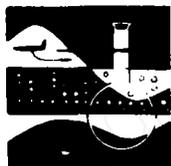


一种简易的电测深曲线自动反演方法

罗德传

(秦皇岛冶金地质职工大学)

该方法原理简单, 直观适用, 反演精度高, 速度快。只需对曲线分段即可进行单参数(电阻率 ρ , 或层厚 H) 自动反演, 不求解方程组。文中附有在 PC-1500 计算机实现反演的计算程序对各类型电测深曲线反演, 都能取得满意的效果。



物探与化探

电测深曲线通常利用 ρ (电阻率) 或 T (电阻率转换) 曲线, 在计算机上自动反演进行推断解释。反演的方法有最小二乘法、梯度法、修改的马奎特法、变尺度法等。本文提出了一种简单的自动反演方法, 所附 PC-1500 计算机程序, 可供野外使用。

方法原理

(一) 正演计算 水平层状介质对称四极法电测深的积分关系式(当 $MN \rightarrow 0$ 时)可表示为:

$$\rho_a(r) = r^2 \int_0^\infty T_1(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda \quad (1)$$

式中, $r = AB/2$, λ 为参变量, 其量纲为 1/米, $J_1(\lambda r)$ 为一阶贝塞尔函数, $T_1(\lambda)$ 称为理论转换电阻率。

在上式中, 对理论转换电阻率 $T_1(\lambda)$ 进行积分, 便可以算出理论电阻率 $\rho_a(r)$ 。但是直接对该式积分较为困难, 所以采用数字滤波方法运算。经过代换、褶积等一系列运算后, 可得到离散化的数字滤波形式如下:

$$\rho_a(i) = \sum_{K=K_1}^{K_2} T_1[(i-K)\Delta + s] \cdot c(K\Delta - s) \quad (2)$$

式中, Δ 为取样间隔, i 为取样点号, c 为滤波

系数, K 是它的序号, s 是位移。

实际转换电阻率 T_s 也可以通过实测视电阻率 ρ_s 滤波得到, 即:

$$T_s(i) = \sum_{K=K_1}^{K_2} G(K) \cdot \rho_s(i-K) \quad (3)$$

式中, $G(K)$ 为转换电阻率的滤波系数, K 是它的序号, i 为取样点号。

理论转换电阻率的递推公式(由下而上)如下:

$$T_N = \rho_N \quad (4)$$

$$T_j(i) = \rho_j \frac{\rho_j + T_{j+1}(i) - [\rho_j - T_{j+1}(i)]e^{-2\lambda_i h_j}}{\rho_j + T_{j+1}(i) + [\rho_j - T_{j+1}(i)]e^{-2\lambda_i h_j}} \quad (5)$$

$$\lambda_i = e^{-(i\Delta + s)} = D \cdot 10^{-i/w} \quad (6)$$

上式中 D 为位移常量, w 为取样间隔划分方式特征量(如 $w = 3, 4, 5, 6, \dots$ 等)。

(二) 反演拟合的实现 对于任一条电测深曲线来说, 总会有某一段曲线对某一层参数的改变反应特别明显, 而对其他层层参数的改变反应较为迟缓, 也就是说, 一个电性层对应着一段测深曲线段。由此就可以建立电性参数和测深曲线上的各曲线段——对应的关系。在反演拟合中, 如果理论曲线和实测曲线的某一段重合不好, 误差大时, 则修改这段理论曲线所对应的层参数, 而其他的层参数不变。如果整条曲线都重合不好, 则逐段(层)修改。对于拟合精度已达到要求的曲线段, 其对应的电性参数则不用修改。整条曲

线所有的曲线段应该修改的都一一修改完毕后,再进行下一步拟合运算,求出新的拟合精度(即误差),为下次是否要修改及修改多少作准备。如此反复修改、拟合,就能使整条曲线重合或基本重合。

在反演中,各取样点的百分比相对误差可用下式计算:

$$ET(i) = \frac{\rho_s(i) - \rho_0(i)}{\rho_s(i)} 100\% \quad (7)$$

或

$$ET(i) = \frac{T_s(i) - T_l(i)}{T_s(i)} 100\% \quad (8)$$

当用 ρ 拟合时则用(7)式,当用 T 拟合时则用(8)式来计算其拟合误差。

整条曲线拟合的百分比相对总均方误差用下式计算:

$$EE = \left[\sum_{i=0}^{N_2} ET(i)^2 / 2(N_2 + 2) \right]^{1/2}$$

上式中 EE 为拟合结果的总均方误差, N_2 为最末的取样点序号(始点号为 0)。

对于层参数的修改,由电测深的基础理论可知,测深曲线普遍存在同层等值现象和混层等值现象,层数越多,等值现象越复杂。为了消除或缩小等值现象对反演拟合结果的影响,减少多解性,提高解释精度,在反演时不采用同时修改电阻率(ρ)和层厚(H)的方法,而采用单参数修改的方法来实现自动反演。

1. 自动反演求解各层电阻率 ρ : 当要反演求解各层电阻率 ρ 时,则令各电性层的层厚 H 为常量(给 H 一已知值,固定不变),而对 ρ 进行分层(段)判断和修改。当对某层的电阻率 ρ_j 进行修改时,其他层的电阻率 ρ 暂时不变,利用所算出来的拟合误差 ($ET(i)$) 进行判断,确定是否要修改。误差大的,修改步长大;误差小的,修改步长小;精度达到要求的段(层)则不修改。逐段(层)判断,修改完后,再进行下一次拟合。如此反复进行,达到目的为止。按下式修改 ρ_j :

$$\rho(j) = \rho_0(j) \cdot (1 + yy/s) \quad (10)$$

上式中 $\rho_0(j)$ 为修改前的电阻率初值, $\rho(j)$ 是修改后要进行拟合的电阻率值, yy 是某一段测深曲线范围内所有的取样点中最大的拟合误差, j 是层号 s 是根据 yy 的大小而确定的一个修改量(或分段函数),即:

100	$y < yy < 10$
200	$10 < yy < 50$
250	$50 < yy < 100$
300	$100 < yy < 150$
350	$150 < yy < 200$
400	$200 < yy < 280$
500	$280 < yy < 400$
1000	$400 < yy < 800$
3000	$800 < yy < 2500$
5000	$2500 < yy < 4000$
10000	$4000 < yy < 9000$
50000	$yy > 9000$

2. 反演求解层厚 H : 对于实际工作来说,大部分电测深曲线解释工作都是为了解层厚或目的层。当需要修改层厚时,则相应地令各层的电阻率 ρ 为常数(已知值,确定其不变),而对层厚 H 进行分层(段)修改,方法同修改 ρ 一样,但最底下一层不存在修改问题。按下式修改层厚 H :

$$H(j) = H_0(j) \cdot (1 - yy/s) \quad (12)$$

或

$$H(j) = H_0(j) \cdot (1 + yy/s) \quad (13)$$

上式中 $H(j)$ 为修改后用来拟合的层厚, $H_0(j)$ 为修改前的层厚初值, j 、 yy 和 s 含义不变。

当对某一层层厚修改时,只能选用其中的一个公式。选用修改关系式是根据下列关系式来确定的。即:

$$\Delta\rho(j) = \rho(j+1) - \rho(j) \quad (14)$$

当 $\Delta\rho(j) > 0$ 时,第 j 层层厚的修改则选用(12)式,当 $\Delta\rho(j) < 0$ 时,第 j 层层厚的修改则选用(13)式。式中的 $\rho(j+1)$ 和 $\rho(j)$ 是相邻两层的电阻率。对于三层和四层的测深曲线,各层层厚的修改选用公式可参看表 1。

表 1

曲线类型	第一层	第二层	第三层
A	(12)	(12)	
Q	(13)	(13)	
HK	(13)	(12)	(13)
KH	(12)	(13)	(12)
HA	(13)	(12)	(12)
KQ	(12)	(13)	(13)
K	(12)	(13)	
H	(13)	(12)	
AK	(12)	(12)	(13)
QH	(13)	(13)	(12)
AA	(12)	(12)	(12)
QQ	(13)	(13)	(13)

段的划分方法

段的划分是根据曲线类型特征进行分析判断的。段(层)的划分准确与否是自动反演能否成功的重要方面。如果段(层)划分准确,则只需选用其中最敏感的几个取样点就可以了。这样还可以避开一些干扰。段的划分比较复杂。现提出以下三种方法供试用:

(一) 根据 ρ_s 曲线分段 这是根据 ρ_s 数据和曲线形态分段的基本方法。这种方法对于只含K、H类型的曲线很适用。在修改 ρ 时,选取曲线极值点左右的一小段,最末(底)一层则选在最末的一段。如果是A、Q型曲线,则选在拐点附近,或按第2或第3种方法分段。当修改H时,对于出现极大值的曲线段,宜选在其下降支的拐点附近;对于出现极小值的曲线段,宜选在其上升支的拐点附近。如果是平缓段,则宜选在由平缓段到下一段的转折处附近。

(二) 根据一次微商分段 我们设 ρ_s 的一次微商为 $d\rho_s(i)$,则可以近似地表示为:

$$d\rho_s(i) = \frac{\rho_s(i) - \rho_s(i - \Delta x)}{\Delta x} \quad (15)$$

$$\text{若令 } \Delta x = 1 \quad (16)$$

则得:

$$d\rho_s(i) = \rho_s(i) - \rho_s(i - 1) \quad (17)$$

分段时,就是根据 $d\rho_s(i)$ 数据将曲线进行分段。 $d\rho_s(i)$ 相等的可作为修改 ρ 的段,等 $d\rho_s(i)$

的后相邻段点(紧接等 $d\rho_s(i)$ 段处)可作为修改H的分段。但是如果等 $d\rho_s(i)$ 段之后 $d\rho_s(i)$ 变号,则修改H时不宜选后段,而选本段。

(三) 根据二次微商分段 我们设 ρ_s 的二次微商为 $d^2\rho_s(i)$,则可以近似地表示为:

$$d^2\rho_s(i) = \frac{d\rho_s(i) - d\rho_s(i - \Delta x)}{\Delta x} \quad (18)$$

$$\text{若令 } \Delta x = 1 \quad (19)$$

则得:

$$d^2\rho_s(i) = d\rho_s(i) - d\rho_s(i - 1) \quad (20)$$

利用 $d^2\rho_s(i)$ 分段的方法与利用 $d\rho_s(i)$ 的分段方法基本相同。

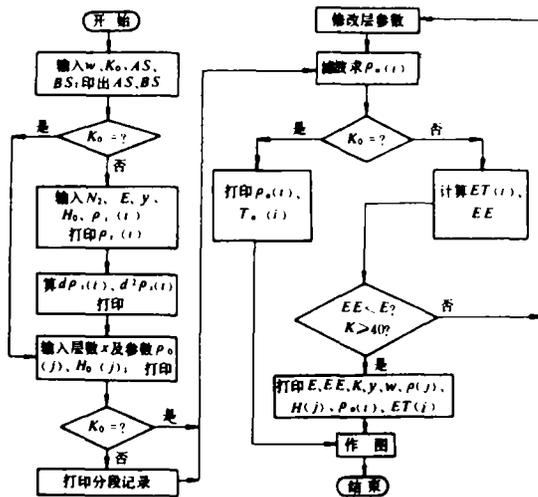
用一种分段方法进行反演后,在分段选点范围内取样点的相对误差均应小于设计值,如在附近连续范围内有些取样点的相对误差大于设计值,这时可以修改取样分段范围,进行扩充增点,再进行反演,最后达到全线各点都达到设计精度。例如,某一分段选点范围为12~14,这三点的拟合精度已达到要求,但是左边11、10两点的拟合误差大于设计要求时,则可修改分段选点范围,扩展为10~14。或者是右边15、16等点的拟合误差大于设计要求时,则将修改分段选点范围,扩展为12~16。但是须注意两点:一是能扩充增点的误差值符号必须与原分段范围内的取样点拟合误差符号相同;二是当上述两种情况同时出现时,只能向一边扩充增点,这就需要根据变化规律选择扩展方向。

在反演时,最初可以把要求的精度放低少许,即是说允许误差放大一些,当拟合达到这个要求时,再接着提高精度,缩小允许误差范围,并可以根据反演情况适当调整分段选点范围,继续进行反演拟合。这样做有利于反演的顺利进行。也就是逐步求精。

上述只是一般规律,特殊或例外情况在此就不多述了,在反演中应加以注意。

计算程序结构图

根据上述方法原理,编制了 ρ 拟合的PC-1500计算机程序,其结构图如下:



计算程序

PC—1500计算机打印出的程序如下:

```

50: "PA-83": CLEAR          .482: C(10)=1.8
   : WAIT 100:              371: C(11)=0.64
   : PRINT "                48
   PA-83": WAIT 0          87: C(12)=0.1686: C
60: INPUT "W="; W, "      (13)=0.0168: C(
   Ko="; K0                14)=0.0098:
62: IF W=3 LET K1=3       GOTO 95
   : K2=5: M=20: N=8       90: C(0)=-0.000318
   : D=0.9524: GOTO       (13)=0.002072
70                          : C(2)=-0.00497
64: IF W=4 LET K1=2       8: C(3)=0.01125
   : K2=12: M=30: N=      : C(4)=-0.02521
   : 14: D=0.8224:        91: C(5)=0.05812: C
   GOTO 70                 (6)=-0.1436: C(
66: IF W=6 LET K1=5       7)=0.393: C(8)=
   : K2=14: M=43: N=     -1.1324: C(9)=2
   : 19: D=1.1396        .7044: C(10)=-3
70: DIM R(10), H(10)     .4507
   , TA(M), PA(M-N)      92: C(11)=0.4248: C
   , PS(M-N), ET(M-N)   (12)=1.1817: C(
   , C(N), Y(10)         13)=0.6194: C(1
   , DP(M-N), DD(M-N)   4)=0.2374: C(15
75: IF W=3 THEN 80        )=0.08688
77: IF W=4 THEN 85        93: C(16)=0.0235: C
79: IF W=6 THEN 90        (17)=0.01284: C
80: C(0)=0.0148: C(      (18)=-0.001198
   1)=-0.0814: C(2)     : C(19)=0.00304
   )=0.4018: C(3)=      2
   -1.5716: C(4)=1     95: INPUT "A$="; A$
   .972: C(5)=0.18      96: INPUT "B$="; B$
   54                    100: LPRINT " "; A
82: C(6)=0.1064: C(      $: LF 1: LPRINT
   7)=-0.0499: C(8)     " "; B$: LF 2
   )=0.0225: GOTO      105: IF K0=0 THEN 12
95                          0
85: C(0)=0.0055: C(      110: INPUT "N2="; N2
   1)=-0.0086: C(2)     , "E="; E, "Y="; Y
   )=0.0136: C(3)=     , "H0="; H0
   0.0225: C(4)=0.      114: FOR I=0 TO N2:
   0.0387: C(5)=-0.      PRINT "P_s("; I;
   7                     ")="; INPUT PS
86: C(6)=0.1402: C(      (I)
   7)=-0.347: C(8)     115: LPRINT "P_s("; I
   )=1.057: C(9)=-2     ; "="; PS(I):
                           CLS : NEXT I: LF
50: "PA-83": CLEAR          .482: C(10)=1.8
   : WAIT 100:              371: C(11)=0.64
   : PRINT "                48
   PA-83": WAIT 0          87: C(12)=0.1686: C
60: INPUT "W="; W, "      (13)=0.0168: C(
   Ko="; K0                14)=0.0098:
62: IF W=3 LET K1=3       GOTO 95
   : K2=5: M=20: N=8       90: C(0)=-0.000318
   : D=0.9524: GOTO       (13)=0.002072
70                          : C(2)=-0.00497
64: IF W=4 LET K1=2       8: C(3)=0.01125
   : K2=12: M=30: N=      : C(4)=-0.02521
   : 14: D=0.8224:        91: C(5)=0.05812: C
   GOTO 70                 (6)=-0.1436: C(
66: IF W=6 LET K1=5       7)=0.393: C(8)=
   : K2=14: M=43: N=     -1.1324: C(9)=2
   : 19: D=1.1396        .7044: C(10)=-3
70: DIM R(10), H(10)     .4507
   , TA(M), PA(M-N)      92: C(11)=0.4248: C
   , PS(M-N), ET(M-N)   (12)=1.1817: C(
   , C(N), Y(10)         13)=0.6194: C(1
   , DP(M-N), DD(M-N)   4)=0.2374: C(15
75: IF W=3 THEN 80        )=0.08688
77: IF W=4 THEN 85        93: C(16)=0.0235: C
79: IF W=6 THEN 90        (17)=0.01284: C
80: C(0)=0.0148: C(      (18)=-0.001198
   1)=-0.0814: C(2)     : C(19)=0.00304
   )=0.4018: C(3)=      2
   -1.5716: C(4)=1     95: INPUT "A$="; A$
   .972: C(5)=0.18      96: INPUT "B$="; B$
   54                    100: LPRINT " "; A
82: C(6)=0.1064: C(      $: LF 1: LPRINT
   7)=-0.0499: C(8)     " "; B$: LF 2
   )=0.0225: GOTO      105: IF K0=0 THEN 12
95                          0
85: C(0)=0.0055: C(      110: INPUT "N2="; N2
   1)=-0.0086: C(2)     , "E="; E, "Y="; Y
   )=0.0136: C(3)=     , "H0="; H0
   0.0225: C(4)=0.      114: FOR I=0 TO N2:
   0.0387: C(5)=-0.      PRINT "P_s("; I;
   7                     ")="; INPUT PS
86: C(6)=0.1402: C(      (I)
   7)=-0.347: C(8)     115: LPRINT "P_s("; I
   )=1.057: C(9)=-2     ; "="; PS(I):
                           CLS : NEXT I: LF
6
116: LPRINT " I
   dp(I) dd(I)":
   LF 1: FOR I=0 TO
   N2: IF I=0 GOTO
   118
117: DP(I)=PS(I)-PS
   (I-1): DD(I)=DP
   (I)-DP(I-1)
118: LPRINT USING "
   ####"; I; USING "
   #####. #"; DP(I)
   ); USING "#####
   . #"; DD(I): NEXT
   I: USING : LF 6
120: BEEP 6: INPUT "
   X="; X
130: COLOR 3: LPRINT
   " I Ro(I)
   Ho(I)": LF 1
140: FOR J=1 TO X
145: PRINT " Ro("; J
   ); "="; INPUT R
   (I): CLS
150: IF I=X THEN 160
155: PRINT " Ho("; I
   ); "="; INPUT H
   (I): CLS
160: LPRINT USING "
   ####"; I; USING "
   #####. #"; R(I)
   ;
165: IF I=X THEN 180
175: LPRINT USING "
   #####. #"; H(I)
180: USING : NEXT I:
   TEXT : LF 3
185: IF K0=0 COLOR 1
   : GOTO 200
190: LLIST 900: LF 2
   : EE=0: K=0
200: BB=0: PAUSE "
   K="; K; " EE
   ="; INT (EE*10+
   0.5)/10: FOR I=
   0 TO M-N: TA=R(X
   ): F=D*10^(-I/W
   )
220: FOR J=X-1 TO 1
   STEP -1
230: P=R(J): H=H(J):
   G=EXP (-2*F*H)
   : R=(P-TA)*G: TA
   =P*(P+TA-R)/(P
   +TA+R): NEXT J
280: TA(I+K2)=TA:
   NEXT I
300: FOR I=0 TO K2-1
   : TA(I)=TA(K2)
315: IF I>K1 THEN 33
   0
320: TA(M-N+K2+I)=T
   A(M-N+K2)
330: NEXT I
335: U=0: IF K0<>0
   GOTO 360
350: BEEP 6: LPRINT
   " I Ta(I)
   Pa(I)": LF 1
360: FOR I=0 TO M-N:
   B=0
370: FOR J=0 TO N: B=
   B+TA(I+J)*C(J)
   : NEXT J: PA(I)=
   B
400: IF K0<>0 GOTO 4
   10
405: LPRINT USING "
   ####"; I; USING "
   #####"; TA(I+
   K2); USING "###
   ###. #"; PA(I)
410: NEXT I: USING
415: IF K0=0 LET N2=
   M-N: LF 6: GOTO
   445
420: FOR I=0 TO N2: E
   T(I)=(PS(I)-PA
   (I))/PS(I)*100
   : U=U+ET(I)*ET(

```

```

1):NEXT I
425:EE=INT (J(U/(2
*(N2+2))) *10+0
.5)/10
426:IF EE<EGOTO 43
0
428:IF K=5OR K=20
OR K)=40GOTO 4
30
429:BEEP 7:PAUSE "
K+1=";K+1;
" EE=";INT
(EE*10+0.5)/10
:GOSUB 550:
GOTO 200
430:LPRINT " E=";E
;" EE=";EE:
LPRINT "K=";K;
" Y=";Y;" W="
;"W:LF 2
435:LPRINT " I
R(I) H(I)":
LF 1:FOR I=1TO
X-1
436:LPRINT USING "
####";I;USING "
#####. #";R(I)
;USING "#####.
#";H(I):NEXT I
437:LPRINT USING "
####";X;USING "
#####. #";R(X)
:USING :LF 4
438:IF BB=5GOTO 44
0
439:BEEP 6:IF EE>E
AND K<40GOTO 4
29
440:LPRINT " I
Pa(I) ET(1)%" :
LF 1
441:FOR I=0TO N2:
LPRINT USING "
####", I;USING "
#####. #";PA(I)
;USING "#####.
. #";ET(I):NEXT
1:USING :BEEP
9:LF 6
445:GOSUB 800:
GRAPH :
GLCURSOR (8, 0)
:SORGN
450:LINE -(205, 0)-
(190, 4)-(190, -
4)-(205, 0), 0, 2
455:GLCURSOR (190,
20):ROTATE 1:
CSIZE 1:LPRINT
"Pa":GLCURSOR
(190, -10):
LPRINT "Ps"
460:FOR I=50TO 200
STEP 50:LINE (
1, 0)-(1, -4), 0,
2:LPRINT INT (
I*YB):NEXT I
475:GLCURSOR (185,
-85):LPRINT B$
477:LINE (155, -85)
-(155, -125), 0,
1:LPRINT "Pa":
LINE (135, -85)
-(135, -125), 3,
3:LPRINT 'Ps"
480:LINE (0, 0)-(0,
-460)-(4, -445)
-(4, -445)-(0,
-460), 0, 2:
LPRINT "AB/2"
490:FOR I=1TO N2:
LINE (0, -1*XB)
-(4, -1*XB), 0, 2
:A=1/W
500:IF A<>INT (1/W
)THEN 505
503:GLCURSOR (4, -1
*XB+10):LPRINT
I
505:NEXT I
520:FOR I=0TO N2-1
:LINE (PA(I)/Y
B+30, -1*XB)-(P
A(I+1)/YB+30, -
(1+1)*XB), 0, 1:
NEXT I
526:IF K0=0TEXT :
LF 2:GOTO 540
530:FOR I=0TO N2-1
:LINE (PS(I)/Y
B+30, -1*XB)-(P
S(I+1)/YB+30, -
(1+1)*XB), 3, 3:
NEXT I
532:TEXT :COLOR 0:
IF EE<EOR K)=4
0OR BB=5GOTO 5
40
535:LF 12:GOSUB 55
0:GOTO 200
540:LF 6:END
550:RESTORE :FOR J
=1TO X:YY=Y:IF
J=XAND H0<>0
GOTO 720
555:READ X1, X2
570:FOR I=X1TO X2
585:IF ABS (ET(I))
<=YGOTO 620
590:Z=ET(I)
600:IF ABS (Z)<ABS
(Y)GOTO 620
620:NEXT I
625:Y(J)=YY
630:IF ABS (YY)<=Y
GOTO 720
634:IF ABS (YY)>10
GOTO 640
636:S=100:GOTO 710
640:IF ABS (YY)>50
GOTO 650
645:S=200:GOTO 710
650:IF ABS (YY)>10
0GOTO 660
655:S=250:GOTO 710
660:IF ABS (YY)>15
0GOTO 670
665:S=300:GOTO 710
670:IF ABS (YY)>20
0GOTO 680
675:S=350:GOTO 710
680:IF ABS (YY)>28
0GOTO 690
685:S=400:GOTO 710
690:IF ABS (YY)>40
0GOTO 700
695:S=500:GOTO 710
700:IF ABS (YY)>80
0GOTO 702
701:S=1000:GOTO 71
0
702:IF ABS (YY)>25
00GOTO 704
703:S=3000:GOTO 71
0
704:IF ABS (YY)>40
00GOTO 706
705:S=5000:GOTO 71
0
706:IF ABS (YY)>90
00GOTO 708
707:S=10000:GOTO 7
10
708:S=50000
710:IF H0=0GOTO 71
7
712:DR=R(J+1)-R(J)
:IF DR<0GOTO 7
15.
714:H(J)=(1-YY/S)*
H(J):GOTO 720
715:H(J)=(1+YY/S)*
H(J):GOTO 720
717:R(J)=(1+YY/S)*
R(J)
720:NEXT J
725:IF ABS Y(1)>Y
OR ABS Y(2)>Y
OR ABS Y(3)>Y
OR ABS Y(4)>Y
OR ABS Y(5)>Y
OR ABS Y(6)>Y
GOTO 730
726:IF ABS Y(7)<=Y
AND ABS Y(8)<=
YAND ABS Y(9)<
=YLET BB=5:
GOTO 430
730:BEEP 6:K=K+1:
RETURN
800:Y1=PS(1):Y2=PA
(1):D1=Y1:D2=Y
2:IF K0=0LET N
2=M-N
805:FOR I=0TO N2:
IF PS(I)>Y1LET
Y1=PS(I)
806:IF PS(I)<D1LET
D1=PS(I)
810:IF PA(I)>Y2LET
Y2=PA(I)
812:IF PA(I)<D2LET
D2=PA(I)
815:NEXT I:IF Y1>Y
2LET MA=Y1:
GOTO 822
820:MA=Y2
822:IF D1<D2LET MD
=D1:GOTO 825
823:MD=D2
825:YB=(MA-MD)/150
:XB=480/N2
850:RETURN
900:DATA 1, 4, .....

```

字符串、数组和变量说明

A\$ — 解释日期,

B\$ — 测深点编号或曲线类型.

R (10) — 一层电阻率数组.

H (10) — 一层厚数组,

Y (10) — 中间工作单元数组,

C (N) — 滤波系数数组,

T A (M) — 转换电阻率数组,

P A (M - N) — 理论电阻率数组,

P S (M - N) — 实测取样电阻率数组,

ET(M-N) -- 取样点拟合误差数组。
 DP(M-N) -- $\rho, (i)$ 一次微商数组。
 DD(M-N) -- $\rho, (i)$ 二次微商数组。
 W—取样间隔划分方式特征量。
 K₀—计算方式控制量。
 H₀—单参数反演选择方式控制量。
 E—百分比相对总均方差 (设计精度)。
 EE—解算结果百分比相对总均方差。
 Y—取样点拟合百分比相对误差 (设计精度)。
 K—拟合次数。
 N₂—最末取样点顺序号。

程序使用说明

1. 开机, 在“PRO”模式下键入计算程序; 在“RUN”模式下键入“RUN”命令, 使程序运行。

2. 根据程序框图, 字符串、数组和变量说明、程序使用说明及计算机的显示提示, 分别输入各有关量值, 使计算机正常往下运行。

3. 如果采用六点式取样间隔划分方式, 则对w赋给6; 如果是采用四点式或三点式, 则对w赋给4或3。

4. 当要进行理论电阻率 ρ_0 的计算时, 对K₀控制量赋给零即可; 若进行反演拟合, 则对K₀控制量赋给非零值即可。

5. 进行反演拟合时, 以 $r(AB/2) = 1$ 米极距为零号取样点开始取样 (若未达到时则应向

前推到 $r = 1$ 米处的零号点为止), 直到末点N₂。

6. 如果是反演求解各层电阻率 ρ , 则给H₀赋零; 反之若是反演求解各层厚度或目的层厚度, 则给H₀赋给非零值即可。

7. 在进行反演之前, 应先将所需要反演的曲线进行圆滑处理和分段, 选好各小分段的 (有代表性的) 起、止点, 由小到大逐一键在900语句的“DATA”之后。

计算情况简介

利用文中所附程序, 系统地反演了16条三层的理论曲线, 24条四层的理论曲线, 少量五层和六层的理论曲线及实测曲线, 结果都令人满意。现将三层理论曲线的反应情况简介如下。

对三层的理论曲线, 每条曲线分别按A、Q、K、H四种不同类型的组合模型进行了电阻率 ρ 和层厚H单参数的反演验证。详细的反演见下面的实例。在反演中, 所给电阻率 ρ 的初值(20 $\Omega \cdot m$) 与真值(25000 $\Omega \cdot m$) 相差1250倍, 而绝对差值为24980 $\Omega \cdot m$ (反演的终值为22675 $\Omega \cdot m$)。所给层厚H的初值(350米) 与真值(2米) 相差175倍 (反演的终值为2.0米); 最大绝对差值为980米 (真值为20米, 初值给1000米, 反演得出的终值为20.4米)。各种三层理论曲线结构类型及反演精度见表2。

表 2

类型	A				Q			H				K				
μ_1	10	2	2	100	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{20}$	15	200	2	3	$\frac{50}{2}$
μ_2	20	2	200	50	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{100}$	100	15	2000	1000	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{500}$
ν	20	1	2	20	100	5	10	50	2	100	$\frac{1}{2}$	3	50	2	$\frac{1}{5}$	300
ϵ (%)	5.7	5.9	10.0	8.1	1.5	2.6	2.2	3.9	1.5	10.1	2.7	2.3	2.5	3.8	10.3	1.2

注: ϵ 为各层参数的理论值与反演结果的相对误差的平均值

算 例

以三层理论曲线H—1/30—15—②为例, 分别按H、K、A、Q四种类型的初值进行反演拟

合。模型的组合情况、反演精度、反演次数 (一次拟合需时间40秒左右) 见表3和表4。

另两例是四层的理论曲线, 按AA、KH、QQ、HA四种组合模型进行单参数反演求解 ρ

或 H 。给定各组初值求解，所得结果与理论值相差 3% 左右。为节约篇幅，恕不一一列出。

表 3

理论值 H_0 不变	理论值 ρ_0	$K = 15, EE = 0.6$		$K = 10, EE = 0.6$		$K = 9, EE = 0.6$		$K = 8, EE = 0.2$	
		ρ_0	$\rho_{\text{算}}$	ρ_0	$\rho_{\text{算}}$	ρ_0	$\rho_{\text{算}}$	ρ_0	$\rho_{\text{算}}$
10	100	5	99.5	180	98.6	5000	99.0	30	99.5
20	3.3	1	3.3	700	3.3	200	3.3	100	3.2
	50	3	49.5	130	49.4	20	49.3	2000	49.7

注：表中 K 为拟合次数， EE 为反演结果的总均方差

表 4

理论值 ρ_0 不变	理论值 H_0	$K = 14, EE = 1.4$		$K = 20, EE = 1.9$		$K = 24, EE = 1.4$		$K = 11, EE = 1.4$	
		H_0	$H_{\text{算}}$	H_0	$H_{\text{算}}$	H_0	$H_{\text{算}}$	H_0	$H_{\text{算}}$
100	10	1	9.6	45	10.3	70	10.3	2	9.7
3.3	20	3	19.9	130	20.2	5	20.1	200	20.3

从以上三个例子可看出，本文所介绍的方法原理是可行的，方法简单、直观适用。程序合理、适用。以各种初值组合成不同类型的电测断面进行反演拟合，都能取得理想的效果。在反演中，所给初值虽然改变了曲线类型，特意增大初值与真值的差距，但反演仍取得理想的结果。在实际解释中所给初值与曲线类型应力求符合实际情况，使解释精度有所保证。当然，自动反演成功与否

关键还在于层段的划分，所给初值与真值的误差大小不仅对反演计算速度有影响，对反演成功与否也存在影响。即使层段的划分不太准确，但如果所给初值误差不大，也能取得较好的效果。总之，两者的作用都很重要，必须掌握好。方法的应用条件与电测深曲线其他解释方法相同。

研究过程中，得到程方道、徐济民和王文辉等同志的指导，在此表示感谢。

A Simple Method for the Automatic Inversion of Electrical Sounding Data

Luo Dechuan

(Qinhuangdao Professional College of Geology, Ministry of Metallurgical Industry)

Abstract

The method we developed is very simple in underlying principle, straightforward, practical, rapid and accurate for inversion, and thus superior to other conventional inversion methods. The sounding curve is only required to be segmented for single parameter (apparent resistivity or layer thickness) automatic inversion, without the necessity of solving the system of equations. An inversion computer program for PC-1500 pocket calculator is provided. Satisfactory results have been obtained by using this program for inversion of different types sounding curves.