

胶东东部中生代走滑逆冲构造带的超微构造研究

张宏远^{1,2} 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 100039; 4. 中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室, 北京 100083)

提要:胶东东部区域上处于秦岭—大别—苏鲁造山带的东端, 是中生代的走滑逆冲构造带。进行超微构造研究有利于解决岩石的变形机制问题。应用偏光显微镜和透射电子显微镜方法, 进行了胶东东部走滑逆冲构造带显微构造及超微构造研究。研究认为主要走滑逆冲剪切带的石英位错亚构造以线位错为主, 并常见位错环、位错弓弯、位错壁、位错列、位错网及亚晶粒等构造型式颗粒等。石英超微位错构造总体反映的是中温或低温塑性变形环境; 石岛剪切带、荣成剪切带、牟平剪切带的平均古差异应力值呈现逐渐降低的趋势, 跟温度呈反相关的关系。

关键词:胶东东部; 走滑逆冲构造带; 超微构造

中图分类号: P542 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)04-0571-08

1 引言

研究区位于东经 121°00'~122°45' 和北纬 36°40'~37°35' 之间, 区域上处于秦岭—大别—苏鲁造山带的东端, 是胶东超大型金矿的东部边界, 为中生代的走滑逆冲构造带。作为华北构造转折的重要内容, 研究区构造转折的时代在 120 Ma 左右^[1, 2]。

研究区发育数条 NE—ENE 向的地壳级剪切带, 如石岛剪切带、荣成剪切带、米山剪切带和牟平剪切带(以下称主剪

切带)(图 1)。主剪切带将研究区超高压变质带分割成若干被认为是来源于深层次而就位于中上地壳水平、在华南与华北陆块碰撞之后的进一步挤压过程中形成的推覆体样式的结晶块体^[3-6], 结晶块体呈压剪旋扭样式^[7]。这些结晶推覆体可依次命名为石岛推覆体、荣成推覆体、米山推覆体、牟平推覆体(图 1), 其岩性组合特点依次为高压变质杂岩组合、超高压变质杂岩组合、超高压变质杂岩组合和变质杂岩(表 1)。主剪切带在研究区呈帚状样式, 在海阳所一带合为一条, 向东散开(图 1), 叶理总体倾向 SSE; 地震剖面显示, 在剖面上主要呈

表 1 胶东东部逆冲推覆体的划分方案 据参考文献[3, 11]改编)

Table 1 Classification scheme of thrust nappes on the eastern Jiaodong Peninsula (modified from [3, 11])

—		石岛推覆体	荣成推覆体	米山推覆体	牟平推覆体
边界	北	石岛剪切带	荣成剪切带	黄海	黄海
	东	黄海	黄海	黄海	米山剪切带
	南	黄海	石岛剪切带	荣成剪切带	米山剪切带
	西	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、蛇纹橄辉岩、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。超高压变质岩石构造侵位到角闪岩相变质的花岗岩围岩片麻岩中	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	绿片岩—角闪岩相。具推覆隆升到断陷的过渡相特征

收稿日期: 2005-01-20; 改回日期: 2005-08-03

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40234050)和中国科学院知识创新项目(KZCX1-07)资助。

作者简介: 张宏远, 男, 1977年生, 博士生, 主要从事造山带变形变质作用研究; E-mail: zhang-hong-yuan@263.net。

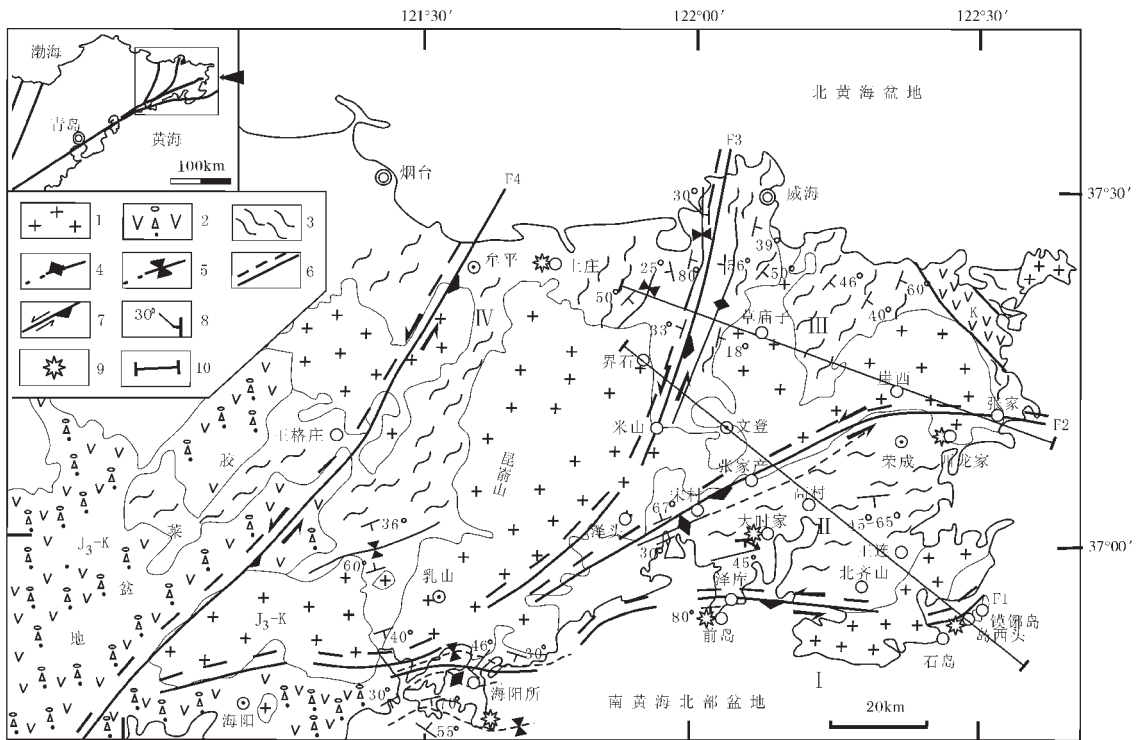


图1 胶东东部构造纲要图(据参考文献[3,8,10,11]及①~⑤修改)

1—花岗岩;2— J_3 -K 碎屑岩、砂砾岩、火山岩沉积;3—变质岩系;4—背斜;5—向斜;6—主要 NE—ENE 剪切带;7—走滑逆冲符号;
8—面理产状;9—采样点;10—剖面线;I—石岛推覆体;II—荣成推覆体;III—米山推覆体;IV—牟平推覆体;

F₁—石岛剪切带;F₂—荣成剪切带;F₃—米山剪切带;F₄—牟平剪切带

Fig.1 Structural map of eastern Jiaodong (modified from [3,8,10,11]and ①~⑤)

1—Granite;2— J_3 -K clastic rocks, sandy conglomerate, and volcanic-sedimentary rocks;3—Metamorphic rocks;4—Anticline;5—Syncline;
6—Main NE—ENE shear zone;7—Symbol of strike-slip thrust belt;8—Attitude of foliation;9—Sample locality;10—Section;
I—Shidao nappe; II—Rongcheng nappe; III—Mishan nappe; IV—Muping nappe; F₁—Shidao shear zone;
F₂—Rongcheng shear zone; F₃—Mishan shear zone; F₄—Mouping shear zone

现叠瓦扇样式,越靠近地表倾角越陡,越向下越缓(图2)。研究区西南为胶莱盆地,为侏罗—白垩纪碎屑岩、砂砾岩、火山岩沉积^[12](图1)。

岩石的变形机制,如碎裂流动、晶内变形特征、动态重结晶类型等需要借助透射电镜(Transmission electron microscope, TEM)技术来研究^[13]。进行胶东东部走滑逆冲构造带的超微构造研究有利于解决变形动力学机制问题,有利于恢复区域构造转折期的构造—热演化史,并可能对于胶东黄金成矿问题产生重要的指示意义。本文着眼于研究区

NE—ENE 向主要走滑逆冲构造带超微构造应力和变形温度特征的规律性研究。

2 岩样透射电镜实验

通过透射电镜观察的岩石样品以片麻岩、花岗片麻岩为主,均选自石岛剪切带(海阳所、镁榔岛、前岛)、剪切带之间旋扭地块(大时家)、荣成剪切带(西龙家)和牟平剪切带(上庄西)(图1)。本次所选样品首先在偏光镜下观察确定,然后再进行透射电镜样品的制备。它们在岩石薄片中共均是呈显微

① 山东省地质矿产局. 中华人民共和国 1:200 000 莱阳幅区域调查说明书,1996.

② 山东省地质矿产局. 中华人民共和国 1:200 000 海阳—潮里幅区域调查说明书,1992.

③ 山东省地质矿产局. 中华人民共和国 1:200 000 威海—文登幅区域调查说明书,1992.

④ 山东省地质矿产局. 中华人民共和国 1:200 000 烟台幅区域调查说明书,1991.

⑤ 张宏远. 胶东东部中生代逆冲推覆构造研究(曹代勇、侯泉林指导),中国矿业大学(北京)硕士论文,2003.

亚晶粒构造的变形石英颗粒,直径大于 0.8mm。

本次制样过程主要是在中国地质科学院进行的。样品制备是指将应力矿物石英制成超微薄片。先用常规水磨磨制出 20 μm 左右的岩石薄片,岩片与玻璃片之间以易于剥离的光学树脂粘合;然后,借助光学显微镜和立体显微镜,用透射电镜专用铜环(孔径 0.6mm 或 0.8mm)圈定并取下薄片中共研究用的石英矿物颗粒,然后脱去颗粒另外一面的胶;最后,将粘合了矿物的专用铜环放入离子减薄仪,在高真空的条件下用氩离子轰击,使薄片中央击穿,出现薄区,即将击穿点周围的样品厚度减薄到 0.3~1.0 μm 便制成了 TEM 超微薄片。

对超微薄片进行超微构造照像是在北京大学电子显微镜国家重点实验室进行的。采用了高分辨率透射电镜 Hitachi H-9000NAR HREM,通过仔细观察和照像(平均每个样品获得照片近 20 张),获得了丰富的超微构造现象。

3 研究区显微构造及石英位错构造研究

(1)海阳所样品 01120710。通过显微观察可知主要矿物为石英、白云母和绢云母;变形现象见石英波状消光、核幔构造,但以石英矿物动态重结晶为主,重结晶具有颗粒边界迁移特点;白云母呈相互截断状、示平衡状态。定名为云母石英片岩。变形石英的 TEM 照片显示平直的位错线,偶见位错环(图版 I-a)。

(2)前岛 01120903。主要矿物为石英、黑云母,镜下见新生白云母;中粒变晶结构;石英波状消光,亚晶粒构造发育,定向排列,白云母自型、有定向性。定名为二云石英片岩。变形石英 TEM 照片显示长短不一,弯曲、方向杂乱的位错线,可见位错环、位错网、位错链(图版 I-b)。

(3)镆镆岛 01121004。主要矿物有斜长石、石英和黑云母,镜下见新生绢云母;不等粒变晶结构;部分斜长石、石英有波状消光现象,斜长石普遍发育机械双晶,石英普遍发育变形纹,黑云母弱变形但具定向性,总体具片麻状构造。定名为黑云花岗质片麻岩。变形石英 TEM 照片见到弯曲、长短不一、方向杂乱的位错线,可见位错环(图版 I-c,d)。

(4)大时家 01120907。主要矿物有石英、斜长石、黑云母和角闪石;镜下呈自形一半自形不等粒变晶结构;斜长石机械双晶变形,石英发育亚晶粒构造。定名为花岗质片麻岩。变形石英 TEM 照片见到长短不一、弯曲、方向杂乱、纠结的位错线,可见位错环、位错网、位错链、位错壁(图版 II-e)。

(5)西龙家 01121007。显微镜下显示原生矿物有正长石、斜长石、石英和黑云母,新生矿物绢云母、黄铁矿等;碎裂结构,石英、长石发生破裂变形;片麻状构造;石英波状消光、具拉长定向性,黑云母强烈变形,发育矿物云母鱼,指示了简单剪切方向。定名为碎裂花岗质片麻岩。变形石英 TEM 照片见到长短不一,弯曲的位错线,可见位错网、位错列、位错环(图版 II-f,g)。

(6)上庄西 01121402。通过显微观察显示,原生矿物有微斜长石、斜长石和石英,新生矿物黑云母和绢云母;变余花岗

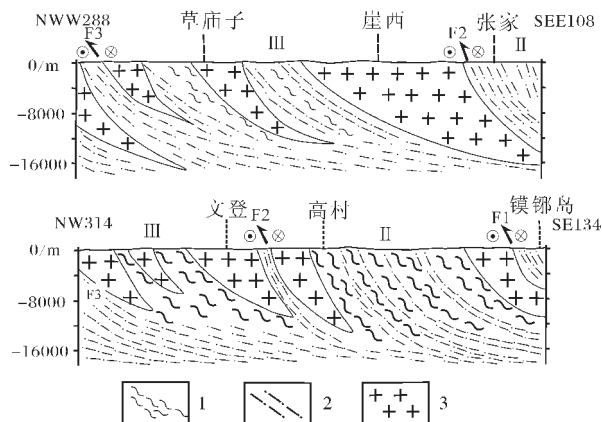


图 2 胶东东部文登—高村—镆镆岛剖面及草庙子—崖西—张家剖面图(根据野外工作及参考文献[8, 11]编绘)

1—弱韧性剪切带;2—强韧性剪切带;3—花岗岩
F₁—石岛剪切带;F₂—荣成剪切带;F₃—米山剪切带;
II—荣成推覆体;III—米山推覆体

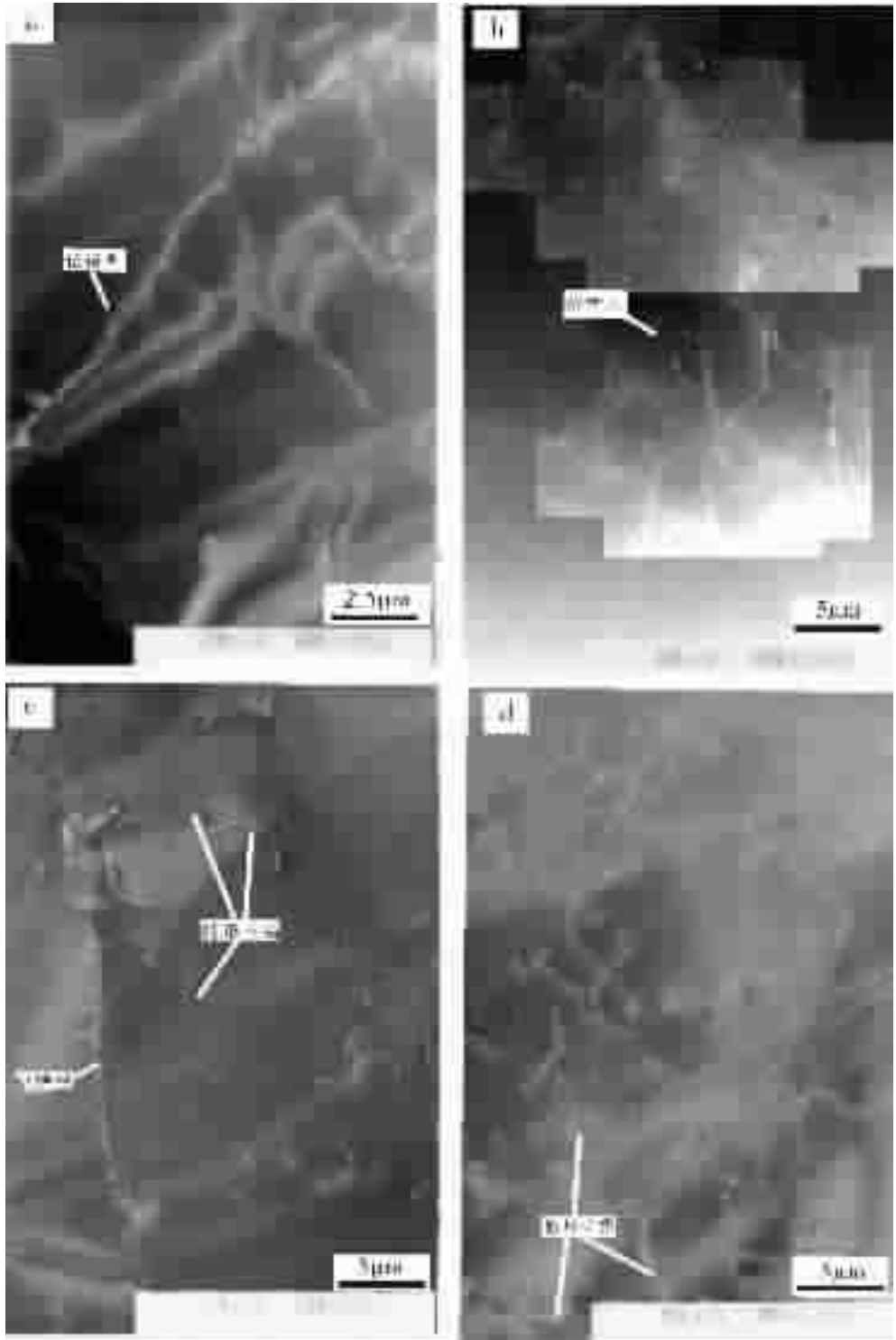
Fig.2 Wending—Gaocun—Moyedao and Caomiaozi—Yaxi—Zhangjia sections in eastern Jiaodong
(drawn from references [8,11] and this study)

1—Weak ductile shear zone;2—Strong ductile shear zone;3—Granite
F₁—Shidao shear zone;F₂—Rongcheng shear zone;F₃—Mishan shear zone;
II—Rongcheng nappe;III—Mishan nappe

结构;石英、斜长石波状消光,黑云母呈定向排列、多具平行四边形,石英矿物被拉长,定向性与黑云母大体一致,亚晶粒构造发育,见压溶现象。定名为黑云母花岗片麻岩。变形石英 TEM 照片见到光滑的位错线为主,亦见位错环、树枝状位错、位错壁(图版 II-h)。

综上所述,研究区石英基本位错类型为刃型位错、螺型位错。两种位错形成多种位错亚构造,如自由位错、位错壁、位错弓弯、位错环、位错链和位错网等(表 2)。通常,平直的线位错、位错缠结是位移滑移的结果,反映低温塑性变形;位错环是位错弓弯进一步演变的结果;位错壁、亚晶粒、位错网等是位错蠕变的结果,属中温塑性变形;对 TEM 照片研究表明,没有固态扩散迁移的证据。据此,在石岛剪切带,海阳所超微位错构造是一种中低温流变特征,前岛和镆镆岛超微位错构造为中温流变特征。荣成推覆体上,大时家超微位错构造反映中高温流变特征。在荣成剪切带,西龙家的样品,石英超微位错构造反映出中温流变特征。在牟平剪切带,上庄西标本的石英超微位错构造反映中低温流变特征。根据图 1~2、表 1~2 可以得出,近东西向的石岛主剪切带以中温为主,而 NNE—NE 向荣成剪切带和牟平剪切带有低温变形的规律。位于旋扭地块内部的大时家石英超微位错构造反应的温度最高。

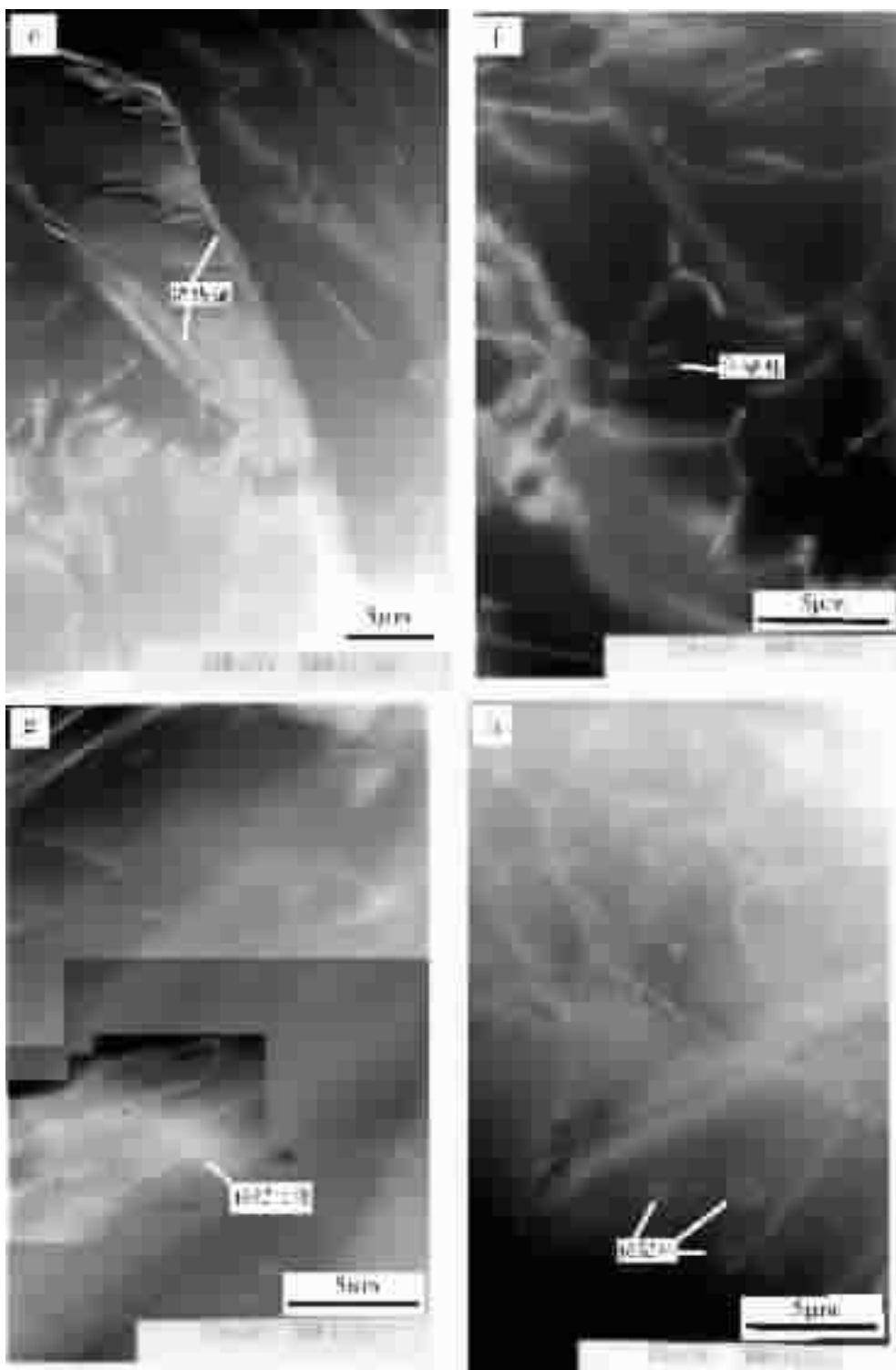
图版 I 说明 (Explanation of Plate I)



a—样品 01120710, 采自海阳所, 20k×SA, 300kV13516, 平直的位错线, 偶见位错环, 位错壁; b—样品 01120903, 采自前岛, 10k×SA, 300kV13543, 位错环; c—样品 01121004, 采自馍娜岛, 10k×SA, 300kV13554, 螺型位错, 位错壁;
 d—样品 01121004, 采自馍娜岛, 10k×SA, 300kV13554, 螺型位错

a—Sample 01120710, from Haiyangsuo, 20k×SA, 300kV13516, straight dislocation line and sometimes dislocation loop and dislocation wall;
 b—Sample 01120903, from Qiandao, 10k×SA, 300kV13543, dislocation loop; c—Sample 01121004, from Moyedao, 10k×SA, 300kV13554, screw dislocation and dislocation wall.; d—Sample 01121004, from Moyedao, 10k×SA, 300kV13554, screw dislocation

图版 II 说明 (Explanation of Plate II)



e—样品 01120907, 采自大时家, 10k×SA, 300kV13505-2, 位错壁; f—样品 01121007, 采自西龙家, 15k×SA, 300kV13525-2, 位错环;
 g—样品 01121007, 采自西龙家, 15k×SA, 300kV13527, 位错弓弯; h—样品 01121402, 采自上庄西, 15k×SA, 300kV13531-1, 位错环
 e—Sample 01120907, from Dashijia, 10k×SA, 300kV13505-2, dislocation wall; f—Sample 01121007, from Xilongjia, 15k×SA, 300kV13525-2,
 dislocation loop; g—Sample 01121007, from Xilongjia, 15k×SA, 300kV13527, dislocation bow-out; h—Sample 01121402,
 from west of Shangzhuang, 15k×SA, 300kV13531-1, dislocation loop

表 2 胶东东部主要剪切带岩石样品显微镜下特征、石英位错构造类型、流变特征及超微构造与差异应力
 Table 2 Detailed microscopic description of rock samples, dislocation types of strained quartz and their rheological features and ultramicroscopic structure
 and differential stresses in the main shear zones in eastern Jiaodong

地点样号	样品定名	显微镜下特征	位错构造类型	亚晶粒边界类型	流变学特征	照片数目	自由位错/cm ²	差异应力/MPa	构造部位
海阳所 01120710	石英云母片岩	原生矿物石英、新生矿物白云母和绢云母；糜棱结构，碎斑不规则，直径0.5mm以上；构造矿物石英波状消光，白云母有膝折现象，矿物具有弱定向性	平直的位错线，偶见位错环	位错线	中温	4	2.533×10 ⁸	105	
前岛 01120903	二云石英片岩	原生矿物石英和黑云母，新生矿物白云母；中粒变晶结构；石英波状消光、亚晶粒构造发育、定向排列，白云母自型、有定向性	长短不一，弯曲、方向杂乱的位错线，可见位错环、位错网、位错链	位错壁、位错线	中温	18	2.413×10 ⁸	102	石岛剪切带
馍娜岛 01121004	黑云母花岗岩片麻岩	原生矿物为斜长石、石英和黑云母，新生矿物绢云母和黄铁矿；不等粒变晶结构、碎裂结构；部分斜长石、石英有波状消光现象，斜长石普遍发育机械双晶，石英普遍发育变形纹，黑云母弱变形但其定向性，总体具片麻状构造	弯曲、长短不一、方向杂乱的位错线，可见位错环	位错线、位错壁	中温	22	2.392×10 ⁸	102	
大时家 01120907	花岗岩片麻岩	见原生矿物石英、斜长石、黑云母和角闪石，新生矿物；自形一半自形不等粒变晶结构；斜长石机械双晶变形，石英发育亚晶粒构造	长短不一、弯曲、方向杂乱的位错线，可见位错环、位错网、位错链、位错壁	位错壁、位错线	中高温	20	2.727×10 ⁸	109	荣成推覆体 (旋扭地块)
西龙家 01121007	碎裂花岗岩质片麻岩	见原生矿物正长石、斜长石、石英和黑云母，新生矿物绢云母和黄铁矿；碎裂结构，主要是石英发生破裂变形，部分长石发生破裂；片麻状构造发育；石英颗粒波状消光，具拉长定向性，黑云母强烈变形，见云母鱼形态，指示了剪切方向	长短不一，弯曲的位错线，可见位错网、位错列、位错环	位错线	中温	22	2.267×10 ⁸	99	荣成剪切带
上庄西 01121402	黑云花岗岩片麻岩	见原生矿物微斜长石、斜长石和石英，新生矿物黑云母和绢云母；见微斜长石格子双晶、斜长石聚片、简单双晶，其上有蠕虫状石英发育，呈现交代蠕虫结构，颗粒间弧形接触，具变余花岗岩结构；石英、斜长石波状消光；黑云母呈定向排列、多具平行四边形的石英被拉长、定向性与黑云母大体一致、部分亚晶粒构造发育，石英与黑云母接触处偶见压溶现象	光滑的位错线为主，亦见位错环、树枝状位错、位错壁	位错线	中低温	22	1.742×10 ⁸	87	牟平剪切带

位错是晶体线状缺陷的主要类型,由点缺陷的线性排列而成。位错活动引起晶格变形,是最有意义的晶格缺陷^[4]。

4 石英古应力计的估算方法及运算结果解释

4.1 石英古应力计的估算方法

笔者采用 Weathers^[15]等的自由位错应力计进行了研究区的差异应力估算:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 6.6 \times 10^{-3} \rho^{0.5} \quad (1)$$

其中: $(\sigma_1 - \sigma_3)$ —差异应力, MPa; ρ —自由位错密度, cm^{-2}
 ρ 主要依据式(2)计算得到:

$$\rho = \frac{2NA}{Lt} \quad (2)$$

其中: t —超微薄片的厚度,通常取 $t = 5 \times 10^{-5}$; A —放大倍数。

在式(2)中,首先采用 Smith-Guthman 法进行统计,即测量与单位面积交截的位错数,将许多条随机取向的总长为 L (单位为 cm)的直线标绘在 TEM 照片上;然后统计这些直线与位错的交点数 N ,代入式(2)得到自由位错密度 ρ 。

这种方法仅以一种稳态流变条件下成立。依据 TEM 照片进行位错初步统计显示,接近稳态流变条件,故运算结果是可信的。

4.2 运算结果解释

对自由位错密度进行了测量统计,代入公式(1)、(2),从而得到石岛韧剪带、荣成剪切带和牟平剪切带内的古差异应力值(表2)。

从表2可以得出,石岛剪切带、旋扭地块→荣成剪切带→牟平剪切带的古差异应力值呈现逐渐降低的趋势,但差异应力值在同一数量级上,说明是处在相似的大地构造环境下。

前已述及,近东西向的主剪切带以中温为主,而 NNE—NE 向主剪切带具有低温变形的规律。那么差异应力的规律似乎可以跟温度条件对比,即中温的地带差异应力较高,中低温的地带差异应力较低。

5 结语

(1)主要逆冲剪切带的石英位错亚构造以线位错为主,并常见位错环、位错弓弯、位错链、位错列、位错网及亚晶粒等构造型式颗粒等。石英超微位错构造总体反映的是中温—低温塑性变形环境。

(2)石岛剪切带、荣成剪切带、牟平剪切带的古差异应力值呈现逐渐降低的趋势,跟温度呈反相关的关系。

致谢:衷心感谢中国地质科学院地质研究所陈方远高级工程师、北京大学电镜室陈晶老师在透射电镜实验中的帮助。同时,感谢中国地质大学(北京)刘俊来教授对本文的热情指正。

参考文献(References):

[1] 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[J].中国科学(D辑),2003,33(10):913~920.

Zhai Mingguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, et al. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block. Science in China (Series D) [J]. 2004, 47(2):151~159(in Chinese).

[2] 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圈深部过程[J].中国科学(D辑),2003,32(增刊):11~20.

Zhou Xinhua, Yang Jinhui, Zhang Lianchang. Metallogenesis of superlarge gold deposits in Jiaodong region and deep processes of sub-continental lithosphere beneath North China Craton in Mesozoic[J]. Science in China (Series D) .2003, 46 (supp.):14~25(in Chinese).

[3] 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[J].地质科学,2000,35(1):16~26.

Zhai Mingguo, Guo Jinghui, Wang Qingchen, et al. Division of petrological-tectonic units in the Northern Sulu ultra-high pressure zone:an example of thick-skin thrust of crystalline units[J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(1):16~26 (in Chinese with English abstract).

[4] 翟明国,从柏林,郭敬辉,等.苏鲁造山带东北端石榴辉石麻粒岩的 Sm-Nd 同位素年代学及其大地构造含义[J].地质科学,1999,34(3):301~310.

Zhai Mingguo, Cong Bolin, Guo Jinghui,et al. Sm-Nd geochronology and petrography of garnet pyroxene granulites in the northern Sulu region and their geotectonic implication [J].Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(3):301~310 (in Chinese with English abstract).

[5] 林伟,Faure M,王清晨.胶东半岛中生代构造演化的几何学和运动学[J].地质科学,2003,38(4):495~505.

Lin Wei, Faure M, Wang Qingchen. Mesozoic geometry and kinematics in the Jiaodong Peninsula and its tectonic evolution[J].Scientia Geologica Sinica,2003, 38(4):495~505 (in Chinese with English abstract).

[6] Li Z X. Collision between the North and South China blocks:a crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault[J]. Geology, 1995, 23:574~576.

[7] 李永刚,郭敬辉,翟明国,等.胶东地区基底长英质片麻岩的地球化学特征及其构造归属[J].岩石学报,1999,15(4):557~563.

Li Yonggang, Guo Jinghui, Zhai Mingguo, et al. Geochemical differences of basement felsic gneisses in Shandong peninsula and its significance to the boundary between North China plate and Sulu UHP belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(4):557~563 (in Chinese with English abstract).

[8] Xu P, Liu F, Ye K, et al. Flake tectonics in the Sulu orogen in eastern China as revealed by seismic tomography [J].Geophysical Research Letters, 2002, 29:X1~X4.

[9] 平仲良.胶东地区旋扭构造的遥感探测[J].环境遥感,1994,9(3):223~227.

Ping Zhongliang. The survey of vortex structure in Jiaodong area with landsat-5 TM data[J]. Remote Sensing of Environment China, 1994, 9(3):223~227(in Chinese with English abstract).

[10] 杨敏之,吕古贤.胶东绿岩带金矿地质地球化学[M].北京:地质出版社,1996.1~228.

- Yang Minzhi, Lü Guxian. The Geology-Geochemistry of Gold Deposits of the Greenstone Belt in Jiaodong District, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 1~228 (in Chinese with English summary).
- [11] 张丕建, 赵运伦. 文-威地区胶南造山带根部的韧性剪切系统[J]. 山东地质, 1997, 13(2):10~18.
- Zhang Pijian, Zhao Yunlun. Ductile shear systems in the root of the Jiaonan orogenic belt in the Wen-Wei area [J]. Geology of Shandong, 1997, 13(2):10~18 (in Chinese with English abstract).
- [12] 周江羽, 李思田, 杨士恭, 等. 胶莱盆地东北缘中生界粗碎屑岩段的沉积层序及含金性[J]. 沉积学报, 1998, 16(1):140~146.
- Zhou Jiangyu, Li Sitian, Yang Shigong, et al. Sedimentary sequence and gold-bearing behaviour of the Mesozoic coarse clastic member, northeast border of Jiaolai Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(1):140~146 (in Chinese with English abstract).
- [13] Passchier C W, Trouw R A. Microtectonics [M]. Heidelberg. Berlin: Springer-verlag, 1996. 1~289.
- [14] 钱光谟, 曹代勇, 徐志斌, 等. 煤田构造研究方法[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994. 151~168.
- Qian Guangmo, Cao Daiyong, Xu Zhibin, et al. The Research Techniques of Coal Structural Geology [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1994. 151~168 (in Chinese).
- [15] Weathers M S, Bird J M, Cooper R F, et al. Differential stress determined from deformation-induced microstructures of the Moine thrust zone[J]. J. Geophys. Res. 1979, 84(B13):7495~7509.

Ultramicrostructure of the Mesozoic strike-slip thrust belt in eastern Jiaodong

ZHANG Hong-yuan^{1,2}, HOU Quan-lin³, CAO Dai-yong⁴

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

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

3. Graduate School of China Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

4. Key Laboratory of Coal Resources (CUMT), Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Eastern Jiaodong, regionally located at the eastern end of the Qinling-Dabie-Sulu orogenic belt, is a Mesozoic strike-slip thrust belt. The study of ultramicroscopic structure is favorable to solving the problem of deformation mechanisms of rocks. Microstructure and ultramicrostructure of the strike-slip thrust belt in eastern Jiaodong have been studied using both microscopy and TEM. Study indicates that the dislocation substructure of quartz in the main strike-slip thrust shear zone is dominated by linear dislocation, and in addition, dislocation loops, bow-out, walls, arrays and net and subgrains are also common. A middle- to low-temperature, plastic deformation environment can be deduced from the ultramicroscopic dislocation structures of quartz. Furthermore, the average differential paleo-stress values of the Shidao, Rongcheng and Mouping shear zones show a trend of gradual decrease, which seems to be inversely correlated with the trend of temperatures.

Key words: eastern Jiaodong; strike-slip thrust belt; ultramicrostructure

About the first author: ZHANG Hong-yuan, male, born in 1977, doctor candidate, majors in the study of deformation metamorphism in orogenic belts; E-mail: Zhang-hong-yuan@263.net.