

河西构造系及其与青藏高原东北部地震活动的关系

才树华

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

河西系是分布在青藏高原东北部地区的北 10° — 30° 西向右旋挤压构造带的总称。其主体构造由三个隆起带、四个拗陷带及其间的断裂带组成。构造活动影响至地壳中下部,东部边缘构造带可深及岩石圈底部。河西系对地震活动具有明显的控制作用,中强以上地震主要发生在其一级隆起带边缘与北西西向断裂复合部位。

自五十年代李四光教授提出河西构造体系^[1-3](简称河西系,下同)至今,人们对它的展布、成生演化及活动特征等的认识具有较大分歧,甚至怀疑其存在。鉴于第四纪中晚期以来,河西系具有明显和独特的活动特征,以及与展布区的地震活动有着极为密切的关系,笔者试图以青藏高原东北部地区地震地质资料为基础,探讨现今河西系构造活动特征及其与地震活动的关系,以期为深入研究该区地震构造环境提供部分依据。

一、河西系构造特征

1. 构造体系的展布及活动

河西系是指展布于青藏高原东北部地区一系列北北西走向的褶皱及断裂带。其范围北起玉门、龙首山以北,南至阿尼玛卿山,东起庄浪河至洮河谷地以南,西至柴达木盆地东南部地区。在此范围之内,大致存在北 10° — 30° 西走向,彼此相间斜列的三条隆起带及四条拗陷带。隆起带东缘多有断裂带发育(图1)。自东向西河西系一级构造带分别是:

武威—庄浪河—洮河拗陷带(即第一拗陷带,以下依次简称二、三、四拗陷带)及龙首山—冷龙岭—太子山—岷山隆起带(即第一隆起带,以下依次简称二、三隆起带);民乐—门源—西宁—循化拗陷带及榆木山—日月山—玛曲隆起带;酒泉—青海湖—共和拗陷带及榆树沟山—祁连主峰—疏勒南山—阿尼玛卿山隆起带;昌马—野马滩—德令哈拗陷带。

隆起带多由被抬升的古生代地层和岩浆岩体组成。其出露宽度一般为70~100km。河西走廊盆地内分布的河西系第一隆起带的宽度为90~110km。隆起带东翼陡西翼缓,呈不对称背斜构造形式,陡翼构成地貌梯度带。其与北西西向构造隆起带的交汇点往往形成该区域的最高峰。自北而南第一隆起带有冷龙岭(5254m)、太子山(4304m)、迭山(4668m)、

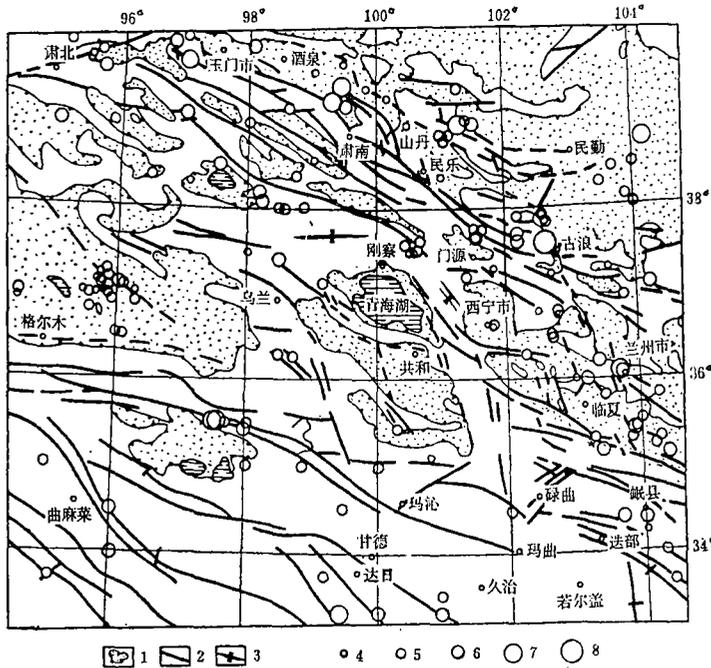


图1 青藏高原东北部主要构造带及震中分布图

1. 新生代盆地 2. 断层或隐伏断层 3. 褶皱 4. $4.7 < M_s < 5.0$ 5. $5.0 < M_s < 6.0$
 6. $6.0 < M_s < 7.0$ 7. $7.0 < M_s < 8.0$ 8. $M_s = 8.0$

Fig. 1 Main tectonic zones and earthquake epicentres in Northeast Qinghai-Xizang Plateau

岷山(5010m); 第三隆起带有祁连峰(5564m)、团结峰(5937m)、阿尼玛卿峰(6282m)。自西而东, 沿三条一级隆起带东西侧, 形成三条大的地貌陡坎, 两侧同级夷平面落差分别为1000~500m、900~600m和600~500m。由Ⅱ级夷平面分布高程反映, 第三纪末期以来河西系隆起带的抬升, 具有西强东弱、南强北弱的特点(表1)。第四纪初期以来, 由河流阶地确定的各隆起带上升幅度, 除继续保持西强东弱特点以外, 沿纵向则表现为北部强于南部(表2)。

表1 河西系隆起带隆升速度对比表

隆起带名称	山脉名称	Ⅱ级夷平面平均高程(m)	上升总幅度(m)	上升速度(mm/年)
第一隆起带	冷龙岭	3400	2400—2900	0.96—1.16
	五台山	3150	2150—2650	0.86—1.06
	太子山	3650	2650—3150	1.03—1.26
第二隆起带	榆木山	3200	2200—2700	0.88—1.08
	日月山	3650	2650—3100	1.06—1.26
	狼钳山	3950	2950—3450	1.18—1.38
第三隆起带	照壁山	3700	2700—3200	1.08—1.28
	疏勒南山	4400	3400—3900	1.36—1.56
	鄂拉山	4300	3300—3800	1.32—1.52

表 2 河西系隆起带河流阶地对比表

名称 阶地 级数	照壁山疏勒河		榆木山黑河		冷龙岭东大河	
	台面高度 (m)	基座高度 (m)	台面高度 (m)	基座高度 (m)	台面高度 (m)	基座高度 (m)
I	6—7	2—5	10—12		5	
II	13—16	10	20—25	16—20	20—25	18
III	35—40	30	43—45	30—35	43—46	35
IV	60—72	54	58—65	40—45	91	
V	120	110	72—87	60—65	115	
VI	140	134	100—110	85—95		
VII			110—120	100—110		
VIII			280—300	260		

名称 阶地 级数	鄂拉山黄青河		日月山药水河	
	台面高度 (m)	基座高度 (m)	台面高度 (m)	基座高度 (m)
I	2—5	1—4	2—5	
II	20	18	15	5—10
III	45	38	50—60	40—47
IV	65	49—60		

拗陷带由横跨北西西向构造带，呈雁列分布的新生代盆地组成。构造带宽度多大于 150km，并有向东变窄的趋势。拗陷带内规模较大的盆地多呈菱形，其基底埋深普遍具有西深东浅、南深北浅的特点(图2)。河西系新生代盆地多数是在原有的北西西向盆地基础上，经河西系隆拗构造带迭加改造而形成的，如河西走廊盆地被分割成武威、民乐和酒泉等盆地。河西系构造活动对盆地沉积物的堆积有明显的控制作用。酒泉盆地第四系等厚线分布主要沿北西西及北北西两组方向展布。青海湖周边形态及湖水等深线的展布同样具有上述特点(图3)。日月山抬升及湖盆基底掀斜，造成青海湖东岸的 I~III 级阶地分别比西岸高 3m、3.5m 和 23m^[4]。盆地堆积物厚度反应，第三纪以来河西系拗陷带下降幅度及速率具有西部强东部弱、北部强南部弱的特点，且第四纪较前有以下拗加速的趋势(表3)。

河西系的断裂构造多集中发育在一级隆起带东缘。在河西系应力场作用下，除形成北北西向断裂外，在体系展布的东侧及南部地区，多反应为南北向断裂的活动，如鄂拉山及扎马日根山的东缘断裂和兰州地区的南北向断裂。由东向西主要断裂带是：

(1) 武威—庄浪河—洮河断裂带

由一系列走向北 10° 西，雁行状排列的构造挤压带和压性断层组成，同时伴有第三系的短轴褶皱。在武威盆地西侧，断层呈半隐伏状，西升东降，其活动造成第三系(N)及第四系(Q₁)落差分别是 800m 和 220~550m。沿庄浪河谷地断层规模很小，多显示为新地层陡立及倒转，且多被全新统覆盖。该带北段是 1927 年古浪(M_s = 8)大震区，沿北北西向断

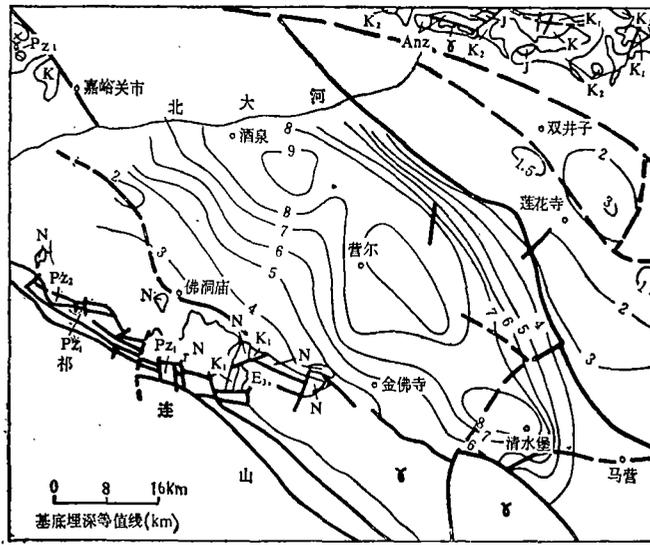


图2 酒泉盆地基底构造图(据玉门石油管理局资料)
Fig. 2 The basement structure of Jiuquan Basin

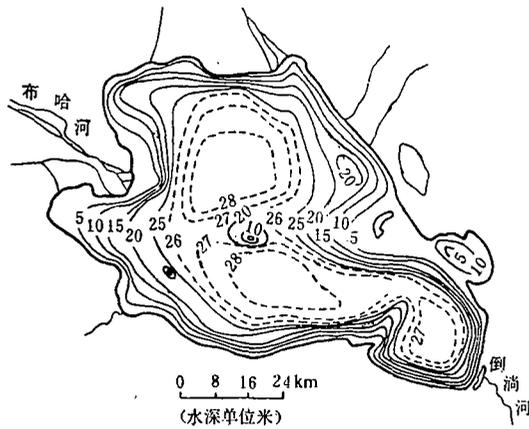


图3 青海湖水等深线图〔4〕
Fig. 3 The isobaths of the Qinghaihu Lake

表3 主要盆地堆积速度对比表*

盆地名称	酒西盆地			酒东盆地			民乐盆地			武威盆地		
	Q	N	M _K	Q	N	M _K	Q	N	M _K	Q	N	M _K
地质时代												
沉降速度(毫米/年)	0.7	0.11	0.17	0.4	0.08	0.11	0.3	0.1	0.12	0.2	0.05	0.07
盆地名称	青海湖盆地			西宁盆地			民和盆地					
	Q	N	M _K	Q	N	M _K	Q	N	M _K			
地质时代												
沉降速度(毫米/年)			0.15			0.10			0.08			
盆地名称	德令哈盆地			共和盆地			贵德盆地					
	Q	N	M _K	Q	N	M _K	Q	N	M _K			
地质时代												
沉降速度(毫米/年)	0.63	0.1	0.15			0.08			0.06			

*据玉门石油管理局及青海石油局资料

裂发育有同方向地裂缝等形变破坏。沿武威—洮河断裂带，历史及现今地震成带性极为明显。

(2) 榆木山—扎马日根山断裂带

由一系列北10°~30°西向断层及地层陡立带组成，同时伴有新地层短轴褶皱。断层长度多为10~20km，以扎马日根山东缘断裂规模最大，长度超过50km。榆木山东缘断裂第四纪活动为右旋逆冲性质。在磁窑口区段(图4)，根据沟系扭曲确定，晚更新世以来断层最大水平位错为80m，晚更新世末期至今最大水平位错为30m，垂直位错5m。该段断层右旋断错冲沟Ⅱ级阶地，水平断距达6m。往南至黑河口，断层切割上更新统形成17m高的断坎。晚更新世末期以来断错黑河Ⅳ级阶地，水平错距7m，垂直断距4米。上述事实说明，断裂至少在全新世中期以前一直处于活动状态。越过黄河往南，断裂带控制了一系列温度达88°~93.5℃的高热泉分布。

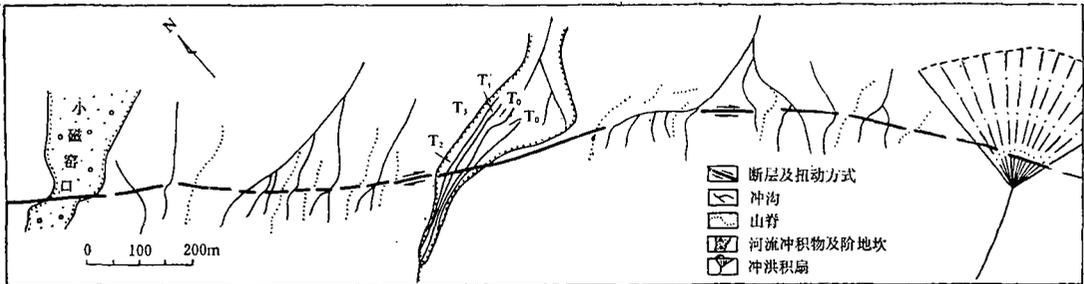


图4 榆木山东麓断层活动图(据邹谨敬)

Fig.4 Activities of eastern Yumushan fault

(3) 榆树沟山—鄂拉山断裂带

由北往南，断层走向由北30°西过渡到北10°西。断裂带北段有数条活动性较强的北北西向断层。位于酒泉东西两个盆地之间的嘉峪关断层长约38km，白垩系与上更新统呈断层接触，近地表断面倾向北东，酷似正断层。基于断层挤压性质，断面往下延伸产状变陡并近于直立，断层西盘上隆成山，以及根据跨断层沟系一致右旋扭曲判断，嘉峪关断层属右旋逆断层。图5显示该断层在晚更新世有过三次明显活动，第三次活动造成该断层垂直断距0.9m，

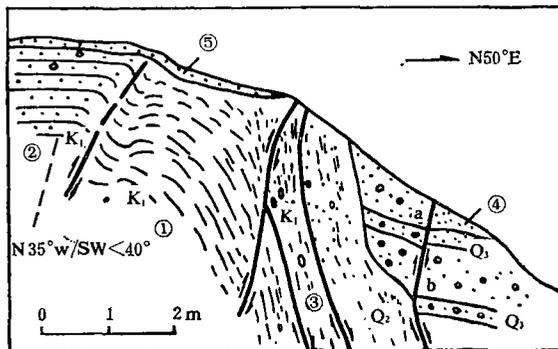


图5 嘉峪关断层剖面图

- ①红色砾岩 ②红色泥岩夹砂石及青灰色条带 ③挤压片理带 ④粉红色砂岩
- ⑥现代堆积 a—b垂直断距0.9米

Fig.5 Profile of the Jiayuguan Fault

有可能是一次古地震事件。玉门市西南红窑子断层全新世右旋水平位错35m,垂直位错12m¹⁾。断裂带南段走向近于南北,并控制50°~70℃的温泉出露,第四纪中晚期以来有过活动。其中巴硬格莉断层右旋扭曲水系,错距达50~100m,温泉断层错开Ⅱ级夷平面,高差达100m。

河西系断层走向由东向西逐渐由北10°西过渡到北30°西。在断层活动方式上,东部区以挤压为主略具右旋,向西逐渐转变为右旋走滑性质。反映了河西系构造应力场主压应力方向,由东(南北地震带西侧)向西(阿尔金山东端),由北东东向渐变为北北东向。与由其它资料确定的应力场特征一致〔5〕。

2.构造体系影响深度

我国中西部地区深部构造显示(图6),青藏高原东北部的重力梯级带及地壳厚度变异带主要沿北西及北北西向展布,表明莫霍面的起伏已受到河西系的影响。阿拉善地块南部、河西走廊及祁连山的电测深剖面(图7)反映,古浪地区上地幔第一低阻层走向近南北,

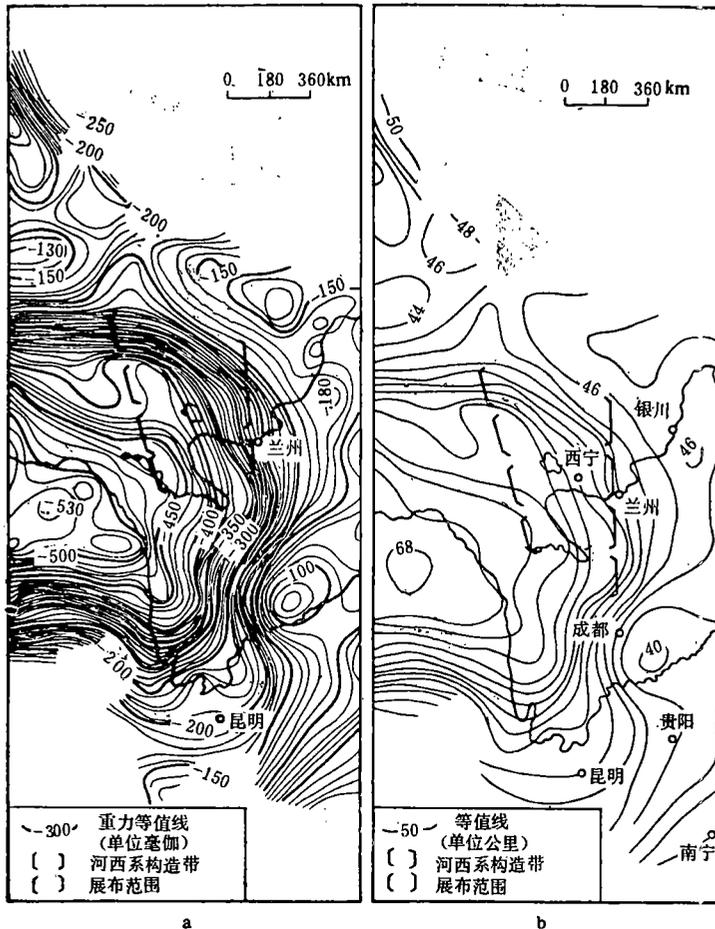


图6 中国中西部地球物理异常图(据地质矿产部物探所资料)

a. 平均布格重力异常图 b. 莫霍面深度图

Fig. 6 Geophysical anomalies in middle and west China

1) 才树华、向宏发、李伯栋, 晚更新世末期以来昌马断层位错与古地震, 1986.

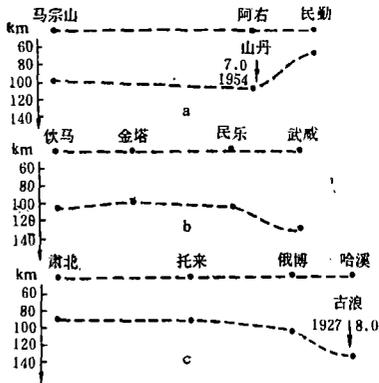


图7 青藏高原北部上地幔第一低阻层顶面埋深图*

a.走廊北山带 b.走廊拗陷带 c.走廊南山带

Fig.7 The buried depth for top of the first low-resistivity layer of upper mantle in Northern Qinghai-Xizang Plateau

倾向东，并与地表构造对应较好，显示地下百余公里深处有河西系构造的影响。

一些地质现象可为上述推测提供部分证据。秦岭北缘断裂是一条控制温泉出露的大断裂带。由东向西，沿断裂带泉水温度变化规律是：宝鸡以东为冷泉及低温泉，至武山过渡为中温泉，向西至贵德则为高温泉（ $88^{\circ}\sim 93.5^{\circ}\text{C}$ ）。武山及贵德两地，分别有南北向及北北西向断裂与秦岭北缘断裂复合。宝鸡以西泉温升高与河西系等横向构造复合可能有一定的关系。结合前述河西系中部和西部断裂南段对温泉的控制，说明该体系的主断裂可能与岩浆源的顶部沟通。

二、河西系的成生演化

古夷平面是构造活动稳定阶段的产物，其形态变动可以作为构造活动的标志。河西系展布区内晚白垩世末期至始新世形成的Ⅰ级夷平面，呈北西西～东西向展布。晚第三纪形成的Ⅱ级夷平面展布同Ⅰ级夷平面，但是它的相伴堆积物在岩性、岩相及厚度分布等方面，均表现出有沿北北西方向隆起和拗陷的分异现象。伴随上新世末期青藏高原北部地区的迅速抬升，区内明显出现了呈北北西向展布的大型隆起和拗陷等河西系构造形迹。以至于出现早更新世至中更新世初期形成的Ⅲ级夷平面展布，与所在地区山脉主构造线相交的现象。沿隆起带边缘，第四系的厚度具明显差异。晚更新世以来，在区域水平挤压力作用下，由于受构造边界条件、区内块体及深部构造因素等制约，除继承活动外，河西系构造活动还突出表现在各个构造带以及同一构造带不同部位的差异性活动。显示随时间的推移，构造体系的活动逐渐复杂化的过程。总之，河西系是在Ⅰ级夷平面形成的末期，即早第三纪开始孕育，晚第三纪初具规模，早中更新世为其强烈活动期，晚更新世至今仍继续在活动。

在前述河西系应力场作用下，区内较老构造的活动方式均发生程度不等的变化。北西向构造基本保持原来的右旋活动；北西西～东西向构造由原来的右旋转变为左旋活动；北东向构造随其走向方位的不同及局部应力场方向的变化，显示左旋或右旋活动。在这一应力场作用下，除了新生的河西系构造及被改造的老构造以外，还出现一些与部分老构造走向方位相同新的构造形迹。如酒泉清水南侧的祁连山北缘断裂，以局部段呈北西西及北北西向交替转折形成的北西向逆冲断层，早更新世以来各个时期的活动具有向盆地逐渐迁移的现象，致使

*据兰州地震研究所大地电磁测深组资料

祁连山不断抬升及扩大范围。新生的北东向断裂均具拉张性质，为区内北东向水系提供径流及出山通道。

综合上述并结合走廊盆地南北侧边缘断裂产状（均向山区倾）及活动强度，盆地新生界褶皱幅度等对比后得出：青藏高原东北部地区的抬升，河西系的成生发展，老构造的改造及新构造的形成是协调统一的。它们的发生是青藏高原、阿拉善地块及华北—华南地块相互作用的结果，其中以青藏地块朝北东方向的挤压占主导地位。它们之间相对挤压的松弛阶段，区内的构造表现为反向运动或处于相对平静阶段。

三、河西系与地震活动的关系

1. 地震带的划分及地震迁移特征

本世纪的强地震，无论是高原周边的古浪（ $M_s = 8$ ）、昌马（ $M_s = 7.6$ ）、山丹（ $M_s = 7\frac{1}{4}$ ）地震，还是偏于高原内部的托索湖（ $M_s = 7.5$ ）、达日（ $M_s = 7\frac{3}{4}$ ）地震的构造背景及地震破裂带，均显示河西系构造的存在和影响¹⁾。经过对区内发生的18个强地震震源机制解节面走向统计， $N20^\circ \sim 30^\circ W$ 向的占25%， $N72^\circ \sim 80^\circ W$ 向的占30%²⁾，两组节面所占百分比相近。上述事实说明北北西向断层是主要发震构造。青藏高原东北部地区中强以上地震主要发生在河西系一级隆起带或强烈活动的次级隆起带与北西西向构造的交汇区，中强以下地震亦多集中于上述隆起带上。除北西西向地震带外，地质地貌、地球物理及地震资料均反映，在该地区同时还存在北东（略）及北北西向地震带。后者的空间展布与河西系一级隆起带相对应。这些地震带是：龙首山—岷山地震带；榆木山—玛曲地震带和榆树沟山—阿尼玛卿山地震带。

1932年昌马7.6级地震、1937年托索湖7.5级地震、1947年达日 $7\frac{3}{4}$ 级地震及1963年阿兰湖7级地震即沿北北西方向迁移。另外，还有一些中强地震沿北北西方向迁移的事实：

1937年11月17日甘德、玛多5.0级地震→1938年4月10日都兰东 $5\frac{5}{8}$ 级地震→1938年8月23日天峻西6.0级地震；

1973年1月18日兴海西5.0级地震→1973年2月23日托来4.5级地震→1973年3月7日兴海4.0级地震。

另外，1958年10月2日—3日在兴海发生的3次4.0级地震也呈北北西向迁移。

2. 构造复合与地震活动的关系

区内北北西与北西西向构造多处发生复合。这些复合区往往是构造运动的闭锁段，在那里易于积聚构造应力。不同类型的复合型式，其地震强度、频度及破裂图象等均不相同。现初步归纳五种主要类型进行讨论。

(1) 反S型

北北西向隆起带与北西西向构造带相遇，后者构造发生急剧弯转，然后与北北西向构造归并形成反S状弧形构造。河西系的不同构造带或同一个构造带的不同区段，出现的弧形构造的规模、曲率、活动强度以及控制发生的最大地震均有显著差异。如第一隆起带的拉脊山

1) 兰州地震研究所力学室大震组，陕甘宁青大地震地质条件的考察与研究，1984。

2) 李玉龙等，新编陕甘宁青地震区划图原则与方法的研究，1986。

~五台山~太子山弧形构造, 其曲率大、活动性强, 曾发生1936年康乐 ($M_s = 6^{3/4}$) 地震。而第二隆起带大通山~日月山~拉脊山弧形构造相同部位的西宁地区, 至今未发生过大于六级的地震。复合区的北西西向断裂活动由复合前的右旋转变为左旋, 显示河西系应力场对老构造的改造和控制作用。

(2) 横跨扭曲型

河西系应力场的作用, 促使复合区的北西西向构造出现沿走向方向的波状弯曲, 其活动亦由复合前的右旋变为左旋扭动。这一类型复合区的地震活动的强度及频度均较大。如哈拉湖东北侧疏勒南山急剧弯转段, 在1927~1933年接连发生4次六级地震, 近年中小地震亦多。天峻、托索湖地区的强地震活动也可能与此种类型的构造复合有关。

(3) 横跨复活型

河西系的一级或强烈活动的大型次级隆起带与北西西向大断裂带发生横跨复合。后者并不改变构造走向, 而是以新的方式重新活动。如第三隆起带内妖魔山次级隆起的横跨, 促使昌马—鄂博断裂带西段复活。昌马断裂由复合前的略具右旋的逆断层型式, 变为具逆冲特征的左旋走滑断层。处于复合区的断层中段, 全新世活动幅度最大, 可能是1932年昌马地震震中所在。

(4) 反接牵引型

河西系的隆起带及边缘断裂与北西西向断裂发生反接复合, 受前者右旋应力的牵引, 使其构造走向逐渐向北偏转。北西西向断裂活动由复合前的右旋变为左旋。1954年山丹 $7^{1/4}$ 级地震即发生在此类构造复合区。地震断层沿北西西及北北西向展布, 断裂交汇处的形变破坏最剧烈。地震后的形变测量亦同样显示河西系构造应力场对断裂活动及地震发生的控制作用。

(5) 反接位错型

该类型的构造标志是, 北北西向断裂大幅度右旋断错较老的北西西向断裂, 显示北北西向断裂已经发育成熟, 具备控制发生大地震的能力。本类型可以新疆二台断裂截错额尔齐斯断裂为例, 1931年富蕴 ($M_s = 8$) 地震即发生在两条断裂交汇处, 主形变带沿北北西向断裂展布。在青藏高原东北部地区目前尚未发现有如此成熟的北北西向断裂, 该地区发育的北北西向断裂的主结构面均不具备单独控制强地震发生的条件。但是, 从托索湖—昌马—山丹大震区构造条件及地震破裂图象分析, 由南往北河西系断裂的发育程度及对地震的控制作用具有逐渐增高的趋势。反接牵引型的进一步发展有可能成为反接位错型。

河西系隆起带和边缘断裂发育及对老断裂的改造程度, 决定着交汇区构造复合类型和地震活动特征。构造复合类型是交汇区的构造及地震活动的重要地质标志, 对其进行深入研究无疑是有意义的。

(本文1988年6月4日收到)

参 考 文 献

- [1] 李四光, 地质力学概论, 科学出版社, 1973.
- [2] 李四光, 天文地质古生物资料摘要, 科学出版社, 1974.
- [8] 李四光, 旋卷构造及其它有关西北大地构造体系复合问题, 科学出版社, 1955.
- [4] 中国科学院兰州地质研究所等, 青海湖综合考察报告, 科学出版社, 1979.
- [5] 李玉龙, 陕西宁青四省(区)新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析, 西北地震学报, Vol.1, No.4, 1979.

THE HEXI TECTONIC SYSTEM AND STUDY ON RELATION
BETWEEN IT AND SEISMICITY IN NORTHEAST
QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Cai Shuhua

(*The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB*)

Abstract

The dextral compressive tectonic zones of $N10^{\circ}-30^{\circ}W$ in Northeast Qinghai-Xizang Plateau is generally known as Hexi System. The system consists of three upwarped districts, four depressions and some fault zones located between the both of them. Its activity influences to the midlower crust, even to the bottom of lithosphere in eastern border. The Hexi System evidently control seismicity. Moderate earthquakes or greater ones mainly occurred in some parts where the edges of the first-class upwarped districts and the NWW fault intersect.