

杨芳, 朱嘉健, 刘智, 等. 广东地区地震与爆破事件识别方法研究[J]. 华南地震, 2016, 36(3): 110–115. [YANG Fang, ZHU Jiajian, LIU Zhi, et al. Study on Identification Methods between Earthquakes and Explosions Occurred in Guangdong Region [J]. South china journal of seismology, 2016, 36(3): 110–115.]

广东地区地震与爆破事件识别方法研究

杨芳^{1, 2, 3}, 朱嘉健^{1, 2, 3}, 刘智^{1, 2, 3}, 吴彬^{1, 2, 3}

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070;
3. 广东省地震预警与重大工程安全诊断重点实验室, 广州 510070)

摘要: 基于广东省数字遥测地震台网的天然地震动记录与人工爆破记录资料, 采用直观快速识别的时域多指标对比分析方法, 选取事件发震时间、波形震相特征、P波初动方向、P波和S波振幅比等多个时域判据, 对广东省的天然地震和人工爆破事件进行识别和对比分析。结果表明, P波最大振幅与S波最大振幅的比值是识别天然地震和人工爆破较为有效的特征参数, P波初动方向可作为辅助识别依据。研究结果可为省地震台网天然地震和人工爆破事件的识别工作提供参考依据。

关键词: 天然地震; 人工爆破; 时域判据; 振幅比

中图分类号: P315.9; TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2016) 03-0111-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.03.016

Study on Identification Methods between Earthquakes and Explosions Occurred in Guangdong Region

YANG Fang^{1, 2, 3}, ZHU Jiajian^{1, 2, 3}, LIU Zhi^{1, 2, 3}, WU Bin^{1, 2, 3}

(1. *Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China*; 2. *Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, CEA, Guangzhou 510070, China*;

3. *Key Laboratory of Earthquake Early Warning and Safety Diagnosis of Major Projects, Guangdong Province, Guangzhou 510070, China*)

Abstract: Based on the natural data of earthquakes and explosions recorded by Guangdong digital telemetric seismic network, several intuitionistic time-domain indexes are utilized to distinguish these two kinds of events. By extracting the characteristic parameters from the sample records, i.e. original time, seismic phase characteristics, first motion direction of P wave and amplitude ratio of P wave and S wave, a comparison among different identified indexes is conducted. All the results indicate that amplitude ratio of P wave and S wave is the most efficient parameter for explosion identification. And the first motion direction of P wave can be regarded as an assistant index in the identification process.

Key words: Natural earthquakes; Artificial explosion; Time-domain index; Amplitude ratio

收稿日期: 2016-08-20

基金项目: 星火计划(深圳市填海场地地震响应特性分析 XH14039Y)

作者简介: 杨芳(1988-), 女, 助理工程师, 主要从事地震观测和强震监测数据分析工作。

E-mail: 328612609@qq.com.

0 前言

广东省作为社会经济建设发展大省,爆破工程作业繁多,爆破是非天然地震事件中记录最多的事件类型。广东地震台网每天分析入库的人工爆破数量仅次于天然地震事件。对于爆破事件,识别后若是震级较小的爆破一般不进行震相分析入库,但有些爆破有着类似于天然地震的波形特征,难以从波形特征上识别,若误把爆破判定成天然地震或是漏震的情况,将影响到地震基本数据资料产出的质量,因此,对实时监测的事件类型进行识别,剔除和整理非天然地震事件,建立准确的天然地震事件目录,是地震监测人员的重要工作之一,对提高台网地震编目质量具有积极意义。

从20世纪50年代开始,国内外对地震和爆破的识别及其相关问题进行了广泛和深入的研究。地震和爆破的识别判据研究是首先需要解决的核心问题,这些判据包括P波初动、震源深度、P波和S波震相幅值比、倒谱、体波震级 m_b 与面波震级 M_s 之比等^[1-4]。然而,单一的判据往往不能完全区分地震和爆炸,且它们的识别效果具有地域性,因而基于统计、模式识别以及神经网络等综合识别方法被相继提出^[5],以提高识别率及识别的稳定性。

本文结合广东省地震台网大量天然地震和人工爆破数据,选取事件发震时间、波形震相特征、P波初动方向、P波和S波振幅比等多种时域判据对事件进行识别分析,旨在找出适用于本地区爆破与地震事件准确识别方法,为广东地震台网中心地震事件的准确监测与识别提供参考依据。

1 常用地震与爆破事件识别方法选取

识别天然地震和人工爆破的方法很多,单一的判据往往不能区分地震和爆破,因而我们需要采用统计模式识别方法综合几种判据进行综合识别。从快速直观识别的角度出发,选取以下4种时域判据进行重点研究。

1.1 基于发生时间、震中位置与震级大小事件识别方法

地震作为一种随机突发事件,在时间、空间分布上具有不确定性,而工业爆炸则是因人为因素发起,常常成组出现,同一地区常常出现多次爆炸事件,且发震时刻常为固定时刻。工程安全

性的要求前提下,爆破需严格地控制药量,因此会出现爆破的震级相对于地震偏小。综上,在排除一些共性的因素后可区分事件类型,因此作为一种识别方法来探讨本区域是否存在可求的规律性。

1.2 基于波形震相的识别方法

对比观察波形震相特征是最直接的识别方法,因地震与爆破在震源机制及它们波列的动力学及运动学特征都有些不同^[6],从波形上体现出不同的特征规律,先前已有很多关于这方面识别方法的研究,本文将总结本区域中地震与爆破之间典型的波形特征。

1.3 基于P波初动方向的识别方法

利用多台P波初动同时向上来识别爆破是目前常用的判据之一。在各向同性介质中,点源爆破的振幅与方位无关,且只有压缩初动,而地震的振幅和极性均会随方位变化^[7]。从震源理论上讲,爆破属于膨胀源,产生的压缩波无象限分布,P波垂直分量初动方向应该都向上,这就造成了爆破的垂直分量记录到的初动几乎都是向上的特征;而地震则是岩石发生错动,属于剪切源,产生的压缩波和膨胀波,有象限分布^[8],所以初动可能向上,也可能向下。

1.4 基于振幅比的识别方法

利用震相振幅比识别地震事件的研究始于20多年前^[9]。爆破与地震的震源机制不同,从而导致其激发S波的能力不同^[10]。理论上爆破主要产生P波,但由于爆破方式、传播路径复杂等因素影响也可能派生出S波,因此爆破有较强的P波群,S波相对较弱。而地震过程中,岩石要发生剪切错动,所以大多数地震会产生较强的S波。P、S波振幅比反映此特点,可选为判据,而且用振幅的比值可减小震级、地震仪的放大倍数和频率特性的影响^[11-13]。

2 资料选取

广东省“十五”期间建设地震台44个,其中5个为国家台、29个为区域台;“十一五”期间对地震台建设范围布设点进行了加密,新建地震台19个、地方地震台8个、共享周边区省的地震台42个。编报范围是广东省及邻省30公里内和省界延长线涵盖的南海海域所有记录到的地震及 $M_L 2.5$ 以上的非天然地震事件。

2013 年台网事件库编报范围内记录了天然地震事件 5 061 个, 其中发生在广东及附近海域的地震有 4 826 个(单台定位的地震有 274 个), 同一时期提交到事件库的人工爆破事件有 187 个。本文选用广东省台网“十五”期间建设的 44 个专业地

震台的波形资料, 随机抽取了 2013 年数据库中震级 $M_L \geq 1.0$ 的 20 个天然小地震和 20 个人工爆破事件, 事件参数见表 1。对于每个事件, 从 44 个专业台记录波形里挑选波形清晰的作为样本, 得到的天然事件样本数共计 179 个, 人工爆破共计 181 个。

表 1 所选地震与爆破事件的参数
Table 1 Parameters of selected earthquakes and blasting events

序号	发震时间	发震地点	震级/ M_L	序号	爆破时间	爆破地点	震级 M_L
1	01-07 03:07:33	广东东源	2.2	21	01-11 12:05:52	广东陆丰	2.0
2	01-16 21:01:17	广东阳西	2.0	22	03-02 21:14:06	广东普宁	1.3
3	01-18 02:36:37	广东恩平	2.5	23	03-08 12:06:00	广东新会	1.7
4	01-30 07:04:35	广东河源	1.6	24	03-13 17:53:11	广东增城	1.9
5	02-12 06:08:49	广东河源	1.9	25	03-23 10:49:43	广东东源	1.6
6	02-22 11:36:50	广东东源	1.9	26	04-19 13:10:56	广东韶关	1.8
7	02-23 05:00:08	广东东源	1.8	27	04-24 19:04:45	广东汕尾	1.8
8	04-01 23:18:34	广东东源	1.5	28	04-25 11:36:15	广东英德	1.8
9	04-15 18:32:57	广东阳江	2.2	29	04-27 11:45:08	广东紫金	2.2
10	04-17 00:00:46	广东阳春	1.9	30	04-27 12:18:47	广东江门	2.6
11	07-07 06:16:11	广东河源	1.6	31	04-29 09:34:42	广东番禺	1.5
12	07-23 14:45:26	广东河源	2.5	32	05-10 15:55:44	广东英德	1.4
13	09-18 05:13:37	广东东源	1.7	33	06-16 11:55:33	广东饶平	1.3
14	09-21 14:35:05	广东阳江	1.5	34	06-19 01:38:31	广东汕头	2.2
15	09-30 10:53:44	广东河源	1.5	35	08-09 18:00:44	广东揭东	1.4
16	10-28 00:50:36	广东东源	1.7	36	09-05 11:19:32	广东平远	1.8
17	10-30 07:23:15	广东东源	1.6	37	09-28 13:06:50	广东陆丰	2.0
18	11-29 18:21:38	广东南澳海域	1.6	38	10-12 06:27:48	广东揭东	1.6
19	12-11 09:51:52	广东阳西	1.5	39	10-24 23:01:26	广东河源	1.7
20	12-27 07:17:29	广东河源	1.7	40	12-21 16:14:53	广东东源	1.2

3 地震与爆破事件识别分析

3.1 发生时间、震中分布及震级大小

爆破工程需根据其设计方案(爆破类型、爆破级别、操作过程、装药当量、炸药配送和回收、爆破区岩性)评估影响范围, 与爆破工程所在地的审批机关协调后才能制定爆破时间。因此, 爆破事件发生时段存在不确定性。图 1 对全年事件库中记录的爆破事件按爆破时间进行统计, 结果显示爆破事件多发生在中午 11~14 h 和 15~18 h。考虑人们的活动规律, 同时根据多年的日常监测结果, 包含未入库事件在内的众多爆破事件多发生在 11~13 h 和 17~19 h。与地震发震时间相比, 爆破事件的发震时间具有一定的集中性, 即随机性较弱。因此, 尽管爆破发震时间存在不确定性, 仍然可以作为爆破事件识别的辅助判据。此外, 广东省绝大部分天然地震的震中在河源、阳江及南澳等地质构造活动地区。而爆破事件与整个社会建设活动相关, 震中位置随着人类城市建设的

侧重不同而发生转移。根据统计, 2004 年非天然地震主要发生在广州和深圳两个地区, 共计有 478 次^[2], 体现出当年两大城市正处在大规模建设期间。与此相比, 现在人工爆破主要分布在东源、河源、惠州、惠阳、从化、番禺等处于快速发展阶段的中小城市。

震级大小方面, 2013 年台网监测记录到 4826 条发生在广东及附近海域的天然地震事件, 震级分布在 M_L 0.0~5.1。同一时期记录的人工爆破事件至少 187 个, 震级分布在 M_L 0.1~2.5, 可见我省的爆破震级一般不超过 2.5 级。

3.2 波形震相特征

与爆破相比, 因震源机制的不同, 地震的垂直分量初动存在向上向下两种情况, 波的周期小, S 波振幅明显大于 P 波振幅, 能量衰减缓慢。地震波在传播过程中高频成分被吸收的较少, 记录表现出高频成分多、波列涟波较多和不规则的特点。地震震相复杂, 波形具有近震震相记录特征,

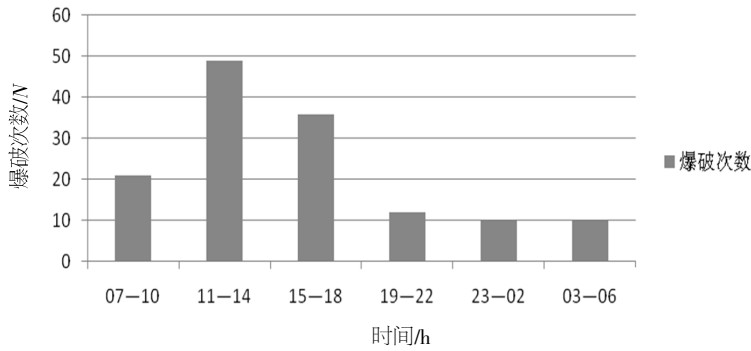


图 1 广东人工爆破时间分布

Fig.1 Time distributions of artificial explosion in Guangdong

以 3 月 8 日东源 1.2 级地震为例, 给出有代表性的地震波形记录, 见图 2。其中波形记录长度为 60 s, 每道波形记录的左上方为记录台站和震中距。 $\Delta < 40$ km 的地震震相主要有 Pg、Sg, 见图 2 的 DOY 台; 随着震中距增大, 震相会发生变化, 通常当 $40 \text{ km} < \Delta < 120 \text{ km}$ 时出现莫霍面上的反射波, 在 $70 \text{ km} < \Delta < 110 \text{ km}$ 能量最强, 见图 2 的 ZIJ

台; $\Delta > 120 \text{ km}$, 首波作为第一个震相出现, 见图 2 的 FES 台。

爆破是人为在地表面上产生的膨胀源, 激发的直达 P 波较强, 垂直分量初动向上呈脉冲型, 周期较大, 振幅大且尖锐; 直达 P 波振幅达到甚至超过直达 S 波的振幅, S 波比天然地震产生的弱。爆破通常表现出波列光滑, 涟波较少的特征,

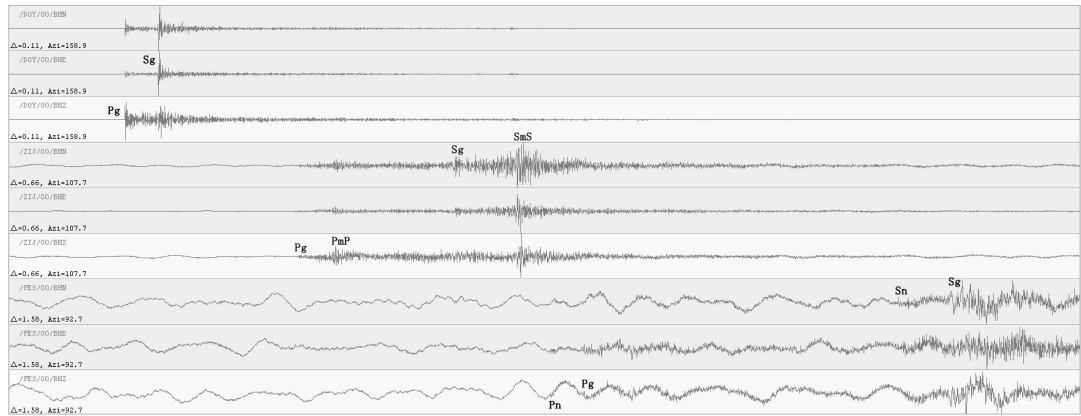


图 2 3 月 8 日东源 M_L 1.2 地震波形

Fig.2 The waveform of M_L 1.2 earthquake occurred in Dongyuan on March 8th

最大记录振幅随着距离的衰减比地震要快。以 3 月 9 日东源 1.2 级爆破为例, 给出有代表性的爆破波形记录, 见图 3。其中, 圆框内容描述了爆破的单台初动方向。震中距为数十公里的爆破, 在垂直方向中有个振幅较大, 周期较长的脉冲 (即大 P 头), 如图 3DOY 台所示。当 $\Delta < 80 \text{ km}$, S 波后能够很清晰地分辨出特殊震相 X_m , 频率低 (约 1 Hz) 而强度大且呈正弦波状态^[8]。通过仿真能看到大周期的面波, 而天然地震则没有这个特征, 见图 3 红框内波形。 $\Delta > 70 \text{ km}$, 两波群将出现类似反射波的大振幅波形, 呈显著的纺锤形, 波形中间部分振幅较小, 呈细长条, 见图 3 中 FES 台记录波形。

3.3 P 波初动方向

本文 182 个人工爆破记录样本中初动方向清晰的有 129 个, 其中向上的有 110 个, 占 85%。因此本地区可以将初动方向作为一个识别特征。

爆破事件初动多为向上, 而远台记录出现初动向下的情况较多, 因此在研究区域内选取 $\Delta \leq 100$ 的台站记录进行研究。2011 年王婷婷等^[11]提出了对初动方向判据进行量化的准则, 根据此初动准则对所选的事件提取初动进行统计, 结果如图 4 所示。其中, 类型 “1” 表示事件偏向于地震; 类型 “-1” 表示偏向于爆破; 类型 “0” 代表难以识别。20 个人工爆破事件按初动归类正确的 15 个

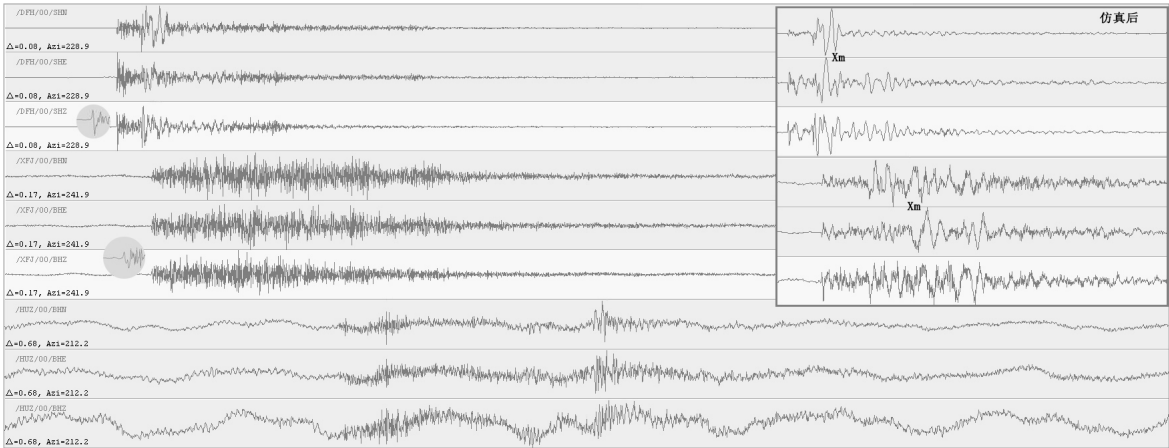


图 3 3 月 9 日东源 $M_L1.2$ 爆破波形
Fig.3 The waveform of $M_L1.2$ explosion occurred in Dongyuan on March 9th

(75%), 错误的有 1 个(5%), 无法识别的有 4 个(20%, 其中有一个事件波形初动都不清晰); 而所选 20 个天然地震按初动归类正确的有 9 个(45%), 错误的有 6 个(30%), 无法识别的有 5 个(25%)。整体识别准确率达到 60%。识别结果表明, 对于本研究区域, P 波初动方向在一定程度上能区分爆破事件及地震事件, 但准确率不高, 仅能作为辅助依据使用。

3.4 振幅比

为了减少震中距对振幅比的影响, 本节同样选取 $\Delta \leq 100$ 的台站记录进行分析。同时, 由于近台记录的 S 波会与后续激发出的面波相叠加, 因

此不选取最近台的 S 波振幅。这里分别使用垂直向的 P 波初动振幅(初至第一个半周期的振幅)、P 波最大振幅(最大振幅/2)与水平向 S 波最大振幅(最大振幅/2)的比值 $A(P_c)/A(S_m)$ 和 $A(P_m)/A(S_m)$ 作为识别指标进行研究。其中的振幅比值为对每一个事件中各记录台站振幅比结果的平均值, 以此去除由台站的方位及震中距引起的差异^[9]。图 5 为各指标计算结果, 其中绿线是根据样本数据计算得到的最优阈值。由图 5 可知, $A(P_c)/A(S_m)$ 的最优阈值为 0.35, 识别正确率为 70%; $A(P_m)/A(S_m)$ 的最优阈值为 0.43, 正确率为 82.5%。研究结果表明, 爆破事件与地震事件的振幅比差异较大, 以振幅比为判据的识别正确率较高。因此,

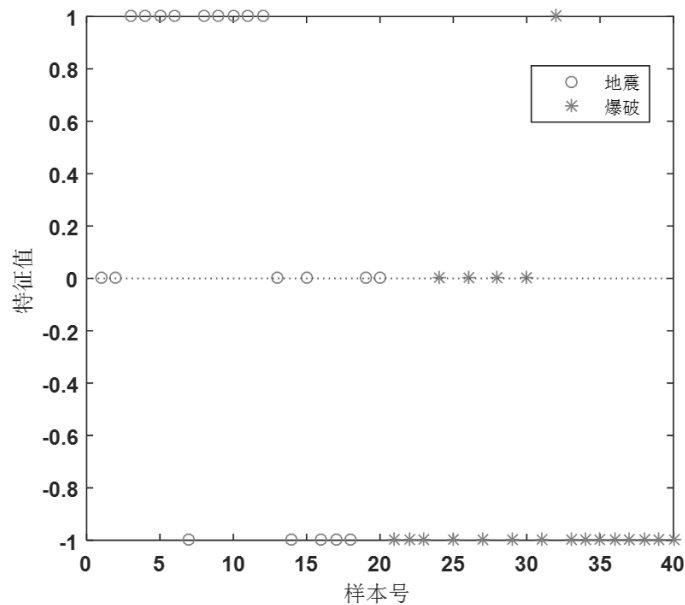


图 4 基于初动方向的爆破与地震事件识别
Fig.4 Explosion and earthquake events identification based on first motion direction

振幅比可作为识别爆破事件的可靠判据。

4 结语

本文选取了事件发震时间、波形震相特征、P波初动方向、P波S波振幅比等时域判据,采用多

指标对比分析方法,对广东地区地震和爆破监测事件进行了识别分析,主要结论如下:

(1) 根据p波初动方向进行事件识别的整体准确率为60%左右,可作为地震和爆破的一种辅助识别依据,具有一定参考价值。

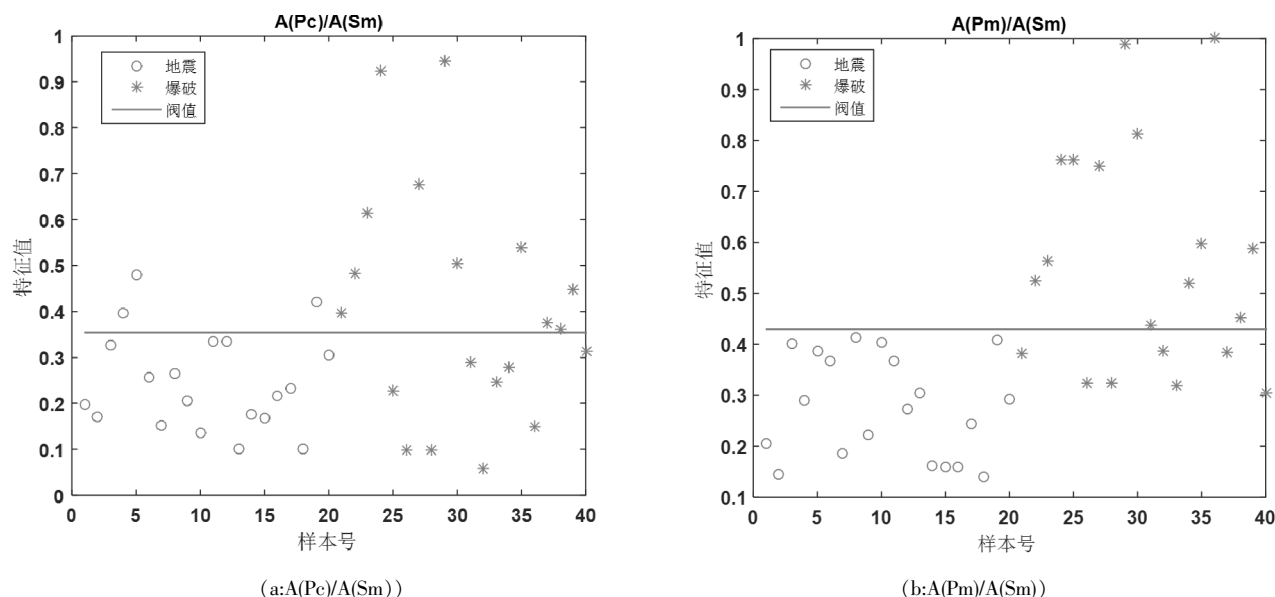


图5 基于振幅比的爆破与地震事件识别

Fig.5 Blasting and earthquake events identification based on amplitude ratio

(2) P波最大振幅与S波最大振幅的比值是识别本区域地震和爆破较为有效的特征参数,当阈值为0.43时,识别率高达82.5%,识别正确率最高。

(3) 建议在广东地区地震监测事件识别时,采用基于P波与S波最大振幅比的方法,结合P波初动方向、震相特征等因素,综合评判地震或爆破事件类型,提高事件识别的准确率。

参考文献:

- [1] 边银菊. Fisher方法在震级比mb/Ms特征识别爆炸中的应用研究[J]. 地震学报, 2005, 27 (4): 414-422.
- [2] 魏富胜, 黎明. 震源性质的倒谱分析[J]. 地震学报, 2003, 25 (1): 47-54.
- [3] 沈萍, 郑治真. 瞬态谱在地震与核爆识别中的应用[J]. 地球物理学报, 1999, 42 (2): 233-240.
- [4] Taylor S R. Statistical discriminants from two-dimensional grids of regional P/S spectral ratios[J]. Bull. Seism. Soc. Amer., 2011, 101 (4): 1584-1589.
- [5] 王婷婷, 边银菊, 张博. 地震和爆破的综合识别方法研究[J]. 地球物理学进展, 2013, 28 (5): 2433-2443.
- [6] 吴书贵, 赵永. 实用数字地震分析[M]. 北京: 地震出版社, 2009.
- [7] 彼得·鲍曼. 新地震观测实践手册[M]. 北京: 地震出版社, 2006.
- [8] 杨成荣, 王桂岭, 敖雪明. 乌鲁木齐附近地区小爆破识别判据的研究[J]. 内陆地震, 2001, 15 (1): 30-38.
- [9] Pomeroy P W, Best W J, Mcevilly T C. Test ban treaty verification with regional data: A review [J]. Bull Seism Soc Amer, 1982, 72: S89-S129.
- [10] 蔡杏辉, 邵平荣, 段刚, 等. 福建地区人工爆破与天然地震的判定[J]. 地震地磁观测与研究, 2013, 34 (1/2): 87-91.
- [11] 王婷婷, 边银菊. 识别天然地震和人工爆破的判据选择[J]. 地震地磁观测与研究, 2011, 32 (6): 62-67.
- [12] 林伟, 吴叔坤, 陈杏. 广东非天然地震的特征与识别[J]. 华南地震, 2004, 24 (1): 35-43.
- [13] 霍祝青, 王俊, 张金川, 等. 江苏地区天然地震与人工爆破识别研究[J]. 地震工程学报, 2015, 37 (1): 232-234.