

# 京北云蒙山变质核杂岩南东侧剥离断层带的构造热演化

王巧云<sup>1,2,3</sup>, 颜丹平<sup>3</sup>, 苏本勋<sup>2,3,4</sup>, 周密<sup>3</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>

WANG Qiao-yun<sup>1,2,3</sup>, YAN Dan-ping<sup>3</sup>, SU Ben-xun<sup>2,3,4</sup>, ZHOU Mi<sup>3</sup>, HU Rui-zhong<sup>1</sup>

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;*

2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *College of Earth Sciences and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083, China;*

4. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

**摘要:**以云蒙山变质核杂岩东侧的河防口低角度正断层为研究对象,通过矿物(黑云母)的变形特征和形成环境分析,获得了该断层带上的构造热演化环境:温度为780~860°C,压力约为 $7.3 \times 10^8 \sim 8.6 \times 10^8$  Pa。提出云蒙山变质核杂岩的成因机制是,在区域伸展背景下,处于半固结状态的云蒙山花岗岩在东南侧卷入河防口-水峪伸展型韧性剪切带,使花岗岩发生中高温条件的韧性变形;之后,该韧性剪切带在隆升过程中不断向浅层次过渡,形成了一些浅层次的脆性伸展变形构造。

**关键词:**云蒙山变质核杂岩;河防口低角度正断层;电子探针测试;韧性变形

中图分类号:P588.3;P54

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2006)04-0448-06

Wang Q Y, Yan D P, Su B X, Zhou M. Tectono-thermal evolution of the detachment fault along the southeastern margin of the Yunmeng Shan metamorphic core complex in the northern part of Beijing. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(4):448-453

**Abstract:** In this paper the Hefangkou low-angle detachment fault on the east side of the Yunmeng Shan metamorphic core complex is chosen as the object of research. According to the deformation features and formation environment of biotite (which is the main mineral of foliation and lineation in the Hefangkou ductile shear zone), the temperature and pressure conditions for the tectono-thermal evolution at the fault zone were 780-860°C and  $\sim 0.73 \sim 0.86$  GPa. The genetic mechanism for the metamorphic core complex is as follows: in the setting of regional extension, the semi-solid Yunmeng Shan granite was involved in the Hefangkou-Shuiyu extensional ductile shear zone at the southeast side, thus resulting in ductile deformation of granites under intermediate- to high-temperature conditions, and afterward, this ductile shear zone passed progressively to the shallow level in the uplift process, forming some shallow-level brittle extensional structures.

**Key words:** Yunmeng Shan metamorphic core complex; Hefangkou low-angle normal fault; microprobe analysis; ductile deformation

对云蒙山地区的变形构造,特别是伸展构造的研究始于20世纪80年代。Davis等<sup>[1]</sup>最先认为云蒙山穹隆具有变质核杂岩的构造特征,是在区域性伸展构造背景基础上形成

的;张建新等<sup>[2,3]</sup>则从云蒙山花岗岩及周围不同时代岩石的不同层次的变形构造入手,研究河防口-水峪伸展型韧性剪切带的特征及其与花岗岩穹隆的关系,提出该韧性剪切

收稿日期:2005-07-18;修订日期:2006-01-06

基金项目:国家自然科学基金重点项目(编号40434011)、国家自然科学基金项目(编号40472106)资助。

作者简介:王巧云(1980-),女,在读硕士,地球化学专业。E-mail: wangqiaoyun11000@163.com

通讯作者:胡瑞忠(1958-),男,研究员,矿床地球化学专业。E-mail: huruizhong@vip.gyig.ac.cn

带是在地壳伸展背景下形成的,云蒙山花岗岩穹隆构成了核部变质杂岩;许继峰等<sup>[4,5]</sup>在研究了云蒙山花岗岩和围岩的变形特征后,提出了岩基是主动强力侵位的岩浆杂岩构造模式。因此,对云蒙山变质核杂岩的形成机制存在2种截然不同的解释。

在前人研究的基础上,笔者从黑云母的变形特征和形成环境分析入手,对云蒙山东南侧剥离断层带形成时的温压条件进行了初步研究,并分析温压的变化趋势,最后确定其变质相,探讨该核杂岩的形成机制。

### 1 区域地层和构造简述

云蒙山地区出露的地层包括太古宇四合堂群片麻岩,中新元古界长城系、蓟县系和青白口系的碳酸盐岩和碎屑岩,下古生界(以寒武系为主)的灰岩和中生界侏罗系髫髻山组安山质火山岩和火山碎屑岩<sup>[2]</sup>。据Davis等<sup>[1,6]</sup>的研究,云蒙山地区的主体构造按照形成次序是,四合堂背斜推覆体、云蒙山背形、水峪-四合堂韧性剪切带、河防口正断层(图1)。

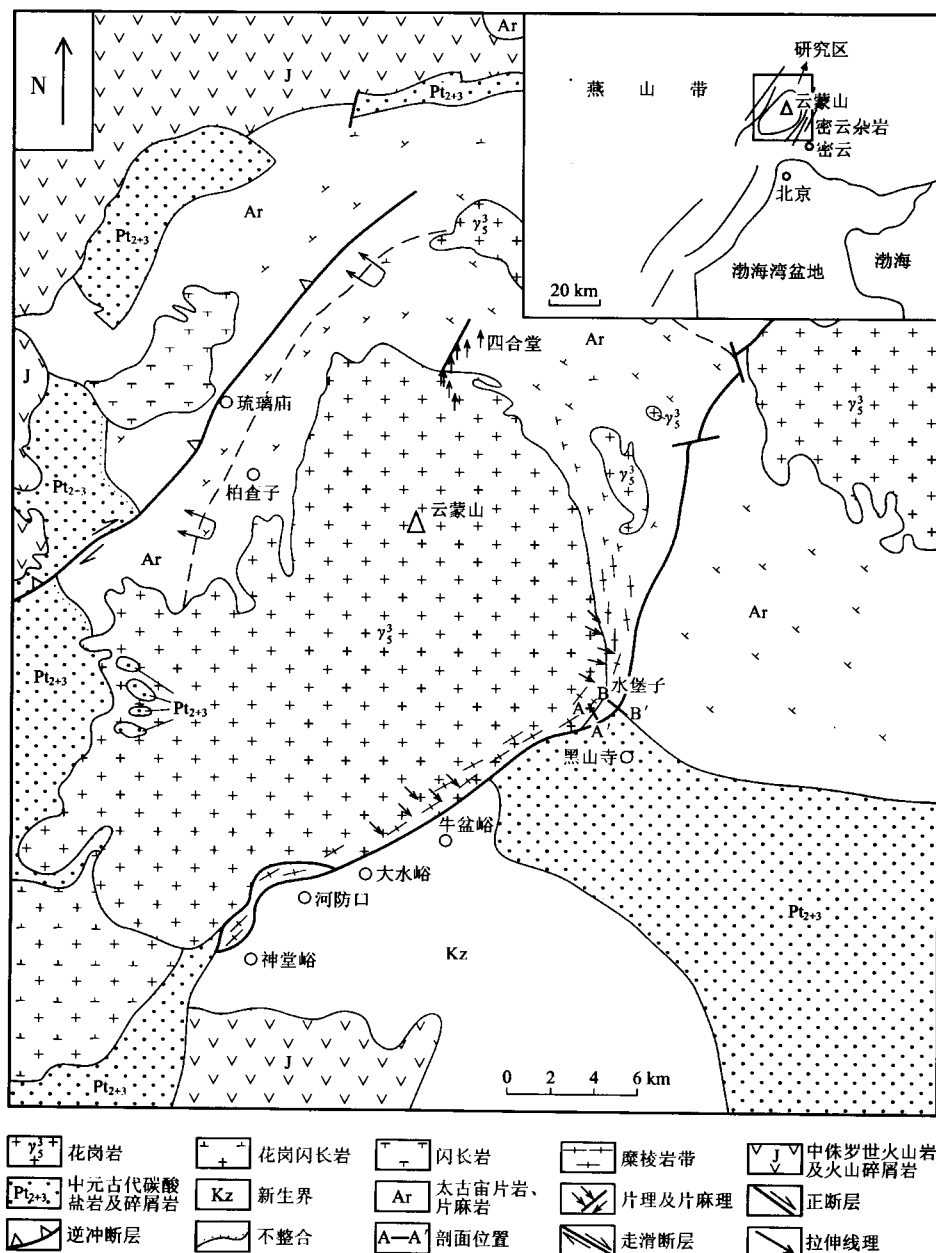


图1 云蒙山地区地质图(据参考文献[1,4]改绘)

Fig.1 Geological map of the Yunmeng Shan area

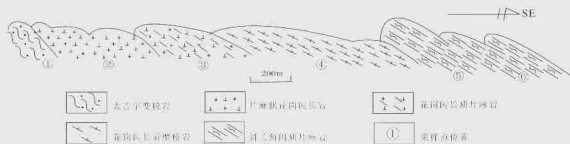


图2 云蒙山剥离断层带构造剖面(剖面位置见图1中的A-A',B-B')

Fig.2 Structural cross section of the Yunmeng Shan detachment fault zone

## 2 野外构造现象观察和样品采集

野外剖面绘制于云蒙谷内,长约3km。对每个岩性带都进行样品采集,在5个岩性带内共采集了6个样品,样品岩性分别为:①太古宇变粒岩,②片麻状花岗岩闪长岩,③花岗岩闪长质片麻岩,④花岗岩闪长质糜棱岩,⑤和⑥斜长角闪质片麻岩,采样位置见图2。

### 2.1 宏观韧性变形

在剖面处可观察到的韧性变形有糜棱面理、透入性拉伸线理、不对称 $\sigma$ 型斜长石碎斑系(采样点①、②、③处),无根钩

状褶皱(采样点④处),窗框构造局部有鞘褶皱出现(采样点⑤处),顺层拖回褶皱(采样点⑥处)(图版I)。

### 2.2 显微变形特征及分析

在中国地质大学磨片室把所采的6个样品磨制成电子探针薄片13片。薄片的显微镜下观察显示,其中典型的显微构造有 $\sigma$ 型斜长石斑晶(图版II-a,d)、糜棱构造(图版II-b,d)、黑云母定向排列(图版II-c,e)、S-C结构(图版II-f)等。

通过野外和镜下观察可以看出,在横穿剥离断层带的剖面上,从下盘向上盘岩石的显微构造特征发生有规律的变化,表现为糜棱岩组构造越来越明显,其中的糜棱面理主要由

图版 I Plate I



a—花岗岩质糜棱岩中的不对称 $\sigma$ 型斜长石碎斑系;b—花岗岩质糜棱岩中斜长石构成的 $\sigma$ 型碎斑系;

c—云蒙谷东侧不对称无根钩状褶皱;d—云蒙谷出口西侧的窗框构造

黑云母+斜长石组成,局部见斜长石的双晶弯曲及波状消光,显示高温条件下的变形特征及温度的变化趋势。

### 3 电子探针分析

电子探针分析在中国地质大学实验中心的 EPMA-1600 型电子探针仪上完成,7 个薄片中的黑云母电子探针数据见表 1。

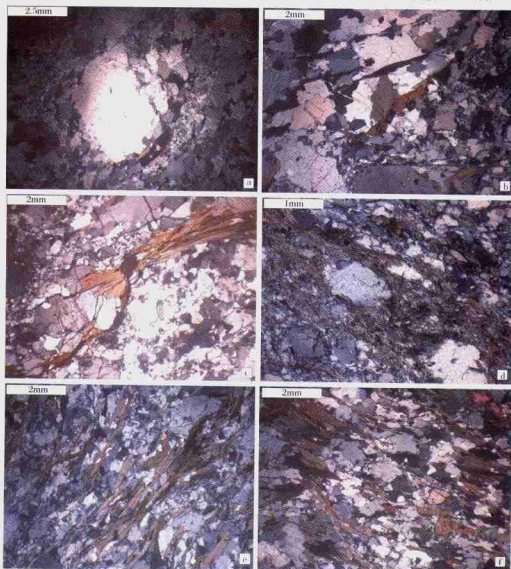
云蒙山变质核杂岩与密云杂岩位于北京北东方向且紧密相邻,同属燕山运动的产物<sup>[3,10]</sup>。在燕山晚期云蒙山花岗岩侵入阶段,环绕岩基形成了一系列伸展滑脱构造。许继峰等<sup>[8]</sup>认为云蒙山岩基强力侵位是造成同期的云蒙山变质核杂岩和密云-怀柔变质核杂岩的动因,并且通过对二者所含黑

云母-石榴子石的温压矿物对的研究,证实它们变质的温压范围相同。Davis<sup>[9]</sup>、郑亚东等<sup>[10]</sup>从年代学的角度论证了云蒙山变质核杂岩与密云变质核杂岩为同一期次构造变质作用的产物。因此,二者在构造习性、变质特征及其矿物组成上密切相关<sup>[10,11]</sup>。在进行温压条件估算时,利用密云石榴黑云母和岩中共存的石榴子石和黑云母的测定结果<sup>[9]</sup>对云蒙山变质核杂岩中石榴子石和黑云母的 Mg 含量进行换算(表 2)。

### 4 温度、压力变化趋势分析及核杂岩成因机制探讨

由图 3 可以得出平均温度约为 860°C,代表了变形的温度。根据这一结果,在图 4 中做直线  $X=860^{\circ}\text{C}$ , 与  $\ln A=-0.45484$

图版 II Plate II



a— $\sigma$ 型斜长石碎斑系;b—糜棱特征;c—黑云母变形特征;d—斜长石碎斑和糜棱面理;  
e—黑云母定向排列;f—黑云母 S-C 结构

表1 黑云母的电子探针分析结果

Table 1 Microprobe analyses of biotite

样品号	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	合计
SM-01	36.20	8.76	14.66	0.30	9.76	3.46	1.02	20.68	94.84
SM-02	35.83	8.97	14.3	0.31	9.65	2.61	1.36	21.68	94.70
SM-03	35.77	8.75	15.07	0.37	9.84	3.02	0.50	21.75	95.05
SM-04	36.06	9.99	14.34	0.35	9.38	2.23	0.33	22.12	94.80
SM-05	35.96	10.71	14.22	0.20	9.65	2.68	0.22	21.50	95.14
SM-06(1)	35.37	9.94	14.74	0.35	9.38	2.87	0.34	22.15	95.15
SM-06(2)	35.55	9.96	14.57	0.39	9.37	2.61	0.34	22.66	95.45

样品号	Si	Mg	Al	Na	K	Ti	Mn	Fe	阴离子总数
SM-01	1.03	0.37	0.49	0.02	0.35	0.07	0.02	0.49	4.00
SM-02	1.02	0.38	0.48	0.02	0.35	0.06	0.03	0.52	4.00
SM-03	1.01	0.37	0.50	0.02	0.36	0.06	0.01	0.52	4.00
SM-04	1.02	0.42	0.48	0.02	0.34	0.05	0.01	0.53	4.00
SM-05	1.02	0.45	0.47	0.01	0.35	0.06	0.01	0.51	4.00
SM-06(1)	1.00	0.42	0.49	0.02	0.34	0.06	0.01	0.53	4.00
SM-06(2)	1.01	0.42	0.49	0.02	0.34	0.06	0.01	0.54	4.00

注:黑云母中氧化物含量%

表2 换算后的石榴子石和黑云母Mg的含量

(数据引自参考文献[9])

Table 2 Content of Mg in garnet and biotite through calculation

样品号	Mg (Bi)	Mg (Gt)	K=Mg (Gt)/Mg (Bi)	lnK
SM-01	0.37	0.234784		
SM-02	0.38	0.24113		
SM-03	0.37	0.234784		
SM-04	0.42	0.266512	0.634551495	-0.45484
SM-05	0.45	0.285548		
SM-06(1)	0.42	0.266512		
SM-06(2)	0.42	0.266512		

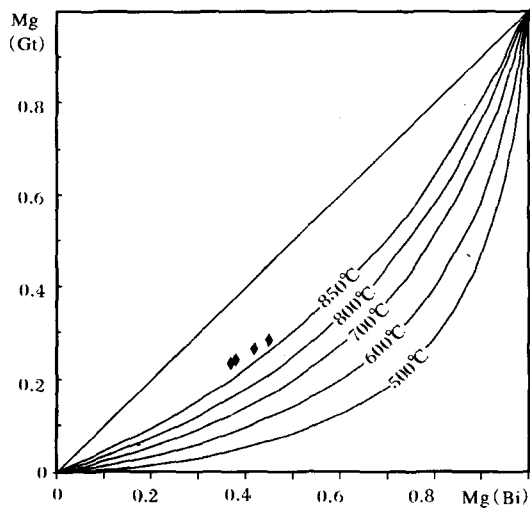


图3 共存的石榴子石-黑云母之间Mg分配等温线<sup>[9]</sup>

Fig.3 Mg partitioning isotherms in coexisting garnet and biotite

的交点的纵坐标值约为0.73 GPa,代表了变形的压力。在图5中,投影点主要落在麻粒岩相区,而麻粒岩相的温度、压力范围分别为700~900°C、0.3~1.2 GPa,这与上述计算的温压条件

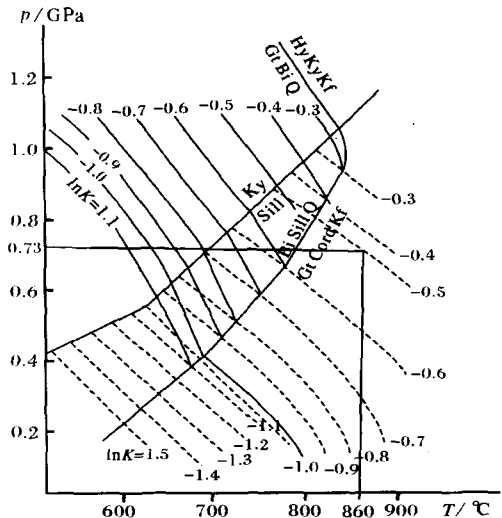


图4 根据T和K确定压力的图解<sup>[9]</sup>

Fig.4 Diagram of pressure determined according to T and K

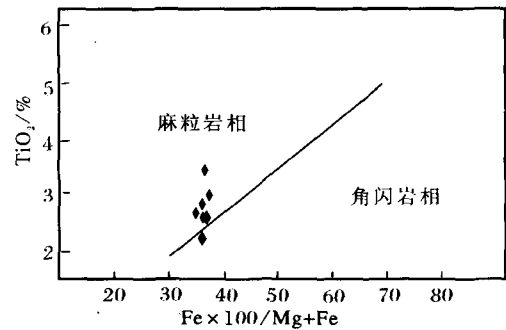


图5 变质黑云母的TiO<sub>2</sub>-Fe\*100/Fe+Mg图解

Fig.5 Diagram of TiO<sub>2</sub>-Fe\*100/Fe+Mg of meta-biotite

相吻合。

在图6中,Mg/Mg+Mn+Fe(Bi)按剖面自左向右方向逐渐增大;Mg(Gt)与Mg(Bi)为正相关的关系(图7);由图8可以看出温度随Mg/Mg+Mn+Fe(Bi)的增加而逐渐降低。三者结合起来显示温度的变化趋势是按剖面自左向右方向逐渐降低的,其范围为860~780°C(图8)。随温度的降低,压力却逐渐增大,其范围为0.73~0.86 GPa(图4中虚线所示)。

华北板块的燕山带在中生代时期的断裂演化、区域性不整合界面及盆地演化的事实显示,燕山期该区不仅存在强烈的挤压作用,而且还存在强烈的伸展作用<sup>[12-14,16]</sup>。变形构造的研究进一步显示,云蒙山花岗岩穹隆的边部及围岩中普遍存在着不同层次和运动方向的伸展构造<sup>[2,15]</sup>。因此,本研究证实云蒙山地区河防口低角度正断层是在地壳伸展背景下,河防口-水峪伸展型韧性剪切带在其隆升过程中不断向浅层过渡的产物。

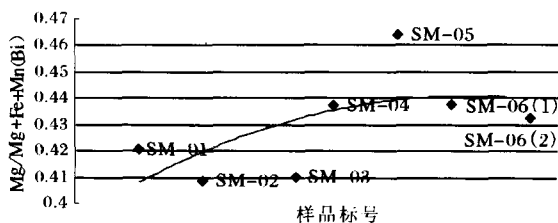


图6 黑云母中Mg/Mg+Fe+Mn值的变化趋势  
(样品按所在剖面位置排列)

Fig.6 Trend diagram of Mg/Mg+Fe+Mn in biotite

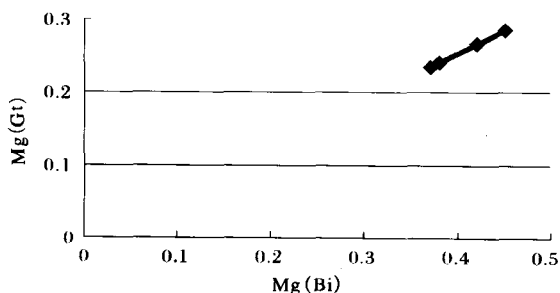


图7 石榴子石和黑云母中Mg值的相关性

Fig.7 Linearity diagram of Mg in garnet and biotite

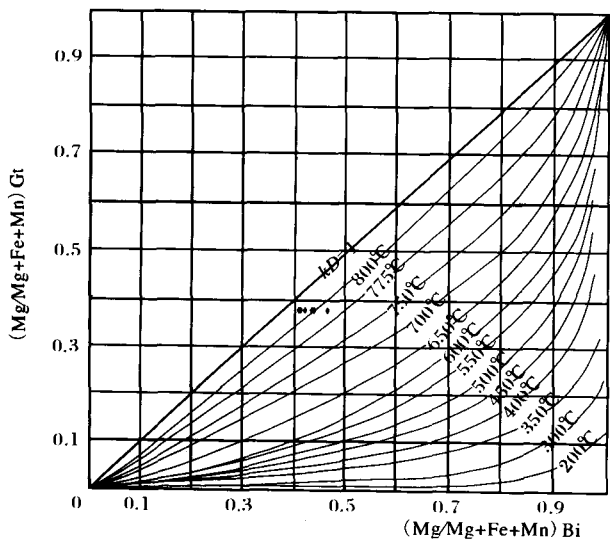


图8 Mg/Mg+Mn+Fe(Bi)与Mg/Mg+Mn+Fe(Gt)  
温度图解

Fig.8 Temperature diagram of Mg/Mg+Mn+Fe(Bi)  
and Mg/Mg+Mn+Fe (Gt)

综上所述可见,在区域伸展背景下,处于半固结状态的云蒙山花岗岩在东南侧卷入河防口-水峪伸展型韧性剪切

带,使花岗岩发生中高温条件的韧性变形。其后,该韧性剪切带在隆升过程中不断向浅层次过渡,并促使产生河防口正断层,形成了一些浅层次的脆性伸展变形构造。

## 5 结论

(1)云蒙山变质核杂岩南东侧剥离断层带形成时的温度范围为780~860°C,压力范围0.73~0.86 GPa,属于麻粒岩相。

(2)河防口低角度正断层是在地壳伸展背景下形成的,河防口-水峪伸展型韧性剪切带及云蒙山变质核杂岩是在花岗岩冷却和隆升过程中不断向浅层次过渡的产物。

### 参考文献:

- [1] Davis G A, 郑亚东. 中国变质核杂岩——北京云蒙山地质简介及地质旅行指南[A]. 见: 伸展构造研究[C]. 北京: 地质出版社, 1994. 154-166.
- [2] 张建新. 北京云蒙山地区花岗岩穹隆及伸展构造的探讨[J]. 地质论评, 1997, 43(3): 232-240.
- [3] 汪洋. 燕山地区侏罗纪-白垩纪岩浆活动特征及其与造山演化的关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(4): 344-349.
- [4] 许继峰, 王人镜, 杨淑荣. 北京云蒙山花岗岩基的岩石变形及其成因[J]. 地球科学, 1994, 19(6): 806-814.
- [5] 于海峰. 辽南庄河地区夹河山韧性剪切带构造特征及其大陆动力学背景[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 392-396.
- [6] 朱大岗, 崔盛芹, 吴珍汉, 等. 北京云蒙山地区挤压-伸展体系构造特征及其岩石组构的动力学分析[J]. 地球学报, 2000, (4): 337-344.
- [7] 姬广义, 汪洋, 孙永华. 北京云蒙山岩浆杂岩体的岩石学和构造变形特征[J]. 北京地质, 2004, 3: 1-11.
- [8] 陈能松, 王人镜, 单文琅, 等. 密云杂岩西段等压冷却p-T-t 轨迹确定及地球动力学成因[J]. 地质科学, 1994, (4): 355-365.
- [9] 靳是琴, 李鸿超. 成因矿物学概论[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1986. 113-115.
- [10] Глебовицкий В А, и др. Термо-барс метрия метаморфических цорол[M]. Ленинград, 1977. 412-416.
- [11] Davis G A, 郑亚东. 变质核杂岩的定义、类型及构造背景[J]. 地质通报, 2002, 21(4-5): 185-192.
- [12] 马寅生, 崔盛芹, 曾庆利, 等. 燕山地区燕山期的挤压与伸展作用[J]. 地质通报, 2002, 21(4-5): 218-223.
- [13] 孟庆任, 胡健民, 袁选俊, 等. 中蒙边界地区晚中生代伸展盆地的结构、演化和成因[J]. 地质通报, 2002, 21(4-5): 224-231.
- [14] 王涛, 郑亚东. 中蒙边界中生代推覆-伸展递进转换及地壳尺度的切向剪切[J]. 地质通报, 2002, 21(4-5): 232-237.
- [15] 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 构造体制转折是岩石圈尺度的行为[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 973-979.
- [16] 汪洋, 邓晋福. 冀晋辽地区燕山期强过铝质侵入岩岩石化学特征及其动力学意义[J]. 地质通报, 2002, 21(4-5): 270-276.