

MATLAB

MATLAB 5.X

王沫然 编著
肖劲松 审校

与科学计算



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

MATLAB 5.x 与科学计算

王沫然 编著
肖劲松 审校

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书从高校数学课程的学习出发,并结合科研和工程计算的实际,系统详细地介绍了 MATLAB 5.x 在科学计算方面的主要功能及其应用。本书按内容分为 3 部分:首先初步介绍 MATLAB 的概况及其安装和使用前的准备工作;然后系统介绍了 MATLAB 的 3 大功能(数值计算功能、符号运算功能和图形可视化功能)及程序设计;最后详细讲解了 MATLAB 在计算方法、复变函数、概率统计、优化处理及偏微分方程等问题中的应用。

本书可作为 MATLAB 教学用书或高等数学、线性代数、计算方法、复变函数、概率统计、数学规划及偏微分方程等课程的教学辅导书,也可作为科研人员及工程计算人员学习和使用 MATLAB 的参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: MATLAB 5.x 与科学计算

作 者: 王沫然 编著

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京市昌平环球印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 字数: 438 千字

版 次: 2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-01138-9/TP·418

印 数: 0001 ~ 6000

定 价: 26.50 元

前 言

1. 编写目的

自 MATLAB 4.0 问世以来, MATLAB 语言就成为最具吸引力、应用最为广泛的数值科学计算语言。1997 年, MathWorks 公司又推出了更强大的升级版本 MATLAB 5.x, 使其在高等数值计算及符号计算功能上进一步完善。如今, MATLAB 已成为集数值计算功能、符号计算功能和计算可视化为一体的最为强大的科学计算语言。可以说, MATLAB 语言是真正的 21 世纪的科学计算语言。除此之外, 新版本的 MATLAB 还增强了各种应用工具箱, 使 MATLAB 的应用面越来越广, 功能越来越强大。

如今, 在国外, MATLAB 不仅大量走入企业、各大公司和科研机构, 而且在高等院校中也成为大学生们必不可少的计算工具, 成为从本科生到博士生都必须掌握的基本技能。

在我国各大高等院校中, 也有越来越多的人关注和使用 MATLAB, 许多专业已把 MATLAB 作为其基本工具。随着 MATLAB 使用的日益广泛, 有关 MATLAB 操作、编程等方面的书籍也应运而生。但纵观国内外此类出版物, 还远不能满足广大读者的要求, 主要原因有二:

- 目前有关 MATLAB 的出版物一般介绍的版本较低, 大多数还停留在 MATLAB 4.x 的基础上。
- 一部分出版物是基于 MATLAB 在某些专业内部的应用而编写的(主要如系统控制等), 因此很难对 MATLAB 语言强大的科学计算功能给予全面介绍。

针对这种情况, 本书旨在通过全面地介绍 MATLAB 的主功能——科学计算和可视化功能及其在计算方法、复变函数、概率统计、优化处理和偏微分方程等问题中的应用, 使 MATLAB 真正成为不同专业的学生及科研人员、工程技术人员所普遍适用的科学计算工具。

2. 内容框架

本书是基于 MATLAB 5.2 版本编写的, 全面系统地介绍了它的数值计算功能、符号计算功能和计算可视化功能, 让读者对 MATLAB 的强大功能有一个基本了解, 并且深入科学计算内部, 较为详尽地讲述了 MATLAB 在计算方法、复变函数、概率统计、优化处理和偏微分方程等问题中的应用。

全书按内容分为 3 部分 11 章。

第 1 部分“和 MATLAB 握握手”主要让读者对 MATLAB 有个初步的感性认识, 并且做一些使用前的准备工作。第 1 章“绪论”使读者可以了解到 MATLAB 的地位、影响、主要特点、历史及网上资源等。第 2 章“安装及使用前的准备”主要让读者了解系统要求和选择安装的要领, 掌握窗口菜单功能及获取帮助的方法。

第 2 部分“叹为观止的强大功能”向读者展示 MATLAB 的非凡魅力——强大的科学计算功能。其中第 3 章“数值计算功能”包括数字及其运算、向量及其运算、矩阵及其运算、数组及其运算、多项式及其运算等几部分内容。第 4 章“符号运算功能”向读者全面介绍 MATLAB 5.x 的增强符号计算功能,主要包括字符串运算、符号表达式和符号矩阵的建立及基本运算、符号微积分、符号代数方程求解、符号常微分方程求解;此外还推荐了一种使用方便的“图示化函数计算器”,并利用与 Maple 接口实现更为强大的符号处理功能。第 5 章“图形可视化功能”介绍计算可视化的基本功能及高级功能。第 6 章“程序设计”介绍 MATLAB 语言的开放性程序设计,读者可依其简单的规则编制属于自己的程序函数库。

第 3 部分“数学计算中的 MATLAB”立足于计算,总结了大学教学中的教学要求,尽可能多地向读者介绍 MATLAB 在计算方法、复变函数、概率统计、优化处理等问题中的应用。第 7 章“在计算方法中的应用”结合大学的计算方法课程,详尽讲解了 MATLAB 在插值与拟合、微积分、线性方程组解法、非线性方程组解法、特征值问题、常微分方程解法等方面的应用,且给出了众多实例和例程。第 8 章“在复变函数中的应用”着重介绍了利用 MATLAB 内部功能函数来解决复数领域中的一些问题,如复数的基本运算、复矩阵的各种函数运算、留数的计算及解析函数的 Taylor 展开;另外还延伸介绍了一些可能用到的 Laplace 变换、Fourier 变换等重要运算。第 9 章“在概率统计中的应用”将为那些苦于实验数据处理统计的人打开方便之门,通过本章的介绍,读者将学会如何用 MATLAB 处理诸如数学期望、方差、协方差、相关系数、参数估计、置信区间计算、假设检验、方差分析及回归诊断等问题。第 10 章“在优化处理中的应用”将介绍一个热门和实用的问题——最优化问题。读者将学会以下问题的处理方法,如线性优化、二次优化、自由优化、强约束优化等,很有实际意义。第 11 章“在偏微分方程中的应用”将对传热、波动等问题的偏微分方程在 MATLAB 中的求解方法作一些介绍,使读者对这些基本问题可以很快地掌握其解决方法,为更深入的研究打下基础。

最后的附录中对 MATLAB 的主要函数命令提供了简要明确的解释,方便读者在学习和使用时快速查找,提高效率。

3. 特点

• 内容系统、全面

本书对 MATLAB 最新版本 5.x 版本的数学计算功能作了详尽的介绍,这在国内外出版物中还不多见。而且本书没有局限在对 MATLAB 指令的简单介绍,而是结合了不同层次的高校教学中的数学课程,做到有的放矢,适应面广。这也正是本书编写的初衷。

• 紧密结合理论、算法语言及 MATLAB 实现

介绍理论、算法并非本书的最终目的,然而在一些问题上只有把这三者紧密结合才能使读者对 MATLAB 有更全面、准确的认识。

• 算例多、实用性强

本书提供了众多的算例,特别是在第 3 部分,许多算例都是来自各大学教材及讲义的习题、作业或大作业,因此对各层次的学生来说,适用、实用性更强。

- 基于 MATLAB 5.2,对主要命令各版本兼顾

作者是从 MATLAB 4.0 开始使用的,因此对不同版本的主要命令比较熟悉。在本书写作中,尽可能多地标注出不同版本的异同之处,方便各种版本的用户使用。

- 命令查询方便

最后提供了主要函数命令的索引和注释,是学习 MATLAB 的好帮手。

4. 致谢

笔者自学会使用 MATLAB 之日起,就一直想为 MATLAB 在中国的推广做点贡献。后经几位老师指导,终可在数学上初窥门径。如今写成此书,要感谢数学分析、数值分析、线性代数、统计学的几位老师教导。特此感谢清华大学数学系的顾丽珍、白峰杉等几位教授和所有支持此书编写的老师。

在此书的编写过程中,我的家人给了我很大的支持和鼓励。

另外还要感谢胡升腾、唐浩、黄贝佳、马利勇、杜以恒、章沙等对本书的成稿所提供的必要帮助。

本书旨在推广 MATLAB 语言,倘若读者能从本书中有所裨益,实属笔者之幸。由于水平有限、经验不足,错误及不当之处在所难免,诚请各位老师、读者指正。

作者

(mathwork@263.net)

1999年10月于清华园

目 录

第一部分 和 MATLAB 握握手

第 1 章 绪论	3
1.1 面向 21 世纪的科学计算语言	3
1.2 MATLAB 语言的主要特点	3
1.3 MATLAB 的发展历史	4
1.4 MATLAB 的应用和网上资源	5
第 2 章 安装及使用前的准备	7
2.1 MATLAB 5.x 的选择安装	7
2.1.1 系统要求	7
2.1.2 光盘安装	7
2.2 窗口说明	10
2.2.1 启动 MATLAB	10
2.2.2 工具栏说明	10
2.3 联机查询系统	13
2.3.1 help 系列	13
2.3.2 lookfor 函数	15
2.3.3 其他帮助命令	16
2.3.4 一些通用命令	16
2.4 联机入门演示	16
2.4.1 demo: 演示界面	16
2.4.2 intro: 介绍界面	17
2.4.3 tour: MATLAB 向导	18

第二部分 叹为观止的强大功能

第 3 章 数值计算功能	21
3.1 数字及其运算	21
3.1.1 变量的定义及代换	21
3.1.2 几个基本的算术运算	22
3.1.3 数字的输入输出格式	23

3.1.4	常驻变量	24
3.2	向量及其运算	24
3.2.1	向量的生成	25
3.2.2	向量的基本运算	26
3.2.3	点积、叉积及混合积的实现	27
3.3	矩阵及其运算	28
3.3.1	矩阵的生成	28
3.3.2	矩阵的基本数学运算	30
3.3.3	矩阵的基本函数运算	36
3.3.4	矩阵分解函数	42
3.3.5	特殊矩阵的生成	46
3.3.6	矩阵的一些特殊操作	48
3.4	数组及其运算	52
3.4.1	基本数组运算	52
3.4.2	数组函数运算	54
3.4.3	数组逻辑运算	54
3.5	多项式及其运算	57
3.5.1	多项式的表示方法	57
3.5.2	多项式运算	58
第 4 章	符号运算功能	62
4.1	字符串及字符串函数	62
4.1.1	关于字符串的约定	63
4.1.2	字符串函数	63
4.2	符号表达式的生成	66
4.3	符号和数值之间的转换	67
4.4	符号函数的运算	69
4.4.1	复合函数的运算	69
4.4.2	反函数的运算	70
4.5	符号矩阵的创立	70
4.5.1	使用 sym 函数直接创建符号矩阵	71
4.5.2	用创建子阵的方法创建符号矩阵	71
4.5.3	将数值矩阵转化为符号矩阵	71
4.5.4	符号矩阵的索引和修改	72
4.6	符号矩阵的运算	72
4.6.1	基本运算	72
4.6.2	符号矩阵分解	73
4.6.3	符号矩阵的简化	73

4.7	符号微积分	75
4.7.1	符号极限	76
4.7.2	符号积分	76
4.7.3	符号微分和差分	77
4.8	符号代数方程求解	80
4.8.1	线性方程组的解析解法	80
4.8.2	非线性方程的解析解法	80
4.9	符号微分方程求解	81
4.10	符号函数的二维图	82
4.10.1	符号函数的简易绘图函数 ezplot	82
4.10.2	绘制函数图函数 fplot	83
4.11	Maple 接口	84
4.11.1	maple 命令	84
4.11.2	mfun 命令	86
第 5 章	MATLAB 的图形功能	87
5.1	图形的生成	87
5.1.1	二维图形	87
5.1.2	三维图形	89
5.2	二维图形的绘制	91
5.2.1	二维函数图	91
5.2.2	二维分析图	91
5.3	三维图形的绘制	96
5.3.1	三维网图的高级处理	96
5.3.2	三维等高线图的绘制	98
5.3.3	三维旋转体的绘制	99
5.4	四维表现图	100
5.5	图形标注处理	102
5.5.1	图形名称和坐标轴名称标注	102
5.5.2	图形的文字标注	102
5.6	图形控制	104
5.6.1	同一图窗的多图绘制	104
5.6.2	图形分格线的控制	105
5.6.3	图形的坐标轴控制	105
5.6.4	三维图形的视角控制	106
5.6.5	图形的缩放	107
5.7	图形窗口的控制	108
5.7.1	图形窗口的创建和控制	108

5.7.2	子图形的绘制和控制	108
5.7.3	图线窗口控制其他操作函数	109
5.8	色彩的控制	109
5.8.1	色图初步	109
5.8.2	色彩的调制	110
5.8.3	色图函数	111
5.8.4	色彩的渲染	111
5.9	光照控制	112
5.10	图形输出	113
5.10.1	图形的复制	114
5.10.2	图形的打印	114
第 6 章	程序设计	115
6.1	M 文件介绍	115
6.1.1	M 文件的特点与形式	115
6.1.2	命令式文件	116
6.1.3	函数式文件	117
6.2	建立自己的函数库	118
6.2.1	MATLAB 的搜索路径	118
6.2.2	扩展 MATLAB 的搜索路径	119
6.3	控制语句	120
6.3.1	循环语句	120
6.3.2	选择语句	123
6.3.3	分支语句	124
6.3.4	人机交互语句	124
6.4	数据的输入输出	127
6.4.1	数据的输入	127
6.4.2	数据的输出	127

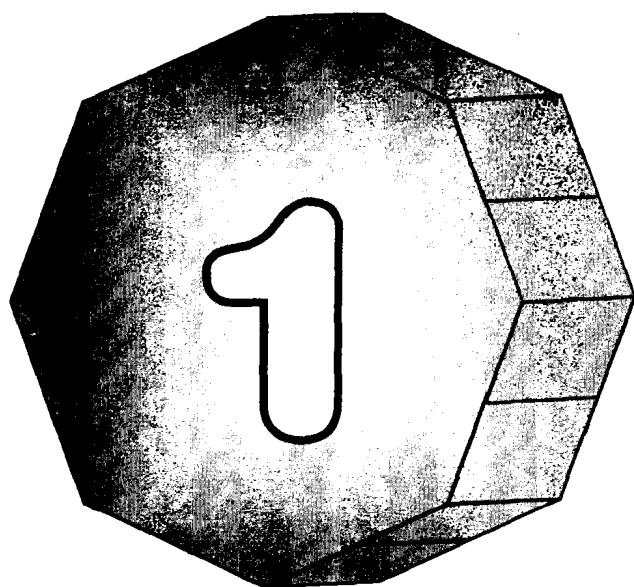
第三部分 数学计算中的 MATLAB

第 7 章	MATLAB 在计算方法中的应用	131
7.1	插值与拟合	131
7.1.1	Lagrange 插值	131
7.1.2	Runge 现象的产生和分段线性插值	132
7.1.3	Hermite 插值	135
7.1.4	三次样条插值	136
7.1.5	最小二乘法拟合	139

7.1.6	快速 Fourier 变换简介	140
7.2	积分与微分	143
7.2.1	Newton-Cotes 系列数值求积公式	143
7.2.2	Gauss 求积公式	150
7.2.3	Romberg 求积公式	152
7.2.4	Monte-Carlo 方法简介	155
7.2.5	符号积分	156
7.2.6	微分和差分	156
7.3	求解线性方程组	158
7.3.1	直接解法	158
7.3.2	迭代解法的几种形式	161
7.3.3	线性方程组的解析解法	165
7.3.4	稀疏矩阵技术	166
7.4	求解非线性方程组	171
7.4.1	非线性方程的解法	171
7.4.2	方程组解法	176
7.4.3	非线性方程(组)的解析解法	179
7.5	特征值问题	179
7.5.1	特征值函数	179
7.5.2	广义特征值分解	180
7.5.3	其他分解	181
7.6	常微分方程的解法	183
7.6.1	欧拉方法	183
7.6.2	Runge-Kutta 方法	186
7.6.3	刚性问题的解	190
7.6.4	常微分方程的解析解	191
第 8 章	MATLAB 在复变函数中的应用	192
8.1	复数和复矩阵的生成	192
8.1.1	复数的生成	192
8.1.2	创建复矩阵	192
8.2	复数的运算	193
8.3	留数	196
8.4	Taylor 级数展开	197
8.5	Laplace 变换及其逆变换	198
8.6	Fourier 变换及其逆变换	200

第 9 章 MATLAB 在概率统计中的应用	202
9.1 统计量的数字特征	202
9.2 常用的统计分布量	208
9.2.1 期望和方差	208
9.2.2 概率密度函数	210
9.2.3 概率值函数(概率累积函数)	212
9.2.4 分位点函数(逆概率累积函数)	215
9.2.5 随机数产生函数	216
9.3 参数估计	216
9.3.1 正态分布参数估计	217
9.3.2 指数最大似然参数估计	219
9.4 区间估计	219
9.5 假设检验	220
9.5.1 单个总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 均值 μ 的检验	221
9.5.2 两个正态总体均值差的检验(t 检验)	223
9.5.3 秩和检验	224
9.5.4 中值检验	224
9.6 方差分析和回归诊断	225
9.6.1 方差分析	225
9.6.2 回归诊断	228
9.7 统计图	229
第 10 章 MATLAB 在最优化问题中的应用	233
10.1 线性优化	234
10.2 二次优化	236
10.3 非线性无约束优化问题	238
10.3.1 fmin 函数	238
10.3.2 fmins 函数	239
10.3.3 fminu 函数	240
10.3.4 foptions 函数	242
10.4 最小二乘优化问题	242
10.4.1 leastsq 函数	243
10.4.2 curvefit 函数	243
10.5 强约束问题	244
10.6 “目标-达到”问题的优化	248
10.7 非线性方程的优化解	251
10.7.1 fzero 函数	251
10.7.2 fsolve 函数	252

第 11 章 MATLAB 在偏微分方程解法中的应用	254
11.1 解简单泊松方程	254
11.2 解 Helmholtz's 方程以研究反射波	256
11.2.1 Helmholtz's 方程的求解	256
11.2.2 反射波的可视化研究	257
11.3 最小表面问题求解	258
11.4 使用子区域分解法解 FEM 问题	259
11.5 求解热传导方程	261
11.6 求解波形传递问题	264
11.7 点力和适应解	266
11.8 使用矩形栅格解泊松方程	267
附录 主要函数命令注释	270
F.1 一般函数命令(GENERAL)	270
F.2 操作符与操作(OPERATER)	271
F.3 参数选择(PREFERANCE)	272
F.4 数据类型和结构(DATATYPE)	273
F.5 数据分析和 FOURIER 变换(DATAFUN)	274
F.6 基本矩阵和矩阵操作(ELMAT)	275
F.7 基本数学函数(ELFUN)	276
F.8 矩阵函数(MATFUN)	277
F.9 稀疏矩阵(SPMAT)	277
F.10 专用数学函数(SPECFUN)	278
F.11 时间函数(TIME)	279
F.12 二维图(PLOTXY)	280
F.13 图形句柄(GENGRAPH)	280
F.14 特殊图形(SPECGRAPH)	281
F.15 三维图(3DGRAPH)	282
F.16 插值和多项式(INTERPOLY)	283
F.17 语言程序设计(LANGUAGE)	284
F.18 文件输入输出函数(IOFUN)	285
F.19 字符串函数(STRFUN)	286
F.20 符号工具箱(SYMBOLIC)	286
F.21 动态数据交换(DDE)	288
F.22 统计学(STASTICS)	288
F.23 最优化工具箱(OPT)	292
F.24 功能函数和常微分方程解法(ODE)	293
主要参考书目	294



第一部分

和 MATLAB 握握手

第 1 章 绪 论

1.1 面向 21 世纪的科学计算语言

MATLAB 出自于 MATrix LABoratory,原意为矩阵实验室,最开始是专门用于矩阵计算的软件。随着 MATLAB 推向市场,MATLAB 不仅具有了数值计算能力,而且具有了数据图示功能。自 MATLAB 4.1 版本开始,MATLAB 拥有了自己的符号运算功能,MATLAB 的应用进一步拓宽。在目前的最新版本 MATLAB 5.2 中,MATLAB 不仅在数值、符号和图形等功能上进一步增强,而且又增加了一些工具箱。目前 MATLAB 已拥有数十个工具箱,以供不同专业的科技人员使用。

MATLAB 自产生之日起就以其强大的功能和开放性好而在数值计算诸软件中独占鳌头。如今新版本的 MATLAB 在符号计算上不甘人后,在与符号计算最为强大的 Maple 接口之后,可以说 MATLAB 在数值计算、符号计算及图形可视化方面都在同类产品中占有优势。再考虑到 MATLAB 的开放性、易学易用性等优点,MATLAB 的确是高校学生、老师、科研人员和工程计算人员的最好选择。从这一点上看,可以说,MATLAB 是真正面向 21 世纪的科学计算语言。

1.2 MATLAB 语言的主要特点

1. 功能强大

MATLAB 4.0 以上(不包括 4.0 版本)的各版本,不仅在数值计算上继续保持着对其他同类软件的绝对优势,而且还开发了自己的符号计算功能,特别是 MATLAB 5.2 在符号计算功能上丝毫不逊于其他各类软件,如 Mathcad、Mathematica 等。这样用户就不必像以前的计算人员一样在掌握 MATLAB 的同时还要学习另一种符号计算软件。用户只要拥有了一个 MATLAB,就可以方便地处理诸如矩阵变换及运算、多项式运算、微积分运算、线性与非线性方程求解、常微分方程求解、偏微分方程求解、插值与拟合、特征值问题、统计及优化的问题了。

做过数学计算的人可能知道,在计算中最难处理的就是算法的选择,这个问题在 MATLAB 面前释然而解。因为 MATLAB 中许多功能函数都带有算法的自适应能力,且算法先进,大大解决了用户的后顾之忧。同时这也大大弥补了由于 MATLAB 的程序并非可执行文件而影响其计算速度的问题。因为在实际问题中,计算速度对算法的依赖程度大

大高于对运算速度的依赖程度。另外 MATLAB 提供了一套完善的图形可视化功能,这为用户向别人展示自己的计算结果提供了广阔的空间。5.2 版本在三维图形及动画方面做了进一步的改善。

2. 语言简单

一种语言不论它的功能多么强大,如果语言本身是艰涩和蹩脚的,那么它就不是成功的语言。MATLAB 是个成功者,它允许用户以数学形式的语言编写程序,比 BASIC、FORTRAN 和 C 语言等更接近书写计算公式的思维方式。它的操作和功能函数指令就是平时计算机和数学书上的一些简单的英文单词。由于它是用 C 语言开发的,它的不多的几个程序流控制语句同 C 语言差别甚微,极易被初学者掌握。

MATLAB 语言的帮助(HELP)系统也是相当强大的。用户可以方便地查询到想要的各种信息。

另外,MATLAB 还专门为初学者,包括 MATLAB 的初学者或其中某一个工具箱的初学者,提供了 intro、tour 及 demo 等命令,用户可以从中得到感兴趣的例子和解释。

3. 扩充能力强,可开发性强

MATLAB 能发展到今天这种程度,它的可扩充性和可开发性起着不可估量的作用。MATLAB 本身就像一个解释系统,而对其中的函数程序的执行是一种解释执行的方式。这样最大的好处是 MATLAB 完全成了一个开放的系统,用户可以方便地看到其函数的源程序,也可以方便地开发自己的程序,甚至创建自己的“库”。

另外,MATLAB 并不“排他”。MATLAB 可以方便地和 FORTRAN、C 等语言进行接口,充分利用各种资源。用户只需将已有的 EXE 文件改成 MEX 文件,就可以方便地调用有关程序和子程序。

MATLAB 还和 Maple 有很好的接口,这也大大扩充了 MATLAB 的功能。

4. 编程易,效率高

从形式上看,MATLAB 程序文件是一个纯文本文件,扩展名为 M,用任何字处理软件都可以对它进行编写和修改,因此程序易调试,人机交互性强。

另外,MATLAB 还具有比较健全的调试系统,调试方便、简单。

1.3 MATLAB 的发展历史

在 70 年代中期,Cleve Moler 和他的同事在美国国家科学基金的资助下研究开发了调用 LINPACK 和 EISPACK 的 FORTRAN 子程序库。这两个程序库代表着当时矩阵计算的最高水平。

到 70 年代后期,身为新墨西哥大学计算机科学系系主任的 Cleve Moler,在给学生开