

陕西略阳地区中上元古界 构造变形序列^①

徐 青

(冶金部遥感中心,北京,100029)

提 要 研究区出露地层主要有中上元古界碧口群第四亚群,为一套低变质的细碧角斑岩系,对这套岩系的各种构造研究,揭示了这套岩石经历了四期变形,且区内存在强应变带(剪切带)与弱应变带(褶皱带)相间的构造格局。

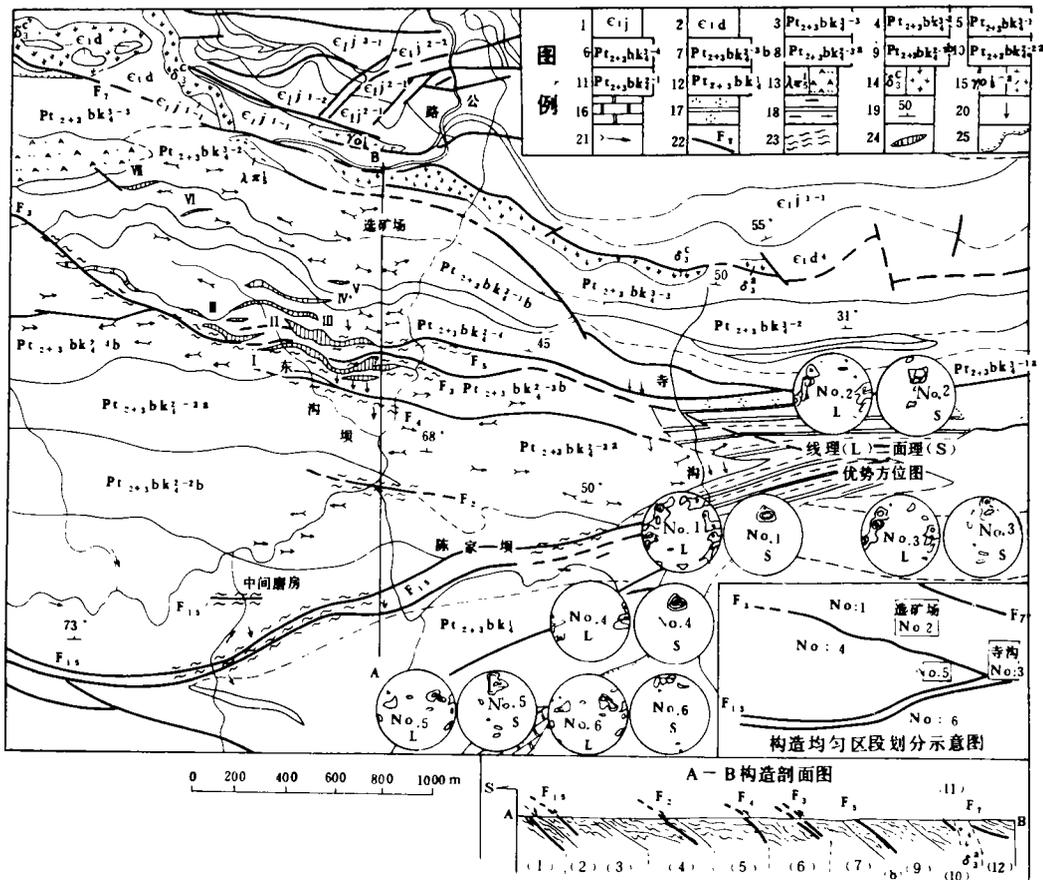
关键词 构造变形序列 剪切带 叠加褶皱

研究区位于勉县-略阳-宁强三角地带的东北部。地理坐标:东经 $106^{\circ}19'50''\sim 106^{\circ}22'50''$ 北纬 $33^{\circ}12'58''\sim 33^{\circ}14'19''$ 。研究区存在两个基本问题:(1)、基本地质构造形态;(2)、赋矿火山岩地层(现为中晚元古代碧口群)时代归属。因此,弄清该区的构造形态和构造序列,对研究三角地带的构造发展史,正确评价矿产储量和预测矿产既有理论意义又有实际意义。

1 研究区地质概况

区域地层有中上元古界碧口群火山岩系,以及寒武系、泥盆系和第四系。研究区出露地层为碧口群第四亚群中上岩组,详见图1的说明。本区大地构造位置为巴颜喀拉地槽区西秦岭褶皱系与南北地洼区龙门地穹系的接壤地带(陈国达等,1977)。大致以黑木林—茶店为界把三角地带分为两区:北区,碧口群中上亚群($Pt_{2-3}bk$)基底褶皱以近东—西向为主导,控制局部寒武系下统断头崖组,九道拐组和望天坪组($\in_1 d-j-w$)褶皱,发育两组基底断裂,近东—西向和近北西向。南区碧口群中上亚群($Pt_{2-3}bk$)基底褶皱以东北、北东东为主导,具向近东西转折的特点。东沟坝矿区位于上述北区的近东—西向基底褶皱带上,同时受南侧北东向及北侧北西向两组褶皱带的影响,使其收敛于东端,而西端撒开,矿区主导构造线为近东—西向(图1)。

^① 收稿日期:1994.1.26 修改:1994.5.25



1. ϵ_1 白云岩夹粉砂质板岩 2. ϵ_{14} 灰质白云岩夹含碳板岩、砂砾岩 3. $Pt_{2+3}bk_3^{-3}$ 角斑质熔岩 4. $Pt_{2+3}bk_3^{-2}$ 石英角斑质凝灰岩 5. $Pt_{2+3}bk_3^{-1}$ 角斑质晶屑、岩屑凝灰岩 6. $Pt_{2+3}bk_3^{-4}$ 角斑质集块岩 7. $Pt_{2+3}bk_3^{-3b}$ 角斑质凝灰岩,角砾凝灰岩 8. $Pt_{2+3}bk_3^{-3a}$ 集块角斑岩夹凝灰角斑岩 9. $Pt_{2+3}bk_3^{-2b}$ 角斑质凝灰岩、角砾凝灰岩、集块凝灰岩、集块岩 10. $Pt_{2+3}bk_3^{-2a}$ 角斑质集块岩 11. $Pt_{2+3}bk_3^{-1}$,上部:细碧玢岩,细碧岩;下部:集块细碧玢岩,熔结集块岩 12. $Pt_{2+3}bk_1$,上部:石英凝灰岩夹石英角斑岩;中部:角斑质凝灰岩夹角斑岩,白云岩;下部:细碧玢岩,集块岩,凝灰岩 13. λ_{13} 石英钠长斑岩 14. δ_3^1 蛇纹岩 15. $\gamma_{\delta 5}^*$ 斜长花岗岩 16. 白云岩 17. 凝灰质板岩 18. 碳质板岩 19. 片理产状 20. 拉伸线理 21. 交面线理,小褶皱枢纽 22. 断层及其编号 23. 剪切带或糜棱岩带 24. 矿体及其编号 25. 角度不整合界线 A-B构造剖面图的(1)到(1)层岩性与上述12到3的岩性对应。

图1 陕西省略阳县东沟坝地区地质图

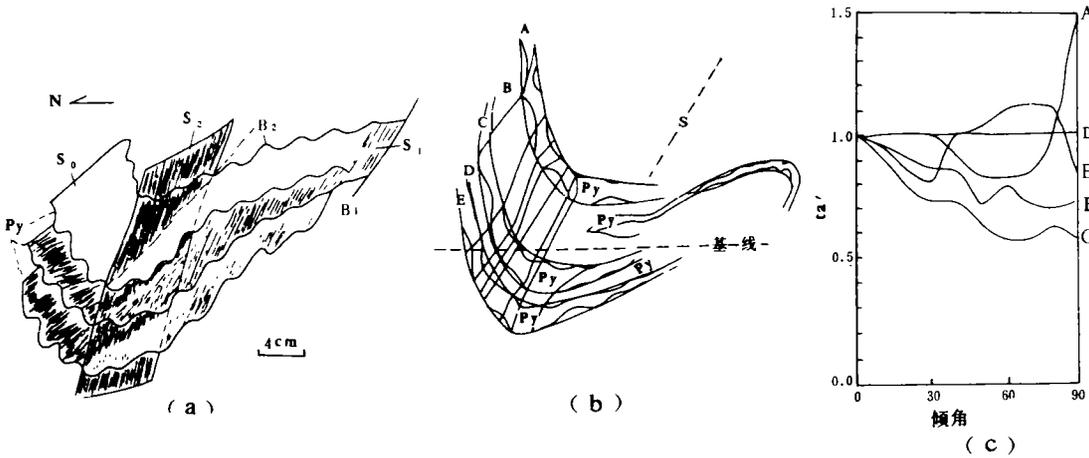
Fig. 1 Geological map of Donggouba area, Lueyang County, Shanxi Province

2 构造样式及构造变形规律

通过详细的地质和构造填图,划分均匀区段,并制作相应的组构图解(图1)。发现区内强应变带与弱应变带相间分布。强应变带为韧性推覆剪切带^[1],"A"型褶皱,具 S_2-S_3 的糜棱岩^[2]和拉伸线理发育。弱应变带中,可以识别第一期等斜褶皱、平卧褶皱;第一、二期的共轴叠加褶皱以及斜切面理 S_1 的岩脉被褶皱。通过上述研究建立了研究区的构造变形序列。

2.1 第一期变形的构造

2.1.1 褶皱构造 第一期褶皱发育非常紧密,大多为等斜褶皱到平卧褶皱(图2a)。寺沟碳质板岩中的黄铁矿条带为原生沉积条带(S_0),因硫化物的同位素 $\delta^{34}S_{\text{‰}}$ 的范围为 $0.77\sim 8.56$ 。第一期变形发育有褶皱轴垂直山链而大致平行拉伸线理的"A"型褶皱(文献[1]),其枢纽产状为 $0^\circ\sim 40^\circ/\angle 6^\circ\sim 20^\circ$ (产状表示方法:倾向 \angle 倾角)。凝灰质板岩中发现早期的平卧褶皱,枢纽产状 $85^\circ\sim 265^\circ/\angle 0^\circ$,轴面劈理产状 $354^\circ/\angle 15^\circ$,沿轴面劈理原生沉积韵律条带发生剪切,为典型的剪切褶皱。后期发育的破劈理也平行早期轴面劈理,沿轴面的剪切位移是第一、第二两期变形的反映。第二期为相似褶皱样式。



Py—黄铁矿沉积条带

图2 碳质板岩中黄铁矿沉积条带褶皱(a)及其几何形态(b,c),寺沟

Fig.2 Folded sedimental pyrite band(a) and its geometry(b,c) in carbonifeous slate

东沟坝选矿场的壁上见有火山沉积韵律条带被褶皱(照片1)。此处还见有一喷发不整合,其上下的片理产状不同,其上为 $85^\circ/\angle 37^\circ$ 。不整合之下见有片理褶皱,其北翼片理产状为 $24^\circ/\angle 30^\circ$ 。而南翼产状为 $85^\circ/\angle 54^\circ$,与喷发不整合之上的片理产状一致。更重要的是在喷发不整合之下,在由片理构成的褶皱转折端中,发现波长 $2\sim 3\text{cm}$,波幅 1cm 左右的由凝灰质韵律条带构成的片内褶皱,其轴面产状为 $24^\circ/\angle 30^\circ$ 。喷发不整合之上火山沉积韵律条带的轴面劈理为 85°

$\angle 34^\circ$ 。由此说明喷发不整合上下的片理代表两次变形的结果。该点正下方的另一壁上见有叠加褶皱露头型式,火山碎屑岩中的含锰层被褶皱,其露头干涉型式为兰姆赛的第三型共轴叠加褶皱,两期褶皱枢纽的赤平投影如图 1No. 2。

第一期褶皱的枢纽产状如图 1,漂草沟以北的三个均匀区段(No. 1, No. 2, No. 3)的小褶皱枢纽的优势产状极密区位于南东东—北西西方位,而漂草沟以南的四个均匀区段(No. 4, No. 5, No. 6)小褶皱枢纽的优势产状极密区位于北东东—南西西方位。

2.1.2 面理 第一期褶皱为紧闭等斜褶皱,大部分地区 S_0 平行 S_1 。手标本和显微镜下观察到凝灰质板岩中发育等斜褶皱,其转折端 S_1 与 S_0 近于垂直,说明存在强烈的面理置换。第一期构造变形发育的面理类型主要有:(1)、流劈理(照片 2, 照片 3)。残碎斑晶石英透镜体发生剪切破裂,形成多米诺牌构造(照片 2)。长石残斑和石英残斑具不对称结晶尾,以单斜对称为主,反映剪切运动方向。(2)、 S_s 面理(拉伸面理或叫剪切带内面理)和 S_c 面理(糜棱岩剪切面理)(照片 4)。

2.1.3 线理 第一期构造变形发育的线理主要有:(1)、小褶皱的枢纽,与第一期大褶皱的枢纽平行(图 1);(2)、板岩中的原生层理 S_0 与板理 S_1 的交面线理;(3)、拉伸的石英、重晶石(照片 5),拉伸方向平行片理 S_1 的倾斜线方向。(4)、残斑及其结晶尾组成的残斑系统^[4];(5)、碳质板岩中发育的黄铁矿压力影(照片 6),(6)、岩屑残斑的结晶尾,残斑为矿物的集合体。

2.1.4 韧性剪切带 早期发育韧性推覆剪切带,其中 S_s - S_c 糜棱岩和眼球状残碎斑晶系统^[4]等发育(照片 7),残斑中的破裂主要有两种样式:(a)、“X”型剪破裂;(b)、一组斜列剪切破裂面(照片 2)。糜棱岩中发育带状石英。伴随第一期韧性推覆,发育同构造期长石变斑晶(文献[1]照片 7)。由于 S_c 面理和 S_s 面理的发育,剪切带为网结状,剪切带分割并控制变形较弱岩石的透镜体,存在不同尺度的透镜体(照片 4),剪切带走向近东—西向,倾向变化在 $350^\circ \sim 30^\circ$ 之间,倾角变化在 $40^\circ \sim 80^\circ$ 之间,由北向南推覆剪切(照片 2, 4)。

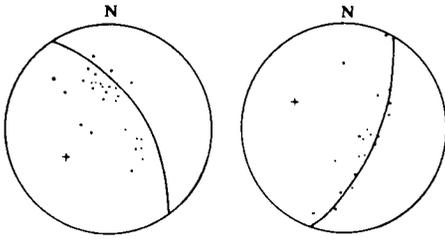
2.2 第二期变形构造

2.2.1 褶皱构造 寺沟第一期平卧褶皱被第二期的相似褶皱叠加(图 2),两期褶皱的枢纽投影点落在同一区间(图 1No. 3)。第二期褶皱的几何形态,用等斜线法进行作图分析,并用 t - a 值测量作图(图 2C),其几何形态十分接近兰姆赛褶皱分类中的 II 类,即相似褶皱。

在选矿场壁上见有兰姆赛的第三型共轴叠加褶皱^[5],横剖面上出现明显的两次转折图型(照片 1),并见有“含锰层”圈闭成多次转折的勾状叠加褶皱,早期的片理 S_1 平行含锰层,并一道被褶皱,通过测量大、小转折端的枢纽产状,作优势方位图(图 1No. 2),枢纽的优势方位位于 SEE-NWW,倾角较小。

第二期褶皱的另一个特点是大量斜切片理的阿尔卑斯型岩脉发生褶皱(照片 4)。由于脉的产状与片理 S_1 产状的关系不同,变形的表现形式也不一样^[6]。根据片理与岩脉的关系说明片理平行应变椭圆 λ_1 主应变方向,垂直最小主应变 λ_3 方向,即第二期叠加应变方位与第一期的应变方位一致。第一期变形的面理 S_1 ,由于逆冲推覆剪切作用被褶皱,褶皱形态复杂,但枢纽产状基本一致,见图 3 左图。含锰层经过两期变形,呈无根具多次转折端的勾状褶皱,褶皱面 π 图如图 3 右。

2.2.2 面理 区内的片理极点在赤平投影图上为点极密(图 1)。露头上未见明显的 S_2 切割



左图: 枢纽产状: 235°/37°

右图: 枢纽产状: 293°/29°

图3 褶皱枢纽的π图解

Fig. 3 π diagram of fold hinges

S_1 的现象, 镜下常见两期片理切割的关系, 造成这一现象的原因有三方面: 韧性剪切带的广泛发育; 共轴并且共轴面叠加变形; 面理构造的置换使 S_1 平行 S_2 , 如照片 3 与照片 8 的应变滑劈理, 该应变滑劈理也是 S_s - S_c 构造岩, 这种构造岩中的 S_s 和 S_c 是两期变形形成的^[3]。

2.2.3 线理构造 第二期变形的线理可以通过第一期变形侧分泌形成的阿尔卑斯型脉的变形来认识。(1)、斜切片理 S_1 的阿尔卑斯型脉的褶皱枢纽(照片 4), 其产状为 $40^\circ/40^\circ$, 石英杆上有碾滚的擦痕, 其产状为 $320^\circ/28^\circ$; (2)、与片理 S_1 夹角 θ 小于 45° 的岩脉形成的线理, 这种岩脉变形早期形成雁行状香肠构造; (3)、

与片理 S_1 平行的岩脉, 常形成藕节状石香肠。

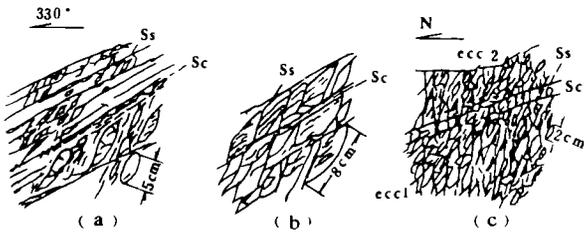
2.2.4 第二期变形发育的脆-韧性剪切带 水磨房南侧(即图 1A—B 剖面 F_2 处) 发现雁列脉形式的脆-韧性剪切带^[7]。雁列脉由于递进变形呈“S”形, “S”形排列与剪切带位移方向的关系表明剪切带沿 38° 坡度向 170° 方向逆冲推覆。

田坝—东沟坝断层, 发育强烈碾滚的构造透镜体和 S_c 与 S_s 面理, 向两侧岩石变形程度减弱。由于剪切带存在着沿 S_s 面理方向的共轴拉伸, 发育了具有相反指向的共轭劈理系(ecc1 和 ecc2)^[8](图 4), 共轭劈理系是在剪切带的晚期阶段发育的^[9]。在 S_c 面上, 擦痕产状为 $342^\circ/34^\circ$, 指示断裂由 NNW 向 SSE 方向逆冲推覆。

2.3 第三期变形构造

主要发育膝折、尖棱褶皱, 显微构造有取向连生石英纤维脉及非取向连生方解石纤维脉, 以膝折的发育为典型特征。

2.3.1 膝折 造山后的变形的详细历史能从膝折带和与它有关的显微构造获悉^{[10][11]}。该区膝折带边界与膝折线理的优势方位如图 5a, b, 膝折面的产状统计上与区域面理倾向相反。图 5d 表示该区膝折带的角度关系, 有 $\Phi > \psi_k$ 。在薄片中共见有两组脉的切割关系, 与面理呈大角度的一组方解石脉被与面理一致的一组方解石脉穿过。前一组脉上的方解石晶体的解理发生膝折, 与非取向



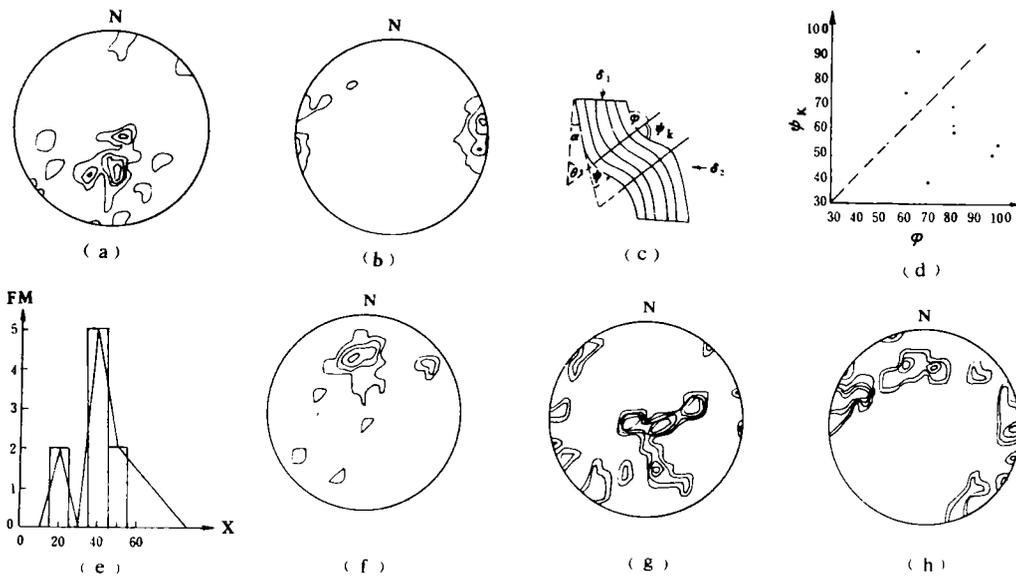
(a)和(b)是陈家坝-秦家碛断层(F_{15})带构造岩素描, 大湾西山埡口
(c)漂草沟断层(F_3)带中构造岩素描图

图4 断层带中构造岩素描图

Fig. 4 The sketches of tectonites in shear zones

脉被与面理一致的一组方解石脉穿过。前一组脉上的方解石晶体的解理发生膝折, 与非取向

连生纤维方解石脉^[12]为一组,说明在膝折发育的同时产生大量的显微张裂隙,应变测量^①表明非取向连生方解石脉与区内的第三期张性断裂活动有关。



(a)膝折面优势方位:135°∠10°,169°∠32°,203°∠44° (b)膝折线理优势方位:75°∠10°,261°∠2°,95°∠11° (c)为膝折带参数意义 (d)膝折带 ψ_k 和 Φ 间的关系 (e)尖棱褶皱半顶角频率直方图 (f)面理优势方位:345°∠46° (g)尖棱褶皱轴面优势方位:66°∠43°,272°∠17°,98°∠15°,169°∠40° (h)尖棱褶皱枢纽优势方位:341°∠35°,7°∠38°,288°∠3°,89°∠13°

图5 膝折和尖棱褶皱构造要素图

Fig. 5 Diagrams on the structural elements of kinks and kink folds

2.3.2 尖棱褶皱 本区尖棱褶皱的半顶角为40°(图5e),小于膝折带的 $(\Phi + \psi_k)/2$,膝折带 $(\Phi + \psi_k) > 90^\circ$,因此,尖棱褶皱的变形更大^[5]。发育尖棱褶皱的岩石的面理以及尖棱褶皱的轴面和枢纽优势方位如图5f-h。第三期的张裂隙被石英脉充填,它切割第二期变形的雁列脉形式的脆韧性剪切带。

2.4 第四期变形构造

早期的断裂重新活动,同时发育大量张性断层,断层的形态特点是断裂面楔形向下逐渐消失。第四期变形发育大量方解石脉,主要沿张开的早期面理充填,切割早期的岩脉。第三期变形的膝折,在第四期变形期间,一部分膝折面方位与本期的应力方位的关系有利于发育成破裂面。

研究区构造变形序列见表1。

① 徐青. 陕西略阳东沟坝地区构造变形序列应变特征(待刊)

表 1 研究区构造变形序列表

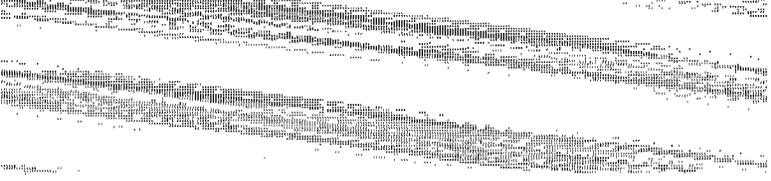
Table 1 Structural deformation sequence in studied area

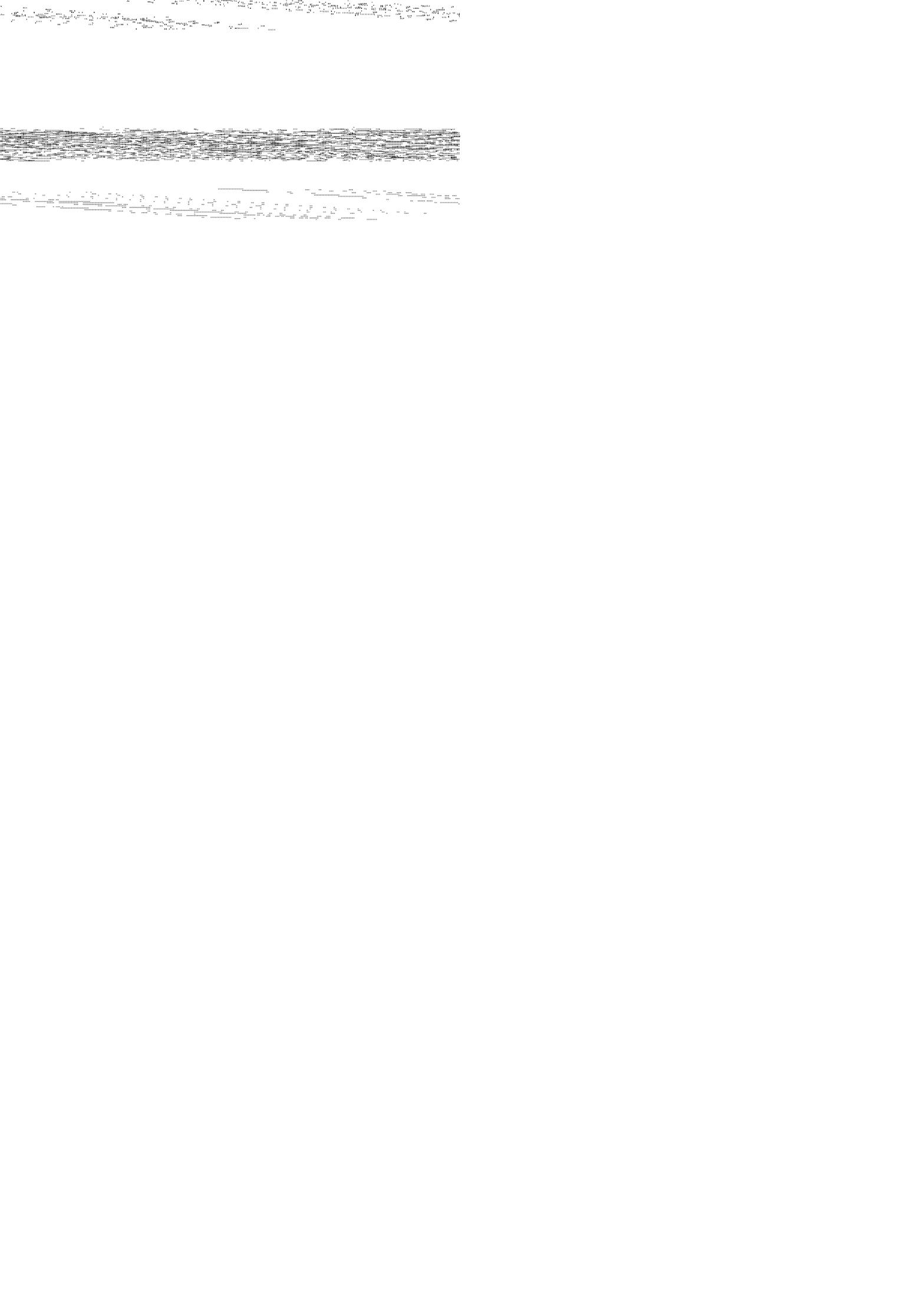
	宏观构造特征	显微构造特征	变质作用	岩组	应变特征	主压应力方向	变形
第一期变形	晋宁运动 B ₁ :同斜、平卧褶皱,“A”型褶皱 S ₁ :流劈理,糜棱岩面理 Sc,剪切带内面理 Ss L ₁ :小褶皱枢纽,S ₁ /S ₀ 交面线理, Ss/S ₁ 交面线理,矿物拉伸线理 F ₁ :低角度韧性推覆剪切带	拉长的石英、重晶石残斑,透镜状石英和带状石英为 a 线理 α _a 和 α _b 残斑系统,Ss-Sc 糜棱岩,黄铁矿压力影 绢云母、阳起石、石英定向排列构成片理;动态重结晶石英、核幔构造、缝合线构造、波状消光、变形带发育	M ₁ :同构造期绿片岩相变质作用	单对石 C 组 斜称英轴构造	强应变带与弱应变带相间发育,渐进简单剪切与纯剪切同时存在 $(1 + e_{r1}) = 3.37 \sim 3.64$ $R = 3.37 \sim 3.61$	近 S N 向	韧性变形
第二期变形	加里东运动 B ₂ :斜切 S ₁ 的脉褶皱,相似褶皱,共轴叠加褶皱,肠状褶皱 S ₂ :S ₂ 置换 S ₁ ,Sc,Ss 面理,剪切带劈理 ecc1,ecc2 L ₂ :小褶皱枢纽,交面线理,石英杆石香肠,擦痕 F ₂ :F ₁ 进一步发育,雁列脉式脆-韧性推覆剪切带	应变滑劈理,与 S ₁ 夹角 30° 的片理 S ₂ ,Ss-Sc 糜棱岩,α _a 和 α _b 残斑系统,a 线理有拉长的石英、重晶石、石英残斑和透镜状、带状石英、黄铁矿压力影,动态重结晶石英核幔构造,缝合线构造,泡沫构造等;绢云母、石英沿 S ₂ 定向排列;同构造期长石变斑晶。	M ₂ :同变质期绿片岩相变质作用	单对石 C 组 斜称英轴构造	弱应变带为共轴应变: $(1 + e_{r1}) = 1.16 \sim 2.26$; $R = 1.5$ 强应变带为非共轴应变: $(1 + e_{r1}) = 11.4$	近 S N 向	脆性变形
第三期变形	印支运动 B ₃ :尖棱褶皱,膝折(皱) S ₃ :膝折面,共轴节理,与膝折面片状一致的节理 L ₃ :膝折线理。	方解石晶体的解理膝折,方解石机械双晶,显微张裂隙,取向连生纤维石英脉;非取向连生纤维方解石脉	硅化,碳酸盐化		非共轴连续渐进应变序列	近 E W 向	初脆性变形
第四期变形	燕山运动 B ₄ :由于残坡积物长期缓慢向下蠕动产生的膝状弯曲 S ₄ :张裂隙中充填的脉 F ₄ :正断层	脆性破裂,张性棱角状角砾,取向连生纤维石英脉;非取向连生纤维方解石脉	碳酸盐化				脆性变形

3 小 结

韧性推覆剪切带的发现,把研究区划分为强应变带和弱应变带,两者从不同侧面为变形序列的建立提供了线索。弱应变带中发育共轴叠加褶皱,斜切 S₁ 的岩脉被褶皱。在强应变带中, S_s-S_c 糜棱岩、残斑系统、同构造期长石变斑晶、拉伸线理、“A”型褶皱、石英 C 轴组构造^[1]、残斑中的脆性破裂面、动态重结晶的带状石英、透镜状石英、核幔构造、亚晶粒等现象的发现^[1],说明剪切带由北向南推覆剪切。在早期的韧性剪切带中发现了“S”形雁列脉式脆-韧性剪切带。第一期的流劈理作为形面发育了应变滑劈理,伴随第一期和第二期变形存在同构造期的变质作用。第三期变形以发育膝折为典型特征。第四期变形发育的张性断裂以明显的楔形向下逐渐尖灭特征,说明是地壳挤压隆起后应力释放的产物。强应变带(韧性推覆剪切带)与矿关系密切,构成工业矿体的第一、第二含矿层正好有韧性剪切带通过;此外,零号含矿层也恰好有陈家坝-秦家碛韧性剪切带通过。两者之间有何因果关系有待进一步研究。

致谢:汤经武老师提供构造要素优势方位图作图程序,在此表示感谢。





参考文献

- 1 Xu Qing. Advances in Geoscience(special issue in English). Scientia Geologica Sinica, 1992, (5): 14~21
- 2 陈国达, 等. 中国大地构造图(1:4 000 000). 地震出版社, 1977
- 3 Lister G S & Snoke A W. S-C Mylonites. J Struct Geol. , 1984, 6(6): 617~638
- 4 Passchier C W. Porphyroclast systems as kinematic Indicators. J Struct Geol. , 1986, 8(8): 831~843
- 5 J G 兰姆赛. 岩石的褶皱作用和断裂作用(单文琅等译). 北京:地质出版社, 1985, 244~295, 356~380
- 6 Talbot C J. The Minimum strain Ellipsoid Using Deformed Quarts Veins. Tectonophysics, 1970, 9: 142~150
- 7 Ramsay J G. Shear Zone Geometry, A Review. J Struct Geol. , 1980, 2(1/2): 83~89
- 8 White S. Paleostress Estimates in the Moine Thrust Zone, Eriboll, Scotland. Nature, 1979, (280): 222~223
- 9 Platt J P. Secondary cleavages in ductile shear zones. J Struct Geol. , 1984, 6(4): 439~442
- 10 Hanmer S K. Vein arrays as kinematic indicators in kinked anisotropic materials. J Struct Geol. , 1982, 4(2): 151~161
- 11 Verbeek E R. kink bands in the Somport slates, West-Central Pyrenees, France and Spain. Bull Geol. Soci. Am, 1978, 89: 814~824
- 12 Ellis M A. The determination of progressive deformation histories from antitaxial syntectonic crystal fibres. J Struct Geol. , 1986, 8(6): 701~709

STUDY ON STRUCTURAL DEFORMATION SEQUENCE IN LUEYANG COUNTY AREA, SHANXI PROVINCE

Xu Qing

(Center for Remote sensing, Ministry of Metallurgical Industry)

Abstract

Tectonically, this paper refers to the contiguous areas among West Qinling fold system of Ba-Yan-Ke-La geosynclinal area and Longmenshan geodome system of North-South Diwa region. The main stratum of studied area is the fourth sub-group of middle-upper Proterozoic Erathem Bikou group which is a suite of low-grade metamorphic spilite-kerapophyre sequence formed in the course of volcanic activity. A detail study and analysis of various structural elements, strain markers and kinematic indicators reveal that the area possesses the juxtaposed intense and weak strain pattern, and that the stratum has experienced four phase structural deformations.