



高等院校统计专业规划教材

# 质量管理统计方法

Statistical Methods for Quality Management

周纪芴 茆诗松 编

中国统计出版社

高等院校统计学业规划教材

出版说明

附录(CIP)目录

附录(CIP)目录

# 质量管理统计方法

周纪芴 茆诗松 编

中国统计出版社

(京)新登字 041 号

图书在版编目(CIP)数据

质量管理统计方法/周纪芾、茆诗松编.

—北京:中国统计出版社,1999.9

ISBN 7-5037-2932-5

I. 质....

II. ①周... ②茆...

III. 质量管理—统计—方法—高等学校—教材

IV. F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 10500 号

---

责任编辑/范仲实

责任校对/刘开颜

封面设计/张建民

出版发行/中国统计出版社

通信地址/北京市三里河月坛南街 75 号 邮政编码/100826

办公地址/北京市丰台区西三环南路甲 6 号

电 话/(010)63459084、63266600—22500(发行部)

印 刷/科伦克三莱印务(北京)有限公司

经 销/新华书店

开 本/850×1168mm 1/32

字 数/32 万字

印 张/13

印 数/1—5000 册

版 别/1999 年 9 月第 1 版

版 次/1999 年 9 月北京第 1 次印刷

定 价/21.00 元

---

中国统计版图书,版权所有,侵权必究。

中国统计版图书,如有印装错误,本社发行部负责调换。

## 出版说明

“九五”期间是我国社会主义市场经济体制逐步完善和发展的重要时期,一方面,随着高等教育体制改革和统计改革的深入发展,对统计教育模式和统计人才培养目标都提出新的要求,另一方面,科学技术的飞速发展也促使统计技术发生了重大变革,新理论、新方法和新技术不断涌现并被应用于统计实践。为了适应这种新形势的需要,全国统计教材编审委员会制定了《1996-2000年全国统计教材建设规划》,根据《规划》的要求,编委会采取招标的方式组织全国有关院校的专家、学者编写了这批统计学专业“规划教材”。

这批教材力求以邓小平理论为指导,在总结“八五”期间规划统计教材建设经验的基础上,认真贯彻以下原则:①理论紧密联系实际的原则;②解放思想、转变观念、大胆探索、努力创新的原则;③正确处理继承与发展关系的原则。通过不懈努力,把这批教材建设成为质量高、适应性强、面向21世纪的新教材。

相信通过这批教材的出版、发行,对推动我国统计教育改革和加快更新、改造我国统计教材体系、教材内容的步伐将起到积极的促进作用,同时对我国统计教材建设也将起到较好的示范、导向作用。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,诚恳欢迎教材的使用单位、广大教师和同学们提出批评和建议。

全国统计教材编审委员会

1999年3月

# 前 言

本书是按照全国统计教材编审委员会审定的《质量管理统计方法》编写大纲编写的,供高等院校统计专业本科生学习用的教科书。也可供从事质量管理的实际工作者参考。

质量是企业的生命。随着全面质量管理的开展,国际标准化组织制订了质量管理与质量保证的国际标准,这便是人们常常简称的 ISO 9000 系列标准。在这一个系列标准中对统计方法的应用都十分重视,将统计方法的应用看作质量管理的重要内容,是质量体系不可缺少的组成部分。因此将质量管理统计方法列为大学生的选修课是十分必要的,对深刻理解统计方法的应用也是很有帮助的。

本书的选材是围绕了质量管理的若干阶段来展开的。第一章叙述表征产品质量的数据的一般整理方法,第二章叙述产品定型后如何判断其是否合格的抽样检验方法,第三章叙述在生产过程中如何进行产品质量控制的统计过程控制方法,第四~六章叙述如何寻找优良的生产条件来提高产品的质量的试验设计的方法,第七章叙述有关产品寿命的分析方法,由于任何质量数据的获得都离不开测量,因此第八章叙述有关测量系统的数据分析方法。周纪芾编写了前五章,茆诗松编写了后三章。

本教材的许多内容,我们曾在学校和一些企业中为质量管理与工程技术人员进行过讲授,现将它们整理出来,并作修改与补充。作为正式教材,还是第一次尝试,加上我们的水平有限,因此教材中会有不少不当之处,恳请同行与读者批评指正。

编 者

1999 年 3 月

# 目 录

|                                                                          |       |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| 第一章 数据整理及其图示 .....                                                       | (1)   |
| § 1.1 质量特性及其数据整理 .....                                                   | (1)   |
| § 1.2 常用统计量与参数估计 .....                                                   | (13)  |
| § 1.3 过程能力指数 .....                                                       | (19)  |
| § 1.4 寻找质量原因的简单图表法 .....                                                 | (28)  |
| § 1.5 二维数据的整理与图示 .....                                                   | (37)  |
| 习 题 .....                                                                | (41)  |
| 第二章 抽样检验 .....                                                           | (43)  |
| § 2.1 抽样检验的基本概念 .....                                                    | (43)  |
| § 2.2 计数抽样检验的一般原理 .....                                                  | (47)  |
| § 2.3 计数标准型一次抽样检验方案 .....                                                | (54)  |
| § 2.4 计数调整型抽样方案 .....                                                    | (56)  |
| § 2.5 计量一次抽样检验方案 .....                                                   | (61)  |
| § 2.6 计数序贯抽样检验方案简介 .....                                                 | (70)  |
| 习 题 .....                                                                | (73)  |
| 第三章 统计过程控制图 .....                                                        | (75)  |
| § 3.1 波动 .....                                                           | (75)  |
| § 3.2 控制图概述 .....                                                        | (78)  |
| § 3.3 均值 - 标准差控制图( $\bar{x} - s$ 图) .....                                | (80)  |
| § 3.4 均值 - 极差控制图( $\bar{x} - R$ 图) .....                                 | (90)  |
| § 3.5 中位数 - 极差控制图( $\bar{x} - R$ 图)与单值 - 移动<br>极差控制图( $x - R_s$ 图) ..... | (95)  |
| § 3.6 计件特性的常规控制图 .....                                                   | (98)  |
| § 3.7 计点特性的常规控制图 .....                                                   | (104) |
| § 3.8 使用常规控制图的几个问题 .....                                                 | (108) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| § 3.9 计数型累积和控制图 .....        | (111) |
| 习 题 .....                    | (118) |
| <b>第四章 正交试验设计</b> .....      | (121) |
| § 4.1 试验设计的基本概念与正交表 .....    | (121) |
| § 4.2 无交互作用的正交设计与数据分析 .....  | (124) |
| § 4.3 有交互作用的正交设计与数据分析 .....  | (137) |
| § 4.4 有重复试验的情况 .....         | (148) |
| § 4.5 水平数不等的试验设计与数据分析 .....  | (154) |
| § 4.6 筛选试验 .....             | (173) |
| 习 题 .....                    | (177) |
| <b>第五章 回归设计</b> .....        | (180) |
| § 5.1 回归设计的基本概念 .....        | (180) |
| § 5.2 一次回归的正交设计 .....        | (181) |
| § 5.3 二次回归的组合设计 .....        | (198) |
| 习 题 .....                    | (213) |
| <b>第六章 参数设计</b> .....        | (215) |
| § 6.1 参数设计的基本思想 .....        | (215) |
| § 6.2 稳健设计 .....             | (226) |
| § 6.3 灵敏度设计 .....            | (240) |
| § 6.4 综合噪声因子 .....           | (246) |
| § 6.5 动态特性的参数设计 .....        | (253) |
| 习 题 .....                    | (273) |
| <b>第七章 可靠性</b> .....         | (278) |
| § 7.1 产品的可靠性 .....           | (278) |
| § 7.2 失效分布和失效率 .....         | (285) |
| § 7.3 寿命试验 .....             | (294) |
| § 7.4 有关指数分布的统计方法 .....      | (300) |
| § 7.5 有关威布尔分布的统计方法 .....     | (309) |
| 习 题 .....                    | (319) |
| <b>第八章 测量系统分析(MSA)</b> ..... | (321) |
| § 8.1 测量系统 .....             | (321) |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| § 8.2 测量系统的基本要求 .....                  | (326) |
| § 8.3 测量系统的波动 .....                    | (333) |
| § 8.4 评定重复性和再现性( $R \& R$ )的统计方法 ..... | (344) |
| 参考文献 .....                             | (357) |
| 附表 .....                               | (359) |



# 第一章 数据整理及其图示

## § 1.1 质量特性及其数据整理

### 一、过程与过程控制系统

一个产品的制造常常可以分解为若干个过程。这里讲的过程是指制造过程的一个工段、一道工序、一项操作等,是将人、设备、材料、方法、环境等五项输入资源按一定要求组合起来,转化为中间产品、半成品、零部件等输出的活动。

譬如加工一根轴就是一个过程,它是操作者利用机器、刀具、毛坯钢材、一定电压的电源和一定的测量工具等资源(这些都属于输入),按一定的要求将它们组合起来进行加工,形成一根一定规格的轴(这便是输出)。

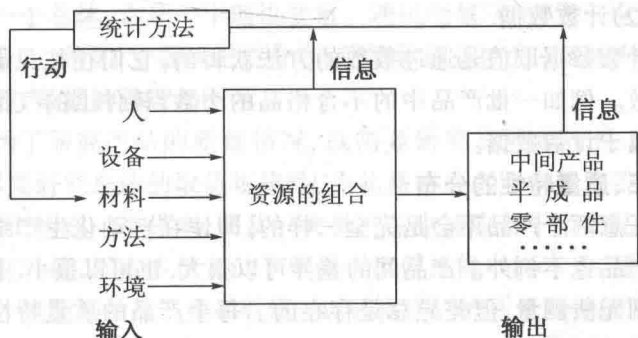


图 1.1 过程 + 反馈系统 = 过程控制系统

如果在过程中和过程的输出处增加信息的收集,并利用统计方法对收集到的信息进行加工,通过统计处理,发现问题,寻找原因,指出进一步应采取的行动,再反馈给过程的输入,调整过程的某些输入资源,以保证过程工作正常,这样一串处理称为反馈系统。一个过程增加了反馈系统就称为过程控制系统。(见图 1.1)

产品质量的改进与提高都要通过过程的反馈系统来实现,因此统计方法在过程控制系统中得到了广泛的应用。质量管理就是建立在“所有工作都是通过过程来完成的”这一基本认识基础上的。一个好的质量管理体系不仅是若干过程的总和,而且是相互协调与相容的。

## 二、质量特性

产品的质量可以用产品的质量特性  $X$  来表示。在质量管理中遇到的质量特性的观察值(也称为数据)通常是定量的,即  $X$  的取值可以用一定的数量单位来度量的,它们又可以分为两类:

### (1) 计量数据

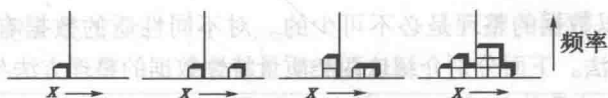
计量数据取值可以通过某种量具、仪器等的测定得到,它们可以取某一区间中的一切值。例如轴的直径,钢材的强度,产品的寿命等都属于计量数据。

### (2) 计数数据

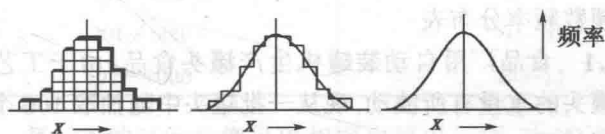
计数数据取值是通过数数的方法获得的,它们往往只能取非负整数。例如一批产品中的不合格品的个数,铸件上的气泡个数等都属于计数数据。

## 三、质量特性的分布

任意两个产品不会是完全一样的,即使在自动化生产线上生产的产品也不例外。产品间的差异可以很大,也可以很小,有时可能小到无法测量,但差异总是存在的。每个产品的质量特性取什么值是随机的,但一大批产品的质量特性的取值会呈现出某种规律性。譬如我们一个接一个地去测量产品的特性值  $X$ , 差异便会显示出来:



测量了一定数量的产品后,就会形成一条曲线,这便是质量特性  $X$  的分布:

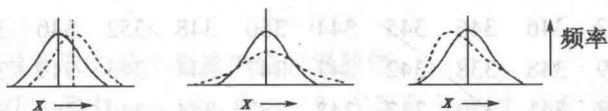


分布可以有各种不同的形状,譬如:

位置不同

散布不同

形状不同



也可能是上述几种情况的组合。

由于在同样生产条件下,同类产品的同一质量特性值不会完全相同,因此可以把这些特性值的全体看成一个总体,每个产品的特性值便是一个个体。如同在数理统计中所述,可将质量特性  $X$  看成一个总体,它是一个随机变量。随机变量  $X$  的分布也称为总体的分布,例如  $X$  服从正态分布,就简称该总体为正态总体。

#### 四、数据的整理与图示

为了研究产品的质量情况,就需要研究其质量特性  $X$  的分布,即要研究总体的取值规律性,为此需要从总体中抽取若干个个体,它们构成一个样本,即从一大批产品中抽取若干个产品测定其质量特性值,样本中包含的个体的个数便是样本的容量,通常用  $n$  表示。当我们抽取了样本后便可以获得它们的质量特性的观察值,记为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,这便是我们通常所说的数据,即样本的观察值。

在我们与数据打交道时,如果对数据不加整理,就会使人眼花缭乱,不得要领,只有经过整理才能从中发现规律,作为决策的依

据,所以数据的整理是必不可少的。对不同性质的数据有不同的整理方法。下面分别介绍这两类质量特性数据的整理方法与图示。

### 1. 计量数据的分组统计与直方图

对计量数据的整理方法是进行分组统计,列出频数频率分布表,其直观的表现是直方图。下面结合一个例子来叙述其步骤。

#### (1) 频数频率分布表

**例 1.1** 食品厂用自动装罐机生产罐头食品,由于工艺的限制,每个罐头的重量有所波动,现从一批罐头中随抽取 100 个称其净重,数据如下:

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 342 | 352 | 346 | 344 | 343 | 339 | 336 | 342 | 347 | 340 |
| 340 | 350 | 347 | 336 | 341 | 349 | 346 | 348 | 342 | 346 |
| 347 | 346 | 346 | 345 | 344 | 350 | 348 | 352 | 340 | 356 |
| 339 | 348 | 338 | 342 | 347 | 347 | 344 | 343 | 349 | 341 |
| 348 | 341 | 340 | 347 | 342 | 337 | 344 | 340 | 344 | 346 |
| 342 | 344 | 345 | 338 | 351 | 348 | 345 | 339 | 343 | 345 |
| 346 | 344 | 344 | 344 | 343 | 345 | 345 | 350 | 353 | 345 |
| 352 | 350 | 345 | 343 | 347 | 354 | 350 | 343 | 350 | 344 |
| 351 | 348 | 352 | 344 | 345 | 349 | 332 | 343 | 340 | 346 |
| 342 | 335 | 349 | 348 | 344 | 347 | 341 | 346 | 341 | 342 |

为了了解数据的分布规律,必须对数据进行处理。步骤如下:

①首先从给出的数据中找出其最大值  $x_{\max}$  与最小值  $x_{\min}$ , 计算它们的差,称为极差,记为  $R$ ,即

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

在本例中  $x_{\max} = 356$ ,  $x_{\min} = 332$ , 从而  $R = 356 - 332 = 24$ 。

②根据样本的容量  $n$  决定分组数  $k$  和每一组的组距  $d$ 。

关于组数  $k$  有一个推荐使用的公式:

$$k = 1 + 3.322 \lg(n)$$

但并不是绝对的,通常也可以利用表 1.1 进行选择。其原则是要能显示出数据中所隐藏的规律,因此组数不能过多

也不能过少。

表 1.1 组数选用表

| 样本容量 $n$ | 推荐组数 $k$ |
|----------|----------|
| 50~100   | 7~8      |
| 101~200  | 8~9      |
| 201~500  | 9~10     |
| 501~1000 | 10~11    |

每一组的区间长度可以相同也可以不同,而区间长度相同的情况用得比较多。在区间长度相同时,当组数确定后,区间长度(即组距)可以用下式计算:

$$d = R/k$$

通常取为最小测量单位的整数倍。

在本例中,  $n = 100$ , 取  $k = 9$ , 在等距分组时, 组距可以取为  $d = 24/9 \approx 3$ 。

### ③决定各组的区间端点

$$(a_0, a_1], (a_1, a_2], \dots, (a_{k-1}, a_k]$$

通常要求  $a_0 < x_{\min}$ ,  $a_k > x_{\max}$ , 在等距分组时,  $a_1 = a_0 + d$ ,  $a_2 = a_1 + d$ ,  $\dots$ ,  $a_k = a_{k-1} + d$ 。必要时还可以计算各组的组中值  $y_i = (a_{i-1} + a_i)/2$ 。

在本例中取  $a_0 = 331.5$ , 便可以逐一计算每一个组端点的值, 具体的值列在表 1.2 中。

### ④用唱票的方法统计样本落在每一个区间中的个数(称为频数), 记为 $n_i$ , 并计算每个区间对应的频率 $f_i = n_i/n$ , 列出频数频率分布表。

本例的频数频率分布表见表 1.2。

从表 1.2 可以看以, 罐头净重在 337.5~352.5 范围内占了绝大多数, 特别是大量集中在 340.5~349.5 之间, 而特别重的和特别轻的比例很少。

表 1.2 频数频率分布表

| 组号 | 区间             | 组中值 | 频数统计   | 频数  | 频率   |
|----|----------------|-----|--------|-----|------|
| 1  | (331.5, 334.5] | 333 | —      | 1   | 0.01 |
| 2  | (334.5, 337.5] | 336 | 正      | 4   | 0.04 |
| 3  | (337.5, 340.5] | 339 | 正正     | 11  | 0.11 |
| 4  | (340.5, 343.5] | 342 | 正正正正   | 20  | 0.20 |
| 5  | (343.5, 346.5] | 345 | 正正正正正正 | 30  | 0.30 |
| 6  | (346.5, 349.5] | 348 | 正正正正   | 19  | 0.19 |
| 7  | (349.5, 352.5] | 351 | 正正     | 12  | 0.12 |
| 8  | (352.5, 355.5] | 354 | 正      | 2   | 0.02 |
| 9  | (355.5, 358.5] | 357 | —      | 1   | 0.01 |
| 合计 |                |     |        | 100 | 1.00 |

## (2) 直方图

为了能直观地显示计量数据的统计规律性,常常采用直方图。

直方图的作法如下:在横轴上标上各个分组的端点,对每一组以区间为底,以频数为高画一个长方形。

例 1.1 的直方图见图 1.2。

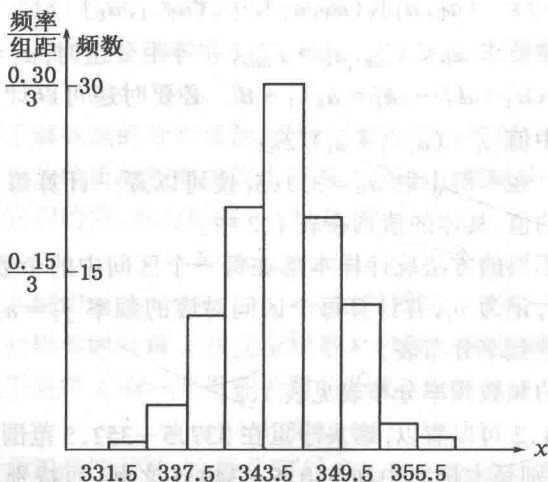


图 1.2 例 1.1 的直方图

当等距分组时,直方图纵轴的刻度常用频率或频率/组距表示,这时直方图的形状不变。特别是用频率/组距作为纵坐标时,图形有更为方便的解释,这时每一个小的长方形的面积恰好等于该组的频率,所有长方形的面积之和为 1。我们可以想象一下,如果样本容量愈来愈大,那么分组就可以愈来愈多,从而每个区间的长度将愈来愈小,这时直方图顶部的折线将会稳定于一条曲线,这便是概率密度曲线。从而我们可以从样本的观察值去推断总体的分布类型。

直方图可以有各种形状,图 1.2 是比较常见的一种,其特点是中间高,两边低,左右基本对称,这种样本往往来自正态总体。当样本容量不断增加时,直方图顶部折线会形成一条中间高,两边低,左右对称的钟形曲线,这便是正态分布的概率密度曲线(见图 1.4),它是质量管理中常见的一种分布。生产稳定的条件下,许多质量指标是服从正态分布的。

除了正态型的直方图外,还有其它形状的直方图,分析出现这些图形的原因,可以针对情况采取对策,改进质量。这将在 § 1.4 中叙述。

## 2. 计数数据的整理和条形图

对计数数据来讲,通常只能取非负整数,其整理方法也是列出频数频率分布表,此时只要列出  $X$  的一切可能取值,并统计样本中取每一可能值的个数,即频数,并计算频率。下面仍用例子来说明。

### (1) 频数频率分布表

**例 1.2** 某厂大批量生产某种型号的三极管,以 100 个为一批进行质量检查,记录每批产品中的不合格品数,其一切可能取值为  $0, 1, 2, \dots, 100$ 。现在共检查了 500 批,将其结果列成一张频数频率分布表如表 1.3 所示。

### (2) 条形图

为直观起见,常常用条形图来表示其取值的规律。条形图的

表 1.3 频数频率分布表

| 不合格品数 | 频数(批数) | 频率    |
|-------|--------|-------|
| 0     | 71     | 0.142 |
| 1     | 139    | 0.278 |
| 2     | 130    | 0.260 |
| 3     | 90     | 0.180 |
| 4     | 45     | 0.090 |
| 5     | 18     | 0.036 |
| 6     | 6      | 0.012 |
| 7     | 0      | 0.000 |
| 8     | 1      | 0.002 |
| 合计    | 500    | 1.000 |

作法如下:在横轴上标上其可能的取值,纵轴标以频数,在每一个可能取值的上方画一条垂直线,其高度为对应的频数。

例 1.2 的条形图如图 1.3 所示。从图上可以形象地看出一批产品中 有 1~2 个不合格品的可能性最大,从而对产品的质量做到心中有数。

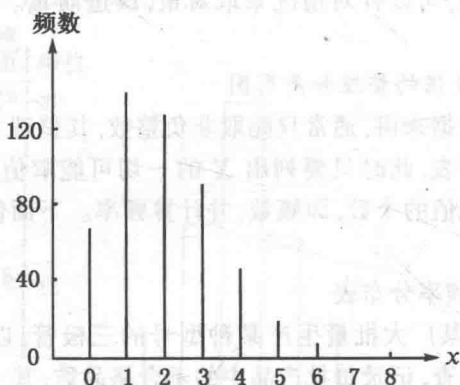


图 1.3 例 1.2 的条形图

当随机变量  $X$  的可能取值较多时,可以进行适当的分组,分组的方法可以参考有关计量数据的分组统计的方法。



## 五、质量管理中的常见分布

### 1. 正态分布

当收集到的数据为计量数据时,表明对应的质量特性  $X$  是一个连续型随机变量。在质量管理中最常见的连续型随机变量的分布便是正态分布,其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.1)$$

它有两个参数  $\mu$  和  $\sigma$  ( $\sigma > 0$ ), 记为  $N(\mu, \sigma^2)$ , 图形见图 1.4, 其特点是曲线关于  $x = \mu$  对称, 并在  $x = \mu$  处达到最高, 然后向两边下降, 在  $x = \mu \pm \sigma$  处有拐点, 当  $x \rightarrow \pm \infty$  时以水平轴为渐近线。当  $X$  服从正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$  时, 也记为  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。

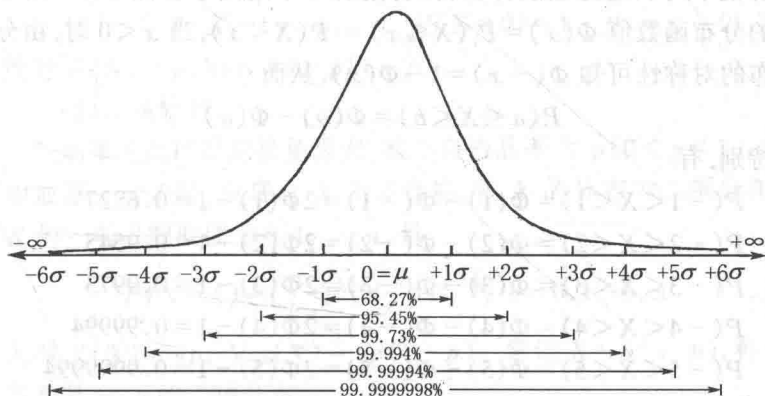


图 1.4 正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$  的概率密度曲线

当  $\sigma$  不变时, 不同的  $\mu$  对应的曲线形状不变, 仅仅是位置不同, 见图 1.5。而当  $\mu$  不变时, 不同的  $\sigma$  对应的曲线形状不同,  $\sigma$  大的曲线较矮胖,  $\sigma$  小的曲线较瘦高, 见图 1.6。因此这里  $\mu$  反应了曲线的位置, 是位置参数, 它是正态随机变量的平均值, 也称  $\mu$  为正态变量的均值(或数学期望),  $\sigma$  反应了曲线的形状, 即随机变量取值的离散程度, 是形状参数(也称尺度参数), 称  $\sigma$  为正态变量的标准差,  $\sigma^2$  为其方差。常记为  $E(X) = \mu$ ,  $\text{Var}(X) = \sigma^2$ 。