

问题
讨论

麻粒岩相条件下蠕状石成因的 一种解释*

赵文浩

(河北省地质矿产局地质勘查院, 唐山 063000)

主题词 蠕状石 麻粒岩相 初熔温度 共结

提 要 关于蠕状石的成因, 许多地质学家提出各种不同的成因假说, 多数人认为是交代生成的。根据蠕状石总是产在麻粒岩相变质岩和相应的混合岩中, 并常出现于斜长石、正长石和石英的接触部位, 含蠕状石的斜长石的折射率低于不含蠕状石的斜长石以及近年来花岗质岩石熔融实验研究获得的成果, 笔者认为, 蠕状石是在麻粒岩相变质条件下, 由深熔作用在变质岩中局部产生的花岗质熔浆于冷却结晶过程中最后共结产生的。

蠕状石(Myrmekite)又称蠕虫状石英或蠕英石, 是法国米歇尔-列维(Mychil-Levy)于 1875 年 2 月 25 日出席法国地质学会会议时提出的。他在其论文中谈到, 在显微镜下看到古老的酸性岩石中一个正长石晶体包着被溶蚀的斜长石, 且沿着斜长石的边缘有蠕虫状的特征。1899 年 Senderholm 把它命名为蠕状石(Myrmekite)。这个名词是从希腊语演变来的, 意思是疣状^[1-3]。

1 关于蠕状石的定义

自米歇尔-列维发现蠕状石以来, 许多人将石英与碱性长石交生或类蠕状石统称为蠕状石, 致使这一专用名词含义太广。巴克(Baker, 1970)等为区别于文象结构, 将石英与微斜长石或高钠斜长石及云母与蠕虫状石英交生等现象称之为后成合晶(Symplectite), 以示区别于蠕状石。

综合大多数学者的意见, 蠕状石的定义是: 岩石中蠕虫状石英与高钠斜长石共生, 并且产于斜长石和毗邻的钾长石之间或两个以上相连的碱性长石颗粒之间。必须指出, 定义强调与钾长石接触“相遇”这一点, 这是区别后成合晶和类蠕状石的根本条件^[1-3]。

2 冀东地区深变质岩中蠕状石的主要特征

蠕状石在岩石中主要见于深变质岩和混合岩中, 在花岗岩中尤其是年代较老的花岗岩中偶尔也能见到。在变质岩中又主要出现于高角闪岩相-麻粒岩相变质岩中(照片 1)及相应的

* 本文于 1996 年 7 月 17 日收到, 1996 年 10 月 16 日改回。

深熔混合岩中(照片2),而在低角闪岩相-绿片岩相变质岩中极少见到。

蠕状石多出现于中酸性变质岩中,较基性的变质岩中则很少见到蠕状石。因此,出现蠕状石的岩石或多或少含有一定数量的钾长石和石英。但蠕状石的出现并不完全受钾长石和石英含量多少的制约,也不受钾长石、石英对斜长石溶蚀交代强弱的限制。

就冀东深变质岩而言,蠕状石总是出现于斜长石与钾长石的接触部位(照片2),它或出现在两长石整个接触线上(照片3),或只出现于其中某一部位。并且,蠕状石被包在斜长石一侧与高钠斜长石共生,含蠕状石的斜长石的折光率低于不含蠕状石的斜长石,与蠕状石接触的钾长石主要是正长石、高正长石,而很少是微斜长石。构成蠕虫状结构的矿物成分有三种情况:①以斜长石为基质,蠕虫状客晶只有石英;②蠕虫状客晶为石英和钾长石;③蠕虫状客晶只有钾长石。上述三种情况中的第②种较为多见,蠕状石纯为石英或纯为钾长石者不多见。在遭受强动力作用发生粒化的深变质岩中,蠕状石或蠕虫状结构常与其伴生,未被粒化的部分则很少见到。由此可见,在变质岩中蠕状石的出现受到岩石中矿物成分和变质作用条件的制约。

3 蠕状石的成因

关于蠕状石的成因问题,由于受到测试技术的限制,各种试验所能提供的依据较少,所以争论较大。有关蠕状石的成因解释,国内外学者已提出了十几种,概括起来主要有:

①认为斜长石和石英形成熔体或溶液状态,于晚期岩浆阶段结晶而成(Spencer, 1958),或是固溶体冷却出溶作用的结果(菲利普斯, 1972)。

②交代说:一种观点认为钾长石交代斜长石(Drescher-Kaden, 1948);另一种观点认为斜长石交代钾长石(Becke, 1908)。国内一些学者也多认为是钾长石交代斜长石的结果,并提出了“交代蠕虫状结构”这一术语。

③重结晶斜长石包裹了位于碱性长石与斜长石之间的受到应变的石英(Shelley, 1964)。

④硅交代作用的结果。

笔者认为上述四种观点都不能对蠕状石做出令人信服的解释。对于第①种,即固溶体出溶观点,笔者认为没有理论根据,实验表明斜长石与石英不能形成固溶体,也不能形成中间化合物,因此,也就谈不上固溶体出溶的问题。对于第②种,从交代反应方程来看,钾长石交代斜长石或斜长石交代钾长石都不会出现剩余的 SiO_2 。在一些变质岩和岩浆岩中,经常见到钾长石、石英交代或熔蚀斜长石的现象,但却未见到蠕状石的出现。如张家口东坪二长岩被后期钾长石和石英强烈交代,斜长石被交代成不规则的港湾状或呈核晶状残留体(照片4),但其中却未见到蠕状石,可见用钾长石和石英交代斜长石来解释蠕状石的成因就值得考虑了。

4 变质岩中蠕状石成因的初步认识

蠕状石总是出现在麻粒岩相变质岩和相应的混合岩中这一事实,说明中酸性变质岩中蠕状石的出现与麻粒岩相变质条件有密切关系,冀东麻粒岩相变质条件为 $P = 11 \times 10^8 \text{ Pa}$, $T = 700 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ (张儒媛, 1982)。花岗质岩石的熔融实验表明,在不同的 P 、 T 条件下, Q 、 Ab 、 Or 的熔点和共熔点是不同的(见表1)。

表1 不同 P_{H_2O} 条件下 Q、Ab、Or 的熔点和共熔点Table 1 The melting points and eutectic points of Q, Ab, Or under different P_{H_2O} conditions

P_{H_2O} (Pa)	Q 熔点(°C)	Ab 熔点(°C)	Or 熔点(°C)	共熔点(°C)
1×10^8	1713 ± 5	1118 ± 5	1150 ± 20	960
5×10^8	876	758	800(近似值)	640
30×10^8				580

注: 据参考文献[4]、[5]中有关相图编制。

由表1可以看出, 冀东麻粒岩相变质岩的变质温度明显高于 $P_{H_2O} = 5 \times 10^8$ Pa 的共熔点 640 °C, 考虑到冀东一些变质岩中的矿物成分含有一些辉石、角闪石和黑云母, 斜长石的 An 值较高等因素, 冀东变质岩的实际初熔温度应大于 640 °C。

表2 块状样品的熔融条件及熔体标准矿物比值

Table 2 Melting condition of massive samples and norm ratios of melts

岩石	序号	熔体部位	压力 (GPa)	温度 (°C)	加热时间 (h)	熔体标准矿物比值		
						O	Ab	Or
英云 闪长 质片 麻岩	1	石英与斜长石间	0.1	770	120	55.5	26.7	17.8
	2	石英与斜长石间	0.1	770	120	54.4	23.4	22.2
	3	石英与斜长石间	0.2	760	48	43.7	29.0	27.3
	4	石英与斜长石间	0.2	760	48	46.6	24.9	28.5
	5	石英与斜长石间	0.2	770	120	37.7	33.5	28.8
	6	石英与斜长石间	0.2	790	48	35.9	41.6	22.5
	7	石英与斜长石间	0.2	790	48	35.3	44.3	20.4
	8	石英与斜长石间	0.2	800	48	30.7	46.3	23.0
	9	斜长石边部	0.2	770	120	37.7	35.2	27.2
	10	斜长石边部	0.2	790	48	28.8	48.4	22.8
	11	斜长石边部	0.2	790	48	28.1	48.3	23.6
花岗 闪长 质片 麻岩	12	石英与斜长石间	0.2	760	120	41.7	40.7	17.6
	13	石英与斜长石间	0.2	770	120	32.0	47.0	21.0
	14	石英与斜长石间	0.2	790	48	39.4	41.7	18.9
	15	斜长石边部	0.2	790	48	30.0	50.1	19.9
	16	微斜长石边部	0.1	740	48	36.5	31.2	32.3
	17	微斜长石边部	0.1	760	120	40.3	22.7	37.0
	18	微斜长石边部	0.1	770	120	45.8	24.0	30.2
	19	石英与微斜长石间	0.1	770	120	41.2	30.8	28.0

据参考文献[6]。

蠕状石出现于斜长石、钾长石和石英三种矿物的接触处, 也只有这个部位才具备三元最低共熔点的条件。当变质压力、温度升高时, 在这个部位优先发生初熔, 生成含有三种矿物成分的熔浆。从长春地质学院林强、吴福元等对英云闪长质片麻岩和花岗闪长质片麻岩进行熔融实验的结果(见表2)可以看出, 在不同压力、温度条件下, Q、Ab、Or 三种标准矿物在熔浆中的比值随压力和温度的变化而变化。表2中2-5号样品的测试数据表明, 当加热的温度和时间相同时, 熔浆中的标准矿物比值随压力大小而变化: Q 随压力增加 0.1 GPa 而减少 30.7%, 随压力减少 0.1 GPa 而增加 44.3%; Ab 随压力增加 0.1 GPa 而增加 43.1%, 随压力减少 0.1 GPa 而减少 30.2%; Or 随压力增加 0.1 GPa 而增加 29.7%, 随压力减少 0.1 GPa 而减少 22.9%。

从表2中12、13号样品的测试结果可以看出,当压力不变($P=0.2\text{GPa}$),加热时间相同时,熔浆中标准矿物成分的比值随温度而变化:Q随温度升高 10°C 而减少23.2%,随温度降低 10°C 而增加30.3%;Ab随温度升高 10°C 而增加15.5%,随温度降低 10°C 而减少13.4%;Or随温度升高 10°C 而增加19.3%,随温度降低 10°C 而减少16.2%。

根据上述对表2的分析和表3中的测试结果可以看出,随压力的增加,初熔温度随之降低,熔体中标准矿物成分比值随之发生变化:Q明显减少;Ab明显增加;Or减少,但变化不大。特别是当 $\text{Ab}/\text{An}=2.9$ 时,Or只略有减少。而 $\text{Ab}/\text{An}=2.9$ 更接近冀东大多数深变质岩中斜长石An值的实际情况。

表3 压力对初熔温度和液体成分的影响
Table 3 The influence of pressure on the initial melting temperature and the composition of melt

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ (Pa)	Ab/An=∞		Ab/An=2.9	
	初熔温度	初熔液体 Q: Ab: Or	初熔温度	初熔液体 Q: Ab: Or
5×10^7	770	39: 30: 31		
2×10^8	685	35: 40: 25	695	44: 19: 37
4×10^8	655	31: 46: 23	670	39: 25: 36
5×10^8	650	27: 50: 23		
7×10^8			655	31: 35: 34
1×10^9	625	23: 56: 21		

引自:董申葆等的“结晶岩岩石学物理化学概述”^①

由此可以推测,当变质作用的压力变化不大,而温度下降较快时,熔浆中石英增加较快,钾长石比钠长石减少得快,就是说熔浆中的Q、Ab相对增多,Or越来越少,当Or消失或剩下较少时,三种矿物或其中的Ab、Q在某些变质条件下最后发生共结,生成类似于文象结构的蠕虫状结构。

应当指出,因地质作用十分复杂,深变质岩随温度升高压力增加而发生部分熔融后再冷却结晶的过程,不可能是完全相反的逆过程。其次,深变质岩在地壳深处部分熔融后再冷却结晶时,是在中高压和高温条件下进行的,而燕山期花岗岩侵位后的冷却结晶是在低压、高温条件下进行的,可能就是由于这种差别,前者出现蠕虫状结构,而后者出现文象结构。

在具蠕虫状结构的斜长石基质上,常见有石英和钾长石两种蠕虫状客晶,偶尔也见到蠕虫状石英存在于钾长石中;同时,包裹蠕虫状石的斜长石的折射率低于不含蠕虫状石的部分,证明熔融的斜长石是高钠斜长石,这与花岗质岩石熔融实验中熔出的液相组份中斜长石最先熔出的是钠长石或富钠斜长石^[7]是一致的;此外,与蠕虫状石共生的钾长石多为正长石和高正长石。以上事实说明,蠕虫状结构应是斜长石、钾长石和石英在中高压、高温条件下冷却共结的产物。

5 讨论

地质作用尤其是地壳深处的变质作用是很复杂的,其延续时间也是相当漫长的,就深熔作用而言,它的初熔点以及熔浆中标准矿物的比值,既受到P、T条件的限制,又受到原岩组份、

^① 董申葆、张贻侠、穆克敏。地质参考资料。河北地质局科技情报室,1987年第2期。

各组份之间的比值、所含挥发组份的种类及其含量等因素的制约。同时,这些因素又随时间的演化而改变。尽管当代高温、高压实验已达到一定水平,但其实验条件仍很难与自然界久远的地质历史中的变质条件相吻合。笔者根据多年的地质工作经验和现代结晶岩岩石物理化学实验的成果,认为变质岩中蠕状石是在麻粒岩相变质条件下,当 P 、 T 条件达到斜长石、钾长石和石英共熔点时,开始部分熔融,局部生成少量花岗质熔浆;当岩石冷却再结晶时,在中高压、高温条件下发生共结,产生了类似于文象结构的蠕虫状结构,这可能是蠕状石特别是变质岩中蠕状石的一种成因。

参 考 文 献

- 1 张德全等. 中国东部中生代岩浆岩的化学成分特征及其基底变质岩成分的关系. 国际交流地质学术论文集, 第2号. 1979.
- 2 Phillips E R. *Lithos*. 1974, Vol. 7, No 3.
- 3 Augusth S S. *Atlas of textural patterns of granite gneiss and associated rock types*. 1973.
- 4 武汉地质学院. 岩浆岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1979.
- 5 穆克敏, 李树勋. 结晶岩岩石物理化学. 北京: 地质出版社, 1988.
- 6 林 强, 吴福元. 华北地台东部太古宙花岗岩. 北京: 科学出版社, 1992.
- 7 吴福元, 林 强. 天然花岗岩块的熔融实验及其岩石学意义. 长春地质学院学报, 1990, 第2期.

An Interpretation of the Origin of Myrmekite under the Condition of Granulite Facies

Zhao Wenhao

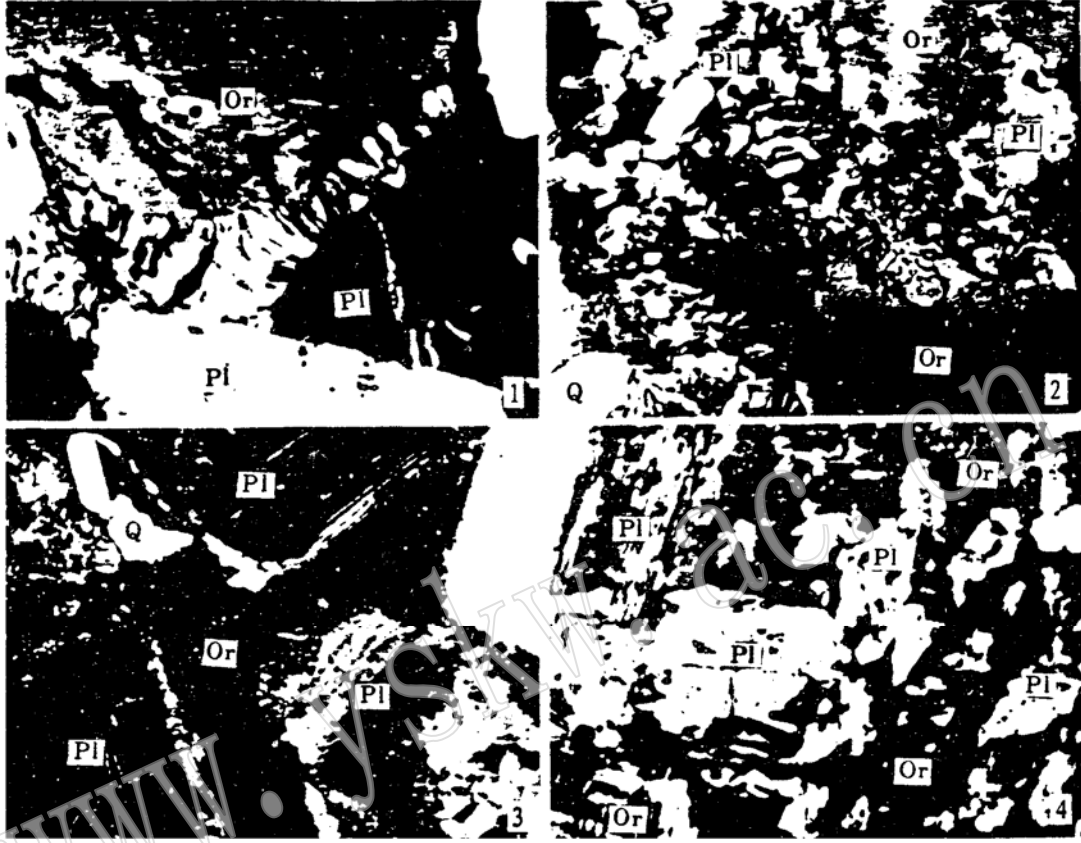
(Institute of Geological Exploration, Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Tangshan 063000)

Key words: myrmekite; granulite facies; initial melting temperature; eutectic crystallization

Abstract

There exists much controversy concerning the genesis of myrmekite, and most geologists hold that myrmekite is of metasomatic origin. Myrmekite occurs invariably in granulite facies metamorphic rocks and corresponding migmatites and is often found among plagioclase, orthoclase and quartz; the index of refraction of myrmekite-bearing plagioclase is lower than that of plagioclase without myrmekite. Based on these facts and taking into account the achievements obtained in recent experimental research on melting of granite rocks, the author considers that myrmekite is eventually formed by eutectic crystallization in the process of cooling and crystallization after granitic melts are formed through anatexis under the condition of granulite facies metamorphism.

赵文浩: 麻粒岩相条件下蠕状石成因的一种解释



图版说明

- 照片 1 蠕状石出现于钾长石(Or) 和斜长石(Pl) 的接触界线上 正交偏光 10 × 10
照片 2 蠕状石出现于斜长石(Pl) 、钾长石(Or) 和石英(Q) 的接触部位 正交偏光 10 × 10
照片 3 在钾长石(Or) 和斜长石(Pl) 、石英(Q) 的接触界线上见少量蠕状石呈微粒交生
正交偏光 10 × 10
照片 4 钾长石(Or) 强烈交代斜长石(Pl) 正交偏光 10 × 10