

# 阿尔金断裂剪切过程中定向生长锆石的发现及其意义

## ——来自于显微构造和锆石内部矿物包裹体的证据

李海兵 杨经绥 吴才来 宋述光 刘福来 史仁灯

(中国地质科学院地质研究所 北京 100037)

**摘要** 阿尔金断裂带中段出露一套走滑过程中形成的花岗质和角闪质糜棱岩。从糜棱岩中分选出3种类型的锆石:岩浆成因的长柱状锆石、柱状锆石和变质成因的次浑圆状锆石。这3种锆石的显微结构和构造特征以及它们内部的矿物包裹体均有所区别。其中长柱状锆石在岩石中定向排列,晶体长轴方向与拉伸线理方向一致,并且内部的所有矿物包裹体的长轴方向均与锆石的长轴方向平行,即与拉伸线理方向平行;拉曼研究表明包裹体矿物具熔融相特征;阴极发光图像中反映出这种锆石具有相对均一的内部结构。因此,该长柱状锆石是在韧性剪切过程中部分熔融环境下快速定向生长的,不仅代表了走滑剪切过程中的剪切应变方向,而且其生长年龄代表了走滑剪切的时代。

**关键词** 走滑剪切;糜棱岩;定向生长锆石;矿物包裹体;阿尔金断裂

**中图分类号**: P542+.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-2552(2002)-06-0298-06

阿尔金断裂带的形成时代和地质作用,尤其与青藏高原隆升的关系,一直是国内外研究者关注的一个热点<sup>[1-11]</sup>。研究发现,阿尔金断裂带中段的索尔库里地区出露的糜棱岩以及糜棱岩化岩石(图1),发育一种定向排列的长柱状锆石,与拉伸线理方向一致<sup>[7,8]</sup>。这种锆石是剪切过程中定向生长形成的,还是早期形成的锆石在后期剪切过程中被迫定向?对重塑阿尔金断裂构造演化史至关重要。本文试图通过对该长柱状锆石的显微构造和矿物包裹体研究,提出了这种长柱状锆石是剪切过程中定向生长形成的新证据。

### 1 地质背景及样品的基本特征

研究区主要位于阿尔金断裂带中段索尔库里地区(图1)。断裂带中段主要由近NE70°方向的走滑断裂系和与之相关的一系列拉分盆地、挤压脊、隆起等特征构造线以及其北侧近平行的、以弧状逆冲

带为特征的构造线所组成。在走滑带与逆冲带之间出露一系列中深变质岩带、蛇绿岩带、古火山岩带以及一些中、新生代的盆地<sup>[4,12]</sup>。在索尔库里地区,以新生代巨型长条状走滑断陷盆地<sup>[9]</sup>以及两侧由古老变质岩和侏罗系(含煤岩系)所构成的隆起(山)为特征(图1)。古老变质岩系主要由古中元古代片麻岩、片岩和部分大理岩所组成<sup>[13]</sup>,记录了阿尔金断裂活动之前的、或阿尔金断裂早期的地质演化历史。

我们在阿尔金断裂带中段索尔库里地区发现一套与走滑变形有关的花岗质、角闪质糜棱岩(图1)。这套糜棱岩及糜棱岩化岩石主要分布在被称之为中元古界塔什达坂群之中<sup>[12]</sup>,宽约100~500 m,沿现今阿尔金断裂的南侧呈带状分布(图1),糜棱面理走向总体为NE70°,倾向NW340°陡倾。业已证实,由这套糜棱岩及糜棱岩化岩石所组成的高应变带,即韧性剪切带是阿尔金断裂带早期走滑变形的产物<sup>[7,8]</sup>。

通过研究发现,这条韧性剪切带是一条典型的

收稿日期 2002-01-09;修订日期 2002-05-13

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(编号:G1998040800)和中法“阿尔金山—祁连山构造演化及岩石圈剪切作用”合作项目资助。

作者简介:李海兵,1966年生,男,博士,研究员,从事构造地质学及新构造方面的研究。

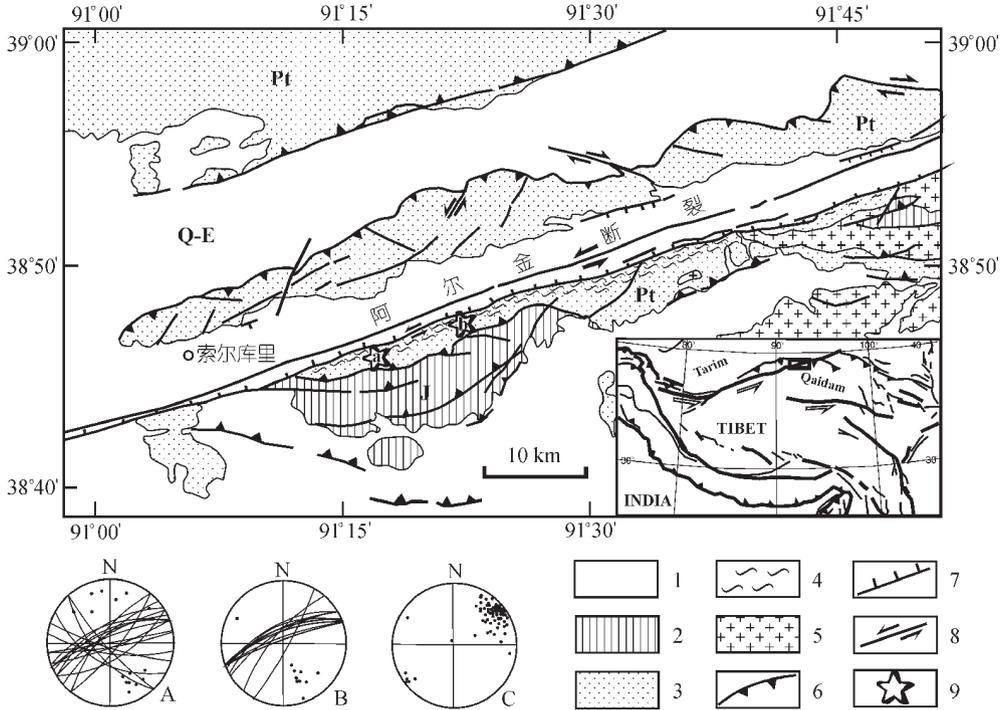


图1 阿尔金断裂带中段索尔库里地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Xorkol area in the central segment of the Altun fault belt  
图下边的A、B图分别为地质略图中a、b两个采样点面理的赤平投影图(下半球投影, 线代表面理的投影, 点代表面理的极点); C图为研究区拉伸线理投影图

1—新生界 2—侏罗系 3—元古宇 4—糜棱岩带 5—花岗岩 6—逆冲断裂 7—正断裂 8—走滑断裂 9—采样位置

转换挤压剪切带,具有与现今阿尔金断裂带一致的构造应力环境,以及从韧性→韧—脆性→脆性相对连续的形成机制即左行转换挤压作用<sup>[7]</sup>。

## 2 锆石特征

取3块糜棱岩样品,分别为I号样花岗质糜棱岩(S99-6)、II号样角闪质糜棱岩(S99-9)和III号样角闪质糜棱岩(S99-25)进行锆石分选。挑选出来的锆石在双目镜下可清楚地显示出长柱状、柱状和弱浑圆状3种形态。3种锆石透明度均较好,无色或浅紫红色。据镜下观察,从6块不同标本的XZ面的薄片中找到长柱状锆石42粒,其长轴均定向分布,另有30粒柱状和弱浑圆状锆石,其长轴分布无定向性(图2)。

长柱状锆石(主要发育在糜棱岩化花岗质岩石或花岗质糜棱岩中)的特征是粒度相对较大,主晶面平直、清晰,晶棱直。显微镜下显示这类锆石在岩石中排布有方向性,其晶体长轴生长方向与拉伸线理方向基本一致(图2)。后者产状近水平,走向NE70°。

柱状锆石粒度相对也较大,晶面平直、清晰,晶

棱直,晶体长宽比相对长柱状锆石较小。显微镜下显示这类锆石的长轴分布在岩石中无方向性。

弱浑圆状锆石在糜棱岩化花岗质、角闪质岩石中均有分布,主要特征是粒度相对较小,发育多晶面,在岩石中其长轴分布无定向性。

## 3 锆石内部及其矿物包裹体特征

将这3类锆石分别进行激光拉曼和阴极发光分析。3类锆石中矿物包裹体均较为发育,总体矿物类型较为单调,但有所区别,尤其是定向排列的长柱状锆石内部矿物包裹体与其他两类差别较大。3类锆石的阴极发光特征也有较大差别(阴极发光测试在美国斯坦福大学阴极发光实验室完成,部分测试在中国石油规划研究院阴极发光实验室完成)。

长柱状锆石内部矿物包裹体较为发育,主要矿物为石英、斜长石、钾长石。所有包裹体为长柱状(或长片状),均顺着锆石长轴方向定向排列(图3、4),反映锆石生长在一个特定的构造应力场环境下。锆石的阴极发光图像上不见环带或残余内

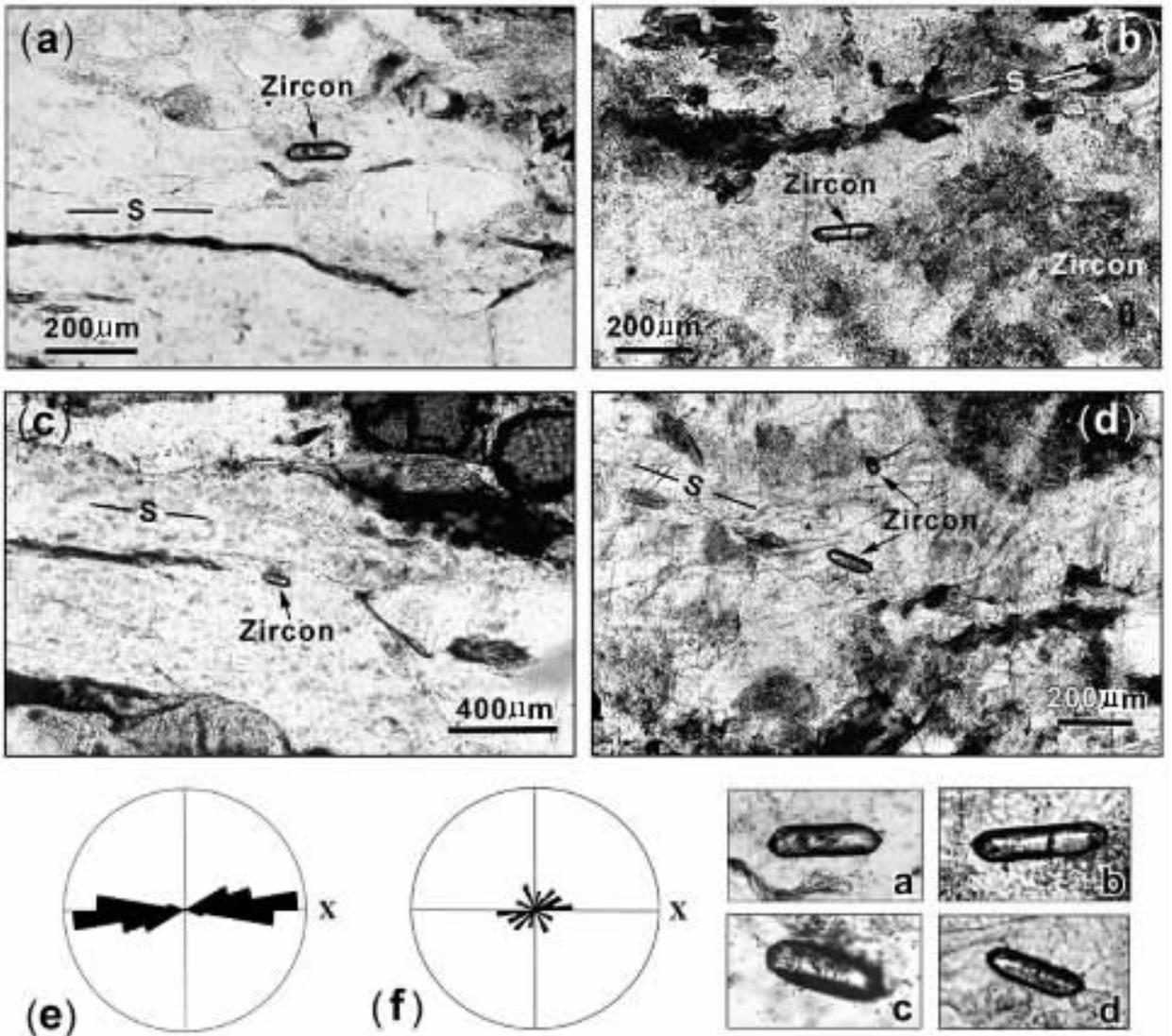


图2 糜棱岩化岩石中的锆石显微结构(XZ面,单偏光下显微照片)

Fig. 2 Microfabric of zircon in mylonitized rock

S—叶理面;Zircon—锆石 (a)(b)(c)(d)图中,长柱状晶形的锆石呈定向排列,其晶体长轴平行于糜棱面理S (b)图右下方和(d)图中上方呈弱浑圆状晶形的锆石,其长轴无定向性 (e)图为长柱状锆石的长轴分布方向玫瑰花图(42粒锆石),其长轴分布具有明显的方向性,与拉伸线理方向(X)一致 (f)图为弱浑圆状锆石的长轴分布方向玫瑰花图(30粒锆石),其长轴无定向性。(e)和(f)图是根据岩石薄片(XZ面)中的锆石统计得来的。右下小图为各对应图中各长柱状锆石的放大特征

核,只见顺柱面方向的条纹,总体较为均一,并含有相对较高的Th/U值,显示岩浆成因锆石的特征<sup>[7,14,15]</sup>。由于该长柱状锆石的结晶温度为600~700°C<sup>[7,8]</sup>,一般认为锆石U-Pb体系的封闭温度较高,约为650~750°C<sup>[16,17]</sup>,因此,长柱状锆石的结晶温度与锆石U-Pb体系的封闭温度基本一致,这种锆石的U-Pb年龄可能为结晶年龄。据此,该长柱状锆石的结晶年龄不仅代表同构造部分熔融发生的时

代,而且代表走滑剪切的年代。

柱状锆石在显微镜下(单偏光)可见其内部具有明显的规则环带构造,岩浆震荡环带,但长柱状锆石内部没有这种环带构造。柱状锆石内的矿物包裹体有些顺着环带构造生长,主要矿物为磷灰石<sup>[7]</sup>。这种锆石的阴极发光图像上见有环带,并含有相对较高的Th/U值,显示岩浆成因锆石的特征<sup>[7,14,15]</sup>。其U-Pb年龄可能为冷却年龄,因为统

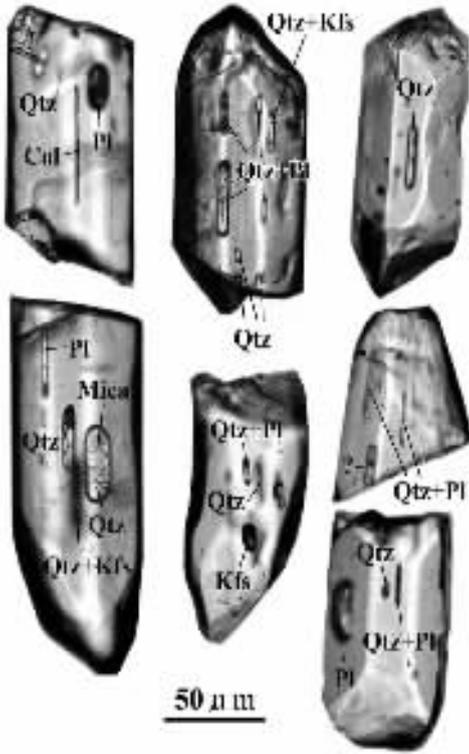


图3 糜棱岩中定向生长的长柱状锆石内部矿物包裹体特征

Fig. 3 Features of mineral inclusions in oriented long-prismatic zircon in mylonite

这些长柱状锆石(已折断)内部矿物包裹体发育,并且所有包裹体都为长柱状(或长片状),均顺着锆石长轴方向定向排列,主要矿物为石英、斜长石、钾长石  
Qtz—石英 Pl—斜长石 Kfs—钾长石 Cal—方解石 Mica—云母

计得出这种锆石类型属P2、P3、P4、P5和S20型,多数为P4型,相对应的结晶温度为700~850℃(主要为800℃)锆石晶形即柱面和锥面形态与熔浆结晶温度的关系<sup>[18]</sup>,这个温度基本高于锆石U-Pb体系的封闭温度。

弱浑圆状锆石,其内部的矿物包裹体生长无方向性,主要矿物为磷灰石,而阴极发光图像上可见内部核或具增生边<sup>[7]</sup>,个别具有椭圆状的残余核心,明显反映出两个生长部分(核心部分和增生的外围部分),这种锆石显示出相对较低的Th/U值,反映变质成因锆石的特征。

#### 4 讨论与意义

在糜棱岩中分选出3种类型的锆石:岩浆成因的长柱状锆石、柱状锆石和变质成因的次浑圆状锆

石。其中长柱状锆石在岩石中定向排列,晶体长轴方向与拉伸线理方向一致。那么,这种长柱状锆石的定向特征是否有可能是早期形成的锆石在后期韧性剪切过程中使它被迫顺剪切方向定向排列呢?又根据什么来确定是与不是呢?由于锆石内部矿物包裹体的组合特征以及构造特征是反映锆石形成环境的直接标志,因此,通过矿物包裹体的研究来判断应该是较好的方法,因为早期形成的锆石与同剪切过程中形成的锆石,其内部矿物包裹体的特征尤其是构造特征有明显的不同。

岩浆成因的长柱状锆石内部的所有矿物包裹体的长轴方向均与锆石的长轴方向平行,也就是与拉伸线理方向平行,包裹体矿物组合为石英、斜长石、钾长石以及石英与斜长石熔融体、石英与钾长石熔融体,明显地反映出熔融相特征。同时,阴极发光图像反映出这种锆石具有相对均一的内部结构。因此,可以认为长柱状锆石是在韧性剪切过程中部分熔融环境下快速定向生长的,它不仅代表了走滑剪切过程中的剪切应变方向,具有构造意义,而且说明这种锆石的生长年龄(结晶年龄)代表了走滑剪切的时代。

锆石是在岩浆环境或变质环境下结晶形成的。因此,通过(单一成因)锆石的U-Pb法进行同位素测年,可以获得岩浆的侵位年龄(或岩浆的冷却年龄)或岩石的变质年龄。<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar法同位素测年是确定构造事件时代的有效方法,所测矿物通常是同构造生长的角闪石、黑云母、白云母以及钾长石。但是,由于锆石U-Pb体系的封闭温度(远)大于角闪石、黑云母、白云母Ar-Ar体系的封闭温度,因此,在阿尔金断裂走滑变形过程中这种定向生长的长柱状锆石的结晶年龄(或冷却年龄)比同构造的角闪石、黑云母或白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄更接近断裂的形成时代。实验结果也证实了这一点:定向生长的长柱状锆石U-PbSHRIMP年龄为239~244 Ma<sup>[8]</sup>;而定向生长的角闪石<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄为222~225 Ma<sup>[8]</sup>;同构造的黑云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄为189 Ma<sup>[7]</sup>。因此,在特定的环境下,这将使得通过锆石的U-Pb法定年来直接确定构造活动时代成为较好的方法之一。

在野外工作中得到了万渝生研究员、张建新研究员、孟繁聪博士的帮助和支持,与Tapponnier教授进行了有益的讨论,在此表示衷心感谢!

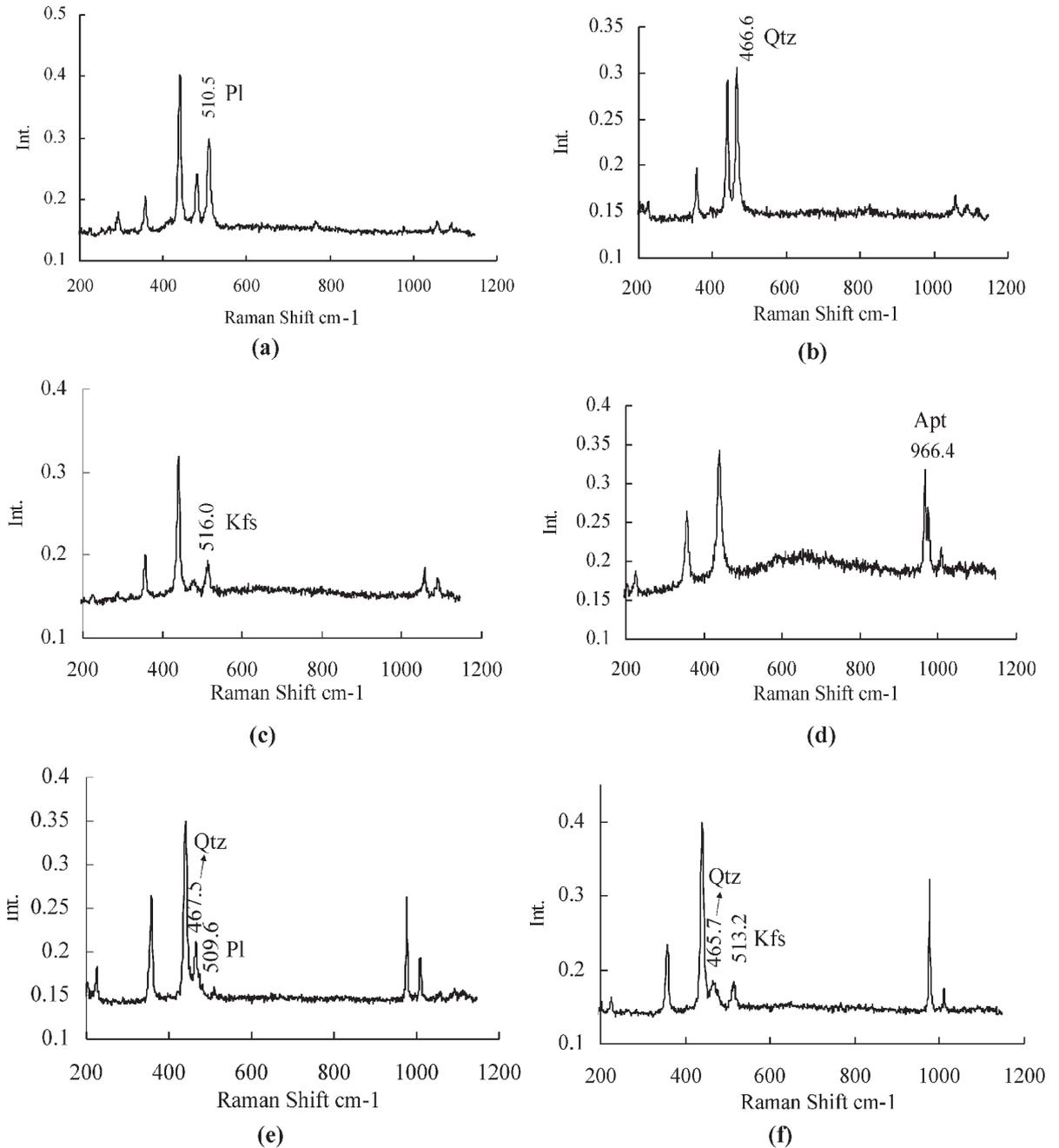


图4 糜棱岩中定向生长的长柱状锆石内部矿物包裹体的Raman谱线图

Fig. 4 Raman spectrum diagram of mineral inclusions in oriented long-prismatic zircon in mylonite

测试在日本东京工业大学地球与行星科学系拉曼实验室完成,激光拉曼谱仪为JASCO NRS-2000型,激光功率20mW,光栅波长514.54nm。(a)斜长石(510.5谱峰)(b)石英(466.6谱峰)(c)钾长石(516谱峰)(d)磷灰石(966.4谱峰);(e)石英和斜长石的集合体(熔融体)(f)石英和钾长石的集合体(熔融体)。这些矿物组合反映了一定程度的熔融体相特征。其余峰为典型锆石的谱峰

#### 参考文献:

- [1] 张治洮. 阿尔金断裂的地质特征[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1985, 9: 20~32.
- [2] 郑剑东. 阿尔金山大地构造及其演化[J]. 现代地质, 1991, 5(4): 347~354.
- [3] 葛肖虹, 张梅生, 刘永江, 等. 阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 295~301.

- [ 4 ] 崔军文,唐哲明,邓晋福,等. 阿尔金断裂系[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [ 5 ] Arnaud N, Delville N, Montel J M, et al. Paleozoic to Cenozoic deformation along the Altyn Tagh fault in the Altun Shan massif area, Eastern Qilian Shan, NE Tibet, China[C]. American Geophysical Union Annual Meeting Abstracts, 1999, F1018.
- [ 6 ] 刘永江,叶慧文,葛肖虹,等. 阿尔金断裂变形岩石激光微区<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄[J]. 科学通报, 2000, 45(19): 2101~2104.
- [ 7 ] 李海兵. 阿尔金断裂带的形成时代及其走滑作用对青藏高原北部隆升的贡献[D]. 中国地质科学院博士论文, 2001.
- [ 8 ] 李海兵,杨经绥,许志琴,等. 阿尔金断裂印支期走滑的地质及同位素证据[J]. 科学通报, 2001, 46(16): 1333~1338.
- [ 9 ] 李海兵,杨经绥,史仁灯,等. 阿尔金走滑断陷盆地的确定及其与山脉的关系[J]. 科学通报, 2002, 47(1): 63~67.
- [ 10 ] Tapponner P, Xu Z, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau[J]. Science, 2001, 294(23): 1671~1677.
- [ 11 ] Meng Q-R, Hu J-M and Yang F-Z. Timing and magnitude of displacement on the Altyn Tagh fault: constraints from stratigraphic correlation of adjoining Tarim and Qaidam basin, NW China[J]. Terra Nova, 2001, 13(2): 86~91.
- [ 12 ] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [ 13 ] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 中华人民共和国区域地质调查报告, 索尔库里幅(1:200000) [R]. 1981.
- [ 14 ] Robb L J, Armstrong R A and Waters D J. The history of granulite-facies metamorphism and crustal growth from single zircon U-Pb geochronology: Namaqualand, South Africa[J]. Journal of Petrology, 1999, 40(12): 1747~1770.
- [ 15 ] Hokada T, Suzuki S, Motoyoshi Y, et al. On the partial-melting during UHT metamorphism: Implications from mineral texture, feldspar thermometry and zircon chemistry of the Archaean Napier complex, East Antarctica, AGU[C]. 2000 Western Pacific Geophysics Meeting, Abstracts, V31A-03C. 2000.
- [ 16 ] Dodson M H and McClelland-Brown E. Isotopic and palaeomagnetic evidence for rates of cooling, uplift and erosion[A]. In: Snelling N J (ed.) Geochronology and the Geologic Record[C]. Geological Society, London, Memoirs, 1985, 10: 315~325.
- [ 17 ] Searle M P. Geological evidence against large scale pre-Holocene offsets along the Karakoram Fault: implications for the limited extrusion of the Tibetan Plateau[J]. Tectonics, 1996, 15: 171~186.
- [ 18 ] Pupin J P. Zircon and granite petrology[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1980, 73: 207~220.

## Discovery of oriented zircon growing in the shear process of the Altun ( Altyn ) fault and its significance : Evidence from microstructure and mineral inclusions in zircon

LI Haibing YANG Jingsui WU Cailai

SONG Shuguang LIU Fulai SHI Rendeng

*(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)*

**Abstract:** A suite of granitic and amphibolitic mylonite formed in the process of strike-slip shear is exposed in the central segment of the Altun ( Altyn ) fault belt. Three types of zircon are identified from the mylonite: long-prismatic zircon, prismatic zircon of magmatic origin and subrounded zircon of metamorphic zircon. The three types of zircon are more or less different in respect to their microstructural features and mineral inclusions therein. Of these types, long-prismatic zircon grains are oriented in the rock, with their long axis oriented in the same direction as the stretching lineation and the long axes of all the mineral inclusions therein being parallel to that of the zircon, i.e. to the direction of stretching lineation. Raman spectrum study indicates that the inclusion minerals show the melting phase feature, and cathodoluminescence images show that this type of zircon has a relatively homogeneous internal structure. Therefore, the long-prismatic zircon resulted from rapid oriented growth in a partial melting regime in the ductile shear process. It not only denotes the direction of shear strain in the strike-slip shear, but the growth age ( crystallization age ) of this type of zircon denotes the age of strike-slip shear.

**Key words:** strike-slip shear; mylonite; oriented growth zircon; mineral inclusion; Altun fault