

新疆天山南部构造区不同时段小地震目录完整性分析*

王琼, 曲延军, 高歌, 聂晓红

(新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 依据天山地区地质构造、运动强度和历史地震活动的差异性, 将南部天山地区划分为南天山东段和南天山西段两个构造区。考虑到新疆台网建设的区域差异性和时间的阶段性, 在对两个构造区不同震级下限地震频度时间特征分析的基础上, 研究了各构造区不同时段 $G-R$ 关系和震级分布特征, 并运用 Z 检验方法对各区不同时段小地震目录差异的显著性进行了分析, 进而评估了两个构造区 1970 年以来不同时段的小地震目录完整性, 为区域地震活动性研究中地震目录的合理运用提供参考依据。

关键词: 新疆南部构造区; 不同时段; 小地震目录完整性分析; 天山

中图分类号: P315.63

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)01-0035-07

0 引言

地震目录是地震研究的基础资料, 其完整性直接影响着地震工作者对地震活动规律的认识(黄纬琼等, 1994; 皇甫岗, 李忠华, 2010)。地震目录完整性是指某一震级以上的地震都能被观测或记录到。许多地震学家对地震目录的完整性都做过研究, 黄纬琼等(1994)以构造带为对象, 研究了中国大陆几个分区 5 级以上地震目录的完整性, 并对 1970 年以来全国地方台网监测能力进行了初步分析。苏有锦等(2003)采用 $G-R$ 关系方法对川滇地区最小完整性震级进行了分析研究。王海涛等(2006)基于震级—频度关系, 对新疆及其境内南天山、北天山历史地震目录的完整性进行分析, 通过地震频度、 b 值拟合以及地震遗失率估计, 大致确定了不同下限震级(4.7 级以上)地震的完整目录起始时间。皇甫岗和李忠华(2010)对 20 世纪云南地区地震记录完全性进行了评价。

现代小震记录的完整性依赖于地震台网的监控能力。随着台网建设和完善, 新疆地震台网的地震监控能力逐步提高, 对小地震的记录能力逐渐提升。新疆地震台网的发展经历了 5 个阶

段(朱令人, 2002), 小地震的记录能力也不断提升。1964~1970 年, 仅在乌鲁木齐地区建成监测网; 1971~1975 年, 新疆台站数量和分布面积有所增大, 对全新疆地震有了初步监测能力, 南天山西段监测能力达 $M_s \geq 3.5$; 1976~1992 年, 新疆测震台站迅猛发展, 南北天山地震台站密度明显增大, 监控能力大大增强。南天山东段和南天山西段喀什以东地区监测能力达 $M_s \geq 2.5$; 喀什—乌恰地区监测能力达 $M_s \geq 3.0$ 。1993 年, 由于遥测台网的建成和台网的现代化、数字化改造, 新疆测震台站达到 34 个, 台网监测能力日趋稳定。南天山东段和南天山西段阿合奇以东地区的监测能力达 $M_s \geq 1.2$; 南天山西段阿合奇以西至乌恰地区监测能力达 $M_s \geq 1.8$; 喀什—乌恰地区监测能力达 $M_s \geq 2.3$ 。2005 年以来, 经过“十五”测震台网建设, 新疆的国家级和区域测震台站达 63 个, 其中包括 15 个国家级数字地震台和 48 个区域数字地震台。“十五”区域数字地震台网的建成, 使得天山地区地震监控能力普遍提高, 南天山东段和南天山西段现今的地震监测能力达到 $M_s \geq 1.0 \sim 1.5$, 喀什重点监视区监测能力达到 $M_s \geq 0.5 \sim 1.8$ (尹光华等, 2010)。

以往学者主要侧重于中强以上地震目录的完整性分析, 而地震活动性特征研究很大程度上依

* 收稿日期: 2010-06-21.

基金项目: 地震行业科研专项中国大陆地震活动状态动态评价系统研制(200708020)和 2010 年度震情跟踪合同制定向工作任务(2010010101)联合资助。

3 南部天山构造区分时段小地震目录完整性分析

在南天山东段和西段不同震级下限地震年频度时序分析的基础上,初步确定两个区域小地震目录时间分段。然后,分析各区不同时段G—R关系和震级分布特征,并应用Z检验方法对各构造区不同时段小地震目录的差异特征进行分析,进而定量分析1970年以来不同时段的小地震目录完整性。研究中运用K—K法删除了余震。

3.1 年频度时序分析

3.1.1 南天山东段

1975年以前南天山东段仅有两个临时台站,1976年以后测震台逐步增加,1993年增至6个,经过“十五”数字化改造和建设,2008年该区测震台达8个。

图2a是1970~2009年南天山东段分别以 $M_s 1.0$ 、 $M_s 1.5$ 、 $M_s 2.0$ 和 $M_s 2.5$ 作为震级下限,1a为时间窗、1个月为步长的地震频度图。图中竖线划分出4个地震频度时段。由图2a可见,1977年以后 $M_s \leq 1.5$ 地震频度逐步增加,总体上呈阶段性上升趋势,特别是1987年以来的趋势上升变化,与该区监测能力逐步提高有关。各时段频度曲线显示,1977~1986年2.0级以下地震频度存在起伏波动变化,2.5级以上地震频度较为稳定;1987~1997年1.5级以下地震频度存在起伏上升变化,2.0级以上地震频度较为稳定;1998~2009年1.5级以下地震频度仍呈波动变化,其波动变化可能与区域小地震活动有关,而与记录能力无关(与前一时段相比,该时段测震台仅增加2个)。总体来说,1977年以来该区 $M_s \geq 2.5$ 地震频度较为稳定,1987年以来 $M_s \geq 2.0$ 地震频度较为稳定。

3.1.2 南天山西段

1978年以前,南天山西段台站变迁及增减变化较大,1979年以后测震台逐步增加至5个,1985~1993年该区测震台基本稳定在7个,经过“十五”数字化改建后,该区测震台增至14个。

图2b是1970~2009年南天山西段分别以 $M_s 1.0$ 、1.5、2.0和2.5作为震级下限,1a为时间窗、1个月为步长的地震频度图。由图2b可见,1979年以前,该区2.0级以下地震频度与其后各时段相比,地震年频度极不稳定,这种现象与该

时段该区台站变迁及增减变化较大有关,而1972~1973年该区2.0级以下地震频度异常变化与该时段柯坪块体小震群异常活跃有关。1979年以后2.0级以下地震频度逐步增加,总体来说呈阶段性上升趋势并趋于稳定。各时段频度曲线显示,1979~1986年2.0级以下地震频度存在起伏波动变化,2.0级以上地震频度则趋于稳定;1987年以来1.5级以下地震频度出现起伏波动变化,2.0级以上地震频度则趋于稳定;2006年以来1.5级以下地震出现明显的波动上升变化,这可能与测震台网经过“十五”数字化改造和建设以后,该区台网监测能力大幅提高有关(该时段测震台7个增至14个); $M_s \geq 1.5$ 地震频度相对稳定。总体来说,该区1979年以来 $M_s \geq 2.5$ 地震频度较为稳定,1987年以来 $M_s \geq 2.0$ 地震频度较为稳定,2006年以来 $M_s \geq 1.5$ 地震频度较为稳定。

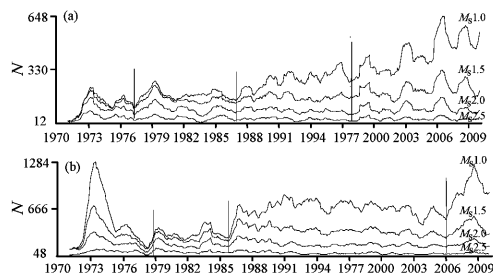


图2 研究区不同震级下限地震频度时序图
(a) 南天山东段; (b) 南天山西段

Fig. 2 Frequency curves for different magnitude thresholds in the study regions

(a) East part of South Tianshan Mountain;
(b) West part of South Tianshan Mountain

3.2 G—R 关系分析

依据南天山东段和西段年频度时序分析,将台网在各区的小地震的记录能力划分为不同阶段。由震级—频度关系 $\lg N = a - bM$ 初步确定出不同时段偏离线性关系的震级下限和上限,然后通过同时变化震级上、下限确定拟合标准差最小的震级下限和上限,从而确定不同时段台网的小地震监控能力。

3.2.1 南天山东段

依据南天山东段年频度时序分析,将台网在该区的小地震记录能力划分为1977~1986年、1987~1997年和1998~2009年3个阶段。

由震级—频度关系初步确定南天山东段1977

~1986 年时段偏离线性关系的震级下限和上限分别为 $M_s1.8$ 和 $M_s4.8$ (图 3a), 在此基础上, 通过改变震级上、下限范围, 确定拟合标准差最小的震级区间为 $M_s1.9 \sim 5.0$ (表 1)。由此, 确定南天山东段该时段的小地震监控能力为 $M_s1.9$ 。同理, 初步确定该区 1987 ~ 1997 年和 1998 ~ 2009 年时段偏离线性关系的震级下限和上限分别为 $M_s1.4$ 和 $M_s5.7$ 、 $M_s1.2$ 和 $M_s5.0$ (图 3a), 拟合最小标准差

分析得到表 1, 1987 ~ 1997 年南天山东段小地震监控能力为 $M_s1.3$; 1998 ~ 2009 年南天山东段的小地震监控能力为 $M_s1.1$ 。总体来说, 1977 年以来该段地震监控能力达 $M_s \geq 1.9$ 。

3.2.2 南天山西段

依据南天山西段年频度时序分析划分的台网在该区的小地震目录记录能力分为 1979 ~ 1986 年、1987 ~ 2005 年和 2006 ~ 2009 年 3 个阶段。

由震级—频度关系 $\lg N = a - bM$ 初步确定南天山西段 1979 ~ 1986 年、1987 ~ 2005 年和 2006 ~ 2009 年 3 个阶段偏离线性关系的震级下限和上限分别为 $M_s1.9$ 和 $M_s5.4$ 、 $M_s1.2$ 和 $M_s5.2$ 、 $M_s1.0$ 和 $M_s5.1$ 。拟合最小标准差分析得到南天山西段 1979 ~ 1986 年的小地震监控能力为 $M_s1.9$; 1987 ~ 2005 年的小地震监控能力为 $M_s1.1$; 2006 ~ 2009 年的小地震监控能力为 $M_s0.9$ (表 1)。总体来说, 1979 年以来该带地震监控能力达 $M_s \geq 1.9$ 。

本文关于南天山东段和西段小地震监测能力的研究结果与朱令人 (2002)、尹光华等 (2010) 的研究结果具有一致性, 但由于研究时段、区域和方法的不同, 结果也存在一定的差异。

3.3 震级年频度分布

年频度时序分析显示, 台网在南天山东段和西段的小地震记录能力存在阶段性。通过对比分析各时段不同震级档小地震频度的差异性, 就可以定量分析不同时段研究区地震目录的最小完整震级。

3.3.1 南天山东段

图 4 为南天山东段和西段不同时段各震级档年频度分布图。由图可见 1987 ~ 1997 年, $0 \leq M_s \leq 1.9$ 地震的年频度明显高于 1977 ~ 1986 年的年频度, 而 $M_s \geq 2.0$ 地震年频度基本变化不大 (图 4a 中虚线)。1977 ~ 1986 年年频度最大值为 1.9 (图 4a 中竖线), 1987 ~ 1997 年年频度最大值为 1.4 (图 4a 中竖线)。1998 ~ 2009 年 $0 \leq M_s \leq 1.7$ 地震的年频度明显高于 1987 ~ 1997 年时段的年频度, 而 1987 年以来 $M_s \geq 1.8$ 地震的年频度变化不大 (图 4b 中虚线)。1987 ~ 1997 年最大年频度对应的震级下限为 $M_s1.4$ (图 4b 中竖线); 1998 ~ 2009 年最大年频度对应的震级下限为 $M_s1.1$ (图 4b 中竖线)。

Z 检验表明 (表 2), 1977 ~ 1986 年、1987 ~ 1997 年两个时段 $0 \leq M_s \leq 1.9$ 地震的年频度差异

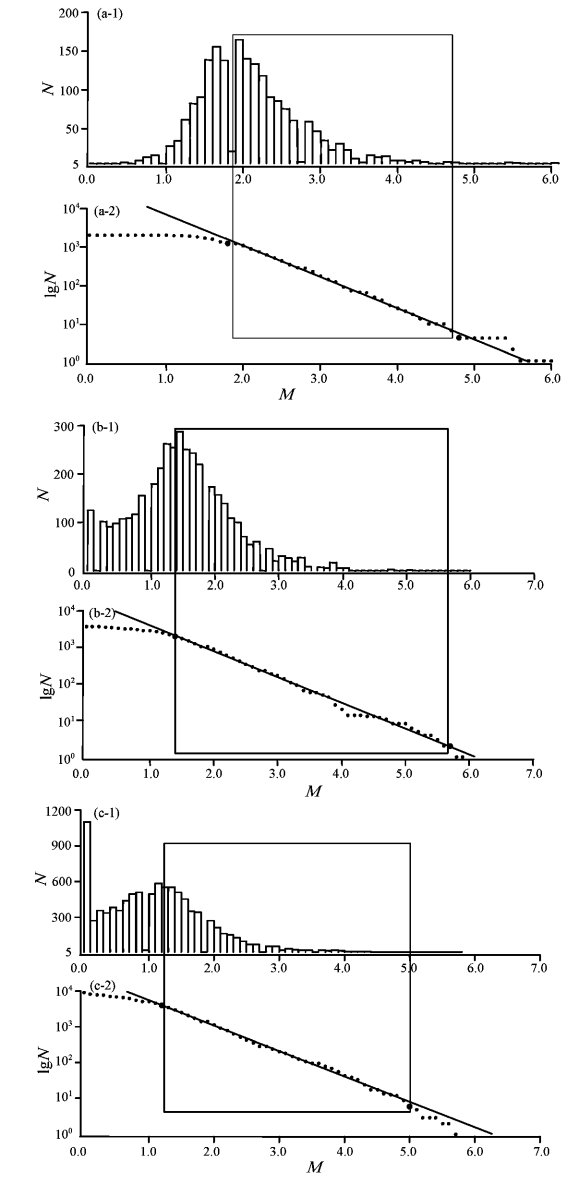


图 3 南天山东段不同时段震级—频度关系
(a) 1977 ~ 1986 年; (b) 1987 ~ 1997 年; (c) 1998 ~ 2009
Fig. 3 Magnitude-frequency maps for different periods in the eastern segment of South Tianshan Mountain
(a) 1977 - 1986; (b) 1987 - 1997; (c) 1998 - 2009

表 1 南天山东段和西段不同震级限地震 G—R 关系拟合 *b* 值和标准差表

Tab. 1 *b* value and standard deviation fitted by G—R relation with different magnitude thresholds in the eastern and western segment of South Tianshan Mountain

南天山东段					南天山西段				
拟合时段	<i>M</i> _{min}	<i>M</i> _{max}	<i>b</i> 值	<i>S</i>	拟合时段	<i>M</i> _{min}	<i>M</i> _{max}	<i>b</i> 值	<i>S</i>
1977 ~ 1986	1.7	4.7	0.79	0.04	1979 ~ 1986	1.8	5.2	0.74	0.04
		4.8	0.79	0.04			5.3	0.73	0.05
		4.9	0.80	0.04			5.4	0.74	0.05
		5.0	0.81	0.04			5.5	0.75	0.07
	1.8	4.7	0.80	0.03		1.9	5.2	0.74	0.04
		4.8	0.80	0.03			5.3	0.74	0.04
		4.9	0.81	0.04			5.4	0.75	0.04
		5.0	0.81	0.04			5.5	0.75	0.04
	1.9	4.7	0.81	0.03		2.0	5.2	0.74	0.04
		4.8	0.81	0.03			5.3	0.74	0.04
		4.9	0.82	0.03			5.4	0.75	0.04
		5.0	0.81	0.03			5.5	0.76	0.07
1987 ~ 1997	1.3	5.6	0.71	0.07	1987 ~ 2005	1.1	5.1	0.70	0.04
		5.7	0.71	0.07			5.2	0.70	0.04
		5.8	0.71	0.08			5.3	0.69	0.05
	1.4	5.6	0.71	0.08		1.2	5.1	0.70	0.04
		5.7	0.71	0.07			5.2	0.70	0.05
		5.8	0.71	0.08			5.3	0.69	0.05
	1.5	5.6	0.71	0.08		1.3	5.1	0.70	0.04
		5.7	0.71	0.08			5.2	0.70	0.05
		5.8	0.71	0.08			5.3	0.69	0.05
1998 ~ 2009	1.1	4.9	0.70	0.03	2006 ~ 2009	0.9	5.0	0.70	0.03
		5.0	0.70	0.03			5.1	0.70	0.03
		5.1	0.71	0.04			5.2	0.70	0.04
	1.2	4.9	0.70	0.03		1.0	5.0	0.70	0.04
		5.0	0.70	0.03			5.1	0.70	0.03
		5.1	0.71	0.04			5.2	0.70	0.04
	1.3	4.9	0.70	0.03		1.1	5.0	0.70	0.04
		5.0	0.71	0.04			5.1	0.70	0.04
		5.1	0.71	0.04			5.2	0.70	0.04

注：*M*_{min}为拟合震级下限，*M*_{max}为拟合震级上限，*S*为拟合标准差。

表 2 南天山东段和西段不同时段各震级档年频度 *Z* 值

Tab. 2 *Z* value for the different magnitude scale at the different phases in the eastern and western segment of South Tianshan Mountain

研究区	样本统计时段	震级分档	<i>Z</i> 值	<i>Z</i> 理论值及差异显著程度	差异显著程度评价
南天山东段	<i>X</i> ₁ : 1977 – 1986	0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 1.9	−4.22	<i>Z</i> ≥ 2.58 差异非常显著 <i>Z</i> < 1.96 差异不显著	0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 1.9 差异非常显著
	<i>X</i> ₂ : 1987 – 1997	<i>M</i> _S ≥ 2.0	0.23		<i>M</i> _S ≥ 2.0 差异不显著
	<i>X</i> ₂ : 1987 – 1997	0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 1.7	−5.13		0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 1.7 差异非常显著
	<i>X</i> ₃ : 1998 – 2009	<i>M</i> _S ≥ 1.8	−0.45		<i>M</i> _S ≥ 1.8 差异不显著
南天山西段	<i>X</i> ₁ : 1979 – 1986	0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 2.4	−4.70		0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 2.4 差异非常显著
	<i>X</i> ₂ : 1987 – 2005	<i>M</i> _S ≥ 2.5	0.91		<i>M</i> _S ≥ 2.5 差异不显著
	<i>X</i> ₂ : 1987 – 2005	0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 1.7	−3.05		0 ≤ <i>M</i> _S ≤ 1.7 差异非常显著
	<i>X</i> ₃ : 2006 – 2009	<i>M</i> _S ≥ 1.8	−0.21		<i>M</i> _S ≥ 1.8 差异不显著

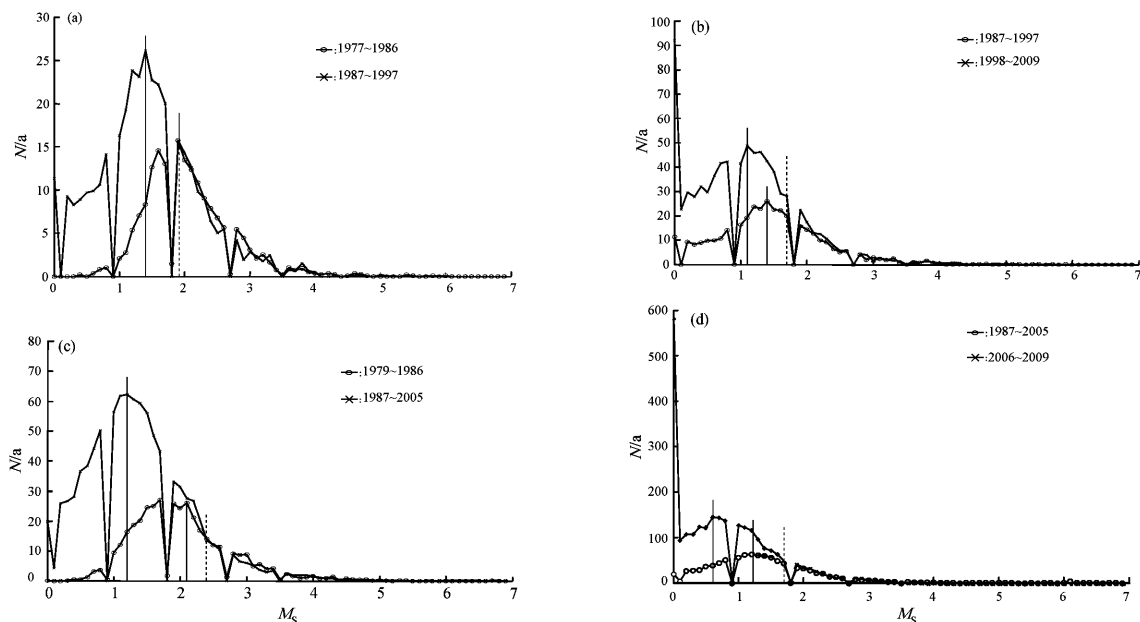


图4 南天山东段和西段不同时段各震级档年频度分布图

(a)、(b) 南天山东段; (c)、(d) 南天山西段

Fig. 4 Annual frequency distribution map for the different magnitude scales in different periods in the eastern (a), (b) and western (c), (d) segment of South Tianshan Mountain

非常显著, 而两个时段 $M_s \geq 2.0$ 地震的年频度差异并不显著。1987 ~ 1997 年、1998 ~ 2009 年两个时段 $0 \leq M_s \leq 1.7$ 地震的年频度差异非常显著, 而两个时段 $M_s \geq 1.8$ 地震的年频度差异并不显著。

由此得出, 1977 年以来南天山东段 $M_s \geq 2.0$ 地震目录相对较为完整, 1987 年以来南天山东段 $M_s \geq 1.8$ 地震目录相对较为完整。

3.3.2 南天山西段

图 4c、d 为南天山西段不同时段各震级档年频度分布图。1987 ~ 2005 年 $0 \leq M_s \leq 2.4$ 地震的年频度明显高于 1979 ~ 1986 年的年频度, 而这两个时段的 $M_s \geq 2.5$ 地震的年频度差别不大 (图 4c 中虚线)。1979 ~ 1986 年年频度最大值为 1.9 (图 4c 中竖线), 1987 ~ 2005 年年频度最大值为 1.2 (图 4c 中竖线)。2006 ~ 2009 年 $0 \leq M_s \leq 1.7$ 地震的年频度高于 1987 ~ 2005 年, 而 1987 年以来 $M_s \geq 1.8$ 地震的年频度变化不大 (图 4d 中虚线)。1987 ~ 2005 年最大年频度对应的震级下限为 $M_s 1.2$ (图 4d 中竖线), 2006 ~ 2009 年最大年频度对应的震级下限为 $M_s 0.6$ (图 4d 中竖线)。

Z 检验方法显示 (表 2), 1979 ~ 1986 年、1987 ~ 2005 年 2 个时段的 $0 \leq M_s \leq 2.4$ 地震的年频度差异非常显著, 而 $M_s \geq 2.5$ 地震年频度差异并

不显著。1987 ~ 2005 年、2006 ~ 2009 年 2 个时段 $0 \leq M_s \leq 1.7$ 地震的年频度差异非常显著, 而 $M_s \geq 1.8$ 地震年频度差异不大。由此得出该区 1979 年以来 $M_s \geq 2.5$ 地震目录相对较为完整, 而 1987 年以来 $M_s \geq 1.8$ 地震目录相对较为完整。

4 结论

(1) 南天山东段 1977 年以来地震监控能力达 $M_s \geq 1.9$, 2.0 级以上地震记录较为完备; 1987 ~ 1997 年地震监控能力达 $M_s \geq 1.3$, 1.8 级以上地震记录较为完整; 1998 ~ 2009 年地震监控能力达 $M_s \geq 1.1$ 。总体来说, 1977 年以来该区 2.0 级以上地震记录较为完整。

(2) 南天山西段 1979 ~ 1986 年时段的地震监控能力达 $M_s \geq 1.9$ 地震, 2.5 级以上地震记录较为完整; 1987 ~ 2005 年监控能力达 $M_s \geq 1.1$, 1.8 级以上地震记录较为完整; 2006 ~ 2009 年监控能力可能达 $M_s \geq 0.9$ 。总体来说, 1979 年以来该区 2.5 级以上地震目录较为完整。

(3) 由于区域地震活动存在非平稳性, 因此, 依据年频度时序分析划分小震监测能力时间段具有一定的局限性。对于年频度出现显著偏离的时

段, 可以与其它时段台网的监测能力作对比以及分析该时段的地震活动特征, 如震群活动、强震活动等。

参考文献:

- 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 2003. 中国活动构造与地震活动[J]. 地学前缘, 10(特刊): 66-73.
- 黄伟琼, 李文香, 曹学锋. 1994. 中国大陆地震资料完整性研究之二[J]. 地震学报, 16(4): 423-432.
- 皇甫岗, 李忠华. 2010. 20世纪云南地区地震目录记录完全性评价[J]. 地震研究, 33(1): 1-6.
- 李莹甄, 沈军, 王海涛. 2005. 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, 21(4): 496-507.
- 马宏生, 刘杰, 张国民, 等. 2005. 基于G-R关系的应变积累释放模型研究中国大陆强震的分区活动[J]. 27(4): 355-366.
- 马集遐. 1994. 中国大陆地震构造带的初步划分及其应用[J]. 中国地震, 10(3): 251-261.
- 苏有锦, 李永莉, 李忠华, 等. 2003. 川滇地区区域地震目录完整性最小震级分析[J]. 地震研究, 26(增刊): 10-16.
- 王海涛, 李莹甄, 屠泓为. 2006. 新疆历史地震目录完整性分析[J]. 内陆地震, 20(1): 10-17.
- 尹光华, 段天山, 刘平仁, 等. 2010. 新疆十五测震台网的监测能力及其构造意义[J]. 内陆地震, 24(2).
- 张培震, 王琪, 马宗晋. 2002. 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, 9(2): 430-441.
- 朱令人. 2002. 新疆通志(十一卷·地震志)[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 307-311.
- Aron A, Hardebeck J L. 2009. Seismicity rate changes along the central California Coast due to stress changes from the 2003 *M*6.5 San Simeon and 2004 *M*6.0 Parkfield Earthquakes[J]. BSSA, 99(4): 2280-2292.
- Gutenberg B, Richter C F. 1941. Seismicity of the earth[J]. Geol Soc Amer Spec Pap, 34(1): 1-133.

Earthquake-catalogue Completeness of the Small Earthquakes in the Southern Tectonic Region of the Tianshan Mountain, Xinjiang in Different Periods

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

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

Abstract

According to geological tectonics, motion strength and the difference between the historical earthquake activities in the Tianshan Mountain region, we divide the South Tianshan Mountain into two tectonic regions—the eastern segment and the western one. Considering the fact that the sub-stations of Xinjiang Seismic Network was established in different periods and distributed not so well, and based on the analysis of the frequency character with the different magnitude thresholds in the two tectonic regions, we study G-R expression and character of magnitude distribution in different periods in the two regions, and apply Z Test to analyze the difference between the small earthquake catalogues in different periods, then we evaluate the catalogue completeness of small earthquakes in different periods since 1970. The result may provide reference for people to apply reasonably the earthquake catalogue to the regional seismicity research.

Key words: southern tectonic region of Xinjiang; different periods; analysis of completeness the of small earthquake catalogue; Tianshan Mountain