

新疆北部构造区带地震活动状态分析

王 琼, 曲延军, 聂晓红

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐市 830011)

摘要:在对新疆北部地区地质构造、构造运动强度、历史强地震活动特征、地壳缩短速率以及局部应力场特征综合研究的基础上,将新疆北部地区划分为阿尔泰地震带、乌鲁木齐、北天山西段、中天山和东天山5个地震构造区带。通过计算上述各构造区带年应变能释放均值、折合震级、不同震级下限的地震年发生率、 b 值和应变加速释放模型参数 m 值等参数,对各构造区带中地震活动状态进行了定量分析,进而提取了各构造区带地震活动状态的特征指标,为地震趋势分析和判定提供了定量的依据。

关键词: 新疆北部; 构造区带; 地震活动状态

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2011)02-0137-06

Analysis on Seismicity State of Tectonic Regions in the Northern Part of Xinjiang

WANG Qiong, QU Yan-jun, NIE Xiao-hong

(Earthquake Administration of Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

Abstract: Based on the comprehensive research on geological structure, tectonic motion strength, history strong earthquake activity, crustal shorten velocity and local stress field characters, the northern Xinjiang region is divided into five tectonic regions, they are Altai seismic belt, Urumqi tectonic region, western segment of northern Tianshan mountain, central part of Tianshan mountain and eastern segment of Tianshan mountain. By calculating the mean value of strain energy release, converting magnitude, annual occurrence rate with different magnitudes, b value and parameter m of strain accelerating release model etc., the seismicity state of each tectonic region are analyzed quantitatively, and the character index of activity state in every tectonic regions are obtained. It may offer the quantitative criteria for seismic trend analysis and judgment.

Key words: Northern of Xinjiang; Tectonic region and belt; Seismicity state

0 引言

地震活动状态分析与研究是地震短临预测的基础,它主要依靠地震本身,也就是在一定地域范围内地震活动在时间进程上所处的状态——平静抑或活跃^[1]。由于每个地震构造区带内断层的性质、规模、活动速率等不同,这就决定了不同地震构造区地震活动强度存在差异性^[2]。依据构造区内断层活动水平、强震活动分布和区域应力场特征等,研究各构造

带更小单元分区地震活动状态的定量或半定量指标,对地震趋势分析和短临预测工作更具有实践指导意义。

由于构造区带的划分方式可能会影响地震活动状态的分析和判定。因此合理划分构造区带是客观评估和分析地震活动状态的关键。本文基于一些学者关于区域地质构造、构造运动强度、历史强地震活动特征、地壳缩短速率以及局部应力场特征的研究

成果,将新疆北部地区初步划分为 5 个地震构造区带;通过计算各构造区带年应变能释放均值、折合震级、不同震级下限的地震年发生率等参数,对其地震活动状态特征进行定量分析,提取各构造区带不同地震活动状态的特征指标;进而对各构造区带 2008 年以来的地震活动状态进行分析判定。

1 新疆北部各构造区带划分依据

1.1 地质构造和历史强地震活动特征

根据新疆地质构造和强地震活动特征,将新疆北部地区划分为阿尔泰山地震带、北天山地震带、中天山和东天山构造区。由于地质构造和运动特征的差异性,不同构造区带地震活动水平存在较大的差异^[3]。

阿尔泰山地震带是阿尔泰—蒙古地震带的我国境内部分,位于新疆北部的阿尔泰山及其边缘地带。其展布方向与带内 NW—NWW 向的主体构造一致。NW 向活断裂规模巨大,NNW 向断裂以可可托海—二台断裂最为典型,为右旋走滑型断裂。阿尔泰山地震带总体活动频度不高,1900 年以来发生 8.0 级地震 1 次,7.0 级地震 1 次(强余震),6 级地震 4 次(不含余震),5 级地震 16 次(不含余震)。最大地震为 1931 年富蕴 8.0 级地震。

北天山地震带的强震构造以近东西向逆断裂为主,与逆冲—褶皱活动构造带关系密切。主要断裂有婆罗科努断裂、清水河子断裂、科古琴断裂、霍尔果斯—图谷鲁断裂和博格达弧形断裂等。北天山地震带包含北天山西段和乌鲁木齐地区,其构造特征和历史地震活动水平存在较明显的差异性:北天山西段地震活动强度大、频度不高,1900 年以来发生 7 级以上地震 2 次,6 级地震 7 次,5 级地震 37 次,最大地震为 1906 年玛纳斯 7.7 级地震;乌鲁木齐地区地震活动强度和频度均不高,主要发震为构造博格达弧形断裂,1900 年发生 6 级以上地震 2 次,5 级地震 5 次,最大地震为 1965 年乌鲁木齐 6.6 级地震。

中天山构造区带相对稳定,包含伊犁盆地北缘断裂和南缘断裂,地震活动强度不高,以 5 级地震活动为主。1900 年以来发生 2 次 6 级地震,14 次 5 级地震,最大地震为 1921 年 6.5 级伊宁地震。

东天山地区构造相对稳定,在吐鲁番—哈密地区存在规模较大的走滑断层和逆断层,地震活动水平不高。1900 年以来发生 9 次 5 级地震,1 次 6 级地震和 1 次 7 级地震,最大地震为 1914 年巴里坤 7.5 级地震。

1.2 构造运动强度

结合地质构造和深部背景、历史强地震分布、构造运动强度及 b 值等(表 1),李莹甄、沈军等^[4]将北天山地震带划分出较强构造运动区:北天山西段、中天山南部地区;中等强度构造运动区:北天山东段、博阿断裂西北段、博阿断裂中东段、东天山和中天山北部。

表 1 新疆北部各构造区带构造运动强度及 b 值^[4]

构造分区	构造运动强度/ $[\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}]$	b 值
阿尔泰山地震带	7~8	0.60
乌鲁木齐构造区	2~3	0.90
北天山西段	3~5	0.75
中天山构造区北部	3	0.89
中天山构造区南部	4~6	0.75
东天山构造区	1~2	0.82

1.3 地壳缩短速率

张培震等^[5]研究结果表明,天山地壳缩短呈现由西向东逐渐衰减的趋势。北天山新生代褶皱带的速度是 $12.87 \pm 1.04 \text{ mm/a}$;北天山东段乌鲁木齐地区速度是 11.04 mm/a ;横跨东天山的地壳缩短量小于 2 mm/a ;再向东到天山东端的哈密地区,向北运动的分量基本上趋于 0;阿尔泰山向北的运动速度衰减到 0。

1.4 构造应力场分区依据

新疆地区是挤压环境下的再生造山断块和盆地断块发育区,以活动逆断裂—褶皱带和压陷盆地为主^[6]。新疆地区主压应力 P 轴的优势方位为近 NS 向,倾角近水平^[7];强震类型主要是逆断型和走滑型^[8]。由于构造运动的差异性,各构造区带的主压应力 P 轴的优势方位和中强地震的断错类型不同。

1900 年以来新疆北部地区 5 级以上地震的主压应力 P 轴方位水平投影和震源机制解特征显示,不同构造区带局部应力场存在差异性特征。阿尔泰山地震带主要构造总体呈 NW 向展布,历史中强地震震源断错类型以走滑错动为主,主压应力 P 轴为 NNE 方向,仰角平缓;北天山西段主要构造为 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 轴方位大致垂直构造走向^[9],由西向东呈 NNW—NNE 向偏转,其仰角平缓,地震断层面倾角陡;乌鲁木齐构造区东部的构造走向基本上为 EW 向,而西部则以 NWW 为主,西部的构造活动相对强于东部,大多数地震的震源断错以倾滑逆冲为主,主压应力 P 轴方位大致与构造走向垂直,优势方向为 NNE 向, P 轴仰角平缓^[10];中天山构造区主要构造以 NE 和近 EW 走向为主,

历史中强震震源断错类型以逆冲和走滑为主,主压应力P轴方位以近SN为主,基本垂直构造走向,其仰角平缓。

综合新疆北部地区地质构造、各区带构造运动强度、历史强地震活动特征、 b 值、地壳缩短速率以及局部应力场特征,本文将新疆北部地区划分为阿勒泰地震带、北天山西段、乌鲁木齐、中天山和东天山构造区5个地震构造区带(图1)。由于东天山构造区监测能力较弱、研究程度低,故本文不作分析。

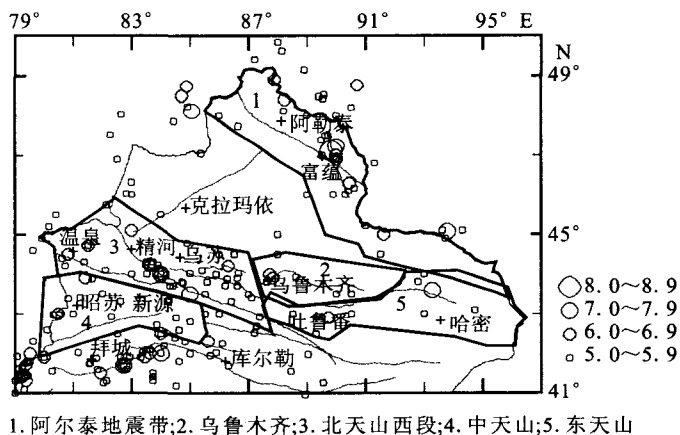


图1 新疆北部各构造区带划分及1900年以来 $M_s \geq 5$ 地震分布图

Fig.1 Map of tectonic regions division in northern of Xinjiang and epicenter distribution of $M_s \geq 5$ earthquakes since 1900.

2 资料的完备性分析

王海涛等^[11]研究表明,新疆6级以上地震记录1900年以后是相对完整的,5级以上地震记录在1955年以后是完整的。

王琼等^①依据地震频度、基于古登堡—里克特的震级—频度关系,得到各构造区带不同时段地震监控能力如下:阿勒泰地震带1980年以来 $M_s \geq 2.0$ 地震较为完整;北天山地震带1976年以来 $M_s \geq 2.0$ 地震较为完整;中天山地震带1976年以来 $M_s \geq 2.5$ 地震较为完整。

本文首先选取新疆1900年以来 $M_s \geq 5$ 地震,初步划分了各构造区带的活跃—平静期;其次在各构造区带活跃—平静期划分基础上分析研究了各构造带1965年以来的年应变能释放均值、折合震级、5级以上地震年发生率等参数,对各构造区带中地震活动状态特征进行了定量分析;同时分析了各构造区带1976年以来不同活跃—平静期3级以上中小地震年发生率等参数、 b 值和应变加速释放模型参

数 m 值特征,并提取了各构造带不同地震活动状态的特征指标(表2)。

3 新疆北部各构造区带中强地震活动分期特征

采用1900年以来新疆北部各构造区带 $M_s \geq 5$ 地震目录,并结合各构造区带的地震目录完整性,本文初步划分了各构造区带的活动分期。

3.1 阿勒泰地震带

1900年以来新疆境内阿勒泰地震带5级以上地震具有较明显的活跃—平静成组活动特征(图2),经历了1917—1936年、1948—1961年和1980—1996年3组活跃期和1937—1947年、1962—1979年和1998—2007年3组平静期,活跃期持续时间为14~20年,平静期持续时间为10~18年,平静期内无5级以上地震发生。

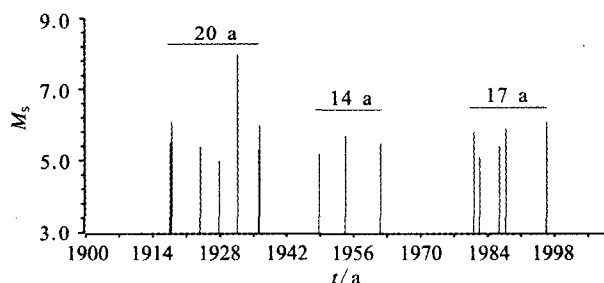


图2 1900年以来阿勒泰地震带 $M_s \geq 5$ 地震 $M-t$ 图

Fig.2 $M-t$ diagram of $M_s \geq 5$ earthquakes in the Altai seismic belt since 1900.

3.2 乌鲁木齐构造区

乌鲁木齐构造区1900年以来5级以上地震具有较明显的活跃—平静成组活动特征(图3),经历了1928—1935年和1965—1983年2组活跃期,持续时间为8~19年,发生的最大地震分别为1934年6.0级地震和1965年6.5级地震;经历了1904—1927年、1936—1964年和1984—2007年3组平静期,持续时间为24~29年,平静期内无5级以上地震发生。

3.3 北天山西段构造区

北天山西段1900年以来5.5级以上地震具有较明显的活跃—平静成组活动特征(图4),活跃期1941—1962年发生的最大地震为1944年乌苏7.2

① 王琼,等.新疆地区地震活动状态动态评价》研究报告.新疆地震局.

级地震,该时段能量集中释放,发生 4 次 6 级地震和 1 次 7 级地震,持续时间 22 年;1963—2007 年能量处于弱释放阶段,发生 1 次 6.0 级地震,持续时间

45 年;1907—1940 年处于 1906 年玛纳斯 7.7 级地震后调整期,发生 2 次 6.0 级地震,持续时间 34 年。

表 2 新疆北部各构造分区不同地震活动状态特征指标

构造带	分期	应变释放 均值(J)	折合震 级/M	不同震级年频度/次					<i>b</i>	<i>m</i>	
				≥3	≥4	≥5	≥6	≥7			
阿勒泰地震带	活跃期	1917—1936	1.0×10 ⁶ ~ 1.3×10 ⁸	5.8~8.0	3.8	1.0	0.21~0.29	0.06~0.17	0.05	0.52	0.56
		1948—1961									
		1980—1996									
	平静期	1937—1947	2.0×10 ⁵	5.1	4.1	0.9	/	/	/	0.68	0.91
1962—1979											
1998—2007											
北天山 山西段	活跃期	1941—1962	5.87×10 ⁶	7.3	/	/	1.1	0.23	0.05	/	/
	平静期	1963—2007	4.85×10 ⁵	6.2	9.0—17.0	0—2.9	0.34	0.02	/	0.72~0.90	1.07~1.30
	调整状态	1907—1940	4.91×10 ⁵	6.2	/	/	0.22	0.07	/	/	/
乌鲁木齐构造区	活跃期	1928—1935	7.9×10 ⁵ ~ 8.3×10 ⁵	5.1~6.6	3.62	0.77	0.10~0.38	0.05~0.13	/	0.69	0.74
		1965—1983									
	平静期	1904—1927	6.9×10 ⁴	4.5	2.21	0.11	/	/	/	0.88	0.86
	1936—1964										
1984—2007											
中天山构造区	活跃期	1921—1948	2.9×10 ⁵ ~ 8.2×10 ⁵	5.7~6.1	3.77	0.85	0.35~0.39	0.08	/	0.70	1.05
		1949—1974									
		1995—2007									
平静期	1975—1994	8.8×10 ⁴	4.9	4.74	0.68	/	/	/	0.78	1.34	

注: *m* 表征应变释放的快慢及释放模式,约定: $m \leq 0.7$ 为地震应变加速释放, m 越小加速特征越显著; $0.7 < m \leq 1.3$ 为应变匀速释放, m 越接近 1,均匀释放特征越明显; $m > 1.3$ 为应变减速释放, m 越大减速特征越突出^[12]。

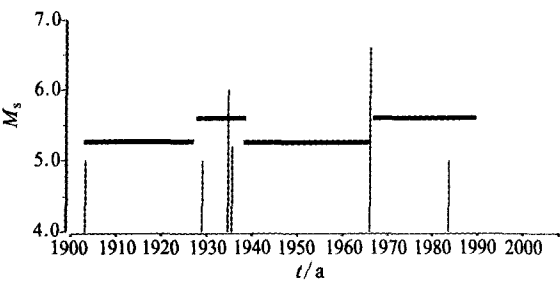


图 3 1900 年以来乌鲁木齐地区 $M_s \geq 5$ 地震 $M-t$ 图

Fig. 3 $M-t$ diagram of $M_s \geq 5$ earthquakes in the Urumqi tectonic region since 1900.

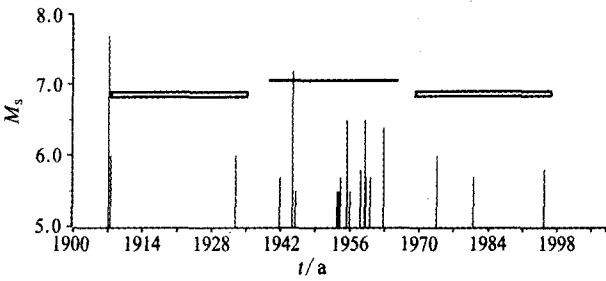


图 4 1900 年以来北天山西段 $M_s \geq 5.5$ 地震 $M-t$ 图

Fig. 4 $M-t$ diagram of $M_s \geq 5.5$ earthquakes in the western segment of northern Tianshan mountains since 1900.

3.4 中天山构造区

中天山构造区 1900 年以来 5 级以上地震具有较明显的活跃—平静成组活动特征(图 5),活跃期 1949—1974 年、1995—2007 年发生的最大地震分别为 1970 年昭苏 5.4 和 2003 年昭苏 6.0 级地震,该时段能量集中释放,持续时间 13~26 年。平静期 1975—1994 年,持续时间 20 年,无 5 级以上地震发生,一直处于能量积累阶段。1921 年 6.5 级地震后至 1948 年,该区处于以能量积累为主的阶段,持续时间 26 年,发生的最大地震为 5.5 级,该时段 4.7 级以上地震目录不完备。

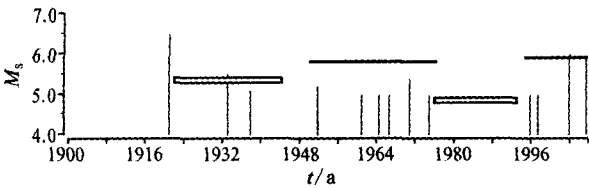


图 5 1900 年以来中天山构造区 $M_s \geq 5$ 地震 $M-t$ 图

Fig. 5 $M-t$ diagram of $M_s \geq 5$ earthquakes in the central Tianshan mountains tectonic region since 1900.

4 新疆北部各构造区带地震活动状态分析

通过计算新疆北部各构造区带不同活动分期的年应变能释放均值、折合震级、不同震级下限地震年发生率、 b 值和应变加速释放模型参数 m 值等参数,对各构造区带地震活动状态特征进行了定量分析,并提取了各构造带不同地震活动状态的特征指标(表2)。

4.1 阿勒泰地震带

(1) 活跃期指标:年应变能释放均值 $1.0 \times 10^6 \sim 1.3 \times 10^8$ J,折合震级范围 5.8~8.0 级;活跃期内有 5 级以上地震发生;6 级以上地震的年发生率为 0.06~0.17,5 级以上地震的年发生率为 0.21~0.29,4 级以上地震的年发生率为 1.0,3 级以上地震的年发生率为 3.8;活跃期 b 值为 0.52; m 值为 0.56。

(2) 平静期指标:年应变能释放均值达 2.0×10^5 J,折合震级 5.1 级;平静期无 5 级以上地震发生,4 级以上地震的年发生率为 0.9,3 级以上地震的年发生率为 4.1;平静期 b 值为 0.68; m 值为 0.91。

2008—2009 年阿尔泰地震带无 5 级以上地震发生;年应变能释放均值达 1.5×10^5 J;4 级以上地震的年发生率为 0.67,3 级以上地震的年发生率为 3.33; b 值为 0.78。依据该区地震活动状态指标认为 2008—2009 年阿尔泰地震带处于平静期。

4.2 北天山西段构造区

(1) 活跃期指标:年应变能释放均值为 5.87×10^6 J,折合震级 7.3 级;活跃期内有 7 级以上地震发生,5 级以上地震的年发生率为 1.1,6 级以上地震的年发生率为 0.23。

(2) 平静期指标:年应变能释放均值范围为 4.85×10^5 J,折合震级 6.2 级;平静期内有 5、6 级地震发生,6 级以上地震的年发生率为 0.02,5 级以上地震的年发生率为 0.34。

(3) 调整状态指标:年应变能释放均值为 4.91×10^5 J,折合震级 6.2 级;平均状态内有 5、6 级地震发生,6 级以上地震的年发生率为 0.07,5 级以上地震的年发生率为 0.22。

2008—2009 年北天山西段无 5 级以上地震发生,年应变能释放均值达 7.9×10^5 J。2008 年以来北天山西段中小地震年应变能释放均值与该区平静期接近。

4.3 乌鲁木齐构造区

(1) 活跃期指标:年应变能释放均值范围为 $7.9 \times 10^5 \sim 8.3 \times 10^5$ J,折合震级范围 5.1~6.6 级;活跃期内有 5 级以上地震发生,6 级以上地震的年发生率为 0.05~0.13,5 级以上地震的年发生率为 0.08~0.38,4 级以上地震的年发生率为 0.77,3 级以上地震的年发生率为 3.62; b 值为 0.69; m 值为 0.74。

(2) 平静期指标:年应变能释放均值范围为 6.9×10^4 J,折合震级范围 4.5 级;平静期无 5 级以上地震发生,以 3、4 级地震活动为主,4 级以上地震的年发生率为 0.11,3 级以上地震的年发生率为 2.21; b 值为 0.88; m 值为 0.86。

2008—2009 年乌鲁木齐地区无 5 级以上地震发生,年应变能释放均值达 1.45×10^4 J;4 级以上地震的年发生率为 0.67,3 级以上地震的年发生率为 2.67; b 值为 0.95。2008 年以来乌鲁木齐地区中小地震年应变能释放均值、 b 值与该区平静期接近,但其 4 级以上地震年发生率与活跃期相当。目前该区处于平静期,但中小地震较为活跃,平静状态有可能发生转折变化。

4.4 中天山构造区

(1) 活跃期指标:年应变能释放均值范围为 $2.8 \times 10^5 \sim 9.5 \times 10^5$ J,折合震级 5.7~6.1 级;活跃期内有 5 级以上地震发生,5 级以上地震的年发生率为 0.35~0.39,4 级以上地震的年发生率为 0.85,3 级以上地震的年发生率为 3.77; b 值为 0.70; m 值 1.05。

(2) 平静期指标:年应变能释放均值范围为 $8.8 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^5$ J,折合震级 4.9 级;平静期内无 5 级以上地震发生,4 级以上地震的年发生率为 0.68,3 级以上地震的年发生率为 4.74; b 值为 0.78; m 值 1.34。

2008—2009 年中天山构造区发生 1 次 5 级地震;年应变能释放均值达 6.12×10^5 J;4 级以上地震的年发生率为 1.33,3 级以上地震的年发生率为 8.0; b 值为 0.74。2008 年以来中天山构造区中小地震年应变能释放均值与该区活跃期接近,3 级和 4 级以上地震年发生率高于活跃期,该区目前处于活跃期。

5 结论与讨论

本文在新疆北部地区地质构造、各区带构造运动强度、历史强地震活动特征、 b 值、地壳缩短速率

以及局部应力场特征综合研究的基础上,将新疆北部地区初步划分为阿尔泰山地震带、乌鲁木齐、北天山西段、中天山和东天山5个地震构造区带。新疆北部各构造区带不同地震活动状态的指标具有如下特征:

(1) 阿勒泰山地震带:活跃期年应变能释放均值较平静期高1~3个数量级;折合震级高0.7~2.9级;活跃期内有5级以上地震发生、平静期无5级以上地震发生;活跃期中 b 值和应变加速释放模型 m 值低于平静期;活跃期和平静期内3、4级以上地震的年发生率相差不大。

(2) 北天山西段:活跃期年应变能释放均值较平静期高1个数量级;折合震级高1.1级;活跃期内有7级以上地震发生;活跃期和平静期均有5级以上地震发生,活跃期5级以上地震年发生率高于平静期;调整状态与平静期应变能释放相当,但调整状态6级以上地震年发生率高于平静期和活跃期之间。

(3) 乌鲁木齐构造区:活跃期年应变能释放均值较平静期高1个数量级;折合震级高0.6~1.1级;活跃期内有5级以上地震发生、平静期无5级以上地震发生;活跃期中 b 值和 m 值低于平静期;活跃期内3、4级以上地震的年发生率高于平静期。

(4) 中天山构造区:活跃期年应变能释放均值较平静期高1个数量级;折合震级高0.8~1.2级;活跃期有5级以上地震发生,平静期则无5级以上地震发生;活跃期中 b 值和 m 值低于平静期;活跃期3、4级以上地震年发生率与平静期相当。

基于新疆北部各构造区带地震活动状态特征参数分析,认为2008年以来阿勒泰山地震带处于平静期,中天山构造区处于活跃期,北天山西段和乌鲁木齐构造区处于平静期,但2008年以来乌鲁木齐构造区中小地震较为活跃,地震活动水平略高于平静期。

[参考文献]

- [1] 石特临,杨立明.区域地震活动状态与地震形势——以甘肃、山西两个区域为例[J].西北地震学报,1999,21(3):225-233.
- [2] 马集遇.中国大陆地震构造带的初步划分及其应用[J].中国地震,1994,10(3):251-261.
- [3] 朱令人.新疆通志(十一卷,地震志)[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2002:307-311.
- [4] 李莹甄,沈军,王海涛.天山各分区地震活动性与能量积累阶段关系初探[J].中国地震,2005,21(4):496-507.
- [5] 张培震,王琪,马宗晋.中国大陆现今构造运动的GPS速度场与活动地块[J].地学前缘,2002,9(2):430-441.
- [6] 邓起东,张培震,冉勇康,等.中国活动构造与地震活动[J].地学前缘,2003,10(特刊):66-73.
- [7] 许忠淮,汪素云,黄雨蕊,等.由大量的地震资料推断的我国大陆构造应力场[J].地球物理学报,1989,32(6):636-647.
- [8] 崔效锋,谢富仁,赵建涛.中国及邻区震源机制解的分区特征[J].地震地质,2005,27(2):298-307.
- [9] 高国英,温和平,袁晓红.1991—2002年新疆中强震震源机制解分析[J].地震,2005,25(1):81-87.
- [10] 高国英,曲延军.乌鲁木齐地区构造应力与中强震活动特征研究[J].内陆地震,1998,12(4):296-303.
- [11] 王海涛,李莹甄,屠泓为.新疆历史地震目录完整性分析[J].内陆地震,2006,20(1):10-17.
- [12] 蒋海昆,苗青壮,董祥,等.中国大陆7级强震前中小地震应变释放特征[J].地震,2009,29(3):1-10.