

内蒙古临河—集宁深断裂中段早期 韧性剪切带及其构造演化

李 龙 张维杰 高德臻 耿明山 王 涛

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 临河—集宁深断裂是一条具长期活动历史的复杂断裂带, 以往对其早期演化研究甚少. 在1:5万区调工作基础上, 测制了5条1:2000构造剖面, 室内进行了大量的显微构造观察和组构测量. 研究表明, 该断裂太古宙末表现为高角闪岩相—麻粒岩相的高温韧性剪切带, 古元古代地壳在伸展体制下抬升之后又叠加有浅层次的绿片岩相低温韧性剪切活动. 中元古代之后转化为脆性断层活动, 控制着不同时期的沉积和岩浆建造.

关键词: 高温韧性剪切带; 低温韧性剪切带; 内蒙古固阳县.

中图分类号: P542+.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)03-0227-04

作者简介: 李龙, 男, 副教授, 1956年生, 1980年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 主要从事构造地质学、区域地质调查的教学和科研工作.

1 临河—集宁深断裂的区域特征及地球物理场

断裂带西起临河, 向东经固阳、武川、察哈尔右翼中旗至集宁市, 再向东延入河北省境内, 与尚义—平泉深断裂相连接, 总体呈东西走向, 全长1000余km. 在内蒙古境内, 断裂带处于重力高与重力低异常的转换部位, 重力布格梯度为 $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}/(\text{s}^2 \cdot \text{km})$. 在区域磁场中, 断裂北侧主要展布近东西走向的大面积负磁异常, 其中负磁异常低值轴线与深断裂相平行. 南侧属高值正异常区. 南北两侧之间出现一条近东西向带状分布的正、负磁异常窄带, 是深断裂在区域磁场中的显示, 而且与重力异常吻合. 沿断裂走向, 莫霍面等深线近东西向展布, 具明显的梯度带, 莫霍面由39 km下降到42 km^[1].

在乌拉山北缘至集宁以东地区, 该断裂不仅是正、负地貌的分界线, 同时也是前寒武纪变质岩系的分划面. 断裂带南侧为太古宙集宁群和乌拉山群, 北侧为新太古代色尔腾山群和中元古代渣尔泰山群.

该断裂带由数条韧性剪切带和脆性断裂组合而成, 内部结构复杂. 早期的韧性剪切面受后期脆性断裂和褶皱的改造, 已不具有原始的位态. 断裂带长期复杂的演化历史, 控制着两侧沉积建造和岩浆建造. 元古宙及其以后的沉积地层和太古宙以后的中基性—酸性侵入岩均沿断裂带呈近东西向分布. 从大区域角度分析, 该断裂应为内蒙地轴的北界断裂.

2 太古宙韧性剪切变形

2.1 韧性剪切带的宏观地质特征

韧性剪切带在测区内出露于固阳县南东卜界、西英兔至大南窑子一带. 南北宽约5 km, 东西长约12 km, 向东被中、新生代地层覆盖. 向西延入西邻图幅区. 剪切带中变形地层和岩石有乌拉山群深色片麻岩岩组(AR_{pg})、浅色片麻岩岩组(AR_q)和太古宙变质深成体石家渠片麻岩(S_{gn}).

剪切带由两期变形活动的糜棱岩组成. 主体为早期高角闪岩相—麻粒岩相高温韧性剪切带, 宽度约3 km. 早期剪切带北侧, 沙湾子村南为宽约2 km的晚期绿片岩相低温韧性剪切带. 早期韧性剪切带面理与乌拉山群片麻岩的片麻理为逐渐过渡关系. 西英兔以西糜棱面理为北东东走向, 倾向北北西, 倾



图 1 固阳县东卜界—大南窑子地质图

Fig. 1 Geological sketch map of the Dongpujie - Da'nanyaozi, Guyang County

1. 第四系; 2. 下第三系; 3. 太古宙乌拉山群浅色片麻岩岩组; 4. 太古宙乌拉山群深色片麻岩岩组; 5. 太古宙变质深成体—石家渠片麻岩; 6. 混合花岗岩; 7. 石英岩层; 8. 辉绿岩脉; 9. 脆性断裂; 10. 低温绿片岩相韧性剪切带; 11. 高温高角闪岩相—麻粒岩相韧性剪切带—强带; 12. 高温高角闪岩相—麻粒岩相韧性剪切带弱带; 13. 片麻理; 14. 片麻理产状; 15. 角度不整合



图 2 44 km—沙湾子韧性剪切带剖面

Fig. 2 Ductile shear zone section of 44 km - Shawanzi

1. 太古宙乌拉山群; 2. 角闪斜长片麻岩; 3. 黑云角闪斜长片麻岩; 4. 高温韧性剪切带强带; 5. 高温韧性剪切带弱带; 6. 低温韧性剪切带; 7. 辉绿岩脉; 8. 脆性逆断层

角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$. 向东转为近东西走向, 北倾, 倾角 $45^{\circ} \sim 80^{\circ}$. 糜棱面理上发育的矿物拉伸线理产状为 $20^{\circ} \sim 40^{\circ} / 45^{\circ} \sim 75^{\circ}$. 露头尺度上的剪切带在剖面上为北盘上升, 南盘下降. 平面上则具有左行运动. 晚期绿片岩相韧性剪切带由沙湾子村向东延至东英兔村北, 近东西走向, 北倾, 倾角 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$, 运动方向为北盘上冲(图 1).

在纵向上, 整个早期剪切带表现出不同变形强

弱带的交替出现. 总体看, 剪切带南北两侧变形相对较弱, 中部变形较强. 由包头—固阳公路 44 km—三姓堡—沙湾子村沿公路所测的剪切带横剖面反映了剪切带的内部结构特征(图 2). 早期剪切带横剖面上可进一步分为 3 个强变形带和 4 个弱变形带, 强、弱带在露头尺度上表现出不同的变形特征. 弱带中由暗色角闪质夹层或长英质脉体所表现出的剪切褶皱十分发育, 石英条带或条纹的长宽比值为 $3:1 \sim$

7:1. 强带中深色岩夹层或浅色脉体均为平行条带状,其宽度也明显减小. 石英条带条纹的长宽比值为8:1~30:1. 石英条带及条纹的长宽比值是野外划分变形强、弱带的主要标志.

2.2 糜棱岩显微构造及变形机制

早期高角闪岩相—麻粒岩相高温糜棱岩具有片麻状、条带状或条纹状构造,条带或条纹主要由石英组成,暗色条带主要由自形的黑云母和少量他形角闪石组成. 长石则分布于石英条带或暗色矿物条带之间,呈半自形粒状. 高温糜棱岩最显著的特征是几乎所有的矿物都已静态重结晶,仅在少数薄片中可见变余动态重结晶的锯齿状边界. 岩石中矿物粒度明显地呈双峰式分布,石英呈长而宽的条带,长石、角闪石和黑云母则为相对细粒的粒、片状. 石英主要为单晶或矩状多晶条带,弱变形带中的石英条带呈长透镜状、分枝状、边界较为平直. 随着变形作用增强,分枝条带减少,单体条带增多,条带之间为近于平行的平直定向排列. 与变形由弱至强相对应,石英条带的长宽比值逐渐增大,在垂直面理平行线理方向的切面上,石英条带的宽度随变形的增强而变窄. 石英晶体内的应变效应因重结晶而全部消失. 在不同的温度条件下,石英塑性变形的滑移系不同,从而表现出的不同的石英组构图. 在低于400℃条件下,石英变形主要在底面上沿 a 方向滑动 $\{0001\}(a)$,形成 Z 轴点极密. 在400~550℃条件下(绿片岩相),沿菱面上 a 方向滑动 $\{10\bar{1}1\}(a)$,形成 YZ 面上接近 Z 轴的点极密. 在550~650℃(角闪岩相)条件下,沿柱面 a 方向滑动 $\{10\bar{1}0\}(a)$,形成 Y 轴点极密. 在>650~700℃(麻粒岩相)条件下,石英主要沿柱面 c 方向滑动 $\{10\bar{1}0\}(c)$,形成 X 方向上的点极密^[2]. 据此可用石英光轴的优选方位图,分析其变形时的滑移系和变形时温度条件. 研究区内早期糜棱岩组构图的显著特征是发育以 Y 轴为旋转轴的小圆环带及接近 X 轴的点极密. 前者代表了石英在菱面 $\{10\bar{1}1\}$ 沿 a 方向和 c 方向共同滑移的结果,即 $\{10\bar{1}1\}(a+c)$. 后者代表的滑移系为 $\{10\bar{1}0\}(c)$ ^[3]. 由上述分析可知,石英的变形和组构特征反映其变形温度为中—高温环境(高角闪岩相—麻粒岩相). 长石全部重结晶呈半自形粒状,其粒度一般稍大于围岩中的长石. 局部地段可见粗大的巨斑眼球状晶体,粒径达2~3 cm,定向排列. 粒度较为均一的长石边界规则,且以三结点式接触. 强变形带中可见长

石双晶塑性弯曲,波状消光和机械双晶发育,并见有核幔构造. Borg等(据文献[4])实验证明:在温度800℃,围压为1 GPa条件下,斜长石中开始出现钠长石或肖钠长石机械双晶,它们可以出现在同一长石的不同部位. Tullis及Yund(据文献[4])对钠长石进行共轴压缩变形实验:当温度为500~650℃,压力为1.0~1.5 GPa时,长石以碎裂流动为主,即在显微尺度上表现为塑性流动,而在显微尺度上则表现为碎裂. 镜下观察到长石颗粒被压扁,波状消光发育,解理及双晶弯曲. 除变形实验外,近年来对天然变形岩石中的长石也进行了较多的研究. White等^[5]对发育在深部剪切带中的条纹长石的研究表明:在麻粒岩相条件下,条纹长石强烈变形,发育有亚颗粒、核幔构造及重结晶颗粒. 随着应变的增大,还出现条纹长石的出溶. 长石的变形机制以重结晶调节的位错蠕变为主,同时存在扩散蠕变作用. 黑云母:全部重结晶,自形程度高,定向排列,有时呈弱带状分布. 多色性以暗绿色为主,中心可见有少量棕红色残晶. 变形机制为动态重结晶. 角闪石:具绿色多色性,单晶常具定向形态组构. 颗粒边界形态因接触的矿物不同而变化. 与长石相邻时,长石新晶被半包含,但二者边界规则. 与石英条带接触时,边界平直,颗粒呈半自形粒状. 被石英条带包含时,颗粒呈边界圆滑的透镜状. 上述变形特征说明角闪石的变形机制即有位错蠕变,也有扩散蠕变存在.

晚期绿片岩相糜棱岩以糜棱面理、矿物粒度减小和弱的石英条带为特征. 镜下石英为多晶条带,条带中单晶为等粒状,可见波状消光、带状消光和少量核幔构造. 长石呈眼球状碎斑,显微破裂发育,并有波状消光. 岩石中由剪切变形引起的退变质作用明显;斜长石绢云母化、白云母化、钠长石化. 角闪石黑云母化,黑云母则绿泥石化. 晚期绿片岩相韧性剪切带的变形机制主要为显微破裂、碎裂流动和位错滑移为主.

3 韧性剪切带的形成环境及其构造演化

20世纪90年代以来,1:5万区域地质调查已将色尔腾山和乌拉山地区全面覆盖,其区调成果为进一步深入研究这一地区的地质构造问题提供了大量丰富的实际资料. 包头以北,太古宙集宁群和乌拉山

群变质岩系中,发育 6 条长度 12~60 km,宽 0.2~3 km 的韧性剪切带.笔者所研究的固阳南东卜界—大南窑子韧性剪切带是这一组剪切带最北边的一条.剪切带总体近东西走向,产状和变质岩产状近于一致,局部为小角度相切,并且剪切带主要沿不同岩组或岩性层界面分布.在一些地段可见变质岩地层紧闭褶皱的两翼韧性剪切带呈对称分布.在长英质矿物含量较高的岩石中,剪切带内常见长石巨斑状眼球构造,即前人所称的眼球状片麻岩.这种长石常表现为对称眼球.镜下观察,颗粒内无明显应变现象,说明粒度明显粗于围岩的长石眼球应是高温韧性剪切过程中同构造生长的斑晶.高温韧性剪切带以出现高温矿物组合为特点,其主要矿物组合为:

Sill + Ga + Cord + Pl + Mic + Q,

Pl + Mic + Q + Bi.

堇青石为韧性剪切过程中形成,具拉长的拔丝状,与拔丝石英平行排列,为变质变形过程中结晶形成,其变质反应为:

$5\text{Sill} + 1\text{Ga} + 1\text{Bi} + 7\text{Q} + 0.5\text{H}_2\text{O} = 3\text{Cord} + 1\text{Mic}$.

这一反应与麻粒岩相变质作用过程的峰期阶段的变质反应是一致的,表明二者的变质温压条件基本相似.从矿物之间的反应关系判断,二者形成的时间也是相近的,说明高温韧性剪切带变质作用发生的时间与麻粒岩相变质的峰期阶段同时.二者的流体组成也基本类似.矿物对地质温度计的研究表明,这一变质作用的形成温度为 750 ℃ 左右^[6].韧性剪切带中矿物变形及其机制所反映的变质相也为高角闪岩相—麻粒岩相或麻粒岩相.据此可以认为早期高温韧性剪切带是地壳中、下层次水平分层剪切所致,其

形成时代应和乌拉山群、集宁群高角闪岩相—麻粒岩相、麻粒岩相变质作用大体同时,但在其主变形期之前,时代为太古代宙五台期.晚期低温绿片岩相韧性剪切带是在南北向伸展体制下地壳抬升降起后的产物.乌拉山及其以南地区缺失下元古界沉积记录,中元古代东西向裂谷中沉积的渣尔泰山群和北部的白云鄂博群,以及内蒙中部、五台和太行地区古老变质岩基底中十分发育的古、中元古代辉绿岩墙群,均反映元古代开始地壳已由深部转化为浅层次的刚性状态.测区东部固阳县下湿壕地区可见古元古代钾长花岗岩,单颗锆石年龄 $(1\ 819 \pm 3.2)\text{ Ma}$,侵位于晚期绿片岩相韧性剪切带中^①,从而限定晚期剪切带时代可能为古元古代早期,即吕梁期.吕梁运动之后,临河—集宁断裂带转化为脆性断裂活动,其中吕梁期、海西期沿断裂有大量中、酸性岩浆侵位,中生代和新生代则以断块活动为特色.

参考文献:

- [1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1991. 595~629.
- [2] 嵇少丞. 部分熔融的构造地质意义(1). 变形机制转变的实验研究[J]. 地质科学,1988, (4): 347~356.
- [3] 胡玲. 燕山北缘断裂带及其西延断裂研究[D]. 北京:中国地质大学,1999. 40~52.
- [4] 钟增球,郭宝罗. 构造岩与显微构造[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991. 76~80.
- [5] White J C, Mawer C K. Dynamic recrystallization and associated exsolution in Perthites: evidence of deep crustal thrusting [J]. J Geophys Res, 1988, 93: 325~337.
- [6] 李树勋,徐学纯,刘喜山,等. 内蒙古乌拉山区早前寒武纪地质[M]. 北京:地质出版社,1994. 105~119.

EARLY DUCTILE SHEAR ZONE AND TECTONIC EVOLUTION IN THE MIDDLE SECTION OF LINHE-JINING DEEP FAULT, INNER MONGOLIA

Li Long Zhang Weijie Gao Dezhen Geng Mingshan Wang Tao

(Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The deep fault from Linhe to Jining, a complex long-term active fault zone has not been under thorough investigation in terms of its early evolution for the past years. However, in the present research, five

①天津地质矿产研究所. 固阳县下湿壕幅、石兰哈达幅 1:5 万区调野外验收汇报提纲. 1999.

tectonic sections in the proportion 1:2 000 are mapped on the basis of the 1:50 000 regional geological surveying. In addition, a great number of micro-structural observations and fabric measurements are completed in the laboratory. The research shows that the evidence of the Neo-Archean fault is expressed by the high-temperature ductile shear zone of high amphibolite facies-granulite facies that is overprinted by the low-temperature ductile shear zone of the greenschist in the shallow layers after the Lower Proterozoic crust was elevated in the extension system. After the Middle Proterozoic, this ductile shear zone is transformed into brittle fault, controlling deposition and magma formation in different periods.

Key words: high-temperature ductile shear zone; low-temperature ductile shear zone; Guyang County, Inner Mongolia.

东昆仑造山带东段晋宁期岩浆活动及其演化

朱云海 Pan Yuanming 张克信

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

东昆仑造山带岩浆岩出露面积巨大, 构成规模宏大的东昆仑岩浆弧带. 侵入岩以海西一印支期为主体, 少量加里东期、燕山期岩浆活动^[1-3]. 在进行冬给措纳湖幅 1:25 万填图过程中, 在东昆仑造山带东段发现晋宁期侵入岩. 晋宁期侵入岩分布于东昆仑造山带北侧的东昆北岩浆弧带内瓦了孕—杀雄一带, 出露面积约 30 km², 由两个侵入体组成, 岩石主要为奥长花岗岩、英云闪长岩. 围岩为古元古代白沙河岩群, 并被海西一印支期花岗闪长岩超动侵入. 古元古代白沙河岩群主要岩性有条带状斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、变粒岩、浅粒岩、条带状大理岩、云母石英片岩和云母片岩等, 变质条件总体为中角闪岩相, 局部达麻粒岩相. 其构造变形以中深层次的流动褶皱和流动剪切为主. 晋宁期侵入岩已强烈变质变形, 但仍具侵入体外貌. 在野外露头上岩性均匀, 局部见其与围岩大理岩呈侵入接触关系或包裹暗色的基性包体. 岩石普遍具片麻状构造, 由于强烈的变形、变质而使岩体与围岩间相互穿插, 总体上看, 围岩大多呈巨大的顶垂体和捕掳体产出于变质侵入体中, 局部可见侵入体与围岩间明显的侵入接触关系. 岩石为灰白色, 中粒—中粗粒鳞片粒状变晶结构. 矿

物成分主要为斜长石、石英、黑云母、白云母、钾长石, 少量黑云母已退变成绿泥石, 白云母因变形而显示扭折现象. 此外, 尚有少量不透明金属矿物和锆石等副矿物.

晋宁期变质侵入岩地球化学成分中 FeO, MgO 质量分数比正常的花岗岩低. 原岩为奥长花岗岩及英云闪长岩, 部分岩石由于后期变质作用的改造钾质较高. 稀土元素表现出两种明显不同的特征. 奥长花岗岩稀土总量略高, $w(\sum\text{REE}) = 180.7 \times 10^{-6}$, 轻稀土富集程度中等, $w(\text{La})_n / w(\text{Lu})_n$ 为 7.31, 轻—重稀土分馏不明显, 具明显的 Eu 负异常 ($\delta(\text{Eu}) = 0.56$), 稀土配分曲线为轻稀土富集, 中、重稀土平坦型, 该分配型式与太古代奥长花岗岩的稀土配分型式相同, 为地壳物质部分熔融的产物. 英云闪长岩稀土总量略低, $w(\sum\text{REE}) = 97.56 \times 10^{-6} \sim 115.05 \times 10^{-6}$, $w(\text{La})_n / w(\text{Lu})_n$ 为 17.59~21.93, 轻—重稀土分馏十分明显, 具有明显的正 Eu 异常 ($\delta(\text{Eu}) = 1.15 \sim 1.46$), 稀土配分曲线为轻稀土富集型, 与太古宙英云闪长岩稀土配分曲线非常相近, 可能为玄武质岩浆经结晶分异而形成. 根据花岗岩稀土元素构造环境判别晋宁期侵入岩形成于火山弧和同碰撞构造环境, 与板块的俯冲或碰撞有关.

收稿日期: 1999-09-28

基金项目: 国土资源部冬给措纳湖幅 1:25 万区域地质调查与东昆仑造山带及非史密斯地层区区域地质调查方法研究.

(下转 266 页)