

大地震后短时间内余震活动时空分布的某些研究*

吕培苓

(国家地震局分析预报中心)

摘要

本文研究了近几年来我国发生的一系列强地震以及部分中强地震后, 短时间内余震活动的时空分布特征。结果表明, 不同类型的地震序列, 在大震后短时间内余震频度衰减和余震区的变化过程上有明显差别。作者认为, 这种差别有可能作为一次强地震后及时对地震类型和趋势进行判断的依据之一。

一、时空分布特征

1. 对于大地震后余震活动在频度上出现的衰减特征, 人们通常是用宇津改正的大森公式, 即

$$N(t) = \frac{K}{(t + c)^p}$$

来表示。根据茂木的理论和统计研究, 在序列的早期阶段, 可以表示为:

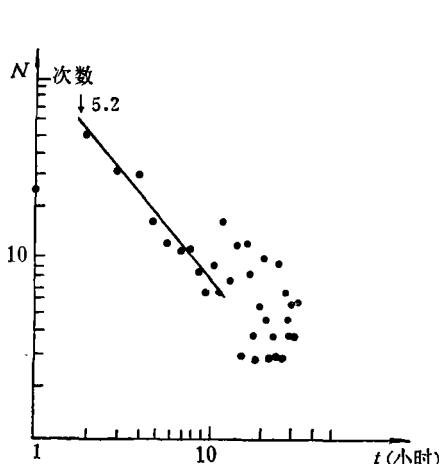


图1 王原地震频度衰减
($t = 11$ 小时)

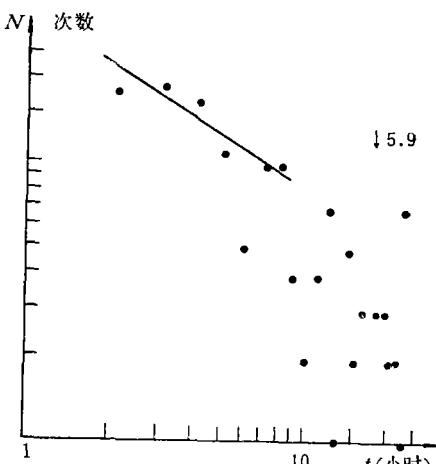


图2 通海地震频度衰减
($t = 7$ 小时)

* 1981年5月29日收到初稿, 1982年6月18日收到修改稿。

$$N(t) = N_1 t^{-p}$$

对所研究的余震序列,统一按小时统计余震发生次数,并相对于时间在双对数坐标系中作图,得到图 1 至图 8 的各次大震后余震频度衰减曲线。这些图上表示了一个共同特征,即大震后短时间内,余震频度衰减表现出较好的线性,之后,线性关系破坏,图中的点

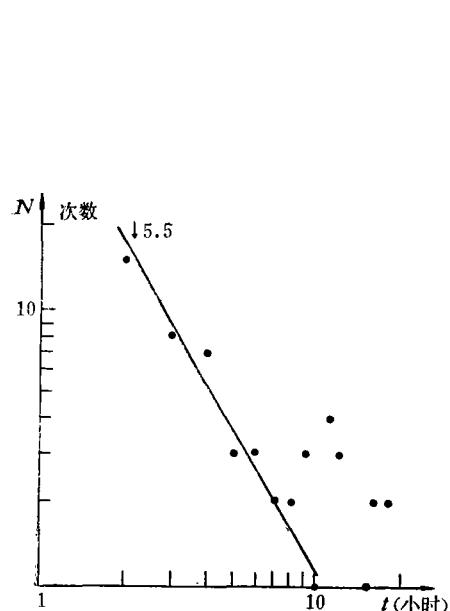


图 3 海城地震频度衰减
($t = 8$ 小时)

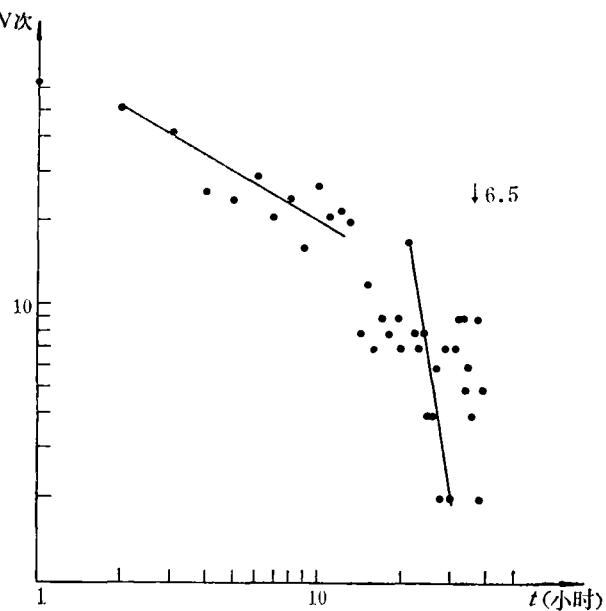


图 4 龙陵地震频度衰减
($t = 12$ 小时)

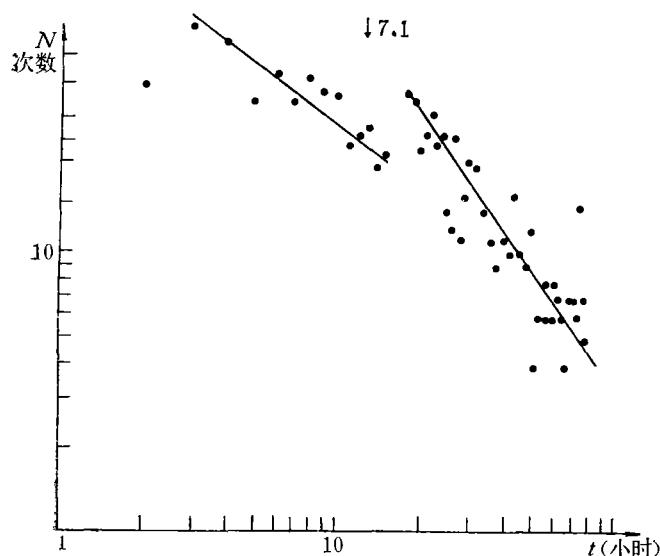


图 5 唐山地震频度衰减
($t = 14$ 小时)

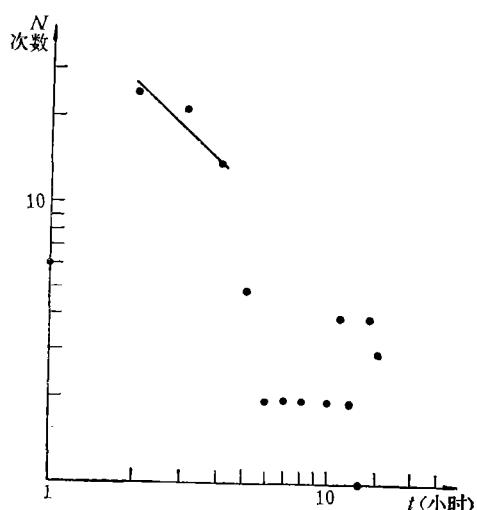


图 6 邢台地震频度衰减
($t = 3$ 小时)

予出现了明显偏离。所不同的是，图1—5的几次大震，震后线性关系保持的时间较长，这个时间通常大于6小时。而对于象邢台、松潘和马边地震这样的震群型序列，图6—8当震群中第一个较大地震发生后，余震频度呈线性衰减的那段时间通常较短，邢台地震是3小时，松潘地震是4小时，马边地震也是在4小时后线性关系随之破坏。

把上述几次大震的最强余震表示在图上。图2和图4表明通海地震和龙陵地震的最强余震发生前，线性关系已经破坏，图1、3和5表明线性关系的改变和强余震似乎没有多大关系。

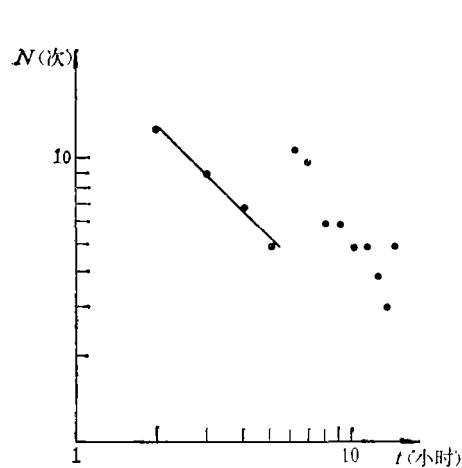


图7 马边地震频度衰减
($t = 4$ 小时)

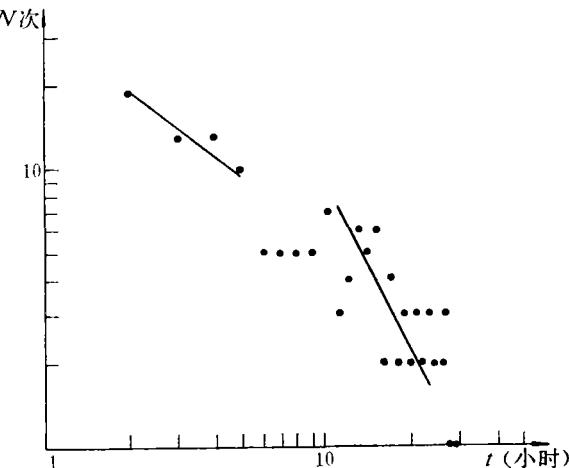


图8 松潘地震频度衰减
($t = 4$ 小时)

必须指出，通常做余震频度衰减时，一般是取较大的时间尺度，例如日频度以及月和年频度衰减曲线。结果表明，有些地震的频度衰减可以延伸至很长时间，而保持其斜度不变。王泽皋讨论了频度变化的两种可能原因，一是介质的粘弹性，二是区域构造应力的变化。作者同意他的观点。

2. 对所研究的地震序列，统一按小时做余震震中分布图。大地震余震活动分布范围的大小在平面上随时间的变化可能存在三个不同的参量。第一是主破裂长度，是指主震发生的断开的区域在平面上的投影，一般通过主震波谱分析计算得到。第二是初期余震区长轴，定义为主震后2天内形成的余震活动区域。第三是最终余震区长轴，这是经过一段余震活动之后的余震分布区域，也就是通常说的余震区。实际观测表明，初期余震区长轴大于主破裂长度，但比最终余震区长轴为小。图9—11表示通海、龙陵和唐山地震的断层长度AA' (用震后第一天的分布表示)、初期余震区A'A' 和最终余震区A''A''。

国内外不少人研究了余震区和主震震级的关系。图12是 $M \geq 7$ 的大震的震级和初期余震区长轴，最终余震区长轴，以及断层长度值。由图可见，初期余震区长轴和主震震级的关系可以大致用一条直线拟合，其直线方程为：

$$\log L_{(\text{公里})} = M_s - 5.8$$

主震震级和断层长度的关系也接近于这条直线，但表示最终余震区长轴的点要离散得多。这说明初期余震区扩大可能受多种因素的影响，如主破裂性质、震源深度、震源区地质构

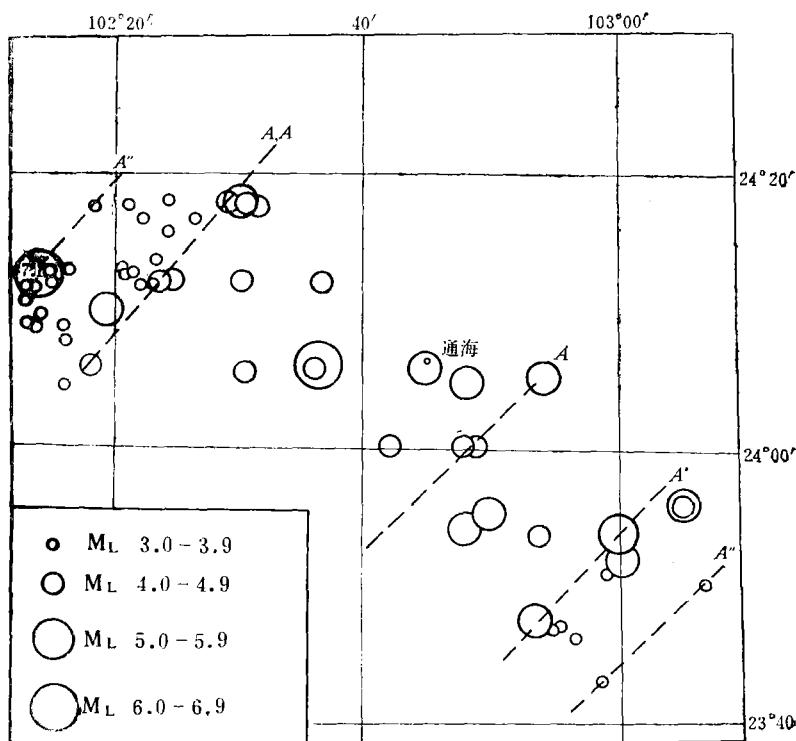


图9 通海地震余震分布
($M \geq 3.0$)

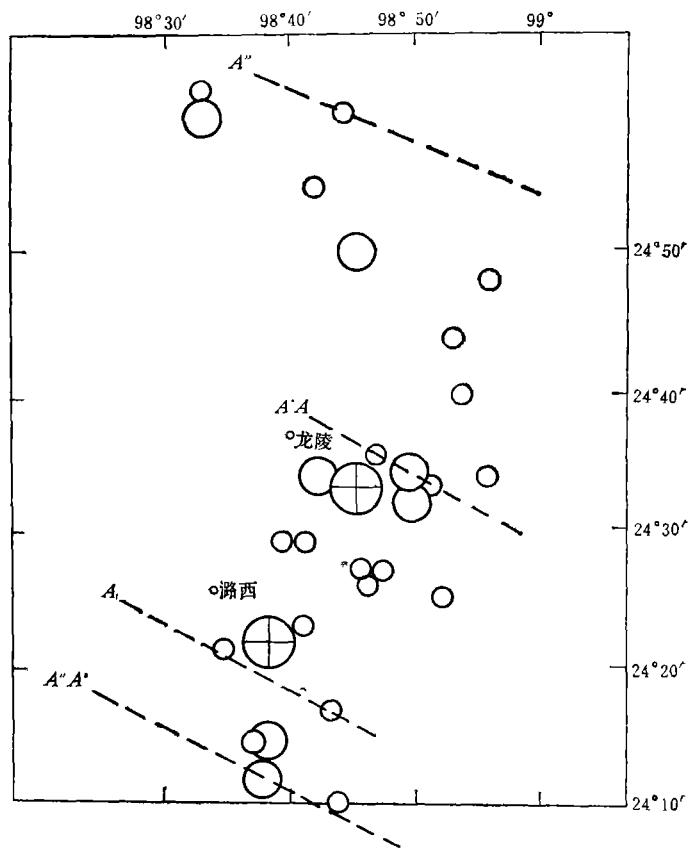


图10 龙陵地震余震分布
($M_L \geq 4$)

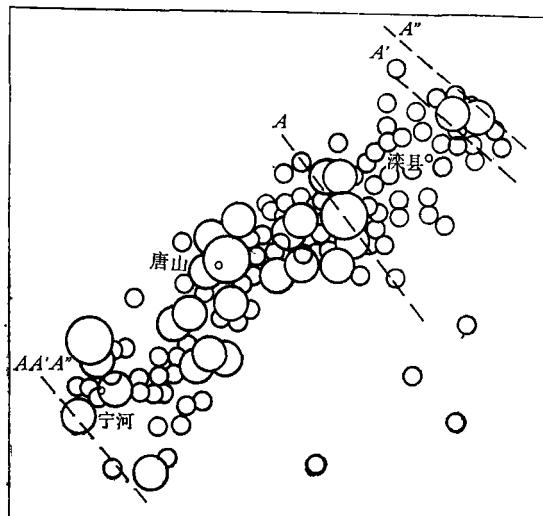


图 11 唐山地震余震分布
($M_L \geq 4$)

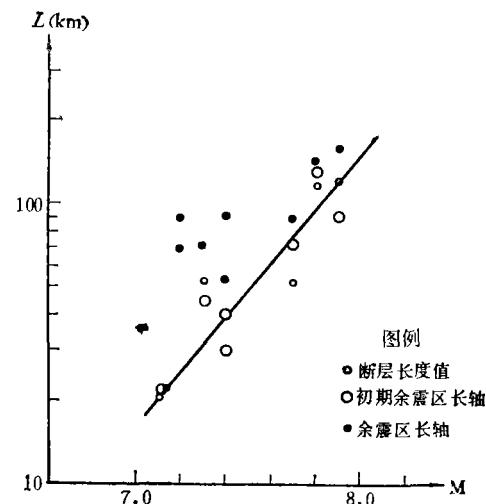


图 12 余震分布区域和主震震级的关系

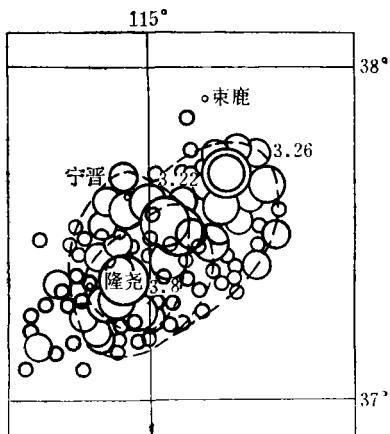


图 13 邢台地震余震分布

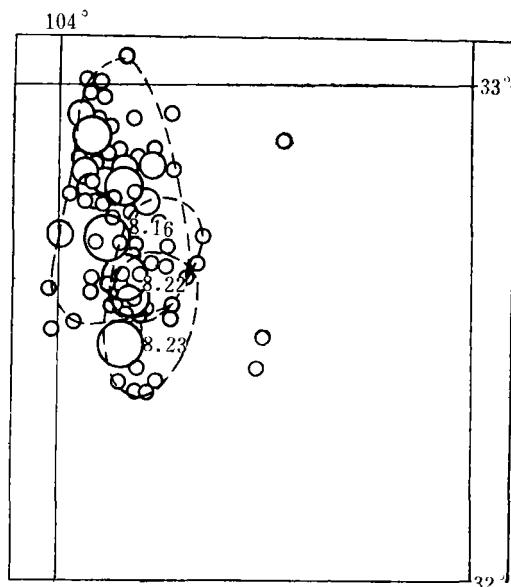


图 14 松潘地震余震分布

造以及介质特性等。

震群型地震序列的破裂区往往发生变化,震群中每发生一次较大地震,其相应的破裂区朝某一方向推移,使其震源体不断扩大,这和初期余震区扩大不同,如图 13、图 14 所示。

上述二种差别,有可能作为一次强震后判断地震类型和趋势的依据之一。

二、讨 论

上述资料表明,强震发生后的短时间内,余震活动在时空分布上有明显特征。

大地震的震源区近似一种粘弹性体^[2]。在构造应力作用下所积累的能量包括弹性应变能和蠕变应变能两部分。地震发生后,弹性应变能部分首先释放,震源区产生变形。在震后应力很快衰减情况下,余震频度也很快衰减。余震频度显示较好线性的这段时间的余震活动可能相当于主震后剩余弹性应变能释放,其分布范围大体上和主破裂长度相当。

考虑到粘弹性体中还有一个与弹簧相串联的开尔文体模型,它是由弹簧和粘性单元并联而成。由于主震发生后应力很快衰减,它与弹簧同时积累的应变能表示为:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E_k} \left(1 - e^{-\frac{E_k}{\eta_k}} \right)^{[3]}$$

表 1 部分地震最大余震发生时间

M _主	主震发生时间 T _主	最大余震发生时间 T _余	T _余 - T _主 (小时)
溧阳 5.5	1974 年 4 月 22 日 08 ^h 29 ^m	同年 4 月 22 日 09 ^h 53 ^m	1
九龙 6.2	1975 年 1 月 15 日 19 ^h 34 ^m	同年 1 月 16 日 02 ^h 51 ^m	7
和林格尔 6.3	1976 年 4 月 6 日 00 ^h 54 ^m	同年 4 月 11 日 07 ^h 56 ^m	127
磁口 6.0	1976 年 9 月 23 日 04 ^h 07 ^m	同年 9 月 23 日 09 ^h 25 ^m	5
固镇 5.0	1979 年 3 月 2 日 15 ^h 20 ^m	同年 3 月 4 日 12 ^h 10 ^m	45
普洱 6.8	1979 年 3 月 15 日 20 ^h 52 ^m	1979 年 3 月 15 日 20 ^h 53 ^m	1/60
介休 5.1	1979 年 6 月 9 日 12 ^h 15 ^m	同年 6 月 20 日 15 ^h 06 ^m	27

M _主	T _主	T _余	T _余 - T _主
溧阳 6.0	1979 年 7 月 9 日 18 ^h 57 ^m	同年 7 月 11 日 16 ^h 49 ^m	46
王原 6.0	1979 年 8 月 25 日 00 ^h 59 ^m	同年 8 月 25 日 01 ^h 15 ^m	0.25
渤海 7.4	1969 年 7 月 18 日 13 ^h 24 ^m	同年 7 月 1 日	8
通海 7.7	1970 年 1 月 5 日 01 ^h 00 ^m	同年 1 月 5 日 19 ^h 49 ^m	18
炉霍 7.9	1973 年 2 月 6 日 18 ^h 37 ^m	同年 2 月 8 日 00 ^h 06 ^m	29
昭通 7.1	1974 年 5 月 11 日 03 ^h 25 ^m	同年 6 月 15 日 22 ^h 27 ^m	859

还不能直接释放。理论上证明^[4]，将这部分应变能减小到 $\frac{1}{e}$ 的时间约为 2 天。也就是说，原来积累的应变能，在主震后 2 天内，除通过主震释放外，基本上由其间发生的最强余震来释放。实际观测表明，大地震的最强余震，大都发生在震后两天内。表 1 统计了 1974 年以来的地震资料说明这一结果。

由此可见，大震后两天可以作为余震活动的第一个特征时间，二天内余震分布区叫做初期余震区。由于剩余蠕变能再次转换为弹性应变能来释放，从而使初期余震区扩大。震源体扩大则是弹性单元中弹性应变能的逐步释放，这和震源区介质特性、应力作用方式以及区域构造条件有关。

$M_{主}$	海城 7.3	龙陵 7.4	唐山 7.8
$T_{主}$	1975 年 2 月 4 日 19 ^h 36 ^m	1976 年 5 月 29 日 22 ^h 00 ^m	1976 年 7 月 28 日 03 ^h 42 ^m
$T_{余}$	同年 2 月 4 日 21 ^h 32 ^m	同年 5 月 31 日 13 ^h 08 ^m	同年 7 月 28 日 18 ^h 45 ^m
$T_{余} - T_{主}$	2	39	15

三、结语

强震发生后，下述二方面的研究可能作为判断地震类型和趋势的依据之一。

1. 强震发生后，若余震时频度衰减较慢，保持线性关系的时间在 6 小时以上，则可判断该强震可能是一次主震余震型地震，这时要注意强余震发生。
2. 强震发生后，若破裂区存在由主破裂长度—初期余震区长轴—最终余震区长轴扩大的特征，则可认为该震有可能属于主震余震型地震。

由于大地震后余震密集，遗漏难免，进一步提高震后观测水平，将有助于对地震类型和趋势的判断。

参 考 文 献

- [1] 王泽皋，邢台余震频度增高及以后发生的华北强震，地震学报，1, 2, 1979。
- [2] Teruo Yamashita, Aftershock occurrence due to viscoelastic stress recovery and an estimate of the tectonic stress field near the San Andreas fault system, B. S. S. A., 69, 3, 1979.
- [3] 王仁等，固体力学基础，地质出版社，1979。
- [4] 阿德里安、夏德格，地球动力学原理，科学出版社，1977。

SOME INVESTIGATION OF THE TIME AND SPACE DISTRIBUTION OF AFTERSHOCKS WITHIN A VERY SHORT TIME AFTER LARGE EARTHQUAKES

LÜ PEILING

(*Analysis and Prediction Center, State Seismological Bureau*)

Abstract

In this paper, it is investigated that the time and space distribution of aftershocks within a very short time after a series of large and moderate earthquakes occurred in China during the last several years. The results show that for various earthquake sequences, there are sensible differences in the attenuation of the frequency and the variation of aftershock region within a very short time after large earthquakes. The present author believes that these differences may provide one of the evidences for judging the seismic sequence type and earthquake tendency after a large shock.

《华北地震科学》创刊启事

《华北地震科学》是由国家地震局华北协作区委托河北省地震局等单位主办的。它是以报道、交流地震科研成果为主的国内公开发行的综合性学术季刊。主要刊登与地震科学有关的实验、观测、考察、理论和科研成果、问题讨论、防震抗震等方面的论文,以及国内外地震科学的研究状况的介绍和评论性文章。

本刊编委会主要由河北省地震局、山西省地震局、内蒙古自治区地震局的科技人员组成,并聘请有关单位的科技人员参加。编辑部设在石家庄市河北省地震局。一九八三年第三季度创刊,每年3、6、9、12月出版。本刊由石家庄市邮局总发行,全国各地邮局均可订购。每期定价0.60元。

本刊的读者对象主要是从事地震科研、预报、观测和防震抗震的科技人员以及高等院校有关专业的师生。欢迎有关单位和个人积极订阅,踊跃投稿。

《华北地震科学》编辑部