

房山变质核杂岩基底拆离断层韧性剪切变形构造及环境分析

姚丽景, 颜丹平, 胡 玲

中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

摘要: 在房山岩体南北缘出露有太古代(基底)官地杂岩, 官地杂岩与上覆盖层不同地层之间发育一条基底韧性拆离断层。宏观及微观尺度上拆离断层运动学标志均指示SE; 剪切带内发育区域动力变质作用下的矿物组合角闪石—斜长石及硅值较高的白云母, 对其进行电子探针分析, 计算出拆离断层韧性剪切变形的温压条件为: 温度492~555℃, 压力0.33GPa左右, 达到低角闪岩相。按正常的静岩压力计算, 该韧性剪切作用发生于地表以下12.9km左右, 代表了中地壳韧性流变的变形环境。野外观察发现房山侵入体与官地杂岩及该韧性剪切带间均呈明显的侵入接触关系, 在侵入岩体南北边缘有大量的片麻岩等捕虏体, 沿杂岩的片麻理或韧性构造面理, 发育大量的石英二长闪长岩脉, 岩脉成分与房山岩体一致, 因此该韧性剪切带的形成应早于房山岩体侵位。如对房山岩体的侵入和改造进行复原和恢复, 该韧性剪切带代表了早期的伸展作用, 可能与房山伸展穹隆体的韧性变形同期。

关键词: 房山变质核杂岩; 韧性剪切带; 石英矩形条带; 角闪石—斜长石矿物对; 白云母。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2007)03-0357-09

收稿日期: 2006-09-08

Structure Style and Temperature-Pressure Estimation of the Detachment Fault Zone around Fangshan Dome, Western Hills of Beijing

YAO Li-jing, YAN Dan-ping, HU Ling

State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: The basement ductile shear zone of the Fangshan extensional dome separates the Archean Guandi complex from various cover strata in southern and northern margins of Fangshan pluton. This ductile shear zone is composed of the ductile deformed fabrics with an SE-ward kinematic, which can be deduced from rock and mineral deformations, including faultage effect and so on, on both macroscopic and microcosmic scales. Typical regional-dynamic metamorphic mineral pair hornblende-plagioclase and high pressure mineral muscovite with high Si are common and identified within the ductile shear zone. EPMA analysis of the mineral pair gives a metamorphic condition of $T=492-555^{\circ}\text{C}$ and $p=0.33\text{GPa}$, which indicates a metamorphic grade of lower-amphibolite facies and a depth of around 12.9 km estimated following a normal lithostatic pressure. Field evidences, including that Fangshan pluton intruded the Archean Guandi complex and the ductile shear zone, lots of gneissic xenoliths within the Fangshan pluton, and that a lot of quartz monzonite-diorite intruded along the fabric of the ductile shear zone, support that the ductile shear zone was formed before Fangshan pluton, and likely to be simultaneous with the formation of the Fangshan detachment zone of the extensional dome.

Key words: Fangshan detachment zone; ductile shear zone; rectangle quartz ribbons; hornblende-plagioclase mineral pair; muscovite.

在房山岩体南北缘均有小规模太古代基底官地杂岩(核部杂岩)出露, 官地杂岩与上覆盖层(中间韧性流壳层)之间发育一条基底韧性拆离断层。新一轮的填图认为本区存在早于房山岩体的伸展穹隆构

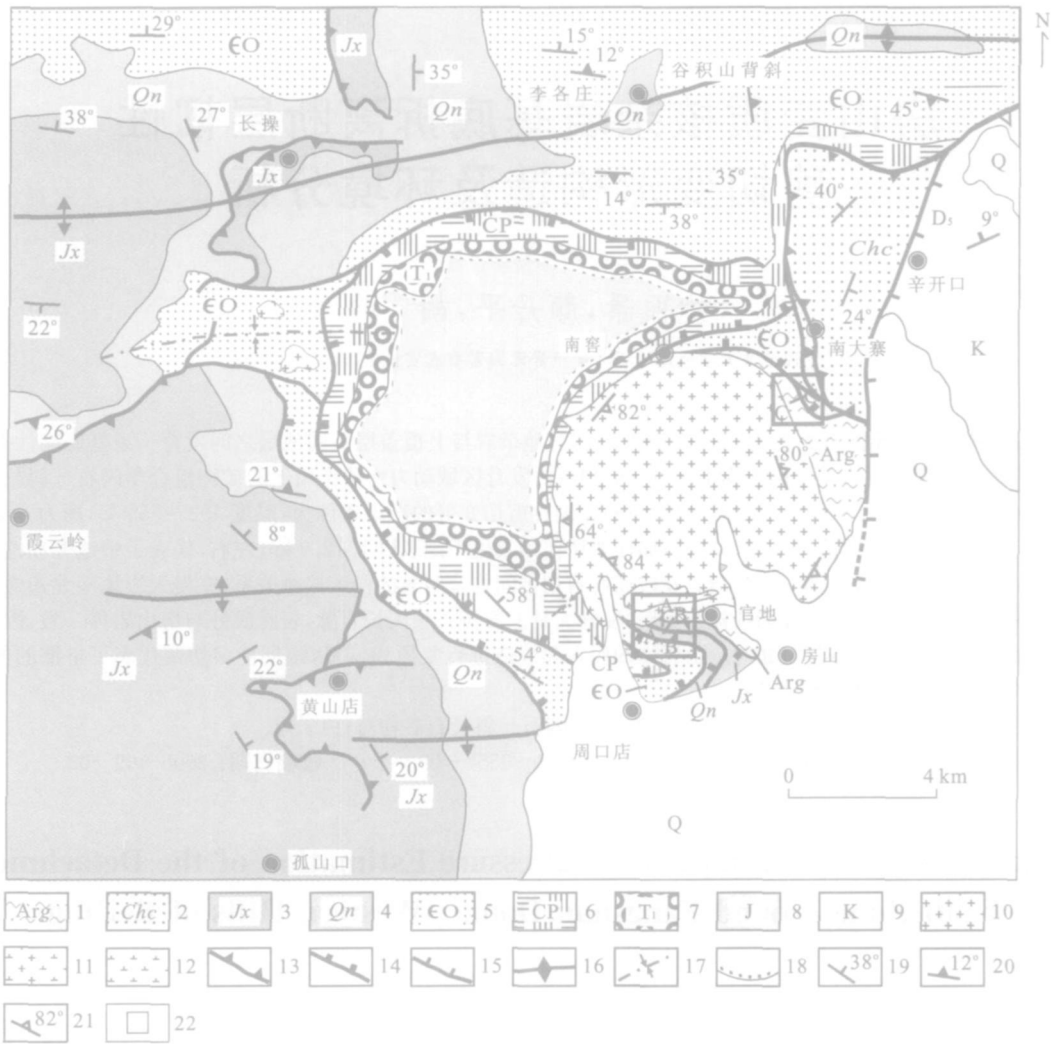


图 1 周口店地区区域地质略图(据 Yan *et al.*, 2006 修改)

Fig. 1 Geological map of the Zhoukoudian area, SW of Beijing

- 1. 太古界(官地杂岩); 2. 中元古代长城系; 3. 中元古代蓟县系; 4. 新元古代青白口系; 5. 寒武—奥陶系; 6. 石炭—二叠系; 7. 上三叠统; 8. 侏罗系; 9. 白垩系; 10. 花岗闪长岩; 11. 石英闪长岩; 12. 云煌岩; 13. 逆冲断层; 14. 低角度正断层; 15. 高角度正断层; 16. 向斜轴迹; 17. 背斜轴迹; 18. 不整合; 19. S_0 面理; 20. S_1 片理; 21. 侵入体流面; 22. 研究范围

造 太古代片麻岩是近水平韧性剪切带的产物, 其后又经历了多次变形, 最后受房山岩体改造(宋鸿林和葛梦春, 1984; 许志琴等, 1985; 宋鸿林, 1987, 1996, 2002; 宋鸿林和单文琅, 1987; 单文琅和傅昭仁, 1987; 张吉顺和单文琅, 1988^①; 单文琅等, 1989; 宋鸿林等, 1990). 很多学者对新一轮的填图结果表示支持(颜丹平等, 2005; Yan *et al.*, 2006). 因此, 核部杂岩、基底韧性拆离断层及盖层韧性流壳层共同成为房山伸展穹隆体的重要构造要素(宋鸿林, 1996; Yan *et al.*, 2006).

然而, 从现今构造格局看, 房山地区是一个以房山岩体为中心, 其他不同构造样式(断层、褶皱、逆冲推覆构造)大致围绕其出露的整体模式, 区内岩石普遍遭受与房山岩体侵位同期的接触热流变质作用的强烈叠加和改造(刘国惠和任家善, 1977). 因此, 有的学者认为该地区并不存在早期的伸展穹隆构造, 大规模地层的缺失及韧性剪切带的发育是岩浆侵位的结果(何斌等, 2005).

伸展构造发育的必要条件是存在伸展体制及地下一定深度的塑性环境, 因此解决上述问题的关键之一就在于确定岩体与盖层之间韧性剪切变形的环境及其发育深度. 本文从宏观、微观尺度的观察研

①张吉顺, 单文琅, 1988. 中华人民共和国区域及矿产调查报告(1:5万周口店幅). 北京地质矿产局, 中国地质大学(武汉), 北京地质调查大队(内部出版).



图2 房山岩体与官地杂岩侵入关系

Fig.2 Fangshan pluton intruding Guandi complex

究, 结合对变质矿物组合的电子探针分析, 对房山古穹隆体中的基底韧性拆离断层进行了详细的野外和室内研究, 结果表明该韧性剪切带形成于地表以下 12.9 km 左右, 构造样式及运动学特征与中地壳韧性伸展拆离模式相符合, 野外房山岩体与韧性剪切带呈侵入接触关系, 因此认为其形成早于岩体侵位, 是与伸展穹隆体同期的产物。

1 区域地质概述

房山位于燕山板内构造带西南, 区内主体构造格架呈东西向和北北东向, 出露地层包括太古界、中新元古界、古生界和中新生界。官地杂岩出露于房山深成侵入体南北两侧, 出露总面积约 0.37 km² (张吉顺和单文琅, 1988^①) (图 1), 对正片麻岩中岩浆成因锆石进行的 SHRIMP 测年表明其 U-Pb 年龄约为 2.5 Ga 的新太古代 (颜丹平等, 2005)。主要岩性为黑云母角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云母角闪石变粒岩等, 局部具混合岩化特征。内部层序不清。

房山侵入体与官地杂岩及其与上覆盖层间的韧性拆离断层带间呈明显的侵入接触关系, 在侵入岩体南北边缘, 有大量的片麻岩捕虏体, 沿官地杂岩的片麻理或构造软弱带发育大量已经风化的石英二长闪长岩脉 (图 2), 岩脉成分与房山岩体一致^①。

官地杂岩与上覆不同地层间为拆离断层 (detachment fault) 接触关系, 由于拆离断层的作用, 造成核部杂岩与上覆层位间地层不同程度缺失或厚度减薄, 从而使与杂岩直接接触的地层可以是中新元古界到上古生界的不同地层 (图 1)。这个拆离断层

也是区域伸展构造和房山伸展变质穹隆体的重要组成部分, 拆离断层及其他伸展穹隆体构造均被卷入到近东西向的印支晚期挤压构造变形, 如东西向的褶皱和由南向北的逆冲推覆构造 (图 1) 中, 地质关系表明, 伸展穹隆体的形成时代可能为印支期。

房山复式岩体侵入于房山伸展穹隆体的核部, 并改造和叠加在前期构造之上, 主要为石英二长闪长岩和二长闪长岩, 主要矿物成分为钾长石、斜长石、石英。显微镜下可见石英、长石普遍发育次生加大边, 长石还发育交代蠕英结构 (图 4, Z-1), 表明房山岩体的多次侵位作用机制。角闪石和黑云母 K-Ar 和 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学测定结果表明, 房山岩体的主体侵位时代为 145 ~ 128 Ma, 是燕山构造事件的产物 (颜丹平等, 2005)。

2 岩石矿物变形特征

官地杂岩与盖层之间发育韧性剪切带, 以房山岩体南缘的周家坡—山顶庙一带和北缘的南观一带出露最好, 因此选取该两处进行研究。下面以图 3a 中周家坡—山顶庙一带剖面 A-A' 为例, 对岩石矿物变形的特征进行描述: 剖面 A-A' 中岩体出露于最北端, 往南依次为官地杂岩、官地杂岩与盖层间的韧性剪切带、蓟县系铁岭组盖层, 其中房山岩体与官地杂岩和韧性变形带间均呈明显的侵入接触关系。剖面 B-B' 与剖面 A-A' 地层出露及岩石变形情况类似, 仅盖层地层不同, 铁岭组在韧性变形带处发生尖灭, 往上发育青白口系下马岭组泥质板岩、片岩。

2.1 官地杂岩

官地杂岩与房山岩体呈侵入接触关系 (图 2), 发生不同程度的变形。靠近岩体部位官地杂岩呈块状构造, 主要有花岗质岩石、黑云母斜长角闪岩等。显微镜下亦可见花岗质岩石中长石发育次生加大边, 特征与岩体边部相似。往南接近盖层处岩石糜棱岩化程度逐渐加深, 矿物逐渐表现出定向性。

2.2 韧性剪切带

剪切带内岩石发生强烈的糜棱岩化, 变质成各类变晶糜棱岩, 糜棱面理发育, 局部沿韧性变形带有二长闪长岩岩脉侵入, 带内主要岩石有长英质糜棱岩、斜长角闪糜棱岩、含十字石二云母石英千糜岩等。显微镜下可见长英质糜棱岩中发育重结晶的石英矩形条带 (图 4, Z-3); 斜长角闪糜棱岩中斜长石、角闪石发生塑性变形, 明显定向 (图 5, Z-4); 十字石

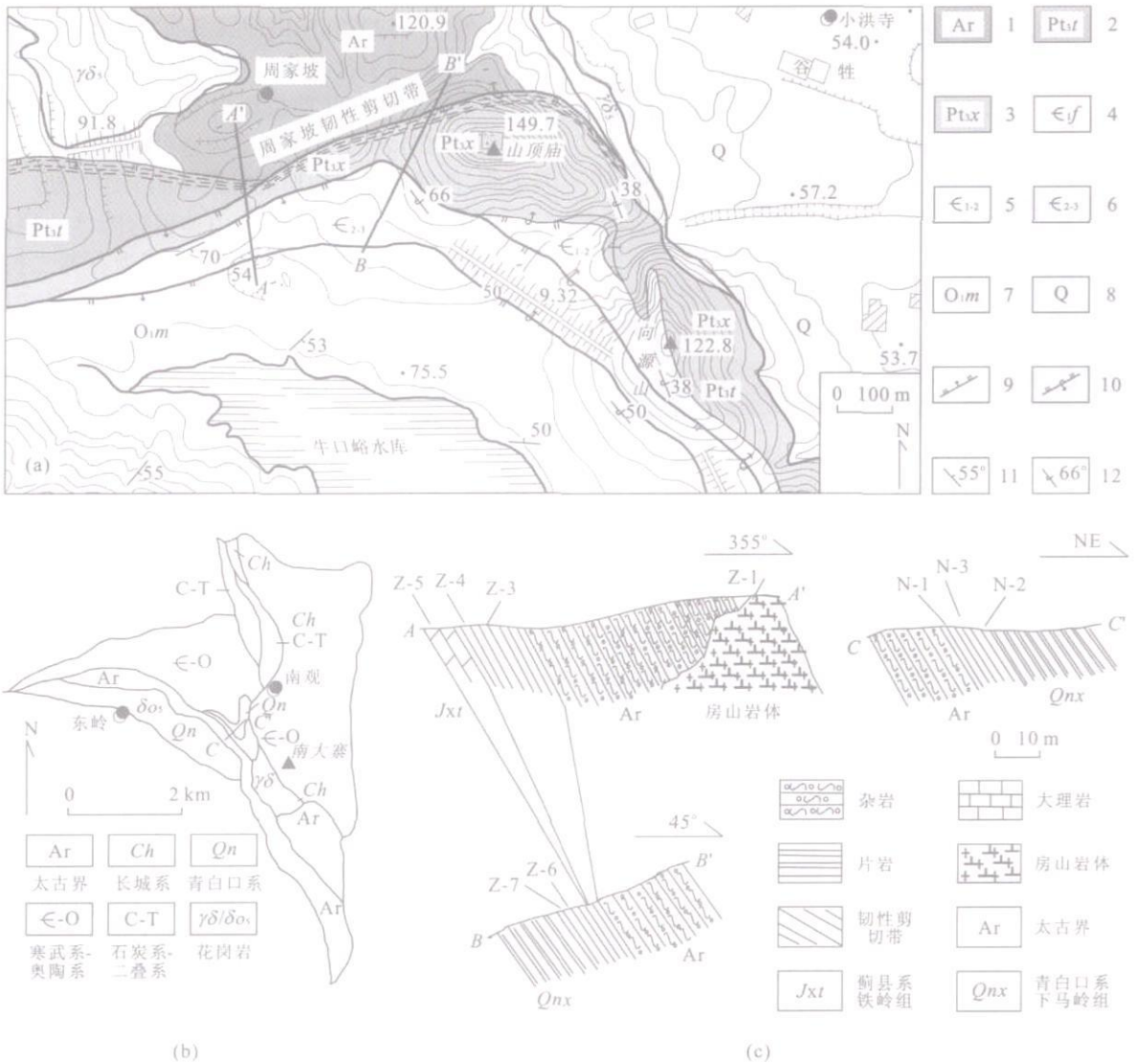


图 3 周家坡(A-A', B-B')及南观(C-C')韧性剪切带地质剖面图(C-C')

Fig. 3 Geological section of the ductile shear zone in Zhoujiapo (A-A', B-B') and Nanguan area (C-C')

a. 周家坡地区地质简图: 1. 太古界; 2. 前寒武系铁岭组; 3. 前寒武系下马岭组; 4. 下寒武统府君山组; 5. 中、下寒武统; 6. 中、上寒武统; 7. 奥陶系马家沟组; 8. 第四纪; 9. 正断层; 10. 倒转正断层; 11. 地层产状; 12. 倒转地层产状; b. 南观地区地质简图; c. A-A', B-B' 和 C-C' 地质剖面图; 图 c 中 Z 代表周家坡, N 代表南观

二云母石英片岩中二云母、石英交生成极细的鳞片变晶拉长结构, 十字石 c 轴平行于糜棱面理, 但在面内 c 轴不定向(图 4, Z-5). 以上表明该韧性剪切带形成于低角闪岩相条件下的动力变质环境(肖庆辉, 1985; 李兰荣和王春增, 1996; 胡玲, 1998; 刘正宏和李殿东, 1999; 蔺志永等, 2002).

2.3 盖层

盖层地层均发生不同程度缺失. 铁岭组变质大理岩在剖面 A-A' 中与官地杂岩直接接触, 存在较大厚度. 其中的方解石发生明显韧性定向变形(图 4,

Z-6), 而剖面 B-B' 中铁岭组地层发生尖灭. 山顶庙附近剖面 B-B' 中盖层主要为下马岭组含红柱石二云母石英片岩, 片岩中二云母、石英发育成鳞片变晶结构, 局部有拉长变形和多晶石英条带, 红柱石 c 轴平行于片理面, 但在面内 c 轴不定向(图 5, Z-7), 可能与剪切带内十字石同为房山岩体侵位的热作用结果.

南观剖面 C-C' 中各层位岩石矿物变形与周家坡—山顶庙一带相似. 该处盖层为下马岭组片岩, 韧性剪切带斜长角闪糜棱岩中斜长石、角闪石亦发生明显塑性定向变形(图 5, N-1、N-2), 二云母石英片岩中二

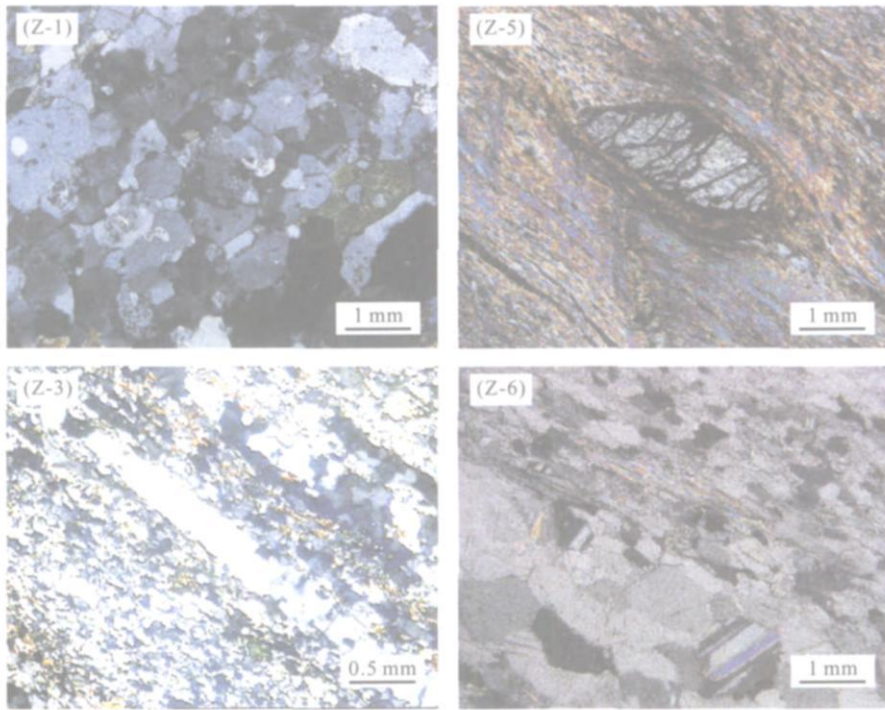


图 4 剖面 $A-A'$ 及 $B-B'$ 中部分矿物显微变形特征

Fig. 4 Part of microstructures within the geological sections of $A-A'$ and $B-B'$

Z-1. 剖面 $A-A'$ 房山岩体长石、石英次生加大结构及长石的交代蠕英结构 $10\times 4(+)$; Z-3. 剖面 $A-A'$ 韧性剪切带长英质岩石中发育的重结晶石英矩形条带 $10\times 4(+)$; Z-5. 剖面 $B-B'$ 韧性剪切带含十字石二云母石英千糜岩中十字石及二云母定向特征 $10\times 4(+)$; Z-6. 剖面 $A-A'$ 盖层铁岭组大理岩中方解石(白云石)的定向特征 $10\times 4(+)$

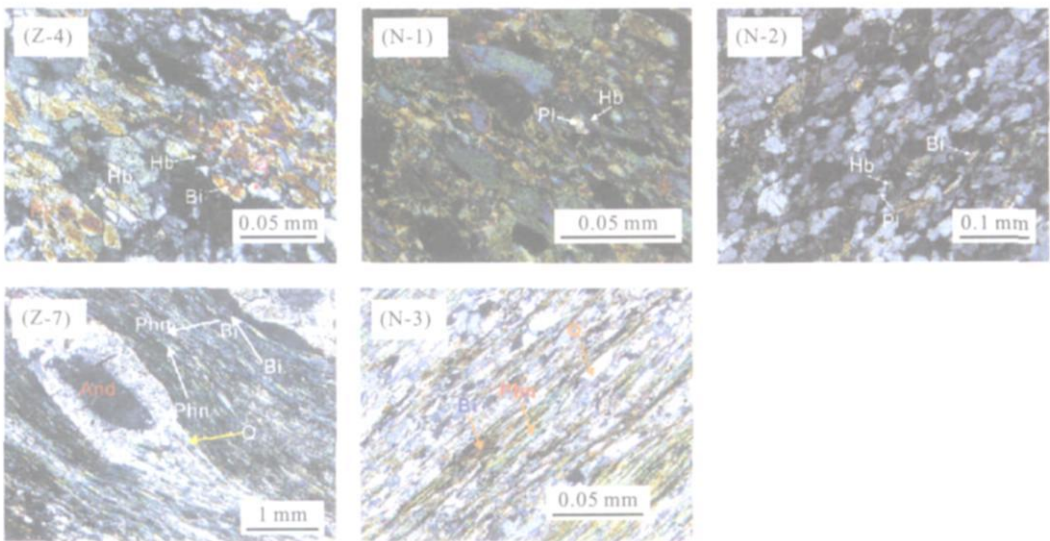


图 5 探针分析标本中各矿物分布特征

Fig. 5 Mineral assemblages in microprobe analytic specimens

N-1. 剖面 CC' : 斜长角闪糜棱岩中斜长石、角闪石定向 $10\times 20(+)$; N-2. 剖面 CC' : 斜长角闪糜棱岩中斜长石、角闪石定向 $10\times 20(+)$; N-3. 剖面 CC' : 二云母石英片岩中的石英、二云母定向 $10\times 20(+)$; Z-4. 剖面 $A-A'$: 斜长角闪糜棱岩中斜长石、角闪石定向 $10\times 20(+)$; Z-7. 剖面 $B-B'$: 含红柱石二云母石英岩中的红柱石、石英、二云母定向 $10\times 10(+)$

表 1 角闪石—斜长石探针分析结果(%)

Table 1 Microprobe analytic results of hornblende-plagioclases pair

点号	Z-4-1	Z-4-2	Z-4-3	Z-4-4	N-1-1	N-1-2	N-1-3	N-1-4	N-1-5	N-1-6	N-1-7	N-1-8	N-2-1	N-2-2	N-2-3	N-2-4	N-2-5	N-2-6
矿物	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl	Amph	Pl
Si ₂ O	42.73	60.04	42.58	60.42	45.41	60.04	44.41	58.72	44.09	60.15	45.25	59.1	41.29	61.48	44.19	62.09	41.01	60.84
Ti ₂ O	0.32	—	0.57	0.1	0.51	—	0.46	—	0.44	—	0.3	0.15	—	—	0.46	0.15	0.66	—
Al ₂ O ₃	9.17	23.35	8.45	23.61	7.39	25.92	9.19	25.83	8.72	24.48	7.64	25.31	9.09	23.45	6.75	23.46	10.56	24
FeO	14.59	0.77	15.25	0.54	13.73	—	13.43	0.31	14.3	0.47	13.84	—	19.56	0.37	16.41	0.08	18.52	—
MnO	—	0.12	0.43	0.17	0.89	—	0.42	0.16	—	0.03	0.67	0.16	0.23	—	0.53	—	0.14	0.27
MgO	18.59	—	18.7	—	18.72	—	17.73	—	17.8	—	18.86	—	13.44	—	17.02	—	12.97	—
CaO	9.94	6.1	9.78	5.55	10.14	7.17	10.35	7.55	10.51	5.94	9.94	7.09	0.62	5.23	10.14	4.94	11.06	5.14
Na ₂ O	1.6	8.64	1.52	8.9	0.87	7.44	1.17	8	1.3	—	0.81	7.54	1.96	8.85	1.15	9.27	1.77	8.96
K ₂ O	0.26	0.42	0.71	—	0.27	0.07	0.31	0.07	0.13	—	0.24	0.22	1.23	0.17	0.69	0.1	1.06	—
Total	97.2	99.44	97.99	99.29	97.93	100.64	97.47	100.64	97.29	99.76	97.54	99.57	97.42	99.55	97.34	100.1	97.75	99.21

样品由中国地质大学(北京)电子探针室测试,主要仪器设备及编号:EPMA-1600型电子探针仪 19990075,分析方法:电子探针定量分析法通则 GB/T 15074-94,经 ZAF 法校正,误差≤2%。

表 2 白云母探针分析结果(%)

Table 2 Microprobe analytic results of muscovite

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
Z-7-1	46.88	—	34.66	0.69	—	—	—	2.22	11.62	96.07
Z-7-2	46.39	0.16	34.2	1.5	0.57	—	—	2.3	10.69	95.81
N-3-1	46.58	0.58	35.78	1.5	0.38	0.29	—	1.33	9.83	96.27

白云母以 11 个氧为基础

样号	Si	Ti	Al	Fe ₂	Mn	Mg	Ca	Na	K	Al ₄	Al ₆
Z-7-1	3.122	—	2.72	0.038	—	—	—	0.287	0.987	0.878	1.842
Z-7-2	3.107	0.008	2.699	0.084	0.032	—	—	0.299	0.913	0.893	1.806
N-3-1	3.071	0.029	2.78	0.083	0.021	0.028	—	0.17	0.827	0.929	1.851

样品由中国地质大学(北京)电子探针室测试,主要仪器设备及编号:EPMA-1600型电子探针仪 19990075,分析方法:电子探针定量分析法通则 GB/T 15074-94,经 ZAF 法校正,误差≤2%。

云母、石英亦发育鳞片变晶拉长结构(图 5, N-3)。

3 样品与分析

由以上可知韧性剪切带内发育角闪岩相条件下特征矿物对角闪石—斜长石,而矿物对中各元素的含量能直接反映地质温度和压力,因此选取代表性的角闪石—斜长石共生标本 Z-4、N-1、N-2(图 5)进行电子探针成分分析。另外,带内二云母石英片岩中二云母交生明显,考虑其动力特征认为白云母硅值可能会偏高,因而对南北缘二云母片岩 Z-7、N-3(图 5)进行硅成分的分析,以便能和角闪石—斜长石矿物对的温压计算相互印证。

3.1 样品及描述

样品 Z-4 采于周家坡—山顶庙一带的韧性剪切带内(剖面 A-A' 中),为斜长角闪糜棱岩,共生矿物组合角闪石—斜长石定向、韧性变形明显。样品 N-1、

表 3 角闪石—斜长石的温压计算

Table 3 Calculated results of T, p of hornblende-plagioclase

对应点号	p (GPa)					T (°C)		
	P1	P2	P3	P4	P5			
Z-4-1	Z-4-2	0.354	0.281	0.277	0.281	7.0	388.2	505
Z-4-3	Z-4-4	0.417	0.334	0.329	0.334	8.0	449.0	512
N-1-1	N-1-2	0.251	0.193	0.193	0.194	8.0	288.8	499
N-1-3	N-1-4	0.410	0.328	0.323	0.328	6.0	441.9	532
N-1-5	N-1-6	0.373	0.297	0.293	0.297	6.0	406.4	512
N-1-7	N-1-8	0.274	0.213	0.212	0.214	5.0	311.3	531
N-2-1	N-2-2	0.438	0.352	0.346	0.352	1.0	468.8	555
N-2-3	N-2-4	0.209	0.157	0.160	0.160	0.0	248.9	492
N-2-5	N-2-6	0.562	0.458	0.447	0.456	6.0	588.3	533

P1 据 Hammarstrom and Zen(1986); P2 据 Johnson and Rutherford(1988); P3 据 Johnson and Rutherford(1989a); P4 据 Johnson and Rutherford(1989b); P5 据 Schmidt(1991), 转引自马鸿文(2001); T 据 Holland and Blundy, 1994。

N-2 为南观韧性剪切带内斜长角闪糜棱岩,其中角闪石—斜长石矿物组合及变形特征与 Z-4 类似,但 N-1 中角闪石含量偏高, N-2 中斜长石含量偏高。

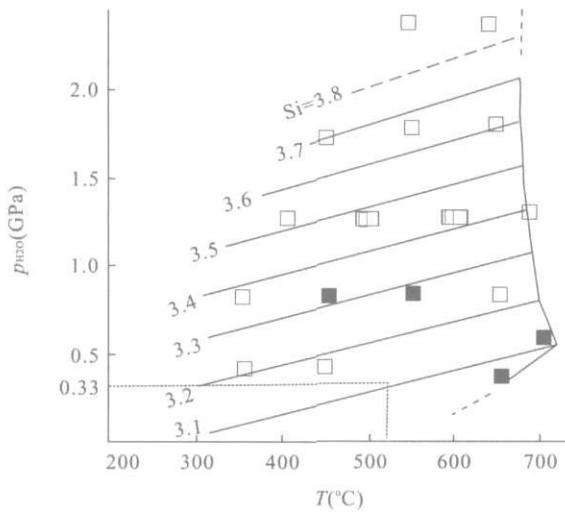


图 6 白云母中 Si 成分等值线与 p 、 T 关系

Fig. 6 Relation of Si isoline in muscovite vs. p , T
空心方块为 M4/1M 多型域, 实心方块为 2M1 多型白云母域, 又型方块为过渡类型(Massone *et al.*, 1991, 转引自苏尚国和赖兴运, 1994)

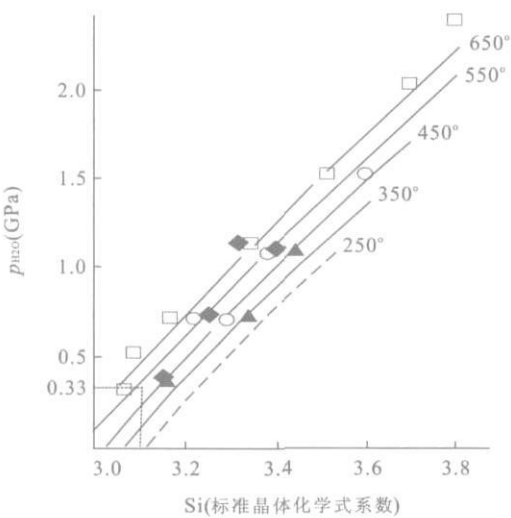


图 7 与多硅白云母共生的钾长石、金云母(黑云母)+石英组合中多硅白云母 Si 原子数与 p 、 T 关系图解

Fig. 7 Diagramming of Si atoms in muscovite in the combination of Ms+Kf+Phl/Bi vs. p , T
图中符号表示实验的温度区间: 三角为 350~400 °C, 菱形为 445~495 °C, 方块为 640~700 °C(Massone *et al.*, 1991, 转引自苏尚国和赖兴运, 1994)

Z-7采于周家坡—山顶庙一带剖面 $B-B'$ 中韧性剪切带与盖层接触部位, 为含红柱石二云母石英片岩, 其中二云母、石英发育鳞片变晶结构, 局部有二云母的拉长和多晶石英条带。N-3 为南观剖面 $C-C'$ 韧性剪切带内二云母石英千糜岩, 其中二云母交生明显, 呈

鳞片变晶拉长结构, 石英发育成重结晶的矩形条带。

3.2 分析测试结果

对以上角闪石—斜长石矿物对及白云母硅成分的分析测试结果分别列于表 1 和表 2。

3.3 数据分析及计算

对表 1 数据进行处理, 根据化学热力学理论和不同学者的实验结果及经验温度计、压力计计算公式进行温、压计算, 可知其变质的温度为 492 ~ 555 °C, 压力为 0.2~0.58 GPa(表 3)。

白云母分析结果显示 Si 值在 3.1 左右, 硅成分较高接近于多硅白云母(赵珊茸等, 2004), 可在一定程度上反映变质压力(Massone and Schreyer., 1989), 结合以上角闪石—斜长石矿物对关于温度的计算, 将硅值投影在 Si 成分等值线与 p 、 T 关系图上(图 6, 7)(苏尚国和赖兴运, 1994)得变质压力在 0.33 GPa 左右, 与角闪石的压力计算结果基本一致, 表明以上关于温、压的计算是可靠的。

4 讨论与结论

综上所述, 韧性剪切带宏观尺度上发育韧性变形的糜棱面理, 可见中级变质条件下的角闪岩相斜长角闪糜棱岩、黑云母长英糜棱岩等; 显微尺度可见角闪岩相的矿物变形特征, 如长英质糜棱岩中的重结晶的石英矩形条带, 角闪石发生塑性变形; 斜长角闪糜棱岩中的矿物对角闪石—斜长石发育, 二云母石英片岩中白云母硅值较高, 经电子探针分析并计算变质温压条件为: $T=492 \sim 555$ °C, $p=0.33$ GPa 左右, 取地壳平均岩石密度 2.6×10^3 kg/m³, $g=9.8$ m/s², 按静岩压力计算公式 $p=\rho gh$, 推算出韧性剪切作用发生于地表往下 12.9 km 左右, 代表了中地壳韧性流变的变形环境。

野外观察发现房山侵入体与官地杂岩及其与上覆盖层间发育的韧性剪切带间呈明显的侵入接触关系; 在侵入岩体南北边缘, 有大量的片麻岩等捕虏体; 沿杂岩的片麻理或构造软弱带发育大量的石英二长闪长岩脉, 岩脉成分与房山侵入体一致。室内观察发现, 紧邻房山侵入体岩石中矿物非定向, 长石、石英发育次生加大边; 二云母千糜岩及片岩中发育的十字石、红柱石 c 轴平行于糜棱面理, 但在面内晶轴不定向。从而认为该韧性剪切带的形成不同步于房山岩体的侵入, 如对房山岩体的侵入和改造进行复原和恢复, 该韧性剪切带代表了早期的伸展作用,

可能与伸展穹隆体中发育的韧性变形同期。

致谢: 本文写作过程中得到苏尚国、莫少龙、王根厚、张长厚等各位老师的真诚指点, 并多次与万永平同学交流, 野外工作得到李善营、汪在聪、刘晓明同学的热心帮助, 在此一并表示衷心的感谢!

References

- Hammarstrom, J. M., Zen, E. A., 1986. Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 71: 1297—1313.
- He, B., Xu, Y. G., Wang, Y. M., et al., 2005. Magmatic diapir of Fangshan pluton in the Western Hills, Beijing and its geological significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(3): 298—307 (in Chinese with English abstract).
- Holland, T., Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116: 433—447.
- Hu, L., 1998. Introduction to microstructural geology. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Johnson, M. C., Rutherford, M. J., 1988. Experimental calibration of an aluminium-in-hornblende geobarometer applicable to calc-alkaline rocks. *EOS Transactions*, 69(44): 1511—1988.
- Johnson, M. C., Rutherford, M. J., 1989a. Experimentally determined conditions in the Fish canyon tuff, Colorado, magma chamber. *Petrology*, 30(3): 711—737.
- Johnson, M. C., Rutherford, M. J., 1989b. Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application of Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17(9): 837—841.
- Li, L. R., Wang, C. Z., 1996. Classification of multi-grain quartz ribbons in mylonites and their development conditions. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 16(3): 224—231 (in Chinese with English abstract).
- Lin, Z. Y., Liu, J. L., Fang, J. Y., 2002. Mechanisms of deformation and recrystallization of quartz during extension. *World Geology*, 21(4): 321—326 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. H., Wu, J. S., 1977. Metamorphic rocks and metamorphic zones around Fangshan pluton. *The Study of Geological Mineral Resources*, (3): 159—198 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., Li, D. D., 1999. Recrystallization and its microfabrics in mylonite. *Jilin Geology*, 18(4): 32—37 (in Chinese with English abstract).
- Ma, H. W., 2001. Introduction to crystallography thermodynamics. High Education Press, Beijing, 93—102 (in Chinese).
- Massone, H. J., Schreyer, W., 1989. Stability field of the high-pressure assemblage talc + phengite and two new phengite barometers. *Eur. J. Mineral.*, (1): 391—410.
- Shan, W. L., Fu, Z. R., 1987. A preliminary analysis of the horizontal laminar shear-flow structure in the Western Hills of Beijing. *Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology*, 12(2): 113—120 (in Chinese with English abstract).
- Shan, W. L., Wang, F. Z., Fu, Z. R., et al., 1989. On the tectonic evolution of cover rocks in the southern part of Western Hills of Beijing. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 14(1): 37—50 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., 1987. A primary analysis on the tectonic sequence in the southern part of the Western Hills of Beijing. *Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology*, 12(1): 15—20 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., 1996. Characteristics of Fangshan metamorphic core complex, Beijing and a discussion about its origin. *Geoscience*, 10(2): 149—158 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., 2002. Some characteristics of metamorphic core complexes. *Geological Bulletin of China*, 21(4—5): 194—197 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., Ge, M. C., 1984. The Indosinian movement in the Western Hills of Beijing discussed in the light of the structural characteristics. *Geological Review*, 30(1): 77—80 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., He, B., Zheng, Z. S., et al., 1990. Denudational fault of West-Hill, Beijing. In: Zhang, J. S., Shan, W. L., eds., The geological study of Western Hills of Beijing. China University of Geosciences Press, Wuhan, 19—28 (in Chinese).
- Song, H. L., Shan, W. L., 1987. Denudational fault, intraplate subhorizontal shear zone and extensional tectonics. *Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology*, 12(5): 535—541 (in Chinese with English abstract).
- Su, S. G., Lai, X. Y., 1994. A review of new geobarometers applicable to high-pressure metamorphism. *Geological Science and Technology Information*, 13(2): 91—97 (in Chinese with English abstract).

- Xiao, Q. H., 1985. The microstructure of mylonites and their origin—A review. In: *Structural Geology Reviews*, (5): 203—216. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xu, Z. Q., Wang, G. F., Fu, Z. K., 1985. Ductile decollement shear zone in the Western Hills of Beijing. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, (11): 37—52 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2005. A geochronological constraint to the Guandi complex, Western Hills of Beijing, and its implications for the tectonic evolution. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 332—337 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2006. Mesozoic extensional structures of the Fangshan tectonic dome and their subsequent reworking during collisional of accretion of the North China block. *Journal of the Geological Society, London*, 163: 127—142.
- Zhao, S. R., Bian, Q. J., Ling, Q. C., 2004. Crystallography and mineralogy. High Education Press, Beijing, 376 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 何斌, 徐义刚, 王雅玫, 等, 2005. 北京房山岩体岩浆底劈构造及地质意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(3): 298—307.
- 胡玲, 1998. 显微构造地质学概论. 北京: 地质出版社.
- 李兰荣, 王春增, 1996. 糜棱岩中多晶石英条带的类型及形成条件. *桂林工学院学报*, 16(3): 224—231.
- 蔺志永, 刘俊来, 方建勇, 2002. 伸展作用过程中石英变形与重结晶的微观机制. *世界地质*, 21(4): 321—326.
- 刘国惠, 伍家善, 1977. 北京房山岩体围岩的变质岩石学和变质带. *地质矿产研究*, (3): 159—198.
- 刘正宏, 李殿东, 1999. 糜棱岩的重结晶作用及其显微结构. *吉林地质*, 18(4): 32—37.
- 马鸿文, 2001. 结晶岩热力学概论. 北京: 高等教育出版社, 93—102.
- 单文琅, 傅昭仁, 1987. 北京西山水平分层剪切流变构造初探. *地球科学——武汉地质学院学报*, 12(2): 113—120.
- 单文琅, 王方正, 傅昭仁, 等, 1989. 论北京西山南部的盖层构造演化. *地球科学——中国地质大学学报*, 14(1): 37—50.
- 宋鸿林, 1996. 北京房山变质核杂岩的基本特征及成因探讨. *现代地质*, 10(2): 149—158.
- 宋鸿林, 1987. 北京西山南部构造序列初探. *地球科学——武汉地质学院学报*, 12(1): 15—20.
- 宋鸿林, 2002. 关于变质核杂岩构造特征的几个问题. *地质通报*, 21(4—5): 194—197.
- 宋鸿林, 葛梦春, 1984. 从构造特征论北京西山的印支运动. *地质论评*, 30(1): 77—80.
- 宋鸿林, 何斌, 郑在胜, 等, 1990. 北京西山的剥离断层. 见: 张吉顺, 单文琅主编, 北京西山地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 19—28.
- 宋鸿林, 单文琅, 1987. 剥离断层、板块内近水平的剪切带与伸展构造. *地球科学——武汉地质学院学报*, 12(5): 535—541.
- 苏尚国, 赖兴运, 1994. 高压变质作用压力估算的热力学方法. *地质科技情报*, 13(2): 91—97.
- 肖庆辉, 1985. 糜棱岩的显微构造和成因(评述). 见: 构造地质论丛, (5): 203—216. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 王国方, 符振康, 1985. 北京西山的深部韧性滑脱剪切带. *中国地质科学院院报*, (11): 37—52.
- 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, 等, 2005. 北京西山官地杂岩的形成时代及构造意义. *地学前缘*, 12(2): 332—337.
- 赵珊茸, 边秋娟, 凌其聪, 2004. 结晶学及矿物学. 北京: 高等教育出版社, 376.