山西龙泉关韧性剪切带新认识

孙占亮,李建荣,刘成如,张玉生,杨耀华,闫文胜
(山西省地质调查院, 山西 榆次 030600)

摘　要:龙泉关韧性剪切带位于山西、河北两省分水岭两侧的狭长地区内,全长约 100 km,宽 2 ～ 14 km,总体呈北北东向带状展布。据其变形特征在横、纵向上的明显变化,可分北、中、南三段:北段由眼球状片麻岩、长英质糜棱岩及构造透镜体组成,片麻岩中发育各类旋转碎斑构造,指示上盘(西盘)左旋剪切;中段由强直片麻岩组成,发育平直的片麻理及矿物拉伸线理,为 S - L 构造岩;南段由一系列线状强变形带及所挟持包绕的弱应变域所组成,变形岩石发育条带状、杆状构造。该剪切带内含有不同时期的变质岩系,主体为中太古代阜平期变质岩系,其构造形迹为一多期多相叠加的韧性剪切带;五台早期表现为伸展型近水平韧性剪切变形,是五台海盆早期扩张或裂解阶段的直观反映;吕梁期韧性剪切变形表现为逆冲推覆型。其形成及构造演化是区内早前寒武纪地质演化的缩影。

关键词:龙泉关;韧性剪切带;五台早期;伸展;吕梁期;逆冲推覆;早前寒武纪地质
中图分类号:P542^{+}.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1007 - 6956(2004)02 - 0092 - 09

龙泉关韧性剪切带位于晋、冀两省分水岭两侧的狭长地带,北起神堂堡,经长城岭、湾子、活川口,南至盂县上社一带,全长约 100 km,宽 2 ～ 14 km,总体呈 NNE 向带状展布,往 NW 缓倾(图 1)。其东与阜平片麻岩穹窿区呈构造渐变过渡,其西与五台花岗绿岩带呈构造接触或被滹沱群不整合覆盖。

龙泉关剪切带作为五台绿岩与阜平片麻岩的重要界线,一直受到地学研究的重视。早年(1936)称它为"眼球状片麻岩"、"龙泉关层",认为是挤压变形的产物。1967 年的 1∶20 万平型关幅地质图将它视为地层,将其命名为"龙泉关群",毗邻的盂县幅将它划为榆林坪组。直到上世纪 80 年代,龙泉关的构造属性才开始注意。例如,马杏垣等[1]推测它为巨型剪切带;伍家善等[2]认为是阜平片麻岩穹窿顶部向西滑脱的产物;李继亮等[3]认为是恒山与阜平古陆在早元古代末的碰撞,于前陆地区形成的 NNW－SSE 推覆的大型韧性剪切带;李江海等[4]认为龙泉关群是部分阜平群韧性变形的产物,带中的不同岩石类型是不同变形程度的体现等。此外,许荣华[5]的同位素年代学还认为,眼球状片麻岩锆石 U－Pb 年龄(2 506 ±20) Ma 代表原岩形成年龄,超糜棱岩中黑云母 Ar－Ar 和 K－Ar 年龄 1 952 ～ 1 914 Ma 代表剪切带的变形年龄;最近的 1∶5 万区调则认为,龙泉关剪切带是在五台期和吕梁期逆冲推覆作用下形成,是五台期角闪岩相韧剪带和吕梁期绿片岩相剪切带叠加复合的结果①。

作者 1996 ～ 1999 年在开展陈家庄测区 1∶5万区调时曾对龙泉关剪切带南段(砂崖—上社)进行过专题研究,2000 ～ 2002 年开展忻州市幅 1∶25 万区调时又在前人研究基础上对该构造带进行了详细工作。研究表明,龙泉关韧性剪切带在纵、横向上的变形都有明显的变化,并可分为北、中、南三段。带内汇聚的是三个时期的变质岩系:中太古代阜平期的变质岩系是其主体,构造形迹为一多期多相叠加韧性剪切带;五台早期表现为伸展型近水平韧性剪切变形,并伴有深熔作用及阜平片麻岩穹窿的形成,是五台海盆早期扩张或裂解阶段的反映;吕梁期的韧性剪切变形为逆冲推覆方式。

收稿日期:2004 - 02 - 02
基金项目:1∶25 万忻州市幅区调(20001300004051)
作者简介:孙占亮(1964 -),男,高级工程师,从事区域地质调查工作。
①地矿部保定地质勘查院. 1∶5 万龙泉关 - 前大地测区区域地质调查报告,1999.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

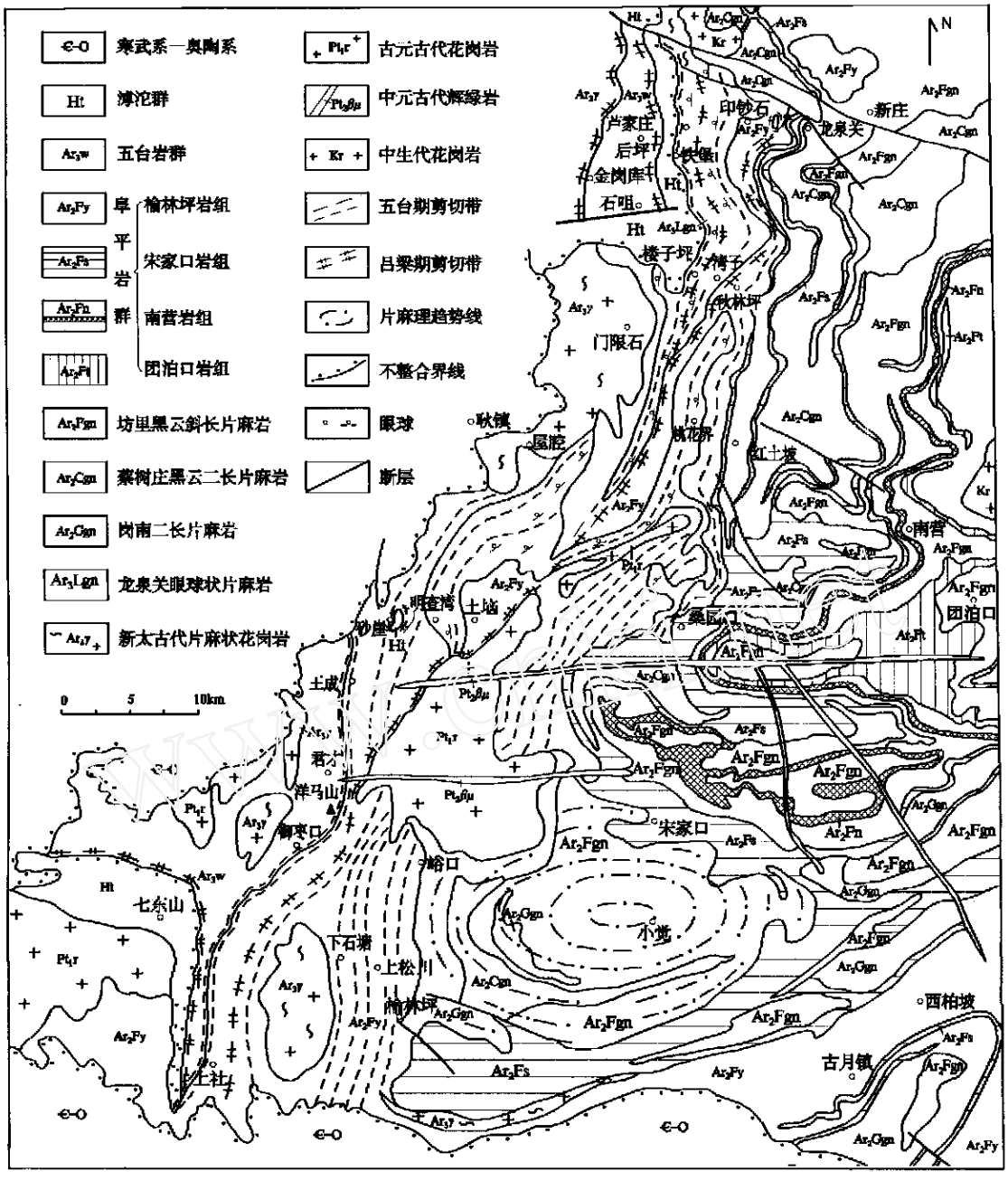

图 1　阜平地区地质略图

Fig. 1　Geological and structural sketch of Longquanguan(in Fupin county) ,Shangshe area(in Yuxian county)

1　区域地质特征

龙泉关韧性剪切带涉及的主要是阜平高级区和五台花岗 –绿岩区的变质岩系(图 1)。

1.1　阜平高级变质岩区

阜平高级区位于龙泉关剪切带的东南侧,由灰色片麻岩(TTG)及阜平岩群组成。灰色片麻岩占 60 %以上,主要分布在与五台岩群相邻的阜平县北部和西部;表壳岩主要分布在蛟潭庄、宋家口等地,岩性为夕线石片麻岩、大理岩及 BIF 等。阜平高级区的构造为一复杂的片麻岩穹隆[2,6],穹隆的中部为表壳岩,变质为角闪-麻粒岩相,向外变为角闪岩相,在与五台花岗岩-绿岩带接触的部位渐变为线状构造带,出现强直片麻岩和眼球状片麻岩[7]。

1.2　五台花岗-绿岩区

五台花岗 –绿岩区位于龙泉关剪切带的北西侧,为 NEE 向展布的线状构造带。其中呈长

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

轴状展布的花岗—片麻岩穹隆占该区总面积的一半,主要由花岗片麻岩和灰色片麻岩(TTG岩套)组成。五台岩群的绿岩地体,以镁铁质火山岩和长英质火山岩为主,含少量沉积岩和条带状铁建造(BIF)。绿岩带和花岗—片麻岩之间的接触关系为构造改造的不整合,古元古代滹沱群沉积岩不整合或构造不整合在绿岩地体和阜平高级地体之上。

2 卷入剪切带的岩石单位及特征

卷入剪切带中的有阜平期、五台期、吕梁期的变质岩,以前者为主。阜平期的变质岩主要包括榆林坪岩组、坊里片麻岩等。榆林坪岩组为一套板状中细粒黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、角闪变粒岩组合,岩石变形强烈,定向性极好,属强直片麻岩。坊里片麻岩主要为条带状黑云斜长片麻岩,以发育各类重熔长英质条带为特征。五台期龙泉关片麻岩主体岩性为一套眼球状角闪斜长片麻岩、眼球状含黑云角闪斜长糜棱片麻岩、黑云斜长糜棱片麻岩。吕梁期卷入的是五台岩群金岗库岩组变粒岩及滹沱群谷泉山组石英岩。

3 韧性剪切带的变形特征

3.1 五台早期伸展型韧性剪切带

该带主要涉及阜平期岩石单位的分布范围,也涉及到五岩群金岗库岩组底部层位。带中主要发育各类糜棱岩、糜棱片麻岩、眼球状片麻岩等构造岩。

3.1.1 变形特征

五台早期的伸展型韧剪带,总体上由一系列近于平行的次级小型强变形带组成,空间上形成强变形带和透镜状弱应变域相间的网络状构造格局。带内强变形岩石为花岗质片麻岩,发育长英质条带、眼球状构造、以及各种剪切标志,前人说的龙泉关剪切带通常指的就是龙泉关一带的眼球状片麻岩。本次工作发现,龙泉关韧剪带的变形在纵、横向上都有明显的变化(图2),据其变形特征可分北、中、南三段。

(1)北段在长城岭-龙泉关一带,变形岩石主要为眼球状黑云角闪二长片麻岩、条带及条纹状斜长片麻岩、片理化斜长角闪岩,横向上由眼球状片麻岩、长英质糜棱岩及构造透镜体组成[4]。“眼球”均为长英质集合体,强烈的水平剪切作用使其形成θ型、Φ型、σ型碎斑系统。浅色条带和条纹平行于剪切面理,与镁铁质暗色条纹密集相间,与围岩界线渐变过渡。眼球状花岗质片麻岩中的构造透镜体有斜长角闪岩、片麻岩、伟晶岩,周围面理围绕发生旋转,多呈不对称状。透镜体或孤立或连续产出,大小数厘米至数米不等,边缘多发生强烈的韧性变形和糜棱岩化。随着变形作用增强,透镜体内部还可发生次级透镜体化或眼球化,眼球状角闪斜长片麻岩中的长石碎斑呈“多米诺”骨牌式斜列(图2A-A′),角闪石发育拉伸线理,线理方向NW。至于片麻岩中的等斜褶皱和不对称褶皱,多属于a型褶皱,主要由长英质、石英质、斜长角闪质脉体以及长英质糜棱条带构成,横向构造置换特征明显。

(2)中部楼子坪-夏留石一带出露的是一套宽2～3 km的强直片麻岩,其长英质条带和眼球含量较低而片麻理平直,属于S-L构造岩。岩石粒度较细,粒级均匀,条带细而平直,矿物拉伸线理发育,面理、线理产状均向W和NW缓倾。剪切带内发育各类旋转应变标志体,主要有矿物拉伸线理、伸展型的小型剪切带,秋林坪一带的榆林坪岩组中发育有长英质条带构成的不对称“Z”型褶皱,楼子坪村附近还可见到鞘褶皱。这类褶皱在垂直于矿物拉伸线理及剪切面理的YZ面上,呈现复杂的封闭眼球状或“Ω”型构造(图2B-B′),褶皱两侧枢纽沿X方向延伸并在前端封闭形成舌状,拉伸线理与舌尖方向一致,倾向西,横向置换特征明显。变形带内自中心向两侧为条纹状、密集条带状片麻岩,镁铁质脉体(包体)明显被剪切拉断呈透镜状或串珠状斜列,这些构造形迹共同构成一个近水平伸展型剪切系统。

(3)南部御枣口一带,主剪切带由一系列线状强变形带和所挟持包绕的弱应变域所组成。强变形带内岩石片麻理及条带状构造发育,条带及脉体褶皱形态复杂(图3a),剪切面理产状250～280°∠15～35°,矿物拉伸线理、杆状构

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

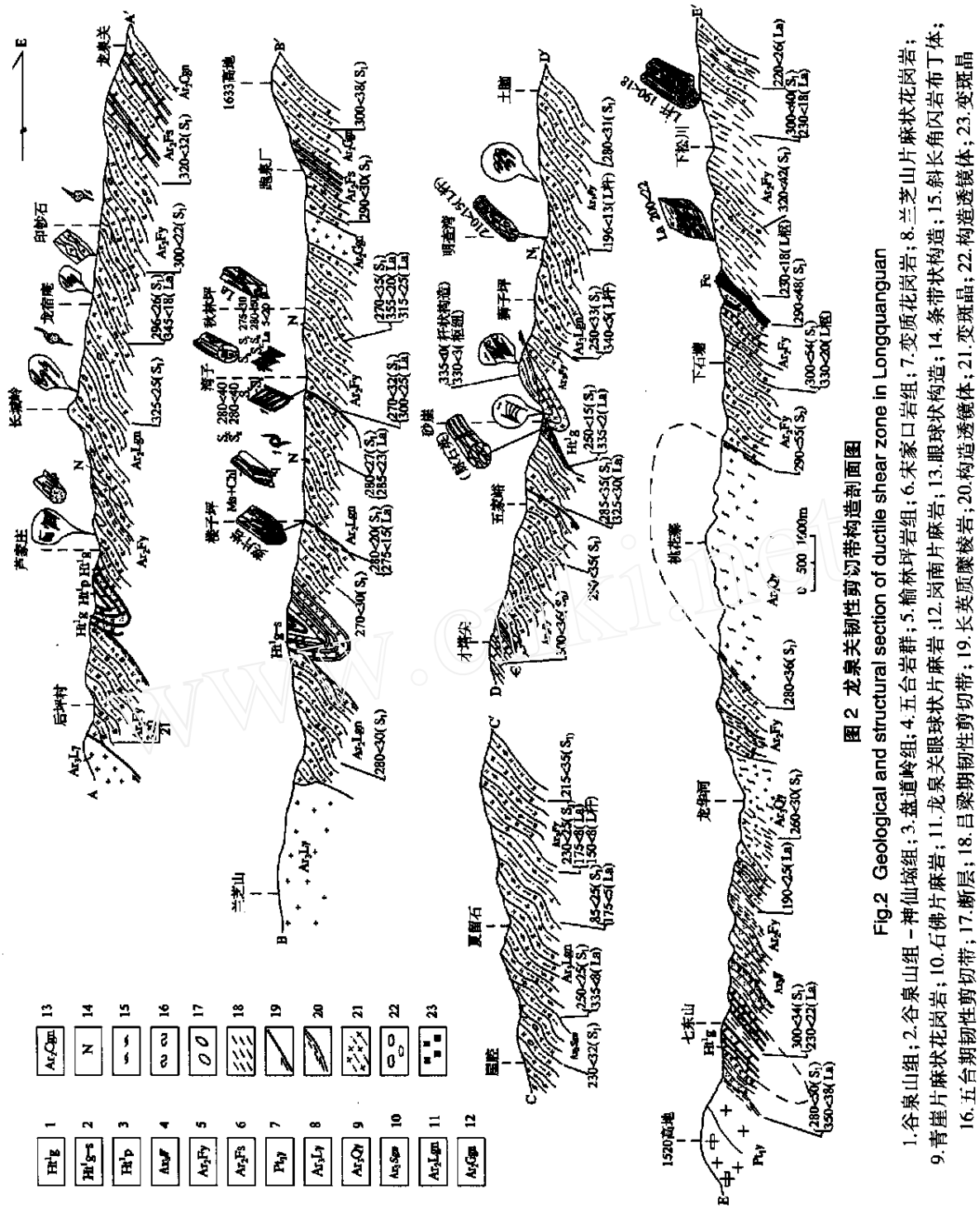

图 2　龙泉关韧性剪切带构造剖面图

Fig.2　Geological and structural section of ductile shear zone in Longquanguan

1.谷泉山组;2.谷泉山组－神仙垴组;3.盘道岭组;4.五台岩群;5.榆林坪岩组;6.宋家口岩组;7.变质花岗岩;8.兰芝山片麻状花岗岩;9.青崖片麻状花岗岩;10.石佛片麻岩;11.龙泉关眼球状片麻岩;12.岗南片麻岩;13.眼球状构造;14.条带状构造;15.斜长角闪岩布丁体;16.五台期韧性剪切带;17.断层;18.吕梁期韧性剪切带;19.长英质糜棱岩;20.构造透镜体;21.变斑晶;22.构造透镜体;23.变斑晶

造(图 3b)产状多向西、南西倾斜,倾角多小于 20°。上松川 - 活川口一带剪切带内的构造岩,总体上由东向西从“L”构造岩渐变为“S－L”构造岩及“S”构造岩。王城 - 君才 - 洋马山一带主剪切带发生在五台岩群金岗库岩组与阜平岩群榆林坪岩组之接触面上,接触带可见 50 ～ 100 m宽的强烈片理化的绢云石英片岩带,构造岩大多属于变晶糜棱岩。上盘金岗库岩组石英岩被压扁拉长呈细长带状、饼状、透镜状、扁平棒状,少数因剪切褶皱而呈钩状,石英岩普遍被剪切拉断变薄呈布丁体、剑鞘状(图 3b)。金岗库岩组之下普遍发育细粒强直片麻岩,多为“S－

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

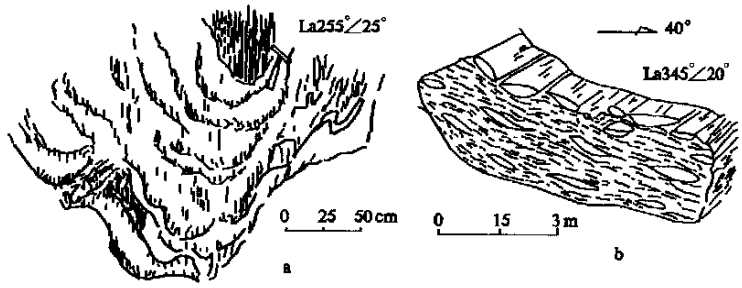

图3 龙泉关韧性剪切带小型构造素描图

Fig. 3 Small sketches of ductile shear zone in Longquanguan

a. 桃园剪切带内舌状褶皱;b. 洋马山石英岩呈棒状、香肠状

L”构造岩,二者之间为突变的不连续界面,属剥离断层性质①。

3.1.2 变质作用及变形温压条件

剪切带内变质矿物组合 Hb + Pl + Alm、Alm + Bi + Pl + Q、Hb + Pl + Kf + Bi + Q、Hb + Mt + Q,以退变质作用为特征,明显可见到 Di·Hb、Or·Mica 分解反应。变质温压条件 T = 500 ~ 670 ℃,P = 0.4 ~ 0.6 Gpa,为低角闪岩相①。在区域上,阜平期变质岩系由于受剪切带的影响逐渐由高角闪岩相退变成低角闪岩相。

变形岩石中,黑云母、石英、斜长石、角闪石等主要矿物均显示塑性变形特征。不同构造岩中矿物动态平衡关系显示变形时的温压条件较高。在条纹状斜长角闪质糜棱岩中,斜长石(An > 30)与角闪石共生,糜棱片麻岩中,斜长石与角闪石、黑云母等呈动态平衡关系①。斜长角闪质岩石中角闪石 - 斜长石矿物对计算的温压条件为 T = 470 ~ 574 ℃,P = 0.343 ~ 0.857 Gpa[4],变形环境为低角闪石岩相。

3.1.3 剪切应变标志

(1)矿物拉伸线理:剪切带内的矿物拉伸线理由角闪石及长英质变形集合体定向排列构成。在御枣口以北地区,线理总体向西缓倾,为倾向线理。在铁堡一带芦家庄剖面上可见到一组细针状黑云母构成的走向北西的矿物拉伸线理,交叉叠置在走向近东西向的矿物拉伸线理之上,表明岩石至少经历了两期不同方向的韧性剪切变形作用。而在御枣口南,大部分矿物拉伸线理产状为 SW - NE 向,具走滑性质,反映主剪切带具多期活动特点。

(2)旋转碎斑系:龙泉关眼球状片麻岩中各类旋转碎斑构造发育,眼球主要为钾长石变斑晶和长英质集合体。旋转碎斑可见“δ”和“σ”型两种构造,指示上盘(西盘)左旋剪切。

(3)不对称褶皱:剪切带内长英质条带及基性岩脉体的不对称褶皱发育,各类不对称褶皱倒向等指示上盘向西滑移运动。秋林坪、活川口一带可见鞘褶皱、舌状褶皱(图3a)。

(4)“多米诺骨牌”构造:剪切带北部龙泉关眼球状片麻岩中可见早期的长石碎斑在递进剪切过程中产生破裂而旋转,使每个碎片向剪切方向倾斜。

3.1.4 几何分析及有限应变测量

(1)对剪切带中北段构造岩类广泛发育的新生面理产状的统计表明,大致有两个极密,分别为 NW - W 及 SW 缓倾(图4a),矿物拉伸线理产状极密向 NW - NNW 缓倾,部分 SSW - SW 缓倾(图4b),代表有限应变椭球体的最大拉伸方向 X 轴,指示剪切运动方位。

(2)对上松川—活川口一带剪切带内剪切面理及矿物拉伸线理统计作图,πS_1 图解(图4c)呈明显一极密,极密优势产状 268°∠34°,而拉伸线理图解上(图4d)L_1 优势产状 SW,同时存在

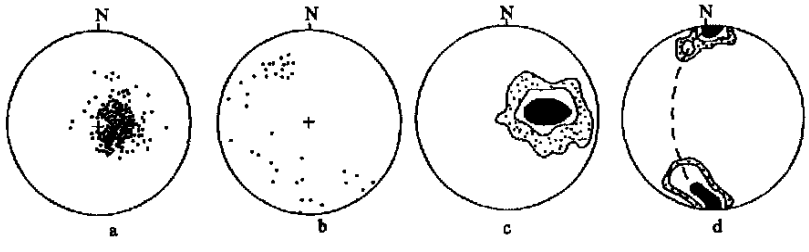

图4 构造岩类构造要素统计

Fig. 4 Static diagram of tectonic elements

a、b. 代表中北段;. c、d. 代表南段;a、c. 面理;b、d. 线理

①山西省地质调查院. 1∶25 万忻州市幅区域地质调查报告,2002.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一个极点产状为 91°∠34°的大圆环带,反映剪切带南部晚期构造对其改造明显。

总之,利用多种构造标志判别,五台期韧剪带是拉伸方向主要为 NWW－SEE 的规模巨大的近水平伸展型韧性剪切带。

3.2　吕梁期逆冲推覆剪切带

3.2.1　岩石组合

吕梁期逆冲推覆剪切带主要产在滹沱群及五台花岗-绿岩地体与东部阜平高级变质岩系之间,叠加复合于五台期伸展型韧性剪切带之上。卷入的地质体主要为滹沱群、龙泉关片麻岩、坊里片麻岩、蔡树庄片麻岩、岗南片麻岩等。主构造带由多条韧-脆性剪切带组成,它们空间上近平行产出或呈网结状产出,断裂带内特征、推覆运移方位一致,共同组成推覆型剪切系统。

3.2.2　宏观变形特征

空间上主剪切带由一系列宽窄不一的糜棱岩化带、绿泥云母片岩带、糜棱岩化碎裂岩带组成,其规模大小不一,沿走向常见分叉复合,剖面上呈网结状、叠瓦状,带内变质岩系呈构造片体互相叠置。从北至南,主剪切带因两侧岩性及构造强弱的变化而表现为不同的变形特征及构造岩类型。

(1) 北段长城岭—龙泉关一带,由数条韧-脆性剪切带组成,它们在空间上呈平行产出,剖面上成上陡下缓的铲形,共同组成了推覆型剪切系统。后坪、石咀等地可见金刚库岩组及石佛片麻岩呈叠瓦状片体逆冲于滹沱群谷泉山组长石石英岩之上(图 2A－A′)。印钞石、新庄村一带见多条与两侧变质程度有明显差异的退变质带,带内岩石主要为绿泥片岩、绿泥二云片岩,岩石外貌呈圪瘩状、透镜状,镜下鉴别均为角砾状糜棱岩。

(2) 中段楼子坪—夏留石一带,在秋林坪—楼子坪一带长英质糜棱岩中,可见晚期糜棱面理切割早期片麻理(图 5a)。湾子村附近见数层疙瘩状糜棱岩化碎裂岩,疙瘩为几厘米至十几厘米大小的长英质集合体及石英岩,周围由绿泥石、白云母等片状矿物包绕而构成典型的 S－C 组构(图 5b),其中 SC 为 280°∠40°,SS 为 280°∠60°,与不对称褶皱(图 5c)的倒向指向构造相吻合。该段最为特征的是砂崖构造窗。砂崖村东的榆林坪岩组角闪黑云斜长片麻岩中出露的滹沱群石英岩(图 2D－D′),空间上呈四周封闭的卵形,长 500 m,宽 300 m,石英岩中的斜层理指示地层倒转。靠近主剪切推覆面石英岩变形强烈,边部普遍发育杆状构造,长短轴比为 5∶1 ～ 10∶1,局部杆含量占岩石体积的 50%左右,石英岩中斜层理、不对称拖褶皱以及空间展布形态,反映其下盘为一近平卧的倒转向斜。构造窗之上的阜平岩群榆林坪岩组黑云斜长片麻岩是一套长英质糜棱岩,构造窗底部 2 ～ 3 m 的绿泥黑云片岩和绿泥黑云石英片岩构成的片理化带为糜棱岩、超糜棱岩,并构成推覆构造的主滑动界面。主滑动面发育的 S－C 组构及小褶皱倒转向斜,反映主运动方向为北西盘向南东逆冲推覆。

(3) 南部御枣口一带,于七东山—上社一带出露一系列与早期构造形迹不协调的弧形褶皱及剪切带。七东山同斜向斜在平面上呈一明显的弧形(图 2E－E′),边部岩石强烈片理化,碳酸盐糜棱岩、矿物拉伸线理、杆状构造发育,镜下可见白云石、方解石细粒化重结晶定向排列现象。根据褶皱形态和矿物拉伸线理,该期剪切带为上盘由 SW 向 NE 斜冲。

3.2.3　构造岩石特征

剪切带内构造岩主要有糜棱岩、糜棱岩化碎裂岩及黑云母片岩等。

(1) 长英质糜棱岩:岩石具典型的糜棱结构,碎斑较小且含量较少,多呈透镜状、眼球状。岩石内发育有 S－C 面理组构,S 表现为显著被压扁的石英和眼球状长石残斑呈面状分布,片状矿物云母和绿泥石则呈网络状断续围绕"眼球"。C 面间距较大,主要由"云母鱼"的顶部拖尾和不对称压力影显示,镜下可见晶粒有不均匀消光现象、扭折带、变形纹、镶嵌构造、以及核幔构造等。

(2) 糜棱岩化碎裂岩:岩石具疙瘩状构造,疙瘩均为长英质团块状集合体,周围被绿泥石、云母等包绕。

(3) 黑云母片岩:岩石主要由黑云母、绿泥石、石英组成,片状构造发育,以出现大量新生矿物定向排列为主要特征,在砂崖、铁堡等地可见其与斜长角闪岩渐变过渡。主剪切面上往往可见到宽窄不一的黑云母片岩。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

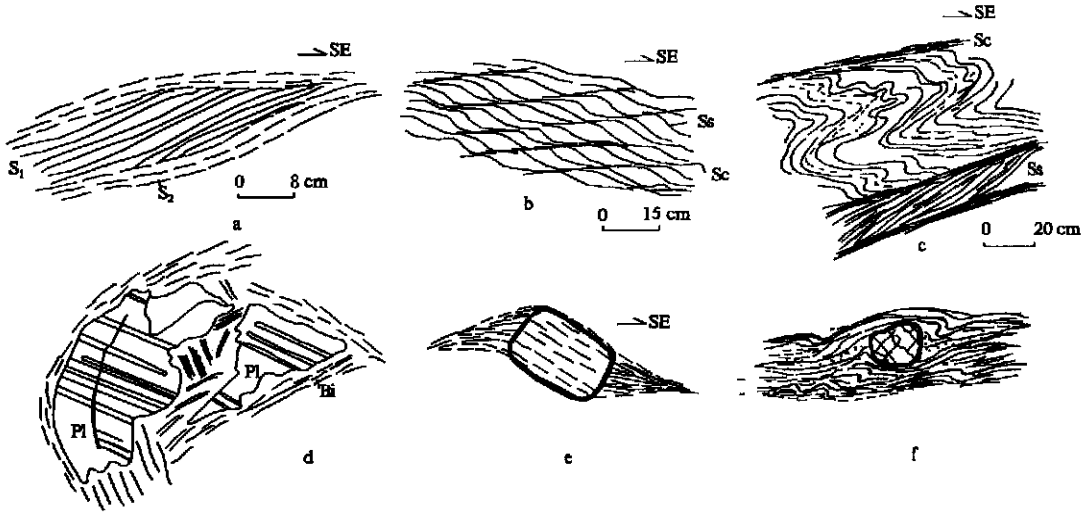

图5 吕梁晚期推覆型剪切带内剪切标志素描图

Fig. 5 Sketches showing the shear deformation in Lüliang epoch thrust shear zones

a. 秋林坪晚期糜面理切割早期片麻理;b. s－c组构剖面图;c. 湾子一带小型韧性剪切带;d. 龙窑庵斜长石不对称眼球;e. 斜长石呈晶核的压图影构造;f. 石榴石变斑晶呈不对称压力影

3.2.4 变质变形作用

变形岩石中,斜长石、角闪石等显示脆性破裂,黑云母、白云母、石英等呈塑性变形,矿物的重结晶作用、挠曲形变、波状消光等现象比较发育。斜长石呈脆性破裂(图5d),被拉断的斜长石仍保留有一致的双晶特征和光性方位。黑云母呈塑性变形并穿切包裹斜长石[1]。而退变质作用普遍发育于剪切带内,主要表现为角闪石退变成绿帘石,黑云母发生绿泥石化等。变质温度为230 ℃[3],绿片岩相。

3.2.5 剪切应变标志

(1)阜平岩群、五台山花岗绿岩地体逆冲推覆于滹沱群之上,致使下盘呈一倒转向斜,砂崖一带还出露有构造窗。

(2)七东山同斜倒转向斜的轴迹为明显的弧形,小觉一带褶皱轴迹向北西撒开、向南东收敛呈放射状,均为该期剪切带的直观表现。

(3)主剪切面发育有大量的反映剪切指向的旋转应变标志,如石榴石变斑晶的不对称的压力影(图5f)、S－C组构(图5b)、长石等碎斑的不对称眼球(图5e)、不对称剪切褶皱、长石石英颗粒的书斜构造等。

(4)剪切带内矿物拉伸线理及"a"型褶皱多见,矿物拉伸线理系由黑云母、白云母、绿泥石片状矿物定向排列构成,产状稳定,极密优势产状为290°∠20°,反映主剪切带运动方位。该方位的线理叠置在近东西向的矿物拉伸线理之上。

(5)新生面理与早期面理的切割关系显示主剪切带的逆冲特征(图5a)。

3.2.6 应变测量

在镜下对变形岩石石英颗粒长短轴测量见表1,弗林指数大多数落入 $0 < k < 1$ 区,代表了压扁型应变,应变强度 $r = 4.0 \sim 2.1$。对剪切带内构造岩中黑云母解理进行统计作图(图6),图中a、b、c的黑云母解理产状稳定近E－W向,而d、e的黑云母极密显示SE140°左右定向。

根据多种剪切标志判断,主剪切带的运动方向为上盘由西向东逆冲推覆。

4 变形时代

龙泉关韧性剪切带主体形成于新太古代五台早期,后经古元古代吕梁期叠加改造。主要证据有:①NNE向的龙泉关剪切带改造了阜平岩群及片麻岩体,使其发生低角闪岩相退变质;②古元古代滹沱群谷泉山组不整合覆盖于龙泉关眼球状片麻岩之上;③炮台山、砂崖一带可见榆林坪片麻岩逆冲推覆于滹沱群谷泉山组石英岩之上;④同构造侵位的龙泉关眼球状片麻岩SHRIMP年龄为(2 543 ±7) Ma和(2 541 ±4) Ma[7],侵入龙泉关眼球状片麻岩的兰芝山岩体(2 537 Ma[8])中可见眼球状片麻岩的残留体[3];⑤眼球状片麻岩锆石U－Pb年龄为(2 506 ±

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

20) Ma,超糜棱岩中黑云母 Ar－Ar 和 K－Ar 年　　龄为 1 952 ～ 1 914 Ma[5]。

表 1　剪切带内石英长短轴及有限应变分析数据

Table 1　Finite strain data of long axis and short axis of the quartzs in the shear zone

样品序号	1	2	3	4	5	6
X	45.75782	48.87673	48.8434	27.31469	31.26263	17.50146
Y	43.45496	39.61012	47.89141	24.11489	28.23121	14.43864
Z	10.96094	11.99219	13.72656	12.01563	9.734375	7.984375
a = X/ Y	1.052994	1.233945	1.019878	1.132686	1.107378	1.212127
b = Y/ Z	3.964529	3.302994	3.488959	2.006969	2.900156	1.808362
K= (a - 1)/ (b - 1)	0.017876	1.10158	0.00799	0.13177	0.05651	0.262415
r = a + b - 1	4.017524	3.53694	3.50884	2.13965	3.00753	2.020489

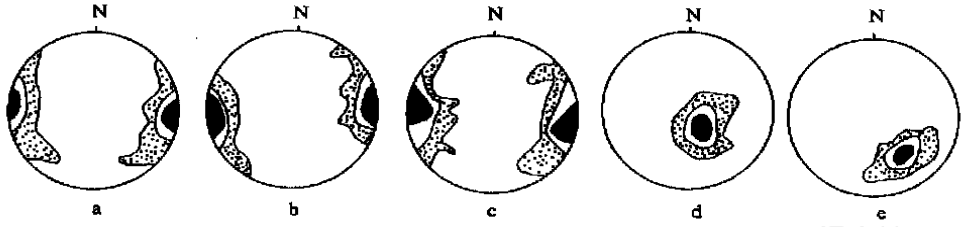

图 6　剪切带内黑云母解理极点等密图

Fig. 6　Point contour diagram of black mica cleavage in shear zone

a.眼球状黑云斜长糜棱片麻岩,110 个,等值线 0.9 %、4.5 %、18 %;b.眼球状黑云斜长糜棱片麻岩,100 个,等值线 0.9 %、8.2 %、27.2 %;c.眼球状含角闪黑云斜长糜棱片麻岩,100 个,等值线 0.9 %、4.5 %、9 %;d.松坪变余糜棱岩 84 个,等值线 1.2 %、4.8 %、9.6 %;e.上坑沟变余糜棱岩 84 个,等值线 0.8 %、2.4 %、4.0 %

综上所述,龙泉关韧性剪切带主体形成于新太古代五台早期,后经吕梁期叠加改造。

5　形成机制及构造演化

龙泉关韧剪带是分割阜平构造层和五台构造层的分界断裂,不仅控制了五台花岗绿岩带的形成发展,而且也对阜平古陆的构造形态影响深远。龙泉关剪切带作为多期变形、变质的构造岩浆活动带,其复杂的演化史,可以看成是区内早前寒武纪地质演化的缩影。

阜平期区内古老的表壳岩原岩为中基性火山岩夹硅铁建造和碎屑岩—碳酸盐岩建造,其中大规模的 TTG 岩浆活动,构成了早前寒武纪克拉通史上最重要的造壳期,可能是古老地壳形成、增生的反映,总体呈现出全活动的构造机制[2]。

五台运动早期在伸展作用下,最为明显的构造变形是伸展构造及伴随的深熔作用,在阜平灰色片麻岩中形成强变形带与弱应变域呈交织网状的穹窿构造格局,同时控制着五台海盆的形成。五台岩群金岗库岩组下部的富铝片岩反映其处于活动型大陆边缘环境,持续的拉张沿盆地边缘形成伸展型近水平韧性剪切带。同时盆地地壳进一步裂解,大量的双峰式镁铁质—长英质火山岩堆积成五台岩群,并沿剪切带发生低角闪岩相变质。五台运动晚期发生大规模的 NEE 向逆冲—推覆和褶皱,伴随有同造山钙碱性系列岩浆活动,该期剪切变形在带内表现不明显。

五台运动最终封闭五台海盆,华北太古宙克拉通基本形成。古元古代伊始,原始大陆破裂,在阜平陆块西缘海槽环境中,沉积了碎屑岩及碳酸盐岩建造夹少量基性火山岩的滹沱群。吕梁晚期在 NW－SE 挤压作用下,形成了一系列北东向同斜紧闭褶皱及逆冲推覆构造,叠加复合在阜平期及五台期角闪岩相变质岩系之上,并普遍发生绿片岩相动力退变质作用。炮台山、砂崖一带的榆林坪片麻岩逆冲推覆于滹沱群谷泉山组石英岩之上,成为吕梁期的韧性剪切带。此后,本区地壳演化进入稳定发展时期。

在野外工作及成文过程中,得到了苗培森博士、赵风清研究员、谷永昌教授级高工、续世朝、赵祯祥、潘永胜高级工程师等的指导和帮

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

助,苗培森博士仔细审阅了全文,提出了宝贵的修改意见,在此一并表示诚挚的谢意。

参考文献:

[1]马杏垣,白瑾,索书田,等.中国前寒武构造格架和研究方法[J].北京,地质出版社,1987.
[2]伍家善,耿元生,等.阜平群变质地质[M].中国地质科学院地质研究所所刊,第19号,1989.
[3]李继亮.等五台山早元古代碰撞造山带初步认识[J].地质科学,1990,(1).
[4]李江海,钱祥麟.太行山北段龙泉关剪切带研究[J].山西地质,1991,6(1):17-27.
[5]许荣华,朱铭,等.龙泉关剪切带的年代学研究[J].第四纪地质,1995,(1):333-340.
[6]马杏垣,等.中国东部前寒武纪大地构造发展的样式[J].地质学报,1963,(1).
[7]苗培森.恒山中深变质岩区构造样式[M].天津:天津科学技术出版社,2003.
[8]王凯怡,郝杰,等. 山西五台山—恒山地区晚太古代-早元古代若干关鍵地质问题的再认识:单颗粒锆石离子探针质谱年龄提出的地质制约[J].地质科学,2000,35(2).

Another View on the Longquanguan Ductile Shear Zone

SUN Zhan-jiang, LI Jian-tong, LIU Cheng-yu,
ZHANG Yu-sheng, YANG Yao-hua, YAN Wen-sheng

(Shanxi Institute of Geological Survey, Yuci, Shanxi 030600)

Abstract: Longquanguan ductile shear zone is located in the conjunction part between Shanxi and Hebei Province. It is about 100 km long and 2 ~ 14 km wide. The deformation characters changed obviously both in horizontal and in longitudinal directions. According to the deformation characters the shear zone can be divided into three parts: the northern part, middle part and southern part. In the northern part, the shear zone is made up of augen gneiss, felsic mylonite and structural lenses, and varied kinds of ratational mortar texture developed well, the upper wall shears left-laterally. The main rocks in the middle part are the strong-straight gneisses with mineral stretch lineation, called S-L tectonite. In the southern part, the rocks formed linear strong deformation zones and weak deformation domains. The banding and rodding structure developed well. In the shear zone there are some metamorphic rock series with different eras, in which the Middle-Archean Fuping complex is predominant one. They formed a multiphase-overprint ductile shear zone. During Early Wutai period, its deformation is almost horizontal ductile shearing, which was the reflection of the extension and cracking of Wutai sea-basin. In L üliang period, the ductile shearing deformation turned to be thrusting nappe structure.

Key words: Longquanguang; ductile shear zone; Wutai period; extension; L üliang period; thrust nappe

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net