

苗园青、张学民、申旭辉等,2011,云南地区震前舒曼谐振异常初步分析,中国地震,27(3),290~299。

云南地区震前舒曼谐振异常初步分析

苗园青 张学民 申旭辉 欧阳新艳

中国地震局地震预测研究所,北京市复兴路63号 100036

摘要 舒曼谐振异常现象与地震活动性有较好的相关性,舒曼谐振异常现象可能与地震电离层扰动有关,是岩石层-大气层-电离层耦合的重要体现之一。本文详细介绍了云南舒曼谐振地震前兆观测台的系统结构和仪器参数,以及统计分析和震例分析的结果。永胜台观测数据显示2011年3月10日云南盈江 $M5.8$ 级地震震前3天 B_y 分量出现舒曼异常,2011年1月23日临沧东部 $M4.0$ 级地震震前2天 B_y 分量出现舒曼异常;通海台观测的 B_y 分量频谱分析结果显示,2011年5月22日红河州 $M4.2$ 级地震当日日前3阶谐振频率对应谱密度出现强烈扰动。研究表明,舒曼谐振地震前兆监测是一种可行的监测手段。

关键词: 舒曼谐振 地震电磁前兆 云南地区

[文章编号] 1001-4683(2011)03-0290-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震发生前后震中附近会出现不同频率范围的电磁辐射,从DC、ULF到VLF都有涉及(Ozaki,2009)。国内外地震电磁辐射观测中,曾多次记录到临震前到震时的电磁辐射前兆信息(Fenoglio et al,1995;Murakami et al,2001;Johnston,2002;Honkura et al,2002;Ujihara et al,2004;Gavrilenko,2005;汤吉等,2010)。大量的空间观测资料显示,地震电磁异常不仅存在于岩石圈,电离层也存在地震电磁异常空间响应(Hayakawa,1999;Hayakawa et al,2002)。

舒曼谐振是位于地球和电离层构成的谐振腔体内,由全球闪电活动激发的特殊谐振,其谐振频率由地球的尺寸决定(Schumann,1952)。舒曼谐振多用于全球闪电活动、全球变暖、低电离层属性等方面的研究(Nickolaenko et al,2002)。最近几年,日本研究者在分析震前记录的ULF/ELF电磁辐射数据时,发现震前监测数据的背景噪声在舒曼谐振对应本征频率上有异常现象,这种舒曼异常现象与地震活动有良好的相关性(Ohta et al,2006)。Ohta等(2006)对1999~2004年期间台湾地区发生的33次5级以上地震进行统计分析,其中所有陆地型地震均出现了相应的舒曼谐振异常。Hayakawa等(2005)利用日本Nakatsugawa台站观测的舒曼数据对1999年台湾附近发生的4组5级以上地震进行统计分析,同样发现了明显的震前舒曼异常现象。

目前,国内外对震前舒曼谐振异常还处于探索阶段,中国地震局地震预测研究所于

[收稿日期] 2011-08-18

[基金项目] 地震与舒曼谐振异常研究(2010IES0202)、多种地球物理场动态图像与强震预测试验(201008007)联合资助

[作者简介] 苗园青,女,1985年生,2009级在读硕士研究生,主要从事地震电磁研究。E-mail:miaoyuanqing@126.com

2010年6月分别在云南地区架设了3台SRG-M01舒曼谐振仪。本文详细介绍了其系统结构、仪器参数,并对云南地区2010年8月至2011年6月期间发生的13次 $M4.0$ 以上地震进行舒曼谐振频谱分析,其中5次地震出现了震前舒曼异常现象。

1 云南舒曼谐振地震前兆监测台

舒曼谐振的观测频段属于ELF,易受到电力线、通信线路等干扰。舒曼观测台一般应选择在远离城市的偏远地区架设。2010年6月,经过前期详细的勘察研究,中国地震局地震预测研究所分别在云南巧家县、永胜县和通海县架设了3台SRG-M01舒曼谐振仪。仪器的观测频段设置为 $0\sim 32\text{Hz}$,系统由3个长约1m相互正交的感应线圈组成,可以同步测量3个轴向(南北、东西、垂直)的磁场分量 B_x 、 B_y 和 B_z 。信号经过前置放大器后由低通滤波器进行滤波,再经过主放大器后由A/D转换器以 100Hz 的采样率进行数字化转换,图1为观测系统的结构示意图。信号FFT分析的数据长度为1024,相应的时间分辨率为 10s ,频率分辨率是 0.1Hz 。图2为2011年3月8日永胜台记录到的 B_x 分量,图中清晰地显示出8、14、20、26Hz附近4阶谐振谱线,分别对应于图谱中 f_1 、 f_2 、 f_3 及 f_4 。其中1阶谐振频率的谱密度最强,其他3阶的谱密度随阶数增加逐渐减弱。

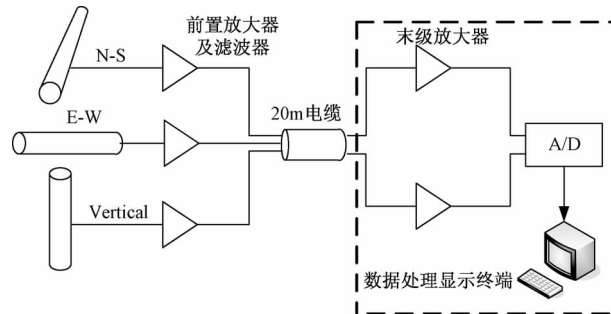


图1 舒曼谐振地震前兆观测系统结构示意图(据曹丙霞等(2009))

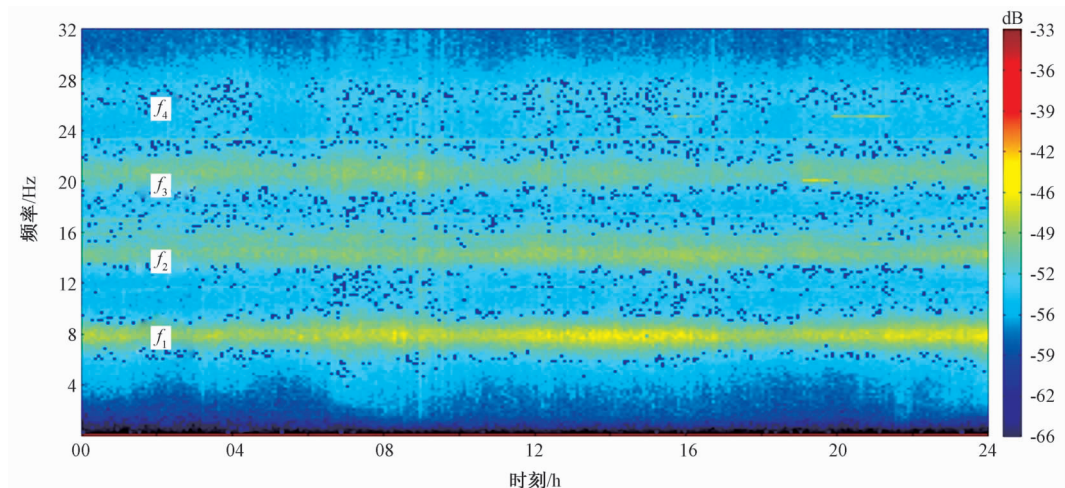


图2 2011年3月8日永胜台 B_x 分量舒曼谐振

2 舒曼异常震例分析

由于巧家台仪器目前运行相对不稳定,数据监测不连续,本文只采用永胜台和通海台的数据进行分析。2010年8月~2011年6月期间,云南地区发生 $M4.0$ 以上地震13次,其中5次震前几天出现舒曼异常现象,如表1所示。本文针对其中异常比较明显的2011年3月10日盈江 $M5.8$ 地震、2011年1月23日临沧东部 $M4.0$ 地震和2011年5月22日红河州 $M4.2$ 地震做了详细分析。为了反映地震前后舒曼异常的演化,分析了震前到震后的多天观测数据。

2.1 盈江 $M5.8$ 地震

2011年3月10日云南盈江发生 $M5.8$ 地震,震源深度10km。本文分析了永胜台 B_x 、 B_y 、 B_z 磁场3分量震前10天、震后3天的观测数据。其中 B_x 分量在地震前后未出现显著变化,前3阶(8、14、20Hz)谐振谱线较清晰,其中1阶谐振谱密度最强,如图3所示。 B_y 分

表1 云南地区2010年8月~2011年6月期间出现舒曼异常的地震事件

日期	经纬度	震级 M	震源深度 (km)	距永胜、通海的距离 (km)
2010-09-22	N27.14°, E102.99°	4.2	9	228, 336
2011-01-23	N23.09°, E101.57°	4.0	7	314, 23
2011-03-10	N24.65°, E97.95°	5.8	10	360, 498
2011-05-22	N22.91°, E103.64°	4.2	7	510, 160
2011-05-31	N25.05°, E98.7°	4.5	11	240, 438

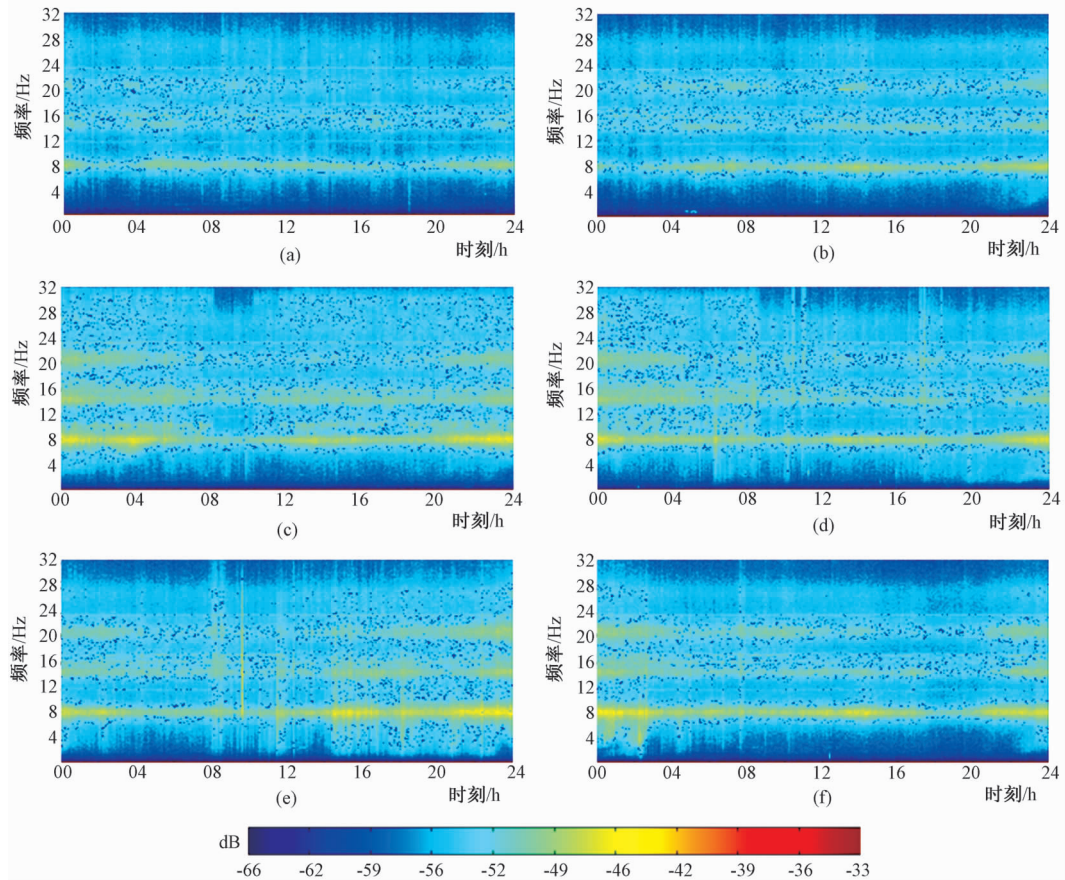


图3 永胜台2011年3月10日 $M5.8$ 盈江地震 B_x 分量频谱分析
(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)分别为3月6、7、10、11、12、13日的分析结果

量频谱分析结果显示,在 2011 年 3 月 6 日之前,没有发生明显的异常情况,以 3 月 6 日的分析结果为例,如图 4(a),图中出现谱密度明显强于背景的四阶舒曼谐振谱线,之前几天的分析结果与其基本相同,不一一显示。3 月 7 日异常出现,如图 4(b),3 月 7 日当地时间 14 ~ 20 时期间,前 3 阶谐振频率对应的谱密度显著增强,地震当天谐振信号最为明显,如图 4(c)。3 月 11 日舒曼谐振信号明显弱于 3 月 10 日,如图 4(d)所示,3 月 13 日以后异常基本消失。Bz 分量频谱分析未发现震前舒曼谐振异常现象,3 月 10 日当地时间 00 ~ 08 时和 3 月 10 日 10 时至次日 08 时 2 个时段内在 12、30Hz 频段附近出现干扰,如图 5 所示。

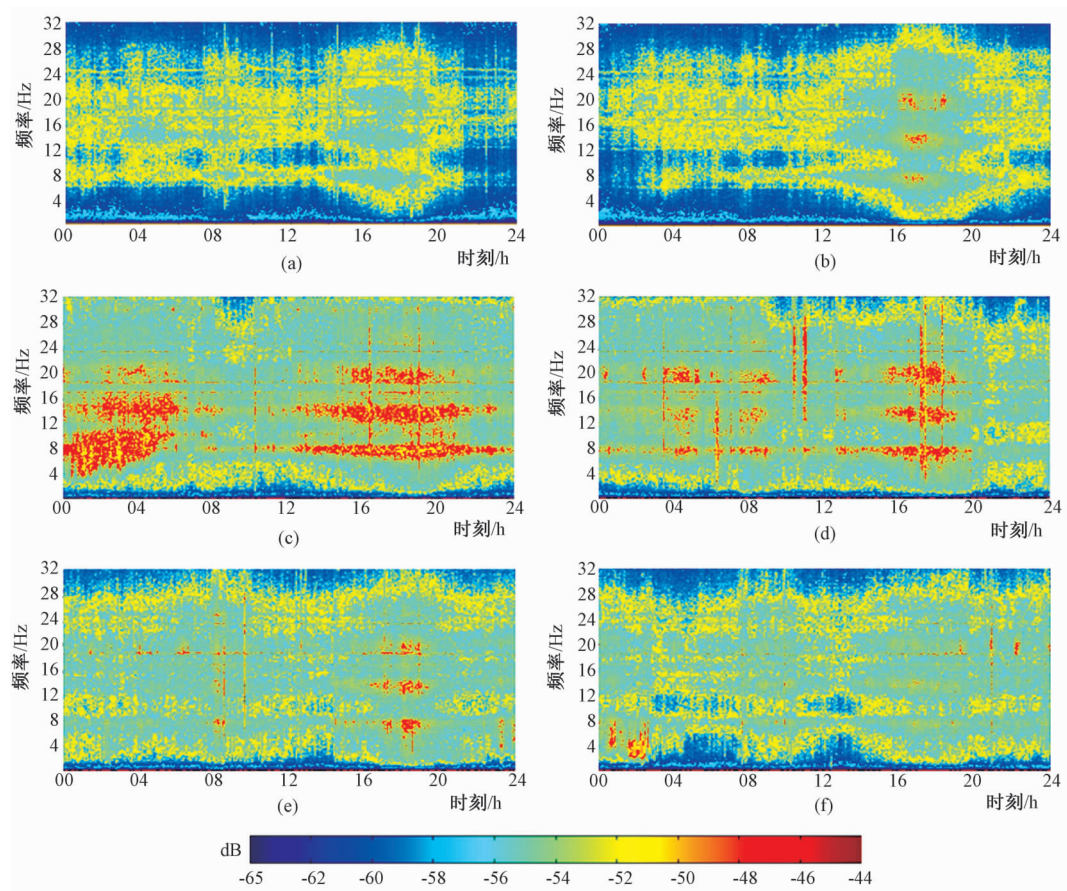


图 4 永胜台 2011 年 3 月 10 日 $M5.8$ 盈江地震 By 分量频谱分析
(a)、(b)、(c)、(d)、(d)、(f) 分别为 3 月 6、7、10、11、12、13 日的分析结果

2.2 临沧东部 $M4.0$ 地震

2011 年 1 月 23 日临沧东部发生 $M4.0$ 地震,震源深度 7km。本文对永胜台震前 10 天震后 3 天的磁场 3 分量观测数据进行频谱分析,其中 Bx 分量和 Bz 分量未发现舒曼谐振异常,和盈江地震分析结果类似,不再赘述。By 分量频谱分析结果显示,1 月 19 日之前未发现舒曼谐振异常,以 2011 年 1 月 19 日的分析结果为例说明,如图 6(a)所示。1 月 20 日的前 3 阶舒曼谐振开始出现异常,其对应的谱密度显著增强 10dB 以上,如图 6(b)所示。这种异常在地震当天和震

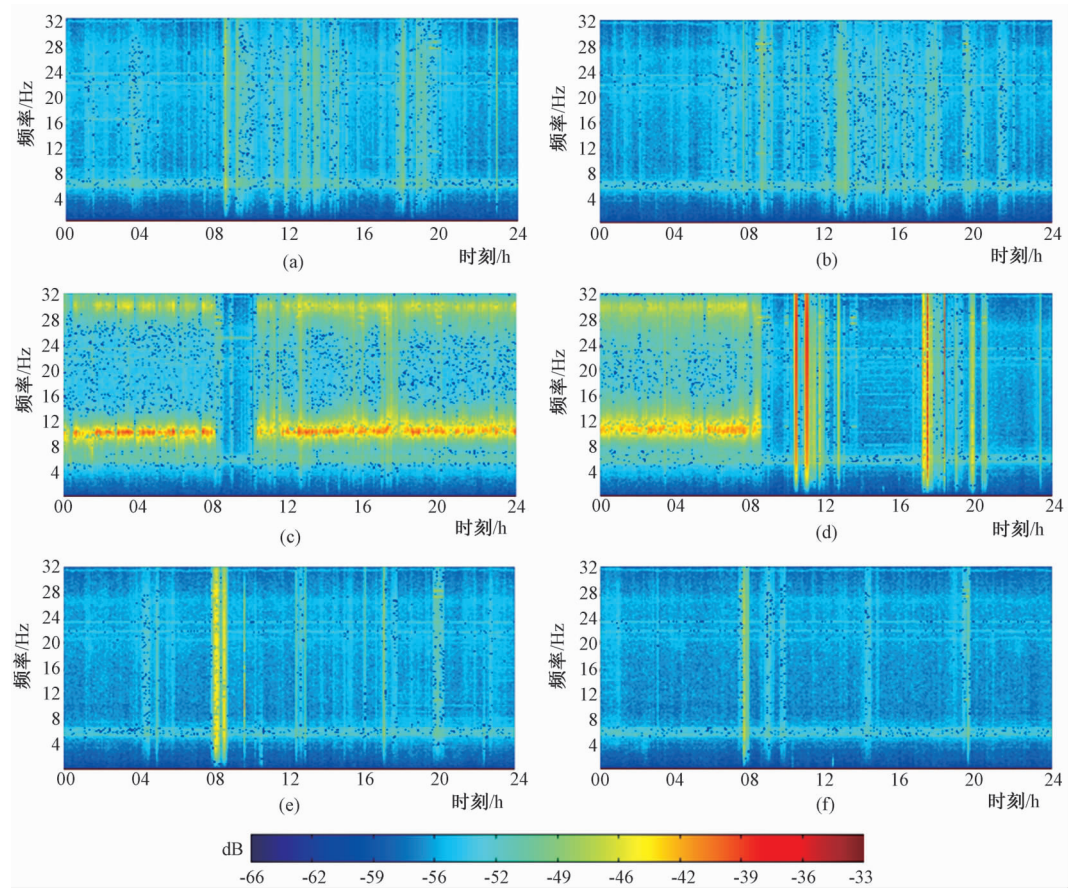


图5 永胜台 2011 年 3 月 10 日 $M5.8$ 盈江地震 Bz 分量频谱分析
(a)、(b)、(c)、(d)、(d)、(f) 分别为 3 月 6、7、10、11、12、13 日的分析结果

后一天最为明显,如图 6(d)、(e)所示。1 月 25 日之后,异常基本消失,如图 6(f)所示。

2.3 红河州 $M4.2$ 地震

2011 年 5 月 22 日红河州发生的 $M4.2$ 地震,震源深度为 7km,震中距离通海观测台 160km。5 月 19~25 日通海台 B_y 分量频谱分析结果显示(图 7),震前 2 天至震后 2 天,1 阶(8Hz)和 4 阶(26Hz)舒曼谐振本征频率附近表现出很强的信号,5 月 20 日和 5 月 21 日的前 3 阶舒曼谐振表现出较弱的异常现象。地震当日(2011 年 5 月 22 日)舒曼谐振前 3 阶谐振频率对应谱密度出现强烈扰动,延续至 5 月 23 日 02 时,震后谱密度增强现象消失。通海台 B_x 和 B_z 分量的频谱分析结果中未发现震前舒曼异常现象。

2.4 平静时期

在没有地震发生的平静时期,局部雷暴天气的影响,也会使观测数据出现扰动。这种非震扰动与上述震例分析中的震前舒曼异常特征完全不同,在频谱图中表现为一条垂直的亮线,很容易就能排除。2010 年 11 月 1~12 日期间,云南地区无 $M3.0$ 以上地震发生,且这段时期前后半月之内没有 $M4.0$ 以上大震发生。上述震例分析结果显示, B_y 分量对震前舒曼谐振异常较为敏感,所以选取 11 月 4~9 日共 6 天的 B_y 分量谱密度分析结果为例说明,如

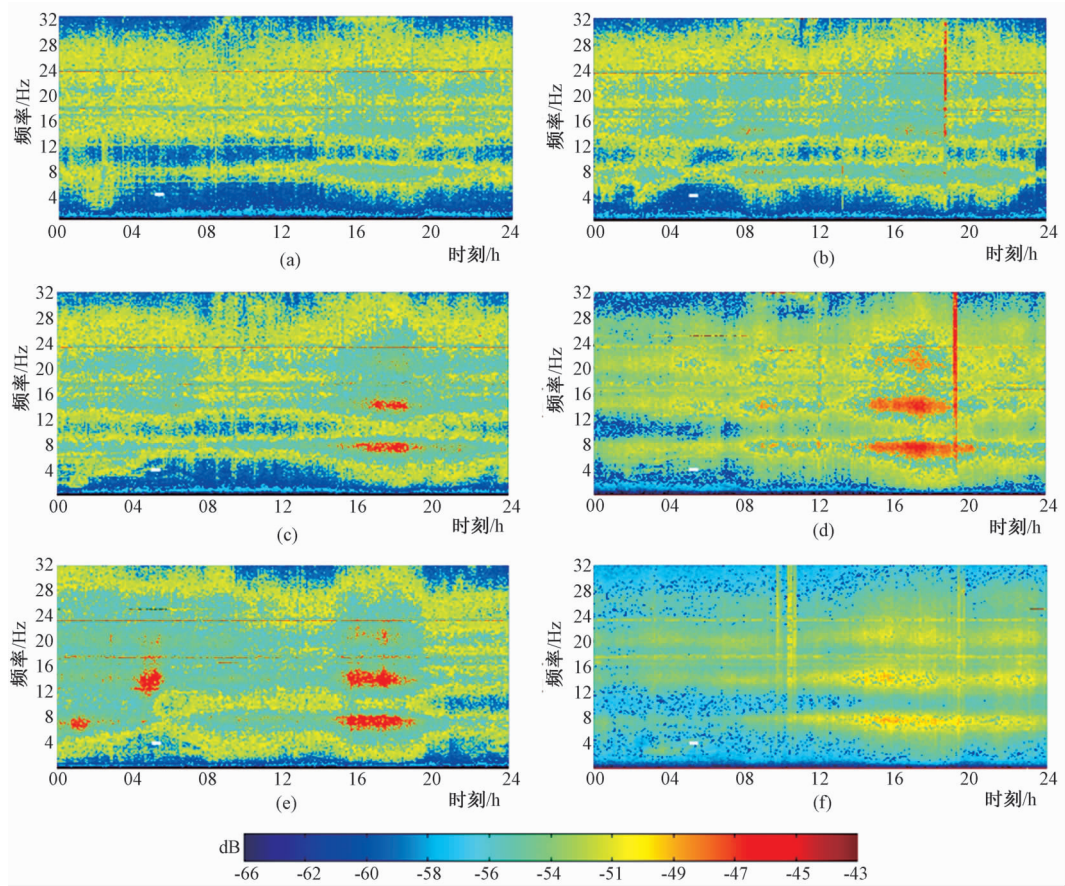


图6 永胜台2011年1月23日临沧市东部M4.2地震By分量频谱分析
(a)、(b)、(c)、(d)、(d)、(f)分别为1月19、20、22、23、24、25日的分析结果

图8所示。其中11月7日频谱图中13时左右出现一条垂直的亮线,如图8(d),这种异常现象是由于局部闪电活动产生的宽频带电磁辐射,使得仪器整个观测频段记录的辐射强度增强而产生,与震前舒曼异常某些高阶谐振频率谱密度增强的特征完全不同。

3 讨论

3.1 地震舒曼谐振监测手段的优势

舒曼谐振观测实质上是一种ELF频段电磁辐射探测,由3个长约1m相互正交的感应线圈同步测量3个轴向的磁场分量。舒曼谐振的物理机制表明,本征频率由地-电离层腔体的尺寸决定,不受人为因素影响,具有较好的稳定性和抗干扰性。而且舒曼谐振是一种时域、频域二维分析的方法,比其他基于单纯时域的电磁辐射观测手段能更有效地剔除干扰、提取异常信息。这也是舒曼谐振相比其他ELF、ULF电磁辐射探测手段的优势所在。

3.2 震前舒曼谐振异常特征

总结国外震前舒曼异常的研究结果,主要包括以下几方面的特征:

(1)时间特征 地震舒曼异常主要在震前几天到1周左右出现,震后两三天逐渐消失。

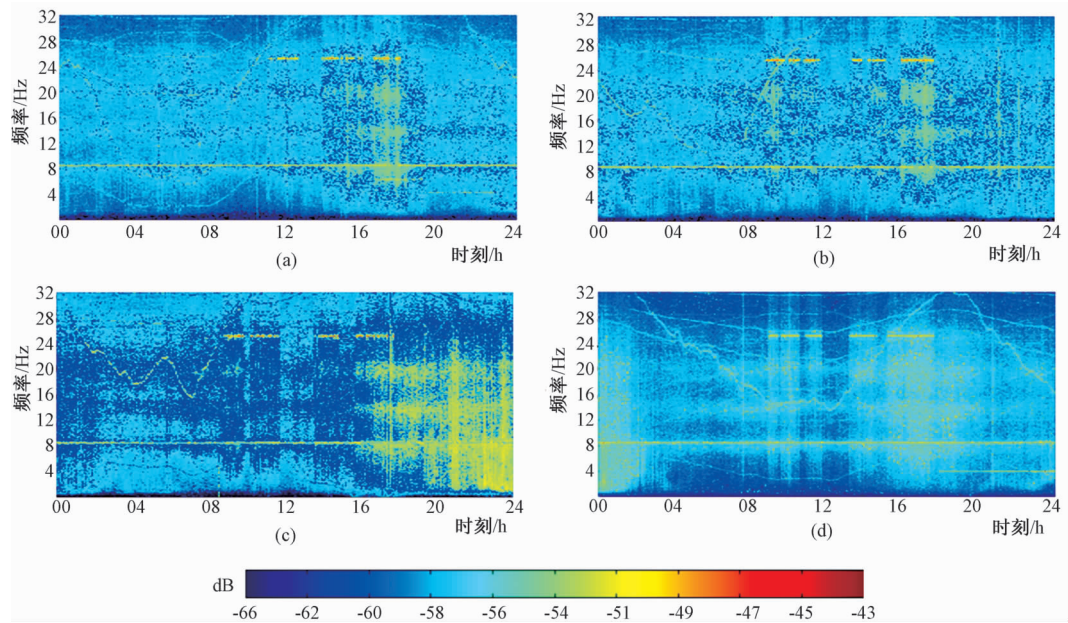


图7 通海台 2011 年 5 月 22 日红河州 $M_{4.2}$ 地震 B_y 分量频谱分析结果
(a)、(b)、(c)、(d) 分别为 5 月 20、21、22、23 日的分析结果

(2)空间特征 目前震前舒曼谐振异常产生的物理机制尚不清楚, Hayakawa 等(2008)提出的干涉模型认为舒曼谐振波经过地震电离层扰动区时会发生反射和散射。反射波和散射波与到达观测台站的直接波发生干涉从而产生震前舒曼谐振异常。也就是说,理论上满足干涉条件范围内的地震舒曼异常都可以被监测到。

(3)幅度特征 舒曼谐振各阶谐振频率对应的谱密度数值比较稳定,日变化幅度不大。各阶谐振频率的谱密度随阶数增加而减弱,1 阶谐振谱密度最强,2 阶、3 阶逐渐减弱,4 阶谐振谱密度最弱。地震舒曼异常的一个特征就是这种规律被打破,震前某些高阶的谐振频率对应的谱密度异常增强,震后几天异常逐渐消失。本文利用云南舒曼谐振数据分析的 3 个震例中,2 阶、3 阶谐振频率对应的谱密度增强幅度均超过十几 dB,与 Hayakawa 等(2005)分析台湾集集地震舒曼异常时,谱密度增强的量级一致。

(4)频率特征 在偏离舒曼谐振本征频率 $1 \sim 2\text{Hz}$ 的频点上也出现谱峰。有的研究者认为这是舒曼谐振本征频率频移;也有的研究者认为这是不同于舒曼谐振的“另一种谐振”(Ohta et al,2008)。

本文利用云南舒曼谐振观测台的数据进行了震例分析,2010 年 8 月 ~ 2011 年 6 月期间,云南地区发生 $M_{4.0}$ 以上地震 13 次,其中有 5 次地震事件出现震前舒曼异常现象。异常通常出现在震前几天,在地震当日增强幅度最大,震后逐渐消失。观测的磁场 B_x 、 B_y 、 B_z 三分量中, B_y 分量对地震事件的响应较为敏感,以第 2 阶、第 3 阶谐振频率对应的谱密度显著增强为特征,与国外地震舒曼异常的研究结果一致。由于云南舒曼谐振台架架设完成不久,累积的观测数据和震例都较少,还没有观测到 3 个台同步出现的异常现象。

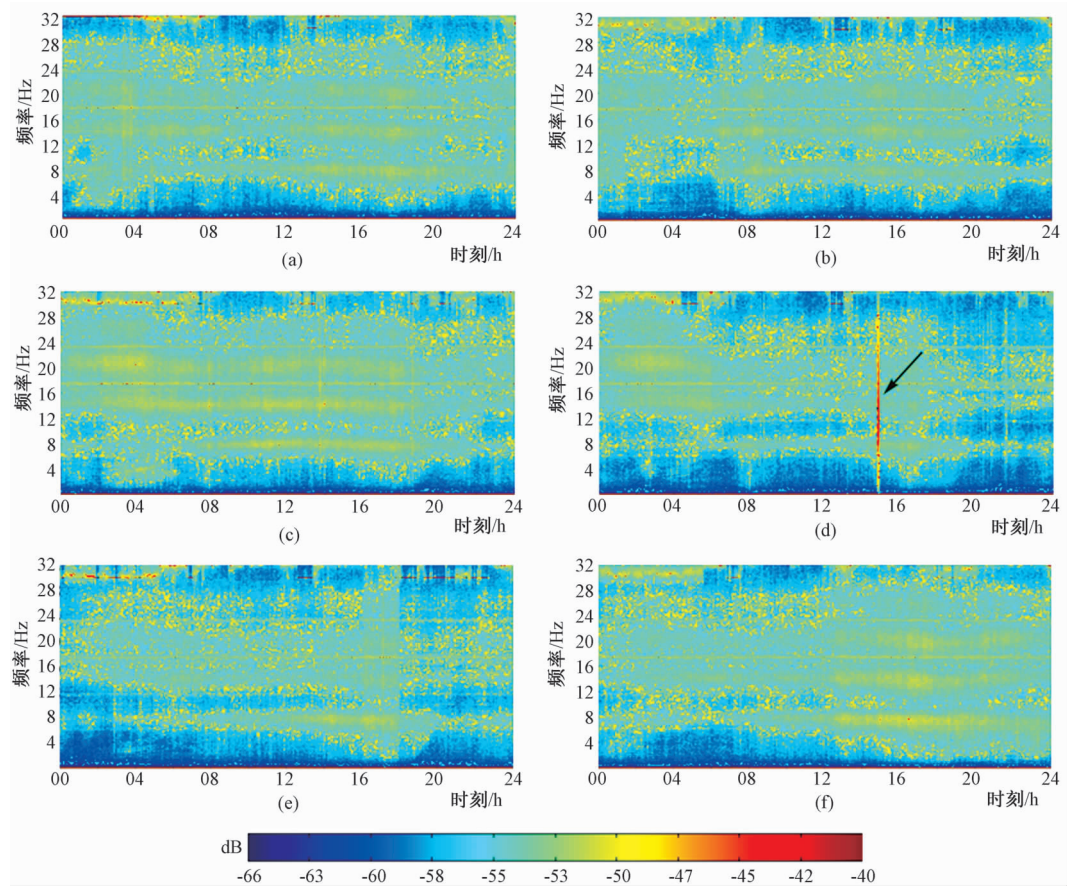


图8 永胜台无地震平静时期 B_y 分量频谱分析结果

(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 分别为 2010 年 11 月 4、5、6、7、8、9 日的分析结果

3.3 地震舒曼异常产生机理探讨

舒曼谐振位于地球与电离层构成的谐振腔体内,是由全球雷暴产生闪电活动激发的特殊电磁谐振,谐振频率由地-电离层腔体的尺寸决定。舒曼谐振的激发源主要是全球 3 大闪电源:美洲源、非洲源和亚洲源。闪电源等效于电流发生器,向电离层充电维持了全球电流平衡和电离层电位。闪电活动产生的宽频带电磁辐射中低频部份很微弱,但对于零级波形,即当其波长等于地球周长(或其整数倍)时,地-电波导相当于一个共振器,低频部分的电磁波在地-电波导中发生共振,从而产生各阶舒曼谐振(Nickolaenko et al, 2002; Bliokh et al, 1980),其谐振频率非常稳定,不易受人类活动干扰而发生变化。

震前舒曼异常现象产生的机理尚不明确,可能是由于孕震过程中出现的微破裂、流体渗透、应力变化等进程,在岩石层-大气层-电离层(LAIC)的化学、声学及电磁等耦合途径作用下(丁鉴海等,2006),引起了震源上方 100km 电离层底部结构参数发生变化,并形成一定尺度的不均匀体,舒曼谐振波经过地震扰动区时发生反射和散射。当反射波和散射波与到达观测台站的直接波满足干涉条件时,发生干涉现象导致舒曼谐振各阶本征频率对应的谱密度、中心频率等参数变化,出现震前舒曼谐振异常。

虽然目前国际上对地震舒曼谐振异常方面的研究尚未取得实质性进展,但是国外的观测资料和云南舒曼台观测数据均显示震前舒曼谐振异常和地震活动之间存在一定关联性,且舒曼谐振的本征频率、谱密度等参数具有较好的稳定性,是一种可行的地震电磁前兆监测方法,为地震电磁监测提供了新思路。

参考文献

- 曹丙霞、宋立众、乔晓林,2009,震前舒曼谐振异常的研究现状及讨论,地震,29(10),76~82。
- 丁鉴海、申旭辉、潘威炎等,2006,地震电磁前兆研究进展,电波科学学报,21(5),791~801。
- 汤吉、詹艳、王立凤等,2010,汶川地震强余震的电磁同震效应,地球物理学报,53(3),526~534。
- Bliokh P V, Nickolaenko A P, Filippov Y F, 1980, Schumann resonances in the earth-ionosphere cavity, New York.
- Fenoglio M A, Johnston M J, Byerlee J D, 1995, Magnetic and electric fields associated with changes in high pore pressure in fault zones: application to the Loma Prieta ULF emissions, Geophys Res, 100(B7), 12951~12958.
- Gavrilenco P, 2005, Hydromechanical coupling in response to earthquakes: on the possible consequences for aftershocks, Geophys J Int, 161(1), 113~129.
- Hayakawa M, 1999, Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes, 996, Tokyo, TERRAPUB.
- Hayakawa M, Molchanov O A, 2002, Seismo electromagnetics: lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling, 477, Tokyo, TERRAPUB.
- Hayakawa M, Nickolaenko A, Sekiguchi A, et al, 2008, Anomalous ELF phenomena in the schumann resonance band as observed at Moshiri (Japan) in possible association with an earthquake in Taiwan, Hazards Earth Syst, 8(6), 1309~1316.
- Hayakawa M, Ohta K, Nickolaenko P, et al, 2005, Anomalous effect in schumann resonance phenomena observed in Japan, possibly associated with the Chi-Chi earthquake in Taiwan, Annales Geophysicae, 23(4), 1335~1346.
- Honkura Y, Matsushima M, Oshiman N, et al, 2002, Small electric and magnetic signals observed before the arrival of seismic wave, Earth Planets Space, 54(12), 9~12.
- Johnston M J, 2002, Electromagnetic fields generated by earthquakes, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, 621~634, Academic Press.
- Murakami H, Hashimoto T, Oshiman N, et al, 2001, Electrokinetic phenomena associated with a water injection experiment at the Nojima Fault on Awaji Island, The Island Arc, 10(3~4), 244~251.
- Nickolaenko A P, Hayakawa M, 2002, Resonances in the earth-ionosphere cavity, Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Ohta K, Izutsu J, Furukawa K, et al, 2008, Anomalous excitation of Schumann resonances associated with huge earthquakes, Chi-Chi (China, 1999) Niigata-Chuetsu (Japan, 2004) Noto-Hantou (Japan, 2007), Observed at Nakatsugawa in Japan, Proceedings of the 7th international conference "problems of geocosmos".
- Ohta K, Watanabe N, Hayakawa M, 2006, Survey of anomalous Schumann resonance phenomena observed in Japan is possible association with earthquakes in Taiwan, 31(4~9), 397~402.
- Ozaki M, 2009, Ionospheric penetration characteristics of ELF waves radiated from a current source in the lithosphere related to seismic activity, Radio Sci, 44(1), 1~12.
- Schumann W O, 1952, On the free oscillations of a conducting sphere which is surrounded by an air layer and an ionosphere shell, Z. Naturforsch, B(7A), 149~154.
- Ujihara N, Honkura Y, Ogawa Y, 2004, Electric and magnetic field variations arising from the seismic dynamo effect for aftershocks of the M7.1 earthquake of 26 May 2003 of Miyagi Prefecture, NE Japan, Earth Planets Space, 56(2), 115~123.

Initial results on anomalous Schumann resonance before earthquakes in Yunnan

Miao Yuanqing Zhang Xuemin Shen Xuhui Ouyang Xinyan

Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

Abstract There is a good correlation between anomalous Schumann resonance and seismic activities. Pre-earthquake Schumann resonance anomaly is an important manifestation of LAIC (Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling), which is probably connected with seismic ionospheric disturbance. The system parameters and research results of statistical and seismic case analysis observed in Yunnan Schumann resonance monitor stations are introduced in this paper. Three days before the Yingjiang $M5.8$ earthquake on March 10, 2011, the component of Yongsheng station showed anomalous Schumann resonance. Two days before the Lincang $M4.0$ earthquake on January 23, 2011, there appeared familiar anomalous Schumann resonance in the By component of the same station. In the case of the Honghe $M4.2$ earthquake on May 22, 2011, spectrum analysis results of Tonghai station on the same day displayed strong spectral density disturbances on the first three Schumann resonance frequencies. Research shows that Schumann resonance monitor is a feasible seismic electromagnetic precursory monitor method.

Key words: Schumann resonance Earthquake electromagnetic precursors Yunnan