

镁—贵橄榄石磁化率的测定及应用

刘文峰

(地质部西安地质矿产研究所)

矿物的磁性是矿物的一个很重要的物理性质,在普查勘探、选矿、矿物的分离和鉴定等方面都已应用了这一性质。尤其是深入研究矿物的磁性,对有用矿物的寻找及矿物的直接利用是有很大意义的。

橄榄石是超基性岩的重要造岩矿物,而镁—贵橄榄石又是橄榄石中最常见的一种。因而人们对其成分、结构和物理性质研究得较详细,积累了丰富的资料。但是,橄榄石的物性资料大

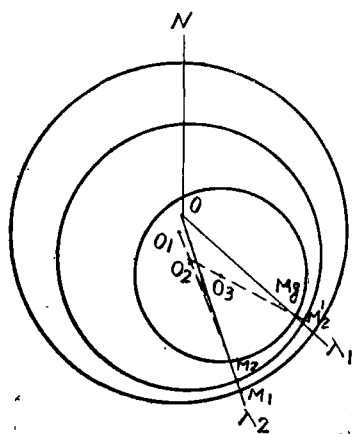


图 1 4

点为 M_2' 、 M_3 (在 O_2O_3 连心线上),则深度为 l_1 时,产状由 M_1 点所决定;深度为 l_3 时,产状由 M_3 点所决定;深度为 l_2 时,产状可能是第一点和第三点产状之平均值。

(2)有时,各深度之 $\text{tg} \frac{\beta}{2} - \lambda$ 关系圆表现为以极点 O 为圆心之不重合之同心圆。这种情况必是钻孔为直孔($\alpha = 0^\circ$),而产状随深度变化而变化。此时,各圆周所在之极径格值即反映了各对应深度之倾角。但不能确定各深度之倾向。

七、本法在矿区试验情况

1979年9月至10月,笔者曾同刘鸿强同志及孙远东等同学去重庆綦江篆塘角铁矿进行实验。该矿为一隐伏铁矿,根据地表产状及钻探得出的矿层标高表明,矿区为一近南北向的短轴背斜,其西翼较东翼为陡。我们用前述普通极坐标法(用电子计算器计算 $\text{tg} \frac{\beta}{2} - \lambda$ 关系圆之圆心极径及圆半径等),对矿区62个钻孔进行了矿层产状的确定。结果表明,凡用轴部钻孔资料求出之倾角均较小;凡分布在西翼之钻孔,用本法求出之倾向均为北西至南西,倾角也较陡;分布在东翼之钻孔,用本法求出之产状,基本与实际吻合,仅个别钻孔与原推测产状不合,估计是由于局部小构造的影响。这就证明,本方法在理论上是正确的,在实践上也是成功的。

参 考 资 料

- | | |
|----------------------------------|-----------|
| [1]杨本锦 刘云霞 1977 利用圆心轴夹角换算地层产状的方法 | 地质与勘探 第2期 |
| [2]钱祥麟 1976 根据单钻孔资料确定地下岩层产状 | 地质科技 第6期 |
| [3]胡火焱 1978 赤平极射投影在单孔岩心钻探地质上的应用 | 地质与勘探 第1期 |
| [4]朱显芝 1964 关于斜钻孔矿与岩层真厚度计算方法的商榷 | 中国地质 第4期 |

部分限于光性数据(折光率和光轴角)、比重和晶胞参数等,而表明其磁性的资料却很少。在工作中,我们对十五种不同成分的镁—贵橄榄石进行了磁化率的测定,发现橄榄石的磁化率与橄榄石的成分(Fa)呈线性关系,也就是橄榄石中过渡族元素(Fe、Co、Ni、Cr等)的多少决定了橄榄石的磁化率大小。所以,利用橄榄石的磁化率值就能确定橄榄石的成分(Fa)及所含过渡族元素的多少。现将镁—贵橄榄石磁化率的测定方法及其应用简述于后,供同志们参考。

(一) 橄榄石磁化率的测量

矿物磁性的度量是以磁化率 X (磁化系数)来定量表示的,即 $X = \frac{I}{H}$,其物理意义是在单位磁场强度下矿物的磁化强度。表示矿物磁化率的单位是很多的,常用的有比磁化率、体积磁化率,还有克分子磁化率和克原子磁化率等。一般最常采用的磁化率是比磁化率($X_{\text{比}}$),其单位是 $\text{C} \cdot \text{G} \cdot \text{S} \cdot \text{M} \text{厘米}^3/\text{克}$,它表示单位质量的矿物在单位磁场强度下所受到的磁化强度。

测量矿物比磁化率的方法很多,我们采用北京地质仪器厂出产的WCF₂-72型多用磁性分析仪及其附件(扭力天平)进行测量。基本原理和操作步骤参见WCF₂-72型多用磁性分析仪说明书中“磁化率的测定”部分。在此需要说明的是: $X_{\text{比}} = \frac{F}{mH \text{grad} H}$ 。式中 F 为矿物在磁场中所受的力, m 为被测样品的质量, H 为磁场强度, $\text{grad} H$ 为磁场强度的变化率(或称磁场梯度), $H \text{grad} H$ 统称为比磁力,其数值可据励磁电流强度值从磁场检定结果查出(随同仪器说明书有数据给出)。因此,只要测出矿物的质量 m 和矿物在磁场中所受的力 F 就可以计算出矿物的比磁化率($X_{\text{比}}$)。根据以往的工作实践,测定时需要注意以下几点:

1. 被测样品最好制成粉末状,其粒度一般小于0.1毫米为最好。
2. 测量时,所用样品盒不宜过大,否则,容易被仪器的磁铁吸住,影响测量。
3. 调节励磁电流强度,从0.5A开始测量,每隔0.5A测量一次。但对镁—贵橄榄石而言,在3A励磁电流时,所测的 $X_{\text{比}}$ 最大。本文下述的 $X_{\text{比}}$ 都是3A励磁电流强度下的 $X_{\text{比}}$ 。
4. 每测完一个样品,要关掉励磁电流,让仪器停止工作五小时以上,再测第二个样品,以消除电磁铁的磁滞效应所造成的误差。这样测量,重复性较好,一般误差小于 $0.2 (\times 10^{-6} \text{厘米}^3/\text{克})$ 。否则,误差就变大。
5. 需做温度校正。根据固体物理学,物质的磁化率与绝对温度成反比,也就是说,温度越高,磁化率越低。所以,要记录测量时的温度,最后将计算出的 $X_{\text{比}}$ 换算成标准温度(293°K)下的 $X_{\text{比}}$ 。下述的镁—贵橄榄石的磁化率都是已经换算为293°K的磁化率。

测量结果如表1所示。

(二) 对镁—贵橄榄石磁化率的一些认识

在我们所测量的十五种镁—贵橄榄石(表2)中,其成分Fa由5.7到12.6,大部分来自超基性岩,只有火-1来自火山岩的深部捕虏体。

表2 X比与Fa及 Σfi^* 的关系

样品号	SW-219-1	SW-282	SW-272	10102	松-5	松-6	松-7-1	松-7-2	松-9	松-3-1	松-3-2	松-1	火-1	SW-291-1	洋-7
Fa	5.70	6.00	6.20	7.90	8.20	8.28	8.36	8.37	8.58	8.79	8.79	9.13	9.50	9.90	12.60
X比	9.62	10.77	10.05	13.28	13.30	13.97	14.30	13.67	14.48	14.56	14.82	15.00	16.10	16.20	18.74
Fe二价	4.88	5.19	5.30	7.33	7.57	7.72	7.54	7.47	7.88	7.95	7.95	8.05	9.24	8.56	5.57
Fe三价	0.72	0.67	0.75	0.45	0.54	0.51	0.58	0.66	0.45	0.46	0.46	0.47		0.85	4.41
Mn二价	0.09	0.12	0.08											0.15	0.17
Cr三价	0.01	0.04	0.08	0.007										0.02	0.67
Ni二价	0.36	0.23	0.36	0.33	0.38	0.39	0.35	0.37	0.35	0.37	0.37	0.35		0.31	0.22
Co二价	0.008	0.01	0.007	0.17										0.017	0.019
Σfi	6.07	6.26	6.58	8.29	8.42	8.62	8.47	8.47	8.68	8.78	8.78	9.16	9.24	9.91	11.06

*过渡元素含量(%)

* Σfi 为过渡族元素的总和, 为氧化物重量百分数。

** 为氧化物重量百分数。

由表2可以看出, 镁—贵橄榄石的比磁化率随着Fa的增加而增加, 也就是随着矿物中所含过渡族元素(即磁性元素)的总量 Σfi 的增加而增加。这一规律与固体物理学中的磁学理论完全吻合。磁学理论指出, 晶体(或矿物)中电子轨道上有不成对电子是造成晶体磁性的主要原因。在镁—贵橄榄石中, 影响其磁化率大小的决定因素则是它们所含有的磁体元素, 主要有三价Fe、二价Fe、二价Ni及少量的二价Mn、三价Cr、二价Co等。在这些磁性元素的3d轨道上都有不成对电子, 因而, 矿物中含有这些元素的多寡就决定了镁—贵橄榄石磁化率的大小。

表2中有两个异常情况需要说明:

1. 虽然SW-282的Fa(6.00)比SW-272(6.20)小, 但测得的X比却相反, 分别为10.77和10.05。引起这一异常的原因尚不完全了解, 据推测, 可能是由于样品不太纯造成的。

2. 松7—1和松7—2产于同一标本, 二者的Fa

和 Σfi 均相同, 样品纯度也一样, 只是松7—2的结晶粒度稍大于松7—1, 但测得的X比竟相差0.63($\times 10^{-6}$ 厘米³/克)。这肯定不是测量误差所致, 可能是由于矿物本身的微观结构

表1 镁—贵橄榄石磁化率测量

样品号		SW-219-1			SW-282			SW-272			10102	
测量次数		①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②
励磁电流	2.5A	9.42	9.66	9.57	10.64	11.05	11.05	10.08	9.89	9.98	13.15	13.52
	3A	9.66	9.77	9.79	10.85	11.03	10.83	10.23	10.15	10.09	13.46	13.56
	3.5A	9.49	9.61	9.60	10.49	10.87	10.62	10.21	10.10	10.00	13.24	13.50
	4A	9.42	9.62	9.50	10.32	10.62	10.45	9.97	10.00	10.05	13.20	13.27
	4.5A	9.26	9.54	9.36	10.15	10.38	10.32	9.97	9.98	9.80	13.02	13.23
测量温度C		15°	17°	17.1°	14°	16.8°	18.7°	17°	14.7°	16°	16.3°	14.8°
3A的X比的温度校正		9.50	9.67	9.69	10.63	10.91	10.78	10.13	9.97	9.95	13.29	13.32
3A的X比的平均值		9.62			10.77			10.05			13.28	

续表1	松7—②			松—9			松3—①			松3—②		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
	13.12	13.49	13.37	14.63	14.53	14.50	14.19	14.22	14.21	14.34	14.38	14.45
	13.49	13.62	13.63	14.79	14.60	14.74	14.42	14.42	14.46	14.55	14.79	14.79
	13.49	13.39	13.60	14.64	14.38	14.37	14.39	14.31	14.18	14.32	14.28	14.64
	13.44	13.30	13.40	14.58	14.32	14.34	14.17	14.15	13.96	14.24	14.30	14.43
	13.26	13.25	13.37	14.32	14.16	14.07	13.97	14.02	13.91	14.07	14.19	14.28
	21.5°	23°	21.5°	15.8°	14.3°	16°	23.5°	21.5°	23°	23°	21.5°	22°
	13.56	13.76	13.76	14.58	14.32	14.54	14.59	14.49	14.61	14.70	14.87	14.89
	13.67			14.48			14.56			14.82		

上的差异造成的。这个问题值得进一步探讨。

图1和图2表明：X比与 F_a 、 Σf_i 之间呈较好的线性关系，两条直线极其相似，斜率几乎相同，并且，X比与 Σf_i 线性关系更好些。这说明X比是随 F_a 或 Σf_i 的增加而有规律地增加。

我们用最小二乘法求出X比与 F_a 及X比与 Σf_i 的关系经验公式为：

结果 ($\times 10^{-6}$ 厘米³/克)

松—5				松—6			松7—①			注
③	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
12.93	12.96	12.98	12.77	13.69	13.36	13.66	14.04	14.04	14.07	1
13.33	13.21	13.28	13.11	13.90	13.75	13.81	14.25	14.13	14.17	2
13.30	13.12	13.21	13.07	13.62	13.61	13.74	14.01	13.98	14.02	3
13.19	13.20	13.15	12.95	13.48	13.52	13.59	13.87	13.73	13.77	4
13.08	13.06	13.01	12.64	13.37	13.34	13.47	13.64	13.54	13.64	5
18°	21°	21.5°	24°	21°	22°	24°	22°	22°	23°	6
13.24	13.26	13.35	13.29	13.95	13.84	14.00	14.35	14.25	14.32	7
13.30				13.93			14.30			8

松—①			火—1			S W—291—1			洋—07			注
①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
14.67	14.60	14.38	16.54	16.34	16.10	16.11	16.28	16.14	18.87	18.83	18.90	1
14.94	14.92	14.74	16.41	16.34	19.14	16.24	16.45	16.40	18.91	19.06	18.94	2
14.77	14.57	14.56	16.43	16.22	16.12	16.28	16.23	16.30	18.83	18.97	18.88	3
14.68	14.57	14.25	14.15	15.80	15.79	16.17	16.17	16.15	18.47	18.68	18.59	4
14.59	14.39	14.26	15.98	15.92	15.76	16.11	16.04	15.92	18.12	18.23	18.47	5
21.5°	22°	24.5°	16°	15.8°	17.5°	17°	17.5°	16.5°	16.7°	16°	17°	6
15.02	15.02	14.97	16.19	16.11	16.00	16.07	16.31	16.20	18.66	18.80	18.75	7
15.00			16.10			16.20			18.74			8

$$\begin{cases} X \text{ 比} = 1.33 Fa + 2.71 \\ Fa = 0.70 X \text{ 比} - 1.319 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X \text{ 比} = 1.76 \Sigma fi - 0.95 \\ \Sigma fi = 0.54 X \text{ 比} + 0.93 \end{cases}$$

这样，无论是X比与Fa，还是X比与Σfi，只要有其中任何一个，就可求出另一个了。

上述只是Fa小于13的镁—贵橄榄石，至于含铁量更高的橄榄石其磁化率与上述规律是否吻合，由于没有实践，不能断然肯定。但根据固体物理学的磁学原理，顺磁性物质的磁化率与物质中所含磁性元素的浓度成正比。据此，根据经验公式： $X_{比} = 1.33Fa + 2.71$ 可计算出几个含铁量高的橄榄石的 $X_{比}$ ，结合实测的数据绘出图3。从图3可看出，含铁量高的橄榄石与含铁量低的橄榄石一样，其 $X_{比}$ 与Fa之间有着同样的线性关系。所以，上述规律对于含铁量高的橄榄石也是适用的。这还有待于今后实践的检验。

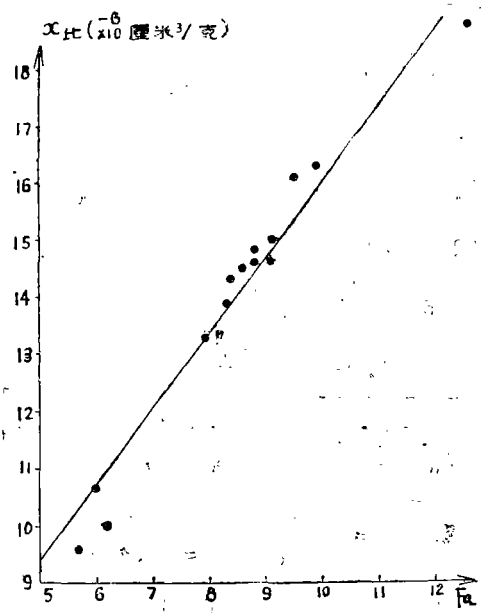


图1 X比与Fa相关图

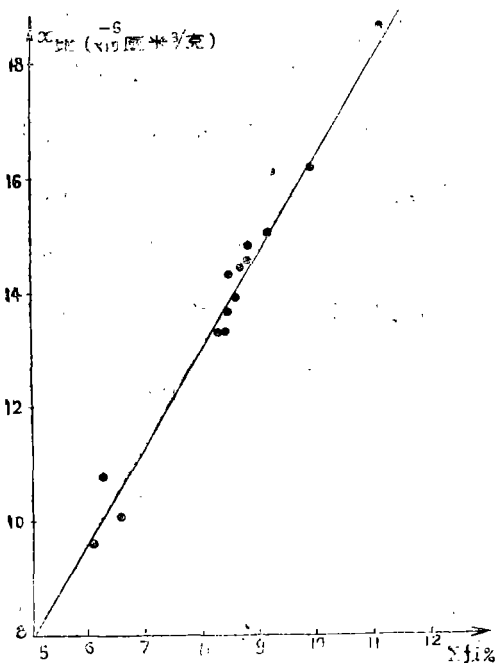


图2 X比与Σfi%相关图

(三) 橄榄石比磁化率的应用

上面对橄榄石的比磁化率做了初步分析，现在简介利用比磁化率来鉴定 镁—贵橄 榄石（或其它橄榄石）的成分（Fa或Σfi）。

大家知道，橄榄石是Fe、Mg阳离子可以互相替代的连续固溶体，其分子式为 $(Fe, Mg)_2SiO_4$ ，所谓鉴定橄榄石的成分，也就是确定Fe在Mg—Fe总量中所占的百分比（即Fa）。

目前，一般用化学全分析数据直接计算Fa，但鉴定橄榄石Fa的方法主要是 光学数据法和X光粉晶照相法。光学数据法中最常应用的是测定橄榄石的Ng、Nm、Np值及光轴角（2V）。根据我们的实践，用这些方法鉴定橄榄石的成分，其效果都不够理想。以测定橄榄石的Ng、Nm、Np为例，大多数人采用的是碎屑油浸法，用此法测定的Ng（或Nm、Np）值精度较差，误差常达0.002或更大。由于在Ng（或Nm、Np）与Fa相关曲线上，两个相差一个Fa的橄榄石，其折光率值只相差0.0018—0.002。所以，用这样的数据在Ng（或Nm、Np）与Fa相关图上确定橄榄石的Fa容易产生较大的误差，要想准确地鉴定出橄榄石的Fa，用碎屑油浸法测得的Ng（或Nm、Np）值是不大可靠的。只能用其确定大

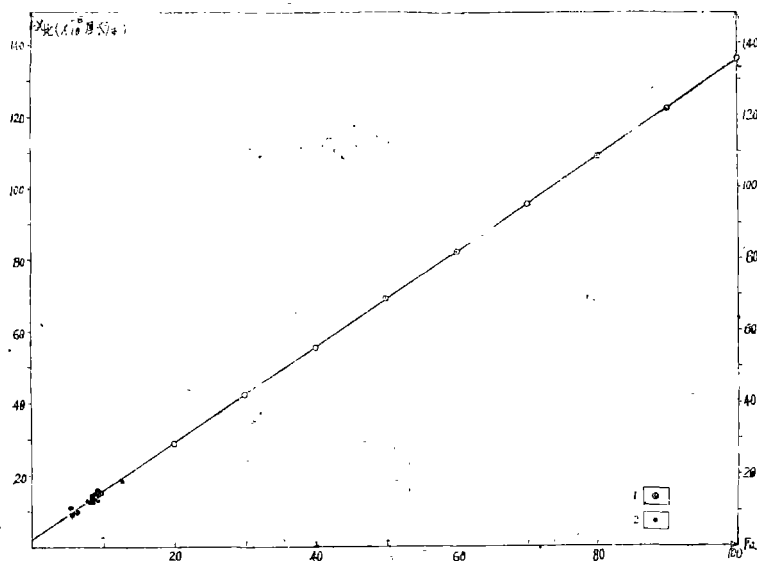


图3 橄榄石 X比
与 Fa 相关图

• 示实测的 X 比;
○ 示据经验公式计算出
的 X 比。

的橄榄石系列,例如,确定某一种橄榄石是镁橄榄石系列还是镁铁橄榄石系列等。至于用旋转台测出的光轴角确定橄榄石的 Fa , 由于测量精度更差,也就更不可靠了。

表3列出了X比、 Fa 及 Ng (Nm 、 Np)和 $2V$ 数据的对照,从表3中可清楚地看到:随着镁—贵橄榄石 Fa 的增加,X比显著增大, Ng 也有增大的趋势,而 Np 值的规律性就不明显, $2V$ 值就更无规律可寻了。

为此,我们提出用橄榄石的比磁化率来鉴定橄榄石的成分(Fa)。当然,用X比也可以确定橄榄石中所含磁性元素的总量(Σfi)。

前已谈到,橄榄石的比磁化率(X比)主要取决于其成分中的 Σfi ,这些磁性元素(主要是三价Fe、二价Fe、二价Ni,尚有微量的三价Cr、二价Co、二价Mn等)的微量变化,对其比磁化率就有较明显地影响。所以,橄榄石的比磁化率的大小就反映了橄榄石成分中磁性元素(Σfi)的多少,也基本上反映了 Fa 的大小。因此,从理论上讲,用比磁化率(X比)数据来确定橄榄石的成分(Fa)和磁性元素的总量(Σfi)是比较合理的。在实践上,由前述的图表和经验公式可知, Fa 和 Σfi 每增加1(即1%),X比就相应增加 $1.33(\times 10^{-6}$ 厘米³/克和 $1.76(\times 10^{-6}$ 厘米³/克)。况且,X比的测量误差只有 $0.1-0.2(\times 10^{-6}$ 厘米³/克,对 Fa 或 Σfi 的准确鉴定影响很小。所以,用X比来鉴定橄榄石的成分,一般都能得到满意的结果。

图4表明了 Fa 与X比、 Ng 、 Np 的关系。从图4可明显地看出,X比的直线斜率大于 Ng 和 Np 的直线斜率,说明当 Fa 增加或减少时,所引起的X比的变化比 Ng 、 Np 大。这也可以说明,用X比数值来鉴定橄榄石的 Fa 比用 Ng 、 Np 值灵敏。

表4列出了用X比、 Ng 、 Np 三种数据鉴定橄榄石成分(Fa)的结果及偏差(ΔFa)。由表4可以看出,在十五个橄榄石样品中,用X比确定的 Fa 与用化学分析数据计算出的 Fa 相比,只有两个的偏差大于0.5,而且,最大偏差为0.7;然而,用 Ng 值来确定 Fa ,有7个

表 3 Fa、X 比折光率 (N) 及 2V 对照表

样品号	SW-219-1	SW-282	SW-272	10102	松-5	松-6	松-7-1	松-7-2	松-9	松-3-1	松-3-2	松-1	火-1	SW-291-1	洋-7
Fa	5.70	6.00	6.20	7.90	8.20	8.28	8.36	8.37	8.58	8.79	8.79	9.13	9.50	9.90	12.60
X 比	9.62	10.77	10.05	13.28	13.30	13.93	14.30	13.67	14.48	14.56	14.82	15.00	16.10	16.20	18.74
Ng	1.680	1.680	1.682	1.6854	1.6861	1.6846	1.6863	1.6875	1.6854	1.6862	1.6855	1.6872	1.6885	1.683	1.685
Nm					1.6695	1.6681	1.6666	1.6682	1.6664	1.6698	1.6712				
Np	1.651	1.651	1.652	1.6523	1.6501	1.6508	1.6508	1.6519	1.6508	1.6518	1.6507	1.6520	1.6554	1.653	1.654
2V		87.30		86.90	86-96		88-93	90±2	89	90±2	90±2			86-88.5	

表 4 用 X 比、Ng、Np 确定橄榄石的 Fa 准确度对照表

样 品 号	SW-219-1	SW-282	SW-272	10102	松-5	松-6	松-7-1	松-7-2	松-9-2	松-3-1	松-3-2	松-1	火-1	SW-291-1	洋-7
据化学分析 Fa	5.70	6.00	6.20	7.90	8.20	8.28	8.36	8.37	8.58	8.79	8.79	9.13	9.50	9.90	12.60
据 X 比确定 Fa	5.20	6.00	5.50	7.90	8.05	8.50	8.80	8.35	8.95	9.00	9.15	9.35	10.20	10.30	12.30
偏差 ΔFa	0.50	0	0.70	0	0.15	0.22	0.44	0.02	0.37	0.21	0.36	0.22	0.70	0.40	0.30
据 Ng 确定 Fa	4.90	4.90	6.05	7.80	8.30	7.50	8.10	8.11	7.90	8.40	7.95	8.90	9.70	6.60	7.80
偏差 ΔFa	0.80	1.10	0.15	0.10	0.10	0.78	0.26	0.26	0.68	0.39	0.84	0.23	0.20	3.30	4.80
据 Np 确定 Fa	9.95	9.95	10.50	10.55	9.75	9.90	9.35	9.90	9.90	10.25	9.90	10.45	12.05	10.90	11.40
偏差 ΔFa	4.25	3.95	4.30	2.65	1.55	1.71	0.99	1.53	1.32	1.46	1.11	1.32	2.55	1.00	1.20