

苏鲁超高压变质地块的回返历史

——苏鲁超高压带北界的构造变形与时限

杨天南¹⁾ 陈文¹⁾ 李锦轶¹⁾ 许志琴¹⁾ 殷秀兰¹⁾ 徐文华²⁾

1) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037; 2) 河北省地质矿产局第三地质调查大队,张家口,075000

内容提要 苏鲁超高压变质地块回返过程中,在其北缘形成伸展型正滑构造带。详细的野外考察发现两期伸展型变形:早期为高温下的强烈塑性变形,形成宽达2km的糜棱岩带,长石、石英等矿物被压扁、拉长成长条带状。糜棱岩的递进变形形成收缩褶皱,沿这类褶皱的轴面劈理形成白云母。晚期伸展变形表现为张性破裂,大量的伟晶岩脉沿破裂面灌入,形成位于超高压变质地块北缘的伟晶岩富集带。糜棱岩内、伟晶岩脉富集带内的白云母、钾长石矿物的K-Ar及Ar-Ar测年分析显示,早期伸展变形发生在150Ma之前,而晚期伸展变形发生在100~120Ma左右。

关键词 超高压带回返 早期塑性伸展 晚期脆性伸展 K-Ar测年 Ar-Ar测年 江苏 山东

苏鲁超高压带是横亘中国中部的秦岭—大别—苏鲁碰撞造山带的东延部分,与大别超高压带间被郯庐断裂错开,已有充分证据显示其形成于中国南北两大板块间的大陆深俯冲作用(Conget al., 1994)。由于其所包含的丰富大陆动力学信息,虽已成为研究热点达十余年之久,但目前仍是地学研究热点之一。

经过最近十余年广泛而深入的研究,对于苏鲁超高压带的岩石学、岩石化学、同位素年代学等已取得大量资料(Wang et al., 1995);但以详细区域性调查为主要手段的构造学研究却很少,致使需要高度综合资料的超高压地体折返模式及过程仍处于未定阶段,同时也使有些岩石学或年代学数据的合理解释产生困难。

已有的研究表明,苏鲁超高压带的折返是一个复杂的过程。榴辉岩的 PTt 轨迹显示,早期为一个快速近等温降压过程,常见麻粒岩相叠加变质(Wang et al., 1994; Yao et al., 2000; Nakamura et al., 2000)。晚期为一个降温、降压过程,普遍的绿帘角闪岩相、高角闪岩相叠加变质发生于晚期折返过程中。杨天南等(1997)已概略论述过胶南榴辉岩折返的机制主要为隆升-伸展变形。经过局部地区详细的1:1万地质调查,结合区域地质资料,我们发现,隆升-伸展变形可以分成变形特点不同的两期。本文将

论述这两期隆升-伸展构造的特点,并运用同位素年代学方法确定其时代。

1 区域地质

1.1 岩石组成

大体而言,胶东半岛地区由3个岩石构造单元组成:胶北变质地块、苏鲁超高压变质地块以及叠加在这两个地块之上的中生代胶莱盆地。以往一直认为胶莱盆地是一个开口向西的三角形盆地,但最新的编图资料^①显示,该盆地为一北东东向的近长方形盆地,其四周发育大量放射状分支。显然,这是一个在近垂向最大主压应力作用下形成的伸展盆地(图1)。胶北变质地块与胶南超高压地块具有复杂的岩石组成(山东省地质矿产局,1991)。由于高压、超高压变质岩主要通过某些标志性矿物确定,而除了基性岩外,其他岩石较难保存这些标志性矿物,虽然已在部分片麻岩锆石中发现柯石英(Ye et al., 2001),苏鲁地区高压、超高压带的确切范围难以确定,因而,目前一般把五莲—王台—即墨—烟台(威海)脆性断裂视为苏鲁超高压带的北界。

1:5万区域地质调查显示,五莲—烟台断裂以南的苏鲁地块由两部分组成:上部主要由荆山群(粉子山群)变质岩(变质碎屑岩、大理岩、斜长角闪岩等)组成,有大量晋宁期花岗岩侵入(表现为眼球状

收稿日期:2002-01-02;改回日期:2002-04-22;责任编辑:郝粹园。

作者简介:杨天南,1966年生,在读博士,现为中国地质科学院地质研究所副研究员。主要从事超高压带变形、变质作用研究。通讯地址:100037,北京百万庄26号,中国地质科学院地质研究所。

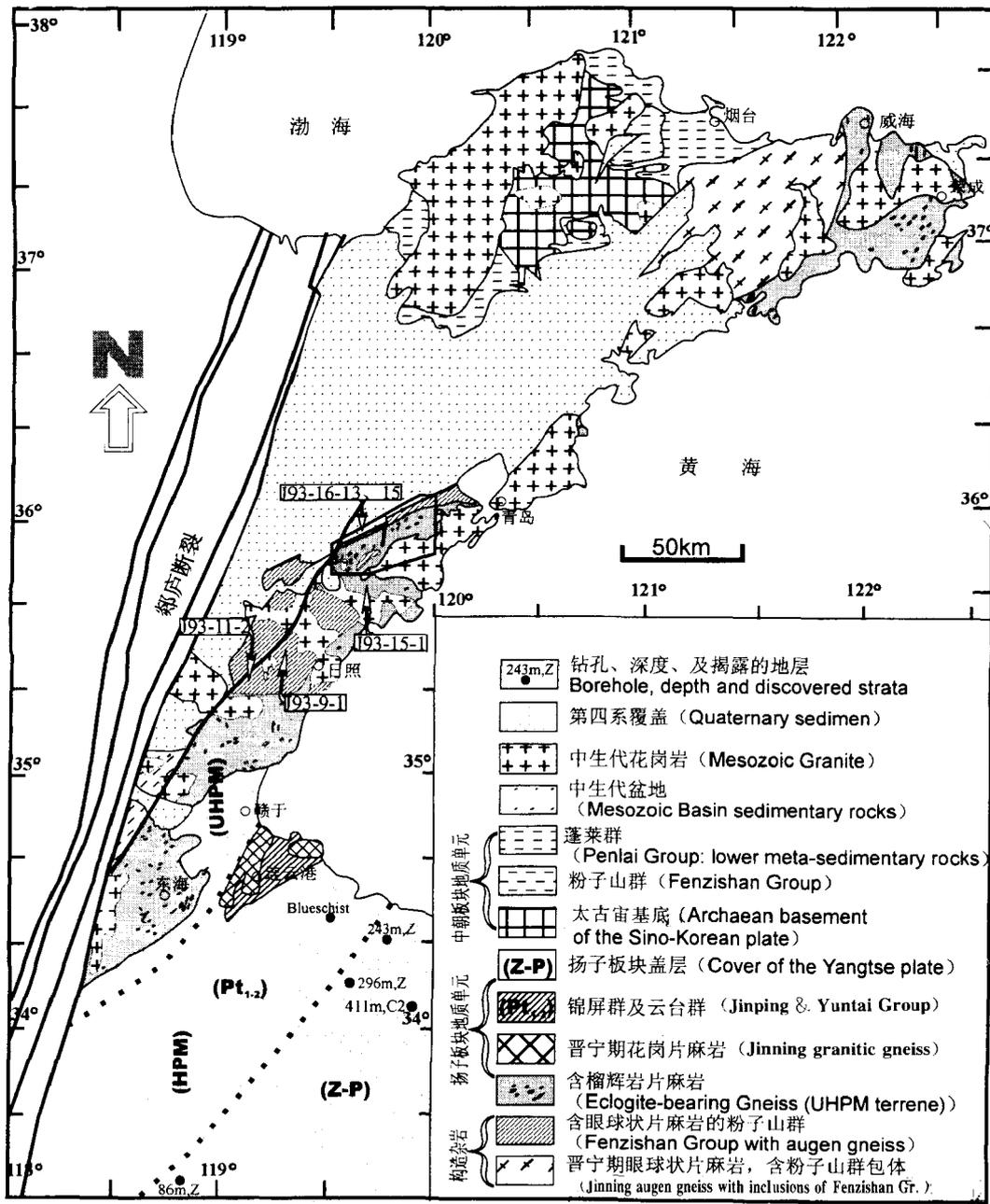


图1 苏鲁地区区域地质图

Fig. 1 Geological map of the Sulu area(north Jiangsu - south Shandong area)

片麻岩)。在花岗岩边部,部分灰岩或泥灰岩变质形成透辉大理岩、橄榄大理岩及透辉石岩等。该带变形十分复杂,包含多期变形;变质作用不均匀,局部出现麻粒岩相变质,但又常见基本未变质的砂岩,从而表现出明显的构造混杂特点,可能为混杂堆积带。

下部为超高压变质岩块,分布于东起山东荣城,西至江苏东海的广大范围。对其岩石组成已有很多描述。1:1万填图表明,在胶南地区,超高压变质地块

主要由两套岩石组成:①层状变质沉积岩,露头表现为中—薄层状粗粒片麻岩夹云母片岩类,主要由石英、斜长石、白云母组成,常见粒径达1mm的石榴子石斑晶,副矿物以榍石、锆石为主,见磷灰石。这套层状变质岩内常见大理岩夹层或透镜体。这套岩石中包含大量透镜状断续排列的榴辉岩体,为主要的榴辉岩载体。②变形变质花岗岩,露头表现为巨厚层状、块状粗粒片麻岩,往往形成正地形。主要由石

英、斜长石、钾长石组成,含角闪石、巨晶石榴子石、白云母等。副矿物以黄铁矿、榍石、锆石为主。这套岩石中也有榴辉岩包体,含量较少(图2)。

这两套含榴辉岩片麻岩中的锆石中均包含大量柯石英包裹体,表明其与榴辉岩一起整体经历了超高压变质作用(Ye et al., 2000, 2001)。

1.2 总体变形特点

不同比例尺的区域地质调查显示,苏鲁超高压变质地块经历过十分复杂的变形历史。杨天南等(Yang et al., 1997)曾论述过胶南地区的变形历史,划分出了3期主要变形:早期为胶南地块向北的俯冲作用,表现为大量面向北的紧闭倒转褶皱及上盘向南的韧性逆冲剪切带;中期为上盘从东往西的韧性滑脱变形,与滑脱变形相伴,岩石局部熔融形成大量伟晶岩脉;晚期为隆升-伸展变形。根据现有资料,上述变形历史的认识是不完备的,在早期变形之后,近东西向滑脱之前,胶南超高压带还经历过一次近南北向的挤压变形(图2)。晚期的隆升-伸展作用也可细分为两期,其表现形式不完全相同。本文将细述隆升-伸展变形的特点及时代,详细的变形历史将另文论述。

2 隆升-伸展构造的早期表现

2.1 超高压变质地块北侧的正滑型韧性变形带

该变形带发育于造山带北西缘,在各地段发育不均匀,最明显地段为诸城石门—胶南王台地段(图

2)。在该地段,正滑型韧性剪切带宽度超过2km,北部被五莲—烟台脆性断裂(石门—王台段)切过。

该剪切带主体位于混杂带内。粉子山群变质沉积岩的变形表现为强烈的上盘顺层向北滑动,形成S-C组构(图版 I-a),倒向北的拖曳褶皱(图版 I-b)等。

混杂带内的花岗岩变形表现为强烈的糜棱岩化,形成糜棱岩、超糜棱岩。石英被拉长成细条带状;长石常成残斑(图版 I-c),有时被搓碎,形成细粒条带,绿帘石化明显。在露头上,拉伸线理比面理明显,局部表现为L型糜棱岩(图版 I-g)。露头级及显微级的不对称构造,如 σ 型、 δ 型残斑拖尾、S-C组构等均显示上盘从南(东)往北(西)的正滑。

从花岗岩的变形特点看,不同部位的变形强度存在差别。在桃园、石门地区,花岗岩的变形主要表现为眼球状糜棱岩,矿物被拉长成条带状,但初始矿物或矿物几何体的边界仍十分清楚。在王台地区,花岗岩的变形形成一条宽达1km的超糜棱岩带,带内岩石已成均匀的层状,由极细粒矿物组成,包含小型透镜状眼球状糜棱岩,其与层状超糜棱岩渐变过渡。

镜下观察发现,超糜棱岩主要由极细粒的动态重结晶颗粒组成,局部见长石残斑(含量很少)。在超糜棱岩中,含水矿物极少(几乎未见)。超糜棱岩形成后的递进变形作用使略早形成的糜棱岩面理发生弯曲,形成收缩型A型褶皱(图版 I-h)。在规模较大的收缩型褶皱(图版 I-d)的核部,出现破劈理,沿劈

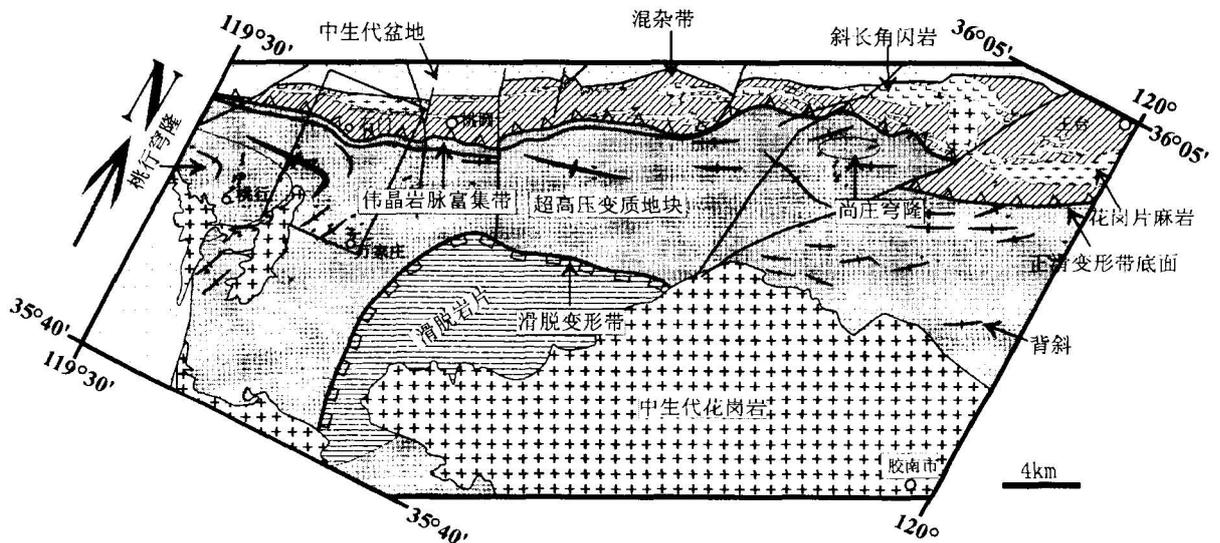


图2 石门—王台地区地质图(据1:50000石门幅、理务关幅、胶南幅、王台幅缩编)

Fig. 2 Geological map of Shimen-Wangtai area

理面形成平行排列的白云母。这些白云母没有参与变形,是变形最后阶段形成的。这种特点表明,早期的伸展变形并没有大量流体的进入,只有在晚期,当超高压地块折返到较浅部位后才有流体进入,形成白云母。

如果假定这期变形是由于超高压变质地块的上升运动引起的,即位于南部(滑脱带下盘)的岩石主动上升(多半应该如此!),而上盘岩石不动或被动牵引,则上述正滑型强变形带的变形不均匀性应该指示超高压地块回返速率的不均匀。

上述推断的一个佐证是正滑型强变形带以南的超高压变质地块内片麻理的展布形式(图2)。在王台以南的尚庄地区,片麻岩之片麻理环型展布,从而显示为一个穹隆构造。在石门以西的桃行地区,片麻理也成环型分布,显示出另一个穹隆构造(桃行穹隆)。石门、桃园位于上述两个穹隆之间,复背形下凹部分的北缘。该区的正滑型强变形带变形程度稍弱,没有发现超糜棱岩,递进变形没有形成收缩型褶皱,但也有白云母沿糜棱岩面理形成。

2.2 超高压变质带内部的早期伸展变形

超高压带内部也有大量指示最大主压应力近垂直的变形构造。

隆升-伸展过程中形成的伟晶岩脉的垂向缩短、水平伸展构造已被描述(杨天南等的图6,1997)。这类构造发育于较均匀的片麻岩中,均匀片麻岩本身的伸展型变形难以观察。对于近水平展布(层间岩石力学性质相近)的成层岩石而言,形成于近垂直最大主压应力作用下的构造变形也是较难鉴别的。在近垂向最大主压应力作用下,只有在早期面状构造近直立的部位才能出现易于鉴别的构造形迹。因而在全区范围内,除伟晶岩脉的变形外,反映近垂向最大主压应力作用下形成的构造现象并不常见。

王台以南的复背形核部地区(尚庄穹隆),早期片麻理在南北向挤压作用下形成近直立的极紧闭褶皱,因而在隆升-伸展前片麻理近直立。在该区,片麻岩中发育大量X型膝折构造。两个膝折面斜交,钝角对角线近直立,形成平卧的箱式褶皱(图版1-e)。这是典型的垂向最大主压应力作用下形成的膝折构造。

3 隆升-伸展构造的晚期表现

这期变形并不发育在通常认为的苏鲁超高压带的北缘,即五莲-烟台断裂上,而是发育在超高压地块与构造混杂带的交界附近的超高压变质地块内。

表现为一条宽达0.5~2km的伟晶岩脉富集带,发育大量密集平行排列的伟晶岩脉(图版1-f)。局部地段,在500m范围内可见多达10条宽约20m的伟晶岩脉。这些脉体切过片麻理,与片麻岩具有截然的侵入关系。在伟晶岩脉间的片麻岩中出现大量粗粒白云母,这些白云母定向性较差,应是热液作用下与伟晶岩脉同时形成。该伟晶岩脉带南侧边界为一条张性正断层,局部发育超过50m宽的破碎带(图2)。

这条伟晶岩脉富集带在诸城石门-桃园一带最为发育,往东逐渐变窄,至王台一带消失,代之以一条正滑型断层,该断层位于超高压变质地块与混杂带之间,强烈韧性正滑带的底部。伟晶岩脉富集带往西也逐渐变窄,五莲以东被张性断层代替。最宽处位于石门以东约2~4km处。因而该带总体显示为一个中间宽、两边窄的透镜状。该透镜状伟晶岩脉富集带平面展布凸向南,位于胶南复背形北侧,桃行穹隆与尚庄穹隆之间(图2)。这些特点表明桃行穹隆与尚庄穹隆形成于伟晶岩脉富集带之前。伟晶岩脉富集带形成时整个超高压变质地块已经固结,形成一个刚性块体。当这个刚性块体总体上升时,在凹进的边界部位形成局部拉张应力场,伟晶岩脉沿张性裂隙侵入。

4 隆升-伸展的时代

我们选取了韧性剪切带及伟晶岩脉富集带内片麻岩中的白云母、钾长石等矿物,分别进行了钾氩稀释法、氩氩法测年。采样位置见图1。

K-Ar及Ar-Ar测年分析在国土资源部同位素地质开放研究实验室进行。用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年的矿物(纯度>99%)用超声波清洗后被封进石英瓶中送核反应接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池核”B5孔道中进行的,中子流密度为 $7.6 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,照射总时间为55h,积分中子通量为 $1.5 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$;同期接受中子照射的还有用做监控样的ZBH-25黑云母国内标准样。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,质谱分析是在MM-1200B质谱计上进行的。所有的数据都经过质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。 ^{40}K 衰变常数 $=5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$;年龄误差以 2σ 给出。详细的实验流程见陈文等人的文章(陈文等,1994;Chen et al., 1996)。

(1)早期隆升-伸展变形:正滑型强变形带的年龄:样品J93-16-13采自石门北东约4km,曙光村西,正滑型强变形带内花岗质L型糜棱岩。选取白云母

做⁴⁰Ar/³⁹Ar阶段升温年龄测定。结果见表1和图3、4。在10个阶段中,总气体年龄为145.2 Ma。600~1000℃区间的5个阶段给出了一个平坦的年龄坪,坪年龄为146.7±0.9Ma,对应了89%的³⁹Ar析出量。相应的⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar等时线年龄为148.7±2.6Ma(MSWD=0.39),但⁴⁰Ar/³⁶Ar初始比值偏低(197)。等时线年龄和坪年龄在误差范围内完全一致,记录了强韧性变形事件的晚期时代。

样品J93-15-1取自梭罗树超基性岩西界,正滑型强变形带内的片麻岩中。选取斜长石做钾-氩稀释法年龄测定,所得年龄为153.8±3.1Ma。另外,宋明春等^①也用白云母进行了氩-氩法分析,时代为152Ma。结合白云母形成于塑性变形晚期,这些结果表明正滑型强变形带形成的时代上限为150Ma±。

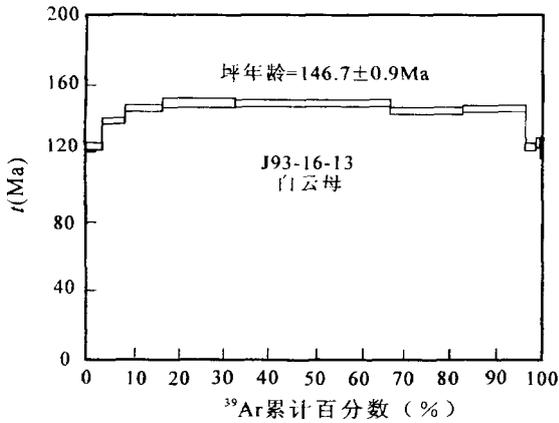


图3 J93-16-13 白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱图
Fig. 3 ³⁹Ar-⁴⁰Ar age spectrum of J93-16-13, muscovite

(2)晚期隆升-伸展变形:伟晶岩脉富集带的形成时代:在该变形带内取了3个样品做年龄测定,结

果见表2。

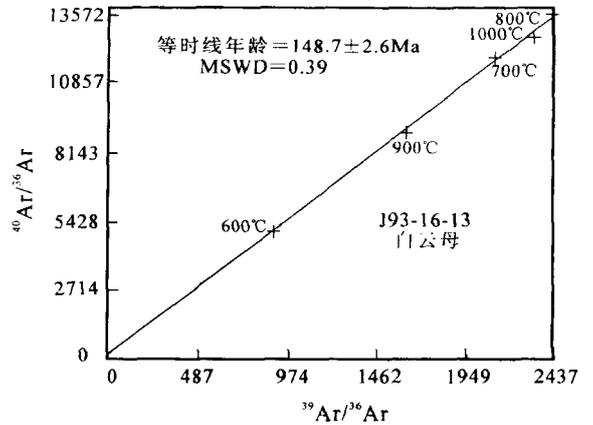


图4 J93-16-13 白云母³⁹Ar/³⁶Ar和⁴⁰Ar/³⁶Ar等时线
Fig. 4 ³⁹Ar/³⁶Ar vs. ⁴⁰Ar/³⁶Ar isochronal diagram of J93-16-13, muscovite

样品J93-16-15取自石门以东约4km处,曙光村南约3km的伟晶岩脉富集带内的片麻岩,选取片麻岩中粗粒白云母做钾氩稀释法年龄测定,所得年龄为120.6±1.8Ma。

样品J93-11-2取自日照以西黄墩镇附近伟晶岩脉富集带内的眼球状片麻岩,选取片麻岩中粗粒白云母做钾氩稀释法年龄测定,所得年龄为121.8±1.9Ma。

在五莲南东小卜落固附近正滑型强变形带南侧,有一条糜棱岩带。样品J93-9-1取自糜棱岩带中的伟晶岩。选取钾长石做钾氩稀释法年龄测定,所得年龄为103.2±1.8Ma。上述年龄数据表明,代表晚期隆升-伸展变形的伟晶岩脉形成时代应该在100~120Ma±。

表1 J93-16-13 白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar阶段升温测年结果(J=0.015800,样品重量=132.3mg)

Table 1 The results of ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating dating (J93-16-13, Muscovite)

t(°C)	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	³⁹ Ar(%) 累计	年龄(Ma)	±1σ(Ma)
400	5.52520	0.00370	0.21020	4.45650	3.18	122.8	2.2
500	5.71430	0.00220	0.14090	5.05670	7.90	138.7	1.7
600	5.67050	0.00110	0.07850	5.33580	16.38	146.0	1.7
700	5.59520	0.00050	0.04170	5.45070	32.37	149.0	2.7
800	5.57480	0.00420	0.01910	5.44880	67.15	149.0	1.9
900	5.48680	0.00060	0.04320	5.27040	82.56	144.3	2.2
1000	5.43210	0.00050	0.24080	5.30140	96.34	145.1	2.2
1100	5.02310	0.00230	1.32800	4.43520	98.84	122.2	2.2
1250	5.16250	0.00250	1.72640	4.54760	99.61	125.2	3.0
1400	5.00000	0.00710	17.44560	4.17950	100.00	115.4	4.6
平均						145.2	

表2 伟晶岩脉富集带的单矿物 K-Ar 稀释法测年结果

Table 2 The results of K-Ar dating

样品号	矿物名称	采样地区	K 含量(%)	⁴⁰ Ar 含量(mol/g)	⁴⁰ Ar(%)	年龄(Ma)
J93-15-1	斜长石	梭罗树	4.98	1.15×10^{-9}	85.9	153.8 ± 3.1
J93-11-2	白云母	日照	5.03	9.12×10^{-10}	94.5	121.8 ± 1.9
J93-9-1	钾长石	五莲	4.07	6.23×10^{-10}	73.9	103.2 ± 1.8
J93-16-5	白云母	石门	10.62	1.91×10^{-9}	98.8	120.7 ± 1.8

5 讨论与结论

苏鲁超高压地块的折返是一个复杂过程,也是目前地质学研究的一个热点。岩石学,特别是变质作用用的 *PTt* 研究结果显示,苏鲁地区的超高压变质岩折返经过了两个过程,早期为近等温降压过程,指示超高压地块的快速回返;晚期为降压降温过程,此时的地温梯度已恢复正常。

本文展示的资料显示,苏鲁超高压带北界后榴辉岩阶段的变形主要为伸展作用,上盘(北)岩石向北正滑。伸展作用的早期表现为正滑型强糜棱岩带,花岗质岩石中长石类矿物的强烈塑性变形,表明糜棱岩带的形成温度相当高;糜棱岩内少见含水矿物指示变形是在干的环境下进行的;塑性变形的后期,超高压岩块上升到中上地壳,水流体进入变形岩石,并在其中发生水-岩反应,形成白云母。

我们推测,可能正是水流体的进入,使得岩石温度下降,地温梯度重新恢复正常。其后,超高压地块的回返进入降温、降压阶段。我们的测年结果指示该阶段始于150Ma左右。

我们的变形资料显示,在回返的晚期(降温、降压过程),超高压地块表现为刚性,以整体向上迁移为主,伸展构造表现为发育于边部的张性裂隙(局部被伟晶岩脉充填)或脆性正断层。伟晶岩脉的主要形成时代在120~100Ma左右。此时也正是超高压地块以北伸展型沉积盆地的形成时代。

一般而言,脆性断层形成于岩石的突然屈服,有一个应力积累过程。而早期的塑性变形阶段可能代表一个连续的高温蠕变过程。

注 释

- 程裕祺,常印佛. 1:50万大别及邻区造山带地质图.
- 山东地矿局区域调查大队. 1996. 王台、胶南幅区域地质调查报告(1:5万地质图).

参 考 文 献

陈文,张思红. 1994. 激光显微探针⁴⁰Ar/³⁹Ar定年方法研究. 地球学

报, (1~2): 197~217.

杨天南,徐惠芬,宋明春,张建新. 1997. 胶南地块的隆升-伸展构造. 山东地质, 13(1): 67~76.

山东地质矿产局. 1991. 山东省区域地质志. 地质出版社, 北京.

References

- Bureau of Geology and Mineral Resoural of Shandong Province. 1991. Regional Geology of Shandong Province. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Chen Wen, Xu Zhiqin. 1996. Using the Laser Microprobe ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating Technique and the ⁴⁰Ar/³⁹Ar Stepwise Incremental Heating Technique to Date the Ages of Xidatan Shear Zone (Kunlun Terrane, Tibetan Plateau). Acta Geoscientia Sinica, Special Issue: 228~232.
- Chen Wen, Zhang Sihong. 1994. Research on laser microprobe ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating. Acta Geoscientia Sinica, (1~2): 197~204(in Chinese with English abstract).
- Cong B L, Wang Q C. 1994. Review of researches on ultrahigh-pressure metamorphic rocks in China. Chinese Science Bulletin, 39: 2068~2075.
- Jahn B M. 1998. Geochemical and Isotopic Characteristics of UHP eclogites and Ultra-mafic rocks of the Dabie orogen; implication for continental subduction and collisional tectonics. In: Hacker B R, Liou J G, eds. When continents collide: geodynamics and geochemistry of ultrahigh pressure rocks. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 203~239
- Nakamura D, Hirajima T. 2000. Granulite-facies overprinting of ultrahigh pressure metamorphic rocks, Northeastern Su-Lu Region, Eastern China. Journal of Petrology, 41: 563~582.
- Team of Geological Survey, the Bureau of Geology and Mineral Resource of Shandong Province. 1996. Report of 1:50000 Rigional Geological Survey of Yutai and Jiaonan(in Chines unpublished).
- Wang Q, Ishiwatari A, Zhao Z, Hirajima T, et al., 1994. Coesite-bearing granulite retrograded from eclogite in Weihai, eastern China. Europe Journal of Mineralogy, 5: 141~152.
- Wang X, Zhang R, Liou J G. 1995. UHPM terrane in east central China. In: Coleman R G, Wang X, eds. Ultrahigh Pressure Metamorphism.
- Yang Tiannan, Xu Huifen, Zhang Jianxin, Song Mingchun, 1997, The deformational history of the Jiaonan area, Continental Dynamics, 3:.
- Yang Tiannan, Xu Huifun, Song Mingcun, Zhang Jianxin. 1997. Raisin-extension structure of Jiaonan terrain. Shandong Geology, 13(1): 67~76(in Chinese).
- Yao Y, Ye K, Liu J B, Cong B L, Wang Q C. 2000. A transitional eclogite to high-pressure granulite-facies overprint on coesite-eclogite at Taohang in the Sulu UHP terrane, eastern China.

Lithos, 52: 109~120.

- Ye K, Yao Y P, Katayama I, Cong B L, Wang Q C, Maruyama S. 2000a. Large areal extent of ultrahigh pressure metamorphism in the Sulu UHP terrane of Eastern China: new implications from coesite and omphacite inclusions in zircon of granitic gneiss. *Lithos*, 52: 157~164.
- Ye K, Liu Jingbo, Cong B L, Maruyama S. 2001. Overpressures induced by coesite-quartz transition in zircon. *American Mineralogist*, 86: 1151~1155.

图版说明

- a. 正滑型强变形带中显示运动指向的 S-C 组构, 示上盘向北正滑。
- b. 正滑型强变形带中的拖曳褶皱, 示上盘向北正滑。
- c. 正滑型强变形带中花岗质超麻棱岩, 石英及大部分长石被搓碎, 少量长石以残斑形式存在。
- d. 超麻棱岩内递进变形形成的牵引褶皱转折端部位出现的白云母。
- e. 超高压带内部, 在近垂向最大主压应力作用下形成的箱式膝折构造。
- f. 晚期伸展变形的露头表现: 伟晶岩脉富集带。
- g. L 型麻棱岩的露头显示。
- h. 超麻棱岩带内递进变形形成的 A 型褶皱。

Exhumation History of the Sulu UHPM Terrane

— Evidence from Dating and Deformation on Its Northern Boundary

YANG Tiannan¹⁾, CHEN Wen¹⁾, LI Jinyi¹⁾, XU Zhiqin¹⁾, YIN Xiulan¹⁾, XU Wenhua²⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

2) *No. 3 Geological Survey Party, Bureau of Geology and Mineral Resource of Hebei Province, Zhangjiakou, 075000*

Abstract

Extensional normal shearing occurred along the northern boundary of the Sulu UHPM terrane during its exhumation. Field observation revealed that the extensional deformation can be divided into two episodes; the early one is characterized by a ductile normal shearing zone demonstrated by mylonite resulting from the deformation of granite. During the later stage of the ductile deformation, muscovite was formed in the mylonite. The later one is demonstrated by brittle or semi-brittle faults. This fault is filled up with a lot of pegmatite dykes. K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochronal dating reveals that the ductile deformation occurred before 150 Ma, and the brittle extension at 120~120 Ma.

Key words: exhumation; ductile extension; brittle extension; K-Ar and ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating; Sulu UHPM terrane