



求断层总滑距的新方法

合肥工业大学地质系 斗守初 宋传中

在找矿勘探、矿山地质、水文地质及地震地质等实际工作中，正确地查明断层位移情况，是非常重要的。因为只有获得精确的断层位移数据，才能推算出矿体、含水层或特定地质体的错断位置，从而合理布置工程，获得更佳经济效果。然而，在以往的资料中，对一些断层的测量和描述，多侧重于断层带的长度、宽度、深度，断层的走向、倾向、倾角及断层两盘相对移动的性质。这些资料固然很重要，但只是解决了断层构造的几何特征及位移趋势，仍属于定性描述范畴。随着生产的需要和科研工作的深入，对断层位移的研究也日益深入，从定性描述逐步发展到定量测算。所谓定量测算，包括位移方向和位移距离两个方面。对于位移方向，不仅要判定断层两盘相对移动的性质，而且还要求出位移矢量线在三度空间中的位置，即滑向的倾伏向和倾伏角。对于位移距离，则要测算出断层两盘相当点的滑动距离，即未断前的一个点，在断层移动后撕裂成两个点的距离。这些数据的测量是一项比较复杂而严细的工作。

断层位移的涵义

由于构造地质学家对断层位移测量的方法和研究的侧重点不同，所以出现了许多的断层位移名称。其测量方法，有的根据相当层的位移来测；有的测自断层面；有的测自垂直断层的剖面；有的测自垂直地层的剖面；还有的测自水平面等。而每一种位移又可按矢量分解原则再分出垂直分量、水平分量（走向分量）和倾向分量等一系列不同的分位移来。其断层命名就更加混乱，如断距、滑距、错距、割距、离距等。本文把根据相当点测算的位移称为滑距；把根据相当层测算的位移称为断距。各种滑距与断距的涵义及其关系如图1所示。

从图1中看出，在各种位移量中，只有总滑

距 ac 才是最有实际价值的度量要素。因为它代表断层面上相当点的直接滑动距离，没有经过矢量分解，是最直观、可靠的断层移动踪迹。所以，总滑距最能反映断层的真位移。值得提及的是，垂直于地层走向剖面上的真地层断距 po 可在野外测算求出，它与总滑距存在一定的函数关系。

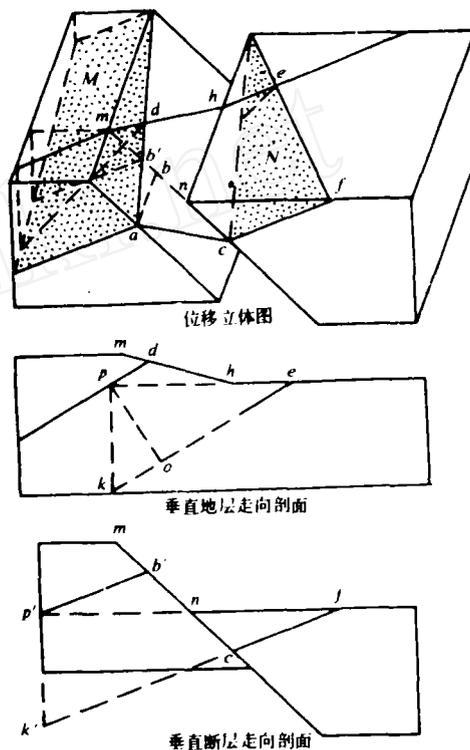


图1 断层的各种位移

a, c —相当点; M, N —相当层; ac —总滑距; ab —走向滑距; bc —倾斜滑距; po —真地层断距; $pk, p'k$ —铅直地层断距; $pe, p'j$ —水平地层断距

对某些测算方法的评述

虽然，总滑距是两个相当点的点距，但它却无法直接测量。因为两个相当点之一常埋于地下，所以只能用间接手段测算。有时测算断层总位移，是根据地质图上断层两侧相当层的错开位置量出的距离，作为总位移的。该法是值得商

权的，因为只有纯水平或垂直移动的断层用上法量出的距离，才是断层的真位移；否则，测出的距离只是一种平面断层效应（或称视位移）它与断层产状、断层真位移、被断地层产状、地形剥蚀起伏形态及不同剖面位置等因素有关。因此，这种断层效应其位移量不等于断层真位移量。有时位移方向也会出现假象，从而导致对断层性质的错误判断，所以，这种求断层位移的方法必须慎重对待。

另一种间接测算位移的方法——“V”形面反推法，即利用两个相交成“V”字形的面（地层面、老断层面、岩脉、矿脉等），该面被断层切过处有一交点，当断层错动时，将交点撕裂而错至断层两侧，成为两个理想相当点。野外测其宽度变化和“V”形面在断层面的侧伏角，再通过作图反推出两个“V”形尖端（理想相当点）的位置，其两点的距离就是断层的总滑距。该法是合理的，但在实际工作中要找到一个理想的“V”形面是很困难的。因此，用“V”形面反推法求总滑距实际应用的并不多。

新方法的原理和计算步骤

近年来，我们通过教学和科研工作的实践和参考有关资料，提出一种测量断层位移的新方法。

方法原理 在图2中， F 为断层面； a 、 c 为两个相当点； ac 为总滑距（滑向线）； M 、 N 为两个相当层； ab 为相当层的垂直距离（垂直地层走向剖面测的地层断距），简称为真地层断距； θ 为滑向线 ac 与相当层垂直线 ab 的夹角（锐角），命为滑垂角，它与 ab 及 ac 的关系是：

$$ac = ab \cdot \sec \theta$$

证明 $\because ab \perp N$ 面， bc 在 N 面内，

$\therefore ab \perp bc$ ， $\triangle abc$ 为直角三角形。

在 $\triangle abc$ 中， $\cos \theta = \frac{ab}{ac}$

$\therefore ac = \frac{ab}{\cos \theta} = ab \cdot \sec \theta$ 。

因此，用本法测算总滑距 ac 的两个要素是真地层断距 ab 和滑垂角 θ ，这两个要素可用下述方法求出。

滑垂角（ θ ）求法 该角是 ab 和 ac 两条方向线的夹角。在赤平投影网上，只要知道 ac 、

ab 的方向，便可求出 θ 角。从图2可看出， ac 是断层的滑向，滑向可根据擦痕、阶步、构造透镜体等伴生构造测出，也可用显微构造分析法求出。 ab 的方向为相当层层面的法线方向，因此，在野外只量出一个相当层的产状即可得到。取得滑向和相当层的产状后，在赤平投影上作出相当层极点和滑向线投影点，再转到同一大圆弧上，则两点的角距就是 θ 值。

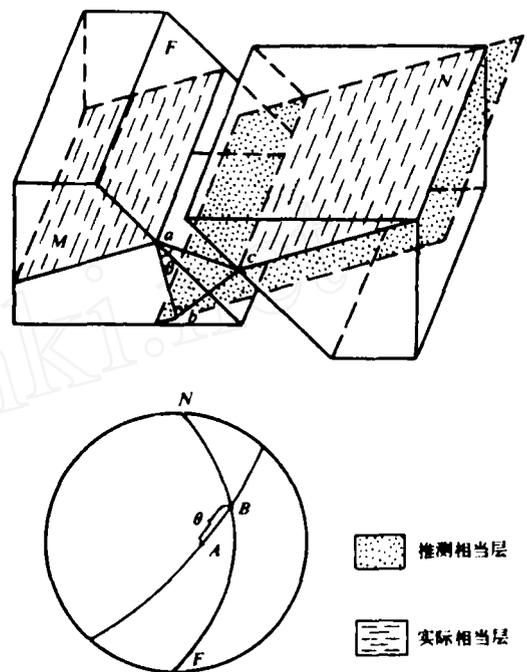


图2 测定总滑距图示

A—地层法线投影极点；B—滑向线投影极点

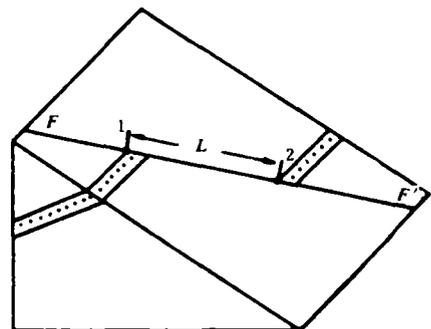


图3 视地层断距图示

$F F'$ —断层；1、2—同一层面两个点；L—视地层断距

真地层断距 ab 求法 过去，人们认为真地

层断距必须在垂直于地层走向的剖面上测得，但野外很难遇到这种理想剖面。多数情况是在任意方向剖面上见到断层两侧相当层。像图3中1、2和图4中M、N所量到的断距L，是由断层效应所引起的视地层断距，它受剖面方向、地形、覆盖等因素影响，因而数值变化不定。现利用这个可测的视地层断距，通过一定方法，把它换算成真地层断距。

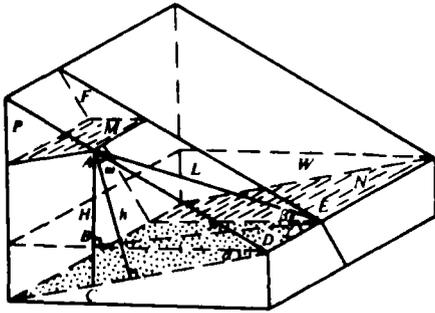


图4 视地层断距与真地层断距关系

F—断层面；P—垂直地层走向剖面；L—视地层断距；
h—真地层断距；H—铅直地层断距；M、N—相当层；
α—地层倾角；β—地形坡度角；γ—视地层断距导线方位与相当层走向夹角

方法原理如图4所示，真地层断距h与视地层断距L存在下述函数关系：

$$h = L (\sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta)$$

证明 ∵W为水平面，BF在W面内，AB⊥W，

∴AB⊥BE，∠ABE为直角。

∵P面⊥ED，BD在P面内，

∴BD⊥ED，∠BDE为直角。

∵W为水平面，BD在W面内，BC⊥W，

∴BC⊥BD，∠CBD为直角。

∴AC⊥BD，AO⊥CD，

∴∠CAO = ∠BDC = α。

$$h = AC \cdot \cos \angle CAO$$

$$= AC \cdot \cos \alpha$$

$$= (AC + BC) \cdot \cos \alpha$$

$$= (L \cdot \sin \beta + BD \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \cos \alpha$$

$$= (L \cdot \sin \beta + BE \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \cos \alpha$$

$$= (L \cdot \sin \beta + L \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \cos \alpha$$

$$= L (\sin \beta \cdot \cos \alpha + \cos \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \alpha)$$

整理后得，

$$h = L (\sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta)$$

上式中，当相当层倾向与地面坡向相反时用加法；相当层倾向与地面坡向相同时用减法，取绝对值。

计算时，也可不用公式，而用赤平投影法直接作图。只要把相当层法线和测量导线投影到赤平面上，再将两个投影点转到同一大圆内，读出两点间角距值ω(图4)即可。据h=L·cosω，把视地层断距L换算成真地层断距h。

实例及方法对比

曾在安徽俞府大村，对一条位移素有争议的横断层作了测试。先用上述新法测算了总滑距，后用“V”形面反推法测算了总滑距，并对二者进行了对比验证。

该区位于半汤复式背斜西翼俞府大村向斜中(图5)。向斜枢纽延伸方向为北北东—南南西，北北东端翘起，轴面微倾斜，倾向北西。两翼地层为D₁—P₁，地层倾角中等，向斜中发育着一系列纵、横断层。

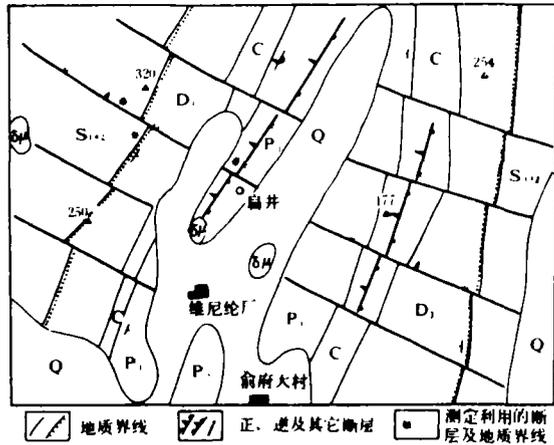


图5 俞府大村向斜地质略图

测试的一条横断层位于向斜西翼，走向295°，断层线延长1200米。该断层切过地层D₁—P₁及一些纵断层。断层带中断层角砾岩、擦痕、阶步、构造透镜体及其它伴生构造均很发育。

用新法测算断层总滑距

1.求真地层断距。在野外选择了五通组底砾岩作为相当层，其产状为128°∠40°，两相当层导线距(视地层距L)为219.5米，导线方位角

为 110° ，坡度角为 -12° 。

用赤平投影作出相当层 $(128^\circ \angle 40^\circ)$ 的极点 A ，再作导线 (110°) 投影点 B ，使 A 、 B 共大圆弧，读其角距 $\omega = 64^\circ$ （图6）。据 $h = L \cdot \cos \omega$ 可得出真地层断距为96.8米。

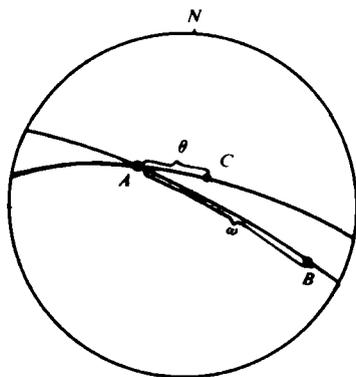


图6 赤平投影求 ω 及 θ

A —相当层投影极点； B —视地层断距导线投影极点；
 C —擦痕投影极点

2. 求断层总滑距。在野外测得优势擦痕倾向为 43° ，倾伏角为 66° ，将其投影到赤平面上得点 C ，使 A 、 C 共大圆弧，读其角距为 $\theta = 48^\circ$ ，总滑距为 $h \cdot \sec \theta = 96.8 \text{米} \times \sec 48^\circ = 144 \text{米}$ 。

用“V”形面反推法求断层总滑距

1. 测量计算。野外测得横断层产状为 $25^\circ \angle 70^\circ$ 。选择一个岩层（五通组底砾岩）和一条纵断层作为“V”形面，岩层产状为 $128^\circ \angle 40^\circ$ ，纵断层产状为 $307^\circ \angle 75^\circ$ 。

在赤平投影图上（图7），投出横断层大圆弧

$\widehat{FF'}$ ($25^\circ \angle 75^\circ$)、岩层大圆弧 \widehat{AB} ($128^\circ \angle 40^\circ$)及纵断层大圆弧 \widehat{CD} ($307^\circ \angle 75^\circ$)。 \widehat{AB} 和 \widehat{CD} 分别与 $\widehat{FF'}$ 相交于 G 、 H ，量出 $\widehat{F'G}$ 角距 $= 39^\circ E$ （即岩层在横断层面上侧伏角）和 $\widehat{F'H}$ 角距 $= 79^\circ W$ （即纵断层在横断层面上侧伏角）。

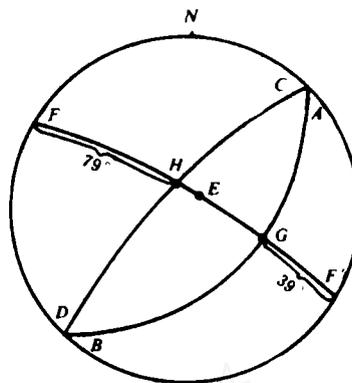


图7 V形面反推法赤平投影

AB —岩层投影大圆； CD —纵断层投影大圆； FF' —横断层投影大圆； E —滑向线 (SS') 投影极点

2. 几何图解。“V”形面（五通组底砾岩及纵断层）在横断层两侧出露线之间的平距分别为213米和47米，再结合侧伏角数据（ $39^\circ E$ 及 $79^\circ W$ ），按比例绘出图形（图8），便得出两个“V”形尖端点 S 和 S' （理想相当点），量 S 和 S' 间距，即为总滑距， $SS' = 150 \text{米}$ 。

量出 SS' 在横断层面上的侧伏角为 $86^\circ E$ ，从而在赤平面上找到 SS' 的投影点 E ，其产状为 $38^\circ \angle 70^\circ$ ，即横断层滑向。

方法对比

1. 从质量、效率上看，新法所得的断层总滑

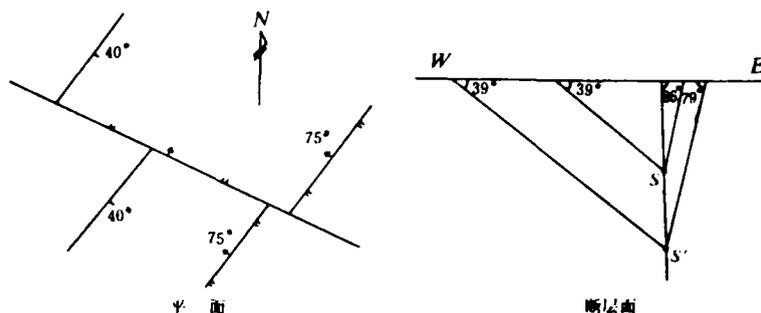


图8 “V”形面反推法几何图解

S 、 S' —相当点； SS' —总滑距

距为144米；“V”形面反推法所得的断层总滑距为150米，两者相差6米。对长达1200米的断层来说，两个数据还是比较接近的。此外，新法不用配合图解，可以减少因作图而引起的误差，测算效率可提高一倍。

2.从实用价值上看，“V”形面反推法要求的条件苛刻，在实际工作中，要找到一个理想的“V”形面是很困难的，而新法只要在断层两侧任意位置找到两个相当点即可。

新法的要点是利用了一个三维空间特殊角——滑垂角进行赤平换算，因此，可称为滑垂角法。我们认为采用该法来测量断层总滑距是可

靠、实用的，在生产和科研工作中可以进行尝试。

主要参考文献

- [1] 希尔斯, E. S., 构造地质学原理 (李叔达等译), 地质出版社, 1980
- [2] 阿日吉列, Г. И., 构造地质学 (秦其玉等译), 中国工业出版社, 1966
- [3] 毕令斯, M. P., 构造地质学 (张炳熹等译), 地质出版社, 1973
- [4] 何绍勋, 构造地质学中的赤平极射投影, 地质出版社, 1979
- [5] Spencer, E. W., 1977, Introduction to the Structure of the Earth, New York, McGraw-Hill.
- [6] Hobbs, B. E., Means, W. D., Williams, P. F., 1976, An Outline of Structural Geology, John Wiley & Sons, Inc.

化学分析结果是否有系统误差的

电子计算器算法

成都地质学院勘探教研室 文 朴

矿床勘探中，矿石化学分析结果经检查分析后，须判断原分析结果是否存在系统误差。以往多用下列计算方法算出概率系数 t ，然后根据 t 是否大于 2 来判断其是否有系统误差，再据情况决定是否用校正系数 f 予以校正。

设： n —检查样品数目

x_i —检查分析品位

y_i —原分析品位

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$M_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2}{n-1}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - M_y)^2}{n-1}}$$

$$m_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

$$m_y = \frac{S_y}{\sqrt{n}}$$

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)(y_i - M_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - M_y)^2}}$$

$$t = \frac{|M_x - M_y|}{\sqrt{m_x^2 + m_y^2} \cdot 2 m_x m_y}$$

$$f = \frac{M_x}{M_y}$$

校正品位 y'_i 为

$$y'_i = f y_i$$

显然用上述计算公式进行计算是相当麻烦的。即使用电子计算器计算，如果没有一个好的计算程序，仍然相当费时。

笔者考虑到，日本夏普公司所产 E L—5002 型电子计算器性能良好，我国广州产的 8031 型及大连产的 DS—5 型电子计算器又与 E L—5002 型完全相同，且在用户手中为数较多，故设计了一个用于计算上述 t 、 f 、 y' 的计算程序，供广大勘探工作者使用。

为便于用 E L—5002 型计算器计算，经笔者推导，得出计算 t 的公式如下：