

小秦岭拆离断层假熔岩的 Raman 光谱分析及其成因机制*

张进江^{①**} 刘树文^① 郑亚东^① 陈 晶^②

石铨曾^③ 尉向东^③ 薛良伟^③

(①北京大学地质学系, 北京 100871; ②北京大学电镜实验室, 北京 100871; ③河南省地质科学研究所, 郑州 450053)

摘要 小秦岭变质核杂岩周缘拆离断层的微角砾岩中发育脉状和角砾状假熔岩, Raman 光谱分析结果表明假熔岩基质存在 3 种结构: 超碎裂细粒结构、隐晶质结构和含微量玻璃质结构, 3 种结构为不同程度超碎裂的结果, 证明小秦岭拆离断层中假熔岩的成因机制为超碎裂研磨为主的研磨-熔融机制。

关键词 假熔岩 Raman 光谱 超碎裂 成因机制

形成于地震断层内的假熔岩是地震滑动的产物^[1]。假熔岩定义尚存争议, 一种观点认为其必须含有一定量玻璃质^[2,3], 另一种观点认为不一定含玻璃质, 关键在于其基质是由超细粒物质组成^[4,5,6]。定义的不一致导致其成因的争论, 普遍认为是摩擦熔融成因^[1], 但许多学者认为是超碎裂^[2,3,7]或超糜棱岩化^[4]的产物或是超碎裂和熔融共同作用的结果^[6]。

1 小秦岭拆离断层中假熔岩的宏观与微观特征

小秦岭变质核杂岩位于华北地台南缘的一个伸展走廊内^[8](图 1), 主要由强烈变质变形的晚太古代-早元古代片麻岩和燕山期大型花岗岩体组成, 上盘为不变质或低级变质的中元古代和中生代盖层岩石, 变质核杂岩周缘发育典型的拆离断层体系(断层活动时代为 124Ma), 拆离断层体系自下而上由糜棱状岩带、绿泥石化角砾岩带、微角砾岩带、拆离断层面及断层面之上的断层角砾和断层泥组成。假熔岩产于微角砾岩带中, 呈脉状或角砾状, 颜色为褐红色或灰黑色。脉状假熔岩厚度一般小于 2 cm, 局部地区可达 30 cm。部分脉体在断层面上形成一层光膜, 大部分则穿插于微角砾岩中(图 2(a)), 个别地区的假熔岩脉体贯入下伏的绿泥石化角砾岩甚至糜棱岩中。角砾状假熔岩以大小不等的角砾分布于微角砾岩中(图 2(b))。镜下观察假熔岩同样以脉状(图 2(c))或角砾状(图 2(d))出现。假熔岩基质部分单偏光下呈棕红色或灰黑色, 半透明或因铁染而不透明, 正交偏光下为全消光。其内含少量长英质岩屑和大量石英晶屑, 晶屑有磨圆和旋转, 并有边部的熔蚀现象。一些脉状假熔岩中发育流动构造。透

1997-06-21 收稿, 1997-10-20 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 49472142)

** 现为中国科学院地质研究所博士后

射电子显微镜下,可见熔体发育于颗粒边界和裂隙中(图 2(e)),衍射图象表现为玻璃质衍射环和纳米晶衍射点阵的共生形态(图 2(f)),证明玻璃质与超碎裂物质共存.

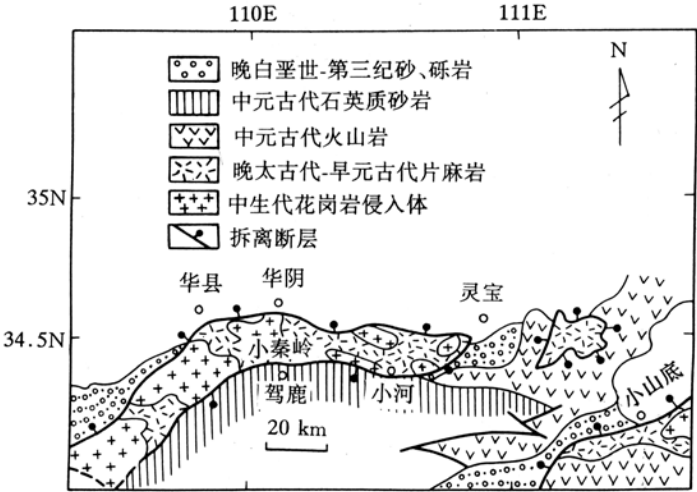


图 1 小秦岭变质核杂岩构造示意图

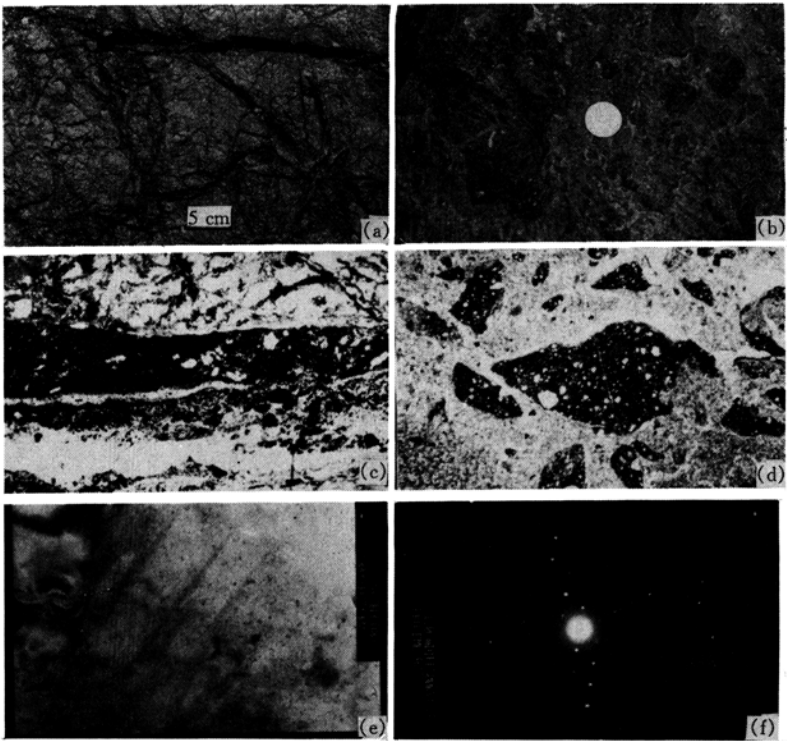


图 2 小秦岭变质核杂岩周缘拆离断层中的假熔岩

假熔岩的露头形态: (a) 脉状, (b) 角砾状; 假熔岩的显微照片: (c) 脉状, (d) 角砾状(照片比例尺为 1:8), (e) 透射电子显微镜下假熔岩的形貌特征, (f) 图 2(e) 的衍射图象

2 Raman 光谱分析

针对假熔岩成因机制的争论,为了确定其具体成因类型,对小秦岭拆离断层中的假熔岩进行了 Raman 光谱分析. 利用 Raman 光谱分析构造岩,特别是对超碎裂岩-假熔岩及其成因机制进行分析,国内外尚无报道,故此无资料可查. 本次分析中的主要对象是假熔岩中的暗色基质,所分析的 8 个样品均采自小秦岭变质核杂岩北翼拆离断层的微角砾岩中,根据野外地质特征、光学显微镜及电子显微镜下特征,样品大致可分 3 类.

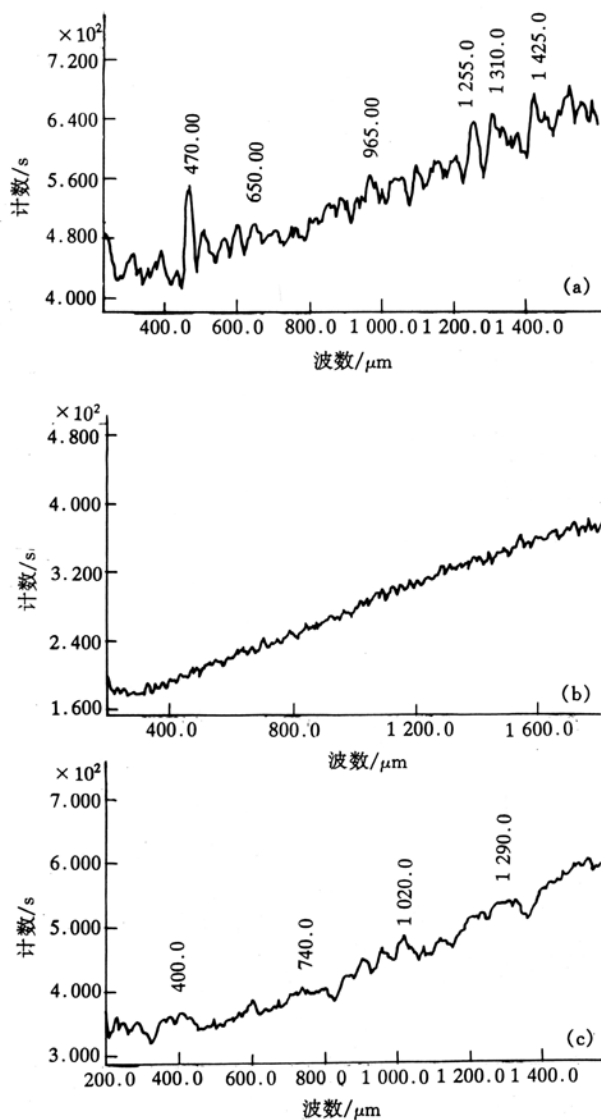


图 3 假熔岩 Raman 光谱分析结果

(1) 紫红色角砾状, 其内碎屑物质较多, 碎屑的分选和磨圆较差, 多为石英, 少量为长英质碎屑(图 2(b)). ETM 衍射图象主要表现为晶体点阵.

(2) 脉状, 露头上类似于火山熔岩, 可见少量碎屑物质, 显微镜下为均质, 碎屑有磨圆现象, 由于铁染而透明度较差. ETM 衍射图象为较强的晶体点阵和微弱的玻璃质衍射环.

(3) 细脉状, 半透明或不透明, 镜下为均质, 碎屑物质很少, 有明显熔蚀现象(图 2(a)). ETM 衍射图象主要为玻璃质衍射环, 并伴有微弱纳米级晶体颗粒的点阵(图 2(f)).

8 个样品所作的 Raman 光谱谱线图大致也可分为 3 类(图 3).

(1) 有微弱晶形反映的谱线图(图 3(a)). 在这类谱线图中, 有小而尖锐的波峰, 这些波峰反映了基质中有晶形存在, 但不是典型的晶体波形. 因为完整晶体的波形在一定的波位上有比这些谱线高得多的波峰, 所以这种谱线图的小波峰所代表的是不完整的晶体结构, 为超碎裂产生的极细粒物质. 只有石英波位出现较为明显的波峰, 说明其内石英的晶体颗粒粒度相对较大.

(2) 完全没有晶形反映的谱线图(图 3(b)). 整个光谱谱线呈现为一条较为平滑的斜线, 没有明显的波峰, 但也没有出现

玻璃质的宽缓凸起, 说明其既不是玻璃质也不是晶质, 而是一种隐晶质结构, 这种 Raman 光谱与超碎裂纳米级粉末材料实验结果相似(据地矿部西安地质研究所实验人员王志海和李月

芹介绍)。

(3) 有少量微弱玻璃质反映的谱线图(图 3(c))。表现在一定的波位上出现小型宽缓凸起,这些宽缓凸起的波形证实了玻璃质的存在。但是这种波形和熔岩玻璃的波形不同,后者一般表现为整个光谱谱线形成一个或两个大型的宽缓凸起,而这里只在局部出现小且不明显的凸起。显然其不是典型的玻璃质,证明假熔岩基质中只出现程度极低的部分熔融,即初熔现象,产生极少量的熔体。

3 成因机制解释

通过分析,我们认为这 3 类 Raman 光谱谱线图所反映的物质结构,正是地震断层滑动中超碎裂作用的一个全过程,证明了假熔岩以超碎裂研磨为主的研磨-熔融成因机制。第 1 类谱线图(图 3(a))所反映的是初级超碎裂作用,它使矿物晶体破碎成极小的颗粒,细粒物质内部晶体结构受到部分破坏,产生微弱的晶体结构的光谱反映。矿物的破碎及产生熔融受其物理性质如屈服强度、剪切强度和破裂强度等的影响,主要造岩矿物中,强度由小到大依次是层状硅酸盐-角闪石等暗色矿物-长石-石英^[5,9],故此石英的抗磨蚀强度较大,能保留相对较大的颗粒,产生较强的晶形光谱反映。第 2 类光谱谱线图(图 3(b))反映的是隐晶基质结构,代表进一步的超碎裂。断层持续滑动,除断层面的摩擦外,细粒物质间也产生相互研磨,使颗粒进一步减小,其内晶形结构全部被破坏,表现为隐晶质结构。第 3 类谱线图(图 3(c))代表了摩擦熔融的出现。在断层面的摩擦和细粒物质间的研磨过程中产生摩擦热,研磨所产生的细粒物质由于具有较大的表面积和表面能而易于吸收热量,同时超碎裂将晶体内部结构破坏,离子之间的化学键被打断,使其熔点降低。细粒物质表面产生重熔,冷凝形成玻璃质物质。本区假熔岩熔融量很小,未出现典型的玻璃质,可能是滑动速率低未能产生足够的摩擦热以及水流体的存在造成的。

上述过程表明小秦岭拆离断层中假熔岩的成因机制为超碎裂研磨为主的研磨-熔融机制,形成过程与 Spray^[6]所作实验的观察结果相同,具体形成过程是断层滑动→超碎裂→研磨→细粒化→熔融。以上过程在宏观和显微构造以及衍射图象中也得以证实,样品中由初级超碎裂到玻璃质出现,碎屑物质依次减少,粒度也逐渐减小,到有玻璃质出现时碎屑边部出现熔蚀现象。透射电镜衍射表明,在第 1 类样品中基本没有玻璃质衍射环,第 2 类样品中出现强晶体衍射点阵与弱衍射环的共存,第 3 类样品则出现较强的衍射环和纳米晶的微弱衍射点阵。

由于假熔岩是地震断层活动的产物^[10],所以小秦岭拆离断层微角砾岩带中假熔岩的存在,证明小秦岭拆离断层在其伸展过程中发生过地震事件,假熔岩呈角砾状或多期脉状相互切割,证明地震活动是多期的或以粘滑方式运动。本次分析采用先进的技术,利用 Raman 光谱对假熔岩物质结构进行了分析,为解释假熔岩的成因机制探索了一条新的思路。

4 结论

(1) 小秦岭拆离断层中发育脉状和角砾状假熔岩。

(2) Raman 光谱分析结果表明假熔岩基质存在 3 种不同结构:超碎裂细粒结构、隐晶质结构和含微量玻璃质结构。

(3) 小秦岭拆离断层中假熔岩的成因机制为超碎裂研磨为主的研磨-熔融机制。

致谢 研究测试过程中,得到地矿部西安地质研究所王志海工程师和李月琴工程师的大力支持与帮助,特此致谢.

参 考 文 献

- 1 Magloughlin J F, Spray J G. Frictional melting processes and products in geological materials: introduction and discuss. *Tectonophysics*, 1992, 204: 197~206
- 2 Philpotts A R. Origin of pseudotachylytes. *Am J Sci*, 1964, 262: 1 008~1 035
- 3 Irouschek A, Huber M. Pseudotachylyte zones in the Leventina Gneisses (Lepontine Alps, Ticino, Switzerland). *Schweiz Mineral Petrogr Mitt*, 1982, 62: 313~323
- 4 Sibson R H. Fault rocks and fault mechanisms. *J Geol Soc London*, 1977, 133: 191~213
- 5 Spray J G. Artificial generation of pseudotachylyte using friction welding apparatus: simulation of melting of a fault plane. *J Struct Geol*, 1987, 9: 49~60
- 6 Spray J G. Pseudotachylyte controversy: fact or friction? *Geology*, 1996, 23: 1 119~1 122
- 7 Lin A. Fluidization and rapid injection of crushed fine-grained materials in fault zones during episodes of seismic faulting. *Proc 30th Int'l Congr*, 1997, 14: 27~40
- 8 Zhang J, Zheng Y, Shi Q, et al. The Xiaolinling detachment fault and metamorphic core complex of China: structure, kinematics, strain and evolution. *Proc 30th Int'l Congr*, 1997, 14: 158~172
- 9 Maddock R M. Effects of lithology, cataclasis and melting on the composition of fault-generated pseudotachylytes in Lewisian Gneiss, Scotland. *Tectonophysics*, 1992, 204: 261~298
- 10 张进江,郑亚东. 假玄武玻璃及其形成过程和机制综述. *地质科技情报*, 1995, 14: 22~28.