

CCSD 主孔 100~ 2 950 m 榴辉岩类和片麻岩类 叶理及微断层产状特征

唐哲民

(中国地质科学院 地质研究所, 国土资源部 大陆动力学重点实验室, 北京 100037)

摘要: CCSD 主孔 100~ 2 950 m 榴辉岩、退变榴辉岩类岩石叶理倾角明显较片麻岩类岩石叶理倾角陡, 前者总体倾角 55°左右, 后者 28°左右, 局部可见片麻岩类叶理切割榴辉岩类叶理, 因此两者叶理可能形成于不同时期; 两类岩石之间现部分为韧性剪切带接触关系, 韧性剪切带形成于苏鲁地体折返主期自 SEE 向 NW 的韧性剪切作用。榴辉岩、退变榴辉岩类岩石叶理产状对发育于该类岩石内的微断层产状有一定控制作用, 而片麻岩类岩石叶理产状对发育于该类岩石内的微断层产状控制作用相对较弱。孔区脆性变形主要反映白垩纪以来 SEE_NW 向伸展构造应力场的变形特征, 主孔 100~ 1 620 m 倾伏向以 SEE 向占绝对优势的微正滑断层擦痕即为该期变形的产物。

关键词: CCSD 主孔; 榴辉岩; 退变榴辉岩类; 片麻岩类; 叶理; 微断层

中图分类号: P542; P588.3

文献标识码: A

文章编号: 1000- 6524 (2005) 05- 0433- 05

Attitude characteristics of eclogite type and gneiss type foliations and miniature faults in 100~ 2 950 m core of the CCSD main hole

TANG Zhe_min

(Key Laboratory of Continental Dynamics, MLR, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The dip angles of eclogite and retrograde metamorphic eclogite type foliations in 100~ 2 950 m core of the CCSD main hole are obviously steeper than the angles of gneiss type foliations, with the former angles being generally 55° or so and the latter around 28°. Foliations of gneiss type locally dissect foliations of eclogite type, and hence foliations of these two types might have been formed in different periods. The contact relation between the two types of rocks is that of ductile shear zone formed during SEE_NW ductile shearing at the main exhumation stage of Su_Lu terrane. Foliation attitude of eclogite and retrograde metamorphic eclogite plays a certain role in controlling attitude of miniature faults in eclogite type rocks, whereas foliation attitude of gneiss type exerts a relatively weak role in controlling attitude of miniature faults in gneiss type rocks. Brittle deformation in the main hole mainly reflects deformational characteristics of the SEE_NW extensional tectonic stress field since Cretaceous. The striation plunging of miniature normal faults in 100~ 1 620 m core of the main hole is predominantly in SEE direction, and this evidently results from deformation of this stage.

Key words: the CCSD main hole; eclogite; retrograde metamorphic eclogite type; gneiss type; foliation; miniature fault

1 地质背景

中国大陆科学钻探工程 (CCSD) 主孔位于苏鲁超高压变质带内的江苏东海县毛北村境内。苏鲁高压-超高压变质带的总体折返面理轨迹为 NE₂SW 走向, 向 SE 和 SEE 向缓倾, 其基本构造单元为剪切构造岩片。剪切构造岩片之间的界线为强变形带组成的韧性剪切带, 若干剪切构造岩片又组成剪

切构造叠覆岩片, 自 SE 向 NW 分为如下单元: 南苏鲁高压低温变质岩剪切构造叠覆岩片 (I)、南苏鲁高压中温变质岩剪切构造叠覆岩片 (II)、北苏鲁超高压变质表壳岩剪切构造叠覆岩片 (III) 和北苏鲁超高压花岗质变质岩剪切构造叠覆岩片 (IV) (许志琴等, 2004), CCSD 主孔位于北苏鲁超高压变质表壳岩剪切构造叠覆岩片内。CCSD 主孔 100~ 2 950 m 基本连续的岩心柱可划分为 4 个大的岩性段 (图 1), 其中两个岩性段以榴辉岩、退变榴辉岩类为主, 内含超基性岩及榴辉岩质片

收稿日期: 2005-07-15; 修订日期: 2005-08-05

基金项目: 科技部 973 项目 (2003CB716500); 中国地质调查局地质大调查项目 (121201056606); 中国大陆科学钻探工程项目资助

作者简介: 唐哲民 (1966-), 男, 学士, 副研究员, 主要从事变形构造研究、区调填图及岩芯构造编录等工作; E-mail: tzm6899@sina.com。

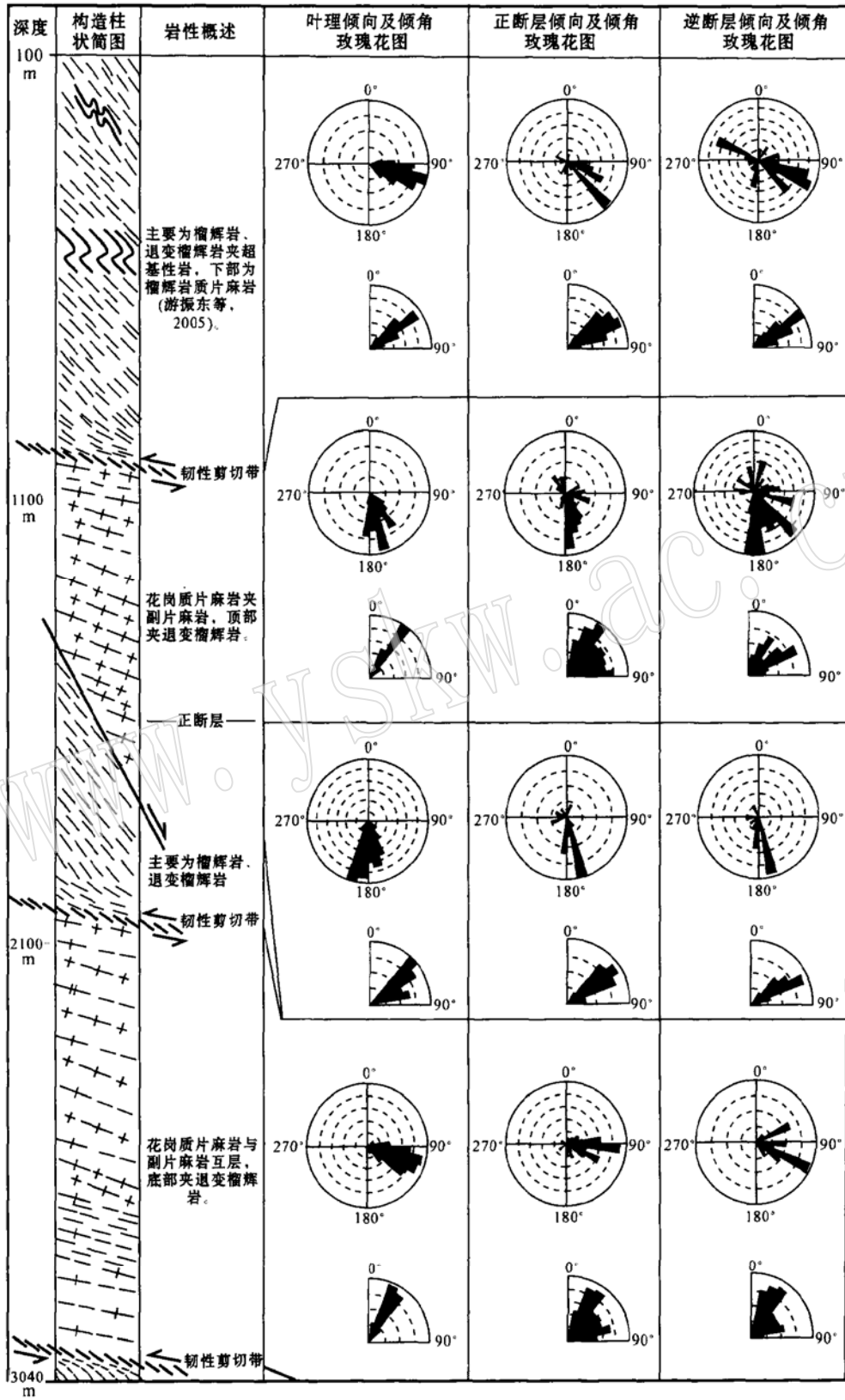


图 1 CCSD 主孔 100~ 2 950 m 岩心柱构造简图及叶理和微断层产状玫瑰花图

Fig. 1 Structural sketch and attitude rose of foliations and miniature faults in 100~ 2 950 m core of the CCSD main hole
1 800~ 2 040 m 基本无正 逆滑微断层, 第三岩性段产状玫瑰花图只反映 1 600~ 1 800 m 相关数据

麻岩, 另有两个岩性段以片麻岩为主, 片麻岩分为副片麻岩和正片麻岩, 后者有多种类型, 大部分属角闪黑云斜长片麻岩于 180 Ma 选择性部分熔融的产物(游振东等, 2005)。研究表明, 在叶理产状及叶理产状对微断层产状的控制作用方面两个岩性段均存在明显差异。

2 榴辉岩、退变榴辉岩类岩性段与片麻岩类岩性段的接触关系

在超高压变质地体中, 大量榴辉岩和超基性岩呈大小不一的透镜状、团块状夹在大面积分布的变质表壳岩和花岗质片麻岩中。其中, 花岗质片麻岩占 70%, 变质表壳岩占 25%, 榴辉岩和超基性岩占 5% (许志琴等, 2003)。榴辉岩的面理和围岩片麻岩的片麻理从平行到大角度斜交都可见到(叶凯等, 1992)。Wallis 等(1999)认为榴辉岩透镜体的叶理产状并

不总是与围岩片麻岩协调一致, 可以局部被形成于角闪岩相的韧性剪切带切割; 宋明春等(2003)在鲁东官山发现花岗质片麻岩与榴辉岩两者叶理产状呈交切关系, 前者切割后者, 且前者有细脉贯入榴辉岩中。CCSD 主孔 100~ 2 950 m 岩心柱榴辉岩、退变榴辉岩类叶理产状明显较片麻岩类叶理产状陡, 前者总体倾角 55°左右, 后者 28°左右, 局部可见片麻岩类叶理切割榴辉岩、退变榴辉岩类叶理, 反映了早期两者之间的侵入接触关系。两类岩石之间现部分为韧性剪切带接触关系(图 1, 图 2)。韧性剪切带产状平缓, 与下部的片麻岩叶理产状基本一致, 剪切指向主要为 SEE 向 NWW 的逆冲, 榴辉岩、退变榴辉岩类的叶理在趋近韧性剪切带时叶理倾角逐渐变缓并与韧性剪切带倾角趋于一致。总体上, 榴辉岩、退变榴辉岩类变形明显强于花岗质片麻岩(唐哲民等, 2005), 与两者面理产状的差异可能存在某种联系。

综上所述, CCSD 主孔榴辉岩、退变榴辉岩类与片麻岩类

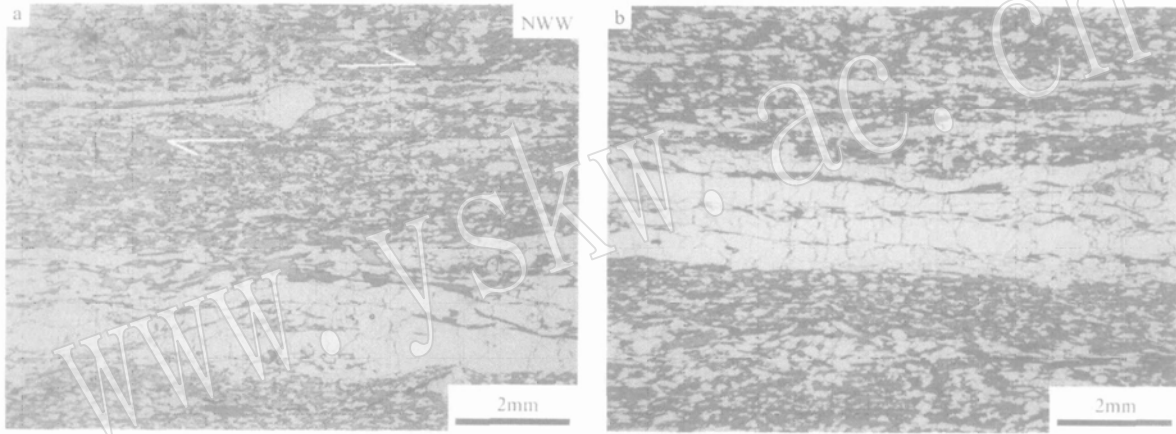


图 2 榴辉岩类与片麻岩类之间的韧性剪切带接触关系

Fig. 2 Contact relation of ductile shear zone between eclogite type and gneiss type

a—角闪片岩内旋转碎斑体系示 SEE 向 NWW 剪切指向; b—角闪片岩内重结晶石英条带

a—rolled porphyroclastic structure in the interior of hornblende schist indicates shear sense from SEE to NWW;

b—polycrystalline quartz bands of hornblende schist

叶理产状的不一致性可能反应了两类原始叶理产状的不一致性, 其中榴辉岩、退变榴辉岩类叶理可能形成早, 片麻岩类叶理可能形成晚, 在苏鲁地体折返过程中, 沿两类岩石边界形成自 SEE 向 NWW 剪切的韧性剪切带。此外, 片麻岩内局部地段存在薄层状榴辉岩或退变榴辉岩(一般数十厘米至 20 m 厚)夹层, 并与片麻岩叶理平行。

3 岩石叶理与微断层产状特征

由图 1 可知, 榴辉岩、退变榴辉岩类叶理产状与微断层产状有一定的相似性, 总体向 SEE 倾, 仅 1 600~ 1 800 m 向 SSE 倾, 总体倾角 55°左右; 而片麻岩类叶理产状与微断层产状差异较大, 表现为后者倾角分散, 但倾向差异不大, 主要向 SSE (1 012~ 1 600 m) 或 SEE (2 040~ 2 950 m) 倾。因此, 榴辉岩、

退变榴辉岩类叶理产状对微断层产状有一定控制作用, 表现为在岩石叶理较发育部位(角闪片岩等), 一部分微断层平行叶理面发育。而片麻岩类叶理产状对微断层产状控制较弱。

断层面上的擦痕方位可以用来确定主应力方位(万天丰, 1988)。笔者通过对 CCSD 主孔 100~ 1 620 m 脆性微断层的正滑擦痕与逆滑擦痕倾伏向分别进行的统计分析发现, 正滑擦痕倾伏向以 SEE 向占绝对优势(图 3a), 说明伸展变形构造应力场的最大拉伸方向(σ_3)主要为 SEE_NWW 向; 逆滑擦痕倾伏向优选方位比较分散(图 3b), 没有占绝对优势的优选方位, 优选方位主要为 SEE_SE 向、近 SN 向、SW_NE 向, 基本代表不同期次挤压变形构造应力场的最大主压应力(σ_1)方位。通过同一断层面上不同期次擦痕的切割关系(表 1)可以看出, 相同方位的构造应力场可能存在两期(次)或两期(次)以上的构造变形。

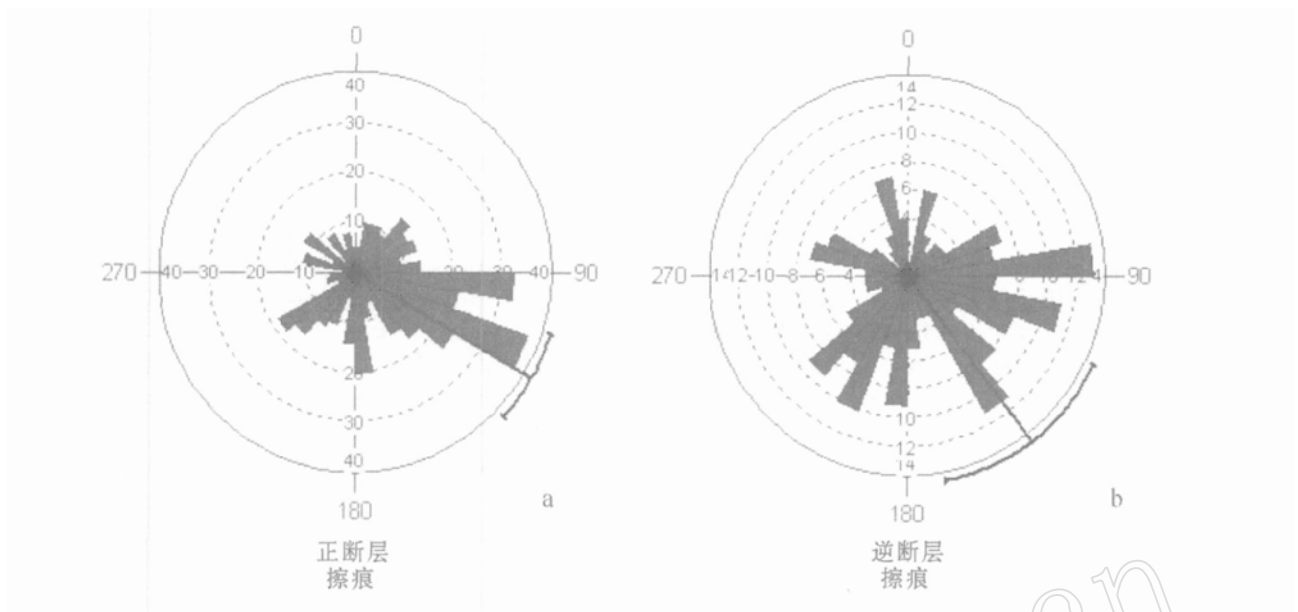


图 3 CCSD 主孔 100~ 1 620 m 脆性微断层的正滑擦痕与逆滑擦痕倾伏向玫瑰花图

Fig. 3 Striation plunging direction rose diagram of normal and thrusting brittle miniature faults in 100~ 1 620 m core of the CCSD main hole

表 1 CCSD 主孔脆性微断层的擦痕倾伏向及切割关系
Table 1 Striation plunging direction and dissecting relation of brittle miniature faults in the CCSD main hole

深度/m	断层产状	擦痕倾伏向及性质	擦痕切割关系
767	101°∠60°	St ₁ : 101°, 正滑; St ₂ : 14°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
790	115°∠35°	St ₁ : 47°, 正滑; St ₂ : 115°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
808	115°∠80°	St ₁ : 29°, 正滑; St ₂ : 115°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
829	283°∠39°	St ₁ : 283°, 正滑; St ₂ : 238°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 072	141°∠30°	St ₁ : 85°, 逆冲; St ₂ : 196°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
1 088	144°∠62°	St ₁ : 215°, 正滑; St ₂ : 134°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
1 106	162°∠26°	St ₁ : 85°, 逆冲; St ₂ : 174°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 112	132°∠24°	St ₁ : 78°, 正滑; St ₂ : 174°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 123	131°∠34°	St ₁ : 50°, 正滑; St ₂ : 176°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 137	126°∠22°	St ₁ : 121°, 正滑; St ₂ : 77°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
1 142	177°∠34°	St ₁ : 104°, 逆冲; St ₂ : 177°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 154	329°∠88°	St ₁ : 59°, 逆冲; St ₂ : 242°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 218	173°∠40°	St ₁ : 92°, 正滑; St ₂ : 236°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
1 614	44°∠37°	St ₁ : 85°, 正滑; St ₂ : 54°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁
1 617	82°∠66°	St ₁ : 40°, 正滑; St ₂ : 165°, 逆冲	St ₂ 切割 St ₁
1 618	82°∠48°	St ₁ : 82°, 逆冲; St ₂ : 158°, 正滑	St ₂ 切割 St ₁

地区不同时代的纵弯褶皱及共轭剪节理系等构造的研究, 确定中国东部中生代共发育 6 期构造应力场, 印支期是扬子板块与中朝板块发生碰撞的时期, 地壳以近 SN 向缩短为特征, 最大主压应力轴 σ_1 产状为 SE160°∠9°, 燕山期最大主压应力轴 σ_1 产状为 SE117°∠1°。苏鲁地区折返主期自 SEE 向 NW 发生逆冲型韧性剪切作用(许志琴等, 2003; Faure *et al.*, 2003), 该期变形的构造应力场即相当于万天丰(1995)所指的燕山期构造应力场。任纪舜等(1990)指出, 燕山运动(约 155~ 140 Ma)是显生宙中国东部压倒一切的一次构造运动, 自燕山运动开始形成的构造线方向主要为 NE_NNE 向; 自白垩纪开始, 亚洲东部大陆边缘大规模裂解, 形成裂陷盆地系。中国东部地区白垩纪断层走向 NE 或 NNE, 均为正断层或走滑正断层, 它们控制了一系列 NE 向伸展盆地的发育(任纪舜等, 1990)。苏鲁高压-超高压变质带在后折返的伸展事件(约 150~ 100 Ma)中控制了白垩纪伸展型莱阳火山沉积盆地的形成(许志琴等, 2003)。万天丰(1995)在中国东部自白垩纪到第四纪共辨认出 4 期构造应力场, 其中的挤压变形强度已经较弱, 而伸展变形很强烈。因此, 中国东部自白垩纪开始主要受伸展构造体制控制。

4 讨论

前人对苏鲁地区的脆性变形构造应力场已进行了一定程度的研究, 崔军文等(2004)通过 CCSD 主孔 500 m 以上脆性破裂的详细分析, 确定 4 期不同性质的构造应力场: SEE_NNW 向为主导的挤压作用、NE_SW 向的区域挤压作用、SN 向挤压作用及垂向伸展作用。万天丰(1995)通过对中国东部

笔者对 CCSD 主孔 100~ 2 950 m 脆性微断层进行了统计分析, 发现 CCSD 主孔的脆性微断层以正断层为主(951 条), 逆断层条数(469 条)远少于正断层, 且主孔中所见构造角砾岩带性质主体为张性或张扭性, 角砾棱角状, 大小混杂。主孔附近的 PP2 孔中还发育大量已张开的裂缝, 裂缝张开宽度达 1~ 2 cm, 部分裂缝发育垂直裂缝壁生长的晶芽。以上现象说明 CCSD 主孔内的脆性变形以伸展变形为主。如前所述, 微正滑断层擦痕资料反映 CCSD 主孔的伸展变形最大拉

伸方向(σ_3)主要为SEE-NWW向,结合前人资料,说明CCSD主孔的脆性变形主要反映白垩纪以来的SEE-NWW向伸展构造应力场的变形特征,主孔中大量“Z型”褶皱的存在可能是该期变形的产物。

5 结论

CCSD主孔100~2950 m榴辉岩退变榴辉岩类岩石叶理倾角明显较片麻岩类岩石叶理倾角陡,前者总体倾角 55° 左右,后者 28° 左右,局部可见片麻岩类叶理切割榴辉岩类叶理,两类岩石之间现部分为韧性剪切带接触关系。榴辉岩退变榴辉岩类岩石叶理产状对发育于该类岩石内的微断层产状有一定控制作用,而片麻岩类岩石叶理产状对发育于该类岩石内的微断层产状控制作用相对较弱。孔区脆性变形主要反映白垩纪以来SEE-NWW向伸展构造应力场的变形特征。主孔100~1620 m微正滑断层擦痕倾向以SEE向占绝对优势即为该期变形的产物。

致谢 本文所用原始资料为CCSD岩石构造编录室及测井室有关成员的集体劳动成果,特致诚挚谢意。

References

- Cui Junwen, Wang Lianjie, Li Pengwu, *et al.* 2004. Tectonic stress field of brittle deformation within 2000 m of the main borehole Chinese Continental Scientific Drilling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(1): 73~84(in Chinese with English abstract).
- Faure M, Lin W, Monie P, *et al.* 2003. Exhumation tectonics of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Qinling orogen in East China: New Petrological_structural_radiometric insights from the Shandong Peninsula[J]. *Tectonics*, 22(3): 1~22.
- Ren Jishun, Chen Tingyu, Niu Baogui, *et al.* 1990. Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 88~101(in Chinese).
- Song Mingchun, Jin Zhenmin, Wang Laiming, *et al.* 2003. New discovery of the contact relation between eclogite and country rocks in Guanshan, eastern Shandong and its enlightenment for chronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 238~244(in Chinese with English abstract).
- Tang Zhemin, Chai Yaochu, Chen Shizhong, *et al.* 2005. Deformational characteristics of the granitic gneiss unit from the 1113~1600 m core of the CCSD main hole[J]. *Geology in China*, 32(2): 265~275(in Chinese with English abstract).
- Wallis S, Enami M and Banno S. 1999. The Sulu UHP terrane: A review of the petrology and structural geology[J]. *International Geology Review*, 41: 915.

- Wan Tianfeng. 1988. Ancient Tectonic Stress Fields[M]. Beijing: Geological Publishing House, 68((in Chinese).
- Wan Tianfeng. 1995. Evolution of Tancheng-Lujiang fault zone and paleostress fields[J]. *Earth Science*, 20(5): 526~534(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Zhang Zeming, Liu Fulai, *et al.* 2003. Exhumation structure and mechanism of the Sulu Ultrahigh-pressure metamorphic Belt, Central China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(4): 433~450(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Zhang Zeming, Liu Fulai, *et al.* 2004. The structure profile of 0~2000 m in the main borehole, Chinese Continental Scientific Drilling and its preliminary deformation analysis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(1): 53~72(in Chinese with English abstract).
- Ye Kai and Xu Ping. 1992. The study of lithogenesis of eclogite in Datan, Rongcheng, Shandong[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 8(1): 29~39(in Chinese with English abstract).
- You Zhendong, Su Shangguo, Liang Fenghua, *et al.* 2005. The metamorphic evolution of the eclogitic rocks in the main hole of the Chinese Continental Scientific Drilling Project: an elucidation on the uplift processes of the ultrahigh-pressure metamorphic terrane[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(2): 381~388(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 崔军文, 王连捷, 李朋武, 等. 2004. 中国大陆科学钻探主孔2000米以上脆性变形构造应力场[J]. *岩石学报*, 20(1): 73~80.
- 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 1990. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社. 88~101.
- 宋明春, 金振民, 王来明, 等. 2003. 鲁东官山榴辉岩与围岩接触关系的新发现及其对年代学的启示[J]. *地质学报*, 77(2): 238~244.
- 唐哲民, 柴耀楚, 陈世忠, 等. 2005. CCSD主孔1113~1600 m花岗质片麻岩单元的变形构造特征[J]. *中国地质*, 32(2): 265~275.
- 万天丰. 1988. 古构造应力场[M]. 北京: 地质出版社. 68.
- 万天丰. 1995. 郯庐断裂带的演化与古应力场[J]. *地球科学*, 20(5): 526~534.
- 许志琴, 张泽民, 刘福来, 等. 2003. 苏鲁高压-超高压变质带的折返构造及折返机制[J]. *地质学报*, 77(4): 433~450.
- 许志琴, 张泽民, 刘福来, 等. 2004. 中国大陆科学钻探主孔1200 m构造柱及变形构造初步解析[J]. *岩石学报*, 20(1): 53~72.
- 叶凯, 徐平. 1992. 山东荣成大疃榴辉岩成因岩石学研究[J]. *岩石学报*, 8(1): 29~39.
- 游振东, 苏尚国, 梁风华, 等. 2005. 中国大陆科学钻探主孔榴辉岩类岩石退变质过程——对超高压变质地体隆升的启示[J]. *岩石学报*, 21(2): 381~388.