

大别造山带东部假玄武玻璃的显微构造特征及其意义

刘建民¹⁾ 董树文¹⁾ 张家声²⁾ 刘晓春¹⁾ 陈柏林¹⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081; 2) 中国地震局地质研究所, 北京, 100029

摘要 最近, 在大别造山带东部发现了广泛的地震成因假玄武玻璃, 这些假玄武玻璃主要呈简单脉状沿 NE—SW 向走滑断裂带或剪切带发育, 后者大多与郯庐断裂带平行并穿切了包括白垩纪花岗岩在内的地质体。某些假玄武玻璃内发育由暗色石英条纹构成的糜棱质条带。本文通过普通光学显微镜和扫描电镜观察分析, 详细研究对比了不同断裂带内部发育的假玄武玻璃及其围岩在显微构造特征上的差异及联系。根据岩石的组构特征, 证实所发现的这些假玄武玻璃主要是由母岩的超碎裂岩化形成的, 但在点 1 发育的假玄武玻璃基质的扫描电镜影象特征上, 沿某些残斑矿物(钾长石、斜长石、黄铁矿)的边缘可以看到些许代表摩擦熔融成因的熔蚀状港湾结构, 说明假玄武玻璃形成过程中曾经发生了程度较低的局部熔融作用。肉眼所见到的糜棱质石英条纹在显微镜下证实为早期的糜棱面理。同时, 岩石组构的叠加显示, 含假玄武玻璃的断裂带及假玄武玻璃本身普遍具有多期性, 且晚期构造产物(或假玄武玻璃)总是较早期产物(或假玄武玻璃)碎裂岩化作用更加强烈, 说明先期存在的构造软化带在控制假玄武玻璃形成过程中起着非常重要的作用, 即构造带抬升过程中伴随的多期构造及细粒化是形成假玄武玻璃的基础。岩石的变形序列总体上显示为韧性-韧脆性-脆性的演化过程, 从而证实了这些假玄武玻璃总体上形成于造山带抬升过程, 而不是早期的俯冲过程。

关键词 显微构造 扫描电镜 变形序列 假玄武玻璃 大别造山带东部

Microstructure Characteristics of Pseudotachylites from the Eastern Dabieshan Orogenic Belt and Their Tectonic Implications

LIU Jianmin¹⁾ DONG Shuwen¹⁾ ZHANG Jiasheng²⁾ LIU Xiaochun¹⁾ CHEN Bailin¹⁾

1) Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081; 2) Institute of Geology, Chinese Seismological Bureau, Beijing, 100029

Abstract Recent field survey in eastern Dabie Mountain has revealed extensive existence of pseudotachylite. The pseudotachylite tends to occur in the NE—SW trending fracture zones or shear zones which parallel the Tan-Lu fault zone and cut the early-Cretaceous granites. Mylonitic bands are developed in some pseudotachylites. This paper mainly discusses the characteristics of microstructures between the pseudotachylites and their host rocks through observed mainly by optical microscope and SEM imaging. The microstructure characteristics of pseudotachylites and their respective wall rocks indicate that the pseudotachylites were formed mainly by ultracataclasis of wall rocks. Nevertheless, a small amount of corrosion borders along the margins of some porphyroid crystals of feldspar, plagioclase and pyrite from the SEM imaging of the sample Loc. 1 suggest that there might have somewhat existed melt during the pseudotachylite generation. The macro-mylonitic quartz bands have been proved to be the mylonitic foliation developed in early mylonitic breccias. The superimposition of microstructures shows the multi-stage development of the pseudotachylite-bearing fault zone and the pseudotachylite itself. In addition, the veins show features of progressive fracturing of the wall rocks interspersed with many rock fragments, which strongly suggests that antecedent cataclasis or pre-existing tectonic softening belt was a reworking and forming the pseudotachylite, so, pseudotachylites were formed in which they occurred. The deformation succession between the pseudotachylite and its wall rock generally exhibits the evolutionary process from ductile through ductile-brittle to brittle, which shows that the pseudotachylites were generally formed during the uplift of the orogenic belt instead of during the early subduction.

Key words microstructure SEM deformation series pseudotachylite the eastern Dabie Mountain

假玄武玻璃是由陨石冲击或地震断层的快速滑移而形成的一种暗色脉状、网脉状隐晶质岩石

(Shand, 1916; Magloughlin 等, 1992a)。在显微结构上, 假玄武玻璃通常表现为两种类型: 一种是由陨石

冲击或断层的剪切摩擦热使母岩熔融形成的玻璃质熔融体(Magloughlin 等, 1992a)。但自然界某些假玄武玻璃又确实表现为母岩的超碎裂岩化(Philpotts, 1964; Wenk, 1978; Lin, 1996), 其野外产状及地质特征与熔融成因的假玄武玻璃几乎完全一致, 而某些假玄武玻璃在显微结构上又显示了两种类型之间的过渡(Philpotts, 1964; 孙岩等, 1998)。因此, 详细研究具体地点的假玄武玻璃的显微结构是判断假玄武玻璃属性及形成机制的重要依据。

最近, 在大别造山带东部发现了广泛的假玄武玻璃出露点, 这些假玄武玻璃主要沿 NE—SW 向断裂带或剪切带发育。某些假玄武玻璃内发育糜棱质条带, 并由此使得研究者们曾经提出该假玄武玻璃可能形成于韧性变形环境下, 且可能与造山带的俯冲过程有关的认识或想法。论文通过光学显微镜和扫描电镜等手段详细研究了这些假玄武玻璃及其围岩在显微构造方面所表现出来的差异及联系。初步建立了假玄武玻璃与围岩之间在岩石学上的空间关系、变形序列及成因联系。

1 地质背景及假玄武玻璃野外产状

大别山是华北与扬子陆块三叠纪碰撞造山带, 经历了陆壳深俯冲和超高压变质作用以及超高压变质岩的多阶段大规模折返作用(Okay 等, 1992; 从柏林等, 1994; 王清晨等, 1994)。造山带东部边缘为 NE 向的郃庐断裂带所截切。造山带内岩石主要为灰色英云闪长质-奥长花岗质-花岗闪长质片麻岩, 夹大量团块或透镜体状超镁铁-铁镁质岩块和变质的表壳岩和超高压榴辉岩等。白垩纪花岗岩大面积出露, 其锆石年龄为 129.1 ± 2.6 Ma 至 125.6 ± 0.3 Ma。花岗岩和花岗质片麻岩的钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 多扩散域模式年龄为 90~110 Ma(Retschbacher 等, 2000), 反映了白垩纪晚期构造热事件的存在。研究区东部发育了一系列 NE—SW 走向并穿切了上述花岗岩的走滑(右形或左行)正断层, 部分具逆冲性质。野外地质产状及相互间的穿切关系表明这些 NE 向断裂形成于晚白垩世至早第三纪之间。目前发现的 5 个假玄武玻璃主要沿着上述断裂带发育(图 1)。比较典型的两个假玄武玻璃出露点分别为北大别的点 1 和南大别的点 3。

宏观上, 这些假玄武玻璃主要呈简单脉状沿断裂带主断面分布(图版 I-1, 图版 I-2), 其总体特点与文献中所描述的类似(Magloughlin 等, 1992b)。某些假玄武玻璃中(如点 1)具有较为明显的流动构造和韧性变形特征, 内部由石英条纹构成的糜棱面理也清晰可见(图版 I-1)。以下将主要通过点 1 和点 3 这两个点的假玄武玻璃与围岩之间在显微结构上的差异展示大别山假玄武玻璃的形成过程。

万方数据

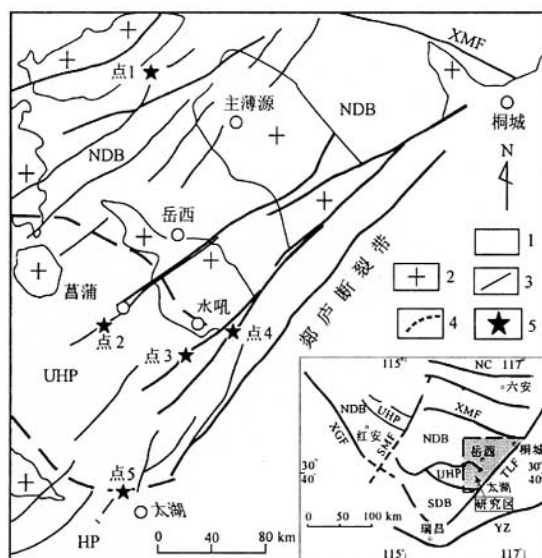


图 1 大别造山带东部简化地质图及假玄武玻璃产出位置图

Fig. 1 Sketch map of the eastern Dabieshan showing the localities where pseudotachylites have been found

1-大别群变质杂岩(包括副片麻岩和火成片麻岩); 2-白垩纪花岗岩; 3-断裂带; 4-推测的边界断裂带; 5-假玄武玻璃出露点位置; NC-华北地块; NDB-北大别岩块; SDB-南大别构造带; HP-UHP-南大别高压-超高压变质岩区; YZ-扬子地块; XMF-磨子潭-晓天断裂; TLF-郃庐断裂带; SMF-商城-麻城断裂带; XGF-襄樊-广济断裂带

1-the Dabie group metamorphic complex (including para-and orthogneisses); 2-the Cretaceous granites; 3-fault zone; 4-inferred boundary fault zone; 5-localities of pseudotachylite; NC-North China block; NDB-the Northern Dabieshan block; SDB-the Southern Dabieshan block; HP-UHP-High-Ultra-high-pressure metamorphic rocks; YZ-the Yangtze block; XMF-Mozitan-Xiaotian fault; TLF-Tancheng-Lujiang fault zone; SMF-Shangcheng-Macheng fault; XGF-Xiangfan-Guangji fault

2 点 1 假玄武玻璃及围岩的显微结构

2.1 断裂带围岩

位于北大别南侧岩石为似斑状二长花岗质片麻岩, 斑晶主要为肉红色钾长石, 晶形发育完整, 厚板状, 大小为 0.5~1 cm。基质主体为半自形粒状变晶结构。主要由斜长石(40%)、钾长石(25%)、角闪石(20%)、石英(15%)组成, 块状构造(图版 I-3)。该岩石变形微弱(图版 I-4)。

2.2 糜棱岩化的花岗细晶岩

主断裂带内侧发育有肉红色的花岗细晶岩脉(图版 I-1), 岩石边部发生糜棱岩化, 由石英条纹构成的糜棱面理(C 面理)与主断裂带方向一致。在初糜棱岩化岩石中, 石英拉长并呈聚结状或豆荚状条带定向排列, 波状消光强烈。同时, 围绕长石残斑形成碎粒化长英质集合体(图版 I-5), 长石残斑多呈透镜状或书斜状(图版 I-6), 显示了构造带的扭性剪切性质。而递进发育的糜棱岩化岩石残斑数量减少, 而且糜棱面理逐渐变细。

2.3 假玄武玻璃

该点假玄武玻璃分布于主断裂带中间, 脉宽

10~30 cm,隐晶质,颜色为棕色-黑色。内部包裹大量母岩碎块或矿物碎屑,几厘米至小于 1 mm 不等,角砾成分为棱角-次棱角状花岗细晶岩和二长花岗质片麻岩。隐晶质内可清晰地见到由暗色石英条纹构成的糜棱结构,方向与边部糜棱岩化花岗细晶岩中的糜棱面理一致。镜下为碎斑结构,残斑以糜棱岩或糜棱岩化的花岗细晶岩(图版 I-7)为主,另见浑圆状的长石或石英碎斑等;基质为显微晶质-隐晶质的长英质集合体,颗粒间彼此接触边界不规则,但有某种程度的定向(图版 II-1)。

2.4 假玄武玻璃的扫描电镜(SEM)影象特征

假玄武玻璃基质的扫描电镜影象特征(图版 II-2)显示,该点假玄武玻璃的基质显示明显的定向性,定向性矿物主要由钾长石和斜长石(图版 II-2 中数字 3 和 4 所示,具体数据见表 1)微晶组成,粒径最

大长度不足 100 μm,并含有相当数量的黄铁矿(图版 II-2 中数字 1 和 2 所示矿物)。除极少数黄铁矿(如图版 II-2 中数字 2 点)外,绝大多数的矿物外形都极不规则。定向排列的钾长石和黄铁矿边缘普遍发育港湾状、弓形及撕裂状等显示“熔蚀结构”的现象;这些熔蚀结构与文献中描述的假玄武玻璃玻璃质熔融体中的“石英港湾状熔蚀”结构(Magloughlin,1992a)非常相似,说明假玄武玻璃形成过程中发生了局部熔融作用。大面积黑色超显微隐晶质成分为钠长石(如图版 II-2 中数字 5 点),其成分与由花岗闪长岩熔融而形成的黑曜岩玻璃基质部分的成分非常接近(Larsen 等,1939),这极有可能是熔融后还没有完全结晶的原始组分,该熔融成分快速冷却结晶,并于钾长石和黄铁矿等残斑成分的边缘发生熔蚀。

表 1 点 1 假玄武玻璃基质中的矿物成分
Table 1 Composition of minerals in the matrix of pseudotachylite from
Loc. 1 analyzed by the energy spectrum

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Mo	Ba	矿物
a-1	7.40	2.05	88.54	0.13	1.56	0.07	0.16	0.08	黄铁矿
a-2	0.28	0.21	99.36	0	0.22	0.02	0	0	黄铁矿
a-3	64.51	16.90	0.07	0.02	0.35	17.13	0.08	0.94	微斜长石
a-4	74.19	15.53	0.03	0.91	5.13	2.72	1.25	0.25	钠长石
a-5	71.15	18.25	0.12	0.68	9.26	0.10	0.32	0.11	钠长石

注:扫描电镜的观察分析是在中国地质科学院地质研究所大陆超深钻扫描电镜实验室完成的,仪器型号为JEOL/JSM-5610LV(SEM),影象特征采用的是样品的阴影背散射成像特征,矿物的化学成分为能谱测定成分(wt %);钠长石的理论值为:SiO₂ 为 68.74 %, Al₂O₃ 为 19.44 % Na₂O 为 11.82 %。

3 点 3 假玄武玻璃及围岩的显微结构

3.1 断裂带围岩

产于南大别超高压变质带内,岩石为二长花岗片麻岩,主要由钠质斜长石(An(10)、钾长石、石英和黑云母组成。岩石呈粗粒斑状-不等粒变晶结构(图版 II-3)。微斜长石斑晶从 3.0~5.0 mm,最大达 1.0 cm 以上,格子双晶发育。该岩石基本上未受到后期构造作用的影响或改造。

3.2 初碎裂岩-碎裂岩

断裂带内侧岩石发生一定程度的破裂,在二长片麻岩内形成共轭 X 型剪节理,并于节理内充填碎粉状长英质矿物集合体,围绕着“扇贝形”长石残斑分布(图版 II-4)。

3.3 假玄武玻璃特征

显微镜下,假玄武玻璃的基质也为全晶质,岩石为碎裂-超碎裂结构,残斑数量较低,约占 10% 左右。残斑成分主要为长石和石英,部分为二长片麻岩角砾。沿主脉边部,假玄武玻璃明显沿着裂隙贯入到围岩之内并与主脉相连,形成主脉的分支细脉(图版 II-5),而细脉两侧围岩的矿物也可以完全或近似完全的对应起来,说明这些支脉的假玄武玻璃是由主脉沿边界张性裂隙贯入而成。同时,早期假

玄武玻璃脉体为晚期假玄武玻璃脉体所穿切(图版 II-6),说明假玄武玻璃是构造多期次活动的产物。

3.4 假玄武玻璃的扫描电镜(SEM)影象特征

该点假玄武玻璃基质的 SEM 影象特征(图版 II-7)清晰地显示了角砾状结构或斑状结构。角砾成分为钠长石(图版 II-7 中的数字 1 点和 3 点),围绕其边部还分散有一些钾长石残斑(图版 II-7 中的数字 4 点和 5 点)。胶结物为超显微隐晶质硅质(图版 II-7 中的数字 2 点)。说明该点假玄武玻璃是以超碎裂岩化作用为主要机制形成的。

来自于点 2、点 4 和点 5 的假玄武玻璃显微结构均与点 3 相似。类似的碎斑结构、多期假玄武玻璃之间的穿切关系及所反映的构造的多期次活动特点(图版 II-8)都普遍存在。所不同的只是残斑成分均与各自的围岩一致。

4 讨论与结论

上述假玄武玻璃的野外产状及显微结构特征,清晰地记录了大别造山带中假玄武玻璃及围岩间的空间关系和变形序列,并由此可以得出如下几点结论:

(1)大别山东部的假玄武玻璃主要表现为断裂带母岩的超碎裂岩化特征,仅在某些点的超显微扫

描电镜影像特征上可以看到些许代表摩擦熔融成因的熔蚀状港湾结构,暗示着假玄武玻璃形成过程中曾经发生了程度较低的局部熔融。

(2)假玄武玻璃本身及含假玄武玻璃的断裂带普遍具有多期性,而且,晚期构造产物或假玄武玻璃总是较早期产物(或假玄武玻璃)碎裂岩化作用更加强烈,这说明先期存在的构造软化带在控制假玄武玻璃形成过程中起着非常重要的作用,即构造带抬升过程中伴随的多期构造及细粒化是形成假玄武玻璃的基础。

(3)岩石的变形序列总体上是由韧性—脆性—脆性的演化过程,从而证实了大别造山带假玄武玻璃总体上形成于造山带抬升过程,而不是早期的俯冲过程。大量假玄武玻璃的发育说明在晚白垩世到早第三纪期间,伴随着造山带的抬升过程,沿这些NE向走滑断层曾经发生了广泛的快速滑动或古地震事件。

参考文献

- 从柏林,王清晨. 1994. 中国超高压变质岩评述. 科学通报, 39(24): 2214~2218.
王清晨,丛柏林,翟明国等. 1994. 可能的元古代岛弧:来自北大别片麻岩的岩石学证据. 中国科学院岩石圈构造演化实验室年度报告(1993~1994),北京:地震出版社,37~47.
孙岩,徐士进,刘德良等. 1998. 断裂构造地球化学导论. 北京:科学出版社,183~209.

References

- Cong Bolin, Wang Qingchen. 1994. Review on the ultrahigh pressure metamorphic rocks in China. Chinese Science Bulletin, 39(24): 2214~2218(in Chinese).
Hacker B R, Retschbacher L, Webb L et al. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. Earth. Plant. Sci. Lett., 161: 215~230.
Hacker B R, Wang X, Eide E A et al. 1996. The qinling-dabie ultrahigh-pressure collisional orogen. In: The tectonic evolution of asia, edited by Yin a and harrison T M, cambridge University press, Cambridge, United Kingdom, 345~370.
Larsen, Switzer. 1939. Petrology of magmatic rocks(in Chinese). Edited by the Teaching and Research Group of the Wuhan College of Geology, China. 1980, Beijing: Geological Publishing House, 284.
Lin A. 1996. Injection veins of crushing - originated pseudotachylites and fault gouge formed during seismic faulting. Engineering Geology, 43(2): 213~224.
Magloughlin J F, Spray J G. 1992a. Frictional melting processes and products in geological materials: introduction and discussion. Tectonophysics, 204(3~4): 197~206.
Magloughlin J F. 1992b. Microstructural and chemical changes associated with cataclasis and frictional melting at shallow crustal levels: the cataclasis-pseudotachylite formation. Tectonophysics, 204(3~4): 243~260.
Okay A I, Sengor A M C. 1992. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultrahigh-pressure rocks in China. Geology, 20(5): 411~414.
Philpotts A R. 1964. Origin of pseudotachylites. American Journal of Science, 262: 1008~1035.
Retschbacher L, Hacker B R, Webb L et al. 2000. Exhumation of ul-

trahigh-pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu fault. J. of Geophys. Research, 105(B6): 13303~13338.

- Shand S J. 1916. The pseudotachylite of Parijs (Orange Free State). and its relation to "trap-shotten gneiss" and "flinty crush-rock". Geological Society of London Quarterly Journal. 72(1): 198~221.
Sun Yan, Xu Shijin, Liu Deliang et al. 1998. Introduction to the tectono-geochemistry of fault. Beijing: Science Press, 183~209 (in Chinese with English abstract).
Wang Qingchen, Cong Bolin, Zhai Mingguo. 1994. Probably proterozoic island arc: petrology evidence from the genesis in the northern Dabieshan. The Annual Reports of the Laboratory on the Tectonic-Evolution of Lithosphere(1993~1994), the Chinese Academy of Sciences. Beijing: Seismological Press, 37~47(in Chinese).
Wenk H R. 1978. Are pseudotachylites products of fracture or fusion? Geology, 6(6): 507~511.

图版说明

(Plates explanation)

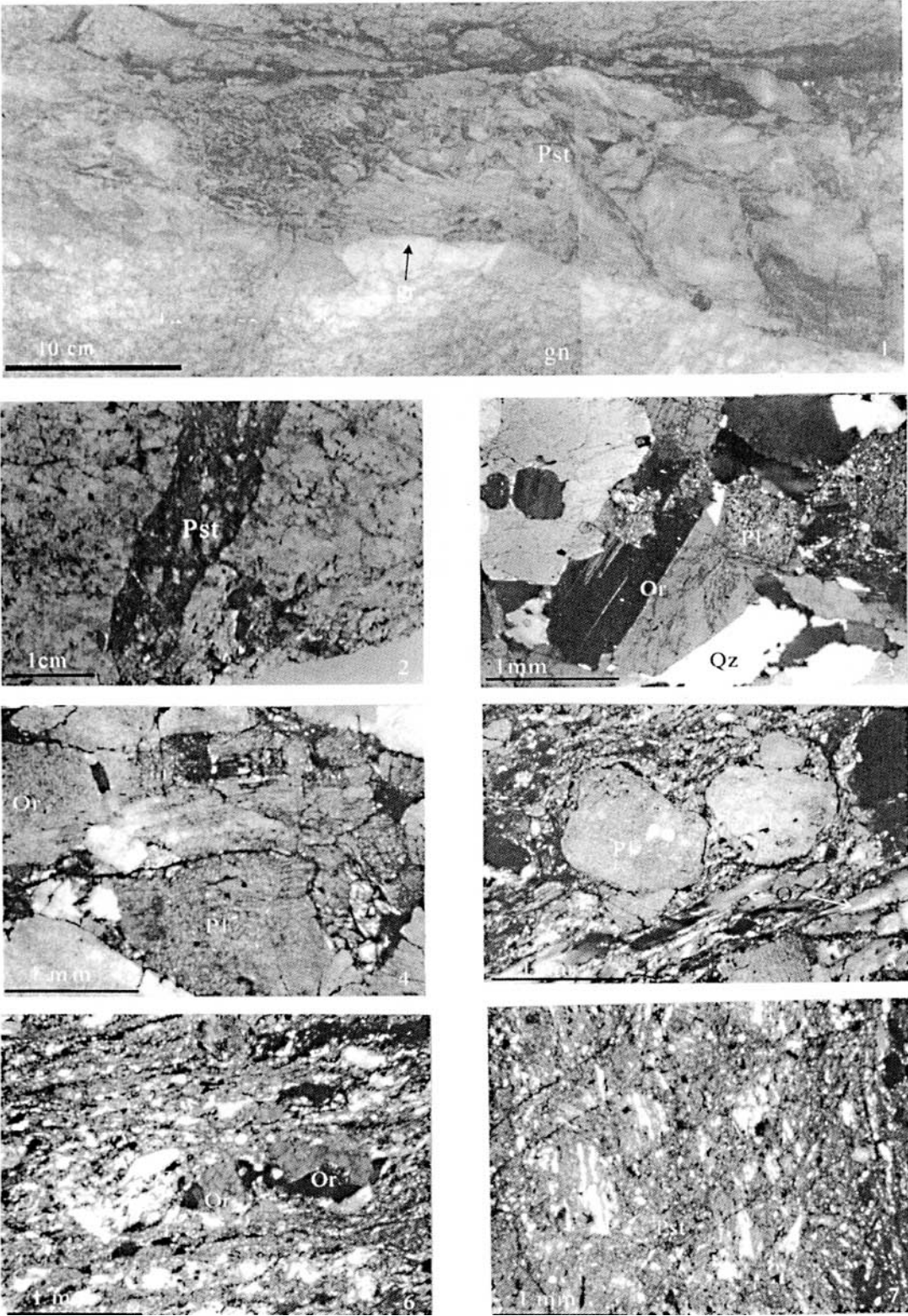
图版 I (Plate I)

- 1 假玄武玻璃(Pst)露头的野外照片。断裂带围岩为似斑状二长花岗质片麻岩(gn),假玄武玻璃形成于糜棱岩化的花岗细晶岩(gr)之后。点1,岳西平等。
- 2 假玄武玻璃(Pst)露头的野外照片。假玄武玻璃为棕色-黑色隐晶质脉体。断裂带及假玄武玻璃围岩为似斑状二长花岗质片麻岩,点3,水吼。
- 3 似斑状二长花岗片麻岩。主要由斜长石(Pl)、钾长石(Or)、石英(Qz)组成。岩石没有明显的构造变形。Pst1-1,正交偏光。点1。
- 4 弱变形的似斑状二长花岗片麻岩。近断裂带岩石的长石节理发生弱变形。Pst1-2,正交偏光。点1。
- 5 糜棱岩化的花岗细晶岩。主断裂带内侧花岗细晶岩脉边部发生糜棱岩化,石英条带(Qz)构成的糜棱面理定向排列,并围绕长石残斑(Pl)形成碎粒化长英质集合体。Pst1-3,正交偏光。点1。
- 6 糜棱岩化的花岗细晶岩。长石残斑(Or)呈透镜状或书斜状。Pst1-4,正交偏光。点1。
- 7 假玄武玻璃(Pst)显微结构。碎斑结构,假玄武玻璃较糜棱岩(Mt)晚。Pst1-6,点1,正交偏光。

图版 II (Plate II)

- 1 假玄武玻璃(Pst)显微结构。基质颗粒间彼此接触边界不规则,但有某种程度的定向,箭头指向糜棱结构方向。Pst1-6,正交偏光。点1。
- 2 点1假玄武玻璃的扫描电镜(SEM)影像特征照片。基质具有明显的定向性,定向性矿物主要由钾长石(数字3)和斜长石(数字4)微晶组成,并含有相当数量的黄铁矿(数字1和2)。钾长石和黄铁矿边缘普遍发育港湾状等熔蚀结构;黑色超显微隐晶质成分为钠长石(数字5点),Pst1-6,点1。
- 3 二长花岗片麻岩。假玄武玻璃围岩,主要由钠质斜长石、钾长石和石英。粗粒斑状-不等粒变晶结构。微斜长石格子双晶发育,基本上未受到后期构造作用的影响或改造。Pst3-1,正交偏光。点3。
- 4 碎裂二长片麻岩。靠近断裂带一侧,岩石发生一定程度的破裂,形成共轭X型剪节理,并于节理内充填碎粉状长英质矿物集合体,围绕着“扇贝形”长石残斑(Or)分布。Pst3-2,正交偏光。点3。
- 5 假玄武玻璃(Pst)显微结构特征。全晶质,碎裂-超碎裂结构,残斑成分为长石和石英,假玄武玻璃沿着裂隙贯入到围岩之内形成主脉的分支细脉并与主脉相连。Pst3-3,正交偏光。点3。
- 6 假玄武玻璃(Pst)显微结构及所示构造叠加特征。Pst-I, II 分别示早、晚期假玄武玻璃脉;I-II-III 阶段分别示构造岩的递进剪切破裂。Pl-斜长石。Pst3-3,正交偏光。点3。
- 7 点3假玄武玻璃的扫描电镜(SEM)影像特征照片。超显微角砾状结构或斑状结构。角砾成分为钠长石(数字1点和3点),钾长石(数字4点和5点)。胶结物为隐晶质硅质(数字2点)。Pst3-3。
- 8 假玄武玻璃(Pst)显微结构及所示构造叠加特征。Pst-I, II, III 分别示早、中、晚期假玄武玻璃脉, Pst2-1, 正交偏光。点2。

图版 I



图版 II

