裂纹深度刻度曲线的数学模型与计算机程序

方志成　　陆丽华

（华侨大学）　　（上海交通大学）

摘　要

本文应用数理统计和计算机技术，求出裂纹深度刻度曲线的数学模型，并设计了一套完整的计算机程序，解决了裂纹深度测量仪的刻度问题，也为今后探伤仪器配置微型计算机提供理论基础。

一、目前裂纹深度测量仪刻度曲线所存在的问题

裂纹深度的精确测量是无损探伤技术的一项重要课题。电位法的裂纹深度测量仪通常是用电压比 $X=U/U_0$（U^0：对应无裂纹的电压值，U：有裂纹的电压值）来对应出裂纹深度y。为着能得到精确的测量结果，仪器刻度曲线的标定是一件很关键的工作。但是，由于电压比x非但与裂纹深度y有关，还与试件的材质（主要指导磁率、导电率）、几何尺寸（主要指厚度宽度）等等因素有关。被测对象的材质和尺寸又是品种繁多，因此使得 y 与x 的机理关系非常复杂而且对不同材质或尺寸的试样。同样裂纹深度y所对应的电压比x 值可能差异很大，数据具有相当大的离散性，所以不可以只用一个数学模型来代表所有不同材质和尺寸的y—x刻度曲线。

目前有些裂纹深度测量仪，根据某一特定（即一种材质，一种尺寸）的标准试块来进行刻度，这样，当被测对象的材质和尺寸与标准试块差异甚大时，往往会出现大的误差，使测量失去现实意义。为此，文中提出了一种新的刻度曲线标定方法，这种方法首先要研制各种具有代表性的材质尺寸的标准试块，並进行必要的分类（即统计样本的分类），设分为H类，然后进行严格测试，取得大量数据。应用数理统计原理，通过电子计算机进行数据处理，求出H个统计样本对应的H个回归方程的数学模型。由此，则可得出H根刻度曲线。如果以最常用的一根刻度曲线做为基本刻度，那么也不难从其余的刻度曲线求出各自相应的的校正系数（或校正曲线）。

由于数理统计建立在大量实验数据的基础上，因此要得到可靠的统计样本数据，必须具备下列三个条件：

1、要有一台高精度（即重复性很好）的裂纹深度测量仪，才能得到可靠的统计样本数

据。作者根据“电位法裂纹深度测量仪”一文所研制的仪器，精密度在±1%以内，因此基本上可达到要求。

2、要研制具有各种代表性的材质和尺寸的标准试块，这样，统计样本的数据才具有代表性。但是，应该指出的，研制大量标准试块*，其经济投资及工作量之浩大是惊人的。目前我们因限于条件，标准试块还不可能一下子研制得很多，这样将影响求出的数学模型的准确度。但这並不影响本文提出的整套新的标定理论及数据处理方法。

3、以裂纹深度y做为置定值，並用比测量x精确度高得多的测试手段来读取y的数据。由于采用了工具显微镜，误差可控制在±0.5%以内，因此可认为y的误差相对x而言可以忽略。

此外，数据的处理还需要用计算机，因为根据实践结果，$y-x$刻度曲线是两端稍向同一方向弯曲，而中间一小段稍为接近直线，因此数学模型含有奇偶次项，逼近到四次多项式较为精确。如果用人工计算，则计算工作量非常浩大，而且由于有效位数的限制，在整个运算过程中，四舍五入累积起来的误差可能相当可观。如果采用电子计算机，非但免除浩大的计算工作，而且能够得到较精确的运算结果。

统计样本的选取也是一个很重要的问题，一般可按使用要求来分类：

1、希望较有普遍代表性，但准确度要求不是很高场合

由于仪器采用较高的测试频率（1003HZ），使得尺寸的影响比起材质的影响要小些，因此在准确度要求不是很高的场合，可以按材质来分类，将同一种材质而不同尺寸的各种标准试块归并为一类统计样本。由于常用材质种类不太多，因此所对应的数学模型也不会太多。

2、要求准确度较高场合

除了按材质分类外，也按尺寸适当分类，这样统计样本数量要比(1)的分类法增加很多，所对应的数学模型也相应地增加很多，如果裂纹深度仪配有微型计算机，采用这种分类法较为理想。

3、要求精确度很高的场合：

可根据被测对象进行实体标定，求出专用的数学模型，这在断裂力学的研究中，经常可采用这种标定方法。

二、数据的处理对象及原理

本文提出的数据处理方法及计算机程序，对上述三种分类法都同样适用，仅是在实例运算时采用第一种分类法数据。

1、仪器的精密度（即测量数据的重复性）

影响仪器测量数据的重复性，主要是随机误差的存在，因此数据的离散是属于正态分布的。测试方法，可在同一测试条件下，对某一个量x进行一系列N次等精度的测量，测得结果为x_1，x_2……，其平均值x及标准离差S分别为：

$$\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i \tag{1}$$

*承上海探伤机厂协作研制大量标准试块。

$$S=\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}(xi-\bar{x})^2} \tag{2}$$

S乃是衡量仪器精密度的指标，S越小表示仪器的重复性越好。

2、仪器的不等精度测量：

对同一个量x，规定每隔$\triangle T$时间进行一次测试，共测得N个数据，从其离散程度可观察仪器读数的重复性受温度漂移的影响程度。

$$S_T=\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(xi-x)^2} \tag{3}$$

3、求刻度曲线的数学模型（按第一种分类法）

按第一种分类法，设共测得N对（y_n，x_n）数据，$n=1, 2, \cdots\cdots, N$。一般地说，函数$y=f(x; a_0, a_1, a_2\cdots\cdots)$总可以用一个含有$M+1$个参数的M阶多项式来逼近，($M+1<N$)，即

$$\begin{aligned} y &= f(x; a_0, a_1, a_2, \cdots\cdots) \\ &= a_0+a_1x+a_2x^2+\cdots\cdots+\cdots\cdots a_Mx^M \end{aligned} \tag{4}$$

根据实践经验用四阶多项式逼近已能达到足够的精确度，所以式（4）可写成

$$y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4 \tag{5}$$

关键问题就是要求出a_0，a_1，a_2，a_3，a_4诸参数的最佳估计值，根据最小二乘法原理，剩余误差总和应达最小，则

$$\sum_{n=1}^{N}\nu_n^2=\sum_{n=1}^{N}\left[y_n-f(x_n;\hat{a}_0,\hat{a}_1,\hat{a}_2\ \hat{a}_3,\hat{a}_4\right]^2=min \tag{6}$$

要求估计值$\hat{a}_0,\hat{a}_1,\hat{a}_2\ \hat{a}_3,\hat{a}_4$能满足最小二乘法条件〔式（6）〕，也就是要求

$$\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial a_0}\sum\nu_n^2=0 \\ &\frac{\partial}{\partial a_1}\sum\nu_n^2=0 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\frac{\partial}{a\partial_4}\sum\nu_n^2=0 \end{aligned} \tag{7}$$

亦即要求解下列方程组

$$\begin{aligned} &\sum\left[y_n-f(x_n;a_0,a_1,a_2,a_3,a_4)\right]\left(\frac{\partial f}{\partial a_0}\right)_n=0 \\ &\sum\left[y_u-f(x_n;a_0,a_1,a_2,a_3,a_4)\right]\left(\frac{\partial f}{\partial a_4}\right)_n=0 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\sum\ y_n-f(x_n;a_0,a_1,a_2,a_3,a_4)\left]\left(\frac{\partial f}{\partial a_4}\right)_n=0\right. \end{aligned} \tag{8}$$

方程组（8）称为正规方程，从正规方程解出的a_0，a_1，a_2，a_3，a_4值即为诸参数的最佳估计值$\hat{a}_0$，$\hat{a}_1$，$\hat{a}_2$，$\hat{a}_3$，$\hat{a}_4$，式（8）可写成下列形式。

$$Na_0+(\Sigma x)a_1+(\Sigma x^2)a_2+(\Sigma x^3)a_3+(\Sigma x^4)a_4=\Sigma y$$
$$(\Sigma x)a_0+(\Sigma x^2)a_1+(\Sigma x^3)a_2+(\Sigma x^4)a_3+(\Sigma x^5)a_4=\Sigma xy$$
$$(\Sigma x^2)a_0+(\Sigma x^3)a_1+(\Sigma x^4)a_2+(\Sigma x^5)a_3+(\Sigma x^6)a_4=\Sigma x^2y$$
$$(\Sigma x^3)a_0+(\Sigma x^4)a_1+(\Sigma x^5)a_2+(\Sigma x^6)a_3+(\Sigma x^7)a_4=\Sigma x^3y$$
$$(\Sigma x^3)a_0+(\Sigma x^5)a_1+(\Sigma x^6)a_2+(\Sigma x^7)a_3+(\Sigma x^8)a_4=\Sigma x^5y \qquad (9)$$

根据所测得N对（y_n，x_n）数据，算出式（9）有关系数，代入，然后求解式（9）联立方组，即得a_0，a_1，a_2，a_3，a_4的最佳估计值，再代入式（6），则得刻度曲线的数学模型，其回归方程数学模型的精确度可用标准离差Sy来估计。

$$Sy=\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N}\nu_{nz}}{N-M1}} \qquad (10)$$

ν_n乃是以每一个x值代入数学模型，求出y_n的估计值$\hat{y}_n$，然后与真正的y_n值比较，求其差值，即为ν_n。

应该指出上述数据处理的公式，原理及方法並不限于第一种分类法，同样可适用于第二，第三种或其它分类法。

三、计算机程序设计

根据上述数据处理的基本原理，可编号出求回归方程的程序如下：

求回归方程的主程序（用（BARIC语言）

```
10  INPUT  N：M=4：H=M+1
20  DIM  X(N)，Y(N)，A(H，H+1)，S(H+1)，M(H)，Z1(N)
30  GOSUB  100
40  GOSUB  200
50  PRINT "Y=(" S(5)；" )*X↑4+(" S(4)； ")*X↑3
         +(" S(3)；")*X↑2+(" S(2)；")*X+(" S(1)；")"
60  GOSUB  50
70  END
```

求正规方程系数的子程序

```
100 DATA  Y1，X1，X2，Y2，………… XN，YN
110 FOR I=1 TO N：READ X(I)，Y(I)：NEXT I
120 FOR I=1 TO N：CI=CI+X(I)：C2=C2+X(I)↑2：
    C3=C3+X(I)↑3：C4=C4+X(I)↑4：C5=C5+X(I)↑5：
    C6=C6+X(I)↑6：C7=C7+X(I)↑7：C8=C8+X(I)↑8：
    FO=FO+Y(I)：F1=F1+X(I)*Y(I)：F2=F2+X(I)↑2*Y(I)
    F3=F3+X(I)↑3*Y(I)：F4=F4+X(I)↑4*Y(I)：NEXTI
130 PRINT "C1=" C1，"C2=" C2，"C3=" C3，"C4=" C4，"C5=" C5，
    "C6=" C6，"C7=" C7，"C8=" C8，"FO=" FO，"F1=" F1，
```

```
      "F2=" 2F, "F3=" F3, "F4=" 4F : RETURN
```

求回归方程系数（即求正规方程的解）的子程序

```
200 A(1, 1)=N : A(1, 2)=C1 : A(1, 3)=C2 : A(1, 4)=C3 :
    A(1, 5)=C4 : A(1, 6)=FO : A(2, 1)=C1 : A(2, 2)=C2 :
    A(2, 3)=C3 : A(2, 4)=C4 : A(2, 5)=C5 : A(2, 6)=F1 :
    A(3, 1)=C2 : A(3, 2)=C3 : A(3, 3)=C4 : A(3, 4)=C5 :
    A(3, 5)=C6 : A(3, 6)=F2 : A(4, 1)=C3 : A(4, 2)=C4 :
    A(4, 3)=C5 : A(4, 4)=C6 : A(4, 5)=C7 : A(4, 6)=F3 :
    A(5, 1)=C4 : A(5, 2)=C5 : A(5, 3)=C6 : A(5, 4)=C7 :
    A(5, 5)=C8 : A(5, 6)=F4
210 FOR I=1 TO H : P=I : Q=1 : E=A(I, 1)
220 FOR J=1 TO H
230 FOR K=1 TO H
240 IF ABS(A(J,K))<=ABS(E), THEN 260
250 E=A(J, K) : Q=K : P=J
260 NEXT K, J
270 IF ABS(E)>1E-30  GOTO 285
280 PRINT "NO UNIQUE SOLUTJON" ; STOP
985 FOR K=1 TO H+1
220 S(K)=A(I, K) : A(I, K)=A(P, K) : A(P, K)=S(K)
310 NEXT K
320 FOR J=1 TO H : IF J=1 GOTO 360 :
    IF A(J, Q)=O GOTO 390
330 R=A(J, Q)/A(I, Q)
340 FOR K =1 TO H+1 : A(J, K)=A(J, K)-A(I, K)*R
350 NEXT K
360 NEXT J
370 M(I)=Q
380 NEXT I
390 FOR I=1 TO H : Q=M(I) : S(Q)=A(I, H+1)/A(I, Q) :
    NEXT I
400 PRINT "THE SOLUTION OF EQUATIONS"
410 FOR Q=1 TO H : PRINT "S( "Q; " )=" =S(Q) :
    NEXT Q : RETURN
```

求标准离差子程序

```
500 FOR I=1 TO N : FOR Q=H TO I STEP-1 :
    Z(I)=Z1(I)*X(I)+S(Q) : NEXT Q :
    PRINT "Z1( "I;" )=" Z(I)
```

```
510 Z2=Z2+(Y(I)-Z1(I))↑2:PRINT(Y(I)-Z1(I)):NEXT I
520 S1=SQR(Z2/(N-M-1)):PRINT "S1=" S1:RETURN
```

求等精度测量和长时间不等精度测量标准离差程序

```
1000 INPUT N:DIM X(N)
1010 FOR I=1 OT N:READ X(I):A=A+X(I):NEXT I:A=A/N
1020 FOR I=1 TO N:B=B+(X(I)-A)↑2:NEXT I:B=B/(N-1)
1030 S=SQR(B):PRINT "S=" S:END
1040 DATA X1, X2,…………, XN
```

上述程序中语句200可以不用赋值语句，而改用循环语句，这样虽然不象赋值语句那样直观（即每句与联立方程9的系数恰一一对应），但可使语句少些。则

```
200 C(O)=N
202 FOR I=1 TO 5:FOR J=I TO5:
A(I, J)=C(I+J-2:IF I=J GOTO 204:
A(J, I)=A(I, J)
204 NEXT J
206 NEXT I
208 FOR I=O TO 4:A(I+1, 6)=F(I):NFXT
```

四、数据处理实例

用TRS-80微型计算机处理了七种钢号的几种不同尺寸的数据，每组数据又分为用微安表测量和用数字电压表测量两种。下面以45号钢6种尺寸的数据处理为例说明处理过程：

1、对测量数据进行予处理

由于对每一个裂纹深度要测五个电压（或电流）数据，以减少随机误差，故必须先求出它们的平均值，然后根据 $X=U/U_0$，求出电压比X。这是在求回归方程前必须完成的予处理。可另编一个子程序用计算机来完成繁琐的计算。

2、把6种尺寸总数为N组的数据（x_n，y_n）用上述求回归方程的程序来求解，得回归方程及标准离差为

$$\hat{y}=-1.37385x^4+9.16792x^3-20.0433x^2+24.8019x-12.5405$$

$$Sy=0.141631 \qquad \left(X=\frac{U}{U_0}\right) \tag{11}$$

同时计算机还可提供由工具显微镜实测的裂纹深度y与回归方程求得的裂纹深度估计值 $\hat{y}$ 之间得差值，以便查对。详见表1。

3、精度测量的标准离差 S_r 以考核测量数据的重复性（每一种裂纹深度测20组数据）。结果如表2：

4、求长时间不等精度测量的标准离差 S_T，以考核仪器读数受温度漂移影响的程度。（每一种裂纹深度测30次以上，每次时间间隔1小时）结果如表3。

5、从大量具有各种裂纹深度的标准试块，用“电位法裂纹深度测量仪”一文所介绍的

仪器进行严格测试，分别用数字电压表读出 $X=\frac{U}{U_0}$ 和微安表读出 $X=I/I_0$ 测试结果果，並用本文所介绍的计算机程序，通入TRS-80微型计算机进行运算，得出7种常用钢类裂纹刻度曲线的数学模型。如表4表5所示。

6、根据表4表5的数学模型可以用计算机进一步算出七种常用钢类（即45，904，30CrMnSi，18CrNiW，921，GCr15，4340）的裂纹深度刻度曲线。但模拟读数法不象微型计算机能将各种刻度曲线存在存贮器里，它只能读出一条刻度曲线，因此本文以最常用的45号的刻度曲线为基准，其余六种钢号的刻度曲线与45号的刻度曲线进行比较，这个工作仍然由计算机来进行，最后得出各种钢号的读数校正数据，如表6所示。有了这些校正数据，我们就可以用仪器45号钢的刻度曲线来读取其它六种钢号的裂纹深度。

应该指出，以上的大量数据处理工作是应用数理统计的原理和采用计算机技术来进行的，是属于脱机的处理方法，仪器的刻度曲线及校正曲线全部是由制造厂商来研制的，仪器並不需要配置任何计算机。如用户所测对象超出这七种钢类范围，只要能提供材质情况或试块，即可以用本文程序自行处理或委托处理。

表1 45号钢各种尺寸试样的测量数据

厚×宽	$X=U/U_0$	y（裂纹深度）	$y-\hat{y}$
40×40	1	0	−0.0424414
	1.13143	1.005	+0.0758914
	1.30071	1.995	−0.108408
	1.42143	3.015	+0.0150445
	1.54071	4.020	+0.065268
	1.66429	4.985	−0.042408
	1.75286	5.995	+0.144026
40×30	1	0	−0.0424414
	1.14752	1.035	−0.00311542
	1.31915	2.02	−0.216442
	1.43262	2.98	−0.106392
	1.56738	4.01	−0.16879
	1.68652	5.08	−0.1498
	1.78614	5.985	−0.128788
40×20	1	0	−0.0424414
	1.12714	1	+0.0999041
	1.29143	2.015	−0.0219302
	1.42143	3.065	+0.0650497
	1.55	4.03	−0.00232315
	1.67143	4.99	−0.102093
	1.79286	5.985	−0.252777
80×40	1	0	−0.0424414
	1.42553	2.97	−0.0615632
	1.74043	5.995	+0.262356
20×40	1	0	−0.0424414
	1.10714	1.035	+0.269932
	1.28426	2.02	+0.0340085
	1.42143	3.005	+0.00504947
	1.52143	4.015	+0.219759
	1.65000	5	+0.101171
	1.74286	5.975	+0.219296

表2

裂纹深度 单位（mm）	用电流比 $X=I/I_0$ 求回归时的标准离差 S_I 绝对值	相对值 $(S_I/)x$	用电流压比 $X=U/U_0$ 求回归时的标准离差 S_U 绝对值	相容值 S_U/X
D=0	0	0	0.00220009	0.000220009
D=3	0.057409	0.0109757	0	0
D=6	0.0506795	0.00541449	0	0

表3

裂纹深度 D=（mm）	$S_I(X=I/I_0)$ 绝对值	$S_I(X=I/I_0)$ 相对值 (S/X)	$S_U(X=U/U_0)$ 绝对值	$S_U(X=U/U_0)$ 相对值 (S_U/X)
D=0	0	0	0.00354269	0.00354269
D=1	0.0520956	0.0245140	0.00290192	0.00256185
D=2	0.0357584	0.00939739	0.00356351	0.00274568
D=3	0.080929	0.0153193	0.0053975	0.00375954
D=4	0.0140168	0.00665999	0.00442774	0.00289679
D=5	0.0892244	0.0110575	0.00578844	0.00351007
D=6	0.0772036	0.00830305	0.00776857	0.00446718

表4　七种钢号的回归方程及标准离差（$X=U/U_0$）

钢号	回归方程（$x=U/U_0$）	标准离差Sy	相对百分值
45	$\hat{y}=-1.37385x^4+9.16792x^3-20.0433x^2+24.8019x-12.5405$	0.141631	0.0236051
904	$\hat{y}=-0.972312x^4+7.18755x^3-17.4825x^2+22.7839x-11.4921$	0.205681	0.0411362
30 cr mnsi	$\hat{y}=6.30704x^4-37.4305x^2+82.2394x^2-73.5262+22.5082$	0.195097	0.0325161
18 cr NiW	$\hat{y}=-0.627134x^4+5.13877x^3-13.6736x^4+20.2837x-11.0836$	0.1772	0.03544
921	$\hat{y}=1.52522x^3-5.60038x^2+11.9456x-7.85679$（四次无解，降为三次）	0.205712	0.0342852
Gcr15	$\hat{y}=-5.12221x^4+32.2707x^3-71.8724x^2+74.722x-30.183$	0.138525	0.027705
4340	$\hat{y}=-1.2512x^4+7.2375^3-15.2437x^2+19.6008x-10.3064$	0.199742	0.0332603

表5 七种钢号的回归方程及标准离差（$x=I/I_0$）

钢号	回归方程（$x=I/I_0$）	标准离差Sy	相对百分值
45	$\hat{y}=-0.00180437x^4+0.012067x^3-0.328691x^2+1.6356x-1.33402$	0.152395	0.0253991
904	$\hat{y}=-0.00216172x^4+0.0461799x^3-0.337046x^2+1.43668x-1.14441$	0.106931	0.0213862
30 cr MnSi	$\hat{y}=-0.0024267x^4+0.0570683x^3-0.45881x^2+1.90153x-1.50265$	0.0753557	0.0150711
18 cr NiW	$\hat{y}=-0.00256502x^4+0.0566295x^3-0.425959x^2+1.709629x-1.19648$	0.170359	0.0340718
921	$\hat{y}=-0.00253448x^4+0.0548296x^3-0.396451x^2+1.54068-1.19648$	0.170356	0.0340718
Gcr 15	$\hat{y}=-0.00159361x^4+0.0393962x^3-0.321264x^2+1.60875x^2-1.31136$	0.111741	0.0223482
4340	$\hat{y}=-0.003918167x^4+0.0321107x^3-0.592598x^2+2.17392x-1.66752$	0.111223	0.0222446

表6 45号钢的刻度数据及其它钢号的校正数据

钢号	I(μA)	104.5	184	269.5	342.75	409	482.75
	$x=I/I_0$	2.09	3.68	5.39	6.855	8.18	9.655
45	$\hat{y}_1$	0.998248≃1	1.99928≃2	2.99714≃3	3.99905≃4	4.99835≃5	5.99977≃6
904	$\hat{y}_2$	0.766333	1.48309	2.21412	2.96797	3.65254	4.08576
30crMnsi	$\hat{y}_3$	0.942087	1.68038	2.30478	2.99582	3.72117	4.36016
18CrNiW	$\hat{y}_4$	0.852682	1.54684	2.21476	2.95313	3.66648	4.1499
921	$\hat{y}_5$	0.744002	1.372	2.0367	2.80061	3.54187	4.0462
Gcr15	$\hat{y}_6$	0.976869	1.92924	2.85045	3.7916	4.7799	5.88283
4340	$\hat{y}_7$	0.962302	1.6808	2.38445	3.18577	3.86306	3.93432
		各种钢号的校正数据					
904	$\hat{y}_1-\hat{y}_2$	0.231915	0.516187	0.783017	1.03109	1.34581	1.19401
30crMnsi	$\hat{y}_1-\hat{y}_3$	0.0561611	0.3189	0.692357	1.00323	1.27719	1.63961
18crNiW	$\hat{y}_1-\hat{y}_4$	0.145566	0.452436	0.782375	1.04593	1.33187	1.84987
921	$\hat{y}_1-\hat{y}_5$	0.254246	0.62728	0.960436	1.19844	1.43648	1.95357
Gcr15	$\hat{y}_1-\hat{y}_6$	0.0213792	0.0700367	0.14669	0.207458	0.218451	0.116341
4340	$\hat{y}_1-\hat{y}_7$	0.0359463	0.318489	0.61269	0.813286	1.13529	2.06545

结束语

过去国内外的裂纹深度测量仪，对裂纹深度与电信号的转换关系，基本上是以确定性变量关系来进行刻度的，因此难免出现很大的误差，有时甚至使测量结果失去现实意义。本文作者针对上述情况，对测试机理进行了较详细的分析后(参阅电位法裂纹深度测量仪一文)，首次提出了裂纹深度与电信号的转换关系是属于相关变量的关系，並应用数理统计原理和计算机技术提出了一套标定和求解刻度曲线数学模型的方法。从实测结果证明（参阅本表1的刻度曲线读出值$\hat{y}$与真正裂纹深度y值之差，以及表4、5的标准离差S_Y值），这样的刻度方法所测得的数据是比目前国内外的同类仪器更接近于实际裂纹深度，因此可以说是初步解决了这方面的难题。

但是，裂纹深度与电信号的转换关系是极其复杂，牵涉的因素很多，因此采用上述方法求出的数学模型，仍然需要受“电位法裂纹深度测量仪”一文中所规定的测试条件所约束，否则就应该进行修正。而这里最关键的一个测试条件是$L/D=k_D$，即裂纹长度L与裂纹深度D的比值。由于数理统计是建立在大量实验数据的基础上，而实验数据是来源于大量标准试块，但是不贯通裂纹标准试块的加工非常困难，也很难标定，所以目前国内外所采用的标准试块几乎都是贯通的人工裂纹，但实际测量对象又是不贯通的裂纹，只有在$L/D=k_D$大于某一数值时（注意，k_D值是随着D值的不同而浮动的）才可以将贯通裂纹的刻度曲线用到不贯通裂纹中来，否则还要进行一次修正。这种修正工作非常复杂，国外为此问题研究了颇长时间始终得不到满意的解决办法。本文作者在日本研究的工作基础上采用计算机技术，初步解决了这方面的问题，将在“不贯通裂纹深度测量的计算机自动修正”一文中做详细阐述。

参考文献

〔1〕 Elementary Computer Applicatirns Barrodale, (1971).
〔2〕 方志成，实验数据处理(上海交大讲义)，(1980).
〔3〕 华中工学院，电子计算机与算法语言，(1978).
〔4〕 张世箕，测量误差与数据处理，(1979).
〔5〕 中国科学院数学所，常用数理统计方法，(1979).
〔6〕 方志成等，电位法裂纹深度测量仪，华侨大学学报，1，(1982).
〔7〕 an assessment of A. C. aed D. C. potentiol system for Fatigue Crack Growth R. P.Wei and R.L.Brayill lehigh Uniuersity.