

张洪艳, 卢燕红, 康建红, 等. 吉林前郭震群 b 值的深度变化特征分析[J]. 华南地震, 2015, 35 (2): 96-99. ZHANG Hongyan, LU Yanhong, KANG Jianhong, et al. Analysis on the Variation of b Value with Depth in Qianguo Earthquake Sequence[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(2): 96-99.]

吉林前郭震群 b 值的深度变化特征分析

张洪艳, 卢燕红, 康建红, 张宇, 蔡宏雷, 高金哲

(吉林省地震局, 长春 130117)

摘要: 对 2013 年前郭地区发生的 5.8 级震群, 联合使用固定台和流动台台站资料, 整理了 2013 年 10 月 31 日至 2015 年 2 月 28 日期间发生在前郭震群地区的地震序列目录, 严格筛选出 404 次地震事件的 P 波和 S 波到时数据, 应用基于 MATLAB 的 Z-MAP 软件分析了地震目录最小完整性震级 1.4, 选取震级大于 1.4 的地震系统地分析了 b 值随深度的变化, 发现研究区 b 值随深度变化有减小的趋势, 具体表现在: 地壳的浅部(0~4 km) b 值较大, 在 4~8 km 范围内 b 值逐渐减小, 且在 8 km 深度 b 值最小, 8~10 km 深度处 b 值进一步升高。 b 值随深度的这种复杂变化, 表明本区域的地壳结构相对较复杂, 结构分层比较明显, 这种现象的物理机制可以从介质的应力状态及介质性质得到较好的解释, 地震较易发生在地壳介质相对均匀, 围岩压力较高的深度处, 推测研究区域中强震多发生在 4 km 以下。

关键词: 前郭震群; 最小完整性震级; b 值

中图分类号: P315.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2015) 02-0096-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.02.015

Analysis on the Variation of b Value with Depth in Qianguo Earthquake Sequence

ZHANG Hongyan, LU Yanhong, KANG Jianhong, ZHANG Yu,
CAI Honglei, GAO Jinzhe

(Earthquake Administration of Jilin Province, Changchun 130117, China)

Abstract: Based on the data recorded by the mobile observation instruments and digital observation station, the earthquake sequence catalog of Qianguo earthquake swarm area during Oct. 31st, 2013 and Feb. 28th, 2015, the arrival data of P and S wave of 404 earthquakes which are strictly screened, the paper analyzes the minimum complete magnitude 1.4 with Z-MAP based on MATLAB, and the variation of b value with depth by using the magnitude greater than 1.4. The results show that the b value is gradually reduced with depth, which is larger in shallow crust (0~4 km), gradually reduces with depth in 4~8 km, and becomes the minimum value at 8 km, while gradually increases in 8~10 km. It is said that the crustal structure in study area is relatively complex and the structure layered is more obvious. This phenomenon can be explained with medium stress state

收稿日期: 2014-10-10

基金项目: 吉林省地震局合同制科研课题(201521); 中国地震局监测、预测、科研三结合课题(150704); 测震台网青年骨干培养专项(20140307); 青年科学基金项目(41404071)

作者简介: 张洪艳 (1979-), 女, 工程师, 主要从事地震编目和地震研究相关工作。

E-mail: 56617347@qq.com.

and media properties. The earthquake prone-depth is at relatively uniform media and high surrounding rock pressure, most of the medium-strong earthquakes at the study region occurred below 4km

Key words: Qianguo earthquake sequence; Minimum complete magnitude; b -value

0 引言

由古登堡-里克特^[1]提出的震级与频度的关系式: $\log N=a+bm$, 是地震活动性研究中引用频度最高的一个经验关系式, 其中 b 值是地震活动性研究中的一个重要参数, 主要描述震级和频度关系式中的比例系数, 代表一定区域内不同大小地震频数的比例关系, 与其所对应的区域应力状态、地壳破裂强度有关, 不同的地震区或带有不同的震级-频度关系, 即具有不同的 b 值。

b 值的研究历史较长, 在国、内外的地震活动性分析中取得的结果比较丰富^[2-6]: 既得到了区域内各参数的变化特征, 也取得了各参数随介质和应力的变化情况, 同时得到了大量震例的支持, 进一步验证了各参数在震前、震时、震后的变化。 b 值既能反映大小地震之间的关系又能反映不同部位介质的应力状态: 在地壳浅部由于地壳介质的强烈的非均匀性, 加之岩石的围岩压力值较低, 小震容易发生, b 值较高; 震源深度增加, 地壳介质相对较均匀, 同时伴随着高围岩压力, 任意初始破裂的形成容易导致大破裂的发生, 从而发生大地震, b 值较低^[2]。

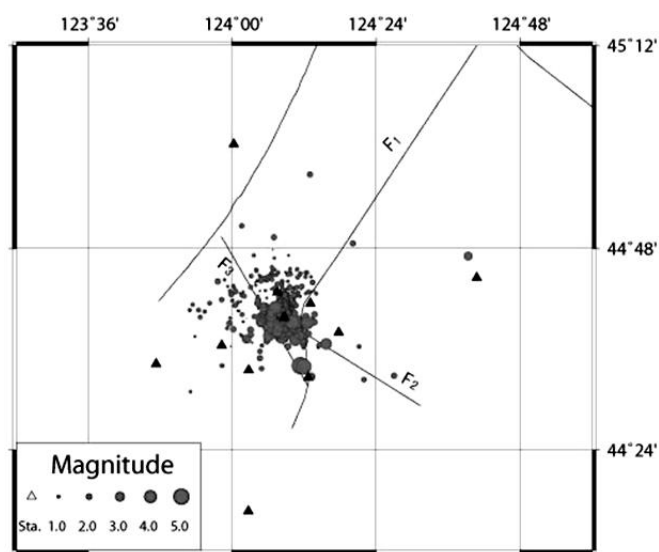
2013 年吉林省前郭县先后发生了 5.5、5.0、5.3、5.8、5.0 级地震, 这 5 次地震均发生在 NE 向扶余-肇东与 NNW 向查干泡-道字井断裂交汇部位。10 月 31 日前郭 5.5 级地震发生后, 吉林省地

震局和黑龙江省地震局在前郭和乾安地区围绕震中 50 km 之内陆续布设 9 个流动台, 形成了临时的小型观测台阵, 对震区形成了比较好地监控。利用省内固定台、流动台及周边共享台站, 共同处理此次地震序列, 为我们提供了宝贵的波形和震相资料。针对此次震群序列许多地震学者开展了静态库伦应力^[7]、尾波 Q 值^[8]、各向异性^[9]、震源机制解^[10]等相关研究, 为震群趋势判定提供相关参考, 但尚未开展 b 值特征分析工作, 因此本项目将研究地震活动性参数 b 值在前郭地震序列的变化形态, 进一步探查 b 值与我省松原地区的地质与地体构造特征之间的关系, 从而也可为该区域地震预测提供相关数据参考。

因此, 利用现有的成熟方法, 所取得的丰富经验, 充分利用本省 2013 年前郭震群数据开展 b 值研究。为了保证地震目录的完整性, 从而使统计结果不受资料选取的影响, 先获取最小完整性震级, 进而采取最大似然法计算前郭震群 b 值, 研究该区域 b 值随深度的变化特征。

1 资料及方法

本研究使用 2013 年 10 月 31 日至 2015 年 2 月 28 日由吉林省固定台和流动台联合记录的前郭震群事件, 人工拾取 P 波和 S 波到时, 将两部分数据融合, 选择至少 4 个台站记录、走时残差 ± 3 s 的资料, 筛选后的震群事件共 404 次(图 1)。震群



F₁: 为扶余-肇东断裂带; F₂: 为查干泡-道字井断裂带南段; F₃: 查干泡-道字井断裂带北段

图1 研究区地震、台站、构造分布图

Fig.1 Distribution map of earthquakes, seismic stations and faults in study area

事件主要集中分布在 NE 向扶余-肇东断裂带与 NW 向查干泡-道字井断裂交汇处, 主要在查干泡-道字井断裂两侧扩展, 密集区长轴约 28 km, 短轴约 26 km, 呈椭圆形分布, 总体呈 NW 向展布。

鉴于 b 值的研究价值, 本文围绕 b 值开展相关研究, 我们利用 ZMAP 程序包^[11]中的相关功能实现, 其中 b 值是基于最大似然法解获得^[12]:

$$b = \frac{\log_{10} e}{\bar{M} - M_c} \quad (1)$$

M_c 为完整起始震级, \bar{M} 为平均震级, e 为自然对数的底数。

在计算 b 值时, 误差估计由 Shi 和 Bolt^[13]改进的公式求得:

$$\delta b = 2.3b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

其中 n 为样本个数。

2 地震目录完整性最小震级

目前, 统计分析在地震活动性研究中^[14]仍占据主导地位, 那么为了尽量避免统计结果不受资料选取的影响, 地震目录的完整性是非常重要的, 与此同时, 对于地震较少的地区, 我们希望能够充分使用获取的地震资料, 从而保证资料的完整性, 如果使用一个统一过高的估计值, 可能会导致许多有用的资料被截出。针对一个地震目录进行系统分析, 并给出其最小完整性震级 M_c 的时、空域分布是有实际意义的, 特别是对于各种时、空尺度的地震活动性研究。因此, 在计算前郭震群过程中, 地震目录的最小完整性震级 M_c 的选取是至关重要的^[14]。

完整起始震级 M_c 的估计非常关键, M_c 值的计算有多种方法, 我们采用 Wiemer 等人提出的一种正演技术, 对 404 次地震作拟合计算, 得到起始震级计算结果如图 2 所示, 在曲率最大处 M_c 值为 1.4, 因此, 选取前郭震群地震目录的最小完整性震级为 1.4。

M_c 值可以看作是吉林前郭震群发生地区的一个临界震级, 表征研究区域所能监测到的最小完整震级, 在计算前郭震群 b 值时, 只选择震级大于和等于 1.4 级的地震事件。

3 b 值随深度变化

针对前郭震群整理出的地震到时资料, 选取

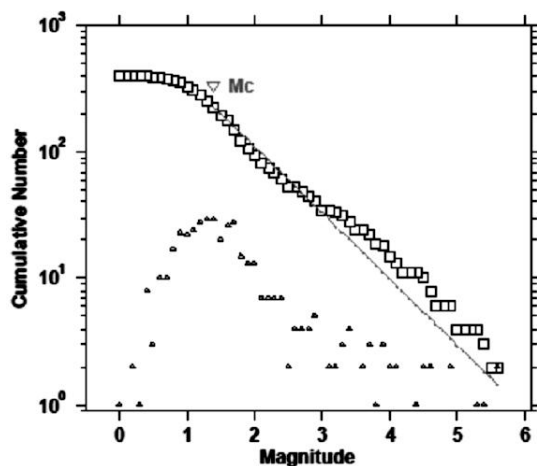


图 2 研究区 M_c 值及平均 b 值

Fig.2 The M_c -value and average b -value of study area

$M_c \geq 1.4$ 的地震事件参与计算, 共 226 次, 最终获得了吉林前郭震群的平均 b 值为 0.523, 误差为 ± 0.04 (图 2)。为详细分析研究区 b 值的空间分布特征, 我们将 b 值在深度上的变化展示出来 (图 3)。在深度上, b 值随震源深度增加而逐渐减小, 从 b 值变化曲线可以看出, 在地壳的浅部 (0~4 km) b 值较大, 在 4~8 km 范围内 b 值逐渐减小, 且在 8 km 深度 b 值最小。这样的分布特征与首都圈地区^[5]、江淮地区^[15]、邢台地区^[16]和美国加州地区^[2]的 b 值研究结果具有很好的一致性。

许多研究^[17,2]认为引起 b 值变化的因素主要有: 物质复杂程度、有效应力和温度等。一般认为,

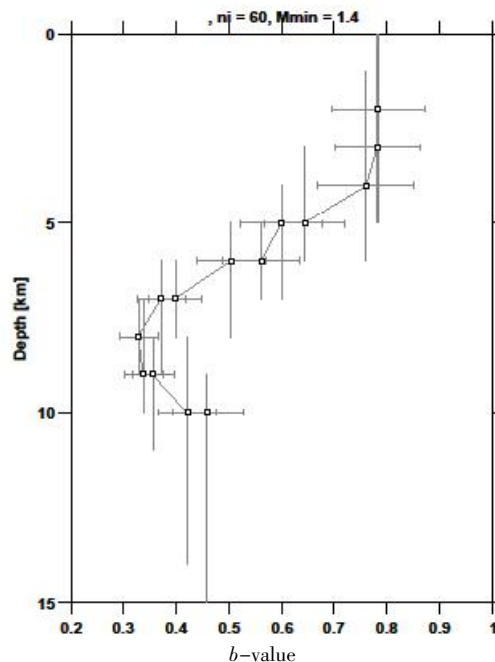


图 3 b 值随深度的变化

Fig.3 The changes of b -value along with the depth

高 b 值是由物质复杂程度的增加而导致的, 而 b 值减小是由有效应力增加而引起的, 介质的复杂程度与深度和正应力增加成反比的观点普遍存在。由此, b 值随震源深度增加而减小的系统变化背后的物理机制可以从介质复杂程度与应力状态的变化得到很好的解释。

Mori 等比较系统的研究了美国加州地区的 b 值随深度的变化, 认为这样的分布特征可能表明, b 值与地壳介质复杂程度及应力状态密切相关, 在地壳浅部介质复杂, 具有强烈的非均匀性, 且围岩压力值较低, 因此具有高 b 值; 随着震源深度增加, 围岩压力值增加, 地壳物质也趋于相对均匀, 具有低 b 值。因此小震多产生于地壳浅部, 而大震多发生于孕震层的底部。

综合分析本区域的 b 值随深度变化情况, 显示该区域 b 值在 0~8 km 随深度逐渐减小, 在 8 km 以下 b 值有所回升, 研究区内结构分层比较显著。这样的分布特征也表明在地壳浅部介质复杂伴随低围岩压力值, 因此具有高 b 值, 而随着深度增加, 地震介质相对均匀伴随高围岩压力, 因此具有低 b 值。研究区 b 值随震源深度逐渐减少并在 4~8 km 深度处最为明显, 可能表明该区域中强震孕震层多集中于 4 km 以下。

4 结论

本研究采用2013年10月31日至2015年2月28日前郭5.8震群地震目录, 计算了前郭震群发生地区的 b 值随深度的变化情况, 获得一些初步认识: 在深度上, 前郭震群地区 b 值随震源深度增加而逐渐减小, 具体表现为为浅层 (0~4 km) 高 b 值, 中部(4~8 km) b 值逐渐减小, 至 8 km 深度处 b 值最小, 8~10 km 深度处 b 值进一步升高。 b 值随深度的复杂变化, 表明本区域的地壳结构相对较复杂, 结构分层比较明显, 研究区域中强震孕震层多集中于 4 km 以下。

b 值能够反映介质所受应力的状态和介质的均匀程度, 而在地震序列 b 值的分布, 则可以帮助我们了解震源区应力变化和介质的破裂范围^[6], 此次震群序列中满足计算条件的地震事件相对较少, 震中分布过于集中, 吉林前郭地区 b 值随深度的变化较明显, 但在平面上的变化没有明显特征, 尚有待通过其它的方法、数据进一步完善。

参考文献:

[1] Gutenberg B, Richter C F. Frequency of earthquakes in California[J]. Bull Seismol. Soc. Am., 34: 185-188, 1944.

[2] Mori J, Abercrombie R E. Depth dependence of earthquake frequency-magnitude distributions in California: Implications for the rupture initiation[J]. Geophys Res., 1977, 102: 15801-15090.

[3] Wiemer S, McNutt S R, Wyss M. Temporal and three-dimensional spatial analyses of the frequency magnitude distribution near Long Valley Caldera [J]. California, Geophys. J. Int., 1998, 134: 409-421.

[4] Wiemer S, Wyss M, . Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan [J]. BSSA, 2000, 90 (4): 859-869.

[5] 朱艾澜, 徐锡伟, 胡平, 等. 首都圈地区 b 值随震源深度的变化: 对地震成核的意义[J]. 科学通报, 2005, 50 (8): 788-792.

[6] Singh A., Mishra O., Yadav R. et al. New insight into crustal heterogeneity beneath the 2001 Bhuj earthquake region of Northwest India and its implications for rupture initiations[J]. Asian Earth Sci., 2012, 48: 31-42.

[7] 刘宏岩, 巴艳芳, 刘博文. 2013 年吉林前郭 M_s 5.8 级地震产生的静态库仑应力影响研究[J]. 防灾减灾学报, 2014, 30 (3): 16-19.

[8] 张洪艳, 康建红, 卢燕红, 等. 2013 年吉林前郭 5.8 级震群地震序列尾波 Q 值研究[J]. 华北地震科学, 2014, 32 (3): 10-14.

[9] 刘莎, 吴朋, 杨建思, 等. 吉林省前郭地区地震各向异性的初步探讨[J]. 地球物理学报, 2014, 57 (7): 2 088-2 098.

[10] 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[J]. 地球物理学报, 2014, 57 (8): 2 541-2 554.

[11] Wiemer S, Malone S. A software package to analyze seismicity: ZMAP[J]. Seismological Res. Letters, 2001, 72 (2): 374-383.

[12] Aki K.. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits [J]. Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo, 1965, 43: 237-239.

[13] Shi Y, Bolt B. . The standard error of the magnitude-frequency b value [J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 1982, 72 (5): 1 677-1 687.

[14] 苏有锦, 李永莉, 李忠华, 等. 川滇地区区域地震目录完整性最小震级分析[J]. 地震研究, 2003, 26: 10-16.

[15] 沈小七, 姚大全, 陈安国, 等. 江淮地区地震精定位及 b 值随深度的变化研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31 (6): 1-7.

[16] 尹宝军, 马丽. 邢台地震 b 值的深度变化特征分析[J]. 华北地震科学, 2006, 24 (2): 50-54.

[17] Gerstenberger M, Wiemer S, Giardini D, et al. A systematic test of the hypothesis that the b value varies with depth in California[J]. Geophys Res Lett, 2001, 28: 57-60.