

云南白秧坪矿区华昌山断裂带构造岩的微观变形特征

余凤鸣^{1, 2)}, 何龙清²⁾, 陈开旭²⁾

1) 中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074;

2) 武汉地质矿产研究所, 湖北武汉 430223

摘要: 云南白秧坪矿区位于兰坪中-新生代前陆盆地北部, 华昌山断裂带是矿区最重要的控矿构造, 沿断裂带产出一系列 Pb-Zn-Ag-Cu 多金属矿体, 其成矿元素在断裂带内的分布与构造岩的分带有明显的对应关系。华昌山断裂带是与金沙江造山带有关的前陆逆冲推覆构造系统的前锋推覆断裂, 以脆性变形为主, 形成碎裂岩系列的构造岩。通过比较系统的断裂带构造岩样品的显微变形观察、方解石机械双晶发育程度观测、方解石组构分析, 认为华昌山断裂带自边部往中心变形明显增强, 岩石结构、方解石颗粒边界形态、粒度显示一定的变化规律, 方解石 C-T 图解显示主要的运动方式为 SE 盘往 NW 方向逆冲。

关键词: 白秧坪矿区; 华昌山断裂带; 构造岩; 显微变形特征

中图分类号: P551; P553 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2011.01.05

Microdeformation Characteristics of the Tectonite from the Huachangshan Fault Zone in the Baiyangping Ore District, Yunnan Province

YU Feng-ming^{1, 2)}, HE Long-qing²⁾, CHEN Kai-xu²⁾

1) *China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;*

2) *Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan, Hubei 430223*

Abstract: The Baiyangping ore district is located in northern Lanping Mesozoic-Cenozoic foreland basin, Yunnan Province. A front fault of the nappe system related to the Jinshajian orogenic belt is the most important ore-controlling structure in the ore district, and there is a series of Pb-Zn-Ag-Cu polymetallic ore bodies along the Huachangshan fault zone. There exists a corresponding relationship between the distribution of ore-forming elements and the zoning of the tectonite. The deformation of the fault was brittle and formed the cataclastic tectonites. According to microdeformation observations of the tectonite samples from the fault zone, development degree observations of mechanical twinning, and the fabric analysis of the calcite, it is considered that the enhancement of deformation from the edge to the center of the fault zone is obvious. There exists the regular variation of the rock texture, the boundary configuration of the calcite particle and the grain size. The C-T illustration of the calcite shows that the primary movement direction of the nappe is from SE to NW.

Key words: Baiyangping ore district; Huachangshan fault zone; tectonite; microdeformation feature

构造岩是断裂带或韧性剪切带的主要物质组成, 是原有的各种岩石在应力作用下遭受脆性或韧性变形, 发生破裂、粉碎或滑移、重结晶等作用形成的岩石(钟增球等, 1991)。构造岩研究的历史悠久, 从早期碎裂岩系列的研究到 20 世纪 70 年代以后糜棱

岩系列的研究, 对构造岩的认识有了长足的进步, 特别是对韧性剪切带和糜棱岩的研究, 形成了一套比较完整的构造变形理论(吴香尧, 1986; 郑伯让等, 1989; 纪沫等, 2008; 曹淑云等, 2009)。但与此同时, 脆性断裂带及碎裂岩的研究反而没有深入而近于停

本文由原地质矿产部定向基金项目(编号: 地科定 98 - 13)资助。

收稿日期: 2010-08-27; 改回日期: 2010-12-17。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 余凤鸣, 女, 1961 年生。中国地质大学(武汉)资源与环境遥感专业在读博士, 教授级高工。主要从事构造地质学及遥感地质研究工作。电话: 027-81381842。E-mail: yfengming@cgs.cn。

滞,究其原因可能是碎裂岩的研究主要停留在宏观层面,因为岩石以脆性变形为主,无定向或仅具弱定向,微观变形现象比较单调,相对而言缺乏丰富的形变迹象。实际上,在碳酸盐岩为原岩破碎形成的构造岩中,方解石矿物的微观变形或多或少地记录了断裂活动的某些特点(刘正宏等, 2007),云南白秧坪矿区华昌山断裂带为脆性构造岩的研究提供了较好的场所。更具有意义的是,华昌山断裂带是该矿区最重要的控矿断裂,其构造岩分带与成矿元素的分布有明显的关系(何龙清等, 2004, 2007)。

1 华昌山断裂带的宏观特征

东特提斯构造域是地壳上十分独特的大地构造变形地带,其显著的特点是由造山带及其间夹的长条形地块组成(何龙清, 1998; 段建中, 1999; 王立全等, 1999),在造山带碰撞造山的过程中,这些地块上多发育有前陆盆地(谭筱虹, 1999),持续的作用往往还在前陆盆地中形成逆冲推覆构造,控制了盆地内的 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床,云南西部的兰坪盆地即属此类(陈开旭等, 2000; 李文昌等, 2001; 薛春纪等, 2002; 管焯等, 2006)。白秧坪矿区位于兰坪盆地的北部,矿区内发育两套逆冲推覆构造,分别与东、西侧的金沙江造山带、澜沧江造山带相关,作为矿区最重要的控矿断裂的华昌山断裂带,是金沙江造山带前陆逆冲推覆构造的前锋主推覆界面(邵兆刚等, 2002; 朱大岗等, 2002; 邵兆刚等, 2003)。

华昌山断裂带是推覆构造的前锋主干逆冲断层,自北而南贯穿整个矿区,长约 75 km,向北与通甸—雪龙山断裂带斜交,南延至兰坪金顶北西侧。断裂带东盘为外来系统,由上三叠统至白垩系地层组成,推覆体内发育一系列叠瓦状逆冲断层及少量横向平移断层;断裂带西盘为原地系统,主要出露古近系地层。因主干逆冲断层及其分支断层全部出露,可将其归入显露类前锋。在前锋的后部,亦发育一系列同走向的断裂,总体构成分散的叠瓦扇状,按照莫尔莱(1986)提出的方案(朱志澄, 1995),又可将该前锋进一步划分为叠瓦扇式(I型)。断裂带自南往北变化较大,总体走向 NE20°,倾向 SE,倾角 30°~40°。断裂面倾角北缓南陡,北部河西一带表现为逆掩断层,倾角变缓直至近水平;中南段倾角逐渐变陡,南部断面倾角 40°~60°不等,显示逆冲性质,断面波状起伏,在华昌山一带表现为上三叠统三合洞组(T₃S)碳酸盐岩建造逆冲在古近纪红层之上(图 1)。在北部地区因断裂面比较平缓,地表断层线展布极不规则,常圈闭构成飞来峰。构成飞来峰的地层

主要是上三叠统三合洞组。

断裂破碎带呈线状分布,宽 10~20 m 不等,因两侧地层岩性有明显差异,断裂带地貌上多为负地形,局部地段东盘灰岩显断层崖特征。断裂带两侧派生的近 EW 向或平行于主干断裂的 SN 向小断裂以及节理发育,形成长 30 km、宽 20 m 的破碎带。断裂带中主要发育构造角砾岩,据在麦地坡—东至岩一带观察,角砾成分主要为上盘的三合洞组灰岩,砾径 1~5 cm 不等,多为次棱角状,略具磨圆,角砾被碳酸盐质胶结,胶结程度不尽相同。在断裂带的近下盘,常见断层泥、碎裂岩和构造透镜体,但总体上断裂内部变形强度分带不清晰。透镜体展布方位与主断层面多呈锐角相交,指示断裂东盘向西向上逆冲,矿化的角砾和碎裂岩有张性特征,显示断裂在成矿期转化为张性。断裂带内方解石脉、石英脉发育,脉体宏观上变形迹象不明显,断裂带旁侧次级构造中褐铁矿化、铜矿化、铅锌矿化强烈。

2 构造岩微观变形的特点

华昌山断裂带构造岩样品采自麦地坡、东至岩、下区五、燕子洞、新厂山等地,所采集的样品均为碎裂岩,矿物成分主要为方解石。麦地坡处自断裂往东采样品 H₁₈、H₁₉、H₂₀;东至岩处从断层边缘往中心自东而西采样品 H₁₁、H₁₂、H₁₃、H₁₄;下区五的 H₁₀₇ 和新厂山的 H₁₁₆ 样品,均采自断裂带内;燕子

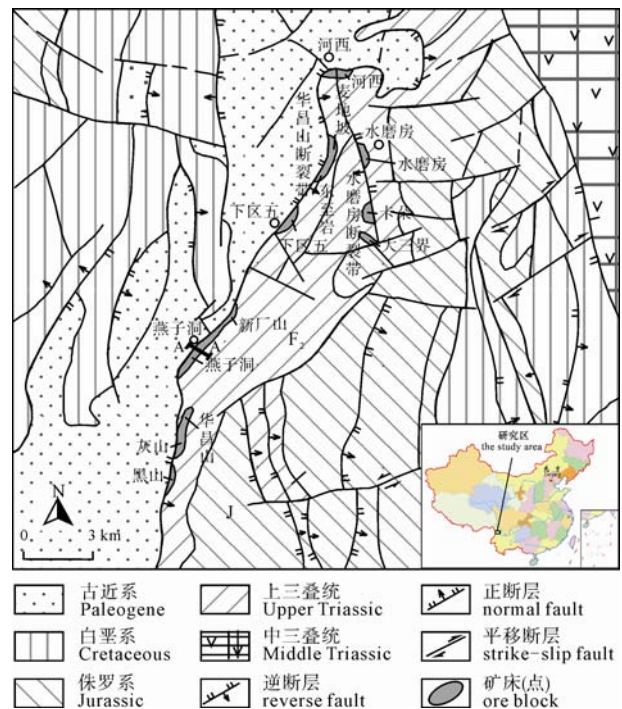


图 1 云南白秧坪地区东矿带地质构造简图
Fig. 1 Tectonic sketch map of the east ore belt in Baiyangping area, Yunnan, China

洞处采样较多, 构成 3 个剖面, H₅₇、H₅₈、H₅₉、H₆₀ 4 个样品自推覆断裂下盘往上盘自西而东远离断层方向采集, H₆₁、H₆₂ 采自破碎带中, H₄₄、H₄₉ 采自探槽内出露的构造滑动面上(图 1)。

通过对构造岩薄片的显微镜下观察发现, 华昌山断裂带上, 由中心往边缘, 岩石结构、方解石颗粒边界形态、粒度显示一定的变化规律。

麦地坡处的构造岩为角砾状灰岩, 具细晶不等粒鳞片变晶镶嵌结构, 粒度在 0.06 ~ 0.14 mm 之间, 大都呈不规则粒状。岩石裂隙及孔隙较多, 充填的方解石双晶、解理都很发育; 原岩与充填物同受应力作用导致方解石斑杂状消光, 双晶被破坏, 高倍镜下原岩显示较好的残余双晶, 并可见颗粒内部产生微粒重结晶, 单晶边缘呈平直的方形、长方形。自断裂往东, 岩石结构由微粒至中粒变晶结构, 粒度由 0.05 mm 增大到 0.3 mm, 颗粒形态由它形等轴状到半自形柱状。

东至岩处的 H₁₁、H₁₂、H₁₃、H₁₄ 构造岩原岩为含砾灰岩—细晶灰岩, 主要由方解石组成, 构造岩具不等粒斑状镶嵌变晶结构、鳞片变晶结构。斑状结构的岩石方解石分基质和斑晶两部分, 斑晶含量约 30%, 粒度 0.74 mm×0.2 mm ~ 0.2 mm×0.15 mm 不等, 半自形-它形片状, 双晶和菱形解理均较发育, 杂乱排列, 颗粒边界清晰; 基质含量 60%左右, 粒度 0.002 mm, 集合体仍保留原方解石的片状, 其表面因含有泥质而糟化; 砂屑含量小于 10%, 不规则状, 由微晶长英质组成。岩石内含有棱形、长条形、不规则状砾屑, 砾屑由方解石组成, 不同砾屑方解石粒度不等, 为 0.003 ~ 0.2 ~ 4.9 mm 的隐晶-细晶-粗晶, 粗晶砾屑内方解石双晶发育, 见有双晶弯曲、分离消光, 因交代在粒内形成蠕虫状交代的网状结构, 其内还包含有细粒方解石组成的粒屑。整体上看, 从断层边缘往中心自东而西, 方解石颗粒由近等粒的等轴状、粒状到不等粒似斑状、不规则长条状, 自形程度增强; 平均粒度由 0.17 mm 减小至 0.07 mm, 岩石结构由细-中粒变晶结构逐渐变为微细粒变晶结构。

下区五处的 H₁₀₇ 构造岩, 岩石为碳酸盐质构造角砾岩, 具中晶不等粒鳞片镶嵌结构, 角砾构造。岩石主要由方解石组成, 粒度 0.15 ~ 0.5 mm 不等, 表面较清洁, 发育一至二组双晶, 颗粒内发育不平整解理及大量裂纹; 胶结物方解石半自形鳞片状, 角砾粒度在 17.67 ~ 2.3 mm 之间, 具细粒-中粒镶嵌变晶结构, 不规则棱角状, 杂乱排列, 角砾成分为细晶和中晶灰岩, 岩石被大量构造缝隙穿插破坏。岩

石内还含有微量粒状石英, 有一定的磨圆, 粒度 0.43 ~ 0.09 mm 不等, 以细粒为主, 表面较清洁, 粒内含大量平行产出的包裹体(毕姆纹)。

新厂山的 H₁₁₆ 样品, 具糜棱结构、残斑结构, 显微层纹构造, 两组纹理相交呈 S∧C 结构, S∧C=27°, 残斑眼球状、它形棱角状, 粒度 0.25 mm 左右, 平行至垂直纹理延向产出, 具清晰的双晶, 以一组为主, 并显示微剪切的不消光异常彩带。该处的构造岩在显微镜下显示一定的韧性变形。

燕子洞处采集的样品剖面构成了 3 条短剖面(图 2):

(1)H₅₇、H₆₀ 具角砾构造, 微粒—细粒结构、碎裂结构, 矿物主要为方解石, 粒度 0.1 mm, 等轴状, 不规则长条状, 菱形, 双晶较发育, 见有双晶弯曲、不消光微剪切彩带等现象。角砾悬浮于胶结物中, 二者界线不十分清晰, 角砾大部分棱角分明, 少量有一定的磨圆, 粒度 0.014 mm; 角砾与胶结物同时被后期裂隙穿切, 可见碎裂不止一次; 见有两组双晶彼此切错移位、异常不消光彩带。H₅₈ 为不等粒变晶结构, 含极少量砂屑, 方解石分斑晶和基质两部分, 斑晶含量 25%, 粒度 0.8 mm×0.16 mm ~ 0.2 mm×0.18 mm, 长片状、等轴状不规则排列, 双晶发育, 以一组为主, 大部分呈团块状集合体, 也有单晶产出, 团块为不同期方解石脉穿插、交错、变形弯曲而成; 基质由微晶方解石组成。H₅₉ 为不等粒粒状变晶结构, 含极少量砂屑, 方解石粒状产出, 分

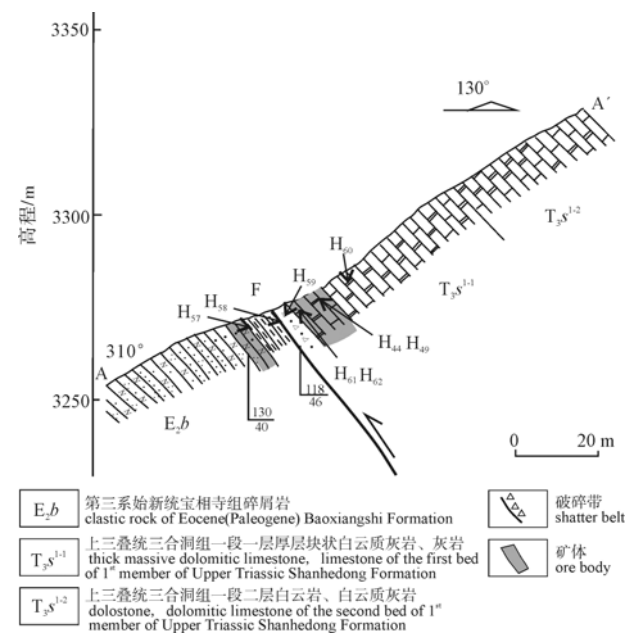


图 2 白秧坪矿区燕子洞矿段华昌山断裂带构造剖面图 (据云南第三地质大队, 1997, 修编)

Fig. 2 Tectonic profile of the Huachangshan fault zone in Yanzidong ore block of the Baiyangping ore district

0.14 mm、0.06 mm 两个粒级,前者含量略少,后者颗粒边界不清晰;还有含量约 10%、粒度为 0.3 mm×0.2 mm 的方解石飘浮其中,保留有未破坏完的单组双晶;另有粒度为 0.6 mm 的它形片状方解石,团块产出,颗粒表面因交代作用形成交代光性不均匀结构,单组双晶极发育。总体上看,自推覆断裂下盘往上盘自西而东,矿物粒度由 0.02 mm 到 0.09 mm 增大,颗粒形态由似眼球状到半自形—自形片状,岩石结构由微粒变晶结构变为细粒变晶结构。

(2)H₄₄、H₄₉ 岩石为细粒变晶结构,矿物颗粒大小较均匀,粒间界线不清晰,磨圆较好,呈椭圆形—矩形,可见少量被破坏的残留双晶,方解石沿解理裂开、破碎,受应力作用的变形处于细粒化阶段,同一消光位呈星点状而明暗不一,呈斑杂状消光;岩石为后期裂隙穿切,充填裂隙窄而密,被方解石充填的裂隙宽大,一组、两组双晶均较发育。两个样品的方解石平均粒度分别为 0.09 mm、0.12 mm,也表现增大趋势,颗粒形状为半自形柱、粒状和它形粒状。

(3)H₆₁、H₆₂ 具不等粒粒状变晶结构,角砾状构造,岩石由角砾、空洞和原岩三部分组成。原岩由 0.03 ~ 0.15 mm 粒度不等的粒状方解石及其间胶结

物组成,粒状方解石具有未破坏完全的双晶,单组为主,形状极不规则,颗粒间界线不清晰,残留一组、两组较完整双晶,双晶率大小不等,小者受局部剪切应力作用形成不消光彩带,岩石表现为明显受应力作用而产生的脆性变形行为,可见楔形消光、长条状矿物弯折及颗粒沿双晶面滑动而错位。综合上述可见,华昌山断裂上的 5 个剖面样品的测量、对比,显示自断裂带往两侧,矿物颗粒由长轴状变为等轴粒状,边界形态由港湾状、锯齿状、云朵状变为多边形、平直折线状,颗粒完好程度增大,结晶度增加,受构造活动影响减弱,趋于稳态。

晶粒平均轴比测定显示,麦地坡剖面样品 H₁₈、H₁₉、H₂₀,晶粒平均轴比由 1.8 降至 1.5;东至岩剖面从 H₁₁、H₁₂、H₁₃ 至 H₁₄,晶粒平均轴比由近 1.56 增至 2.0;燕子洞的三个横剖面 H₅₇、H₅₈、H₅₉、H₆₀ 由 1.93 降至 1.5, H₆₁、H₆₂ 为 1.75 及 1.5, H₄₄、H₄₉ 差别不大,分别为 1.47 和 1.45。表明了构造岩的变形程度与其在断裂带中的分布位置相关,总体上随着远离断裂带中心变形程度降低(表 1)。

3 构造岩的双晶化程度

机械双晶是在应力作用下由双晶滑移所形成的双晶,亦称为滑移双晶或变形双晶,机械双晶在如

表 1 方解石显微变形特征表
Table 1 Microstructure deformation characteristics of calcite

采样地点	标本编号	岩石结构	粒度(毫米)	晶粒平均轴比	自形程度
麦地坡	H ₁₈	微粒变晶结构	0.02	1.8	它形
	H ₁₉	微粒变晶结构	0.05	1.7	它形-半自形
	H ₂₀	微-细粒变晶结构	0.09	1.5	它形-半自形
	H ₁₁	细-中粒变晶结构	0.17	1.56	它形
东至岩	H ₁₂	细粒变晶结构	0.1	1.75	它形-半自形
	H ₁₃	微-细粒变晶结构	0.075	1.8	它形-半自形
	H ₁₄	微粒变晶结构	0.07	2.0	它形-半自形
下区五	H ₁₀₇	微粒变晶结构	0.015	1.8	它形-半自形
新厂山	H ₁₁₆	中粒变晶结构	0.17	1.83	它形-半自形
	H ₅₇	微粒变晶结构	0.02	1.93	它形
燕子洞	H ₅₈	微-细粒变晶结构	0.08	1.63	它形-半自形
	H ₅₉	微-细粒变晶结构	0.09	1.7	它形-半自形
	H ₆₀	细-中粒变晶结构	0.15	1.53	它形-半自形
	H ₆₁	细粒变晶结构	0.1	1.75	它形
	H ₆₂	中粒变晶结构	0.24	1.5	它形-半自形
	H ₄₄	微-细粒变晶结构	0.09	1.47	它形-半自形
	H ₄₉	细-中粒变晶结构	0.12	1.45	它形-半自形

方解石等的一些对称性较低或粒内滑移系统较少的矿物中较易出现。机械双晶是晶内滑动的产物,是由位错在双晶面上的运动形成的,在较低温及较快应变速率条件下有利于机械双晶的发育,这是脆性变形的重要研究对象(F.J.特纳等,1987)。

通常方解石的生长双晶不发育,变形岩石中所见的方解石双晶一般都可认为是机械双晶,方解石中形成的机械双晶的最优剪切滑动方向为右旋剪切,故常见的是正向滑动的 e 双晶。一般而言,机械双晶在应变较强部位较发育,其双晶纹较密集、较细,且厚度基本一致。因此,测定构造岩中方解石的双

晶化程度,有助于了解岩石变形的强度变化。

华昌山断裂带的弱变形变质灰岩中方解石显示较好的形态组构,呈六方柱或菱面体,所有充填孔隙及充填脉中的方解石均有一定程度变形。方解石的 { 1011 } 解理较为发育, e { 0112 } 双晶发育程度因采样位置而不同(表 2), 断裂带上, 变形强的部位双晶较变形弱的部位要发育。横切断裂带剖面的样品, 双晶空间指数 $H_{18} \sim H_{20}$ 由 0 ~ 30(条/毫米)降到 0 ~ 10(条/毫米), $H_{11} \sim H_{14}$ 由 0 ~ 10(条/毫米)发育至 0 ~ 40(条/毫米); 而燕子洞的三个剖面则显示相反的变化, $H_{57} \sim H_{60}$ 由 0 ~ 10(条/毫米)增至 0 ~ 30(条/

表 2 构造岩双晶化程度对比表
Table 2 A comparison of twinning degrees of tectonites

采样地点	标本编号	双晶组数	双晶颗粒比(%)	双晶指数(条/毫米)
麦地坡	H ₁₈	1	4	0 ~ 30
		2	0	
	H ₁₉	1	28.04	0 ~ 10
		2	0	
	H ₂₀	1	50.98	0 ~ 10
		2	0	
东至岩	H ₁₁	1	35.7	0 ~ 10
		2	1.79	
	H ₁₂	1	8	0 ~ 20
		2	0	
	H ₁₃	1	12	0 ~ 15
		2	0	
H ₁₄	1	35	0 ~ 40	
	2	1		
下区五	H ₁₀₇	1	36.59	0 ~ 30
		2	48.78	
新厂山	H ₁₁₆	1	20	0 ~ 10
		2	0	
	H ₅₇	1	38.8	0 ~ 10
		2	4.86	
	H ₅₈	1	66.67	0 ~ 15
		2	28.57	
H ₅₉	1	50.42	0 ~ 20	
	2	30.25		
燕子洞	H ₆₀	1	20	0 ~ 30
		2	0	
	H ₆₁	1	25	0 ~ 10
		2	0	
	H ₆₂	1	36.3	0 ~ 10
		2	9.8	
H ₄₄	1	20	0 ~ 10	
	2	0		
H ₄₉	1	27.27	0 ~ 20	
	2	1.3		

毫米), H_{44} 、 H_{49} 亦由 0~10(条/毫米)增至 0~20(条/毫米)。

双晶发育颗粒比也显示相似的变化, 一组 e 双晶发育的百分率, 东至岩剖面 H_{14} ~ H_{11} 由 35%降至 8%, 仅断层边缘样品 H_{11} 较大, 为 35.7%; 燕子洞三个剖面, H_{57} ~ H_{60} 总体呈下降趋势, 仅断层靠近中心样品 H_{57} 为 38.8%, 余者由 66.67%降至 20%; H_{61} 、 H_{62} 和 H_{44} 、 H_{49} 分别由 25%增至 36.3%、20%增至 27.27%, 显示相反的变化趋势, 但相差不大; 麦地坡剖面样品显示明显相反的变化趋势, H_{18} ~ H_{20} 由 4%显著增至 50.98%。

双晶空间指数及双晶发育颗粒比测量数据显示出相背的变化趋势, 可能原因是处于强应力作用域, 岩石变形较大, 双晶破坏亦甚。需要说明的是, 普通偏光显微镜下, 在对薄片平面观测时, 由于光的全反射, 与薄片平面平行或呈小角度相交的部分双晶纹不可能见到, 故其统计存在一定的误差。

4 构造岩的方解石组构

华昌山断裂带构造的方解石组构研究, 主要开展了三个方面的工作, 包括方解石光轴组构、e 双晶面极点方位组构及方解石双晶的 C-T 图解, 方解石组构测定主要用于力学分析, 进而确定主应力的方式方向(余凤鸣等, 2007)。为了便于对比, 并结合采样位置、断裂带的产状进行分析研究, 所编制的方解石组构分析图, 投影面均为地理水平面, 下半球投影。所有构造岩样品的方解石光轴方位图, 均为分裂的大圆环带, 环带内发育近岩组坐标 C 轴的集密。麦地坡样品 H_{19} 主极密位于断层北东侧 SE-NW 方位, 单斜对称。东至岩样品 H_{11} 主极密较明显, 位于断层的 NE 侧偏 NE 方位; H_{13} 主极密较弱, 位于断层的 NW 侧偏 NWW 方位, 组构近于斜方对称—轴对称。下区五样品 H_{107} 环带内包含一个近岩组坐标 C 轴集密, 位于断层之东, 近于轴对称。燕子洞样品 H_{58} 主极密位于断层南西侧 NE 方位, 单斜-斜方对称; H_{59} 主极密位于断层北东侧 NEE 方位, 斜方-轴对称; H_{62} 环带内包含三个近 a 轴主极密, 位于断层北侧。主极密部与 S 面极点夹角 H_{13} 为 29° , H_{58} 、 H_{59} 为 40° , 属中—高应变组构类型; H_{11} 为 72° , H_{107} 为 84° , H_{62} 为 68° , 属低应变组构类型。整体反映 H_{13} 、 H_{58} 、 H_{59} 位于断裂带中心部位, 变形较强(图 3), H_{19} 、 H_{11} 、 H_{107} 、 H_{62} 处于断裂带边缘, 受构造活动影响较弱(图 4)。

在方解石 e 纹极点方位图上, 据 e 纹极点与构造面 S 之间的空间排布关系(梅尔文·弗里德曼, 1975;

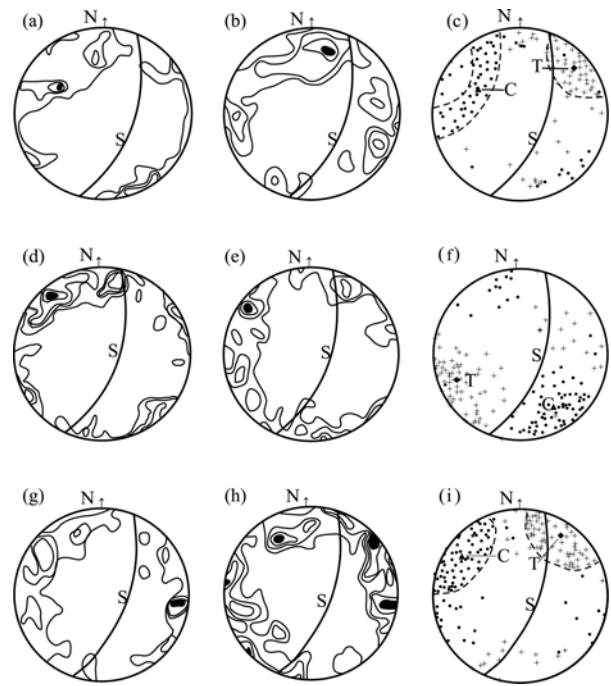


图 3 华昌山断裂带中心构造岩方解石岩组分析图

Fig. 3 Calcite petrofabric analysis diagrams of Huachangshan fault center

a- H_{13} : 62 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 8.9, 6.5, 4, 1.6%; b- H_{13} : 62 条方解石 e 纹极点方位图等密线距: 9.7, 6.5, 3.2, 0.8%; c- H_{13} : 62 个颗粒的方解石 C-T 图; d- H_{58} : 76 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 9.2, 7.2, 5.3, 3.3, 1.3%; e- H_{58} : 76 条方解石 e 纹极点方位图等密线距: 9.2, 6.6, 4, 1.3%; f- H_{58} : 76 个颗粒的方解石 C-T 图; g- H_{59} : 80 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 8.8, 6.3, 3.8, 1.3%; h- H_{59} : 80 条方解石 e 纹极点方位图等密线距: 5, 3.8, 2.5, 1.3%; i- H_{59} : 80 个颗粒的方解石 C-T 图; a- H_{13} , fabric diagrams of calcite optic axis, 62 grains, contours are 8.9-6.5-4-1.6%; b- H_{13} , fabric diagrams of normal to e-twin, 62 grains, contours are 9.7-6.5-3.2-0.8%; c- H_{13} , calcite C-T diagrams, 62 grains; d- H_{58} , fabric diagrams of calcite optic axis, 76 grains, contours are 9.2-7.2-5.3-3.3-1.3%; e- H_{58} , fabric diagrams of normal to e-twin, 76 grains, contours are 9.2-6.6-4-1.3%; f- H_{58} , calcite C-T diagrams, 76 grains; g- H_{59} , fabric diagrams of calcite optic axis, 80 grains, contours are 8.8-6.3-3.8-1.3%; h- H_{59} , fabric diagrams of normal to e-twin, 80 grains, contours are 5-3.8-2.5-1.3%; i- H_{59} , calcite C-T diagrams, 80 grains

马胜利等, 1987), 推断该断层 SE 盘往 NW—NWW 方向向上逆冲, 且断裂的剪切活动在燕子洞矿段表现明显, 应力方向发生摆动。

根据各样品在费氏台上所测的具明显 e 双晶的方解石颗粒的结晶光轴及 e 双晶面的数据, 绘制 C-T 图, 其中心 ΔC 、 ΔT 为旋转椭球体的旋转轴, 相当于最大主应力轴 σ_1 和最小主应力轴 σ_3 , S 为华昌山断裂面的投影面。C-T 图显示各样品 C、T 均具有两组较好的定向, ΔC 轴主导方向 H_{19} 为 SE132°, 倾角 10°; H_{11} 为 SE105°, 倾角 13°; H_{13} 为 NW300°, 倾角约 20°; H_{107} 为 SE143°, 倾角 13°; H_{58} 为 SE149°, 倾角 12°; H_{59} 为 NW306°, 倾角 17°; H_{62} 为 NW358°, 倾角 17°。

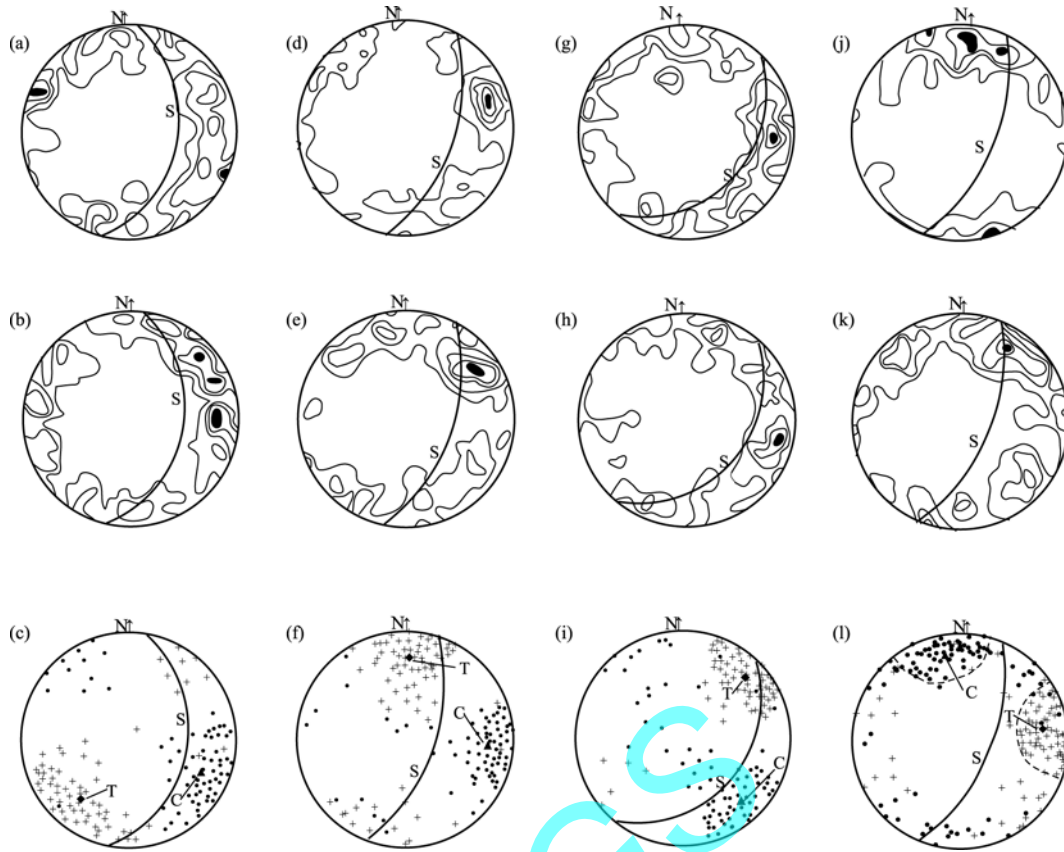


图 4 华昌山断裂带边缘构造岩方解石岩组分析图

Fig. 4 Calcite petrofabric analysis diagrams of Huachangshan fault edge

a-H₁₉: 68 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 7.3, 5.1, 2.9, 0.7%; b-H₁₉: 68 条方解 e 纹极点方位图等密线距: 7.4, 4.4, 2.2, 0.7%; c-H₁₉: 68 个颗粒的方解石 C-T 图; d-H₁₁: 75 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 12, 9.3, 6.7, 4%; e-H₁₁: 75 条方解石 e 纹极点方位图等密线距: 10.6, 8, 5.3, 2.7, 0.6%; f-H₁₁: 75 个颗粒的方解石 C-T 图; g-H₁₀₇: 75 个具 e 双晶方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 8, 6, 4, 2, 0.6%; h-H₁₀₇: 75 条方解石 e 纹极点方位图等密线距: 8.7, 6.7, 4.1, 3%; i-H₁₀₇: 75 个颗粒的方解石 C-T 图; j-H₆₂: 85 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图等密线距: 8.2, 5.9, 3.5, 1.2%; k-H₆₂: 85 条方解石 e 纹极点方位图等密线距: 9.4, 7.1, 4.7, 2.4, 0.6%; l-H₆₂: 85 个颗粒的方解石 C-T 图

a-H₁₉, fabric diagrams of calcite optic axis, 68 grains, contours are 7.3-5.1-2.9-0.7%; b-H₁₉, fabric diagrams of normal to e-twin, 68 grains, contours are 7.4-4.4-2.2-0.7%; c-H₁₉, calcite C-T diagrams, 68 grains; d-H₁₁, fabric diagrams of calcite optic axis, 75 grains, contours are 12-9.3-6.7-4%; e-H₁₁, fabric diagrams of normal to e-twin, 75 grains, contours are 10.6-8-5.3-2.7-0.6%; f-H₁₁, calcite C-T diagrams, 75 grains; g-H₁₀₇, fabric diagrams of calcite optic axis, 75 grains, contours are 8-6-4-2-0.6%; h-H₁₀₇, fabric diagrams of normal to e-twin, 75 grains, contours are 8.7-6.7-4-1.3%; i-H₁₀₇, calcite C-T diagrams, 75 grains; j-H₆₂, fabric diagrams of calcite optic axis, 85 grains, contours are 8.2-5.9-3.5-1.2%; k-H₆₂, fabric diagrams of normal to e-twin, 85 grains, contours are 9.4-7.1-4.7-2.4-0.6%; l-H₆₂, calcite C-T diagrams, 85 grains

倾角 8°。ΔT 轴主导方向 H₁₉ 为 SW212°, 倾角 10°; H₁₁ 为 NE15°, 倾角 13°; H₁₃ 为 NE51°, 倾角 14°; H₁₀₇ 为 SW54°, 倾角 10°; H₅₈ 为 SW246°, 倾角 10°; H₅₉ 为 NE37°, 倾角 16°; H₆₂ 为 NE84°, 倾角 14°。

分析认为, 华昌山断裂带的构造岩光轴组构及 e 双晶极点组构均显示点极密加环带的型式, 大部分发育近 C 轴光轴极密(如 H₁₉、H₁₁、H₁₃、H₁₀₇、H₅₈、H₅₉), 代表 C 轴方向的压力导致沿 ab 面滑动, 伴有应力方向的摆动及绕 b 轴的转动。在 C-T 应力系统中, 近水平应力 H₁₉ 反映了麦地坡处 SEE—NWW 方向的水平挤压作用, 产生左旋运动; H₁₁、H₁₃ 反映了东至岩一带 SE(SEE)—NW(NWW)

方向的水平挤压作用, H₁₁ 形成左旋平移运动, H₁₃ 产生右旋平移运动性质; 下区五的 H₁₀₇ 则为 SW 方向的水平挤压作用, 形成左旋平移运动性质; H₅₈、H₅₉、H₆₂ 表现了燕子洞处由 SE(SSE)—NW(NNW) 向的水平挤压作用, 产生左旋平移运动性质。

综前所述, 方解石构造岩的显微变形、机械双晶特征和晶粒轴比研究表明, 华昌山断裂带构造岩的变形程度与其在断裂带中的分布位置相关, 总体上从断裂带中心部位(H₅₈、H₅₉)到断裂带边缘(H₅₇、H₆₂)受构造活动影响减弱, 变形程度降低, 快速低温形成的机械双晶发育, 组构类型反映中—高应变到低应变。方解石构造岩的组构特征结合华昌山断

裂带产状,总体上可反映断裂带主要的应力场方位,主压应力方向是 SE - NW 向,主张应力方向是 NE - SW 向,断层以左旋运动为主,断裂推覆体由 SE 向 NW 方向逆冲推覆。

需要进一步说明的是,构造岩的微观构造研究需要大量的观测数据,到目前为止,方解石双晶的数据的测量和其后的分析还是手工操作,工作难度较大。对白秧坪矿区华昌山断裂带构造岩所做的方解石光轴组构、e 双晶极点组构及 C - T 图解动力学分析,只考虑地理方向,得出的主应力方向与野外宏观分析一致,但组构图与六种实验得出的标准图案存在差距,其原因尚不明了。可以明确的是,利用 e 双晶作动力学分析是构造分析中的重要佐证,而且可测的样品越多,综合分析得到的结论越可靠。

致谢:杨农研究员为本文付出了心血,提出了许多宝贵意见。在此,对他的认真、严谨表示敬意,同时,表达我们的感谢和怀念!

参考文献:

- 曹淑云,刘俊来, LEISS B, VOLLBRECHT A, 邹运鑫, 赵春强. 2009. 哀牢山-红河剪切带左行走滑作用起始时间约束——点苍山高温糜棱岩的显微构造与热年代学证据[J]. 地质学报, 83(10): 1388-1400.
- 陈开旭,何龙清,杨振强,魏君奇,杨爱平. 2000. 云南兰坪三山-白秧坪银多金属成矿富集区的碳氧同位素地球化学[J]. 华南地质与矿产, (4): 1-8.
- 段建中. 1999. 滇西三江地区新生代走滑(转换)会聚构造特征[J]. 云南地质, 18(2): 2-13.
- 管焯,王安建,李朋武,曹殿华,刘俊来. 2006. 云南兰坪—思茅盆地中轴构造带的特征及其研究意义[J]. 中国地质, 33(4): 832-841.
- 何龙清. 1998. 金沙江造山带的大地构造环境及演化模式[J]. 现代地质, 12(2): 185-191.
- 何龙清,陈开旭,余凤鸣,魏君奇,杨爱平,李航. 2004. 云南兰坪盆地推覆构造及其控矿作用[J]. 地质与勘探, 40(4): 7-12.
- 何龙清,季玮,陈开旭,余凤鸣,魏君奇,杨爱平,杨伟光. 2007. 滇西兰坪盆地白秧坪地区东矿带推覆构造的控矿作用[J]. 地质力学学报, 13(2): 110-117.
- 纪沫,胡玲,刘俊来,曹淑云. 2008. 主要造岩矿物动态重结晶作用及其变质条件[J]. 地学前缘, 15(3): 226-233.
- 李文昌,莫宣学. 2001. 西南“三江”地区新生代构造及其成矿作用[J]. 云南地质, 20(4): 333-346.
- 刘正宏,徐仲元,杨振升,陈晓峰. 2007. 变质构造岩类型及其特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 37(1): 24-30.
- 马胜利,马瑾. 1987. 石英和 c 变形组构的实验研究[J]. 地震地质, 9(4): 1-12.

- 梅尔文·弗里德曼. 1975. 确定岩石主应力方位的岩组学方法 [A].//苏树春,张绍宗,译. 旋转台鉴定法译文集[C]. 北京:地质出版社: 68-114.
- 邵兆刚,孟宪刚,冯向阳,朱大岗. 2002. 云南白秧坪矿化集中区成矿构造动力学分析[J]. 地球学报, 23(3): 201-206.
- 邵兆刚,孟宪刚,冯向阳,朱大岗. 2003. 云南白秧坪—华昌山矿带构造特征及其控矿作用[J]. 地质力学学报, 9(3): 246-253.
- F.J.特纳, L.E.韦斯. 1987. 变质构造岩的构造分析[M].//周金城,张绍宗,宋鸿林,译. 北京:地质出版社: 157-300.
- 谭筱虹. 1999. 滇西三江地区新生代构造盆地的特征及形成机制[J]. 云南地质, 18(2): 15-24.
- 王立全,潘桂棠,李定谋,徐强,林仕良. 1999. 金沙江弧—盆系时空结构及地史演化[J]. 地质学报, 73(3): 206-218.
- 吴香尧. 1986. 岩组学导论[M]. 重庆:重庆出版社: 104-156.
- 薛春纪,陈毓川,杨建民,王登红,杨伟光,杨清标. 2002. 滇西兰坪盆地地构造体制和成矿背景分析[J]. 矿床地质, 21(1): 36-54.
- 余凤鸣,何龙清,陈开旭. 2007. 云南白秧坪东矿区控矿断裂带构造岩的方解石组构[J]. 中国地质, 34(6): 1126-1135.
- 郑伯让,金淑燕. 1989. 构造岩岩组学[M]. 武汉:中国地质大学出版社: 98-180.
- 钟增球,郭保罗. 1991. 构造岩与显微构造[M]. 武汉:中国地质大学出版社: 95-102.
- 朱志澄. 1995. 逆冲推覆构造研究进展和今后探索趋向[J]. 地学前缘, 2(1~2): 51-58.
- 朱大岗,孟宪刚,冯向阳,杨伟光,邵兆刚,杨爱平,周文光,杨美玲,王建平. 2002. 云南白秧坪多金属成矿区构造特征及其控矿作用[J]. 地球与环境, 30(1): 29-34.

References:

- CAO Shu-yun, LIU Jun-lai, LEISS B, VOLLBRECHT A, ZOU Yun-xin, ZHAO Chun-qiang. 2009. Timing of Initiation of Left-Lateral Slip along the Ailao Shan-Red River Shear Zone: Microstructural, Texture and Thermochronological Evidence from High Temperature Mylonites in Diancang Shan, SW China[J]. Acta Geologica Sinica, 83(10): 1388-1400(in Chinese with English abstract).
- CHEN Kai-xu, HE Long-qing, YANG Zhen-qiang, WEI Jun-qi, YANG Ai-ping. 2000. Oxygen and carbon isotope geochemistry in Sanshan-Baiyangping copper-silver Polymetallogenic enrichment district, Lanping, Yunnan[J]. Geology and Mineral Resources of South China, (4): 1-8(in Chinese with English abstract).
- DUAN Jian-zhong. 1999. Characteristics of the cenozoic strike slip(transform) convergent structure in the three river area of west Yunnan[J]. Yunnan Geology, 18(2): 2-13(in Chinese with English abstract).
- GUAN Ye, WANG An-jian, LI Peng-wu, CAO Dian-hua, LIU Jun-lai. 2006. Characteristics of the middle axial tectonic belt in the Lanping-Simao basin, western Yunnan, and its research

- significance[J]. *Geology in China*, 33(4): 832-841(in Chinese with English abstract).
- HE Long-qing. 1998. Tectonic setting and evolutionary pattern of the Jinshajiang orogenic belt[J]. *Geoscience*, 12(2): 185-191(in Chinese with English abstract).
- HE Long-qing, CHEN Kai-xu, YU Feng-ming, WEI Jun-qi, YANG Ai-ping, LI Hang. 2004. Nappe tectonics and their ore-controlling of Lanping basin in YunNan province[J]. *Geology and Prospecting*, 40(4): 7-12(in Chinese with English abstract).
- HE Long-qing, JI Wei, CHEN Kai-xu, YU Feng-ming, WEI Jun-qi, YANG Ai-ping, YANG Wei-guang. 2007. Ore-controlling effect of nappe structure in the east ore zone of the baiyangping area, Lanping Basin, YunNan[J]. *Journal of Geomechanics*, 13(2): 110-117(in Chinese with English abstract).
- JI Mo, HU Ling, LIU Jun-lai, CAO Shu-yun. 2008. Dynamic recrystallization and metamorphic conditions of main rock-forming minerals[J]. *Earth Science Frontiers*, 15(3): 226-233(in Chinese with English abstract).
- LI Wen-chang, MO Xuan-xue. 2001. The cenozoic tectonics and metallogenesis in the "three-river" area of southwest china[J]. *Yunnan Geology*, 20(4): 333-346(in Chinese with English abstract).
- LIU Zheng-hong, XU Zhong-yuan, YANG Zhen-sheng, CHEN Xiao-feng. 2007. Metamorphic Tectonite Types and Their Characteristics[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 37(1): 24-30(in Chinese with English abstract).
- MA Sheng-li, MA Jin. 1987. Experience of quartz and calcite on deformation fabric of share zone[J]. *Seismology and Geology*, 9(4): 1-12(in Chinese with English abstract).
- FRIDEDMAN M. 1975. Petrofabric techniques for the determination of principal stress directions in rocks[A]. Translated by SU Shu-chun, ZHANG Shao-zhong: Translation corpus of determination method on the universal stage. Beijing: Geological publishing House: 68-114(in Chinese).
- SHAO Zhao-gang, MENG Xian-gang, FENG Xiang-yang, ZHU Da-gang. 2002. Analysis on the Ore-forming Geodynamics of the Baiyangping Ore-concentrated Field, Yunnan Province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(3): 201-206(in Chinese with English abstract).
- SHAO Zhao-gang, MENG Xian-gang, FENG Xiang-yang, ZHU Da-gang. 2003. Tectonic characteristics of the Baiyangping-Huachangshan ore belt, YunNan province and its ore-controlling effect[J]. *Journal of Geomechanics*, 9(3): 246-253(in Chinese with English abstract).
- TUNNER F J and WEISS L E. 1987. Structural analysis of metamorphic tectonites[M].//Transited by ZHOU Jing-cheng, ZHANG Shao-zhong, SONG Hong-ling. Beijing: Geological publishing House: 157-300(in Chinese).
- TAN Xiao-hong. 1999. Characteristics and formation mechanism of cenozoic structural basins in the three river area of west Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 18(2): 15-24(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-quan, PAN Gui-tang, LI Ding-mou, XU Qiang, LIN Shi-liang. 1999. The Spatio-temporal Framework and Geological Evolution of the Jinshajiang Arc-Basin Systems[J]. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 206-218(in Chinese with English abstract).
- WU Xiang-yao. 1986. Petrofabrics theory[M]. Chongqing: Chongqing publishing House: 104-156(in Chinese).
- XUE Chun-ji, CHEN Yu-chuan, YANG Jian-min, WANG Deng-hong, YANG Wei-guang, YANG Qing-biao. 2002. Analysis of Ore-forming Background and Tectonic System of Lanping Basin, Western Yunnan Province[J]. *Mineral Deposits*, 21(1): 36-54(in Chinese with English abstract).
- YU Feng-ming, HE Long-qing, CHEN Kai-xu. 2007. Calcite fabric of tectonite in an ore-controlling fault belt in the Baiyangping east ore district, Yunnan[J]. *Geology in China*, 34(6): 1126-1135(in Chinese with English Summery).
- ZHENG Bo-rang, JIN Shu-yan. 1989. Petrofabrics of tectonite[M]. Wuhan: China University of Geosciences publishing House: 98-180(in Chinese).
- ZHONG Zeng-qiu, GUO Bao-luo. 1991. Tectonite and microstructure[M]. Wuhan: China University of Geosciences publishing House: 95-102(in Chinese).
- ZHU Zhi-cheng. 1995. Progress and trends of resrarches on thrust-nappe tectonics[J]. *Earth Science Frontiers*, 2(1~2): 51-58(in Chinese with English abstract).
- ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, FENG Xiang-yang, YANG Wei-guang, SHAO Zhao-gang, YANG Ai-ping, ZHOU Wen-guang, YANG Mei-ling, WANG Jian-ping. 2002. Characteristics of tectonic structures at Baiyangping, Yunnan and their control over the minerogenesis of polymetal deposits in the mining area[J]. *Earth and Environment*, 30(1): 29-34(in Chinese with English abstract).