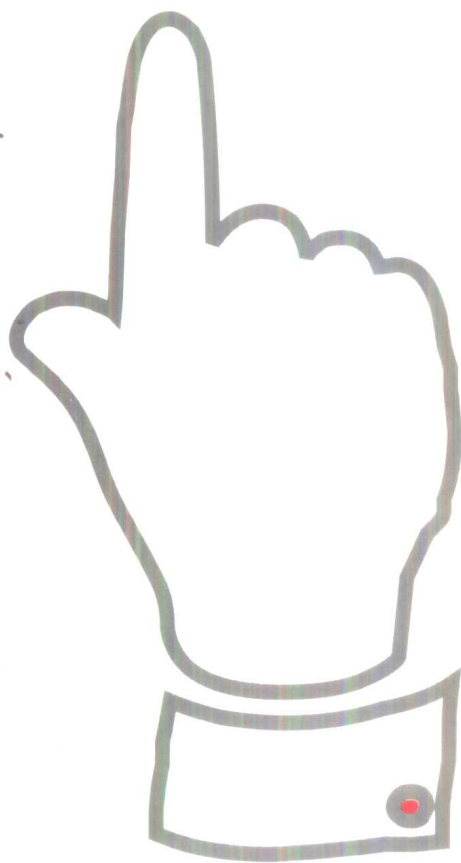


# SAS 最优化软件速成

倪 勤 编著



科学出版社

# SAS 最优化软件速成

倪 勤 编著

科 学 出 版 社

1998

## 内 容 简 介

本书系统介绍了 SAS 最优化软件的内容和应用方法,同时结合软件介绍了最优化常用算法。主要内容包括:SAS 系统简介,线性规划和 LP 过程,LP 过程解线性规划问题的方法,LP 过程的高级功能和应用算例,非线性规划 NLP 过程,SAS 无约束最优化方法,SAS 约束最优化方法。另外,本书在软件学习和算法介绍结合方面进行了有益的尝试。

本书可供需要掌握最优化算法及 SAS 最优化软件的高校教师、学生、科研工作者和工程技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

SAS 最优化软件速成/倪勤编著.-北京:科学出版社,1998.7

ISBN 7-03-006822-X

I. S... II. 倪... III. 统计-应用软件,SAS IV. C8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 16238 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1998 年 7 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1998 年 7 月第一次印刷 印张:5 5/8

印数:1—4 000 字数:144 000

定 价: 11.00 元

## 序 言

SAS 软件系统是国际上著名的商业软件包. 这个软件系统中关于统计分析的软件是具有国际权威性的. SAS 软件系统是一个高水平的、影响很大的、有广泛应用的软件系统. 这个软件系统在我国与国外相比起步较晚, 但近年内发展十分迅速, 目前不少高校、科研院所以及产业部门都在使用 SAS 系统.

最优化是有着广泛应用的学科. 求解优化问题的软件在金融、工程、运输、国防、管理等许多重要领域可发挥重大作用. SAS/OR 是国际上重要的优化软件之一, 包括了求解线性规划和非线性规划的软件. 它的特点之一是方法新, 例如近年来处于研究热点的信赖域方法也在其中.

倪勤博士是我国数值优化及优化软件研究的著名专家之一, 在大规模非线性优化软件方面已取得十分喜人的成绩. 他编写的这本书既详细介绍了 SAS/OR 软件的使用方法, 又结合这些软件介绍了常用方法的基本思想和算法过程. 本书是一本很好的优化软件教材, 它的出版无疑对促进 SAS/OR 在我国的应用和推动我国优化软件的研究将起重要的作用.

袁亚湘

1998 年 4 月 22 日

# 前 言

SAS 系统是大型集成应用软件系统,除了具有完备的数据存取、管理、分析和显示功能外,还有科学计算功能,特别是具有解线性规划和非线性规划问题的功能.因此, SAS 系统已被世界一百多个国家使用,国内也有相当多的高等学校、科研单位和工程技术人员在使用这一系统.目前 SAS 系统的中文书籍主要介绍统计分析等功能. SAS 系统的最优化方法等科学计算功能尚缺乏中文资料.此外,国内最优化软件书籍也匮乏.

本书是高等院校最优化方法软件教科书,也是 SAS 最优化软件学习指导书.本书以 SAS6.11 版为蓝本主要介绍 SAS/OR 软件中 LP 过程和 NLP 过程的应用.这两个过程集中了解线性规划和非线性规划问题的各种应用程序.不同于一般软件说明使用书,本书既给出各种类型最优化问题求解的 SAS 程序,又介绍了各种不同最优化方法的基本步骤.熟悉最优化方法的读者通过本书的学习不仅可以容易地掌握 SAS 优化软件的使用方法,而且可以加深对最优化方法的理解,同时也为学习其它优化软件打下基础.对最优化方法了解较少的读者通过本书大量算例的模仿和学习,不仅能直接使用 SAS 最优化软件,而且能基本了解最优化方法,并为进一步学习创造了条件.限于作者的水平,加上时间仓促,书中难免出现错误或问题,敬请读者批评指正.

本书在编写出版过程中得到国家自然科学基金的资助.全国大学生数学模型竞赛江苏赛区对本书的编写给予了很大的支持,特别是东南大学朱道元老师一直关心和支持本书的编写、出版工作.在此作者表示衷心地感谢.作者还要感谢南京航空航天大学和中国科学院计算数学研究所科学与工程计算国家重点实验室给予的支持和帮助.作者对夫人潘蓉华女士在本书初稿的计算机输入

给予的帮助和在编写过程中给予的支持和鼓励表示衷心地感谢。

本书得以顺利出版，作者还得感谢科学出版社林鹏先生给予的支持和帮助。

作 者

1998 年 4 月

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 序言 .....                   | i   |
| 前言 .....                   | ii  |
| 第一章 SAS 系统简介 .....         | 1   |
| §1.1 SAS 系统 .....          | 1   |
| §1.2 SAS 系统的启动和程序的运行 ..... | 2   |
| §1.3 SAS 编程基础 .....        | 6   |
| §1.4 SAS 数据集的建立 .....      | 11  |
| §1.5 PROC 步基本语句 .....      | 22  |
| §1.6 全程语句 .....            | 23  |
| 第二章 线性规划和 LP 过程 .....      | 25  |
| §2.1 线性规划简介 .....          | 25  |
| §2.2 LP 过程简介 .....         | 26  |
| 第三章 LP 过程解线性规划问题的方法 .....  | 32  |
| §3.1 一般线性规划 .....          | 32  |
| §3.2 整数线性规划 .....          | 39  |
| §3.3 LP 过程的分析功能 .....      | 44  |
| §3.4 LP 过程的交互使用功能 .....    | 56  |
| §3.5 LP 过程的其它说明 .....      | 63  |
| 第四章 LP 过程的高级功能和应用算例 .....  | 71  |
| §4.1 输出数据集和输入数据集 .....     | 71  |
| §4.2 分枝定界法的搜索策略 .....      | 77  |
| §4.3 一些复杂的算例 .....         | 83  |
| 第五章 非线性规划和 NLP 过程 .....    | 104 |
| §5.1 非线性规划简介 .....         | 104 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| §5.2 NLP 过程简介 .....          | 105 |
| 第六章 SAS 无约束最优化方法 .....       | 111 |
| §6.1 牛顿法 .....               | 111 |
| §6.2 拟牛顿法 .....              | 115 |
| §6.3 共轭梯度法 .....             | 117 |
| §6.4 非线性最小二乘问题的解法 .....      | 118 |
| §6.5 信赖域法 .....              | 124 |
| §6.6 直接方法 .....              | 125 |
| §6.7 差分代导数最优化方法 .....        | 126 |
| §6.8 一维搜索技术 .....            | 129 |
| §6.9 初始点赋值、再开始技术和终止条件 .....  | 132 |
| 第七章 SAS 约束最优化方法 .....        | 137 |
| §7.1 线性约束最优化问题 .....         | 137 |
| §7.2 二次规划 .....              | 140 |
| §7.3 非线性约束问题 .....           | 147 |
| §7.4 输出结果的选择项及分析 .....       | 151 |
| §7.5 NLP 过程求解约束最优化问题算例 ..... | 154 |
| 参考文献 .....                   | 171 |



# 第一章 SAS 系统简介

## §1.1 SAS 系统

SAS (Statistical Analysis System) 软件系统由美国 SAS 公司编制. 该软件系统于 1966 年研制成为商业软件, 开始仅用于数据的统计分析, 后经不断更新和扩充, 现在的 SAS6.11 已发展成为一个功能强、效率高、使用方便且适用于多种操作系统的信息处理和科学计算组合软件系统. SAS 系统在一百多个国家和地区范围内被广泛地应用于政府、科研、教育、生产和商业等不同领域, 并发挥着积极作用. 国内已有相当数量的高等学校、科研单位和工程技术人员在使用 SAS 系统. 全国大学生数学模型竞赛参赛师生对 SAS 系统的学习和使用更助长了这一软件在国内的推广和应用.

SAS 系统是一个模块化的集成软件系统, 包括数据的统计分析、运筹问题的科学计算等大量软件. SAS/BASE 软件是 SAS 基本部分和 SAS 系统的核心. 它可以单独使用, 也可以同其它软件合起来使用. 它的主要功能是数据管理、基础统计计算、报表生成和图形显示. SAS/STAT 是 SAS 系统中一个完整可靠的统计分析软件. 它的功能是作全面性的高级统计分析和应用, 包括方差分析、回归分析、属性数据分析、多元分析、生存分析、聚类分析、判断分析及非参数分析等. 该软件是国际统计分析领域的标准软件. 本书要介绍的 SAS/OR 软件是运筹学和工程管理的软件. 该软件提供全面的运筹学方法, 是一个强有力的决策工具. 它包含线性规划、线性整数规划和非线性规划的许多常用方法, 还包含用于项目管理、资源分配和时间安排等问题的一系列方法.

此外, SAS 系统中还包含的主要软件有: SAS/GRAPH, SAS/-ASSIST, SAS/FSP, SAS/AF, SAS/ACCESS, SAS/IML, SAS/QC,

SAS/ETS, SAS/EIS, SAS/ENGLISH, SAS/CALC, SAS/INSIGHT, SAS/LAB, SAS/GIS, SAS/SHARE, SAS/CONNECT, SAS/NVISION, SAS/SPECTRAVIEW 和 SAS/TOOLKIT 等. 它们的功能参见文献 [7]. 为配合中文读者学习和掌握 SAS 系统, 已有部分中文书籍介绍 SAS 系统的使用方法, 如文献 [4,7] 等. 这些书主要介绍了 SAS 系统的基本使用方法和统计分析功能, 也介绍了 SAS 系统中一些其它软件的使用方法. 但是介绍 SAS/OR 软件的详细使用方法的中文书籍还没有, 其英文指南书籍也缺乏, 主要原因是这一软件正处于不断更新之中. 例如这一软件中解非线性规划问题的 NLP 过程是在 SAS 的新版本中刚增加的.

本书以 Windows 环境下 SAS6.11 为蓝本主要介绍 SAS/OR 软件中解线性规划和非线性规划问题的最优化方法. 这些方法通过 SAS/OR 软件中 LP 过程和 NLP 过程的使用来实现的, 其中 LP 过程是解各种线性规划 (包含整数线性规划) 的方法库, NLP 过程是解各种非线性规划问题的方法库. SAS/OR 软件是 SAS 系统正大力开发的软件, 也是 SAS 系统中需要花力气来学习和掌握的一个软件.

为了要学习 SAS 最优化软件, 需要对 SAS 系统的使用有一些最基本的了解. 本章下面几节便是使用 SAS 系统的基本知识.

## §1.2 SAS 系统的启动和程序的运行

Windows 环境下 SAS 系统的启动和退出是非常容易的. SAS 软件有租期限制, 只有机器时间在软件有效期内才能启动 SAS. 如果机器中已成功地安装了 Windows 环境下的 SAS 软件, 那么在程序管理器的某一程序组中会有 SAS System for Windows 图标, 双击该图标, 或把高亮条移到该图标再按回车键, 即可启动 SAS 系统 (如何找到 SAS 图标以及如何选择该图标, 请参考 Windows 的使用手册).

启动 SAS 系统后, 通常显示上下两个并存窗口: 记录 (LOG)

窗口和程序编辑 (PROGRAM EDITOR 简称 PGM) 窗口, 还有一个在幕后的输出 (OUTPUT) 窗口。

在 PGM 窗口能输入和编辑 SAS 程序, 通过单击 LOCALS 下拉菜单 Submit 或单击屏幕上方的执行工具箱 (含有小人奔跑的那个) 将程序发送给 SAS 系统。

在 LOG 窗口, 随着 SAS 语句的执行, 将显示出已执行的语句和 SAS 系统的信息, 包括发现的错误 (一般用红字显示)、程序执行完成情况和执行所需时间。

在 OUTPUT 窗口, 显示由 SAS 过程所输出的结果。

利用光标移动键, 或者利用 Windows 或 Globals 下拉菜单, 单击 LOG 或 OUTPUT 或 PROGRAM EDITOR, 从而可在各窗口之间进行任意切换。光标所在的窗口称为当前窗口。关于各窗口的扩大或缩小可参见 Windows 使用说明书。

退出 SAS 系统, 只要在 File 下拉菜单, 单击 Exit 即可, 也可在第二行空白小窗口的命令行打入 “BYE” 后按回车键。

在 SAS 系统中, 数据处理或科学计算大体可分成两种步骤。一是将数据读入 SAS 系统, 建立 SAS 数据集, 输入所分析或要求解问题的数据, 这一程序步称为 DATA 步 (数据步); 另一个是调用 SAS 过程处理分析数据集中的数据或者对数据集形成的各种问题进行科学计算, 这一程序步称为 PROC 步 (过程步)。每一 DATA 步都是以 DATA 语句开始, 以 RUN 语句结束; 而 PROC 步则是以 PROC 语句开始, 以 RUN 语句结束。

**例 1.1** 建立一个数据集, 只含有一行观测值和两个变量, 并输出这个数据集。

**解** SAS 编程如下:

```
DATA s1;  
C=6;  
D=5*C;  
RUN;  
PROC PRINT;
```

RUN;

每个语句的后面都要用“;”结束。此外，PRINT 过程表示将 SAS 数据中观测值打印出来。

在数据处理和科学计算过程中，可有多数据步或多个过程步或数据步与过程步混合使用，后一个 DATA 或 PROC 语句起到前一步的 RUN 语句的作用，故两步中间的 RUN 语句常省略。但最后一步后面必须要有 RUN 语句，否则最后一步将不能运行。

用户编写的 SAS 程序至少有三种输入方式。一是在 PGM 窗口的直接输入。例如上述 SAS 程序的输入。另外两种输入方式是在光标移到 PGM 窗口后用 FILE 下拉菜单读入一个已编好的 SAS 程序或者利用剪贴板把 SAS 范例程序 (或在书写器、笔记本中已编好的 SAS 程序) 拷贝过来 (剪贴板的使用请参见 Windows 使用说明书)。

所输入的 SAS 程序可以使用大写或小写字母或大小写字母混合的 SAS 语句，语句中每个单词或数据间应以空格间隔。SAS 语句书写格式比较自由。为表示程序的层次，一些语句采取缩进几格的写法，一条 SAS 语句可以连续写在几行中，也可以一行写几个语句。每个语句的后面一定要用“;”号结束。直接输入的 SAS 程序的编辑可使用 EDIT 下拉菜单进行移动、删除、拷贝和插入程序行等 (可参见 Windows 使用说明书)。SAS 系统也提供了行编辑命令，但使用比上述方式麻烦，有兴趣用户可参见文献 [4]。这种在 PGM 窗口直接输入的格式比较适合小规模问题的处理和临时修改。对于比较大的程序输入可先用读者熟悉的编辑方法产生一个文件，然后进入 PGM 窗口后再通过 FILE 下拉菜单方式读入。

当程序被正确输入后，需要向 SAS 系统发送程序。发送程序有三种方法：

- (1) 用 Locals 下拉式菜单，单击 Submit;
- (2) 在命令小窗口中打入 Submit, 按回车键;
- (3) 单击屏幕上方的执行工具箱 (含有小人奔跑的那一个)。

发送程序后，PGM 窗口中的所有语句将被清除。

程序执行情况及某些运行结果会在 LOG 窗口记录下来, 应注意观察 LOG 窗口中的信息, 以确信程序是否被正确执行.

例 1.1 的 SAS 程序发送运行完后, 在 LOG 窗口会给出

NOTE: The data set work.s1 has 1 observation and 2 variables.

等信息, 表示已建立起名为 s1 的数据集, 其中有一个观测值, 2 个变量, 还有数据步和过程步使用的时间信息.

如果在发送 SAS 语句后, LOG 窗口显示了出错信息 (是红色表示), 应将光标移至此窗口, 观察错误信息, 找到错误所在. 初学者常犯的错误是在语句的后面忘记使用分号, 此时, SAS 继续读下一语句, 并将这一语句当作前一语句的一部分, 由于无法解释该语句而给出无法理解的错误信息. 此时, 应先检查前个语句尾部是否有分号, 如没有, 应重新修改程序并发送.

修改程序需调回已发送的程序. 每次发送的程序都顺序地存于 SAS 的临时存储区中. 若刚发送的程序有错误, 需调回修改. 调回要修改的程序先要把光标移到 PGM 窗口, 然后使用下列一种方法便可达到目的:

- (1) 在 Locals 下拉式菜单中, 单击 Recall text;
- (2) 在命令小窗口打入 RECALL, 按回车键.

这样可调回前次发送的程序, 置于光标后面. 若需要, 可连续使用上述方法依次调回以前发送的各程序.

若在 SAS 程序发送后, 在 LOG 窗口中也未发现错误, 则可在 OUTPUT 窗口查看输出结果. 例 1.1 的 OUTPUT 窗口中输出结果为

| OBS | C | D  |
|-----|---|----|
| 1   | 6 | 30 |

三个窗口 (PGM, LOG 和 OUTPUT) 中的信息可用 FILE 下拉式菜单 SAVE AS 存入相应的磁盘文件中, 也可在命令小窗口输

入 FILE 命令实现储存. 例如存入 C 盘子目录 SAS1 的文本文件 S1.SAS 的命令为

```
FILE 'C:\ SAS1\ S1.SAS'
```

在 PGM 窗口中调入外部文件, 除前面介绍的方法外, 还可使用 INCLUDE 命令. 例调入文件 C:\ SAS1 \ S1.SAS 的命令为

```
INCLUDE 'C:\ SAS1 \ S1.SAS'
```

此外, 三个窗口内容删除是单击 EDIT 下拉菜单中 clear text 或在命令小窗口打 CLEAR 命令. 部分删除请使用 EDIT 下拉菜单其它项目.

SAS 程序的输入和运行还有其它一些方法, 详细描述参见文献 [7]. 急于使用 LP 和 NLP 过程的读者可先去阅读相关章节, 仿照书中的例题进行运算, 遇到问题后再回过头来查询, 这也是学习软件常用的速成法.

### §1.3 SAS 编程基础

为了更好地进行 SAS 编程, 需要使用 SAS 语言. SAS 语言同其它计算机语言很相似, 初步掌握它是不困难的. 下面要介绍一些基本概念: 观测值、SAS 数据集、SAS 变量、SAS 常数、SAS 运算符、SAS 函数和 SAS 表达式.

观测值 (observation) 是指描述单一整体, 如某个人、一个地区或一个线性不等式的一系列数据. SAS 中数据的集合称为 SAS 数据集 (data set). 其它概念需详细说明.

#### 1. SAS 变量

描述给定特征的数据值的集合构成变量 (variable). 在 SAS 数据集中, 每一个观测值是由各个变量的数据值组成的.

SAS 变量名和其它名称如数据集名的命名规则是相同的. 它可以多至 8 个字符长, 第一个字符必须是字母 (A,B,C,...,Z) 或者

是下划线“-”，后面的字符可以是字母、数字或下划线。空格和特殊字符（如 \$, @, #）不允许在 SAS 名中使用。SAS 系统中保留了一定的名称作为特殊的变量名，这些名称以下划线开始和结尾。如 `_ROW_` 和 `_TYPE_` 等。

SAS 变量有两种类型，数值变量和字符变量。字符变量在变量名后面用“-”号来表示。数值变量的值只能是数值。除了类型外，SAS 变量还有长度、输入格式、输出格式和标记等特性。

变量的长度特性，是指用以存储变量值的字节数，缺省长度为 8（其它情况请参见文献 [7]）。变量的其它特性将在后面逐步介绍。

一组类型相同的变量可以简化表示。形如  $X_1, X_2, \dots, X_n$  这类带有序号的变量可以用  $X_1-X_n$  来表示。例如：

```
INPUT X1 X2 X3 X4 X5;
```

可以写成：

```
INPUT X1-X5;
```

这些变量要求类型相同，或全是数值变量或全是字符变量。

当一个变量由于某种原因，其值没有得到（可能没有观测到，或由于读数据时类型错误），该变量被赋予缺项值（missing value），在 SAS 中用“.”来表示。

## 2. SAS 常数

SAS 系统常用 3 种类型的常数：数值常数，字符常数，日期、时间或日期时间常数。

数值常数可用科学记数法或象通常的数值一样书写。如：17, 1.35, -5.20, 1.785E-9 等。

一个字符常数可以由 1 至 200 个字符组成。例如：'China Academy of Science' 等。在赋值语句中字符常数要用单（双）引号括起。

日期、时间和日期时间常数须用单引号括起，后面接着用一个 D（日期）、T（时间）或 DT（日期时间）来表示其类型。例如：'1 JAN

1998'D, '9:25:19'T, '18 JAN 98 9:27:05'DT 等。

### 3. SAS 运算符

SAS 运算符主要包括算术运算符、比较运算符和逻辑运算符，它们与许多计算机语言是相似或相近的。

算术运算符指出一个要执行的算术计算，5 个算术运算符是：

\*\* (乘方) \* (乘) /(除) +(加) -(减)

若缺项值参加算术运算，则计算结果也为缺项值。

比较运算符要求 SAS 确定两个数量间是否存在一种关系。如果不存在，则结果值为 0，否则结果值为 1。比较运算符是：

|         |          |         |      |
|---------|----------|---------|------|
| = 或 EQ  | 等于       | ^= 或 NE | 不等于  |
| > 或 GT  | 大于       | < 或 LT  | 小于   |
| >= 或 GE | 大于或等于    | <= 或 LE | 小于等于 |
| IN      | 等于列表中的一个 |         |      |

对字符值比较也与数值比较一样，字符串被从左到右一个字符一个字符地按 ASCII 码值进行比较。比较运算总是输出一个数值结果 0 或 1。

比较运算符主要用于条件语句中，但也可用于赋值语句中。例如：

```
IF X<Y THEN C=8;  
ELSE C=10;
```

可写成

```
C= 8 * (X<Y) + 10 * (X>=Y);
```

比较运算符 IN 的一个使用例子为

```
IF state IN('N1','N2','N3') THEN c=5;
```

它等价于



```
IF state='N1' OR state='N2' OR state='N3' THEN  
c=5;
```

逻辑运算符也称布尔运算符，它通常用在连接一系列比较表达式中。符号如下：

& AND (与), | OR(或), ^ NOT(非).

如果 AND 两端都为真，那么 AND 操作的结果是 1，否则为 0。如果 OR 两端至少有一个为 1(即为真)，那么 OR 操作的结果为 1(真)，否则为 0。

这些 SAS 运算符的运算顺序就是我们通常规定的运算顺序(详细参见文献 [7])。

#### 4. SAS 函数

SAS 函数是系统中已编好的子程序，它对若干个参数进行计算后返回一个结果值。为了调用一个函数，先写出函数名，接着是空括号或括在括号中的若干个要进行计算的参数：

函数名 ( ) 或 函数名 (参数, 参数, ...)

当参数多于一个时，参数之间应该用逗号分隔，也可写成如下两种形式之一：

函数名 (OF 变量 1 ... 变量 n)

函数名 (OF 变量 1- 变量 n)

例如下列形式是正确的：

SUM (OF X1-X50 Y1-Y50)

SUM (OF X Y Z)

SUM (X1, X2, A1, A2)

如果函数的参数是表达式，在这函数被调用之前，所有表达式参数首先计算。例如，表达式  $2 * \text{LOG}(x + y)$ ，首先计算  $x + y$ ，然后调用 LOG 计算和的对数，最后用 2 乘得表达式的值。