

# 胶南地块的隆升—伸展构造

杨天南<sup>1</sup> 徐惠芬<sup>1</sup> 宋明春<sup>2</sup> 张建新<sup>1</sup>

(1. 地质矿产部地质研究所; 2. 山东省地质调查研究院)

**摘要** 岩石学及同位素地质学研究均表明,含榴辉岩的胶南地块在高温高压变质后经历过快速降压过程,这一过程在构造上表现为隆升—伸展构造。这种构造在胶南地块有两种形式:其一为地块内部的垂向缩短、水平向伸展构造,以浅色脉体的变形为特征,并反映出从深层次向浅层次的转化;另一为地块边部的正滑型构造带,可分为早期塑性变形和叠加于其上的且分布于地块外侧的晚期脆性—半脆性变形。反映运动矢量的拉伸线理走向呈放射状:北段走向近南北,中西段近东西。这是地块北西侧的变形特点,东南侧情况不明。北部正滑型剪切带中白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄表明,伸展构造的时代为  $146\text{Ma} \pm$ 。这次构造运动可能由俯冲至上地幔的大洋板块与地壳拆离造成的重力均衡所引起,其结果不仅使得大陆地壳上隆,而且还使榴辉岩从下地壳上升至地表。

## 1 引 言

自 80 年代末发现含柯石英或其假象的榴辉岩以来<sup>[1][2]</sup>,胶南地块已引起中外地质学者的广泛关注,并进行了多方面的研究,特别是在岩石学及岩石化学方面,有人认为该区榴辉岩原岩以堆积或具堆积性质的辉长岩为主,大部属科尔曼的 C 型榴辉岩<sup>[3,4,5]</sup>。对于榴辉岩的形成,大部分学者认为与华南、华北两板块的碰撞有关,并推测了其折返机制<sup>[6,7]</sup>,但由于缺乏详细的构造资料,现已提出的模式尚不完备。

陈文奇等(1992)从钾长石多重扩散域  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  热年代学角度研究了苏北—胶南地块的冷却历史,指出该区存在两个明显的快速冷却过程,即  $172 \sim 196\text{Ma}$  ( $10 \sim 40^\circ\text{C}/\text{Ma}$ ) 及  $150 \sim 123\text{Ma}$  ( $4 \sim 10^\circ\text{C}/\text{Ma}$ ),并以  $15^\circ\text{C}/\text{km}$  的地温梯度(假定)估算该区隆升速率为  $0.67 \sim 2.7\text{mm}/\text{a}$ <sup>[8]</sup>。显然,如此巨大的隆升速率及隆升量必然会引起大范围的隆升—伸展作用。

榴辉岩及围岩的  $P-T$  演化历史也表明该区在高压—超高压变质后经历了快速抬升过程<sup>[9,10,11]</sup>,本文试从构造角度详细论述胶南地体的抬升过程。

## 2 地质背景

### 2.1 大地构造位置

本文 1997-04-11 收到,1997-04-25 改回。

胶南地块为中国中央造山带——秦岭-大别-苏北-胶南造山带的东段,杨建军(1992)因其含榴辉岩而称其为苏鲁榴辉岩省<sup>[2]</sup>,由郯庐断裂与大别造山带分开。

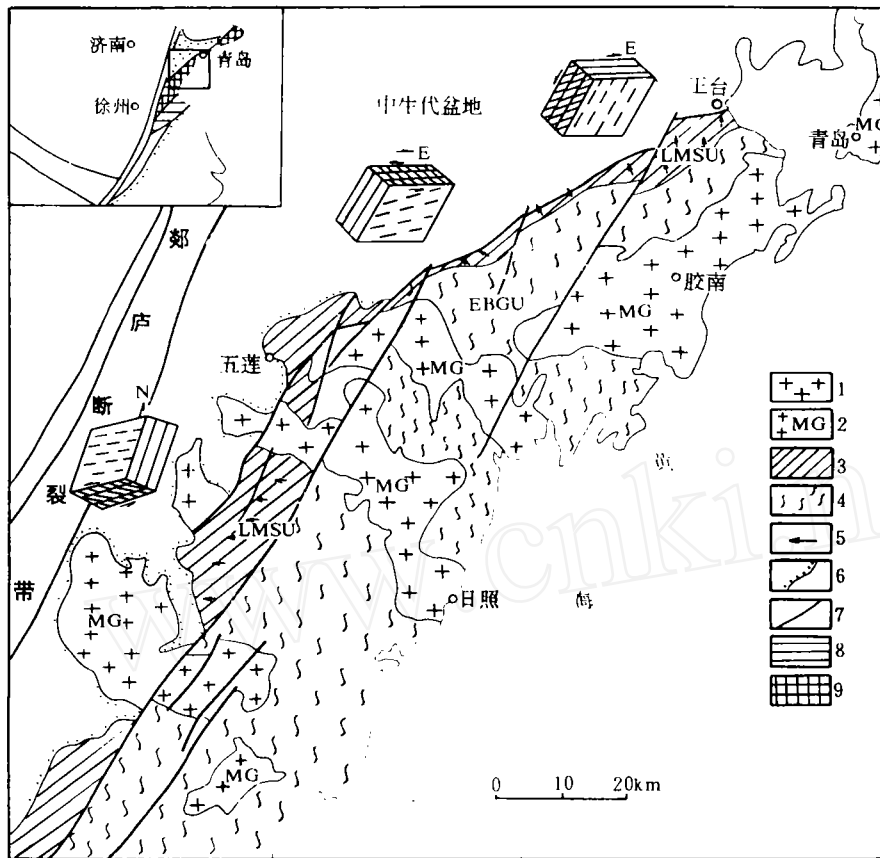


图1 胶南地块构造单元略图

Fig. 1 Sketch showing the structural units of the Jiaonan block

1—花岗岩;2—中生代花岗岩(MG);3—低级变质沉积岩(LMSU);4—含榴辉岩片麻岩(EBGU);5—拉伸线理;6—角度不整合界限;7—断层;8—扬子板块过渡性基底;  
9—华北板块南缘基底

郯庐断裂东部地区由四个构造单元组成,各单元边界如图1所示,从南而北分别为:

- (1) 扬子板块盖层:由震旦纪—二叠纪海相沉积岩组成,角度不整合于海州群之上。
- (2) 扬子板块过渡性基底:由海州群组成,内见蓝片岩<sup>[13]</sup>。
- (3) 华北板块南缘基底:由荆山群、晋宁期花岗岩及原东海群组成,为一超高压变质地体。
- (4) 华北板块基底:由早前寒武纪变质岩组成。

本文论述的范围为青岛西南的胶南地块(图1)。

## 2.2 胶南地块的变质岩石(中生代岩石除外)

胶南地块的变质岩石划分为两个单元:

下部含榴辉岩片麻岩单元(Eclogite - Bearing Gneiss Unite, 以下称 EBGU), 主要岩性为片麻岩, 包括含榴二云细粒片麻岩、石榴黑云多硅白云母二长片麻岩、石榴角闪片麻岩及石榴镁钠暗硬玉二长片麻岩等<sup>[11]</sup>。层状、透镜状榴辉岩及少量超基性岩主要夹于片麻岩中, 这些岩石呈层状, 延伸稳定, 具区域对比性, 在变质程度上与上覆地层为渐变关系。其变质特点<sup>[11]</sup>及片麻岩石榴石斑晶中柯石英假象的发现, 表明其与榴辉岩有相同的超高压变质历史。

EBGU 之上为中-浅变质地层单元(Lower - metamorphic Sediment Unit, 以下称 LMSU), 其与下伏 EBGU 间并无明显变质界限。主要岩石为黑云片岩、细粒黑云变粒岩、二云变粒岩、斜长角闪岩、绿帘阳起片岩及以不同规模(厚几百米至几十厘米)的透镜状断续存在的大理岩等。从下往上变质程度渐浅, 下部含石榴片麻岩与榴辉岩之围岩的变质程度一致, 往上至中生代盆地南界存在变质程度极浅的变质砂岩及页岩, 其间未发现不整合及大断层, 但地块边沿之正滑剪切带发育于该地层单元中(见后)。另有大量小型(厚 1~100m)透镜状变形花岗岩株存在于 LMSU 中, 其已变形成眼球状糜棱岩。在不到 10km 范围内, 变质相从榴辉岩相(约 1.5GPa, 45km)变为低绿片岩相(0.2~0.3GPa, 不足 10km), 其间存在 30 多公里的深度差, 表明有大规模的减薄-伸展作用。

### 2.3 胶南地块的变形历史

详细的野外填图及专题研究已基本揭示了该区的变形历史<sup>[15,16]</sup>。

目前大部分人认为扬子板块与华北板块的最终碰撞时代为印支期, 从印支期开始胶南地块主要经历了三次较明显的构造变形:(1)印支期的碰撞作用, 表现为胶南地块往北俯冲于华北地块之下;(2)晚印支期的大型滑脱运动, 表现为胶南地块上部单元从东往西的大型滑脱;(3)胶南地块的强烈隆升作用。后者为本文论述的重点。

## 3 胶南地块的隆升-伸展构造

胶南地块的隆升-伸展构造有两种表现形式: 地块西北缘的正滑型构造带及地块内部的垂向缩短、水平向伸展构造。

### 3.1 胶南地块西北缘的正滑型构造带

正滑型构造带沿胶南地块西北缘的黄墩-五莲-王台一线分布, 呈凸向 NW 的弧形, 西部被郯庐断裂切断, 东部没入胶州湾, 北部被五莲-威海断裂破坏, 全长 170km。各处出露宽度不等, 最宽达 10km, 平均 3km。

该带位于胶南地块上部单元(变质沉积岩 LMSU 及其中的侵入体)和下部单元之顶部等部位(图 1), 表现为 SL 糜棱岩、顺层剪切形成的流动褶皱、A 型褶皱、鞘褶皱, 以及叠加于塑性变形之上的大量脆性-半脆性构造, 如 B 型褶皱、收缩性褶皱、脆性断裂等。根据主要变形方式及特点可将该带分为两个亚带: ①分布于整个构造带且以 SL 糜棱岩及流动褶皱为特征的深层次变形亚带, 如图 2 中的 DB; ②北部叠加于塑性变形之上且以褶皱-断裂组合为特征的脆性-半脆性亚带, 如图 2 中的 B-SB。该构造带北部被后期脆性构造破坏, 各段出露情况不同, 其中王台地区出露较为完整(图 2)。

#### 3.1.1 正滑型构造带塑性变形亚带

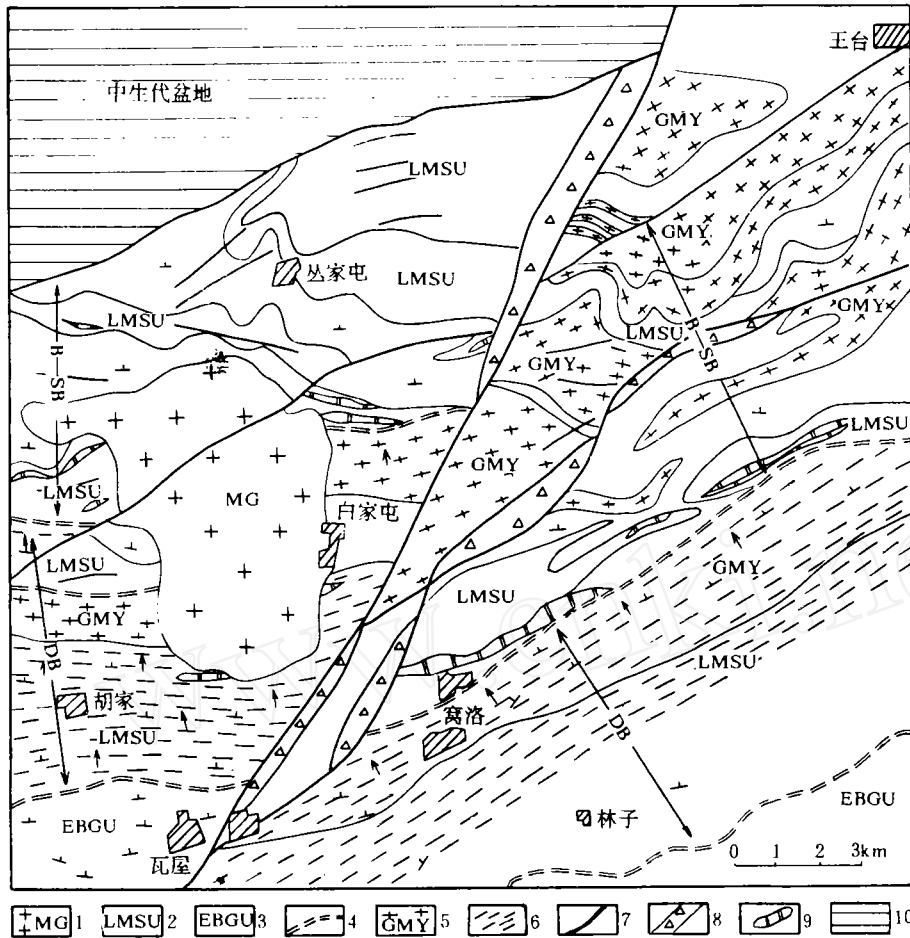


图2 胶南王台地区地质略图

Fig. 2 Geological sketch of the Wangtai area in Jiaonan

B-SB—脆性-半脆性变形亚带; DB—塑性变形亚带

- 1—中生代花岗岩(MG); 2—变质沉积岩(LMSU); 3—含榴辉岩片麻岩(EBGU); 4—变形亚带界线; 5—糜棱岩化花岗岩及花岗质糜棱岩(GMY); 6—糜棱岩-超糜棱岩; 7—脆性断层; 8—断层角砾岩; 9—大理岩; 10—中生代盆地

(1) 变形特点: 塑性变形亚带的宽度及分布与整个构造带一致, 由花岗岩、斜长角闪岩等块状岩石的糜棱岩化及层状岩石的顺层剪切所显示, 表现为SL型糜棱岩、顺层剪切褶皱、S-C组构等。糜棱面理、拉伸线理极发育, 面理由长石、石英等矿物的压扁面及片状矿物(云母为主)的定向排列显示, 拉伸线理则由石英的拉长、层状能干层的拉断及面理上片状矿物的定向排列而成, 图3中的投影为该区不同区段的线理、面理统计图。该带不同区段的线理、面理产状不同, 东段面理倾向北, 线理亦倾向北( $330^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ), 表现为倾向线理; 中段面理倾向NNW, 线理倾向NWW( $290^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ), 表现为近走向线理; 西段较为复杂, 面理倾向多变, 倾角较小, 总体走向近南北, 拉伸线理走向近东西( $250^{\circ}\sim 290^{\circ}$ ), 大致为走

向线理。从图 2、3 可知,该带各段面理、线理产状虽然不同,但仍为渐变关系。这种面理、线理产状特点反映了较为复杂的动力变形特征。

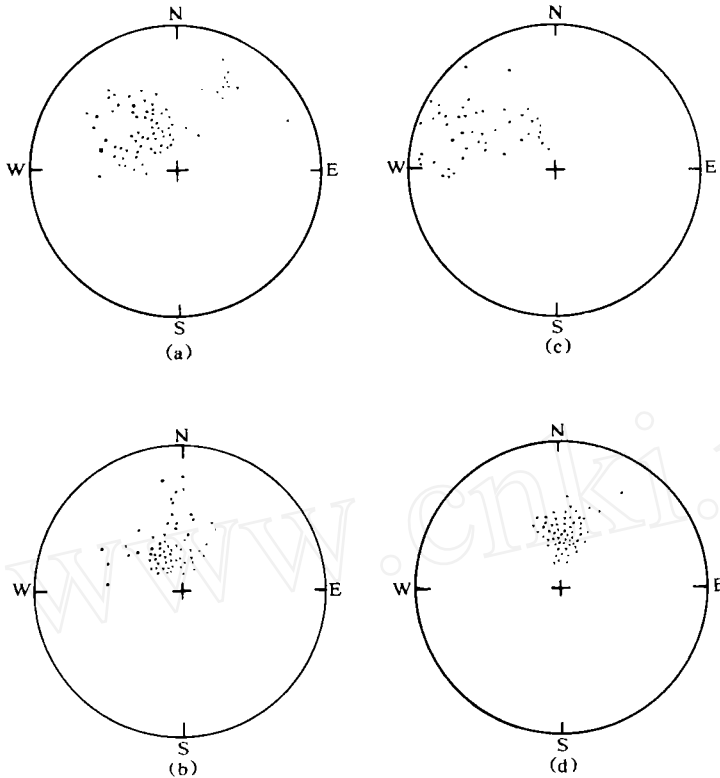


图 3 正滑型剪切带糜棱面理、拉伸线理的吴氏网下半球投影

Fig. 3 Wulff net lower-hemisphere projection of mylonite foliation and stretch lineation of the normal-slip shear zone.

(a) 东区拉伸线理; (b) 东区糜棱面理; (c) 中区拉伸线理; (d) 中区糜棱面理

(2) 运动方向: 拉伸线理方向反映岩石变形运动矢量在面理上的分量方向, 因而该带东段变形矢量近南北, 中段及西段近东西, 其间为渐变过渡关系。沿拉伸线理方向之剖面上有许多构造现象可反映其运动方向, 张长厚等(1993)曾论述过该带中段桃园一带的运动特征, 并认为属左行下滑性质<sup>[14]</sup>, 我们的观察结果与之相同。综合野外大部分构造现象可知, 东段运动方式为上盘从南往北正滑, 中段左行正滑, 西段为上盘从东往西正滑, 从而形成上盘向北西方向的反射状伸展格局。该带长英质糜棱岩石英 C-轴组构也反映这种情况(图 4)。

### 3.1.2 中-浅层次变形亚带

该亚带叠加于前述塑性变形亚带北部, 其出露情况不完全相同, 东、西两段出露较好, 中段已基本被脆性断裂破坏。

该带表现为大量的小型脆性—半脆性断裂构造及断裂—褶皱构造组合,这些断裂大多沿早期不同岩性界面发育,并在其上、下岩层中形成一些枢纽与滑动方向一致的收缩型褶皱(图5)。

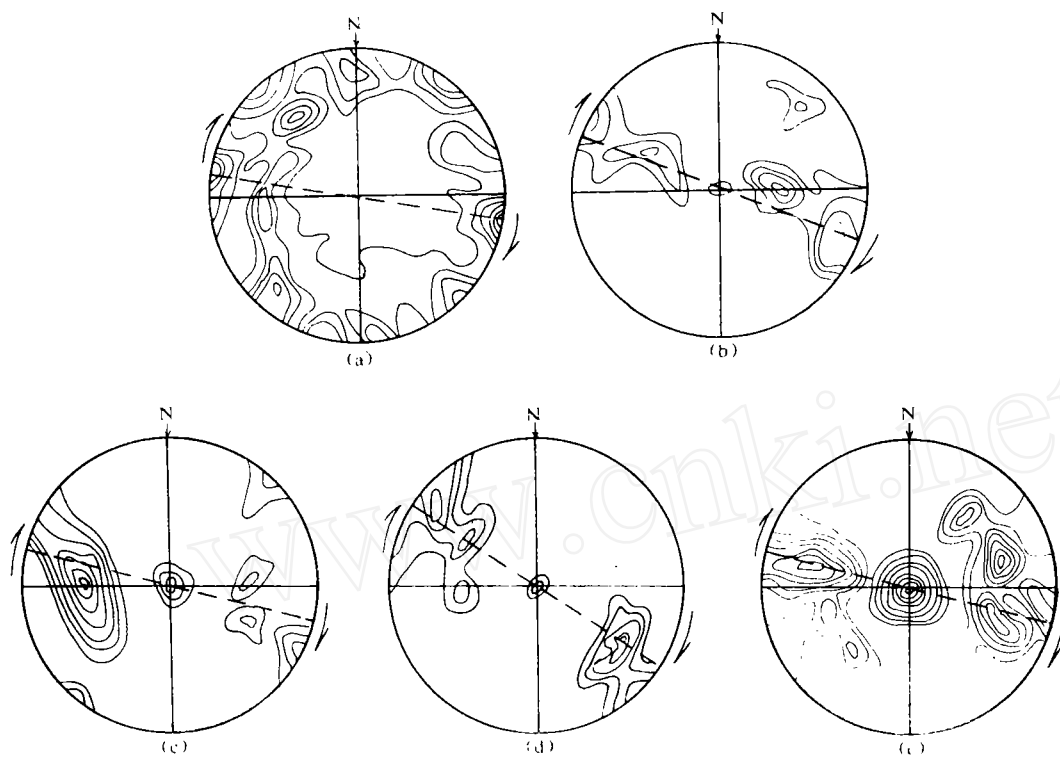


图4 塑性变形亚带中的石英C-轴组构

Fig. 4 C-axes fabric of quartz in the plastic deformation subzone

(a)、(b)—桃园地区; (c)、(d)、(e)—王台地区

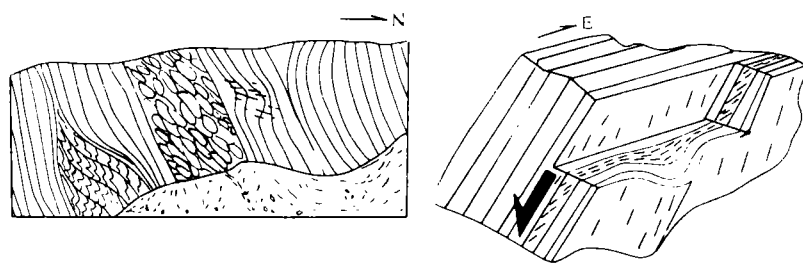


图5 脆性—半脆性亚带中的断裂—褶皱构造组合

Fig. 5 Fault—fold structure combination in the brittle—semi—brittle subzone

该亚带断面产状不尽一致,其走向总体近东西,倾向北,擦痕近南北,几乎所有构造特征均表明上盘向北正滑。

构造带西段的半脆性-脆性构造特点与王台地区一致,只是断面倾向西,运动方式为上盘从东往西下滑。

### 3.2 胶南地块内部的隆升-伸展构造

胶南地块周缘正滑型变形带的变形强度从地块边缘往地块中心变弱,但不如西北部正滑型构造带表现明显。地块内部隆升-伸展构造不呈带状,而是较均匀地分布于片麻岩中,并由其中的脉体变形显示出来。

胶南地块下部含榴辉岩片麻岩单元曾经历过高级变质作用及强烈的混合岩化,并引起大量浅色脉体贯入,主要有长英质伟晶岩脉及石英脉两种脉体。前者以长石、石英为主,偶含帘石;后者为较纯之石英。在野外发现石英脉穿过伟晶岩脉。两种脉体在岩石中没有定向性,因而不同产状之脉体能较好地反映变形时的应力状况。

不同产状之脉体具不同变形特点:近水平脉体表现为对称或近对称的透镜状,反映近水平的伸展作用;近铅直脉体为轴面近水平的褶皱,其形态取决于褶皱包络面与水平面的夹角(脉体初始产状),即越近垂直,对称程度越高(图 6-a);在不同方向之断面上,其变形均如此,从而较好地反映了近铅直方向的挤压作用。两种产状之伟晶岩脉的不同变形特点正好反映了隆升引起的垂向挤压、水平向伸展作用。图 6-b 中的石英脉顺片麻理产出,近水平,变形表现为被 X 型节理切断而形成的菱形块体,块体间的错动表明最大主压应力方向垂直片麻理,即垂直脉体。石英脉变形所反映的最大主压应力也近铅直。

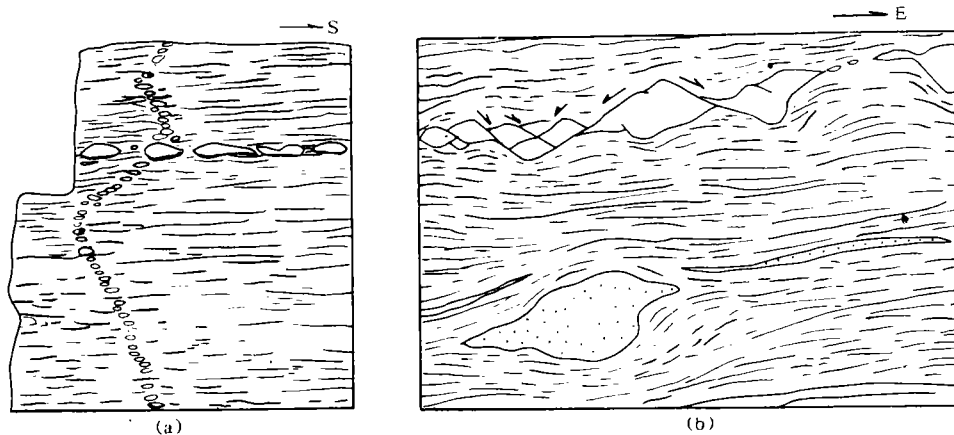


图 6 不同产状浅色脉体之变形特点(阿乐子南)

Fig. 6 Deformation characteristics of light color veins with different occurrences (south of A'lezi)

(a)伟晶脉的近水平向伸展及近垂向褶皱;(b)石英脉的 X 型节理

图 6-b 下部有一因缩颈而拉断的伟晶岩脉,其中长石已发生塑性变形,变形温度条件大于 450℃,显然高于石英脆性变形温度(小于 300℃),因而伟晶岩脉变形层次应深于石英脉。两种不同层次的变形构造出露于同一露头上,直接反映了该区岩石从深层次到浅

层次的转化,即构造抬升。

## 4 伸展构造的动力学特点及意义

### 4.1 动力学分析

从变形特点看,胶南地块边部的伸展构造与其内部相比,具有不同的表现方式。其边部以正滑为主,变形方式为简单剪切,引起变形的构造应力为剪切力;而地块内部变形则表现为脉体的垂向收缩、近水平向伸展,属较典型的纯剪变形,为铅垂向挤压应力作用的结果。

值得一提的是正滑型变形带的纵向变形。该带变形以放射状伸展为主,但同时存在沿变形带走向的纵向收缩或伸展,王台地区广泛发育的收缩型褶皱即是纵向收缩造成的,而五莲地区的小型中生代盆地则表明其为纵向伸展的结果。

前已述及,地块内部引起隆升-伸展作用的主压应力为铅直方向,地块西北缘正滑型构造带早期变形的最大主压应力方向亦与片麻理垂直。正是这种近铅直的、从下往上的最大主压应力与重力的共同作用,才引起了地块的隆升及其边缘的下滑。但这种应力状况是难以用剥蚀引起的重力均衡予以解释的,因此,该区隆升-伸展的动力应源自下地壳或地幔,可能是俯冲到上地幔的大洋板块与大陆地壳发生拆离,较轻的大陆地块受浮力而上隆的结果。其模式可概括为:

(1)胶南地块由于俯冲作用而处于下地壳或上地幔的位置,在较重的大洋岩石尚未与之分离(拆离)前,它还能保持这个位置。两者一经分离,较轻的胶南地块在重力均衡作用下必然会上浮而隆升,同时,地块内部岩石发生纯剪变形,形成一些垂向挤压、水平向伸展构造。当隆升到一定高度,地块边部岩石将在重力作用下发生下滑,形成正滑型塑性构造带,而当隆升到离地表约10km处(脆性-塑性转化深度),这些构造变形将由于应力释放而停止。

(2)上隆持续进行,再一次发生重力积累,到一定程度岩块将再次下滑,形成脆性正滑断裂及收缩型褶皱,并将地块

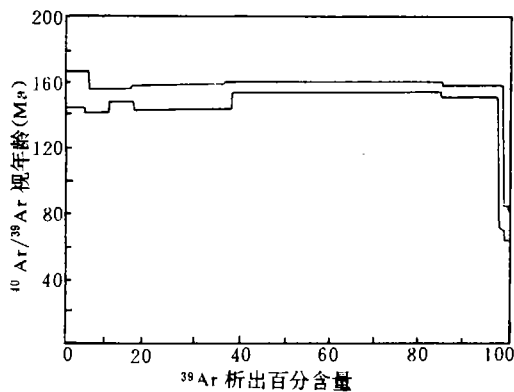


图7 诸城桃园花岗质糜棱岩中的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱

Fig. 7  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectrum of muscovite taken from the granitic mylonite in Taoyuan, Zhucheng

推至近地表。此时胶莱盆地开始形成。

#### 4.2 隆升-伸展变形的地质时代及构造意义

(1)地质时代:采自正滑型构造带塑性变形亚带的花岗质糜棱岩(原岩为花岗岩)样品,分选出变形过程(或稍后)形成的白云母进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 分析,其坪年龄为146Ma(图7)。因而塑性正滑型变形带大致形成于146Ma前后。宋明春等在进行1:5万胶南、王台幅区调时,于王台西南正滑型变形带中也采集了相同的样品,用同样的方法进行分析,获得坪年龄153Ma的结果,二者非常接近。正滑型脆性-半脆性变形带的形成时代与胶莱盆地大致相当,为晚侏罗世或早白垩世。

(2)构造意义:胶南地块曾下插至下地壳乃至上地幔,并经历了高压-超高压变质作用,但其折返机制却是困扰地质学家的一个难题。本文论述的隆升-伸展构造及其变形作用,对超高压变质地块从下地壳上升至地表的动力学条件进行了探讨,从而部分回答了胶南地块榴辉岩的折返机制问题。

### 参 考 文 献

- 1 Enami M, Zang Q. Quartz pseudomorph after coesite in eclogite from Shandong province, east China. *Am. mineral*, 1992, 75: 381-386.
- 2 Hirajima T, Ishiwatari A, Cong B, Zhang R, Banno S, Nozaka T. Coesite from Mengzhong eclogite at Donghai County, northeastern Jiangsu province, China. *Mineral. Mag*, 1990, 54: 579-583.
- 3 张希道, 陈允福, 王桂枝. 鲁东南莒县一带榴辉岩的特征. *岩石学报*, 1992, 8(1): 40-49.
- 4 叶凯, 徐平. 山东荣成大坛榴辉岩成因岩石学研究. *岩石学报*, 1992, 8(2): 27-39.
- 5 Zhang R, Hirajima T, Banno S, Cong B, Liou J G. Petrology of ultrahigh-pressure rocks from the southern Su-Lu region, eastern China. *J. metamorphic Geol*, 1995, 13: 659-675.
- 6 王清晨, 张儒瑗, 从柏林等. 鲁东-苏北榴辉岩的构造特征及其折返机制. *岩石学报*, 1992, 8(2): 153-160.
- 7 Shigenori Maruyama, Liou J G and Ruyuan Zhang. Tectonic evolution of the ultrahigh-pressure(UHP) and high-pressure(HP)metamorphic belts from central China the Island Arc, 1994, 3: 112-121.
- 8 陈文寄, Harrison T M H, Heizler M T 等. 苏北-胶南构造混杂岩带冷却历史的多重扩散域 Ar-Ar 热年代学研究. *岩石学报*, 8(1): 1-17.
- 9 Wang Q, Ishiwatari A, Zhao Z, Hirajima T, Hiramatsu N, et al. Coesite-bearing granulite retrograded from eclogite in Weihai, eastern China. *Eur. J. Mineral*, 1994, 5: 141-152.
- 10 Zhang R, Hirajima T, Banno S, Cong B, Liou J G. Petrology of ultrahigh-pressure rocks from the southern Su-Lu region, eastern China. *J. metamorphic Geol*, 13: 659-675.
- 11 苏尚国, 王仁民, 顾德林, 赖兴运. 山东诸城地区胶南群榴辉岩围岩高压变质作用特征. *现代地质*, 1994, 8(1): 65-71.
- 12 杨建军. 苏鲁榴辉岩及其有关超基性岩. 北京:地质出版社, 1991.
- 13 江苏省地质矿产局. 江苏省区域地质志. 北京:地质出版社, 1987.
- 14 张长厚, 顾德林, 宋鸿林等. 胶南隆起北缘中段大型左行正滑型韧性剪切带研究. *现代地质*, 1993, 7(4): 435-443.
- 15 杨天南. 胶南地区的韧性剪切带. 见许志琴等著:中国主要造山带的韧性剪切带研究. 北京:地质出版社, 1997(排印中).
- 16 Yang Tiannan, Xu Huifen, Zhang Jianxin, Song Mingchun. The deformational history of Jiaonan area, *Continental Dynamics*, 1997, 3(in press).

## UPLIFT – EXTENSION STRUCTURE OF THE JIAONAN BLOCK

Yang Tiannan<sup>1</sup>, Xu Huifen<sup>1</sup>, Song Mingchun<sup>2</sup> and Zhang Jianxin<sup>1</sup>

(1. *Geological Institute of the Ministry of Geology and Mineral Resources*)

(2. *Shandong Geological Survey Institute*)

### Abstract

Studies of petrology and isotope geology have shown that the eclogite-bearing Jiaonan block has experienced a rapid decompression after its high-temperature and pressure metamorphic process, as reflected by a uplift-extension structure. This uplift-extension structure takes two forms in the Jiaonan block. One is vertical shortening and horizontal extension structure in the internal block and characterised by the deformation of light veins, reflecting the inversion from deep level to shallow level as well. Another is a normal slip structure on the margin of the block which consists of the plastic deformation in the early period and the superimposed brittle-semi-brittle deformation distributed in the outer zone of the block in the late period. The strikes of stretch lineations which reflect the movement vectors show a radiation pattern; they are in NS direction nearly in the north part and nearly EW direction in the central and west parts. This is the deformational characteristic in the north-west part of the block. As to the south-east, the situation is unclear. According to the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau age of muscovite taken from the normal-slip shear zone in the north, the age of the stretching structure is  $146\text{Ma} \pm$ . This tectonic movement may be caused by the gravitational isostasy which has been resulted from the detachment of the oceanic plate subducted into the upper mantle from the crust. This has resulted not only the uplift of the continental crust, but also the rise of eclogites from the lower crust to the surface.