

云南白秧坪东矿区控矿断裂带构造岩的方解石组构

余凤鸣^{1,2} 何龙清² 陈开旭²

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 断裂带构造岩的方解石组构综合分析, 可以推断构造活动的应力场方位, 利用 e 双晶的 C—T (C—压应力轴, T—张应力轴) 图解推断古应力的方位, 已为众多的地质学家在实践中引用。云南白秧坪东矿区推覆构造的华昌山断裂带和水磨房断裂带, 是矿区的主要控矿构造, 其构造岩的方解石及 e 双晶极点组构均显示点极密加环带的型式, 大部分发育近岩组坐标 c 轴的光轴极密, 代表光轴方向的压力导致沿岩组坐标 ab 面滑动; 在 C—T 应力系统中, 显示华昌山、水磨房断裂带晚期较强烈活动的应力场方位, 主压应力方向为 SE—NW 向, 主张应力方向为 NE—SW 向, 断层以左旋运动为主; 华昌山断裂带 SE 盘往 NW 方向逆冲, 水磨房断裂带则由 NW 往 SE 方向反冲, 与野外宏观构造分析吻合。

关键词: 白秧坪东矿区; 控矿断裂带; 方解石组构; C—T 图; 应力场方位

中图分类号: P313.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)06-1130-11

在灰岩、变质灰岩发育地区, 构造运动分析中, 较成熟的力学分析方法是利用方解石双晶滑动机制, 确定主应力^[1]。方解石为高延性矿物, 具有多个滑移系, 是应力场中反映最为灵敏的应力矿物, 在不同变形条件下, 方解石光轴及 e 双晶面极点方位组构显示轴对称、斜方对称或单斜对称, 变形组构的对称是岩石初始组构的对称与外加应力系对称的叠加, 与应变对称一致。在云南白秧坪矿区成矿构造变形分析中, 就利用了方解石双晶组构推断断裂活动时的应力场。

云南白秧坪矿区位于兰坪盆地北部, 兰坪盆地是特提斯构造域中夹持于金沙江—哀牢山造山带和澜沧江—昌宁—孟连造山带间的小型前陆盆地, 其内金顶铅锌矿和白秧坪银铅锌矿的相继发现与勘探, 显示出广阔的找矿前景^[2-5]。随着地质工作的逐步深入, 对矿床控矿主导因素的认识发生了明显的转变, 由以地层层位控矿为主转变为以推覆构造控矿为主, 所以推覆构造的研究得到加强^[6]。因控矿构造系统、赋矿地层及矿床地球化学特征的差异^[7], 白秧坪矿区分为东、西两个矿区, 其中东矿区位于金沙江—哀牢山造山带前陆逆冲推覆构造系统的前锋地带, 以华昌山断裂为主推覆界面, 推覆体上发育一系列同走向的断裂, 总体构成分散的叠瓦扇状, 显示前陆盆地推覆构造的主要特点^[8-9]。东矿区推覆构造最主

要的特点是发育冲起构造, 由华昌山断裂带和水磨房断裂带组成, 形成一个相对封闭的构造圈闭空间, 有利于成矿溶液的容纳和沉淀, 因而笔者主要对华昌山断裂带、水磨房断裂带产出的构造岩的方解石组构进行研究。

1 区域地质概况及控矿断裂特征

兰坪盆地为中生代前陆盆地, 从晚三叠世晚期持续至新近纪, 包括 4 个沉积旋回: (1) 晚三叠世中晚期为浅海相碳酸盐岩、碎屑岩与海陆交互相含煤碎屑岩建造, 本矿区的主要赋矿层位——上三叠统三合洞组即形成于该旋回; (2) 侏罗纪为海陆交互相转为湖泊相的红色陆源复陆屑与砂泥岩建造和碳酸盐岩建造; (3) 早白垩世为浅湖亚相砂泥岩建造, 湖泊面积缩小; (4) 晚白垩世至古新世, 由紫红色陆源粗碎屑岩、砂泥岩夹碳酸盐岩组成, 为冲积扇、三角洲至湖泊亚相沉积, 湖盆面积进一步缩小, 形成孤立的、自成体系的封闭型湖盆^[10-11]。

受两侧造山带的控制, 兰坪盆地内分别发育与两侧造山带有关的前陆逆冲推覆构造。与金沙江—哀牢山造山带演化有关的前陆逆冲推覆构造发育于兰坪盆地东部^[12-13], 卷入推覆构造的地层包括上三叠统、侏罗系和白垩系, 前锋地带可见不同时代的地层推覆于古新统之上。白秧坪东矿区的推覆

收稿日期: 2007-04-27; 改回日期: 2007-09-19

基金项目: 原地质矿产部定向基金项目(地科定 98-13)资助。

作者简介: 余凤鸣, 女, 1961 年生, 博士生, 副研究员, 现主要从事构造地质学研究工作; E-mail: ycyfengming@cgs.gov.cn。

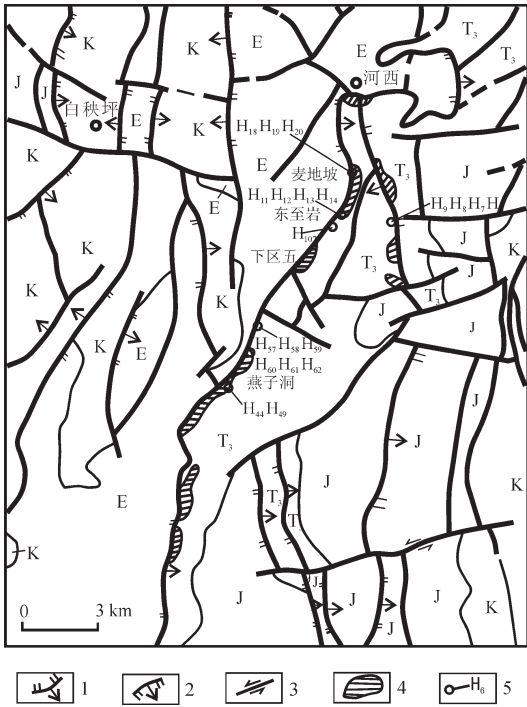


图 1 白秧坪东矿区构造及采样位置示意图

E—古近系;K—白垩系;J—侏罗系;T₃—上三叠统;1—逆断层;
2—正断层;3—平移断层;4—矿段;5—采样点及样品编号

Fig.1 Diagrammatic map showing the structure and sampling site in the Baiyangping east ore district

E—Paleogene;K—Cretaceous;J—Jurassic;T₃—Upper Triassic;
1—Reverse fault;2—Normal fault;3—Strike-slip fault;4—Ore block;
5—Sampling site and sample number

构造即是该推覆构造系统前锋带的组成部分,其中的华昌山断裂、水磨房断裂具有重要的控矿意义,本区的矿体多产于这两条断裂带内(图 1)。

1.1 华昌山断裂

华昌山断裂是白秧坪东矿区推覆构造的主干逆冲断层,即主推覆断层,亦是东矿区最重要的导矿和容矿构造,自北而南贯穿整个矿区,长约 75 km,向北与通甸—雪龙山断裂斜交,南延至兰坪金顶北西侧。断裂东盘为外来系统,由上三叠统至白垩系组成,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;断裂西盘为原地系统,主要出露古近系(图 2)。

断裂自南向北变化较大,总体走向 NE20°,倾向 SE,倾角 30~40°。断面倾角北缓南陡,北部河西一带表现为逆掩断层,断裂显示逆掩特点,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°,显示逆冲性质,断面波状起伏,在华昌山一带表现为三合洞组(T_{3s})碳酸盐建造逆冲在古近纪红层之上。断层线展布极不规则,常圈闭构成飞来峰。飞来峰除少量小规模零星出露外,主要有两处:一处为达俄洛飞来峰,呈不规则状,面积约 4 km²;另一处为玉狮山飞来峰,南北长约 12 km,东西宽 3~4 km,面积达 40 km²,构成飞来峰的地层主要是上三叠统三合洞组^[4]。

断裂挤压破碎带呈线状分布,宽 10~20 m,地貌上多显负地形,局部地段东盘灰岩显断层崖特征。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,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,透镜体之展布方位与

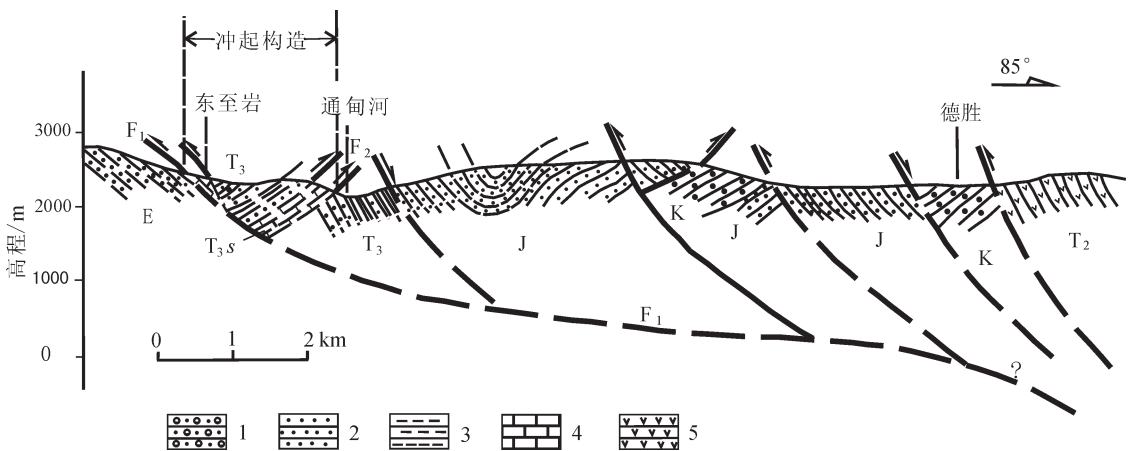


图 2 东至岩—德胜推覆构造剖面图

K—白垩系;J—侏罗系;T₃—上三叠统;T_{3s}—三合洞组;F₁—华昌山断层;F₂—水磨房断层;1—砾岩及含砾砂岩;2—砂岩;
3—泥岩及页岩;4—灰岩;5—火山岩

Fig.2 Cross section of the Dongzhiyan—Desheng nappe structure

K—Cretaceous;J—Jurassic;T₃—Upper Triassic;T_{3s}—Sanhedong Formation;F₁—Huachangshan fault;F₂—Shuimofang fault;
1—Conglomerate and pebbly sandstone; 2—Sandstone;3—Mudstone and shale;4—Limestone;5—Volcanic rocks

主断面多呈锐角相交,指示断裂东盘向上逆冲^[5],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^[9]。但总体上断裂内部变形强度分带不清晰。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的硅化破碎带。断裂旁侧次级构造中褐铁矿化、铜矿化、铅锌矿化强烈,沿断裂分布有黑山、灰山、华昌山、燕子洞、下区五、东至岩、麦地坡、河西等一系列矿段,矿体均产于断裂带内或其上盘的次级断裂、层间破碎带中。

1.2 水磨房断裂

水磨房断裂位于华昌山断裂之东,东矿区推覆构造上盘,呈北东走向,中部略向东凸出,呈弧形,全长约20 km,南北两端均终止于华昌山断裂,表现为一条典型的反冲断层。

与华昌山断裂明显不同的是,水磨房断裂不仅规模较小,而且常遭推覆体上的横向平移断层切割,平移断层两盘的错动方向左行、右行均有,所有平移断层均受华昌山断裂限制。水磨房断裂中部被近东西向的平移断裂(白草坡断裂、龙潭山断裂)切割,分为南北两段,北段为大三界断裂,南段为下后场断裂。

大三界断裂走向近南北,切割了上三叠统三合洞组、挖鲁八组和麦初管组,地貌上表现为一负地形,覆盖十分严重,但总体标志和特点还比较清楚,在水磨房一带断面倾向西,倾角约55°,总体上表现为西盘的上三叠统地层反冲于东盘的侏罗系之上。断层迹象在北段较为清楚,在水磨房东侧见断裂破碎带,宽约5 m,主要由构造角砾岩组成,显示较明显的脆性变形特征,构造角砾的成分主要为灰岩,一般呈次棱

角状,略具定向排列,其长轴与主断面大体一致。构造角砾间多为断层泥,常见不规则的方解石脉充填,在水磨房和大三界两处的断层破碎带中,见硅化及铜、铅、锌矿化(图3)。

至南段的下后场断裂,其走向转为北东,断面倾向北西,下部边界比较清晰,断层破碎带宽1~3 m,主要由构造角砾岩组成,其组分主要为上盘的深灰色碎屑岩。断层北西盘主要出露上三叠统,南东盘主要出露侏罗系,总体表现为北西盘反冲于南东盘之上,这是断裂识别的主要标志。由于地表植被非常发育,断裂带多被覆盖,仅在中甲附近见上三叠统麦初管组深灰色碎屑岩逆冲于侏罗系花开佐组紫红色碎屑岩之上。断裂带未见矿化现象。

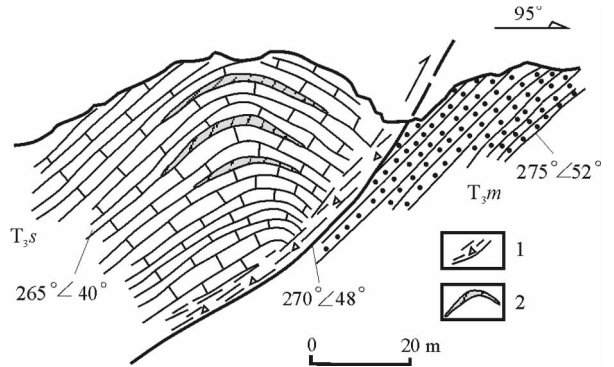


图3 大三界矿点剖面素描图
1—破碎带;2—矿体;T_{3m}—麦初管组;T_{3s}—三合洞组
Fig.3 Section of the Dasanjie ore occurrence
1—Fault;2—Ore body;T_{3m}—Maichuqing Formation;
T_{3s}—Sanhedong Formation

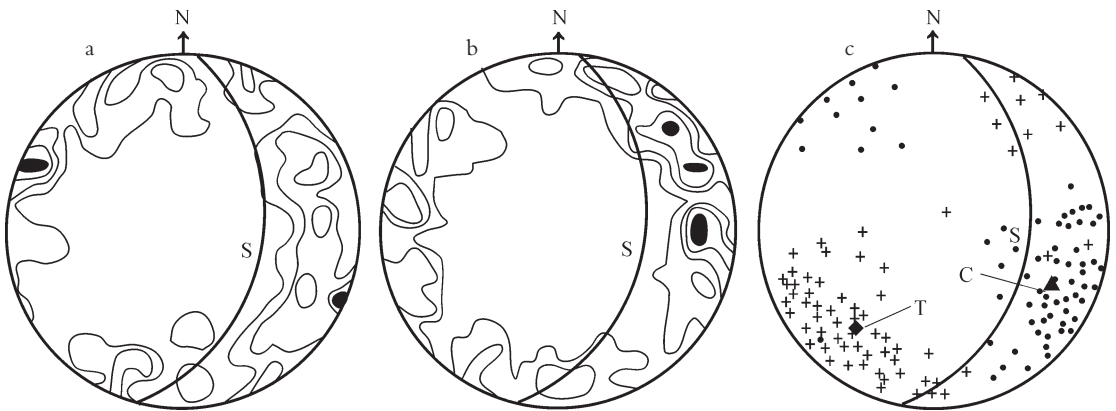


图4 麦地坡矿段华昌山断裂构造岩方解石岩组分析图
a—H₁₀:68个具e纹方解石颗粒的光轴方位图,等密线距:7.3,5.1,2.9,0.7%;b—H₁₀:68条方解石e纹极点方位图,等密线距:7.4,4.2,2.0,0.7%;c—H₁₀:68个颗粒的方解石C—T图

Fig.4 Petrofabric diagrams of calcite in tectonite in the Huachangshan fault in the Maidipo ore block
a—H₁₀, diagram of optic axis orientation of 68 calcite grains with e-twin lamellae, density contours: 7.3-5.1-2.9-0.7%;
b—H₁₀, diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 68 calcite grains, contours: 7.4-4.4-2.2-0.7%;
c—H₁₀, C-T diagram of 68 calcite grains. T=tensile axis; C=compressive axis

2 控矿断裂带构造岩的方解石组构特征

白秧坪地区地表覆盖严重,发育推覆构造,变形集中在脆性域,工作难以展开。显微构造研究对构造运动分析起到重要作用。工作中,对矿区所涉及的华昌山断裂、水磨房断裂分别垂直断裂带方向上系统采集显微构造分析样品(图1)。

2.1 华昌山断裂构造岩的方解石组构

华昌山断裂带样品采自麦地坡、东至岩、燕子洞、新厂山等地,麦地坡处自断裂往东采样品 H_{18} 、 H_{19} 、 H_{20} ;东至岩处从断层边缘向中心自东而西采样品 H_{11} 、 H_{12} 、 H_{13} 、 H_{14} ;下区五处采集样品 H_{107} ;燕子洞处采样较多,构成3个剖面, H_{57} 、 H_{58} 、 H_{59} 、 H_{60} 4个样品采集在推覆断裂下盘向上盘自西而东远离断层方向, H_{61} 、 H_{62} 采自破碎带中, H_{44} 、 H_{49} 采自探槽内出露的构造滑动面上(图1)。

图4、图5为麦地坡矿段、燕子洞矿段样品 H_{19} 、 H_{58} 、 H_{59} 、 H_{62} 方解石岩组分析图,投影面为地理水平面,下半球投影。采自华昌山断裂带内。

H_{19} (图4-a)、 H_{58} (图5-a)、 H_{59} (图5-d)、 H_{62} (图5-g)的方解石光轴方位图,所测颗粒具明显e双晶。方位图均为分裂的大圆环带,环带内包含一个主极密,若干个次、低次极密,近岩组坐标c轴集密;麦地坡矿段样品 H_{19} 环带相对完整,主极密位于断层北东侧SE-NW方位,单斜对称,主极密部与S面极点夹角为 63° ,属低应变组构类型,可推断样品采自断裂带边缘,变形较弱。燕子洞矿段由 H_{58} 、 H_{59} 、 H_{62} 环带的完整程度降低。 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3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_{58} 、 H_{59} 为 40° ,属中-高应变组构类型, H_{62} 为 68° ,属低应变组构类型;可见 H_{58} 、 H_{59} 位于断裂带中心部位,变形较强, H_{62} 处于断裂带边缘,受构造活动影响较弱,保留有多次活动痕迹。

方解石e纹极点方位图, H_{19} (图4-b)为较完整的大圆环带,环带内包含3个主极密,若干次、低次极密,主极密位于断层北西侧NE方位;据e纹极点与构造面S之间的空间排布关系,推断该断层SE盘往NW-NWW方向向上逆冲^[4]。 H_{58} (图5-b)环带内包含一个主极密,若干次、低次极密,主极密位于断层北西侧NW方位; H_{59} (图5-e)环带内包含3个主极密,若干低次极密,考虑有统计意义的点及主极密范围大小,主要主极密位于断层北东侧NE方位; H_{62} (图5-h)环带内包含一个主极密,若干次、低次极密,主极密位于断层带上偏北东方位,近a轴。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。主极密部与S面夹角 H_{58} 为 33° , H_{59} 为 62° , H_{62} 为 38° ,据e纹极点与构造面S之间的空间排布关系,推断该断层SE盘往NW-NNW方向向上逆冲。

H_{19} (图4-c)、 H_{58} (图5-c)、 H_{59} (图5-f)、 H_{62} (图5-i)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双晶面的数据绘制的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为华昌山断裂的投影,其产状在麦地坡矿段 H_{19} 采样处为 $92^\circ \angle 35^\circ$,在燕子洞矿段样品 H_{58} 、 H_{59} 、 H_{62} 采样处为 $110^\circ \angle 60^\circ$ 。C-T图显示4个样品C、T均具有两组较好的定向; H_{19} 呈双锥状分布, H_{59} 、 H_{62} 呈团聚状分布在约 30° 的小圆内, H_{58} 则呈双锥状分布;按C、T的倾斜程度分为近水平及陡倾斜两种。考虑有统计意义的密集区, H_{19} 近于斜方对称, H_{58} 近于轴对称, H_{59} 呈斜方对称, H_{62} 近于轴对称。 ΔC 轴主导方向 H_{19} 为SE 132° ,倾角 10° ; H_{58} 为SE 149° ,倾角 12° ; H_{59} 为NW 306° ,倾角 17° ; H_{62} 为NW 358° ,倾角 8° 。 ΔT 轴主导方向 H_{19} 为SW 212° ,倾角 10° ; H_{58} 为SW 246° ,倾角 10° ; H_{59} 为NE 37° ,倾角 16° ; H_{62} 为NE 84° ,倾角 14° 。

图6、图7为东至岩矿段、下区五矿段样品 H_{11} 、 H_{13} 、 H_{107} 的方解石岩组分析图,投影面为地理水平面下半球投影。采自华昌山断裂带东南侧地层中。

H_{11} (图6-a)、 H_{13} (图6-d)、 H_{107} (图7-a)的方解石光轴方位图,所测颗粒具明显e双晶。方位图均为分裂的大圆环带, H_{107} 相对完整,环带内包含一个主极密,近岩组坐标c轴集密,若干个次、低次极密。 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NW方位,组构近于斜方对称-轴对称。 H_{107} 主极密位于断层之东,近于轴对称。主极密部与S面极点夹角 H_{11} 为 72° , H_{13} 为 29° , H_{107} 为 84° ,为属低应变组构类型, H_{13} 较为特殊。

3个样品方解石e纹极点方位图,同为分裂的大圆环带, H_{11} (图6-b)环带内包含一个较明显的主极密,若干个次、低次极密,主极密位于断层带上NE方位,近a轴; H_{13} (图6-e)环带内包含一个较弱的主极密,两个次极密,两个低次极密,主极密位于断层的NE方向偏N方位,近a轴;主极密部与S面夹角 H_{11} 约 69° , H_{13} 为 60° , H_{107} (图7-b)环带内包含一个主极密,若干个次、低次极密,主极密位于断层的SE侧偏E方位,近岩组坐标c轴集密。主极密部与S面夹角约 80° ,据e纹极点与构造面S之间的空间排布关系,推断该断层SE盘往NW方向向上逆冲。

3个样品的C-T图投影面为地理水平面,S为华昌山断裂的投影,其产状在东至岩矿段样品 H_{11} (图6-c)、 H_{13} (图6-f)处为 $110^\circ \angle 35^\circ$,在下区五矿段 H_{107} (图7-c)样品采样处为 $135^\circ \angle 35^\circ$ 。C、T具有两组较好的定向性,C轴、T轴 H_{11} 、 H_{107} 呈近双锥状分布,有近水平及陡倾斜两种, H_{13} 的C轴分布在近 20° 的环带内,T轴分布在约 30° 的小圆内。考虑有统计意义的密集区, H_{11} 、 H_{107} 的C-T图呈斜方对称, H_{13} 近于轴对称。 ΔC 轴主导方向 H_{11} 为SE 105° ,倾角 13° ; H_{13} 为NW 300° ,倾角约 20° ; H_{107} 为SE 143° ,倾角 13° 。 ΔT 轴主导方向 H_{11} 为NE 15° ,倾角 13° ; H_{13} 为NE 51° ,倾角 14° ; H_{107} 为SW 54° ,倾角 10° 。

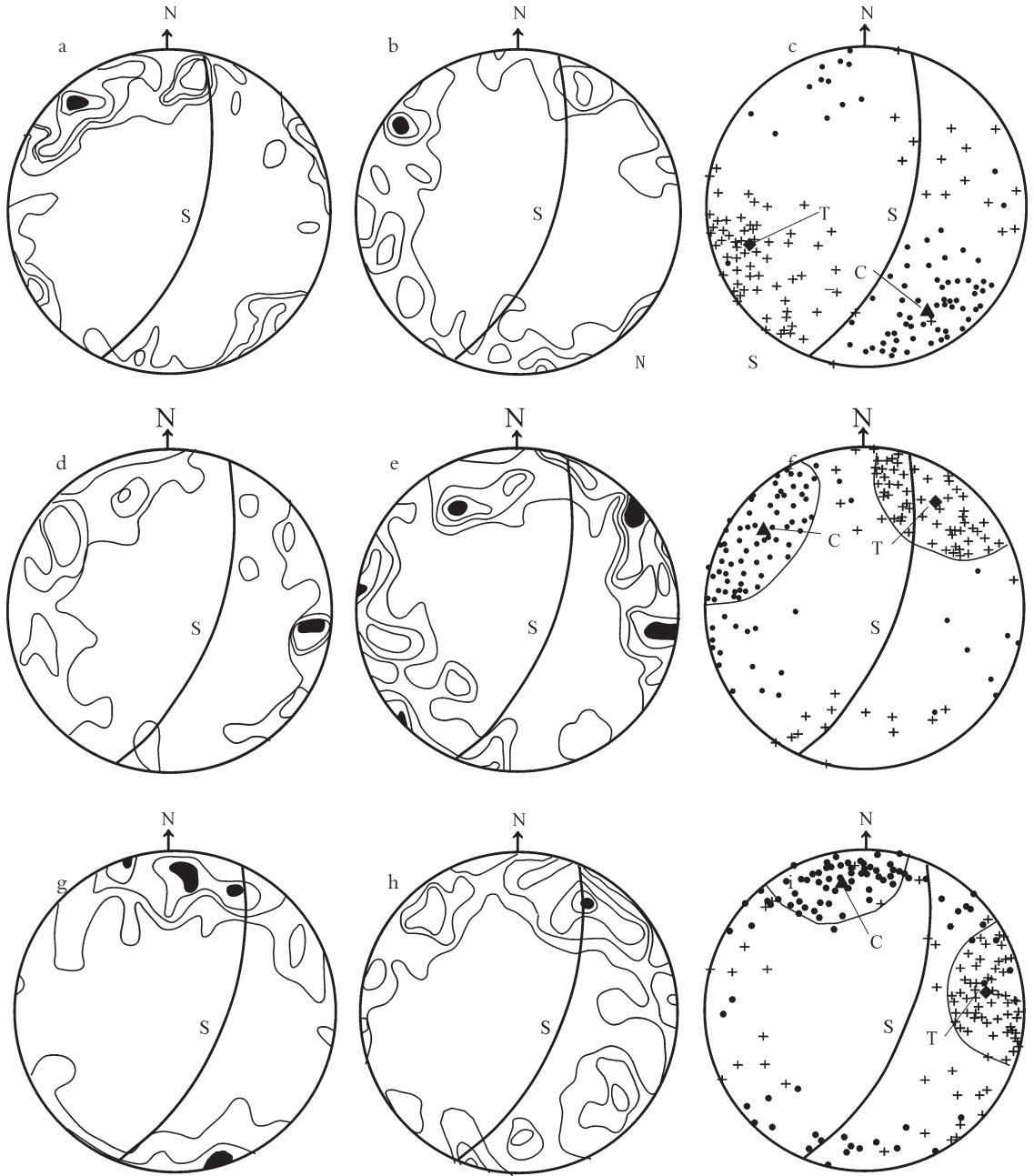


图5 燕子洞矿段华昌山断裂构造岩方解石岩组分析图

a—H₈₈:76 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%; b—H₈₈:76 条方解石 e 纹极点方位图,等密线距:9.2,6.6,4,1.3%; c—H₈₈:76 个颗粒的方解石 C—T 图; d—H₅₉:80 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%; e—H₅₉:80 条方解石 e 纹极点方位图,等密线距:5,3.8,2.5,1.3%; f—H₅₉:80 个颗粒的方解石 C—T 图; g—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%; h—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%; i—H₆₂:85 个颗粒的方解石 C—T 图

Fig.5 Calcite petrofabric analysis diagrams of the Huachangshan fault in the Yanzhidong ore-block

a—H₈₈, fabric diagram of optic axis orientation of 76 calcite grains with e-twin lamellae, contours: 9.2-7.2-5.3-3.3-1.3%; b—H₈₈, diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 76 calcite grains, contours: 9.2-6.6-4-1.3%; c—H₈₈, C-T diagram of 76 calcite grains; d—H₅₉, diagram of optic axis orientation of 80 calcite grains with e-twin lamellae, contours: 8.8-6.3-3.8-1.3%; e—H₅₉, diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 80 calcite grains, contours: 5-3.8-2.5-1.3%; f—H₅₉, C-T diagram of 80 calcite grains, 68 grains; g—H₆₂, diagram of optic axis orientation of 85 calcite grains with e-twin lamellae, contours: 8.2-5.9-3.5-1.2%; h—H₆₂, diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 85 calcite grains, contours: 9.4-7.1-4.7-2.4-0.6%; i—H₆₂, C-T diagram of 85 calcite grains

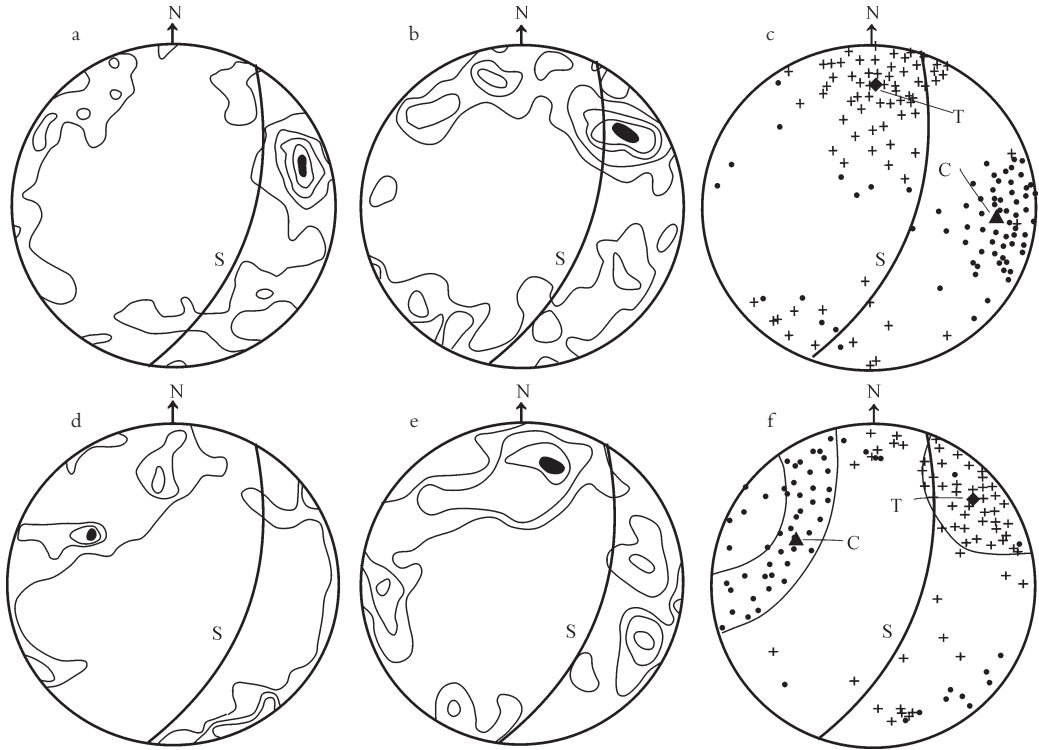


图 6 东至岩矿段华昌山断裂构造岩方解石岩组分析图

a— H_{11} :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%;b— H_{11} :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%;c— H_{11} :75 个颗粒的方解石 C—T 图;d— 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%;e— 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%;f— H_{13} :62 个颗粒的方解石 C—T 图

Fig.6 Calcite petrofabric analysis diagrams of Huachangshan fault in the Dongzhiyan ore block

a— H_{11} , fabric diagram of optic axis orientation of 75 calcite grains with e-twin lamellae, contours: 12-9.3-6.7-4%;b— H_{11} , diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 75 calcite grains, contours: 10.6-8-5.3-2.7-0.6%;c— H_{11} , C-T diagram of 75 calcite grains;d— H_{13} , diagram of optic axis orientation of 62 calcite grains with e-twin lamellae, contours: 8.9-6.5-4-1.6%;e— H_{13} , diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 62 calcite grains, contours: 9.7-6.5-3.2-0.8%;f— H_{13} , C-T diagram of 62 calcite grains

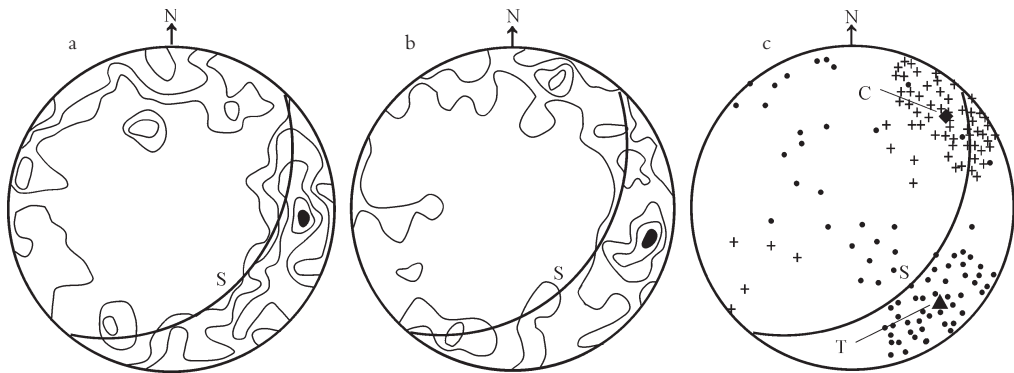


图 7 下区五矿段华昌山断裂构造岩方解石岩组分析图

a— H_{107} :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%;b— H_{107} :75 条方解石 e 纹极点方位图,等密线距:8.7,6.7,4,1.3%;c— H_{107} :75 个颗粒的方解石 C—T 图

Fig.7 Calcite petrofabric analysis diagrams of Huachangshan fault in the Xiaquwu ore block

a— H_{107} , fabric diagram of optic axis orientation of 75 calcite grains with e-twins, contours are 8-6-4-2-0.6%;b— H_{107} , diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 75 calcite grains, contours: 8.7-6.7-4-1.3%;c— H_{107} , C-T diagram of 75 calcite grains

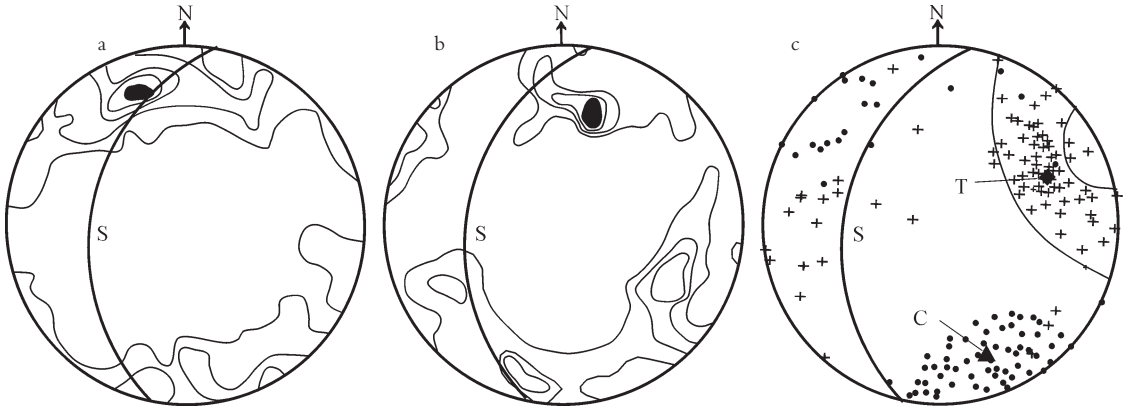


图 8 水磨房断裂构造岩方解石岩组分析图

a—H₆:81 个具 e 纹方解石颗粒的光轴方位图,等密线距:11.1,8.6,6.2,3.7,1.2%;b—H₆:81 条方解石 e 纹极点方位图,等密线距:8.6,6.2,3.7,1.2%;c—H₆:81 个颗粒的方解石 C—T 图

Fig.8 Calcite petrofabric analysis diagrams of the Shuimofang fault

a—H₆, fabric diagram of optic axis orientation of 81 calcite grains with e-twin lamellae, contours: 11.1-8.6-6.2-3.7-1.2%;b—H₆, diagram of pole orientation normal to e-twin lamellae of 81 calcite grains, contours: 8.6-6.2-3.7-1.2%;c—H₆, C-T diagram of 75 calcite grains

3 水磨房断裂带构造岩的方解石组构

水磨房断裂带自西而东间隔约 8 m,垂直断裂带走向上,采集定向标本 H₆、H₇、H₈、H₉(图 1)。

样品 H₆ 方解石光轴方位图 (图 8-a), 为分裂的大圆环带,环带内包括一个主极密和两个次极密,主极密位于断层北西侧的 NNW 方位,近 a 轴,斜方对称-轴对称。主极密部与 S 面极点夹角较大,约 81°,属低应变组构类型。方解石 e 纹极点方位图(图 8-b),亦为分裂的大圆环带,环带内包含一个主极密和两个次极密、两个低次极密,主极密位于断层的南东侧 SE 方位,近 a 轴,为沿 ab 面剪切运动导致 e 双晶滑动产生;主极密部与 S 面夹角约 78°,据 e 纹极点与构造面 S 之间的空间排布关系,推断该断层 NW 盘往 NNE 方向向上逆冲。H₆ 的 C—T 图(图 8-c),投影面为地理水平面。C—T 图(图 8-c)显示 C、T 具有两组较好的定向,考虑有统计意义的密集区,该图近于轴对称。C 轴呈团聚状分布在约 30°的小圆内,小圆中心 ΔC 为旋转椭球体的旋转轴,相当于 σ₁(最大主应力轴),主导方向为 SE170°,倾角 12°;T 轴分布在环带内,环带宽约 20°,其主导方位在 NE-SW 方向上,倾角约 20°,少量倾角较陡。S 为断层的投影,其产状为 280°∠50°。

4 方解石的定向机制及显微构造的动力学意义

方解石组构研究内容包括方解石光轴组构、e 双晶面极

点方位组构和方解石双晶的 C—T 图解 3 个方面的内容。

对于方解石光轴及 e 双晶面极点方位组构,前人作了大量的方解石单晶和大理岩的人工变形实验和统计分析,认为变形岩石中方解石内广泛发育的 e 面次生双晶页理极易发生滑动,这是在构造运动中方解石亚组构形成的一个重要原因;因此以变形时 e 双晶滑动作为主要定向机理,并总结出了方解石在构造岩中优选方位型式的 6 种常见图案,指示变形过程中优选方位型式形成机制,包括在应力方位摆动下所产生

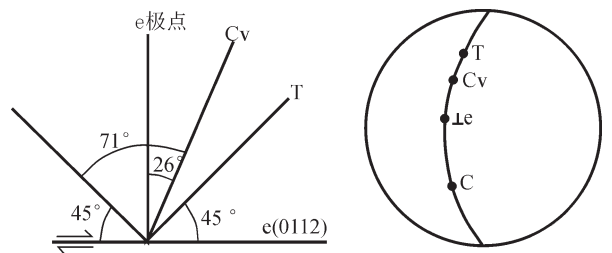


图 9 方解石 C—T 图解原理示意图

a—方解石 e 双晶面上的滑动; b—方解石 C—T 投影图(T—伸张轴;+C—压缩轴;Cv—光轴;Le—面极点(据郑伯让、金淑燕 1989))

Fig.9 Principle of calcite C-T diagramming a—Gliding on e-twin planes of calcite (after Chi, 1978); b—Projection diagram of calcite C-T (T-tensile axis; C-compressive axis;Cv-optic axis;Le-pole of e-twin planes) (after Zheng and Jin, 1989)

①池际尚. 构造岩岩组讲义,1978.

的优选方位、光轴在压应力方位强烈集中的优选方位等^[17-18]。

方解石双晶的 C—T 图解法由 Turner(特纳)倡导。当 C 轴(压应力轴)、T 轴(张应力轴)、e 双晶面极点(⊥e)和滑动方向 t 四者共面,而且 C 轴、T 轴分别与 e 面呈 45°时,剪切应力系数 S1=0.5,最有效地满足了临界值 τC,是产生双晶滑动的最有效的方位(图 9-a),据此可在旋转台上测定方解石的 e 双晶面及光轴 C_v 方位,据光轴 C_v 与 e 双晶面确定的角度关系为 C_v∧⊥{0112}=26°,把所测方位资料按下半球等积赤平投影法在投影网上进行投影,并找出过 C_v 与 e 的大圆,按图 2~7-b 所示各轴间的固定关系, C∧C_v=71°(过⊥e), T∧C_v=19°,在 C_v、⊥e 大圆上找出 C 轴和 T 轴,将所有具特定 e 双晶组的方解石颗粒逐一如上法求出其压应力和张应力轴,以·代表 C 轴、以+代表 T 轴投影在图上,即是方解石的 C—T 图(图 9-b)^[19-21]。

白秧坪东矿区由于处于推覆系统的北部,与金沙江—哀牢山造山带的演化与展布一致^[23-26],不仅构造线转为 NNE 向,而且宏观上表现为 SE 向 NW 方向推覆逆掩,同时伴有平面上的反时针扭动。该推覆构造系统的上述运动特点,在控矿断裂带构造岩的方解石组构中得到比较充分的证明。

上节所做的控矿断裂带构造岩的方解石组构特征,华昌

山、水磨房断裂带上样品,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(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。

由图 4~8 得出的 C、T 方位与断层相对关系如图 10 所示,在 C—T 应力系统中,结合华昌山断裂带产状,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 (NNW)方向的水平挤压作用,H₁₁ 形成左旋平移运动,H₁₃ 则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 则表现了燕子洞处由 SE(SSE)-NW(NNW)向的水平挤压作用,产生左旋平移运动性质。陡倾角应力表现了华昌山断裂由垂直侧向挤压派生的扭应力所导致的顺层滑动的特征,断裂活动以压为主兼具扭性,H₁₉ 反映了麦地坡处推覆体由 SE 向 NW-NWW 方向逆冲推覆;H₁₁、H₁₃、H₁₀₇ 反映了东至岩一带和下区五处断裂推覆体由 SE 向 NW 方向逆冲推覆,局部有所变化。H₅₈、H₅₉、H₆₂ 表现了燕子洞处该断裂推覆体则由 SE 向 NW-NNW 方向逆冲推覆。H₆ 近水平应力反映了水磨房断裂 NNW-SSE 方向的水平挤压作用,陡倾角应力表现了水磨

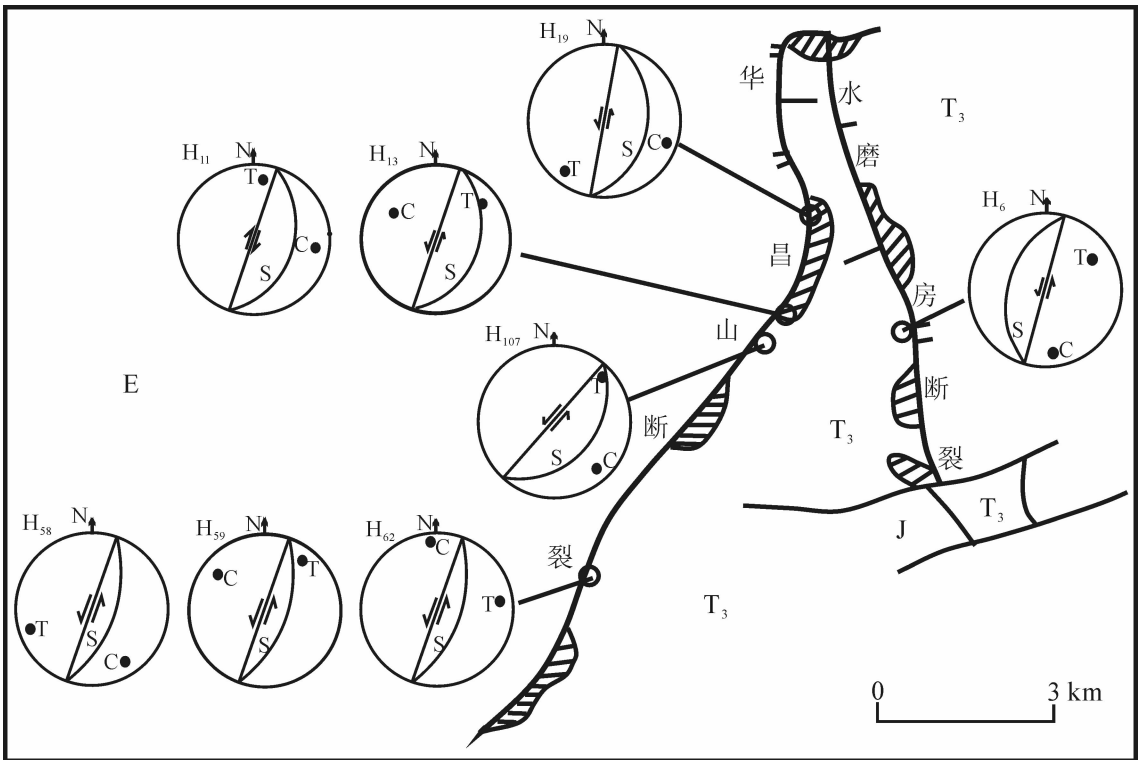


图 10 主应力 C、T 方位与华昌山、水磨房断裂相对关系示意图

E—古近系;J—侏罗系;T₃—上三叠统

Fig.10 Relationship between the principal stress C and T orientations and the Huachangshan and Shuimofang faults
E—Paleogene;J—Jurassic;T₃—Upper Triassic

房断裂由垂直侧向挤压派生的扭应力所导致的顺层滑动的特征。由该样品方解石 C—T 图(图 9)显示该断裂以压为主兼具扭性,平面上表现为左旋平移运动为主,推覆体则由 NNW 向 SSE 方向逆冲推覆。

由此认为,华昌山断裂带晚期较强烈活动的应力场方位为: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。

需要进一步说明的是,对白秧坪东矿区华昌山、水磨房控矿断裂带上样品,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,不精确到角度,只考虑地理方向,得出的主应力方向与野外宏观分析一致;而组构图与 6 种实验得出的标准图案存在差距。其原因一是有变形方式的影响;二是地质历史中,岩体受力方式、影响变形因素、在运动或流变中具有的不均一性等更为复杂。因此,利用 e 双晶作动力学分析只是构造分析中的佐证,可测的样品越多,综合分析得到的结论越可靠。

参考文献(References):

- [1] 钟增球, 郭保罗. 构造岩与显微构造[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991:95-102.
Zhong Zengqiu, Guo Baoluo. Tectonite and Microstructure [M]. Wnhan:China University of Geosciences Press, 1991:95-102 (in Chinese).
- [2] 邵兆刚, 孟宪刚, 冯向阳, 等. 云南白秧坪矿化集中区成矿构造动力学分析[J]. 地球学报, 2002, 23(3):201-206.
Shao Zhaogang, Meng Xiangang, Feng Xiangyang, et al. Analysis on the ore-forming geodynamics of the Baiyangping ore-concentrated field, Yunnan Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(3):201-206(in Chinese with English abstract).
- [3] 朱大岗, 孟宪刚, 冯向阳, 等. 云南白秧坪多金属成矿区构造特征及其控矿作用[J]. 地质地球化学, 2002, 30(1):28-33.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Feng Xiangyang, et al. Characteristics of tectonic structures at Baiyangping, Yunnan and their control over the minerogenesis of polymetal deposits in the mining area [J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30 (1):28-33 (in Chinese with English abstract).
- [4] 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 等. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析[J]. 矿床地质, 2002, 21(1):36-54.
Xue Chunji, Chen Yuchuan, Yang Jianmin, et al. Analysis of ore-forming background and tectonic system of Lanping Basin, Western Yunnan Province [J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (1):36-54 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张乾, 邵树勋, 刘家军, 等. 兰坪盆地大型矿集区多金属矿床的铅同位素组成及铅的来源[J]. 矿物学报, 2002, 22(2):147-154.
Zhang Qian, Shao Shuxun, Liu Jiajun, et al. Lead isotopic composition and lead source of polymetallic deposits in the large ore-assembly district in the Lanping basin [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2002, 22(2):147-154(in Chinese with English abstract).
- [6] 杨伟光, 喻学惠, 李文昌, 等. 云南白秧坪银多金属矿集区成矿流

体特征及成矿机制[J]. 现代地质, 2003, 17(1):27-33.

Yang Weiguang, Yu Xuehui, Li Wenchang, et al. The characteristics of metallogenic fluids and metallogenic mechanism in Baiyangping silver and polymetallic mineralization concentration area in Yunnan province [J]. Geoscience, 2003, 17 (1):27-33 (in Chinese with English abstract).

[7] 张尔新. 兰坪白秧坪铜银多金属矿集区西矿带矿床成因 [J]. 云南地质, 2005, 24(3):282-289.

Zhang Erxin. On the genesis of ore deposits in west metallogenic zone of Baiyangping Cu-Ag polymetallic deposit concentration area, Lanping[J]. Yunnan Geology, 2005, 24(3):282-289(in Chinese with English abstract).

[8] 朱志澄. 逆冲推覆构造研究进展和今后探索趋向 [J]. 地学前缘, 1995, 2(1/2):51-58.

Zhu Zhicheng. Progress and trends of resarches on thrust-nappe tectonics[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1/2):51-58(in Chinese with English abstract).

[9] 吴运高, 李继亮, 樊敬亮. 造山带逆冲推覆构造研究的主要新进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(4):426-433.

Wu Yungao, Li Jiliang, Fan Jingliang. The major progresses in the researches on the thrust and nappe tectonics of orogenic belts [J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(4):426-433(in Chinese with English abstract).

[10] 罗建宁, 杜德勋, 惠兰, 等. 西南三江地区沉积地质与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1999:101-125.

Luo Jianning, Du Dexun, Hui Lan, et al. Sedimentary Geology and Metallogenesis in the Nujiang-Lancangjiang-Jinjiang area, Souihwestern China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999: 101-125(in Chinese with English abstract).

[11] 陈永清, 夏庆霖, 刘红光. 滇东 Pt-Pd-Cu 含矿建造地球化学特征及其含矿性分析[J]. 中国地质, 2003, 30(3):225-234.

Chen Yongqing, Xia Qinglin, Liu Hongguang. Geochemical characteristics of Pt-Pd-Cu ore-bearing formations in eastern Yunnan and analysis of their ore potentiality[J]. Geology in China, 2003, 30(3):225-234(in Chinese with English abstract).

[12] 谭筱虹. 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, 1999, 18(2):15-24.

Tan Xiaohong. Characteristics and formation mechanism of Cenozoic structural basins in the three river area of west Yunnan[J]. Yunnan Geology, 1999, 18(2):15-24(in Chinese with English abstract).

[13] 管焯, 王安建, 李朋武, 等. 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, 2006, 33(4):832-841.

Guan Ye, Wang Anjian, Li Pengwu, et al. Characteristics of the middle axial tectonic belt in the Lanping-Simao basin, western Yunnan, and its research significance [J]. Geology in China, 2006, 33(4):832-841(in Chinese with English abstract).

[14] 段建中. 滇西三江地区新生代走滑(转换)会聚构造特征[J]. 云南地质, 1999, 18(2):99-111.

Duan Jianzhong. Characteristics of the cenozoic stirke slip (transform) convergent structure in the three river area of west

- Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 1999, 18(2):99-111(in Chinese with English abstract).
- [15] 田洪亮. 兰坪三山多金属矿床地质特征 [J]. *云南地质*, 1998, 17(2):199-206.
Tian Hongliang. The geological features of Sanshan polymetallic deposit, Lanping [J]. *Yunnan Geology* 1998, 17 (2):199-206(in Chinese with English abstract).
- [16] 邵兆刚, 孟宪刚, 冯向阳, 等. 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*, 2003, 9(3):246-253.
Shao Zhaogang, Meng Xiangang, Feng Xiangyang, et al. Tectonic characteristics of the Baiyangping-Huachangshan ore belt, Yunnan province and its ore-controlling effect[J]. *Journal of Geomechanics*, 2003, 9(3):246-253(in Chinese with English abstract).
- [17] 梅尔文·弗里德曼. 确定岩石主应力方向的岩组学方法[C]//苏树春, 张绍宗译. 旋转台鉴定法译文集. 北京:地质出版社, 1975:68-114.
Friedman. M. Petrofabric techniques for the determination of principal stress directions in rocks [C]//Translated by Su Shuchun, Zhang Shaozhong: Translation Corpus of Determination Method on the Universal Stage. Beijing: Geological publishing House, 1975:68-114(in Chinese).
- [18] 吴香尧. 岩组学导论[M]. 重庆:重庆出版社, 1986:104-156.
Wu xiangyao. Petrofabrics Theory [M]. Chongqing:Chongqing Publishing House, 1986:104-156(in Chinese).
- [19] 特纳 F J, 韦斯 L E. 变质构造岩的构造分析 [C]//周金城, 张绍宗, 宋鸿林译. 北京:地质出版社, 1987:157-300.
Francis J. Tunner and Lionel E. Weiss. Structural analysis of metamorphic tectonites [M]. Translated by Zhou Jingcheng, Zhang Shaozhong, Song Hongling. Beijing:Geological Publishing House, 1987:157-300(in Chinese).
- [20] Spang J H, et al. Numerical dynamic analysis of quartz deformation lamellae and calcite and dolomite twin lamelace [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1975:86(9):1266-1272.
- [21] 郑伯让, 金淑燕. 构造岩岩组学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1989:98-180.
Zheng Borang, Jin Suyans. Petrofabrics of Tectonite [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989:98-180(in Chinese).
- [22] 马胜利, 马瑾. 石英和方解石剪切带变形组构的实验研究[J]. *地震地质*, 1987, 9(4):1-12.
Ma Shengli, Ma Jin. Experience of quartz and calcite on deformation fabric of share zone[J]. *Seismology and Geology*, 1987, 9(4):1-12(in Chinese with English abstract).
- [23] 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振等著. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京:地质出版社, 1997:24-27.
Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, et al. Geological Tectonic Evolution in the Eastern Tethys [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1997:24-27(in Chinese with English abstract).
- [24] 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 等. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化[J]. *地质学报*, 1999, 73(3):206-218.
Wang Liquan, Pan Guitang, Li Dingmou, et al. The Spatio-temporal framework and geological evolution of the Jinshajiang arc-basin systems[J]. 1999, 73(3):206-218(in Chinese with English abstract).
- [25] 何龙清. 金沙江造山带的大地构造环境及演化模式[J]. *现代地质*, 1998, 12(2):185-191.
He Longqing. Tectonic setting and evolutionary pattern of the Jinshajiang orogenic belt [J]. *Geoscience*, 1998, 12 (2):185-191(in Chinese with English abstract).
- [26] 何龙清, 陈开旭, 余凤鸣, 等. 云南兰坪盆地推覆构造及其控矿作用[J]. *地质与勘探*, 2004, 40(4):7-12.
He Longqing, Chen Kaixu, Yu Fengming, et al. Nappe tectonics and their ore-controlling of Lanping basin in Yunnan Province[J]. *Geology and Prospecting*, 2004, 40 (4):7-12 (in Chinese with English abstract).

Calcite fabric of tectonite in an ore-controlling fault belt in the Baiyangping east ore district, Yunnan

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

(1. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;*

2. *Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China*)

Abstract: We may deduce the stress field orientation in the fault belt by an integrated analysis of the calcite petrofabric in tectonite of a fault belt and deduce the orientation of the paleostress using the C (compressive)-T (tensile) stress diagram of calcite with e-twins. The methods have been applied by many geologists in the practice. In the Baiyangping east ore district of Yunnan, the Huachangshan and Shuimofang faults are the principal ore-controlling structures. The petrofabric diagrams of calcite optic axis and e-twin poles both show c-axis pole maxima and girdles, indicating that the compressive stress in the c-axis direction causes gliding along the ab plane. In the C-T stress system, the principal compressive stress is oriented in a SE-NW direction and the principal tensile stress is oriented in a NE-SW direction, and the sinistral motion predominates for the Huachangshan and Shuimofang faults; the SE block of the Huachangshan fault is thrust in a NW direction, while the Shuimofang fault is thrust antithetically from NW to SE. These coincide with the macroscopic structural analysis in the field.

Key words: Baiyangping east ore district; ore-controlling fault belt; calcite fabric; C-T (compressive stress-tensile stress) diagram; stress field orientation

About the first author: YU Feng-ming, female, born in 1961, Ph.D. candidate, engages in the research on structural geology; E-mail: ycyfengming@cgs.gov.cn.