

基于单台 P 波记录的快速自动地震定位方法研究^{*}

周彦文, 刘希强, 李 铂, 许 丹, 张 坤, 胡旭辉, 苗庆杰

(山东省地震局, 济南 250014)

摘要: 提出了一种仅基于单台 P 波到达后 1 秒数据的包络特征、最大振幅及 P 波段地震信号的偏振特性来进行地震快速定位的改进模型和方法。选取山东地震台网 58 例单台 1 s 的 P 波记录进行快速定位, 并与台网定位结果进行比较, 结果表明该方法是有用的, 为进一步缩短地震预警时间提供了可能。

关键词: 地震定位; P 波; 预警

中图分类号: P315.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2010)02-0183-06

0 引言

2008 年 6 月 14 日日本岩手宫城发生 7.2 级强震, 地震发生 4 s 后日本地震预警系统发出警报, 再次发挥了减灾作用。2008 年 5 月 12 日我国四川汶川发生 8.0 级特大地震, 如果该地区建立了地震预警系统, 并且能够在地震波到达北川、青川等地区之前, 提前数秒至数十秒发出预警, 或可有效减轻灾区的人员伤亡和经济损失。因此, 在我国建立地震预警系统是非常有必要的, 具有强烈的社会需求。

快速确定地震参数是地震预警系统的关键性技术环节之一, 关系到预警时间的长短。地震预警方法在理论上通常分为两类: 第一类方法是异地地震前预警系统, 即将地震计安装在震源区, 通过震源区记录的 S 波到达后的地震数据确定震级、震中距, 以此对离震中距更远的地方预警。这样预警虽然比较准确, 但却要等 S 波到达后才能确定地震参数。第二类方法是现场地震预警系统, 即在预警的目标区安装地震计, 利用 P 波比 S 波传播速度快的原理, 用 P 波到达后数秒的数据来确定地震参数, 对 S 波还没到达的地区通过电磁波发出预警, 从而达到预警的目的。显然利用 P 波进行预警可以获得更长的预警时间。

目前, 已经有较多快速测定地震参数的算法, 如 Rydelek 和 Pujol (2004) 提出的双子台阵方法、Wu 和 Teng (2002) 提出的基于虚拟子网计算地震

参数的方法、Allen 和 Kanamori (2003) 提出的 τ_p 方法、Wu 和 Kanamori (2005) 在 Nakamura (1988) 方法的基础上提出的 τ_c 方法、Odaka 等 (2003) 通过拟合 P 波包络提出的测定震中距和震级的方法等。美国、日本、墨西哥和我国台湾等地都已经建立了地震预警系统, 并在实际应用中取得了不少成功的经验。20 世纪 90 年代以来, 我国在地震预警技术方面也开展了相关的研究和实验工作 (陈颢等, 2005)。

国际上许多国家和地区将 P 波快速定位的方法应用在实际地震预警系统中, 我国在这方面的研究还甚少。本文在对上述测定地震参数算法进行改进的基础上, 选取山东数字地震台网记录的震中距在 100 km 以内的 58 次 2 级以上单台地震波形资料, 探讨仅用 P 波初至后 1 s 的数据快速测定地震基本参数的可能性。

1 地震定位方法

1.1 震中距估计

地震波震相信号的幅度具有从起始点由零逐渐增加到某一最大值, 随后又逐渐衰减的特征。地震 P 波段数据可用渐变信号模型来定量描述 (刘希强等, 2002):

$$S_{\omega_0}(t) = B \cdot t \cdot \exp(-At + i\omega_0 t) \cdot u(t) \quad (1)$$

式中, ω_0 为 P 波段信号的主频率, B 为斜率因子, A 为与信号渐变过程有关的振幅变化因子, $u(t)$ 为

^{*} 收稿日期: 2009-08-10.

基金项目: 山东省自然科学基金 (Y2007E09) 和地震科学联合基金 (105075) 资助.

阶跃信号。参数 A 和 B 的变化直接影响 P 波包络的形态差异。

为了得到 P 波段地震波形的包络信息, 对 (1) 式进行 Hilbert 变换, 得到

$$S_{\omega_0}(t) = B \cdot t \cdot \exp(-At) \cdot u(t). \quad (2)$$

公式 (2) 与 Odaka 等 (2003) 所使用的模型是吻合的。Odaka 等 (2003) 先使用对单台垂直分向 P 波加速度记录数据进行预处理, 然后取其绝对值的对数, 用函数 $B \cdot t \cdot \exp(-At)$ 来拟合处理后数据的包络, 求出参数 A 和 B 。Odaka 等 (2003) 研究了 1997~2001 年日本 3.9~7.3 级地震的加速度记录, 发现 $\log B$ 与 $\log \Delta$ 成反比, 而与震级的大小无关。基于研究思路和本文的理论模型, 笔者提出用公式 (2) 来拟合垂直分向 P 波速度记录的包络并反演求出参数 B 和 A 的思路, 通过对一定数量地震的研究, 建立起某地区值与震中距的经验统计关系。

1.2 震级估计

从早期地震预警的目的考虑, 震级一般可以用下面的经验统计公式来快速估计 (Grecksch,

Kumpel 1997):

$$M = a' \log S_{\max} + b' \log \Delta + c'. \quad (3)$$

其中 S_{\max} 是所要研究的地震记录 S 波最大振幅, Δ 是震中距。 a' 、 b' 、 c' 是和记录仪器有关的常数。 $b' \log \Delta$ 是随着距离增加对振幅衰减的修正量。由于 P 波最大振幅和整个地震记录的最大振幅一样随着震中距的增加而减小, 故试图用 1 s 内 P 波的最大振幅 P_{\max} 来代替 S_{\max} 。根据 B 值与震中距的统计关系, (3) 式中的 $\log \Delta$ 可用与 B 有关的量来表述:

$$M = a \log P_{\max} + b \log B + c. \quad (4)$$

上式表明, 地震震级的估计可通过单台垂直向 P 波 1 s 数据的最大振幅 P_{\max} 和 B 值反演得到。

1.3 地震方位角估计

对于单台三分量数据, 偏振方法是地震事件方位角确定的唯一方法, 这依赖于在时间窗内估计的三维信号协方差, 具体计算方法是定义某时间窗口内观测信号的协方差矩阵为

$$M = \begin{bmatrix} \text{Var}(A_n(\Delta t)) & \text{Cov}(A_n(\Delta t), A_e(\Delta t)) & \text{Cov}(A_n(\Delta t), A_z(\Delta t)) \\ \text{Cov}(A_e(\Delta t), A_n(\Delta t)) & \text{Var}(A_e(\Delta t)) & \text{Cov}(A_e(\Delta t), A_z(\Delta t)) \\ \text{Cov}(A_z(\Delta t), A_n(\Delta t)) & \text{Cov}(A_z(\Delta t), A_e(\Delta t)) & \text{Var}(A_z(\Delta t)) \end{bmatrix}.$$

其中, 原始三分向记录的 $\text{Var}(A_n(\Delta t)) = \text{Cov}(A_n(\Delta t), A_n(\Delta t))$ 为南北分向记录的方差, $\text{Cov}(A_n(\Delta t),$

$A_e(\Delta t)) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(A_n(i) - \mu_n)(A_e(i) - \mu_e)]$ 表示

南北分向记录和东西分向记录的协方差 (μ_n 和 μ_e 分别是南北分向和东西分向记录的平均值), 矩阵中其余分量依次类推。设由矩阵 M 求得的特征根为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, 相应正交特征向量为 \vec{e}_1, \vec{e}_2 和 \vec{e}_3 。根据最大特征值对应的特征向量在水平面的投影确定地震的方位角。设最大特征值对应的特征向量为 $\vec{e}_1 = (mn, me, mz)$, 实际地震相对于台站的方位角需结合 mz 、 mn 和 me 值的相对大小和符号来确定。具体方法如下:

当 $mz < 0$, $mn > 0$ 和 $me > 0$ 时, 方位角 $\phi = \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz < 0$, $mn < 0$ 和 $me > 0$ 时, 方位角 $\phi = \pi - \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz < 0$, $mn < 0$ 和 $me < 0$ 时, 方位角 $\phi = \pi + \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz < 0$, $mn > 0$ 和 $me < 0$ 时, 方位角 $\phi = 2\pi - \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz > 0$, $mn > 0$ 和 $me > 0$ 时, 方位角 $\phi = \pi + \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz > 0$, $mn < 0$ 和 $me > 0$ 时, 方位角 $\phi = 2\pi - \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz > 0$, $mn < 0$ 和 $me < 0$ 时, 方位角 $\phi = \arctan(|me|/|mn|)$;

当 $mz > 0$, $mn > 0$ 和 $me < 0$ 时, 方位角 $\phi = \pi - \arctan(|me|/|mn|)$ 。

上式中如果 $mn = 0$, $\arctan(|me|/|mn|) = \pi/2$ 。

2 结果分析

选取 2000~2007 年山东地震台网 58 个单台记录的震中距在 100 km 以内的 55 次 2 级以上的地震进行分析, 研究所用的地震事件及记录台站位置见图 1。图 1 中地震震中距分布范围在 12.7~93.5 km 之间, 震级分布范围在 $M_L 2.0 \sim 4.5$ 之间。

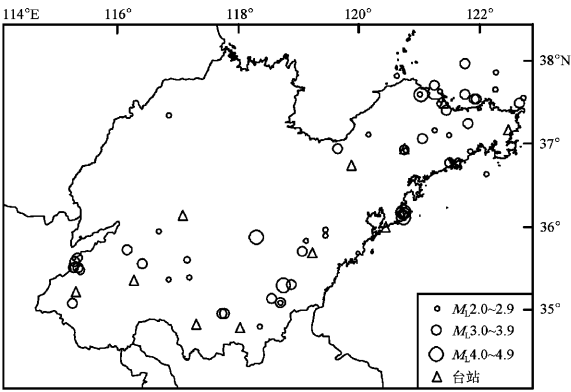


图 1 研究所用的地震事件及记录台站位置
Fig. 1 Earthquake and station location used in the paper

首先用 STA/LTA 及 AIC 算法自动检测 P 波到时 (涉及到篇幅有限, 相应方法另文进行阐述), 然后截取 1 s 的垂直向 P 波数据, 对其做 Hilbert 变换并取绝对值后得出 P 波的包络函数, 然后用模型函数 $S_{\omega_0}(t) = B \cdot t \cdot \exp(-At) \cdot u(t)$ 来拟合 P 波的包络, 从而计算每个地震对应的 B 值 (表 1), 再用最小二乘法拟合出 $\log B$ 与震中距 D 的数据拟合曲线并统计其误差 (图 2)。统计得到 $\log B$ 与震中距 D 的拟合线性关系式为

$$D = -12.21 \times \log B + 74.63. \quad (5)$$

把 B 值代入上述公式进行反演计算, 研究发现估算震中距和实际震中距的平均误差为 16.3 km, 其中 80% 的地震震中距误差在 22 km 之内。

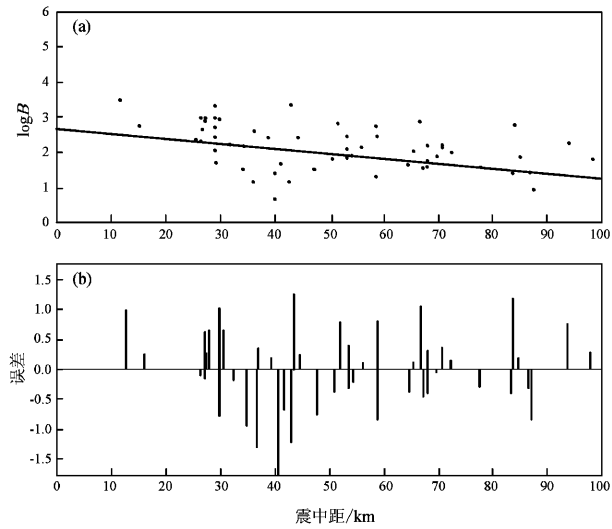


图 2 震中距拟合曲线 (a) 及误差柱状图 (b)
Fig. 2 Fitting line (a) and error bar (b) of epicenter

按照公式 (4) 的思路, 用已知的震级 M 、 B 值和 P 波最大振幅 P_{\max} 求出一个最小二乘解 a , b , c 。计算得出 $a = 1.2988$, $b = -0.6799$, $c = 3.0066$, 故震级的反演公式为

$$M_{\text{est}} = 1.2988 \times \log P_{\max} - 0.6799 \log B + 3.0066. \quad (6)$$

图 3 为反演震级 M_{est} 与实际震级的对照图。把表 1 中的 P_{\max} 和 B 值代入上式反演出估计震级, 和实际的震级比较发现最大误差为 1, 最小误差为 0, 平均误差为 0.3, 其中 80% 的估算地震震级误差在 0.5 之内。

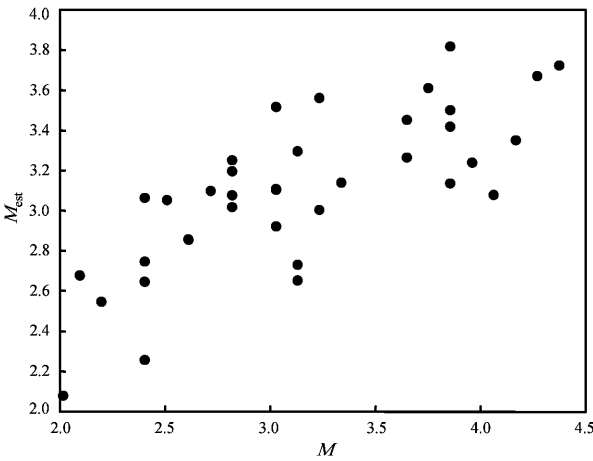


图 3 反演震级 M_{est} 与实际震级 M 的对照图
Fig. 3 Map of Invert Magnitude and real magnitude M

取 0.2 s 的三分向 P 波数据, 利用 1.3 节中介绍的算法计算地震相对于台站的方位角, 如果计算的方位角和实际的方位角误差大于 90° , 就认为方位角计算错误。结果表明表 1 中 58 次地震中有 9 次地震的方位角计算结果与实际不符, 错误率为 15.5%, 剩余的 49 次地震中, 误差小于 10° 的占 44.9%, 误差小于 20° 的占 80%。

根据 (5) 式估算的震中距和计算的方位角就可以进行快速定位。用此方法快速定位青岛台记录的 2003 年 6 月 5 日 18 时 35 分青岛 4.2 级地震, 快速定位震中距、方位角、震级分别为: 29.8 km、 51.28° 、4.2, 台网定位的震中距、方位角、震级分别为 35 km、 41.13° 、3.7, 震中定位误差为 6.9 km, 震级误差为 0.5。将所研究的 55 次 2 级以上地震的 58 个单台记录的定位结果, 与台网定位结果相比较, 发现方位角正确的 49 次地震中 80% 的地震震中误差在 28.8 km 以内。

表 1 地震基本参数及快速定位结果参数表
Tab. 1 Earthquake parameters and quick location results

序号	发震时间		震级 M_L	震中		记录 台站	震中距 /km	方位角 /(°)	B	P_{\max} /um · s ⁻¹	D_{est} /km	M_{est} M_L	A_{est} /(°)	误差 /km
	年-月-日	时:分		北纬	东经									
1	2000-08-07	23:18	2.4	37°53′	122°14′	烟台	83.3	61.58	13	1.7	61.0	2.5	75.79	29.7
2	2000-09-11	02:20	2.9	37°32′	121°17′	烟台	12.7	278.97	2716	175.7	32.7	3.6	274.95	23.4
3	2001-04-14	19:06	3.8	35°47′	119°02′	五莲	27.2	283.73	749	153.7	39.5	3.9	302.16	25.1
4	2001-05-10	20:29	2.9	35°55′	119°05′	五莲	27.2	330.11	132	23.0	48.7	3.3	169.09	/
5	2001-10-01	11:30	3.2	38°00′	121°44′	烟台	65.5	26.66	66	9.4	52.4	3.0	39.67	13.3
6	2002-09-22	19:51	3.7	37°07′	121°00′	莱阳	36.8	60.54	283	60.7	44.7	3.7	72.26	17.6
7	2002-02-17	22:11	2.8	37°34′	122°40′	荣城	47.6	26.36	17	4.7	59.6	3.0	33.45	12.3
8	2002-07-25	02:30	2.5	37°41′	122°13′	荣城	53.5	342.49	193	19.4	46.7	3.1	340.72	13.3
9	2002-04-03	23:39	3.1	35°23′	118°51′	五莲	54.4	217.87	48	4.5	54.1	2.7	253.34	32.3
10	2002-07-30	09:01	2.7	37°53′	120°36′	烟台	67.2	300.17	19	5.2	59.0	3.1	298.31	21.4
11	2003-06-05	18:35	4.2	36°14′	120°40′	青岛	29.8	51.28	1763	178.6	35.0	3.7	41.13	6.9
12	2003-06-10	23:34	3.0	36°13′	120°39′	青岛	29.8	52.28	186	17.4	46.9	3.1	41.85	22.1
13	2003-06-12	12:37	3.1	36°14′	120°39′	青岛	29.8	49.49	373	37.0	43.2	3.3	40.61	14.2
14	2003-06-12	17:33	3.7	36°14′	120°39′	青岛	29.8	49.49	756	142.2	39.5	3.8	39.19	11.2
15	2003-06-12	17:43	2.8	36°13′	120°38′	青岛	29.9	50.39	28	5.4	57.0	3.0	41.24	29.8
16	2003-04-01	06:25	2.9	35°59′	119°24′	五莲	39.3	34.63	182	28.4	47.0	3.4	40.24	12.6
17	2003-05-07	19:34	2.8	37°41′	121°18′	烟台	28.1	336.97	762	49.1	39.4	3.2	347.21	20.3
18	2004-11-19	08:34	2.7	37°11′	120°07′	平度	58.7	28.82	10	1.8	62.4	2.7	55.61	28.8
19	2004-11-01	14:40	4.1	36°10′	120°40′	青岛	30.6	63.51	681	56.8	40.0	3.4	41.65	17.8
20	2004-01-21	02:43	2.7	37°13′	121°12′	烟台	34.9	206.08	95	9.3	50.5	2.9	219.47	16.1
21	2005-04-12	18:27	3.8	35°02′	117°45′	仓山	28.0	306.41	596	60.6	40.7	3.4	321.89	12.2
22	2005-04-12	18:38	3.1	35°02′	117°47′	仓山	29.8	309.71	68	16.6	52.3	3.3	316.47	21.5
23	2005-04-27	02:31	3.0	35°37′	115°23′	菏泽	56.1	353.46	87	11.8	50.9	3.1	146.98	/
24	2005-04-27	10:26	3.8	35°33′	115°22′	菏泽	51.9	349.54	497	65.4	41.7	3.5	146.61	/
25	2005-01-18	12:09	3.3	36°49′	121°26′	莱阳	69.7	106.93	45	8.9	54.4	3.1	280.61	/
26	2005-02-15	10:09	3.6	37°38′	121°43′	荣城	68.0	309.06	32	9.6	56.3	3.3	304.92	25.1
27	2005-05-10	03:11	3.2	37°34′	121°53′	荣城	70.6	312.86	103	10.4	50.1	3.0	307.46	15.7
28	2005-05-10	06:30	3.8	37°34′	121°54′	荣城	68.0	313.77	97	13.2	50.4	3.1	310.74	13.7
29	2005-07-22	21:05	3.5	37°30′	122°36′	荣城	43.4	23.49	1936	148.9	34.5	3.6	26.77	5.9
30	2005-02-21	11:52	2.1	36°57′	121°46′	荣城	64.5	247.09	24	2.5	57.8	2.6	262.32	16.7
31	2005-10-11	00:29	2.4	36°01′	116°43′	泰安	47.7	236.77	17	2.4	59.6	2.7	271.03	36.9
32	2005-10-26	12:16	2.8	35°28′	117°13′	陶庄	72.3	348.96	59	11.5	53.0	3.2	346.67	12.7
33	2006-02-08	14:21	3.3	35°13′	118°32′	仓山	58.7	47.63	403	37.6	42.8	3.3	75.26	29.7
34	2006-09-12	10:58	3.0	35°07′	115°22′	菏泽	16.2	203.47	415	61.2	42.7	3.5	99.49	/
35	2006-04-09	17:23	3.9	35°40′	115°25′	嘉祥	97.7	289.32	36	9.7	55.6	3.2	106.33	/
36	2006-12-26	15:41	3.2	35°37′	116°28′	嘉祥	32.5	23.71	104	32.5	50.0	3.6	22.38	23.7
37	2006-04-25	15:17	3.2	35°47′	116°13′	泰安	93.5	232.94	118	23.5	49.3	3.4	261.04	53.7
38	2006-05-21	12:15	2.7	35°26′	116°53′	陶庄	77.6	324.67	20	2.4	58.7	2.6	332.61	17.9
39	2006-04-27	06:27	4.5	35°22′	118°44′	五莲	66.6	224.74	559	121.0	41.1	3.8	248.97	28.1
40	2006-06-27	07:06	4.3	35°57′	118°18′	五莲	83.7	285.29	447	96.9	42.3	3.8	282.46	42.1
41	2006-11-07	11:55	3.0	37°17′	121°45′	烟台	44.7	129.49	178	11.7	47.2	2.9	127.06	6.1
42	2007-09-27	12:25	2.6	34°53′	118°21′	仓山	50.8	83.07	37	4.5	55.5	2.8	85.63	27.8
43	2007-11-16	22:05	3.1	35°10′	118°40′	仓山	70.6	58.03	85	13.3	51.1	3.2	74.07	22.5
44	2007-07-12	12:35	3.5	35°33′	115°26′	菏泽	53.5	359.68	77	13.3	51.6	3.2	306.77	41.1

续表 1

序号	发震时间		震级 M_L	震中		记录 台站	震中距 /km	方位角 /(°)	B	P_{\max} / $\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	D_{est} /km	M_{est} M_L	A_{est} /(°)	误差 /km
	年-月-日	时:分		北纬	东经									
45	2007-07-12	12:35	2.9	35°33′	115°26′	嘉祥	53.5	281.04	40	4.1	55.1	2.7	293.05	32.9
46	2007-08-02	16:17	3.6	37°01′	119°37′	平度	27.5	319.26	324	47.2	44.0	3.5	338.59	17.3
47	2007-07-25	09:06	3.1	36°59′	120°43′	荣成	41.6	251.58	26	2.9	57.4	2.6	254.37	8.8
48	2007-11-11	06:05	2.4	35°41′	117°10′	泰安	58.9	175.58	187	16.1	46.9	3.0	195.66	25.2
49	2007-11-16	17:15	2.7	37°25′	116°51′	泰安	67.9	350.02	21	3.1	58.5	2.7	181.91	/
50	2007-10-03	04:45	2.0	36°03′	119°24′	五莲	43.1	32.09	7	0.5	64.3	2.0	51.04	32.9
51	2007-11-16	22:05	2.5	35°10′	118°40′	五莲	87.1	216.72	4	2.1	67.3	3.0	204.06	20.7
52	2007-01-27	20:36	2.3	37°39′	120°58′	烟台	36.6	291.24	7	0.9	64.3	2.4	285.32	25.0
53	2007-04-24	10:31	2.2	37°09′	121°26′	烟台	34.8	174.38	17	1.6	59.6	2.4	196.88	26.7
54	2007-07-10	23:20	4.0	37 38′	121 00′	烟台	40.5	290.02	13	4.1	61.0	3.0	278.64	26.3
55	2007-07-10	23:23	3.2	37°27′	121°24′	烟台	40.6	171.91	2	1.4	71.0	3.0	277.98	/
56	2007-07-25	09:06	2.9	36°59′	120°43′	烟台	84.7	224.73	43	11.1	54.7	3.3	117.46	/
57	2007-08-01	05:39	2.4	36°40′	122°01′	烟台	86.4	129.31	14	0.8	60.6	2.1	130.53	13.2
58	2007-10-10	22:37	3.1	37°45′	121°13′	烟台	26.4	329.48	154	6.3	47.9	2.6	337.56	19.0

注： P_{\max} 为P波1秒的最大振幅； D_{est} 为震中距估算值； M_{est} 为震级估算值；
 A_{est} 为方位角估算值；/表示方位角估算错误，不做误差统计。

3 讨论及结论

(1) 本文建立了仅基于单台 P 波到达后 1 s 数据的包络特征、最大振幅及 P 波段地震信号的偏振特性来进行地震快速定位的改进模型和方法。经过对实际地震事件的处理和分析，得到了 P 波包络特征参数与地震震中距的统计关系、地震震级大小与 P 波包络特征参数和最大振幅之间的统计关系、根据 P 波的偏振方向和估计震中距得到了地震的发生位置。以上述模型为基础，我们可以根据距离发生强震最近的单个地震台记录进行地震定位。研究表明：基于单台 P 波记录的早期地震预警方法研究是有效的。

(2) 基于单台记录以及仅利用 1 s 长度的 P 波记录进行地震早期预警有利于提高地震速报的速度并能保证一定的精度。但由于用于地震定位的信息量太少，导致地震定位的精度与人机交互处理的结果相比有一定误差。提高地震速报速度与提高定位精度是一对矛盾。我们研究的侧重点在于如何利用尽量少的地震波信息尽快地比较准确地测定地震事件的发生及发生的地点。

(3) 本文选取 100 km 以内的 55 次 2 级以上地震的 58 个单台记录进行分析，结果表明：80% 的估算震级误差小于 0.5，震中距误差小于 22 km，方位角误差小于 20°。Lockman 等（2005）使用了

28 个台站的 700 多个单台波形进行研究，结果表明：25% 的估算震级误差在小于 0.3，地震震中距误差在小于 15 km，方位角误差小于 20°，由于两种方法选取资料的方法不同，预警效果不便比较。

(4) 单台定位结果存在一定误差。根据单台记录进行地震定位取决于震中距和方位角的测量精度，特别是方位角的确定是一个科学难题。单台定位的结果误差是相对于台网定位结果而言的，而台网定位结果本身和实际的地震位置也存在有差异，所以比较的结果是比较粗略的。单台定位的精度提高渴望通过改进方法和模型逐步实现。

(5) 本文用单台 P 波数据快速测定地震参数中所用模型还需更多的观测数据对它进行“外符合”检验。另外文中选用的 5 个 4 级以上（含 4 级）地震的震级估计都偏低，考虑到地震预警主要是针对大地震的特点，对于这些问题作者将在以后的工作中进一步研究。

(6) 由于山东地区 3 级以上的地震较少，尤其没有 5 级以上的震例，所以本研所得到的统计关系存在有一定的局限性，这部分工作有待进一步研究。

参考文献：

陈顺,陈运泰,张国民,等. 2005. “十一·五”期间中国重大地震灾害
预测预警和防治对策[J]. 灾害学,20(1):2-14.
刘希强,周蕙兰,曹文海. 2002. 高斯线调频小波变换及其在地震震

相识别中的应用[J]. 地震学报, 24(6):607-616.

Allen R, Kanamori H. 2003. The potential for earthquake early warning in southern California[J]. Science, 300(5620):786-789.

Grecksch G, Kumpel H. 1997. Statistical analysis of strong-motion accelerograms and its application to earthquake early-warning systems[J]. Geophys J Int, 129(1):113-123.

Kanamori H. 2005. Real-time seismology and earthquake damage mitigation. Annual Review of Earth and Planetary [J]. Sciences, 33:195-214.

Lockman B A, Allen R M. 2005. Single-Station Earthquake Characterization for Early Warning[J]. Bull Seism Soc Am, 95(6):2 029-2 039.

Nakamura Y. 1988. On the urgent earthquake detection and alarm system

(UrEDAS)[R]. Proc. of the 9th World Conference on Earthquake Engi-neering. Japan;Tokyo-Kyoto.

Odaka T, Ashiya K, Tsukada S, *et al.* 2003. A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record[J]. Bull Seism Soc Am, 93(1):526-532.

Rydelek P, Pujol J. 2004. Real-Time seismic Warning with a Two-Station Subarray[J]. Bull Seism Soc Am, 94(4):1 546-1 550.

Wu Y M, Kanamori H. 2005. Experiment on an Onsite Early Warning Method for the Taiwan Early Warning System[J]. Bull Seism Soc Am, 95(1):347-353.

Wu Y M, Teng T L. 2002. A Virtual Subnetwork Approach to Earthquake Early Warning[J]. Bull Seism Soc Am, 92(5):2 008-2 018.

Study on The Quick Earthquake Location Method Based on A Single Station's Record

ZHOU Yan-wen, LIU Xi-qiang, LI Bo, XU Dan, ZHANG Kun, HU Xu-hui, MIAO Qing-jie
(*Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, Shandong, China*)

Abstract

Quick earthquake location is the key technical problem of Early Warning System. In this paper, the authors proposed an improved quick earthquake location method which depends on one second of P-wave record's envelope features, max amplitude and it's polarization. Studying on this quick earthquake location method of 58 times seismic events data recorded by Shandong Seismic Network, compared with Shandong Seismic Network's results, we concluded that it is possible to locate earthquake quickly by only one second of a single station's P-wave record, and confirm that it is possible to reduce early warning time.

Key words: earthquake location, P-wave, early warning