

青海地区地震目录最小完整性震级研究*

王培玲, 胡 玉

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 利用震级一序号法、多种方法定量分析法和 $G-R$ 关系等方法, 计算研究了不同时间段内青海地区中小地震目录的最小完整性震级, 并给出了青海地区及其他研究区域内不同时间段地震目录的最小完整性震级。

关键词: 地震目录; 最小完整性震级; 青海地区

中图分类号: P315.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-0040-05

0 引言

青海省地处青藏高原北部地区, 是一个地震频发区。受自然条件限制, 测震和前兆监测台站分布不均匀。多年来, 地震学方法在地震预测预报研究中发挥着重要的作用, 利用地震目录进行统计分析和参数计算占主导地位。但是, 基于地震目录进行的地震学预报方法在地震活动时、空、强图像变化特征的研究中, 存在许多问题, 如地震目录最小震级 (苏有锦等, 2003; 焦远碧等, 1990) 和地震学参数间的相关性问题 (韩渭宾等, 2001) 等。

地震目录最小完整性震级 M_c 是指地震目录中该震级以上的地震是完整的、没有遗漏的。地震目录的完整性由实际地震监测能力决定。在使用地震目录时忽略不同地区、不同时间段内的监测能力, 笼统地选取一个起始震级进行地震学方法的计算研究, 会影响计算结果的实用性、普适性和科学性 (沈建文, 蔡长青, 1998)。

本文以青海地区 ($32^\circ \sim 40^\circ N$, $89^\circ \sim 104^\circ E$) 为研究区, 开展不同统计时段最小完整性震级的研究, 给出青海地区及各区不同时间段内, 地震目录的最小完整性震级。

1 青海省地震监测历史

青海省的地震监测工作最早可追溯到 1957 年, 由中国科学院地球物理研究所在西宁市建立了配有 513 型地震仪的地震台。1964 年为监视我国第一次核试验, 分别在乌兰、格尔木、门源等地建

立了地震台, 在完成核试验监视任务之后, 停止观测。1972 年青海省地震队成立后, 先后建成了门源、西宁、乌兰、香日德、玛多和诺木洪地震台。1976~1981 年陆续建成了大武、格尔木、玉树、德令哈、湟源、乐都等测震台, 初步形成了地震观测台网。由于青海地域辽阔, 地质构造复杂, 受自然环境的制约, 测震台 (点) 总体分布稀疏且极度不平衡, 即东北部较多, 西部较少, 西南部更少。以现有的地震台站可监控 $72 \times 10^4 \text{ km}^2$ 范围地域内的地震, 其监控能力远远不够, 降低了观测资料的科学性和可用性, 不能满足地震监测、预报和科研工作的需要。“九五”期间对格尔木、西宁、花土沟、湟源和都兰地震台进行了数字化观测技术的改造。由于改扩建的台项少, 无法组网, 不能发挥其应有的功能, 青海省仍然以模拟地震台网为主, 用于日常地震观测的台站

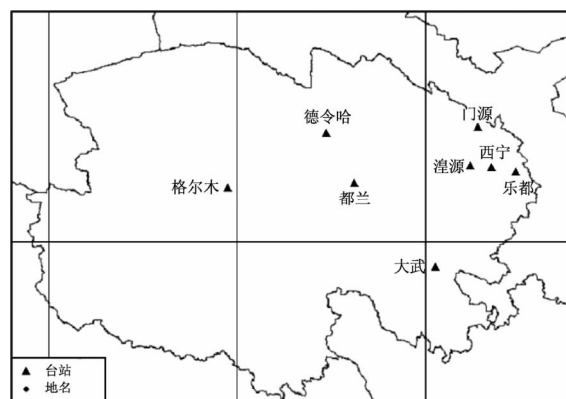


图 1 2007 年前青海省模拟地震观测台站分布图
Fig. 1 Distribution of analogue seismic observation stations in Qinghai Province before 2007

* 收稿日期: 2014-08-30.

仅有 8 个 (图 1), 监测能力仍然很低 (青海省地震局, 2005)。2007 年 9 月青海省建成了数字地震观测台网。截至 2013 年底青海数字地震观测台网中心, 能够接收青海及邻区省份共 47 个台站 (图 2) 的数字地震观测资料, 大大地提高了青海地震监测能力, 也提高了西部和西南部地震监测能力。

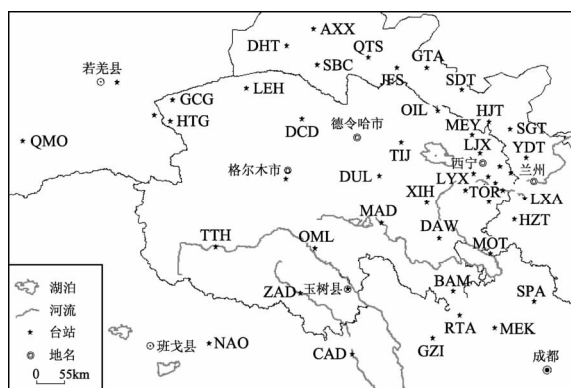


图 2 2007 年后青海省数字地震观测台站分布图

Fig. 2 Distribution of digital seismic observation stations in Qinghai Province after 2007

2 地震目录最小完整性震级分析

青海地区使用的中小地震目录始于 1970 年, 由于社会经济文化发展不平衡、台站布局和建设不完善, 造成了地震目录中不同时间段和不同地区的中小地震的缺失, 即地震目录的不完整。因此开展地震学方法研究工作前, 首先对所使用

的地震目录进行完整性分析 (何宗海, 1994; 刘丽芳等, 2012; 李志海, 2011; 秦娟, 2012), 以保证后续使用地震目录开展统计和参数计算研究的正确性和科学性。

由于 $G-R$ 关系计算最小完整性震级 (M_c) 的方法基于简单的分布假定, 计算中便于操作, 因此本文主要利用该方法对青海地区内不同时间段、不同区域的地震目录进行最小完整性震级的计算研究。还基于 $G-R$ 关系对计算 M_c 的其他方法, 如定性评估的“震级—序号”法 (Ogata *et al.*, 1991)、定量评估的“最大曲率”MAXC 方法及拟合度分别为 90% 和 95% 的 GFT 方法 (Wiener S, Wyss, 2000) 进行了计算研究和佐证。

本文以 1970 年以来青海地区 ($32^\circ \sim 40^\circ \text{N}$, $89^\circ \sim 104^\circ \text{E}$) 小震目录为例, 进行 M_c 计算, 研究其时序变化特征 (冯建刚等, 2012; 王鹏等, 2011)

2.1 “震级—序号”法

利用“震级—序号”法按地震发生时间的先后顺序排序, 考察不同震级的地震数密度分布来定性分析 1970~2013 年青海地区小震目录的 M_c 。从图 3 可以看出, 在 1970~1980 年间, 青海地区小震主要集中在 2.2~3.5 级之间, 1980~1990 年间主要集中在 2.0~3.0 级之间, 1990~2008 年主要集中在 1.5~2.5 级之间, 2008 年至今主要集中在 1.0~2.0 级之间。由此看出, 随着监测能力的提高, 特别是 2007 年 9 月青海省数字地震台网正式运行后, $M \leq 2$ 地震记录明显增多, 目录的最小完整性震级 M_c 在 1.0~2.0 之间。

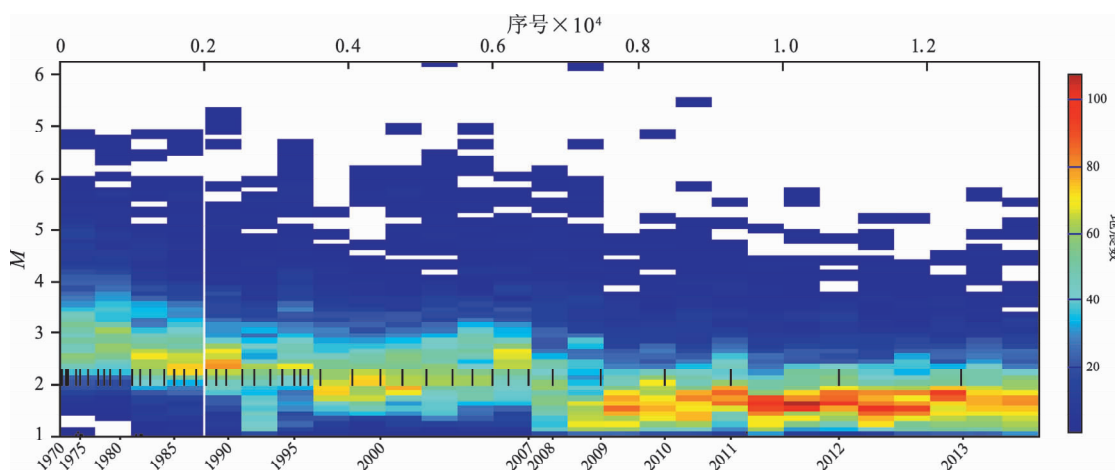


图 3 1970 年以来青海地区地震事件震级—序号图

Fig. 3 Magnitudes and related order number diagram of earthquakes in Qinghai region since 1970

2.2 多种方法定量分析

利用 MAXC 方法和 GFT 方法进行多方法的定量分析。其中 MAXC 方法是将震级—频度曲线一阶导数最大值对应的震级作为 M_c 。GFT 方法是通过搜索给定的实际与理论震级—频度分布下的拟合程度百分比来确定 M_c 。这里分别称为 GFT-90% 和 GFT-95%。由于不同方法同时使用, 结果不唯一, 产生优选问题, 设定优先级为 GFT-95% > GFT-90% > MAXC, 选取可计算且优先级高的 M_c -Best 为最终结果。

图 4 给出了最大曲率法 MAXC (红色) 的计算结果, 拟合度分别为 90% (蓝色) 和 95% (蓝绿色) 的检测结果, 利用多方法的定量分析, 得

出最佳最小完整性震级 M_c -Best (黑色), 即根据现有的地震目录, 能计算得到的最接近理论的线性震级—频度关系的拟合, 从图中可以看出 2007 年以后, 拟合度 95% 的曲线 (蓝绿色) 和拟合度 90% 的曲线都存在, 也就是说 2007 年后的地震目录在进行多种方法的定量分析时, 能够满足设定的优先级 (GFT-95% > GFT-90% > MAXC), 最优起算震级为 $M \leq 2$ 。由此进一步说明青海省数字地震台网正式运行前 (1970~2007 年), 由于台站稀少且分布不均匀, 监测能力比较低, 很难达到和满足设定的优先级别。而 2008 年以后, 由于数字地震台网的运行, 台站数量的增多和分布的改善, 使得青海地区的监测能力得到了提高。

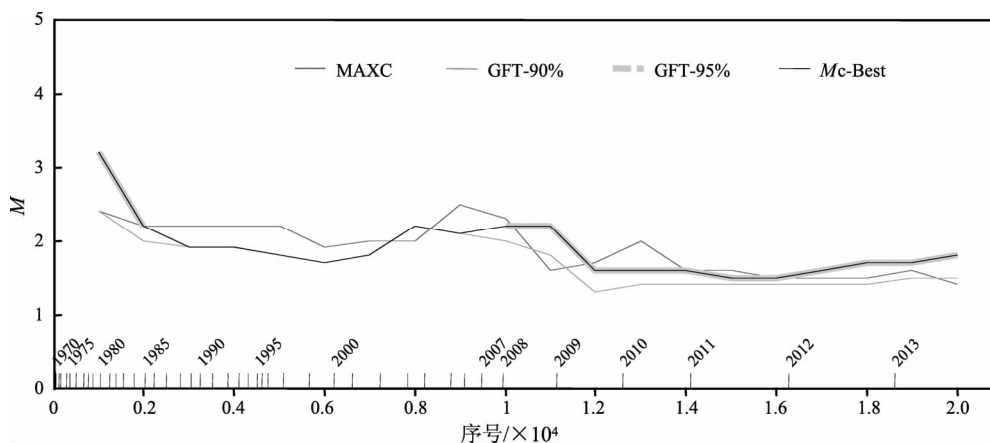


图 4 青海地区最小完整性震级 M_c 时序变化曲线 (多方法)

Fig. 4 Temporal variation curve of the minimum completed magnitudes (M_c) in Qinghai region (multi-methods)

2.3 G-R 关系分析

基于地震目录和统计地震学的 M_c 计算方法主要是基于震级不小于 M_c 的地震在震级—频度分布上满足 $G-R$ 关系的假定 (Gutenberg, Richter, 1944), 即

$$\lg N = a - bM. \quad (1)$$

式中, M 是地震震级, N 是研究区内震级大于等于 M 的总次数, a 和 b 为统计常数。当震级—频度分布中, 能够满足 $G-R$ 关系时, 对应的最小起始震级即为 M_c , 并认为这些地震的记录是完整的。

选取 1970~2013 年间青海地区小震目录进行 $G-R$ 关系计算, 从图 5 中虽然可以看出 $M \leq 1.3$ 地震明显偏离直线关系, 但是却不能将 1.3 作为地震目录的 M_c 。因为在 1970~2013 年间, 青海省台网进行了多次调整和架设, 直到 2007 年 9 月青海

数字地震台网投入运行后, 地震台站数量成倍增长、布局得到改善, 提高了地震台网分布密度,

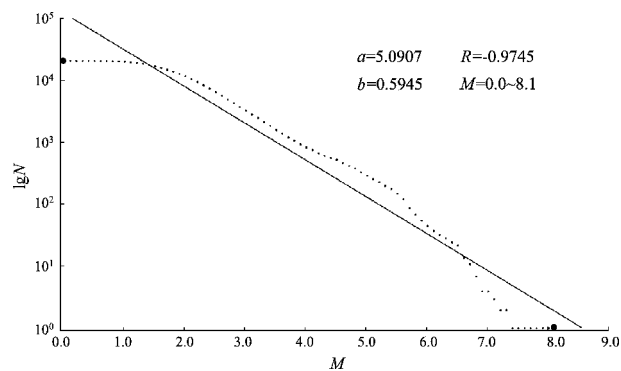


图 5 1970~2013 年青海地区小震目录 $G-R$ 关系拟合曲线

Fig. 5 The fitted curve of $G-R$ relation of small earthquakes catalogue in Qinghai region from 1970 to 2013

但是实际地震监测能力仍达不到该水平。这个震级下限反映了 40 多年来青海地区的地震活动优势地区或时段的监测能力，而可能将监测能力较差地区或时段的实际情况掩盖掉。所以本文在进行 $G-R$ 关系分析时，将根据不同时段，对不同区域进行分析，结合相关系数 R ，选取拟合效果最好的起算震级作为该时段内的最小完整性震级 M_c 。

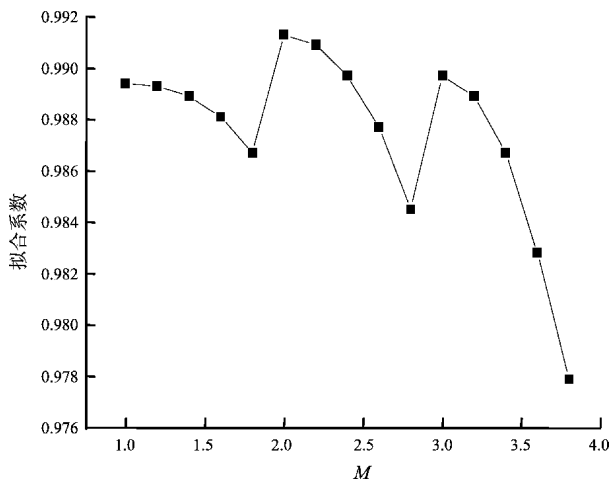


图 6 1970 ~ 2013 年青海地区小震目录不同最小完整性震级相关系数变化曲线

Fig. 6 Correlation coefficient variation curve of different minimum completed magnitudes of small earthquake catalog in Qinghai region from 1970 to 2013

根据 1970 ~ 2013 年青海省小震目录，通过 $G-R$ 关系拟合得出不同最小完整性震级的相关系数可以看出（图 6），当起算震级为 2.0 时，得到的相关系数最高， $G-R$ 关系拟合效果最好，因此这

一时间段内，青海地区小震目录的最小完整性震级可以选为 2.0 级。

从 2000 ~ 2013 年，青海省小震目录的 $G-R$ 关系拟合曲线（图 7）可以看出，当 $M \leq 1.5$ 时，样本点明显偏于直线下方，因此取最小完整性震级为 1.5。由此得出了不同时间段、不同区域内，小震目录的最小完整性震级（表 1）。

从表 1 中可以看出，不同时间段、不同区域地震目录的最小完整性震级存在明显差异，如同一时间段内唐古拉地震带与祁连地震带相比，唐古拉地震带最小完整性震级明显高于祁连地震带，这也反映出唐古拉地震带的实际监测能力明显低于祁连地震带。自 2008 年后唐古拉地震带上由原先的没有地震监测台增加到 5 个台，监测能力得到提高。

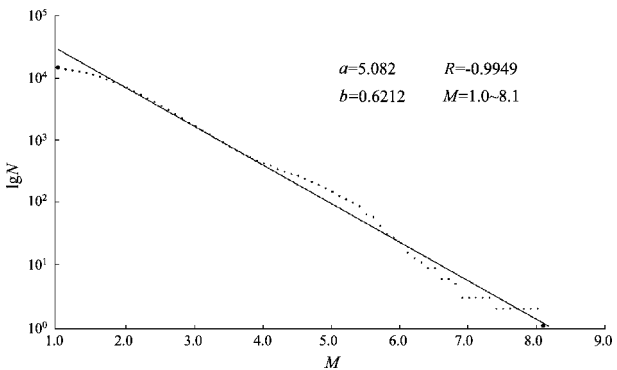


图 7 2000 ~ 2013 年青海地区小震目录 $G-R$ 关系拟合曲线

Fig. 7 The fitted curve of $G-R$ relation of small earthquakes in Qinghai region from 2000 to 2013

表 1 不同时间段、不同地区地震目录最小完整性震级

Tab. 1 Minimum completed magnitude of earthquake catalogue in different time at different area

地区	最小完整性震级									
	1970 ~ 2013 年		1980 ~ 2013 年		1990 ~ 2013 年		2000 ~ 2013 年		2008 ~ 2013 年	
	震级	R	震级	R	震级	R	震级	R	震级	R
青海地区 (32° ~ 40°N, 89° ~ 104°E)	2.0	-0.993 0	2.0	-0.994 8	2.0	-0.995 8	1.5	-0.996 9	1.0	-0.997 2
祁连地震带	2.0	-0.996 3	2.5	-0.994 2	1.5	-0.993 5	2.0	-0.997 0	2.0	-0.999 0
祁连山西段 (37.5° ~ 40°N, 97° ~ 100.5°E)	2.0	-0.997 0	2.0	-0.997 0	2.0	-0.996 5	2.0	-0.994 7	2.0	-0.997 9
祁连山东段 (36.5° ~ 39.5°N, 100.5° ~ 104°E)	2.0	-0.996 5	2.0	-0.993 3	2.0	-0.992 6	1.0	-0.995 6	1.0	-0.995 0
库玛地震带	2.0	-0.997 8	2.0	-0.996 3	1.5	-0.996 0	1.3	-0.995 9	1.9	-0.997 4
唐古拉地震带	4.0	-0.974 9	4.0	-0.988 2	4.0	-0.988 2	4.0	-0.985 7	2.0	-0.996 6

3 讨论与结论

本文介绍了青海省的地震观测发展历史和现状,对青海省地震观测台网台站布设、地震记录进行了梳理。但由于青海省地震观测台网布设历史记载不详实,无法准确掌握台站布设增减的具体时间,只能笼统的将青海省地震观测发展时期按模拟记录和数字记录加以区分,即 2008 年前为模拟地震台网观测,2008 年后为数字地震台网观测。从地震震级序号法和多种方法定量分析,都可以明显的看出 2008 年前后,青海省地震目录的最小完整性震级在 1.0 ~ 2.0 之间。而利用 $G-R$ 关系计算出 2008 年以后地震目录的最小完整性震级为 1.5。由此可以看出数字地震观测台网大大地提高了青海省的地震监测能力,有些区域不同时间段内的最小完整性震级存在明显的差异,如库玛地震带内 1990 ~ 2013 年和 2000 ~ 2013 年两个时间段内,虽然不存在地震台网架设增减问题,但是,这两个时间段相比,可能 2000 ~ 2013 年是 $M \geq 1.3$ 地震的活动优势活动时间段。而 1990 ~ 2013 年 $M \leq 1.5$ 地震相对比较少。由此认为本文最终给出的最小完整性震级是合理的。

笔者根据日常地震预报工作中选取时间段的实际使用情况,人为地对地震目录进行时间段的划分可能不够严谨,但是这样划分仅为了方便日常预报工作中利用地震目录进行测震学参数时间扫描计算和地震危险性分析等工作要求。

本文计算程序由蒋长胜博士提供,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- 冯建刚,蒋长胜,韩立波,等. 2012. 甘肃测震台网监测能力及地震目录完整性分析[J]. 地震学报,34(5):646-658.
- 韩渭宾,易桂喜,辛华. 2001. 与频度或能量有关的各种地震学指标的相关性研究[J]. 地震学报,23(6):582-587.
- 何宗海. 1994. 中国南北地震带中北部最小完整性震级的探讨[J]. 西北大学学报,24(5):411-416.
- 焦远碧,吴开统,杨满栋. 1990. 我国地震台网监测能力及台网观测条件质量评定[J]. 中国地震,6(4):1-71.
- 李志海,蒋长胜,黄瑜,等. 2011. 新疆地区地震目录最小完整性震级和台网科学布局研究[J]. 地震学报,33(6):1-13.
- 刘丽芳,李志海,蒋长胜. 2012. 云南地区地震目录最小完整性震级研究[J]. 地震研究,35(4):491-498.
- 秦娟,蔡辉腾,李光,等. 2012. 重庆地区小地震完整性分析[J]. 华南地震,32(1):64-70.
- 青海省地震局. 2005. 青海省地震监测志[M]. 北京:地震出版社,9-10.
- 沈建文,蔡长青. 1998. 起算震级与衰减不确定性校正[J]. 中国地震,14(4):36-43.
- 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.
- 王鹏,郑建常,赵金花,等. 2011. 山东地区最小完整性震级的确定— $R-S$ 检验[J]. 华北地震科学,29(3):19-22.
- Gutenberg R., Richter C. F. 1944. Frequency of Earthquakes in California[J]. BSSA,34:185-188.
- Ogata Y., Imoto M., Katsura K. 1991. 13-D Spatial Variation of b-values of Magnitude-frequency Distribution beneath the Kantodistrict, Japan[J]. Geophys J. Int., 104(1):135-146.
- Wiemer S., Wyss M. 2000. Minimum Magnitude of Completeness Reporting in Earthquake Catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 90(4):859-869.

Study on Minimum Completed Magnitude of Earthquake Catalogue in Qinghai Region

WANG Pei-ling, HU Yu

(Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract

The minimum completed magnitudes of the catalogue of moderate and small earthquakes in different periods in Qinghai region are calculated and studied by the magnitude and the related order method, quantitative analyze method in multi-method and the $G-R$ relation method, and the minimum completed magnitudes are determined in different periods in Qinghai and other study regions.

Key words: earthquake catalogue; minimum completed magnitude; Qinghai region