

都江堰 M_L 4.4 地震前兆异常特征及预报概况

章旭玲 王翰全 陈明勇

(四川省都江堰市地震办公室, 都江堰 611830)

摘要 介绍了 1993 年 12 月 30 日都江堰 M_L 4.4 地震的前兆异常特征及震前预报概况。震前异常主要有空区、 b 值、波速比、电磁波等。

关键词: 四川 地震前兆 地震预报 都江堰

1 都江堰 4.4 级地震及台站概况

1993 年 12 月 30 日 13 时在四川省都江堰市至郫县间发生了 M_L 4.4 地震。宏观震中位于彭县竹瓦隐伏断裂带边缘附近, 微观震中位于北纬 $30^{\circ}57'$, 东经 $103^{\circ}43'$ (图 1), 震源深度为 15 km, 震中烈度为 V 度, 个别地方可达 V 度强。地震发生时都江堰市区、崇义镇、聚源镇、土桥乡、徐度乡和郫县的新胜、花园、唐昌等地强烈有感, 多数居民惊逃户外。极震区部分房屋裂缝, 并出现掉瓦、开“天窗”、烟囱掉砖等现象。震感范围涉及成都市、绵竹县、德阳市、崇州市、彭州市、汶川县漩口镇、金堂县等地, 但未造成人畜伤亡。这次地震发生在人口稠密的成都平原少震区, 又系元旦前夕, 影响很大, 为都江堰市有史料记载以来的最大的一次地震。地震序列类型为前震-主震-余震型。

都江堰市地震台地处龙门山构造带中南段的江油至灌县断裂的东南盘, 位于北纬 $31^{\circ}00'04''$, 东经 $103^{\circ}36'42''$, 海拔 723 m 的文庙山西侧, 在地貌上位于“U”形山谷东侧边坡上。台基为白垩系中原层泥质砂岩, 上覆厚薄不均

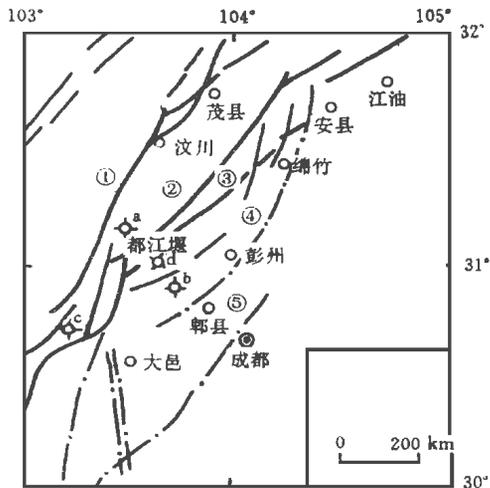


图 1 都江堰 4.4 级地震及附近区域构造

Fig. 1 Epicenter of the Dujiangyan M_L 4.4 earthquake and its early structures.

- ① 耿达-大川断裂; ② 北川-映秀断裂; ③ 江油-灌县断裂*; ④ 彭县-竹瓦断裂*; ⑤ 成都断裂; (a) 1986 年 11 月 10 日虹口 4.1 级地震; (b) 1993 年 12 月 30 日都江堰 4.4 级地震; (c) 1990 年 1 月 15 日大邑 4.9 级地震; (d) 1992 年 12 月 18 日都江堰 3.5 级地震

第一作者简介: 章旭玲, 女, 38 岁, 助工, 现主要从事地震分析预报工作。

本文 1995 年 3 月 17 日收到, 1996 年 6 月 19 日收到修改稿。

* 都江堰市原为灌县, 彭州原为彭县。

的第四系坡积物。该台安装有 DD-2测震仪 (该仪器于 1986年 1月安装,放大倍数为 3×10^4), DPJ-III型地震电磁辐射观测仪 (接收频率为 38.33 kHz)和 ULF-III型超低频电磁信息观测仪 (接收频率为 0.1~10 Hz)。测震仪每年由成都市地震局统一标定,电磁波观测仪由四川省地震局、江苏省地震局于 1993年 12月 8日安装标定,该电磁波仪是采用数字记录,一旦有异常就每分钟采集一次数据并打印出异常波形,无异常时则每两小时打印一次数据,其它时间均不打印任何曲线或数字。仪器性能可靠,能观测到 30 km范围内的 1.0级以上地震,接收到 500 km范围内的电磁波异常信号,信度值为 0.7

2 震前异常分析

2.1 地震活动性异常

都江堰地震台 $S-P=6.0$ s 的地震记录见图 2 图 2表明,从 1992年 10月上旬开始至 1993年 5月明显出现 1.0~2.0级地震围空区,其范围为 $S-P=2.5\sim 5$ s 1993年 6月至 8月在 $S-P=3.2\sim 4.0$ s 范围内发生 6次 $M_L 1.0\sim 2.0$ 地震。此后,围空区逐渐缩小。9~10月该区平静,11月 15日~22日该空区内又连续发生 9次 $M_L 0.8\sim 2.1$ 地震。从 11月 23日起该区小震趋于平静,1个多月以后,于 12月 28日在 $S-P=2.0\sim 2.4$ s 范围内发生 3次地震,震级分别为 $M_L 1.0, 1.3$ 和 1.9 ,又平静 2d 后于 12月 30日发生了 $M_L 4.4$ 主震。这一震例说明,5级以下地震震前 1a 左右也有地震围空区出现,空区内最大地震震级为 $M_L 2.1$,与主震震级相差 2.5

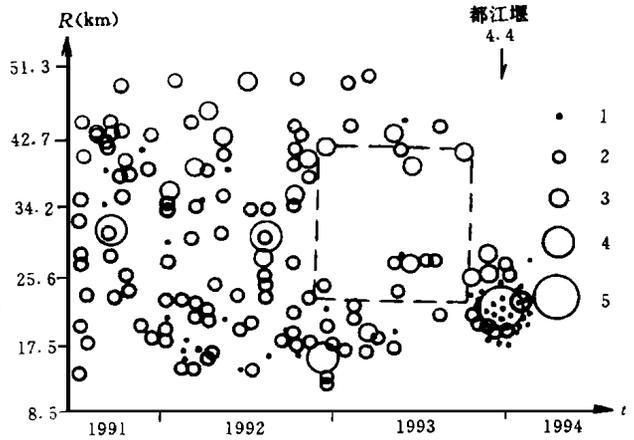


图 2 都江堰市单台 R-t 图

Fig. 2 The R-t picture of single station in Dujiangyan City.

1 $M_L \leq 0.9$; 2 $1.0 \leq M_L \leq 1.9$; 3 $2.0 \leq M_L \leq 2.9$;
4 $3.0 \leq M_L \leq 3.9$; 5 $M_L = 4.4$

2.2 单台 b 值异常

取 $S-P=10$ s 内的 $M \geq 0.5$ 地震,利用公式

$$b = \frac{0.4343}{\bar{M} - M_0 - 0.05}$$

计算,作出 1986年以来都江堰市单台 b 值曲线 (图 3)。公式中 0.05 忽略不计, $\bar{M}=40$, 滑动步长为 5 次地震。取该区平均正常值 0.51 为警戒线。在 1986年 11月 10日虹口 $M_L 4.1$ 地震和 1990年 1月 15日大邑 $M_L 4.9$ 地震前, b 值呈现明显异常,主要表现为,虹口地震前,于 1986年 1月 b 值缓慢下降,至 1986年 3月达最低值,为 0.34,此后 b 值缓慢回升,9月达正常值,间隔 1个多月后发生了 $M_L 4.1$ 地震;大邑地震前的 b 值变化与虹口地震基本相

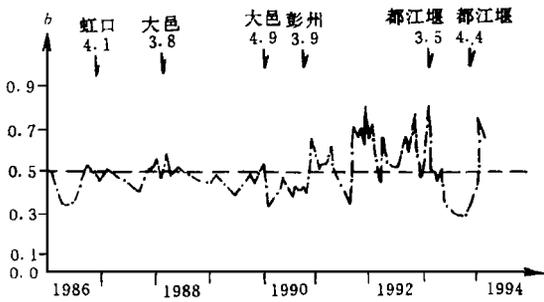


图 3 都江堰市单台 b 值曲线

Fig. 3 The curve of b value for single station in Dujiangyan.

似,即 1988 年 6 月 b 值缓慢下降,至 1989 年 6 月达最低值 0.38,此后 b 值缓慢上升,12 月达正常值,间隔 15 d 后发生了 M_L 4.9 地震。1993 年 12 月 30 日都江堰 M_L 4.4 地震前 b 值变化也与前两次地震类似,1992 年 12 月 18 日 M_L 3.5 地震前 b 值呈现明显异常,该次地震后, b 值缓慢下降,至 1993 年 9 月达最低值 0.29,11 月 15~22 日在距都江堰市 17.1 km 处,即在未来主震区一带连续发生 9 次小震,此后, b 值回升至 0.39,12 月 11 日后又加速上升到 0.43,间隔 19 d 后发生了 M_L 4.4 主震

2.3 单台波速比异常

选取四川省地震台网目录(1986~1993 年)中的 $M \geq 1.0$ 地震,采用都江堰市单台资料,应用公式

$$V = 1 + \frac{ts - tp}{tp - T_0}$$

计算并作出图 4 都江堰市多年平均波速比为 1.60

在虹口 M_L 4.1 和大邑 M_L 4.9 地震前,波速比出现了明显下降过程。从 1992 年 9 月起波速比又逐步下降,至 1993 年 11 月达到最低值 1.43,随后缓慢回升,恢复到正常值后发生了 M_L 4.4 地震。

2.4 都江堰市及邻区应变能的积累

图 5 为都江堰市及其附近地震应变能量释放曲线。由图 5 可以看出,在 1986 年 11 月以后至 1992 年 6 月为应变积累阶段,1992 年 7~12 月出现能量积累加速,1993 年 1 月转平直至发震。根据 1975~1986 年应变曲线周期性速率,按照公式 $\log E = 4.8 + 1.5M_s$ 外推,1993 年在区内有 M_s 4.3 地震的能量待释放,实际发生地震的震级为 M_L 4.4

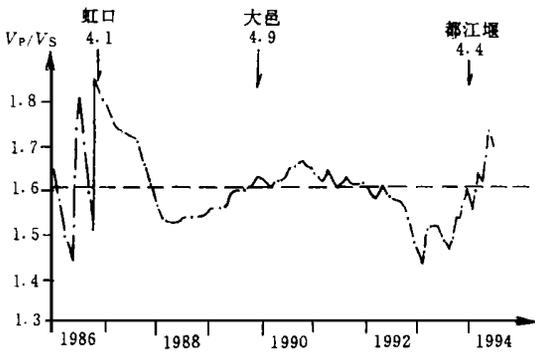


图 4 都江堰市单台 ($\bar{S} - \bar{E} \leq 6.0$ s) 波速比变化

Fig. 4 The V_p/V_s ratio ($\bar{S} - \bar{E} \leq 6.0$ s) of single station in Dujiangyan.

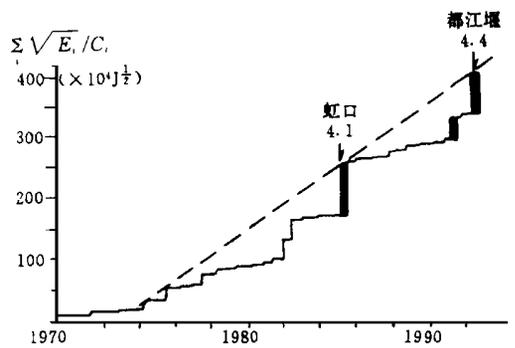


图 5 都江堰市及其附近地震 能量应变释放曲线

Fig. 5 The curve of seismic energy release in Dujiangyan and nearby regions.

2.5 电磁波异常

图 6 为 1993 年 12 月 22 日 DPJIII 型电磁波辐射仪接收到的典型的锯齿波临震强信号,其异常时间、最大场强和平均场强如表 1 所示

从表 1 和图 7 可以看出,这次电磁波点频异常持续约 197 h,异常最大场强为 $1.035 \mu V/m$,来波方向为 $S45^\circ E$,异常经历强-弱-强-平静-发震的过程,震前平静时间为 5 h

根据公式 $M_s = 2.8 \log T + 2.2^*$ (式中 T 为异常起始的天数) 计算出未来地震震级为 $M_s 4.7$, 实际地震震级为 $M_L 4.4$, 震级误差为 0.3

表 1 都江堰 $M_L 4.4$ 地震前电磁波点频异常持续时间和场强

时 间	异常持续时间	点频场强 ($\mu\text{V}/\text{m}$)	
		最大场强	平均场强
1993-12-22	08 h 50 min~ 10 h 05 min	1035	594
	12 h 10 min~ 13 h 59 min	150	594
	14 h 00 min~ 14 h 41 min	690	594
	15 h 21 min~ 16 h 59 min	675	270
	17 h 00 min~ 30日	30	10
1993-12-30	08 h 26 min~ 08 h 35 min	705	270
	09 h 37 min~ 13 h 55 min	平静无异常	

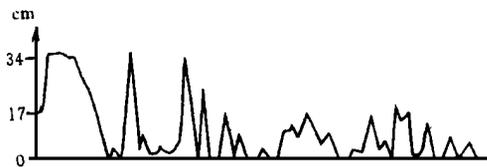


图 6 1993年12月22日都江堰4.4级地震前电磁波原始记录(08 h 50 min ~ 10 h 05 min)

Fig. 6 The original record of electromagnetic wave before the Dujiangyan $M_L 4.4$ earthquake on December 22, 1993.

3 震前预报情况和震后趋势判断

根据电磁波、单台 b 值、波速比、围空区异常, 我们于 1993 年 7 月 29 日在都江堰市委常委会上提出, 1993 年底以前在都江堰市及邻区可能会发生 $M_s 4.0$ 左右地震。

1993 年 11 月 18 日在都江堰市地震办公室会商时, 我们曾指出, 近期小震活动频繁, 单台 b 值开始回升, 11 月 15~16 日记录到距市区 25~30 km 处发生微震 6 次, 其中 $M \geq 2.0$ 地震 3 次, $M_L 1.8$ 地震 1 次, $M_L 1.0$ 左右地震 2 次。另外, 利用都江堰市及邻区应变释放曲线速率外推, 有 $M_s 4.3$ 地震的能量待释放。并于 11 月 18 日下午向四川省地震局和成都市地震局作了短期预报, 预报 1993 年 12 月下旬至 1994 年 2 月上旬在北纬 $31^\circ 00' \sim 31^\circ 40'$, 东经 $103^\circ 30' \sim 104^\circ 10'$ 范围内可能发生 $M_s 4.0 \sim 4.8$ 地震。

1993 年 12 月 22 日上午都江堰市地震办公室在接收到电磁波异常后, 立即组织会商, 并于下午向四川省地震局和成都市地震局作了临震预报, 预报 1993 年 12 月 22 日至 25 日在北

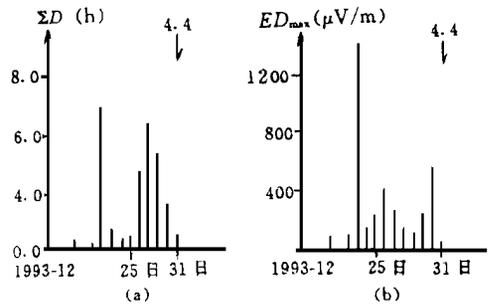


图 7 都江堰市 1993 年 12 月 30 日 4.4 级地震前电磁波点频异常累计时间 (a) 和最大场强 (b)

Fig. 7 The total time (a) and the maximum field intensity (b) of electromagnetic wave anomaly before the Dujiangyan $M_L 4.4$ earthquake on December 30, 1993.

* 江苏省地震局电磁组提供。

纬 $31^{\circ}00' \sim 31^{\circ}40'$, 东经 $103^{\circ}20' \sim 104^{\circ}00'$ 范围内可能发生 M_s 4.5~5.5地震。

实际于 1993年 12月 30日在都江堰发生了 M_L 4.4地震, 预报三要素与实际地震较为符合。

地震发生后还会有不会有更大的地震发生, 这是广大群众十分关心的问题。根据历史地震记载和都江堰市地质构造, 我们及时作了“近期内不会在都江堰市原震区发生比 4.4级更大的破坏性地震”, 稳定了群众的情绪, 安定了人心。

4

, 都江堰 M_L 4.4地震前 b 值、

, 震前几天或十几天电磁波还出现了明显的短临异常。

M_L 4.4地震的短临预报, 是对极少有破坏性地震的平原地区发生 4.0级以上地震的预报作了一次有益的尝试, 进一步提高预报水平。

1 等. 单台地震预报的地震学方法. 北京: 地震出版社, 1992. 25~37.

2 . 电磁信息观测技术. 1992. 54~64.

THE ANOMALY FEATURES AND PREDICTION SITUATION BEFORE THE DUJIANGYAN M_L 4.4 EARTHQUAKE

ZHANG Xuling WANG Hanquan CHEN Mingyong
(*Seismological Office of Dujiangyan City, Dujiangyan 611830*)

Abstract

A M_L 4.4 earthquake occurred in Dujiangyan City, Sichuan Province on Dec. 30, 1993. The anomalies of seismic gap, b -value, V_p/V_s ratio, electromagnetic wave, etc. appeared before the earthquake. In the paper, the anomaly characters and prediction situation of this event are introduced.

Key words Sichuan, Earthquake precursor, Earthquake prediction, Dujiangyan