

## 钻孔弯曲计算诺模图

湖南冶金地质勘探公司 246 队

地质剖面图上的钻孔弯曲线，通常是根  
据测定的方位、倾角和测斜深度用图解法绘  
制。其缺点是作图精度不高，工效又低，同  
时经常要用橡皮擦拭，影响图面清洁美观。  
为此，我们曾采用计算法展点作图，但计算  
较费时，又难以掌握，并常发生差错。最  
近，我们编制了“钻孔弯曲计算诺模图”

(见插页)，可直接查取钻孔任一线段在勘探  
线上的投影距  $b$  和投影于垂直线上的投影距  
 $c$  及深度修正值  $\Delta L$  等(图 1)。此法作图方  
便，精度较高，试用效果较好。

### 一、钻孔弯曲计算原理及公式

$$\begin{aligned} a &= L \cdot \cos \alpha, \quad b = a \cdot \cos \varphi, \quad c = a \cdot \sin \varphi, \\ d &= L \cdot \sin \alpha \\ \Delta L &= L - b = L - L \cdot \sin \alpha \text{ 或 } \Delta L = 2L \cdot \\ &\sin^2 \frac{\alpha}{2}. \end{aligned}$$

式中： $L$ —钻孔测斜间隔长度(测斜深度)；

$\alpha$ —实测倾角(天顶角)； $\varphi$ —实测方位角  
与勘探线方位的夹角(令实测方位角为 $\varphi'$ ，  
勘探线方位为 $\varphi_0$ ，则 $\varphi = \varphi' - \varphi_0$ )； $a$ —钻  
孔测斜深度在平面上的投影距； $b$ — $a$ 值在  
勘探线上的投影距； $c$ — $a$ 值在勘探线垂线  
上的投影距； $\Delta L$ —钻孔测斜深度  $L$  在垂线  
上的长度修正值。

求得  $b$ 、 $\Delta L$  后，即可在地质剖面图上绘  
出纠正后的钻孔曲线；据  $b$ 、 $c$  值在平面图上  
绘出钻孔漂斜曲线(图 2)。

但钻孔是一渐曲线，在此曲线上某点所  
测的方位、倾角，是曲线上该点的切线倾角  
和方位角，故上式应改为：

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{L_i}{2} (\cos \alpha_{i-1} + \cos \alpha_i), \\ b_i &= \frac{a_i}{2} (\cos \varphi_{i-1} + \cos \varphi_i), \end{aligned}$$

(随机变量)对应  $d_i$  值的变化轨迹。因此，  
只要把横坐标的  $X$  值(即为某一变量的已知  
标准  $C_m$  值)代入换算为某一变量的数值，  
就可以查对该变量任一数值与平分角线交点  
对应的  $d_i$  值。当需计算另一主变量时，只要  
换算横坐标就行了。

4. 次要变量  $d_i$  值计量公式规定为：

当  $C_n \leq C_m$  时，按  $d_i = \frac{C_n}{C_m}$  计算；

当  $C_n > C_m$  时，按  $d_i = \frac{C_m}{C_n}$  计算。

这样规定，次要变量在直角坐标中，随  
着变量的递增，相应的  $d_i$  值的变化范围为  
 $0 \sim 1 \sim \frac{1}{0}$ 。当次要变量的数值等于已知标

准值时(即  $1.00X$ )，其对应的  $d_i$  值为 1。  
当次要变量的数值为 2 倍 ( $2.00X$ )、  
3 倍 ( $3.00X$ )、4 倍 ( $4.00X$ ) 标准值时，  
其对应的  $d_i$  值分别为 0.5000、0.3333、  
0.2500。因此，不难看出，次要变量在上面  
规定的直角坐标中相应的  $d_i$  值的变化轨迹  
是以 1 倍 ( $1.00X$ ) 的标准变量值为界，左边  
(即  $C_n \leq C_m$  区间)为直线(平分角线)，  
右边(即  $C_n \geq C_m$  区间)为曲线。右边曲线  
可以通过表 12 所列“次要变量”曲线的特征  
参数来确定。当横坐标换算为某一次要变量  
坐标后，就可以查对该次要变量任一随机数  
值相对应的  $d_i$  值。

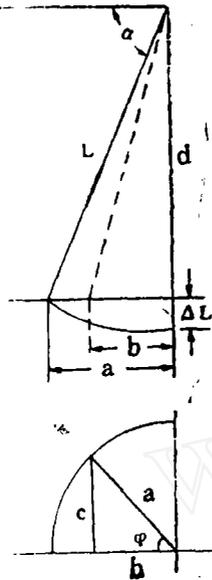


图1



图2

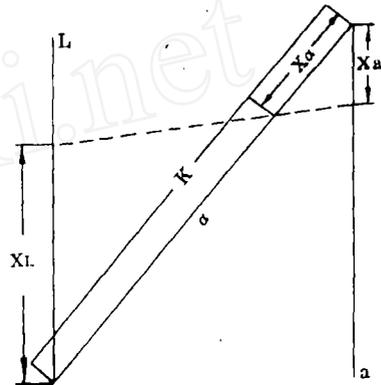


图3

$$c_i = \frac{a_i}{2} (\sin\varphi_{i-1} + \sin\varphi_i);$$

$$\Delta L_i = L_i - \frac{L_i}{2} (\sin\alpha_{i-1} + \sin\alpha).$$

由于钻孔是渐曲线，变化又不大，为计算方便，可采用中值公式：

$$a_i = L_i \cdot \cos \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2},$$

$$b_i = a_i \cdot \cos \frac{\varphi_{i-1} + \varphi_i}{2},$$

$$c_i = a_i \cdot \sin \frac{\varphi_{i-1} + \varphi_i}{2},$$

$$\Delta L_i = L_i - L_i \cdot \sin \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2}.$$

## 二、绘制诺模图的基本原理及方法

钻孔弯曲计算公式均是二个自变量乘积的函数。

设  $f_1(a) = f_2(L) \cdot f_3(\alpha)$ ，由图3得知：

$$\frac{x_L}{x_a} = \frac{k - x_a}{x_a}.$$

a、L的尺度模量分别为  $m_a$  和  $m_L$ ，则

$$\frac{m_L \cdot x_L}{m_a \cdot x_a} = \frac{k - x_a}{x_a}. \text{ 令 } \frac{m_L}{m_a} = k_1,$$

则

$$k_1 = \frac{x_L}{x_a} = \frac{k - x_a}{x_a}; \quad x_a (k_1 \cdot x_L + x_a)$$

$$= x_a \cdot k; \quad x_a = \frac{x_a \cdot k}{k_1 \cdot x_L + x_a}.$$

若图解  $a = L \cdot \cos\alpha$  函数式，则在诺模图上为：

$$x_a = \frac{x_L \cdot \cos\alpha \cdot k}{k_1 \cdot x_L + x_L \cdot \cos\alpha} = \frac{\cos\alpha \cdot k}{k_1 + \cos\alpha}$$

按此尺度式作钻孔弯曲计算诺模图。

例：设  $f_1(a)$  上限40米，下限为0，尺寸600毫米； $f_2(L)$  上限100米，下限为0，尺寸

$$600\text{毫米}。 \text{则模量 } m_a = \frac{600}{40-0} = 15;$$

$$m_L = \frac{600}{100-0} = 6; \quad k_1 = \frac{m_L}{m_a} = \frac{6}{15} = 0.4.$$

a尺度距离L尺度400毫米。

$$k = \sqrt{(400)^2 + (600)^2} = 721.11\text{毫米}$$

$$\cos 5^\circ = 0.087156, \text{ 则}$$

$$x_a = \frac{0.087156 \times 721.11}{0.4 + 0.087156} = 129.0\text{毫米}$$

同理，可以计算出  $x_{L1}$ 、 $x_c$ 、 $x_b$  的尺度式。

### 三、诺模图的使用

设在110米处测得  $\alpha = 76^\circ$ ,  $\varphi = 13^\circ$ ; 在180米处测得  $\alpha = 73^\circ$ ,  $\varphi = 20^\circ$ 。则  $L = 180$  米 - 110 米 = 70 米。据中值公式,  $\alpha = \frac{76^\circ + 73^\circ}{2} = 74.5^\circ$ ;  $\varphi = \frac{13^\circ + 20^\circ}{2} = 16.5^\circ$  (图 4)。

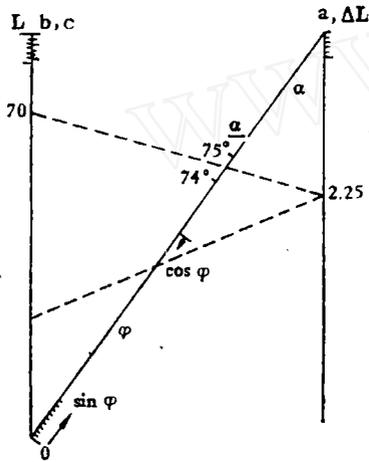


图 4

用直尺在  $L = 70$  米处对准  $\alpha = 74.5^\circ$ , 在  $\Delta L$  尺度上得  $\Delta L = 2.55$ ; 对准  $\alpha = 74.5^\circ$ , 在  $a$  尺度上得  $a = 18.71$  米, 以所得  $a$  点位置对准  $\cos \varphi = 16.5^\circ$ , 在  $b$  尺度上得  $b = 17.9$  米; 对到  $\cos(90^\circ - \varphi) = \sin \varphi = 16.5^\circ$ , 在  $c$  尺度上得  $c = 5.3$  米。同样可求出  $\Delta L_i$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ , 并计算  $b, c$  累计值  $B = \sum_1^i b$ ,  $c = \sum_1^i c$ 。

由图 1 可知:  $H_i = H_0 - L_i + \Delta L_i$  ( $H_0$  为井口高程),

$$H_i = H_{i-1} - L_i + \Delta L_i$$

**作图:** 过钻孔作垂线 (钻孔在剖面上的位置与平面上的位置的连线), 在剖面上用  $H, B$  按直角坐标法展绘出  $1 \sim i$  诸点, 在平面图上用  $B, c$  展绘出各点, 用曲尺连结各点得钻孔倾斜、方位弯曲线。

$\Delta L$  尺度刻划值单位为分米。本诺模图解计算数值误差  $a, b, c < 0.1$  米;  $\Delta L < 0.01$  米。

使用诺模图时, 若  $L, \alpha$  值小, 直尺与图上直线斜交且交角又小, 则读数误差稍大, 但仍能满足制图要求。如想得到  $a, b, c$  的较精确值, 可将  $L$  值放大 4 倍, 所求之值再缩小几倍, 如  $L = 25$ ,  $\alpha = 88^\circ$ , 可将  $L$  放大 4 倍,  $L = 100$  米时, 求得  $\Delta L = 0.06$  米, 缩小 4 倍得  $\Delta L = 0.06/4 = 0.015$  米。而  $a$  则为  $3.5/4 = 0.875$  米。同样可算出其他各值。

在作图过程中, 当绘制矿体顶、底板等高线和中段平面图时, 要算出钻孔在某高度的平面位置  $x$  和  $y$ 。本图亦可完成此项工作,  $\alpha, L, a$  的计算同前, 改用方位角 (中值) 计算  $\Delta x$  和  $\Delta y$ 。

$$\Delta x_i = a_i \cdot \cos \frac{\varphi'_{i-1} + \varphi'_i}{2};$$

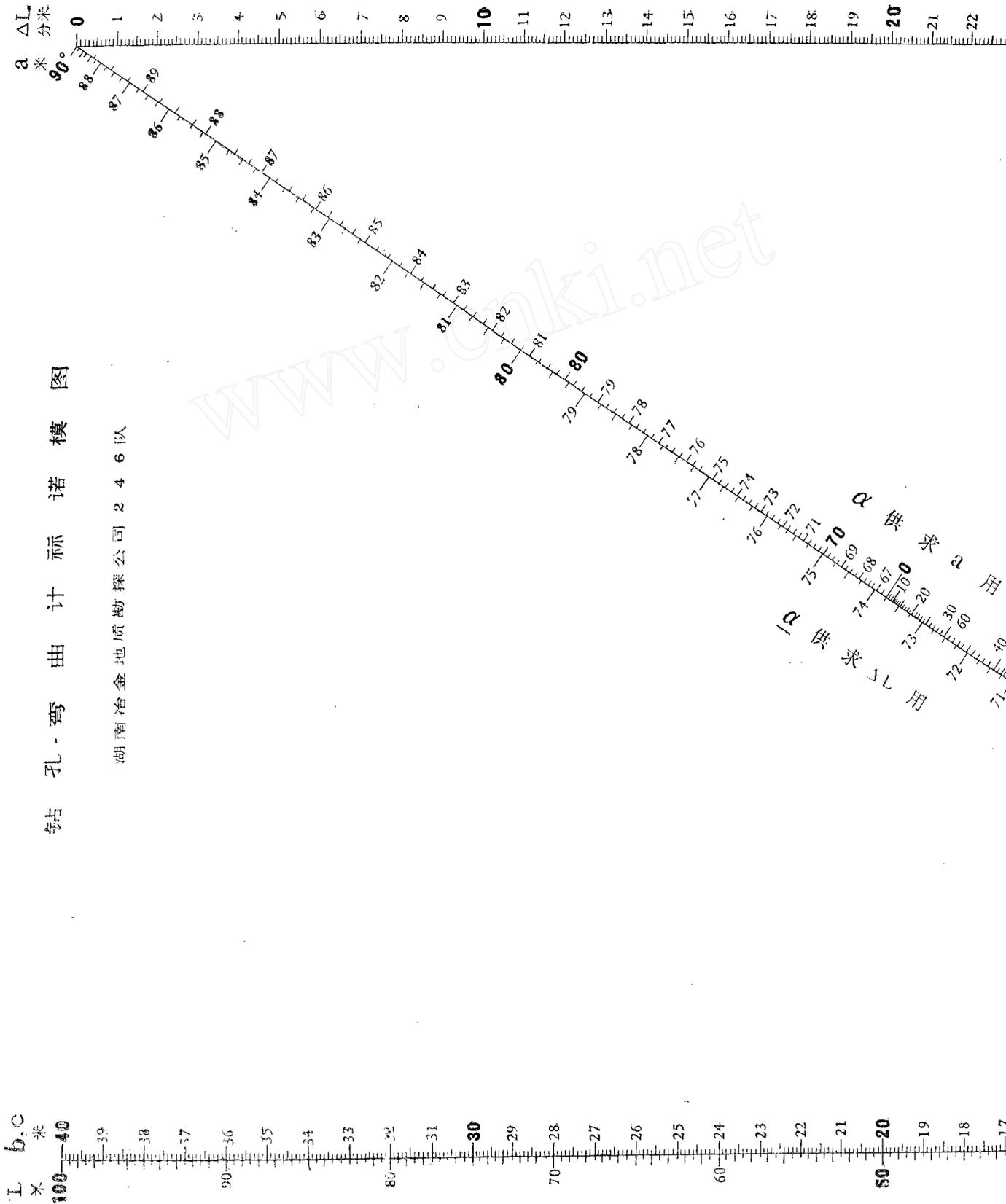
$$\Delta y_i = a_i \cdot \sin \frac{\varphi'_{i-1} + \varphi'_i}{2}.$$

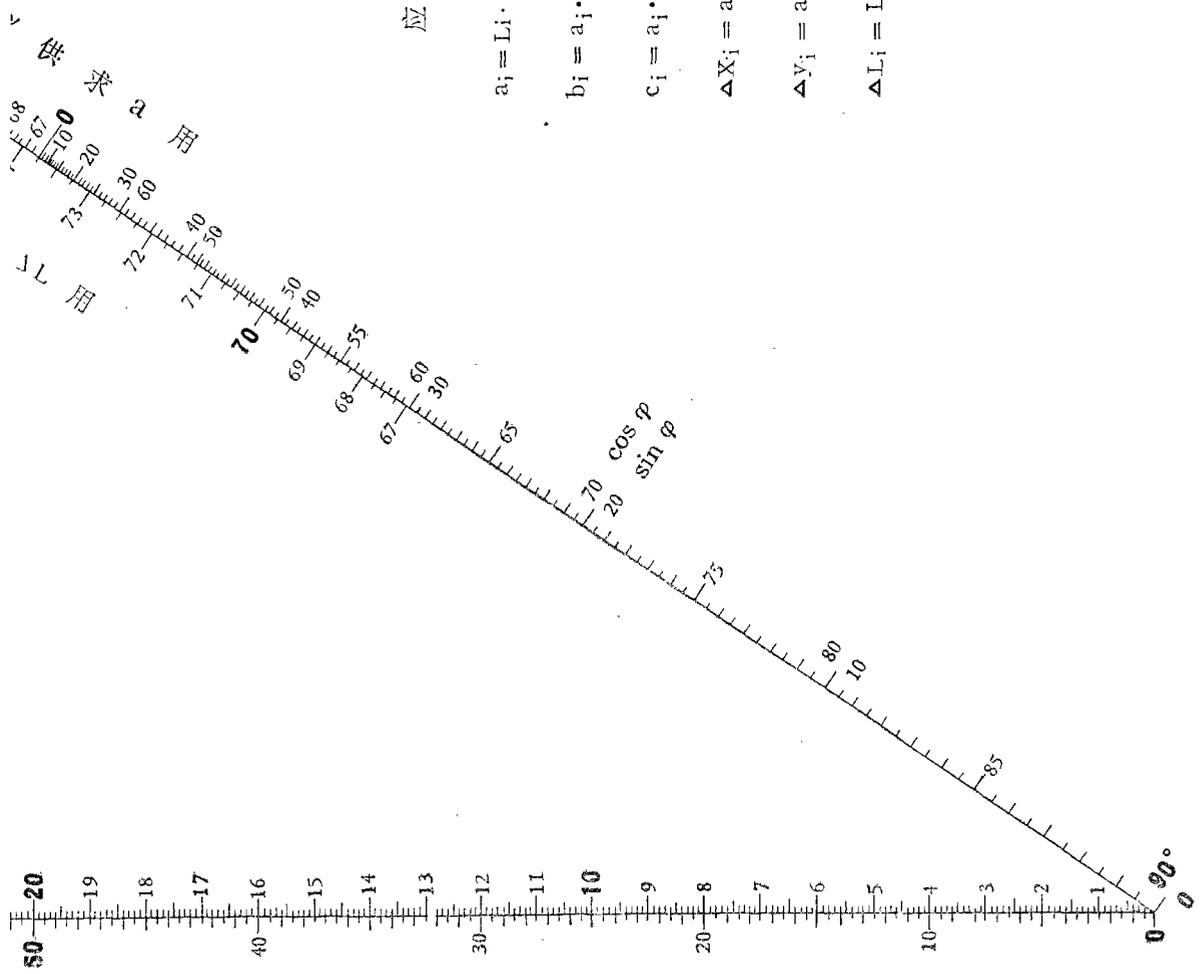
5线 ZK2 钻孔弯曲度及座标高程之计算

| 点号      | 测量位置   | 间隔长度 L | 倾角           |                                         | 方位夹角     | a     | b     | C   | $\frac{\varphi_i' - \varphi_{i-1} + \varphi_i}{2}$ | $\Delta X$ | X         | $\Delta Y$ | Y        | $\Delta L$ | H      | 备注     |
|---------|--------|--------|--------------|-----------------------------------------|----------|-------|-------|-----|----------------------------------------------------|------------|-----------|------------|----------|------------|--------|--------|
|         |        |        | 实测 $\alpha'$ | 中值 $\frac{\alpha_i' + \alpha_{i-1}}{2}$ |          |       |       |     |                                                    |            |           |            |          |            |        |        |
| 井口      | 0      |        | 80°          |                                         | 120° 0'  |       |       |     |                                                    |            | 2917678.3 |            | 554933.7 |            | 387.54 |        |
| 1       | 50     | 50     | 78°          | 79°                                     | 126° 6'  | 9.54  | 9.5   | 0.5 | 12.3                                               | -5.2       | 673.1     | 8.0        | 941.7    | 0.92       | 338.46 |        |
| 2       | 110    | 60     | 76°          | 77°                                     | 133° 13' | 13.50 | 13.22 | 2.2 | 129.5                                              | -8.6       | 664.5     | 10.4       | 952.1    | 1.54       | 280.00 |        |
| 3       | 180    | 70     | 73°          | 74.5°                                   | 140° 20' | 18.71 | 17.94 | 5.3 | 136.5                                              | -13.6      | 650.9     | 12.9       | 965.0    | 2.55       | 212.55 |        |
| 4       | 210    | 30     | 72°          | 72.5°                                   | 150° 30' | 9.27  | 8.49  | 3.9 | 14.5                                               | -7.6       | 643.3     | 53         | 970.3    | 1.47       | 184.02 |        |
| 5       | 250    | 40     | 70°          | 71°                                     | 156° 36' | 13.02 | 10.96 | 7.1 | 153                                                | -11.6      | 631.7     | 59         | 976.2    | 2.48       | 146.20 |        |
| 6       | 256.71 | 6.71   | 70°          | 70°                                     | 156° 36' | 2.29  | 1.96  | 1.3 | 156                                                | -2.1       | 629.6     | 09         | 977.1    | 0.40       | 139.89 | 终孔位置   |
| 由4点号向下推 |        |        |              |                                         |          |       |       |     |                                                    |            |           |            |          |            |        |        |
| 见备注     | 248.05 | 38.05  |              | 71°                                     |          |       |       |     | 152.8                                              | -11.0      | 632.3     | 57         | 976.0    | 2.07       | 148.04 | 矿体顶板位置 |

# 钻孔-弯曲线计标诺模图

湖南冶金地质勘探公司 2446 队





应用公式

$$a_i = L_i \cdot \cos \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2}$$

$$b_i = a_i \cdot \cos \frac{\varphi_{i-1} + \varphi_i}{2}$$

$$c_i = a_i \cdot \sin \frac{\varphi_{i-1} + \varphi_i}{2}$$

$$\Delta X_i = a_i \cdot \cos \frac{\varphi'_{i-1} + \varphi'_i}{2}$$

$$\Delta Y_i = a_i \cdot \sin \frac{\varphi'_{i-1} + \varphi'_i}{2}$$

$$\Delta L_i = L_j - L_i \cdot \sin \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2}$$

