

# 青藏高原板内地震震源深度分布规律及其成因

罗文行<sup>1,2</sup>, 李德威<sup>1,2\*</sup>, 汪校锋<sup>2</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学青藏高原研究中心, 湖北武汉 430074

**摘要:** 青藏高原板内地震以浅源地震为主, 下地壳基本上没有地震, 地震震源多集中在 15~40 km 的深度范围, 主要在中地壳内, 呈似层状弥散分布. 其中 30~33 km 深度是一个优势层, 与壳内分层有关. 总体上青藏高原南、北部的震源面略呈相向倾斜特征. 70~100 km 深度区间出现了比较集中的震级较小的地震, 可能与壳幔过渡带的拆离作用有关. 高原内部的正断层系与板内地震密切相关, 是板内浅源地震的主控构造. 总之, 青藏高原地震震源沿着活动的上地壳脆性层与软弱层之间的脆—韧性过渡带分布. 这些板内地震活动属于大陆动力学过程, 与板块碰撞和板块俯冲无关. 初步认为青藏高原浅层到深层多震层的成因分别是韧性基底与脆性盖层、韧性下地壳与脆性上地壳、韧性下地壳与脆性上地幔的脆—韧性转换、拆离和解耦的产物.

**关键词:** 青藏高原; 板内地震; 震源深度; 多震层.

中图分类号: P315.2

文章编号: 1000-2383(2008)05-0618-09

收稿日期: 2008-01-27

## Focal Depth and Mechanism of Intraplate Earthquakes in the Qinghai-Tibet Plateau

LUO Wen-xing<sup>1,2</sup>, LI De-wei<sup>1,2\*</sup>, WANG Xiao-feng<sup>2</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Research Center of Tibetan Plateau, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** The Qinghai-Tibet plateau intraplate earthquakes are mainly shallow earthquakes, and basically no earthquakes happens in the lower crust. Earthquakes mostly distribute in the range of 15-40 km in depth, basically within the middle crust and concentrate at the depth of 30-33 km as an advantage layer related to the crustal stratification. On the South and North of the plateau, the focal surfaces slightly dip to the center. Some earthquakes concentrate within the range of 70-100 km depth, which may be associated with the detachment between crust and mantle. The intraplate earthquakes in the central Qinghai-Tibet are closely related to the normal faults which are dominant earthquake faults. In short, the Qinghai-Tibet plateau seismic activity distributes along the brittle-ductile transition zone between the brittle upper crust layer and the ductile lower crust. Intraplate seismic activity is a continental dynamic process, irrelevant to plate collision and subduction. The seismogenic layers from shallow to deep are separately the result of ductile-brittle transition, detachment and decoupling between basement and cover; ductile lower crust and brittle upper crust, and ductile lower crust and brittle upper mantle.

**Key words:** the Qinghai-Tibet plateau; intraplate earthquake; focal depth; seismogenic layer.

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项(No. 2005CCA05600); 国家自然科学基金项目(No. 40572113); 国家地质学理科基地人才培养基金(No. DXTZS0608).

作者简介: 罗文行(1983—), 男, 硕士研究生, 主要从事深部构造研究. E-mail: lwx1983@gmail.com

\* 通讯作者: 李德威(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事大陆动力学的研究. E-mail: dewei89@sina.com

## 0 引言

大陆板内地震分布规律与大陆边缘的地震活动显著不同,在厚壳的造山带和高原表现最为强烈,其震源分布具有明显的层状特征.马宗晋等(1990)认识到大陆地震,特别是强震集中发生在地壳一定的优势层内,取名为“多震层”,并认为多震层实质上是某一适于蕴震的介质层,受发震断裂切割错动而发生地震,因而显现出层状分布特征. Maggi *et al.* (2000)统计后发现几乎所有的大陆地震都局限在10~40 km的地壳范围内,而大陆岩石圈地幔则少震或基本无震.更有学者认为,大多数大陆岩石圈地震发生在上地壳,而下地壳极少甚至根本没有(Chen and Molnar, 1983; Chen, 1988; 张国民等, 2002).大陆下地壳和岩石圈地幔的过渡带也存在地震(Chen and Molnar, 1983; Chen, 1988; Wong and Chapman, 1990).

青藏高原地震活动分布广、频度高、强度大、震源浅,是典型的强震多发地带.对青藏高原板内地震震源分布的研究有助于认识高原的地壳和岩石圈结构,为探讨青藏高原形成的大陆动力学机制提供地震及其活动构造的依据,为认识发震规律、进行地震预报打下理论基础.

本文收集了中国地震台网中心(CENC)、英国国际地震中心(ISN)和美国国家地震信息中心(NEIC)最近几十年的地震目录数据,经必要的修正和处理

后,通过统计方法得出青藏高原地震震源深度的分布规律,结合其他地球物理资料探讨高原地壳分层结构,进而讨论多震层的成因.

## 1 青藏高原板内地震震源深度分布

青藏高原新构造发育(潘桂棠等,1990),地震活动性强,板内活动断层在盆山体系中有规律地分布,盆山边界为倾向腹陆式叠瓦状逆冲断层系,盆山转换带为共轭的走滑断层系,青藏高原内部出现高角度到低角度的正断层组合,它们是板内浅源地震的主控构造(李德威,2005).青藏高原地震震中分布(图1)显示,浅源地震在宏观上呈弥散面状分布,局部出现带状分布.青藏高原中部和南部震中位置从西向东呈现近NW-SE向、S-N向和NE-SW向的线型排列,向喜马拉雅山弧顶收敛,向北撒开,其展布规律与冈底斯-北喜马拉雅活动地堑系一致,说明这些浅源地震与近南北走向的伸展构造有关.此外,浅源地震沿着青藏高原周边大型走滑断裂呈一定规模的带状分布.深度为70 km以下的地震集中在青藏高原东、西两构造结,与构造结的地壳物质流动和壳幔作用有关.

青藏高原地壳平均厚度一般为60~80 km,地震震源基本分布于壳内(图2).壳内震源分布很有规律,以中上地壳为主,下地壳基本上没有地震,大部分地震分布在5~35 km深度区间内(图2-4).

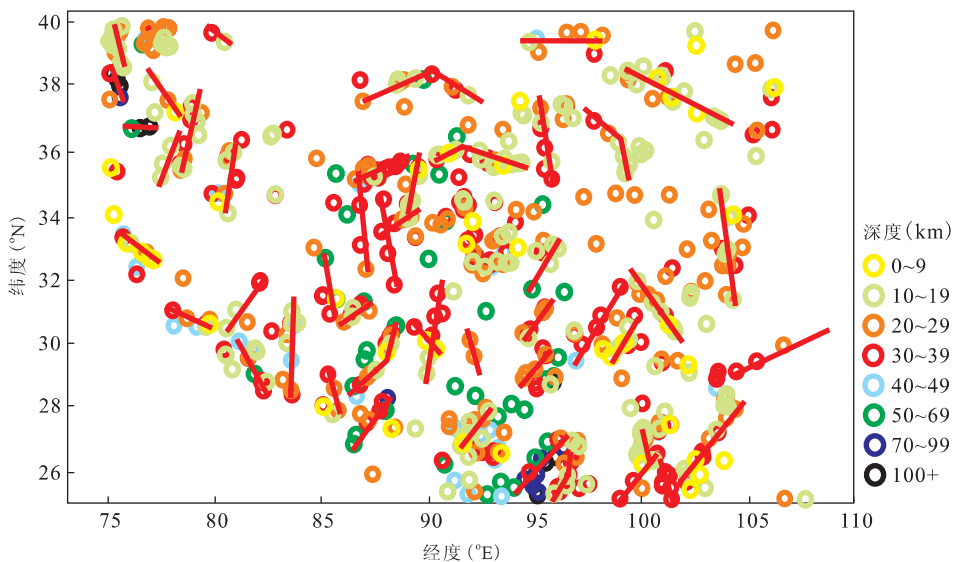


图1 青藏高原1970年以来( $M > 5.0$ )地震震中分布(CENC目录数据)

Fig. 1 Earthquake distributions in Qinghai-Tibet plateau ( $M > 5.0$ , since 1970, data source: CENC)

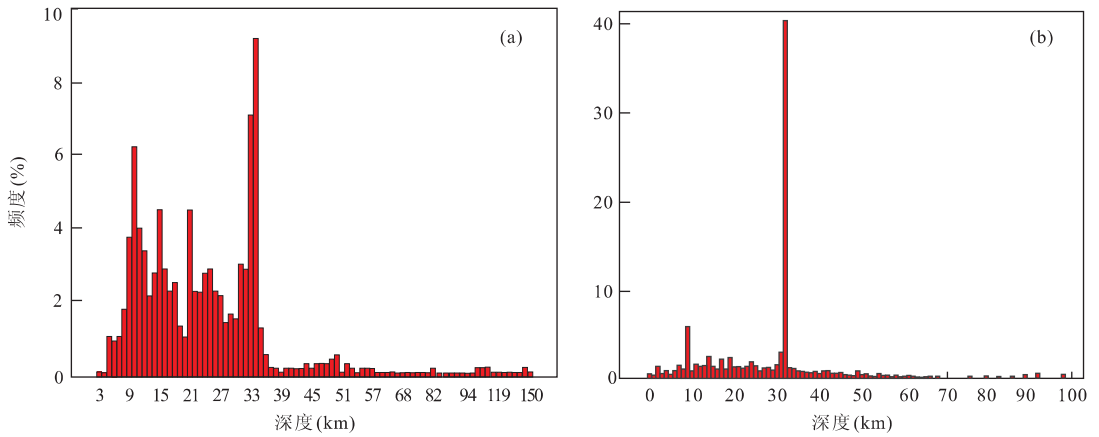


图 2 青藏高原现代 5.0 级以上地震震源深度—频度(%)直方图

Fig. 2 Histograms of earthquake focal depths in Qinghai-Tibet plateau ( $M > 5.0$ , since 1970)  
a. CENC 目录数据; b. ISN 目录数据

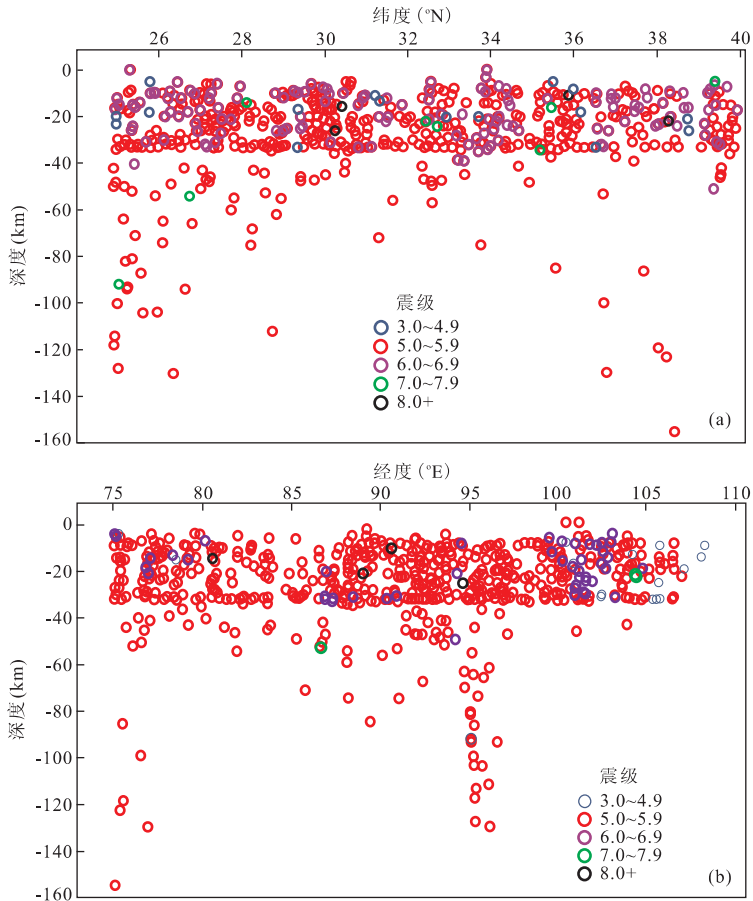


图 3 青藏高原 1997—2007 年 5.0 级以上地震震源深度-纬度(a)和深度-经度(b)分布剖面(CENC 目录数据)

Fig. 3 Focal depth profile along latitudes from (a) 25° to 40°N and (b) 75° to 110°E ( $M > 5.0$ , since 1970, data source: CENC)

对于 6 级以上的强震,震源分布也显示基本相同的规律,震源集中在 10~35 km. 90% 大于 6.0 级的地震震源分布在 10~35 km 深处,所有大于 7.0 级的地震都发生在这一深度,大于 8.0 级的地震分布在

12~30 km 的深度. 统计结果表明,青藏高原地震在中上地壳呈似层状弥散分布,其中 30~33 km 深度内出现极其显著的峰值,是一个震源深度优势分布层,其次在 10 km 左右震源次级集中. 本研究与崔

作舟等(1990,1992)对 87°E 附近 200 km 范围内沿纬度线南北走向的带状域内地震震源深度的统计结果一致,青藏高原地震震源具有沿 33 km 左右和 10 km 左右呈面状优势分布的规律。

在横向剖面上,青藏高原从南到北(图 3a)、从西到东(图 3b)地震震源均表现出成层分布、分段集中的特点。10~33 km 是地震震源分布密集层,10 km 以上的地震极少,大多为空白层,33 km 以下的地震比较稀疏。总体显示青藏高原南部的震源面略向北倾斜,北部的震源面略向南倾斜。除了大量的壳内浅源地震外,在青藏高原南部和北部边界地带带有少量深度为 80~130 km 的中源地震。在纬向剖面上(图 3a),地震相对密集带与地震相对稀疏区相间排列,27.5°N 左右、30°N 左右、34°N 左右、35.5°N 左右、37.5°~38.5°N 和 39°N 左右的地震集中带在空间上分别与活动的喜马拉雅边界逆冲断层系、当雄-嘉黎断层、可可西里断层、东昆仑断层、祁连山北缘断层和阿尔金断层密切相关。其中当雄-嘉黎断层、东昆仑断层、祁连山北缘断层及阿尔金断层对应部位地震密度较大。

在经向剖面上(图 3b),地震相对密集带与地震相对稀疏区相间,103.5°E 左右、99°~102°E、95°~96°E、93°~94°E、91°~92°E、88°~89°E、86.5°E 左右、81°E、81°E 左右和 78°~75°E 的地震集中带在空间上分别对应近南北走向的东川一个旧(或小江-南盘江)左行走滑断层、南北构造带右行走滑断层带、东构造结及其近南北走向的 Sagaing 右行走滑断层、NE-SW 走向的米林-错那左行走滑断层、NNE-SSW 走向的谷露-羊八井地堑、近南北走向的申扎-一定结地堑、NNW-SSE 走向的扎布耶茶卡-塔若错-杰萨错地堑、NNW-SSE 走向的革吉-拉昂错-普兰地堑、西构造结及其 NW-SE 走向的喀喇昆仑右行走滑断层。其中南北构造带右行走滑断层带、谷露-羊八井地堑、申扎-一定结地堑、西构造结及喇昆仑走滑断层所在部位地震密度较大。例如,崩错-当雄-羊八井-亚东地堑活动正断层控制了 1951 年 11 月 18 日当雄 8.0 级地震和 1952 年 8 月 18 日九子拉 7.5 级地震。一个值得重视的现象是,青藏高原东、西构造结除了发育浅源地震外,还集中了几乎所有的中源地震,深度范围主要是 70~130 km,反映东、西构造结壳幔作用十分强烈,下地壳与上地幔沿着活动的 Moho 面发生强烈的剪切、拆离。

青藏高原所有的地震(图 4a)和 5.0 级以上地

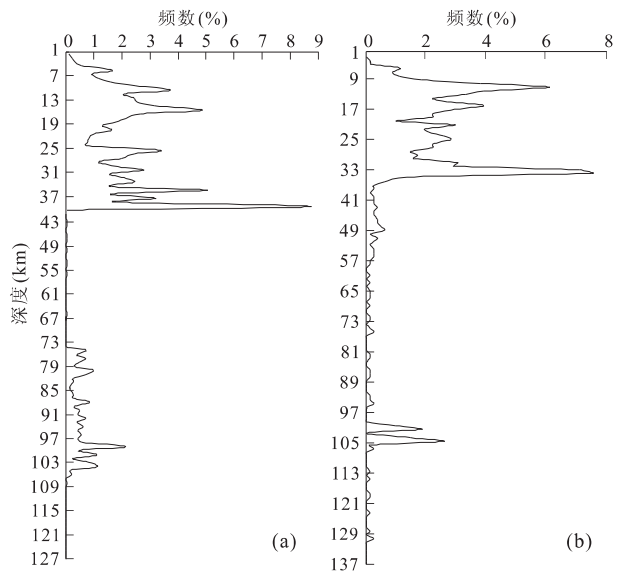


图 4 青藏高原地震震源深度-频度(%)分布图(CENC 目录数据)

Fig. 4 Frequencies of earthquake focal depths in Qinghai-Tibet plateau (since 1970, data source: CENC)

a. 0~10 级; b. 5.0 级以上

震(图 4b)具有相似的垂向分布规律,也进一步说明了地震的呈层分布特征。对于所有震级的地震而言(图 4a),地震震源在脆韧性的中地壳 10~40 km 深度范围内最集中,在 38~39 km 处出现峰值,频度接近 9%,可能是下地壳与中地壳的活动界面。40~75 km 的下地壳范围内基本上没有地震,而在 75~100 km 的壳幔过渡带又出现少量地震。对于 5.0 级以上的地震(图 4b),集中出现在 10~34 km 深度范围内,在 33 km 处频度达到 7.5% 左右,浅源地震分布在韧性下地壳与脆性上地壳之间的脆-韧性中地壳内,在 35~97 km 深度区间也基本上没有地震,在 97~105 km 的深度区间出现了相对集中的中源地震,频度达到 2.5%,其密度远不如浅源地震。

总之,青藏高原以 10~40 km 的浅源地震为主,70~105 km 的中源地震次之,没有显示深源地震。浅源地震和中源地震均成层分布,其峰值区正好是流动的下地壳的顶面和底面,可以作为活动的康拉德面和莫霍面的重要标志。

## 2 多震层与地壳分层

青藏高原板内地震分布完全不同于大陆边缘地震的分布特点。活动大陆边缘地震在平面上呈带状

分布,环太平洋地震带最典型;在剖面上,震源深度从海沟向大陆方向逐渐加深,构成向陆倾斜的震源带,也就是 Benioff 地震带,常见中、深源地震。而青藏高原地震在平面上呈弥散状分布,在活动构造带局部集中;在剖面上呈层分布,最显著的是10~40 km 的浅源地震层,其次是 70~105 km 的中源地震层。这种地震弥散分层结构在年轻的大陆地区具有普遍意义,与地壳分层和近水平作用力密切相关(李德威,1995a)。

大陆岩石圈的分层流变现象十分显著。Ranalli and Murphy (1987)提出了岩石圈的流变分层模式,认为大陆岩石圈是由 20~30 km 和 40~60 km 的两个韧性层及由此分隔的两个脆性地壳层和一个上地幔脆性层所组成。Molnar(1988)认为大陆岩石圈是由下地壳韧性层和上、下两个脆性层构成的“三明治”结构。

地质和地球物理资料显示,青藏高原具有典型的多级地壳垂向的分层结构,表现为基底与盖层之间的滑脱拆离、热软化流动的下地壳与其上下脆性圈层之间的滑脱拆离和脆韧性转换(李德威,2003)。青藏高原板内地震震源的深度分布规律与地壳分层结构之间存在十分密切的关系,特别是与下地壳低速层、低阻层的关系密切,尤其是高速层与低速层交界处,地震事件发生频繁。

最近,赵继龙等(2007)系统总结了青藏高原及周边地区下地壳的电性结构、波速结构、热结构,普遍出现电性高导层、波速低速层和热流值异常,下地壳电性结构和速度结构具有纵向分层和横向分块的

特征,壳内高导层、低速层以羌塘为中心南深北浅的非对称分布,大地热流值在高原内部分布不均匀,高原热流值具有明显的南北条带性和东西分块性的特征。大地热流值也是南高北低,说明青藏高原南部的下地壳构造活动更新更强,晚新生代热软化下地壳的流动方向是自南向北。

关于大陆下地壳低速高导层及反射层的成因,一直争论不休,归纳起来主要有 3 种观点(李德威和王家映,2001):(1) 是下地壳中含水矿物、碳质矿物、金属矿物、流体等物质成分引起的;(2) 由于温度升高导致岩石发生部分熔融,提高了岩石的导电率,降低了纵波速度;(3)大陆下地壳韧性剪切产生近水平的地震反射组构,造成地震波和电性的各向异性。大陆构造活动区下地壳异常的地球物理现象是大陆下地壳层流作用的地球物理响应,与热活动、韧性剪切、部分熔融密切相关(李德威,1993,1995a,1995b)。大陆不同时期和不同性质的构造单元具有不同程度和类型的地壳分层结构,青藏高原下地壳地球物理异常代表了新生代大陆造山带下地壳的构造-地球物理结构。

对比青藏高原板内浅源地震震源深度与低速层和高导层的分布(图 5),明显的特征是多震层的分布与高导层顶面吻合。青藏高原地壳断裂系统基本上终止于低速层之上,下地壳基本上没有脆性的地震断层。

除了 33 km 左右多震层与壳内低速、低阻层对应良好之外,青藏高原 Moho 面附近壳幔过渡带与 70km左右开始的深部多震层(震级较小,参见图4)

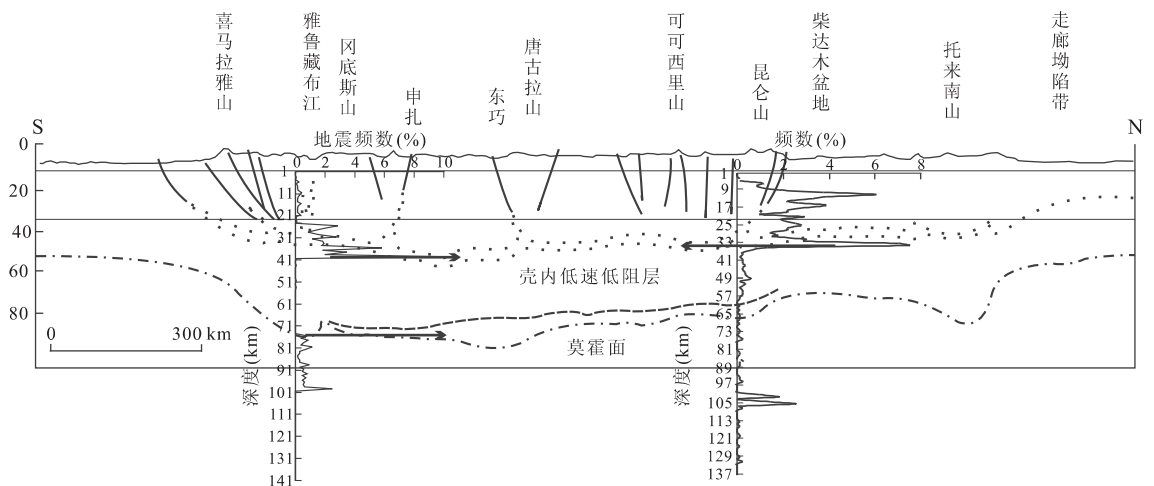


图 5 青藏高原多震层与低速、低阻层、Moho 面对应关系(图中地壳结构源于崔作舟等,1992)

Fig. 5 Low-velocity & resistivity layer and Frequencies of earthquake focal depths in Qinghai-Tibet plateau

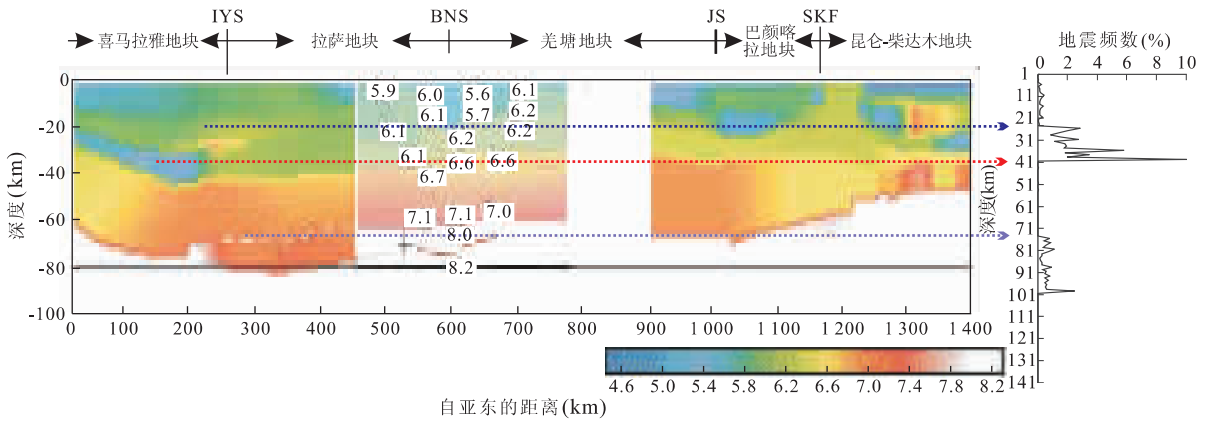


图 6 青藏高原地壳结构与多震层对应关系(图中地壳结构数据源于李秋生等,2004)

Fig. 6 Variation of the Moho as crossing the plateau from north to south and Frequencies of earthquake focal depths

相对应(图 5)。

地震震源深度-频度分布与青藏高原地壳结构(李秋生等,2004)对比可知(图 6),青藏高原壳内多震层与其他地球物理特征具有良好的对应关系,大约 10 km、33 km、70~100 km 的多震层分别对应了基底与盖层接触带、壳内低速低阻层与高速高阻层接触带和壳幔过渡带。

通过青藏高原板内地震震源深度分布规律的研究,结合地球物理探测成果,可以推测青藏高原岩石圈可以分为软弱的下地壳和相对强的上地壳、岩石圈地幔 3 层,它们之间发生接触、剪切、解耦的部位就是地震多发层,上地壳内部还有基底与盖层的拆离、解耦带,构成上地壳内部多震层。

3 个多震层的地震密集程度顺序是:上、下地壳滑脱带多震层>上地壳内部基底、盖层拆离带多震层>下地壳、岩石圈地幔滑脱带多震层。推测青藏高原岩石圈 3 层的强度顺序是:上地壳>岩石圈地幔>下地壳。

### 3 板内多震层的成因

青藏高原地震震源显然不是沿着青藏高原某一个早已消亡的板块碰撞带或俯冲带分布,而是沿着地壳内活动的壳层之间分布,尤以中上地壳脆性层与下地壳韧性流动层之间的脆-韧性过渡带最多。Chen and Yang(2004)研究发现,青藏高原地幔也存在地震活动,但下地壳没有地震活动。推断青藏高原可能具有弱下地壳和强上地幔。因此,青藏高原多层次分布的板内地震无论是现今的青藏高原外围的板块(如太平洋板块、印度洋板块)俯冲还是内部过去

的板块碰撞都无法解释。

关于板内与低速高导层的空间分布一致的多震层的成因,马宗晋等(1990)作了精辟分析,认为具有部分熔融和流变特性的低速高导层,是产生地震的底部边界条件。青藏高原多震层由于高的热流值可能反映 15~20 km 深度上花岗质岩石发生部分熔融,因此,多震层是一个近水平的弱的韧性流变带,上地壳断裂在这一层解耦消失,上下地壳沿着它发生水平拆离滑动。

实际上,新构造活动强烈的青藏高原和世界其他活动区的大陆构造单元一样,下地壳一般都没有地震,浅源地震集中在下地壳的顶部,中源地震分布在下地壳的底部,说明大陆地壳中具有不同流变状态和岩石强度的圈层之间相关的活动断层是发震构造,主因是热软化大陆下地壳具有非地震式缓慢蠕变特征,大陆下地壳流层经过长期的非地震式流动导致上地壳的应力和应变不断积累,最终地震能量通过中地壳脆-韧性剪切带解耦,通过活动断层释放能量(李德威,1995a,1995b,2003,2005;李德威和纪云龙,2000)。

青藏高原 10~35 km 最发育的浅源地震是 35~70 km 的流动下地壳发生流变作用引起的,并在 70~85 km 的壳幔脆-韧性剪切带形成较为集中的中源地震。青藏高原下地壳高导层电性各向异性十分显著,可能与变形岩石构造片理或糜棱面理上某些导电矿物定向排列有关,可作为下地壳韧性剪切和顺层流变的标志。青藏高原地震活动不是板块俯冲和板块碰撞的岩石圈动力学过程,而是属于大陆动力学过程,用下地壳层流构造假说(李德威,1993,1995b,2003,2005)可以得到合理的解释。概

括如下:下地壳热软化物质先后从塔里木盆地、四川盆地、恒河盆地向青藏高原有序汇流,青藏高原巨量增厚的下地壳热垫作用导致青藏高原内部上地壳热隆伸展,形成活动正断层系统。由下地壳层流带动的多个盆地中上地壳先后楔入到青藏高原,形成活动的共轭走滑断层。强烈隆升的青藏高原向周边盆地逆冲推覆,形成活动逆冲断层系。下地壳处于高温固态流变状态而发生非地震式蠕变,长期的应力积累导致下地壳韧性流层与上地壳脆性圈层之间以近水平的脆-韧性剪切带进行解耦,形成大量震源成层分布的板内浅源地震。层流的弱下地壳与强上地幔相互作用形成中源地震。

青藏高原下地壳流动特征非常显著。曾融生等(1992)利用地震面波和体波的层析成像方法研究青藏高原三维地震速度结构,认为青藏高原中央部位存在一个壳内低速区,与大地电磁测深确定的下地壳低阻层基本一致。该低速层正好处在青藏高原巨大宽缓壳根部位的下地壳中,可能与青藏高原地壳物质流动汇聚和地壳增厚有关。王椿镛等(2006)利用面波层析成像技术研究青藏高原东部地壳,结果显示该区下地壳存在大范围低速异常,认为这可能就是下地壳流动的地震学证据。高原深部南北向负磁异常(周伏洪等,2002)与地表构造线方向近正交,形成“立交桥结构”,表明高原中部为弱磁性物质组成的塑性层,显示了下地壳物质以南北向粘塑性流动为主。

总之,青藏高原由浅到深的多震层的成因分别是:(1)基底与盖层剪切、拆离、解耦的产物;(2)下地壳韧性流层与上地壳脆性圈层脆-韧性剪切、拆离、解耦的产物;(3)壳幔混合、拆离、解耦的产物。它们都是下地壳流动的结果。

## 4 结语

青藏高原地壳平均厚度一般为 60~80 km,以浅源地震为主,下地壳基本上没有地震,地震震源多集中在 15~40 km 的深度范围,在中上地壳内,呈似层状弥散分布,其中 30~33 km 深度是一个优势层。喜马拉雅南侧的地震活动十分强烈,其地壳厚度大多为 50~60 km,震源深度集中在 10~20 km。总体显示青藏高原南部的震源面略向北倾斜,北部的震源面略向南倾斜。5.0 级以上地震在中、上地壳 10~35 km 深度区间非常集中,35~90 km 基本没有地

震,而在 90~100 km 左右又出现少量地震;当包括 5.0 级以下地震的时候,35~70 km 深度区间仍然基本没有地震,但 70~100 km 深度区间出现了比较集中的地震(震级较小)。

显然,青藏高原地震震源是沿着活动的上地壳脆性层与下地壳新生流动层之间的脆-韧性过渡带分布。青藏高原上地幔也存在地震活动,但下地壳没有地震活动,说明青藏高原具有弱下地壳、强上地幔和强上地壳。

青藏高原内部正断层系与地震活动密切相关,是板内浅源地震的主控构造。高原层状分布的浅源地震与原、古、中、新特提斯消亡过程中的板块俯冲和板块碰撞无关,属于洋陆转换之后的大陆动力学过程。青藏高原板内地震活动与板块碰撞和板块俯冲无关,属于大陆动力学过程,用下地壳层流构造假说可以合理解释。下地壳韧性流层与上地壳脆性圈层之间的脆-韧性剪切、拆离、解耦产生层状分布的浅源地震,下地壳韧性流层与上地幔脆性圈层之间的脆-韧性剪切、拆离、解耦产生中源地震。

致谢:在论文修改过程中与杨巍然教授、刘德民副教授进行过有益的讨论,谭毅在地震数据处理程序上给予了帮助,在此表示感谢!

## References

- Chen, W. P., Molnar, P., 1983. Focal depths of intracontinental and intraplate earthquakes and their implications for the thermal and mechanical properties of the lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 88(B5): 4183-4214.
- Chen, W. P., 1988. A brief update on the focal depths of intracontinental earthquakes and their correlations with heat flow and tectonic age. *Seismological Research Letters*, 59(4): 263-272.
- Chen, W. P., Yang, Z. H., 2004. Earthquakes beneath the Himalayas and Tibet: Evidence for strong lithospheric mantle. *Science*, 304(5679): 1949-1952.
- Cui, Z. Z., Yin, Z. X., Gao, E. Y., et al., 1990. The structure and tectonics of the crust and their relation with earthquakes in the Qinghai-Xizang plateau. *Bulletin of The Chinese Academy of Geological Sciences*, 21: 215-225 (in Chinese).
- Cui, Z. Z., Yin, Z. X., Gao, E. Y., et al., 1992. Velocity structure and deep-seated structure of the Qinghai-Tibet plateau. Geological Publishing House, Beijing, 1-112 (in Chinese).

- Li, D. W., 1992. On tectonic asymmetrical evolution of the Himalayan orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(5): 539—545 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1993. The style of continental structure and model of continental dynamics. *Advance in Earth Sciences*, 8(5): 88—93 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1995a. Speculations on continental tectonics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 20(1): 10—18 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 1995b. On continental tectonics and its dynamics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 20(1): 19—26 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Ji, Y. L., 2000. Laminar flow in the lower continental crust and its significance for continental dynamics. *Seismology and Geology*, 22(1): 89—96 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., Wang, J. Y., 2001. Geological anomaly of continental lower crust and its tectonic significance. *Geological Science and Technology Information*, 20(3): 11—15 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2003. A new model for uplifting mechanism of Qinghai-Tibet Plateau. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(6): 593—600 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. W., 2005. Intraplate active faults and earthquake mechanism in the Qinghai-Tibet plateau. In: Wu, Z. H., Zhao, Z. Z., Yang, M. L., et al., eds., *Geological process and its effect on the environment and disaster of the Tibetan plateau*. Seismic Press, Beijing, 118—124 (in Chinese).
- Li, Q. S., Peng, S. P., Gao, R., 2004. A review on the Moho discontinuity beneath the Tibetan plateau. *Geological Review*, 50(6): 598—612 (in Chinese).
- Ma, Z. J., Zhang, J. S., Liu, G. D., et al., 1990. Current state of research on continental seismogenic layer-international workshop held in Beijing, April 27—30, 1990. *Seismology and Geology*, 12(3): 262—264 (in Chinese).
- Maggi, A., Jackson, J. A., McKenzie, D., et al., 2000. Earthquake focal depths, effective elastic thickness, and the strength of the continental lithosphere. *Geology*, 28(6): 495—498.
- Molnar, P., 1988. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics. *Nature*, 335(186): 131—137.
- Pan, G. T., Wang, P. S., Xu, Y. R., et al., 1990. Cenozoic Tectonic Evolution of the Qinghai-Tibet Plateau. Geological publishing House, Beijing, 1—163 (in Chinese).
- Ranalli, G., Murphy, D. C., 1987. Rheological stratification of the lithosphere. *Tectonophysics*, 132: 281—295.
- Wang, C. Y., Wang, X. L., Su, W., et al., 2006. Seismological evidence of the crust flowing under the eastern boundary part of Qinghai-Tibet plateau. *Earthquake Research in Sichuan*, 4: 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Wong, I. G., Chapman, D. S., 1990. Deep intraplate earthquakes in the Western United States and their relationship to lithospheric temperatures. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(3): 589—599.
- Zeng, R. S., Zhu, J. S., Zhou, B., et al., 1992. 3D seismic wave velocity structure of eastern Qinghai-Tibet plateau and its adjacent areas and continental collision model. *Acta Seismologica Sinica*, 14(Suppl.): 523—533 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. M., Wang, S. Y., Li, L., et al., 2002. Focal depth research of earthquakes in Mainland China: Implication for tectonics. *Chinese Science Bulletin*, 47(9): 663—668 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. L., Yuan, Y. M., Li, D. W., et al., 2007. Geophysical anomaly of lower crust of Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions. *Geological Science and Technology Information*, 26(2): 13—18, 29 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, F. H., Yao, Z. X., Liu, Z. J., et al., 2002. The origin and implication of the NNE-trending deep negative magnetic anomaly zone in central Qinghai-Tibet plateau. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 26(1): 12—16 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 崔作舟, 尹周勋, 高恩元, 等, 1990. 青藏高原地壳结构构造及其与地震的关系. *中国地质科学院院报*, 21: 215—225.
- 崔作舟, 尹周勋, 高恩元, 等, 1992. 青藏高原速度结构和深部构造. 北京: 地质出版社, 1—112.
- 李德威, 1993. 大陆构造样式及大陆动力学模式初探. *地球科学进展*, 8(5): 88—93.
- 李德威, 1995a. 关于大陆构造的思考. *地球科学——中国地质大学学报*, 20(1): 10—18.
- 李德威, 1995b. 再论大陆构造与动力学. *地球科学——中国地质大学学报*, 20(1): 19—26.
- 李德威, 纪云龙, 2000. 大陆下地壳层流作用及其大陆动力学意义. *地震地质*, 22(1): 89—96.
- 李德威, 王家映, 2001. 大陆下地壳地球物理异常及其构造意



义. 地质科技情报, 20(3): 11-15.

李德威, 2003. 青藏高原隆升机制新模式. 地球科学——中国地质大学学报, 28(6): 593-600.

李德威, 2005. 青藏高原板内活动断层与地震成因. 吴珍汉, 赵志中, 杨美玲, 等. 青藏高原地质过程与环境灾害效应文集. 北京: 地震出版社, 118-124.

李秋生, 彭苏萍, 高锐, 2004. 青藏高原莫霍面的研究进展. 地质论评, 50(6): 598-612.

马宗晋, 张家声, 刘国栋, 等, 1990. 大陆多震层研究现状和讨论. 地震地质, 12(3): 262-264.

潘桂棠, 王培生, 徐耀荣, 等, 1990. 青藏高原新生代构造演化. 北京: 地质出版社, 1-163.

王椿镛, 王溪莉, 苏伟, 等, 2006. 青藏高原东缘下地壳流动的

地震学证据. 四川地震, 4: 1-4.

曾融生, 朱介寿, 周兵, 等, 1992. 青藏高原及其东部邻区的三维地震波速度结构与大陆碰撞模型. 地震学报, 14(增刊): 523-533.

张国民, 汪素云, 李丽, 等, 2002. 中国大陆地震震源深度及其构造含义. 科学通报, 47: 663-668.

赵继龙, 袁晏明, 李德威, 等, 2007. 青藏高原及周边地区下地壳地球物理异常及成因. 地质科技情报, 26(2): 13-18, 29.

周伏洪, 姚正煦, 刘振军, 等, 2002. 青藏高原中部北北东向深部负磁异常带的成因及其意义. 物探与化探, 26(1): 12-17.

\* \* \* \* \*

## 热烈祝贺《地球科学》(英文版)进入国际著名检索系统 SCIE

根据美国汤姆森科技信息集团科学信息研究所(Thomson ISI)的正式通知和 ISI 网查询,《地球科学》(英文版)(Journal of China University of Geosciences, ISSN:1002-0705)已经被列入美国《科学引文索引(扩展库)》(SCIE)来源期刊,2007 年第 18 卷第 1 期开始正式收录.

《地球科学》(英文版)创刊于 1990 年,十几年来,在中国地质大学学校领导的大力支持下,学报编辑部坚持按照国际期刊规范办刊,坚定不移地走国际化、专业化的道路,报道中国地球科学领域前瞻性的研究成果和最新发现,该刊的学术质量稳步上升.

尤其是 1999 年以来,《地球科学》编辑部确立了进入 SCI 的奋斗目标,为了提高期刊质量,严格按照 SCI 选刊、评估标准办刊,并且采取了一系列措施:2003 年改革了编委会,增加了 17 名国际编委,2004-2006 年聘请了英国语言学博士 Paul Richard Weldon 来编辑部工作,2005 年 9 月与国际著名出版公司 ELSEVIER 签订了合作出版、发行英文版电子版的协议;2006 年起由国际著名出版集团 ELSEVIER 独家海外发行英文版电子版,扩大了英文版的国际知名度.2007 年 6 月 28 日期盼已久的美国汤姆森公司发来喜讯:《地球科学》(英文版)2007 年起正式被 SCIE 收录.

八年来,《地球科学》编辑部在中国地质大学学校领导和编委会的正确领导下,主编王亨君教授率领的《地球科学》团队求真务实,开拓创新,在选题策划、编辑人才培养、网站建设和国际化发展等方面付出了艰辛的努力,取得了一次又一次的成绩,为繁荣科技出版和地球科学事业做出了应有贡献.

今后《地球科学》编辑部将要承担着更大的压力和挑战,要不断与时俱进,开拓创新,为争创国际一流科技期刊而努力奋斗.