科 学 通 报
第 39 卷 第 20 期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1994 年 10 月

地震能量标度律的宽频带地震学检验

吴忠良
(国家地震局地球物理研究所，北京 100081)

高 原
(国家地震局分析预报中心，北京 100036)

关键词 标度律、地震辐射能量、宽频带地震学

在应用于地震问题的非线性物理学研究中有一个普遍引用的推导．由 Gutenberg-Richter 定律

$$\log N = a - bm, \tag{1}$$

这里 N 是震级不小于 m 的地震的累积频度，a, b 为常数，并使用震级 m 与地震辐射能量 E 之间关系的假定

$$\log E = c + dm, \tag{2}$$

则很容易得出地震辐射能量与累积频度之间的关系

$$N \propto E^{-f}, \tag{3}$$

式中 f 为常数．这个关系具有典型的标度律的形式，曾被认为是地震断层系的分形特征的反映[1]，最近则被解释为地震现象的自组织临界性的直接结果[2]．

由(3)式所描写的地震辐射能量的标度律在应用于地震问题的非线性物理学研究中具有关键性的地位[2—4]．然而，在以往的地震学研究中，地震辐射能量的测定只用了频带有限的地震信号，并需要依据一定的模式对频带覆盖范围以外的成分进行外推．由此得到的结果具有相当大的不确定性[5]．

近年来，宽频带地震学(Broadband seismology)迅速发展，人们已经可以在相当宽的频带范围内无畸变地测量地震辐射能量．用宽频带辐射能量的测定结果检验地震辐射能量的标度律是否成立也因此成为可能．为了用更接近真实的地震辐射能量检验地震辐射能量的标度律，我们分析了 NEIC 初始震中测定月报(Preliminary determination of epicenters monthly listing)中提供的宽频带辐射能量的测定结果．NEIC 宽频带辐射能量的测定使用 Boatwright 和 Choy[5] 提出的方法，通过远震范围内深源地震的 P 波和浅源地震的 $P+pP+sP$ 混成 P 波的谱密度的频域积分进行．原始的长周期(LP)和短周期(SP)波形或中周期(IP 或 BB)波形使用 Harvey 和 Choy[6] 发展的方法通过频域反褶积变成宽频带位移记录和宽频带速度记录．宽频带记录中包括了从接近“零频极限”到中强地震的拐角频率以上的频带范围内的信息．衰减效应由 Choy 和 Cormier[7] 引入的宽频带衰减算子进行校正．用于测定能量的震源机制解使用 P 波初动解、哈佛 CMT 解或 USGS 矩张量解，由三者之间的差别所带来的能量计算结果的差别在能量测定的误差范围之内．

图 1(a)、(b)、(c)给出了 1991 年全球范围内宽频带地震辐射能量与哈佛标量地震矩、体波

1994-01-25 收稿，1994-06-26 收修改稿．

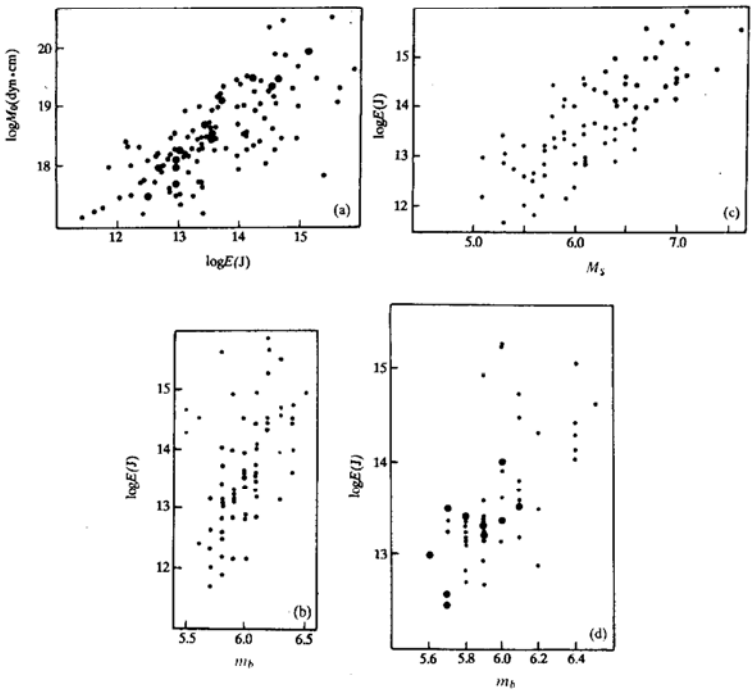

图 1

(a) 1991 年全球地震的宽频带辐射能量 E 与哈佛标量地震矩 M_0 之间的关系，其中大圆点表示深度大于 150 km 的地震；(b) 1991 年全球地震的宽频带辐射能量 E 与体波震级 m_b 之间的关系；(c) 1991 年全球地震的宽频带辐射能量 E 与面波震级 M_s 之间的关系；(d) 1987— 1992 年日本地区地震的宽频带辐射能量 E 与体波震级 m_b 之间的关系，其中大圆点表示深度大于 150 km 的地震

震级及面波震级之间的关系，对于特定的地区，图 1(d) 给出了日本地区 (30°— 47° N, 130°—147° E) 1987—1992 年的宽频带辐射能量与体波震级之间的关系，图 1 中大圆点表示深度大于 150 km 的地震．从图中可以看出，确实存在能量越大，其他震级也越大的趋势．但是数据的离散范围大大地超出了数据误差所能解释的范围，表明定量地说并不存在一个理想的震级 - 能量对数关系，从而由 (1)—(3) 式推导出的地震能量标度律是不成立的．从物理机制上说，这一现象实际上是不难理解的．天然地震，特别是发生在岩石圈上部的浅源地震，其频谱成分通常是非常复杂的．但是“经典”震级标度仅仅是通过对有限的频段内的信号 (甚至是“单色”的信号) 进行测量得到的．问题在于，在宽频带地震学出现之间，由 (1)—(3) 式给出的推导是研究地震能量标度律的唯一的方法．

既然由 (1)—(3) 式给出的推导是不成立的，那就有必要直接考察宽频带辐射能量．一个技术问题是宽频带能量目录的完整性．NEIC 一般对 m_b 不小于 5.6 的地震进行宽频带辐射能量的测定．但是对于某些记录很差的地震仍无法给出其能量的准确测定结果．为了避免地震目录不完整性的干扰，我们分析了宽频带能量目录的不完整性的地理分布，然后从中开出若干具有理想的完整性的“窗口”进行分析．图 2(a) 针对日本地区 (30°—47° N, 130°—147° E) 1987— 1992 年深度小于 150 km 的地震，给出了宽频带能量 E 与能量不小于 E 的地震事件的累积频度 N 之间的关系；图 2(b) 给出了阿拉斯加地区 (45°—70° N, 140°— 180° E) 1987—1992 年

的浅源地震的结果.从图中可以看出,标度律仍是存在的,而且比较一下其他"经典"震级的结果还可以发现,从宽频带地震辐射能量的角度揭示出的地震能量标度律甚至比由"经典"震级导出的标度律还要好一些.

这里所涉及的地震能量仍是由地震波所携带的辐射能量,它仅仅是地震释放的全部能量的一部分. 目前尚没有一套满意的办法计算出地震释放的全部能量,在"经典"地震学中,即使是辐射能量的测定也有相当大的局限. 另一方面,非线性动力学和地震预报理论中所涉及的实际上却是地震释放的全部能量的标度律. 我们工作的意义仅仅是将"经典"的地震辐射能量标度律在地震较大的情况下推广到宽频带的情形,并试图提醒人们注意由 Gutenberg-Richter 定律推导得出的地震能量标度律的局限性. 然而从辐射能量的标度律到地震总能量的标度律的推导仍需要建立在一些假定的基础之上.

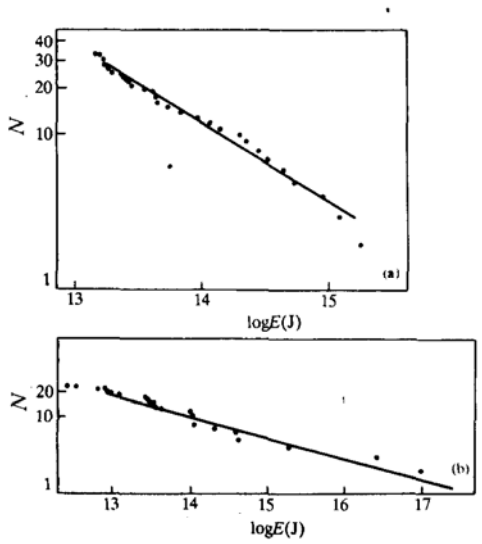

图 2

(a) 1987— 1992 年日本地区深度小于 150 km 的地震的累积频度 N 与宽频带辐射能量 E 的关系; (b) 1987— 1992 年阿拉斯加地区浅源地震的累积频度 N 与宽频带辐射能量 E 的关系

地震现象的自组织临界性假说[2] 近年来在物理学中和地震学中引起关注. 一些地震学家相信这一假说将为中长期地震预报理论带来突破性的变革[8]. 在这类假说中,地震能量标度律是地震学和物理学之间最重要的纽带之一. (1)—(3)式的推导则在相当的程度上已成为非线性动力学和地震预报研究中的一个普遍引用的"标准"提法. 现在看来,对这个标准提法做出某种修正可能是必要的.

致谢　作者感谢 G. L. Choy 教授在宽频带地震学方面的指导,感谢陈运泰教授、V. I. Keilis-Borok 教授和陈顒教授在震源理论和非线性物理学与地震预报理论方面的指导和帮助.

参　考　文　献

[1] King, G., *PAGEOPH*, 1983, **121**: 761— 815.
[2] Bak, P., Tang, C., *J. Geophys. Res.*, 1989, **94**: 15635— 15637.
[3] Ito, K., Matsuzaki, M., *J. Geophys. Res.*, 1990, **95**: 6853— 6860.
[4] Lomnitz-Adler, J., *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**: 17745— 17756.
[5] Boatwright, J., Choy, G. L., *J. Geophys. Res.*, 1986, **91**: 2095—2112.
[6] Choy, G. L., Cormier, V. F., *J. Geophys. Res.*, 1986, **91**: 7326— 7342.
[7] Harvey, D., Choy, G. L., *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 1982, **69**: 659— 668.
[8] Keilis-Borok, V. I., *Rev. Geophys.*, 1990, **28**: 19— 34.