地 质 学 报
1978 年 ACTA GEOLOGICA SINICA 第 4 期

鉴定酸性斜长石结构状态和成分的新方法

苏 树 春

鉴定斜长石结构状态的光学方法已有多种，但酸性斜长石微纹双晶结构状态的鉴定却是一个长期以来没有很好解决的问题。虽然放大倍数高达 50 的旋转台长焦距物镜早已问世，在仪器方面已不存在多大问题，但因酸性斜长石自身的光性方位特点和经常发育有由纤细狭窄的晶片组成的聚片双晶，致使现有的方法难于应用。

以常用的晶带法(即 Rittmann 法)[1]为例，该法系将待测晶体定位于 ⊥a 轴的切面，测定其消光角E，然后使 a 轴分别向(010)面两侧倾斜 20°，测定在这两种倾斜位置上的消光角E' 和 E''。计算出 Σ (即 $E' + E''$)、D'(即 $E - E'$)和 D''(即 $E - E''$)，再查有关的鉴定曲线[1]，便可确定晶体的结构状态和成分。此法的特点是简便迅速，只须测定三个消光角数据即可。然而，当斜长石双晶的晶片宽度小到一定程度，此法就不适用了，其原因可从图 1 得到说明。

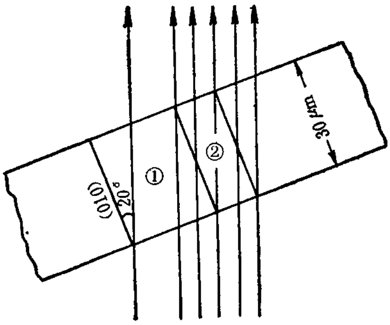

图 1 斜长石微纹双晶中相邻晶片的重迭效应

图 1 为一具钠长律聚片双晶的斜长石晶体薄片的横断面。设双晶结合面 (010) 垂直于薄片平面，薄片的倾角为 20° (即 Rittmann 法测定 E' 和 E'' 所要求的倾角)，薄片厚度为标准的 30μm，A、B、C、D、E、F 为透射过薄片的光线。

在晶片①的情况下，由于其宽度较大，介于A与B之间的光线完全通过晶片①射出，因而完全地反映了晶片①的光学性质。

在晶片②的情况下，由于其宽度较小，介于B与F之间的光线没有一根是纯粹通过晶片②射出的。从显微镜的目镜中看起来，B与D之间的光线好像完全从晶片②中射出，但是由于晶片①叠加的影响，这些光线先通过晶片①再从晶片②射出，因此不能单纯地反映出晶片②的光学性质。当晶片②处于消光位时，由于晶片①并不处于消光位，致使B与D之间的光线不能真正消光。在这种情况下，是不可能正确测定晶片②的消光位的，Rittmann 法也就无法应用。

根据图 1 所示的简单几何关系，不难算出，当晶片的宽度小于或等于 11μm (即 30μm · tg 20°)时，由于相邻晶片的迭加效应，就无法在Rittmann法要求的(010)面倾斜 20° 的位置上正确测定该晶片的消光位。因此，从理论上说，适于用 Rittmann 法测定的晶片宽度下限为 11μm。实际上，根据笔者的体会，当晶片宽度小于 15μm 时，就很难得出正确的结果，只有当晶片宽度在 20μm 以上时，才能进行测定。

对于酸性斜长石而言，光轴角 2V 是反映结构状态的一项灵敏的光学参数。根据 Burri

等的数据[2]，高温与低温钠长石 An_0 的 2V 相差达 52°，这种差异随着 An 含量的增加而减小，但即使是 An_{30} 的斜长石，其高温态与低温态的 2V 差值也有 8° 之多。因此，在确定了斜长石的成分之后，只要测出其 2V，便可确定其结构状态。然而，酸性斜长石（An_{0-30}）光性方位的特点是，N_m 与（010）夹角甚小，光轴面与（010）面近于垂直，两光轴分别位于（010）面的两侧(图 3)，不论用直光法或锥光法测定 2V，为了使光轴直立，同样须将晶片的（010）面分别向两侧倾斜，并且在绝大多数情况下，倾角均远较 20° 为大，相邻晶片的重迭效应更为显著，晶片可测宽度的下限必然较 Rittmann 法更高。

其它方法都是根据光性方位和双晶关系鉴定结构状态的方法，如 Slemmons 法，Burri 法(即欧拉角法)，Марфунин 法，Nobel 法，Becke-Köhler 法，Заварицкий 法等等，这些方法的共同特点是须对光率体主轴进行定位，而不论用什么方法定位，包括消光曲线法在内，都必须将待测晶体倾斜至各种角度。因此，在晶片宽度很小的情况下，相邻晶片的重迭效应是不可避免的，要想进行正确的测定几乎是不可能的。

为了解决酸性斜长石（An_{0-30}）微晶结构状态的光学鉴定问题，笔者在 Rittmann 法的基础上，设计了一个新的程序。现介绍如下，供从事有关工作的同志参考使用，以求在更广泛实践的基础上进一步提高完善。

原　　理

任一成分的斜长石，⊥(101) 晶带的不同切面的消光角大小不同，变化于一极大值和一极小值之间。也就是说，如果围绕（010）面的法线转动晶体，则消光角 $N'_p \Lambda(010)$ 随旋转角 θ 的变化而变化。设 (φ_1, λ_1) 和 (φ_2, λ_2) 分别为 ⊥a 轴切面时两光轴 A_1 和 A_2 的贝克角 (Becke angles)，则由 ⊥a 轴切面旋转 θ 角后的消光角为[3]：

$$N'_p \Lambda(010) = \frac{1}{2}\left\{\mathrm{tg}^{-1}\left[\mathrm{tg}\,\varphi_1/\sin(\lambda_1+\theta)\right] + \mathrm{tg}^{-1}\left[\mathrm{tg}\,\varphi_2/\sin(\lambda_2+\theta)\right]\right\}$$

根据上述公式，可以计算出围绕（010）面的法线从 ⊥a 轴切面分别向前后两个方向转动 20° 后的消光角 E' 和 E''。当然，也可根据菲涅尔定律，用作图法求得 E' 和 E''（见附录)。

根据 Burri 等的斜长石光性方位数据[2]，笔者计算了 An_{0-30} 范围内高温和低温斜长石的 E' 和 E'' 角。然后将 E' 与 E'' 之差的绝对值 $|E' - E''|$ 相对于 ⊥a 轴切面的消光角 E 投影于矩形鉴定图中，便得到图 2。

可以看到，高温与低温斜长石的曲线位置差异显著，远远大于消光位的测定误差，因而可以利用这一差异来鉴别不同结构状态的斜长石。此即本法的原理。

与 Rittmann 法不同之处在于，此法是围绕（010）面的法线转动晶体，分别在与 ⊥a 轴切面夹角为 20° 的前后两个切面中测定 E' 和 E''。由于在转动过程中，(010)面保持直立，因而不会发生相邻晶片的重迭干扰，保证了消光位的正确测定。此法之所以能解决晶片纤细狭窄的酸性斜长石的鉴定，其道理就在于此。由于（010）面保持直立，还可采用较厚（≫30μm）的薄片进行测定，有助于提高消光位测定的准确度。

不言而喻，此法当然也可用于鉴定粒度较大的酸性斜长石。

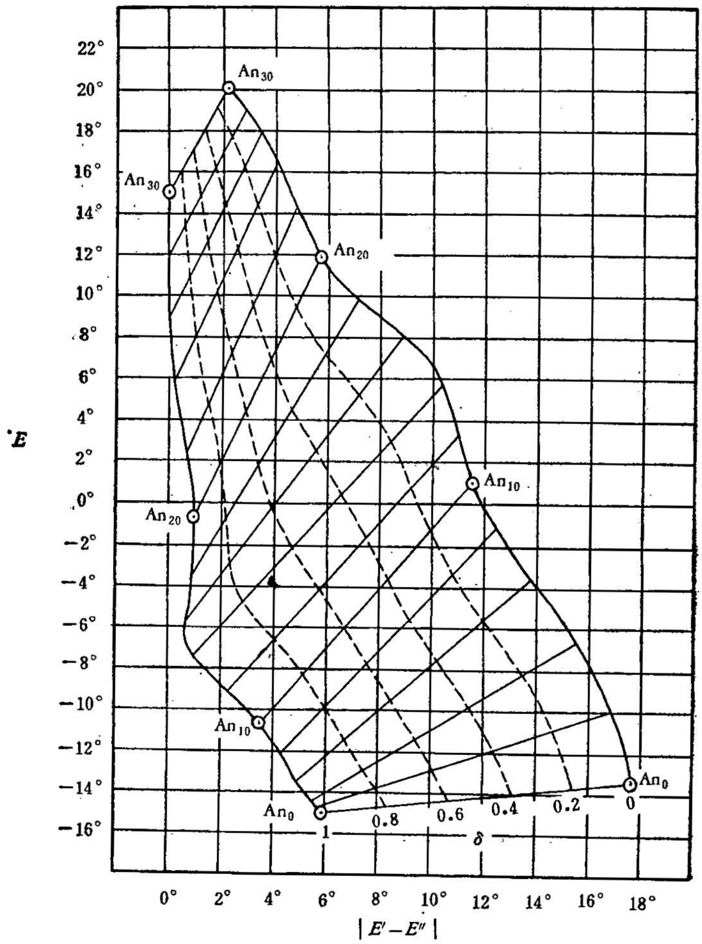

图 2 根据 ⊥(010) 晶带消光角数据鉴定酸性斜长石的有序度和成份的鉴定图（根据 Burri, Parker. Wenk 的数据[2]编制）

鉴 定 程 序

如果测定的对象是晶片细窄的微纹双晶，必须选用放大倍数较高的长焦距物镜，如 Leitz 系列的 UM 32/0.30、UMK 32/0.60、UMK 50/0.60、UT 40/0.35、UTK 32/0.50、UTK 50/0.63 或 Dpton 系列的 UD 40/0.65 等。三轴台、四轴台或五轴台均可运用。

为了提高消光角测定的准确度，最好采用中村试板 (Nakamura plate)、莱皮尼试板 (Macé de Lépinay plate) 或贝特朗目镜 (Betrand ocular) 等观测消光位。在不具备上述试板的情况下，可反复多次读数，取其算术平均值，这样可以得到较准确的结果。因为测量误差与测量次数(即读数次数)的平方根成反比，建议测量次数 ≥ 9 次，则测量误差可以减小至三分之一或更小。

一、测定 ⊥a 轴切面的消光角 *E*

1. 转N轴(内直立轴)使待测晶体 (010) 面的迹平行于 N-S 丝。

2. 转H轴(南北轴)使 (010) 面直立。(010) 面直立的判别标准是双晶结合面的迹细而清晰，钠长律双晶相邻晶片的干涉色一致，转动 I 轴(外东西轴)进行检查时相邻晶片的干涉色仍然保持一致，不产生差异。

3. 转 I 轴使 (001) 面直立。(001) 面直立的判别标准是 (001) 解理最细而且最清晰，微微升降镜筒或物台，解理缝不发生移动。

4. 转动物台，测定消光角 $N_p'\Lambda(010)$，并根据 N_p' 位于 (010) 与 (001) 构成的锐角区或钝角区确定消光角的符号，N_p' 位于锐角区为正，位于钝角区为负。也可根据晶体的突起(与树胶相比)确定消光角的符号，正突起为正，负突起为负。为了尽可能地提高准确度，尽量消除因双晶结合面与理想的 (010) 晶面不平行[4]的影响，应同时测定相邻晶片的消光角，取两者的算术平均值作为 E。

二、测定 E' 和 E''

1. 在上述 ⊥a 轴切面的位置上，向任一方向转动 I 轴 20°，转动物台测定此切面的消光角 E'。

2. 恢复到 ⊥a 轴切面，再向相反方向转动 I 轴 20°，转动物台测定此切面的消光角 E''。

3. 计算 $|E'-E''|$。因为查图 2 时用的是 E' 与 E'' 之差的绝对值，因此在测定 E' 和 E'' 时，不必确定其符号正负，只须注意 E' 与 E'' 的符号是相同还是相异，也即在测定 E' 和 E'' 时，物台的转动方向是相同(同为顺时针或同为逆时针)还是相异(一为顺时针，一为逆时针)。在计算 $|E'-E''|$ 时记住一条规则：同向相减，异向相加。例如，测 E' 时物台逆时针转动 3.1°，测 E'' 时物台逆时针转动 5.5°，则 $|E'-E''|$ 应为两者相减，即 2.4°；若测 E' 时物台逆时针转动 7.5°，测 E'' 时物台顺时针转动 4°，则 $|E'-E''|$ 应为两者相加，即 11.5°。初次使用此法测定时，应特别注意 $|E'-E''|$ 的计算规则，以免发生错误，得出不正确的结果。

在明确了计算 $|E'-E''|$ 的上述规则的基础上，可用一更为简便直观的方法计算 $|E'-E''|$。只须将 E' 与 E'' 两消光位的物台方位角读数相减，得到的角度值即为 $|E'-E''|$。这样既省去了根据物台方位角读数求算 E' 和 E'' 的步骤，又不必考虑 E' 与 E'' 本身的符号问题。但有一点必须注意，由于在作旋转台测量时，物台的零位一般为 0° 左右，当 E' 与 E'' 的符号相反时，两者的读数必然在物台 0° (即 360°) 刻线的两侧，在计算 $|E'-E''|$ 时，应将较小的物台方位角读数加上 360°，再去减另一读数，得出的才是两个方位角读数的差值。例如，测定 E' 时物台方位角读数为 357°，测定 E'' 时物台方位角读数为 11.6°，则 $|E'-E''|=(360°+11.6°)-357°=14.6°$。为了使 $|E'-E''|$ 的计算更加简化，在用此法测定酸性斜长石时，建议使用物台另一侧的游标尺(当物台居于零位时指于 90° 左右或 270° 左右)读数，这时只须将 E' 与 E'' 两消光位的物台方位角读数直接相减，得出的便是 $|E'-E''|$。在上述例子中，若以物台另一侧的游标尺(设零位时指于 90° 左右)读数，E' 的读数必定为 87°，E'' 的读数必定为 101.6°，则 $|E'-E''|=101.6°-87°=14.6°$。

三、确定结构状态和成分

斜长石的结构状态，可以定性地表述为高温型(完全无序)、过渡型(部分有序)和低温型(完全有序)，也可以定量地表述为有序度 δ，完全无序斜长石 $\delta \doteq 0$，完全有序斜长石 $\delta = 1$，部分有序斜长石 $0 < \delta < 1$。

为了便于确定过渡型斜长石的成分(An%)和有序度(δ)，图 2 中画出了 An 及 δ 的等值线。An 等值线以细实线表示，间距为 2% An。δ 等值线以虚线表示，间距为 0.2。

将测得的 E 和 $|E' - E''|$ 值投于图 2，即可确定被测样品的结构状态和成分。

1. 投影点落于高温曲线($\delta = 0$)上，或距高温曲线很近，说明是高温斜长石，根据投影点在曲线上的位置可读出其 An 值。

2. 投影点落于低温曲线($\delta = 1$)上，或距低温曲线很近，说明是低温斜长石，根据投影点在曲线上的位置可读出其 An 值。

3. 投影点落于低温与高温曲线之间，说明是过渡型斜长石，根据投影点所在的 An 和 δ 等值线的读数可确定其 An 和 δ 值，若投影点并不正好落在某条等值线上，则以内插法确定其 An 和 δ 值。

讨 论

一、此法不需对光率体主轴定位，只需测定三个消光角数据即可确定酸性斜长石的成分和结构状态，步骤比较简单，故操作迅速、易于掌握，即使是对旋转台不很熟悉的工作者或初学者也可在较短时间里掌握此法。特别适合于例行的、大量的鉴定工作。

二、当酸性斜长石的粒度小到一定程度，构成钠长律双晶的晶片宽度小于 20μm 时，目前只有此法能够解决其结构状态的光学鉴定问题。

三、此法虽然是为解决微纹双晶的鉴定问题而设计的，但在实际工作中，完全可以应用于粒度较大、可用其它方法测量的晶体，且效果更好，起到与其它方法互相补充、验证作用。

四、图 2 系根据 Burri 等的数据[2]计算绘制，其准确度和可靠性远较 Rittmann 法的鉴定图[1]为高。

附 录

运用菲涅尔定律作图法求消光角的方法

图 3 为 An_{0-30} 酸性斜长石两光轴 A 和 B 的赤平投影图。图 3B 为 ⊥[$\bar{1}$00](即垂直 a 轴的负端)切面，图 3A 和 C 分别为围绕 ⊥(010) 向北和向南转动 20° 后的切面。图 3B 系引自文献 [2] 的图版 VI，图 3A 和 C 系根据图 3B 在赤平投影网上通过投影面的转换作出。在图 3A，B 和 C 三种切面中测定的消光角即分别为正文中的 E'，E 和 E''。

现以图 3A 所示的切面($\bar{a}$ 轴北倾 20°)中的 An_{30} 高温斜长石为例，说明用菲涅尔定律作图法求消光角的方法。

图 4 中 A 和 B 分别代表 $\bar{a}$ 轴北倾 20° 切面中 An_{30} 高温斜长石两光轴的位置。(010)面在南北方向上直立，故在赤平投影图上为一通过网心的南北向直线。在直光中测定消

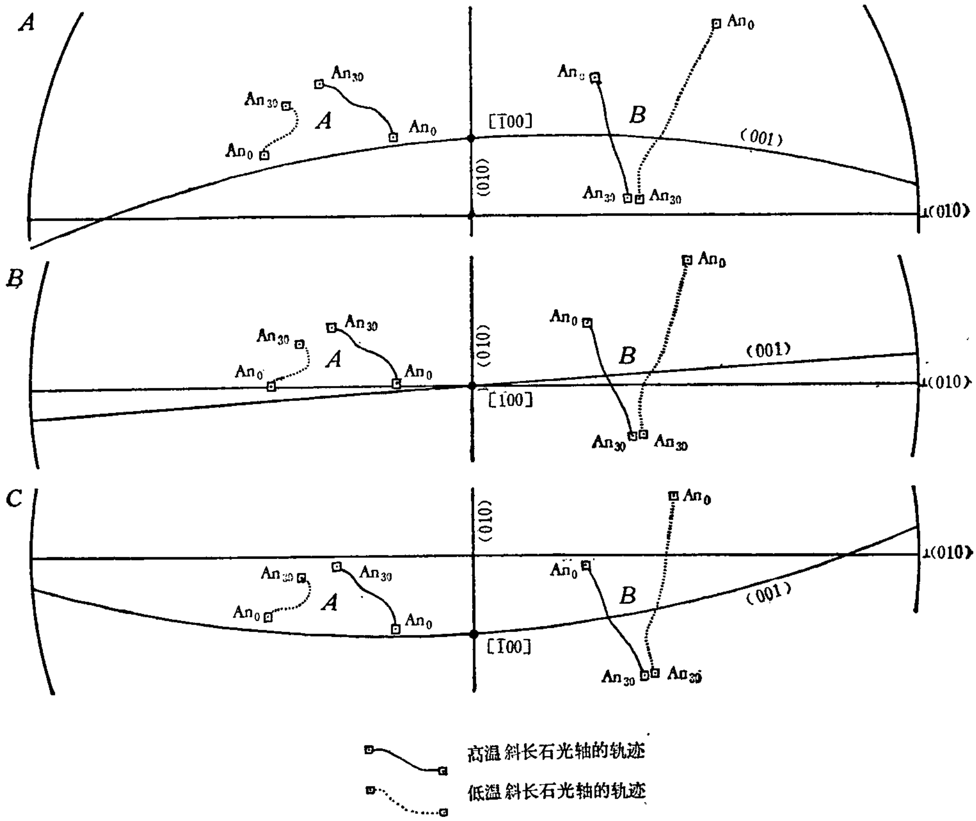

图 3　酸性斜长石两光轴 A 与 B 的赤平投影图

A. 切面 ⊥(010), [100] 向北倾 20°

B. 切面 ⊥[Ī00], 即 ⊥ a 轴

C. 切面 ⊥(010), [100] 向南倾 20°

(此图根据 Burri, Parker 和 Wenk 的数据[2]绘制)

光位时，透射过晶体的光线的波法线方向与显微镜轴平行，故波法线的投影点 N 位于投影网的中心。分别联结 NA 和 NB 两条直线，作 $\angle ANB$ 的角平分线交投影图基圆于 E'，则此切面的消光位为 NE'。NE' 与 (010) 面之间所夹的锐角即为此切面中 An_{30} 高温斜长石的消光角 (+17.6°)。

消光角的符号有两种确定方法。一种是根据米歇-列维法则[5]确定：当 a 轴的负端即 [Ī00] 指向观察者时，自 (010) 面顺时针旋转达到的消光位，消光角为正，自 (010) 面逆时针旋转达到的消光位，消光角为负。图 4 中，E' 位于 (010) 的顺时针方向，故消光角为正。另一

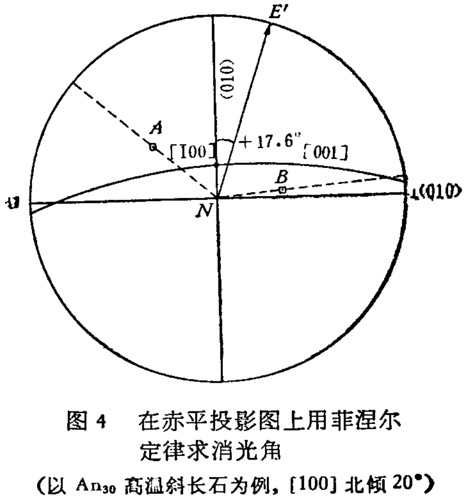

图 4　在赤平投影图上用菲涅尔定律求消光角

(以 An_{30} 高温斜长石为例, [100] 北倾 20°)

种方法是根据消光位位于 (010) 与 (001) 构成的锐角区或钝角区确定，位于锐角区者为正，位于钝角区者为负。图 4 中，E' 位于 (010) 与 (001) 构成的锐角区圆弧上，故消光角为正。

参 考 资 料

[1] Rittmann, A. and El-Hinnawi, E. 1961 The application of the zonal method for the distinction between low-and high-temperature plagioclase feldspars. Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt., 41, 41—48.

[2] Burri, C. Parker, R. L. and Wenk, E. 1967 Die optische Orientierung der Plagioklase-Unterlagen und Diagramme zur Plagioklasbestimmung nach der Drehtische-methode. 334 pp. Basel und Stuttgart, Birkhauser.

[3] Suwa, K. Mitzutani, S. and Tsuzuki. Y. 1972 Proposed optical methods of determining the crystallographic orientation and the twinning laws of plagioclase. 24th Intern. Geol. Congr. Section 14, 150—158.

[4] Tobi, A. C. 1965 On the cause of internal optical scatter in plagioclase and the ocurrence of lamellar Albite-Ala B twinning. Amer. Jour. Sci. 263, 712—718.

[5] Tröger, W. E. 1971 Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1 Bestimmungstabellen. 4 neubearbeitete Auflage. E. Schweizerbart'sche gesteinsbildenden Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.

A NEW METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE STRUCTURAL STATE AND COMPOSITION OF SODIC PLAGIOCLASES

Su Shuchun

Abstract

A new method, modified after Rittmann's zonal method, is proposed for the determination of the structural state and composition of sodic plagioclases by measuring three angles in the zone normal to (010) with the aid of the universal stage. The three angles are E, the extinction angle in the section $\perp$ a; E' and E'', the extinction angles in the two sections orientated by rotating about the normal of (010) exactly 20°, forward and backward respectively from the position $\perp$a. The values of E and $|E' - E''|$ are plotted in a graph constructed from the data of Burri, Parker and Wenk[2] (1967) to evaluate the ordering degree δ and An-content of the measured crystal. This method can successfully be applied to the determination of finely-twinned crystals of sodic plagioclases with twin lamellae narrower than 20 μm, which Rittmann's zonal method is difficult or impossible to determine owing to the mutual interference between adjacent lamellae caused by the inclination of the composition plane.