MATLAB

YUXUANMEI / XUANKUANG SHUJU CHULI

与选煤/选矿数据处理

李贤国　张明旭　李　新　编著

中国矿业大学出版社

MATLAB

与选煤/选矿数据处理

责任编辑 褚建萍
封面设计 肖新生

ISBN 7-81070-999-2

9 787810 709996 >

ISBN 7-81070-999-2 / TD·173 定价：18.00 元

内容摘要

本书以大量实例详细地介绍了MATLAB在选煤/选矿数据处理与科技计算中的应用。其中，结合矿物加工实践重点介绍了二维及三维图形、数理统计、数值计算和最优化方法等，理论联系实际，重在实用。

本书可供选煤/选矿专业的科研、设计、生产管理和教学等方面的工程技术人员和大专院校师生阅读和使用，也可供其他专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB与选煤/选矿数据处理/李贤国，张明旭，李新编著．—徐州：中国矿业大学出版社，2005.3

ISBN 7-81070-999-2

Ⅰ.M…　Ⅱ.①李…②张…③李…　Ⅲ.①选煤—计算机辅助计算—软件包，MATLAB②选矿—计算机辅助计算—软件包，MATLAB　Ⅳ.TD9-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第030625号

书　　名　MATLAB与选煤/选矿数据处理

编　　著　李贤国　张明旭　李　新

责任编辑　褚建萍

责任校对　杜锦芝

出版发行　中国矿业大学出版社

（江苏省徐州市中国矿业大学内　邮编221008）

网　　址　http://www.cumtp.com　**E-mail**:cumtpvip@cumtp.com

排　　版　中国矿业大学出版社排版中心

印　　刷　江苏徐州新华印刷厂

经　　销　新华书店

开　　本　850×1168　1/32　**印张**8　**字数**210千字

版次印次　2005年3月第1版　2005年3月第1次印刷

定　　价　18.00元

序

MATLAB是美国20世纪80年代中期推向市场的科学技术计算软件，目前美国许多大学将其作为研究生选修或者必修课程。大约90年代中期，我国一些大学开始有论著介绍MATLAB及其在各科学技术领域的应用。鉴于其功能强大、应用广泛和易学易用的特点，目前已有不少MATLAB文献面世。但系统的研究和介绍MATLAB在矿物加工领域（含选矿和选煤）中的应用却很少。

选煤和选矿都属于矿物加工过程，存在着大量科学计算和工程计算，以及数据处理等问题。本书根据作者的研究心得，通过大量实例详细介绍了MATLAB在选煤/选矿数据处理与科学计算中的应用。理论联系实际，布局严谨，应用面宽，实用性强，文字通俗易懂，可供从事矿物加工的工程技术人员和大专院校师生阅读使用。相信读者必将从中获得有益的信息和帮助。

承蒙作者美意盛情，特撰数言为序。

中国工程院院士 陈清如

前　言

选煤和选矿科学技术领域存在着大量的数据处理和科技计算问题。但目前还缺乏能广泛适用于这方面的专用计算软件。而MATLAB的强大功能可以解决这一领域的几乎所有的常用数据处理和科技计算问题。

MATLAB是当前现代科学计算与工程计算的一种最优秀的计算语言。它集科技计算与图形于一身，涵盖了高等数学、矩阵原理、数值计算、数理统计、最优化方法、神经网络、控制理论，以及数学建模、系统仿真等许多经典数学和现代数学问题。同时，它还有大量专用工具箱和几百个内置函数供选用。MATLAB不仅内容丰富，功能强大，而且易学、易用、易于上手，使用起来十分方便。

本书旨在利用MATLAB的强大功能，使纷繁复杂的选煤/选矿数据处理和科技计算能最简便快捷、准确无误地完成，以利于对计算结果正确的解释和分析。书中结合选煤和选矿专业介绍了误差、MATLAB基础、二维及三维图形以及MATLAB在选煤/选矿统计分析、数值计算和最优化方法中的应用，并简要地介绍了程序设计。同时，还列举了大量例题和详尽的计算过程，以实例说明MATLAB各种函数和命令在该领域的使用方法，使读者一目了然。

全书文字简明、通俗易懂，理论联系实际，重在实用，

解除了大量枯燥乏味而又要相当技巧的复杂编程。为便于理解，有的内容稍作理论介绍，有兴趣的读者可以查阅书末参考文献。

书中所有实例均已上机通过。

本书撰写人员为：张明旭（第1章），李贤国（第2章，第5章），李新（第3章，第4章）。全书由李贤国统稿和整理。

限于作者水平，书中错误之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

作者于安徽理工大学

2005年3月1日

目　录

1 误　差

1.1 数据表达与误差

1.1.1 有效数字

能代表一定物理量的数字称为有效数字。或者说，一个数值去掉前面的零余下的全部数字称为有效数字。一般来讲，如果某近似数其绝对误差是最末位数 0.5 个单位，则其左起第一个非零的数字称为第一位有效数字。从非零数字最左一位向右数而得到的位数称为有效位数。例如 $\pi=3.142$，共有四位有效数字，第一位有效数字是 3；0.005 有一位有效数字，是 5。

小数点位置不影响测量数据有效数字的位数。例如，0.34 kg 和 34 g，都有两位有效数字，第一位有效数字都是 3。

数值左右边不是有意义的“0”应略去，最后一位有效数字与其测量精度应在同一量级，一般写成 $a\times10^n$。例如，0.000123 应写成 1.23×10^{-4}。而 123000，当测量精度为千分之一时，应写成 123×10^3，此时最后一位“3”为可疑数字；若测量精度为百万分之一时，则 123000 都是有效数字，仅最后一个“0”为可疑数字。有效数字的个数往往取决于测量装置的最小刻度。

1.1.2 舍入规则

数值的有效位数确定后，其后面多余的数字应当舍去，保留的有效数字最末一位数字应按下列舍入规则确定。

若舍去部分的数值大于保留部分末位的 0.5 个单位，则末位加 1，小于保留部分末位的 0.5 个单位时不变。例如，3.14159，若保留四位有效数字得 3.142；若保留三位有效数字，则为 3.14。

若舍去部分的数值等于保留部分末位的 0.5 个单位，则末位凑成偶数(尾留双)。即当末位为偶数时末位不变，末位为奇数时末位加 1。例如，当保留四位有效数字时，6.23050 为 6.230；4.34750 为 4.348；7.834501 为 7.834。

整数修约也应按上述规则处理. 例如 123 45，若取三位有效数字，则为 123×10^2。

在大量运算时，舍入误差一般不超过保留数字最末位的 0.5 个单位，其舍入误差的均值趋于 0，避免了一般“四舍五入”舍入误差累积而产生的系统误差。

1.1.3 数据运算规则

计算时所有参与计算的数据，一般是“先舍入，后计算”，在有效数字后可多保留一位作为参考数字。有效数字的有效位数越少，其相对误差越大。

加减法计算时，要防止两个相近的数相减。应以小数点后有效数字位数最少的数据位数为准，最后结果应与小数位数最少的数据小数位数相同。例如，计算 1.23+45.678+0.1234，修约后最后结果为

$$1.23+45.68+0.12=47.03$$

乘除法计算时，应以有效位数最少的数据为准，最后结果应与有效位数最少的数据位数相同。例如，

$$6\times32.47=194.8 \qquad (\text{其中,6 为倍数})$$

$$125\ 6\times12.2=1.53\times10^4$$

乘方计算时，按乘法规则处理。开方计算时，其结果应与原有效数字的有效位数相同。对数运算时，按真数有效数字的位数 n 或

$n+1$ 位选择对数，对数的位数应与真数有效数字的位数相同。三角函数计算时，函数值的位数应随角度误差的减小而增多。

计算过程的中间值一般可多取 1 位或 2 位数字，最终结果仍按上述要求确定。

要特别注意减少计算次数，防止大数吃掉小数，控制误差传播。

1.1.4 误差

各种实践中表达量的数值往往只是与其真值接近的值，称为近似值。近似值与其真值之差称为误差。

误差的来源主要有描述误差和观测误差。

描述误差是指用数学方法表述客观现象所产生的误差，是由于表述本身的不完善造成的。如在计算时用有限步骤代替更多步骤，或者用有限项代替更多项产生的截断误差；用较少位数代替较多位数或者用有穷位小数代替无穷位小数产生的舍入误差。观测误差是指观测过程中产生的误差。

衡量观测精度常用绝对误差和相对误差。

绝对误差。若 x^* 表示真值（精确值），x 表示近似值，则 x 的绝对误差 e 为

$$e=|x^*-x|$$

相对误差。设相对误差为 e_r，则近似值 x 的相对误差 e_r 为

$$e_r=\frac{|x^*-x|}{|x|}=\frac{e}{|x|}$$

为了便于分析研究和处理误差，可将误差分为随机误差、系统误差和粗大误差（可能造成异常观测值）。这些误差的性质可在一定条件下互相转化。

1.2 随机误差

在相同测量条件下多次测量同一量值时，绝对值和符号以不可预期方式变化的误差称为随机误差。

研究表明，随机误差具有统计规律，且大多服从正态分布，因此，正态分布理论是研究随机误差的基础。

1.2.1 平均值与残差

设 $x_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为 n 次测量的观测值，其算术平均值 $\overline{x}$ 为

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

设被测量的真值为 x^*，测量列的随机误差为 δ_i，则

$$\delta_i=x_i-x^*$$

因真值 x^* 未知，现用 $\overline{x}$ 代替 x^*，则观测值 x_i 与算术平均值之差称为残余误差（残差），记为 Δ_i，于是

$$\Delta_i=x_i-\overline{x}$$

理论上，无舍入误差时，

$$\sum_{i=1}^{n}\Delta_i=0$$

有舍入误差 λ 时，

$$\sum_{i=1}^{n}\Delta_i=-n\lambda$$

1.2.2 标准差

1.2.2.1 标准差

由于随机误差的存在，观测到的一系列测量值一般各不相同，

围绕平均值有一定的分散。现用标准差 σ 来衡量随机误差的分散情况，并表明随机误差的概率分布。

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

此式称为贝塞尔(Bessel)公式。

评价观测值分散性的参数还有或然误差 ε 和算术平均误差 θ。或然误差 ε 表示测量值的误差出现在 $-\varepsilon$ 至 $+\varepsilon$ 区间内外的概率各占其一半。

$$\varepsilon\approx\frac{2}{3}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=\frac{2}{3}\sigma$$

算术平均误差 θ 则是全部测量列随机误差绝对值的平均值。

$$\theta\approx\frac{4}{5}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=\frac{4}{5}\sigma$$

在相同条件下对某一对象进行多组重复测量时，各组测值的平均值的分散波动可用其算术平均值的标准差 $\sigma_{\bar{x}}$ 来衡量。

$$\sigma_{\bar{x}}=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

即算术平均值的标准差为标准差 σ 的 $1/\sqrt{n}$。

1.2.2.2　标准差的其他算法

(1) 极差法

测量列 $x_i(i=1,2,\cdots,n)$ 中最大测值 $x_{\max}$ 与最小测值 $x_{\min}$ 之差称为极差，记为 R。

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

若测量列服从正态分布，根据极差的分布函数可得 σ 的无偏