

胶东东部中生代走滑逆冲构造带的构造年代学制约^{*}

张宏远^{①②} 侯泉林^{③**} 曹代勇^④

(① 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; ② 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;

③ 中国科学院研究生院, 北京 100049; ④ 中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要 胶东东部走滑逆冲构造带处于秦岭-大别-苏鲁造山带的东端、中朝和扬子两陆块之间, 构造地位非常重要. 区域性同位素年代学数据虽然已经不少, 但在研究区尚缺乏构造年代学的系统研究, 本文旨在弥补这一缺陷. 系统选取同变形矿物, 对胶东东部 NE-ENE 向压剪性主剪切带及其所夹旋转推覆岩片进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学测试. 根据本文的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究, 结合研究区现有年代学、构造地质学和岩石学数据, 可得出如下认识: (1) ~190 Ma 代表了旋转推覆岩片的主变形年龄, 跟郯庐主断裂同造山期左旋走滑期完全一致; (2) 130~120 Ma 左右年龄值代表了主剪切带的主活动期, 为构造转折的启动的结果. 很可能胶东的左旋(NE-ENE 向)逆冲推覆作用以及辽东半岛的 ESE 向的伸展构造作用共同推动了朝鲜半岛晚中生代的顺时针旋转.

关键词 胶东东部 走滑逆冲构造带 构造年代学 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

研究区胶东东部走滑逆冲构造位于山东半岛胶莱盆地以东, 即东经 $121^{\circ}00'$ ~ $122^{\circ}45'$ 和北纬 $36^{\circ}40'$ ~ $37^{\circ}35'$ 之间, 大地构造上处于秦岭-大别-苏鲁造山带的东端. 研究区主体岩系以牟平剪切带为界可以分为两部分, 西侧为华北克拉通早前寒武纪片麻岩系, 东侧为威海-荣成超高压岩系, 后者发育多期中生代侵入体^[1]. 研究区西南部胶莱盆地内发育中生代侏罗-白垩纪碎屑、沙砾、火山岩沉积地层. 研究表明, 现今出露于胶东东部的超高压岩系是扬子板块北缘经

历了三叠纪大陆深俯冲作用并折返之后的产物^[2~8], 并被深大剪切带分割成若干结晶块体^[7,8]. 这些结晶块体自南而北依次为石岛推覆体、荣成推覆体、米山推覆体、牟平推覆体(图 1), 呈旋扭样式, 构成旋转推覆岩片, 其岩石组合特点可参照前人研究确定(表 1). 几乎同时, 秦岭-大别-苏鲁造山带的东秦岭-桐柏山段则经历了大规模的侧向挤出和右旋走滑^[6], 而郯庐断裂带主要发生了左旋走滑剪切运动^[9~11].

区域性年代学数据^[1,9~11,13~23]虽然已经不少, 但

收稿日期: 2005-06-17; 接受日期: 2005-12-05

^{*} 国家自然科学基金重点项目(批准号: 40234050)和中国科学院知识创新项目(批准号: KZCX1-07)资助

^{**} 联系人, E-mail: quhou@gucas.ac.cn

在研究区还缺乏构造年代学系统研究, 本文旨在弥补这一空白. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法是应用最广的用以确定构造-热事件的年龄的定年方法, 但对于造山带而言, 剪切变形的 P-T 条件、变形机制对剪切带内测年目标矿物的形成具有重要影响 [24]. 精确的构造年代测定, 对于认识胶东, 乃至苏鲁地区中生代的构造过程具有重要意义. 近年来的侵入岩同位素测年研究及上述前人对区域构造演化规律的研究为本文进行构造年代学研究奠定了基础.

在系统地进行研究区采样并在镜下观察和进行石英光轴组构分析并明确了变形环境之后, 选取其中的黑云母、角闪石、白云母等变形新生矿物进行了精确的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代测试. 最后结合区域上

现有同位素年代学、构造地质学和岩石学等领域的相关数据信息, 探讨了胶东东部走滑逆冲构造带的构造年代特征和构造转折意义.

1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学测试

1.1 测年样品的选取

采样点分布如下: 前岛 01120905、北齐山 01121002、镇鄆岛西头 01121005 位于石岛剪切带; 泽头东 01120807、大时家 01120908B、大时家 01120908H 选于剪切带间旋转推覆岩片内; 西龙家 01121101 位于荣成剪切带; 王格庄 01121504 位于牟平剪切带(图 1, 表 2).

样品 01120905 为花岗片麻岩, 选自泽库镇前岛

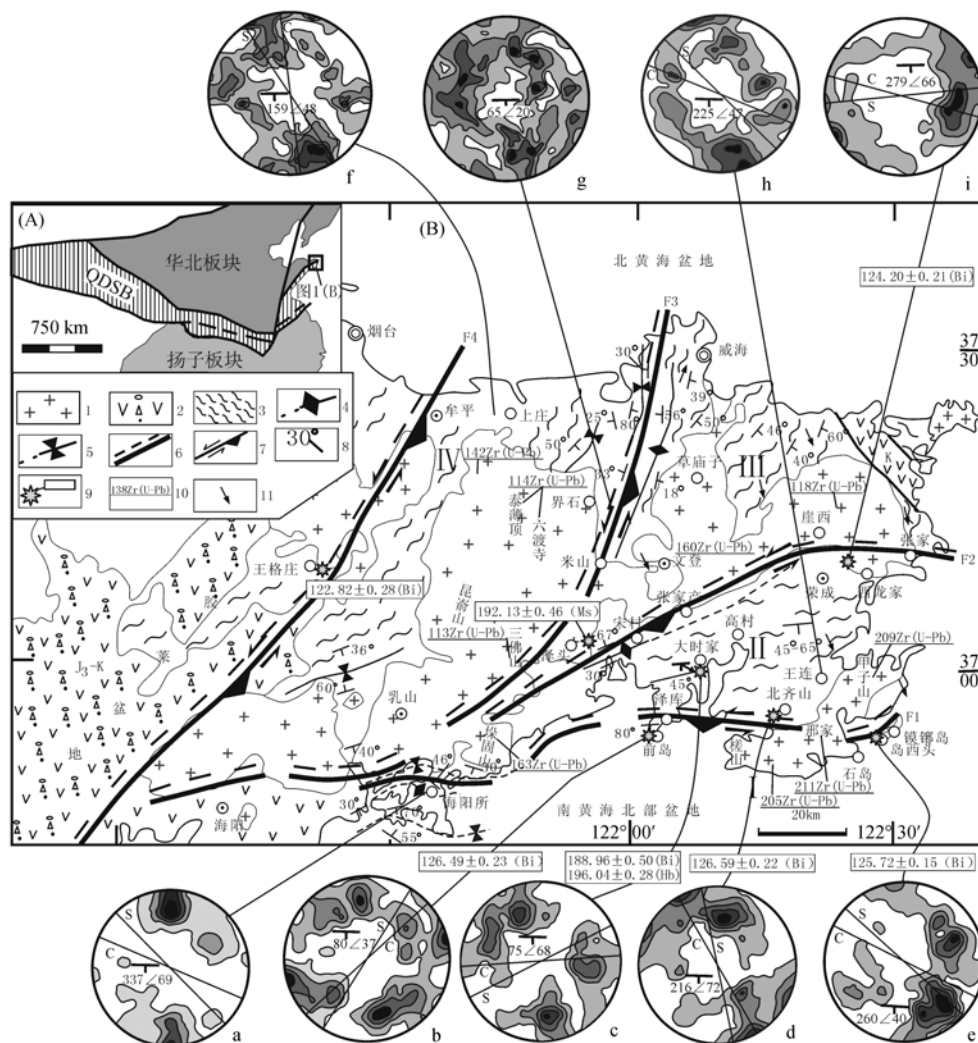


图 1 胶东东部走滑逆冲构造区域背景、构造纲要图及本文石英光轴组构和年代学分析图(据 [1,7,12], 1,2)

(A)示研究区区域大地构造位置, QDSB 示中生代秦岭-大别-苏鲁构造带. (B)示研究区构造纲要图及本文石英光轴组构和年代学分析图: 1 示中生代侵入岩体; 2 示 J₃-K 碎屑、沙砾、火山岩沉积; 3 示变质岩系; 4 示背斜; 5 示向斜; 6 示主要 NE-ESE 剪切带; 7 示走滑逆冲构造; 8 示面理产状; 9 示采样点及本文 Ar/Ar 年龄值; 10 示前人锆石 U-Pb 年龄; 11 示拉伸线理. I 示石岛推覆体; II 示荣成推覆体; III 示米山推覆体; IV 示牟平推覆体; F1 示石岛剪切带; F2 示荣成剪切带; F3 示米山剪切带; F4 示牟平剪切带. a-海阳所石英岩 01120708YZ 面石英光轴组构图, 等面积投影, 9-7-5-3-1%, 位于石岛剪切带: 其一是单斜对称, II 型极密, 表示存在平行于 XZ 面的环带构造. 对应于石英底面滑移; 其二是残留早期 IV 型极密, 属于菱面滑移. 示中温变形. b-前岛 01120905XZ 面石英光轴组构图, 等面积投影, 4-3-2-1%, 位于石岛剪切带: IV 型极密, 围绕 Y 轴有两个小圆, 斜方对称, 推断为石英菱面滑移; 又有晚期 I 型极密, 代表底面滑移. 示中低温变形. c-大时家 01120908XZ 面石英光轴组构图, 等面积投影, 5-4-3-2-1%, 位于荣成推覆体内: 典型 IV 型极密, 围绕 Y 轴有两个小圆, 斜方对称, 推断为石英菱面滑移. 示中温变形. d-北齐山 01121002 石英光轴组构图, 等面积投影, 5-4-3-2-1%, 位于石岛剪切带: 存在两种类型的极密, 即斜方对称的小圆环带、IV 型极密和单斜对称的 II 型极密. 分别代表早期菱面滑移和晚期发育的石英. 示中低温变形. e-镆镎岛 01121005 石英光轴组构图, 等面积投影, 5-4-3-2-1%, 位于石岛剪切带: 存在两种类型的极密, 即斜方对称的小圆环带、IV 型极密和单斜对称的 II 型极密. 分别代表早期菱面滑移和晚期发育的石英. 示中低温变形. f-上庄之西烟威公路 171km 处, 01121402XZ 面石英光轴组构图, 等面积投影, 4-3-2-1%, 位于牟平推覆体内: 存在 I 型极密, 呈现单斜对称, 底面滑移. 示低温变形. g-大界石东 2km, 01121406 石英光轴组构图, 等面积投影, 3.1-2.2-1.3-0.4%, 位于米山剪切带内: 小圆环带; 推测斜方对称为主, 代表菱面滑移. 示中温变形. h-王连 01121006XZ 面石英光轴组构图, 等面积投影, 3.4-2.6-1.8-1%, 位于荣成推覆体内: 存在两种类型的极密, 即斜方对称的小圆环带、IV 型极密和单斜对称的 I 型极密. 分别代表早期菱面滑移和晚期发育石英的底面滑移. 示中低温变形. i-荣成市西龙家 01121101XZ 面石英光轴组构图, 等面积投影, 4.9-3.6-2.3-1%, 位于荣成剪切带: 围绕 Y 轴存在不太典型的小圆环带; 极密部有两类, 单斜对称, 其一是位于 X 轴的两侧, 其二是位于 X 轴上, 分别属于 VII 型和 I 型极密, 分别代表早期菱面滑移和晚期发育石英的底面滑移. 示中低温变形.

表 1 胶东东部逆冲推覆体的划分及其主要依据(据 [7,12])

	石岛推覆体	荣成推覆体	米山推覆体	牟平推覆体
北缘	石岛剪切带	荣成剪切带	黄海	黄海
南缘	黄海	石岛剪切带	荣成剪切带	米山剪切带
东缘	黄海	黄海	黄海	米山剪切带
西缘	石岛剪切带	荣成剪切带	米山剪切带	牟平剪切带
主要岩石组合	高压组合: 含石榴二辉麻粒岩、石榴辉长岩、蓝晶石麻粒岩、石榴角闪岩、蛇纹橄榄岩、辉橄岩、石英岩、变质钙硅质岩等	超高压组合: 含榴辉岩、超镁铁质岩及变质沉积岩等	超高压组合: 含柯石英基性麻粒岩、角闪岩、超镁铁质岩、变质沉积岩等	变质杂岩: 黑云二长片麻岩、大理岩、斜长角闪岩、花岗岩、含石墨基性-中性麻粒岩、二辉麻粒岩等
主要构造变形	韧性变形	韧性变形	脆韧性变形	脆韧性变形
变质特征及构造环境	麻粒岩相、榴辉岩相叠加变质作用. 低-中热流的剪切环境, 扬子克拉通基底	角闪岩相-高级角闪岩相退变质作用. 超高压变质岩构造侵位到角闪岩相变质的花岗质围岩片麻岩中	先后经历超高压变质作用、麻粒岩相叠加变质作用、角闪岩相退变质作用. 示在中-高热流值的环境中发生构造就位	绿片-角闪岩相. 具推覆隆升到断陷的过渡相特征

沿海. 石英光轴组构指示变形属中低温变形(图 1-b). 选黑云母作变形测年矿物.

样品 01121002 为花岗片麻岩, 选自人和镇北齐山采石场. 石英光轴组构显示变形属中低温变形(图 1-d). 选黑云母作变形测年矿物.

样品 01121005 为二长花岗片麻岩, 选自镆镎岛

镇岛西头. 野外顶厚不等翼褶皱强烈发育, 推测为压剪成因. 石英光轴指示变形属中低温变形(图 1-e). 选黑云母作变形测年矿物.

样品 01120908 为石英闪长片麻岩, 选自侯家镇大时家村村西大坑中. 石英光轴组构显示变形属于中温变形(图 1-c). 分别选黑云母和角闪石作变形测

1) 山东省地质矿产局. 1992. 中华人民共和国 1: 200000 海阳-潮里幅区域调查说明书. 山东省地质矿产局. 1996. 中华人民共和国 1: 200000 莱阳幅区域调查说明书. 山东省地质矿产局. 1992. 中华人民共和国 1: 200000 威海-文登幅区域调查说明书. 山东省地质矿产局. 1991. 中华人民共和国 1: 200000 烟台幅区域调查说明书

2) 张宏远. 胶东东部中生代逆冲推覆构造研究. 中国矿业大学(北京)硕士论文, 2003

表 2 胶东东部构造岩单矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 精确定年数据简表

采样地点及样品号	岩性	所选矿物	实验编号	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄/Ma	样品的大地构造位置
前岛 01120905	花岗片麻岩	黑云母	R03020	126.49±0.23	石岛剪切带
北齐山 01121002	花岗片麻岩	黑云母	R03002	126.59±0.22	石岛剪切带
岛西头 01121005	二长花岗片麻岩	黑云母	R03026	125.72±0.15	石岛剪切带
大时家 01120908B	石英闪长片麻岩	黑云母	R03005	188.96±0.50	荣成推覆体
大时家 01120908H	石英闪长片麻岩	角闪石	R03019	196.04±0.28	荣成推覆体
泽头东 01120807	二长花岗质糜棱岩	白云母	R03009	192.13±0.46	米山推覆体
西龙家 01121101	花岗片麻岩	黑云母	R03008	124.20±0.21	荣成剪切带
王格庄 01121504	花岗质糜棱岩	黑云母	R03025	122.82±0.28	牟平剪切带

年矿物。

样品 01120807 为二长花岗质糜棱岩, 选自泽头镇东 3km 处。镜下见石英条带消光、亚晶粒构造。选白云母作变形测年矿物。

样品 01121101 为花岗片麻岩, 选自荣成市西龙家。石英光轴组构造显示变形属中低温变形(图 1-i)。选黑云母作变形测年矿物。

样品 01121504 为花岗质糜棱岩, 采于王格庄村东口, 位于剪切带内, 露头发育鞘褶皱。镜下见石英发育亚晶粒-动态重结晶。选黑云母做为变形测年矿物。

显微镜下观察表明, 所选测年矿物均无蚀变现象和变质前的矿物残余, 且所测矿物的封闭年龄代表了变形年龄(图 2)。

1.2 实验流程

岩石样品经过粉碎细磨、磁选和重液分离后, 在双目镜下选出无蚀变的单矿物, 包括黑云母、白云母和角闪石; 然后将单矿物放入北京中国原子能研究院 49-2 反应堆进行快中子照射; 待样品放射性剂量衰减到安全条件, 取回样品在中国科学院地质与地球物理研究所进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段加热分析实验。加热一般分 11 个温度阶段。

2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学数据及构造年代学分析

2.1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 精确定年数据

本文工作所测得的 8 个样品的区域构造位置、岩性、所测试矿物及 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素实验结果见表 2 和图 3。

2.2 胶东东部走滑逆冲构造带活动的分期

角闪石、黑云母和白云母的封闭温度值大约分别为(500±50)℃, 300℃和 350℃。本文的岩组学分析(图 1)表明, 主变形期以中低温为主, 大致相当于这些新生矿物的封闭温度。因而本文所测年龄值代表变形冷却年龄, 是可信的。从数值看, 研究区的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果可以分为两期: 第一期为 190 Ma 左右, 第二期为 130~120 Ma。

第一期: 190 Ma 左右。发现大时家岩样的角闪石和黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄值不一致。这是合理的, 可能是由于角闪石封闭温度高于黑云母, 从而在降温的构造就位过程中先结晶, 先于黑云母结晶约 7 Ma。泽头东 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄值接近于 190 Ma, 与大时家岩样年龄值一致。二者均位于剪切带间推覆体内, 指示了同一变形期次。研究区内甲子山、邢家、槎山三个橄榄安粗岩系列岩体锆石 U-Pb 年龄为 205~215 Ma^[4](图 1)。锆石的封闭温度较角闪石更高, 所以这三个岩体的锆石年龄跟大时家和泽头东的年龄数据可以配套, 代表了推覆体活动时期的岩浆侵入活动。

第二期: 130~120 Ma。王格庄、泽库前岛、镆铳岛、荣成西龙家、北齐山等地样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄值皆为 126 Ma 左右, 代表了主剪切带的左行逆冲运动期。图 2 说明了剪切带内这些测年样品及其采样点的构造变形特征。

在研究区, 垛固山岩体和文登岩体锆石 U-Pb 年龄约为 160 Ma, 昆崙山岩体锆石 U-Pb 年龄约为 140 Ma^[4], 六度寺、泰薄顶、三佛山、伟德山四岩体锆石 U-Pb 年龄介于 115~105 Ma 之间^[4](图 1), 这说明在主剪切带的主活动期前后发生了大规模岩浆活动。

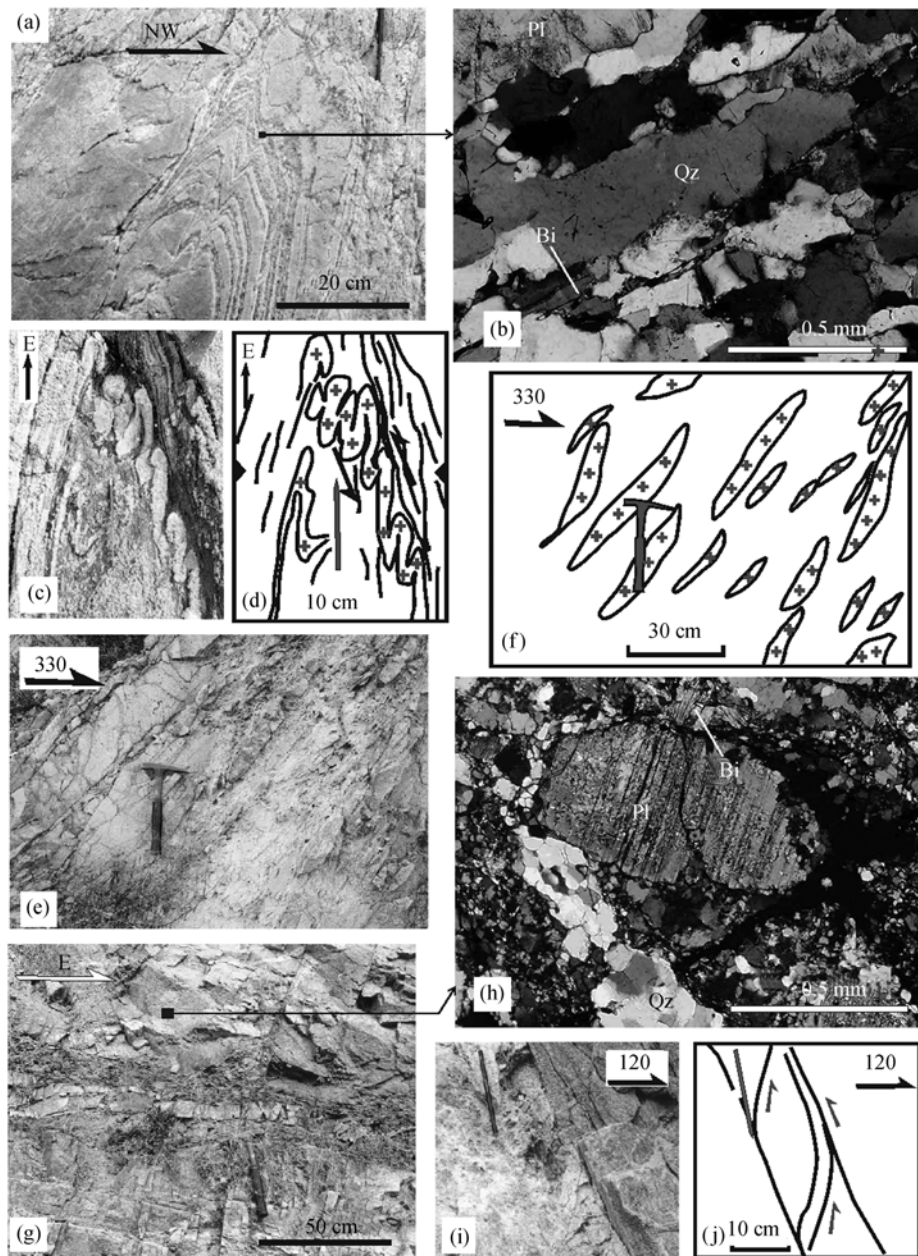


图2 胶东东部主要剪切带左行走滑逆冲证据及同构造变形样品选取

(a) 石岛剪切带, 镆钋岛, 花岗片麻岩, 野外照片, 顶厚、不等翼褶皱形态作为运动学标志指示下地壳变形及向北西方向逆冲推覆。(b) 石岛剪切带, 镆钋岛, 花岗片麻岩, 显微照片, 正交偏光, 叶理发育, 黑云母作为叶理生长, 石英的生长受到黑云母矿物的限制。黑云母作为氩氦定年的矿物。标本号 01121005。样品选取位置在图 2(a)中及图 1 中标出。(c)、(d) 石岛剪切带, 前岛, 野外照片及素描, 照片平行于水平面, 褶皱状长英质脉为运动学标志, 黑三角示挤压方向, 一组单钩箭头示左行剪切方向, 表明岩系受到挤压剪切作用。(e)、(f) 荣成剪切带, 崖西-荣成间, 野外照片及照片中长英质透镜体素描图, 表明岩系受到挤压剪切作用, 单箭头示剖面走向。(g) 牟平剪切带, 王格庄, 野外照片, 花岗糜棱岩, 早期深层次糜棱岩被晚期的脆性构造所切割。(h) 牟平剪切带, 王格庄, 显微照片, 花岗糜棱岩, 正交偏光, 长石发育核幔构造及眼球残斑构造, 石英发生动态重结晶, 在叶理内部有黑云母发育。黑云母作为氩氦定年的矿物。标本号 01121504。样品选取位置在图 2(g)及图 1 中标出。(i)、(j) 牟平剪切带, 上庄西, 野外照片及照片素描图, 示双重构造发育, 表明岩系受到挤压应力作用, 单箭头示剖面走向。标本 01121504 取自该处同逆冲变形糜棱岩

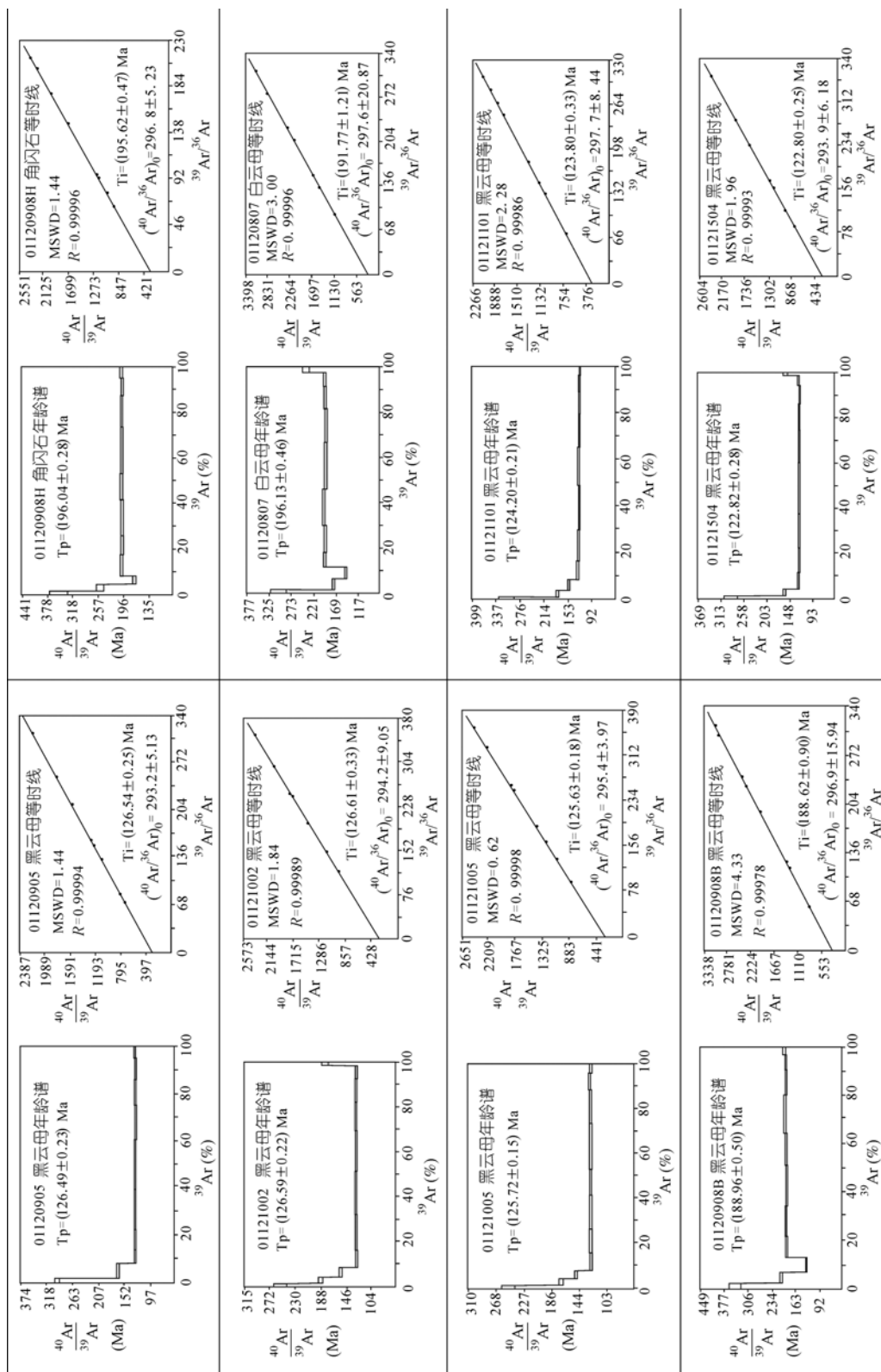
图 3 胶东东部样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄和等时线年龄结果图

表 3 关于郯庐断裂带活动时代的研究

研究者	测年方法	郯庐断裂第一期左旋走滑运动 (同造山期)	郯庐断裂第二期左行 平移时间	郯庐断裂伸展活动期
徐嘉炜等 [13]	—	最晚形成于早侏罗世	晚侏罗世到早白垩世	从晚白垩世到古近纪
陈宣华等 [14]	Ar-Ar	244~209 Ma	—	从 103~94 Ma 的晚白垩世开始
朱光等 [15,16]	Ar-Ar	—	132~128 Ma	从晚白垩世到古近纪
王瑜 [17]	Ar-Ar	启动时代: 165~140 Ma	120~90 Ma	期后伸展开始于 60 Ma
朱光等 [9]	Ar-Ar/K-Ar/U-Pb	—	132~119 Ma	—
朱光等 [10,11]	Ar-Ar	左旋走滑时代约 190 Ma	—	—

2.3 胶东东部走滑逆冲构造带的构造转折

胶东东部走滑逆冲构造带第一期(~190 Ma)代表了旋转推覆岩片活动时期,为扬子-中朝陆块碰撞后折返期的构造运动。胶东地区旋转推覆岩片内部的这期变形年代跟区域构造演化具有对应性。朱光等证实郯庐断裂带南段曾经在 190 Ma 左右发生同造山左旋走滑运动 [10] (表 3)。Wang 等借助边界变形特征分析推断同碰撞期秦岭-大别-苏鲁造山带的东秦岭-桐柏山段经历了右旋走滑运动 [6]。

将 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年结果跟野外和镜下的观察结合起来推断,胶东东部走滑逆冲构造带第二期时代 (130~120 Ma) 大约代表了主剪切带的左旋走滑逆冲活动期(图 1, 图 2)。区域上,此时郯庐断裂带也发生了左行走滑事件 [9,13,15~17] (表 3)。从区域构造特征来看,主剪切带相当于郯庐左行右阶式走滑断裂带的拖尾压性叠瓦扇,至少在浅部层次产生了走滑挤压应力场。此时,伸展作用在深部可能已经启动。Liu 等对辽东半岛变质核杂岩年代学分析 [18] 表明辽东伸展时代也是处于这个时期。此时,朝鲜半岛发生了顺时针的旋转 [19]。不难推断,很可能地,胶东的左旋(NE-ENE 向)逆冲推覆运动以及辽东半岛的 ESE 向的伸展运动共同推动了朝鲜半岛晚中生代的顺时针的旋转。

3 结论

(1) 190 Ma 代表了旋转推覆岩片的主变形年龄,跟郯庐主断裂同造山期左旋走滑期以及秦岭-大别-苏鲁造山带的东秦岭-桐柏山段的右旋剪切期完全一致。同期有甲子山、槎山、邢家岩体侵入。

(2) 130~120 Ma 年龄值代表了主剪切带的主活

动期,为构造转折的启动期。很可能地,胶东的左旋(NE-ENE 向)逆冲推覆运动以及辽东半岛的 ESE 向的伸展运动共同推动了朝鲜半岛晚中生代的顺时针的旋转。此期运动前后均有大量岩浆活动。

致谢 中国科学院地质与地球物理研究所翟明国研究员对本研究给予了支持和帮助,山东省第四地质调查院张希道高工在野外工作中给予了协助,谨此致谢。同时感谢中国地质科学院王宗起研究员及澳大利亚 Tim H. Bell 教授的指正。感谢郭敬辉研究员及匿名审稿人的宝贵修改建议。

参 考 文 献

1 郭敬辉,陈福坤,张晓曼,等. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞-碰撞后构造过程: 锆石 U-Pb 年代学. 岩石学报, 2005, 21(4): 1281—1301

2 Yin A, Nie S. An indentation model for the north and south China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, Eastern Asia. *Tectonics*, 1993, 12(4): 801—813

3 Li Z. Collision between the North and South China blocks: a crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu Fault. *Geology*, 1994, 22(8): 739—742[DOI]

4 Faure M, Lin W, Breton N L. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? *Geology*, 2001, 29(2): 119—122[DOI]

5 Zhai M, Cong B, Guo J, et al. Sm-Nd geochronology and petrography of garnet pyroxene granulites in the northern Sulu region of China and their geotectonic implication. *Lithos*, 2000, 52: 23—33[DOI]

6 Wang E, Meng Q, Burchfiel B C, et al. Mesozoic large-scale lateral extrusion, rotation, and uplift of the Tongbai-Dabie Shan belt in east China. *Geology*, 2003, 31(4): 307—310[DOI]

7 翟明国,郭敬辉,王清晨,等. 苏鲁变质带北部的岩石构造单元及结晶块体推覆构造. 地质科学, 2000, 35(1): 16—26

8 Xu P, Liu F, Ye K, et al. Flake tectonics in the Sulu orogen in eastern China as revealed by seismic tomography. *Geophys Res*

- Lett, 2002, 29: X1—X4
- 9 朱光, 刘国生, 牛漫兰, 等. 郯庐断裂带的平移运动与成因. 地质通报, 2003, 22(3): 200—207
- 10 朱光, 刘国生, Dunlap W T, 等. 郯庐断裂带同造山走滑运动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学证据. 科学通报, 2004, 49(2): 190—198
- 11 朱光, 王勇生, 牛漫兰, 等. 郯庐断裂带的同造山运动. 地学前缘, 2004, 11(3): 169—182
- 12 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京: 地质出版社, 1996
- 13 徐嘉炜, 马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾. 地质论评, 1992, 38(4): 316—324
- 14 陈宣华, 王小凤, 张青, 等. 郯庐断裂带形成演化的年代学研究. 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 215—220
- 15 朱光, 宋传中, 王道轩, 等. 郯庐断裂带走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义. 中国科学, D 辑, 2001, 31(3): 250—256
- 16 朱光, 王道轩, 刘国生, 等. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景. 地质科学, 2001, 36(2): 269—278
- 17 王瑜. 郯庐断裂带形成演化的年代学证据及其动力学分析. 见: 从柏林, 翟明国, 郭敬辉, 等汇编. “大陆的俯冲、拆离和减薄作用学术研讨会”论文摘要集. 西安: 西北大学, 2001. 73—75
- 18 Liu J, Davis G A, Lin Z, et al. The Liaonan metamorphic core complex, Southeastern Liaoning Province, North China: a likely contributor to Cretaceous rotation of Eastern Liaoning, Korea and contiguous areas. Tectonophysics, 2005, 407: 65—80[DOI]
- 19 Lin W, Chen Y, Faure M, et al. Tectonic implications of new locate Cretaceous Paleomagnetic constraints from Eastern Liaoning Peninsula, NE China. J Geophys Res, 2003, 108(B6): 2313[DOI]
- 20 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. 中国科学, D 辑, 2003, 33(10): 913—920
- 21 周新华, 杨进辉, 张连昌. 胶东超大型金矿的形成与中生代华北大陆岩石圈深部过程. 中国科学, D 辑, 2003, 32(增刊): 11—20
- 22 邱检生, 王德滋, 罗清华, 等. 鲁东胶莱盆地青山组火山岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年——以五莲分岭山火山机构为例. 高校地质学报, 2001, 7(3): 351—355
- 23 宋明春. 胶南造山带的构造年代学研究. 中国地质学会编: “九五”全国地质科技重要成果论文集. 北京: 地质出版社, 2000. 138—141
- 24 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 构造变形/变质作用的精细测年及其在造山带研究中的应用. 地学前缘, 2001, 8(3): 147—156