

青藏地块北部新生代 构造演化及地球动力学初步分析

向光中 吕德徽 郭万武
张志坚 胡存德

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文以青藏地块北部盆地的形态、规模性质及沉积地层和断裂几何形态性质及发展历史为基础,结合深部结构、 P_n 值的对比和新生代岩浆活动,对该地区的新生代构造演化和地球动力学特征进行了初步分析。得出印度板块碰撞后的推挤作用转换为剪切作用,形成不同性质和产状的活动断裂,并叠加地球自转影响和深部物质的活动,是使本地区构造复杂化的原因。

青藏地块北部包括了阿拉善地块以南,鄂尔多斯地块以西,东昆仑褶皱带以北和阿尔金断裂以东地区。研究青藏地块北部新生代构造及其演化,不仅对认识青藏地块南、北的差异,而且对于研究我国东、西部构造的演化,尤其对大陆板内变形及地球动力学的分析都具有重要的理论意义。本文拟对该地区新生代构造及其演化和地球动力学问题进行初步分析。

一、总体地质概况及特征

青藏地块北部包括的地质构造单元有祁连山加里东褶皱带和祁连昆仑海西褶皱带,此外,还有甘肃南部西秦岭至青海一带的印支褶皱带。宁夏银川一带为古生代的拗拉谷,其沉积特征虽与华北地块相似,但其活动性质却与祁连山加里东褶皱后活动有关系;新生代以来的活动,受印度板块向北推挤的影响。所以,银川盆地也列为青藏地块的范畴。

概括地说,青藏地块总体概况与南部比较,有以下区别:

(1)地形上,青藏地块南部平均海拔为4000米以上,北部则在4000米以下,而且向东呈弧形阶梯状变化。

(2)从地质图上可以看出,南部在新生代发育的断陷盆地以张性为主,其次为小型的压性盆地;北部以压扭性盆地为主,多呈菱形,东部地区在南北构造范围内,发育一系列北东或北北东延伸的张扭性断陷盆地。

(3)地壳厚度(莫霍面的深度),南北差异明显,南面厚度大于北面,南、北分界地带的地壳厚度变化最大。

(4)青藏地块北部现代地壳运动的基本特征是广大地区以下降为主,一些巨大的山系略有上升,年速率0—2毫米左右,地块南部则相反;大部分地区以上升为主,而且年速率最高地区可达10毫米,一般为4—6毫米。

(5)整个青藏地块地震活动强烈,但地块南、北区的活动高潮与低潮区、强度和频度有着明显的区别。

二、盆地特征

本区以断陷盆地为主。根据形成时期,可划分为中新生代盆地和新生代盆地。这两类盆地在地理位置上也是不同的。中新生代盆地主要发育在青海省境内和甘肃省东南以及宁夏南西华山和六盘山以南地区,只有个别盆地属新生代产物,如共和盆地。根据力学性质,可分为压扭性盆地和张扭性盆地,前者分布于甘肃省西部及青海省北部,后者主要发育于甘肃省东南及宁夏自治区境内。压扭性盆地长轴方向为北西或北西西向,与区域构造方向一致,张扭性盆地长轴方向与区域构造方向不完全一致,切穿区域构造走向而呈北东或北北东方向。此外青藏地块的西端及东南还发育着形状为三角状和“新月”状的盆地,前者如昌马盆地,后者如兴仁堡盆地,它们的形成与弧形构造的发育有关。盆地内的地层是盆地演化的记录。而新生代地层反映了青藏地块北部不同盆地发育的差异。

古新统:主要分布于青海及甘肃省东南部,与始新统之间为整合关系,所以很难具体确定两者之间的分界,常常将两者合并称之为古新一始新统。如柴达木盆地的路东河组,西宁盆地内的部分西宁群,陇西盆地的西柳沟组,西秦岭地区的固原群等。最近有些文献将河西走廊地区的原渐新世的火烧沟组确定为古新世的形成物。必须指出,该组地层在玉门南部及酒泉、张掖两盆地未见出露。

始新统:除河西走廊酒泉、张掖盆地外,几乎在整个青藏高原北部均有出露。许多地区该地层与古新统难以划分。宁夏地区寺口子组则属于始新世的产物。河西地区的酒泉、张掖两盆地无此地层出露。

渐新统:整个青藏高原北部均有发育,如柴达木盆地的下干柴沟组,西宁盆地的上部西宁群,甘肃东部及宁夏地区的野狐城组和清水营组。最近,根据甘肃省区域地质志的划分将河西走廊地区的白杨河组归属于渐新统。

上第三系:发育于青藏高原北部所有断陷盆地内。以其中所含化石可以推测,当时的海拔高度约 1500 米左右,而今出露的地区海拔差异悬殊,最高可达 4500 米左右,低处的海拔仅为一千余米。有些盆地内的此类沉积物,直接覆盖于古老的基底之上或中生代沉积物之上。哈拉湖盆地中的上第三系则覆盖于三叠系的基底之上。

根据其中化石、矿产及岩石的颜色可以推断,第三纪时为干热的古气候环境。

第四系:几乎在所有盆地中都有出露,不同地区的岩石类型则区别很大,虽然第四纪早期都处于冰寒的气候环境,由于第三纪末期构造运动的影响,高原内部第四纪的沉积物为洪积、冲积的砾石层,厚度相当可观,位于地块边缘部分的河西走廊盆地发育有非常完美的磨拉石建造,与阿尔卑斯山前磨拉石极为相似。就河西地区而言,西端和东端也有明显的差异;第四系下更新统玉门砾石层在酒西盆地厚度可达 600 米,往东逐渐变薄,张掖—民乐盆地的玉门砾岩出露在民乐县东的永固附近,厚度为 187 米,更东面的武威盆地内,下更新统与中更新统未分,总的厚度为 213 米。根据彭作霖等人资料,第四纪以来,酒西盆地下降 3000 米,民乐盆地下降 1800 米,武威盆地仅下降 800 米。相对地说,西端的下沉速率大于东端。武威、永登、兰州以东地区,第四纪沉积物以风积和河湖沉积为主,前者为黄土及亚砂土层,后者为砂、砂砾及砂土层,下粗上细。

以上事实表明,青藏高原北部盆地的形成,青海地区开始较早,其次为甘肃东部及宁夏地区,河西地区的盆地群,形成时间最晚,这种南部早于北部,东部早于西部的地壳运动特征,近代测量资料也有相同的显示。盆地下沉幅度以柴达木最大,其次为银川断陷盆地,再其次为河西地区。但下沉的速率以酒西盆地冠。这可能与由南西向北东的推挤作用有关。

三、活动构造及岩浆活动

活动断裂是反映现代地壳运动的最主要的标志,根据其延伸方向分为以下各组。

1. 北西或北西西向活动断裂

在许多文献中指出,这组断裂是长期活动的、继承性的大断裂,并且在一些地质构造上均以醒目的线条标出,它组成一些构造单元的分界线,在地貌上也是山脉和盆地的界线。其中最具有代表性的、也是为人们所注意的是祁连山北缘断裂及柴达木南缘的昆仑山山前断裂。此外,尚有龙首山南缘断裂及青海南山断裂,这两条断裂虽然也与盆地的形成有关,但很少为人们所注意。祁连山北缘断裂与昆仑山山前断裂的形成与其内部的古缝合线的形成有关,它们是由下插古板块上浮反弹(或反转)形成的一种逆冲推覆断裂。根据地震资料,推覆距离很少超过20公里。它们主要表现为压性特征,平移作用不大,以后印度板块与欧亚地块碰撞时向北东推挤的结果。许多野外现象表明,祁连山北缘断裂与昆仑山山前断裂晚更新以前活动强烈,全新世以来基本没有活动迹象。沿这两条断层很少发生中强以上的地震,个别较大的地震,如1906年甘肃红崖堡地震发生在祁连山北缘断裂附近,根据历史记载,遭受破坏最强的地区,除红崖堡以外,在其西面的祁连山内的托来一带,河流被堵,破坏强烈,而沿北缘断裂走向,则衰减较快。因此认为红崖堡地震的发生与祁连山北缘断裂无关。

必须指出,本区东部南北构造带的北段,即宁夏南部地区,有一组北西或北西西方向断裂,它们的活动情况与上述断裂不同;全新世以来曾有多次活动,一些巨大地震的震中,也位于断裂附近。因此,一些地震地质工作者认为,这些断裂与大震活动有关。如海源断裂,天景山断裂等。这两条断裂与前述断裂在性质上有相似之处,即都具有左旋的特点。整个地区的北西向或北西西向断裂在活动时间上的差异与整个地区的地球动力学特点有关。这一点将在后面讨论。

2. 北北西向断裂

这是青藏高原北部的一组重要的断裂,并命名为河西系,因为它在河西地区比较发育。这组断裂在祁连山内部也不时出现,但不及河西走廊地区显著。它们与河西走廊盆地和隆起的形成关系甚为密切,尤其是盆地西侧与隆起接触处的上龙王断裂;最东面大黄山隆起与武威盆地接触带上的庄浪河断裂。此外,甘肃东部会宁—义岗断裂也可能属于此类。根据河西走廊各盆地内沉积物确定,这组断裂自晚第三纪以后,活动加剧,并形成了共和盆地及酒泉、张掖—民乐等盆地。上新世以后活动急剧减弱。这与断层的C14同位素年代及石英干涉浸蚀确定的年代基本相符。断层带内保存有较好的古地震迹象,但近代地震活动不甚强烈。该组断裂尚具有以下特点。

(1)地面附近断层倾角很陡,断层西侧上升,东侧下降。

(2)具有右旋特征,通常断层滑移的水平距离只有十余米。如黑河口上龙王断裂自第四纪以来,最大的平移距离为18米。第四纪沉积物厚度表明,断裂的垂直断距远大于水平断距。

3. 近东西向断裂

这组断裂构造,在青藏高原北部具有十分重要的意义:而且,其形成方式和活动特点都很复杂。它们的规模,既有巨大的纬向构造带,也有地表形迹不甚明显的东西向构造带。在地表景观上,常常显示出对河流发展的控制作用,如甘肃东部的祖厉河在会宁城南的弯曲,又如河西走廊地区的黑河在合梨山一带的拐弯,还有黄河自龙羊峡的东流,宁夏大柳树至中宁的河床形成,均与东西向断裂有关。此外,对盆地的分割,隆起的切断,也显示出此组断裂活动的作用。如河西地区盆地之间的北北西向隆起,被东西向断裂错断,柴达木盆地南北差异的形成等等,此外,青海南山断裂在文不尽山被一条近东西向全新断裂切断,有的东西向断裂还切割了晚更新世地层。这一切均表明,近东西向断裂在全新世乃至近代仍在继续活动。根据地球物理资料分析,这一方向的构造在深部也有明显的反映。

一些中强以上的地震往往沿同一纬度分布,如北部的 1739 年的平罗—银川地震,1954 年的民勤、山丹地震,180 年高台地震,1609 年红崖堡地震等均处于北纬 39° 左右。又如 1561 年中宁地震,1709 年中宁地震,1927 年古浪地震,1986 年门源地震等及 1990 年茫崖地震也都大致处于北纬 37.5° 附近。1954 年山丹地震和民勤地震,发生的时间相差只有数月,几乎可以视为同步,均位于同一纬度上。震源机制解也表明,许多同一纬度上的地震,有的具有近南北向和近东西向的两组解,有的虽无南北向的节面解,但却具有一组近东西向的节面解。

应绍奋等通过形变测量资料,说明近东西向构造近期的活动与地震活动存在着成因关系。此组构造的存在及其活动具有全国性,甚至全球性。

4. 北东向断裂

这一组断裂除西侧边界的阿尔金断裂在地表有明显的出露,其它地区的此组断裂,地表出露规模不大或在地表断续出现。如青海省中部,南自青海杂多,向北经曲麻莱、都兰直至祁连存在一条时而出露、时而隐伏的北东向断裂。甘肃省东部此组构造发育。在地震震中图上,尤其是一些较小的地震,呈北东向线性分布。马宗晋最近指出,至少有三条北东向的地震线分布在青藏高原北部。这一方向的断裂有以下特征:

- (1)一些河流的优势流向往往与此组断裂有关;
- (2)断裂走向由西向东有向北靠近的趋势,即由北东东转为北东和北北东;
- (3)常具有左旋特征;
- (4)地形变等值线图上有明显的反映。

5. 南北向断裂

这组断裂地表上出露不多,但东部较为发育,为南北构造带的组成部分。这组断裂目前已知的数量不多,仅限于鄂尔多斯地块西缘。但在甘肃天水、礼县一带,发现地下 27 公里深处存在有此方向的断裂;青海共和、都兰一带也有此类断裂存在。出露于地表的此组断裂常具有右旋的特征。过去,对此组断裂研究还不够,对它们的详细特征也还有待于进行调查。许多地震的震源机制解,常常有一组近南北向,具有右旋特征的节面。

以上所述的各组断裂,形成最早的为北西向,常常具有挤压性质,而且规模巨大。其次为北北西向断裂,这组断裂最活动的时期应在早更新至晚更新世。许多盆地格架的形成与这组断裂关系密切。全新世时,此两组断裂基本上处于不活动或活动不明显的状态。东西向断裂、北东向断裂及南北向断裂,它们的性质往往以平移剪切为主,早期挤压作用较强,但晚期有所减弱。

新生代褶皱构造主要形成于早更新世以前。第三系普遍遭受褶皱作用,以柴达木盆地最为强烈。通常这类褶曲均以短轴状为主,有的发育于断裂构造一侧,组成为配套构造。第四纪下

更新世统遭轻微褶曲,通常倾角约十余度,有时只有几度。盆地中的新生代褶皱,以雁列状排列为主。

新生代岩浆活动在青藏高原北部并不剧烈。只见于高原西北端的玉门旱峡、红柳峡及甘肃东南的礼县一带。据最近研究,它们均来自地幔,属深源岩石范畴。这些火成岩形成于上新世以前始新世以后,多与南北向构造的形成有关。

四、地球物理特征与深部结构

根据人工地震测深资料,本地区的地壳速度结构,基本上可以分为三层,即上地壳(包括沉积层),中地壳及下地壳。

上地壳:深度不超过20公里,各地深度虽有变化,总的起伏不大,一般深度为15公里左右。该层速度亦不超过6.1km/s。在某些地段,该区存在着2公里厚的低阻层。

中地壳:该层结构比较复杂,青海地区层厚约20左右,甘肃东部则厚度较薄,为10—15里,速度为6.2—6.3km/s。在此层内,许多地区均有低速层存在,而在有的地区则出现波速为7.5—8.5km/s的高速层。此外,中地壳内的低阻层在整个地区内普遍存在。

下地壳:不同地区具有不同的深度,大约40—60公里。厚度15—20公里左右,平均速度为6.8km/s。该速度层的横向变化明显,有的地段内夹有低速层,低阻层也只存在于部分地段,厚度约5公里左右。

上地幔:本区上地幔顶面深度一般由北往南逐渐变深,局部地区上凸下凹的现象,其幅度为6—7公里。波速由7.9km/s至8.2km/s。这种情况可能与深部物质活动有关。南北构造带的 P_n 值低于东面的鄂尔多斯地块和西面的青藏块体,但高于东非裂谷和贝加尔裂谷地区。

重力异常是反映地壳内深部构造的重要地球物理资料之一。上地幔顶面。即莫霍面的性状与重力异常梯级带有关。本区有以下几条主要的重力异常梯级带。

(1)北祁连山—兰州、岷县梯级带:西自阿尔金山经阿克塞至昌马为北东东向,再自玉门往南东延伸至武威,然后呈南南东向经兰州、岷县、文县与北龙门山重力梯级带相连。这是一条地壳厚度的变异带,即上地幔顶面深度的变异带。

(2)贺兰山—六盘山至龙门山梯级带:相当于南北构造带北段的东侧边界,亦属于地壳厚度的变异带。

(3)昆仑山北麓梯级带:西自青海布伦台经都兰至玛沁,然后向南东方向延伸。此梯级带为青藏地块地壳厚度的变异带,将整个地区分为南北两部分。

以上重力梯级带的共同特点是:它们在地块的东部与印支运动前的构造带斜交或穿过古老的构造带。这可能与地壳厚度形成于印支期以后有关。

通过对航磁和重力资料进行系统研究,可以看出青藏高原东部深部构造具有以下特征:

(1)由浅及深,磁性介质的分布走向,由北西西逐渐转向东西或近东西向,表明地表、地壳中部和深部的构造线方向是不一致的。

(2)北纬36°附近和37.5°附近存在规模巨大的超壳构造带,由一系列隆起,凹陷和断裂组成。另外几条近东西向的巨大构造带在地壳下部也有反映,但连续性较差。

(3)东部地区东西向剪切断裂左旋性质明显;西部地区深部有显著的东西向隆起和凹陷,可能受近南北向挤压作用的影响。

(4)深部介质以塑性为主,易变形而不破裂,形成一系列扭动构造现象。

(5)深部东西向构造,在东经 99° 以东地区,显示出近南北向的右旋特征并呈右阶现象。

六、地球动力学初步分析

青藏地块的地球动力学问题,过去曾有过许多讨论,李四光教授从地球自转速率的变化出发,论述过西藏歹字型的形成。自从板块构造创立以来,印度板块与欧亚板块的碰撞与推挤,就成为形成青藏地块构造的主要力源。也有人认为,青藏地块构造的形成与重力均衡调整有关。总之,青藏地块构造形成的地球动力学是一个复杂的问题,不是一种观点能够解释全部所有的现象。许多现象也不是一次事件或一次事件延续的产物。

北西或北西方向的构造虽是青藏地块北部的主体格架,但它们的形成与古板块的活动有较密切的关系。印度板块与欧亚板块碰撞后,北东或北北东向的推挤力,使得北西向构造继续活动,直到中一晚更新世。上新世末是挤压作用达到顶峰的时期。此后,挤压作用逐渐转换为剪切作用,结果近南北向的剪切作用代替了北北西方向的剪切作用。

从板块碰撞推挤的观点出发,对于东西向构造的形成虽然可以得到解释,但此类构造不仅仅发育在青藏地块内,也可以在其他构造单元中形成,其范围超出青藏地块,而且有的具有全球性特点。本文作者之一曾在 1979 年对东西向构造的形成作过论述,认为地球自转的极移是发生这类构造的另一原因。

关于北东方向及北北东方向构造形成的原因,作者曾有过分析,在此不述。简而言之,它们的形成与壳下物质往北东向的移动时的速度差有关。

壳下物质的活动也是本区构造形成的动力来源之一。物质活动原因,也可能是对流作用的表现,也可能是重力均衡调整的结果。无论哪种方式,其移动均为北东方向,局部地方可能为北东东。它们与推挤压力方向基本一致。由于移动时的速度差异,这样便形成弧顶突向北东的弧形构造以及某些张扭性的断陷盆地。新生代壳下物质活动的存在是无可置疑的,如南北构造带北段的礼县,出露有新生代的深源火山岩,而且沿此带的 P_0 值也低于东西两侧均可佐证。

青藏地块东侧南北构造的右旋活动,可能促使青藏地块内各块体之间的顺时针方向的旋转,并使得一些近东西方向的构造发生左旋或走向发生某些旋转变化,甚至形成东西向构造的右阶错移现象。同时,也可能牵引青藏地块东部北西向断裂的活动。

深部物质活动和块体挤压转换的剪切作用是深部东西向及南北向构造形成的原因。这种共轭作用的结果,也是强震发生的原因之一。所以许多强震发生在东经 98° 以东,而且,许多地震具有近东西和南北的震源机制解也就不是偶然的。

结 语

青藏地块北部新生代以来构造演化始于南面,河西走廊一带则较晚,同时也晚于东部地区。应力作用以挤压开始,以后转换为剪切作用,实际上这是一种应力的调整活动,不同阶段则具有不同的构造格架,东部地区的壳下物质活动,可能是一些张性盆地和断裂产生的原因。东西向构造的广泛出现,除了与板块构造呈北东向的推挤有关外,同时还叠加有地球自转的影响。东部地区发育的南北向构造与东西向构造的共轭作用可能是强震发生的重要构造组合型式。地震活动是地球及岩石圈活动的结果。

地球动力学是一个复杂的问题,本文仅对青藏地块北部新生代构造及地球动力学问题进行粗浅的初步分析和讨论,错误难免,敬请指正。

主 要 参 考 文 献

- (1)向光中,1979年,我国大陆东西向构造与地震活动的关系,西北地震学报,Vol. 1, No. 2
- (2)向光中,1982年,我国大陆板内强震活动与地球动力学过程的关系,西北地震学报, Vol. 4, No. 3
- (3)向光中、吕德徽,1987年,青藏块体内北东向构造及其地震活动,西北地震学报, Vol. 9, No. 1
- (4)向光中、王多杰等,1990年,青海柴达木盆地及邻区主要活断裂及其地震的关系,西北地震学报, Vol. 12, No. 2
- (5)向光中、吕德徽,1990年,河西走廊盆地的形成演化及地球动力学分析,中国地球物理学会年刊,地震出版社
- (6)梁桂培、李渭娟,1990年,南北地震带北段深部构造特征,地震学报, Vol. 12, No. 2
- (7)李清河、郭健康等,1991年,成县—西吉剖面地壳速度结构,西北地震学所, Vol. 13 增刊,
- (8)England, P. and Molnar, P. 1990, Right lateral shear and rotation as the explanation for strike slip faulting in eastern Tibet, Nature Vol. 347, No. 6262