

王琼、聂晓红、吴传勇, 2013, 北天山地区 2011 年以来两次 6 级地震前的地震学中短期异常特征, 中国地震, 29 (4), 448 ~ 461。

北天山地区 2011 年以来两次 6 级地震前的地震学中短期异常特征

王琼 聂晓红 吴传勇

新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐市新市区科学二街 338 号 830011

摘要 通过分析北天山地区历史强震、构造活动背景、区域应变能积累特征以及 2011 年 11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级和 2012 年 6 月 30 日新源、和静交界 6.6 级地震前区域地震活动异常特征等, 探讨了这两次 6 级地震前的地震学中短期异常特征。结果表明, 2011 年 6 月以来北天山地区中强以上地震处于加速活动状态, 进入应变能释放阶段; 尼勒克、巩留交界 6.0 级和新源、和静交界 6.6 级地震震前先呈 6 级地震平静而后被打破、中强地震成组活动和空间迁移、条带和空区等较明显的中期异常; 震前还出现了较为相似的 4 级以上地震围空和 5 级逼近地震, 且逼近地震与主震发生时间间隔均为 14 天, 显示了较清晰的异常图像和较明显的中短期震兆特征。

关键词: 2011 年尼勒克、巩留交界 6.0 级地震 2012 年新源、和静交界 6.6 级地震 北天山地区 中短期异常

[文章编号] 1001-4683 (2013) 04-0448-14 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

2011 年 11 月 1 日、2012 年 6 月 30 日北天山地区相继发生尼勒克、巩留交界 6.0 级和新源、和静交界 6.6 级地震, 两次地震空间上相距 200km (图 1)。这两次 6 级地震发生在新疆地区 6 级以上地震平静 37 个月、北天山地区 6 级以上地震平静 38 年的背景之下。同时, 2011 年 6 月 ~ 11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级地震前, 新疆连续发生 5 次 5 级地震, 这些中强地震在时间上呈现连续发生状态 (平均 1 个月发生 1 次)、空间上则呈现多带分布的特征 (图 2)。

北天山地区历史地震活动频度高、强度大, 但 1973 年精河 6.0 级地震后该区 6 级以上地震一直处于平静状态。2011 年尼勒克、巩留交界 6.0 级、2012 年新源、和静交界 6.6 级地震震前存在部分地震活动中期异常; 同时, 这两次地震前, 存在中小地震空区、条带等地震活动中短期异常现象。

[收稿日期] 2013-03-01; [修定日期] 2013-03-27

[项目类别] 国家自然科学基金 (41074042) 和地震科技星火计划项目 (XH13027) 联合资助

[作者简介] 王琼, 女, 1973 年生, 副研究员, 主要从事地震预测、应力触发等相关研究。

E-mail: wangqio8715@sina.com

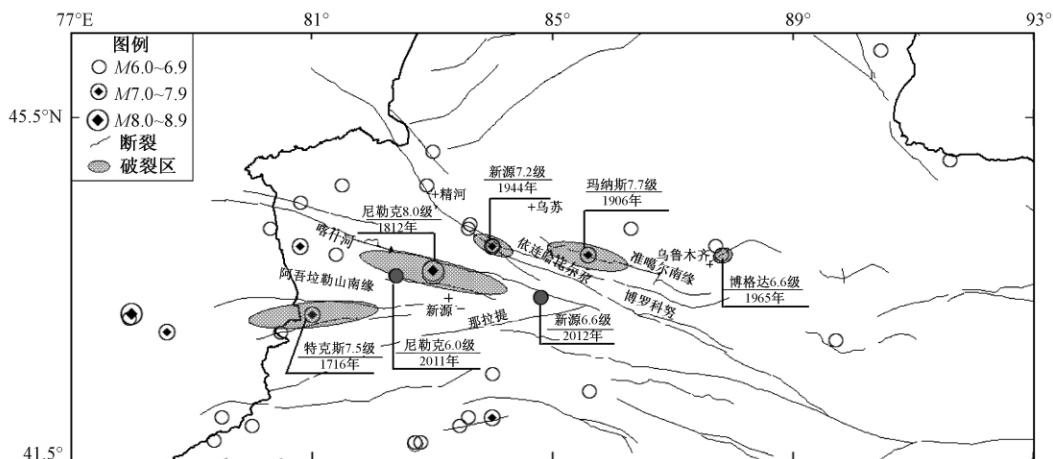


图 1 北天山地区 1600 年以来 6 级以上地震震中及主要断裂分布图
(破裂区据 M7 专项工作组 (2012))

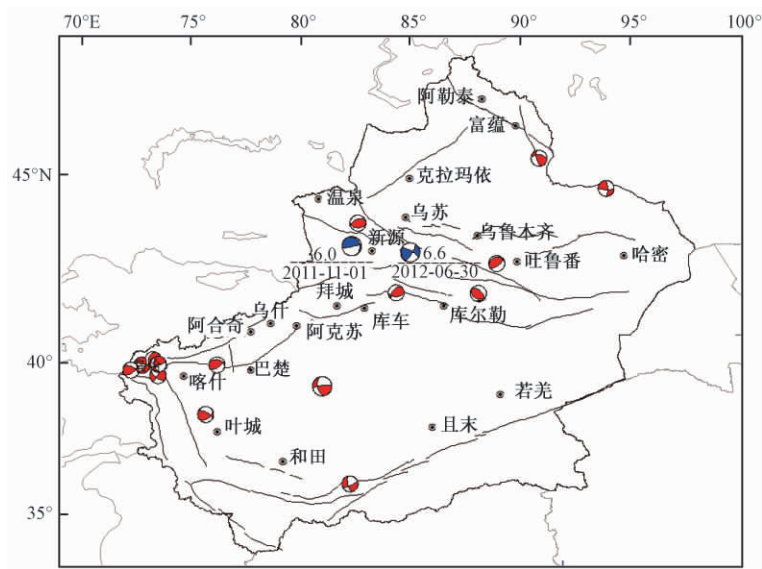


图 2 2011 年 6 月~2012 年 6 月新疆地区 5 级以上地震震源机制解

本文从北天山地区历史强震、构造活动背景、区域应变能积累以及震前区域地震活动异常的角度,分析了这两次 6 级地震前的中短期孕震特征。

1 强震活动构造背景

北天山地震带的强震活动以近 EW 向逆断裂为主(图 1),与该区逆冲-褶皱活动构造有一定关系。在印度板块与欧亚板块碰撞的强烈挤压作用下,天山北麓发育 2 个不同类型的大型逆冲推覆构造,其中压性断裂发育。乌鲁木齐以西具有典型断裂扩展褶皱特征的依连哈比尔尕山山前推覆构造,曾发生过 1906 年玛纳斯 7.7 级地震,该地震造成的形变带主要

围绕准噶尔南缘断裂带分布,全长约 65km,南北宽 4~5km(新疆维吾尔自治区地震局,2000)。乌鲁木齐以东博格达山前弧形推覆构造 1965 年曾发生博格达 6.5 级地震。同时,强烈挤压构造运动产生的水平剪切作用形成大型斜切天山的右旋走滑断裂。NW-NNW 向的博罗科努-阿齐克库都克断裂切割天山,右旋走滑特征明显,是天山北麓最重要的活动构造带之一,1944 年曾发生新源 7.2 级地震。

天山活动地块作为大陆内部典型的复活或再生造山带,其南、北分别被古老而稳定的塔里木和准噶尔地块所夹持。晚第四纪构造变形以前陆盆地的褶皱和逆冲断裂为主要特征,山体内部也发生变形,形成受逆断裂控制的山间挤压盆地,盆地边缘伴有活动断裂,伊犁盆地北缘的喀什河断裂上发生了 1812 年尼勒克 8.0 级地震(汪一鹏等,2000)。野外考察结果确定,尼勒克地震的形变带总长度为 124 km,其中地震断层断续展布 97 km(尹光华等,1999、2001)。

1.1 发震构造

尼勒克、巩留交界 6.0 级地震发震构造为阿吾拉勒山南缘活动断裂,该断裂位于阿吾拉勒山南麓,全长约 180km,断层总体走向近 EW,断层面 N 倾,倾角 70°,具有逆冲性质(图 1)。该断裂在晚更新世时期有过活动,曾经发生过多次中小震^①。

新源、和静交界 6.6 级地震发震构造为喀什河断裂,其总体走向 290°,其中在我国境内长约 315km,断面 N 倾,倾角 60°~80°(图 1)。断裂控制了伊犁盆地北界,北盘上升,南盘下降,属于走滑逆断裂性质。该断裂可分为 3 段,东段晚第四纪以来活动已经趋于微弱,中、西段属于全新世活动断裂。西段分布在伊犁盆地北缘,断裂走向 290°左右,长度大于 150km。晚更新世以来,断裂的平均垂直活动速率为 $1.55\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。中段走向 276°,由多条断裂组成,分布在宽约 10km 的范围内,多数为右旋逆冲断层,1812 年尼勒克 8.0 级地震发生在该断裂中段,该段第四纪以来的垂直运动速率为 $3.8\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。东段在乔尔玛以东,位于山区内部,走向 286°,断层面 S 倾,倾角 70°左右,沿喀什河向东延伸,在喀什河源头一带与博罗科努-阿齐克库都克断裂相交。喀什河两岸晚更新世中晚期以来的各级阶地面平缓完整,均未见有明显变形迹象,表明该断裂东段晚第四纪以来活动已经趋于微弱,1900 年以来未记录到 6 级以上地震,新源、和静交界 6.6 级地震发生在断裂东段。

根据历史地震震害、烈度和发震构造等资料,勾画出北天山地区历史强震破裂区域(M7 专项工作组,2012)(图 1)。尼勒克、巩留交界 6.0 级地震距 1812 年尼勒克 8.0 级地震约 50km,位于 8.0 级地震破裂带边缘。新源、和静交界 6.6 级地震震中距 1812 年 8.0 级地震约 150km,距 8.0 级地震破裂带约 50km。

1.2 震源机制解

北天山地区主要构造为 NW 走向,历史中强地震震源断错类型以走滑和逆断型地震为主,主压应力 P 轴方位大致垂直于构造走向(高国英等,2005),由西向东呈 NNW-NNE 向偏转,其俯角平缓,地震断层面倾角陡。这两次 6 级地震前,新疆地区逆冲类型的中强地震明显增多,即 2011 年 1 月~2012 年 6 月发生的 15 次 5 级以上地震中有 10 次断错性质为逆断类型,尤其是天山中段发生的 6 次 5 级以上地震中有 5 次的震源机制为逆断型(图 2)。

^① 新疆维吾尔自治区地震局,2011,2011 年 11 月 1 日新疆尼勒克、巩留交界 6.0 级地震灾害调查评估

尼勒克 6.0 级地震震区附近历史中强地震主压应力 P 轴方位以近 NS 向为主,震源机制以逆冲为主。此次 6.0 级地震震源机制为逆冲作用,P 轴方位近 NS 向(图 2)。极震区长轴方向近 EW,与近 EW 走向的阿吾拉勒山南缘断裂较为一致,近 EW 走向的节面 I 为此次地震的破裂面(表 1)。

新源、和静交界 6.6 级地震震区附近历史中强地震主压应力 P 轴方位以近 NS 向为主,震源机制以走滑为主(图 2)。该次 6.6 级地震断错方式为右旋走滑性质,P 轴方位近 NNW 向。极震区长轴近 NNW 向,与 NNW 向的喀什河断裂走向较为一致,近 EW 走向的节面 I 为此次地震的破裂面(表 1)。

表 1 震源机制解

发震时间 (年-月-日)	震中位置			震级 M_s	深度 (km)	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		资料来源
	°N	°E	地名			走向 (°)	滑动角 (°)	倾角 (°)	走向 (°)	滑动角 (°)	倾角 (°)	方位 (°)	倾角 (°)	方位 (°)	倾角 (°)	方位 (°)	倾角 (°)	
2011-11-01	43.65	82.38	尼勒克、 巩留交界	6.0	28	77	73	86	334	167	18	182	39	329	46	78	17	聂晓红等, 2012
	43.55	82.41	新疆南部	5.6	39	87	90	64	268	91	26	177	19	356	71	87	0	
2012-06-30	43.43	84.77	新源、 和静交界	6.6	7	298	17	77	32	166	73	345	2	254	22	81	68	魏芸芸等, 2012
	43.43	84.76	新疆西部	6.3	28	300	167	57	37	34	79	165	15	264	31	53	55	

2 历史强震活动背景和区域应变能积累特征

2.1 历史强震活动背景

北天山地震带呈近 EW 向带状展布,地震活动西强东弱,地震活动强度大,1600 年以来发生的最大地震为 1812 年尼勒克 8.0 级地震。1900 年以来发生 7 级地震 3 次,6 级地震 13 次,5 级地震 65 次,最大地震为 1906 年玛纳斯 7.7 级地震(图 1)。

地震活动平静是广为接受的长期的地震前兆现象之一,岩石破坏实验产生的声发射频次中也发现了大破坏前的平静现象(大竹政和,1999)。1973 年精河 6.0 级地震后,北天山地区 6 级以上地震一直处于平静状态,尼勒克、巩留交界 6.0 级地震和新源、和静交界 6.6 级地震的发生打破了该区 6 级地震平静 38 年的状态(图 3),可能意味着该区进入了强震活动时段。

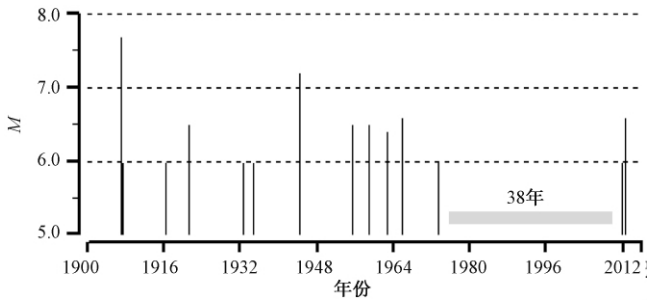


图 3 1900 年以来北天山地区 6 级以上地震 $M-t$ 图

② <http://www.globalcmt.org>

2.2 应变能积累和释放特征

北天山地区 5 级以上地震应变能积累与释放曲线显示(图 4),1900 年以来北天山地区经历了 2 组应变能积累和释放过程:1906 年玛纳斯 7.7 级地震后至 1943 年,北天山地区应变能处于积累阶段,应变能累积达 $1.14 \times 10^8 \text{ J}$;1944 年乌苏 6.5 级、7.2 级地震后至 1965 年,该区进入了应变能释放阶段,22 年间发生 5 次 6.5 级以上强震。1965 年博格达 6.6 级地震后,该区再次处于应变能积累状态,至 2011 年 6 月该区应变能积累已达 $1.87 \times 10^8 \text{ J}$ (折合震级为 7.8 级)。2011 年 6 月~2012 年 6 月北天山及其周围地区连续发生 2011 年 6 月托克逊 5.3 级、2011 年 10 月精河 5.0 级、2011 年 11 月尼勒克、巩留交界 6.0 级、2012 年 1 月和硕 5.0 级和 2012 年 6 月新源、和静交界 6.6 级等 3 次 5 级和 2 次 6 级地震,北天山地区进入了新的应变能释放阶段。

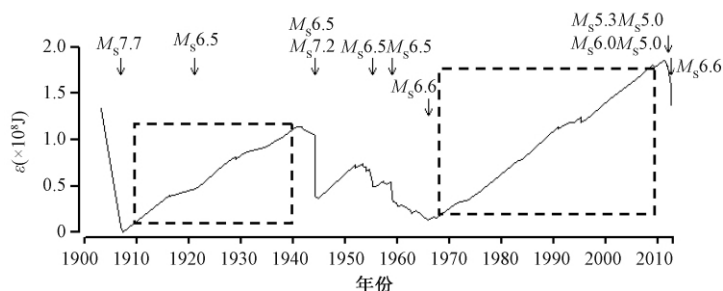


图 4 1900 年以来北天山地区应变能积累与释放曲线

3 地震活动的阶段性异常特征

通过分析北天山地区 2011 年尼勒克、巩留交界 6.0 级和 2012 年新源、和静交界 6.6 级地震前震区周围中小地震活动的时空演化过程,探讨这两次地震的中短期孕震特征。

3.1 两次 6 级地震前的中期异常特征

北天山地区 6 级以上地震平静时间长达 38 年后,2011 年 11 月以来接连发生尼勒克、巩留交界 6.0 级和新源、和静交界 6.6 级两次 6 级地震。同时,该区 5 级地震活跃,2011 年以来共计发生 6 次 5 级以上地震,地震活动水平明显增强,远高于背景水平。天山地区地震目录完整性分析表明,1952 年以来北天山地区 5 级以上地震目录是完整的(王海涛等,2006)。北天山地区 5 级以上地震累积频度结果显示(图 5),1955 年 4 月 24 日乌苏 6.5 级、1958 年 12 月 21 日温泉 6.5 级、1965 年博格达 6.6 级地震前 5 年,北天山地区 5 级以上地震累积频度出现加速现象,5 级地震年均发生率为 2.6 次;震后累积频度随时间变化处于减缓状态,1967~2008 年 5 级以上地震年均发生率为 0.5 次。2009 年以来北天山地区 5 级以上地震累积频度再次呈现出明显的加速特征,年均发生率为 3.5 次,高于 1955~1965 年 6.5 级以上地震成组活动时段。

2011 年 11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级和 2012 年 6 月 30 日新源、和静 6.6 级交界地震分别发生在 2011 年度 6 级左右和 2012 年度 6.5 级左右地震重点危险区内(图 6)。

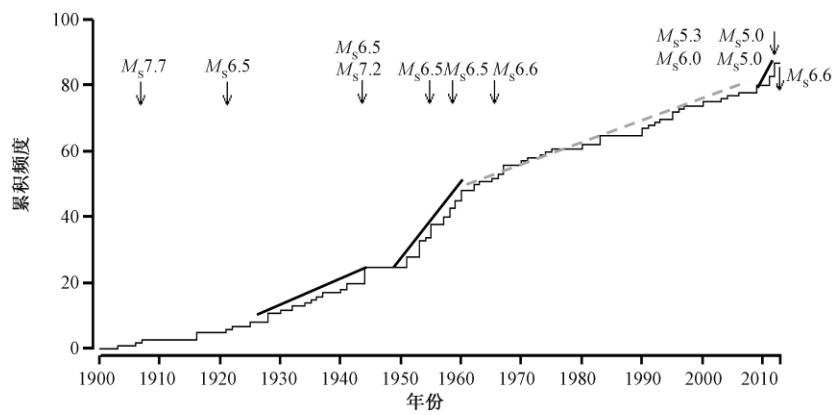


图5 1900 年以来北天山地区 5 级以上地震累积频度曲线

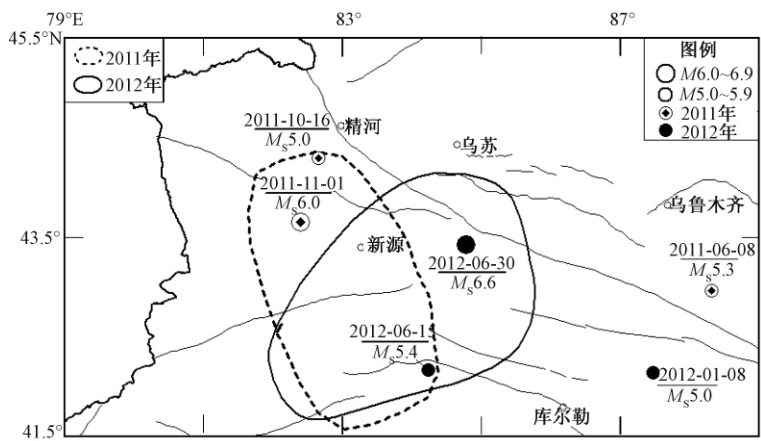


图6 2011、2012 年度天山中段地震重点危险区分布图及预测时段 5 级以上地震震中分布

2011 年天山中段 6 级左右地震重点危险区的主要测震学预测依据为③:

①北天山地区处于应变能积累的高水平;②北天山地区出现长达 38 年的 6 级以上地震超长平静;③天山中、东段 2000 年以来出现 5 级地震集中区和平静区;④天山中段出现 3 级以上地震异常增强区;⑤地震学参数异常;⑥地震活动异常图像——空区、条带。

2012 年天山中段 6.5 级左右地震重点危险区的主要测震学预测依据为④:

①北天山地区长达 38 年的 6 级地震平静状态被打破,中强地震进入成组活动状态;②南天山东段轮台以东长达 6 年的 4 级地震平静状态被打破;③天山中、东段 5 级以上地震东西迁移特征;④地震活动异常图像——条带;⑤ 3、4 级地震异常增强区;⑥天山中段小震群加速活动现象;⑦地震学参数;⑧多参数滑动极值相关度异常。

2011 年度天山中段 6 级左右地震危险区发生了 2011 年 10 月 16 日精河 5.0 级、11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级地震,其中 2011 年度提出的多数地震活动异常仍然持续,同时,

③ 中国地震局年度趋势预测汇总组,2010、2011 年度全国地震重点危险区汇总研究报告
④ 中国地震局年度趋势预测汇总组,2011、2012 年度全国地震重点危险区汇总研究报告

11月1日尼勒克、巩留交界6.0级地震的发生使得某些异常进一步发展。由此,2012年度在天山中段仍然划定了地震危险区,与2011年相比,2012年度天山中段地震危险区的强度和位置均发生变化,主要依据如下:

(1) 强度升级的主要依据。

根据北天山地区6级地震超长平静结束和中强地震加速活动特征,认为北天山地区2012年地震活动水平可能高于2011年,判定2012年度地震危险区强度为6级。具体依据为:

①6级地震平静被打破。尼勒克、巩留交界6.0级地震打破了北天山地区6级地震平静38年的状态,有可能进入了6级以上地震活动时段;②北天山地区中强地震成组活动。2011年北天山地区大型走滑断裂博罗科努-阿其克库都克断裂两侧相继发生了2011年6月8日托克逊5.3级、10月16日精河5.0级、11月1日尼勒克、巩留交界6.0级地震等,这些地震时间上呈加速活动状态、强度上逐步升级,显示出北天山地区进入了中强以上地震活动时段。震例分析表明,北天山地区6.5级以上地震前,5级以上地震累积频度存在加速活动现象(图5)。

(2) 危险区位置变化的主要依据。

根据北天山中、东段中强地震活动空间迁移特征和中等地震平静异常区等异常,调整了2012年度地震危险区的位置和方向。具体依据为:

①北天山中、东段中强地震存在东西迁移活动特征。统计分析得到的1900年以来北天山中、东段2年内发生4次以上 $M_s \geq 5.0$ 地震情况表明,1900年以来类似地震活动曾出现过4组(1934~1936年、1951~1955年、1957~1960年和1965~1967年),4组活动中均有6级地震发生,最大地震为 $M_s 6.6$ 。北天山中、东段中强地震空间活动存在东-中-西迁移特征,且每组地震活动北天山中段($85^\circ \sim 87^\circ E$)均参与其中(图7(a)、7(b))。2011年北天山东段先发生了6月8日托克逊5.3级地震($87^\circ E$ 以东),接着西段发生了10月16日精河5.0级和11月1日尼勒克、巩留交界6.0级地震($85^\circ E$ 以西)。分析认为,北天山地区中段($85^\circ \sim 87^\circ E$)可能是未来6级以上地震活动的危险区域(图7(c))。

②轮台以东地区4级地震超长平静区。2003年3月13日~2009年3月24日,南天山东段轮台以东地区出现了长达6年的4级地震平静,是1970年以来出现的最长4级地震平静时长。2009年3月24日该区发生和硕4.2级地震后,地震活动水平仍不高,无5级以上地震发生(图8(a))。该平静区1970年以来4级以上地震蠕变曲线显示(图8(b)),该区能量积累水平已达6.5级地震以上。分析认为,该平静区及其边缘存在发生6级以上地震的可能,而新源、和静交界6.6级地震就发生在该平静区边缘(图8(a))。

此外,2012年度天山中段危险区调整方向的另一个经验性依据是避开尼勒克、巩留交界6.0级地震的震区。

3.2 两次6级地震前的中短期异常特征

3.2.1 中小地震活动时空演化异常图像

空区和条带是强震前最常见的两种地震活动异常图像,是震源附近区域的应力状态和介质性质发展到一定孕震阶段的体现(刘文龙等,2006)。在孕震阶段前期,构造应力场演化具有整体性特征,地震活动图像大多以中等地震条带为主;而在孕震后期,随着“源”区的

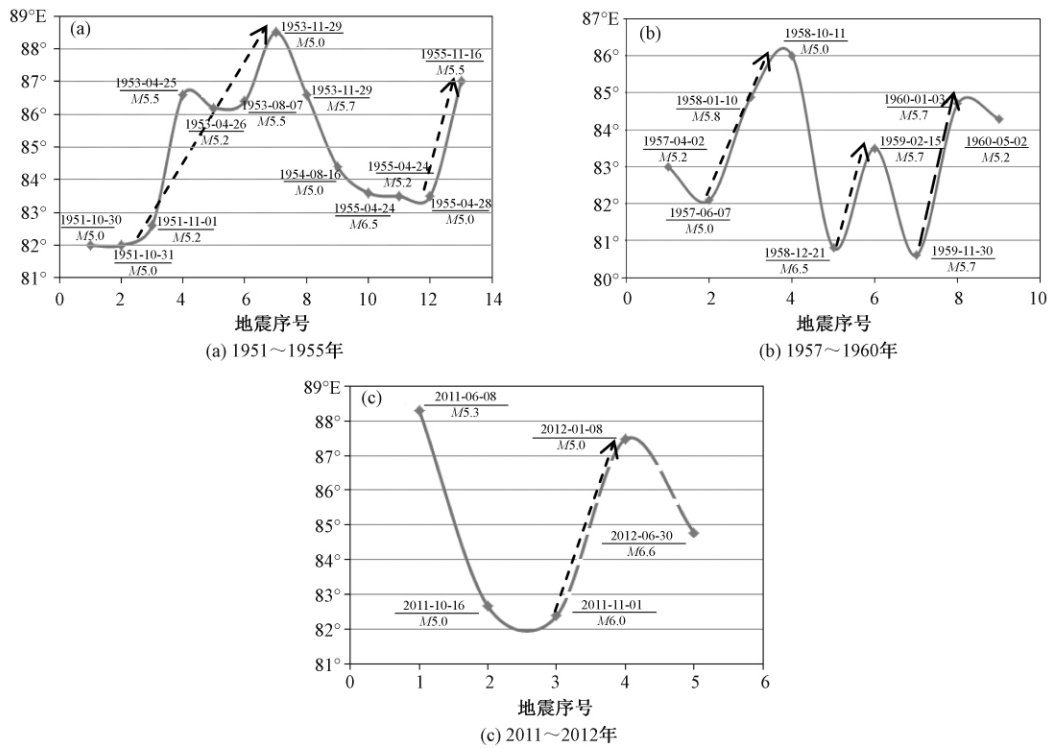


图 7 1900 年以来北天山地区 5 级以上地震成组活动期间地震空间分布

逐渐形成,前兆特征的局域性将逐渐增强,地震活动图像大多以空区和中等信号(逼近)地震活动为主(陈佩燕等,2005)。1976 年唐山 7.8 级、松潘 7.1 级地震前震源区曾出现中小震平静和外围条带活动相伴随现象(刘蒲雄等,1989)。陈佩燕等(2005)的研究结果表明,华北地区 1970 年以来 $M_s \geq 5.8$ 以上地震前约 83% 具有 3 或 4 级地震异常条带、孕震空区及信号震出现。

尼勒克、新源交界 6.0 级和新源、和静交界 6.6 级地震前出现了具有中短期震兆指示意义的 4 级地震孕震空区和条带等 2 类地震活动异常图像。

(1) 条带。

2008 年 1 月~2011 年 4 月,精河至新源地区形成由 15 次 4 级、2 次 5 级地震组成的长达 650km 的 NNW 向条带活动(图 9)。在活跃的背景下,条带内 2011 年 5~9 月近 5 个月未发生 4 级以上地震,条带活动趋于结束。2011 年 10 月 16 日该条带中段发生精河 5.0 级地震,15 天后距其约 75km 处的条带中段边缘发生 11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级地震。尼勒克、巩留交界 6.0 级地震后,条带内地震活动趋于平静,条带南段于 2012 年 6 月 15 日发生轮台 5.4 级地震,14 天后距其约 50km 的条带中段边缘发生新源、和静 6.6 级交界地震。该条带内 2000 年以来 4 级以上地震 $M-t$ 图和蠕变曲线显示(图 10),条带内及其边缘发生的 2 组 5.5 级以上地震前 1~3 年,4 级以上地震出现强度升级和应变能加速释放现象。类似的现象在 2007 年特克斯 5.9 级、2008 年和静 5.6 级地震前也曾出现。

北天山地区 2 次 6 级地震前 6~13 个月,天山中段形成了 4、5 级地震条带,震前 2 年左

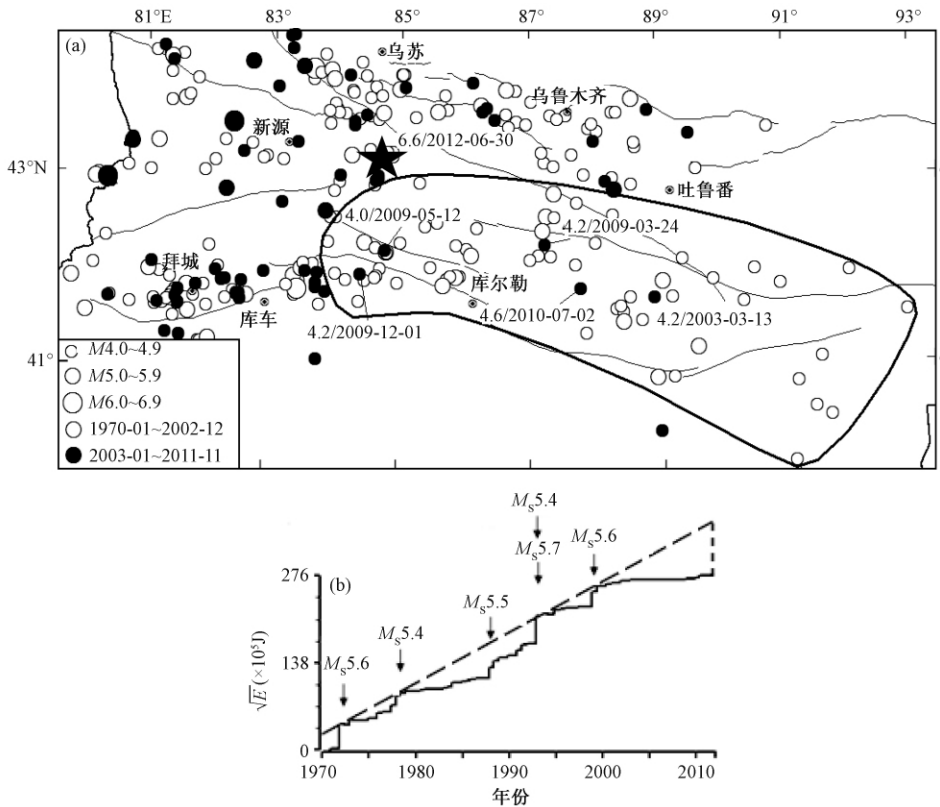


图8 1970年以来南天山东段轮台以东地区4级以上地震平静区(a)及其蠕变曲线(b)

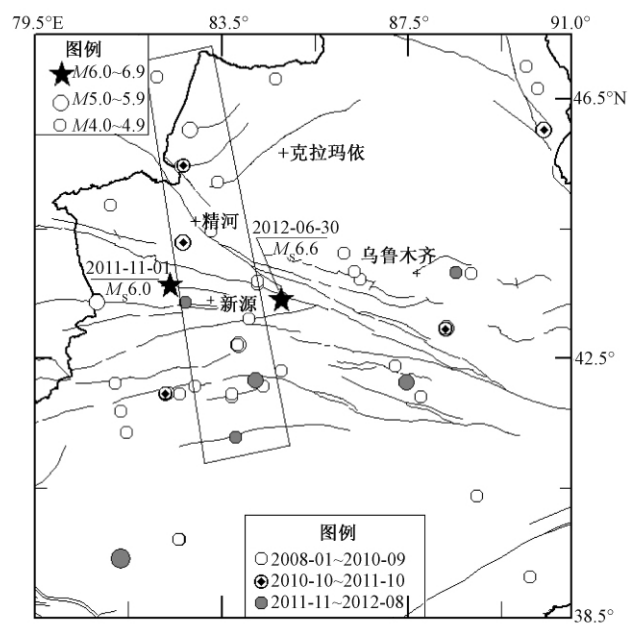
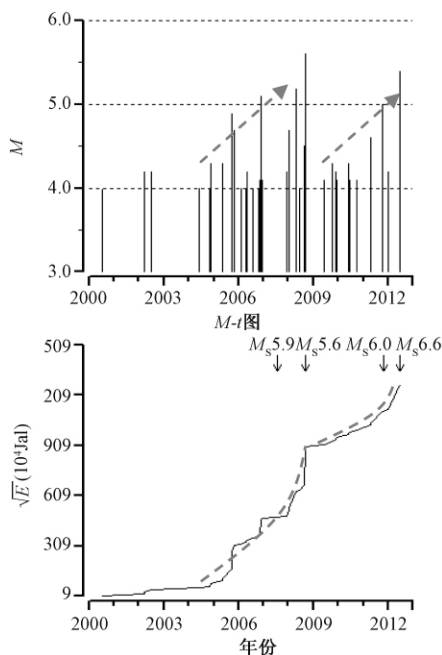


图9 2次6级地震前4级地震的条带状分布

图 10 条带内 4 级以上地震 $M-t$ 图和蠕变曲线

右中等地震出现了加速活动现象。地震条带是强震前区域地震活动由零乱、分散的分布转为集中成带的现象,一般在地震活动增强的后期开始形成。在孕育大震的地区,当区域应力增强到一定程度时,破裂的数目和幅度会出现增长。如果震源区介质稍有非弹性形变,则两侧岩体就各自出现前进运动,进而可能引起闭锁区周围的高应力区的应力向边界附近集中,因而会使断裂带中小地震活动有所增强,出现较显著的定向运动(郭增建等,1973)。

(2) 空区。

空区是应变能在局部地区高度集中的体现,在其形成后期,边缘可能发生具有短期指示意义的逼近地震。从逼近地震到主震的发生,孕震空区内部通常不再有显著地震发生(陆远忠等,1982)。逼近地震到主震震中的距离一般小于孕震空区的半长轴。尼勒克、巩留交界 6.0 级地震前 4 年,天山中段 4 级以上地震出现较明显的围空图像(图 11(a))。2008 年 1 月~2011 年 3 月震中区 200km 范围开始形成半长轴约 200km、半短轴约 130km 的 4 级地震围空区,震前半年空区边缘开始出现应变能释放加速现象,接连发生 4 月 23 日 4.1 级和 4.6 级双震、5 月 13 日 4.2 级、5 月 22 日 4.2 级和 7 月 12 日 4.1 级等 5 次 4 级地震(图 11(a) 围空附近黄色圈)。2011 年 10 月 16 日空区内部发生精河 5.0 级逼近地震,14 天后与其相距 70km 处发生 11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级地震。

2012 年 6 月 30 日新源、和静交界 6.6 级地震前 20 个月,距震中 200km 范围内 4 级以上地震出现明显的围空图像。具体来看,2010 年 9 月 22 日新源 4.1 级地震后至 2012 年 6 月 15 日轮台 5.4 级地震前,天山中段出现了 4 级以上地震半围空异常图像。2011 年尼勒克、巩留交界 6.0 级地震后,半围空区边缘 4 级以上地震明显活跃,接连发生 2012 年 1 月 5 日 4.2 级、1 月 8 日 5.0 级和 5 月 13 日 4.2 级地震,半围空图像更加清晰(图 12(a) 黄色圈)。

6月15日空区内部发生轮台5.4级逼近地震(图12(a)),14天后与其相距150km处发生6月30日新源、和静交界6.6级地震。

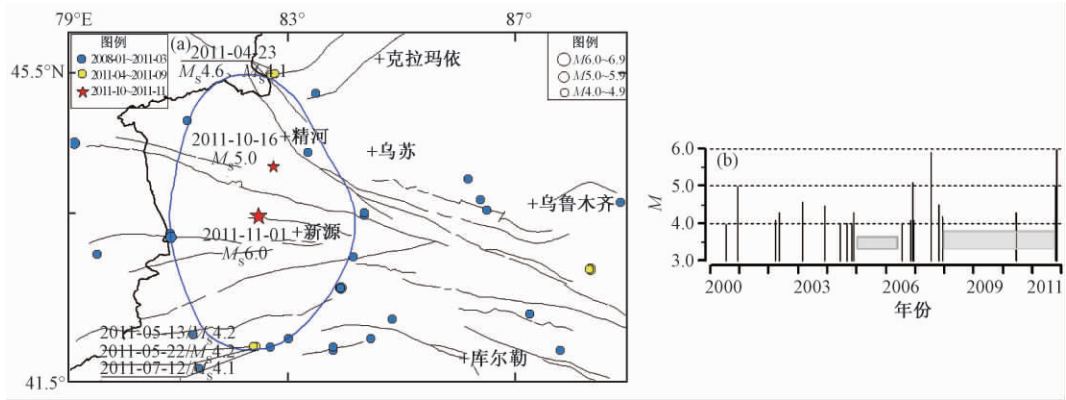


图11 (a) 尼勒克、巩留交界6.0级地震前4级、5级地震围空区;
(b) 2000年以来围空区内4级以上地震 $M-t$ 图

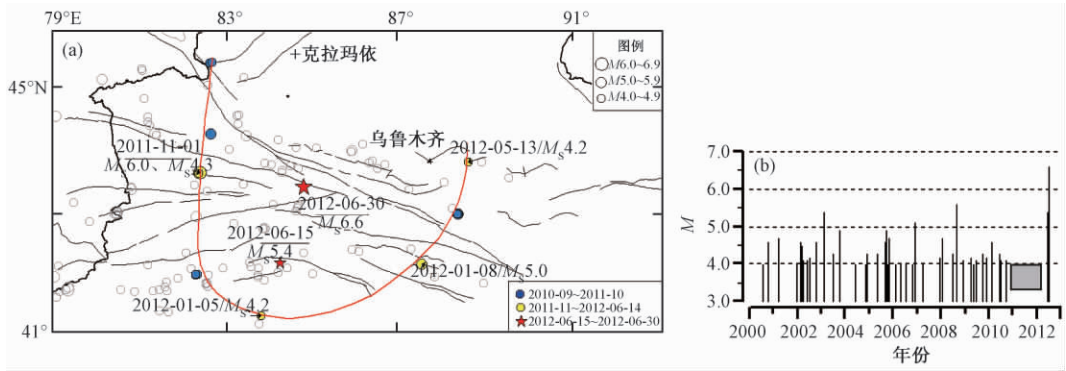


图12 (a) 新源、和静交界6.6级地震前4、5级地震围空区;
(b) 围空区内2000年以来4级以上地震 $M-t$ 图

2012年6月30日新源、和静交界6.6级地震前1年,4级地震半围空区域内嵌套出现3级地震围空图像。2011年11月27日和静3.1级地震后至2012年6月15日轮台5.4级地震前,天山中段快速形成3级以上地震孕震空区。震前1个月,即2012年5月空区边缘3级以上地震明显活跃,1个月内连续发生6次3级地震(图13(a)绿色圈)。6月15日空区边缘发生轮台5.4级逼近地震(图13(a)),14天后与其相距150km处发生了2012年6月30日新源、和静交界6.6级地震。

3.2.2 4级、5级地震围空内地震活动特征

尼勒克、巩留交界6.0级地震前,4级、5级地震围空区域内2000年以来4级以上地震具有成组活动特征(图11(b)),2007年7月20日特克斯5.9级地震前,即2005年1月~2006年7月,空区内部处于平静状态,2006年7月21日空区内部发生4.0级地震,之后空区内部地震活动进入加速状态,接连发生4次4级以上地震,7月20日特克斯5.9级地震发

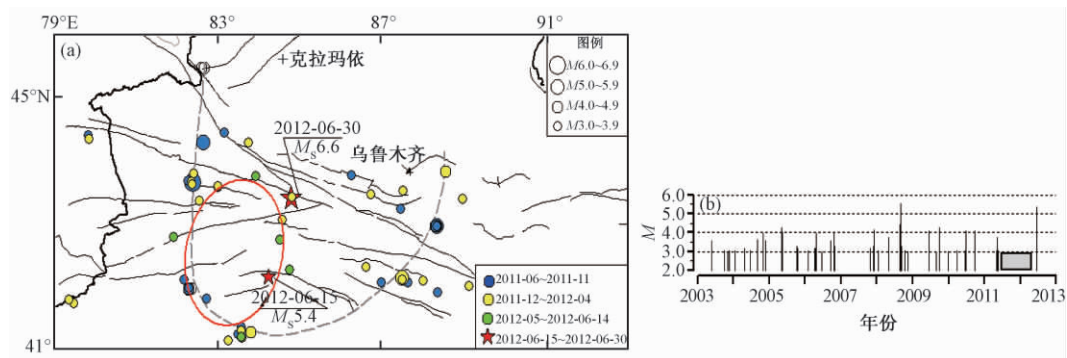


图 13 (a) 新源、和静交界 6.6 级地震前 3 级地震围空区; (b) 围空区内 2003 年以来 3 级以上地震 $M-t$ 图

生在成组活动之中。2008 年 1 月~2011 年 10 月 15 日,空区内部 4 级以上地震同样一直处于平静状态,直至 2011 年 10 月 16 日发生 5.1 级地震。

距新源、和静交界 6.6 级地震 200km 范围内的 4、5 级地震半围空区域内部则显示另外一种活动特征,即围空内部 2000 年以来 4 级以上地震活动此前一直较为均匀,但新源、和静交界 6.6 级地震前 20 个月,半围空区域内部开始处于平静状态,4 级以上地震活动速率明显低于该区的背景活动速率(图 12(b))。2012 年 6 月 15、30 日空区内部相继发生轮台 5.4 级和新源、和静交界 6.6 级地震。

2000 年以来新源、和静交界 6.6 级震中附近的 3 级以上地震孕震空区 3 级以上地震活动较为均匀,但新源、和静交界 6.6 级地震前 12 个月,即 2011 年 6 月~2012 年 6 月 15 日轮台 5.4 级地震前,围空区内部一直处于平静状态,3 级以上地震活动速率明显低于该区的背景活动速率(图 13(b))。2008 年和静 5.6 级地震前 2 年,该区 3 级以上地震也曾出现过近 1 年的类似平静现象。

4 结论与讨论

通过分析北天山地区历史强震、构造活动背景、区域应变能积累特征以及区域地震活动异常特征等,探讨了 2011 年 11 月 1 日尼勒克、巩留交界 6.0 级和 2012 年 6 月 30 日新源、和静交界 6.6 级地震前地震学中短期孕震特征,得到了如下初步认识:

(1) 尼勒克、巩留交界 6.0 级地震发震构造为阿吾拉勒山南缘活动断裂,该断裂在晚更新世时期有过活动,曾经发生过多中小震,1900 年以来未记录到 6 级以上地震。新源、和静交界 6.6 级地震发震构造为喀什河断裂,该断裂可分为 3 段,6.6 级地震发生在断裂东段,其中东段晚第四纪以来活动已经趋于微弱,中、西段属于全新世活动断裂。中段曾发生过 1812 年尼勒克 8.0 级地震;东段晚第四纪以来活动已经趋于微弱,1900~2011 年以来未记录到 6 级以上地震。

(2) 1965 年博格达 6.6 级地震后,北天山地区一直处于应变能积累状态,目前该区应变能积累已达 $1.87 \times 10^8 \text{ J}$ (折合震级为 7.8 级)。2011 年 6 月以来该区连续发生了 6 次 5 级以上地震,中强地震处于加速活动状态,进入了应变能释放阶段。尤其是尼勒克、巩留交界 6.0 级和 6 月 30 日新源、和静交界 6.6 级地震打破了长达 38 年的北天山地区 6 级以上地震

平静状态,进入了成组活动时段。

(3) 2011 年尼勒克、巩留交界 6.0 级和 2012 年新源、和静交界 6.6 级地震发生在 2011、2012 年度全国地震趋势会商会划定的年度地震重点危险区内,震前先呈 6 级地震平静而后被打破、中强地震成组活动和空间迁移、条带、空区、中小地震增强-平静差异活动区、震群、地震学参数等测震学中期异常。

(4) 尼勒克、巩留交界 6.0 级和新源、和静交界 6.6 级地震前 1~3 年,天山中段出现中小地震条带和孕震空区。这类地震活动异常图像,可能是大地震在孕育过程中应力增强和应变能在局部区域高度集中的表现,具有中短期孕震特征。这两次 6 级地震前 1~3 年,条带内 4 级以上地震出现强度升级和应变能加速释放现象,可能显示出强震前闭锁区周围的高应力向边界附近集中,导致断裂带的增强活动呈现出集中成带图像。

这两次地震前还出现了较为相似的 4 级以上地震围空和 5 级逼近地震,且逼近地震与主震发生时间间隔均为 14 天,显示了较清晰的异常图像和较明显的中短期震兆特征。

致谢:衷心地感谢审稿专家给予本文提出的宝贵的建议和意见。

参考文献

- 陈佩燕、王林瑛、刘蒲雄等,2005,华北地震活动中短期异常图像研究,地震,25(1),20~30。
- 大竹政和、陈宏德译,1999,地震长期预测中的地震空区和地震活动平静现象的意义,地震科技情报,11(1),9~23。
- 高国英、温和平、聂晓红,2005,1991~2002 年新疆中强震震源机制解分析,地震,25(1),81~87。
- 郭增建、秦保燕、徐文耀等,1973,震源孕育模式的初步讨论,地球物理学报,16(1),43~48。
- 刘蒲雄、陈章立,1989,地震条带及其预报效能估计,见:国家地震局科技监测司,地震监测与预报方法清理成果汇编——测震学分册,89~99,北京:地震出版社。
- 刘文龙、徐永林、章纯等,2006,关于空区、条带和前震的地震波识别指标的探讨,东北地震研究,22(2),11~33。
- 陆远忠、沈建文、宋俊高,1982,地震空区与逼近地震,地震学报,4(4),327~335。
- M7 专项工作组,2012,中国大陆大地震中-长期危险性研究,258~259,北京:地震出版社。
- 聂晓红、高朝军、史新娣,2012,新疆尼勒克、巩留交界 M_s 6.0 地震前部分地震学异常及序列特征,内陆地震,26(4),193~202。
- 汪一鹏、沈军,2000,天山北麓活动构造基本特征,新疆地质,18(3),203~210。
- 王海涛、李莹甄、屠泓为,2006,新疆历史地震目录完整性分析,内陆地震,20(1),10~17。
- 魏芸芸、聂晓红,2012,新疆新源、和静交界 M_s 6.6 地震前部分地震学异常及序列特征,内陆地震,26(4),337~346。
- 新疆维吾尔自治区地震局,2000,新疆地震研究文集,161~175,乌鲁木齐:新疆人民出版社。
- 尹光华、李军、张勇等,2001,尼勒克地震滑坡的统计分析及初步研究,内陆地震,15(1),56~63。
- 尹光华、买颜东、蒋伯军等,1999,新疆独山子 GPS 形变测量与断层活动性研究,内陆地震,13(4),345~351。

Mid- and short-term anomaly characteristics on seismicity before the Two $M_{\text{s}}6.0$ earthquakes in northern Tianshan Mountains since 2011

Wang Qiong Nie Xiaohong Wu Chuanyong

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract By analyzing historical strong earthquake activity, tectonic activity background, regional strain accumulation and anomaly character on regional seismicity before the Nilka-Gongliu $M_{\text{s}}6.0$ earthquake on November 1, 2011 and the Xinyuan-Hejing $M_{\text{s}}6.6$ earthquake on June 30, 2012, the article researches the mid- and short-term anomaly character on seismicity before the two $M_{\text{s}}6.0$ earthquakes. The result shows that moderately strong earthquake activity in the northern Tianshan mountains appeared accelerated since June, 2011, and entered into the strain energy release stage. There are obvious mid-term anomalies such as $M_{\text{s}}6.0$ earthquake quiescence and broken, grouping activity and space migration of moderately strong earthquakes, seismic belt and gap etc. before the 2011 Nilka-Gongliu $M_{\text{s}}6.0$ earthquake and the 2012 Xinyuan-Hejing $M_{\text{s}}6.6$ earthquake. There appeared $M > 4.0$ earthquake gap and imminent earthquake with the magnitude 5.0 before the two earthquakes, and the time intervals between the imminent earthquakes and the mainshocks were both 14 days or so, and which shows the clear abnormal images and mid- and short-term anomaly character.

Key words: 2011 Nilka-Gongliu $M_{\text{s}}6.0$ earthquake The 2012 Xinyuan-Hejing $M_{\text{s}}6.6$ earthquake The northern Tianshan region Mid- and short-term anomaly