

根据凹陷中心的变化探讨青藏高原 高原现代构造活动特征

钱生华

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 本文通过对青藏高原北部地区分布的大量文化层、河流变迁等资料进行的分析对比,圈定了各盆地的现代凹陷中心,研究了该地区的现代构造活动特征及其与地震危险区的关系。这对拓宽烈度区划工作具有一定的参考意义。

关键词: 拗陷 沉降运动 青藏高原 新构造运动 地震危险区

1 前言

柴达木盆地、祁连山系及其所包容的山间盆地是青藏高原北部的主要组成部分。祁连山脉以北的河西走廊是我国西部的主要地震活动带。为了对青藏高原现代活动的整体性和统一性有明确的认识,进一步探索地壳活动与地震的关系,本文利用多年来的有关新石器时代遗址和河流变迁等资料,对青藏高原北部地区的现代构造活动方式以及盆地的现代形变特征作了初步的讨论。

2 高原北部盆地的形变特征

青藏高原北部地区分布有一系列的盆地。在祁连山以南有柴达木、青海湖、西宁、共和、贵德等盆地;祁连山系以北为河西走廊盆地,系由酒西、酒东、张掖、武威等盆地组成。这些构造盆地受青藏高原现代构造活动的控制,同时也受周围块体运动的制约,促使盆地产生不均匀变形。由于盆地的隆升和分异而产生次级构造和小凹陷,这些新生凹陷的分布具有一定的规律性,它们的迁移具有定向性,显示了青藏高原现代活动的独有特色。

由表1可看出,青藏高原北部地区在全新世(距今10,000年)以来,具有强烈的构造变动,其活动时序、分布特征、升降幅度都与高原的整体活动相一致,表明青藏高原的现代活动是统一应力场作用的结果。

2.1 现代凹陷的分布特征

据古遗址的埋藏深度统计结果,河西走廊盆地中的第四纪早期凹陷现均已消失,而全新世以来的新凹陷离开了原来的位置在较远的距离内呈北西西方向分布,例如酒东盆地第四纪早期凹陷位于清水、土坝一带,全新世凹陷则位于酒泉县城西北隅;张掖盆地内早期凹陷位于八挂营、丰乐、三工闸,全新世凹陷出现在八挂营南、马蹄寺和张掖县城西北。武威盆地的洪祥—丰乐凹陷现已消失,在永昌西南的二坝一带出现了新的凹陷。高原东北缘的陇西盆地第四纪早期凹陷位于定西、通渭以北,现代凹陷位于盆地西南边缘甘谷、武山间,陇西首

阳镇、定西内官营、三十里铺、缠口一带，与河西走廊凹陷的分布情况比较(见表2)，现代凹陷中心同样位于盆地西南边缘(图1)。

据展布在高原北部的庄浪河、洮河、祖历河等河流的侧蚀作用和河谷阶地的不均匀分布(见表3)，清楚地表明高原外围的地势相对于高原内部呈翘起上升状态，显示了向高原一侧倾斜的特征。

根据现代凹陷分布绘制的迁移图(图1)表明，每个盆地在形成现代凹陷的同时也伴随产生了现代隆升区，许多凹陷中心毗邻高原一侧而隆升区则分布在远离高原的一侧。这种现象即为新构

造运动学所命名的“掀斜运动”，盆地的掀斜方向明显围绕高原边界倾斜，当高原边界发生转折时，盆地的倾斜方向也随之发生改变，这种形变现象表明外围盆地的现代构造活动已被纳入青藏高原的范畴^[1-2]。同时也反映了青藏高原现代活动的整体性特征。

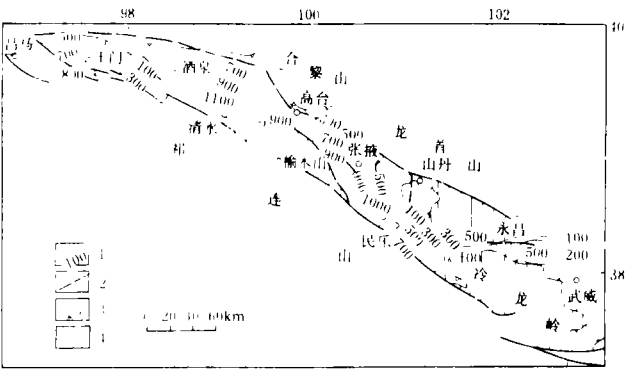


图1 河西走廊盆地第四系厚度分布
(据陈志泰等,1993年)

1 第四系等厚线(m) 2 第四纪断裂 3 第四纪盆地边界 4 盆地内隆起区
Fig. 1 Distribution of Quaternary thickness in the Hexi corridor basin zone.

表1 青藏高原外围盆地考古点埋深

	上升区古遗址剥蚀情况	下降区古遗址埋深及特征
酒泉盆地	白土崖遗址(新)文物露地表 草井古城城内地面暴露宋金遗址 荒梁墩汉墓距地面2 m发现墓砖 鸳鸯池汉墓群沙丘附近可见墓洞	丁家闸汉墓深达16 m 崔家南湾晋墓深达13.74 m 酒泉城东汉墓深达8—10 m 赵家水磨遗址厚达7.72 m
民乐盆地	山丹四坝遗址(新)文化层深0.3—0.4 m 民乐东灰山遗址(新)文化层距地表0.2—1 m 张掖甲子墩汉墓墓砖已露在地表 乌江堡汉墓在沙丘窝见到墓砖 沿河墩汉墓封土堆下2 m见砖室	永固八卦营汉墓深8—9 m 韩庄子汉墓深8 m 肃南马蹄寺明佛龕淹埋1.8—2.5 m 童子寺石窟最晚清代佛洞淹埋1.5—2.0 m
武威盆地	长城公社王景寨文化层在地表 半截墩汉墓群距地表1.2 m可见墓室 乱墩子汉墓群地表可见墓室 瓦罐滩遗址地表遗物堆积 高古城遗迹因地面上升西大河南迁	武威新华磨咀子(新一汉)河床高于村址3—4 m 武威城北皇娘娘台(新)深达3.74—4.22 m 武威大墩子(新)深2.15 m 武威沙金台汉墓现处一级阶地 永昌二坝遗址(新)埋深1.80 m
东部陇西盆地	通渭碧玉李家坪(新)距地表0.40 m 会宁丁沟白灰面整地时被发现 会宁郭城(宋金)城被河水冲去一半 定西解放桥现代建筑物分布在文化层上面 甘谷城南文化层距地表0.3—0.4 m	定西缠口汉遗址距地表4—4.2 m 定西内官营遗址(新)距地表4.80 m 通渭白家川遗址(汉)距地表1.70—2.0 m 陇西首阳镇文化层距地表2 m 榆中汉家庄距地表10 m发现红陶

言注:本表引用了1983年调查、观测的结果和1972—1979年出版的“定西、武威、酒泉文物概况”

表 2 陇西盆地升降幅度对比

黄 河 东 段		渭 河	
地 点	深 度	地 点	深 度
景 太 王	0.40 m	甘谷渭水峪	0.30 m
景太大芦子	0.50 m	甘谷城南	0.40 m
兰州北塔公园	1.20 m	陇西首阳镇	0.90 m
兰州西固城	2.20 m	渭源吕家坪	1.20 m
		渭源寺坪	1.50 m

表 3 高原东部升降幅度对比

庄 浪 河				洮 河			
东 岸		西 岸		东 岸		西 岸	
地 点	深 度	地 点	深 度	地 点	深 度	地 点	深 度
永登满城	0.6 m	李家坪	1.1 m	格子坪	3.0 m	寺洼	5.3 m
永登县城	0.80 m	大沙沟	1.4 m	辛甸	1.2 m	马家窑	3.5 m
				红旗杨家咀	0.8 m	唐汪	2.0—3.0 m

现代凹陷中心迁移与盆地地面倾斜这两种活动出于同一个原因。高原在中更新世时期强烈隆升的同时也强烈推挤,迫使高原北部的祁连山脉不断向北推覆,推覆体前进迫使盆地南侧负荷加大,驱动盆地南侧持续下沉,形成下沉带,但推覆体的载荷不同,在载荷大的地方形成沉降中心^[3](见图 1、2)。全新世以来地壳运动的作用力方向发生变化,高原北部由原来的南北挤压变为东西向挤压。外围的构造体活动形式也发生相应的变化,多呈北东向构造与北北西向构造的张扭性活动(见图 2、3)。其活动特征是西盘上升、东盘下降,被分割的盆地地面东升西降,最新沉积物厚度西厚东薄(或西深东浅),从而对第四纪凹陷中心进行了强有力的改造,使第四纪沉降中心向西迁移。

高原北部沉降中心展布规律性很强,从北西西方向看,它有两个盆地系列,北部为河西走廊盆地,南侧为陇西—民和一西宁青海湖等北北西向盆地。河西走廊盆地凹陷中心都自东向西迁移,沉降速率西快东慢。而南侧的盆地带从黄河、湟水河谷阶地的落差(表 4)也明显可以看出东部翘起西部沉降的倾斜状态。

就北北西构造带而言,它有三个沉降带即武威—兰州带、张掖—西宁带、酒泉—青海湖带。由表 5 可见,盆地南侧的沉积速率是北部沉积速率的 3—4 倍,沉降中心位于盆地的西南边缘。在北北西方位上因受构造的控制,凹陷自北向南迁移。沉降幅度出现南强北弱的格局。

事实表明,上述凹陷中心向西南方向移动是受两组构造力作用的结果。柴达木盆地与东部的民和一西宁盆地带的迁移方向有所不同。由于高原边缘的活化隆升,盆地沉降都向高原中部移动,如柴达木盆地沉降中心在老第三纪时位于芒崖,新第三纪时位于台吉乃尔湖,第四纪时位于达布逊诺尔(图 3)。而东部的沉降中心则是自东向西迁移,白垩纪时位于河口—民和一带,新第三纪时位于西宁盆地,第四纪时位于青海湖,表明高原的隆起是由外缘向

内部推进的。它从外缘翘起上升开始,逐步形成了向高原内部倾斜的形态。

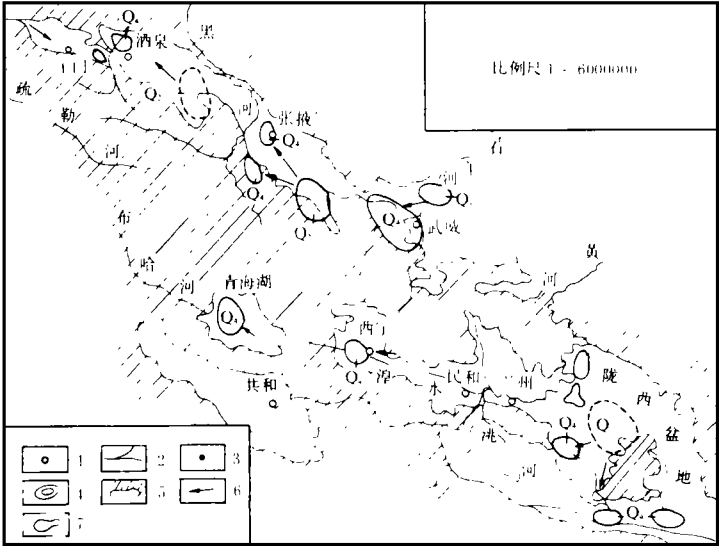


图 2 青藏高原外围现代凹陷分布

- 1 主要城镇 2 主要河流 3 文化遗址 4 全新世沉降区 5 山区与平原之界线
6 全新世夷平面倾斜方向 7 主要湖泊

Fig. 2 Distribution of recent depressions around the Qinghai-Xizang Plateau.

2.2 盆地的形变状况

不论是高原外围盆地或者是内缘盆地,都在统一的应力作用下进行协调的构造活动,但由于各个盆地所处的位置不同而受到不同方位和不同强度的应力作用,造成了盆地变形的很大差别。

表 4 高原东部古遗址埋深对比

黄 河 中 上 段			湟 水 西 段		
地 点	阶 地	埋 深	地 点	阶 地	埋 深
民和中川	三级阶地	0.5 m	民和马厂塬	三级阶地	0.4 m
民和赵木川	三级阶地	0.2 m	享 堂	三级阶地	0.5 m
循化果什滩	二级阶地	0.8 m	乐 都	二级阶地	2.5 m
贵德河阴	二级阶地	1.5 m	西 宁	二级阶地	2.5—4.0 m
罗 汗 堂	二级阶地	2.5 m	马房公社	二级阶地	4.0 m
贵南龙羊峡	二级阶地	3.3 m	朱家寨	一级阶地	4.0 m

青藏高原北部盆地带的形变在凹陷区的长短轴之比、凹陷区边坡的倾斜度、凹陷中心的偏离程度以及各个盆地的升降程度等方面都存在明显的差别。根据对第四纪等厚线图的测算结果,将各个盆地的变形差别列于表 6 中,由该表可知全新世时期各个方向的构造形变存

定距今 2,400 年)已遭受北大河侵蚀冲刷。民张盆地中南缘的石窟河切深 8 m 有余,北魏年间建的童子寺、上天乐石窟已被海潮坝河切割很深。武威永昌的高古城(宋)由于东大河向南移动而废弃。现距东大河河床高差约 8 m,除去地貌因素还有 2—4 m 的落差。定西三十里铺城堡为宋代所建,现因祖厉河向西的侧蚀作用而受到冲击破坏。定西内官营齐家文化遗址成为孤丘,说明遭受流水侵蚀作用,现代凹陷迁移至西部兴隆山前。

表 5 高原北部盆地变形情况对比

盆地名称	酒泉盆地	民张盆地	武威盆地	青海湖盆地	西宁盆地	民和一兰州盆地
凹陷坡度	3.5°	2°	1.5°	0° 25′	0° 24′	
长宽之比	2.5	4	2	1.2	1.8	2.4
上升速率	4 mm/a	2 mm/a	2.5 mm/a	4 mm/a	4 mm/a	7.8 mm/a
沉降速率	3.8 mm/a	1.3—1.7 mm/a	0.8 mm/a	3 mm/a	1.2 mm/a	0.12 mm/a

4 现代凹陷与地震活动的关系

4.1 现代凹陷的迁移与活动构造的关系

现代凹陷中心常位于边缘活动断裂或活动构造一侧,与第四纪早期的凹陷中心相比,新的凹陷位于盆地的西南边缘。迁移距离和沉积厚度的大小可反映边缘断裂的活动性和活动强度,青藏高原北部盆地所迁往的地域即是活动断裂分布的地方。酒泉盆地的凹陷中心位于嘉峪关断裂东盘,张掖盆地的马蹄寺凹陷、城北凹陷位于榆木山东缘断裂的东盘。武威盆地中的南营凹陷和永昌西凹陷(鸾鸟城凹陷)则位于古浪地震断裂带之北侧。陇西盆地的几个小凹陷(沉降区)位于西秦岭北缘和兴隆山北缘断裂的东盘。这种展布势态与高原的现代活动特点有密切的关系,盆地活动与边缘断裂活动一致。内外盆地的活动具有密切的相关性,由于高原北部向北推覆而形成走廊南侧的断裂活动,又因东西两侧地块的相对挤压,致使高原外侧翘起上升(见图 2、3),所以,盆地的现代凹陷中心的移动与活动断裂的展布在空间上达到高度的统一。

4.2 现代凹陷的移动与地震活动的关系

盆地的现代活动形式和活动过程与地震活动有着密切的关系,如盆地的变形强度和面积大小与该地区地震强度存在正相关关系,盆地凹陷中心的迁移方向和倾斜方向则反映潜在震源区的位置。

(1)盆地的沉降速度与沉降区面积的乘积代表一个地区积累能量的多少。震源物理学指出,潜在震源区强震发生前有一段长时间的能量积累过程,在断裂带上积累足够能量之后,在适当的发展条件或激发因素的作用下,便可发生强烈地震^[14]。青藏高原北部盆地统计结果表明,外围盆地积累能量大的地段都先后发生了强震,证实了盆地的沉降速度和沉降区面积的乘积与地震活动有一定的因果关系(见表 6)。

(2)现代凹陷的迁移方向与盆地凹陷中心指出未来地震活动的区段。据本区 5,000 年来地层沉积厚度计算,凡凹陷中心所在地区都是历史地震活动的地方。据沉积速率统计结果,渭河谷地的沉降中心位于陇西首阳镇、甘谷新兴乡一带(速率 3—4 mm/a),发生了公元前 47 年陇西 M7.0 地震、128 年甘谷南 M6.5 地震、143 年甘谷西 M7.0 地震。距今 2,000 年以

来,沉降速率较大地段向东部天水一带转移,地震相应在天水市附近频繁发生,如 734 年天水东 M7.0 地震、1654 年天水南 M8.0 地震、1885 年天水 M6.0 地震、1936 年天水 M6.0 地震。酒东盆地高台骆驼城新石器时期文化层深 1.8—2.1 m,汉砖深达 7 m,高台西南许三湾唐代墙基已陷落 8.0 m 深,水关乡河岸 2 m 深处有彩陶,该三地皆为 5,000 年来的凹陷区,曾先后发生 180 年秋表是地震,756 年高台南地震及 1609 年红崖堡 $M=7\frac{1}{4}$ 地震,具有自北而南迁移的趋势。因为凹陷中心的存在代表了地震能源聚集场所,凹陷中心的转移标志地震能源的转移,随之导致地震震中的迁移,这一种地球物理现象在多数情况下只是动态趋势,在地理空间和时间空间上不是相对应的,往往时间尺度较大,以第三纪、第四纪作为单位,而地震活动只是以万年乃至几千年来计算的。但在山西汾河流域和云南洱海地区沉积厚度与历史地震发生具有很好的对应性。本区渭河谷地似乎也有对应特征(见图 4)。

表 6 凹陷中心沉降速率与地震关系的统计结果

地 名 项 目	酒泉盆地	民张盆地	武威盆地	青海湖盆地	西宁盆地	兰州河口盆地
数量						
沉降区面积(km ²)	220	400	1,200	1,200	300	1,800
沉降速率(mm/a)	2.70—3.00	1.53	3.08	2.80	1.20	0.60
曾发生 $M\geq 6\frac{1}{4}$ 地震	180 年秋表是 7.0 级地震和 1609 年红崖堡 $7\frac{1}{4}$ 级地震	无	1927 年古浪 8.0 级地震	无	无	138 年 $6\frac{3}{4}$ 级地震 1125 年 7.0 级地震 1440 年 $6\frac{1}{4}$ 级地震

5 结论

(1)通过古遗址的埋深在大范围内的统计对比,证实了青藏高原北部地区具有强裂的现代构造活动,新凹陷的产生和旧凹陷的迁移是现代地壳运动的主要形式,特别是全新世以来

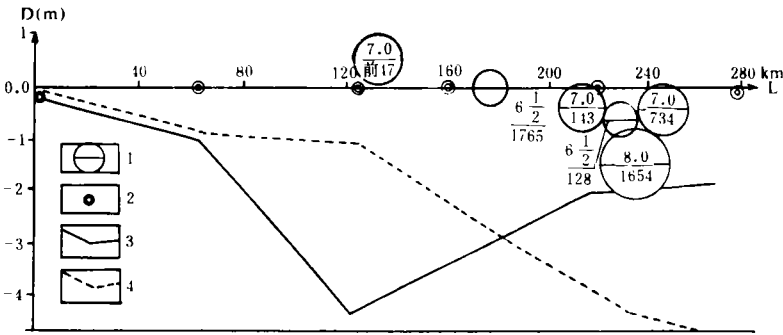


图 4 汉代前后的沉积幅度与地震活动的关系

1 地震震级与年代 2 主要地址 3 汉代前沉积厚度 4 汉代后沉积厚度

Fig. 4 Relationship between earthquakes and sedimentary thickness before and after the Han Dynasty.

高原的升降活动更加强烈,边缘断裂活动随之增强,外围地面倾向于高原内部,它继承了第四纪以来的活动特征。

(2)通过盆地中的现代凹陷与第四纪凹陷的对比,全新世产生的新凹陷是第四纪凹陷转移的结果,其展布方向与迁移方向基本一致,构造活动仍然受到北西西和北北西两组构造的控制。

(3)盆地的变形时间具有北早南晚、西早东晚的基本次序,盆地倾向、凹陷迁移和活动断裂的分布三者空间上集中于毗邻高原的一侧,与外围地区活动特点不同,显示了高原的整体性活动特征。

(本文 1994 年 7 月 11 日收到)

主要参考文献

- 1 李吉均,等. 青藏高原隆起时代、幅度和形式的探讨. 中国科学, 1979, (6).
- 2 杨云畴. 西藏高原地貌的形成与演化. 地理学报, 1982, (1): 76—86.
- 3 彭作林,等. 西北地区主要含油气盆地大地构造特征. 甘肃地质学报, 1992, (2): 73—83.
- 4 兰州地震研究所. 甘肃省危险区划研究. 兰州大学出版社, 1993.

APPROACHING THE FEATURES OF NEOTECTONIC MOVEMENT BASED ON CHANGES OF DEPRESSION CENTERS IN QINGHAI—XIZANG PLATEAU

Qian Shenghua

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

In this paper, based on analysis and comparison of data about cultural remains and drainage changes in the north of Tibet plateau, the recent depression centers of basins are delimited and feature of neotectonic movement and its relation to seismic risk zone are studied, which will contribute to develop the intensity regionalism work.

Key words: Depression, Subsiding movement, Qinghai-Xizang plateau, Neotectonic movement, Seismic risk region