

JINSHU
JILIANG
FENXI
SHILI

金属计量 分析实例

堵百城 编著



化学工业出版社

JINSHU
JILIANG
FENXI
SHILI

金属计量 分析实例

堵百城 编著



化学工业出版社

·北京·

本书详细介绍了统计参数和正态分布的拟合检验,金属理化性能和力学性能方程,热处理反应炉气平衡常数和控制方程以及疲劳、持久、蠕变等 52 例金属计量分析实例,将作图法提升为解析法,将金属和合金性能与参数之间的关系用确切的数量和方程表示,为概率设计和可靠性设计提供方便,为计算机模拟和仿真创造条件。

本书适宜从事金属计量分析的工程技术人员以及高校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属计量分析实例/堵百城编著. —北京: 化学工业出版社, 2011.1
ISBN 978-7-122-09716-3

I. 金… II. 堵… III. ①金属-物理性能-计量-金属分析
②金属-化学性能-计量-金属分析 ③金属-力学性质-计量-金属分析 IV. TG113.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 203617 号

责任编辑: 邢 涛

装帧设计: 周 遥

责任校对: 陶燕华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

710mm×1000mm 1/16 印张 12½ 字数 233 千字 2011 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

金属计量分析是金属材料学和统计学的交叉学科。金属和合金的性能与参数之间的关系，除很小部分是确定性函数关系外，大部分是具有随机性的统计关系，金属计量分析是通过统计分析使零散的实验结果上升为定量的关系，这有助于创新。

本书的主旨是促进金属计量分析的发展，把作图法提升为解析法，使金属和合金性能与参数之间的关系用确切的数量或方程表示，为概率设计和可靠性设计提供方便，为计算机模拟和仿真创造条件。

本书介绍了统计参数和正态分布的拟合检验，金属理化性能和力学性能方程，热处理炉气反应平衡常数和控制方程以及疲劳、持久和蠕变等 52 例实例的散点图、回归方程、回归曲线、相对误差、残差正态拟合性、区间估计以及预测举例等。本书数据真实详细，在生产和科学实验中具有实用性；计算步骤和结果都做了详细展示。

本书的亮点是大量运用了带小数字的多元非线性回归分析和一套规范的回归分析算法模型；回归方程与样本的拟合程度大部分采用工程惯用的相对误差，部分替代了统计学的显著性检验；对疲劳强度方程，临界温度 A_{C_3} 方程，多元回归法持久强度方程和蠕变极限方程等也做了深入的探讨和研究。

本书数据计算的数学软件是 Mathematica6.0。

由于编者水平有限，书中不足之处，恳请读者指正。

堵百城于江苏无锡

2010 年 9 月

目 录

1 概述	1
1.1 金属计量分析概念	1
1.2 金属计量分析的内容与方法	3
1.3 金属计量分析的应用	8
2 统计参数和正态分布的拟合检验	9
2.1 60Si2Mn 钢疲劳寿命的平均值, 标准差和 A, B 基值	9
2.2 1Cr12Ni2WMoVNB (GX-8) 钢冲击韧度的 A, B 基值和不合格率	11
2.3 42CrMo 钢屈服强度的平均值, 标准差, A, B 基值和合格率	12
2.4 2Cr12NiMoWV (C-422) 钢抗拉强度的平均值, 标准差和 A, B 基值	13
2.5 30CrMnSiNi2 钢抗拉强度的平均值, 标准差和不合格率	15
2.6 χ^2 法检验 45 钢硬度分布的正态性	16
2.7 KS 法检验 40Cr 钢疲劳寿命分布的正态性	19
2.8 正态拟合法检验 45 钢疲劳寿命分布的正态性	20
2.9 正态拟合法检验 45 钢疲劳寿命分布的对数正态性	22
3 金属的物理化学性能方程	25
3.1 30CrMnSi 钢的热导率方程	27
3.2 1Cr11Ni2W2MoV 钢的比热容方程	31
3.3 5Cr21Mn9Ni4N (21-4N) 钢的线胀系数方程	34
3.4 45CrNiMo1VA 钢的电阻率方程	37
3.5 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢的磁导率方程	40
3.6 0Cr17Ni4Cu4Nb 钢的衰减率方程	43
3.7 临界温度 A_c 方程	46
3.8 12Cr1MoVg 钢的氧化失重方程	56
3.9 12Cr2MoWVTiB 钢的氧化增重方程	59
3.10 2Mn18Al5SiMoTi 钢的氧化增重速率方程	62
4 力学性能方程	66
4.1 45CrNiMo1VA 钢的弹性模量方程	66

4.2	45CrNiMo1VA 钢的切变模量方程	69
4.3	0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢的低温冲击韧度方程	71
4.4	0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢带的抗拉强度与冷轧变形率方程	75
4.5	T8 钢回火硬度方程	78
4.6	0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢的时效温度与硬度方程	81
4.7	15CrMog 钢长期时效后的抗拉强度方程	84
5	高温力学性能方程	87
5.1	30CrMoA 钢的高温强度方程	87
5.2	15CrMog 钢的高温屈服强度方程	90
5.3	GH2132 合金的持久强度与温度方程	93
5.4	K405 镍基铸造高温合金的持久强度与温度方程	96
5.5	12Cr2MoVg 钢管持久强度的推荐值方程	98
5.6	2Cr12NiMoWV 钢的松弛剩余应力方程	100
5.6.1	1 号试验	100
5.6.2	2 号试验	101
5.6.3	3 号试验	103
5.6.4	4 号试验	104
5.6.5	5 号试验	106
5.7	2Cr12NiMoWV 钢的松弛剩余应力多元回归方程	109
6	炉气反应平衡常数方程和硬度与强度换算关系和控制方程	113
6.1	$\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2}}$ 平衡常数方程	113
6.2	$\frac{P_{CO_2}}{P_{CO}}$ 平衡常数方程	117
6.3	$\frac{P_{H_2} \cdot P_{CO_2}}{P_{H_2O} \cdot P_{CO}}$ 平衡常数方程	120
6.4	水汽露点方程	124
6.5	氨分解率方程	129
6.6	碳钢硬度与强度换算公式	131
6.7	2A50 锻铝硬度与强度换算公式	135
6.8	铍青铜硬度与强度换算公式	143
7	疲劳强度方程	147
7.1	40Cr 钢的疲劳强度方程	147
7.2	40CrNiMoA 钢的疲劳强度方程	151

7.3	18Cr2Ni4WA 钢的疲劳强度方程	155
7.4	碳素钢零件尺寸对弯曲疲劳极限的影响方程	159
7.5	40Cr 钢零件表面粗糙度对疲劳极限的影响方程	162
7.6	GH2036 合金的高温低周疲劳方程	165
8	持久强度和蠕变极限方程	170
8.1	1Cr12Mo 钢直线法持久强度方程	170
8.1.1	1Cr12Mo 钢, 温度为 430℃ 时的持久强度方程	170
8.1.2	1Cr12Mo 钢, 温度为 470℃ 时的持久强度方程	171
8.1.3	1Cr12Mo 钢, 温度为 510℃ 时的持久强度方程	173
8.1.4	1Cr12Mo 钢, 温度为 550℃ 时的持久强度预测方程	174
8.1.5	1Cr12Mo 钢直线法的持久强度曲线	176
8.1.6	1Cr12Mo 钢直线法持久强度方程的相对误差	177
8.2	1Cr12Mo 钢 Larson-Miller 法持久强度方程	178
8.3	1Cr12Mo 钢多元回归法持久强度方程	181
8.4	1Cr12Mo 钢多元回归法、直线法和 Larson-Miller 法持久强度方程比较	184
8.5	12Cr1MoVg 钢多元回归法蠕变极限方程	187
	参考文献	191

1 概 述

1.1 金属计量分析概念

金属计量分析是由金属学、统计学和数学结合而成的交叉学科。金属计量分析是以金属学理论为指导，以统计数据为依据，以数学为方法，以计算机技术为手段的研究金属参数数量关系的学科。表格法反映的是非连续的离散数量关系；作图法用手工描绘，用目测读图误差大。表格法和作图法只能算初级阶段的计量分析法。回归方程是研究金属参数数量关系的高级阶段的计量分析。

(1) 金属计量分析的研究目的之一是定量描述和分析参数之间的关系

[例 1] 全面定量描述了 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢的磁导率与磁场强度的关系。

通过样本的计量分析构建的磁导率方程和曲线为

$$\hat{\mu} = 113.557 - \frac{2.32426 \times 10^9}{H^{2.3}} - 0.0000262825 H^{1.5}$$

μ 上加 “ $\hat{\cdot}$ ”，表示是估计算。

图 1-1 曲线是根据方程描绘的，方程是基础。由计算知，在 $H = 5236.2 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ 处有极大值，极大值为 $97.1 \times 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

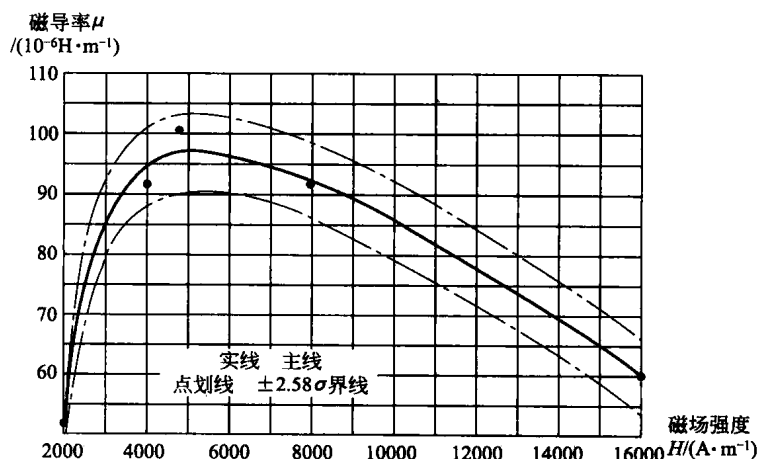


图 1-1 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢的磁导率与磁场强度的关系

低于 $H=5236.2\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ ，磁导率与磁场强度是正相关，高于 $H=5236.2\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ ，磁导率与磁场强度是负相关。

方程的相对误差 $\bar{\delta}=1.65\%$ ，残差的标准差 $\sigma=2.44$ ，若可靠度为 99%

$$\mu = \left[113.557 - \frac{2.32426 \times 10^9}{H^{2.3}} - 0.0000262825 H^{1.5} - 2.58\sigma \right]_{H=5236.2, \sigma=2.44}$$

$$= 90.8 \times 10^{-6} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\tilde{\mu} = \left[113.557 - \frac{2.32426 \times 10^9}{H^{2.3}} - 0.0000262825 H^{1.5} + 2.58\sigma \right]_{H=5236.2, \sigma=2.44}$$

$$= 103.4 \times 10^{-6} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$$

则磁导率极大值的范围为 $90.8 \times 10^{-6} \sim 103.4 \times 10^{-6} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

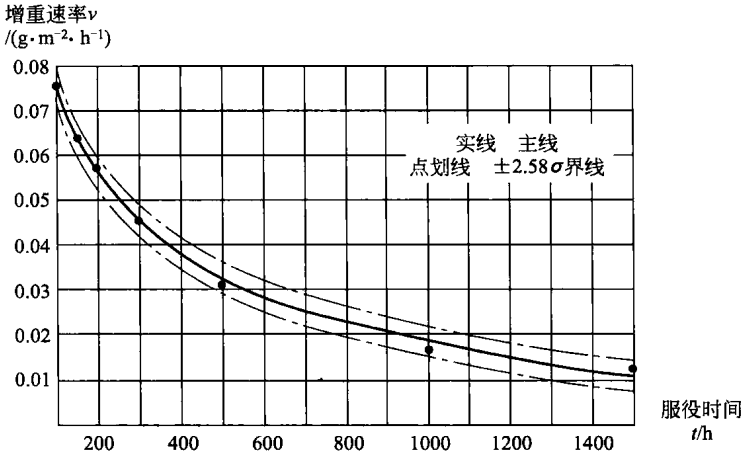
磁导率方程全面定量描述了磁导率与磁场强度的关系。

(2) 金属计量分析的研究目的之二是参数预测

[例 2] 预测 2Mn18Al15SiMoTi 钢 800℃服役 2000h 的氧化增重速率。

通过样本的计量分析构建 800℃的氧化增重速率方程与曲线为

$$\hat{v} = -0.0746219 + \frac{0.396996}{\tau^{0.21}}$$



由分析计算得残差标准差 $\sigma=0.0013265$

$$\tilde{v}_{2000} = \left[-0.0746219 + \frac{0.396996}{\tau^{0.21}} - 2.58\sigma \right]_{\tau=2000, \sigma=0.0013} \approx 0.00241$$

$$\tilde{v}_{2000} = \left[-0.0746219 + \frac{0.396996}{\tau^{0.21}} + 2.58\sigma \right]_{\tau=2000, \sigma=0.0013} \approx 0.00926$$

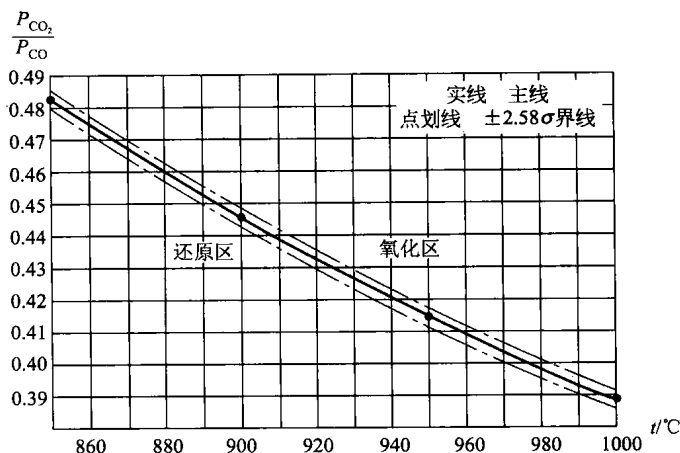
服役 2000h 的氧化增重速率区间估计为 $0.00241 \sim 0.00926 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(3) 金属计量分析的研究目的之三是参数控制

[例 3] 加热温度为 930℃，要保持还原性炉气，如何控制 $\frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}}$ ？

通过平衡常数样本的计量分析构建的 $\frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}}$ 方程与曲线为

$$\frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = 0.180752 + \frac{1.65127 \times 10^6}{t^{2.3}}$$



$$\left(\frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} \right)_{930} \leq \left[0.180752 + \frac{1.65127 \times 10^6}{t^{2.3}} \right]_{t=930} \approx 0.43$$

$$P_{\text{CO}_2} \leq 0.43 P_{\text{CO}}$$

即炉气中 CO_2 的分压应小于 CO 分压的 0.43 倍。

1.2 金属计量分析的内容与方法

(1) 计算特征值 统计分析中，常用平均值和标准差说明数据的集中性和分散性。

材料强度设计时，称合格率为 0.99 的参数为 A 基值，合格率为 0.9 的参数为 B 基值，标准规定指标值为 S 基值，合格率为 0.95 的参数为 95% 下侧值，不合格率为 0.95 的参数为 95% 上侧值。这些参数在文献和手册中经常见到。

(2) 正态性检验 金属计量分析的数据处理一般是假设样本数据服从正态分布的前提下进行的，若数据不服从正态分布就会产生差错。为了检验数据是否服从正态分布，本书介绍了皮尔逊 χ^2 法，KS 法和正态拟合法检验。

① χ^2 检验法 χ^2 法适用于样本容量大于 50 的样本。

χ^2 检验法是计算理论频数与实际频数之间的差异，将 χ^2 的观察值与临界值

$\chi^2_{\alpha}(k-2-1)$ 比较, 满足下列条件服从正态分布, 否则, 不服从正态分布。

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{实际频数} - \text{理论频数})^2}{\text{理论频数}} \leq \chi^2_{\alpha}(k-2-1)$$

式中 $\chi^2_{\alpha}(k-2-1)$ ——分布上侧分位数 (查 χ^2 分布上侧分位数表);

k ——样本分组数;

α ——显著性水平。

② KS 检验法 KS 检验法适用于正态分布的平均值和标准差已知的小样本的数据检验。

KS 检验法是将样本数据由小到大排列, 计算每个数据对应的正态分布函数值, 并与经验分布函数值比较, 差的最大值就是检验统计量的观察值 D_n , 观察值小于临界值 $D_{n,\alpha}$ 表示样本服从正态分布, 否则不服从正态分布。

$$i = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$F_i = \int_{-\infty}^{t_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt = \Phi\left(\frac{t_i - \mu}{\sigma}\right)$$

式中 i ——样本序号;

n ——样本容量;

t_i ——第 i 个样本值;

μ ——样本平均值;

σ ——样本标准差。

$$D_n = \max\{\delta_i\}$$

$$\text{其中 } \delta_i = \max\left[\left|F_i - \frac{i-1}{n}\right|, \left|\frac{i}{n} - F_i\right|\right]$$

$D_{n,\alpha}$ 是临界值, $\alpha=0.05$ 时

$$D_{n,0.05} = \frac{1.358}{\sqrt{n}\left(1 - \frac{0.12}{\sqrt{n}} + \frac{0.11}{n}\right)}$$

该临界值公式是参照杨振海, 张忠占主编的《应用数理统计》第 133 页的调整公式和临界值表演算而得, $D_{n,0.05}$ 的计算结果与《中国材料工程大典》第 1 卷第 847 页表格的差为 6.26%。

③ 正态拟合检验法 正态拟合检验法适用于需要估计分布参数的小样本数据。

正态拟合检验法是将样本数据由小到大排列, 计算样本的平均值和标准差; 计算每个数据对应的正态分布函数值; 与经验分布函数值比较; 差的最大值就是检验统计量的观察值 D_n , 观察值小于临界值 $D_{n,\alpha}$ 表示样本服从正态分布, 否则不服从正态分布。

$$i = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum t_i$$

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

$$F_i = \int_{-\infty}^{t_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2s^2}} dt = \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right)$$

式中 i ——样本序号；

n ——样本容量；

t_i ——第 i 个样本值；

$\bar{t}$ ——样本平均值；

s ——样本标准差。

$$D_n = \max\{\delta_i\}$$

$$\text{其中 } \delta_i = \max\left[\left|F_i - \frac{i-1}{n}\right|, \left|\frac{i}{n} - F_i\right|\right]$$

$D_{n,\alpha}$ 是临界值, $\alpha=0.05$ 时

$$D_{n,0.05} = \frac{0.895}{\sqrt{n}\left(1 - \frac{0.01}{\sqrt{n}} + \frac{0.85}{n}\right)}$$

该临界值公式是参照杨振海, 张忠占主编的《应用数理统计》第 138~139 页的临界值表和调整公式演算而得。该公式的计算结果与《中国材料工程大典》第 1 卷第 847 页表格的差为 5.06%。

(3) 回归分析法 金属的性能之间, 性能与参数之间, 除很小部分是确定性函数关系外, 大部是具有随机性的统计关系。研究统计关系就需借助回归分析, 回归分析是金属计量分析的基本方法。

回归分析的一般步骤是:

- ① 数据列表;
- ② 绘制散点图;
- ③ 建立假设方程;
- ④ 用最小二乘估计系数;
- ⑤ 检验方程和系数的显著性以及回归拟合程度。

自变量与应变量个数要相等, 列表时自变量与应变量要一一对应。

假设方程是按照散点图的趋势, 试算得到的。本书多处使用了带小数幂的非线性回归, 减少了假设方程的项数。

回归方程构建后还需进行统计检验, 即对回归方程显著性的 F 检验、对回归系数显著性的 t 检验和回归拟合程度的拟合优度检验。

本书对统计检验进行简化、优化和量化, 用工程惯用的相对误差部分替代了

统计检验。

相对误差是由随机误差引起的，一般来说随机误差的来源是：

- ① 自变量以外的因素造成的误差；
- ② 假设方程欠妥造成的误差；
- ③ 人的随机行为造成的误差；
- ④ 仪器设备造成的误差等。

最小二乘估计系数的算法模型简介如下

① 一元回归方程 设样本为 $\{(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n\}$ ，一元回归假设方程 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x^a$ ，系数 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ 的最小二乘估计的算法如下。

$$\overline{x^a} = \frac{1}{n} \sum x_i^a$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$$

$$L_{11} = \sum (x_i^a - \overline{x^a})^2$$

$$L_{1y} = \sum (x_i^a - \overline{x^a})(y_i - \bar{y})$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{L_{1y}}{L_{11}}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \overline{x^a}$$

② 二元回归方程 设样本为 $\{(x_{1i}, x_{2i}, y_i), i=1, 2, \dots, n\}$ ，二元回归假设方程为 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1^a + \hat{\beta}_2 x_2^b$ ，系数 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ 的最小二乘估计的算法如下。

$$\overline{x_1^a} = \frac{1}{n} \sum x_{1i}^a$$

$$\overline{x_2^b} = \frac{1}{n} \sum x_{2i}^b$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$$

$$L_{11} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})^2$$

$$L_{12} = L_{21} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})(x_{2i}^b - \overline{x_2^b})$$

$$L_{22} = \sum (x_{2i}^b - \overline{x_2^b})^2$$

$$L_{1y} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})(y_i - \bar{y})$$

$$L_{2y} = \sum (x_{2i}^b - \overline{x_2^b})(y_i - \bar{y})$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\begin{vmatrix} L_{1y} & L_{12} \\ L_{2y} & L_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{vmatrix}}$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{1y} \\ L_{21} & L_{2y} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{vmatrix}}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - (\hat{\beta}_1 \bar{x^a} + \hat{\beta}_2 \bar{x^b})$$

③ 三元回归方程 设样本为 $\{(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, y_i), i=1, 2, \dots, n\}$, 三元回归假设方程为 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1^a + \hat{\beta}_2 x_2^b + \hat{\beta}_3 x_3^c$, 系数 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$ 的最小二乘估计的算法如下。

$$\overline{x_1^a} = \frac{1}{n} \sum x_{1i}^a$$

$$\overline{x_2^b} = \frac{1}{n} \sum x_{2i}^b$$

$$\overline{x_3^c} = \frac{1}{n} \sum x_{3i}^c$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$$

$$L_{11} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})^2$$

$$L_{12} = L_{21} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})(x_{2i}^b - \overline{x_2^b})$$

$$L_{13} = L_{31} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})(x_{3i}^c - \overline{x_3^c})$$

$$L_{22} = \sum (x_{2i}^b - \overline{x_2^b})^2$$

$$L_{23} = L_{32} = \sum (x_{2i}^b - \overline{x_2^b})(x_{3i}^c - \overline{x_3^c})$$

$$L_{33} = \sum (x_{3i}^c - \overline{x_3^c})^2$$

$$L_{1y} = \sum (x_{1i}^a - \overline{x_1^a})(y_i - \bar{y})$$

$$L_{2y} = \sum (x_{2i}^b - \overline{x_2^b})(y_i - \bar{y})$$

$$L_{3y} = \sum (x_{3i}^c - \overline{x_3^c})(y_i - \bar{y})$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\begin{vmatrix} L_{1y} & L_{12} & L_{13} \\ L_{2y} & L_{22} & L_{23} \\ L_{3y} & L_{32} & L_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{vmatrix}}$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{1y} & L_{13} \\ L_{21} & L_{2y} & L_{23} \\ L_{31} & L_{3y} & L_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{vmatrix}}$$

$$\hat{\beta}_3 = \frac{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{1y} \\ L_{21} & L_{22} & L_{2y} \\ L_{31} & L_{32} & L_{3y} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{vmatrix}}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - (\hat{\beta}_1 \overline{x_1^a} + \hat{\beta}_2 \overline{x_2^b} + \hat{\beta}_3 \overline{x_3^c})$$

至于四元及四元以上的回归方程的算法步骤与以上类似。

1.3 金属计量分析的应用

金属计量分析的应用十分广泛，第2~8章列举了52个应用实例。供读者参考，内容涵盖样本数据的特征值计算以及样本数据的正态性检验，金属理化性能、化学性能、力学性能的数量关系分析；热处理炉气反应平衡常数的数量关系和硬度、强度的换算；疲劳强度与寿命关系；持久强度和蠕变极限与温度和时间的关系等。

2 统计参数和正态分布的拟合检验

本章介绍统计学参数平均值和标准差，金属性能统计参数 S 基值， A 基值， B 基值，95%上侧值，95%下侧值等常用参数的计算。图 2-1 是常用参数在正态概率密度曲线上的示意。

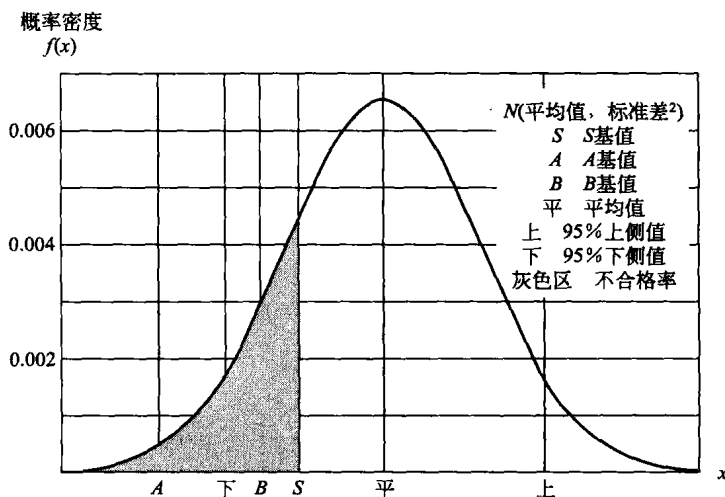


图 2-1 正态概率密度曲线

本章还介绍了 χ^2 法，KS 法和正态拟合法等方法检验数据的正态性： χ^2 法适用于大样本数据；KS 法适用于参数已知的小样本数据；正态拟合法适用于参数未知的小样本。

拟合优度检验表明，45 钢的疲劳寿命不仅服从对数正态分布，而且服从正态分布。

2.1 60Si2Mn 钢疲劳寿命的平均值，标准差和 A ， B 基值

已知 60Si2Mn 钢疲劳寿命为 {59.1, 61.7, 61.7, 62.8, 70.5, 86.9} kc (千周)，求平均值，标准差和 A ， B 基值。(数据摘自《工程材料实用手册》第 1 卷第 466 页)

这是弯曲疲劳试验成组试验应力水平为 686MPa 时的疲劳寿命；理论应力集中系数 $K_t=1$ ，应力比 $R=-1$ 。热处理状态 870℃油淬+460℃回火。

• 正态性拟合检验

x_i 按升序排列

$$x_i = \{59.1, 61.7, 61.7, 62.8, 70.5, 86.9\}$$

$$n=6$$

$$x_i \text{ 的平均值 } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 67.1167$$

$$x_i \text{ 的标准差 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 10.4346$$

x_i 的正态分布函数值

$$\begin{aligned} F_i &= \int_{-\infty}^{x_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = \Phi\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right) \\ &= \{0.221162, 0.301844, 0.301844, 0.339552, \\ &\quad 0.627122, 0.971015\} \end{aligned}$$

$\Phi\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right)$ 为 $\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ 的标准正态分布函数值。

x_i 的序号

$$i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

统计量的观察值

$$D_n = \max \left[\left| F_i - \frac{i-1}{n} \right|, \left| \frac{i}{n} - F_i \right| \right] = 0.327115$$

显著性水平 $\alpha=0.01$ 时, 统计量的临界值

$$D_{6,0.01} = \left[\frac{1.035}{\sqrt{n} \left(1 - \frac{0.01}{\sqrt{n}} + \frac{0.85}{n} \right)} \right]_{n=6} = 0.371434$$

$$D_n = 0.327115 < D_{6,0.01} = 0.371434$$

60Si2Mn 钢疲劳寿命 x_i 服从正态分布。 ,

- A 基值 (概率为 0.99 的下侧值)

查标准正态分布函数值表, 概率为 0.99 的分位数为 2.33。

$$\Phi\left(\frac{A-67.1}{10.4}\right) = 1-0.99 = 1-\Phi(2.33) = \Phi(-2.33)$$

$$\frac{A-67.1}{10.4} = -2.33$$

$$A \approx 42.9(\text{kc})$$

- B 基值 (概率为 0.90 的下侧值)

查标准正态分布函数值表, 概率为 0.90 的分位数为 1.28。

$$\Phi\left(\frac{B-67.1}{10.4}\right) = 1-0.90 = 1-\Phi(1.28) = \Phi(-1.28)$$

$$\frac{B-67.1}{10.4} = -1.28$$

$$B \approx 53.8(\text{kc})$$