

EL-5100型计算器用于野外磁法计算

冶金部地质职工大学 罗德传 徐济民



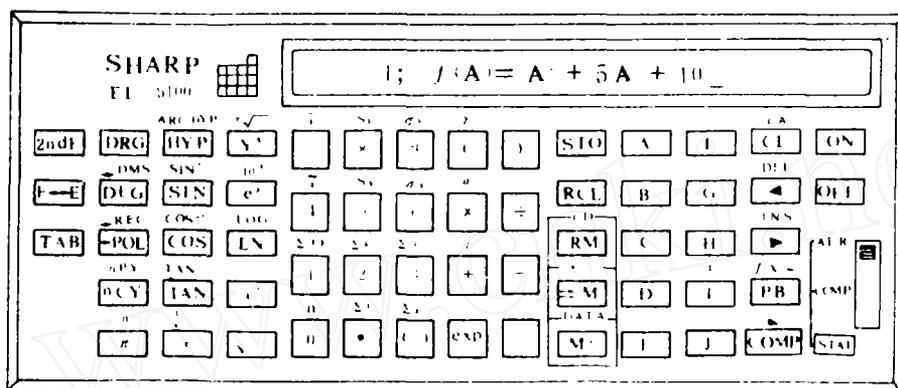
物探与化探

EL-5100型袖珍式电子计算器，比一般计算器多十个记忆存贮器，可进行手控程序计算。计算过程中不必用任何算法语言，只要按照键盘上按键的功能，直接输入数学表达式和数据即可。输入的程序和输出结果都直观地显示在液

晶显示屏上。最大容量为80程序步，进行磁法剖面的定量计算和数据处理已足够用。我们在磁法教学过程中，用这种计算器运算，代替以往的量板计算方法，收到了良好的效果，现介绍如下

计算器简介

EL-5100型计算器如图所示。



EL-5100型计算器面板按键位置图

计算器的面板上共有65个按键和一个运算模式选择开关，其中40个按键具有第二功能（利用键上方的桔黄色标识符），操作简单，易于掌握。下面简要介绍某些按键的功能，其他按键的功能与一般带函数的计算器相同。

1. 部分按键的功能与使用



AER为代数式存贮模式(手编程序模式)，用于存贮数学表达式，但不执行任何计算。

COMP为计算模式，用于计算各种运算，包括在AER模式中存贮的各种数学表达式。

STAT为统计运算模式，用于统计程序，其操作完全独立于AER模式。

2ndF有两种功能：一是当需要使用某

些按键的第二功能时，必须先按此键；反向键，如错按此键，再按一次即可复原。

A~J代表10个记忆存贮器，经过按键可存入数据。

STO为送存键。在AER模式中，指示把一个代数式的运算结果存入指定的存贮器中；在COMP模式中，指示把一个数据存入指定的存贮器。

RCL为调出键。在AER模式中，调出指定存贮器的数据并参加代数式的运算；在COMP模式中，调出指定存贮器的数据。

PB为读出键。在AER模式中，按此键，显示器将显示表达式(程序)前22位信息，如超过22个印刷符，继续按此键则分段逐次显示；在COMP模式中，可检查最后输入的内容；在STAT模式中，用于检查上次输入的数据

据:

$f(\)$ 为变量指令键。表达式中被指定为变量的标识符,须写入括号内,即 $f(AB) =$ 。其程序步为“2nd F $f(\) = AB$ 2nd F $f(\) =$ ”

COMP 为运算操作键。按此键则在 AER 模式中已经存放的表达式进行运算。

▸ 为分区键。在 AER 模式中,在编程序时,可将程序分成若干区段输入,最多能划分五个区。

2. 显示

(1) 输入内容显示

AER 模式:

1: $f(ABC) = \sqrt{(A^2 + B^2 + 2ABC)}$

COMP 模式:

$\sin 30 \times 5 + 142 \div 7 + \cos 60 \times 6 -$

(2) 运算结果输出显示

1: $ANS = -1.23456789E - 99$
尾数 指数

(3) 错误状态

如果超过本计算器的运算范围,或执行不符合规定的指令,以及从事不合数学要求的计算时,均将显示出错误标识符号,即

//////////0//////////

(4) 指示符号的显示

当按 2nd F、DEG 键时,显示屏上将以小字体显示该键的标识符

2nd F DEG

手控程序运算

1. 几种基本语句

本计算器不需使用任何种算法语言,因此也就无所谓语句的存在。为叙述方便,这里引用语句的形式,用以说明计算器的运算功能。

(1) 赋值语句

语句: $f(\text{变量}) = \text{表达式}$

说明: 被指令为变量的标识符,必须写入左侧括号内,运算过程为“人机对话”式,给变量输入数据,即可运算得出成果显示。

例: $f(A) = A^2 + 2A + 3$

$A = ? ; f(8) = 83 ; f(17) = 326 ; f(325) = 106278$

(2) 循环语句

语句: **STO** 变量表达式, 变量 + 步长。

说明: 这里的变量即为被指定的存储器,由于表达式中的运算,每次的变量数据都是加了步长的新数据,故容易实现循环,但循环的次数将由计算器控制。

例: **STO** A $A^2 + 2A + 3, A + 1$

初值: $A = 0$, 每按 COMP 键两次,则运算循环一次,显示器上 ANS 1 为表达式计算成果。

ANS 2 为每次 A 的数字。

ANS 1: 3 6 11 18 27

ANS 2: 1 2 3 4

初值: $A = 5$

ANS 1: 38 51 66 83 102

ANS 2: 6 7 8 9

(3) 辗转赋值语句

语句: 变量 (数据) **STO** J J **STO** I
I **STO** H..... B **STO** A

说明: 本语句的语意是: 将一个存储器中的贮存数据,转存到另外一个存储器,利用本语句,对磁法中的光滑、求导、延拓等计算程序的编制十分有利。

例: $f(E) = 2A + 3B + C + 3D + 2E$

B **STO** A C **STO** B D **STO** C
E **STO** D

计算: $A = 1, B = 2, C = 3, D = 4, E = ?$

$f(5) = 33$

$f(6) = 44 (A = 2, B = 3, C = 4, D = 5, E = 6)$

$f(7) = 55 (A = 3, B = 4, C = 5, D = 6, E = 7)$

(4) 调用语句

语句: $F(\text{变量}) = \text{表达式}$ **STO** 存储器,
表达式 **STO** 存储器.....,
综合表达式

说明: 本语句中的“存储器”即为最后综合表达式中的变量,从举例中即可看出。

例: $f(AB) = A + B \text{ STO } J$
 $AB \text{ STO } I, J^2 + 2JI + I^2$

计算: $f(1, 2) = 3, 2, 25$ (显示三次数据)。

亦即当 $A = 1, B = 2$ 时, $A + B = 3, AB = 2,$

$$(A + B)^2 + 2AB(A + B) + (AB)^2 = 25$$

(5) 逗号的作用

在语句间加了逗号标识符, 即显示逗号前表达式运算的结果, 否则不显示。例如, 上例中所显示的两次中间结果, 在两处都加了逗号, 否则只显示最后计算成果。

(6) 语句间的关系

每个语句之间, 如果有加、减、乘、除等运算符, 以及其他指令联结起来, 则进行连续运算, 否则各语句计算的成果各自独立。

2. 程序的编制

对所介绍的这种计算器而言, 所谓程序就是操作按键的步骤, 程序中所用符号与键盘上的符号完全一致。每一程序步就是在键盘上找到对应的按键按一次, 编制本计算器使用的程序, 也就是将数学表达式改写为键盘上的标识符, 便于操作。操作熟练时, 只要将数学表达式中的变量改

$$f(BCFH) = A[(B + C) : 2 - D] + E(F - G) + H$$

说明: $f(BCFH)$ 的程序步为 $2ndF f() = BCFH 2ndF f() =$

2. 规则磁性体的磁场计算

规则磁性体磁场 $Z_a, H_a, \Delta T$ 的数学表达式, 一般为其几何参量、磁性参数和空间位置的函数, 可以写成如下通式

$$Z_a = f(2b, 2l, \alpha; J, i, \xi, \eta, \zeta)$$

式中: $2b$ —磁性体宽度; $2l$ —走向长度; α —磁性体倾角; J —磁化强度; i —磁化倾角; ξ, η, ζ —磁性体空间位置坐标。

$$2ndF f() = A 2ndF F() = E * (2 H x^2 + A x^2) + \sqrt{(H x^2 + A x^2)} y^x 5, (-) 3 E H A \div \sqrt{(A x^2 + H x^2)} y^x 5 \quad \text{共43步}$$

程序 2: 用循环语句编写

$$\text{STO } I \text{ E} * (2 H x^2 - (I D) x^2) \div \sqrt{(H x^2 + (I D) x^2)} y^x 5, (-) 3 E H I D \div \sqrt{(I$$

注: *乘号, 以便与 x 区别。

换为存贮器的标识符, 就可直接将表达式作为一个程序输入计算器。现将如何编制程序概括如下:

(1) 分析所拟计算的数学表达式, 确定变量, 分配存贮器。

(2) 根据计算器的功能和语句规则, 将数学表达式按操作步骤的顺序改写为按键的标识符。

(3) 还可编制子程序, 分区储存, 调用灵活。

磁法计算的数学

模型分类和计算程序

1. 野外观测数据的计算

以两次观测结果加扭鼓与混合改正的计算为例, 公式:

$$\Delta Z = \epsilon \left(\frac{n_1 + n_2}{2} - n_0 \right) + K(\varphi - \varphi_0) + \text{混改}$$

存贮器分配:

$$\epsilon \rightarrow A, n_1 \rightarrow B, n_2 \rightarrow C, n_0 \rightarrow D, \\ K \rightarrow E, \varphi \rightarrow F, \varphi_0 \rightarrow G, \text{混改} \rightarrow H$$

程序: 以 B, C, F, H 为变量, 其他为常量先赋值。

现以垂直磁化球体 Z_a 及 H_a 的计算公式为例, 说明有关这类数学模型的程序编制。

$$\text{公式: } Z_a = \frac{M_s (2H^2 + x^2)}{(x^2 + H^2)^{3/2}},$$

$$H_a = \frac{M_s (-3Hx)}{(x^2 + H^2)^{5/2}}$$

存贮器分配: $M_s \rightarrow E, H \rightarrow H, x \rightarrow A$

程序 1: 用赋值语句编写

D) $x^2 + H x^2) y^* 5, I + 1$ 共54步

程序 3: 将 Z_0, H_0 表达式中共同的因子先计算后存入存贮器, 然后分别调用。

$2ndF f() = A 2ndF f() = E + \sqrt{H x^2 + A x^2} y^* 5$ STO G, $G (2 H x^2 - A x^2)$, $(-) 3 G$
E H A 共35步

说明: 为了满足不同要求和计算方便, 同一数学模型可以编制不同的程序。上述三个程序各有其特点。

程序 1: 对计算点距不等的磁场值较为方便, 但每次计算均为“人机对话式”, 都要给变量 A 赋值, 故速度慢。

程序 2: 对计算等点距的磁场值较为方便, 只要将点距作为步长写入程序, 计算时给变量 A 赋以初值或冲零后即可计算, 速度较快。

程序 3: 可以节约程序步数。如果遇到超过 80 程序步的数学模型, 可设法节约程序步, 使本计算器能容纳。

3. 磁异常的数据处理

$$\tilde{Z}(0) = \frac{1}{21} [7 Z_0 + 6 * (Z_1 + Z_{-1}) + 3 * (Z_2 + Z_{-2}) - 2 * (Z_3 + Z_{-3})]$$

0	1	2	3	4	5	6	7
Z_{-3}	Z_{-2}	Z_{-1}	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	
A	B	C	D	E	F	G	
	A	B	C	D	E	F	G

D—计算点; G—变量。

程序:

+++++

$$\begin{aligned} \text{公式: } Z(0, -h) = & 0.2951 Z(0, 0) + 0.1653 [Z(h, 0) + Z(-h, 0)] \\ & + 0.0660 [Z(2h, 0) + Z(-2h, 0)] + 0.0326 [Z(3h, 0) + Z(-3h, 0)] \\ & + 0.0190 [Z(4h, 0) + Z(-4h, 0)] + 0.0124 [Z(5h, 0) + Z(-5h, 0)] \\ & + 0.0087 [Z(6h, 0) + Z(-6h, 0)] + 0.0064 [Z(7h, 0) + Z(-7h, 0)] \\ & + 0.0049 [Z(8h, 0) + Z(-8h, 0)] + 0.0038 [Z(9h, 0) + Z(-9h, 0)] \end{aligned}$$

存贮器的分配

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Z_{-9}	Z_{-8}	Z_{-7}	Z_{-6}	Z_{-5}	Z_{-4}	Z_{-3}	Z_{-2}	Z_{-1}	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	F	G	H	I	F	G	H	I	J

程序 I 从 A 到 I
程序 II 从 A 到 J

程序 I:

$$F(I) = (2951 E + 1653 * (D + F) + 660 * (C + G) + 326 * (B + H) + 190 * (A + I)) \div J$$

B STO A C STO B D STO C E STO D F STO E

磁异常数据处理方法, 一般包括光滑、延拓和求导。其计算公式基本上是一种加权平均的数学模型。

$$Z_{ai} = \sum_{i=1}^n A_i Z_{ai}, (i = 0, 1, 2, \dots)$$

式中 A_i 为权系数, Z_{ai} 为磁场观测值。应用前面的辗转赋值语句, 处理剖面磁场数据, 逐点移动进行计算较为方便, 但求和项数 (n) 不能大于 10。因为存贮器只有十个, 如果超过十项, 则只有分为两段程序计算, 下面举例说明这类数学模型的程序编制。

(1) 磁异常的光滑

二阶七点公式:

$$f(G) = (7D + 6(C + E) + 3(B + F) - 2(A + G)) \div 21$$

B STO A C STO B D STO C
E STO D F STO E G STO F

说明: 这个程序由赋值语句与辗转赋值语句组成, 从而实现了计算点在剖面上向右移动。

(2) 二度体磁异常向上延拓

G **STO** F H **STO** G I **STO** H

程序 II:

$$F(E, J) = (124 * (E + F) + 87 * (D + G) + 64 * (C + H) + 49 * (B + I) + 38 * (A + J))$$

B **STO** A C **STO** B D **STO** C E **STO** D

G **STO** F H **STO** G I **STO** H J **STO** I

说明: 由于存储器不够, 故分两个程序计算, 最后成果相加即为计算点的延拓值。

程序 I 中的 J 须存入 10000。程序 II 的计算成果必须除 10000。

(3) 三度体异常的求导

利用亨德森 (Henderson) 公式:

$$\frac{\partial Z_a}{\partial r} = \frac{2}{r} [3Z_a(0) - 4\bar{Z}(r) + \bar{Z}(\sqrt{2}r)]$$

设网格线的交叉点为

$$f(CFI) = 6E - 2 * (B + D + H + F) + (A + C + I + G) : 2$$

B **STO** A C **STO** B E **STO** D F **STO** E H **STO** G I **STO** H

说明: 计算点向右移动, 每计算一点输入三个新的磁场值。

4. 磁参数的计算

以磁称法高斯第二位置测定方法为例,

$$\begin{aligned} \text{公式 } x' &= \frac{10\varepsilon R}{VZ_0} (S_0 - \frac{S_1 + S_2}{2}) \cdot 10^6 \text{CGSM} \\ &= \frac{5\varepsilon R}{VZ_0} (2S_0 - S_1 - S_2) \cdot 10^6 \text{CGSM} \end{aligned}$$

$$J'_r = \frac{5\varepsilon R^3}{V} (S_2 - S_1) \cdot 10^6 \text{CGSM}$$

程序: f(ABCDE) = 5 E D y^x 3 * (2 A - B - C) : F G
STO H , x^-1 * exp 6 + I **STO** I 5 E D y^x 3 *
 (C - B) : F , : H) x^2 + J **STO** J 2 ndF ▶
 3 : (I - 4 π) EXP 6 , * √ J .

说明: 这个程序应用了赋值语句, 调用语句和分区编制。第一区为沿三轴计算三次, 第二区计算一次, 即为一块标本的计算成果, 由此可知程序分区的灵活性。另外, 可以看出在第一区内计算

$$\text{公式: } |Z(\omega)| = 2\pi M_s \omega e^{-H\omega}$$

程序: **STO** I 2 E I D * e^x (-) H I D , I + 1

说明: E = M_s, J = S I D = ω = I Δω, I = 1, 2, ……

$$D = \Delta\omega \frac{2}{(2N+1)\Delta x}, \quad \Delta x \text{ 为点距。}$$

计算剖面全长为: 2L = (2N+1) Δx

A B C
D E F
G H I

E 位于圆心, 计算点所在的位置, B, D, F, H 位于半径为 r (令 r = 1) 的圆周上, A, G, I, C 位于 r = √2 的圆周上, 将此九个点分配给相应的存储器, 则

$$\bar{Z}(r) = (B + D + H + F) : 4$$

$$\bar{Z}(\sqrt{2}r) = (A + C + I + G) : 4$$

程序:

对于近似等轴状的标本, 可加退磁系数改正, 改正的公式如下:

$$\kappa = \frac{3}{(1/\kappa'_x) + (1/\kappa'_y) + (1/\kappa'_z) - 4\pi}$$

$$J_{ri} = \frac{\kappa}{\kappa'_i} J'_{ri} = \frac{J'_{ri}}{\kappa'_i} \cdot \kappa$$

$$J_r = (J_{rx}^2 + J_{ry}^2 + J_{rz}^2)^{1/2}$$

存储器分配

S₀ ▶ A, S₁ ▶ B, S₂ ▶ C, R ▶ D
ε ▶ E, V ▶ F, Z₀ ▶ G

的成果, 分别存贮到 I, J 两个存储器, 在第二区计算时可以调用。

5. 磁异常振幅谱的计算

(1) 垂直磁化水平圆柱体

(2) 垂直磁化水平薄板

公式: $|Z(\omega)| = 2\pi M_s e^{-H\omega} \frac{\sin B \omega}{B}$

程序: STO I 2 π E * e^x (-) H I D X sin B I D : B , I + I

(3) 垂直磁化无限延深直立薄板

公式: $|Z(\omega)| = 2\pi M_s e^{-H\omega}$

程序: STO I 2 π E * e^x (-) H I D , I + I

(4) 顺层磁化无限延深薄板

公式: $|Z(\omega)| = 2\pi M \sin \alpha e^{-H\omega}$

程序: STO I 2 π E * sin B * e^x (-) H I D , I + I

结 束 语

1.本计算器,可以进行程序运算,但不用学习任何算法语言知识。程序编制容易,基本上根据所要计算的数学模型。

- 2.磁法野外数据的整理,以及常规的磁异常推断解释方法,均可应用本计算器来完成。
3.携带方便,适于野外使用。
4.价格便宜,适于普及推广。

边界元法及其在物探工作中的应用

王 书 惠

边界元法在数值解法中利用拉普拉斯方程的基本解和格林公式,简单易行,可以解决物性参数分区均匀的一类正演问题(电法和重、磁法勘探问题),也可计算向上延拓。特别是将它与有限元法结合,解决复杂边值问题,可取得较理想的效果。

边界元法的基本计算方法有直接法和间接法两种。

边界元法的直接法

现以磁法勘探正问题为例来说明。

解磁法正问题可归结为在求解区域Q上解拉普拉斯方程的边值问题,并可用边界元法求解,先求出边界面上各点的磁位和磁位的法向导数,然后通过调和函数与边值间的函数关系,算出磁性介质内外各点的磁位,进而求出各点的磁场强度。由于磁位是实际存在的物理量,故称其为边界元法的直接法 具体作法如下。

考虑磁性介质中导磁率μ的分布是分区均匀的情况,每一个μ值相同的区称为磁性的子区Qi,包围每个子区的封闭界面称为该子区的边界Si+,子区之间可以是衔接的,也可以是分离的,但不相交;磁介质可以由一个或几个这样的磁性子区组成。在这些磁性子区外部是无穷大的无磁性空间Q0,称它为外区。包围它的边界是无穷大的封闭曲面S∞和与各磁性子区边界面Si+相重合的Si-,Si+和Si-为曲面Si的外侧面和内侧面,整个求解区域Q由外区Q0和若干个

磁性子区Qi构成,记为Q = Q0 + Σ Qi, Q的完整边界S是Q0的边界和各个Qi的边界的总体,记为

S = S∞ + Σ Si- + Σ Si+

总磁位U在各子区中均满足拉普拉斯方程,在Q中连续,特别是在各边界上连续,U是调和函数。