $L$  为  $11.8_{-0.05} \text{ mm}$ ;

柱塞头上口倒角为  $1 \times 50^\circ$ ;

收口压力  $P$  为  $20 \text{ kaf/cm}^2$ 。

## (二) 综合评分法及其案例

这种方法关键在于评分。现举例介绍次序(排队)评分法, 它可用于定性评定转化为定量评定。这种转化称为“利克特度量尺度”。

[例] 某铸造厂要评定精铸模壳的性能, 并进行评分。指标是浇注时是否炸破及炸裂的程度。例如利用“利克特度量尺度”进行评分, 转化为依模壳浇注优劣, 依次评为 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 分(11 个等级)。所选因素和位级如表 8—15 所示。试验要求考虑交互作为  $A \times C, B \times C$ 。

选用  $L_8(2^7)$  安排试验, 试验方案如表 8—16 所示。把 8 个试样按实际试验的优劣结果排队。

2#最好, 排第一名, 1#排第二名, 3#排第三名, 8#排第四名, 4#、5#、6#、7#最差。然后按工艺要求, 按名次顺序以及相邻两个名次差别大小, 统一打分。评分结果是:

第一名 2# 10 分

第二名 1# 8 分

第三名 3# 6 分

第四名 8# 4 分

第 4#、5#、6#、7#均为 0 分

把评分结果及试验结果的分析列于表 8—16 中。

表 8—15

| 因素<br>水平 | 硬化剂密度<br>A | 硬化剂温度<br>B (℃) | 硬化时间<br>C (min) | 晾干时间<br>D (min) | 脱蜡条件<br>E |
|----------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 1        | 1.18       | 13             | 2               | 15              | 氯化剂       |
| 2        | 1.22       | 25             | 4               | 40              | 盐 酸       |

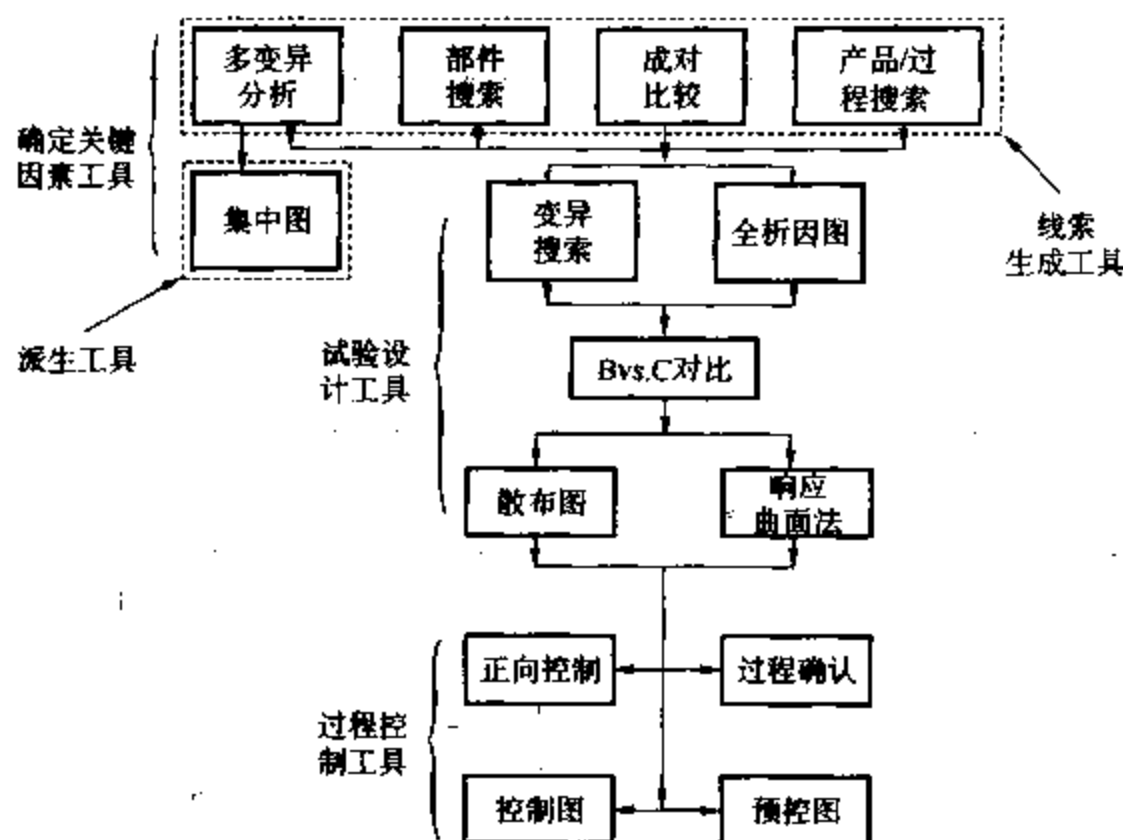
表 8—16 参照  $L_8(2^7)$  的交互作用表

| 因素<br>水平 | A   | C   | A×C | B   | D   | B×C | E   | 综合评分<br>y  |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 1        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 8  |
| 2        | 1   | 1   | 1   | 2   | 2   | 2   | 2   | 10   |
| 3        | 1   | 2   | 2   | 1   | 1   | 2   | 2   | 6  |
| 4        | 1   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 0  |
| 5        | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 0  |
| 6        | 2   | 1   | 2   | 2   | 1   | 2   | 1   | 0  |
| 7        | 2   | 2   | 1   | 1   | 2   | 2   | 1   | 0  |
| 8        | 2   | 2   | 1   | 2   | 1   | 1   | 2   | 4  |
| $K_1$    | 24  | 18  | 22  | 14  | 18  | 12  | 8   | $T = \sum y = 28$<br>因素主次<br>A, A×C, E, C, D, B×C, B |
| $K_2$    | 4   | 10  | 6   | 14  | 10  | 16  | 20  |  |
| R        | 20  | 8   | 16  | 0   | 8   | 4   | 12  |  |
| 重要程度     | (1) | (4) | (2) | (7) | (4) | (6) | (3) | 最优生产条件: $A_1C_1E_2D_1B_2$                            |

八、线索生成技术与试验设计 (DOE)

持续质量改进是质量管理中最重要的工作，是质量管理体系正常运行的保证条件。试验设计是实现持续质量改进、提高产品质量又能降低成本的高效工具。传统的试验设计 (DOE)，在产品 设计、过程优化的工作中起到了很好作用。但是，采用正交试验设计时，由于提出的多个因素受正交表容量及试验规模的限制，以及正交试验设计又是部分因素、水平的组合，它舍弃了大部分二阶交互作用和全部高阶交互作用，如果此课题的交互作用是重要的，可能导致试验结论的错误，或与课题的最佳组合产生较大的偏差。

统计技术中最新的线索生成技术，是试验设计 (DOE) 进一步发展的新技术、新方法，是美国质量专家凯克·博特在《世界级质量管理工具》书中提出来的。这种技术称之为“谢恩的试验设计”，它可以快速、准确地找出（确定）影响质量问题的关键因素及其交互作用。因此，第一步，应用线索生成技术先找出关键因素及其交互作用；第二步，将这些关键因素及其交互作用，实施完全因素水平组合的全析因试验设计，这样的，可以加快攻关速度，缩小试验规模和降低成本。本书在第五章对新的试验设计——线索生成技术做了介绍。但这里要指出：第一步已找出关键因素并可迅速解决的课题，就不必实施第二步，可以节省试验次数，更显出线索生成技术的重要性。另外，使用此技术，可以在不停产情况下进行。因此可以说，由于线索生成技术的创立，促进了试验设计 (DOE) 的进一步发展和完善。图 8—6 为试验设计的发展概况。



有意向与编著者合作应用及推广线索生成技术的企业（组织）或个人，可与炎坤君网站联系。

网站：[www. yan kunjun. com](http://www.yan kunjun.com)

## 九、试验设计（DOE）常用正交表

表 8—17 ~ 表 8—29 是《质量专业理论与实务（中级）》及日本规格协会推荐的正交表。

表 8—17  $L_4 (2^3)$ 

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 |
|----------|---|---|---|
| 1        | 1 | 1 | 1 |
| 2        | 1 | 2 | 2 |
| 3        | 2 | 1 | 2 |
| 4        | 2 | 2 | 1 |
| 组        | 1 | 2 |   |

注：任意二列间的交互作用列出现于另一列。

表 8—18①  $L_8 (2^7)$ 

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1        | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2        | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3        | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4        | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5        | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6        | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7        | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 8        | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 组        | 1 | 2 |   | 3 |   |   |   |

表 8—18②  $L_8(2^7)$  二列间的交互作用列表

| 列号 | 1   | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 列号 | (1) | 3<br>(2) | 2<br>(3) | 5<br>(4) | 4<br>(5) | 7<br>(6) | 6<br>(7) |

表 8—19①  $L_{16}(2^{15})$

| 列号  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 试验号 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 2   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 3   | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 4   | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 5   | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 2  |
| 6   | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1  | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  |
| 7   | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  |
| 8   | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  |
| 9   | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  |
| 10  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  |
| 11  | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1  | 2  | 2  | 1  | 2  | 1  |
| 12  | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 2  |
| 13  | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2  | 1  | 1  | 2  | 2  | 1  |
| 14  | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  |
| 15  | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2  | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  |
| 16  | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1  | 2  | 1  | 2  | 2  | 1  |
| 组   | 1 | 2 | 3 |   |   |   | 4 |   |   |    |    |    |    |    |    |

表 8—19②  $L_{16}(2^{15})$  二列间的交互作用列表

| 列号 | 1   | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10         | 11         | 12         | 13         | 14         | 15 |
|----|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 列号 | (1) | 3<br>(2) | 2<br>(3) | 5<br>(4) | 4<br>(5) | 7<br>(6) | 6<br>(7) | 9<br>(8) | 8<br>(9) | 11<br>(10) | 10<br>(11) | 13<br>(12) | 12<br>(13) | 15<br>(14) | 14 |



表 8—21②  $L_{27}(3^{13})$  二列间的交互作用列表

| 列号   | 1 | 2       | 3       | 4       | 5         | 6        | 7        | 8        | 9        | 10      | 11       | 12       | 13       |
|------|---|---------|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| (1)  |   | {3<br>4 | 2<br>4  | 2<br>3  | 6<br>7    | 5<br>7   | 5<br>6   | 9<br>10  | 8<br>10  | 8<br>9  | 12<br>13 | 11<br>13 | 11<br>12 |
| (2)  |   |         | {1<br>4 | 1<br>3  | 8<br>11   | 9<br>12  | 10<br>13 | 5<br>11  | 6<br>12  | 7<br>13 | 5<br>8   | 6<br>9   | 7<br>10  |
| (3)  |   |         |         | {1<br>2 | 9<br>13   | 10<br>11 | 8<br>12  | 7<br>12  | 5<br>13  | 6<br>11 | 6<br>10  | 7<br>8   | 5<br>9   |
| (4)  |   |         |         |         | {10<br>12 | 8<br>13  | 9<br>11  | 6<br>13  | 7<br>11  | 5<br>12 | 7<br>9   | 5<br>10  | 6<br>8   |
| (5)  |   |         |         |         |           | {1<br>7  | 1<br>6   | 2<br>11  | 3<br>13  | 4<br>12 | 2<br>8   | 4<br>10  | 3<br>9   |
| (6)  |   |         |         |         |           |          | {1<br>5  | 4<br>13  | 2<br>12  | 3<br>11 | 3<br>10  | 2<br>9   | 4<br>8   |
| (7)  |   |         |         |         |           |          |          | {3<br>12 | 4<br>11  | 2<br>13 | 4<br>9   | 3<br>8   | 2<br>10  |
| (8)  |   |         |         |         |           |          |          |          | {1<br>10 | 1<br>9  | 2<br>5   | 3<br>7   | 4<br>6   |
| (9)  |   |         |         |         |           |          |          |          |          | {1<br>8 | 4<br>7   | 2<br>6   | 3<br>5   |
| (10) |   |         |         |         |           |          |          |          |          |         | {3<br>6  | 4<br>5   | 2<br>7   |
| (11) |   |         |         |         |           |          |          |          |          |         |          | {1<br>13 | 1<br>12  |
| (12) |   |         |         |         |           |          |          |          |          |         |          |          | {1<br>11 |

表 8—22  $L_{16}(4^5)$

| 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 2  | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| 3  | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| 4  | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 5  | 1 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| 6  | 3 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| 7  | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 8  | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 9  | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| 10 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 11 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 12 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 13 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| 14 | 3 | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 15 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| 16 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |



表 8—23  $L_{25}(5^6)$ 

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| 2         | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 3         | 3 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 |
| 4         | 4 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| 5         | 5 | 1 | 3 | 2 | 2 | 5 |
| 6         | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 7         | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8         | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| 9         | 4 | 2 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 10        | 5 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 |
| 11        | 1 | 3 | 1 | 5 | 2 | 1 |
| 12        | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| 13        | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| 14        | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 | 2 |
| 15        | 5 | 3 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| 16        | 1 | 4 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| 17        | 2 | 4 | 1 | 4 | 4 | 5 |
| 18        | 3 | 4 | 3 | 5 | 1 | 2 |
| 19        | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 4 |
| 20        | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 1 |
| 21        | 1 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 22        | 2 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 23        | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 24        | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 1 |
| 25        | 5 | 5 | 2 | 5 | 4 | 3 |

表 8—24  $L_{12}(2^{11})$  (注: 交互作用分散在各列)

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2  | 1  |
| 2         | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2  | 2  |
| 3         | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1  | 1  |
| 4         | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2  | 1  |
| 5         | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2  | 2  |
| 6         | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1  | 1  |
| 7         | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1  | 2  |
| 8         | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2  | 2  |
| 9         | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1  | 2  |
| 10        | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1  | 1  |
| 11        | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2  | 1  |
| 12        | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1  | 2  |

表 8—25  $L_{18} (2^1 \times 3^7)$  (注:交互作用分散在各列)

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 2         | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 3         | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4         | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 5         | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| 6         | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 7         | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 8         | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 9         | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 10        | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| 11        | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 12        | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 13        | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 14        | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 15        | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 16        | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 17        | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 18        | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 |

表 8—26  $L_{12} (2^{11})$

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  |
| 2         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  |
| 3         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2  | 2  |
| 4         | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1  | 2  |
| 5         | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2  | 1  |
| 6         | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1  | 1  |
| 7         | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2  | 1  |
| 8         | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1  | 2  |
| 9         | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1  | 1  |
| 10        | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1  | 2  |
| 11        | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2  | 2  |
| 12        | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2  | 1  |

表 8—27  $L_{16}(4^5)$ 

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2         | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3         | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4         | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5         | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6         | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 |
| 7         | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 |
| 8         | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 9         | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 10        | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 11        | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 12        | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 |
| 13        | 4 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 14        | 4 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 15        | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 16        | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 |

表 8—28  $L_{25}(5^6)$ 

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2         | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3         | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4         | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5         | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6         | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7         | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 |
| 8         | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 |
| 9         | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| 10        | 2 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 11        | 3 | 1 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| 12        | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 |
| 13        | 3 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| 14        | 3 | 4 | 1 | 3 | 5 | 2 |
| 15        | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 16        | 4 | 1 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| 17        | 4 | 2 | 5 | 3 | 1 | 4 |
| 18        | 4 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 19        | 4 | 4 | 2 | 5 | 3 | 2 |
| 20        | 4 | 5 | 3 | 1 | 4 | 2 |
| 21        | 5 | 1 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 22        | 5 | 2 | 1 | 5 | 4 | 3 |
| 23        | 5 | 3 | 2 | 1 | 5 | 4 |
| 24        | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 |
| 25        | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

表 8—29  $L_4 (4^1 \times 2^4)$

| 列号<br>试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|---|---|---|---|---|
| 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2         | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3         | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4         | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5         | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6         | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7         | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8         | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 |



请勿用于商业用途或准商业用途，  
请于下载后24小时内删除！如无法遵守此规定，则谢绝下载！！  
吴国林 MSN: colin\_21st@hotmail.com

## 附录

# 本教材培训日程与练习题

### 一、培训目的

随着企业规模化生产和高科技高质量的要求，企业越来越重视对供应商的质量控制。完成一项工作任务，除了需要有合理的工作程序外，更重要的是要有正确的工作方法，特别是统计技术的应用。但是，目前相当多企业的管理人员和工程技术人员在统计技术应用方面尚属薄弱环节，这在很大程度上影响对供应商实施全面的质量控制。本课程在讲解实施供应商质量控制程序的同时，将针对各个阶段所需要的统计技术作详细的讲述，目的在于使企业管理人员和工程技术人员掌握实施供应商质量控制的程序和需要的统计方法和工具，以提高实施供应商质量控制的有效性，进而保证生产过程的稳定性和产品质量。

### 二、培训对象

本课程主要针对企业技术主管、质量管理人员、工程技术人员及从事物资采购的有关人员。同时，可以作为供需双方建立战略伙伴关系技术合作过程中的培训教材。

### 三、培训日程、内容及练习题

本课程培训时间为3天（24课时），培训期间不以考试作为考核，通过每天教学后的练习（突出当天教学重点）巩固所学知识，在教师辅导下增强感性认识及所学知识的可操作性。

#### 第一天培训内容及练习题

- (1) 实施供应商质量控制的程序及需要的统计技术。
- (2) 统计技术应用的特点及应用前提。
- (3) 质量功能展开。
- (4) 完成练习一。

#### 练习题一

##### 1. 填空题

- (1) 质量管理的一个很重要的原则就是用\_\_\_\_\_说话。因此，进行任何质量分析都

必须取得\_\_\_\_\_。在析因分析过程中要应用线索生成工具确定\_\_\_\_\_, 首先应当强调一下与质量问题有关的测量系统的问题。因为经常会有这样的问题, 经过大量分析工作后发现, 发生质量问题的原因原来是测量系统的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_, 而并非是产品内部的质量变异。因此, 在定义质量问题之后, 第一个要提出的问题应该是: 测量系统达到了\_\_\_\_\_, 相对于产品质量变异与测量系统\_\_\_\_\_的比例达到什么程度。这也就是需要进行测量系统\_\_\_\_\_的提出原因。

(2) 从产品质量的统计观念可知, 产品质量具有\_\_\_\_\_, 而产品质量的变异具有\_\_\_\_\_。质量数据的分布反映了产品\_\_\_\_\_的规律。计量值数据服从\_\_\_\_\_, 计件值数据服从\_\_\_\_\_, 计点值数据服从\_\_\_\_\_。质量数据的\_\_\_\_\_必须以测量及监控装置的\_\_\_\_\_来保证。因此, 企业应用统计技术的前提之一是必须有正确的\_\_\_\_\_分析。

(3) 对供应商的质量认定包括: \_\_\_\_\_认定和供货实物质量水平认定。在产品实物质量水平认定过程中应应用\_\_\_\_\_对供应商生产过程是否稳定和过程能力水平进行评定。对于欲建立\_\_\_\_\_关系的供应商, 若在认定过程中发现一些重大问题, 本着互利共赢的原则, 双方应实施有效的\_\_\_\_\_。为解决存在的质量问题应应用\_\_\_\_\_技术, 分析产生质量问题的\_\_\_\_\_, 有针对性地采取措施解决。在批量生产阶段应特别注意长期供货过程的\_\_\_\_\_。首先应应用\_\_\_\_\_监控供货过程的稳定性并进行\_\_\_\_\_分析, 评定过程能力指数  $C_p$  或西格玛水平  $Z$ ; 对供货质量应实施\_\_\_\_\_检验, 在确定\_\_\_\_\_方案后应进行质量检验\_\_\_\_\_分析。A 类供应商是指所供应的产品对企业生产产品质量具有\_\_\_\_\_的影响, 双方应建立\_\_\_\_\_关系, 在这种关系中不仅是\_\_\_\_\_, 还应在更多的范围内进行\_\_\_\_\_的供应商。

(4) 统计技术是以\_\_\_\_\_为理论基础的\_\_\_\_\_的一个分支。统计技术是研究\_\_\_\_\_中确定的\_\_\_\_\_的学科。运用有关的统计方法\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_和解释统计数据, 并对其所反映的问题(产品质量变异的性质、程度和原因)做出一定\_\_\_\_\_的科学技术。统计技术应用的优点还在于: 针对产品/过程所存在的质量问题, 可以\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_确定影响质量问题的\_\_\_\_\_及其交互作用, 以便采取\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_措施, 有效解决所存在的质量问题。统计技术应用的优点还在于: 由于条件限制, \_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_投入的情况下, 只能获得\_\_\_\_\_的数据时, 也可以应用统计技术对其进行\_\_\_\_\_分析, 帮助得到某种\_\_\_\_\_的结果。统计技术应用的优点还在于它是企事业单位实施\_\_\_\_\_的重要标志。

(5) 质量功能展开在\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_中, 作为策划工具, 可以将\_\_\_\_\_量化为产品的\_\_\_\_\_, 找出重点, 采取有力措施, 缩短\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_等具有突出作用。质量功能展开可以和\_\_\_\_\_等联合使用发挥更大作用。质量功能展开在应用过程中, 在各阶段分别建立一系列\_\_\_\_\_, 运用\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等方法将用户需求逐步转换展开, 对\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的重要性做出评定, 并通过量化的计算, 找出产品的\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_, 从而为应用优化设计这些\_\_\_\_\_, 提供方向和采取有效措施, 最终保证产品\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_. 在产品的\_\_\_\_\_阶段要求供应商参与质量功能展开活动, 这对\_\_\_\_\_都是有益的。

## 2. 问答题

- (1) 通过对供应商满意度评价分级,你认为最理想的是什么级别,该级别是一种什么关系?
- (2) 企业对原材料、元器件、零部件及组件是自制还是外购,需要进行哪些方面的调查?常用何种统计方法进行调查和分析?
- (3) 根据哪些条件实施对供应商的动态管理?
- (4) 为什么对供应商的质量审核必须强调第二方质量审核的实施?
- (5) 简述统计技术应用的特点及在什么条件下可以应用统计技术。
- (6) 写出正态分布的符号及样本分布特征值分布的符号。简述正态分布曲线的特征及分布特征值对正态分布曲线的影响。
- (7) 简述产品质量特性的类别及对样本分布特征值的要求。
- (8) 简述正态分布的标准变换及变换后的标准正态分布密度函数和特征值。
- (9) 简述测量系统的统计特征及对测量系统的评价内容。简述测量能力的概念并写出测量能力指数的计算公式。根据测量能力指数的数值测量能力共分哪几个等级,各适用于何种场合?
- (10) 简述“质量屋”各结构要素的作用。

## 3. 计算及作图题

(1) 外购零件的宽度质量要求为  $66 \pm 0.6$ 。现有三家供应商提供的产品,经测试质量特性值后得到各自的正态分布为  $N_1 [66, 0.2^2]$ ,  $N_2 [66, 0.1^2]$ ,  $N_3 [66.3, 0.1^2]$ 。请在平面直角坐标系中绘制三家产品质量特性值的正态分布曲线并评价其质量水平,选择一家最优供应商。

(2) 某电子设备厂从供应商购入电阻器,已知其电阻值服从正态分布,技术文件规定其规格界限为  $T_U = 8.21$ ,  $T_L = 7.79$ 。经随机抽样测试质量特性值计算得到样本均值和标准差为  $\bar{x} = 8.05$ ,  $s = 0.125$ 。问该批电阻器的不合格品率为多少,其中超下规格界限的概率为多少?

(3) 某机械制造厂从供应商处购入钢珠,已知其直径尺寸服从正态分布,技术文件规定规格界限为  $T_U = 11.05$ ,  $T_L = 10.95$ ,经随机抽样取得  $n = 10$  的样本,经测试直径尺寸依次得到以下数据: 11.20, 10.99, 10.93, 11.01, 10.95, 11.01, 10.98, 10.96, 11.08, 11.10。

问该批钢珠的不合格品率为多少,其中超上规格界限的概率为多少?

## 第二天培训内容及练习题

- (1) 质量损失函数的应用。
- (2) 过程能力分析。
- (3) 控制图的应用。
- (4) 完成练习二。

## 练习题二

## 1. 填空题

(1) 从产品质量的变异性可知, 产品质量特性值总是在\_\_\_\_\_的。根据质量损失分析可知: 由于产品质量特性值的\_\_\_\_\_所造成的质量损失与质量特性值偏离\_\_\_\_\_的偏差平方或偏差均方成正比。也就是说, 不仅是\_\_\_\_\_会造成质量损失, 即使是\_\_\_\_\_产品, 只要其质量特性值偏离\_\_\_\_\_, 就会造成质量损失, 偏离\_\_\_\_\_越远, 所造成的质量损失也就越大, 如质量损失函数曲线所示。因此, 必须树立这样的概念, \_\_\_\_\_产品不一定是质量好的产品。

(2) 质量损失是指在\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_中, 由于没有发挥资源的\_\_\_\_\_而导致的损失。一般会认为只有发生\_\_\_\_\_, 造成返工、返修、降等级使用和报废才有质量损失, 而 ISO 9000 标准的定义明确界定, 在过程 and 活动中只要所投入的资源 (\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等) 没有充分发挥其\_\_\_\_\_, 所导致的损失均称为质量损失。所以, 质量管理要求在\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_中, 均应做到人尽其才、物尽其用, 充分发挥\_\_\_\_\_. 产品质量的\_\_\_\_\_认为, 产品质量具有\_\_\_\_\_, 而且产品质量的\_\_\_\_\_具有规律性。这为研究质量损失提供了理论依据。产品\_\_\_\_\_的规律性就是质量数据的分布, 称为产品质量的\_\_\_\_\_. 研究质量数据的分布, 是研究、计算和分析\_\_\_\_\_或产品\_\_\_\_\_的基本条件。

(3) 过程能力是指过程在\_\_\_\_\_下所加工产品质量特性值\_\_\_\_\_的 6 倍标准差。实际考核的是过程的\_\_\_\_\_的能力。过程能力用于衡量过程加工的内在\_\_\_\_\_, 是稳态下的\_\_\_\_\_. 数值越小越好。过程能力决定于质量因素\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ (技术水平与管理水平的综合反映) 而与技术文件给定的公差界限无关。过程能力指数指\_\_\_\_\_满足质量要求的程度, 是\_\_\_\_\_的量化表征。

(4) 目前有些企业的\_\_\_\_\_明显不足, 但是企业 (特别是企业领导) 却错误地认为: 虽然\_\_\_\_\_不足会造成不合格品率增大, 但通过\_\_\_\_\_剔除了全部不合格品, 只要交给用户的产品是合格的就可以了。实际上因为没有考虑到质量特性值偏离\_\_\_\_\_后的质量损失, 所谓产品质量合格的说法是不确切的。所以, 必须树立\_\_\_\_\_产品不一定是质量好的产品这一观念。从质量特性值数据的分布可以看出, 当\_\_\_\_\_不足时, 质量特性值偏离\_\_\_\_\_的概率明显加大, 质量损失明显加大。

(5) 在对\_\_\_\_\_的整个比较选择过程中, 企业应遵循\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的原则。当然, 对\_\_\_\_\_不同的产品, 其原则的侧重点也应有所不同。一般来讲, 单纯的\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_都是不可靠的, 应综合考虑\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两方面的因素, 以避免简单采用\_\_\_\_\_给企业带来的质量风险或简单采用\_\_\_\_\_给企业带来的价格风险。这就需要应用产品质量损失函数的概念对供方提供的产品进行\_\_\_\_\_和对供方进行\_\_\_\_\_。

(6) 过程的\_\_\_\_\_ (稳定受控状态) 是指过程中\_\_\_\_\_正常因素起作用, \_\_\_\_\_异常因素作用时的状态。影响质量变异有两大类因素, 因而过程中存在两种\_\_\_\_\_. 对正常因素 (随机因素) 所引起的正常\_\_\_\_\_, 必须限制在合理的范围内; 任何过程必须社



绝由异常因素（系统因素）引起的异常\_\_\_\_\_。实现这一状态的过程，称为稳定受控过程，是任何产品生产所追求的目标。控制图对\_\_\_\_\_报警的理论依据是“小概率事件原理”。以过程中的小概率事件定义为\_\_\_\_\_，当过程中受到异常因素的影响而发生异常\_\_\_\_\_时，控制图将在其图形上显示出\_\_\_\_\_的检验模式。因此，ISO 9004-4 标准给控制图的定义是：控制图是用于区分\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_原因所引起的波动和过程所\_\_\_\_\_的随机波动的一种统计工具。

(7) 在实施供应商质量控制过程中，需应用分析用控制图验证供货产品生产过程的\_\_\_\_\_进行判断同时进行\_\_\_\_\_分析，期望供应商提供产品的生产过程应处于\_\_\_\_\_状态。在实施供应商质量控制过程中，需应用控制用控制图对供货过程实施\_\_\_\_\_。供应商的供货过程\_\_\_\_\_是使用方产品质量保证的重要条件。

## 2. 问答题

- (1) 简述目标值  $M$  与标称值  $B$  的区别。
- (2) 计量值质量特性一般有哪几种类型？各有什么特点？
- (3) 叙述望目值质量特性质量损失函数的定义并写出质量损失平均值的计算公式。
- (4) 产品质量特性公差应如何制定？
- (5) 简述不同类型质量特性过程能力指数的计算。
- (6) 简述过程能力分析的条件。
- (7) 传统过程能力等级评定为什么不合理，应如何正确评定？
- (8) 简述提高过程能力的重要意义及提高过程能力的途径。
- (9) 简述过程的四种状态。
- (10) 简述控制图应用过程中的两类错误及检出力的概念及计算。
- (11) 简述控制图对过程异常判断准则的制定程序及八个检验模式的应用。
- (12) 简述常规控制图的应用程序。

## 3. 计算及作图题

(1) 计算练习一计算题(1)给出的三家供应商供货零件宽度的过程能力指数及平均质量损失（假设每件因不合格造成的损失为 100 元）。

(2) 某机械厂从供应商购入板材，其长度质量要求为  $(100 \pm 2)$  mm，经抽样测试得到样本均值和标准差为  $\bar{x} = 101$ ， $s = 0.5$ 。请计算过程能力指数、产品不合格品率。若每件产品因不合格造成的损失为 100 元，请计算平均质量损失。

(3) 某电机厂从供应商购入 TJ 1731 聚酯漆包线，技术文件规定其击穿电压应  $\geq 1\,000$  V。现随机抽取 100 个样本进行击穿电压试验，经对数据计算求得样本均值和标准差为： $\bar{x} = 7\,200$  V， $s = 1\,500$  V。请计算过程能力及不合格品率。

(4) 某机械制造厂从供应商购入配套零件，其轴径尺寸质量要求为  $\phi(20 \pm 0.5)$  mm。经随机抽取  $n = 100$  的样本，测量轴径尺寸并计算样本均值和标准差为  $\bar{x} = 20.2$ ， $s = 0.16$ 。请计算过程能力指数及不合格品率。若供应商能采取措施消除偏移量使  $\bar{x} = 20.00$  时，过程能力指数和不合格品率应为多少？

## 第三天培训内容及练习题

1. 质量检验的基本概念及工作程序。
2. 抽样检验的基本概念及抽样检验特性曲线。
3. 抽样检验方案评价。
4. 总结、答疑。
5. 完成练习三。

## 练习题三

## 1. 填空题

(1) 质量检验是对\_\_\_\_\_的一个或多个\_\_\_\_\_, 进行诸多如\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_, 并将起结果与\_\_\_\_\_进行比较, 以确定每项特性\_\_\_\_\_情况所进行的活动。因为一切可以\_\_\_\_\_的事物都是实体。因此, \_\_\_\_\_是实体; \_\_\_\_\_是实体; 一切\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_以及以上各类的组合均可称为实体。所以, 质量检验是针对\_\_\_\_\_的活动。

(2) 抽样检验是指从交验的\_\_\_\_\_产品(批量为 $N$ )中, \_\_\_\_\_一个样本(样本量为 $n$ )进行检验, 从而对\_\_\_\_\_产品质量做出\_\_\_\_\_的过程。抽样检验有三个步骤: 抽样、检验、判断。其中\_\_\_\_\_属于专业技术, 与抽样无关。因而, \_\_\_\_\_(\_\_\_\_\_)、和\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)两项内容就构成抽样检验\_\_\_\_\_。

(3) 在产品的设计开发阶段由于供应商所提供的产品\_\_\_\_\_, 而且存在一定的\_\_\_\_\_, 这个阶段的供应商并不一定会自然成为将来大批量生产阶段的供应商, 因而\_\_\_\_\_对其实施全面的质量控制。但必需对其\_\_\_\_\_能力、\_\_\_\_\_能力和\_\_\_\_\_进行评价。但是, 考虑到工作过程\_\_\_\_\_, 企业应有意识地对供应商进行\_\_\_\_\_, 尽量使将来大批量生产时的供应商从产品设计开发阶段的供应商中产生。

(4) 在产品的设计开发阶段对供应商提供的产品一般采用\_\_\_\_\_, 但当提供的产品属于流程性材料, 检验项目为破坏性检验或提供数量较大时也会采用\_\_\_\_\_. 当然, 产品设计开发阶段的统计抽样检验与将来大批量生产过程中的统计抽样检验有所区别。在产品的设计开发阶段应执行\_\_\_\_\_国家标准。在大批量生产过程中对供应商提供的产品因\_\_\_\_\_, 一般应实施统计抽样检验, 大多数情况下应执行\_\_\_\_\_国家标准。

## 2. 问答题

- (1) 简述产品质量特性重要度分级及不合格与不合格品的分级。
- (2) 简述产品质量检验工作程序中的三个关键步骤及其要求。
- (3) 简述统计抽样检验与非统计抽样检验的特点。
- (4) 简述抽样检验的概念和检验方案的 OC 曲线及其特征。
- (5) 解释实际 OC 曲线中的几个参数。
- (6) 简述孤立批与连续批的概念。
- (7) 简述 GB/T 2828.1 国家标准的使用程序。

(8) 简述 GB/T 2828.2 国家标准的使用程序。

### 3. 计算及作图题

(1) 在对供应商供货过程检验中, 技术文件确定的抽样检验方案为  $[50, 0]$ 。请通过计算绘制该方案的 OC 曲线, 并应用二项分布公式计算: ①当交验批的质量水平  $p = p_0 = 0.5\%$  时, 该方案对其的接收概率  $P_a(p_0)$  等于多少? ②当交验批的质量水平  $p = p_1 = 2\%$  时, 该方案对其的接收概率  $P_a(p_1)$  等于多少?

(2) 某电子设备厂对供应商供货的电阻器采用 GB/T 2828.1 国家标准实施进货检验, 技术文件规定接收质量限  $AQL = 0.10$ , 检验水平采用一般水平 II 级。当交验批的批量  $N = 1000$  件时, 请制定一次抽样正常检验、加严检验和放宽检验方案并绘制各自的 OC 曲线。

注: 为查阅标准中的有关表格, 现给出各自的局部表格。

#### ① 样本量字码表 (局部)

| 批 量         | 一 般 检 验 水 平 |    |     |
|-------------|-------------|----|-----|
|             | I           | II | III |
| 281 ~ 500   | F           | H  | J   |
| 501 ~ 1200  | G           | J  | K   |
| 1201 ~ 3200 | H           | K  | L   |

#### ② 一次抽样正常检验主抽检表 (局部)

| 样本量字码 | 样本量  | 接收质量限(AQL) |            |            |            |            |            |            |            |
|-------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|       |      | 0.010      | 0.015      | 0.025      | 0.040      | 0.065      | 0.10       | 0.15       | 0.25       |
|       |      | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ | $A_c, R_c$ |
| G     | 32   | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          |
| H     | 50   | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | 0 1        |
| J     | 80   | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | 0 1        | ↓          |
| K     | 125  | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | 0 1        | ↓          | ↓          |
| L     | 200  | ↓          | ↓          | ↓          | ↓          | 0 1        | ↓          | ↓          | 1 2        |
| M     | 315  | ↓          | ↓          | ↓          | 0 1        | ↓          | ↓          | 1 2        | 2 3        |
| N     | 500  | ↓          | ↓          | 0 1        | ↓          | ↓          | 1 2        | 2 3        | 3 4        |
| P     | 800  | ↓          | 0 1        | ↓          | ↓          | 1 2        | 2 3        | 3 4        | 5 6        |
| Q     | 1250 | 0 1        | ↑          | ↓          | 1 2        | 2 3        | 3 4        | 5 6        | 7 8        |

#### ③ 一次抽样加严检验主抽检表 (局部)

| 样本量<br>字码 | 样本量  | 接收质量限(AQL) |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           |      | 0.010      | 0.015     | 0.025     | 0.040     | 0.065     | 0.10      | 0.15      | 0.25      |
|           |      | $A_c R_e$  | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ |
| G         | 32   | ↓          | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         |
| H         | 50   |            |           |           |           |           |           |           |           |
| J         | 80   |            |           |           |           |           |           |           |           |
| K         | 125  |            |           |           |           |           |           |           |           |
| L         | 200  |            |           |           |           |           |           |           |           |
| M         | 315  |            |           |           |           |           |           |           |           |
| N         | 500  |            |           |           |           |           |           |           |           |
| P         | 800  |            |           |           |           |           |           |           |           |
| Q         | 1250 |            | 0 1       | ↓         | ↓         | 1 2       | 2 3       | 3 4       | 5 6       |

④一次抽样放宽检验主抽检表 (局部)

| 样本量<br>字码 | 样本量 | 接收质量限(AQL) |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           |     | 0.010      | 0.015     | 0.025     | 0.040     | 0.065     | 0.10      | 0.15      | 0.25      |
|           |     | $A_c R_e$  | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ | $A_c R_e$ |
| G         | 13  | ↓          | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         | ↓         |
| H         | 20  |            |           |           |           |           |           |           | 0 1       |
| J         | 32  |            |           |           |           |           |           |           | ↑         |
| K         | 50  |            |           |           |           |           |           |           | ↑         |
| L         | 60  |            |           |           |           |           |           |           | ↑         |
| M         | 125 |            |           |           |           |           |           |           | 1 2       |
| N         | 200 |            |           |           |           |           |           |           | 2 3       |
| P         | 315 |            |           |           |           |           |           |           | 3 4       |
| Q         | 500 | 0 1        | ↑         | ↑         | ↑         | 1 2       | 2 3       | 3 4       | 5 6       |

## 参 考 文 献

1. 温德成, 张守真, 陈杰华. 互利共赢的供应商质量控制. 北京: 中国计量出版社, 2003
2. 邵家骏. 质量功能展开. 北京: 机械工业出版社, 2004
3. 王毓芳, 郝凤. ISO 9000 常用统计方法 (修订版). 北京: 中国计量出版社, 2002
4. 王毓芳, 郝凤. 《GB/T 19001 的统计技术指南》实用详解. 北京: 中国计量出版社, 2002
5. 肖诗唐, 王毓芳. 新产品开发设计与统计技术. 北京: 中国计量出版社, 2001
6. 肖诗唐, 王毓芳. 领导层对统计技术应用的筹划. 北京: 中国计量出版社, 2003
7. [美国] 凯克·博特著, 遇今, 石柱译. 世界级质量管理工具. 北京: 中国人民大学出版社, 2004
8. 高国富. 第二次创业. 北京: 中国经济出版社, 1999
9. 张性原. 设计工程质量. 北京: 航空工业出版社, 1999

## 图书在版编目 (CIP) 数据

供应商质量控制实用统计技术/王毓芳, 肖诗唐主编. —北京: 中国计量出版社, 2007. 4  
ISBN 978 - 7 - 5026 - 2605 - 1

I. 供… II. ①王…②肖… III. 企业管理: 供销管理—质量控制—统计方法 IV. F274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 034852 号

## 内 容 提 要

目前, 企业越来越重视对供应商的质量控制。完成这项工作任务, 不仅需要有合理的工作程序, 还需掌握正确的工作方法, 特别是统计技术。

本书对供应商质量控制各阶段实施过程中最重要的统计技术 (工具和方法), 如质量功能展开、质量损失函数、过程能力分析、统计抽样检验方案及质量检验特性分析、分析用控制图和控制用控制图及试验设计等做了详细的讲解。同时, 为了对这些方法和工具有更深刻的理解和运用, 对统计技术应用的特点、质量数据的分布以及测量系统分析也做了相应的叙述。为提高本书的实用性和可操作性, 在各种方法和工具的讲解中都有应用实例, 供读者参考。

本书适用于企业的技术质量主管、质量管理工程师、技术管理工程师、采购工程师以及质量管理咨询和审核人员等。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话: (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

\*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 10 字数 231 千字

2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

\*

印数 1—2 000 定价: 26.00 元