

(1)已知断层 F_1 为左行水平错位断层,产状为 $15^\circ/\text{NW}$ $\angle 77^\circ$;矿体产状为 $30^\circ/\text{NW}$ $\angle 27^\circ$;斜天井掘进方位 100° ; $D = 25.5\text{m}$;

$$(2)\theta = 30^\circ - 15^\circ = 15^\circ;$$

(3)根据视倾角换算公式,得

$$\beta_1^0 = \arctg[\tg 27^\circ \cdot \cos(300^\circ - 180^\circ - 100^\circ)] = 25.58^\circ;$$

$$\beta_2^0 = \arctg[\tg 77^\circ \cdot \cos(285^\circ - 180^\circ - 100^\circ)] = 76.95^\circ;$$

$$(4)\varphi^0 = 100^\circ - 15^\circ = 85^\circ$$

(5)把以上数据代入(1)式中,得 D 值,下面用 D_{100° 来表示断层在 100° 剖面上相对错距值。

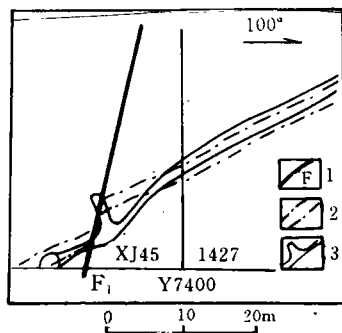
$$D_{100^\circ} = -\frac{25.5 \times \sin 15^\circ \times \sin 25.58^\circ}{\sin(15^\circ + 85^\circ) \times \sin(25.58^\circ - 76.95^\circ)}$$

$$= -\frac{2.8496}{-0.7693} = 3.704(\text{m})$$

通过以上计算知 D_{100° 值为正值,则断层是正向错位断层,在 100° 剖面上沿断层线方向相对错距为 3.704 米,我们根据这个结果做了剖面图 2,并根据剖面向施工单位提供了施工建议,但是,施工单位不相信我们的判断推理,并没有按我们的合理建议施工,而是先在原井中又掘进了一条小盲斜天井来验证我们的结论,结果正好符合我们提交给他们的剖面图(图 2)示。从此以后,再遭到类似情况,就非常尊重我们的判断。

过去对断层性质的判断一般是通过现场观测或进行地质切图以及进行运动学、力学分析来判断,然而,这几种方式均有一定的局限性。断裂构造往往是多期次活动,形成的断层面构造常常是多种方向,并且断层角砾常是杂乱无章排列,与断层接触的弯曲层及其它小构造在小范围内又难见到,所以现场观测难于判断其性质,尤其在较均一的岩体中标志层少见,这就更增加了难度;在正常层序地区能根据地层新老关系,断定断层性质,而在地层发生倒转和构造复杂以及研究程度较低地区又很难运用;地质切图做剖面常是一种有效的办法,但也有其局限性,往往是需要知道剖面上断层的具体错动关系难以切出(如上例中情况),只能通过能够切到两盘矿体的剖面进行大致地分析判断需要知道的情况,就存在着一定的误差,这样,有可能对找矿中的矿体连接的准确度造成不必要的影响,也可能对探矿工程、采矿生产工程的设计造成一定的不良影响,更有甚者,当错距较大时,有可能产生较大的误差,若不能探着矿体,就造成诸多的浪费,并由此而失去许多应该探明的矿量;再有运动学、力学方法则必须知道该断层与已知性质的断层或其它较大范围的构造的联系及应力状态,尤其是在矿山工作中,坑道揭露的范围有限这往往在实际工作中是不可能的。基于上述认识,我们通过仔细推敲、分析和论证得出了“不通过做剖面图等手段,而根据推出的计算在任意一剖面上标志层相对错距的‘性质量化公式’计算结果,就能直接判断断层错动情况的性质量化公式法”,具体论述如下。

对于一条水平错位断层,因标志层与断层之间有个产状关系,所以在剖面上就表现为正或逆向错位;反之,对于一条在剖面上正或逆向错位断层,如果不是走向断层,并且标志层倾角不为零,那么在平面上也一定表现为水平错位。由此可见,断层两盘标志层的水平错位与正、逆向错位是互相关联的。

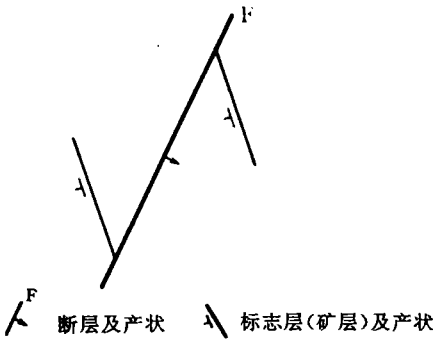


1. 断层 2. 矿体 3. 斜天井
图 2 1427 中段 XJ45 地质剖面图
Fig. 2 Section of XJ45
at 1427m level

1 水平错位断层在剖面上的表现形式

一条水平错位断层在水平面上标志层与断层所表现的错位关系,在剖面上也有一定的错位关系与之对应,这样的对应关系有八类形式,为了论述方便,首先做以下题设:

- (1)设断层两盘同一标志层沿断层走向相对水平错距为 D_h ;
- (2)标志层与断层走向夹角为 φ (锐角);
- (3)在断层倾向方向标志层的视倾角为 β_1 ;
- (4)标志层的倾角为 α_1 ;
- (5)在垂直于断层走向的剖面上沿断层线方向相对错距为 D_b ;
- (6)断层倾角为 α_2 ;
- (7)在标志层倾向方向剖面上断层视倾角为 β_2 ;
- (8)在标志层倾向方向剖面上沿断层线方向相对错距为 D ;
- (9) $\varphi^\circ, \beta_1^\circ, \beta_2^\circ, D^\circ$ 分别为任意一剖面与断层走向的夹角(锐角),其剖面上标志层的视倾角,其剖面上断层视倾角,其剖面上沿断层线方向相对错距;
- (10)标志层与断层相对向左或向右(左行相对向左,右行相对向右)错动方向的夹角为 θ (θ 角的确定与判断断层左行、右行的方法一致)。

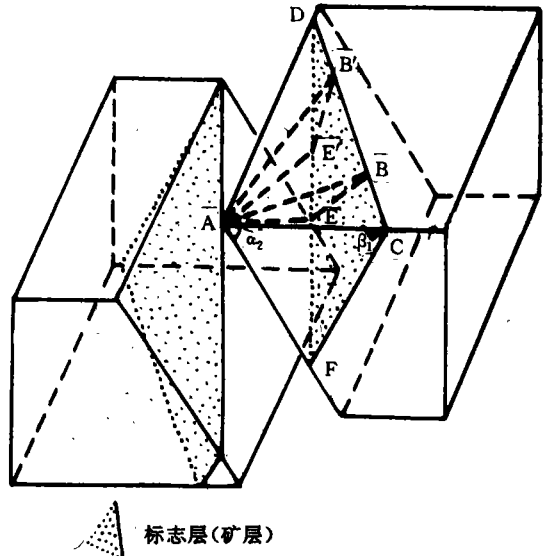


断层及产状;标志层(矿层)及产状

图3 左行水平错位断层
(断层与标志层倾向相反)

Fig. 3 Sinistral fault with
Horizontal displacement

1.1 如图3所示,断层与标志层的倾向大致相反,为左行水平错位断层,标志层与断层相对向左错动方向的夹角为钝角,这



标志层(矿层)
图4 左行水平错位断层立体图

Fig. 4 Stereo-diagram of horizontal fault

就决定了它在剖面上表现为正向错位断层,如立体图 4 所示。

在图 4 中,面 ACF 为断层倾向方向的剖面;面 ABE 为标志层倾向方向的剖面;面 AB'E' 为一任意剖面,则由题设知: $AF = D_b$; $AE = D$; $AE' = D^\circ$; $\angle ADC = \varphi$; $\angle ABE = \alpha_1$; $\angle ACF = \beta_1$; $\angle AB'E' = \beta'_1$; $\angle CAF = \alpha_2$; $\angle DAB' = \varphi^\circ$; $\angle BAE = \beta_2$; $\angle B'AE' = \beta'_2$; $AD = D_a$; $CA \perp AD$; $AB \perp CD$, 那么根据几何关系,可以求出 D_b 、 D 及 D° 表达式。

(1) 在垂直于断层走向的剖面 ACF 上求 D_b 在 $RT\triangle ACD$ 中, $AC = AD \cdot \tan \varphi = D_a \cdot \tan \varphi$;

又在 $\triangle ACF$ 中, 根据正弦定理得

$$\frac{AC}{\sin[180^\circ - (\alpha_2 + \beta_1)]} = \frac{AF}{\sin \beta_1}$$

$$\therefore AF = \frac{AC \cdot \sin \beta_1}{\sin[180^\circ - (\alpha_2 + \beta_1)]} = \frac{D_a \cdot \tan \varphi \cdot \sin \beta_1}{\sin(\alpha_2 + \beta_1)}$$

$$\text{即 } D_b = \frac{D_a \cdot \tan \varphi \cdot \sin \beta_1}{\sin(\alpha_2 + \beta_1)} (\varphi \neq 90^\circ) \quad (1)$$

(注: 当 $\varphi = 90^\circ$ 时, $D_b = \frac{D_a \cdot \tan \alpha_1}{\sin \alpha_2}$)。

(2) 在垂直于标志层的剖面 ABE 上求 D

在 $RT\triangle ABD$ 中, $AB = AD \cdot \sin \varphi = D_a \cdot \sin \varphi$;

又在 $\triangle ABE$ 中, 根据正弦定理得

$$\frac{AB}{\sin[180^\circ - (\alpha_1 + \beta_2)]} = \frac{AE}{\sin \alpha_1}$$

$$\therefore AE = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_2)}$$

$$\text{即 } D = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_2)} \quad (2)$$

(3) 在任意一剖面 AB'E' 上求 D°

同样可根据正弦定理得

$$\frac{D_a}{\sin(\varphi + \varphi^\circ)} = \frac{AB'}{\sin \varphi}$$

$$\frac{AB'}{\sin(\beta'_1 + \beta'_2)} = \frac{D^\circ}{\sin \beta'_1}$$

$$\therefore D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta'_1}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta'_1 + \beta'_2)} \quad (3)$$

(3) 式包含 (1) 式和 (2) 式, (1) 式和 (2) 式是 (3) 式的特殊形式。由于 (3) 式表示了断层两盘标志层间的量的关系, 所以我们把其形式的公式特意称为“量化公式”。

1.2 在断层与标志层倾向基本一致, 断层为左行水平错位断层, 标志层与断层相对向左错动方向的夹角为锐角时, 如图 5 所示, 则在剖面上存在两种情况:

(1) 当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时, 断层在剖面上表现为正向错位断层如图 6;

(2) 当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时, 断层在剖面上表现为逆向错位断层如图 7;

与 1.1 同理(但需做一些辅助线, 如立体图所示), 这两种情况均可推出 D° 表达式:

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta'_1}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta'_2 - \beta'_1)} \quad (4)$$

如果 (4) 式中去掉绝对值符号, 当 $\beta'_2 > \beta'_1$, D° 值为正, 断层是正向错位断层; 当 $\beta'_2 < \beta'_1$ 时,

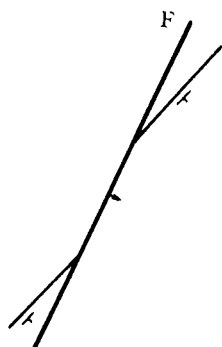
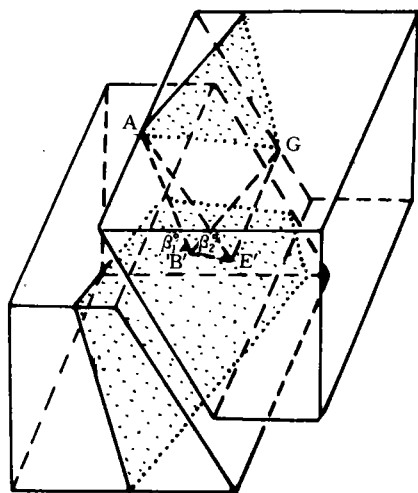


图 5

Fig. 5

D° 值为负, 断层是逆向错位断层, 因此, D° 值的正或负同样表明了断层的正或逆向错位。

1.3 如图 8 所示断层与标

图 7 $\alpha_1 > \alpha_2$ 表现为逆向错位断层Fig. 7 $\alpha_1 > \alpha_2$ in reverse faulting

志层的倾向基本一致, 断层为左行水平错位断层, 标志层与断层相对向左错动方向的夹角为钝角, 则在剖面上存在两种情况:

(1) 当 $\alpha_1 > \alpha_2$ 时, 断层在剖面上表现为正向错位断层如图 9 所示;

(2) 当 $\alpha_1 < \alpha_2$ 时, 断层在剖面上表现为逆向错位断层如图 10 所示;

与(一)同理, 这两种情况均可推出 D° 表达式:

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1}{\sin(\varphi + \varphi') \cdot \sin(\beta_1 - \beta_2)} \quad (5)$$

1.4 如图 11 所示断层与标志层倾向大致相反,

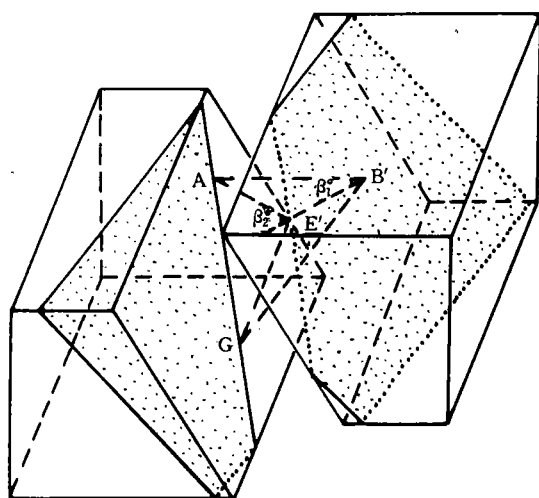
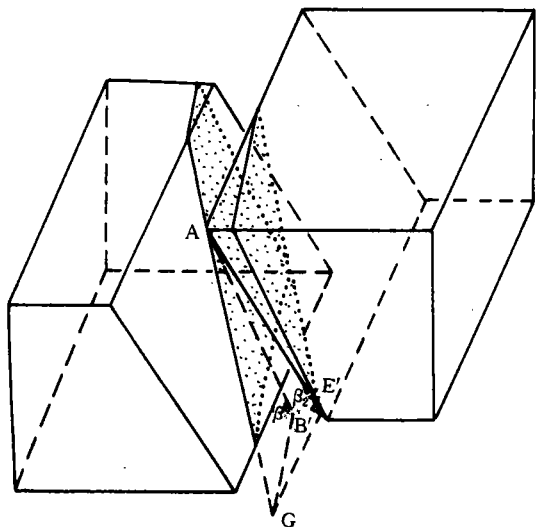
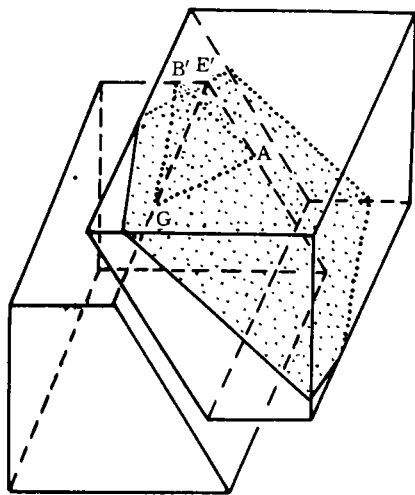
图 6 $\alpha_1 < \alpha_2$ 表现为正向错位断层Fig. 6 $\alpha_1 < \alpha_2$ in normal faulting

图 8

Fig. 8

图9 $\alpha_1 > \alpha_2$ 表现为正向错位断层Fig. 9 $\alpha_1 > \alpha_2$ in normal faulting图10 $\alpha_1 < \alpha_2$ 表现为逆向错位断层Fig. 10 $\alpha_1 < \alpha_2$ in reverse faulting

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1^\circ}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta_1^\circ + \beta_2^\circ)} \quad (6)$$

1.5 如图13所示断层与标志层倾向大致相反,是右行水平错位断层,相对向右错动方向与标志层的夹角为钝角,则在剖面上断层表现为正向错位,如图14所示。

与上同理,可推出 D° 表达式为:

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1^\circ}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta_1^\circ + \beta_2^\circ)} \quad (7)$$

1.6 如图15所示断层和标志层的倾向基本一致,是右行水平错位断层,标志层与断层相对向右错动方向的夹角为钝角,则在剖面上存在着两种情况:

(1) 当 $\alpha_2 > \alpha_1$ 时,断层为逆向错位断层如图16所示;

(2) 当 $\alpha_2 < \alpha_1$ 时,断层为正向错位断层,如图17所示。

这两种情形均可推出 D° 表达式(与上同理):

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1^\circ}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta_2^\circ - \beta_1^\circ)} \quad (8)$$

1.7 如图18所示断层与标志层的倾向大致相反,断层是右行水平错位断层,标志层与断层相对向右错动方向的夹角为锐角,则在剖面上断层是逆向错位断层,如图19所示。

与上同理,可推出 D° 表达式:

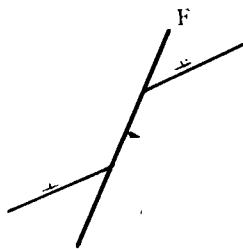


图11

Fig. 11

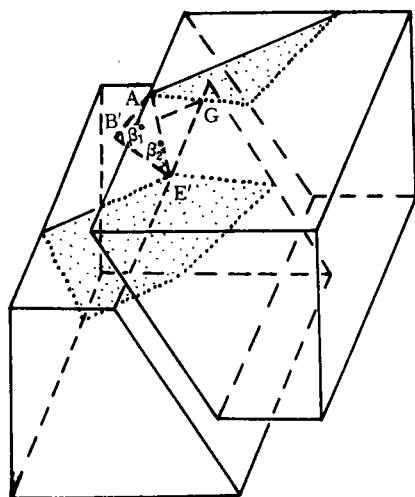


图 12
Fig. 12

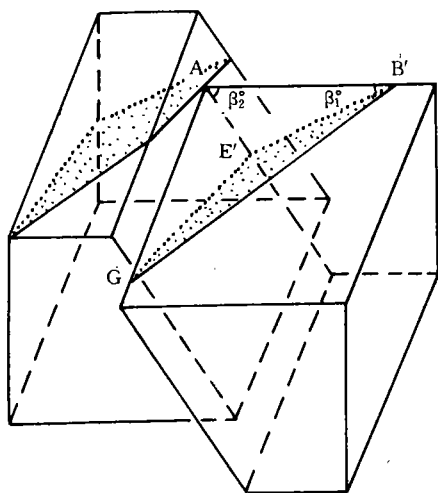


图 14
Fig. 14

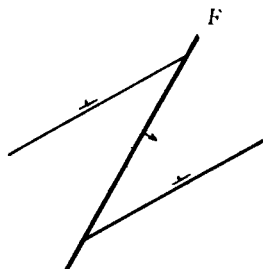


图 13
Fig. 13

$$D^{\circ} = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1^{\circ}}{\sin(\varphi + \varphi^{\circ}) \cdot \sin(\beta_1^{\circ} + \beta_2^{\circ})} \quad (9)$$

1.8 如图 20 所示断层与标志层的倾向基本一致,断层是右行水平错位断层,标志层与断层相对向右错动方向的夹角为锐角,则在剖面上存在两种情况:

(1) 当 $\alpha_2 > \alpha_1$ 时,断层为正向错位断层,如图 21 所示;

(2) 当 $\alpha_2 < \alpha_1$ 时,断层为逆向错位断层,如图 22 所示;

这两种情况同样可推出 D° 表达式:

$$D^{\circ} = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1^{\circ}}{\sin(\varphi + \varphi^{\circ}) \cdot \sin(\beta_2^{\circ} - \beta_1^{\circ})} \quad (10)$$

综上所述,其中(3)式、(6)式、(7)式和(9)式一样,(4)式、(5)式、(8)式和(10)式也一样,但是断层与标志层在平面上或剖面上表现的关系不一样,或在倾向上区别,或在相对错动方向上区别,或在标志层与断层相对错动方向的夹

角上区别,以及断层及标志层的倾角大小的不同等,共同决定了断层在平面上的左行或右行和在剖面上的正或逆向错位关系。了解了这些关系,就掌握了断层的错动情况,并能定量的把握矿体的错失情况。

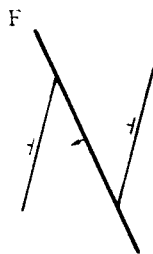


图 15

Fig. 15

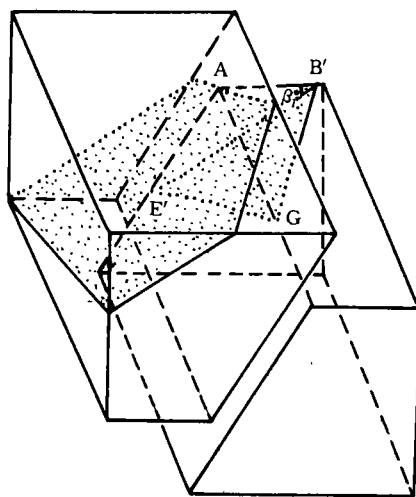
2 正(逆)向错位断层在水平面上的表现形式

断层在水平面上的错动形式必有一定的剖面上的关系与之对应;同理,断层在剖面上的错动形式,也必有一定的平面关系与之对应,这种对应关系与上述情况相反,同样能从剖面上的相对错动关系推出平面上相对水平错动形式及 D 表达式(将上述式子变形即可得到),这里就不再推导了。

3 结论

由于以上公式反映的是纯距离,所以均为正值,因此

只特意称它们为“量化公式”。但是,如果把以上各量化公式中(4)式、(5)式、(10)式去掉绝对值符号,(6)式、(9)式前各加一负号,(8)式去掉绝对值符号,并把 β_2 、 β_1 对调位置,其它不变,则正像前面讨论的那样,无论其它条件有什么不同, D° 值的正值则表示正向错位断层,负值则表示逆向错位断层,再加上有数值大小关系,就能够准确确定断层两盘标志层的相对位置,因此,我们把它称为“性质量化公式”,同时把用这种公式判断断层性质及确定断层两盘标层相对位置的方法称为“性质量化公式法”。这样就把构造地质学中判断断层性质的方法与数学紧密结合了起来,为解决构造问题提供了方便。

图 16 $\alpha_2 > \alpha_1$ 表现为逆向错位断层Fig. 16 $\alpha_2 > \alpha_1$ in reverse faulting

通过以上变形后,可将前面的八个类型量化公式合并形成四个类型性质量化公式,即:

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2)} \quad (11)$$

$$D^\circ = \frac{D_a \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1}{\sin(\varphi + \varphi^\circ) \cdot \sin(\beta_2 - \beta_1)} \quad (12)$$

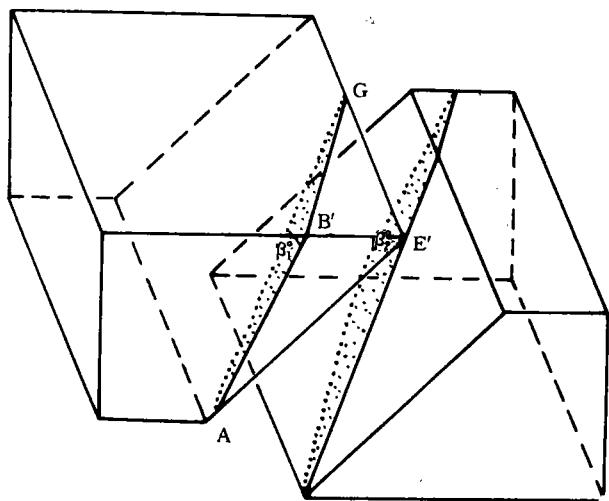


图 17 $\alpha_2 < \alpha_1$ 表现为正向错位断层

Fig. 17 $\alpha_2 < \alpha_1$ in normal faulting

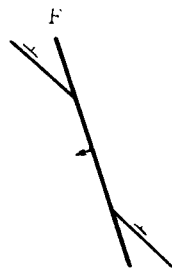


图 18

Fig. 18

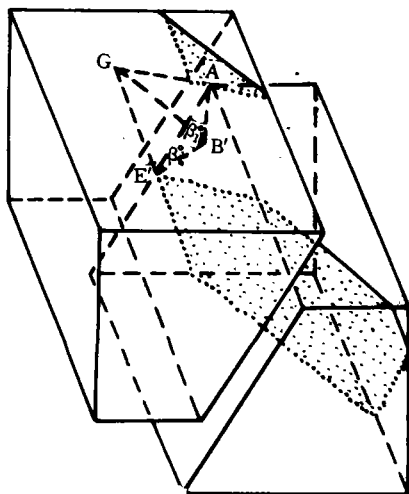


图 19

Fig. 19

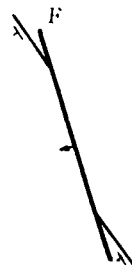


图 20

Fig. 20

多年来,在断层构造破坏较多、较严重的情况下,运用上述结论指导矿山探矿和采矿工程,减少了工程的浪费,提高了探矿效果和工程的利用率,也减少了矿山采矿生产的损失与贫化,提高了资源的利用率。

最后,对在完善本文过程中,给予热情帮助的天津地质研究院教授蒋心明等表示感谢。

参考文献

1. 徐开礼,朱志澄.《构造地质学》.地质出版社,1984

QUANTIFICATION FORMULAS OF FAULT PERFORMANCE

Yang Zaihong Zhao Qingguo Zhao Qing Yang Zezhao

(Dongping Au Mine, Chongli County)

Abstract

Quantification formulas of fault performance were applied to Dongping Au Mine, Chongli County Hebei Province. Positive and negative (+ and -) symbols before results of the formulas' calculation are faulting sense. The Positive represents normal fault; the negative, reverse fault. The result is the distance of displacement. The formulas are used in ore prospecting and mining which is convenient for computerization of structure movement.