青藏高原东北缘地震断层的研究

戴华光 贾云鸿 刘洪春 苏向洲 陈永明
(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要 青藏高原东北缘新构造运动强烈,地震活动频繁。调查资料表明,伴随每次大地震的发生,都将产生规模不等的地震断层。本文研究了该区地震断层的分布规律、类型以及与先存断裂的关系等,同时对研究区不同地段的地壳稳定性进行了初步评价。

关键词 地震断层 活动断裂 地震构造带

0 引言

现今破坏性地震的现场考察资料及历史大地震的调查资料证实,强烈的破坏性地震,大多数都形成规模不等的明显的地表破裂带。这些地表破裂带又称为地震形变带或地震断层。本文用地震断层一词。它是地震震源处断层快速破裂达到地表,在地表松散沉积层和岩石中产生的各种构造形变现象。

青藏高原东北缘新构造运动强烈,地震活动频繁,是中国地震最多、最强烈的地区之一。据不完全统计,7级以上历史大地震达到23次以上,伴随每次大地震都有地震断层出现。很显然,地震断层的产生是地壳现今强烈活动的重要标志。因此,系统地总结地震断层的分布规律、破坏类型及几何学、运动学等基本特征,对于该区地震及地震灾害的预测预防和地壳稳定性评价等都有重要的现实意义,同时对于青藏地块动力学问题的理论研究也有重要的参考价值。

笔者曾对研究区多数7级以上历史大地震进行过实地考察,对主要活动断层进行过调查和研究。本文主要依据笔者的调查研究资料,并参考其它有关活动断裂带及古地震的研究成果等编写成的。

1 区域地质构造概况

青藏高原自始新世末至渐新世初开始褶皱隆起,第四纪达到高峰。由于青藏高原强烈的隆起和向北挤压作用,在其北部边缘,特别是东北边缘,第四纪以来的构造变形十分剧烈并伴随频繁的地震事件。可以说,青藏高原东北缘是青藏高原现代构造运动的敏感区,其主要的活动构造带如下:

1.1 阿尔金构造带

阿尔金构造带是青藏高原边缘规模最大的活动构造带之一,长达1700余公里,宽数十公里到百余公里,总体方向NEE,其北为塔里木地块。该带现今活动极为强烈,其中阿尔金断裂

带晚更新世以来活动最为明显，表现为左旋走滑性质，走滑速率达4—6mm/a。沿带保留多期完整而清楚的地震断层。

1.2 龙首山构造带

龙首山构造带位于河西走廊北部，北为阿拉善地块。该构造带西自金塔附近，经龙首山，东至民勤县南的青山一带，长达450km，宽数十公里，总体展布方向NWW。其中龙首山南、北缘断裂规模大，晚更新世以来活动较强，主要表现为逆冲性质。1954年山丹7.25级地震、民勤7级地震就沿龙首山北缘断裂展布。

1.3 祁连山构造带

祁连山构造带是青藏高原东北缘主要的活动构造带，长达1300余公里，宽数十公里到150km，总体方向NWW。该构造带的褶皱和断裂规模一般较大，其中祁连山北缘断裂带、昌马—鄂博断裂带和毛毛山—海源断裂带规模壮观，长达数百公里以上，晚更新世以来活动断裂，表现为逆左旋走滑性质，水平滑动速率多在3—4mm/a(虢顺民等，1992)。沿带现今破坏性地震、历史大地震及古地震事件较多。

1.4 西秦岭构造带

西秦岭构造带呈近EW方向展布，长度大于500km，宽度大于150km。该构造带的褶皱、断裂规模较大，其中西秦岭北缘断裂带长达400km以上。晚更新世以来活动非常明显，表现为左旋走滑性质，平均水平滑动速率2—2.5mm/a(腾瑞增等，1991)，沿带地震断层较多。

1.5 东昆仑构造带

该带位于柴达木盆地南部，总体展布方向为EW—NWW，长达1500km以上，宽100km到数百公里。它是青藏高原东北部规模最大的构造带，新生带以来活动强烈，表现为隆起、褶皱和断裂。规模较大的断裂带有：库玛断裂带、达日断裂带等。

现今大地震主要沿上述断裂带分布。此外，还有一些其它方向活动构造带，如NNW向构造带、SN向构造带、NEE向构造带等。这些构造带横跨NWW—EW向活动构造带，第四纪中晚期以来活动明显，与地震的发生关系密切。总之，青藏高原东北缘，呈NWW—EW方向展布的大型活动构造带和其它方向活动构造带交织在一起，构成一幅复杂的地质构造图象，控制着地震断层的分布。

2 地震及地震断层概述

断层运动的方式主要有两种，一是粘滑运动，另一 种是蠕滑运动。对于浅源构造地震来说，大地震的发生是断层粘滑运动的结果，并产生明显的地震断层。地震断层的规模及其出现与否，与地震震级的大小、断层运动的特征及震源深度等因素有直接的关系。根据现有的调查资料，在青藏高原东北缘，地震震级大于6.7级大都产生地震断层；地震震级大于6级而小于6.7级，一般仅出现地面破坏现象或形成不连续的构造形变现象。

据不完全统计，青藏高原东北缘6.7级以上历史地震达30次以上。它们主要分布在祁连山—河西走廊地震带、南北地震带、昆仑山地震带等地(图1)。考察资料表明，多数地震都有规模可观的地震断层存在，个别大地震由于历史久远，或人为破坏等原因，导致地震断层不清楚。如734年天水7级地震、1125年兰州7级地震、1718年通渭7.5级地震等。对历史大地震考察后新确定的地震断层有19条，另外还发现一些没有历史地震记录的地震断层10条，总共29条(图1)。这些地震断层大都发生在全新世晚期，距今100多年到1000多年。

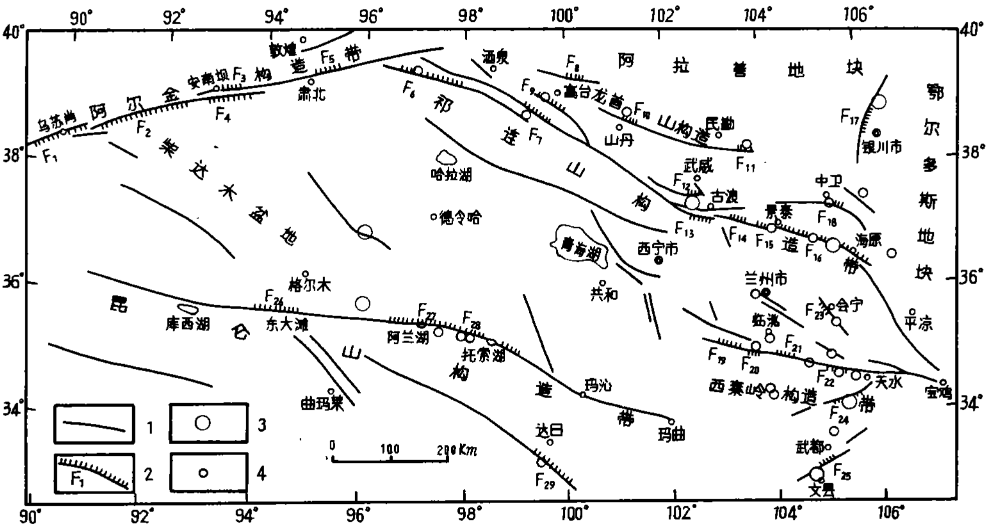

图 1 青藏高原东北缘活动断裂、地震断层及地震分布图

Fig. 1 Distribution map of the active faults, the seismic faults and the earthquakes on the northeastern maigin of the Qinghai-Tibetan Plateau

1. 晚更新世活动断裂；2. 地震断层及编号；3. $M_S \geq 8$ 级地震；4. M_S 为 6.7—7.9 级地震

需要说明的是，大地震的破裂过程是非常复杂的。有些大地震为单条断层破裂，如 1920 年海源 8.5 级地震、1879 年武都 8 级地震、1937 年托索湖 7.5 级地震等；有些大地震则为两条以上断层破裂，如 1927 年古浪 8 级地震、1954 年山丹 7.25 级地震等。为了叙述的方便，对于一次大地震形成两条以上地震断层的，图 1 中仅给出其中规模较大、地面保留较为清楚的主要地震断层。

3 地震断层的分布规律

从图 1 可以看出，地震断层的分布具有明显的规律性。

(1) 地震断层沿主要活动构造带分布。其中沿阿尔金构造带及祁连山构造带分布的达 13 次之多，且强度最大，其中地震震级 8 级以上的地震断层有 4 条，最大震级 8.5 级。

(2) 地震断层或一次大地震的主要地震断层的展布方向和活动构造带的展布方向基本一致。研究区地震断层的展布方向大多为 NWW，但在西北边缘或东南边缘，地震断层的展布方向则多为 NEE 或 NE 向。

(3) 地震断层沿活动构造带的主要活动断裂展布。这些活动断裂一般规模较大，长度一般大于 100km 以上，晚更新世以来活动强烈，水平滑动速率一般大于 2mm/a。这些活动断裂多属于活动构造带的边缘断裂，其中 NWW—EW 方向构造带的活动断裂多为北缘断裂。例如，祁连山北缘断裂、龙首山北缘断裂、西秦岭北缘断裂等；NEE 方向构造带则多为北西缘断裂，如阿尔金断裂、泥山—梨坪断裂等。地震断层的这种分布特征，显然与青藏高原整体运动有关，由于青藏高原向 N—NE 方向的挤压，致使构造带北部边缘断裂强烈逆冲和旋扭。

(4) 在研究区内相对稳定的地块中，没有地震断层分布。如在柴达木、鄂尔多斯、阿拉善等

地块中，未发现地震断层。

4 地震断层类型及特征

地震断层以其走滑分量和倾滑分量的不同，大致可分为3类。第1类为走滑型。走滑分量大于倾滑分量；第2类为倾滑型。倾滑分量大于走滑分量；第3类为斜滑型或称过渡型。走滑分量和倾滑分量大体相当。关于第3种类型，走滑分量和倾滑分量的量值变化范围，目前还没有统一的标准，而且这种类型在研究区也没有典型例子，所以本文不予讨论。

4.1 走滑型

这种地震断层是研究区的主要类型，约占地震断层总数的80%以上。主要特征如下：

(1) 地震断层大多数为单条断层破裂，方向性明显，连续性一般较好，规模一般较大。7.5级以上大地震的断层长度都在100km以上。如海源地震断层、昌马地震断层、托索湖地震断层等。断层长度和地震震级的关系大致可用经验公式 $M=3.3+2.1\mathrm{tg}L$ 来表示(郭增建等，1979)。式中 M 为地震震级，L 为地震断层长度(km)。

(2) 地震构造形变现象清楚、丰富而复杂。主要表现形式为地震鼓包、地震裂缝、地震陡坎、地震陷坑或小型拉分盆地、地震沟槽、微地貌断错和断塞塘等。

(3) 构造形变现象的组合型式明显，规律性强，具有剪切破裂的特征。如雁列、羽列、入字型、多字型、X型等。根据构造形变的性质和组合型式，可以判别断层的扭动方向和受力状况。

(4) 地震断层的扭动方式有左旋扭动和右旋扭动之分。一般来说，EW—NWW方向及NEE方向的断层为左旋扭动，而NNW向则为右旋扭动。这显然是与青藏高原北东缘的受力状况密切相关。

(5) 地震断层有正断层和逆断层之分，即使同一条地震断层但在不同的次级段也会有正断层和逆断层之分。如海源地震断层不同的次级段，断层性质曾有过多次转换，但不论是正断层还是逆断层，断面倾角一般较陡，多在60°—80°以上。

4.2 倾滑型

这种类型的地震断层较少，仅占总数的20%左右，主要特征如下：

(1) 该类型地震断层规模较小，延长较短，8级左右大地震的断层长度大约60—80km，而且每次地震常常有多条地震断层出现。如古浪地震断层，有NWW和NNW方向的5条地震断层，其长度之和约80余公里。

(2) 构造形变的表现型式比较简单，其组合型式也不太清楚。主要有地震陡坎、地震裂缝和地震沟槽等。

(3) 地震断层的垂直位移明显，但水平位移却不太清楚。如古浪地震断层，地震陡坎非常壮观，最高达7.4m，代表了垂直位移量，而水平位移量却很难测到。

(4) 地震断层及其两侧，多分布大型崩塌、滑坡等构造重力现象。这些崩塌、滑坡常常连成一片，单个崩塌、滑坡长达1至数公里。例如，罗家堡地震断层，在断层两侧形成长约50余公里、宽约10km的滑坡群，其中罗家堡大滑坡极为壮观，长达数公里，堵塞河流，形成堰塞塘；武都地震断层，在桥头、梨坪、泥山等地，出现大量滑坡，一般长度1至数公里；古浪地震断层，在南侧多处出现大滑坡，长达1—1.5km，主要有灯山庄滑坡，西天池基岩滑坡、闸木河滑坡等。

5 地震断层和先存断裂的关系

地震断层和先存断裂的关系可以从两方面来看：一是两者空间展布上的关系，二是两者活动性状方面的联系。

(1) 波尼拉研究了108条地震断裂，认为91%的地震断层发生或可能发生在先存断裂上，仅有1%的地震断层发生在没有先存断裂上，另外8%则不明确。杨章等(1988)对我国34条地震断裂研究表明，其中有30条可能发生在先存断裂带上，只有4条是不确定的。作者对研究区29条地震断层的研究结果同样也表明，它们基本上都发生或可能发生在先存断裂带上。可见，绝大多数地震断层和先存断裂显然有密切的关系，它们是先存断裂最新活动的结果。因此，预测今后大地震的发生及新的地震断层的形成，首先应该在先存活动断裂带上去寻找。

(2) 众所周知，大型活动断裂带都经历了漫长的地质演变，在不同的地质时期它们的活动性状(即力学性质)也是有差异的。例如阿尔金断裂带、祁连山北缘断裂带、西秦岭北缘断裂带等，在第四纪中、早期以前，主要表现为压性特征，挤压破碎带及杂色断层泥带宽达数十米到数百米，但地质体及地貌单元中的水平位错却不明显；而第四纪中期以来，特别是晚更新世以来，却主要表现为左旋走滑特征，其中地质体及微地貌大量左旋位错现象为此提供了佐证。大量资料证实，本区地震断层是先存断裂最新活动的结果，它们和先存断裂带在晚更新世以来，特别是全新世以来的活动性状大都保持了一致性。

6 结语

地震是威胁人类生命财产安全的重要地质灾害之一。长期以来，地震学家从不同角度，运用多种理论和多种方法研究地震发生的规律，以便预测地震，减少地震灾害对人类的伤害。地震断层的研究为确定地震的成因、地震灾害的程度及活动断裂的特征等提供了大量可靠的信息，因此，地震断层的研究，同样可以达到地震预测、地震灾害预防、区城地壳稳定性评价等目的。

根据研究区地震断层和活动断裂的分布及其与地震的关系，大致可以将研究区划分10个7级以上的地震构造带。即：阿尔金地震构造带、祁连山北缘地震构造带、龙首山地震构造带、银川地震构造带、中宁—中卫地震构造带、古浪—海源地震构造带、西秦岭北缘地震构造带、天水—武都地震构造带、库玛地震构造带、达日地震构造带。这些地震构造带是以存在地震断层的大型活动断裂为基础而确定的，其范围包括活动断裂的展布区及其两侧。区域地壳稳定性评价，可大致以地震构造带为基础，也就是说，地震构造带展布范围及其附近，地震发生的危险性增加，地壳活动较强，其它地区，地壳则相对较稳定。当然，要详细评价某一地区的地震危险性，还要做大量的详细工作。

参 考 文 献

1 邓起东、汪一鹏、廖玉华、张维歧、李孟恋，断层崖崩积楔及贺兰山山前断裂全新世活动历史。科学通报，1984，(9)。

2 吕太乙，阿尔金北缘断裂带东北段第四纪构造活动与地震。西北地震学报，1986，8(1)。

3 张维歧、焦德成、柴炽章、宋方敏、汪一鹏，宁夏香山—天景山孤形断裂带新活动特征及1709年中卫南7.5级地震形变带。

地震地质，1988，10(3)。
4 陈国星等，阿尔金断裂东段第四纪活动的时空特征。中国地震，1987，3(增刊)。
5 袁道阳、刘百篪、吕太乙、何文贵、刘建生、刘小凤，老虎山活动断裂地震破裂带研究。活动断裂研究，1994(3)。
6 郭增建、秦保燕，震源物理。北京：地震出版社，1979。
7 贾云鸿、张瑞斌，阿尔金山中段南侧大地震。内陆地震，1988，2(4)。
8 贾云鸿、张瑞斌，阿尔金断裂带中段阿卡吐—野马泉地震形变带特征及地震事件。西北地震学报，1991，13(1)。
9 贾云鸿、张瑞斌，阿尔金断裂带中段与苏肖地震形变带特征及地震事件参数。地震研究，1991，14(3)。
10 贾云鸿、陈志泰、戴华光，苏向洲，1927 年古浪地震断层特征及其与活断层的关系。中国地震断层研究，乌鲁木齐：新疆人民出版社，1988。
11 贾云鸿、戴华光、苏向洲，青海托索湖地震断层。中国地震断层研究，乌鲁木齐：新疆人民出版社，1988。
12 贾云鸿、李西候，青藏高原东北部地震构造带的讨论。西北地震学报，1988，10(增刊)。
13 腾瑞增、金瑶泉、李西候、苏向洲，西秦岭北缘断裂带黄香沟断裂活动期次与地震复发周期。活动断裂研究，1992(1)。
14 戴华光，1947 年青海达日 7.75 级地震。西北地震学报，1983，5(3)。
15 虢顺民、陈志泰、向宏发、戴华光，祁连山北缘活动断裂及其缩短量的初步估算。活动断裂研究，1993，(2)。
16 戴华光，地震形变带和地震构造条件。祁连山—河西走廊活动断裂系，北京：地震出版社，1993。
17 国家地震局地质研究所、宁夏回族自治区地震局，海源活动断层带。北京：地震出版社，1990。

RESEARCH OF THE SEISMIC FAULT ON THE NORTHEASTERN MARGIN OF THE QINGHAI-TIBETAN PLATEAU

Dai Huaguang Jia Yunhong Liu Hongchun Su Xiangzhou Chen Yongming

(Earthquake Research Institute of Lanzhou SSB China, Lanzhou)

Abstract The northeastern marginal area of the Qinghai-Tibetan plateau is one of the most tectonically and seismically active regions in China since Quaternary, especially late Pleistocene. It is also one of the regions which are of the highest great earthquake ($M_S \geqslant 7$) frequency. A detailed research on the types of the seismic faults, their behaviours, distribu-tion, the features and the relations with the existed and their relation to the pre-existing faults in 19 large historical earthquakes and 10 fossil earthquakes was made in the region with a resulte of the division of 10 seismotectonic zones. This is expected to contribute to long term prediction research on large earthquakes ($M_S \geqslant 7$) in the region and to the crustal stability study as well for damage reduction.

Key words seismic fault, active fault, seismotectonic zone

第一作者简介

戴华光，男，1945 年生，副研究员。1970 年毕业于长春地质学院，从事我国西北地区地震构造和活动断裂的调查与研究。通讯地址：兰州国家地震局地震研究所。邮政编码：730000。