

50-54, 33

线状和面状构造的旋转 在地质数据处理和构造解析中的应用

林银山

(华东地质学院·江西抚州)

p628.1

A

介绍一组求线状和面状构造三种旋转型式的计算公式, 并列举线状构造和面状构造的旋转在地质数据处理和构造解析中的实际应用。

关键词 旋转轴 构造线 旋转角 叠加褶皱 枢纽断层



注意

线状构造和面状构造的旋转在构造分析乃至其他地质数据的处理和分析中运用很广。例如: 测算褶皱翼部上变形面理和线理的初始方位; 恢复岩层中特殊沉积构造的原始方位来判断沉积时的古流向; 校正从褶皱翼面上或倾斜岩层中测得的古地磁数据; 确定叠加褶皱区早期褶皱的原始方位以及求解枢纽断层的旋转角度、旋转轴位置和断距等均要通过构造线或构造面的旋转来实现。由于面状构造的旋转可用其法线代替, 待旋转结束后再还原, 因此, 所有有关旋转问题都可归结为构造线的旋转。

构造线的旋转有三种情况, 第一种是构造线绕一直立轴旋转, 旋转结果倾伏角不变, 倾伏向改变一个旋转角度; 第二种是构造线绕一水平旋转轴旋转, 实用上常为直线绕某一构造面的走向线旋转一个相当该构造面倾角的角度, 即构造面复平后的状态, 旋转结果倾伏角是直线与构造面的夹角, 倾伏向是构造面的走向加或减去包含直线和构造面法线的平面与构造面的交线在构造面上的侧伏角。张伯南 (1990)^[1]、赵玉琛 (1991)^[2] 曾提出这种旋转结果的简便计

算公式; 第三种是构造线绕一倾斜轴旋转, 旋转结果较复杂, 采用赤平投影方法不仅繁琐, 而且结果误差较大。笔者根据构造线旋转的几何关系, 用矢量代数方法推导一组适用于三种旋转情况的计算公式。

1 几何关系分析

构造线绕一旋转轴旋转一周的轨迹为一圆锥面, 若被旋转的构造线取一个单位长度, 那么决定圆锥体底面半径的大小是二者的夹角 V_0 , 旋转 ω 角度后, 构造线的倾伏向和倾伏角均在旋转轴位置上加和减 V_0 的范围内变化。

取旋转轴和被旋转的构造线方向单位矢量 \vec{n}_0 和 \vec{n}_1 , 用夹角余弦公式求出二者夹角 V_0 , 再取一条位于旋转轴正上方, 与旋转轴夹角为 V_0 的直线, 其方向单位矢量 \vec{m}, \vec{n}_1 和 \vec{m} 分别为圆锥面上的两条母线, 它们的夹角 V_1 。在圆锥体底面上 \vec{n}_0 与 \vec{n}_1 的距离 r_1 和 \vec{n}_0 与 \vec{m} 的距离 r_0 为圆锥体底面圆半径, 等于 $\sin(V_0)$; \vec{n}_1 和 \vec{m} 的距离 $l_1 = 2\sin(\frac{V_1}{2})$;

$$\text{线段 } r_0 \text{ 与 } r_1 \text{ 之间夹角 } \omega_1 = 2\arcsin\left[\frac{\sin(V_1/2)}{\sin(V_0)}\right]$$

如果旋转后线段 r_1 与 r_0 的夹角为 ω_2 (ω_1 和 ω_2 的正负值规定见后面), 就有线段 $l_2 = 2r_0\sin(\frac{\omega_2}{2})$;

本文 1993 年 6 月收到, 于纯烈编辑。

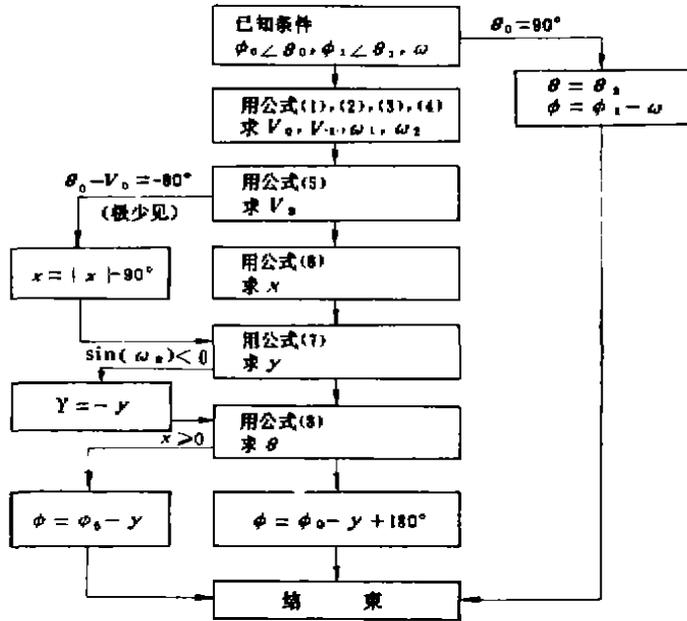


图2 构造线旋转求解流程图

$$V_0 = \arccos [\sin(0^\circ) \sin(63^\circ) + \cos(0^\circ) \cos(63^\circ) \cos(290^\circ - 297^\circ)] = 63.217^\circ$$

$$V_1 = \arccos [\sin(-63.217^\circ) \sin(63^\circ) + \cos(-63.217^\circ) \cos(63^\circ) \cos(290^\circ - 297^\circ)] = 126.325^\circ$$

$$\omega_1 = -2 \arcsin \left[\frac{\sin(\frac{126.325^\circ}{2})}{\sin(63.217^\circ)} \right] = -176.447^\circ$$

$$\omega_2 = -176.447^\circ + 60^\circ = -116.447^\circ$$

$$V_2 = 2 \arcsin \left[\sin(63.217^\circ) \sin\left(\frac{-116.447^\circ}{2}\right) \right] = -98.736^\circ$$

$$X = \arcsin \left[\frac{\frac{\cos(63.217^\circ)}{\cos(0^\circ)} - \frac{\cos(-98.736^\circ)}{\cos(0^\circ - 63.217^\circ)}}{\text{tg}(0^\circ) - \text{tg}(0^\circ - 63.217^\circ)} \right] = 23.428^\circ$$

$$Y = -\arccos \left[\frac{\cos(63.217^\circ) - \sin(0^\circ) \sin(23.428^\circ)}{\cos(0^\circ) \cos(23.428^\circ)} \right] = -60.587^\circ$$

$$\theta = 23.428^\circ$$

$$\varphi = 290^\circ - (-60.587^\circ) = 350.587^\circ$$

校正后原生剩磁方向为 $350.587^\circ \angle 23.428^\circ$ 。

2. 构造解析中需要确定并统计早期褶皱产状要素(枢纽和轴面产状)已知某标志层露头分布如图3,经野外观察,第二期褶皱形成机制以弯滑褶皱作用为主导,求早期褶皱的产状要素。

问题分析:早期褶皱的两翼岩层受后期构造应力作用后发生弯滑褶皱,翼面分别绕所在翼的晚期枢纽发生了旋转。确定早期褶皱产状需要把当前岩层产状恢复到早期褶皱两翼的状态,即让层面或其法线绕各自的枢纽旋转回去,然后再根据早期褶皱两翼产状来求褶皱产状要素。

旋转角度 ω 可根据两翼长度比 β 和翼

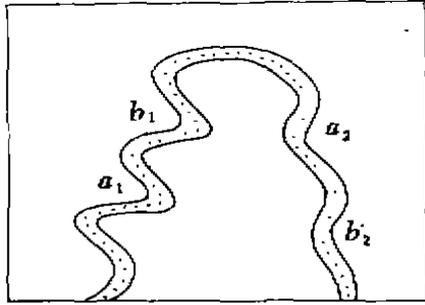


图3 某标志层露头分布图

岩层产状 $a_1-231^\circ \angle 29^\circ$; $b_1-358^\circ \angle 62^\circ$;
翼长比 $\beta=1.08$
 $a_2-33^\circ \angle 41^\circ$; $b_2-129^\circ \angle 76^\circ$;
翼长比 $\beta=1.12$

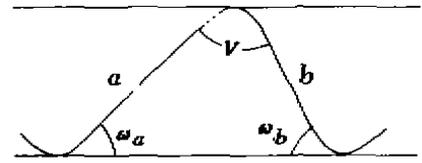


图4 旋转角度与两翼长度比及翼间角的关系

间角 V 来确定 (图4)。

两翼长度比 $\beta = \frac{a}{b}$ (12)

旋转角度

$$\omega_a = \pm \arcsin \left[\frac{\sin(V)}{\sqrt{\beta^2 - 2\beta \cos(V) + 1}} \right] \begin{cases} \text{当 } \sin(\varphi_0 - \varphi_a) \geq 0 \text{ 时取 “+”;} \\ \sin(\varphi_0 - \varphi_a) < 0 \text{ 时取 “-”} \end{cases} \quad (13)$$

$$\omega_b = \pm \arcsin \left[\frac{\beta \sin(V)}{\sqrt{\beta^2 - 2\beta \cos(V) + 1}} \right] \begin{cases} \text{当 } \sin(\varphi_0 - \varphi_b) \geq 0 \text{ 时取 “+”;} \\ \sin(\varphi_0 - \varphi_b) < 0 \text{ 时取 “-”} \end{cases} \quad (14)$$

表1 某叠加褶皱两翼原始产状及计算结果

原始数据	层面	$F_a \angle S_a = 231^\circ \angle 29^\circ, F_b \angle S_b = 358^\circ \angle 26^\circ$		$F_a \angle S_a = 33^\circ \angle 41^\circ, F_b \angle S_b = 129^\circ \angle 76^\circ$		
	法线	$\varphi_a \angle \theta_a = 51^\circ \angle 61^\circ, \varphi_b \angle \theta_b = 178^\circ \angle 28^\circ$		$\varphi_a \angle \theta_a = 213^\circ \angle 49^\circ, \varphi_b \angle \theta_b = 309^\circ \angle 14^\circ$		
	翼长比	$\beta = 1.08$		$\beta = 1.12$		
计算过程及结果	1 翼间角及晚期褶皱枢纽产状*	$V = 98.8005^\circ$ $\theta_0 = 20.2391^\circ$ $\varphi_0 = 279.3056^\circ$		$V = 96.6637^\circ$ $\theta_0 = 39.5975^\circ$ $\varphi_0 = 50.9023^\circ$		
	2 旋转角	$\omega_a = -38.7116^\circ$	$\omega_b = 42.4878^\circ$	$\omega_a = -38.7843^\circ$	$\omega_b = 44.552^\circ$	
	3-1	$V_1 = 90^\circ$	$V_2 = 90^\circ$	$V_1 = 90^\circ$	$V_2 = 90^\circ$	
	3-2	$V_1 = 158.7764^\circ$	$V_2 = 120.0242^\circ$	$V_1 = 168.3654^\circ$	$V_2 = 108.2938^\circ$	
	3-3	$\omega_3 = -158.7764^\circ$ $\omega_4 = -197.488^\circ$	$\omega_1 = 120.0242^\circ$ $\omega_2 = 162.512^\circ$	$\omega_1 = -168.3654^\circ$ $\omega_2 = -207.1497^\circ$	$\omega_1 = 108.2938^\circ$ $\omega_2 = 152.8503^\circ$	
	3-4	$V_3 = -162.512^\circ$	$V_4 = 162.512^\circ$	$V_3 = -152.8503^\circ$	$V_4 = 152.8503^\circ$	
	3-5	$\theta = 63.4944^\circ$ $\varphi = 141.6319^\circ$	$\theta = 63.4944^\circ$ $\varphi = 141.6319^\circ$	$\theta = 43.286^\circ$ $\varphi = 269.7212^\circ$	$\theta = 43.286^\circ$ $\varphi = 269.7212^\circ$	
	换成层面产状	$321.6319^\circ \angle 26.5056^\circ$		$89.7212^\circ \angle 46.714^\circ$		
	4 早期褶皱*	翼间角	$V = 114.4038^\circ$			
		枢纽	$13.7155^\circ \angle 16.3064^\circ$			
	轴面	$289.0169^\circ \angle 78.8634^\circ$				

* 用文献 [4] 的有关公式计算。

旋转取其中一翼进行即可。

求解过程如下 (结果见表 1):

- (1) 求翼间角 V 及晚期褶皱枢纽产状 $\varphi_0 \angle \theta_0^{[4]}$;
- (2) 求旋转角度 ω_a 或 ω_b ;
- (3) 化层面产状为法线产状, 根据公式 (1)~(9) 求早期褶皱两翼的产状;
- (4) 求早期褶皱的翼间角 (顶角)、枢纽及轴面产状^[4]。

3. 某断层切过一向斜构造 (图 5a), 同一标志层在断层两盘产状发生旋转变化的求: (1) 旋转角度; (2) 旋转轴位置; (3) 含金石英脉沿断层走向方向的水平距离。

问题分析: 这是一个关于求枢纽断层要素的问题。理想的枢纽断层是以断层面为界, 上盘相对下盘绕垂直断层面的直线 (即断层面法线) 作旋转运动, 同一标志层旋转前后与旋转轴的夹角不变。

求解问题 (1): 用公式 (1)~(3) 分别求出 ω_1 和 ω_2 , 再由公式 (4) 求得旋转角度 $\omega = \omega_2 - \omega_1$ (见表 2)。

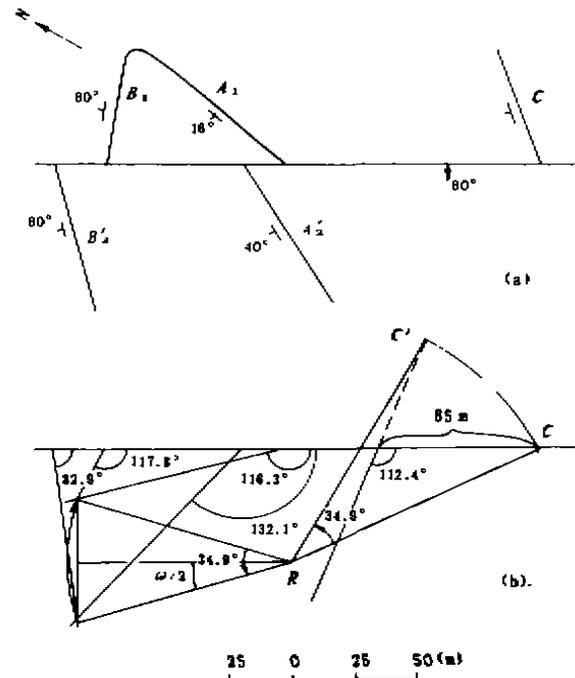


图 5 枢纽断层地质图及几何图解

a—构造平面图 下盘 $A_1-280^\circ \angle 16^\circ$ $B_1-333^\circ \angle 60^\circ$ $C_1-310^\circ \angle 28^\circ$ $F-240^\circ \angle 60^\circ$; 上盘 $A_2-300^\circ \angle 40^\circ$ $B_2-316^\circ \angle 90^\circ$ $C_2-?$
b—在断层面上的几何图解

表 2 某枢纽断层要素计算结果

旋转轴产状	A岩层法线		B岩层法线		C含金石英脉法线		
	旋转前	旋转后	旋转前	旋转后	旋转前	旋转后	
$\varphi_0 \angle \theta_0 = 60^\circ \angle 30^\circ$	$100^\circ \angle 74^\circ$	$120^\circ \angle 50^\circ$	$153^\circ \angle 30^\circ$	$136^\circ \angle 0^\circ$	$130^\circ \angle 62^\circ$	$125.1896^\circ \angle 33.9089^\circ$	
旋转角度	用公式 (1) 求	$V_0 = 48.4332^\circ$	$V_0 = 48.5965^\circ$	$V_0 = 77.8338^\circ$	$V_1 = 77.9063^\circ$	$V_0 = 54.5121^\circ$	(公式 6~9) [*]
	用公式 (2) 求	$V_1 = 95.9484^\circ$	$V_2 = -86.5418^\circ$	$V_1 = 113.6422^\circ$	$V_2 = -80.6671^\circ$	$V_1 = 102.7222^\circ$	$V_2 = -85.1004^\circ$ (公式 5)
	用公式 (3) 求	$\omega_1 = -166.3019^\circ$	$\omega_2 = -132.846^\circ$	$\omega_1 = -117.7843^\circ$	$\omega_2 = -82.894^\circ$	$\omega_1 = -147.1934^\circ$	$\omega_2 = -112.3031^\circ$ (公式 4)
	用公式 (4) 求	$\omega = \omega_2 - \omega_1 = 34.2173^\circ$		$\omega = \omega_2 - \omega_1 = 34.8903^\circ$		(已知 $\omega = 34.8903^\circ$)	
岩层面与断层面的 交线产状及交线在 断层面上的顺时针 侧伏角 [*]	$\theta_{A1} = 11.8343^\circ$	$\theta_{A2} = 39.9955^\circ$	$\theta_{B1} = 50.0121^\circ$	$\theta_{B2} = 59.2463^\circ$		$\theta_{C2} = 53.1865^\circ$	
	$\varphi_{A1} = 323.0516^\circ$	$\varphi_{A2} = 301.0284^\circ$	$\varphi_{B1} = 286.5^\circ$	$\varphi_{B2} = 226^\circ$		$\varphi_{C2} = 279.5219^\circ$	
	$k_{A1} = 166.3018^\circ$	$k_{A2} = 132.111^\circ$	$k_{B1} = 117.7843^\circ$	$k_{B2} = 82.8939^\circ$		$k_{C2} = 112.4156^\circ$	

*用文献[5]一文中的公式 (13)、(14)、(15) 计算。

求解问题 (2): 先求出岩层面与断层面的交线在断层面上的顺时针侧伏角^[4], 然后根据侧伏角和旋转角度用几何作图法求解旋转轴位置。如图 5-b 中 R。

求解问题 (3): 首先用公式 (1)~(9) 求旋转后含金石英脉的产状, 再求与断层面的交线在断层面上的顺时针侧伏角, 然后根据断层下盘含金石英脉出露点 C 与旋转轴位

(下转第 33 页)

它似应归宿于太古界涧沟河组上部的区域变质地层。

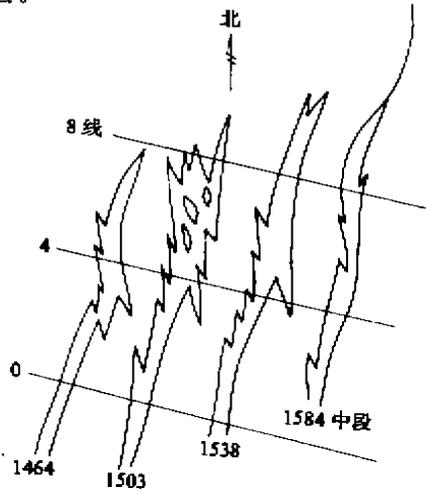


图8 1号脉带不同中段矿体展布图
(2)本区经历了3次大的构造运动。构造

样式复杂隐蔽。区内既有褶皱,也有劈理化带、韧性剪切带、脆性断裂和裂隙。

(3)经过长期的变形—变质作用,金逐渐被迁移、富集。北北西向轴面劈理化带与北东向褶皱—剪切构造群体的联合,形成了控矿格架。

(4)本矿是产于老变质岩中的褶皱—剪切带型金矿。褶皱—剪切带受基底东西向构造控制,具面型横向发展的特点,东西向横跨达6km。

参考文献

- 1 张树业等. 变质岩结构构造图册. 北京:地质出版社, 1985.
- 2 宋官祥. 一个与碱性杂岩体有关的金矿床——冀北东坪金矿. 地质与勘探, 1991, 27(8): 1~8.

Metallogenic Study of Dongping Gold deposit

Xu Yuncheng Yun Qiang Li Shaozhong

The gold-bearing rocks and structures for ore housing in Dongping gold deposit were investigated in both macroscopic and microscopic aspects. It is believed that Dongping complex is a metamorphic and that deformation, metamorphism and shearing are direct motive forces in mineralization and that folds and shear zones are jointly controlling the deposit.

~~~~~  
(上接第54页)

置R之间的距离、旋转角度以及顺时针侧伏角用几何作图或数学计算法求得含金石英脉的水平间距为右行65m(图5-b)。

求解有关构造线或构造面的旋转问题,数学计算是不同于赤平投影的新方法,具有简便、迅速和精度高的优点,而且根据计算公式编写电算程序就可借助计算机对大批地质数据进行高精度和高速度的旋转处理。

参考文献

- 1 张伯南. 地质与勘探, 1990, 第2期.
- 2 赵玉琛. 地质与勘探, 1991, 第2期.
- 3 J.K. 帕克. 国外地质科技, 1985, 第1期.
- 4 林银山. 地质与勘探, 1992, 第4期.
- 5 林银山. 地质与勘探, 1987, 第7期.
- 6 J.G. 兰姆赛著(单文琅等译), 《岩石的褶皱作用和断裂作用》, 地质出版社, 1985年.
- 7 D.M. 拉根著(邓海泉、徐开礼等译), 《构造地质学, 几何方法导论》, 地质出版社, 1984年.

**Application of the Rotation of Linear and Planar Structures to Processing of Geological Data and Structural Explanation**

Lin Yinshan

The author introduced a set of formulae solving three rotational patterns of linear and planar structures. Some examples are cited to indicate the practical application of the rotation of linear and planar structures to processing of geological data and structural explanation.