

# 1119年前郭地震发震构造讨论

邵博<sup>1,2</sup> 沈军<sup>2,†</sup> 侯贵廷<sup>1,†</sup> 于晓辉<sup>2,3</sup> 戴训也<sup>2</sup> 尉洋<sup>2</sup>

1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 防灾科技学院综合减灾研究所, 廊坊 065201; 3. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; † 通信作者, E-mail: shenjuneq@qq.com (沈军), gthou@pku.edu.cn (侯贵廷)

**摘要** 在充分收集和考证前人研究成果的基础上, 深入分析地震史料隐含的约束条件。以石油三维物探、浅层地球物理勘探和联合钻孔探测资料为基础, 结合地质和地貌调查, 研究1119年前郭地震的震中位置和发震构造。在1119年前郭地震的影响范围内, 发现一条区域内规模最大的晚更新世活断层——孤店断裂, 总长度约为66 km, 由两个连续性较好的弧型段组成, 钻孔资料显示其上断点埋深约为24 m, 存在晚更新世以来的断裂活动。经过断层地震危险性评估, 认为孤店断裂可能是1119年前郭地震的发震构造。

**关键词** 1119年前郭地震; 历史地震; 发震构造; 震中位置; 孤店断裂

## Discussion on the Seismogenic Structure of Qianguo Earthquake of 1119 AD

SHAO Bo<sup>1,2</sup>, SHEN Jun<sup>2,†</sup>, HOU Guiting<sup>1,†</sup>, YU Xiaohui<sup>2,3</sup>, DAI Xunye<sup>2</sup>, YU Yang<sup>2</sup>

1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution (MOE), School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; 2. Comprehensive Disaster Reduction Institute, Institute of Disaster Prevention, Langfang 065201; 3. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029; † Corresponding authors, E-mail: shenjuneq@qq.com (SHEN Jun), gthou@pku.edu.cn (HOU Guiting)

**Abstract** Based on the full collection and textual research on the basis of predecessors' research results, as well as analysis in-depth of the implicit constraint conditions of the historical earthquake, we study the epicenter of the earthquake location and seismogenic structure, through three-dimensional petrolic geophysical data, the shallow geophysical prospecting and the joint drilling detection, as well as the seismic geological and geomorphic survey. At the same time in the process of detection, within the scope of influence of Qianguo Earthquake of 1119 AD, we found the greatest Late Pleistocene active fault in the zone, named Gudian Fault. The fault is about 66 km long on the seismic profiles from petroleum exploration and consists of two continuous arcs. The buried depth of the fault breakpoint is shallower than 24 m. Through earthquake risk assessment, we judge that the Gudian Fault is most likely the seismogenic structure of the Qianguo earthquake of 1119 AD.

**Key words** Qianguo Earthquake of 1119 AD; historical earthquake; seismogenic structure; epicentral position; Gudian Fault

对历史地震的研究依赖于史书记载, 同时需要充分了解行政区的历史沿革。我国历史上很多朝代间和朝代内行政区的沿革都十分复杂, 史书中历史地震涉及的地理内容, 现在与过去有很大不同<sup>[1]</sup>。对于一个较大的历史地震, 必须找到其对应的具有相应规模和产状的发震构造, 才能确定震中位置。对此, 历史记录资料难以独立支撑论证, 活断层探测获得的深部和浅部地质与地球物理背景往往可以

起到关键的作用<sup>[2-5]</sup>。

金太祖天辅三年(公元1119年)二月, 在松辽盆地以南发生过一次重要的地震事件<sup>[6-8]</sup>。这次地震为《大金国志》所记载, 原文共24字: “天辅三年, 春正月, 肇州之始兴, 隆州之利涉, 地震, 陷, 死数千人”。但因地震时金国立国仅三载, 尚无文字记录, 《大金国志》不是官修志, 记载多源于传闻。

前人根据历史资料和地质调查资料, 推断这次

地震的震级接近 7 级,震中烈度为Ⅷ度<sup>[9-10]</sup>。对这次地震涉及地名的历史沿革曾有争论,中日史学家对金肇州的位置有过多种推定。历史地震学家考虑到地震波的传播和衰减规律,确定这次地震的Ⅷ度烈度区处于今农安至塔虎城(隶属松原市前郭尔罗斯蒙古族自治县(简称前郭县))一带<sup>[11]</sup>,其长轴为北西向。因为由地面破坏遗迹范围得到的等震线方向和范围具有相当大的不确定性,所以本文根据石油物探普查资料,对前郭地震影响区及邻区所有可能的活动构造都进行研究,不限于北西向构造。

研究区位于松辽盆地内东南隆起与中央凹陷交界处(图 1),属于易积累地震能量的构造部位<sup>[12-14]</sup>,在不同地质单元相交的部位,存在多个产状各异的疑似活动断裂<sup>[15-16]</sup>。2013 年以来,在扶余肇东断裂查干花段多次发生 5 级左右地震<sup>[17-19]</sup>。2018 年 5 月 28 日,在松原市宁江区(45.27°N, 124.71°E),扶余北断裂以北(图 1)又发生 5.7 级地震。

确定前郭地震的震中位置,对近年来地震多发的松原地区的活断层地震危险性评估有重要意义。多年来,对这次重要的历史地震发生的具体地点存在不同的观点,与当时对区域内活动构造(即发震构造)产状和规模的认识息息相关。前人推定的发震地点主要有两个:套浩太附近(发震断裂为龙坑断裂)和卡拉木(哈拉毛都)附近(发震构造为第二松花江断裂)<sup>[20-23]</sup>。

吴戈<sup>[20]</sup>圈定地震破坏范围之后,根据龙坑一带的地表陡坎、套浩太东南的水龙沟和泉水以及全新世地层水平掀斜这 3 个主要证据,认为龙坑地区是前郭地震的震中。李传友等<sup>[24]</sup>根据松原地区的考察资料,认为龙坑地区不具备有利的发震构造背景,其地表陡坎并非地震断层陡坎,而是侵蚀地貌;龙坑地区的泉水不是地震泉而是侵蚀泉;全新世地层的水平掀斜是地形造成的。唐雅芝<sup>[21-23]</sup>根据史料分析,确定前郭地震的震中位置为卡拉木断裂与第二松花江断裂交汇区的前郭卡拉木(今哈拉毛都)附近,震中烈度为Ⅸ度,震级为 7 级。主要依据有两个:一是普遍认为经过这一地区的北西向第二松花江断裂是晚更新世活动断裂,且规模较大;二是哈拉毛都地区发育的大量第四纪断层佐证了地震的最新活动。周本刚等<sup>[25]</sup>通过野外调查,分析前郭地震的构造条件,指出哈拉毛都地区的断裂走向不连续,周边很大范围内地层和地貌的特征基本上一致,而其他地方未发现与哈拉毛都后山相同的断错现象,因此对第二松花江断裂的规模和活动性提出疑问。李传友等<sup>[12]</sup>根据对第二松花江断裂的考察,特别是利用区域重磁场资料和部分物探和钻孔资料,认为该区小型的地表破裂和大型滑坡主要是次生成因,且滑坡是多期次的,存在古滑坡和现代滑坡,第二松花江两岸的陡坎并非断层崖,该区第三纪以来不存在活动的断裂,第二松花江断裂并非活动断裂。

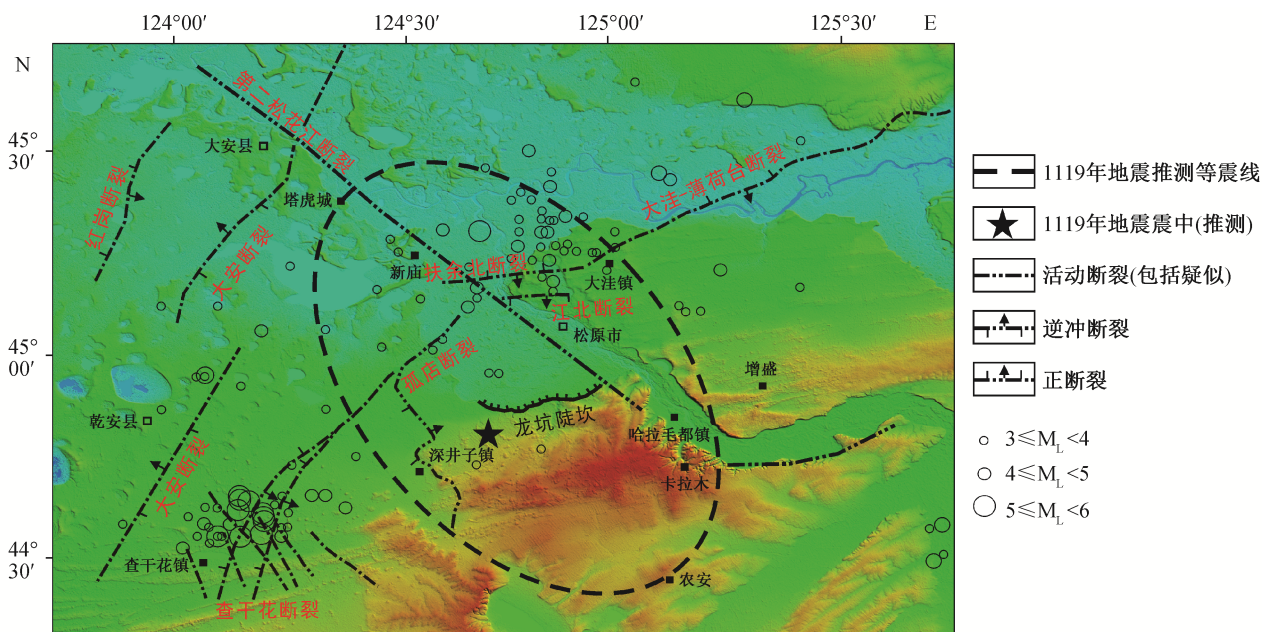


图 1 前郭地震等震线<sup>[9]</sup>及区域内主要断裂  
Fig. 1 Main faults in the study area and isoseismal line<sup>[9]</sup> of Qianguo Earthquake

至此,前郭地震的发震构造归属问题,集中在龙坑断裂和第二松花江断裂的存在性和活动性上。

在 2011 年开始的松原市城市活断层探测工作中,我们在市区西南发现一条新的晚更新世活动断裂,命名为孤店断裂。根据详细的三维物探和浅层地球物理勘探资料,获得该断层的地下细部结构和活动参数。根据地下破裂规模进行地震潜势估计,这条断裂具有 7 级以上发震能力<sup>[26]</sup>,其位置正好处于前人划定的前郭地震等震线内(塔虎城与农安之间,见图 1)。

上述 3 条疑似发震断裂是否为活动构造?哪条断裂是前郭地震的发震构造?为了解答这两个问题,本文充分吸收前人历史地震学和历史地理学研究成果,利用在农安和塔虎城圈定的等震线范围,对震中位置进行约束,划定历史地震存疑研究区。针对龙坑断裂和第二松花江断裂(哈拉毛都段),结合遥感和地表调查等多种手段,对前人确定震中的证据进行考证。研究对象还包括新庙以东的第二松花江断裂以及新发现的扶余北断裂和江北断裂。根据实际需要,补充深部石油三维物探资料、浅层物探资料和钻探资料,按照由深到浅,由空间展布到细部构造的思路,研究这几条断裂的存在性和活动性。利用排查法,考证前郭地震可能发生地点,并给出其发震构造的基本参数。

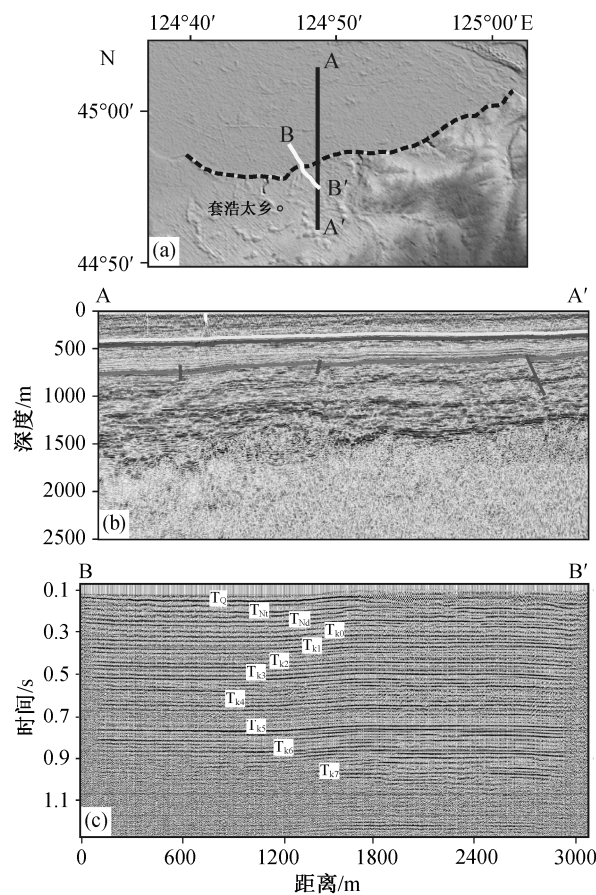
## 1 疑似发震构造的排查

### 1.1 龙坑地区

龙坑位于吉林省松原市套浩太乡,是一条长约 2500 m,宽约 300 m,深度超过 70 m 的天然沟壑(图 2(a)),前人对龙坑发震构造的认识主要来自“水龙坑”沟壑地貌和沟壑以北的近东西向地表陡坎。

为了确定套浩太地区是否存在活动构造,我们根据龙坑地区三维地形图显示的地表形变带,收集跨越龙坑陡坎的南北向石油地震反射剖面图(图 2(b)),可以看到,地层完整,平直连续,没有显示断裂构造。

由于石油地震反射剖面揭示的浅部构造信息已被切除,为查明龙坑地区的浅部构造特征,我们在石油地震反射资料显示深度以上的位置叠加浅层人工地震探测剖面(图 2(c))。测线长 3840 m,南部始于西南屯附近,走向大致为 157°,沿乡间土路铺设。图 2(c)中,在反射时间 1.2 s 之前,解译出 11 组明显的反射波。



(a) DEM 影像上物探剖面位置,虚线为龙坑陡坎位置, A-A' 为三维地震测线, B-B' 为浅层人工测线; (b) 南北向石油地震剖面; (c) 浅层人工地震剖面

图 2 跨龙坑陡坎地震剖面解释

Fig. 2 Geophysical interpretation profiles across the Longkeng scarp

浅层人工地震探测剖面(图 1(c))显示,沿测线方向,地层整体向北倾伏,南高北低,视倾角较小,但在剖面中部存在褶曲构造,使得北部地层稍有抬升,往南地层先呈水平方向展布,随后仍向北倾伏,视倾角仍较小。反射波无明显的波形紊乱以及同相轴错断和扭曲等断层迹象。

综上所述,得到以下结论: 1) 龙坑地区地层平直连续,虽然在东西向石油剖面和浅层人工地震剖面上有倾斜现象,但地层完整,说明龙坑地区不存在活动断裂; 2) 区域内的陡坎和冲沟均为侵蚀形成,不存在与之对应的构造,也没有充分的证据断定其为历史地震造成的远场同震微地貌。

### 1.2 卡拉木地区

前人对第二松花江断裂做过许多研究<sup>[12,27-29]</sup>,一直认为第二松花江断裂是松辽盆地中规模最大的北西向活动断裂,这也是以往将该断裂作为前郭地

震发震构造的主要原因。本文采用多手段,对第二松花江断裂在扶余-哈拉毛都段的存在性和活动性进行详细的研究,探讨其与前郭地震的关系。

根据野外调查,哈拉毛都附近存在延伸超过 10 km 的滑坡体(图 3(a)和(b)),展布于扶余以东至哈拉毛都镇南东一带,其上发育大量地表断裂,走向北西,倾向北东,断层露头情况与活断层非常相似<sup>[19]</sup>。唐雅芝<sup>[21-23]</sup>推测这是第二松花江断裂的位置,由于该地区断层延伸较远,且延伸范围大于滑坡体,因此认为不属于现代滑坡成因,是前郭地震所形成。

为了查明哈拉毛都地区的断裂是否与滑坡有关,我们跨越滑坡群(前人推测的第二松花江断裂位置),在哈拉毛都地区布设一条近北东向的浅层人工地震勘探线,分为 C-C'和 D-D'两段(图 3(a)),长度分别为 2310 和 1095 m。

在该剖面上共解译出 7 组特征明显的地层反射面(图 3(c)和(d))。根据剖面显示的波组特征,结合地质资料,推测  $T_Q$  反射界面可能是第四系的底界

面。 $T_{B3} \sim T_{B7}$  反射界面显示一背斜。由于深部界面隆起幅度小于  $T_Q$ ,  $T_Q$  的抬升可能是第四系底部的侵蚀界面。剖面揭示的各地层反射面连续性都较好,没有波形紊乱和同相轴扭曲以及错断等明显的断层迹象。

综上所述,我们认为哈拉毛都地区地表断裂未向下延伸,该地区深部存在一个背斜。哈拉毛都后山地区的冲沟壁断裂应与滑坡和深部的背斜有关,可能为古滑坡导致,具体成因有待进一步研究。

### 1.3 新庙以东地区

唐雅芝<sup>[21-23]</sup>推测第二松花江断裂扶余-哈拉毛都段展布于扶余以东至哈拉毛都镇一带,走向北西,倾向北东。本文选取未跨越新发现的扶余北断裂和张北断裂的 4 条典型地震反射剖面(图 4),研究庙东以东地区第二松花江断裂的活动性和空间展布。在 E-E'测线、F-F'测线和 H-H'测线剖面中,600 ms 以上未见反射层错断,1000 ms 附近零散的小断层较多,这些小断层连续性不好,底部反射层倾斜,倾向

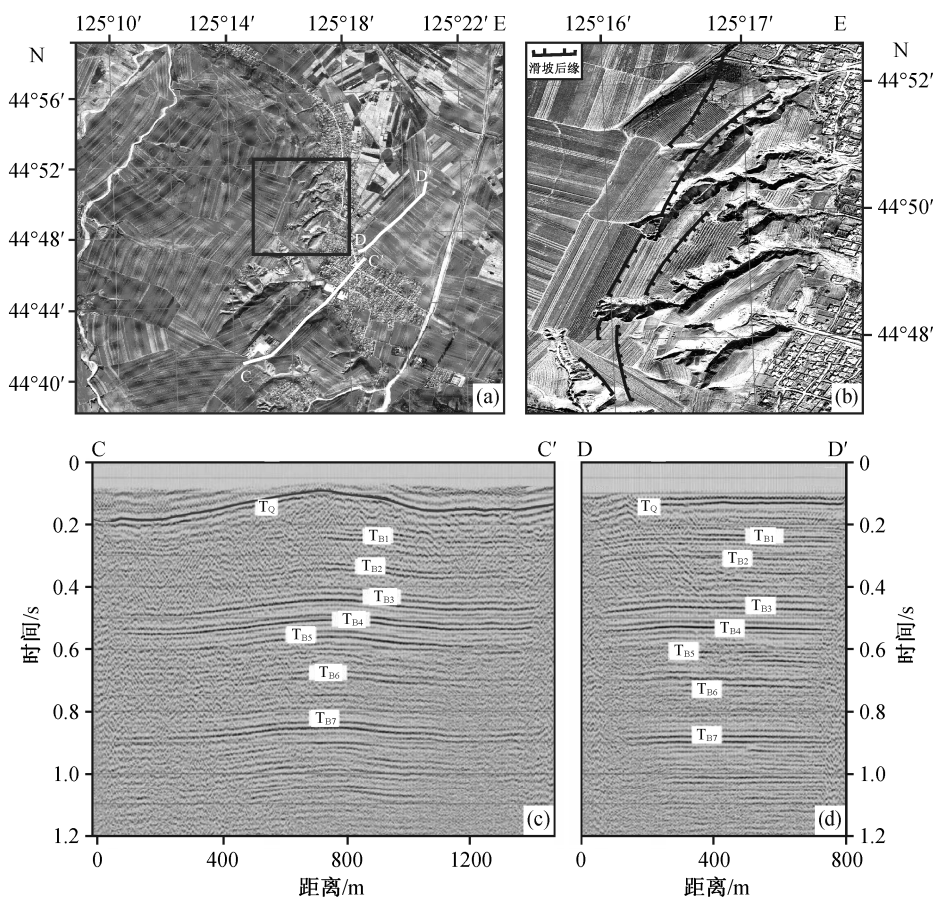


图 3 哈拉毛都滑坡后缘 QuickBird 影像和浅层地震剖面解释

Fig. 3 QuickBird images and shallow geophysical interpretation profiles of the back edges of Halamaodu landslides



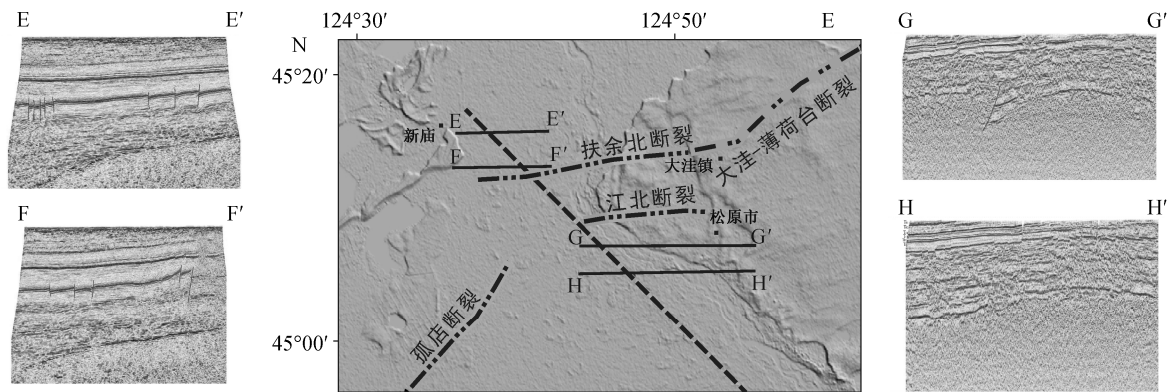


图 4 跨第二松花江断裂新庙以东段地震剖面解释

Fig. 4 Geophysical interpretation profiles across East of Xinmiao section of the Second Songhua River Fault

西。在 G-G' 测线剖面中可见一条错断底部反射层的断层,但其连续性不好,在其他测线剖面中均未见。东西向和南北向地震反射剖面显示两条近东西向的断层,分别是扶余北断裂和江北断裂,未见到北西向第二松花江断裂存在的迹象<sup>[19]</sup>。因此,个别剖面出现零星分散的断层,不能证明新庙以东一带存在第二松花江断裂。

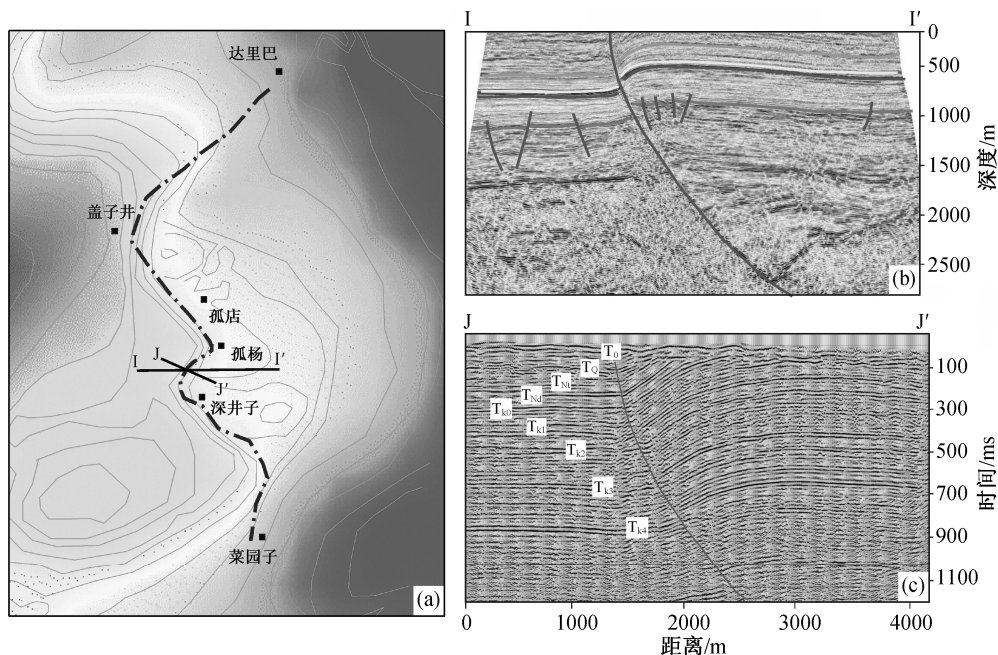
虽然现有的证据不能证明第二松花江断裂在整个松辽盆地都不存在,但可以确定前郭地区和新庙以东地区不存在连续并且切穿第四系底界的北西向断裂。本研究的主要目的是考证前郭地区地表滑坡和断裂是否为 1119 地震的发震构造,对于第二松花

江断裂(特别是 E-E' 剖面以北的部分)是否存在的问题,目前还存在很多争议,需要更深入的研究。

## 2 孤店断裂的活动性

孤店断裂位于哈拉毛都地区附近的农安与塔虎城之间,断层位置的确定主要依据三维石油物探资料。该断裂隶属扶余-肇东断裂带,位于松辽盆地中央拗陷区扶余凸起西翼,受东南隆起的影响,其活动性比扶余-肇东断裂主体部分更强。

根据地震反射剖面(图 5),确定孤店断裂经历了早期断陷、中期拗陷和后期的褶皱挤压阶段。在拗陷阶段,孤店断裂两盘地层的厚度基本上一致,



(a) 三维地震层析平面; (b) 东西向石油地震剖面; (c) 浅层地震剖面

图 5 跨孤店断裂地震剖面解释

Fig. 5 Geophysical interpretation profiles across the Gudian Fault

说明该断裂在拗陷阶段活动性较弱。在反转构造阶段,孤店断裂上盘在下白垩统地层中形成逆冲褶皱构造,通过地震剖面分析,发现褶皱造成的最大垂直位移出现在嫩江组 2 段地层,位移量达 390 m。由于持续逆冲,孤店断裂上盘缺失嫩江组 4 段以后的地层。孤店断裂下盘自晚白垩世四方台组开始缺失,到第四纪早更新世泰康组才重新接受沉积。根据断裂最新活动年龄,晚新生代以来孤店断层的空间展布体现出对前新生代的继承性<sup>[30]</sup>。

在三维石油物探测线剖面上,孤店断裂是前郭地震等震线范围内唯一连续的断裂(图 1),总长度约为 66 km,由盖字井东至孤杨以及孤杨至深井子南两个弧型段组成(图 5(a)),盖子井东至孤杨段长 28.5 km,孤杨至巨龙山段长 20 km。根据地下连续破裂长度对震源规模的反映,孤店断裂具备发生 7 级以上地震的能力<sup>[26]</sup>。二维地震反射剖面(图 5(b))显示,孤店断裂倾向东,下部宽缓,上部陡直。该反转断层下正上逆,下部正断层在早期断陷阶段形成,上部逆断层为反转期产物。

鉴于石油地震探测资料切除了浅层地震信息,我们在断裂中段活动性较强、地形起伏较大的深井子地区,针对性地布设浅层人工地震测线。根据浅层人工探测剖面反射波组特征和断层判别依据(图 5(c)),解译出一条倾向东,较陡立的逆断层,命名为孤店断裂。该逆断层错断至第四系中间层。由于浅层地震反射波只能解译深度 64 m 以下的地层,为了确定孤店断裂的上断点埋深,我们在浅部反射地震测线揭露的孤店断裂位置,垂直于断裂走向,采用由外向内逐渐逼近断层的方式布设联排钻孔 7

个,钻探深度均为 60 m 左右,获得上断点埋深约为 24 m<sup>[30]</sup>。该上断点对应的粉砂和粉土样品的光释光年龄大于 50 ka,结合未错断的黄褐色粉土层位置,推测该断裂最新一次活动距今约为 5 万年<sup>[30]</sup>。

综上所述,并根据对孤店断裂的地震危险性研究成果<sup>[26]</sup>,我们认为,作为前郭地震等震线范围内新发现的一条晚更新世活动断裂,孤店断裂极有可能是前郭地震的发震构造。

### 3 孤店断裂与 2013 年松原地震群的关系

松原市 2006 年 3 月 31 日发生 5.2 级地震,2013 年 10 月 31 日又先后发生 5.5 级和 5.0 级两个破坏性地震,同年 11 月 22 日发生 5.3 级地震,11 月 23 日又先后发生 5.8 级和 5.0 级地震(图 6)。这几次地震的震中都位于松原市西南约 80 km 处。

表 1 显示,2013 年 5 次 Ms 5.0 级以上地震的震源深度在 8~12 km 之间,与石油物探剖面显示的东北向扶余-肇东断裂带东南段具有相关性,扶余-肇东断裂是一条位于松辽盆地中部的东北向断裂,北起肇东,经扶余至怀德杨大城子一带,为松辽断块沉降带内次一级构造单元的分界线,西侧为中央凹陷带,东侧为东南隆起区。该断裂大致位于基底等深线的陡变带上,控制西侧晚白垩世和第三纪沉积物的分布。扶余-肇东断裂对基底埋深有明显的控制作用,断裂西侧为凹陷区,东侧为相对隆起区。该断裂分为 4 段:东北部的大洼-薄荷台断裂、中部的扶余北断裂、南部的孤店断裂以及西南部的查

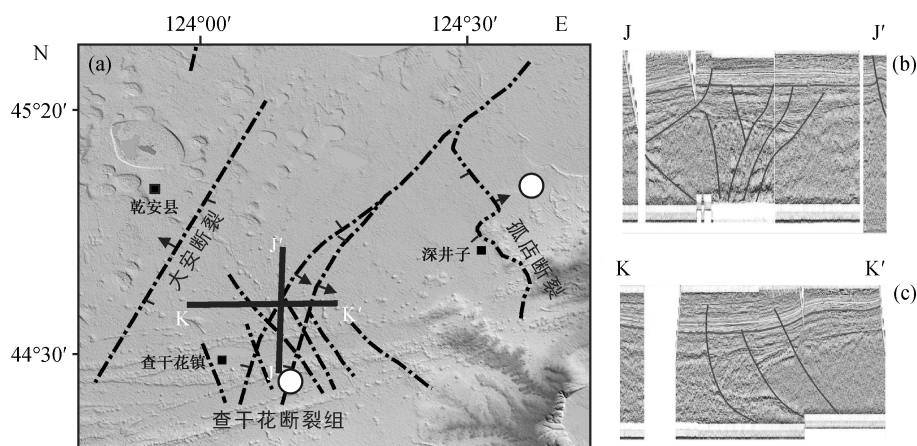


图 6 前郭地震震中分布和跨查干花断裂地震剖面解释

Fig. 6 Epicenter distribution of Qianguo earthquakes and geophysical interpretation profiles across the Chaganhua Fault

表 1 2013 年前郭 Ms 5.8 震群震源机制参数  
Table 1 Focal mechanism solution parameters of Ms 5.8 earthquake clusters in Qianguo in 2013

编号	发震时间*	震级/Ms*	震中位置*	深度/km <sup>#</sup>	节面 I <sup>#</sup>			节面 II <sup>#</sup>		
					走向/(°)	倾向/(°)	滑动角/(°)	走向/(°)	倾向/(°)	滑动角/(°)
1	2013-10-31 11:03:34.9	5.5	124.2°E, 44.6°N	8	330	60	50	209	48	138
2	2013-10-31 11:10:07.0	5.0	124.2°E, 44.6°N	12	128	80	118	35	72	170
3	2013-11-22 16:19:51.1	5.3	124.1°E, 44.7°N	5	200	60	140	313	56	37
4	2013-11-23 06:04:23.1	5.8	124.1°E, 44.6°N	12	210	80	150	306	61	12
5	2013-11-23 06:32:29.2	5.0	124.1°E, 44.6°N	10	200	70	140	306	53	25

注: \* 据中国地震台网中心; # 据中国地震局地球物理研究所。

干花断裂。从表 1 可以看出, 扶余-肇东断裂带至少具有产生接近 6 级地震的活动能力。根据震源机制分析, 该断裂带上的地震活动多为逆冲发震(表 1)。

扶余-肇东断裂属于隐伏构造, 地表没有构造活动迹象, 在石油物探得到的深部构造图上显示其存在(图 6)。从图 6(b)和(c)可以看出, 查干花断裂组由多条规模较小的北西向断裂组成, 呈北西-南东向展布于查干花镇附近, 平均长度约为 25 km。除北东向的扶余-肇东断裂查干花段外, 该地区还存在 5~6 组北西向连续可追踪的构造裂缝迹线, 其剖面特征表现为反射同相轴小位移量错动的断裂组合, 为一组较为破碎的正断层组合构造。这一构造特征可能与 2013 年 10 月以来连续发生的 Ms 5.5, Ms 5.3, Ms 5.8 和 Ms 5.0 级地震的震群型特征相关。图 6(b)和(c)显示, 地震活动可能位于断裂深部, 浅部未切入第四系, 但第四系底界存在舒缓变形。

1119 年前郭地震和 2013 年查干花地震群都受控于北东向的扶余-肇东断裂, 并受北西向断裂控制。与 2013 年查干花断裂组相似, 孤店断裂也由北西和北东两组断裂组成, 前郭地震可能就发生在两组断裂的交汇部位, 与该区域现代地震具有一定的可比性。

4 讨论与结论

1) 根据地质和地貌研究以及深、浅层物探结果, 无论是哈拉毛都地区, 还是新庙以东区域, 都不存在切穿第四系底界的北西向第二松花江断裂, 哈拉毛都地区的滑坡后缘断裂不是地震断层。龙坑地区地层有明显倾斜, 但地层完整, 未显示断裂构造。因此, 前人认为可能是发震断层的第二松花江断裂(哈拉毛都段)和龙坑地区的陡坎可能都不具备

作为前郭地震发震构造的条件。

2) 哈拉毛都地区新发现的孤店断裂最新活动时代为晚更新世。李传友等<sup>[24]</sup>从构造应力场分析的角度, 认为前郭地震的发震构造走向为北西向或北东向, 与孤店断裂各分段的走向一致。孤店断裂是农安和塔虎城附近区域新发现的一条清楚且连续性较强的断裂, 是区域内前郭地震可能的发震构造。

3) 根据现有的证据和活动性分析, 本文认为扶余北断裂(即 2018 年松原地震发震构造)的产状(近东西向, 与前人估计的 1119 年前郭地震等震线长轴方向不符)和地震潜势(约 6 级<sup>[19]</sup>)都不支持其作为前郭地震的发震构造, 但这一观点需要更多的探测工作和历史地震研究来确认。另外, 扶余北断裂以北近年来发生多次 4.5 级左右地震, 由于该区域缺乏物探资料, 有待进一步的研究。

4) 查干花地区不在前人划定的前郭地震等震线范围内, 但前郭地震和 2013 年查干花地震群都受北东向扶余-肇东断裂和北西向断裂的控制, 断裂规模、发育程度和破碎程度的不同导致震级的差异, 可能在一定程度上具有可比性。

本文的结论建立在前人对前郭地震的震级和大致位置研究的基础上, 虽然已经适当地扩大研究范围, 但由于对震级和震中位置估计结果的准确度不够高, 本文的结论仍有一定程度的不确定性, 有待进一步的工作来探讨前郭地震的发震构造。

致谢 松原市地震局孟凡斌局长对活断层探测给予大力支持, 吉林省地震局盛俭高级工程师给予技术指导, 石油地震探测资料由吉林油田提供, 浅层地震勘探资料由吉林省煤田地质物探公司提供, 钻孔资料由吉林建筑工程学院勘测公司施工获得, 光释光测年由山东省地震工程研究院释光实验室完

成, 中国地震局地质研究所杨主恩研究员给予指导, 谨在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] 晁洪太, 刁守中, 王志才. 公元前179年“齐楚地震”考证与发震构造讨论. 地震地质, 2012, 34(2): 211–227
- [2] Guidoboni E, Muggia A, Valensise G. Aims and methods in territorial archaeology: possible clues to a strong fourth century AD earthquake in the Straits of Messina (southern Italy). Geological Society London Special Publications, 2000, 171(1): 45–70
- [3] Galadini F. Defining the causes of ancient building collapse (structuraldecaying vs. seismic shaking) in archaeological deposits of central Italy. Quaternario, 2009, 22(1): 73–82
- [4] Bottari C, Stiros S, Teramo A. Archaeological evidence for destructive earthquakes in Sicily between 400 BC and AD 600. Geoarchaeology, 2009, 24(2): 147–175
- [5] Galli P, Bosi V. Paleoseismology along the Cittanova fault: implications forseismotectonics and earthquake recurrence in Calabria (southern Italy). Journal of Geophysical Research, 2002, 107(2): 1e19
- [6] 国家地震局地球物理研究所, 复旦大学中国历史地理研究所. 中国历史地震图集(远古至元朝时期). 北京: 中国地图出版社, 1990
- [7] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元前23世纪—公元1911年). 北京: 地震出版社, 1995
- [8] 顾功叙. 中国地震目录(公元前1831年—公元1969年). 北京: 科学出版社, 1983
- [9] 吴戈, 房贺岩, 李志田, 等. 1119年前郭地震考察与研究. 东北地震研究, 1988, 4(1): 67–76
- [10] 国家地震局. 中国地震烈度区划工作报告. 北京: 地震出版社, 1981
- [11] 吴戈, 房贺岩, 李志田, 等. 1119年“肇州之始兴, 隆州之利涉”地震考. 东北地震研究, 1987, 3(2): 35–41
- [12] 李传友, 汪一鹏, 沈军, 等. 第二松花江断裂新活动性讨论. 地震地质, 1999, 21(4): 351–360
- [13] 高立新. 中国松辽盆地构造环境及东北地区地震活动特征分析. 地震, 2008, 28(4): 59–67
- [14] 傅维洲, 贺日政. 松辽盆地及周边地带地震构造特征. 世界地质, 1999, 18(2): 98–103
- [15] 翟玉春, 陈惠鹏, 任军丽, 等. 吉林省前郭县哈拉毛都一带新构造运动. 吉林地质, 2009, 21(3): 6–10
- [16] 李恩泽, 刘财, 张良怀, 等. 松辽盆地地震构造与地震活动相关性研究. 地球物理学进展, 2012, 13(4): 1337–1349
- [17] 吴微微, 杨建思, 苏金蓉, 等. 2013年吉林前郭-乾安震源区中强地震矩张量反演与区域孕震环境研究. 地球物理学报, 2014, 57(8): 2541–2554
- [18] 李君, 王勤彩. 2013年松原5级震群序列精定位、震源机制解及发震构造特征. 地震, 2018, 38(4): 62–73
- [19] 邵博, 沈军, 于晓辉, 等. 松原市扶余北隐伏活动断裂地震潜势研究. 地震工程学报, 2016, 38(4): 616–623
- [20] 吴戈. 东北大陆地震史料研究与分析. 东北地震研究, 1991, 7(1): 17–24
- [21] 唐雅芝. 公元1119年2月吉林省前郭县卡拉木地震震级的计算和确定. 东北地震研究, 1986, 2(1): 43–48
- [22] 唐雅芝. 1119年吉林省地震震中的确定. 遥感信息, 1988(1): 27–29
- [23] 唐雅芝. 公元1119年2月吉林省前郭强震三要素的确定. 东北师大学报(自然科学版), 1990(3): 151–159
- [24] 李传友, 汪一鹏, 张良怀, 等. 吉林省松原地区1119年 $6\frac{3}{4}$ 级地震的发震构造条件. 中国地震, 1999, 15(3): 41–50
- [25] 周本刚, 高名修. 松辽盆地几次中强震的构造条件探讨. 地震地质, 1992, 14(2): 145–150
- [26] 邵博, 沈军, 李莹甄, 等. 综合石油地质、历史地震等资料评估吉林孤店隐伏断裂的地震危险性. 中国地震, 2015, 31(4): 668–678
- [27] 章振铨. 松花江断裂活动特征及伊舒断裂带地震成因机制的初步探讨. 东北地震研究, 1987, 3(3): 73–79
- [28] 李志田, 赵成弼, 郭孟习. 第二松花江断裂活动性剖析. 吉林地质, 2002(增刊1): 15–19
- [29] 杨清福, 王佳蕾, 刘志平, 等. 第二松花江断裂带地质特征及第四纪活动性研究. 中国地震, 2010, 26(1): 34–45
- [30] 于晓辉, 沈军, 戴训也, 等. 生长地层揭示松原地区孤店断裂第四纪以来的构造特征. 地震地质, 2018, 40(6): 1240–1253