

用电子计算器的程序求解各种断距

张伯南

(成都地质学院)



方法介绍

断距的种类和名称繁多^[1, 2],在我国《构造地质学》教科书^[3]和生产实践中,主要分为两类:一类是指沿断层两侧两对应点的位移距离,称总滑距(或总断距),在断层面上沿走向和沿倾斜的分量,称为走向滑距和倾斜滑距;另一类是指断层两侧同一标志层发生位移后,两侧同层面间的垂直距离,称地层断距,两侧同层面等高走向线间的垂直距离称水平(地层)断距,两侧同层面在铅直线上的距离称铅直地层断距。

求算断距,有几种方法。目前一般是在地形地质图上用被错开的两侧同层面作走向线,然后来求解地层断距,或者根据断层所造成的地层重复或缺失的厚度来估算地层断距;而求总滑距,条件则较苛刻,要找出断层两侧的两对应点,可以利用被错开的两个不平行的岩层或岩脉,或一个岩层或岩脉但具擦痕等可示滑动方向的标志,常用画法几何图解法^[1, 4, 5]或借助于赤平投影求角距的正投影法^[6],然后求得总滑距。用数学公式求断距,毕令斯^[1]、库什纳列夫^[5]也都作过探讨,但都未用连贯而简便的公式,并且举例也以特殊的条件为前提。

本文试图用几个通用公式,用袖珍电子计算器编制的程序,即可又快又准地得出所求各种断距。下面分别介绍地层断距和总断距及其派生断距(滑距)的求法。先介绍公式,后用可编简单程序的计算器如CASIO fx-3600P(或fx-180P)计算器编制程序及演算。

地 层 断 距 求 法

公式

求地层断距,类似于求岩层厚度,特别是在断层两侧具有对应的被错移的同岩层面时。可用求厚度的方法求地层断距。因为求岩层厚度是求一段岩层顶底面的垂直距离;求地层断距则是求被错开的两个同一岩层面间的垂直距离,其条件较为简单,可以不考虑断层面产状,只要测断层两侧同一层面的斜距及其方位角和坡度角、被错开岩层的倾向和倾角(一般要求断层两侧岩层产状基本不变的部分),由此可得公式:

$$h = \pm L [\sin \beta \cos \alpha - \sin \alpha \cos \beta \cos (\phi - \lambda)]$$
$$f = h / \sin \alpha \quad d = h / \cos \alpha$$

式中,±符号一般不考虑, h 取绝对值即可。 h —地层断距; L —断层两侧同一岩层面间的斜距; β —斜距的坡度; α —岩层倾角; ϕ —斜距的坡向方位角; λ —岩层的倾向方位角; f —水平(地层)断距; d —铅直地层断距。

程序及演算

MODE 0 P1

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\text{ENT}} \times \left(\frac{\beta}{\text{ENT}} \times \frac{1}{\text{KiN}} \times \sin \times \frac{a}{\text{ENT}} \times \frac{1}{\text{KiN}} \times \cos - \frac{\text{KOUt}}{\text{ENT}} \times \frac{2}{\text{sin}} \right) \\ & \times \frac{\text{KOUt}}{\text{ENT}} \times \frac{1}{\cos} \times \left(\frac{\phi}{\text{ENT}} - \frac{\lambda}{\text{ENT}} \right) \times \cos = \frac{h}{\text{INV}} \times \frac{\text{HLT}}{\text{HLT}} \times \frac{1}{\text{KOUt}} \times \frac{2}{\text{sin}} \\ & \frac{f}{\text{INV}} \times \frac{1}{x} = \frac{\text{INV}}{\text{HLT}} \times \frac{\text{KOUt}}{\text{KOUt}} \times \frac{2}{\cos} \times \frac{\text{INV}}{\text{INV}} \times \frac{1}{x} = d \\ & \text{MODE} \quad . \end{aligned}$$

已知 $L, \beta, \alpha, \phi, \lambda$, 求得 h, f, d

1 P_1 100 RUN 15 RUN 50 RUN 240 RUN 40 RUN 86 RUN 112.5 RUN 134
2 P_1 461 RUN 12.5 RUN 45 RUN 286 RUN 16 RUN 71 RUN 100 RUN 100

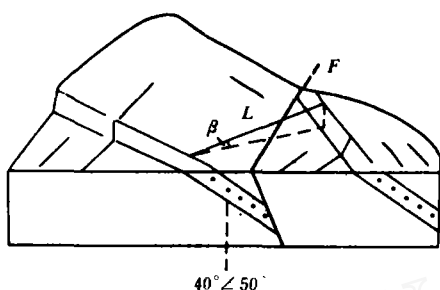


图1 野外测量断距的有关数据

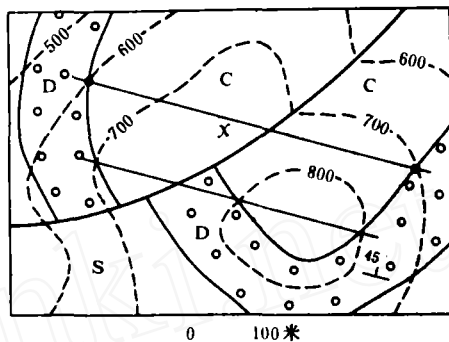


图2 地形地质图上求断距

利用上述公式和程序, 可以在野外直接测得有关数据, 并很快可求得有关断距。

例1: 图1上, L 斜距=100米, L 坡向 $\phi = 240^\circ$, L 坡角 $= 15^\circ$, 岩层倾向 $\lambda = 40^\circ$, 岩层倾角 $\alpha = 50^\circ$, 求 $h = ?$, $f = ?$, $d = ?$ (参见程序运算①)

如果要在地形地质图上求算断距, 稍微调整一下个别数据, 也可用上述公式和程序求得。因为地形地质图上只能直接量读断层两侧同一岩层面上标志点的水平距离和高差, 设水平距离为 x , 高差为 y , 其斜距 $L = \sqrt{x^2 + y^2}$, 斜距坡度 $\beta = \arctan(y/x)$ 。

例2: 图2上, 量读而得 $x = 450$ 米, $y = 100$ 米, $\phi = 286^\circ$, $\lambda = 16^\circ$, $\alpha = 45^\circ$, 据 x, y 值先求 $L = ?$, $\beta = ?$

计算器上 L, β 的算法: $x \text{ INV } \text{R-P } y = L \text{ INV } \text{X-Y} = \beta$, 随即代入程序运算②中, 从而求得 h, f, d 值。其实这个公式可以简化并能直接编入程序内:

$$h = y \cos \alpha - x \sin \alpha \cos(\phi - \lambda)$$

程序:

$\text{MODE} \quad 0 \quad \text{P}_1$

$$\frac{y}{\text{ENT}} \times \frac{a}{\text{ENT}} \times \frac{1}{\text{KiN}} \times \cos - \frac{x}{\text{ENT}} \times \frac{\phi}{\text{KOUt}} \times \frac{1}{\text{sin}} \times \left(\frac{\text{ENT}}{\text{ENT}} \times 1 - \frac{\lambda}{\text{ENT}} \right)$$

$$\cos = \frac{h}{\text{INV}} \times \frac{\text{HLT}}{\text{HLT}} \div \frac{\text{KOUt}}{\text{KOUt}} \times \frac{1}{\text{sin}} \times \frac{f}{\text{INV}} \times \frac{\text{HLT}}{\text{HLT}} \times \frac{\text{KOUt}}{\text{KOUt}} \times \frac{1}{\tan} = d$$

$\text{MODE} \quad .$ (据例2数据)

已知 $y, \alpha, x, \phi, \lambda$, 求得 h, f, d

P_1 100 RUN 45 RUN 450 RUN 286 RUN 16 RUN 71 RUN 100 RUN 100

总 滑 距 求 法

一断层切错两个不平行的岩层或岩脉

例3：图3中的测定数据列表如下，并假定下盘相对不动，两岩层为A, B，上盘相对移动，两岩层变为A', B'。

表 1

错移距离	$A'A = 30 \text{ 米}, AB = 10 \text{ 米}, BB' = 10 \text{ 米}, A'B' = 110 \text{ 米}$
层面倾斜	A 岩层 $60^\circ \angle 35^\circ$, B 岩层 $300^\circ \angle 60^\circ$, F 断层 $180^\circ \angle 10^\circ$
法线倾斜	$a \quad 240^\circ \angle 55^\circ$, $b \quad 120^\circ \angle 30^\circ$, $f \quad 0^\circ \angle 50^\circ$
求断层面上岩层交迹侧伏角 θ	据 $\widehat{af}$ $55^\circ (\beta_2), 50^\circ (\beta_1), 240^\circ (L_2), 0^\circ (L_1), 40^\circ (F_a)$ 得 θ_A 据 $\widehat{bf}$ $30^\circ (\beta_2), 50^\circ (\beta_1), 120^\circ (L_2), 0^\circ (L_1), 40^\circ (F_a)$ 得 θ_B
求总滑距R等	据 $\theta_A, \theta_B, AB, A'B', BB'$ 得 $\Delta D, \Delta H, R, \theta_R$

1. 公式

要使用两个公式(图3),一是A, B岩层法线a, b分别与F断层法线f求出二者共面的倾角,接着分别求得断层面上A, B岩层交迹的两侧伏角 θ_A, θ_B ;二是据 θ_A, θ_B 及AB和A'B'边组成的三角形,利用正弦定理,分别求得断层面上两侧伏线的交点,两交点沿断层走向的分量距离为 ΔD ,而两交点离断层AB走向线的垂直距离为H和H'及其分量距离为 ΔH ,进而求得总滑距。

具体公式如下:

1) 求侧伏角 θ ^[7]

$$\sin \theta = \frac{\cos \arctan \frac{\tan \beta_1}{\tan \beta_2 - \cos(L_2 - L_1)}}{\sin F_a}$$

式中, F_a —断层面倾角, 其他 $\beta_1, \beta_2, L_1, L_2$ 见表1。

2) 求总滑距R

$$\begin{aligned} S &= \frac{\sin \theta_A \times AB}{\sin |\theta_A \pm \theta_B|}, & D &= S \cos \theta_B, & H &= S \sin \theta_B \\ S' &= \frac{\sin \theta_A \times A'B'}{\sin |\theta_A \pm \theta_B|}, & D' &= S' \cos \theta_B, & H' &= S' \sin \theta_B \\ \Delta D &= D + BB' - D' = D - B'B - D', & \Delta H &= H - H' \\ R &= \sqrt{\Delta D^2 + \Delta H^2} = \left\{ \left[\frac{\sin \theta_A \cdot (AB - A'B')}{\sin |\theta_A \pm \theta_B|} \cos \theta_B + BB' \right]^2 + \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{\sin \theta_A \cdot (AB - A'B')}{\sin |\theta_A \pm \theta_B|} \sin \theta_B \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

式中, S, S'—三角形中 $\angle \theta_A$ 的对应边; θ_A, θ_B —断层面上A, B岩层交迹线的侧伏角; R—总滑距; ΔD —走向滑距; ΔH —倾斜滑距; θ_R —总滑距滑向侧伏角。

顺便指出: (1) $\Delta D, \Delta H$ 应取绝对值, 其“+”“-”符号本来可示断层滑移指向, 如上盘的向上

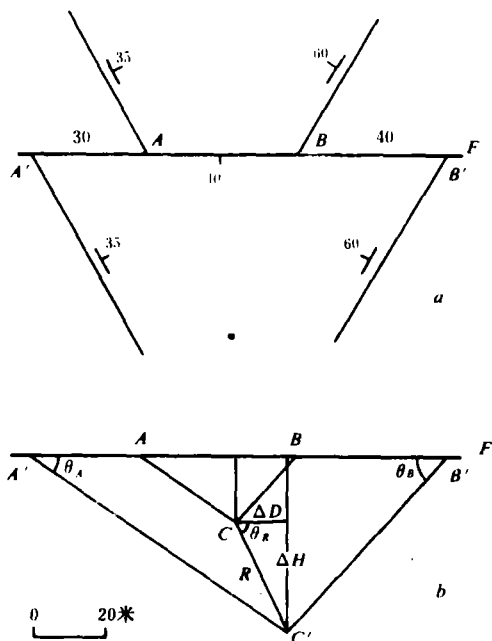


图3 利用对应点求总滑距

a—平面图; b—断面图

a) P_1 55 RUN 50 RUN 240 RUN 0 RUN 40 RUN 34 (θ_A)
 b) P_1 30 RUN 50 RUN 120 RUN 0 RUN 40 RUN 49 (θ_B)

2) 求总滑距 R

MODE 0 P_1

$$\begin{aligned} & \theta_A \quad \theta_B \quad AB \quad A'B' \\ & \text{ENT} 5 \text{KiN} 1 + \text{ENT} 4 \text{KiN} 2 = \sin \text{INV} 1/x \times (\text{ENT} 2 - \text{ENT}) \\ & = \text{KiN} 3 \text{KOUT} 1 \sin \text{KiN} \times 3 \text{KOUT} 3 \times \text{KOUT} 2 \cos + \text{ENT} 5 = \text{INV} \\ & \Delta D \quad \Delta H \quad \theta_R \\ & \text{HLT} \text{INV} \text{R-P} (\text{KOUT} 3 \times \text{KOUT} 2 \sin) \text{INV} \text{HLT} = \text{INV} \text{HLT} \text{INV} x-y \end{aligned}$$

MODE .

已知 $\theta_A, \theta_B, AB, A'B', BB'$, 求得 $\Delta D, \Delta H, R, \theta_R$

例3 P_1 34 RUN 49 RUN 40 RUN 110 RUN 40 RUN 14 RUN 30 RUN 33 RUN 65

例4 P_1 30 RUN 60 RUN 30 RUN 90 RUN 20 RUN 50 RUN 52 RUN 72 RUN 46

例4: 图4中已表示了 θ_A, θ_B 和 $AB, A'B', BB'$ 的数据, 求断层面上两标志层交迹线同向倾斜时的 $\Delta D, \Delta H, R, \theta_R$ 等值 (程序及演算同上)。

说明: (1) 无论两岩层或岩脉相向倾斜或相背倾斜, 上述程序和演算都能适用, 其中 $\Delta D = D - D' + BB' = D - D' - B'B$, 演算时若是 $B'B$, 输入“-”号即可。(2) 同向倾斜时, θ_A 和 θ_B 两者中只要对大角输入“-”号 (可参见公式注解)。(3) 按键上方的字母符号代表相当值的含义。

向下滑动或左行右行滑动, 但考虑到作示意图判别更为醒目容易, 故不再赘述。(2) 侧伏角 θ_A, θ_B 的侧伏向也易在示意图上判别, 并且 θ_A, θ_B 反向时为 $(\theta_A + \theta_B)$, 同向时则应大角减小角或取绝对值 $|\theta_A - \theta_B|$ 。

2. 程序和演算

1) 求侧伏角 θ

MODE 0 P_1

$$\begin{aligned} & \beta_2 \quad \beta_1 \\ & \text{ENT} 1 \text{KiN} 2 \tan \div \text{ENT} \\ & L_2 \quad L_1 \\ & 1 \text{KiN} 1 \tan - (\text{ENT} 1 - \text{ENT}) \\ & \text{KiN} 3 \cos = \div \text{KOUT} 3 \sin = \\ & \text{INV} \tan \cos \text{INV} 1/x \times \\ & \text{KOUT} 1 \tan = \text{INV} \tan \cos \div \\ & F_\alpha \quad \theta \\ & \text{ENT} 90 \sin = \text{INV} \sin \end{aligned}$$

MODE . P_1

已知 $\beta_2, \beta_1, L_2, L_1, F_\alpha$, 求得 θ

MODE	0	P ₁
------	---	----------------

条件与上述略有别， θ_A 和 θ_B 中有一个是已知值，另一个是断层面与某岩层面（或岩脉壁）的交迹线，其侧伏角用上节中求 θ 的公式和程序即可求得；求总滑距较上节方便，沿擦痕方向的两同层面间的实际距离即为总滑距，可用正弦定理直接求出。

例 5：图 5 中的测定数据列表如下：

表 2

错移距离	$A' A = 44 \text{ 米}$
层面倾斜	$A \text{ 岩层 } 70^\circ \angle 60^\circ, F \text{ 断层 } 180^\circ \angle 50^\circ$
法线倾斜	$a \quad 250^\circ \angle 30^\circ, f \quad 0^\circ \angle 40^\circ$
擦痕侧伏	$\theta, = 60^\circ W$ (指侧伏角 60° , 侧伏向西)
据 $\widehat{af}$ 求 θ_A	$30(\beta_2), 40(\beta_1), 250(L_2), 0(L_1), 50(F_a)$ 得 55
求总滑距 R 等	据 $\theta_A, \theta, A' A$ 得 $\Delta D, \Delta H, R$

1. 公式

- 1) 求侧伏角 θ (同上节)
- 2) 求总滑距

$$S = \frac{\sin \theta_A \times A' A}{\sin |\theta_A \pm \theta_B|}$$

$$\Delta D = D = S \cos \theta_s, \quad \Delta H = H = S \sin \theta_s$$

式中:

$S = R$, θ_s —擦痕侧伏角, 其余符号见上节。

θ_A 和 θ_c 相向倾斜或相背倾斜时用 $(\theta_A + \theta_c)$, 若同向倾斜, 只要对大值输入“-”号, 这个特点与上节相同。

显然，这里所列公式比上节中的更简单。

2. 程序和演算

- 1) 求侧伏角 θ (同上节)
- 2) 求总滑距 R

已知 $\theta_1, \theta_2, A'A$, 求得 $S = R, D, H$

P1 55 RUN 60 RUN 44 RUN 40 RUN 20 RUN 34

本文所用数据都取了整数。

经过试验, 求地层断距和求总滑距, 用电算器与用其他方法比较, 显然精度很高, 速度也相当快, 尤其是当计算器上有现成的有关程序并重复计算同类型的课题, 效果更为突出。

应当指出, 本文探讨的内容还不完善, 限于求直移运动造成的断距, 对于求旋转运动造成的断距, 因涉及到旋转轴的产状和所处部位, 旋转角度, 甚至弧形断层面的曲率和半径, 尚须增列公式, 加编程序, 在此从略。

参 考 文 献

- [1] 毕令斯, M. P.: 构造地质学 (张炳熹等译), 北京, 中国工业出版社, 1965年, 第155~160, 500~504, 523~527 页
- [2] Dennis, J. G.: International tectonic dictionary, Am. Assoc. Petrol., Tulsa, 1967, P. 132~133, 138, 155
- [3] 徐开礼等: 构造地质学, 北京, 地质出版社, 1984年, 第125~126 页
- [4] 库什纳列夫, И. П.: 确定断裂的方向和断距, 矿田和矿床构造 (秦国兴等译), 北京, 中国工业出版社, 1966年, 第139~164 页
- [5] Кушнарев, И. П.: Методы изучения разрывных нарушений, «Недра», Москва, 1977, С. 25~26, 160~198
- [6] 何绍勋: 构造地质学中的赤平极射投影, 北京, 地质出版社, 1979年, 第147~152 页
- [7] 张伯南等: 成都地质学院学报, 1982, 第1 期, 第48~49 页

用共轭剪节理计算及绘制主应力

图解的 BASIC 语言程序

高德臻

(武汉地质学院北京研究生部)

一个区域某一构造运动时期的应力分布状态, 一般是用测量到的同一应力场作用所形成的共轭剪节理的产状求解出三个主应力轴的空间方位来表示, 这是反演古构造应力场时经常应用的方法。目前利用极射赤平投影的方法来分析古构造应力场仍是一种行之有效的手段。本程序即按极射赤平投影原理, 根据共轭剪节理的产状用 PC-1500 随机 BASIC 语言来求解三个主应力轴的产状及绘制主应力图解的。

计算原理

1. 共轭剪切破裂面与主应力的几何关系及其在吴氏网上的极射赤平投影特征 (图 1):

1) 共轭剪切破裂面的交线方向, 就是中间主应力轴 σ_2 的作用方向。同理, 如果两平面 (如褶皱的两翼) 相交的交线即为两平面的交面线理 (如褶皱的枢纽)。

2) 设共轭剪切破裂面的锐角夹角平分线的方向为最大主应力轴 σ_1 的作用方向。