

温度对斜长石变形双晶类型的控制*

张翎钧 王惠初

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

主题词 变形温度 钠长石双晶 肖钠双晶

提 要 石咀地区前寒武纪片麻岩内的斜长石大量发育变形双晶。在所统计的9个样品内,有6个样品的钠长石双晶几率高于肖钠双晶,其余3个样品的肖钠双晶几率高于钠长石双晶。这些样品的变形温度测定结果表明,变形时的温度对变形双晶的类型起着决定性的作用,高温时优先产生肖钠双晶,低温时优先产生钠长石双晶。据现有资料,这一温度界线大约在600℃左右。

斜长石在变形过程中能产生变形双晶。斜长石的变形双晶有两种,即钠长石双晶和肖钠双晶。钠长石双晶的双晶结合面为(010)面,肖钠双晶的双晶结合面为菱形切面。国内外大多数人认为,钠长石双晶比肖钠双晶容易产生,因此,钠长石双晶的产生几率明显高于肖钠双晶^[1-4]。

作者在研究山西省五台山石咀地区片麻岩内斜长石的变形双晶时,发现岩石内既有钠长石双晶几率高于肖钠双晶的标本,也有肖钠双晶几率高于钠长石双晶的标本。

1 肖钠双晶几率

石咀地区发育一套前寒武纪片麻岩(图1),主要是一套正变质岩,其原岩为英云闪长岩至奥长花岗岩,其主要造岩矿物为斜长石、石英、黑云母和角闪石(表1)。片麻岩的化学成分见表2。

该区片麻岩中单矿物的电子探针分析结果列于表3。应用彼尔丘克等的计算公式^[5],获得片麻岩中石榴石-黑云母的变质温度在550—620℃之间(87555号样品中石榴石核部为572℃,边部为621℃;9216号样品中石榴石核部为563℃、560℃,边部为550℃)。据彼尔丘克图解,还获得了9216号样品中石榴石-角闪石对的变质温度为650℃。这些结果与五台山其它地区石咀亚群内石榴石-黑云母对的变质温度(558—601℃)一致^[6]。在薄片可见黑云母穿插角闪石,表明角闪石的生成早于黑云母。角闪石是早期高温变质的产物,黑云母则是晚一期的变质产物。这说明,早期变质温度为650℃左右,晚一期变质温度在550—620℃之间。

9215、9216和87526号样品内角闪石和黑云母在 $Fe^{2+}-Fe^{3+}-Mg^{2+}$ 三角图中的投影表明,角闪石与黑云母的诸联线基本上互相平行,说明这3个样品具有近似的变质温度(图2)。因此,从变质温度看,这些样品间无明显差异。

由于受到多期构造运动的影响,在片麻岩中的斜长石内,常能见到由变形产生的肖钠双

* 国家自然科学基金资助项目

本文于1993年5月7日收到,1994年4月7日改回。

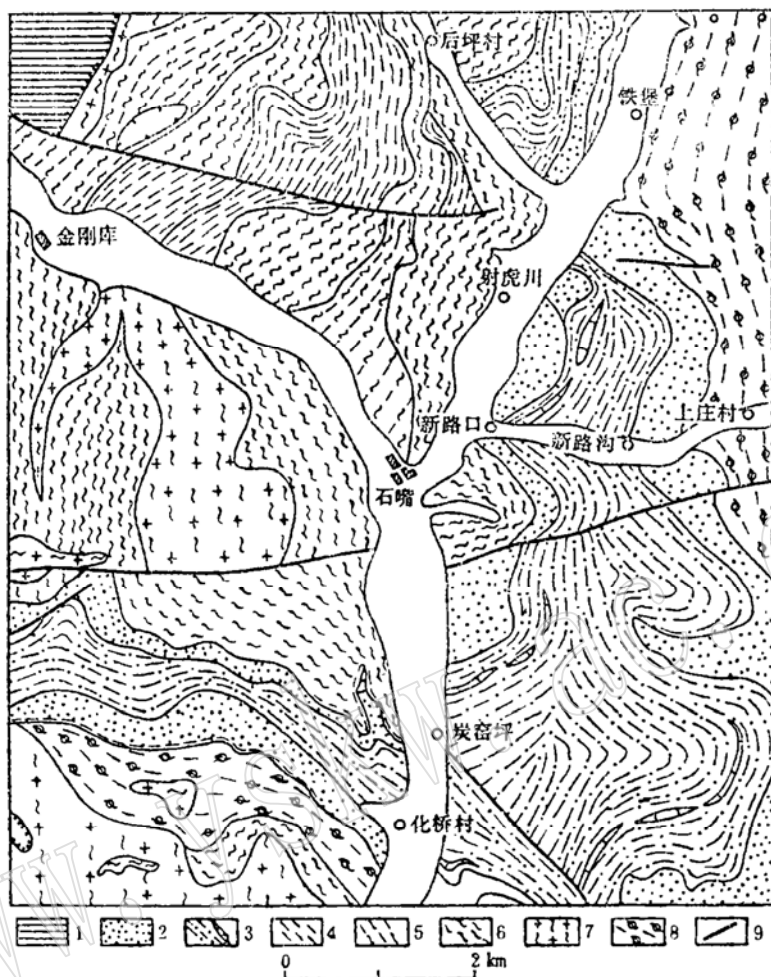


图 1 山西省五台山石咀地区地质图

Fig. 1 Geological map of Shizui area, in Wutaishan, Shanxi Province

- 1—漳沱群；2—石英岩；3—黑云母片岩、豆状黑云变粒岩夹大理岩；4—白云母石英片岩、白云母斜长片麻岩；5—二云母斜长片麻岩、绿泥角闪斜长片麻岩、绿泥黑云斜长片麻岩（局部有基性-超基性岩）；6—角闪斜长片麻岩、角闪黑云斜长片麻岩；7—片麻状花岗岩；8—眼球状花岗岩（原龙泉关群）；9—断层

晶或钠长石双晶。这些片麻岩中的斜长石都为钠质斜长石，其变形双晶在偏光显微镜下大部分能予以鉴别：所有钠长石双晶的双晶结合面均具负延长，而肖钠双晶的双晶结合面可为负延长，亦可为正延长；在双晶结合面为负延长的情况下，肖钠双晶的双晶结合面与解理面之间有一夹角，而钠长石双晶的双晶结合面则平行解理面。该区各类岩石内斜长石变形双晶中肖钠双晶几率见表4（对双晶结合面和解理面不清晰的双晶不予统计分类）。

由表4可见，在所观测的9个样品中，有6个样品的肖钠双晶几率低于50%，表明这些样品中钠长石双晶较肖钠双晶容易产生。这一结果与以往大多数学者所得结果相一致，再次表明根据较多样品从统计角度看，以往的结论是正确的。但值得注意的是，本次研究中有3个样品（9216、87555和87526）的肖钠双晶几率超过50%（表4），表明这3个样品中肖钠双晶较钠长石双晶容易产生。

表 1 石咀地区片麻岩的矿物成分

Table 1 Mineral composition of gneiss from Shizui area

样品号	矿 物 含 量 (%)				
	黑 云 母	角 闪 石	石 英	斜 长 石	其 它
9216	15	5	25	53	2
87555	10	—	30	59	1
87526	5	10	30	55	—
9215	20	20	5	52	3
9234	15	—	30	55	—
9201	15	—	30	53	2
9227	15	—	25	60	—
89058	8	10	20	57	5
89060	5	15	20	58	2

表 2 石咀地区片麻岩的化学成分

Table 2 Chemical composition of gneiss from Shizui area

样号	组份(%)													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	灼失	H ₂ O ⁺	MnO	总和
87518	70.90	13.86	1.96	2.22	2.18	1.27	1.35	4.65	0.30	0.11	0.98	0.92	0.02	100.72
87555	68.85	14.77	2.32	1.81	1.70	1.72	1.00	5.11	0.35	0.10	1.20	0.91	0.03	99.87
87520	64.02	17.94	1.97	2.22	4.11	1.34	0.75	5.95	0.50	0.18	0.44	0.59	0.04	100.05
87561	61.91	18.54	3.62	0.85	2.26	0.62	1.50	7.10	0.25	0.10	2.16	1.31	0.03	100.25
87517	61.91	15.72	3.38	2.77	5.20	2.43	1.15	4.00	0.55	0.32	1.38	0.87	0.07	99.75

测试单位: 山西省地矿局211地质队化验室

表 3 石咀地区片麻岩中造岩矿物的化学成分

Table 3 Chemical composition of rock-forming minerals from gneiss of Shizui area

化学组份	样品号	87555-2	87555-1	87555-3	9216-1	9216-2	9216-3	9216-4	9216-5
		Ga(边部)	Ga(核心)	Bi	Ga(核心)	Ga(边部)	Ga(核心)	Hb	Bi
Na ₂ O		0.28	0.46	2.37	0.43	0.21	0.33	2.19	0.42
MgO		1.79	1.43	5.71	4.01	3.64	3.94	8.80	13.45
Al ₂ O ₃		20.99	20.75	15.53	21.17	21.26	20.76	15.58	16.37
SiO ₂		37.67	37.07	42.21	38.20	37.59	38.74	42.65	38.16
K ₂ O		0.06	0.01	4.88	0.00	0.00	0.00	0.48	9.49
CaO		9.14	8.26	2.52	4.49	5.47	4.26	9.56	0.14
TiO ₂		0.00	0.01	4.03	0.00	0.00	0.00	0.25	2.02
MnO		0.11	3.62	0.12	5.09	4.58	5.69	0.44	0.24
Cr ₂ O ₃		0.00	0.02	0.01	0.00	0.08	0.00	0.03	0.00
NiO		0.00	0.39	0.00	0.26	0.09	0.00	0.00	0.00
FeO		30.44	27.98	17.15	27.82	27.54	27.26	17.79	17.03

Ga—石榴石; Bi—黑云母; Hb—角闪石。测试单位: 中国地质大学(北京)电子探针室

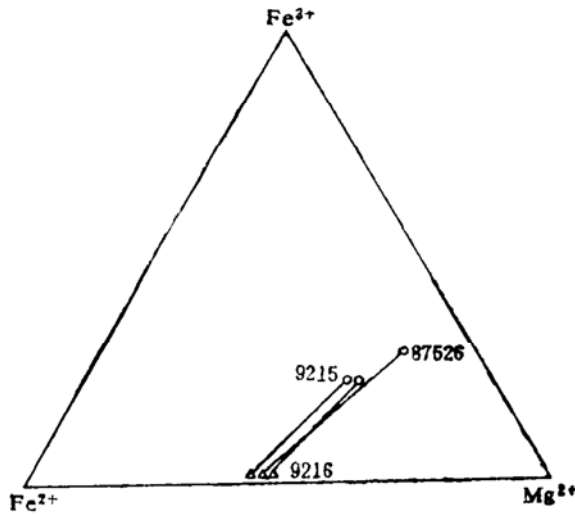


图 2 石咀地区片麻岩中角闪石和黑云母的成分投影

○—黑云母；△—角闪石

Fig. 2 Compositional projection of amphibole and biotite from gneiss of Shizui area

表 4 肖钠双晶几率

Table 4 Frequency of pericline twinning

样品编号	岩石名称	双晶个数*			肖钠双晶 几率(%)
		钠长石双晶	肖钠双晶	合计	
9216	英云闪长片麻岩	9	31	40	78
87555	黑云斜长片麻岩	20	28	48	58
87526	黑云角闪片麻岩	13	39	52	75
9215	黑云角闪片麻岩	14	9	23	39
9234	黑云斜长片麻岩	21	3	24	12
9201	黑云斜长片麻岩	14	6	20	30
9227	黑云斜长片麻岩	23	2	25	8
89058	黑云角闪片麻岩	12	6	18	33
89060	黑云角闪片麻岩	15	2	17	12

* 双晶个数并不代表岩石中变形双晶的发育程度，由于本次研究着重肖钠双晶几率高的样品，因而对前 3 个样品所观测的薄片在数量上超过 6 个样品

肖钠双晶出现几率高于钠长石双晶，以往也有报导。Kaaden (1951) 曾指出，钙性斜长石中有时肖钠双晶含量超过钠长石双晶^[7]。卡依 (1966) 也发现，圭亚那麻粒岩和斜长角闪岩中的基性斜长石，其肖钠双晶几率高于钠长石双晶^[8]。在斜长岩中也发现过肖钠双晶的丰度大于钠长石双晶的现象^[9]。特纳 (1951) 曾指出，在绿片岩相变质岩中，他的观测结果与菲列普一致，即钠长石双晶占优势；而在变质级别更高的变质岩中，肖钠双晶的丰度不低于钠长石双晶^[10]。上述资料说明，虽然在许多岩石中钠长石双晶最常见，但也有部分岩石中肖钠双晶更常见。

2 变形温度

笔者分别测得了上述样品中斜长石变形双晶的变形温度。温度计算采用陈安蜀和张翎钧提出的公式^[11]。

在 400—550℃ 时，

$$t = 451 + 11.61\sigma + 15.61An - 0.39\sigma^2 - 0.31An^2 - 0.9An\sigma$$

在 550—650℃ 时，

$$t = 725 + 17.26\sigma + 3.49An + 0.08\sigma^2 - 0.11An^2 - 0.39An\sigma$$

压力校正为每增加 100MPa 增加 5.5℃。该地区的压力为 600 MPa，温度校正值为 +33℃ 左右。所得的变形温度列于表 5。

表 5 石咀地区片麻岩的变形温度

Table 5 Deformation temperature of gneiss in Shizui area

样品编号	斜长石成分* <i>An</i> (%)	菱切面角 σ (°)	温 度 <i>t</i> (°C)	肖钠双晶 几率 (%)
9216	15.3	5	672	78
87555	26.1	5	639	58
87526	22.5	6	628	75
9215	14.8	11	581	39
9234	20.0	10	569	12
9201	11.0	16	546	30
9227	15.5	16	514	8
89058	12.0	11	588	33
89060	12.0	11	588	12

* 89058和89060号样品由光学测定，其余见表 6

表 6 斜长石成分的电子探针测定结果

Table 6 Electron microprobe analyses of plagioclase

样品编号	氧化物含量 (%)					<i>Or</i>	<i>Ab</i>	<i>An</i>
	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO			
9216	9.88	22.13	65.01	0.19	3.27	1.00	83.70	15.30
87555	8.35	23.84	61.87	0.04	5.36	0.30	73.60	26.10
87526	9.11	23.70	63.86	0.01	4.77	0.00	77.50	22.50
9215	9.41	21.41	65.50	0.17	2.98	1.00	84.20	14.80
9234	9.19	23.06	63.75	0.03	4.16	0.10	79.90	20.00
9201	10.14	20.79	66.02	0.17	2.29	1.00	88.00	11.00
9227	9.55	21.87	64.28	0.13	3.19	0.70	83.80	15.50

测试单位：中国地质大学（北京）电子探针室

由表 5 可见，该地区肖钠双晶几率较高的样品具有较高的变形温度。9216、87555和87526 3 个样品的变形温度分别达 672℃、639℃和 628℃，均在 600℃ 以上，而其余 6 个样品的变形

温度均在600℃以下。由此可以推论,变形时的温度对变形双晶的类型起着决定性的作用,高温时变形斜长石内优先产生肖钠双晶,低温时变形斜长石内优先产生钠长石双晶。据现有资料,这一温度界线大体在600℃左右。

由于以往那些样品中斜长石肖钠双晶几率高的地区没有变形温度资料,现在尚无法直接验证上述结论应用于那些地区是否正确。据文献描述,那些地区的变质程度都比较高,属麻粒岩相变质区,或麻粒岩相与角闪岩相过渡区。众所周知,虽然变形与变质在温度上不一定重合,但是,低温变形通常伴随绿片岩相等低变质作用,而高温变形则常与高温变质同时发生。由此可认为,上述结论与那些地区的资料并不矛盾。

3 讨论

对比9215、9201和9234等样品,可以看到它们的变形温度虽然相近,但肖钠双晶产出的几率却差别很大。9215号样品的变形温度为581℃,肖钠双晶几率为39%;9234号样品的变形温度为569℃,肖钠双晶几率为12%。这说明,除变形温度外,还有其它因素控制着不同类型变形双晶的发育。这些因素可能是:

(1) 变形强度 在同一变形温度下,各具体地段岩石的变形强度有所差异。当同时受到低温变形时,在变形强度高的岩石中,钠长石双晶可能较肖钠双晶容易产生。9234号样品可能就是变形强度高的,因而肖钠双晶的产生几率只有12%。9215号样品可能是变形强度低的,因而肖钠双晶的产生几率为39%,高于9234号样品。

(2) 样品可能处于不同的构造地段而具有不同的构造变形历史 现在所测得的变形温度仅代表样品最晚一期的变形温度,而不可能提示该样品的变形历史。因而,具有同一变形温度的样品,有的可能早期还遭受过高温变形,有的则可能没有遭受过早期高温变形。对比9215和9234号样品,前者可能遭受过早期高温变形,当时产生了较多的肖钠双晶,晚期变形未使这些早期肖钠双晶全部消失;后者未经历过早期高温变形,只经历了一次晚期变形。

9215号样品的位置距9216号样品仅150m,附近其它样品也呈现高温变形的信息。因此推测,这一地点早期普遍经历了600℃以上的高温变形,晚期600℃以下温度变形时,部分高温变形地段因所叠加的变形很微弱而残留下来。这样,9216号样品属于仅遭受了600℃以上早期变形的残留体。9215号样品既遭受了高温变形又遭受了低温变形,9234号样品仅遭受了低温变形。这就是说,9215号样品的肖钠双晶出现几率相对高于9234号样品,是原有高温变形的残留。

上述两种因素究竟那种的作用更重要些,尚待今后继续研究。

由于低温变形主要产生钠长石双晶,而晚期变形通常是600℃以下的变形,这样就使自然界大部分岩石中钠长石双晶占优势。这也就是多数样品中钠长石双晶比肖钠双晶容易产生的地质背景。

通常认为,斜长石变形时平行片麻理的主要是(010)面,与钠长石双晶的结合面一致。观测表明,随着变形温度高于600℃,平行片麻理优选的不再是(010)面,而是(100)面(另文阐述)。这就证实了Kruhl(1987)的想法,即斜长石的定向可能与温度有关^[12]。所有这些都表明斜长石的物理性质在600℃左右有一明显转折。由于斜长石是地壳内分布最广

的矿物之一, 这样, 在地壳深部会产生一个显著的物性界面, 值得进一步重视。

综上所述, 可以认为, 虽然自然界大部分岩石内以钠长石双晶占优势, 但也有一部分岩石内以肖钠双晶占优势。从岩石的生成条件可看出, 变形双晶几率的差异主要是由变形温度控制的。在变形温度高于 600℃ 的条件下, 肖钠双晶优先生成。由于后期叠加变形, 可使早期生成的肖钠双晶在晚期低温变形过程中有部分消失。

参 考 文 献

- 1 Vance J A. Polysynthetic twinning in plagioclase. *Am. Min.*, 1961, 46: 1097—1119.
- 2 Seifert K E. The genesis of plagioclase twinning in the Nonewang granite. *Am. Min.*, 1964, 49: 297—320.
- 3 White S. Tectonic deformation and recrystallization of oligoclase. *Contr. Min. Petrol.*, 1975, 50: 287—304.
- 4 稽少丞. 长石的塑性变形——国外研究进展评述. 1986, 4(1): 6—15.
- 5 Perchuk L L. and Lavrenteva I V. Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. in: Saxena S K. ed. *Kinetics and equilibrium in mineral reactions*. Springer Verlag, New York, 1983, 199—240.
- 6 张翎钧. 菱切面角温度计作为形变温度计在五台山区的应用. *岩石矿物学杂志*, 1987, 6(4): 289—295.
- 7 Kaaden G. Van der. Optical studies on natural plagioclase feldspars with high and low temperature optics. *Dissertation Univ. Utrecht*, 1951, 1—105.
- 8 Cannon R T. Plagioclase zoning and twinning in relation to the metamorphic history of some amphibolites and granulites. *Am. J. Sci.*, 1966, 264(7): 526—542.
- 9 Suwa K. Plagioclase twin laws and fabrics in three specimens of anorthosite. *Lithos*, 1979, 12(1): 99—107.
- 10 Turner F J. Observations on twinning of plagioclase in metamorphic rocks. *Am. Min.*, 1951, 36: 581—596.
- 11 陈安蜀, 张翎钧. 钠质斜长石变形温度的估算. *科学通报*, 1992, 37(19): 1785—1787.
- 12 Kruhl J H. Preferred lattice orientations from amphibolite and greenschist facies rocks near the Insubric Line (Western Alps). *Tectonophysics*, 1987, 135: 233—242.

The Control of Temperature over Deformation Twinning in Plagioclase

Zhang Yijun Wang Huichu

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170)

Key words: deformation temperature; albite twinning; pericline twinning

Abstract

During the deformation of plagioclase, two types of deformation twinning, albite twinning and pericline twinning, are produced. Most researchers consider that albite twinning is more readily formed than pericline twinning, so the frequency of albite twin is much higher than that of pericline

twin. Deformation twinning is widely developed in Precambrian gneiss of Shizui area, Wutaishan, Shanxi Province. In six of nine samples, the quantity of albite twin is higher than that of pericline twin, the frequency of pericline being 39%, 13%, 30%, 8%, 33% and 12% respectively. The frequency of pericline twin is higher than that of albite twin in the remaining three samples (the frequency of pericline twin being 78%, 58%, 75% respectively). The deformation temperatures of these 9 samples were determined by deformation thermometer of pericline twinning in plagioclase, being 581°C, 569°C, 546°C, 514°C, 588°C, 588°C respectively for the first six samples, and 672°C, 639°C, 628°C for the last three samples. Our work shows that deformation temperature plays a key role in controlling the types of deformation twinning. The high temperature favors the formation of pericline twin, while the low temperature the albite twin. According to our data, the temperature boundary is around 600°C. In literature, all samples with high frequency of pericline twin belong to high grade metamorphic rocks of granulite facies or transition zone from amphibolite to granulite facies, suggesting a possible high temperature deformation. This is in accordance with our conclusion.

Upon rocks deformed at high temperature, are often superimposed low temperature deformation of later stage, which is usually lower than 600°C. Therefore, albite twinning is mainly produced at later stage, and this accounts for the dominance of albite twin in most rock samples.