

菱切面角温度计作为形变温度计 在五台山区的应用

张翊钧

(天津地质矿产研究所)

主题词: 矿物温度计; 形变; 斜长石; 双晶; 五台山

提 要: 肖钠双晶主要在形变过程中产生, 它的结合面是菱形切面。菱形切面的位置既取决于斜长石的化学成分, 也取决于它的结构状态。后者本身就是温度的函数。因此, 菱切面的位置取决于形变时的温度。

在五台山区峨口花岗岩内获得了49个菱切面角温度值。从直方图上可以看出存在有520°C和480°C的两个峰。这温度与围岩的石榴石—黑云母对494—508°C的温度对应。它意味着形变温度与绿片岩相变质温度一致。在五台山区绿片岩相变质时观察到两期形变作用, 这与两个温度峰相符。因此, 利用菱切面角温度计可以研究形变与变质的关系。

迄今为止的地质温度计几乎都是岩浆作用或变质作用温度计^[1]。汪训彝1965年建立了菱切面角温度计^①。1985年作者对此法做了修订^[2]。这个温度计能确定岩石形变时它所处的温度环境, 从而将某一地区形变作用的研究与变质作用的研究通过该地区的温度演化将两者有机地联系起来。使之能应用于变质岩地区的形变与变质关系的研究。

一、原 理

斜长石的肖钠双晶结合面是菱形切面。菱形切面的位置通常用菱切面角 σ 来表示。菱切面角是菱形切面与(001)面之间的夹角。薄片上它是肖钠双晶的结合面与(010)面的交线和(001)解理与(010)面的交线两者之间的夹角。当前者位于晶体a、c两轴正值一侧时, 所形成的 σ 角为正值(图1)。

菱形切面在斜长石晶体中的位置, 既取决于斜长石的化学成分, 也取决于它的结构状态。史密斯(Smith, 1974)指出: 对某一固定成分的斜长石, 根据它的结构状态, 可确定它所处的温度^[3]。肖钠双晶是一种次生双晶, 它是由构造运动时的应力作用于晶体而产生的。这样从肖钠双晶的菱切面角可以了解斜长石的结构状态。不同的 σ 角说明斜长石具有不同温度时的结构状态, 从而可以确定它所处的温度。因此, 从肖钠双晶的菱切面角可以确定应力作用于斜长石时岩石所处的温度(图2)。它是一个形变温度计。

① 汪训彝, 1965, 内部资料。

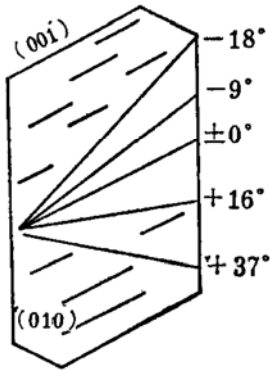


图 1 在(010)面上的菱切面角

Fig. 1 Angle of rhombic section on(010)plane

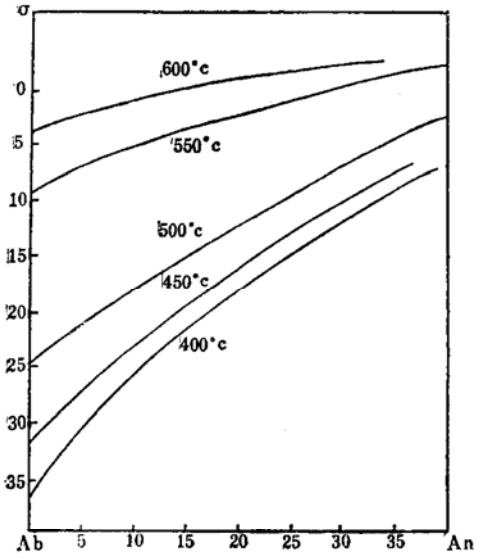


图 2 菱切面角温度计

Fig. 2 The rhombic section angle thermometer

二、五台山区的地质概况

山西省五台山区的地质在最近的两本专著中已经作了全面的总结^[4,5]。五台山区的五台群可分为三个亚群，即：石咀亚群、台怀亚群和高凡亚群。五台群被滹沱群不整合覆盖。岩石经受了多期变质与形变（表1）。石咀亚群变质为角闪岩相；台怀亚群变质为高温绿片岩相到低温绿片岩相；高凡亚群变质为低温绿片岩相到次绿片岩相；滹沱群变质为次绿片岩相；石咀亚群形成后有甘泉运动；台怀亚群形成后有探马石第一期和第二期运动；高凡亚群形成后有金洞梁运动；滹沱群形成后有吕梁运动。

根据石榴石—黑云母矿物化学分析资料，应用彼尔丘克等（Perchuk et al, 1983）的

表 1 五台山区地质事件概表

Table. 1 The geological events in Wutaishan area

变质 地层	形变	五台运动			吕梁运动
		甘泉幕	探马石幕	金洞梁幕	
滹沱群					次绿片岩相变质
五台群	高凡亚群			低温绿片岩相至绿片岩相变质	次绿片岩相退变质
	台怀亚群		绿片岩相变质	次绿片岩相退变质	
	石咀亚群	角闪岩相变质	绿片岩相退变质	次绿片岩相退变质	

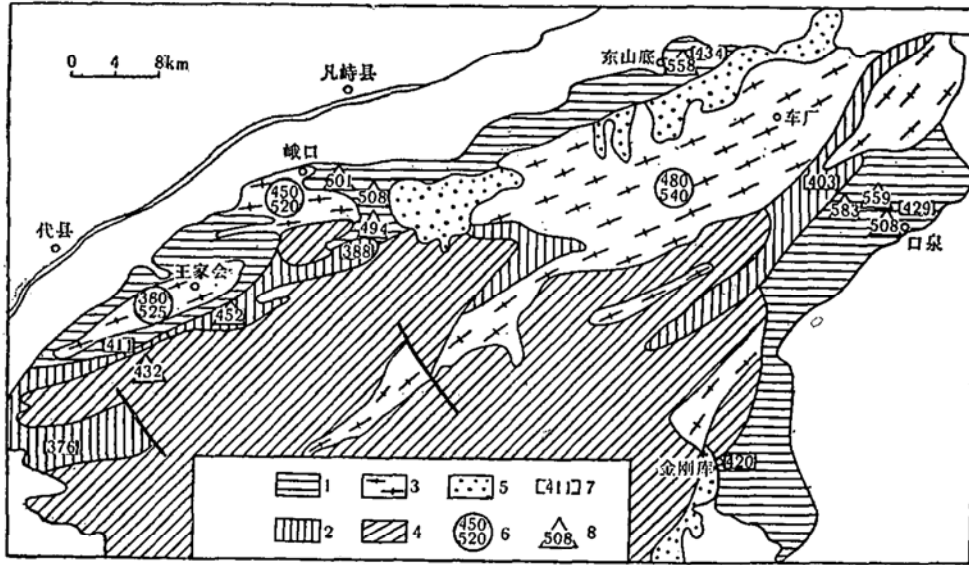


图 3 五台山区变质作用温度图

Fig. 3 The map of metamorphic temperatures in Wutaishan

1—金刚库组、板峪口组；2—文溪组、庄旺组；3—花岗岩；4—台怀亚群、高凡亚群、淳沱群；5—盖层；6—菱切面角温度 (°C)；7—氧同位素温度 (°C)；8—黑云母—石榴石温度 (°C)

表 2 石榴石—黑云母对温度

Table. 2 Temperature inferred from garnet-biotite pair

序 号	样 品 号	X_{Mg}^{Gr}	X_{Mg}^{Bi}	lnKD	T°C
1	K11	0.220	0.595	1.6503	601
2	Kd8003	0.156	0.548	1.8809	558
3	Kd8008	0.218	0.615	1.7457	583
4	Kd8013	0.106	0.536	2.2765	494
5	W81012	0.142	0.596	2.1876	508
6	W81452	0.097	0.585	2.5743	452
7	W81236	0.141	0.594	2.1875	508
8	W81015	0.184	0.596	1.8783	559
9		0.10	0.630	2.7294	432

序号1—8分析数据引自^[4]

序号9分析数据引自^①

计算公式^[6]

$$T = 10^3 \div (0.72657 + 0.2533 \ln kD) - 273$$

式中
$$\ln kD = \ln \frac{X_{Mg}^{Bi}}{1 - X_{Mg}^{Bi}} \cdot \frac{1 - X_{Mg}^{Gr}}{X_{Mg}^{Gr}}$$

石咀亚群的变质温度为558—601°C (图3, 表2)。台怀亚群变质时, 石咀亚群的退变质温度为494—508°C。高凡亚群的变质温度为432—452°C。由石英—磁铁矿氧同位素温度计所反映的本地区最后一期的变质温度为400°C左右。总体说来, 本地区的多期变质作用是一个温度逐渐下降的过程。后期变质作用均叠加在早期形成的岩石上, 引起下伏岩系的退变质作用,

① 刘新慧, 1986, 内部资料

而且其退变质作用温度与后期变质温度相同, 两者具有相同的变质相。

三、菱切面角温度

五台地区石咀亚群地层内自东向西分布着车厂花岗片麻岩体, 峨口花岗片麻岩体和王家会花岗片麻岩体。这些岩体中的许多斜长石发育有良好的肖钠双晶。在这些岩体中对同一薄片中的斜长石肖钠双晶的菱切面角和斜长石的成分进行了60对数据的测定后, 从而求出了肖钠双晶形成时岩石所处的温度。其中6个测定在车厂岩体内, 5个在王家会岩体内, 其余的49个在峨口岩体内(表3, 表4, 表5)。

表3 车厂花岗岩菱切面角温度

Table. 3 The temperature of chengchang granite body
inferred from the rhombic section angle

薄片号	斜长石号码	菱切面角	温度(°C)
W81404-1	5	10°	540
W82421	15	15°	500
W81403	18-21	7°	525 ±
W82417-1	22	10°	505
W8003	24	8°	515
W82418	27	9.5°	480

表4 王家会花岗岩菱切面角温度

Table. 4 The temperature of Wangjiahui granite body
inferred from the rhombic section angle

薄片号	斜长石号码	菱切面角	温度(°C)
W81478	12	19°	480
W82411	12	20°	470
W81465	20	6.5°-9°	520 ± (515 - 525)
W81467	22	14°-21°	400 ± (380 - 470)
W82410	26	4°-6°	520 ±

峨口花岗岩体内49个菱切面角的测定结果表明, 形变温度较为集中的有三个峰, 分别为520°C, 480°C和<400°C(图4)。

520°C和480°C的形变温度正处在绿片岩相的变质温度区间之内。它反映了形变发生在台怀亚群绿片岩相变质(即石咀亚群第一期绿片岩相退变质)条件下。这两个温度峰与石榴石-黑云母对所得的494-508°C的温度是一致的。这说明形变温度计所得到的结果可以与变质温度计所得出的结果进行对比。

两个峰值的存在还说明台怀亚群在变质过程中存在着两期形变作用, 它们分别相当于探

表 5 峨口花岗岩菱切面角温度
 Table. 5 The temperature of Ekou granite body inferred from the rhombic section angle

薄片号	斜长石号码	菱切面角	温度(°C)	薄片号	斜长石号码	菱切面角	温度(°C)
26 A	0	26	485	559-10	12	24	400
501-2	2	26	470	559-10	12	13.5	520
502-7	2	24	485	528-8	12	18	485
504-10a	5	27	440	871-1a	13	27	<400
519	5	25	460	871-1	13	26	<400
541	5	22	485	871-1	13	15	505
28-B2	5	14	525	871-1	13	12	520
886-1	7	30	<400	872-1	13	23	400
871-1b	7	24	460	872-1	13	19	460
871-1b	7	22	480	872-1	13	12	520
871-1b	7	15	520	716-3	13	22	430
883	8	28	<400	599-75	13	21	450
502-12	8	24	450	539	13	14	510
502-2b	8	22	480	559-16	14	22.5	400
502-2b	8	17	520	559-16	14	12	520
868	8	21	480	536-1	14	17	480
25-B1	10	24	425	794-2	15	13.5	510
8	10	23	440	561-2	16	23.5	<400
502-14	10	21	470	561-2	16	12	510
599-6	10	20	480	717-1	18	21	<400
502-9a	10	19	485	717-1	18	18	420
502-12a	11	24.5	420	719-2	18	20	<400
502-12a	11	20	475	902-2	28	7	510
528-2	11	16.5	510	966-2	30	9	470
897-1	12	24	400				

马石第一期运动和第二期运动。由此推测探马石第一期形变温度的峰值为 520°C，第二期形变温度的峰值为 480°C。这样，由形变时的温度可以推导该岩体的形变是探马石期的。

据构造测量的结果，峨口花岗岩体的片麻理褶皱构成背形构造，即以往所称的“阮山背斜”。北翼产状平缓，在 $8^\circ < 43^\circ - 352^\circ < 33^\circ$ 之间，转折端开阔，产状为 $346^\circ < 16^\circ - 15^\circ < 10^\circ$ 之间。但南翼产状陡峻，近阮山处急转为 $170^\circ < 77^\circ - 150^\circ < 68^\circ$ 。褶皱的总体形态与其北侧黑豆崖—高里区石咀亚群地层

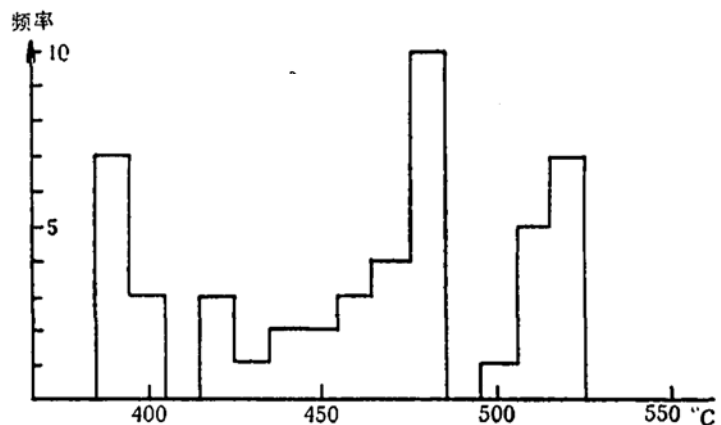


图 4 五台山地区峨口岩体菱切面角温度直方图 (49个样品)
 Fig. 4 The histogram of temperature inferred from rhombic section angle in Ekou granite body of Wutaishan area (49 samples)

的探马石期褶皱的形态十分相似^[4],因此,可以推论峨口岩体的片麻理是探马石期褶皱的产物。从此可以看出,从形变温度所得到的构造结论与构造分析所得出的结论是相吻合的。即:岩体的片麻理是探马石期的。520℃的温度可以认为是花岗岩体内片麻理形成的初期温度,因为480℃的峰值明显地大于520℃的峰值,所以可以认为它是形成片麻理的主期温度。

肖钠双晶测量结果,有三个样品显示420℃的温度,其附近430℃的仅一个样品,410℃的没有样品。由于峰值较低,仅从此直方图分析,尚难确定它是代表另一次的形变运动,还是代表480℃温度的那期运动的余波。从本区构造运动解析中得出:在高凡亚群沉积以后有一次金洞梁运动。高凡亚群的变质为次绿片岩相至绿片岩相。430℃这温度正在次绿片岩相至绿片岩相的温度区间。因此,可以认为它是金洞梁形变温度的反映。

可以认为400℃以及低于400℃(由于菱切面角温度计本身的局限性,低于400℃的温度无法标定其值,图4内所有小于400℃的样品作为同一温度值表示在400℃之左侧)是吕梁运动的形变温度,这与溱沱群处于次绿片岩相变质相符合。

五台山区的其它两个岩体中也发现有较多的菱切面角记录了520℃和480℃左右的温度(表3、表4)。这说明上述探马石两期构造运动在王家会和车厂岩体内也有所显示。

从上述数据材料,可以设想探马石运动就是五台运动的主幕。各花岗岩体形变的顶峰在探马石运动第二期,形变时的温度为480℃左右。

根据构造分析结果,探马石运动第一期是它的主幕,表现为大型的南北向平卧褶皱和主要断裂的形成^[4]。探马石运动第二期的强度与规模不及第一期,主要表现为缓倾伏,陡倾斜的北东向开阔褶皱。这样,由地层构造分析获得的结论与岩体肖钠双晶分析所获得的结论产生了一定的矛盾。这一矛盾的产生可能是因为层状的围岩与侵入其中的花岗岩体在形变机制上有所差别之故。

构造分析的结果,主要说明地层的形变机制;而肖钠双晶分析的结果,主要说明岩体的形变机制。两者结合起来才说明整个地区构造运动的总的图景。其整个形变过程推测如下:在探马石运动第一期强烈变形过程中,地层发生了强烈褶皱与断裂,这时花岗岩体可能正处在侵位过程中,它还没有完全达到它目前所处的地质位置,因而其总体的形变机制与围岩有所差异,所以第一期构造对它的影响较弱。探马石运动第二期过程虽然对围岩的影响比第一期要弱,但对花岗岩体而言,由于它遭受的第一期形变的强度弱,然而第二期运动就成为主要的了。

作者目前倾向于上述的看法,但尚未完全得以证实。研究在构造作用过程中不同地质体行为的差异性,在目前仅是一项探索性工作,值得今后进一步注意。期望以后有更多的手段或事实来证实或否定它。

肖钠双晶菱切面角温度计在五台山区的应用说明:1.这一形变温度计与变质温度计能够配合使用;2.形变温度计所得出的岩体片麻理形成时期与构造分析所得出的结论相吻合;3.它提供了研究地层与岩体形变机制差异的一个手段。

本文在写作过程中曾与徐文燕、高亚东同志进行讨论,颇受启发,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 张儒瓌,从柏林,1983,矿物温度计和矿物压力计,地质出版社。

- [2] 张翎钧, 1985, 菱切面角作为地质温度计, 天津地质矿产研究所所刊, 12号, 23—27页。
- [3] Smith, J. V., 1974, *Feldspar minerals*, vol. 2, Springer Verlag, New York, 690p.
- [4] 白瑾 (主编), 1986, 五台山早前寒武纪地质, 天津科学技术出版社。
- [5] 李树勋, 冀树楷等, 1986, 五台山区变质沉积铁矿地质, 吉林科学技术出版社。
- [6] Perchuk, L. L. and Lavrent'eva, I. V., 1983, Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite, in "Kinetics and equilibrium in mineral reactions" Springer Verlag, New York, pp. 199—240.

Rhombic Section Angle Thermometer Used As a Deformation Thermometer in Wutaishan Area

Zhang Yijun

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources)

Key words: mineral thermometer; deformation; plagioclase; Wutaishan

Abstract

Nearly all geothermometer are thermometer of magmatic or metamorphic processes. Rhombic section angle thermometer can determine the temperature of deformation, so it can be served as a deformation thermometer.

Pericline twinning, whose composition plane is rhombic section, is formed mainly by mechanical deformation. The position of rhombic section varies with both chemical composition and structural state of plagioclase, which itself is a function of temperature. Consequently the position of rhombic section is dependent on the temperature of deformation, during which Pericline twinning was formed.

In Ekou granite body of Wutaishan area 49 angles of rhombic section and corresponding compositions of plagioclase have been determined and 49 temperature values have been yielded. On histogram (Fig. 4) there are two temperature peaks 520°C and 480°C, which are similar to 494—508°C inferred from garnet-biotite pair of country rocks. It means that temperature of deformation is in agreement with temperature of greenschist metamorphism. In Wutaishan area during greenschist grade metamorphism two epizodes of deformation have been observed, which coincides with the two temperature peaks. Therefore rhombic section angle thermometer provides a means for study the relation between deformation and metamorphism.