

论大陆岩石圈内的垂直转换断层

白文吉 杨经绥 任玉峰

(中国地质科学院地质研究所)

摘要 近些年来,地震测深和重力测量方法揭示出大陆岩石圈内存在一组穿透地壳并延深到上地幔的高角度断裂,经厘定,被命名为垂直转换断层(vertical transform fault)。原只认为它们存在于高亚洲,包括青藏高原。本文表明其也出现于低亚洲西伯利亚平原。大陆岩石圈内是否普遍存在垂直转换断层以及它们在大陆岩石圈动力学研究中的意义,是今后构造地质学研究的方向之一。

关键词 大陆岩石圈 垂直转换断层 地震测深

0 引言

众所周知,地壳中的断层种类繁多,其中转换断层是由 Wilson 识别出来的^[1],随后被 Sykes 进一步证实^[2]。转换断层的识别曾推动了全球构造的发展。

作者最近在探索青藏高原隆升机制时,研究了近年来国际上所做大量地球物理成果,尤其是地震测深成果。前人研究认为在高亚洲,包括青藏高原,存在一组切割莫霍面(Moho)并使其错位、断距达 10km 的高角度断层^[3];而且, Belousov 认为由于存在这组断层,印度板块不可能俯冲到高亚洲板块下面。但是经过作者研究,认为这组穿切上地幔和地壳的深断裂,是一种大陆岩石圈中的新类型断层,将其命名为垂直转换断层^[4]。进一步工作了解到,它们不单存在于高亚洲岩石圈内,而且也出现于低亚洲平原区^[5]。本文将进一步论证垂直转换断层普遍存在的地质意义。

1 垂直转换断层的概念和定义

地震测深和重力测量资料表明,高亚洲的 Moho 埋深巨大,地壳厚度达 65—75km,更重要的是这些资料揭示此处有一组近于垂直的、切割 Moho 的深断裂(图 1, 2)。现有资料表明,这种类型的断裂也出现于低亚洲平原区(图 3)。但是长期以来仅仅将它们作为深断裂^[3]或认为它们不是一般断层,是一种狭窄的穿切地壳的软弱带(Weakened zone),而没有确定其为断层^[5]。

自垂直转换断层概念提出,并以此概念检查其它地区岩石圈内是否存在同类断层是十分

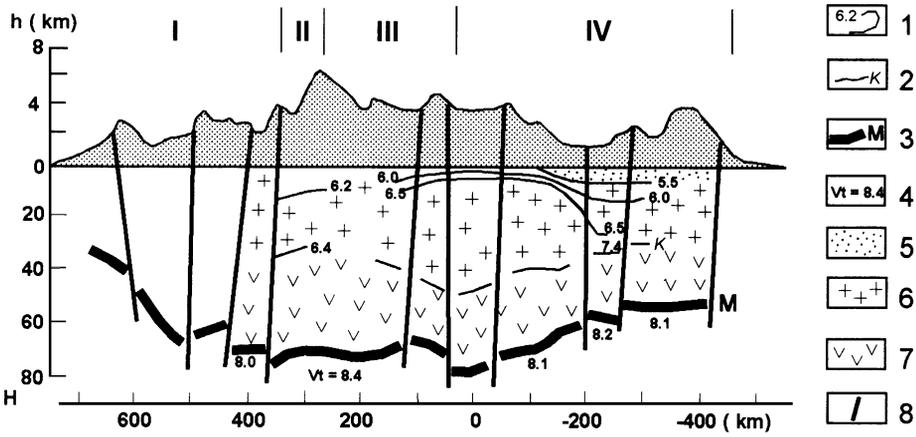


图 1 费尔干纳—喜马拉雅大剖面所反映的垂直转换断层 (据 Belousov, 1984)

Fig. 1 Vertical transform fault shown in the Fergana-Himalaya profile (From Belousov, 1984)

1. 波速等值线; 2. 玄武岩界面; 3. Moho面; 4. 上地幔波速; 5. 沉积层; 6. 花岗岩层; 7. 玄武岩层; 8. 垂直转换断层; h . 海拔高度; H . 地壳厚度; I. 大喜马拉雅; II. 中喀拉库姆; III. 帕米尔; IV. 天山

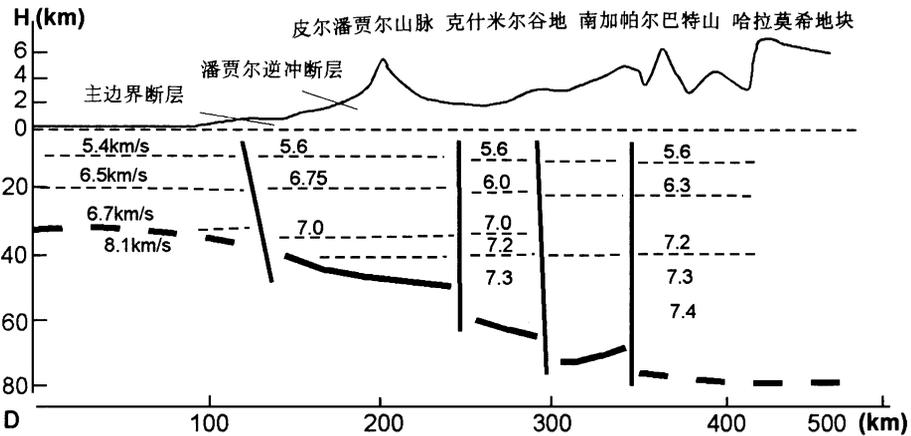


图 2 喜马拉雅剖面不同地区的 P波速度图 (据 Verm 和 Prasad, 1987)

Fig. 2 P-wave velocity obtained from different parts of the Himalayan profile. (From Verm and Prasad, 1987)

必要的,因为许多地质现象具有全球意义,断层也不例外。随之,在低亚洲平原区地震测深(西伯利亚II大断面)资料也发现了这类断层,这有助于全面看待垂直转换断层的成因及研究其在大陆岩石圈动力学中的意义。

转换断层是 Wislson 辨认出来的^[1]。转换断层发现于大洋板块中,垂直于大洋中脊延伸,切割大洋中脊并使中脊位错,因此它貌似平移断层。转换断层的生成是由于大洋中脊不同部位的扩张速率的差异所引起的,因而它在力学性质上完全不同于平移断层(图 4)。

垂直转换断层是由于 Moho 下沉 抬升速度不均匀而引起的; Moho 一边下沉 抬升,同时

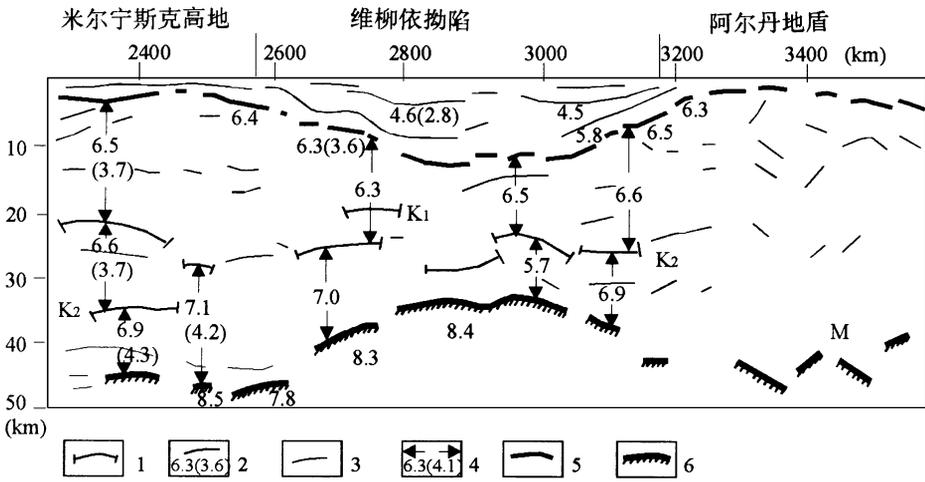


图 3 西伯利亚维柳依拗陷地壳横断面图 (据 Egorkin et al. , 1987)

Fig. 3 Crustal cross-section for Vilyui depression in Siberia

(From Egorkin et al. 1987)

1. 反射面; 2. 折射面及 P波界面速度 (括弧外的数字)和 S波界面速度 (括弧内的数字); 3. 转换界面; 4. P波层速度 (括弧外的数字)和 S波层速度 (括弧内的数字); 5. 固结地壳界面; 6. 莫霍面

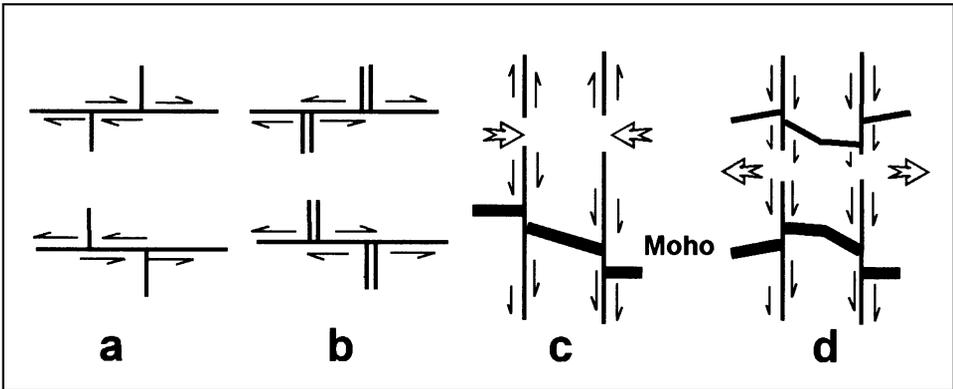


图 4 平移断层、转换断层和垂直转换断层的区别

Fig. 4 Model for difference among strike slip faults , transform faults and vertical transform faults

- a. 平移断层; b. 转换断层; c. d. 垂直转换断层; a b为平面图; c d为剖面图; \Rightarrow 为地壳减薄或增厚时物质运动方向

产生垂直断距,因而其断距是在整体下沉/抬升时间内逐渐完成的。Moho下沉/抬升又与地壳增厚/减薄是同步进行的,所以增厚/减薄的地壳仍被该断层切割和错开(图 1, 2, 3)。图 1, 2是地壳增厚/Moho下沉的剖面,而图 3是地壳减薄/Moho抬升的剖面。

由于垂直转换断层出现于地壳增厚/Moho下沉的高亚洲以及地壳减薄/地幔抬升的低亚洲平原,明显表明 Moho的下沉/抬升、地壳增厚/减薄、山脉隆升/平原拗陷,都分别呈对立统一状态共存于大陆岩石圈内。

垂直转换断层的最大特点是,在 Moho下沉/抬升地段,其上部地壳或地表并不随之下沉/

抬升,而恰恰相反, Moho下沉地区其上面地表抬升形成山脉或高原(图 1, 2); Moho抬升区地表则其上地壳表面下沉,上面发育盆地和平原(图 3)。这意味着上述环境中的切割 Moho 穿入地壳和上地幔的断层,既不是正断层,也不是逆断层,而是特殊种类断层——垂直转换断层。地幔的变动 Moho 的位移导致该断层的形成。它们由上地幔向地壳发展,即由深部向浅部发展,所以往往存在埋藏的垂直转换断层

2 讨 论

从 70 年代迄今,国际地学界开展了大规模地震测深研究,例如美国自 1973 年执行大陆反射剖面计划(COCO RP), 90 年代前已完成剖面至少 10000km,此外还有加拿大的岩石圈探针计划(Lithoprobe),法国的大陆海洋反射、折射剖面计划(ECORS),德国的大陆反射剖面计划(DEKORP),等等。特别是前苏联,是用地震方法研究上地幔和地壳最多的国家,70 年代以来已完成深地震测深剖面 120000km 以上^[6]。

前苏联 Beloussov V V 对帕米尔—喜马拉雅地区的地震测深工作进行过总结,发现了一系列切割上地幔和地壳的高角度深断裂,由此认为印度板块不可能下插到西藏板块之下^[3]。后来,印度科学家 Verm 和 Prasad^[7]、中国地球物理学家吴功建等所发表的喜马拉雅和青藏高原的地震测深成果在垂直转换断层方面是同 Beloussov 相似的^[8],都表明存在切割上地幔和地壳的深断裂。如果这些断裂为正断层、逆断层等任何性质的断层,而不是垂直转换断层的话,那势必否定印度板块向青藏高原下插的任何模式。因为俯冲板块必然要破坏这些断层。这一点促使人们认真思考在高亚洲取得的地震测深成果、断层性质以及 Beloussov 的总结。经过认真辨别,建立了垂直转换断层新概念^[4]。

现在看来,垂直转换断层不单存在于高亚洲,而且亦出现在低亚洲平原,例如西伯利亚地震测深 II 剖面也揭示出垂直转换断层(图 3)。但是 Egorkin 等科学家认为^[5],在 II 剖面中清晰地圈定出三个盆地,盆地区内发育一种狭窄的错开地震界面, Moho 和固结地壳上界(盆地基底)的断层,但这种断层并非一般断层。理由是地震界面呈不同方向分布,例如拗陷的基底下降而相应的 Moho 是抬升的,因此这种狭窄的突变带(图 3)不是通常的断层,称它们为软弱带,因为研究得不够详细而没有在图 3 上标出断层。但是他们清楚指出西伯利亚的这些近于垂直的突变带与地表填图的断层以及 Moho 形态变化有良好的相关联系,并且贯穿整个地壳和伸向上地幔。现在,我们应用垂直转换断层概念就能很好识别西伯利亚上述断层性质,肯定垂直转换断层同样发育于平原或盆地区。地幔隆升、地壳减薄伴随垂直转换断层的生成。但是山脉或高原区与平原盆地区的转换断层运动方向完全相反,二者的模式在图 4 中反映出。

无论高亚洲还是西伯利亚, Moho 抬高和降低,地壳减薄和加厚,都反映出均衡补偿原理在构造运动中起作用。西伯利亚 II 号地震测深大剖面中三个盆地表明,其基底埋深和 Moho 深度之间呈反相关关系,经验公式:

$$\Delta H = H - 1.6h$$

式中 ΔH 为固结地壳厚度(不包含沉积物), h 为盆地基底埋深, H 为固结地壳平均厚度。因此,垂直转换断层的形成与均衡作用有关。

垂直转换断层的产生与 Moho 的变动、地壳增厚、减薄等作用同步的,相互制约和四维的,所以垂直转换断层并不妨碍印度板块的俯冲或下插。垂直转换断层是长时期形成的永动式的断层,它通向地幔,可以穿透地壳,地表应该有其踪迹和反映,高原和平原区的深源火山活动

可能与其有关。

根据高亚洲增厚的地壳约 40km 计算,最大的垂直转换断层之断距为 10km 左右,那么自中新世(大约 20Ma)以来,地壳以平均每年 2mm 速度增厚,以 0.5mm/a 为 Moho 最大断速

关于地壳增厚的物质来源, Belousov 认为来自垂直方向的上地幔^[3]。但根据平原、盆地地区和山脉、高原区的地壳厚度变化,认为大陆岩石圈的中—下地壳内部发生了物质流变—蠕变,高原地壳物质的补充来自地壳减薄的盆地,曾提出盆—山运动概念^[9-11]。

垂直转换断层的厘定、讨论,无疑是大陆岩石圈动力学问题的组成部分。大陆岩石圈赋存垂直转换断层,在大洋岩石圈内是否存在?对于国际地质界付出高昂代价的震测深大剖面的解释和对诸如垂直转换断层的探索,即令花一些人力、物力也是值得的。

3 结 论

国内外震测深、重力测量资料表明,大陆岩石圈内赋存一种近于垂直的、切割 Moho 并穿透整个地壳以及伸向上地幔深部的大断裂,被命名为垂直转换断层,其不单存在于高亚洲,亦存在于低亚洲大陆岩石圈内。

垂直转换断层的产生与地壳增厚、减薄,地表隆升、沉降等是同步进行的,在高原区上地幔沉降速率可达 2mm/a,垂向断速为 0.5mm/a。

出现在高原区和平原区的垂直转换断层可分成二种模式,一种是 Moho 下降型,一种为 Moho 抬升型,两者运动方向相反。

垂直转换断层是揭示大陆岩石圈动力学的关键之一,是今后地质构造研究方向。

参 考 文 献

- 1 Wilson J T, A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207, 1965, 343- 347.
- 2 Sykes L R, Mechanism of earthquakes and nature of faulting on the mid-oceanic ridge. *J. Geophys. Res.*, 72, 1967, 2131- 2153.
- 3 Belousov V V, The summary of international Pamir-Himalayan project and future working imagine. *Earth crust and upper mantle of Pamir, Himalaya and southern Tianshan, M.*, 1984, 3- 8 (in Russian).
- 4 白文吉、杨经绥、胡旭峰,高亚洲区内一种新类型的断层——垂直转换断层及其地球动力学意义。《中国区域地质》,1996, (3), 252- 255
- 5 Egorin A V, Zusanov S K, Pavlenkova N A et al. Results of lithospheric studies from long-range profiles in Siberia. *Tectonophysics*, 1987, 140, 29- 47.
- 6 崔霖沛,深部地震调查之现状,地壳和上地幔的研究。北京:地震出版社,1991, 130- 150
- 7 Verm R K and Prasad K A V L, Analysis of gravity and field in northwestern Himalayas using DSS data. *Frontiers in Exploration Geophysics* 1987, Editor Bhattacharya B B, 349- 372.
- 8 吴功建,青藏高原亚东—格尔木地学断面“综合地球物理调查研究”。《地球物理学报》,1991, 34(5), 552- 562
- 9 白文吉、杨经绥,亚洲盆—山及其构造应力场分析。《吉林地质》,1985, (4): 33- 40
- 10 白文吉、杨经绥,论大陆盆—山构造格局、盆地扩张及其形成机制。《长春地质学院学报》,1985, (4): 21- 28
- 11 白文吉、杨经绥,青藏高原隆升主因——大陆板内盆—山碰撞作用。《长春地质学院学报》,1987, (2): 131- 142

ON VERTICAL TRANSFORM FAULT IN CONTINENTAL LITHOSPHERE

Bai Wenji Yang Jingsui Re Yufeng
(*Institute of Geology, CAGS*)

Abstract In recent years, a new type of fault that cuts nearly vertically through the entire crust into the mantle is known from geophysical investigations and is named vertical transform fault by the authors. At first, they were recognized only in the lithosphere of High Asia including Tibetan Plateau, and subsequently found in Siberia and Low Asia. They are formed simultaneously with crustal thickening, Moho movement, some mountain-uplifting and basin-sinking. The recognition of these faults is of significance in understanding the continental lithosphere and deep dynamics of the Earth.

Key words continental lithosphere, vertical transform fault, seismic sounding

第 一 作 者 简 介

白文吉,男,1935年生,研究员。1958年毕业于长春地质学院,主要从事蛇绿岩、铬铁矿和青藏高原隆升机制的研究。通讯地址:北京市西城区百万庄中国地质科学院地质研究所。邮政编码:100037