

陕甘宁青四省（区）新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析

李玉龙

（兰州地震研究所）

地震是地壳运动的一种表现形式，而地壳运动又是由于在地下有一股强大的力量不断作用或推动的结果。因此，研究一个地区的构造应力场特征，将有助于人们认识地震的分布及其活动的规律性。

现有的震源机制解、基线与三角网计算边的最大缩短方向、大震形变带的挤压力方向以及新构造等资料遍及四省（区），这为研究四省（区）的构造应力场提供了必要的条件。本文对这些资料进行综合分析、对比，以给出区内各地构造应力场的最大主压应力方向。

一、新构造应力场

实际资料表明，一个地区的构造应力场，在一段地史时期内是相对稳定的。例如，新构造强烈上升的山脉，较其周围的盆地，是以上升占优势的，这已被水准测量资料所证实。可见，新构造运动与现代构造运动是密切相关的。

因此，新构造应力场的研究将帮助我们认识现代构造应力场的特征。

新构造应力场的确定是根据区内各地新构造期的褶皱与断裂及其组合形式所反映的力学性质分析，以推导出各地最大主压应力的方向。如图1

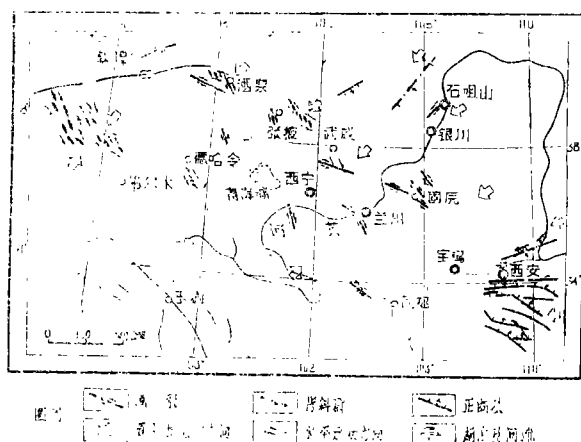
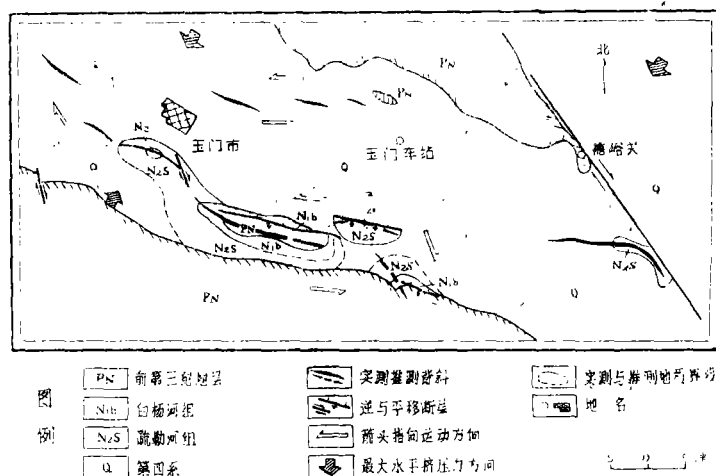


图1 陕甘宁青四省（区）新构造期断裂褶皱组合方式反映的水平运动的最大挤压力方向示意图

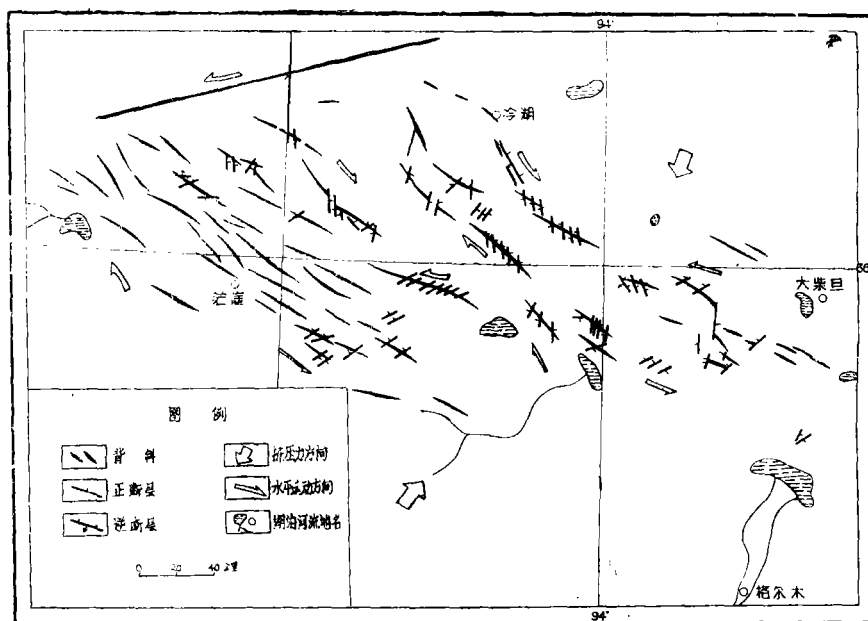
一4所示，区内大部地段（西起阿尔金山，东至贺兰山与六盘山，北自河西走廊，南至柴达木盆地与秦山岭脉），其活动构造带以北西西、北北西与北东东走向为最发育，它们互相交织，构成一道道，一环套一环，弧顶指向东北的弧形活动构造带。其间凡属北西西向者多为左旋逆、冲断层；北北西向者多为右旋高角度逆断层；北东东向者多为右旋逆断层，由此推

测, 全区受近北东—南西向为主的强大挤压力作用。



本构造图系根据一九六一年石油地质勘探研究图集二期: 甘肃地区酒泉盆地地质图

图2 玉门市至嘉峪关一带新构造期背斜与断层的分布及其应力特征图



构造图摘自青海省百万分之一地质图

图3 柴达木盆地西段褶皱断裂组合的力学性质分析示意图

此外, 在四省(区)的东西边缘地区, 最大主压应力的走向与上述最大挤压力方向不尽相同。据阿尔金山的北东东向左旋逆、冲断层与天山的北西西向右旋断裂推测, 该区以近南北向强大挤压力为主, 在贺兰山东麓至老石旦等地的右旋北东向高角度逆断层(包括平移断层)与渭河盆地的左旋近东西向断层, 推测鄂尔多斯盆地可能受到近北东东—南西西向强大

挤压力作用(图1)。

关于图1中正断层发育区的最大主压应力走向问题。各地区地质构造资料表明,这些正断层多属张性断裂。因此,以各地正断层的优势方向推测,最大主压应力方向:在阿拉善沙漠区为近北东—南西向;在渭河盆地为北东东—南西西向,东秦岭为近东西向。

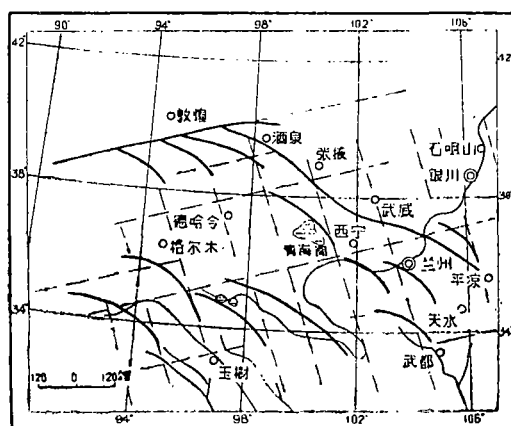
二、现代构造应力场

1. 震源机制解* 在四省(区),近数十年内30个中强以上地震(个别小震)的震源机制解,其主压应力轴的倾角均小于或等于30度,其走向(图5):在青藏高原北部及阿拉善至银川一带,近北东—南西向占主要;在兰州与渭河一带,有北东—南西与北东东—南西西两个方向,再参照陕西地震局作的陇县与韩城两地一些小震震源机制的主压应力轴走向多为北东东—南西西向推测,这一带应以北东东—南西西向为主;在甘川交界的平武与松潘一带,为近东西向。

应当指出,震源机制资料还说明,在昆仑山脉与祁连山脉一带,北西西向发震断裂多以倾向滑动为主。这一特点也为该区的四次七级以上地震形变带的资料所支持。该北西西向形变带的垂直运动幅度均大于水平错距,其中,北西西向最大垂直形变带的幅度,海源3½级地震为5米以上、古浪8级地震为大于4米、昌马7½级地震为4米上下。

2. 大地震形变带的挤压力方向 据1920年以来发生的五个7级以上地震形变带的资料,其中四次大震(图6—10)形变带的裂缝与鼓包的组合方式及其错动所反映的力学性质表明,凡属北西西走向者多为挤压兼左旋型;北北西走向者多兼右旋型;北东东走向者多兼左旋型;北北东走向者多为张性兼右旋型。它们一致地表明,大震的最大挤压力方向均为近北东—南西向(图12)。

另一次,即1937年托素湖至阿兰湖230公里长的7½级地震形变带。原考察报告认为,该北西西向形变带的挤压力方向为近南北。但,笔者在分析了有关原始资料后认为:该形变带所反映的挤压力方向不是近南北,而是近北东—南西方向。据该考察报告称:“沿线



图例 构造差异运动显著带 深大断裂带

图 4

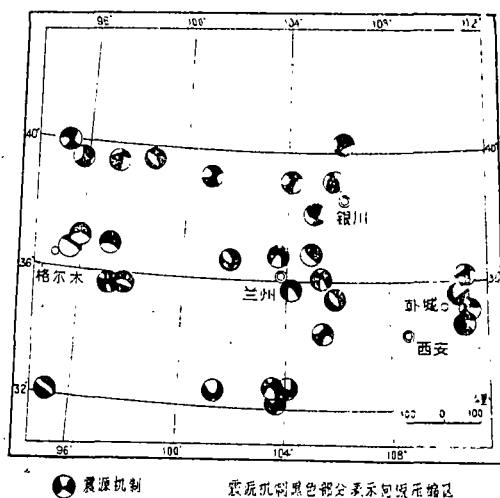


图 5 陕甘宁青四省震源机制图*

* 本所刘伯康同志提供。

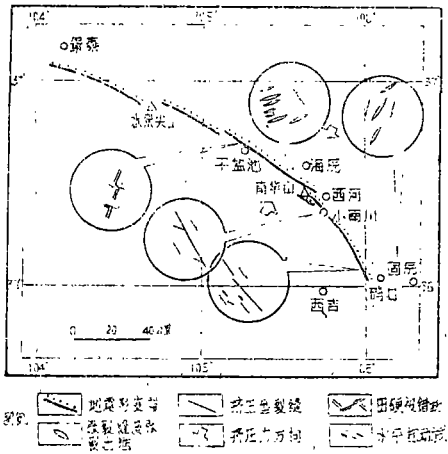


图 6

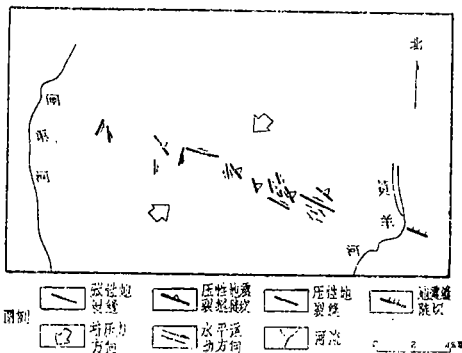
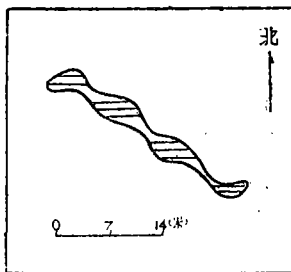


图 7



图例 压性构造带

图 8

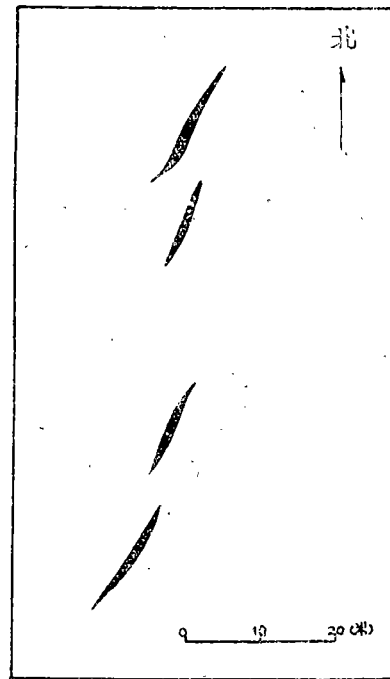


图 9

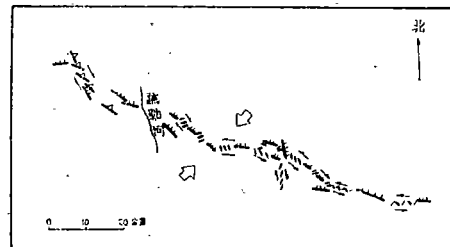


图 10

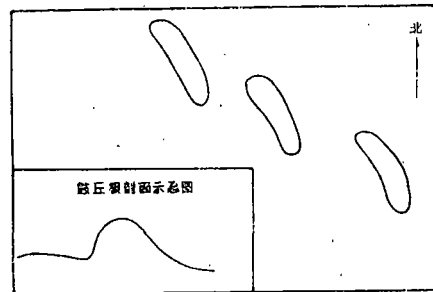


图11 花石峡东北鼓丘群排列与个体剖面示意图

- 图6 缩自1975年海原大震背景考察报告附图
- 图7——10缩自1975年河西三地区三个大震发震构造条件报告附图
- 图11 摘自青海省都兰地区1937年1963年1971年三次大地震综合考察报告

(指该形变带—笔者注)大小鼓丘很多,有些地段鼓丘成群出现,丘低至数十厘米,高可达十米,长亦由数米至百余米不等。长轴与裂缝一致或稍有交角”。另据该报告原始资料描述:“花石峡东北,青藏公路307公里处,见一系列鼓丘的排列显示斜列特征(图11),鼓丘的宽度大者100米左右,高20米左右。它们皆为震时产生的”。由此不难看出,该北西—南东向地震形变带除具挤压特征外,其东段花石峡东北的鼓丘群的斜列展布型式,显然,还反映该段具有左旋运动的特点。它与前述四个大震形变带中,凡属北西西向者均为挤压兼左旋运动的特点相同。因此,推测该带的最大挤压力方向仍为近北东—南西向。

上述五个大震形变带在宁夏、甘肃与青海三省(区)境内均有分布,但其形变带的挤压力方向却很接近,均为近北东—南西向(图12)。

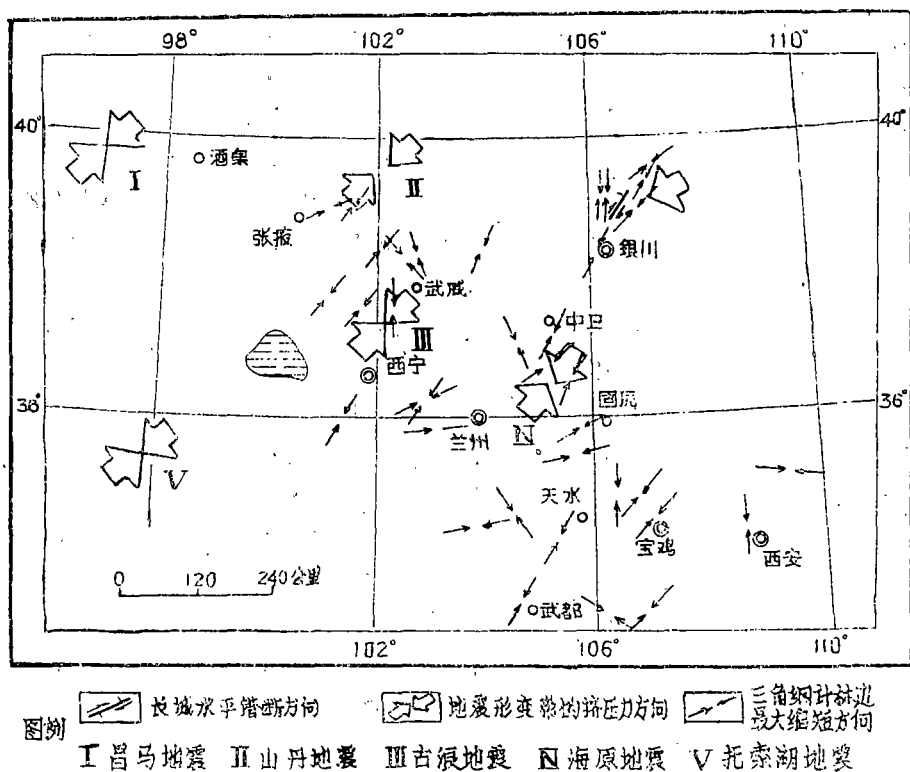


图12 地形缩短方向与地震形变带挤压力方向示意图

此外,在贺兰山东麓,石嘴山西南红果子沟沟口,明初长城被北东向近直立断层错断,400年来右旋断距为1.45米,再考虑华北的唐山等大震形变带的挤压力方向为北东—南西向,推测四省(区)东部的鄂尔多斯盆地的最大挤压力方向为北东—南西向。

3. 基线与三角网计算边最大缩短方向 1970年以来,原兰州地震大队测量队沿张掖至汉中等地,数十年来复测的35个三角网计算边的最大缩短方向(图12表1—2),约以北纬37度线为界,以北为近北东—南西向;以南有北东—南西与北东—南西两个方向,推测37度线以南,即四省(区)的东南地区,其测点的最大缩短方向略偏东。此外,如图13与表

• 在四省(区)共有基线测点40余个。本文所选测点皆为2个或2个以上方向的,并为缩短距离较大的测点。

陕甘宁青四省(区)三角网计算边的最大缩短方向

表 1

测点地名	测点位置	复测年限	最大缩短方向
海 渤 湾	E107°2' N39°42'	1971—1973	N60°E
" " "	E106°51' N39°26'	1971—1973	N27°E
乌 达	E106°36' N39°35'	1971—1973	N15°E
正 谊 关	E106°36' N34°16'	1970—1976	N 8 °E
小 口 子	E105°58' N38°38'	1971—1976	N22°E
石 咀 山	E106°46' N39°15'	1970—1976	N45°E
中 卫 南	E105°12' N37°23'	1971—1976	N35°E
金 川	E106°51' N38°27'	1971—1975	N56°E
永 昌	E102° 8 ' N38°21'	1971—1975	N42°W
滑 石 井	E102°18' N38°23'	1971—1975	N24°22'W
大 口 子	E102°46' N38°23'	1971—1975	N20°E
山 丹	E100°46' N39°15'	1971—1975	N69°E
扁 都 口	E100°55° N38°13'	1971—1975	N48°E
槽 大 板	E101°49' N38°43'	1971—1975	N30°E
门 源	E101°51' N38°27'	1971—1975	N8°E
大 梁	E101°2' N37°44'	1971—1975	N21°E
干 盐 池	E105°19' N36°40'	1971—1977	N30°E
固 原	E106°4' N36°3'	1971—1977	N78°E
靖 远	E104°42' N36°57'	1971—1976	N27°W
静 宁	E105°40' N35°32.5'	1971—1974	N76°E
永 靖	E103°16' N35°59'	1971—1974	N87°E
上 朶 让	E101°38' N36°10'	1971—1975	N35°E
民 和	E102°39' N36°12'	1971—1975	N61°E
清 水	E106°48' N34°54'	1973—1977	N8°E
陇 县	E106°48' N35°54'	1971—1977	N45°E
冯 家 山	E107°55' N34°35'	1971—1976	N45°E
武 山	E104°52' N34°47'	1971—1977	N40°W
西 和	E105°21' N34°5'	1974—1977	N23°E
成 县	E105°44' N35°45.5'	1974—1976	N88°E
岷 县	E104°4' N34°30'	1974—1977	N82°E
武 都	E104°52' N33°38'	1971—1977	N53°E
勉县燕儿崖	E106°44' N33°12'	1971—1977	N42°E
勉 县	E106°26' N33°7'	1971—1977	N64°W

(据兰州地震研究所地震地质室编图组整理)

2 所示, 11 个测点的基线最大缩短方向也以北东—南西向占优势*。显然, 在四省(区)的大部地段, 基线测量所反映的地形最大缩短方向以近北东—南西向为主。

对比本区各地新构造与现代构造的最大挤压力的走向, 尽管资料的数量较多, 分布也广, 但其各自的结论却是基本上一致的(如全区以北东—南西为主, 仅在本区西北阿尔金山一带为近南北向; 在东鄂阿尔多斯与渭河盆地为北东东—南西西向; 在秦岭为近东西向), 从而证明这一结论是可信的。

陕甘宁青基线测量的缩短方向

表 2

点地名	点位	复测年限	变化值(mm)	变化方向	备 注
老石旦 (内蒙海勃湾)	106°51' 39°23'	71—73	-3.90 +2.28	N8°E N38°W	三个基线方向
克沙洞 (内蒙、海勃湾)	106°50' 39°45'	71—76	-0.92 +1.21	N80°W N37°E	六个基线方向
正谊关 (宁夏、石嘴山)	106°15' 39°14'	70—76	-1.03 -2.62 -1.99	NEE N5°E NE	三个基线方向
滑石井	甘肃永昌	71—75	-1.63 -3.43 -2.30	NWW- N32°E N68°E	三个基线方向
大口子	甘肃民勤	71—75	+0.39 -0.11 -1.03	NWW NNE N68°E	三个基线方向
干盐池 (宁夏、海源)	105°19' 36°40'	77—78	-0.49 -0.97	NW- N35°E	三个基线方向
后磨河 (宁夏、固原)	106°14' 36°00'	71—78	-2.28 -0.98	N58°E N3°E	三个基线方向
石堡 (甘肃、西和)	105°19' 34°05'	74—77	-0.11 -0.42 -0.94	NW SN N50°E	三个基线方向
江口 (甘肃、礼县)	105°06' 34°04'	74—77	-0.72	N63°E	三个基线方向 NNE变化小
下滩	青海民和	71—75	-1.74 -2.06	NW N53°E	三个基线方向
峡口	陕西、西乡	71—73	-2.30 -1.06	N16°E N73°W-	二个基线方向

此外,在青藏高原周边带出现的(1)地形高差大,逆、冲大断裂发育;(2)山脉的夷平面*与晚第三纪以来的断陷盆地的基底均向高原区倾斜;(3)为区域重力梯级带与地壳厚度梯级带说明;在其周边地带存在与其周边近于垂直的强大挤压力作用。

例如,在阿尔金山,山峰高出其北侧盆地1500米以上,在山脉北麓部分地段,物探查明第四系厚达1000米以上,并沿山脉北麓逆、冲大断裂发育;在祁连山脉北坡,走廊南山山峰高出河西走廊2500米上下,河西走廊盆地第四系厚度大于700米,最大厚度达1100余米,山麓一带逆、冲大断裂发育;在高原东北缘,沿武威、武都、文县至平武一线,其地势西高东低,高差500—1000米,并沿该带局部有长达数十公里至百公里的逆断层(如庄浪河等断裂);在青藏高原北缘的阿尔金山与祁连山脉,其各级夷平面均为北部翘起,向南倾斜(图14)*;在高原区东北侧的陇中盆地,一系列近北西向的晚第三纪盆地,其中上第三系与第四系皆为西南厚,东北薄,表明这些盆地的基底均向西南倾斜,而各盆地间的山岭,亦皆为西南坡缓,东北坡陡,并沿其东北麓发育一系列逆、冲活动大断裂(图15);菱形断块长轴指

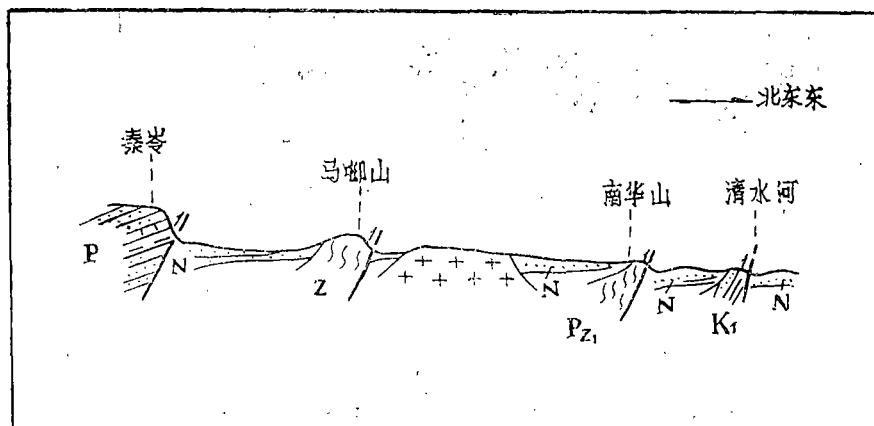


图15

向东北的四川盆地,其中第四系主要分布在盆地的西北缘,说明该断块盆地向西北倾斜。巍峨的喜马拉雅山脉,其南麓地势高差大,逆、冲大断裂发育;沿青藏高原区的边缘为区域重力梯级带与地壳厚度梯级带。

总结青藏高原区的新构造应力场的基本特点是,全区受到以近北东—南西向为主的强大挤压力作用的同时,在其周边地带还存在与其周边近于垂直的局部挤压力作用。这与四省(区)各地最大挤压应力的指向也是一致的。

至于青藏高原区的构造动力起源问题,说法不一。就已有的各种构造学说来看,以板块构造学说加以解释,较为合理。板块学说认为,这种动力的来源除欧亚板块与印度板块相互碰撞外,应以印度板块向东北推挤的力量占主要。在印度板块向东北推挤的力量作用下,除了发生近北东—南西向挤压力所产生的构造运动特征外,还迫使青藏高原的地壳分别向北西与南东两方向滑动,从而派生出北西与南东两方向的侧压力(图16)。这就解释了在青藏

• 兰州大学地质地理系徐叔康先生提供。

高原区受到的构造应力场的特征。当然,在青藏高原东部出现的近东西向挤压力也不能排除太平洋板块向西推挤的作用。就四省(区)范围内构造运动总的特点而言,仍以印度板块向东北推挤的作用为主。因此,四省(区)的地震活动,其动力来源也主要是印度板块的强大挤压力作用所致。

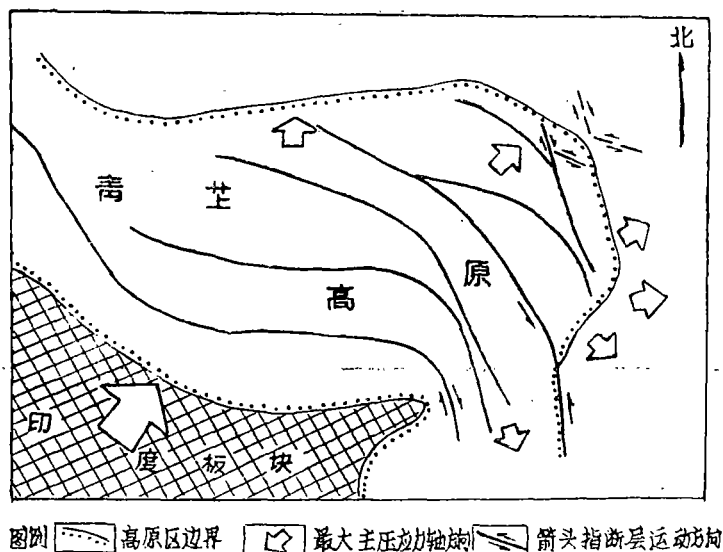


图16

(上接第21页)

8. Molnár, P and Tapponnier, P Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a Continental Collision Science 189 1975 4201
9. 中国科学院地质研究所实验地震研究组西南地区现代构造应力场与地震活动性的实验研究 地质科学 1977(1)
10. 蜀水 炉霍7.8级地震特征和该区的地震活动性 地球物理学报 1974(2)
11. 康荣昌等
1973年炉霍7.9级地震地裂缝特征及地震成因的初步探讨 地球物理学报 1976(1)
12. 中国科学院地质研究所大地构造编图组 中国大地构造基本特征及其发展的初步探讨 地质科学 1974(1)
13. 四川省地质局106地质队四分队 康滇地轴中段前震旦纪地质特征与板块构造的关系 地质科学 1975(2)