



全国统计教材编审委员会“十一五”规划教材

质量管理统计方法

第二版

★ 周纪芄 茆诗松 编



中国统计出版社
China Statistics Press



全国统计教材编审委员会“十一五”规划教材

质量管理统计方法

第二版

★ 周纪芄 茆诗松 编



中国统计出版社
China Statistics Press

(京)新登字 041 号

图书在版编目(CIP)数据

质量管理统计方法/周纪芄,茆诗松编. —2版.

—北京:中国统计出版社,2008.8

“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5037-5517-0

I. 质

II. ①周… ②茆…

III. 质量管理—统计分析—高等学校—教材

IV. F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 120002 号

质量管理统计方法

作 者/周纪芄 茆诗松

责任编辑/梁 超 李秋月

装帧设计/艺编广告

出版发行/中国统计出版社

通信地址/北京市西城区月坛南街 57 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/邮购(010)63376907 书店(010)68783172

印 刷/河北天普润印刷厂

经 销/新华书店

开 本/787×1092mm 1/16

字 数/50 千字

印 张/32.5

印 数/1—3000 册

版 别/2008 年 10 月第 1 版

版 次/2008 年 10 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5037-5517-0/F·2744

定 价/46.00 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

“十一五”时期是继续深化教育改革,加强素质教育,努力建设有利于创新型科技人才成长的教育体系的关键时期。为了更好地培育统计创新型科技人才,适应统计教育发展的新形势,全国统计教材编审委员会制定了《“十一五”全国统计教材建设规划》(以下简称规划)。规划坚持“以人为本”的科学发展观,坚持统计教育与实践相结合,坚持统计教育同国际接轨,坚持培养创新型的统计人才的指导思想,编写符合国民经济发展需要和统计事业发展需要的统计教材。

这批教材是在深入分析统计教育形势和统计教材建设发展状况,总结多年来统计教材建设经验的基础上,本着以建设本科统计教材为主的方针,积极探索研究生层次的统计教材,力争使规划统计教材的编写做到层次分明,有针对性和实用性。建设精品教材,是编委会自成立以来就孜孜以求的目标。考虑到统计教材建设的实际情况,“十一五”期间,本科教材主要以修订为主,对以往规划统计教材中使用面广,得到广大教师和学生普遍认可的教材组织了修订。修订后的教材,淘汰了过时的内容和例子,增加了计算机操作和大量的案例,编写手法也做了一定的调整,在实用性、可操作性等方面有了较大的改进。

近年来,我国现代化建设快速发展,高等教育规模持续扩大,尤其是研究生教育规模的扩大,使得高等学校研究生统计教学工作面临着许多新情况、新问题,任务艰巨。因此,必须坚持科学发展观,在规模持续发展的同时,把提高研究生统计教学质量放在突出的位置,培养全面发展的创新型的统计人才。教材是统计教学的载体,建设高质量的研究生层次的统计教材是统计教育发展的需要。因此,编委会在“十一五”期间对研究生的统计基础课教材做了些有益的探索。根据《规划》的要求,这批教材主要采取招标和邀请的方式组织有关院校的专家、学者编写。

值得特别提出的是,在这批教材中,有《非参数统计》、《概率论与数理统计》、《经济计量学教程》、《医学统计》、《应用时间序列分析》、《多元统计分析》、《统计学》、《统计指数理论及应用》、《现代金融投资统计分析》9种教材入选国家教育部组织编写的“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,更加充实和完善了“十一五”期间统计教材的建设。

为了便于教学和学习,这批教材里面包含了与之相配套的《学习指导与习题》,使得这批教材在编辑出版上形成了比较完整的体系。我们相信,这批教材的出版和发行,对于推动我国统计教育改革,加快我国统计教材体系和教材内容更新、改造的步伐,打造精品教材,都将起到积极的促进作用。

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,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

2006年6月

第二版序

近年来,统计方法在质量管理中的应用愈来愈受到重视,不少企业开展了六西格玛质量改进活动、国家举办了质量工程师资格考试等,对统计方法的要求愈来愈迫切。教材应该根据实际需要进行修订。

根据多年的教学,这次修订主要有如下几点:首先是改写了第一章,增加了方差分析与回归分析两章内容;在抽样检验与控制图两章中结合国家标准的修订,按新的国家标准改写了原来一些内容,并增加了检测微小变化的控制图与一些非常规的控制图;在正交试验设计中增加了多指标的数据分析与饱和设计的数据分析方法;在测量系统分析中增加了破坏性试验与属性数据的测量系统分析。

本书的第一、六、九、十章由茆诗松修订,其他各章由周纪芃修订,全书由周纪芃统稿。这本书的出版得到华东师范大学统计系广大教师的支持,得到国家统计局教育中心的关心,也和中国统计出版社同志的努力是分不开的,在此一并致谢。最后还希望听到广大师生的批评和建议,使本书在不断改进中继续前进。

编者

2008年7月

第一版前言

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,国际标准化组织制定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。

本书的选材是围绕着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。周纪芴编写了前五章,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

第一章 质量数据的描述	1
§ 1.1 质量数据及其分布	1
1.1.1 过程与过程控制系统	1
1.1.2 质量特性的分布	2
1.1.3 质量管理中的常用分布	5
1.1.4 分布的特征数	13
§ 1.2 总体、样本与统计量	17
1.2.1 总体与样本	17
1.2.2 从样本去认识总体	19
1.2.3 统计量	23
1.2.4 抽样分布	24
§ 1.3 参数估计	28
1.3.1 参数的点估计	28
1.3.2 点估计优劣的评价标准	30
1.3.3 置信区间	33
§ 1.4 假设检验	35
1.4.1 假设检验问题	35
1.4.2 假设检验的步骤	36
1.4.3 p 值——简化了的判断法则	40
1.4.4 有关正态总体的其他检验	41
§ 1.5 过程能力指数	46
1.5.1 过程能力指数 C_p	47
1.5.2 实际过程能力指数 C_{pk}	50
1.5.3 过程性能指数 P_p, P_{pk}	55
1.5.4 过程能力分析	58
1.5.5 有目标值的过程能力指数	59
§ 习题一	61
第二章 抽样检验	65
§ 2.1 抽样检验的基本概念	65
2.1.1 几个概念	65
2.1.2 常用的抽样检验方案	67
§ 2.2 计数抽样检验的一般原理	68
2.2.1 接收概率曲线(OC 曲线)	68
2.2.2 接收概率的计算方法	69
2.2.3 OC 曲线的比较	72
2.2.4 两种错判	73
2.2.5 评价抽检方案的其他指标	74

§ 2.3	计数标准型一次抽样检验方案	78
§ 2.4	计数调整型抽样检验方案	79
2.4.1	AQL 方案(Acceptance Quality Limit Plans)	79
2.4.2	AQL 的确定	80
2.4.3	调整型抽样检验计划	81
2.4.4	检验水平(IL)与样本量字码	82
2.4.5	检索计数调整型一次抽样方案的步骤	83
2.4.6	复合抽检特性曲线	85
§ 2.5	计量一次抽样检验方案	86
2.5.1	计量一次抽样检验方案	86
2.5.2	具有下规格限的计量标准型一次抽样检验方案	86
2.5.3	具有上规格限的计量标准型一次抽样检验方案	90
2.5.4	具有双侧规格限的计量标准型一次抽样检验方案	92
§ 2.6	计数序贯抽样检验方案简介	96
2.6.1	计数序贯抽样检验方案	96
2.6.2	计数序贯抽样方案的图形表示	97
§ 习题二		98
第三章	控制图	100
§ 3.1	概述	100
3.1.1	波动及其原因	100
3.1.2	减小波动的对策	101
3.1.3	控制图概述	102
§ 3.2	计量特性的常规控制图	105
3.2.1	概述	105
3.2.2	均值—标准差控制图($\bar{x}-s$ 图)	107
3.2.3	均值—极差控制图($\bar{x}-R$ 图)	114
3.2.4	中位数—极差控制图($Me-R$ 图)	118
3.2.5	单值—移动极差控制图($x-MR$ 图)	119
§ 3.3	计件特性的常规控制图	123
3.3.1	概述	123
3.3.2	不合格品率控制图(p 图)	124
3.3.3	不合格品数控制图(np 图)	127
§ 3.4	计点特性的常规控制图	128
3.4.1	概述	128
3.4.2	单位缺陷数控制图(u 图)	128
3.4.3	缺陷数控制图(c 图)	131

§ 3.5	标准值给定的控制图	132
3.5.1	什么是标准值	132
3.5.2	标准值给定的控制图	134
3.5.3	如何给定标准值	134
§ 3.6	检测微小变化的控制图介绍	136
3.6.1	计数型累积和控制图	136
3.6.2	均值的累积和控制图	142
3.6.3	指数加权滑动平均控制图	144
§ 3.7	其他控制图介绍	146
3.7.1	偏差控制图	146
3.7.2	标准化控制图	147
3.7.3	三相控制图	149
§ 习题三		151
第四章	方差分析	154
§ 4.1	基本概念与假定	154
4.1.1	几个名词术语	155
4.1.2	方差分析的基本假定	155
§ 4.2	单因子方差分析	155
4.2.1	统计模型	156
4.2.2	方差分析的基本思想	157
4.2.3	各水平均值 μ_i 与误差方差 σ^2 的估计	161
4.2.4	重复数不等的方差分析	162
4.2.5	多重比较	163
4.2.6	方差齐性检验	166
4.2.7	正态性检验与诊断	167
4.2.8	随机效应模型	172
§ 4.3	两因子方差分析	176
4.3.1	交互作用	176
4.3.2	有重复试验场合的方差分析	178
4.3.3	没有重复试验的方差分析	183
§ 4.4	随机化完全区组设计	188
4.4.1	区组与随机化完全区组设计	188
4.4.2	统计分析	189
§ 习题四		192
第五章	正交试验设计	196
§ 5.1	正交表	196
§ 5.2	无交互作用的正交试验设计与数据分析	198
5.2.1	试验的设计	198

5.2.2	进行试验和记录试验结果	199
5.2.3	数据分析	200
5.2.4	验证试验	206
§ 5.3	有交互作用的正交试验设计与数据分析	206
5.3.1	试验的设计	206
5.3.2	数据分析	207
§ 5.4	有关交互作用与表头设计的几个问题	212
5.4.1	自由度	212
5.4.2	部分实施法	212
5.4.3	避免混杂现象——表头设计的一个原则	213
5.4.4	二水平正交设计的分辨率	215
§ 5.5	有重复试验的数据分析	220
5.5.1	统计模型	220
5.5.2	方差分析	221
5.5.3	几点补述	225
§ 5.6	水平数不等的试验设计与数据分析	227
5.6.1	直接选用混合水平正交表	227
5.6.2	并列法	230
5.6.3	拟水平法	233
5.6.4	组合法	236
5.6.5	赋闲列法	240
§ 5.7	多指标的数据分析	244
5.7.1	综合平衡法	244
5.7.2	综合评分法	247
§ 5.8	饱和设计	248
5.8.1	极差分析法	248
5.8.2	半正态概率纸判断法	249
5.8.3	Lenth 方法	252
§ 习题五		254
第六章	参数设计	260
§ 6.1	参数设计的基本思想	260
6.1.1	产品开发的三个阶段	260
6.1.2	从损失函数看质量	261
6.1.3	减少平均损失的两步法	261
§ 6.2	稳健设计	263
6.2.1	明确参数设计问题	263
6.2.2	区分可控因子与噪声因子	263
6.2.3	内外表设计	264

6.2.4	进行试验,获得每个试验结果 y_{ij}	264
6.2.5	信噪比	265
6.2.6	统计分析	267
6.2.7	验证试验	268
§ 6.3	灵敏度设计	272
6.3.1	什么是灵敏度设计	272
6.3.2	灵敏度设计与分析的要点	273
§ 6.4	综合噪声因子	276
§ 6.5	动态特性的参数设计	280
6.5.1	动态特性	280
6.5.2	信号因子	281
6.5.3	动态特性参数设计的要求	281
6.5.4	动态特性参数设计的试验安排	283
6.5.5	信噪比与灵敏度的计算公式	284
6.5.6	动态特性参数设计的实例	287
§ 习题六		293
第七章	回归分析	299
§ 7.1	变量间的两类关系与相关系数	299
7.1.1	变量间的两类关系	299
7.1.2	研究相关关系的方法	299
7.1.3	样本相关系数	300
§ 7.2	一元线性回归	303
7.2.1	模型	303
7.2.2	回归系数的最小二乘估计及其性质	303
7.2.3	回归方程的显著性检验	306
7.2.4	利用回归方程作预测	310
7.2.5	利用回归方程作控制	311
7.2.6	失拟性检验	312
7.2.7	回归诊断	314
§ 7.3	可以化为一元线性回归的曲线回归	316
7.3.1	确定曲线回归方程形式	317
7.3.2	曲线回归方程中参数的估计	317
7.3.3	曲线回归方程的比较	319
§ 7.4	多元线性回归	320
7.4.1	多元线性回归的统计模型	320
7.4.2	参数的最小二乘估计及其性质	322
7.4.3	回归方程的显著性检验	327
7.4.4	回归系数的显著性检验	331
7.4.5	利用回归方程进行预测	334

7.4.6	回归诊断	336
§ 7.5	逐步回归简介	337
§ 习题七		338
第八章	回归设计	341
§ 8.1	基本概念	341
§ 8.2	一次回归的正交设计	342
8.2.1	两项准备工作	342
8.2.2	一次回归的试验设计	343
8.2.3	数据分析	344
8.2.4	零水平处的拟合检验	347
8.2.5	一次回归正交设计的一个性质——旋转性	348
8.2.6	重复试验的情况	349
8.2.7	快速登高法	350
§ 8.3	二次回归的组合设计	354
8.3.1	中心组合设计方案	354
8.3.2	二次回归的正交设计	355
8.3.3	二次回归的旋转设计	363
§ 习题八		370
第九章	可靠性分析	373
§ 9.1	产品的可靠性	373
9.1.1	产品的两类质量指标	373
9.1.2	产品可靠性的定义	373
9.1.3	产品的寿命及其失效分布	374
§ 9.2	常用的可靠性指标	376
9.2.1	可靠度函数 $R(t)$	376
9.2.2	失效率函数 $\lambda(t)$	379
9.2.3	平均寿命	383
9.2.4	产品的维修性及平均维修时间	384
§ 9.3	指数分布寿命数据处理	386
9.3.1	截尾寿命试验	386
9.3.2	平均寿命 θ 与失效率 λ 的点估计	389
9.3.3	平均寿命 θ 与失效率 λ 的置信限	390
9.3.4	指数分布的检验	391
§ 9.4	威布尔分布寿命数据处理	393
9.4.1	威布尔分布简介	393
9.4.2	威布尔概率纸的应用	394
9.4.3	形状参数 m 和特征寿命 η 的点估计	396
§ 9.5	加速寿命试验	399

§ 习题九	401
第十章 测量系统分析	403
§ 10.1 测量系统	403
10.1.1 测量系统	403
10.1.2 表征数据质量的统计指标	404
§ 10.2 测量系统的基本要求	405
10.2.1 测量系统要有足够的分辨力	405
10.2.2 测量系统在规定的时间内要保持统计稳定性	406
10.2.3 测量系统要具有线性性	409
§ 10.3 测量系统的波动	413
10.3.1 重复性(Repeatability)	413
10.3.2 再现性(Reproducibility)	414
10.3.3 零件之间的变差	417
§ 10.4 测量系统分析 I——均值极差法	418
10.4.1 测量数据的结构与 %GRR	418
10.4.2 分辨力与数据组数	420
§ 10.5 测量系统分析 II——方差分析法	421
10.5.1 方差分析法所使用的模型	421
10.5.2 随机方式收集数据	422
10.5.3 总平方和的分解	423
10.5.4 各种方差的估计	424
10.5.5 交互作用不存在时的方差分析	425
§ 10.6 破坏性试验的测量系统分析	426
10.6.1 嵌套试验设计与交叉试验设计	426
10.6.2 两因子嵌套试验设计的模型	427
§ 10.7 属性数据的测量系统分析	431
10.7.1 Kappa 系数	431
10.7.2 已知标准下的 Kappa 系数	434
10.7.3 多人多次重复下的 Kappa 系数	435
10.7.4 一般场合下的 Kappa 系数	438
§ 习题十	440
附表	443
附表 1 基本统计用表	445
附表 1.1 标准正态分布函数 $\Phi(x)$ 表	445
附表 1.2 标准正态分布的 α 分位数表	447
附表 1.3 t 分布分位数 $t_{1-\alpha}(n)$ 表	448
附表 1.4 χ^2 分布分位数 $\chi^2_{1-\alpha}(n)$ 表	450

目 录

附表 1.5	F 分布分位数 $F_{1-\alpha}(n_1, n_2)$ 表	451
附表 2	抽样检验用表	459
附表 2.1	计数标准型一次抽样方案表	459
附表 2.2	正常检验一次抽样方案	463
附表 2.3	加严检验一次抽样方案	464
附表 2.4	放宽检验一次抽样方案	465
附表 2.5	单侧限“ σ ”法的样本量与接收常数	466
附表 2.6	单侧限“ s ”法的样本量与接收常数	467
附表 2.7	双侧限“ σ ”法的样本量与接收常数	468
附表 2.8	双侧限“ s ”法的样本量与接收常数	469
附表 3	计量控制图计算控制线的系数表	470
附表 4	t 化极差统计量的分位数 $q_{1-\alpha}(r, f)$ 表	471
附表 5	正交试验设计用表	474
附表 5.1	正交表	474
附表 5.2	Lenth 检验的临界值表	481
附表 6	可靠性用表	483
附表 6.1	$\Gamma\left(1+\frac{1}{m}\right)$ 数值表	483
附表 6.2	最佳线性无偏估计系数表(威布尔分布)	485
附表 6.3	最佳线性无偏估计方差表(威布尔分布)	491
附表 6.4	简单线性无偏估计表(威布尔分布)	492
参考答案		497
参考文献		501

第一章

质量数据的描述

§ 1.1 质量数据及其分布

1.1.1 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。一般说来,过程是将人、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。

譬如加工一根机械轴就是一个过程,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)。

过程的输出是产品(或半成品),产品的质量是通过其质量特性显露出来的,因此把产品的质量特性看作过程的输出更便于研究。质量特性是随机变量,若对一些产品的某个质量特性(记为 X) 进行测量或观察就可得到一系列测量值或观察值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 它们也称为数据,这些数据含有产品质量特性的信息。如果在过程中和过程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 1.1.1)。

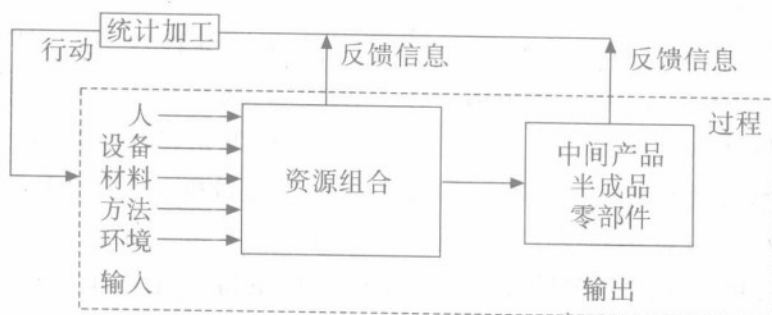


图 1.1.1 过程+反馈系统=过程控制系统

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。

1.1.2 质量特性的分布

一、两类数据

在质量管理中遇到的数据可分为两类:连续的与离散的。

1. 连续数据(又称计量数据):若质量特性的取值可以是某个区间内任一个值,且可通过某种量具或仪表测定的数据称为连续数据,这样的质量特性可以用连续随机变量描述。只是因为我们所取的刻度单位的局限,才使数据呈间隔状态。譬如在测量厚度时:

- 用直尺我们只能得到测量精度为 0.1 厘米的厚度;
- 用游标卡尺可以得到测量精度为 0.05 厘米的同样厚度;
- 用千分尺可以得到测量精度为 0.005 厘米的同样厚度;
- 用坐标测量设备可以得到测量精度为 0.000001 厘米的同样厚度。

类似地,测量长度、重量、时间等也会发生类似情况。

2. 离散数据(又称计数数据或属性数据):若质量特性的取值只能是有限个或可数个孤立值之一,且可通过计数方法获得的数据称为离散数据,它常用非负整数 0,1,2,……表示。譬如 100 个产品中的不合格品数,一个铸件上的砂眼数等。这样的质量特性可用离散随机变量描述。

人们认识质量特性要从如下两个方面进行:

- (1) 质量特性(随机变量)可取哪些值,或在哪一个区间上取值。
- (2) 质量特性取这些值(或在某个区间取值)的概率各是多少。

综合上述两点就构成质量特性(随机变量)的概率分布。由于质量特性的取值可以分为两类,因此其概率分布亦有两类,一类是连续分布,另一类是离散分布。下面分别叙述。

二、连续分布用概率密度函数表示

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机械轴的直径 x ,并不断地把测量值放在 x 轴上,差异便会显示出来(见图 1.1.2 第一行)。

当测量值 x 增多时就形成一定的图形,为了使图形逐渐稳定下来,把纵轴上的频数改为频率。由于频率的稳定性,随着测量值 x 的不断增加,该频率直方图就稳定下来了,其外形显现出一条光滑曲线(见图 1.1.2 第二行)。这条曲线就是概率密度曲线,相应的函数表达式 $p(x)$ 称为概率密度函数,它表示连续质量特性(即连续随机变量)取值的统计规律性。

概率密度函数 $p(x)$ 有多种形式,有的位置不同,有的散布不同,有的形状不同(见图 1.1.2 第三行)。这些不同的分布形式反映了不同的质量特性在总体上的差别,这种差别正是管理层应特别关注之处。一般说来,只要 $p(x)$ 非负,且与 x 轴所夹面积为 1,都可称 $p(x)$ 为概率密度函数。

有了概率密度函数 $p(x)$ 后,可以从中提取很多有用信息。

- 计算均值(数学期望),它表明分布的中心位置: