DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2001.01.003

◦贵金属地质◦
文章编号:1671-1947(2001)01-0018-07

托莫尔日特金矿区韧-脆性剪切带及其控矿作用

张拴宏, 周显强, 田晓娟, 宋友贵
(中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要:矿区位于近NW—NWW向展布的断裂带内,并严格受其控制.控矿断裂带为一条韧—脆性剪切带,其形成主要经历了早期韧性变形、晚期脆性变形及后期改造破坏3个阶段,叠加于早期韧性剪切带之上的晚期脆性破裂带,是矿脉的主要产出位置,成矿与断裂带的韧—脆性转换密切相关.矿体形成于韧—脆性剪切带的转换带附近,后期由于抬升剥蚀而出露地表.矿体分布可能具有"两层楼"式的垂直分带,上部为石英脉型金矿体,品位较高,但规模不大;下部为糜棱岩型金矿体,规模较大,但品位稍低.因此本区以后的找矿工作中应注意挖掘深部糜棱岩型金矿的潜力.

关键词:控矿构造;韧—脆性剪切带;韧—脆性转换;金矿床;青海
文献标识码:A 中图分类号:P613;P618.51

托莫尔日特金矿区位于青海省乌兰县城西南约10 km的托莫尔日特山南北两侧,是青海省地质六队于90年代新发现的金矿床.该矿床主要包括赛坝沟、乌达热乎2个小型金矿床.近期在矿区外围也发现了较好的矿化显示.

1 矿区及矿床地质概况

矿区位于柴达木盆地东北缘,哇洪山断裂北中段西侧,区内岩浆活动频繁,断裂构造发育,具有较好的成矿地质构造背景(图1).

区内出露地层主要是下志留统—上奥陶统滩间山群及少量第四系.滩间山群为一套绿片岩相(局部为角闪岩相)变质岩,其岩性主要为变质凝灰岩、安山岩、绿片岩、斜长角闪片岩,局部夹大理岩、云母石英片岩等.第四系主要分布于沟谷地区,以冲积和洪积砂砾及风积粘土为主.在矿区外围存在少量下元古界达肯大坂群片麻岩.

矿区岩浆活动频繁,以加里东期及印支期为主,岩浆岩在矿区广泛分布.加里东期侵入岩主要有超基性岩(蛇纹石化橄榄岩)、基性岩(辉长岩、辉石岩)、斜长花岗岩和闪长岩等,其中斜长花岗岩是赛坝沟金矿床的主要围岩,闪长岩(石英闪长岩和英云闪长岩)在局部地区也是较重要的赋矿围岩;华力西期侵入岩在矿区出露很少,矿区外围出露较多,主要为花岗闪长岩、二长花岗岩等;印支期侵入岩有二长花岗岩、中粗粒二长花岗岩、钾长花岗岩等.另外区内还分布有大量的基性—酸性岩脉❶.

矿区构造以断裂为主,其中NW—NWW向最为发育,形成较早,演化复杂.该组断裂倾向NE—NNE,倾角较大,断裂面呈舒缓波状平行分布,结构面力学性质为压性、压剪性.区内的主要矿体、矿点及矿化点多与该断裂带有关,并严格受其控制,是区内最主要的控矿赋矿构造.其次为S—N、NE向断裂,形成较晚,以平移断层为主.这两组断裂带内无矿化,常对NW—NWW向断裂和矿体起破坏作用.

本区金矿床以石英脉型为主,构造蚀变糜棱岩型次之.矿体主要存在于NW—NWW向断裂带内,其中产出在中粗粒斜长花岗岩岩体中构造蚀变破碎带内的矿化带含矿性最好.这些构造蚀变破碎带的共同特征是走向为280~330°,密集平行展布,具有一定的斜列性.矿体形态一般呈脉状、不规则状、透镜状,沿走向及倾向有膨大、收缩、尖灭再现及分枝现象.

收稿日期:2001—01—08.李兰英编辑.
基金项目:原地质矿产部定向科研项目(地科定97—22)部分成果.
❶青海省地质矿产勘查研究院区调三室,1/5万托莫尔日特幅(J47E020010)区域地质调查说明书,1998.

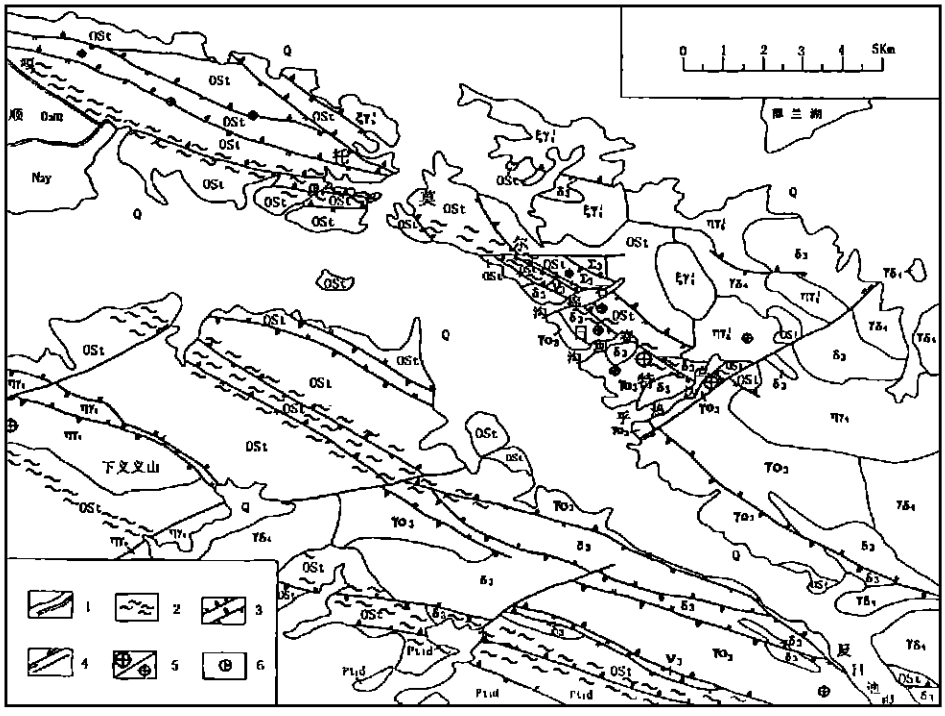

图 1　托莫尔日特金矿区及外围地质略图 (据 1/5 万地质图及矿区地质图汇编❶❷)

Fig 1　Geological sketch map of Tomorite gold deposit and adjacent area

Q—第四系 (Quaternary); N_2y—上第三系油砂山组 (Youshashan fm., Neogene); D_3m—上泥盆统牦牛山组 (Maoniushan fm., Upper Devonian); OSt—下志留—上奥陶统滩间山群 (Tanjianshan gr., Lower Silurian-Upper Ordovician); Pt_1d—下元古界达肯大坂群片麻岩组 (gneiss fm. of Dakendaban gr., Lower Proterozoic); $\xi\gamma_5^1$—钾长花岗岩 (moyite); $\eta\gamma_5^1$—二长花岗岩 (adamellite); $\gamma\delta_4$—华力西期花岗岩 (Variscan granite); $\eta\gamma_4$—二长花岗岩 (adamellite); δ_3—闪长岩 (diorite); γo_3—斜长花岗岩 (plagiogranite); V_3—基性岩 (basic rock); Σ_3—超基性岩 (ultrabasic rock); 1—地质界线 (geologic boundary); 2—韧—脆性剪切带 (ductile-brittle shear zone); 3—正、逆断层 (normal/reverse fault); 4—平移及性质不明断层 (strike-slip or other fault); 5—金矿床及矿化体 (Au deposit); 6—铜金矿点 (Cu-Au deposit)

矿体产状变化较大, 总体呈 NW—SE 走向, 倾向以 NE 向为主, 部分矿体由于地表重力蠕动作用, 在地表向 SW 倾斜, 但向深部逐渐变为 NE 倾向. 矿体倾角较陡, 一般在 60～80°之间, 局部近于直立. 矿体长度 10～200 m 以上不等, 各矿体平均厚度亦不等. 从品位上看, 石英脉型矿体较富, 而构造蚀变糜棱岩型较贫.

2　韧—脆性剪切带及其变形特征

2.1　断裂带宏观变形特征

横穿矿区的 NW—NWW 向韧-脆性剪切带, 宏观上主要表现为在早期韧性剪切作用形成的糜棱岩带之上, 后期叠加了近同方向的脆性断层 (破裂), 并在有利地段形成矿体. 从韧性变形到脆性变形的转换过程中, 断裂带运动性质没有根本性改变, 均以左行逆冲为主.

2.1.1　断裂带韧性变形的宏观表现

(1) 增强的面理构造　在韧性剪切带通过滩间山群变质火山岩处, 岩石面理密度普遍增大, 发育了大量的构造片岩. 在花岗质岩体中面理虽然也有存在, 但发育程度明显减弱, 仅在局部地区有所表现. 这主要与花岗岩类能干性较强、而变质岩类能干性较弱有关.

(2) S—C 组构　在韧性剪切带内普遍存在, 但以石棉沟西部滩间山群最为典型, 构成了韧性剪切带的特有标志 (图 2—a).

(3) 旋转碎斑及眼球状构造　主要为石英碎斑, 局部见长石碎斑. 碎斑主要反映了韧性剪切带左旋运动的性质. 在绢云石英糜棱岩中, 可以见到非常发育的眼球状构造 (图 2—b).

(4) 拉伸线理　不甚发育, 仅在局部强变形区域 (如赛坝沟 V 号带下盘, 石棉沟西部等) 可见, 线理侧伏角通常较大, 倾向北东, 倾角 40～50°. 拉伸线理代表了剪切运动矢量[1,2], 反映了剪切带物质运动

❶青海省地质矿产勘研究院区调三室, 1/5 万托莫尔日特幅 (J47E020010) 地质图, 1998.

❷青海省第六地质队, 青海省乌兰县赛坝沟普查区地质图 (1/1 万), 1998.

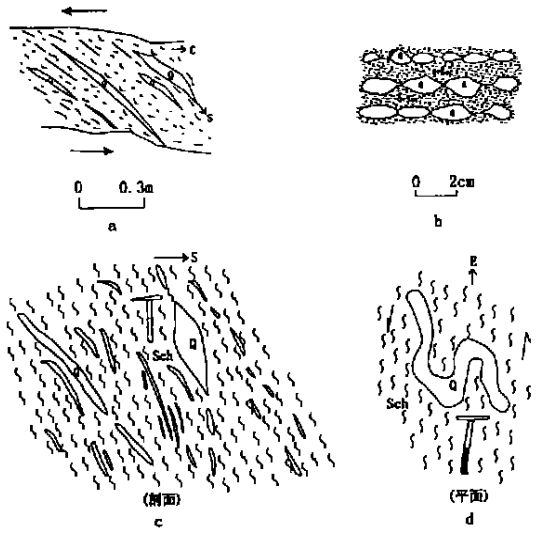

图 2 韧性剪切带宏观变形特征素描图

Fig 2 Sketch showing the macrostructures in ductile shear zone

a—S-C 组构 (S-C fabric); b—眼球状构造 (eyed structure); c—石英变形条带 (deformed band of quartz); d—无根褶皱 (rootless folding); Q—石英 (quartz); Sch—构造片岩 (tectonic schist)

方向与岩层倾向呈小角度相交的特点.

(5) 变形条带构造 在滩间山群变形岩石中比较发育, 以变形石英条带为主, 呈连续状或断续状近平行排列, 局部由于剪切作用有弯曲现象 (图 2—c).

(6) 先存面状构造的变形及大量发育的剪切褶皱. 在石棉沟东韧性剪切带通过滩间山群处, 岩石中先存面状构造由于剪切带内差异性剪切作用, 发生明显变形, 形成了广泛发育的剪切褶皱, 局部地段可见韧性剪切带中特有的鞘褶构造. 另外在滩间山群变形变质岩中可以见到由石英脉形成的无根褶皱 (图 2—d).

2.1.2 断裂带脆性变形的宏观表现

主要是断裂带内发育了大量的构造碎裂岩及断层角砾 (岩), 在地表形成破碎带, 断裂带内构造有利部位常形成含矿石英脉体, 成为该区最主要金矿床类型之一.

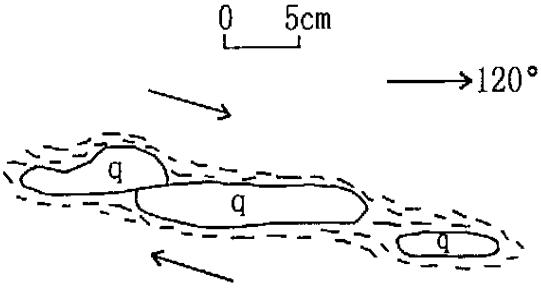

图 3 乌达热乎Ⅰ号带采矿平硐顶板挤压石英透镜体素描图

Fig 3 Sketch showing en echelon of lenticular quartz in roof of the gallery in Wudarehu No. 1 ore belt

注: 从矿硐内向顶板看剪切指向为左旋, 反映断裂带的实际水平运动方向为右旋

在乌达热乎Ⅰ号带采矿平硐顶板上, 挤压石英透镜体明显呈左行雁列式排列, 指示了断裂带的左旋水平剪切运动(图 3). 硐口破碎蚀变岩带中的石英脉挤压透镜体长轴方向反映断裂带逆冲运动性质(图 4). 综合平面和剖面可知断裂带为左旋逆冲断层. 赛坝沟Ⅱ号带与Ⅴ号带所反映的运动学特征也与此相似.

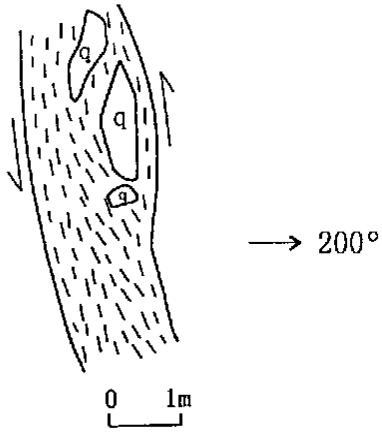

图 4 乌达热乎Ⅰ号带采矿平硐挤压石英透镜体素描图

Fig 4 Sketch showing the lenticular quartz in the gallery in Wudarehu No. 1 ore belt

2.1.3 断裂带韧—脆性转化标志

断裂带韧—脆性转化标志, 无论是在平面上, 还是在剖面上, 都有明显的体现. 在同一条构造带内, 常常可以看到在早期韧性剪切作用形成的糜棱岩带上, 叠加了后期的脆性断层; 对同一种构造岩, 甚至同一块标本, 常常既有早期韧性变形形成的糜棱岩化特征, 也有晚期脆性变形导致的碎裂化特征; 在矿区各主要成矿带内均存在着大量的糜棱岩及碎裂岩, 并紧密共生, 二者在局部地段构成表外矿体 (糜棱岩有时构成表内矿体), 石英脉表内矿体常位于糜棱岩带内部或附近相对张性的构造有利部位 (图 5). 对同一条断裂带来说, 其上部常常表现为断裂破碎带及石英脉, 向下破碎带逐渐消失, 代之而起的是以韧性剪切作用形成的糜棱岩带, 反映了韧—脆性变形在深度上的转换.

2.2 断裂带构造岩显微构造特征及岩石组构分析

2.2.1 断裂带构造岩显微构造特征研究

(1) 韧性变形显微构造特征

①石英的波状、带状消光及变形纹. 在各类糜棱岩中最为常见, 显示石英经历了一定的塑性变形. 在

初糜棱岩和糜棱岩中，可见到明显的石英变形纹.

②显微 S—C 组构. 主要发育在花岗质、绢云石英质、斜长角闪质初糜棱岩、糜棱岩中，多反映了左行剪切的运动性质（图 6—a）.

③动态重结晶的石英颗粒. 在花岗质糜棱岩、绢云石英质糜棱岩及部分石英脉中分布较为广泛，并常沿某一方位定向排列，构成动态重结晶多晶条带.

④眼球状构造及核幔构造. 眼球体一般由石英、长石组成，呈浑圆状，周围为糜棱基质所包围，反映岩石曾受到了较强的挤压应力作用（图 6—b）. 在绢云石英质糜棱岩中，可以看到由变形的石英核和周围细小的动态重结晶颗粒组成的核幔构造.

⑤旋转碎斑系. 主要由石英、长石等相对刚性矿物组成，周围被基质所包围（图 6—c）. 在水平面上，由不对称旋转碎斑判断的剪切指向主要为左旋.

⑥拔丝状石英. 主要发育在花岗质糜棱岩、绢云石英糜棱岩、石英闪长质糜棱岩等类构造岩中，系石英晶体在韧性变形过程中经受强烈剪切而形成，在拔

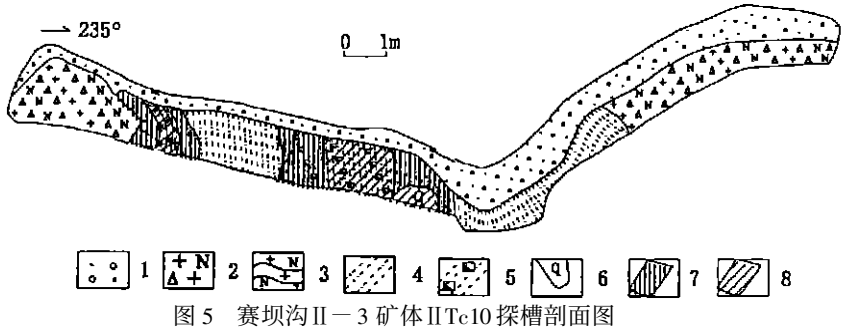

图 5　赛坝沟Ⅱ—3 矿体ⅡTc10 探槽剖面图

Fig. 5　Section of No. ⅡTc10 exploratory groove across Ⅱ—3 ore body in Saibagou ore field

1—第四系残坡积物（Quaternary residual talus）；2—碎裂化斜长花岗岩（calaclastized plagiogranite）；3—片理化斜长花岗岩（schistositized plagiogranite）；4—糜棱岩（mylonite）；5—褐铁矿化石英质糜棱岩（limonitized quartzose mylonite）；6—石英脉（quartz vein）；7—表内矿体（economy orebody）；8—表外矿体（subeconomy orebody）

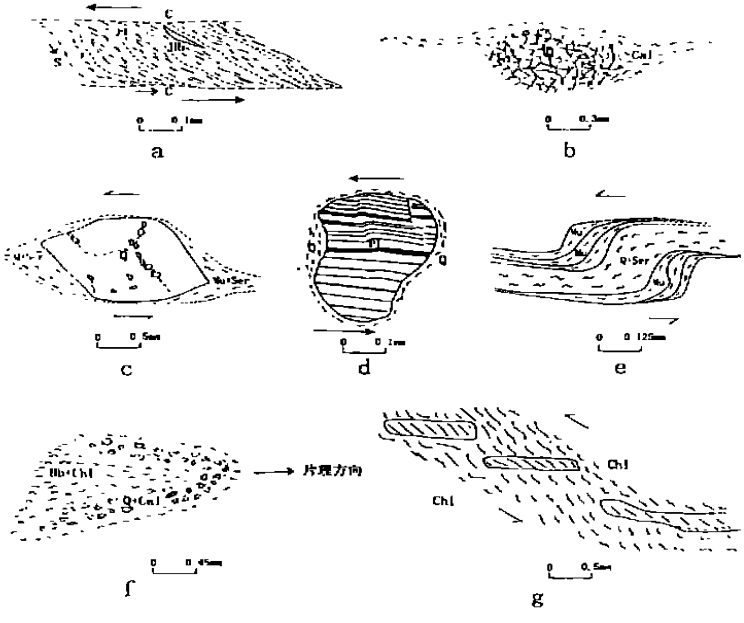

图 6　赛坝沟矿区构造岩显微构造素描图（切片方向水平）

Fig. 6　Sketch diagram of microstructure of tectonite in Saibagou ore field（horizontal sections）

a—S-C 组构（S-C fabric）；b—眼球状构造（eyed structure）；c—旋转碎斑（rotational mortar）；d—斜长石双晶纹弯曲（plagioclase twin-striation bending）；e—显微褶皱（microfolding）；f—无根褶皱（rootless folding）；g—雁列式张裂脉（en echelon tension fissure vein）；Mu—白云母（muscovite）；Ser—绢云母（sericite）；Cal—方解石（calcite）；Q—石英（quartz）；Hb—普通角闪石（hornblende）；Pl—斜长石（plagioclase）；Chl—绿泥石（chlorite）

丝状石英颗粒边部常出现动态重结晶的石英颗粒.

⑦斜长石双晶的变形. 在糜棱岩化石英闪长岩中, 可看到塑性变形导致长石双晶纹弯曲及错断的现象 (图6—d). 由双晶纹弯曲的方向, 可以判断韧性剪切运动的指向为左旋.

⑧显微褶皱及扭折. 在各类糜棱岩中均可看到, 由褶皱判断的剪切指向主要为左旋, 少量为右旋 (图6—e).

⑨石英脉无根褶皱. 常见于条带状糜棱岩中, 石英脉褶皱轴方向与糜棱岩叶理走向相一致, 反映在较强的剪切作用下石英脉被剪断而成钩状 (图6—f).

(2) 脆性变形显微构造特征

①切穿面理的变形脉体. 其为同构造脉体, 形成于韧性变形向剪破裂转化期, 以方解石脉最为典型, 方解石解理纹呈弯曲状显示其形成过程中受到了韧性剪切作用的改造.

②雁列状张裂脉. 系韧性剪切作用后期相对脆性条件下形成, 具有明显的斜列性, 由脉体斜列方式推断剪切方向为左旋 (图6—g).

③石英眼球体的压碎现象. 为韧-脆性变形的产物, 主要表现为组成眼球体的石英颗粒被强烈压碎, 周围为基质所包围, 石英颗粒之间常充填有方解石等矿物, 反映岩石在相对较脆性的环境下曾受到挤压应力作用而变形 (图6—b).

④显微破裂及裂隙. 在碎裂岩中常见, 糜棱岩中也可见到, 为韧-脆性变形期或脆性变形期岩石变形的产物. 早期形成的破裂及裂隙常常被充填形成岩脉 (部分含矿), 晚期破裂裂隙则未充填或仅充填了少量地表氧化产物褐铁矿及孔雀石等.

综上可知, 本区构造岩变形具有明显的韧-脆性转换性及叠加性, 即早期以韧性剪切变形为主, 后期由于变形温压条件降低, 韧性剪切变形转换为脆性变形, 岩石发生脆性破裂, 形成大量的脉体, 并伴随着本区矿化形成.

2.2.2 断裂带构造岩岩石组构分析

(1) 构造岩磁组构

对断裂带内及其边部 30 余块变形岩石的磁组构测试结果表明:

①区内岩石 H 值普遍都大于 5%, 尤其是韧-脆性剪切带及其附近的一些构造片岩和变形花岗质岩石, H 值可高达 29.13%, 说明岩石经历了较强的韧性变形.

②岩石磁组构 F-L 参数图解 (图 7) 表明: 31 个

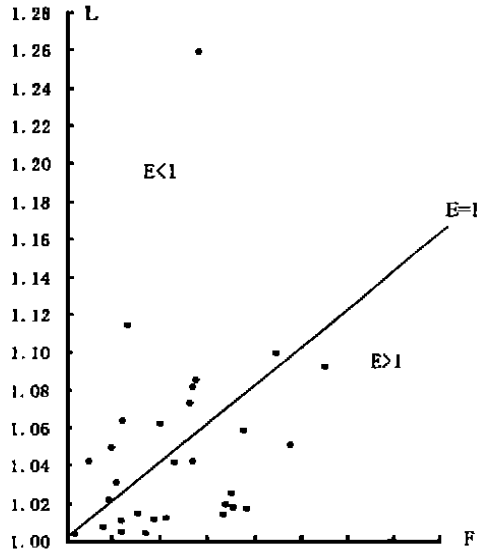

图 7 岩石磁组构 F—L 参数图

Fig. 7 F—L diagram of rock magnetic fabric

测试结果有 19 个落在 $E>1$ 的范围内, 12 个落在 $E<1$ 的范围内并多位于 $E=1$ 附近, 说明岩石构造变形以压扁作用为主. 反映了本区以挤压为主的构造变形环境.

③由岩石磁组构 T-P 参数图解 (图 8) 可知: 31 个点有 19 个位于 P 轴上方, 反映了本区岩石磁性组构具有磁面理发育, 磁线理不发育, 磁化率量值椭球呈压扁状的特点.

④由于最小磁化率椭球轴与最大应变压缩轴有一定的对应性, 故可近似代表最大主压应力方向[3]. 将所有样品最小磁化率产状投影到吴氏网上 (图 9), 可以看出, 大部分投影点落在第 1 象限和第 3 象限远离圆心区域, 反映岩石韧性变形时最大主压应力的方位主要为 NE—SW 向.

⑤剪切带运动性质判别: 水平旋转运动——将 NE—SW 向挤压应力沿 NW—NWW 向断裂带走向进行分解, 将在剪切带两侧形成一逆时针方向的力偶 (图 10), 促使剪切带发生左旋滑动, 即剪切带韧性变形运动性质为左旋; 垂直升降运动——从图 9 可以看出, 区内岩石变形时最大主压应力方向倾角较缓 (10~30°), 接近水平状态. 由于剪切带总体上向 NE 倾, 因此在近水平的 NE—SW 向挤压应力作用下, 将由北向南逆冲, 即北东盘相对上升, 南西盘相对下降 (图 11), 为逆冲式的韧性剪切带. 综上可知该带为左旋逆冲式剪切带.

(2) 构造岩 X 光岩组分析

构造岩 X 光岩组分析结果表明, 石英 $(11\bar{2}0)$

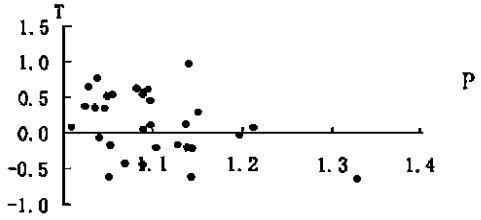

图 8　岩石磁组构 T－P 图

Fig.8　T－P diagram of rock magnetic fabric

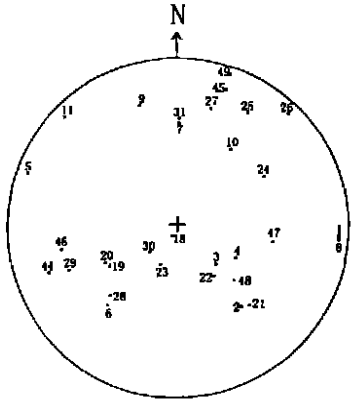

图 9　最小磁化率产状投影图

(吴氏网，下半球投影，数字表示样品编号)

Fig.9　Stereographic projection of minimum magnetic susceptibility

(lower hemisphere, Wullf net)

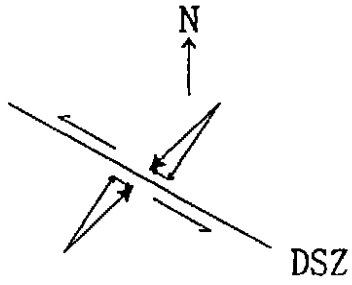

图 10　赛坝沟地区韧性剪切带水平运动推断图

Fig.10　Horizontal movement inference diagram of the ductile shear zone in Saibagou area

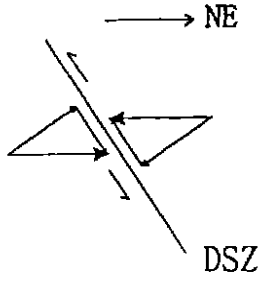

图 11　赛坝沟地区韧性剪切带升降运动推断图

Fig.11　Up and down inference diagram of the ductile shear zone in Saibagou area

晶面极图以相交大圆环带为主，转换成光轴图后呈两个点极密，反映岩石经历了较复杂的韧性变形．多数样品石英光轴点极密与宏观面理近平行或小角度相交，说明石英变形以柱面滑移为主，兼有底面或近底面滑移，基本反映了石英在中温条件下发生了韧性变形[4]．

3　韧－脆性剪切带对金矿的控制作用

从本区韧－脆性剪切带的微观及宏观变形特征不难看出，早期韧性变形、晚期脆性变形及后期改造破坏3 个阶段，从韧性变形到脆性变形的转化在较短的时间内完成，金矿床的形成与断裂带韧脆性转换密切相关．

稳定同位素（O、H、S、Pb）资料表明❶，赋矿花岗质岩石（主要为斜长花岗岩和闪长岩）是深源成因的（幔源或壳幔混合型），成矿物质主要来源于深部，而成矿热液主要来自周围的深源花岗质岩石，其性质为混合热液（来源于岩浆岩的热液＋大气降水），特别是在愈靠近地表处，有更多的大气降水参与了成矿．早期的韧性剪切作用导致成矿流体活化迁移及成矿物质的预富集，后期由于温压条件降低，韧性变形转化为脆性变形，地表大气降水沿断裂带大量下渗，到达韧－脆性转化带附近，与剪切带内积聚的成矿热液流体相混合，成矿热液性质发生重大改变[5]，成矿物质开始在相对张性的构造有利部位沉淀聚集．由于控矿断裂带的周期性活动[6]，成矿物质得以多次富集，最终形成以石英脉型为主的金矿体．在石英脉型金矿体的下部可能会存在规模较大但品位较低的金矿体．

4　结　论

(1) NW－NWW 向断裂带既有明显的韧性变形，又有明显的脆性变形特征，表现出明显的韧脆性转换性及叠加性，是一条典型的韧－脆性剪切带，是本区最主要的控矿构造．该带不但控制了区内矿产的产出与分布，而且控制了矿产的形成及演化．

---

❶ 张拴宏，周显强，田晓娟，等．青海托莫尔日特金矿区稳定同位素地质及找矿方向．地质与勘探（待刊），2001

(2) 韧—脆性剪切带变形经历了早期韧性变形、晚期脆性变形及后期改造破坏 3 个阶段，金矿床的形成与该带的韧脆性转换密切相关.

(3) 早期的韧性剪切作用导致成矿流体活化迁移及成矿物质的预富集，成矿热流体在韧脆性转换带附近得以大量聚集，后期由于温压条件降低，韧性变形转化为脆性变形，地表大气降水沿断裂带大量下渗，到达韧脆性转化带附近，与剪切带内积聚的成矿热流体相混合，成矿热液性质发生重大改变，成矿物质开始在相对张性的构造有利部位沉淀聚集．由于控矿断裂带的周期性活动，成矿物质得以多次富集，最终形成金矿体.

(4) 该区成矿可能具有“两层楼”式的垂直分带，上部为石英脉型金矿床，品位较高，但规模不大，是本区目前主要的开采对象；下部为糜棱岩型金矿床，规模较大，但品位稍低．因此本区以后找矿工作中应注意挖掘深部糜棱岩型金矿的潜力.

致谢：野外工作得到了青海省地勘局、第六地质队及赛坝沟金矿等有关单位的大力支持与协助，在此表示衷心的感谢.

参考文献：

[1] 许志琴．地壳变形与显微构造 [M]．北京：地质出版社，1998.

[2] 张桂林．韧性剪切带中 S-C (C') 组构的成因及其运动学意义 [J]．桂林工学院学报，1996，16 (4)：338—343.

[3] 余钦范，郑敏．岩石磁组构分析及其在地学中的应用 [M]．北京：地质出版社，1992.

[4] 陈柏林，刘兆霞．构造地质研究中应用 X 光岩组方法需注意的几个问题 [J]．地质力学学报，1996，2 (4)：73—79.

[5] Haynes D W, Cross K C, Bills R T, et al. Olympic Dam ore genesis: a fluid-mixing model [J]. Economic Geology, 1995, 90: 281—307.

[6] Sibson R H. Robert F, Poulsen K H. High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits [J]. Geology, 1988, 16: 551—555.

DUCTILE-BRITTLE SHEAR ZONES AND THEIR CONTROL TO GOLD MINERALIZATION IN TOMORITE GOLD DEPOSIT REGION, QINGHAI PROVINCE

ZHANG Shuan-hong, ZHOU Xian-qiang, TIAN Xiao-juan, SONG You-gui

(Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, *China)*

Abstract: The ore deposits in Tomorite gold deposit region in Qinghai Province are located in NW-NWW trend fault zones, which are the major ore-controlling structrues in the area. Through thorough analysis of the ore-controlling structures in the area, we found that formation of the fault zones can be divided into three stages, which are ductile shear deformation stage, brittle deformation stage and late reform-destruction stage. The brittle faults superimposed upon the early ductile shear zones are favorable regions for mineralization, and the formation of the ore deposits is related to the ductile-brittle transition of fault zones in the area. Study on ore-controlling structures shows that the ore veins are located near ductile-brittle transition in fault zones. Uplift and denudation after the formation of the ore bodies lead to their exposure near the ground. It is possible that some mylonite-type ore bodies would exit beneath the quartz vein ore bodies, but the tenor of ores would be a little lower. More attentions should be paid to the deep mylonite-type ore bodies in the future work.

Key words: ore-controlling structure; ductile-brittle shear zone; ductile-brittle transition; gold deposit; Qinghai Province

作者简介：张拴宏 (1974—)，男，陕西耀县人，硕士，2000 年毕业于中国地质科学院研究生部，主要从事矿田构造、构造应力场及矿床地质等方面的研究工作；通讯地址：北京海淀区民族学院南路 11 号 地质力学研究所；邮政编码 100081.