

用单钻孔资料和岩层面复平求构造面(线)倾斜的简便方法

张伯南

(成都地质学院)

采用改进的数学公式在可编38步程序的电算器上编制一对程序，就能又快又准地用单钻孔资料求岩层倾斜、求岩层复平后其他构造面(线)倾斜、求面线间夹角、求岩层厚度、求地层断距等。

关键词：单钻孔；岩层复平；岩层倾斜；电算器；程序



工作方法

用单钻孔资料求岩层倾斜*，除根据地层倾斜测井^[1]的三臂或四臂共9条测井曲线数据并借助计算机自动计算和成图外，用有刻痕标记的一个

定向岩心进行求解，也相当简便。

在钻进过程中，不同深度的钻孔倾斜容易测定，而脱离基岩的岩心常随着钻进的旋转而反复变化，如果在岩心与基岩未断开前用专门工具刻上定向标记(刻痕、印坑或钻眼)，则可恢复该岩心中的岩层面(包括各种构造面)倾斜。其方法可用测斜仪测定(类似于定向标本复原后直接实测岩层等倾斜)、画法几何图解、数学计算和赤平投影图解等。其中以数学公式配合电算器的程序计算效果最佳。

从岩心上假定刻痕处示钻孔倾向，以岩心正截面为水平面，则钻孔倾斜时的水平面变为钻孔倾角的余角(因为钻孔轴与岩心正截面成直角)，而岩层倾向是层面在岩心壁上交线的最低点方向(λ)，其与岩心正截

面的交角即为岩层倾角(α)，即 $\tan\alpha = (h_1 - h_2)/d$ ，式中 h_1 、 h_2 示岩心某正截面

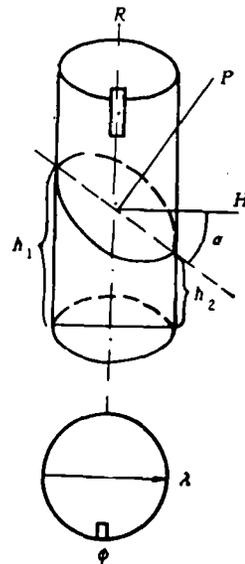


图1 有刻痕的定向岩心上确定 ϕ 、 λ 、 α 值示意图

*本文中术语倾斜包含平面的倾向、倾角或直线的倾向、倾(伏)角。

至层面与岩心壁交线的最高点距离和最低点距离， d 示岩心直径（图1）。

根据已有公式^[2,3]，作某些改进，即可简化判别过程，求得实际岩层真倾斜（ $D \angle A$ ）：

$$A = \cos^{-1}[\sin\beta\cos\alpha - \cos\beta\sin\alpha\cos(\phi - \lambda)]$$

$$D = \phi - \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\phi - \lambda)}{\frac{\cos\beta}{\tan\alpha} + \sin\beta\cos(\phi - \lambda)} \right]$$

式中：

- ϕ ——倾斜钻孔的水平面在岩心正截面为水平面时所作的法线倾向（是钻孔倾向的反向）；
- β ——倾斜钻孔的水平面在岩心正截面为水平面时所作的法线倾角，正好是钻孔的倾角；
- λ ——以岩心正截面为水平时的岩层倾向；
- α ——以岩心正截面为水平时的岩层倾角。

用可编38步程序的CASIO fx-180P（或3600P）电算器编制计算程序如下（因程序步有限，必须讲究技巧）：

ϕ β λ α
 1 Kin1 Kin2 Kin3 Kin4

MODE O（编程模式）

P₁

Kout2 sin Kin6 × Kout4 cos - Kout2 cos
Kin5 × Kout4 sin × Kout1 Kin2 INVX-K3

A

Kin-3 Kout3 cos = INVCos

INV P₂

Kout3 sin ÷ Kout4 tan Kin ÷ 5 Kout3 cos
Kin × 6 Kout6 Kin + 5 Kout5 = INVtan Kin-2

D

Kout2

MODE ·（程序运算模式）

例1：钻孔倾斜30°∠45°，岩心正截面作为水平面时的岩层倾斜135°∠30°，求岩层真倾斜^[3]（表1）。

运算时采用原水平面法线倾斜210°

表 1

钻孔倾斜		假定置倾斜钻孔的岩心成直立时						所求岩层倾斜	
		原水平面倾斜			岩层倾斜				
倾向 (ϕ)	倾角 (β)	倾向 (ϕ)	倾角 ($90 - \beta$)	法线倾向 ($\phi \pm 180$)	法线倾角 (β)	倾向 (λ)	倾角 (α)	倾向 (D)	倾角 (A)
30	45	30	45	210	45	135	30	175.5	58.6

∠45°和岩层倾斜135°∠30°，先把数据输入存储器中，再按P₁和INVP₂程序键，即得A值和D值。

ϕ β λ α

210 Kin1 45 Kin2 135 Kin3 30 Kin4

按P₁程序键，显示58.6，即A值；按INVP₂程序键，显示175.5，即D值。

输入和显示结果仅约20秒钟。

要注意的是：当 $90^\circ < \phi - \lambda < 270^\circ$ 时（指 ϕ 与 λ 为反向）， $D = D - 180^\circ$ ；当 $A > 90^\circ$ 时，指锐角 $A = 180^\circ - A$ ，而 $D = D + 180^\circ$ 。又 $D > 360^\circ$ 或 $D < 0^\circ$ 时，便于习惯上的理

解，可干360°即可。

例1中， $\phi - \lambda = 210^\circ - 135^\circ = 75^\circ$ ，小于90°，故直接算得D值和A值即为所求。

用赤平投影求法^[4,5]结果基本相符。它据原水平面复平即原水平面法线倾斜（AP）移至基圆圆心，而岩层法线倾斜（BP）按同轴纬向弧上同向同角移动，所得新极点（bp）的法垂面即为所求岩层倾斜（图2）。

顺便指出，目前在石油和煤田的地质勘探中已在推广应用计算机自动处理地层倾斜测井资料，如果囿于条件或仅侧重了解井中

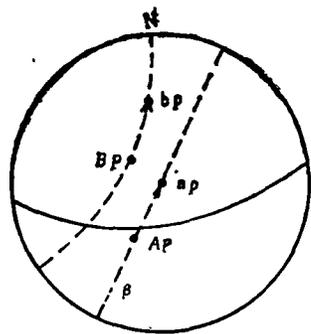


图2 例1的赤平投影图解(下半球投影)
岩层倾斜,其实也能因陋就简地按上述电算器程序进行求解。如用四臂(I、I、II、IV极板)测得的某岩层面上的高程 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 和I II、I IV方向上的井径 d_{13} 、 d_{24} ,先算得类似于直立岩心中的岩层倾斜($\lambda \angle \alpha$) (图3),其公式是:

$$\tan \alpha = \frac{\sqrt{[(Z_3 - Z_1)d_{24}]^2 + [(Z_4 - Z_2)]^2}}{d_{13}d_{24}}$$

$$\tan \lambda = \frac{(Z_4 - Z_2)d_{13}}{(Z_3 - Z_1)d_{24}} + \mu$$

其中 μ 是I号极板上已测得的方位角。
得 $\lambda \angle \alpha$ 后,再据已测的钻孔倾斜 $\phi \angle \beta$ (注意用 $\phi = \phi + 180$ 来计算),就如同用岩心资料那样很易求得实际岩层倾斜 $D \angle A$ 。

上述程序很有意义。从用单钻孔的有刻

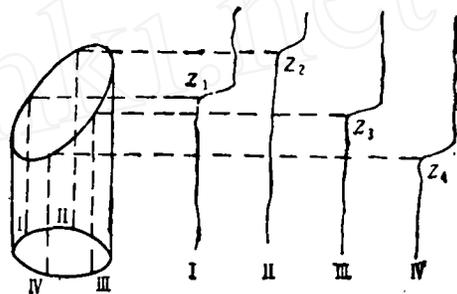


图3 据井斜仪4条对比曲线确定高程差示意图

表2

例	求解内容	已知数据				运算数据倾斜				所求结果(备注)		
		名称	倾 斜	名称	倾 斜	线或法线		面或法垂面		面(线)倾斜		面线夹角、 厚度断距
					ϕ	β	λ	α	D	A		
1	用单钻孔资料求岩层倾斜	钻孔	30 \angle 45	岩心上岩层	135 \angle 30	210	45	135	30	175.5	58.6	
2	岩层复平后面线倾斜	岩层	120 \angle 30	斜层理	150 \angle 50	300	60	150	50	356.5		(ϕ 、 λ 反向)
										-180	27.3	
										=176.5		
3	面线间夹角	岩层	120 \angle 40	砾石长轴	150 \angle 20	300	50	330	70			($A > 90$)
										(329	105	
										-90		
										=15		
4	二面间夹角	一翼	70 \angle 40	另一翼	290 \angle 30	250	50	290	30	-	65	180-65=115
5	二线间夹角	枢纽	180 \angle 20	交面线理	120 \angle 36	180	20	300	54	-	54	54
6	求岩层厚度	导线	120 \angle 10 斜距50m	岩层	90 \angle 42	120	10	90	42	-	116	$\cos \times 50$ = $ 22 \text{ m}$
7	求地层断距	导线	240 \angle 15 斜距100m	岩层	40 50	240	15	40	50	-	30	$\cos \times 100$ = 86 m
8	换算定向标本上面线倾斜	定向面	90 \angle 30	标本上劈理	320 \angle 50	90	60	320	50	170	36.6	
9	共轭断层及主应力倾斜	擦痕垂线	170 \angle 56	左行断层	200 \angle 60	170	56	200	60	195.6	90.2	($D \angle A$ 为 中间值)
	求 σ_1 倾斜	擦痕垂线	170 \angle 56	σ_1 法垂面	($D-30$) $\angle A$	350	56	195.6	90.2	344.7	56.3	(ϕ 、 λ 反向)
								-30=		-180		
										(σ_1 344.7	33.7)	
	求 σ_3 倾斜	擦痕垂线	170 \angle 56	σ_3 法垂面	($D-120$) $\angle A$	350	56	195.6	90.2	436.4	92.6	
								-120=		(σ_3 76.4	2.6)	
	求共轭断层倾斜	擦痕垂线	170 \angle 56	共轭断层	($D-60$) $\angle A$	350	56	195.6	90.2	310-		(ϕ 、 λ 反向)
								-60=		180	62.7	
										=130		

痕岩心或测井曲线资料求岩层倾斜的公式和赤平投影图解可见，其中已知数据是一直线（包括法线）倾斜和一平面倾斜，当一直线（或法线）旋转至直立（即法垂面为水平）时，一平面（赤平图上用法线）绕轴同步位移，则得该平面倾斜，而该线与该平面的夹角，是所求平面倾角的余角，而该线与该平面法线的夹角又正好是所求平面的倾角。由此，上述电算器程序可引伸应用于多个地质课题的计算。现以例题方式，分别略作介绍（表2）。

例2：一砂岩层倾斜 $120^\circ \angle 30^\circ$ ，其中斜层理倾斜 $150^\circ \angle 50^\circ$ ，求岩层复平后的斜层理倾斜^[5]（表2）。

情况类似于上例直立岩心上的原水平面倾斜及岩层面倾斜，只要把拟转成水平的岩层倾斜 $120^\circ \angle 30^\circ$ 换算为法线倾斜 $300^\circ \angle 60^\circ$ 并输入。

ϕ	β	λ	α
300 Kin1	60 Kin2	150 Kin3	50 Kin4

按 P_1 程序键，显示27.3，即 A 值；再按INV P_2 程序键，显示356.5，即 D 值。

例2中， $\phi - \lambda = 300^\circ - 150^\circ = 150^\circ$ ，即 $90^\circ < 150^\circ < 270^\circ$ ，示反向，故 $D = 356.5^\circ - 180^\circ = 176.5^\circ$ 。

用赤平投影图解求法结果也基本相符（略）。

例3：一岩层倾斜 $120^\circ \angle 40^\circ$ ，其中砾石长轴倾斜 $150^\circ \angle 20^\circ$ ，求岩层复平后的砾石长轴倾斜（借此了解沉积时的水动力条件）（表2）。

可将岩层倾斜 $120^\circ \angle 40^\circ$ 的法线倾斜 $300^\circ \angle 50^\circ$ 和砾石长轴倾斜 $150^\circ \angle 20^\circ$ 的法垂面倾斜 $330^\circ \angle 70^\circ$ 顺次输入：

ϕ	β	λ	α
300 Kin1	50 Kin2	330 Kin3	70 Kin4

按 P_1 程序键，显示105，即砾石法垂面的 A 值，而砾石长轴的倾角为 $105 - 90 = 15$ ；再按INVP $_2$ 程序键，显示329，即砾石法垂面

的 D 值，因 $A105 > 90$ ，例应 $D = D + 180$ ，但砾石长轴与其法垂面反向差180，所以329正好是砾石长轴倾向。由此可知，岩层复平后砾石长轴倾斜 $329^\circ \angle 15^\circ$ ，示水流由329。向149°逆向流动，而砾石长轴倾角相当于面线间夹角。

例4：褶皱两翼倾斜 $70^\circ \angle 40^\circ$ 和 $290^\circ \angle 30^\circ$ ，求其翼间角（求两剪节理的共轭剪裂角理同）（表2）。

把其中一翼如 $70^\circ \angle 40^\circ$ 换算成法线倾斜 $250^\circ \angle 50^\circ$ ，顺次输入：

ϕ	β	λ	α
250 Kin1	50 Kin2	290 Kin3	30 Kin4

按 P_1 程序键，显示65，而其补角 $180 - 65 = 115$ 为所求翼间角（两翼同斜时则取所显示的角），此时 D 值无意义。

例5：一褶皱枢纽倾斜 $180^\circ \angle 20^\circ$ ，在一翼上交面线理倾斜 $120^\circ \angle 36^\circ$ ，求二者夹角（表2）。

任选其中之一如把 $120^\circ \angle 36^\circ$ 换算为法垂面倾斜 $300^\circ \angle 54^\circ$ ，顺此输入：

ϕ	β	λ	α
180 Kin1	20 Kin2	300 Kin3	54 Kin4

按 P_1 程序键，显示54，即 A 值为法垂面倾角，等于二线之夹角。如果褶皱枢纽倾斜稳定，在褶皱两翼的不同部位分别测得同类线理的不同倾斜，当用上法分别求得的夹角相同或相近时，示该线理是在弯滑褶皱上的先成线理。

例6：测得岩层厚度的导线斜距 L 50m，导线倾斜 $120^\circ \angle 10^\circ$ ，岩层倾斜 $90^\circ \angle 42^\circ$ ，求岩层厚度（表2）。

由于上述公式和程序，其实也是求岩层厚度的推广应用，求厚度公式^[5]是：

$$M = L[\sin\beta\cos\alpha - \sin\alpha\cos\beta\cos(\phi - \lambda)]$$

即 $\cos A = M/L = \dots$

M 是岩层厚度，又示岩层法线， L 是斜距，它们构成以层面及其法线 M 为直角边、 L 为斜边的直角三角形， L 倾斜 $\phi \angle \beta$ ，岩

层倾斜 $\lambda \angle \alpha$ ，当 L 直立时，岩层倾角 A 即为该直角三角形中 M 与 L 的夹角，进而得 $M = \cos A \times L$ 。顺次输入：

ϕ β λ α
 120 Kin1 10 Kin2 90 Kin3 42 Kin4

按 P_1 程序键，显示116，即斜距 L 直立时的岩层倾角 A （其锐角 $A = 180 - 116 = 64$ ，计算时不换算也可），因为 $M = L \cos A$ ，所以得 A 值后立即按 $\cos \times 50 =$ ，显示 -22.08m ，取绝对值即为所求该导线段岩层厚度。在钻孔中求岩层厚度方法与此相同，直接用钻孔倾斜和岩层倾斜代入，得 A 值后再按 $\cos \times L =$ 即可（这里的 L 指钻深间的一段斜距，其倾斜等于钻孔倾斜）。

例7：断层两侧同一岩层面间的斜距 L 为 100m ， L 倾斜 $240^\circ \angle 15^\circ$ ，岩层倾斜 $40^\circ \angle 50^\circ$ ，求地层断距〔7〕（表2）。

用上述程序参照例6情况同样可求得地层断距为 86m ，进而求得铅直地层断距 $d = 86\text{m} \div \cos \alpha = 134\text{m}$ 和水平错开 $f = 86\text{m} \div \sin \alpha = 112.5\text{m}$ 。

例8：野外定向标本的定向面倾斜 $90^\circ \angle 30^\circ$ ，置于固定的水平台面上，定向面指向与水平台面上的正北指向相符或有一定夹角，然后测得标本中的如劈理倾斜 $320^\circ \angle 50^\circ$ ，求劈理的野外实际倾斜（表2）。

其原理和运算方法与例1相似，其区别是例1用垂直岩心轴的正截面为水平面再测直立岩心中的岩层倾斜，本例是用相当于岩心轴的定向面放成水平再测标本上的劈理（或其他构造面）倾斜，二者所选水平面相差 90° ，故把拟放成水平的定向面法线采用定向面的同向余角，即定向面为 $90^\circ \angle 30^\circ$ 时参与运算的法线倾斜为 $90^\circ \angle 60^\circ$ 。需要指出，如果定向面倒放在水平台面上，计算时参与运算的倾角应 $\pm 180^\circ$ ，如原为 60° ，则 $60^\circ - 180^\circ = -120^\circ$ （或 $60^\circ + 180^\circ = 240^\circ$ ），计算结果当 $A > 90^\circ$ ，示 $A = 180^\circ - A$ ，而 $D = D + 180^\circ$ 。

例9：一条左行断层倾斜 $200^\circ \angle 60^\circ$ ，在断层面上测得擦痕垂线（相当于共轭轴）倾斜 $170^\circ \angle 56^\circ$ ，设该岩石内摩擦角 30° ，求 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 倾斜，若有共轭断层求其倾斜〔5〕（表2）。

本例相当于例1、例2的综合运用。

先用例2法求共轭轴（等于 σ_2 ）直立时的左行断层倾斜（ $D \angle A$ ）为 $195.6 \angle 90.2$ （严格讲 σ_2 直立时该断层倾角应为 90° ）。

因 σ_2 为已知，求 σ_1 、 σ_3 倾斜时用例1法。将 $170^\circ \angle 56^\circ$ 变为 $350^\circ \angle 56^\circ$ ，顺次输入350 Kin1 56 Kin2 195.6-30 = Kin3 90.2 Kin4，先后按 P_1 、INVP₂程序键，显示56.3(A)和344.7(D)，因 $90 < \phi - \lambda < 270$ ，则 $D = 344.7 - 180 = 164.7$ ， σ_1 为 $D \angle A$ 的法线倾斜即 $344.7 \angle 33.7$ ；同理， ϕ 、 β 、 α 同上输入，只把 λ 改为 $195.6 - 120 =$ ，输入Kin3，先后按 P_1 、INVP₂程序键，显示92.6(A)和436.4(D)，锐角 $A = 180 - 92.6 = 87.4$ ，而 $D = 436.4 - 180 = 256.4$ ， σ_3 为 $D \angle A$ 的法线倾斜即 $76.4 \angle 2.6$ 。若为右行断层，求 σ_1 、 σ_3 时，只把 λ 中的 -30° 改为 $+30^\circ$ ， -120° 改为 $+120^\circ$ 。若内摩擦角是 20° ，则用 $(90^\circ - 20^\circ) / 2 = 35^\circ$ ，而不用本例的 $(90^\circ - 30^\circ) / 2 = 30^\circ$ 。

求共轭断层，因本例共轭剪裂角 $= 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ ，故只要在 λ 中输入 $195.6 - 60 =$ Kin3，先后按 P_1 、INVP₂程序键，显示62.7(A)和310.5(D)，因 $90 < \phi - \lambda < 270$ ，则 $D = 310.5 - 180 = 130.5$ 。

所以求得倾斜： $\sigma_1 = 344.7^\circ \angle 33.7^\circ$ ， $\sigma_2 = 170^\circ \angle 56^\circ$ ， $\sigma_3 = 76.4^\circ \angle 2.6^\circ$ ，而共轭断层为 $130.5^\circ \angle 62.7^\circ$ ，都与赤平投影求法〔5〕结果相符。

从上面所举9例可以看出，用一般可编程序的电算器编制一对程序就能求解多个常用地质课题。这类电算器备用方便，操作简单，参照已介绍的上述程序和例题进行演算，精度高，速度快，在纯计算方面比用赤

冶金地质系统档案资料管理工作会议在屯溪召开

冶金地质系统档案、资料管理工作会议于1989年10月6日至10日在华东冶金地质勘探公司屯溪地质调查所召开。

46名代表来自各公司(院)及下属队(所)的档案、资料管理部门负责人和管理人员。

会议的目的是:贯彻《全国地质资料汇交管理办法》、《全国地质资料汇交管理办法实施细则》,《冶金地质档案、资料管理办法》和《冶金地质资料汇交管理实施办法》等文件;总结交流冶金地质档案、资料管理工作的经验和体会。

会议期间,冶金部地质勘查总局资料馆宋雄同志就冶金地质科技档案、资料管理的基本状况及进一步加强冶金地质科技档案、资料管理的意见作了报告。20名代表在大会上发言,介绍了管理工作的经验与体会。与会代表在学习文件的基础上,总结了几年来档案、资料管理方面的经验、成绩及存在的问题,并对今后的工作提出了改进意见和建议,会议达到了预期目的。最后,冶金部地质勘查总局余中平同志作了总结,肯定了几年来取得的成绩,对今后进一步加强档案、资料管理工作提出了意见和要求。

会议认为,由于各级领导的重视、支持及广大档案、资料管理人员的辛勤劳动,几年来,在档案的综合管理、服务领域的拓宽、微机应用和开发利用等方面均取得了一定的成绩,今后应继续努力,以便为冶金地质找矿更好地服务。

会议认为,档案、资料管理工作今后主要抓好以下几方面的工作:

1. 各级领导要进一步重视和支持档案、资料管理工作。工作人员,要积极、主动地做好本职工作,争取领导的重视和支持。

2. 各级档案、资料管理部门的机构和管理人员要相对稳定,不断提高人员的素质,以适应新形势的需要。

3. 从事档案、资料管理工作的人员要忠于职守,做好本职工作;要模范地遵守和贯彻《档案法》、《保密法》及《资源法》等国家法令。

4. 各部门要按照《全国地质资料汇交管理办法》和《冶金地质资料汇交管理实施办法》的规定,认真做好地质资料的汇交工作。

(冶金部地质勘查总局资料馆供稿)

平投影图解效果更好,因此值得推广。

参 考 文 献

[1] 王日才、王冠贵,《地层倾角测井》,石油工业出版社,1987年,第3~36页。

[2] 吴光琳,利用钻探定向岩心确定地下岩层产状的方法,成都地质学院学报,1984年,第4期。

[3] Zimmer, P. W., 1963, Orientation of small

diameter drill core, Econ. Geol., V. 58, p. 1313~1325.

[4] 何绍勋,《构造地质学中的赤平极射投影》,地质出版社,1979年,第42~43,73~75页。

[5] 徐开礼、朱志澄主编,《构造地质学》,地质出版社,1984年,附本10,11,22,23,28页,附录V。

A Simple Method for Calculating the Inclination of a Structural Plane (or Line) after Restoring Its Original Horizontality

Zhang Bainan

Based upon a modified formula, a program was designed, which can be realized by a micro-computer, capable of proceeding 38 step operation, for high-speed and accurate determination of the inclination of a rock formation by using the data from a single hole. Besides, the inclination of structural surface (line) after restoring its original horizontality, intersection angle between the structural surface and the structural line, the thickness of rock formation and stratigraphic separation can be also calculated.