

基于AETA监测数据的地震预测研究

王新安^{1,†} 雍珊珊¹ 黄继攀¹ 吕亚轩¹ 张兴² 梁意文³

1. 北京大学深圳研究生院地震监测预测技术研究中心, 深圳 518055; 2. 北京大学信息科学技术学院, 北京 100871;
3. 武汉大学计算机技术学院, 武汉 430072; † E-mail: anxinwang@pku.edu.cn

摘要 针对2017年8月8日中国四川省九寨沟县Ms 7.0级地震事件, 分析AETA地震前兆监测设备上地震前后的数据。结果显示, 四川地区已安装的36个台站中, 有13个出现相关异常, 其中9个台站为密切相关。在异常台站中发现一种与日升日落几乎同步的电磁扰动均值波形(称为SRSS波), 有11个台站在震前出现该波形。采用PCAETA算法对这11个台站的数据进行分析, 计算得到九寨沟防震减灾局AETA台站(104.25°E, 33.26°N)的波形震前震后出现明显的异常条带, 2017年8月12日至11月20日冕宁防震减灾局AETA台站(102.17°E, 28.55°N)的AETA波形也出现震前异常条带。结果表明, AETA设备可在地震发生前捕捉到多点的密切相关的前兆异常, SRSS波的条带异常现象是比较明确的临震前兆特征。

关键词 AETA; 九寨沟地震; 地震预测; 电磁扰动; PCAETA

Earthquake Prediction Research Based on Data of ETA

WANG Xin'an^{1,†}, YONG Shanshan¹, HUANG Jipan¹, LÜ Yaxuan¹, ZHANG Xing², LIANG Yiwen³

1. Earthquake Monitoring and Prediction Technology Research Center, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. School of Electronics and Computer Science, Peking University, Beijing 100871;
3. School of Computer Science, Wuhan University, Wuhan 430072; † E-mail: anxinwang@pku.edu.cn

Abstract Through the analysis of data of AETA (a system of earthquake precursory signals), before and after Jiuzhaigou Ms 7.0 earthquake in Sichuan Province on August 8, 2017, the result shows that there were 13 AETA stations which captured the associated abnormalities of 36 AETA stations stalled in Sichuan Province, and 9 of which were close related. A typical wave (SRSS wave) of electronic-magnetic disturbance average value found in 11 stations of the 13 stations, had a feature of changing synchronously with the time of sunrise and sunset. An abnormal stripe was found before and after Jiuzhaigou earthquake by PCAETA algorithm applied in SRSS of the 11 stations. Furthermore, the abnormal stripe is also found in Mianning Disaster Prevention and Mitigation Bureau station during August 12 to November 20, in 2017. It is concluded that AETA system can capture close related precursory abnormalities at multiple stations before earthquake and the abnormal stripe of SRSS wave is an obvious and specific earthquake precursory characteristics.

Key words AETA; Jiuzhaigou earthquake; earthquake prediction; electronic-magnetic disturbance; PCAETA

大地震在不可预知的情况下发生, 造成的危害极大^[1], 尤其是大地震的次生灾害, 如海啸^[2]、水库垮塌^[3]等。我国断裂带分布十分广泛, 是地震多发且受害最严重的国家。近60年来, 我国7级以上的大地震均发生在断裂带及其边缘, 包括2008年汶川地震^[4]、2010年玉树地震^[5]、2013年雅安地震^[6]

以及2017年九寨沟地震^[7]等, 如图1所示。

对断裂带和地震机理, 有一些理论假说和模型, 但未得到实际震例和观测实验的充分论证^[8]。以观测前兆异常现象开展临震预测研究, 是一种主要的探索方式^[9-13]。

本研究团队研制的AETA系统^[14-16]以支撑大区

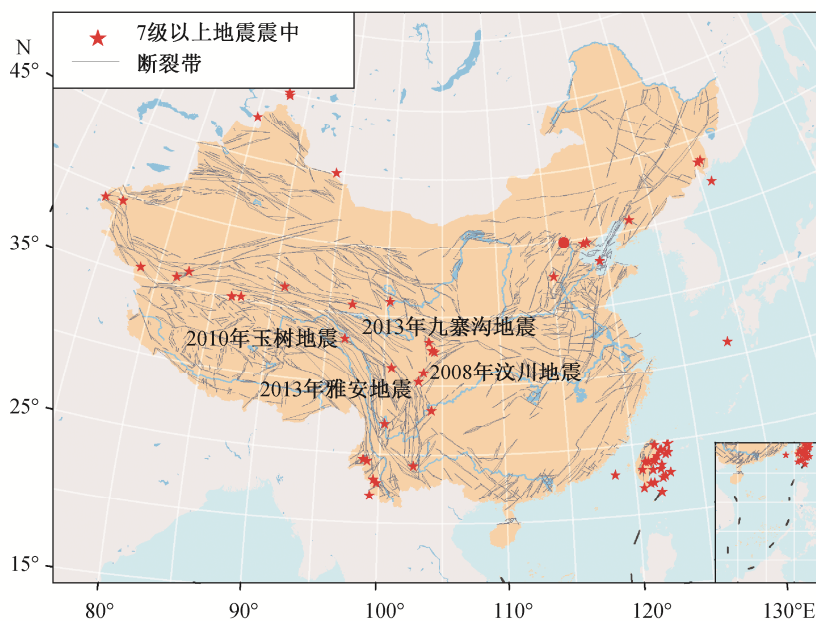


图1 近60年中7级以上地震分布

Fig. 1 Epicenter distribution of earthquakes larger than 7.0 in latest 60 years in China

域、高密度前兆观测台阵进行地震预测为出发点,以高环境适应性、高可靠性、高稳定性、易于布设和运维为设计标准,通过对地震发生前后的AETA监测数据进行分析,找出AETA监测数据异常与地震之间的关系,进而预测地震。

本文给出2017年8月8日四川省阿坝州九寨沟县Ms 7.0级地震前后,四川地区已安装的AETA设备捕捉到的监测数据,并基于这些数据开展地震预测研究。

1 多分量地震监测预测系统 AETA

多分量地震监测预测系统 AETA 由数据处理终端、地声传感探头、电磁传感探头以及监测数据云平台和分析系统组成,感知来自地下的电磁扰动和地声信号,实时采集数据,通过互联网(有线或无线)将数据传输到云平台进行后续存储、特征提取和异常分析等,如图2所示。

截至论文投稿之前,在中国地震局的支持下,

AETA 系统在四川、云南、西藏、河北、北京、广东、深圳和台湾等地区安装约200余台,其中四川布设的3.0版设备达84台,基本上覆盖四川全境重点区域,如图3所示。九寨沟地震前,四川地区已布设36台。

2 震前 AETA 监测数据分析

2.1 震前 AETA 数据的波形分析

对四川地区震前布设的36台AETA监测点的数据进行分析和统计,发现有13个台站出现与本次地震相关性较高的异常:九寨沟防震减灾局AETA台站(JZG)、松潘地震台AETA台站(SP)、平武县防震减灾局AETA台站(PW)、青川县防震减灾局AETA台站(QC)、青川县姚渡观测站AETA台站(QCYD)、小金县防震减灾局AETA台站(XJX)、什邡市防震减灾局AETA台站(SF)、峨眉山防震减灾局AETA台站(EMS)、石棉挖角乡AETA台站(SMWJ)、九龙县乃渠乡政府AETA台站(JLNQ)、沐

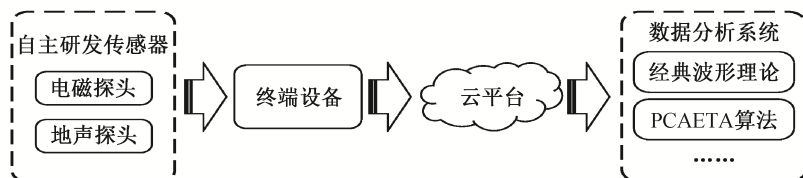


图2 AETA系统框图

Fig. 2 System diagram of AETA

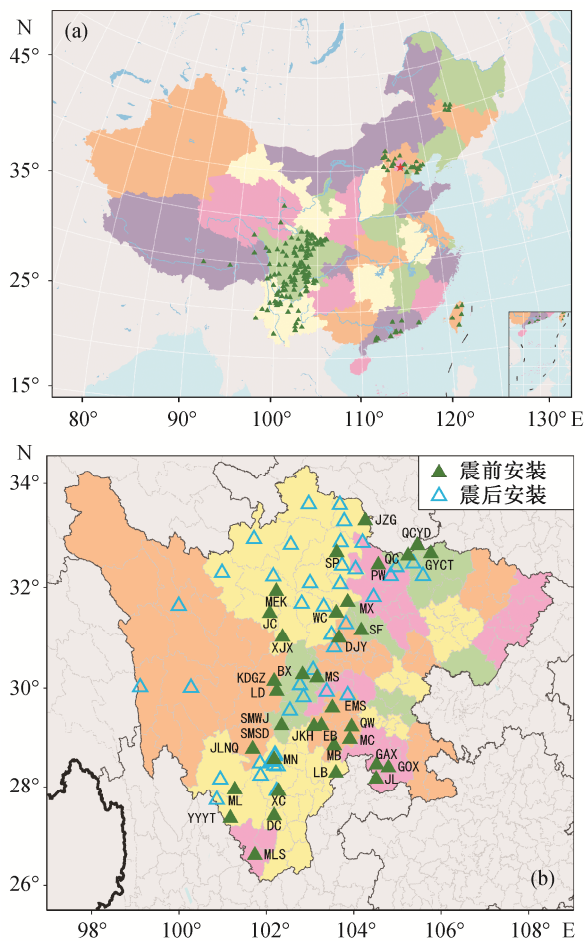


图 3 AETA 在全国(a)和四川省(b)布设情况
Fig. 3 Distribution of AETA in China (a) and Sichuan Province (b)

川防震减灾局 AETA 台站(MC)、马边地震局 AETA 台站(MB)和西昌小庙山洞 AETA 台站(XCXM)。我们将这些异常按时间和异常程度进行统计,结果如图 4 所示。

九寨沟防震减灾局 AETA 台站的 AETA 电磁均值出现一种与日升日落几乎同步的波动,日升时变

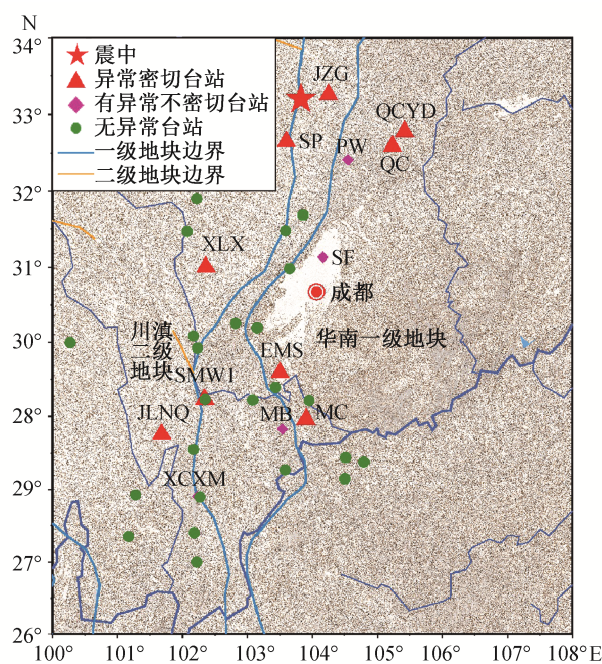


图 4 异常台站与九寨沟地震的震中分布
Fig. 4 Distribution of abnormal stations and Jiuzhaigou epicenter

低,日落时变高,我们将这种波称为“SRSS 波”,如图 5 所示。本文统计了九寨沟县的日升日落时间,并将其与波形中的变化点时间进行对比,发现同步性非常好,如图 6 所示。进一步地,我们发现九寨沟地震前,四川省出现该波的 AETA 台站达到 11 个,如图 7 所示。

在 13 个异常台站中,距离九寨沟地震震中 150 km 范围内的台站有 5 个,出现 SRSS 波的台站有 3 个(JZG, SP 和 QC)。由此可见,在震中区域附近,多个地点会同步出现地震临震异常。相信随着台站布设密度的增加,在该区域会有更多站点在地震前出现同步异常效应。同时,距震中 200 km 以外的异

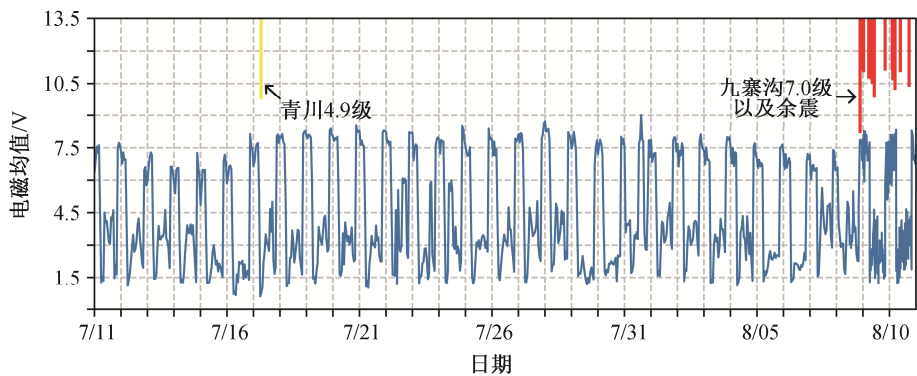


图 5 九寨沟防震减灾局低频电磁均值
Fig. 5 Electronic-magnetic average value of JZG station

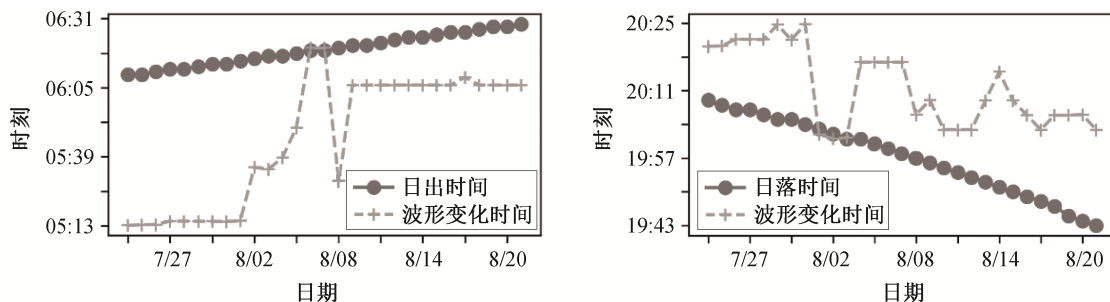


图6 九寨沟SRSS波变化时间点与日升日落时间对应关系

Fig. 6 Time synchronous relation of SRSS wave of JZG station with sunrise and sunset

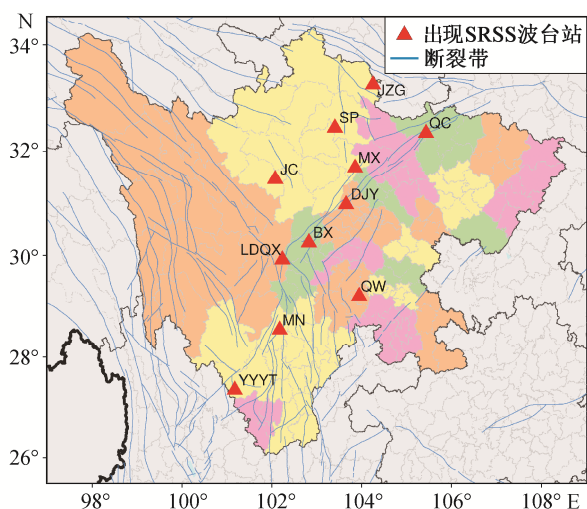


图7 出现相似SRSS波的监测点分布

Fig. 7 Distribution of stations captured SRSS

常台站中,部分台站的异常比较显著,我们认为这是因为在特定地质结构下大地震(≥ 7.0 级)会在较大范围的区域引起同步异常,尤其是在一些历史大震区,其信号可反映较远地区的未来大地震。

2.2 PCAETA 预测算法分析

PCAETA算法是基于主成分分析(principal component analysis, PCA)的方法。PCA方法是一种在数据挖掘及数据分析领域广泛应用的方法,具有能分离不同信号、有效地识别相对较弱信号的优势,可用于地震电磁扰动的研究^[17]。近年来,一些学者在PCA应用于震前TEC异常探测方面取得一些进展^[18-20]。2016年,邹斌等^[18]将PCA、滑动时窗法和张小红等^[20]提出的限差确定策略相结合,提出一种震前电离层异常探测新方法:滑动PCA方法。本文的PCAETA算法就是将滑动PCA方法运用到AETA的SRSS波的异常分析中,绘制热力图,分析临震特征,进行地震预测。

图8表示2017年8月8日九寨沟Ms 7.0地震前后,运用PCAETA算法,对九寨沟防震减灾局AETA台站的AETA设备观测数据进行计算,得到2017年7月11日至2017年10月19日的百日异常值热力图。可以看出,地震发生前5日,每天05—06时出现异常程度逐渐增强的连续异常条带,地震发生前2日,异常点的异常程度大于2,明显高于历史背景中其他异常点;地震21时19分发生,异常点位于当天21—22时,表明此时的异常程度大于该日其他时段;地震发生后,05—06时再次出现异常程度逐渐减弱的连续异常条带,持续15天,也是余震频发的时期,之后没有大的余震发生。

由PCAETA算法得到的临震异常条带及其映震效果,在冕宁防震减灾局AETA台站(MN)的AETA观测数据中得到进一步验证,图9表示冕宁防震减灾局AETA台站2017年8月12日至2017年11月20日的百日异常值热力图。表1列出2017-08-12至2017-11-20距冕宁防震减灾局AETA台站200 km范围内地震及其与条带异常的对应情况,可以看出,在该时段内,如果条带异常发生在2~3天后,则一定会发生地震;如果没有条带异常,则没有大于3.0级的地震。

3 总结

本文针对2017年8月8日九寨沟Ms 7.0级地震事件,对AETA的数据进行分析,发现在此次地震发生前,在四川地区已安装的36个台站中有13个台站出现相关异常,证明AETA设备在地震发生前捕捉到可观测和可量化的前兆异常。同时,在数据分析中,出现一种与日升日落几乎同步的电磁均值波动,日升时变低,日落时变高。在九寨沟地震前,四川地区出现该波形的台站达到11个。本文采用

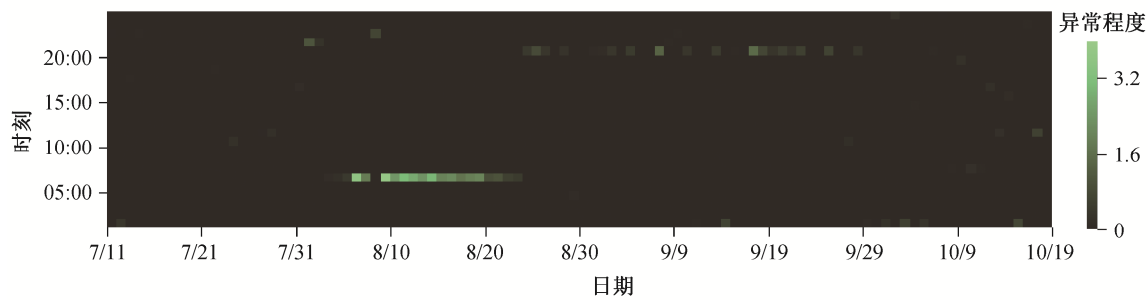


图 8 九寨沟防震减灾局 AETA 台站异常值热力图(UTC+8)
Fig. 8 Thermo gram of abnormal value of JZG station (UTC+8)

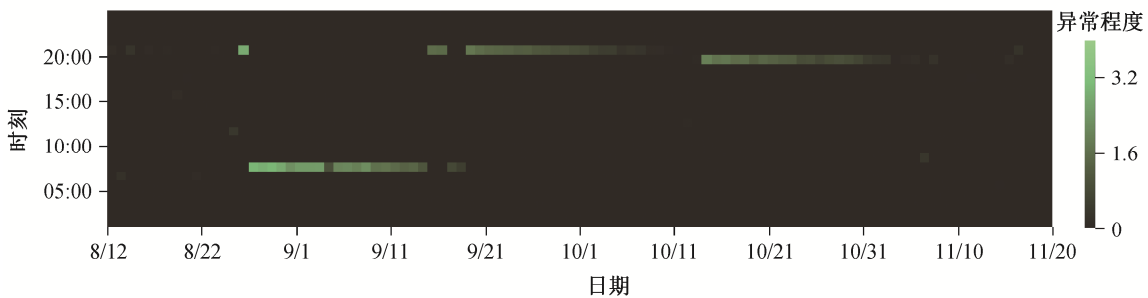


图 9 冕宁防震减灾局 AETA 台站异常值热力图(UTC+8)
Fig. 9 Thermo gram of abnormal value of MN station (UTC+8)

表 1 2017-08-12 至 2017-11-20 距离冕宁防震减灾局 AETA 台站 200 km 内地震及其与条带异常对应情况
Table 1 Correlation of abnormal stripe and earthquakes of which distance to MN station is less than 200 km from 2017-08-12 to 2017-11-20

条带异常时段(UTC+8)	发震时刻(UTC+8)	震级	震中位置	深度/km	震中距/km
2017-08-27 至 2017-09-16	2017-08-30 13:46:17	Ms 3.0	27.90°N, 101.37°E	8	107
	2017-09-12 18:40:10	Ms 3.2	27.92°N, 101.42°E	13	101
	2017-09-12 19:25:59	Ms 3.0	27.91°N, 101.39°E	15	101
	2017-09-12 19:26:40	Ms 4.4	27.93°N, 101.42°E	13	101
2017-09-19 至 2017-10-09	2017-09-21 10:03:12	Ms 3.0	27.93°N, 101.41°E	15	101
2017-10-14 至 2017-11-01	2017-10-25 14:29:37	Ms 3.0	27.90°N, 101.43°E	13	102

PCAETA 算法对该波形进行计算,发现在九寨沟地震前后,九寨沟防震减灾局 AETA 台站出现明显的异常条带。对冕宁防震减灾局 AETA 台站的 AETA 数据中 SRSS 波进行计算分析,发现在 2017 年 8 月 12 日至 11 月 20 日的 7 次地震事件中,也出现临震异常条带。我们认为 SRSS 波的出现可能是一种重要的地震临震异常波形。

致谢 研究工作得到杨芙清院士和王阳元院士的指导和帮助,得到深圳深创谷等企业的技术支

持;实验工作得到四川省地震局以及阿坝州、九寨沟县、冕宁县防震减灾局的支持;数据整理和图表绘制得到北京大学深圳地震监测预测技术研究中心同学的帮助。在此一并表示感谢。

参考文献

[1] 冯蔚,朱林,赵美松. 2016 年全球地震灾害概要. 国际地震动态, 2017(11): 29-32
[2] 陈运泰,杨智娴,许力生. 海啸、地震海啸和海啸

- 地震. 物理, 2005(12): 864-872
- [3] 隆文非. 四川省“5.12”特大地震震损水库险情分析 // 中国水利学会 2008 学术年会论文集(上册). 北京: 中国水利学会, 2008: 5
- [4] 雷建设, 赵大鹏, 苏金蓉, 等. 龙门山断裂带地壳精细结构与汶川地震发震机理. 地球物理学报, 2009, 52(2): 339-345
- [5] 吴继文, 黄学猛, 谢富仁. 甘孜-玉树断裂当江段晚第四纪滑动速率. 地球物理学报, 2017, 60(10): 3872-3888
- [6] 陈立春, 冉勇康, 王虎, 等. 芦山地震与龙门山断裂带南段活动性. 科学通报, 2013, 58(20): 1925-1932
- [7] 徐锡伟, 陈桂华, 王启欣, 等. 九寨沟地震发震断层属性及青藏高原东南缘现今应变状态讨论. 地球物理学报, 2017, 60(10): 4018-4026
- [8] 吴晓娟, 秦四清, 薛雷, 等. 基于震例探讨大地震的物理机制. 地球物理学报, 2016, 59(10): 3696-3710
- [9] 陈运泰. 地震预测: 回顾与展望. 中国科学: 地球科学, 2009, 39(12): 1633-1658
- [10] 张肇诚, 张炜. 地震预报可行性的科学与实践问题讨论. 地震学报, 2016, 38(4): 564-579
- [11] 赵永红, 王航, 杨家英, 等. 地震预测方法 II: 评述. 地球物理学进展, 2014, 29(2): 0630-0637
- [12] 王喜珍, 滕云田, 张敏, 等. 地震前兆台站观测系统的发展思路. 中国地球物理, 2011(16): 531
- [13] 车用太, 刘成龙, 鱼金子, 等. 汶川 Ms 8.0 地震的地下流体与宏观异常及地震预测问题的思考. 地震地质, 2008, 30(4): 828-838
- [14] 王新安, 雍珊珊, 徐伯星, 等. 多分量地震监测系统 AETA 的研究与实现. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(3): 487-494
- [15] 雍珊珊, 王新安, 庞瑞涛, 等. 多分量地震监测系统 AETA 的感应式磁传感器磁棒研制. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(3): 495-501
- [16] 林科, 王新安, 张兴, 等. 一种适用于大地震临震预测的地声监测系统. 华南地震, 2013(4): 54-62
- [17] 姚休义, 冯志生. 地震磁扰动分析方法研究进展. 地球物理学进展, 2018, 33(2): 0511-0520
- [18] 邹斌, 郭金运, 常晓涛, 等. 基于主成分分析与滑动四分位法的震前 TEC 异常探测对比分析. 全球定位系统, 2016, 41(4): 63-69
- [19] Chang X, Zou B, Guo J, et al. One sliding PCA method to detect ionospheric anomalies before strong earthquakes: cases study of Qinghai, Honshu, Hotan and Nepal earthquakes. *Advances in Space Research*, 2017, 59(8): 2058-2070
- [20] 张小红, 任晓东, 吴风波, 等. 震前电离层 TEC 异常探测新方法. 地球物理学报, 2013, 56(2): 441-449