

# 从德令哈地震分析青藏高原北缘东段的 深部构造活动

姜 枚<sup>1</sup> 许志琴<sup>1</sup> 钱荣毅<sup>2</sup> 王亚军<sup>1</sup> 张立树<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037;  
2. 中国地质大学地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

**摘要:** 在祁连山南北布设的 10 台 REFTEK 宽频地震仪器记录到了 2003 年 4 月发生在仪器台阵范围内的 6.7 级地震及其数十次余震, 提供了研究青藏高原北缘深部构造的新资料, 对 3 级以上震源的定位和震源机制研究结果表明, 柴达木盆地北缘逆冲左行走滑断裂东段的宗务隆山逆冲断裂在南北挤压作用下引发了此次地震活动, 是陆陆碰撞和内陆俯冲的结果, 青藏高原北缘的走滑断裂在浅部呈缓倾斜, 深部往往以较陡的产状向下延伸。震源区的构造分析证实了印度板块岩石圈的超深俯冲作用对高原北缘的影响, 受南北向应力作用影响形成的走滑断裂近东西向的位移目前仍很剧烈。

**关键词:** 德令哈; 青藏高原北缘; 地震; 精确定位; 活动断裂

**中图分类号:** P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)02-0268-07

青藏高原北缘自西向东包括很大范围, 本次研究仅仅涉及北缘东段的祁连地体和柴达木地体的有关问题。印度板块与欧亚大陆的碰撞、印度板块向青藏高原的俯冲, 对远离碰撞带的北部边缘各地体同样具有很大的影响, 在体间和地体内部由于各地体的相对斜向会聚与碰撞而形成大的走滑构造<sup>[1-4]</sup>, 这一构造活动还在继续进行着。本区已进行的多项地质构造研究, 以及对岩石、地层、地球化学等方面的研究成果提供了研究深部构造的依据<sup>[2-8]</sup>。在本区进行的地震探测工作作为了解和查明深部构造活动的重要手段, 目的是把浅层地质研究与深部研究结合起来, 1989 年袁学诚<sup>[9-11]</sup>等穿越本区的深地震探测, 1998 年中法合作从青海湖、共和向南到玉树的剖面进行了宽频地震探测和人工爆破地震探测<sup>[12-14]</sup>, 不同程度地给出了地体边界和地体内部碰撞与斜向会聚的证据, 提供了地层叠置、穿插、俯冲的地震结果, 反映了青藏高原北部各地体地震速度特征、物质组成和差异, 在碰撞聚合的过程中构成各地体的不同结构, 但是, 当前对深部的认识仍然有许多需要深入研究的问题。

2002—2003 年在祁连山南北两侧的德令哈、大柴旦, 到祁连、张掖、民乐一带布置了宽频地震仪器(图 1), 目的在于

研究青藏高原的构造活动, 用于分析目前正在进行的深部构造活动的性状特征。

2003 年 4 月 17 日在青海德令哈西部山区发生了强度达 6.7 级的地震, 直到 4 月 22 日共发生 3~5 级余震 33 次, 位置大致沿北西向的宗务隆山分布。本专题组布设的 10 台宽频地震仪器(REFTEK)记录了该地震的主震和余震。

## 1 震源定位

10 台 REFTEK 仪器位置见图 1, 检波器最低频率为 0.01 s。其中 9 个台站记录到了该次地震的活动。孙长虹<sup>[15]</sup>提取 P 波和 S 波到时差采用双差定位法取得的结果绘于图 2, 张明<sup>[16]</sup>的结果与其类似。由于便携式仪器邻近震源且台站数相对较多, 故能较清晰地反映出震源位置的特征<sup>[16-17]</sup>, 而中国地震台网测定结果较为分散, 没有显示出明显的规律性。

德令哈地震的主震和余震大致沿东西向略偏北西向分布(图 2), 与宗务隆山断裂方向相近, 但地表投影位置大多位于地质图所绘断裂位置的南侧, 震源投影位置的分布向东南明显偏离宗务隆山断裂带, 震源主要位于地下  $15 \pm 4$  km。

收稿日期: 2005-11-29; 改回日期: 2006-01-14

基金项目: 国土资源部及中国地质调查局青藏专项(2001010201, 2001010203)资助。

作者简介: 姜枚, 男, 1937 年生, 研究员, 长期从事地球物理探测和深部构造的研究工作; E-mail: meij@public3.bta.net.cn。

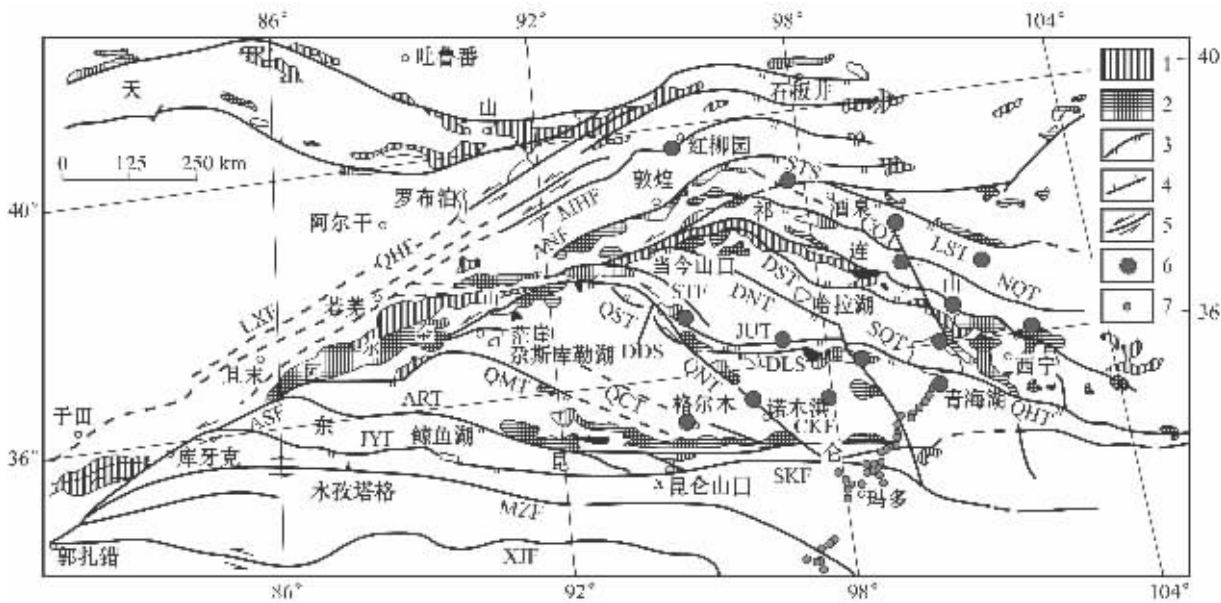


图 1 青藏高原北缘断裂构造图<sup>[16]</sup>

1—中、新元古界;2—新太古—古元古界;3—冲断裂或韧性推覆剪切带;4—正断裂;5—左行走滑断裂;6—2004 年宽频地震台站位置;7—1998 年地震台站剖面(图 4 位于此剖面北端);ASF—阿尔金南缘断裂;ANF—阿尔金北缘断裂;MHF—米兰—红柳园断裂;QHF—且末—黑尖山断裂;LXF—罗布庄—星星峡断裂;LST—龙首山冲断裂;STS—双塔韧性推覆剪切带;NQT—北祁连冲断裂;CQT—中祁连冲断裂;DST—大雪山—疏勒南山冲断裂;SQT—南祁连冲断裂;DNT—党河南山冲断裂;QHT—青海南山冲断裂;QNT—柴达木北缘逆冲-左行走滑断裂;STF—赛什腾左行走滑断裂;DDS—达肯大坂韧性左行平移剪切带;JUT—宗务隆冲断裂;QST—柴达木北缘山前冲断裂;DLS—德令哈韧性推覆剪切带或冲断裂;QCT—柴中冲断裂;QMT—祁漫塔格冲断裂;ART—阿尔喀冲断裂;JYF—鲸鱼湖断裂;CKF—中昆仑断裂;SKF—南昆仑断裂;MZF—木孜塔格断裂;XJF—西金乌兰—金沙江断裂

Fig.1 Fault structure on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau <sup>[16]</sup>

1—Meso- and Neoproterozoic;2—Neoproterozoic-Paleoproterozoic;3—Thrust fault or ductile nappe shear zone;4—Normal fault;5—Sinistral strike-slip fault;6—Location of broad-band seismic stations in 2004;7—Profile of seismic stations in 1998 (Fig.4 is located at the northern end of the profile)—ASF—Altun southern margin fault;ANF—Altun northern margin fault;MHF—Milan-Hongliuyuan fault;QHF—Qiemo-Heijianshan fault;LXF—Luobuzhuang-Xingxingxia fault;LST—Longshoushan thrust;STS—Shuangta ductile nappe shear zone;NQT—Northern Qilian thrust;CQT—Central Qilian thrust;DST—Daxueshan-Shule Nanshan thrust;SQT—Southern Qilian thrust;DNT—Danghe Nanshan thrust;QHT—Qinghai Nanshan thrust;QNT—Northern Qaidam basin marginal sinistral strike-slip fault;STF—Serteng sinistral strike-slip fault;DDS—Daken Daban sinistral strike-slip shear zone;JUT—Jun Ul thrust;SQT—Northern Qaidam marginal piedmont thrust;DLS—Delingha ductile nappe shear zone or thrust;QCT—Central Qaidam thrust;QMT—Qimantag thrust;ART—Arka thrust;JYF—Jingyuhu fault;CKF—Central Kunlun fault;SKF—Southern Kunlun fault;MZF—Muztag fault;XJF—Xijir Ulan-Jinsha River fault

## 2 青藏高原北缘的岩石圈构造模式

印度大陆向亚洲大陆陆下的俯冲是青藏高原南部岩石圈构造运动的主旋律,新的研究已表明<sup>[1]</sup>,这个俯冲是印度岩石圈以极缓的倾角向北俯冲,达到了唐古拉山下 200 km 深处。可见,这一超深俯冲意义重大,但是高原北缘的构造形变性质与南部不同,在北缘最重要的是大型走滑断裂和陆内深俯冲。

许志琴<sup>[1]</sup>归结的新模式是:青藏高原南部印度岩石圈的超深俯冲,北缘克拉通的陆内深俯冲,腹地深地幔羽构造,超岩石圈的“右旋隆升”及物质向东挤出。

正是这种深部发生的南北挤压作用造就了本区由北西向到近东西向与北东东向两组断裂系统组成的断裂构造格局。对德令哈地震的研究为本区断裂构造活动提供了直接证据。

## 3 震源地区的主要断裂构造

柴达木地区发育着一系列北西向到东西向的断裂带,此次德令哈地震位于柴达木北缘断裂带附近,其北有南祁连冲断裂,其南为柴中冲断裂(图 1~2),崔军文等<sup>[16]</sup>认为,柴达木盆地北部由柴达木盆地和南祁连山之间的一系列中低山组成。其北侧的一系列北西—东西向断裂统称为柴达木北缘逆冲—左行走滑断裂(QNT),全长 700 km(图 1~2),按走向

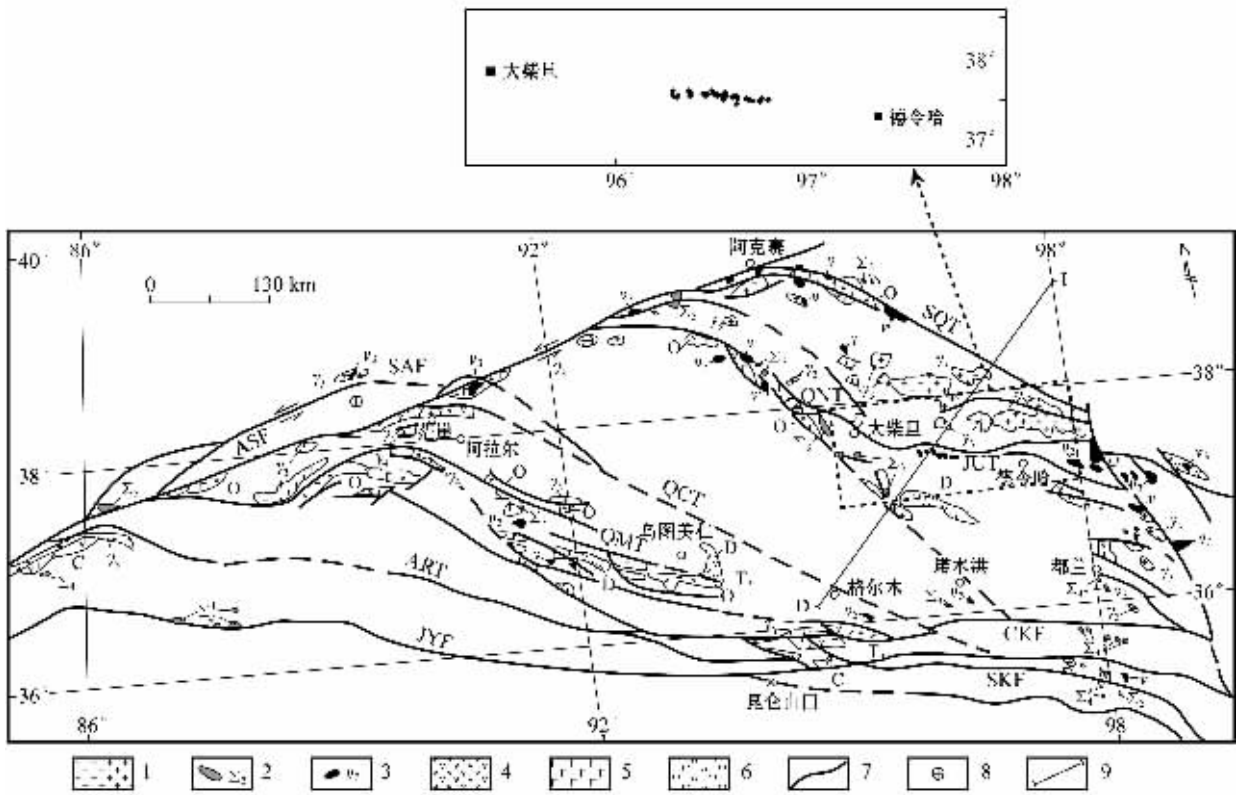


图2 柴达木盆地周缘主要岩浆岩体分布与断裂构造关系(据崔军文<sup>[16]</sup>,1999,有修改)

1—花岗岩( $\gamma_3$ —早古生代; $\gamma_4$ —晚古生代);2—超基性岩( $\Sigma_3$ —早古生代; $\Sigma_4$ —早古生代; $\Sigma_5^1$ —早三叠世);3—早古生代辉长岩;4—中性火山岩;5—基性火山岩;6—酸性火山岩;7—断裂;8—变质岩;9—图3剖面位置。SQT—南祁连冲断裂;QNT—柴达木北缘冲断裂;JUT—宗务隆山冲断裂;QCT—柴中冲断裂;QMT—祁漫塔格冲断裂;ART—阿尔喀冲断裂;JYF—鲸鱼湖断裂;CKF—中昆仑断裂;SKF—南昆仑断裂;MZT—木孜塔格断裂;ASF—阿尔金山南缘断裂;SAF—南阿尔金山断裂

Fig.2 Relation between main magmatic intrusions and fault structures around the Qaidam basin (modified from Cui Junwen<sup>[16]</sup>,1999)

1—Granite ( $\gamma_3$ —Early Paleozoic;  $\gamma_4$ —Late Paleozoic); 2—Ultrabasic rocks ( $\Sigma_3$ —Early Paleozoic;  $\Sigma_4$ — Late Paleozoic;  $\Sigma_5^1$ —Early Triassic); 3—Early Paleozoic gabbro; 4—Intermediate volcanic rocks; 5—Mafic volcanic rocks; 6—Acid volcanic rocks; 7—Fault; 8—Metamorphic rocks; 9—Location of the profile in Fig.3. SQT—Southern Qilian thrust; QNT—Northern Qaidam marginal thrust; JUT—Jun Uli thrust; QCT—Central Qaidam thrust; QMT—Qimantag thrust; ART—Arka thrust; JYF—Jingyuhu fault; CKF—Central Kunlun fault; SKF—Southern Kunlun fault; MZT—Muztag thrust; ASF—Southern Altun marginal fault; SAF—Southern Altun fault

可将其分为东西两段，西段为赛什腾山—绿梁山—锡铁山左行走滑断裂(STF)，东段为宗务隆冲断裂(JUT)，分布在霍尔需走山以东的柴达木北缘东段(JUT)近东西走向南倾约60°，向西与 STF 走滑断裂连接，向东与青海南山冲断裂(QHT)斜接(图1)。构成柴达木北缘断裂带主体的中石炭统千枚岩、层状泥灰岩和含砾砂岩以高角度向北倾斜，岩层强烈褶皱，石英岩夹层和石英脉呈透镜状，总体上显示以南北向强烈收缩作用为主的变形特点，断裂以逆冲性质为主，亦可能有左行走滑运动分量<sup>[6-8,16]</sup>。STE 南边有柴达木北缘山前逆冲断裂带(QST)与柴达木盆地相邻，走向北西—北西西，

向北为中低角度倾斜的逆冲断裂或韧性推覆剪切带，在鱼卡河早古生代蛇绿岩中可见发育宽度1~2km的NNW向的韧性逆冲型剪切带，该断裂带除逆冲性质外，还具有强烈左行走滑特点<sup>[15-16]</sup>。这也说明柴达木北缘断裂带具有复杂的运动学特征，不同地段性质有异。

柴达木北缘断裂带总体上呈向两侧逆冲的不对称的扇形构造，其主干断裂东段为宗务隆山断裂。

德令哈主、余震的各次地震定位的位置位于大柴旦镇系与德令哈市之间，呈北西西(大约为北西68°)方向线状分布(图2)。这与附近的宗务隆山断裂的走向基本一致，但是震源



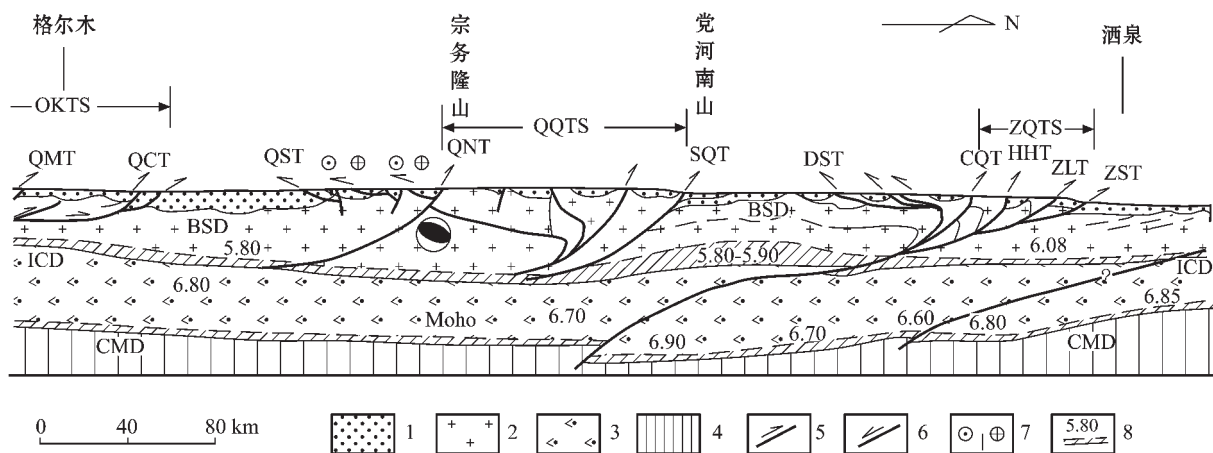


图 3 青藏高原北缘岩石圈构造剖面(据崔军文等<sup>[16]</sup>,有修改)

1—显生宙沉积盖层;2—强烈劈理化花岗质—闪长质结晶岩层(上地壳下部);3—高温强应变角闪岩、麻粒岩和榴辉岩层(下地壳);4—岩石圈地幔;5—冲断裂;6—正断裂;7—左行走滑断裂;8—低速层,数字为  $V_p$ ,单位  $\text{km/s}$ ;ZQTS—走廊南缘—北祁连上叠式逆冲序列;ZST—走廊南缘冲断裂;ZLT—走廊南山冲断裂;HHT—黑河冲断裂;CQT—中祁连冲断裂;DST—大雪山—疏勒南山冲断裂;QQTS—南祁连—柴达木北缘上叠式逆冲序列;SQT—南祁连冲断裂;QNT—柴达木北缘逆冲—左行走滑断裂;QST—柴达木北缘山前冲断裂;QKTS—柴达木南缘—北昆仑上叠式逆冲序列;QCT—柴中冲断裂;QMT—祁漫塔格冲断裂;BSD—基底拆离层;LCD—壳内拆离层;CMD—壳幔拆离层;Moho—莫氏面;图中宗务隆山下部的应力圆给出了本次地震的震源机制解<sup>[17]</sup>

Fig.3 Section of lithospheric tectonics on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau (modified from Cui Junwen et al.<sup>[16]</sup>)  
1-Phanerozoic sedimentary cover;2-Strongly foliated granitic-dioritic crystalline rock layer (lower part of the upper crust);3-High-temperature strong-strain amphibolite, granulite and eclogite layer (lower crust);4-Lithospheric mantle;5-Thrust;6-Normal fault;7-Sinistral strike-slip fault;8-Low-velocity layer. The figure is  $V_p$  (unit:  $\text{km/s}$ );ZQTS-Southern Zoulang marginal-northern Qilian overstep thrust sequence;ZST-Southern Zoulang marginal thrust;ZLT-Zoulang Nanshan thrust;HHT-Heihe thrust;CQT-Central Qilian thrust;DST-Daxueshan-Shulenanshan thrust;QQTS-Southern Qilian-northern Qaidam marginal overstep thrust sequence;SQT-Southern Qilian thrust;QNT-Northern Qaidam basin marginal sinistral strike-slip fault;QST-Northern Qaidam marginal piedmont thrust;QKTS-Southern Qaidam margin-northern Kunlun overstep thrust sequence;QCT-Central Qaidam thrust;QMT-Qimantag thrust;BSD-Basement detachment;LCD-Intracrustal detachment;CMD-Crust-mantle detachment;Moho-Mohorovicic discontinuity;The stress circle below the Jun UL Mountains in this figure indicates the focal mechanism solution of this earthquake<sup>[17]</sup>

深度达 15 km 以上<sup>[17-18]</sup>。格尔木—酒泉的地质构造断裂剖面图(图 3)可以清楚看到柴达木北缘断裂的这些构造特征。

#### 4 青藏高原北缘的地球动力学特征

据 1998 年的地震探测结果<sup>[12-14]</sup>和其他人工地震结果<sup>[10-11]</sup>,得到自北向南的不同位置的速度结果柱状剖面(图 4),本区位于盆地北部边缘,对应最左边的柱子。柴达木盆地的浅部沉积的最大厚度大约在 10 km 略多一点的深度上,本次震源位于盆地的北缘,沉积较薄,计算的震源深度达 15 km 以上<sup>[17-18]</sup>,这个深度相当于上地壳下部和中地壳上部,所以震源不可能是盆地沉积层范围内的活动。

宗务隆山断裂作为逆冲断裂(图 3),可能具有左行走滑的成分,地质观测见到南北向强烈收缩作用为主的变形特征<sup>[15-16]</sup>,其深部特征反映了宗务隆山断裂具有左行走滑特征

的逆冲断裂的形态。

震源排列的方向为北西  $68^\circ$ ,这与震源机制主应力球的方向一致,并且以主震震源机制解的滑动角可以得到该位置的断裂为逆断层(图 3)<sup>[17]</sup>。但是,不可忽略的事实是,延展数十千米的震源较紧密的沿着北西  $68^\circ$ 方向,而且震源深度有变化的情况下却大致保持着水平投影的线性分布,故可认为,该断裂在 10 km 以下的延伸角度变得较陡,而不是仍然按图 3 所示的平缓角度向下延伸。其实,青藏高原地表所见到的许多平缓产状的断裂往往在上地壳以下消失,或者呈陡立产状向深部延伸,特别是许多重要的边界断裂其浅部为多条产状平缓的逆断层,向下则汇在一起呈陡立产状向深部延伸(许志琴<sup>[1]</sup>的青藏高原隆升的碰撞动力学模式正是采用了这样的形式),而且岩浆岩体的分布往往与断裂位置相近(图 1~2),尤其是断裂交汇处可能形成深部岩浆物质通过断裂向上

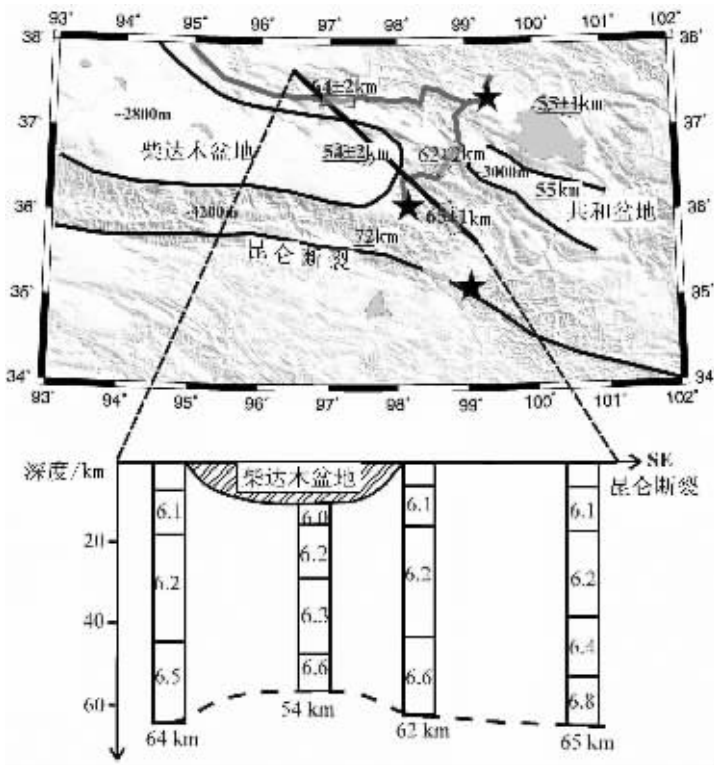


图4 柴达木盆地地震波速度柱状图<sup>[9]</sup>

图中\*号为人工震源位置,数字为莫霍面深度

Fig.4 Histogram of seismic wave velocities in the Qaidam basin

\* denotes the location of explosive-seismic hypocenters; numbers in the figure denote the Moho depth

涌出甚至发生喷发,这样的通道在深部一般不会是平缓产状的<sup>[15-16]</sup>。

青藏高原岩石圈各向异性的研究<sup>[20-21]</sup>早已确定,其在高原北部边缘与高原南部和中部的部分地区不同,在北部,特别是以走滑逆断层为主的祁连山和昆仑山地区,各向异性主轴方向为近东西向<sup>[20-21]</sup>,在祁连山一带从地壳到上地幔主应力轴几乎都是东西向或北西—南东向,震源机制研究结果也证实了这一点<sup>[22-24]</sup>。在高原北缘的祁连山一带伴随着大型走滑断裂存在着许多近东西向的走滑逆冲断裂,宗务隆山断裂是其中之一,它们正是南北部边缘的频繁地震活动的成因,显示了印度板块与欧亚大陆碰撞作用下,青藏高原北缘受挤压阻挠而向东挤出的构造活动过程,现在这一活动仍频繁发生。

### 5 结 语

2003年4月发生在德令哈西部宗务隆山地区的地震及其余震是青藏高原北缘构造活动的证据,利用便携式宽频地震仪取得的临近震源的可靠记录,对于研究青藏高原各地体

的陆陆碰撞的内陆俯冲有重要意义。

青藏高原北缘受着南北两面的挤压,北部地体向南部的俯冲以及南部印度岩石圈的向北推挤形成高原北缘特殊的构造格局。此次地震活动正是北缘继续碰撞、俯冲的结果,尽管高原北缘构造变形具有强烈的不均一性,而且时间上也有先后,可是,它们大多到目前还在继续受着南北挤压作用的影响,不断发生运动,地震的产生是经常的,这正是青藏高原在北缘继续扩张与隆升的直接证据,当然也为深部构造的研究创造了条件。

致谢:在本文的编写过程中,崔军文研究员给予了无私的帮助,吴良士研究员、曾校丰教授等参与了本项目工作,笔者在此一并致谢。

### 参考文献(References):

[1] 许志琴,姜枚,杨经绥,等. 青藏高原的地幔结构:地幔羽、地幔剪切带及岩石圈俯冲板片的拆沉[J]. 地质前缘, 2004, 11(4): 329~343.

Xu Zhiqin, Jiang Mei, Yang Jingsui, et al. Mantle structure of Qinghai-Tibet Plateau: Mantle plume, mantle shear zone and

- delamination of lithospheric slab [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, (4):329~343 (in Chinese with English abstract).
- [2] Peltzer G, Tapponnier P. Formation and evolution of strike slip faults, rifts, and basins during the India-Asia collision: An experimental approach [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1988, 93 (12): 1508~15117.
- [3] Avouacjp, Tapponnier P. Kinematic model of active deformation in central Asia [J]. *Geophys Res Lett*, 1993, 20:895~898.
- [4] Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Xu Qiang, et al. Mesozoic crustal evolution and dynamics of the east Kunlun-Taggula composite mountain chains [A]. *Proc 30th Int'l, Geol Congr [C]*. 1997, 7:7~20.
- [5] 郭坤一, 张传林, 赵宇, 等. 西昆仑造山带东段中新远古代洋内弧火山岩地球化学特征 [J]. *中国地质*, 2002, 29(2):161~166.  
Guo Kunyi, Zhang Chuanlin, Zhao Yu, et al. Geochemistry of Meso- and Neoproterozoic intra-oceanic arc volcanic rocks in the eastern segment of the western Kunlun orogenic belt [J]. *Geology in China*, 2002, 29(2):161~166 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李勇, 侯中建, 司光影, 等. 青藏高原东缘新生代构造层序与构造事件 [J]. *中国地质*, 2002, 29(1):30~36.  
Li Yong, Hou Zhongjian, Si Guangying, et al. Cenozoic tectonic sequence and tectonic events at the eastern margin of Qinghai Tibet plateau [J]. *Geology in China*, 2002, 29(1):30~36 (in Chinese with English abstract).
- [7] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂 [J]. *中国地质*, 2002, 29(4):346~350.  
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault [J]. *Geology in China*, 2002, 29(4):346~350 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 等. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩: 一个被肢解了的古特提斯洋壳 [J]. *中国地质*, 2004, 31(3): 225~239.  
Yang Jingsui, Wang Xibin, Shi Rendeng, et al. The Dur'ngoi ophiolite in East Kunlun, northern Qinghai-Tibet Plateau: a fragment of paleo-Tethyan oceanic crust [J]. *Geology in China*, 2004, 31(3): 225~239 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王有学, 韩果花, 姜枚, 等. 阿尔泰-阿尔金地学断面地壳结构 [J]. *地球物理学报*, 2004, 47(2):240~249.  
Wang Youxue, Han Guohua, Jiang Mei, et al. Crustal structure along the geosciences transect from Altay to Altun Tagh [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 47(2):240~249 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王有学, Mooney W D, 韩果花, 等. 台湾-阿尔泰地学断面阿尔金-龙门山剖面的地壳纵波速度结构 [J]. *地球物理学报*, 2005 年, 48(1):98~106.  
Wang Youxue, Walter D. Mooney, Han Guohua, et al. Crustal P-wave velocity structure from Altyn Tagh to Longmen mountains a long the Taiwan-Altay [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(1):98~106 (in Chinese with English abstract).
- [11] Wang Youxue, Walter D. Mooney, et al. The crustal structure from the Altai Mountains to the Altyn Tagh fault, northwest China [J]. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, NO. B6, 2322, doi: 10.1029/2001 JB000552, 2003.
- [12] Galve A, Jiang M, Hirn A, et al. Explosion Seismic P and S velocity and attenuation constraints on the lower crust of the North-Central Tibetan Plateau, and comparison with the Tethyan Himalayas: implication on composition, mineralogy, temperature, and tectonic evolution [J]. *Tectonophysics*. 2006 (in press).
- [13] Galve A, Hirn A, Jiang M, et al. Modes of raising northeastern Tibet probed by explosion seismology [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 203:35~43.
- [14] 薛光琦, 钱辉, 姜枚, 等. 青海东北部天然地震探测与岩石圈深部特征 [J]. *地球物理学报*, 2003, 24(1):19~26.  
Xue Guangqi, Qian Hui, Jiang Mei, et al. Studies on the velocity structure of crust-upper mantle beneath North-east Qinghai, China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 24(1):19~26 (in Chinese with English abstract).
- [15] 许志琴, 曾令森, 杨经绥, 等. 走滑断裂、“挤压性盆-山构造”与油气资源关系的探讨 [J]. *地球科学*, 2004, 29(6):631~643.  
Xu Zhiqin, Zeng Lingsen, Yang Jingsui, et al. Role of large-scale strike-slip faults in the formation of petroleum-bearing compressional basin-mountain range System [J]. *Earth Science*, 2004, 29(6): 631~643 (in Chinese with English abstract).
- [16] 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系 [M]. 北京:地质出版社, 1999.  
Cui Junwen, Tang Zhemin, Deng Jinfu, et al. Altyn Tagh Fault System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 (in Chinese with English abstract).
- [17] 孙长虹, 钱荣毅, 肖园林. 2003 年青海德令哈 6.7 级地震序列的重新定位和发震构造 [J]. *物探与化探*. 2006, 30(1):79~82.  
Sun Changhong, Qian Rongyi, Xiao Yuanlin. Relocation and earthquake structure of the magnitude 6.7 Delingha earthquake - sequence in Qinghai province [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*. 2006, 30(1):79~82 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张明. 青藏高原北缘天然地震的震源机制研究 [R]. 2006.  
Zhang Ming. The study of seismic focal mechanism in northern Qinghai-Tibet Plateau margin [R]. 2006 (in Chinese).
- [19] 李海鸥, 姜枚, 王有学. 青藏高原地壳的低速层与部分熔融 [J]. *物探与化探*, 2004, 28(4):290~293.  
Li Haiou, Jiang Mei, Wang Youxue. Low-velocity layers and partial melting in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2004, 28(4):290~293 (in Chinese with English abstract).
- [20] 姜枚, 许志琴, Hirn A, 等. 2003 青藏高原及其邻区地震各向异性 and 上地幔特征 [J]. *地球学报*, 2001, 27(2):111~116.  
Jiang Mei, Xu Zhiqin, Hirn A, et al. Teleseismic anisotropy and corresponding features of the upper mantle in Tibet Plateau and its neighboring areas [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 27(2):111~116 (in Chinese with English abstract).
- [21] 董英君, 姜枚. 青藏高原西部叶城-狮泉河地区岩石圈各向异性研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(5):418~424.  
Dong Yingjun, Jiang Mei. Study of anisotropy within lithosphere

- of western Tibetan Plateau [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(5):418~424(in Chinese with English abstract).
- [22] 徐纪人,赵志新,石川有三. 青藏高原中南部岩石圈扩张应力场与羊八井地热异常形成机制 [J]. *地球物理学报*,2005,48(4):861~869.
- Xu Jiren, Zhao Zhixin, Ishikawa Yuzo. Extensional stress field in the central and southern Qinghai-Tibetan plateau and dynamic mechanism of geothermic anomaly in the Yangbajain area [J]. *Chinese Journal of Geophysics*,2005, 48(4):861~869 (in Chinese with English abstract).
- [23] 王勇,许厚泽. 青藏高原印度洋板块向欧亚大陆俯冲速率的研究—GPS 观测资料的反演结果[J].*地球物理学报*,2003,46(2):185~190.
- Wang Yong, Xu Houze. A study on convergence rate of the India Plate to Eurasia Subduction Beneath Qinghai Xizang Plateau—inversion results from GPS observational data[J]. *Chinese Journal of Geophysics*,2003,46(2):185~190 (in Chinese with English abstract).
- [24] Bendick R B, Freymueller J, et al.Geodetic evidence for a low slip rate on the Altyn tagh fault system[J]. *Nature*,2000. 404:69~72.

## Analysis of deep tectonic activity in the eastern segment of the northern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau based on the Delingha earthquake

JIANG Mei<sup>1</sup>, XU Zhi-qin<sup>1</sup>, QIAN Rong-yi<sup>2</sup>, WANG Ya-jun<sup>1</sup>, ZHANG Li-shu<sup>1</sup>

(1. *Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of Land and Resources, Geological Institute, Chinese Academy of Geosciences, Beijing 100037, China*; 2. *School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** An earthquake of magnitude 6.7 and dozens of aftershocks were recorded by ten REFTEK broad-band seismographs in the range of the array of seismograph stations deployed north and south of the Qilian Mountains in April 2003. These records provide new data for the study of the deep structures on the northern Qinghai-Tibetan Plateau. The focus location and focal mechanism study of the shocks of magnitudes >3 show that those earthquakes were initiated by the Jun U1 Mountain thrust fault in the eastern segment of the northern Qaidam basin sinistral strike-slip fault under north-east compression and are the result of continent-continent collision and intracontinental subduction. The strike-slip fault on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau dips gently in the shallow levels of the earth's crust, while in the deep levels it usually dips steeply toward the interior. The structure analysis of the hypocenter area verified the influence of the super-deep subduction of the Indian lithospheric plate on the northern margin of the plateau. The nearly east-west displacement of the strike-slip fault formed by the action of north-south stress is still very intense at present.

**Key words:** Delingha; northern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau; earthquake; accurate location; active fault

**About the first author:** JIANG Mei, male, born in 1937, senior researcher, has long undertaken geophysical exploration and research on deep tectonics; E-mail: meij@public3.bta.net.cn.