

中国地质科学院院报

第 17 号

地质出版社

中国地质科学院院报

第 17 号

地 质 出 版 社

目 录

青藏高原深部地质特征及其形成机制探讨.....	崔作舟 (1)
阿尔金构造带及其对塔里木和柴达木盆地的影响.....	黄汉纯 王长利 (17)
控制中国东部中—新生代盆地的铲形断裂构造.....	傅德荣 (33)
中国砂卡岩型白钨矿床成矿基本地质特征.....	毕承恩 (49)
石槽矿区不同力学性质结构面中岩浆岩的某些变异问题探讨.....	吕古贤 (65)
新疆托里蛇绿岩型金矿床中黄铁矿的研究.....	甘源明 周美付 冯延玲等 (81)
藏南超基性岩的塑性流变.....	崔军文 (89)
新疆西准噶尔地区阿尔卑斯型超基性岩中铬铁矿矿物包裹体研究.....	彭礼贵 (103)
高铁铁橄榄石的新研究—兼论铁橄榄石的氧化作用.....	周剑雄 Z. Johan (121)
柴达木盆地北缘晚石炭世地层.....	贺广田 王增吉 詹立培等 (141)
西藏林周县麦隆岗组顶部的晚三叠世牙形石.....	毛 力 田传荣 (159)
广西象州中坪马鞍山剖面上泥盆统弗拉斯阶/法门阶 (F/F) 界线的研究	韩迎建 (171)
简讯: 中国二叠—三叠系界线和事件现场学术讨论会.....	(116)
中国地质科学院聘任许靖华教授为名誉顾问.....	(15)

中国地质科学院院报

第17号

*

责任编辑: 刘建三 邢瑞玲

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 12¹/₂ 插页: 16页 字数: 274,000

1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷

印数: 1—2000册 国内定价: 3.45元

ISBN7—116—00073—9/P.064

统一书号: 13038·新474

青藏高原深部地质特征 及其形成机制探讨

CHARACTERISTICS OF DEEP-SEATED GEOLOGY IN THE QINGHAI-XIZANG(TIBET) PLATEAU AND MECHANISM OF ITS FORMATION

崔作舟

(中国地质科学院562综合大队)

内容提要 本文据中-法合作期间的地震广角反射资料阐述了青藏高原的深部地壳结构及构造特征,结合地表地质现象探讨了高原的形成机制。资料表明青藏高原上、下地壳分别增厚一倍左右,最厚处达75km。它是由来自北侧并逐渐向南推挤的强大水平力,使该区地壳与其南部的印度地块相碰并受其阻挡,在经向水平挤压力的长期作用下,该区地壳终于从喜马拉雅运动早期开始,在经向上因地壳片段的褶皱和叠覆而缩短,在垂向上急剧增厚和抬升而形成高原。这是构造力与重力联合作用的结果。

一、前言

青藏高原平均海拔高度约4500m左右,它是世界上最高和最广阔的高原之一。其中的喜马拉雅山脉及珠穆朗玛峰的高度均居世界之首,享有“世界屋脊”之盛名,久为世界各国地球科学研究者所瞩目。

近20年来,为揭开“世界屋脊”形成之谜,许多研究者围绕着青藏高原,以各种不同的方法和手段对它进行过探测和研究。1980年在西藏地区开始执行的“关于喜马拉雅山地质构造和地壳—上地幔的形成和演化”中—法合作研究计划,是最近的地质学与地球物理学密切配合的综合性研究计划之一。其中的人工地震测深是该项计划的重要内容之一。其目的在于研究青藏高原壳—幔速度结构、物质组成及深部构造变动特征,进而探讨其形成和演化机制。

中—法合作研究计划中的人工地震测深分两期施工:第一期,1981年9—10月完成了藏南佩枯错—一定结—普莫雍错测线,长约480km左右,呈东西分布,采用相遇观测系统。同时还完成了几条纵向和非纵向的辅助测线;第二期,1982年6—7月完成了藏北色林错—那曲—雅安多测线,长约490km,近东西向分布,同样为相遇观测系统。同期还完成了安多—当雄—嘎啦的非纵测线(扇形剖面),其长约600km。测线分布见图1。

测制上述剖面中的两条近东西向主要剖面的目的是研究冈底斯—念青唐古拉及喜马拉雅两构造单元的壳—幔速度结构及物质组成等有无差异;而近南北向分布的非纵剖面与区域地质构造走向近于直交或斜交,侧重于研究壳—幔界面的构造变动。

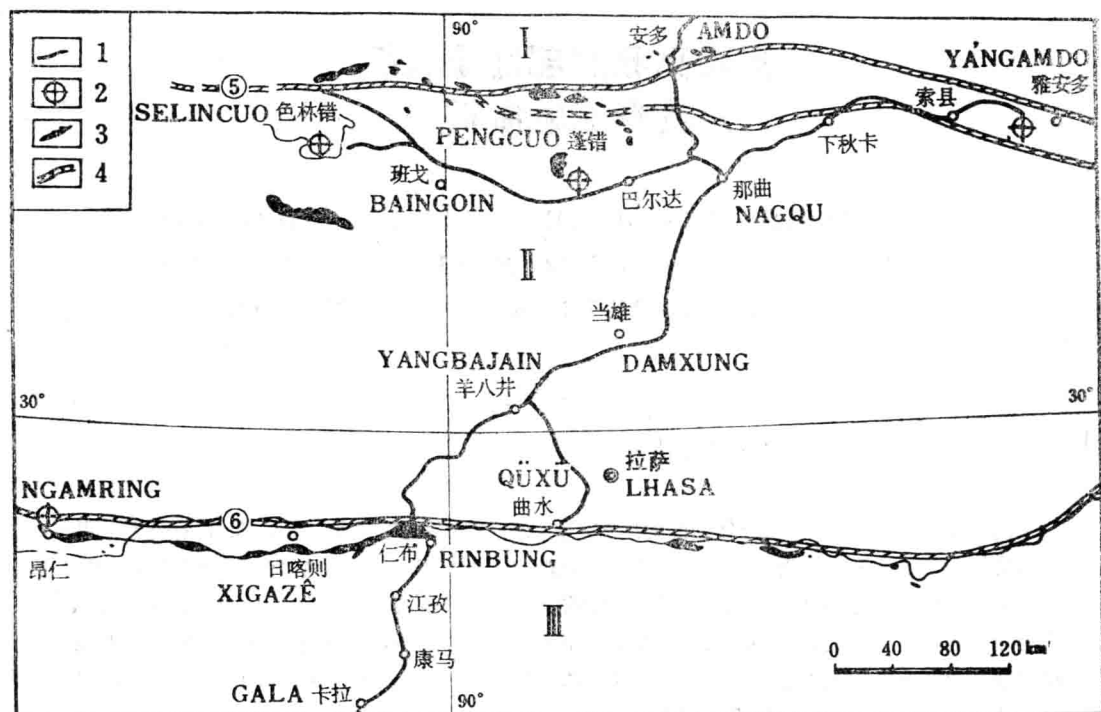


图 1 西藏地震测线及地质构造纲要图

Fig. 1 The map of geological skeleton and explosion seismic recording Line in Tibet

1—地震测线；2—爆炸点；3—蛇绿岩带；4—大断裂。⑤ 班公湖—怒江大断裂；⑥ 雅鲁藏布江大断裂。

I—喀喇昆仑—唐古拉褶皱系；II—冈底斯—念青唐古拉褶皱系；III—喜马拉雅—雅鲁藏布江褶皱系

人工地震测深剖面的记录是由中、法地球物理学家共同取得的，但资料的处理和解释有些是在法国进行的，有些则是在中国和法国分别完成的。中、法地球物理学家对资料的地球物理解释大体相近，但细节上的分歧是存在的^[9,12]。这些资料的获得，无疑为我们提供了地壳深部信息。但资料解释上的分歧又给地质解释带来了一定的困难，迫使我们不得不依赖地表地质研究成果，在某些问题上有所选择。人工地震测深资料为我们提供了较可靠的深部地质构造特征的证据。本文将对这些深部资料加以叙述，并讨论青藏高原构造特征的形成机制。

二、青藏高原的地壳结构

为研究青藏高原地壳及上地幔的结构特点，我们分别在藏南及藏北两个不同构造单元内，沿地质构造走向布置了测线（图1）。资料解释结果表明藏南的喜马拉雅构造带的地壳结构特点与藏北的冈底斯—念青唐古拉构造带有异有同。现将其解释结果概述如下：

（一）藏南 P_g —D— P_m 纵剖面

中国地球物理学家熊少柏等（1981）参加了在法国巴黎地球物理研究所进行的资料处

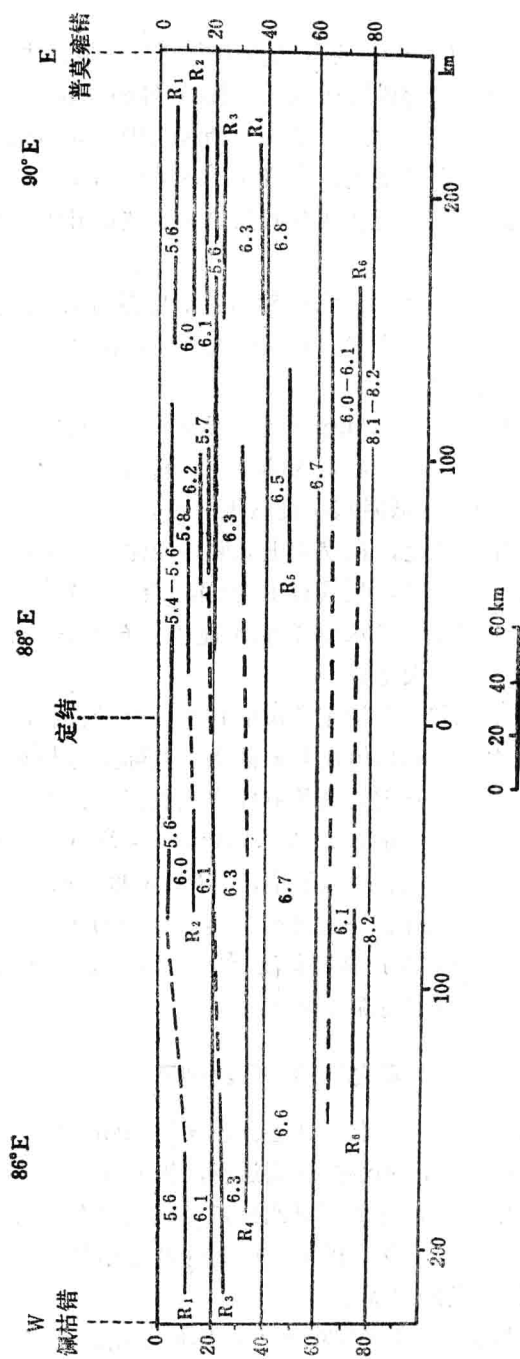


图 2 藏南 P_g -D- P_m 速度—深度剖面

Fig. 2 The section of P_g -D- P_m depth—velocity in southern Tibet

理和解释。他们通过震相的对比和分析,确认六个明显的波组,并建立了相应的地壳模型^[9]。根据这些资料我们绘制了各层的速度—深度剖面图(图2)。由图可以看出,该区地壳大体可以划分为五层:

第一层,P波速度较低,为5.6km/s。可能是由中生代的三叠、侏罗及白垩纪沉积盖层所组成的速度层。此层的横向非均匀性比较突出,Hirn等的解释明显地反映了这一特点^[12]。该层在测线中段较薄,厚度约为3—4km。西段最厚,东段次之。

第二层,纵波速度在侧向上有明显变化,中段的P波速度为5.8km/s,而西段变为6.0km/s。定日以西缺失此层。此层可能由古生代及上元古代的碳酸盐层及浅变质岩层组成。

第三层,其纵波速度为6.1—6.2km/s。它可能相当于高喜马拉雅以南出露的结晶片岩及片麻岩,其时代可能属下元古代或太古代。其顶界面在定结以西深12—13km,定结—岗巴深10km,岗巴以东深15km左右。

该层下部纵波速度出现逆转, $V_p=5.6$ km/s为一低速层。它可能是由局部熔融的硅铝质组成。其横向变化较大,东厚西薄,最厚处约6km,一般为3km,定结以西尖灭。其深度在20km左右变化,与磁大地电流的低阻层深度接近一致。

第四层,此层的纵波速度比较稳定,在横向上无明显变化,均为6.3km/s。该层界面的反射波震相在整个剖面内可连续追踪,且具有相当强的能量,为一组十分清楚的反射波。此层的厚度为东厚(15km)西薄(10km)。它可能由闪石岩类组成。其底界面相当于康拉德面,它将地壳分为上、下两大部分。

第五层,图2中的 R_5 为一组不够十分清楚的反射震相,能量较弱,而且不能大范围追踪。这表明所谓的第五层与第六层的物质组成差异甚小,实际上可归并为一层。其纵波速度为6.7—6.8km/s,可能由辉长岩或玄武岩质的麻粒岩相组成。其厚度较大,组成物质相对比较均匀。它的底界面相当于莫霍界面,东深(77km)西浅(74km),微向东倾。

熊少柏等(1983)认为莫霍面之上有一低速层,其P波速度为6.1km/s,层厚约10km。但Hirn(1983)认为壳—幔之间可能存在一过渡带,其厚度约为10km左右。

据临界反射波(P_M)及在局部测段获得的首波(P_n)推算,上地幔顶部层的纵波速度为8.1—8.2km/s,可能由辉橄岩相或榴辉岩类组成。

(二) 藏北S—P—Y纵剖面

此剖面的数据处理及波形剖面图的绘制是在法国巴黎地球物理研究所完成的,但震相分析、反演计算及正演拟合等则在中国和法国分别进行,因而其解释结果分歧较大。卢德源、黄立言等^[2]及王式、李晓鹏等^[1]通过震相对比分析,确认七个波组,通过理论曲线、速度曲线、射线跟踪和理论地震图等方法,得出了该区的地壳模型。其各层的深度及速度详见图3。现将它们归并为五层分别概述如下:

第一层,其纵波速度变化较大(5.6—5.8km/s),厚度变化亦大。班戈以西厚约18km,而蓬错附近仅8—10km。主要由中生代的沉积层组成。这里包含了最上部第三纪及第四纪的松软沉积层,但它们只分布在蓬错及其以西的测段内,并且由东向西明显变厚。

第二层,其纵波速度为6.1—6.23km/s,可能由古生代灰岩及含角闪石矿物较丰富的

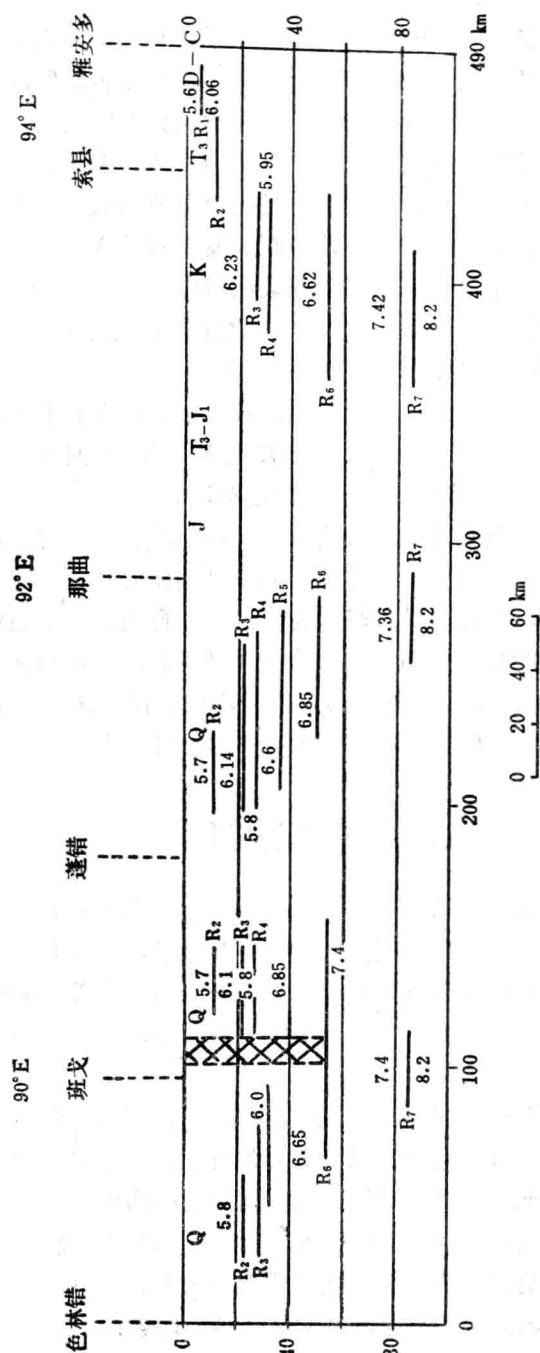


图 3 藏北 S-P-Y 速度—深度剖面
Fig. 3 The section of S-P-Y Velocity—depth in northern Tibet

元古代变质岩层组成。其厚度变化与第一层相反,东厚西薄,班戈以西厚7km,班戈以东增至11—12km,索县附近厚达17km。由此可见,在中生代与古生代之间可能发生过地壳构造变动。

第三层,该层的P波速度发生逆转,下降为5.8—5.95km/s。其厚度不大,一般仅4—6km。它被认为是熔融的硅铝质层。它的底界面(R_4)在剖面各测段内均可追踪对比,为该区的稳定界面之一,是上、下地壳的分界面,即通常所谓的康氏面。它的埋深在剖面中段为26—28km,东段约为30km,西段为32km,大体上构成一隆起形态。

该低速层在藏北较深,藏南埋深较浅。这与磁大地电流的探测结果极为接近^[6]。藏北的高温热泉的广泛分布,可能与该层的存在及断裂的发育有关联。

第四层,反射界面 R_5 的反射波组只在局部测段内可以辨认,其反射能量很弱,这表明其上、下两层的物质组成比较近似,因此可将 R_4 与 R_6 之间的介质视为一层。其波速为6.62—6.85km/s。推断为玄武岩质的麻粒岩或辉长岩所组成。

第五层,此层的P波速度为7.36—7.42km/s,较正常上地壳速度为高。一般下地壳速度约在6.5—6.8km/s范围内。但又低于正常上地幔顶部层的P波速度。它可能由麻粒岩或榴辉岩相组成。厚13—21km,其底界面(R_7)深达85km。

由于该层纵波速度异常,故对其归属争议较大。卢德源、黄立言等将此层划归异常上地幔,并以 R_6 为壳—幔间的分界面——莫霍面。而王式则将此层称为壳—幔过渡带。壳—幔过渡带一词虽然提出已久,但并未被广泛接受。不过,愈来愈多的地震测深资料表明,壳—幔之间并非是一个简单的界面,而往往作为一个带或高、低速相间的薄层叠合层而存在,因为临界反射波 P_M 的振幅通常明显增大,能量增强。作者认为介于壳、幔之间的纵波速度反映了介于壳、幔之间的物质组成,故取壳—幔过渡带之称是适当的。

三、深部构造特征

为研究青藏高原的深部构造变动情况,除前述两条主要纵剖面外,还完成了几条非纵的扇形观测剖面。其中以安多—当雄—嘎拉扇形剖面为最长,其余几条均为较短的非纵辅助剖面。由于这些剖面设计的目标在于探测垂直构造带走向上莫霍面的起伏及构造变动,故其测线多布置在接近南北方向的公路上。因公路方向多变,故一些局部测段更近于纵测线。

一些地球物理学家早已发现,大陆地壳与地幔的分界面、即通称的莫霍面,在它的亚临界至超临界距离范围内,往往可以接收到以大振幅为特征的反射波。西藏地区的非纵剖面就是根据这一特征布设的,炮点多设在测线一侧的临界或超临界距离范围内(150—260km左右)。其目的就在于接收具有大振幅和高能量,震相易于识别的壳—幔界面的宽角反射波。进一步据此震相推算出莫霍面的深度变化及构造变动等。

为使读者能够得到一个较完整的高原深部构造变动的印象,作者在Hirn(1983)编制的波形剖面图的基础上^[11],参考了尼泊尔^①及印度境内的有关地震测深资料,整理了作

① Jean-claude Lepine, Alfred Hirn et. al., Features of the P waves propagated in the crust of the Himalayas, 1983 (未刊稿)。

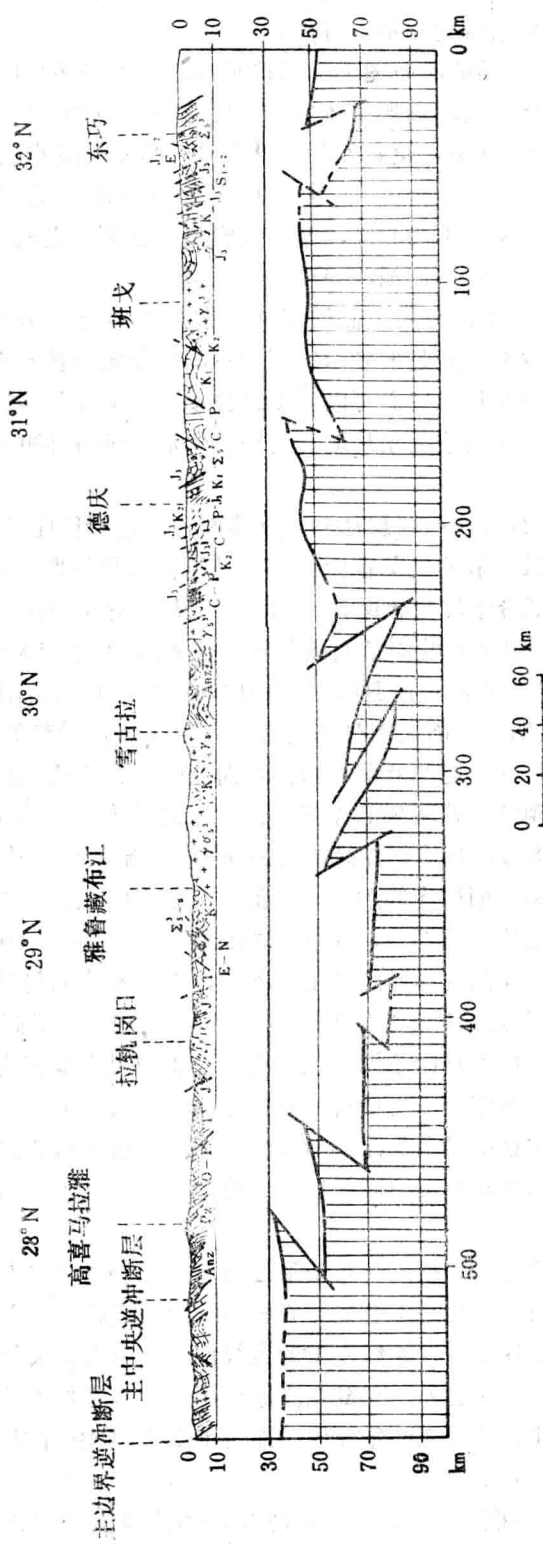


图 4 深地震测深综合南北向构造剖面

Fig. 4 The composite Longitudinal structural Profiles of Deep seismic sounding

者观察和收集的地表地质构造资料,编制成图4。此图虽不十分精确,但它基本上可以反映出西藏地区地表及深部的构造概貌和基本特征。

1. 在横切高原区域构造走向的断面图上,莫霍面不是一个连续的平面,而是一个不连续的曲面。其埋藏深度变化较大,高原主体部分一般为50—60km左右,最大埋深为75—85km。向高原南北两侧的边缘地带,莫霍面的深度变浅。高喜马拉雅以南深度只有35km左右,昆仑山一带的莫霍面深度约45km^[3]。其总体形态为中部深,边缘浅。但其南部有两个深槽;其一位于喜马拉雅构造带的北缘,雅江壳幔型深断裂带之南;另一个位于冈底斯-念青唐古拉构造带的北缘,班公湖-怒江壳幔型深断裂带以南。

2. 据波形剖面图中的震相对比分析,高低不平的莫霍面绝大部分是不连续的,并呈阶状陡变。某些测段的地震波形图清楚地显示出深度不同的莫霍面彼此有部分叠覆现象。对此现象可作两种不同的地质解释:它们可以由倒转或平卧褶皱而形成;或者由一系列走向逆冲断层所导致。但地表地质构造现象及地震资料说明后一种解释更合理些,在图4中我们就是采用了这种解释。

3. 图4表明霍面被一系列走向冲断层切割成许多断片,它们彼此逆冲或相互叠覆,构成一幅复杂的构造图象。最明显的是莫霍面在高喜马拉雅以北与雅鲁藏布江以南形成一个深槽,其地表对应着藏南低分水岭拉轨岗日山脉,我们暂称它为拉轨岗日深槽。由Hirn绘制的波形剖面图中^[11]可以看出,在此深槽南侧莫霍面被两条规模较大的冲断层所切,形成两个高差约为20km的台阶。据波形图判断其断面应向南倾,它们的南盘均向北仰冲,极似叠瓦状构造。波形图还表明每个断层南盘的莫霍面近断面部分都有微微上翘现象。而在深槽的北侧可以看到连续存在三个逆冲断层,断面均向北倾。它们的上盘莫霍面均向南逆冲,也形成叠瓦状构造。综观此深槽两侧的深部构造,可以认为是一系列对冲断层。

Hirn认为冈底斯-念青唐古拉构造带北缘的班公湖-怒江断裂带以南,也有一类似的莫霍面深槽。王式等^[1]对非纵剖面所作的解释,与前者有较大的差别,但仍可看出莫霍面被一系列的走向断层切割的迹象(见图5),而且深槽北侧的断片逐个抬升,南侧的莫霍面也有明显的抬升。由此可见,他们的解释结果虽有差异,但基本格局仍是相近的。

4. 高原深部的走向断层与地表的走向断层均为逆冲性质。但断层面并非如以前所说的一律北倾,事实是地表断层面倾向不同,例如喜马拉雅山以南地表走向断层多北倾,而雅鲁藏布江附近的走向断层多南倾。更值得注意的是同一地段的地表与深部断层的倾向也不完全一致,例如,喜马拉雅山以南的深部断层多南倾,而雅鲁藏布江以北的三个冲断层均向北倾。拉轨岗日深槽两侧断层面倾向相反,以及地表与深层断面倾向相反,看来并非偶然。

5. 雅鲁藏布江断裂带及班公湖-怒江断裂带附近均有蛇绿岩出露。高原北部的另外几条分割不同构造带的巨型断裂带,几乎都有蛇绿岩分布。地震资料已证明其中的几条巨型断裂带都深达地幔切断了莫霍界面。在蛇绿岩带的边缘部分可以看到大量的岩脉或岩枝插入沉积层中,并可见蚀变边。除此之外,在藏北高原还可见许多受控于几组断裂的超基性岩墙和岩脉。这证明蛇绿岩并非为洋壳的残留体,而是地幔岩浆沿断裂上涌的结果或产物。

6. 西藏地壳的中部存在一低速层,它与磁大地电流的低阻层产出部位大体吻合。但

它们在不同地区的埋藏深度并不一致,就其总体而言,藏南较浅,藏北较深。这一层的存在往往被解释为局部熔融层。但也不能排除它是一较平缓的破碎层或滑脱层的可能。

7. 拉轨岗日山脉又被称为藏南低分水岭,它的平均高度为海拔 6000m 左右,而在它南侧的高喜马拉雅山脉高度竟达 8000m 左右。前者地壳厚达 75km,而后者地壳厚度仅 55 km。低分水岭南坡的水系竟然穿过高于它近 2000m 的山脉而畅通无阻。这些特殊现象对我们探讨高原的形成和演化,也许是有益的。

四、青藏高原形成机制的探讨

在此次综合性国际联合考察之前,世界各国的地学研究者曾采用各种不同方法围绕青藏高原进行过一些探测,并对高原的形成机制提出过一些不同的见解。其中一种观点认为重力均衡补偿而引起的垂向力是高原形成的主因,水平挤压力是由垂向力派生出来的。另一种对立的观点则认为用均衡理论不能解释喜马拉雅的构造特点^[5]。近期用板块理论解释高原形成者越来越多。以科诺和沃西为代表的一派认为重力资料说明喜马拉雅地区处于均衡补偿不足状态,其下之地壳厚度尚未达到均衡补偿所需的厚度。然而,目前喜马拉雅山正以大约 15—50mm 的年速率上升。因此他们认为促使喜马拉雅上升的力绝不是均衡补偿的作用力,而是印度板块向欧亚板块俯冲的构造力促成的。然而,拜伦根据他的观察结果提出,西藏高原的形成不符合板块俯冲模式,可能是受南北向水平挤压使其莫霍面和软流圈升高而引起的^[4]。对高原形成机制的解释,目前仍以板块说为主导,但由于这一学说在大陆板块方面遇到了一系列的困难,因而出现了许多分歧。1973—1977 年苏、印等国的帕米尔—喜马拉雅深地震测深结果,以及 1977 年中国科学院地球物理研究所的纳木错—亚东地震测深结果^[10],似乎并不支持板块说的推断。因此,必须另外寻求更合理的解释。本章将主要根据 1981—1982 年西藏地震测深结果,并结合地表地质构造观察结果,探讨高原的形成机制。

1. 重力测量和地震面波的研究结果,均已提出青藏高原拥有地球上最厚的地壳。深地震测深结果已证实北帕米尔地壳的最大厚度为 75km,西藏的地壳最大厚度为 73km。而这次中、法合作的地震测深结果证实:西藏地壳一般厚 50—60km,最大厚度达 77km。青藏高原地壳为正常大陆地壳平均厚度的二倍左右。显而易见,高原的形成与地壳的急剧增厚有极为密切的关联。

2. 有人认为印度板块俯冲于欧亚板块之下,双层地壳叠置到一起是高原形成的主要原因。但是,实际上没有任何一次地震测深结果能够证实双层地壳的存在。前述两条主要纵剖面的解释结果说明,它们所在的两个构造单元的地壳结构大同小异。概括起来,高原地壳虽有明显增厚,但其地壳中部都有一稳定而又清晰的分界面,它将地壳分为上、下两大部分。而且地壳平均纵波速度(V_p)为 6.3—6.4km/s,接近正常,略微偏低。上地壳的纵波速度为 6.0km/s 左右,下地壳平均速度为 6.4—6.6km/s,都接近正常略低。由此可见上、下地壳虽分别增厚近一倍,但二者之间并无大的穿插。上地幔顶部层的纵波速度也较正常,为 8.1—8.2km/s。其壳—幔过渡带速度介于壳、幔之间的速度。莫霍面也较稳定。由此可推知该处绝无双地壳叠置的可能,因为不但界面稳定,而且没有发现硅铝质与

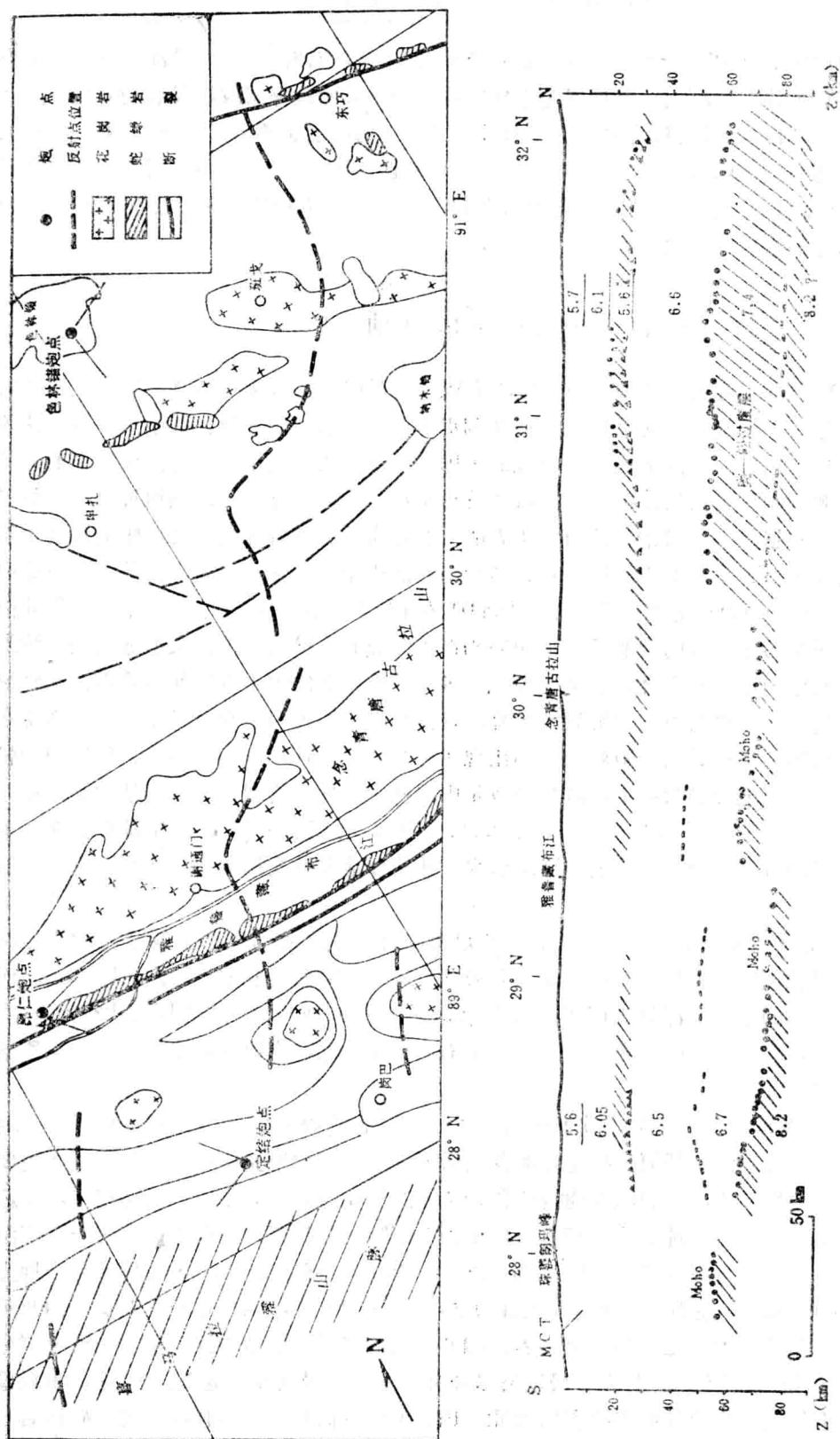


图 5 西藏横穿构造带的综合非纵剖面
Fig. 5 The composite broadside section of cross-cutting
tectonic zone in Tibet

铁镁质岩层速度交替更叠。

3. 无论是帕米尔—喜马拉雅地震剖面, 中法合作完成的尼泊尔—安多之间的地震剖面, 或者是我队完成的沱沱河—格尔木剖面, 都已证明青藏高原地壳的增厚不是均匀的。各地质构造单元具有不同的地壳厚度, 彼此之间为规模较大的走向断裂所分隔。就总体而言, 中部地壳较厚, 边部较薄, 莫霍面构成一巨型拗陷形状。对莫霍面的起伏虽然可作不同的地质解释, 但无论作何种解释, 莫霍面在南北方向上的彼此叠覆以及地表岩层的逆冲及褶皱、都可以作为地壳在经向上缩短的一种明显标志。地壳在水平方向上缩短, 无疑可作为地壳在垂向上增厚的原因之一来考虑。

4. 在藏南及藏北的两条主要纵剖面中, 都发现在上地壳的底部有一低速层或低阻层, 前已提及, 对此层多作局部熔融的花岗岩层看待。但值得注意的是低速层在藏南及藏北剖面中并不占据相同的层位, 其深度变化与其它层位的变化也不完全一致。例如, 低速层在藏南剖面中是在第二层的底部, 而在藏北它处于第三层和第四层之间。图5表明低速层或低阻层的深度是北深南浅, 而地壳的厚度变化是北薄南厚, 二者的变化并不协调。据此我们推断, 它可能具有构造面的性质, 为一规模巨大角度低平的剪切滑动面。水平剪切滑动可以产生巨大的热储, 使滑动破碎带含有大量热水, 或使剪切面附近的岩石产生局部熔融。它可能相当于通常所谓的滑脱面或滑脱构造。如果前面分析得出的上、下地壳分别增厚的机制是成立的, 那么在上、下地壳之间的滑脱面的存在也是必然的。因为上、下地壳都是具有一定强度的固体, 它们不同部分之间在运动的时间、速度和距离等任何一方面的差异都需要有一个滑动面。由此看来, 滑脱面或起滑脱作用的面是固态地壳缩短和增厚必不可少的条件之一。这在地壳缩短和增厚的年轻造山带内可能具有普遍意义。

5. 地表地质构造研究表明, 青藏高原北侧的褶皱轴面及规模较大的逆冲断层多向南倾; 高原南侧的褶皱轴面及逆冲断层多朝北倾; 而高原中部多箱状及屈状褶皱, 冲断面多为高角度, 且倾向不定。因此横断面的形状酷似雄鸡之冠, 故有人称其为冠状构造。这似乎是由于高原北侧塔里木和柴达木等坚硬地块向南推挤, 而其南侧又遇到坚硬而又稳固的印度地块的阻挡所致。

藏南拉轨岗日深槽附近上、下地壳中倾向相反的走向冲断层, 也是在南北向水平挤压力作用下, 因各自边界条件的差异而发育不同的一对共轭剪切破裂面。其上地壳层中的走向断层多为仰冲断层, 而下地壳层中的走向断层则应以俯冲断层为主。这里所说的俯冲绝非科诺等推测的印度板块向欧亚板块之下的俯冲。

6. 前述地势最高的高喜马拉雅地壳, 比地势较低的藏南低分水岭的地壳厚度薄将近20km。按重力均衡理论而言, 这无疑是一种反常现象。恰恰是这类反常现象证明了地面的隆起并非都起因于重力均衡。而且还应该对过去的地壳的重力均衡理论做适当的修正。

显而易见, 如果假设藏南低分水岭已处于重力均衡状态, 那么高喜马拉雅则必然处于均衡补偿不足的状态下。在此状态下高喜马拉雅不但不应上升, 理应下降。然而, 有资料证明喜马拉雅是继低分水岭形成之后才升起的, 并且目前仍在继续抬升。据此判断, 青藏高原长期以来一直受构造应力的控制。我们虽然不否定均衡作用在高原地壳增厚中的作用, 但它绝不是高原形成的主导原因。

7. 地表地质研究说明, 青藏高原经历了漫长的渐变过程和急剧的骤变阶段。事实表

明古生代以前高原范围内的地壳趋于稳定,接受了古生界的台型沉积。加里东和华力西构造运动期间该区并没发生剧烈的构造变动。但从三叠纪开始,在高原范围内发生较剧烈和有规律的构造运动。自北而南依次形成了印支、早燕山、晚燕山及喜马拉雅期时代逐渐变新的构造带和岩浆岩带。海域也由北向南依次推移。这些现象证明这里的南北向水平挤压力来自北部坚硬地块的朝南推挤。

地表资料还证明,高原的雏形形成于中生代。但其大面积的快速隆升始于始新世。上新世和更新世为急剧隆升时期。地貌现象还说明高喜马拉雅的崛起可能是在全新世。

8. 高原地区频繁的地震活动是目前高原仍受控于构造应力作用的另一证据。高原内不同地区的地震震源机制解表明,各地的构造活动方式不尽相同^[8]。在喜马拉雅构造弧的南缘,以自北而南的逆冲活动为主。高原内部有近南北方向的张裂活动^[14,15]。高原的北缘及东北部以左旋走滑断层为主,而西北部则以右旋走滑断层为主。高原东南的川、滇、缅构造带的东半部以左旋走滑断层为主,而西半部则以右旋走滑断层为主。

震源机制解反映了高原最新的构造运动特点。它除证明高原仍继续由北向南的逆冲活动外,还说明高原发展后期,被抬高的地壳物质在地壳上部还发生了由西向东的横向延性流动。但向东遇到四川地块的阻挡之后,转而向东南的“隘口”运动。鲜水河断裂带以北的北西向断裂为左旋走滑断层面解,而滇西至缅甸间南北或北西向的右旋及南北构造带东侧的左旋走滑断层面解,以及木里、盐源等一系列的弧形构造都是明证。

概言之,青藏高原是在其南、北两侧坚硬地块的相对挤压作用下,使高原地壳在经向上发生水平缩短,并导致垂向上的地面隆升和地壳的增厚。其周边的应力作用方式大体如图6示之。该区的最大主应力(以压应力为正)轴为接近水平的南北向,最小主应力近于

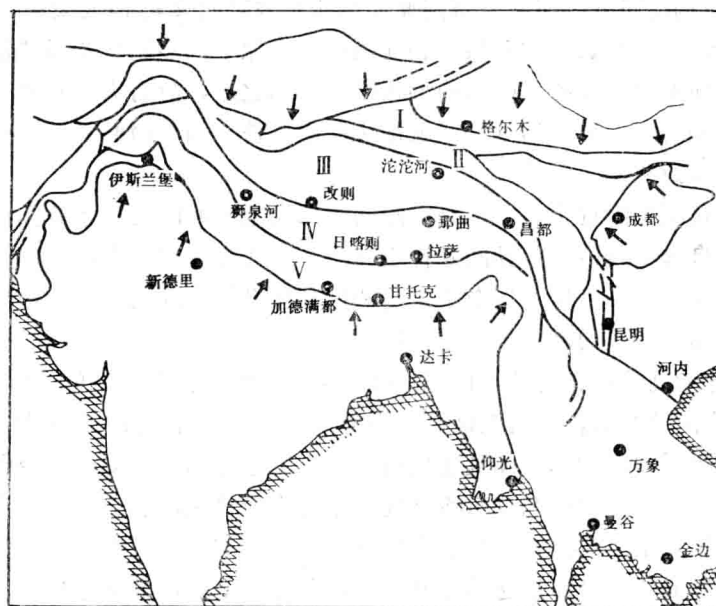


图6 青藏高原构造及构造作用力示意图

Fig. 6 Schematic illustration of tectonic zone and tectonic making force in Qinghai-Xizang Plateau

直立,中等主应力轴为近水平的东西方向。

有关北半球地表显示自北往南运动的地质构造现象及其动力源问题,李四光教授在《地质力学概论》中早有论述(1961)。青藏高原之所以在这一特定的地区形成,除其边界条件适宜外,可能与这里的特殊物理条件或环境有关。B. B. 别洛乌索夫等(1979)的资料说明,高原中部软流层的厚度有所增加,其顶板深120km,底板深300km,其南、北两侧均已变薄,同时还发现软流层伴有地震波速的明显降低,并推测软流层温度有明显升高。西藏地区的地热流值明显偏高^[13]可能与此有关。

参 考 文 献

- 〔1〕 王式、李小鹏等,1984,西藏高原地震波速度分层特征及南北向地壳厚度的变化。喜马拉雅地质科学国际讨论会论文摘要。
- 〔2〕 卢德源、黄立言等,1984,西藏北部地区地壳结构和速度分布特征。喜马拉雅地质科学国际讨论会论文摘要。
- 〔3〕 卢德源、陈纪平等,1984,青藏高原北部沱沱河—格尔木地区地壳和上地幔的结构模型和速度分布特征。喜马拉雅地质科学国际讨论会论文摘要。
- 〔4〕 肖庆辉,1979,喜马拉雅及其周边的深部构造。青藏高原地质文集(1),地质出版社。
- 〔5〕 张之孟,1979,喜马拉雅构造。青藏高原地质文集(1),地质出版社。
- 〔6〕 袁学诚、李立、金国元等,1984,西藏洛扎—桑雄地区的磁大地电流研究。喜马拉雅地质科学国际讨论会论文摘要。
- 〔7〕 高恩元、徐忠信等,1984,喜马拉雅山北麓—雅鲁藏布江地区人工爆炸地震探测的地壳结构。喜马拉雅地质科学国际讨论会论文摘要。
- 〔8〕 郇家全、时振梁等,1981,青藏高原的现代构造,地球物理学报,Vol. 24, No. 4。
- 〔9〕 滕吉文、熊少柏等,1983,喜马拉雅北部地区的地壳结构模型和速度分布特征。地球物理学报,Vol. 26, No. 6。
- 〔10〕 滕吉文、熊少柏等,1981,西藏高原当雄—亚东地带地壳与上地幔结构和速度分布的爆炸地震研究。地球物理学报,Vol. 24, No. 2。
- 〔11〕 A. Hirn et al., 1984, Lhasa block and bordering sutures—a continuation of a 500km Moho traverse through Tibet, Reprinted from Nature, Vol. 307, No. 5946.
- 〔12〕 A. Hirn et al., 1984, Crustal structure and Variability of the Himalayan border of Tibet, Reprinted from Nature, Vol. 307, No. 5946.
- 〔13〕 Claude Jaupart, Jean Francheteau and Xian Jieshen, 1986, On the thermal structure of the Southern Tibetan crust, Geophys. J. R. astr. soc.
- 〔14〕 P. Tapponnier, Li Tindung et al., 1981, The Tibetan side of the India—Eurasia Collision, Nature, Vol. 294.
- 〔15〕 P. Tapponnier, Han Tunling, et al., 1981, Field evidence for active normal faulting in Tibet, Nature Vol. 294.

CHARACTERISTICS OF DEEP-SEATED GEOLOGY IN THE QINGHAI-XIZANG (TIBET) PLATEAU AND MECHANISM OF ITS FORMATION

Cui Zuozhou

(562 Comprehensive Geological Brigade)

Abstract

The explosive seismic sounding made by the Chinese-French Joint Geological Party in Tibet during 1981—1982 has confirmed that there is a 75km thick crust between the Yarlung Zangbo River and the Himalayas which becomes thinner both southwards and northwards, and the crust of the High Himalayas is only 55 km thick without a mountain root. The crust in Tibet is divided approximately into two layers, the upper and the lower. Both of them have a velocity close to the normal one. The faults of the two layers often dip in opposite directions and between the two usually occur a low-velocity layer and a stable interface. These features mean that instead of double crust and great insertion, both the upper and lower crusts are double in thickness. The crustal structures of the Himalayas and the Gondise tectonic belts are similar in general but sometimes different from each other.

Across the strike of the tectonic belts, there is a uniquely deep Moho trough underneath both in the south of the Yarlung Zangbo River fault and the Nujiang River fault. The deep Moho trough of the former gets thinner towards both the sides of its crust and is controlled by extrodipping thrusts. On the northern side of this trough, the Moho is overlapped as imbrication. The thrusts that cut the Moho on the both sides appear as ramp faults. All of these prove that the India craton has never subducted under the Tibet crust, but on the contrary has obducted onto it.

The features of the crustal and deep-seated sturctures in Tibet indicate that great horizontal stress which moves southwards from the northern side of the Qinghai-Tibet Plateau made the crust of this region be in a high compressed state caused by its northern and southern landmasses over a long period. The crust became eventually folded and thrustured at the beginning of the Himalayan orogeny, and the fault walls were overlapped on or ramped each other.