

## 四川白玉县竹英-贡达断裂断层泥石英微观形貌研究

朱学强,吴德超

(成都理工大学 地球科学学院,四川 成都 610059)

**摘 要** 通过对金沙江上游叶巴滩水电站外围竹英-贡达断裂带的新活动性研究,利用扫描电镜对选取的断层泥中的石英颗粒样品进行溶蚀微形貌的观察和统计分析,发现断层泥中的石英颗粒表面的溶蚀微形貌特征简单,以橘皮状为主,表明竹英-贡达断裂不具有新活动性。这与电子自旋共振测年方法显示的结果一致,同时也说明了该方法可以反映断层活动的年代信息。

**关键词** 竹英-贡达断裂;断层泥;石英;溶蚀微形貌;断层活动性;四川省

断层泥是断层活动的信息载体<sup>[1]</sup>,断层活动产生的断层应力可能导致颗粒之间发生刻划、撞击、压裂等作用,有可能在颗粒表面留下擦线、刻槽、碎裂痕、压裂纹等应力痕迹<sup>[2]</sup>。当断层停止活动后,断层泥中的石英颗粒表面遭受来自物理、化学甚至生物的溶蚀风化<sup>[3]</sup>,进而使断层活动过程中由应力作用塑造形成的应力痕迹微形貌随着时间逐渐弱化乃至消失。遭受溶蚀的时间不同,溶蚀微形貌特征明显不同,多表现为起伏凹凸,如溶蚀坑、沟、槽等<sup>[4]</sup>。因此,在断层泥中的石英颗粒表面存在 2 种成因完全不同的微形貌特征:一种是在断层活动过程中由于应力作用形成的,能够反映应力特征的痕迹微形貌,称作应力痕迹微形貌;另一种是反映断层活动之后,由于溶蚀风化作用形成的能够反映溶蚀风化时间的微形貌,称作溶蚀微形貌<sup>[5]</sup>。应力痕迹微形貌记录了断层活动方式和活动期次的信息<sup>[6]</sup>,溶蚀微形貌记录了断层活动的年代信息。本文立足于四川省白玉县与西藏自治区贡觉县的交界处金沙江上游叶巴滩水电站外围的竹英-贡达断裂带,选取断层泥内的石英样品进行溶蚀微形貌观察和统计分析,进而探讨断层活动的时代。

## 1 石英颗粒外貌法测定年代

利用扫描电子显微镜(简称 SEM)对选取的断层泥样品中石英颗粒进行溶蚀微形貌观察和统计分析

及应力痕迹微形貌观察,根据石英颗粒表面形貌特征进行鉴定,判断出断层活动的年代及应力情况,进而确定断层活动方式和时代期次。

## 1.1 石英颗粒表面形貌扫描电镜应用的原理

石英是一种极稳定的矿物,其溶解速度相当低,抗风化能力极强,其风化溶解的数量级可与地质年代相比拟。石英的溶解度和溶解速率对每个石英颗粒都是相同的,其溶蚀外观结构特征取决于时间长短<sup>[7]</sup>。石英的溶蚀形态特征与其所处环境有密切关系——断层泥石英颗粒表面结构形态是断层发生后地下水逐渐溶蚀所致。通过观察石英外观形态特征,参照断层泥石英表面微形貌特征与年代对应关系图(图 1),即可推测该断层活动的距今年限。

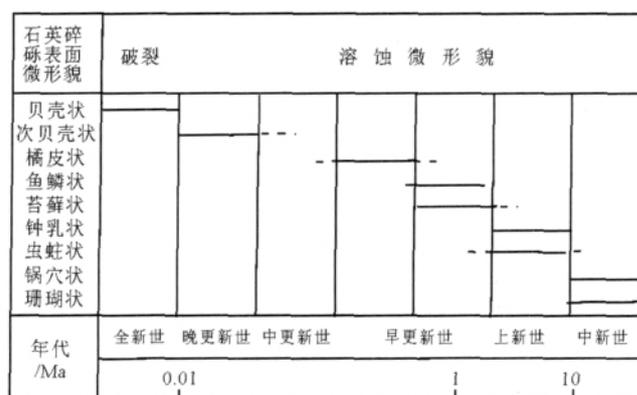


图 1 断层泥石英表面微形貌特征与年代对应关系图

(据 Kanaori Y et al.1981)

Fig. 1 Correlation between micro-morphology of quartz surface and age

(after Kanaori Y et al., 1981)

表 1 石英颗粒表面形貌类型及特征

Table 1 Types and characteristics of the quartz surface morphology

类型	表面形貌
贝壳状	棱角状, 具有尖镜棱角、尖峰, 贝壳状或阶梯状断口, 表面光滑, 无刻蚀痕迹
次贝壳状	具棱角棱、脊、尖峰, 略有磨损, 贝壳状、阶梯状断口发育, 表面光滑, 可见直径 1~3 μm 小刻蚀孔洞
橘皮状	近棱角状外形, 棱脊有明显的刻蚀磨损, 表面刻蚀凹凸状, 凹凸差 1~3 μm, 有 1~3 μm 直径小洞, 形貌似橘皮
鱼鳞状	似棱角状外形, 表面上规则排列着相同尺寸的刻蚀坑, 构成形似鱼鳞状外貌, 溶蚀坑凹凸差 3~5 μm
苔藓状	近棱角状、似圆形外貌, 不具有明显的边棱, 表面外形由似苔藓状半球集合体组成, 刻蚀凹凸差 3~5 μm
虫蛀状	近圆状外形, 表面似苔藓状, 但凹凸差大, 可达 5~10 μm, 常有较大的孔洞, 直径可达 5~10 μm, 类似虫蚀孔
钟乳状	近圆状外形, 表面有很多类似石钟乳的圆柱状隆起, 一般高 3~5 μm, 最高可达 10 μm, 有刻蚀坑
锅穴状	圆形外形, 表面有许多 5~10 μm 直径的洞穴, 这些洞穴可互相覆盖, 孔洞底平坦, 深达 10~30 μm, 形似锅穴, 洞内外有似苔藓结构
珊瑚状	圆状外形, 表面存在许多孔洞, 其面积大于非孔洞面积, 孔洞很深, 相互贯通, 类似珊瑚或蜂窝状

据 Kanori 编.

典型的对比研究表明, 石英的 9 种表面溶蚀结构形貌特征与地质年代 (溶蚀经历时间) 有如下对比关系: 外观结构形态呈贝壳状者为全新世断层破裂产物; 次贝壳状者为晚更新世以来形成; 橘皮状外观为早至

中更新世产物; 鱼鳞状和苔藓状者形成于上新世至早更新世, 钟乳状与虫蛀状外观形态年龄为上新世, 锅穴状和珊瑚状外形地质年代为中新世 (表 1、图 2)<sup>[8]</sup>. 据此, 可以判断断层带中石英颗粒外形溶蚀形成时间, 借

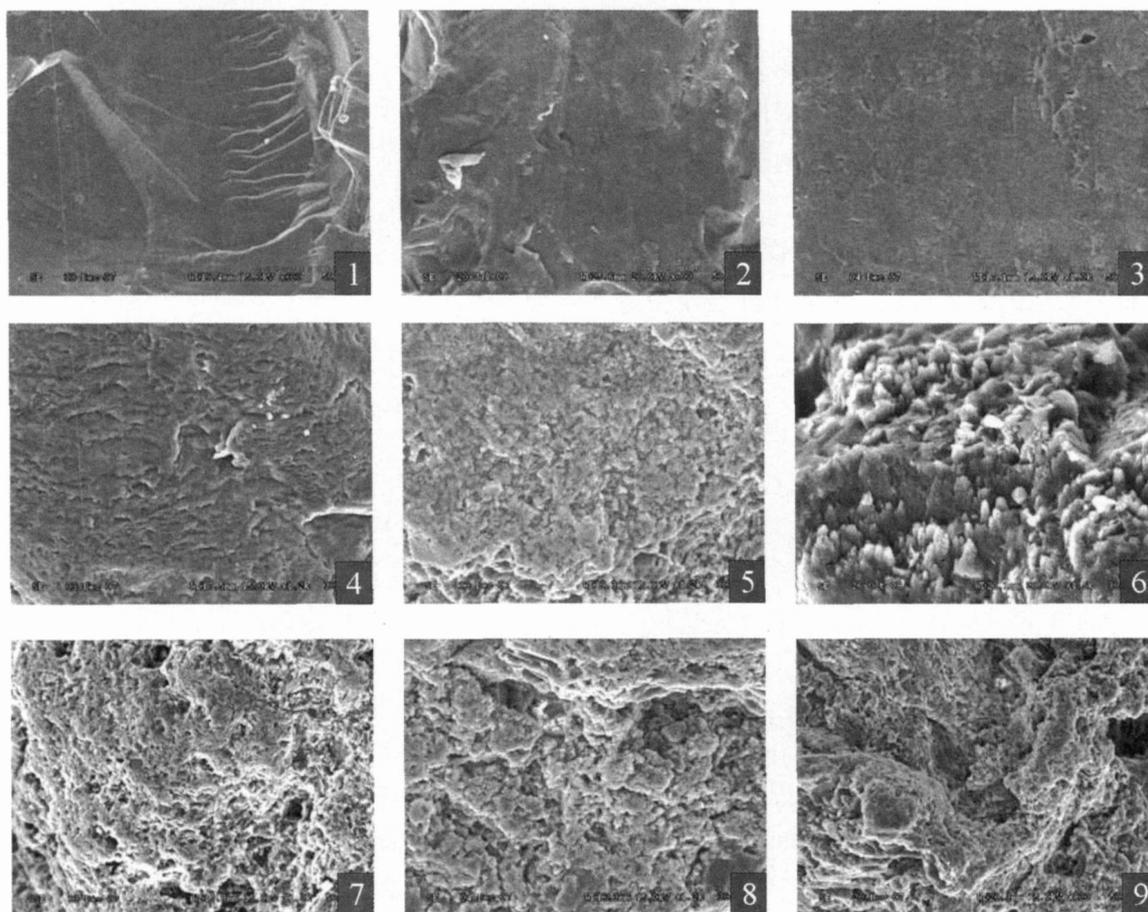


图 2 典型石英溶蚀形貌照片

Fig. 2 Typical surface morphology of dissolved quartz

1—贝壳状 (conchiform); 2—次贝壳状 (sub-conchiform); 3—橘皮状 (orange peel form); 4—鱼鳞状 (scale form); 5—苔藓状 (moss form); 6—钟乳状 (stalactiform); 7—虫蛀状 (worm hole form); 8—锅穴状 (pothole form); 9—珊瑚状 (coral form)

以判断该断层的活动时代.

### 2 石英颗粒表面形貌扫描电镜的应用

1983 年以来,我国地震地质界已应用 SEM 方法研究断层新活动地质时代.因本方法样品制备程序简单,主要测试工具为扫描电镜.根据国内外研究的石英颗粒表面结构类型,对比典型图谱,可以确定出断层活动地质年代<sup>[7]</sup>.

现在研究活动断层年代的方法中,SEM 方法已得到广泛的应用,并在测试过程中结合电子磁旋共振(ESR)方法和热释光(TL)等方法进行综合对比,可以确定相对准确的断层活动年代.

#### 2.1 断裂描述

位于四川省白玉县和西藏贡觉县交界处金沙江上游的叶巴滩水电站,外围区域地处特提斯-喜马拉雅构造域(一级)东部的羌塘-三江造山带内部(图 3).受板块构造作用、俯冲边界断裂、区域应力场的控制,坝区外围断裂主要为北北西-南北向,一般规模都比较大,构成本区控制性构造的基本格局.对本区起控制作用的金沙江俯冲断裂带穿坝区外围而过,将坝区外围区域分割为 2 个性质明显不同的构造单元,它不仅控制了断裂两侧自中生代以来的沉积演化,也控制着中生代以来的构造格局和变形样式.因此,金沙江断裂带新活动性的研究对坝区的工程建设至关重要.

在初期勘查的过程中发现了展布在坝区东侧的竹英-贡达断裂(F4),前人曾认为该断层是金沙江结合带的东界断裂<sup>①</sup>.综合研究表明:该断裂并非结合带边界断层,仅为金沙江结合带内部叶巴滩推覆断片与混杂岩体的分界断裂.断裂斜贯坝区外围北东部,断面倾向南西,倾角 40°~70°不等,东盘发育上三叠统下逆松多组,西盘北段为元古宇雄松群,南段为古生代混杂岩.区内长度达 12 km,总体呈北东向延伸,向北延伸至竹英与金沙江西界(竹英-山岩)断裂相交,向南东延伸至盖玉南与金沙江东界(加曲-降曲)断裂相连.该断裂形成时期或强烈活动时期比金沙江缝合带西界断裂竹英-山岩断裂晚,印支晚期最为强烈,具有逆冲推覆性质,后期兼有右行走滑特点.因此,该断层无论规模还是活动性均对坝区会产生一定的影响(图 4).

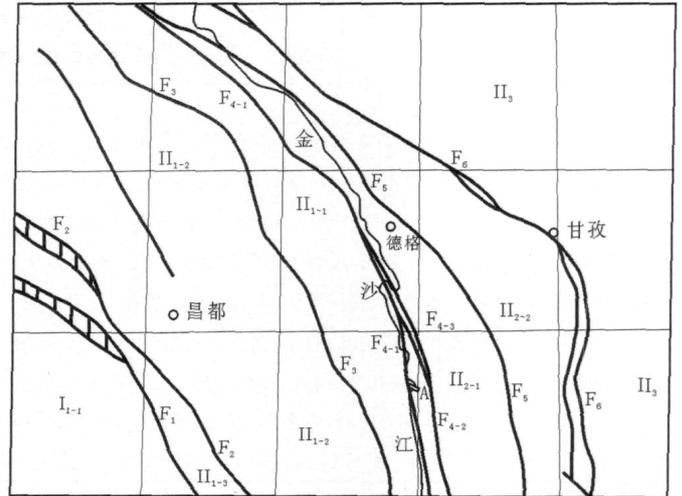


图 3 叶巴滩地区大地构造单元图

Fig. 3 Tectonic units of the Yebatan area

I—冈底斯弧(Gandise arc); I<sub>1-1</sub>—班戈-腾冲火山弧(Geban-Tengchong volcanic arc); II—昌都-芒康陆块(Changdu-Mangkang landmass); II<sub>1-1</sub>—江达-维西火山弧(Jiangda-Weixi volcanic arc); II<sub>1-2</sub>—昌都-兰坪弧后前陆盆地(Changdu-lanping back-arc foreland basin); II<sub>1-3</sub>—杂多-维登火山弧(Zaduo-Weideng volcanic arc); II<sub>2</sub>—德格-中甸陆块(Dege-Zhongdian landmass); II<sub>2-1</sub>—结古-义敦弧后盆地(Jiegu-Yidun back-arc basin); II<sub>2-2</sub>—昌台-乡城岛弧带(Changtai-Xiangcheng island arc belt); II<sub>3</sub>—玉龙塔格-巴颜喀拉前陆盆地(Yulongtage-Bayankala foreland basin); F<sub>1</sub>—班公湖-怒江结合带(Bangong Lake-Nujiang River suture zone); F<sub>2</sub>—澜沧江断裂(结合)带(Lanchang River fault/suture zone); F<sub>3</sub>—字嘎寺-德钦-雪山山断裂带(Zigasi-Deqin-Xuelongshan fault zone); F<sub>4</sub>—金沙江断裂(结合)带(Jinsha River fault/suture zone); F<sub>4-1</sub>—金沙江断裂(埃拉山断裂、竹英-山岩断裂)(Jinsha River fault); F<sub>4-2</sub>—加曲-降曲断裂(加曲-麦拉日断裂、降曲断裂)(Jiaqu-Jiangqu fault); F<sub>4-3</sub>—竹英-贡达断裂(Zhuying-Gongda fault); F<sub>5</sub>—德格-乡城断裂带(Dege-Xiangcheng fault zone); F<sub>6</sub>—甘孜-理塘断裂(结合)带(Ganzi-Litang fault/suture zone); A—叶巴滩水电站(Yebatan dam)

竹英-贡达断裂在达西弄沟口出露较好,破碎带及影响带宽度近 100 m,发育 4 条次级断层,共包括 9 个构造带(图 5).由南西向北东分别为:

- (1) 上盘影响带,由雄松群上段(P<sub>trn</sub><sup>b</sup>)大理岩组成,岩石破碎,发育密集节理;
- (2) 次级断层 f-1,发育构造透镜体、破劈理及断层角砾岩,断层产状 228°∠47°,沿断裂带发育断层泉(降曲左岸发育已半固结的泉华);
- (3) 构造透镜体带,由下逆松多(T<sub>3x</sub><sup>1</sup>)片岩组成,带中发育大量的构造透镜体,透镜体长轴/短轴可达 10:1,带中还发育小型正断层;
- (4) 次级断层 f-2,发育破劈理及断层角砾岩,局

① 西藏自治区地质矿产局. 1:20 万白玉幅、雄松区幅联测区域地质调查报告. 1992.

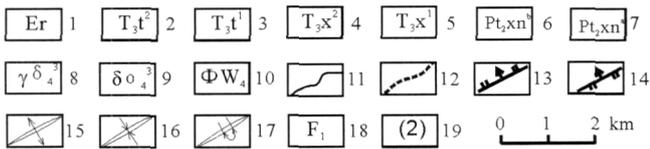
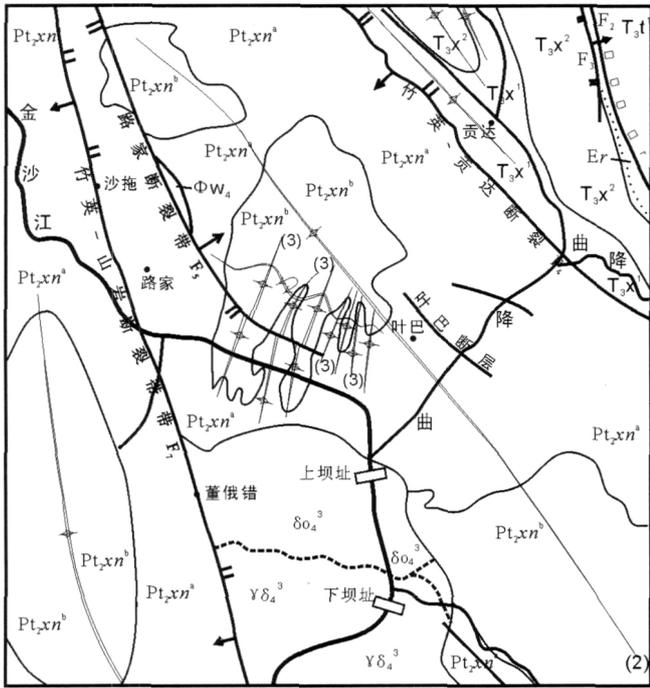


图 4 叶巴滩区域地质构造纲要图

Fig. 4 Regional structural outline map of Yebatan area

1—古近系 (Paleogene); 2—图姆沟组上段 (upper member of Tumugou fm.); 3—图姆沟组下段 (lower member of Tumugou fm.); 4—下逆松多组上段 (upper member of Xianisongduo fm.); 5—下逆松多组下段 (lower member of Xianisongduo fm.); 6—雄松群上段 (upper member of Xionsong group); 7—雄松群下段 (lower member of Xionsong group); 8—花岗闪长岩 (granodiorite); 9—石英闪长岩 (quartz diorite); 10—超基性岩 (ultrabasic rock); 11—地层界线 (stratum boundary); 12—岩体分界线 (boundary of rock body); 13—正断层 (normal fault); 14—逆断层 (reversed fault); 15—背斜 (anticline); 16—向斜 (syncline); 17—倒转向斜 (inverted syncline); 18—断层编号 (fault number); 19—褶皱期次 (stage of fold)

部发育碎斑岩, 断层产状  $219^{\circ} \angle 52^{\circ}$  ;

(5) 构造透镜体带, 由雄松群下段 ( $Pt_{xn}^a$ ) 片岩组成, 带中发育大量的构造透镜体及破劈理, 破劈理产状  $199^{\circ} \angle 40^{\circ}$  ;

(6) 次级断层 f-3, 发育破劈理、断层角砾岩及碎斑岩, 断层产状  $190^{\circ} \angle 40^{\circ}$ , 断层带中局部发育断层泥, 断层泥 ESR 年龄为  $(37.1 \pm 3.0)$  万年, 并取样进行石英微观形貌的观察;

(7) 构造透镜体带, 由雄松群下段 ( $Pt_{xn}^a$ ) 片岩组成, 带中发育大量的构造透镜体及破劈理;

(8) 次级断层 f-4, 断层上盘为雄松群下段 ( $Pt_{xn}^a$ ) 片岩, 断层下盘为下逆松多组 ( $T_{3x}^1$ ) 片岩, 二者产状明显相顶, 带中发育破劈理及断层角砾岩, 显负地形 (达西弄及降曲通过处)。由于断层被冲洪积物覆盖, 产状不详。

(9) 下盘影响带, 由下逆松多组 ( $T_{3x}^1$ ) 片岩组成, 岩石破碎, 破劈理、揉皱及密集节理发育, 宽度可达 30 ~ 40 m。

通过断裂带不同部位的现象描述可知, 该断裂是一条多期演化的断裂。透镜体、破劈理、构造角砾岩等是早期脆性破裂阶段的表现; 而断层泥常出现在活断层中, 所表现的弱固结或未固结特性揭示着断层的新活动性程度。因此竹英-贡达断裂在某种程度上表现出一定的活动性, 需要进一步鉴定。

综合研究表明, 竹英-贡达断裂为早-中更新世活动断裂, 晚更新世以来不具有活动性, 主要表现在: ①无断错地貌标志, 断裂带通过处不存在差异性活动; ②不存在第四系地层中褶皱、断裂等构造现象, 断裂通过处未见切割阶地和第四系堆积物, 而是被其覆盖; ③构造岩固结良好, 发育少量已经固结的断层泥; ④无地

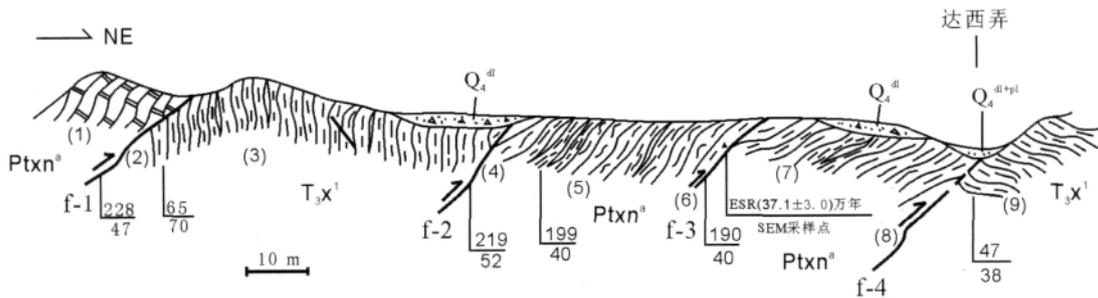


图 5 竹英 - 贡达断裂剖面图

Fig. 5 Section of Zhuying-Gongda fault

震、地热活动.

### 2.2 结果与讨论

通过扫描电镜对竹英-贡达断裂带断层泥中的石英进行表面溶蚀微形貌的观察发现：竹英-贡达断层断裂带内的石英形貌简单,不发育贝壳状石英,主要为比较强烈侵蚀的石英 橘皮状石英占 44.8%,次贝壳状石英和鳞片、苔藓状石英各占 24.1%,钟乳、虫蛀状石英占 6.9%,不发育锅穴、珊瑚状石英(图 6、7).表明该断层活动时间为上新世至中更新世,晚更新世可能有频度较低的活动,说明该断层现今不具有活动性.

利用断裂带中的石英进行 ESR 测年,结果显示为 (37.1±3.0)万年,也说明断层不具活动性,证实了石英颗粒表面形貌扫描电镜法(SEM)的可行性.

当前,在工程地质、地震地质研究及评价活动断裂中,对断裂活动性鉴定主要以断层活动年龄为标准.石英颗粒表面结构分析只能给出断裂新活动相对地

质年代,不能给出其具体年龄.这就给断裂活动评价带来了具体困难<sup>[7]</sup>.现在已经能够应用 TL、ESR 和 U 系法确定断裂活动年龄.因此,在大型水电站、核电站勘测中,大多采用 TL、ESR 和 U 系定量年代测量法,或综合的或以一种方法为主,其他方法校核. SEM 方法可以在断裂活动性研究中作为上述 3 种方法的校核评价手段,它能够作为断裂研究的参考依据<sup>[7]</sup>.

### 3 结论

(1)竹英-贡达断裂带内的石英溶蚀微形貌简单,以橘皮状为主,表明该断层不具有新活动性.

(2)结合 SEM 与 ESR 确定竹英-贡达断裂在中更新世的最后一次活动时间为距今(37.1±3.0)万年.

(3)断层泥中的石英颗粒表面的形貌特征可以反映断层活动的年代信息.

(4)SEM 方法可以作为活动断层测年研究的参考资料,但不能作为年代测量的主要方法.

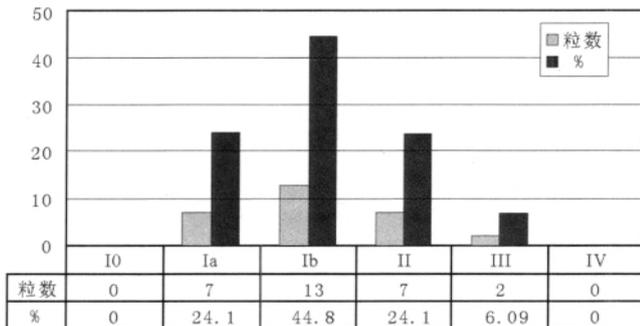


图 6 竹英-贡达断裂石英形貌类型分布直方图

Fig. 6 Surface morphology distribution histogram of quartz from Zhuying-Gongda fault

I0—贝壳状 (conchiform); Ia—次贝壳状为主 (mainly sub-conchiform); Ib—橘皮状为主 (mainly orange peel form); II—鳞片、苔藓状为主 (mainly scale and moss forms); III—钟乳状、虫蛀状为主 (mainly stalactiform and worm hole form); IV—锅穴状、珊瑚状为主 (mainly pothole and coral forms)

### 参考文献:

[1] Bos B, Spiers C J. Effect of phyllosilicates on fluid assisted healing of gouge-bearing faults[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2000, 184: 199—210.

[2] 汪明武, 章杨松, 李丽. 应用断层泥石英形貌测龄评价桥基断裂活动性[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版, 2002, 25(3): 335—339.

[3] 戚国庆, 黄润秋, 彭汉兴. 水岩相互作用下结晶岩的矿物演化[J]. 矿物岩石, 2004, 24(1): 43—47.

[4] 张秉良, 方仲景, 李建国, 等. 根据断层泥的微观特征探讨断层的活动性[J]. 地质力学学报, 1996(2): 41—46.

[5] 申俊峰, 申旭辉, 曹忠全, 等. 断层泥石英微形貌特征在断层活动性研究中的意义[J]. 矿物岩石, 2007, 27(3): 90—96.

[6] 俞维贤, 安晓文, 李世成, 等. 澜沧江流域主要断裂断层泥中石英碎砾表面 SEM 特征及其断裂活动研究[J]. 地震研究, 2002, 25(3): 275—280.

[7] 李兴唐. 活动断裂研究与工程评价[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 91.

[8] 许学汉. 新构造研究与应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 89—90.

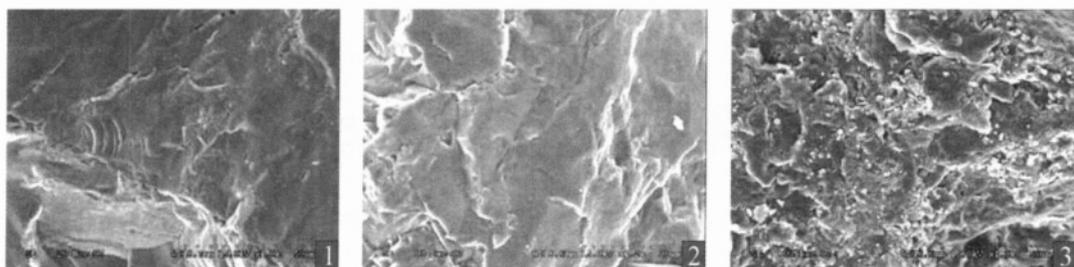


图 7 竹英-贡达断裂石英形貌

Fig. 7 Surface morphology of quartz from Zhuying-Gongda fault

1—次贝壳状(sub-conchiform); 2—橘皮状(orange peel form); 3—苔藓状(moss form)

于矿体氧化程度较高,大部分原生矿被氧化矿所包裹。对类似地区低缓激电异常的解释必须结合地质背景等综合方法进行分析,才能取得良好的效果。

哈拉山铅锌矿频率域激电法的应用,不仅体现了频率域激电偶极装置具有对极化体形状和产状分辨能力及对覆盖层的穿透能力较强等优点<sup>[3]</sup>,实现了本区找矿的新突破,同时也为今后在复杂地形和交通

不便地区利用激电找矿积累了经验。

#### 参考文献:

- [1]何继善,等.双频道激电法研究[M].长沙:湖南科学技术出版社,1989.
- [2]蒙轸,杜录平,谢志峰.甘肃省宕昌县代家庄铅锌矿的发现及物探化探找矿效果[J].物探与化探,2006,30(6):498.
- [3]李金铭.激发极化方法技术指南[M].北京:地质出版社,2004.

## THE APPLICATION OF FREQUENCY-DOMAIN INDUCED POLARIZATION METHOD IN THE HALASHAN LEAD-ZINC ORE FIELD IN TIBET

ZHU Chao-ji, ZHOU Zhao-wu, WANG Zhi-mao

(Qinghai Institute of Geoexploration for Non-ferrous Metals, Xining 810007, China)

**Abstract** : The Halashan lead-zinc deposit contains high-Zn ore with high oxidation. The altitude of the ore field is above 4300 m. The ore bodies are controlled by the secondary structures of the major fault belt. The rocks in the deposit are lithologically simple. The electrical features of the ore bodies are different from those of the wallrocks. By measurement of frequency-domain induced polarization method, small-amplitude low-gradient anomalies of frequency ( $F_s$ ) are delineated. Analysis shows that they are anomalies related to mineralization. With geological projects, several highly oxidized Pb-Zn ore bodies are found. This method is therefore verified to be effective in searching such ore at similar situation.

**Key words** : frequency-domain induced polarization; geophysical feature; small-amplitude low-gradient anomaly; oxidized lead-zinc deposit; Tibet

作者简介:朱朝吉(1962—),男,青海省乐都县人,物探工程师,1981年毕业于长春冶金地质学校物探专业,长期从事固体矿产物探勘查工作,通信地址:青海省西宁市建国路勤奋巷62号,青海省有色矿勘院,邮政编码810007, E-mail// qhxnzhuchaoji@126.com

(上接第62页 / continued from Page62)

## RESEARCH ON THE MICRO-MORPHOLOGY OF QUARTZ FROM FAULT GOUGES IN ZHUYING-GONGDA FAULT, SICHUAN PROVINCE

ZHU Xue-qiang, WU De-chao

(College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract** : Gouge is an information carrier for fault activity. The date of the fault activity can be identified by observation of the micro-morphologic characteristics of quartz in the gouges. In this paper, the dissolved micro-morphology of quartz, which are collected from the gouge of the Zhuying-Gongda fault belt in Sichuan Province, are observed and statistically analyzed by SEM. The result shows that the dissolved micro-morphology is not complicated. Comparing it with the diagram by Kanaori Y et al, it is indicated that the fault activity time was of Middle Pleistocene. This analysis is consistent with the dating value of the fault by ESR.

**Key words** : Zhuying-Gongda fault; gouge; quartz; dissolved micro-morphology; activity of fault; Sichuan Province

作者简介:朱学强(1983—),男,吉林人,成都理工大学构造地质学专业硕士研究生,通信地址:成都理工大学地球科学学院514室,邮政编码610059, E-mail// dongbeiqiang1983@163.com