Pure Mathematics 理论数学, 2023, 13(10), 2775-2779
Published Online October 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/pm
https://doi.org/10.12677/pm.2023.1310285

Hans汉斯

四川地区及周缘地震目录完整性分析

罗文静

成都理工大学数理学院，四川 成都

收稿日期：2023年9月2日；录用日期：2023年10月2日；发布日期：2023年10月9日

摘 要

四川地区是中国地震活动频繁的地区之一，地震目录的建立对于了解地震活动、评估地震危险性以及制定地震防灾措施具有重要意义。然而，由于地震数据的来源多样性和数据质量的差异性，四川地区的地震目录存在一定的不完整性。因此，本研究旨在通过对四川地区及其周缘历年来的地震数据进行整理和分析，建立一份统一的地震目录，并对统一的地震目录进行除丛，完整性分析采用Stepp (1972)提出的方法来确定不同震级范围内数据完整的时间间隔。分析结果表明：在震级范围为$2.5 \le M_W < 3$，$3 \le M_W < 3.5$和$M_W \ge 4$的情况下，数据分别对于过去13年(2010~2023)，37年(1986~2023)和55年(1968~2023)是完整的。这些研究对于了解四川地区及其周缘的地震分布以及该地区的地震危险性评估提供了重要的依据。

关键词

地震目录，震级标度，除丛，完整性分析

Completeness Analysis of Earthquake Catalog in Sichuan Area and Surrounding Areas

Wenjing Luo

College of Mathematics and Physics, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Received: Sep. 2nd, 2023; accepted: Oct. 2nd, 2023; published: Oct. 9th, 2023

Abstract

Sichuan is one of the areas with frequent seismic activity in China. The establishment of earthquake catalog is of great significance for understanding seismic activity, assessing seismic risk and

文章引用: 罗文静. 四川地区及周缘地震目录完整性分析[J]. 理论数学, 2023, 13(10): 2775-2779.
DOI: 10.12677/pm.2023.1310285

formulating earthquake disaster prevention measures. However, due to the diversity of seismic data sources and differences in data quality, the earthquake catalog in Sichuan is somewhat incomplete. Therefore, this study aims to establish a unified earthquake catalog by sorting and analyzing seismic data in the Sichuan area and its surrounding areas over the years, and to de-clump the unified earthquake catalog. The integrity analysis is based on the method proposed by Stepp (1972) to determine the complete time intervals for data in different magnitude ranges. The analysis results show that the data are complete for the past 13 years (2010~2023), 37 years (1986~2023) and 55 years (1968~2023) respectively in the magnitude range of, and. These studies provide important basis for understanding the distribution of earthquakes in and around Sichuan and the assessment of seismic risks in the region.

Keywords

Earthquake Catalog, Magnitude Scale, Cluster Removal, Integrity Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 震级标度的统一

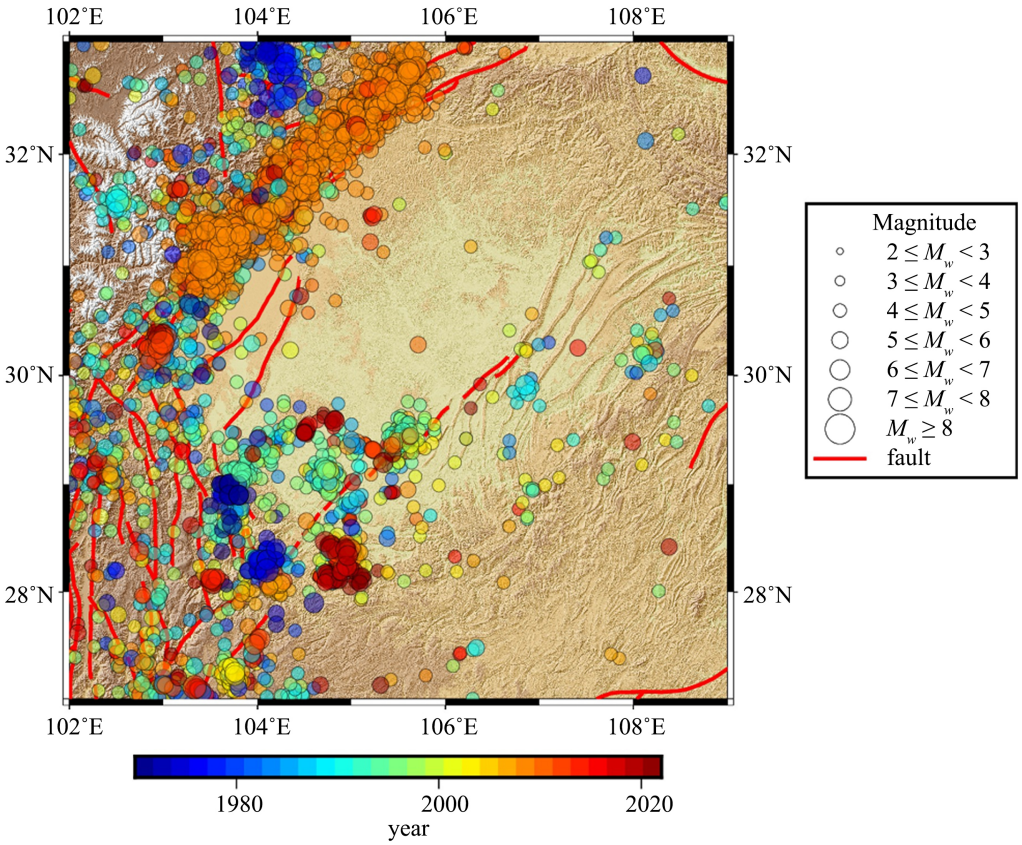

Figure 1. Distribution of earthquake catalogs
图 1. 地震目录分布

地震目录是概率地震危险性分析最重要的基础资料。地震记录中包含的地震目录有多种震级标度，它们之间存在一些差异。不同的震级标度反映了地震波在不同周期范围内辐射地震波能量的大小，对于同一地震，不同的震级标度，其结果也不可能完全一致(黄春梅等，2018) [1]，这将给地震目录的研究和应用带来了一系列的挑战和困扰(陈运泰等，2004；张宏志等，2007) [2] [3]。对地震目录的震级标度进行统一是地震活动性分析的重要前提，而地震目录完整性分析的展开则是一项重要的前期工作。其中矩震级(M_W)是现在国际上首选的震级标度，与其他震级标度相比，矩震级与地震的能量有更直接的关系，并且不存在饱和问题。

本文研究使用的地震目录资料是来自国家地震科学数据中心(National Earthquake Data Center, https://data.earthquake.cn/)。国家地震科学数据中心记录的地震目录通常是其他震级标度，如我国经常使用的震级为面波震级(M_S)和近震震级(M_L)，这将对我们的研究带来诸多不便，因此需要将研究区域编译出一个统一的 M_W 目录。

在 1970 年以后国家地震观测台网才开始进行现代地震观测的，因此在国家地震科学数据中心下载了四川地区及周缘(102˚~109˚E, 27˚~33˚N) 1970~2023 年 2 月 3 级以上的地震作为研究资料，该地震目录中包含 M_S，M_{S7}，m_L 等其他震级标度。首先使用了 Bormann 等(2007) [4]运用正交回归方法，拟合出 M_{S7}，M_L，m_b，m_B 与 M_S 的经验公式，其中针对一个地震事件可能存在多个震级标度的地震时，根据 Bormann 等(2007) [4]给出的残差均方误差，依次选择 M_{S7}，m_L，m_b，m_B 与 M_S 进行拟合。再结合程佳(2017) [5]使用一般正交回归法，拟合出不同时段 M_S 与 M_W 的统计关系，将 M_S 转换成 M_W。图 1 显示的是统一震级之后的地震分布情况。

2. 地震目录的除丛

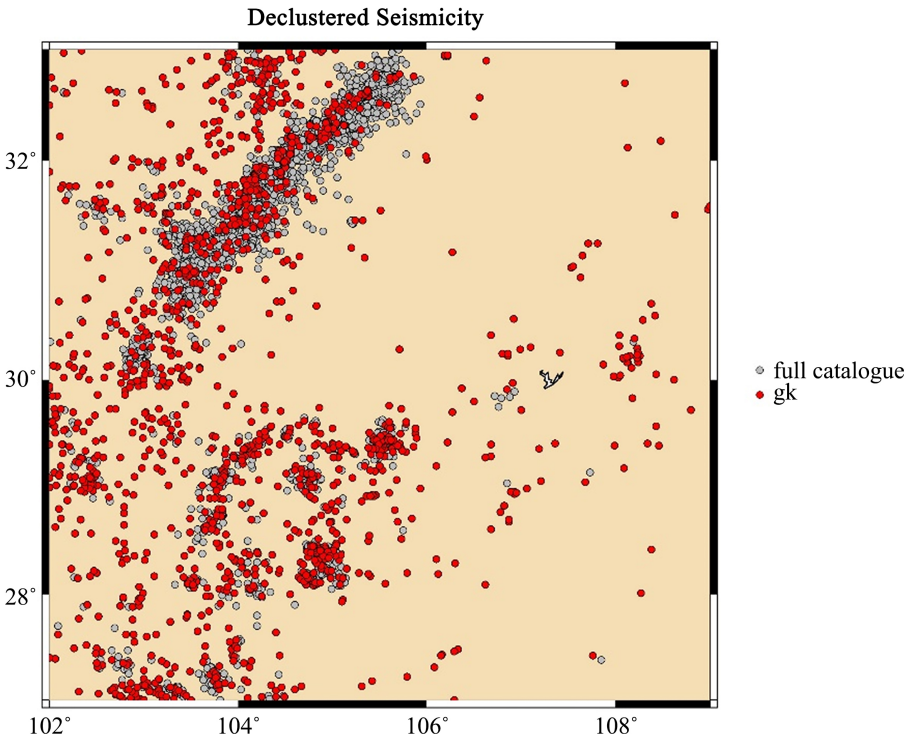

Figure 2. Using the Gardner and Knopoff (1974) algorithm to de-clump the earthquake catalog in and around Sichuan
图 2. 使用 Gardner 和 Knopoff (1974)算法对四川地区及周缘的地震目录除丛

地震活动分析需要使用遵循泊松分布的独立事件(Reiter, 1990; Frankel, 1995) [6] [7]，因此，地震目录必须不含相关事件(前震和余震)，保留主震，即对地震目录除丛。除丛是一项相当主观的任务，因为对于如何区分独立事件和相关事件没有明确的定义。在基于不同假设的众多算法中，Gardner 和 Knopoff (1974) [8]窗口方法是最常用的一种。Gardner 和 Knopoff (1974) [8]最初建议的窗口近似为：

$$\text{distance}(\text{km}) = 10^{0.1238M+0.983}$$

$$\text{time}(\text{decimal years}) = \begin{cases} 10^{0.032M+2.7389} & \text{if } M \geq 6.5 \\ 10^{0.5409M-0.547} & \text{otherwise} \end{cases}$$

该研究区域的原始地震目录一共有 4000 个地震，采用 Gardner 和 Knopoff (1974) [8]算法对地震目录进行了除丛，删除 247 个地震丛集，其中有 764 个前震和 1844 个余震。最后，剩余的主震目录有 1392 个地震事件，如图 2 显示的是除丛之后地震目录的分布情况。

3. 完整性分析

只有完整、统一的地震目录才能确定各地区的地震活动性参数。一般采用 Stepp (1971) [9]方法来评估地震目录的完整性，该方法将所有地震事件按照不同的震级间隔分组，通过计算该震级范围内目录中的地震数(N)来定义特定震级档的完整性，从现在开始往后推移。为了进行完整性分析，将所有独立的地震的震级间隔划分为 0.5，时间间隔划分为 5 年。Stepp (1971) [9]在 OpenQuake [10]中实现的完整性分析的结果如图 3 所示，根据绘制的标准偏差 $\sigma_\lambda = \sqrt{\lambda}/\sqrt{T}$ 与 T 之间的对数图，可以估计出完整年份，如表 1 所示。

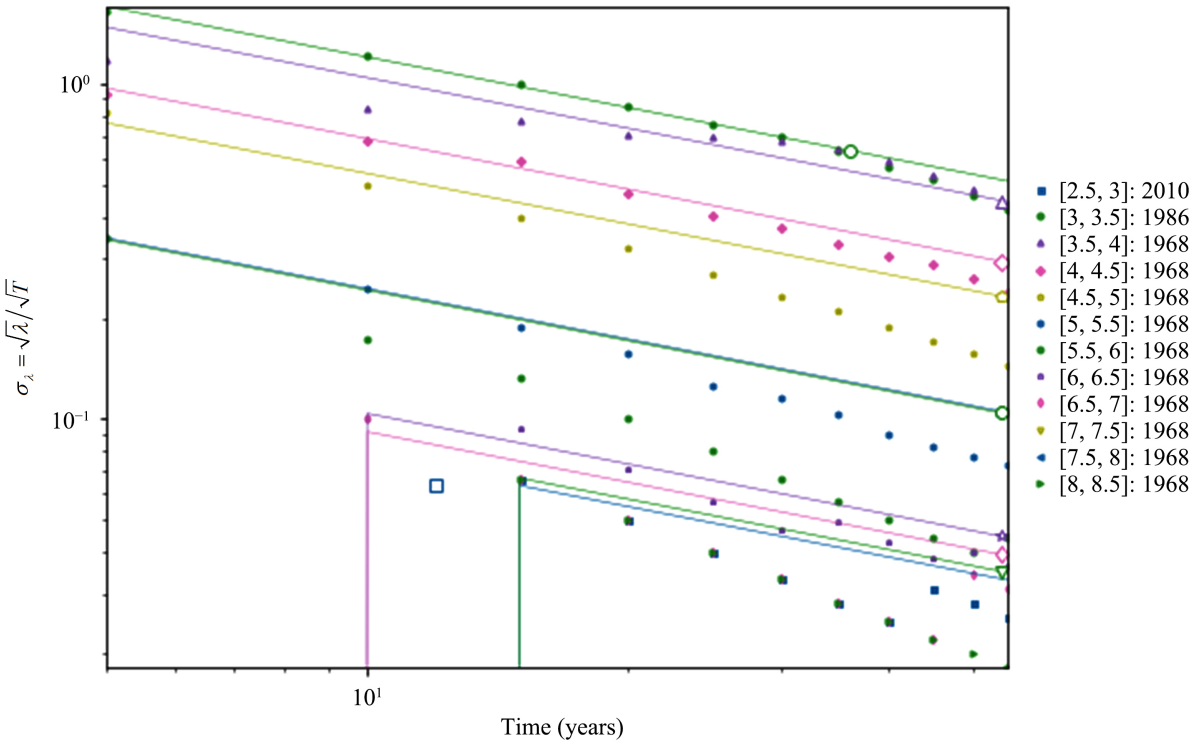

Figure 3. Completeness analysis of earthquake catalogs with different magnitude ranges using the Stepp (1972) method
图 3. 使用 Stepp (1972)方法对不同震级范围的地震目录进行完整性分析

Table 1. Completeness analysis of seismicity catalogs in different magnitude ranges
表 1. 不同震级范围的地震性目录的完整性分析

地震震级间隔	完整性年	完整性的年份间隔
$2.5 \le M_W < 3$	2010	13
$3 \le M_W < 3.5$	1986	37
$M_W \ge 4$	1968	55

4. 结论与讨论

通过上述研究可以看出，将所有地震事件都被划分为一个震级范围，从 2.0 级开始，间隔 0.5 级。在 $2.5 \le M_W < 3$ 的震级区间近 13 年(2010~2023)的数据较为完整，$3 \le M_W < 3.5$ 的震级区间在近 37 年较为完整，$M_W \ge 4$ 的地震目录事件在过去 55 年中是完整的。这种现象的原因可能是因为在过去，没有仪器化地震图网格的情况下，低震级事件可能没有被充分地注意到或记录下来。随着技术的进步，我们能够更准确地检测和记录较小的地震，因此对于较低的震级范围，近年来的数据更加完整。

这一发现对于我们理解地震活动具有重要意义。首先，完整的地震目录是地震学研究的基础，它提供了研究地震活动分析所需的数据。准确了解地震活动的分布和特点，可以帮助我们更好地评估地震灾害和风险，为相关地区的防灾准备和应对提供支持。其次，地震数据的完整性还能反映出地震监测和研究的发展水平。随着技术的不断进步，我们能够更好地记录和研究较小和较高的震级事件，从而提升了地震活动的监测和分析能力。这有助于我们更好地了解地震的发生机制和地震活动的演化规律，为地震预测和预警工作提供更可靠的依据。

总的来说，地震数据的完整性研究为地震学研究和地震风险评估提供了基础，同时也反映了地震监测技术的进步和发展。对于不同震级范围内数据完整性的发现，告诉我们在进行相关研究和预警工作时，需要考虑数据的时间跨度和质量，以获得更准确和全面的结果。

参考文献

[1] 黄春梅, 苏金蓉, 唐淋, 魏娅玲, 吴朋, 王宇航. 新震级国家标准在四川台网的应用——宽频带面波震级简[J]. 华北地震科学, 2018, 36(1): 25-30.

[2] 陈运泰, 刘瑞丰. 地震的震级[J]. 地震地磁观测与研究, 2004, 25(6): 1-12.

[3] 张宏志, 刁桂苓, 赵明淳, 王勤彩, 张骁, 黄媛. 不同标度震级关系和台基影响问题探讨[J]. 中国地震, 2007, 23(2): 141-146.

[4] Bormann, P., Liu, R., Ren, X., Gutdeutsch, R., Kaiser, D. and Castellaro, S. (2007) Chinese National Network Magnitudes, Their Relation to NEIC Magnitudes, and Recommendations for New IASPEI Magnitude Standards. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**, 114-127. https://doi.org/10.1785/0120060078

[5] 程佳. 川滇地区地震危险性预测模型[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2017.

[6] Reiter, L. (1991) Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights. Columbia University Press, New York.

[7] Frankel, A. (1995) Mapping Seismic Hazard in the Central and Eastern United States. *Seismological Research Letters*, **66**, 8-21. https://doi.org/10.1785/gssrl.66.4.8

[8] Gardner, J.K. and Knopoff, L. (1974) Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, **64**, 1363-1367. https://doi.org/10.1785/BSSA0640051363

[9] Stepp, J.C. (1971) An Investigation of Earthquake Risk in the Puget Sound Area by Used of Type I Distribution of Largest Extremes. PhD Thesis, Pennsylvania State University, Pennsylvania.

[10] Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., *et al*. (2014) OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters*, **85**, 692-702. https://doi.org/10.1785/0220130087