综合评述

青藏高原新生代构造和第四纪研究的进展及问题讨论

袁道阳¹,张培震²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要:简述了近年来国内外在青藏高原晚新生代构造和第四纪地质研究方面所取得的新进展. 针 对在活动构造研究中所存在的问题, 提出了今后研究工作的方向. 认为应当加强青藏高原及其周 缘地区晚新生代构造变形方式、幅度和速率的研究, 同时在研究中应当将第四纪地质与活动构造 研究相结合, 特别要注重深部构造的研究.

关键词: 青藏高原; 新生代构造; 第四纪地质; 活动构造

中图分类号: 文献标识码: B 文章编号: 1000-0844(2001)02-0199-07

0 引言

青藏高原素称"世界屋脊"、"地球第三极",平均海拔在4 500 m 以上. 高原的强烈隆起是新生代以来地球 上发生的重大地质事件. 高原隆起的原因、复杂的地壳结构和其所处的构造位置以及由于高原的隆升所引起 的自身和周围的自然地理环境和气候的变化等问题. 长期以来一直是地球科学研究的重点和热点之一. 多年 来. 在国内外众多学者的共同努力下,对上述问题的研究取得了重要进展,提出了许多带有普遍意义的重大理 论问题. 如造山模式、高原隆升机制与全球变化等.本文在综述近年来有关研究的新进展的基础上,就与活动 构造研究相关的问题进行概略的讨论.

1 青藏高原新生代构造研究的新进展

1.1 青藏高原的地质构造特征与演化

青藏高原在地质构造方面有许多独特之处,其中之一就是地壳厚度较大,几乎达到了正常地壳厚度的2 倍. 滕吉文等¹¹ 根据人工地震测深资料,曾融生等¹²¹ 根据重力资料均得出青藏高原的平均地壳厚度约为70 km 的结论. 在高原内部地壳厚度也存在显著的变化,并与其地势大体呈正相关. 总体上北喜马拉雅、拉萨地 块和羌塘地块地壳厚度较大,普遍在75 km 左右,甚至达80 km. 北部可可西里和昆仑山区莫霍面略有抬升, 地壳厚度约为60 km. 青藏高原北缘,沿阿尔金一祁连山一带向NE方向地壳迅速变薄. 由北喜马拉雅向南, 地壳厚度变薄,并逐渐过渡到印度地盾的正常地壳厚度. 青藏高原的周缘是地壳厚度陡变带,向四周地壳厚度 迅速变薄. 地壳之下的上地幔顶部较为正常,相对较薄,岩石圈厚度为120~165 km,呈南薄北厚的态势. 地壳

古地磁研究表明, 青藏高原是由一些处于不同纬度的大陆块体在不同地质时期拼合起来的. 现有的地球 物理资料和地质调查资料显示, 青藏高原由 5条狭长的缝合带和被它们分隔开的 6 个地块所组成^[4] . 高原的 北缘为西昆仑一祁连山加里东期缝合带, 向南依次为柴达木地块、昆仑山华力西期缝合带、巴颜喀拉地块、金 沙江印支期缝合带、羌塘地块、班公湖一怒江燕山期缝合带、藏北地块、雅鲁藏布江喜马拉雅期缝合带和喜马 拉雅地块. 缝合带的时代由北向南依次变新, 显示了亚洲大陆逐渐向南增生^[9]. 印度次大陆自晚白垩纪开始

收稿日期: 2000-02-17

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(95-13-01-04)资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2000018. 作者简介: 袁道阳(1965一), 男(汉族), 四川广安人, 副研究员, 现主要从事地震地质研究工作.

以 180~100 mm/a 的速率向北漂移⁽⁹,于始新世与亚洲大陆接壤.印度次大陆与亚洲大陆的碰撞,成为巨大的喜马拉雅造山运动的开始.这使雅鲁藏布江一带的特堤斯残余海最终封闭,并开始了缓慢的分阶段的构造运动、岩浆活动及地面隆升过程,从而形成青藏高原现今独特的地质地貌特征.

1.2 青藏高原的新构造变形特征

在与亚洲大陆碰撞以后,印度次大陆并没有停止其向北的移动,只是速度减慢为5mm/a,并向北插入在 喜马拉雅山之下.当受到北部亚洲刚性地块的阻挡时,青藏高原处在强大的NS向挤压应力作用之下,其内部 出现大规模的冲断及剪切作用,地块与地块相互重叠,岩浆活动显著,从而造成地壳在NS方向上缩短,在垂 直方向上增厚,并有一部分物质向东滑移,在地貌上就形成一系列对冲山岭和盆地相间的挤压逆冲构造带,自 北而南依次为祁连山一阿尔金山、昆仑山、唐古拉山、岗底斯山和喜马拉雅山等山脉.据估计,自第三纪早期以 来,印度大陆已向北推进了1500~2000km^[6],并深深地楔入到亚洲大陆内部.形成复杂多样的新构造变形.

晚新生代以来,在整体不断隆升的背景下,青藏高原内部形成了一些不同性质的活动构造带.汪一鹏^[7] 将其归纳为3种类型:⁽¹⁾挤压会聚构造及压陷性盆地.包括喜马拉雅山南麓、西昆仑、祁连山会聚构造带和由 于高原东缘的侧向滑移而形成的六盘山、龙门山及锦屏山等会聚构造带.⁽²⁾剪切构造带.包括阿尔金断裂带、 喀喇昆仑一嘉黎断裂带、东昆仑断裂带、风火山一鲜水河断裂带和红河断裂带等.⁽³⁾地堑型盆地.主要指西藏 中南部的一些近 NS 向的张性断裂-地堑系.此外,在高原北部还发育一组 NNW 向的右旋走滑兼逆冲断裂带, 集中分布于 98°~104°E,如鄂拉山断裂、热水一日月山断裂等.它们构成了一些第三纪~第四纪盆地(如共和 盆地、青海湖盆地、西宁盆地等)的边界并控制了盆地的形成与发展.现对部分构造带特征简述如下:

1.2.1 喜马拉雅南麓会聚构造带

该构造带宽达 150 km 左右,包括主前锋冲断层带(MFT)、主边界冲断层带(MBT)、主中央冲断层带 (MCT)和主北冲断层带.这些断层带由一系列逆掩断裂、推覆体和新生代褶皱所组成,其活动时代由北向南 依次变新.有历史记载以来,沿该带曾发生了包括 1950 年察隅 8.5 级地震在内的 8 次 8 级以上大地震.根据 地震矩估计该带的会聚速率达(20±10) mm/ a^[8].

1.2.2 祁连山会聚构造带

该构造带由多条平行相间的山系与谷地组成, 宽达 200~300 km. 在山系的北缘分布有多条向北仰冲的 逆断裂, 组成顺地壳中的折离面向高原外侧推进的推覆体, 而谷地则为其前缘的坳陷带. 其地壳缩短速率为(4 \pm 2) mm/a, 缩短量达 25 km^[9]. 此外, 在该会聚构造带上还发育有 NWW 向的左旋走滑逆断裂带, 如冷龙岭 一海原断裂带等. 海原断裂全新世以来的走滑速率为 6~10 mm/a^[10]. 但 Gaudemer 等^[9]认为, 该断裂带的走 滑速率达(15±6) mm/a, 冷龙岭断裂活动速率达(11±4) mm/a. 有历史记载以来, 沿整个祁连山断裂系发生 了 7 次 7 级以上强震, 仅 20世纪就发生了 1920 年海原 8.6 级、1927 年古浪 8 级和 1932 年昌马 7.6 级等大地 震.

1.2.3 阿尔金走滑断裂带

该断裂带为青藏块体西北缘的一条巨大的 NEE 向逆走滑断裂带,长达1 600 多公里. 自上新世(主要自中更新世)以来阿尔金断裂的左旋逆走滑运动造成一系列山脊、水系、阶地等的位错与变形. 全新世以来其西段的平均水平滑动速率为 8~9 mm/a 东段为 4~4.5 mm/a 逆冲速率为 0.5 mm/a^[11]. 汪一鹏^[7]认为,阿尔金断裂的走滑速率为 12~15 mm/a Avouac 等^[8]则认为,阿尔金中段走滑速率达 30 mm/a 东段减为 5 mm/a 其运动转化为沿东昆仑、柴达木、祁连山的逆冲分量. 沿该断裂带发现多期古地震事件及地震破裂形变带,历史上有多次 6~7 级的中强地震发生,但该断裂近代地震活动性不强.

1.2.4 东昆仑活动断裂带

该断裂带位于昆仑山南缘,全长 2 000 km,主要由 6 条次级断裂组合而成,走向 NW.新生代以来,该断裂活动强烈,早期以挤压逆冲活动为主,大约自中更新世以来,主要表现为左旋走滑为主,全新世走滑速率达 10 mm/ a 左右.沿断裂发现多期古地震事件及所形成的多条地震破裂带.其中 1937 年花石峡 7.5 级地震形成了长达 180 km 的破裂带^[12].

1.2.5 红河断裂带

该断裂在第三纪中早期曾是一条左旋韧性剪切带,直到第三纪晚期才开始显示右旋走滑活动,晚第四纪

1.3 青藏高原新构造变形机制

对于青藏高原晚新生代以来的构造变形机制,普遍认为是印度板块向北楔入引起的地壳南北向缩短产 生的地壳增厚和走滑断层作用这 2 种方式. 但是对于那一种方式占主导作用目前认识尚有分歧. Molnar 等⁽⁹、Tapponnier等^[15,16]、Peltzer^[17]和 A vouac 等^[8]提出了大陆碰撞模式. 他们把印度板块向亚洲大陆下部的 挤入简化为平面刚塑性问题(即所谓的以"大陆逃逸"为代表的平面应力理论问题) 将其变形方式近似地看成 主要断层之间刚性块体的相互作用。即认为新构造变形主要集中发生在几条走滑断裂上。 而由其所围限的块 体的侧向迁移是调节构造变形的方式,因此走滑断裂作用占主导地位,并用塑性滑移线模型模拟了青藏高原 北部走滑断层的变形过程. 以西伯利亚地块为参考体. 塔里木和西藏块体发生顺时针方向的旋转, 引起青藏高 原东南缘以约 20 mm/a 的速率向东南移动,致使被东昆仑和鲜水河左旋走滑断裂分隔开的弯曲块体顺时针 旋转,从而产生阿尔金断裂、东昆仑断裂、鲜水河断裂及红河等断裂的显著走滑活动和六盘山、龙门山、锦屏山 等挤出构造带. 贝加尔裂谷和山西地堑则为剪切带末端的张性破裂或远离挤入体的对面边界次级拉张破裂. 但是, England 等^[18~20]、Molnar^[21]和 Holt 等^[22,23]则认为,适用于大洋板块之间刚性运动的板块构造理论并 不完全适合于大陆内部. 其新构造变形要复杂得多. 板块会聚所引起的构造变形主要是通过广泛分布于大陆 内部的逆断层作用和地壳增厚来调节的,而走滑断层作用是有限的(即可以简化为以地壳增厚为代表的平面 应变理论问题). 其构造变形应看成为一种连续介质的内部应变和旋转, 其地表(上地壳)的非连续变形仅反映 了局部区域的脆性地壳特征,深部塑性岩石圈则为连续变形,也就是说,大陆上地壳是以脆性变形为主,并形 成一系列活动褶皱和断裂带,将上地壳分割成不同级别的活动地块,而下地壳和上地幔则以韧性和塑性流动 为特征 从底部驱动地壳变形 活动地块的运动和变形不仅受到板块边界的驱动作用 还受到深部的动力作 用. 中上地壳可能与下地壳和上地幔通过不同类型的折离带或滑脱带解耦. 但下部的韧性变形和塑性流动仍 通过不同的方式作用于上部的脆性活动地块并影响其运动和变形^[24].

2 青藏高原及其周缘地区第四纪研究的进展

2.1 青藏高原隆升的年代和幅度

从地质作用的过程看, 印度次大陆与亚洲大陆于 50~40 Ma B. P. 的接触碰撞即应是青藏高原隆升的开 始. 但是青藏高原究竟何时开始隆升?何时形成现在的高度?其间经历过多少次构造运动?各阶段的情况如 何?至今仍是人们所争论的问题. 国外一些学者主要依据深海沉积的锶同位素变化记录(Edmond. 1992)、印 度洋海相沉积(Copeland, et al., 1990)和高原南部边缘的西瓦利克沉积等资料(Krishnaswami et al., 1992)以 及较零散的高原内部的地质资料推断, 在晚第三纪早期(大约 22~10 Ma B. P.)青藏高原已经整体隆升, 其平 均高度在 3 000 m 左右. Harrison等^[25]认为青藏高原在 8.0 Ma之前大体上已达到与现代高程接近的高度, 并 因此强化或激发了印度洋季风. Coleman 等^[26]则认为青藏高原在 14 Ma 前已达到最大海拔高度, 以后因地壳 减薄, 发生 EW 向拉伸、塌陷, 一方面产生地堑谷. 另一方面高原平均高度开始下降. 近 30 年来. 中国学者进行 了大量的研究. 一些学者对青藏高原及周边地区新生代沉积盆地的天然剖面、湖泊岩芯以及高山冰帽上钻取 的冰芯进行研究^[27~29], 一些学者通过岩石圈地球物理和大地构造、熔岩地质年龄、侵入体剥离速度等进行研 究 所得结果是一致的. 总的认识是: 青藏高原自大陆碰撞以来构造运动、岩浆活动及地面隆升都是分阶段进 行的. 第三纪至少有过 2 次强隆升并继之以长期的剥蚀夷平,最强的隆升运动发生在第三纪末与第四纪初, 高 原主体是由此开始的新构造运动(或称造貌运动)形成的. 刘百篪^[30]认为, 青藏高原的抬升并不是同步的, 而 是分区的, 由南向北依次为藏南区、藏北区和甘青区. 3 个区域的地质事件发生的年代不同, 分别为 60~30 Ma、14~5. 48 Ma 和 3. 4~1.6 Ma 这表明青藏高原的形成演化是由南向北呈块状扩展的.

大约在中新世早中期,高原经过广泛夷平过程,形成了山麓剥蚀平原性质的高原面^[31].在5.3 Ma前青藏 高原开始强烈抬升,使周围湖泊盆地中沉积物粒径突然变粗.发生在上新世晚期的青藏运动 A 幕(约3.4 Ma B. P.)使青藏高原再度隆升,高原的四周普遍出现磨拉石堆积(黄汲清等,1980),高原内部形成一些断陷盆 地.至第三纪末(2.48 Ma),高原的高度约1500 m^[32]或3000 m^[31].此时,季风环流出现,红土沉积结束,风成 黄土开始发育.发生在1.8~1.6 MaB.P.的青藏运动C幕使高原再次强烈抬升,高原内部一些大的水系(如 黄河)开始形成.1.2 MaB.P.以来,高原季风环流增强,气候变冷变干,沙漠化过程开始.0.73 MaB.P.以来, 高原继续隆升,气候多次波动,但总的趋势是更干燥,风成黄土堆积.Q3晚期高原已形成现今的面貌,并仍在 继续上升之中^[33].

2.2 高原隆升对环境和气候的影响

尽管目前对青藏高原的隆升阶段和高度的认识还不尽一致,但是高原的隆起对其本身及其周围环境和 气候造成了深刻的影响却是中外学者的共识.因此,青藏高原隆起影响环境演化的机制、对不同地区环境影响 的程度以及对全球变化的作用等均是当前研究的重点和热点.

东亚季风的演变是青藏高原最近 2.5 Ma 以来阶段性隆起而造成的. 在中国黄土开始堆积的时代暗示着 现代东亚季风环流的建立^[33]. 潘保田等(1994)通过对黄土地层中(黄土和古土壤)磁化率变化及其他证据(如 黄土和红土分布的演变,西北干旱区沙漠演变及古冰川记录等)的研究认为,东亚季风在第四纪经过了 2.5~ 1.7MaB. P.夏季风阶段, 1.7~1.1 MaB.P. 冬夏季风开始阶段, 1.1~0.6 MaB.P. 冬夏季风增强阶段, 0.6~ 0.1 MaB. P.冬夏季风鼎盛阶段和最近 0.1 Ma冬季风阶段共 5 个演变时期,与青藏高原构造抬升事件的年 代具有良好的对应关系.朱照宇等^[34]通过对黄土高原地区第四纪地层中的褶皱、不整合面、大的地貌面(夷平 面、剥蚀面及阶地面)及其相关沉积物和火山活动等与黄土-古土壤剖面的对比研究认为,构造活化与气候恶 化(气候变冷)具有同步性,它们共同组成一种构造-气候旋回. 同样,吴锡浩等^[35]根据青藏高原晚新生代磁性 地层学、沉积相和构造不整合、侵蚀和堆积过程以及冰积层-古土壤序列与黄土高原黄土-古土壤序列的对比, 着重探讨了 2.5 Ma以前青藏高原隆起的方式、阶段、年代和高度,认为自晚中新世以来,青藏高原的隆升作 用是亚洲及邻近地区长期气候变迁的重要驱动力,尤其对亚洲古季风环流的变迁有重要作用.

3 问题讨论

从上面的分析可以看出, 近些年来中外学者围绕青藏高原的内部结构、隆升机制及新构造变形方式, 高原 隆升对环境和气候的影响等问题开展了大量的研究工作, 取得了显著成就. 但在许多研究领域里还存在较大 分歧, 尚需开展大量而深入细致的研究工作. 以下就与活动构造研究相关的问题略加讨论.

3.1 青藏高原及其周缘地区晚新生代构造变形方式、幅度及速率问题

随着印度板块继续向北推挤, 在 NS 向的挤压应力作用下, 青藏高原持续上升. 高原内部及其周边的各次 级块体发生新构造变形. 表现为次级块体的边界新裂发生挤压逆冲或剪切滑动. 目前在高原降升速率、地壳缩 短量及主要边界断裂的变形方式、幅度及滑动速率、地貌面的表层剥蚀量、沉积盆地的沉积速率等定量化研究 方面,尚有较大分歧,其量值差别较大,这在很大程度上降低了对高原隆升及变形研究的整体质量,影响人们 对高原隆升和变形机制的准确认识和理解.因此,高原隆升的定量化研究仍是今后研究的重点.如对于高原北 部边缘的阿尔金断裂带, Molnar 等^[6] 根据卫星影像估算其最大位移量为 450 km; Tapponnier 等^[15] 则根据断 裂带花岗岩的分布,估算早第三纪以来其位移量达 700 km; Meyer 等^[36] 认为自 10 Ma 以来其位移大于 1 000 km: 郑剑东(1994)认为该断裂始新世以来的左旋位移达 250 km.由上述位移量求得的滑动速率差别较大,从 6 mm/a~20 mm/a不等. 对于祁连山断裂系, Gaudemer 等^[9] 认为, 其东段的海原断裂带自晚中新世即 8 Ma 以来的左旋位移达 120 km,并造成黄河的(95 \pm 15) km 左旋位错. 但中国学者普遍认为,该断裂发生左旋运 动的时期为 Q_1 晚期或 Q_2 初期, 其最大位移仅 15 ~ 20 km. 由此所得到的滑动速率也有较大差异. 上述差异涉 及到对整个青藏高原边界断裂发生挤压逆冲或剪切变形的转换时代以及块体滑移幅度和地壳 缩短量的科学 估算问题. 如果上述边界断裂第四纪以来的走滑量达数 百公里, 则沿主要走 滑断裂的" 大陆 逃逸" 显然是 新构 造变形的主要方式; 若位错量仅几十公里, 则其变形方式主要以地壳增厚为主. 产生分歧的原因关键在于对断 裂带二侧地质地貌体位错的确定以及地貌体开始位错的年代问题. 限于当前常用测年方法的水平,比较好的 方法就是拓宽研究领域。开展沿断裂带二侧的新生代沉积和构造变形研究。以及区域地质体、层状地貌面(如 河流阶地、夷平面、剥蚀面等)的对比研究. 借助研究程度较高的黄土地层学研究结果, 将有助于提高地质地貌 体的定年精度和对滑动速率的科学估算. 可以选择典型的新生代沉积盆地, 开展沉积环境、沉积相与新构造变 形、尤其是与断裂演化、变形和新活动关系的研究,这将有助于提高对活动断裂的性质、转换时代的认识以及 确定合理的位移量.

3.2 第四纪地质在活动构造研究中的应用问题

在活动构造研究中,对确定断裂活动幅度、强度及最新构造变动期次影响较大的因素之一就是断错微地 貌的定年问题.因此,寻找一种既科学又经济的测年方法,提高测年精度是其关键.

近年来,第四纪研究取得了丰硕的成果,尤其是中国黄土研究取得了世界公认的成就.目前已建立了详尽 完整的从早更新世到全新世的古地磁年代剖面,并且同冰岩芯和深海钻孔氧同位素剖面完全可以对比,因此 可以认为是世界性的标准剖面.由于黄土-古土壤序列完整记录了第四纪古气候演化的冷暖气候旋回,且不存 在穿时性,因此可以利用黄土-古土壤层组合的顶面年龄(即古土壤年龄)去推断与其相关的其他地质事件的 年代,以此作为衡量第四纪地质事件的年代标尺^[34].但是,这些新理论、新方法在开展应用研究方面还很不 够,尤其是能应用于活动构造研究方面的更少.

以河流阶地为代表的层状地貌(包括夷平面、剥蚀面、阶地等)是反映新构造运动的显著标志,同时又是划 分对比第四纪微地貌单元和确定其形成年代的较理想的参照物.阶地的形成受构造抬升和气候变化 2 种因素 控制,它们共同组成一种构造-气候旋回^[34].因此阶地是反映新构造活动与气候冷暖变化特征的重要手段.通 过对河流阶地的综合对比研究,同时结合研究详尽的黄土-古土壤年龄可以建立河流阶地形成的年代标尺,用 于确定各级阶地的精确年代.

通过对断裂活动造成的断裂二侧各级地貌面的变形和位移的对比分析和精确测年,尤其是以河流阶地 的断错作为分析断裂活动与新构造运动的纽带,不但可以更加科学地反映新生代构造运动特征,而且还可以 更客观地评价断裂的新活动幅度、强度和速率.青藏高原,尤其是其东北部边缘地区活动断裂发育,新构造活 动显著,不但阶地发育,而且新生代地层完整,黄土沉积厚,是开展综合研究的理想之地.

此外,围绕青藏高原的隆升与新构造变形的研究,还应当加强对高原隆升的沉积响应方面的研究(王成善 等,1998).因为,在高原形成过程中,在其周边及内部不但形成了众多的断裂和褶皱,而且还形成了许多大型 沉积盆地,这些沉积物完整地记录了高原隆升和变形的历史.因此,从沉积学角度把高原隆升和高原内部及周 边盆地的沉积记录与构造活动统一起来,开展研究,是精确研究青藏高原隆升历史既直观又系统的方法.以往 的研究大多仅侧重于周边盆地,而对高原内部盆地的研究较少,同时,这些研究的重点主要放在新生代之前和 第四纪盆地,而对白垩纪至第三纪(尤其是第三纪)盆地的研究不够.其实,白垩纪至第三纪是大陆碰撞接合、 高原形成演化的重要时期,这一时期的构造活动为第四纪最新构造变动奠定了基础,研究这一时期的构造活 动将为高原隆起及新构造变形研究开拓更加宽广的领域.这是当前新构造研究的薄弱环节,也是将来研究的 重点.

3.3 深浅构造研究相结合的问题

由于活动地块边界的大型活动断裂控制了板内绝大多数强震的发生,因而进一步查明活动地块轮廓及 其边界断裂之间的深浅耦合关系,是进一步了解活动地块的运动性状,探讨地块之间的相互作用与强震发生 的关系,进而讨论活动地块的新构造运动特征及晚第四纪构造变动的幕式脉动特征,判断最新构造变动在新 构造运动中的地位,开展大陆强震机理与预测研究的有效途径^[24].然而,以往的活动构造研究多侧重于地表 地质构造的研究,这对于详细研究断裂几何学、运动学、历史地震及古地震和断裂分段性,探讨断裂活动方式、 变形特征等是非常必要的,但是却不利于全面认识断裂之间的相互作用,尤其是区域性活动块体的晚新生代 构造变形机理与强震发生的关系.其实,断裂活动和地震的发生是有其深部构造背景的.如何充分利用深部地 球物理研究成果,开展深浅构造相结合的研究是将来进行活动构造研究,探讨强震的孕震环境、发震机制及地 球动力学特征的重要问题.可以在重要活动构造带及大震区依托数字地震观测与分析技术,辅以其他深部地 球物理和地球化学探测技术,开展地壳、上地幔三维速度结构、地震波走时和波形成像研究与岩石圈宽频带地 震台阵的高分辨率地震成像研究.查明不同层次活动构造的深浅耦合关系和强震震源体的物理化学环境,从 深浅构造和孕震环境方面研究强震发生的机制.青藏高原及其周缘地区活动断裂规模大,活动性强,地震频度 高,强度大,正是开展深浅构造相结合研究的理想场所.

[参考文献]

- [1] 滕吉文. 西藏高原地区地壳与上地幔地球物理研究概论[J]. 地球物理学报, 1985, 28(增刊): 1-15.
- [2] 曾融生,朱介寿,周兵,等.青藏高原及其邻区的三维地震波速度结构与大陆碰幢模型[J].地震学报 1992,14(增刊): 523-533.
- [3] 李廷栋,吴功建,肖序常.青藏高原岩石圈构造及其演化特征的再认识[A].见:中国青藏高原研究会.青藏高原与全球 变化研究研讨会文集[C].北京:气象出版社,1995.200-208.
- [4] 常承发, 潘裕生. 青藏高原地质构造[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [5] Chang Cheng-fa, et al. The geological evolution of Tibet[A]. in: Report of the 1985 Royal Society-Academic Sinica Geotraverse of the Qinghai-Xizang Plateau[C]. London: The Royal Society, 1988. 1-413.
- [6] Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision [J]. Science, 1975, 189: 419-426.
- [7] 汪一鹏. 青藏高原活动构造基本特征[A]. 见: 活动断裂研究(6)[C]. 北京. 地震出版社, 1998. 135—144.
- [8] Avouac J P, Tapponnier P. Kinematic model of active deformation in central Asia[J]. Geophys Res Lett 1993, 20: 895-898.
- [9] Gaudemer Y, Tapponnier P, Meyer B et al. Partitioning of crustal slip between linked active faults in the eastern Qilianshan, and evidence for a major seismic gap, the 'Tianzhu gap', on the western Haiyuan fault Gansu (China) [J]. Geophys J Int, 1995, 120: 599-645.
- [10] 国家地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [11] 国家地震局《阿尔金活动断裂带》课题组. 阿尔金活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [12] 青海省地震局,中国地震局地壳应力研究所.东昆仑活动断裂带[M].北京:地震出版社,1999.
- [13] Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, et al. The Ailao shan-Red river metamorphic belt; Tertiary left lateral shear between Indochina and South China J]. Nature, 1990, 343; 431-437.
- [14] 向宏发, 虢顺民, 张晚霞, 等. 红河断裂带南段断裂活动性转换的地质特征研究[A]. 见. 活动断裂研究(4)[C]. 北京: 地震出版社, 1995. 38-45.
- [15] Tapponnier P, Mohar P. Slip-line field theory and large scale continental tectonics [J]. Nature 1976, 264(5584): 319-324.
- [16] Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al Propagating extrusion tectonic in Asia: New insights from simple experiments with plasticine J]. Geology, 1982, 10: 611-614.
- [17] Petlzer G, Tapponnier P. Formation and evolution of strike slip faults, rifts, and basins during the India Asia collision; an experimental approach JJ. J G R, 1988, 93(B12); 15085-15117.
- [18] England P C, Housemen G A . The mechanics of Tibetan Plateau[J]. PhilTrans R Soc Lond A 1988, 326: 301-320.
- [19] England P C, Molnar P. Right-lateral shear and rotation as the explanation for strike-slip in eastern Tibet[J]. Nature, 1990, 344: 140-142.
- [20] England P C, Molnar P. The field of crustal velocity in Asia calculated from Quaternary rates of slip on faults [J]. Geophys J Int, 1997, 130: 551-582.
- [21] Molnar P. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics [J]. Nature 1988, 335(6186): 131-137.
- [22] Holt W E, Wallace T C, Haines A J. The active tectonics of the eastern Himalayan syntaxis and surrounding regions [J]. J geophys Res, 1991, 96: 14595-14632.
- [23] Holt W E, Li M, Haines A J. Earthquake strain rates and instantaneous relative motions within central and eastern Asia[J]. Geophys J Int 1995, 122: 569-593.
- [24] 张培震. 中国大陆岩石圈最新构造变动与地震灾害[J]. 第四纪研究, 1999, (5): 404-413.
- [25] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Raising Tibet J. Science 1992, 255: 1663-1670.
- [26] Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan Plateau uplift befor 14Myr ago from a new minimum age for east-west extension[J]. Nature 1995, 374; 49-52.
- [27] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆起的时代、幅度与形式的探讨[J]. 中国科学, 1979, (6): 608-616.
- [28] 李吉均,方小敏,朱俊杰,等. 临夏盆地新生代地层古地磁年代与模式序列[A].见.青藏项目专家委员会.青藏高原形 成演化、环境变迁与生态系统研究[C].北京:科学出版社,1995.41-54.
- [29] 崔之久,高全训,刘耕年,等. 夷平面、古岩溶与青藏高原隆起[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26: 378-385.
- [30] 刘百篪. 青藏高原的新生代重要地质事件与构造演化[A]. 见:中国地震学研究进展──纪念谢毓寿教授八十寿辰 [C].北京:地震出版社,1998.299-307.

- [31] 张林源. 青藏高原形成过程与我国新生代气候演变阶段的划分[A]. 见: 青藏项目专家委员会. 青藏高原形成演化、环 境变迁与生态系统研究[C]. 北京: 科学出版社 1995. 267-280.
- [32] 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 临夏盆地环境变迁与青藏高原隆起的世界影响[A]. 见: 中国青藏高原研究会. 青藏高原 与全球变化研讨会文集[C]. 北京: 气象出版社, 1995. 65-73.
- [33] Li Jijun. The environmental effects of the Qinghai Xizang Plateau[J]. Quaternary Science Review, 1991, 10, 479-483.
- [34] 朱照宇.水系沉积物-古土壤系列与气候-构造旋回[A].见:黄土[。]第四纪地质全球变化(第三集)[C].北京:科学出版 社,1992.62-70.
- [35] 吴锡浩, 王富葆, 安芷生, 等. 晚新生代青藏高原隆升的阶段和高度[A]. 见: 黄土。第四纪地质。全球变化(第三集) [C]. 北京: 科学出版社, 1992. 1-13.
- [36] Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet Plateau[J]. Geophys J Int, 1998, 131: 1-47.

DISCUSSION ON PROGRESS AND PROBLEMS IN THE RESEARCH OF CENOZOIC STRUCTURE AND QUATERNARY GEOLOGY OF QINGHAI-XIZANG PLATEAU

YUAN Dao-yang¹, ZHANG Pei-zhen²

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;
2. Institute of Geology, CSB, Beijing 100029, China)

Abstract: The progress in the research of late Cenozoic structure and Quaternary geology of Qinghai-Xizang plateau in recent years by Chinese and foreign scientists are summarized, such as the geological structure, the evolution of the plateau, the neotectonic deformation features and mechanism, as well as effect of the plateau uplifting on the environment and climate. Thinking about some problems in the research of active structure, three research areas in the future are suggested and emphasized: (1) More accurate study on the structural style, range and rate of the plateau deformation in late Cenozoic; (2) Using Quaternary geological new theory and results to the study of active structure; (3) Combining deep and shallow structure research together.

Key words: Qinghai-Xizang plateau; Cenozoic structure; Quaternary research; Active structure