

开发 PC-1500 微机绘图软件为野外钻探生产服务

鄢泰宁

(中国地质大学·武汉市)

文中介绍了作者开发的用 PC-1500 微机绘制等值线图、钻孔空间轨迹等钻探

专用软件, 并举有绘图软件实例。

关键词: PC-1500 微机; 绘图软件; 等值线图; 钻孔空间轨迹



图 1 钻机示意图

目前许多野外队都普及了 PC-1500 微机。该机配有 4 笔彩色绘图打印机, 但由于缺乏相应的绘图软件, 故很少用它来绘图。用微机绘制钻探工程图形比用数学表达式和数据表示更直观、更简单。为此, 笔者开发了用 PC-1500 机绘等值线图、钻孔空间轨迹等钻探专用软件, 经生产中使用效果很好。

微机绘等值线图的方法及程序

所谓等值线就是在一张平面图上把所有函数值相等的点连起来的曲线, 如等高线。

当我们根据理论知识或数据处理, 得出了反映钻探规律 (理论或经验) 的方程 $y = f(x_1, x_2)$ 后, 总可以把它变换为 $x_2 = \phi(x_1, y)$ 的形式。这时, 只要取 y 为约束条件的边界值 y_0 , 就可以用微机算出当 x_1 取不同水平时 x_2 的值, 同时在绘图状态下画出 $y = y_0$ 的等值线来。

譬如数学模型是一个二次多项式

$$y = Ax_2^2 + Bx_1x_2 + Cx_1^2 + Dx_2 + Ex_1 + F \quad (1)$$

则可变换为

$$x_2 = Rx_1 + S \pm \sqrt{Tx_1^2 + Ux_1 + V}$$

其中:

$$R = -\frac{B}{2A}, \quad S = -\frac{D}{2A},$$

$$T = \left(\frac{B}{2A}\right)^2 - \frac{C}{A}$$

$$U = \frac{BD}{2A^2} - \frac{E}{A}, \quad V = \left(\frac{D}{2A}\right)^2 - \frac{F - y_0}{A}$$

假如数学模型中的自变量多于两个, 可取对 y 影响最大、交互作用最显著的两个自变量 x_1, x_2 作为绘等值线图的横、纵坐标, 而取其他自变量等于不同定值分别作图。比如, 分析矿区孔斜规律, 可取孔口坐标为 x_1, x_2 , 取孔深为 x_3 , 画出不同孔深方位角 (顶角) 的等值线图, 即孔斜趋势图, 供防斜或定向孔设计 (施工) 用。而对钻进工艺参数问题, 则可取钻压、转速为 x_1, x_2 , 取泵量为 x_3 , 画出泵量取不同水平的几张钻速等值线来。

1. 程序功能

根据数学表达式绘出等值线图。该数学表达式可以是一个也可以是多个。即在一张等值线图中同时绘出反映不同方程趋势的等值线, 以便圈定符合约束条件的参数范围。

2. 符号说明

XI、XA——绘图时横坐标的起、终点值;

YI、YA——绘图时纵坐标的起、终点值;

X1、Y1——横、纵坐标量纲的数量级, 由于绘图时不可能写多位数字, 故设置此符号。比如纵坐标为转速, 最大值可达 1500r/min, 则应取 XA = 1.5, X1 = 1000。

X\$、Y\$——分别表示横、纵坐标的量纲,只允许用3~4个字母表示,绘图时打印在坐标符号旁的括弧内。

N——绘曲线的总根数;

A、B、C、D、E、F——数学表达式的各个系数;

NY(N)、NY\$(N)\$——两个一维数组,分别存放每条等值线的 y_0 值和它的量纲代号。

3.使用说明

(1)上机前备好绘图的起、终点坐标值。由于PC-1500机打印纸宽度有限,横、纵坐标都只分为五等分,所以取起、终点值时,应尽量让它们之差是5的倍数;

(2)本程序用于数学表达式为二次方程者,如果为其他形式,应改写57~58、600~610句;

(3)窗口出现“1.ANOTHER CURVE? (Y=1, N=0)”,是询问再画一条曲线吗?画则键入“1”,否则键入“0”;

(4)窗口出现“2.ANOTHER EQUATION? (Y=1, N=0)”,是询问要换一个方程画曲线吗?处理办法同上;

(5)图中每条曲线上的编号与图下方打印的编号说明相对应。如果图中缺某条编号的曲线,而说明中有该编号的 y_0 值,说明通过计算机自动判别,该 y_0 值的等值线不在坐标起、终点范围内。

4.程序清单(本刊备有程序清单,需要者可函索)

绘图软件的应用举例

1. 解决有约束条件下的参数寻优

对于钻进工艺或泥浆工艺问题的参数寻优,可以用对表达式求偏导数为零的解析法,也可用黄金分割法或变量轮换法等工程数学方法。但是它们都只能求出一个极值点,而该点却不一定位于钻探设备、工具承受能力和工艺要求所允许的范围内。同时,

在实际钻探生产中,我们往往并不追求绝对的极大(或极小)值。例如,我们并不追求钻速愈高愈好,还要兼顾回次长度和钻头寿命;泥浆的失水量也非愈小愈好(失水量过小导致视粘度过高),而是希望找到有条件的极值,即“系统”整体最优的一个范围。也就是说,我们不仅对自变量的取值范围要进行约束,还要对方程因变量取值范围有所约束。从野外生产操作的实际出发,人们很难把钻进工艺或泥浆工艺的参数控制在一个点上,而是希望能控制在一个满足约束条件的最优区域内。用PC-1500微机绘等值线图的方法正可以满足上述需要。

例1:福建某队试验新型绳索取心冲击回转钻具时,在泵量一定的条件下,测得32组不同钻压(P —DaN)、转速(n —r/min)配合下,钻进X~XI级石英细砂岩的机械钻速(V —m/h)。用微机处理这32组数据后,得出如下回归方程:

$$V = -0.549 + 6.84 \times 10^{-4} P + 2.3 \times 10^{-3} n - 2.46 \times 10^{-7} P^2 - 2.62 \times 10^{-6} n^2 + 4.18 \times 10^{-7} Pn$$

显著性检验表明,复相关系数 $R=0.98$;均方差 $\sigma=0.03$;不仅 P 、 n 分别单独对 V 有显著性影响,而且 $P \cdot n$ 也对 V 有显著性影响, P 、 n 之间存在着明显的交互作用。

用求偏导数为零的方法得出极值点是

$$\begin{cases} P = 1883 \text{ DaN} \\ n = 686 \text{ r/min} \\ V = 0.78 \text{ m/h} \end{cases}$$

该极值点存在几个问题:①对X~XI级石英细砂岩而言, $V=0.78 \text{ m/h}$ 虽是一个诱人的钻速指标(普通金刚石回转钻进的钻速仅 $0.1 \sim 0.3 \text{ m/h}$),但现场经验表明,钻速超过 $0.5 \sim 0.55 \text{ m/h}$ 以后,钻头将很快出现非正常磨损;②钻压取 1883 DaN 已超过试验(指测出32组数据的试验)所取的

压力范围,据回归分析理论,经验规律是不

允许盲目外推的, 即该极值点的数据可信程度差; ③对于X~XI级坚硬岩石而言, 该钻具主要是冲击碎岩方式起作用, 这时钻压只起给岩石一定预压力和克服冲锤反弹力的作用, 故不需要大钻压, 而且对绳索取心冲击回转钻具而言, 薄壁内平钻杆也不允许使用1883DaN这么大的钻压; ④坚硬岩石难于破碎, 其最佳冲击间距小, 加之冲击器的频率不高, 因此从专业知识上分析, 对 $\phi 76$ 口径的绳冲钻具用 $n=686\text{r}/\text{min}$ 的转速也偏高。

所以该问题据专业知识和现场经验提出的约束条件是

$$\begin{cases} P < 1000\text{DaN} \\ n < 600\text{r}/\text{min} \\ 0.4 < V < 0.55\text{m}/\text{h} \end{cases} \quad (3)$$

调用绘等值线图的程序, 取 P 为横坐标 X_1 ($\times 100\text{DaN}$), n 为纵坐标 X_2 ($\times 100\text{r}/\text{min}$), 把反映钻速规律的(2)式写成(1)式形式, 列出各系数

$$A = -2.62 \times 10^{-6}, B = 4.18 \times 10^{-7}, C = -2.46 \times 10^{-7}, D = 2.3 \times 10^{-3}, E = 6.84 \times 10^{-4}, F = -0.549$$

绘图时取 X_1 轴的范围 $200 \sim 1200\text{DaN}$, X_2 轴 $100 \sim 1100\text{r}/\text{min}$, 绘4条等值线, 分别为 $Y_0 = 0.25, 0.35, 0.45, 0.55\text{m}/\text{h}$ 。绘出的等值线表明(图1), 绳索取心冲击回转的钻速规律近似于抛物线。每个钻压值在同一条钻速等值线上对应两个点。例如图中的 $n = 360, 560\text{r}/\text{min}$ 两种转速与 $P = 980\text{DaN}$ 搭配, 其钻速预测值都是 $0.55\text{m}/\text{h}$ 。这可解释为: 当转速较低时, 岩石以冲击动载破碎为主, 而转速较高时, $\phi 76$ 金刚石钻头切削具在两次冲击之间的距离过大, 不能利用前一次冲击破碎穴的自由面产生动载剪切破碎, 而是以回转切削与磨削破碎为主, 所以在相同的钻压下, 虽然转速提高了 $60 \sim 70\%$, 但机械钻速并不增大。

总之, 通过等值线图我们全面了解了钻速随 P, n 参数的变化趋势。为孔内安全和降低成本, 在该问题条件下, 取钻进参数 $P = 800 \sim 900\text{DaN}$, $n = 380 \sim 580\text{r}/\text{min}$ 范围内(即图1中的阴影部分), 即可满足(3)式给出的不等式约束条件, 其预测误差不大于 $0.06\text{m}/\text{h}$ 的概率为 95% (参见该例(2)式的均方差 $\sigma = 0.03\text{m}/\text{h}$)。目前野外钻机不具备无级调速装置, 因此只须在上述范围内选一相应转速档, 再调整钻压, 就可方便直观地完成用等值线寻优的工作。

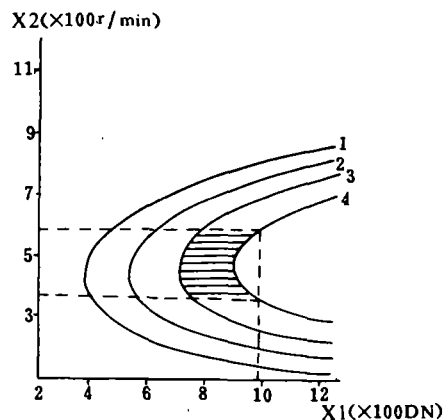


图1

1-0.25; 2-0.35; 3-0.45; 4-0.55(m/h)

2. 画矿区孔斜规律趋势图

由于PC-1500计算机的打印纸很窄, 纵向走纸范围也有限, 所以需画小比例尺的趋势图, 线距不宜太密, 否则曲线的编号看不清。若矿区范围较大, 可分别画不同小区的图拼接起来。

例2: 陕西某矿区已完成一批钻孔, 由于地层复杂, 造斜能力强, 孔斜比较严重。以矿区测斜资料为基础, 应用逐步回归分析的软件建立了反映矿区孔斜规律的顶角、方位角回归方程。为了方便快捷地设计定向孔, 直观地掌握矿区钻孔弯曲规律, 现以方位角为例, 在PC-1500机上绘出矿区的方位角趋势图。

$$\alpha = 333.5786 + 3.6755 \times 10^{-4} S^2 - 0.0939 x S - 4.5097 \times 10^{-7} S^3 + 0.018153 x^2 S - 0.3701 y^2 S + 2.7785 \times 10^{-4} S^2 y \quad (4)$$

式中:

α ——方位角, 度; x 、 y ——开孔点的平面坐标, km; S ——孔深, m。

首先令 $S=300$, 即先画出 300m 深处的方位角趋势图。代入方程中, 可得出该方程的 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 系数 (根据该矿

区的长宽特点, 我们取 y 为图中的 $X1$, x 为图中的 $X2$), 横坐标为 0~1km, 纵坐标为 0.5~5.5km。图 2 即为该矿区在孔深 300m 和 200m 处钻孔方位角的变化趋势图。只要根据开孔点的 (x, y) 坐标值, 即可在图中查到该孔在 300m, 200m 孔深处的方位角预测值, 即服从矿区孔斜规律的方位角。这将给钻探设计和施工带来方便。在实际应用中, 由于计算机绘图速度快, 坐

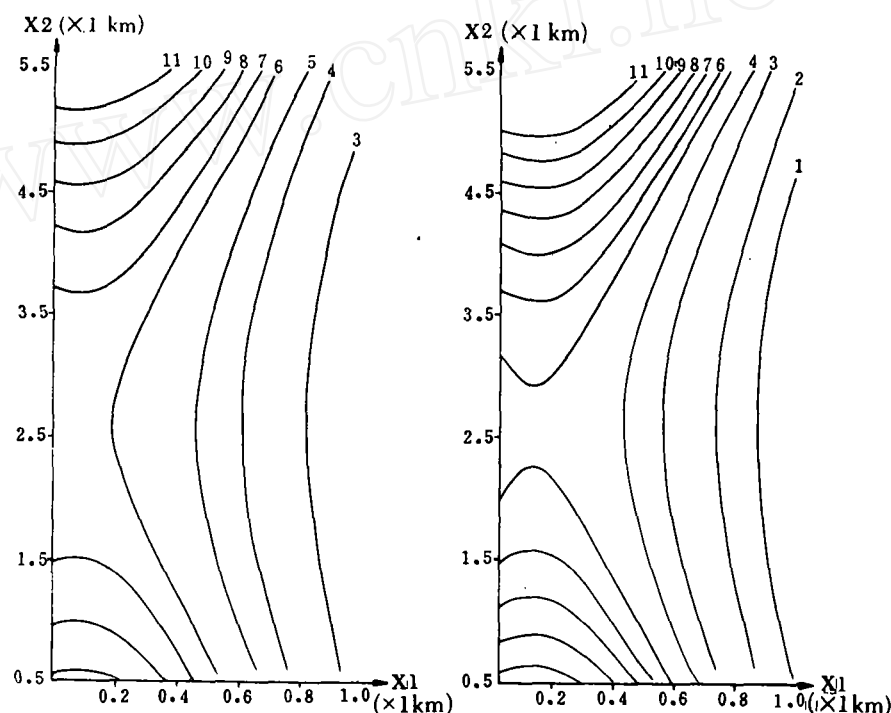


图 2 孔深 200m(左)和 300m(右)处的方位角趋势图

左图: 1-240°, 2-260°, 3-280°, 4-300°, 5-310°, 6-320°, 7-325°, 8-330°, 9-335°, 10-340°, 11-345°; 右图: 1-260°, 2-280°, 3-300°, 4-310°, 5-320°, 6-325°, 7-330°, 8-335°, 9-340°, 10-345°, 11-350°

标是严格对齐的, 所以只要把各个深度的若干幅顶角、方位角趋势图对齐重迭, 在第一张图的开孔位置上, 用一根针穿透全部趋势图, 就可得出各对应深度的顶角、方位角预测值。再调用由孔斜资料计算钻孔轨迹的软件, 对比地质要求后, 根据预计见矿点与钻孔预计轨迹的偏差, 经过一次修改, 即可以正确确定初级定向孔的开孔位置。对受控定向孔, 趋势图也可起到类似的作用。

读者可能注意到, 图 2 中只画了 9 条等值线, 其下方却注了 11 个编号及其对应的角度值。这说明在 200m 孔深, $y_0=240^\circ$ 和 260° 的两条等值线不在此范围内。

其他绘图软件的应用举例

如果说用 PC-1500 绘等值线图的程序还比较复杂的话, 那么开发用于钻探生产的其他绘图程序则比较简单。比如在直孔、斜

孔、初级定向和受控定向、分枝孔钻进施工中，我们都希望及时了解实际孔的轨迹偏离设计轨迹的情况，以便及时采取技术措施。图3为PC-1500微机根据ZK101孔（勘探线方位 0° ，孔深450m）的设计及实测孔斜资料，给出的勘探线垂直剖面和水平投影轨迹图，图中1为设计孔（开孔顶角 15° ，方位 315° ）轨迹，2为实际孔（开孔顶角 15° ，方位 315° ）轨迹。图左侧的

ZK101 dX=0(deg) L=450(m) Q1(0)=15 A1(0)=315			
L	X1	X2	dX
100	18.30	19.53	1.23
150	28.04	31.84	3.80
200	39.26	48.42	9.15
250	52.22	68.72	16.49
275	59.41	80.14	20.73
300	67.16	92.52	25.36
325	75.52	105.79	30.26
350	84.70	120.26	35.56
375	94.83	136.02	41.18
400	106.08	152.69	46.60
425	118.25	170.19	51.93
450	130.96	188.47	57.50
L	Y1	Y2	dY
100	-18.30	-16.98	1.32
150	-28.04	-25.60	2.44
200	-39.26	-35.17	4.09
250	-52.22	-44.42	7.79
275	-59.41	-48.46	10.94
300	-67.16	-52.01	15.14
325	-75.52	-55.08	20.44
350	-84.70	-57.63	27.06
375	-94.83	-59.70	35.13
400	-106.08	-61.16	44.91
425	-118.25	-62.08	56.16
450	-130.96	-62.40	68.56
L	Z1	Z2	dZ
100	96.59	96.59	0.00
150	144.65	144.27	-0.37
200	192.07	190.47	-1.59
250	238.59	235.21	-3.37
275	261.43	257.08	-4.34
300	283.90	278.51	-5.38
325	305.92	299.48	-6.44
350	327.29	319.70	-7.59
375	347.77	338.99	-8.77
400	367.06	357.57	-9.49
425	385.20	375.40	-9.79
450	402.56	392.45	-10.11
L=100	dR=1.80	L=150	dR=4.53
L=200	dR=10.15	L=250	dR=18.55
L=275	dR=23.84	L=300	dR=30.02
L=325	dR=37.08	L=350	dR=45.33
L=375	dR=54.84	L=400	dR=65.42
L=425	dR=77.12	L=450	dR=90.05

数字L—孔深，X1—设计孔坐标值，X2—实际孔坐标值，dX—设计孔与实际孔的偏距，Y1、Y2、dY、Z1、Z2、dZ的意义同上，而dR为空间偏距。

图3表明的钻孔弯曲情况及其不同孔深在x、y、z方向的偏距和空间偏距的数据，对我们判断钻孔能否见靶，掌握钻孔弯曲特征，提示操作者应在什么深度采取人工造斜措施等方面都是十分有意义的。

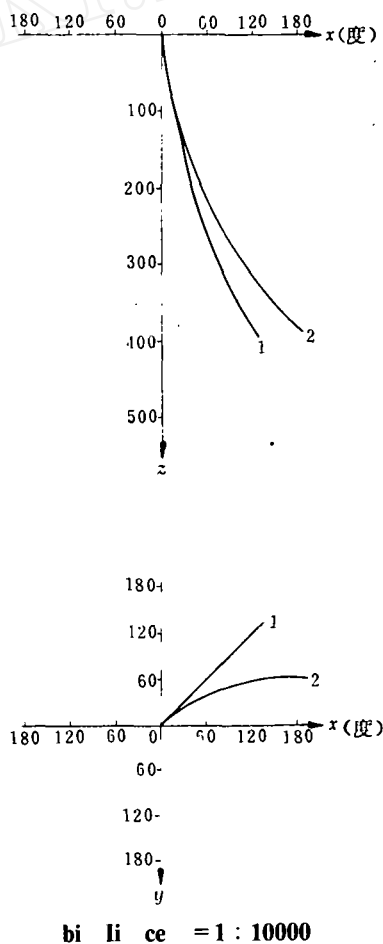


图3

A Software Used on PC-1500 Microcomputer for Map Drawing in Field Operation of Drilling

Yan Taining

A special purpose software was developde by the author to work with a PC-1500 microcomputer for drawing contour maps and the trajectories of drill holes in space. Practical examples are cited to show the maps drawn by the software.