

2016年EMSEV学术研讨会与震磁研究新进展^{*}

袁浩浩, 顾左文, 陈 斌, 王 粲, 狄传芝, 王振东

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要: 2016年8月25—29日, 国际地震与火山电磁研究(EMSEV)学术研讨会在中国兰州召开。简要介绍了这次学术研讨会及地震与火山磁效应研究的新进展, 讨论并展望了震磁研究的前景。新进展主要展示了地震发生前岩石圈磁场变化特征和火山爆发前的地磁异常特征, 特别是岩石圈磁场变化对地震的预测取得了较好的效果。

关键词: 2016年国际地震与火山电磁研究(EMSEV)学术研讨会; 震磁效应; 火山磁效应; 国际学术交流

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)03-0340-05

1 2016年EMSEV学术研讨会概况

2016年8月25—29日, EMSEV学术研讨会在中国兰州成功召开。该会议由EMSEV主办, 中国地震局兰州地震研究所和中国地震局地壳应力研究所承办。这次研讨会共有17个国家与地区的136位代表参加, 其中外宾35人, 院士4人、教授43人。EMSEV主席Zlotnicki教授、副主席Johnston博士、秘书Nagao教授、前主席Uyeda教授出席了学术研讨会。会议收到来自18个国家或地区的科学家提交的102篇摘要, 其中在会上报告了82篇, 展示了20篇, 26位科学家作了特邀报告。在研讨会上, 与会专家讨论并推荐了优秀学生论文, 还讨论了这次学术研讨会论文集的出版问题, 利于优秀论文及时在优秀杂志发表。

2016年EMSEV学术研讨会有8个专题: 青藏高原块体的地震活动性与前兆, 与大地震及火山喷发相关的电磁信号, 应用与多学科相结合的电磁方法研究地震与火山, 来自岩石圈至地球外空间的地震和火山喷发的前兆、天然与诱发地震的活动性, 活动断层和火山的物理机制及实验与模型的研究, 地震、火山喷发和其它自然灾害前兆的可靠性, EMSEV相关的国际项目。

作为这次EMSEV会议的组成部分, 2016年8月23—25日, 由中国地震局、中国国家航天局和

意大利空间局联合主办、中国地震局地壳应力研究所牵头承办的“中国电磁监测试验卫星工程第二届国际学术研讨会”在北京召开, 来自意大利、美国、法国、日本、墨西哥与中国的100多位专家和学者参加了此次国际学术研讨会。

2 地震与火山磁效应研究的新进展

在2016年EMSEV学术研讨会中, 与地震和火山磁效应有关的报告反映了这一研究领域的最新进展(EMSEV, 2016b)。

Johnston报告了动态地震电磁效应。地震电磁(EM)信号可以由震源、传播的地震应力波、由于地动而使探头移动等原因产生的动态电磁效应引起。EM信号可以出现在断层破裂之前, 但是要比与地震主能量有关的EM信号小。对于2004年美国加州Parkfield M6地震而言, 高分辨率EM数据可以对这些过程做定量分析。在此次地震过程中, 震中附近的EM仪器处于连续观测状态。位于震中西北115 km测点的EM数据可用于改正来自电离层与磁层的大尺度噪音。在0.01~20 Hz频带, 地磁数据的分辨率为0.03 nT, 而电场数据的分辨率为-6 mV/km。研究表明, 在地震波到达之前3 s, 该测点的震源破裂直接效应没有大于噪音的信号。在地震波到达时的电磁“地震图”出现了峰值信号: 北向与东向的磁信号为-0.4 nT, 而

^{*} 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 财政部地震行业专项 201508013 “2015.0 年代中国地磁参考场编制”、财政部地震行业专项 201508009 “中国综合地球物理场观测——大华北地区”、2016 年中国地震局地球物理研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助项目“与地下应力状态相关的局部岩石圈磁场变化实验研究”共同资助。

垂直向的磁信号为 -8 nT , 北向与东向的电信号为 -60 mV/km 。分析结果显示, 地壳应力与探头移动是这些信号产生的重要原因。关于该地震的电磁前兆, 在震前一周, $0.01\sim 20\text{ Hz}$ 频带中没有电磁前兆。而 Parkfield $M6$ 地震在这测点上的静态磁效应为 -0.2 nT , 该结果与由大地测距及压磁模型的计算结果相一致 (Johnston, 1997; Johnston *et al*, 2006)。

陈斌报告了地震前的岩石圈磁场异常变化, 如 2013 年 4 月 20 日芦山 $M7.0$ 地震等 10 多个 $M\geq 5$ 地震前后岩石圈磁场的变化。分析岩石圈磁场时空特征, 表明存在岩石圈磁场较高梯度与较大变化的区域是下一年度易发震区。而且如果磁变化很小但其方向与数值不同且存在较大差异, 则这可能是下一年度该区的地震前兆。进一步考虑该区域的断裂活动, 就有可能在震前捕捉到地震前兆。统计显示, 发震的地方离该磁异常区为 -10 km , 而磁异常区的半径为 -50 km 。今后要深入研究岩石圈磁异常变化及其与地震的关系, 探讨这种震磁关系的物理基础。

倪喆报告了中国南北地震带的地磁测量及与地震相关的磁异常。在南北地震带的 310 个测点 (相邻测点的间距为 -70 km), 每年进行一次地磁三分量的测量, 获得了大量准确可靠的地磁数据。基于这些地磁数据, 研究岩石圈磁场的时空变化, 分析了岩石圈磁异常及其与区域地震的相关性, 探讨了应用岩石圈磁异常预测地震的方法, 并在实践中进行了检验。2012 年 6 月预测在 2012 年 6 月—2013 年 6 月有 5 个发震区, 2013 年 3 月 3 日洱源 $M5.5$ 地震与 2013 年 4 月 20 日芦山 $M7.0$ 地震就发生在预测的发震区 (倪喆等, 2014a、c); 2013 年 6 月预测在 2013 年 6 月—2014 年 6 月有 5 个发震区, 2014 年 8 月 3 日鲁甸 $M6.5$ 地震就发生在预测的发震区; 2014 年 6 月预测在 2014 年 6 月—2015 年 6 月有 6 个发震区, 2014 年 8 月 27 日永善 $M5.0$ 地震与 2014 年 10 月 22 日康定 $M6.3$ 地震就发生在预测的发震区 (倪喆等, 2014b); 2015 年 6 月预测在 2015 年 6 月—2016 年 6 月有 8 个发震区, 2015 年 10 月 30 日长宁 $M5.1$ 地震与 2016 年 1 月 21 日门源 $M6.4$ 地震发生在预测的发震区。

由此可见, 2012—2015 年一共预测了 24 个发震区, 而预测后一年中有 7 个地震发生在预测的发震区内。

王雷报告了大别山地区岩石圈磁场与地震活动性的关系。在大别山地区布设了以 20 km 为间距的 108 个测点进行地磁测量。基于磁测资料与地磁参考场模型, 分析了岩石圈磁场的空间分布与时间变化, 建立了岩石圈磁场模型。根据区域地质构造与地震活动性, 研究了大别山地区岩石圈磁场与地震活动的关系。结果表明, 地震位于地磁偏角与倾角的零线区, 在震中区有明显的地磁变化 (顾春雷等, 2012)。

袁洁浩介绍了 2016 年中国南北地震带与华北地区流动地磁监测的异常分析。根据磁测技术要求^①, 2015 年 5 月—2016 年 5 月在中国南北地震带与大华北地区开展了监测地震的磁测工作, 分析了 2015—2016 年南北地震带与大华北地区的岩石圈地磁变化及其异常的分布特征。结果表明, 南北地震带有 5 个地磁异常区、华北地区有 5 个地磁异常区与 2 个地磁总强度异常区。根据流动地磁监测预报地震方案^②, 预测 2016 年 5 月—2017 年 5 月在这些地磁异常区可能将发生 $M5\sim 6$ 地震, 有待今后检验。

Zlotnicki 报告了与火山活动有关的电磁信号相关研究。引起火山电磁信号有多种原因: 孔隙压力变化、应力场变化、熔岩囊的结晶过程、深部热的液体与气体逸出、流体热系统的作用、带电的尘埃与气体喷发等。相应的物理机制为压磁效应、热磁效应、电动磁效应、感应磁效应等 (Johnston, 1997; Zlotnicki, Le Mouél, 1990)。1950 年起开始观测与研究火山磁效应。1980 年代以来, 在日本、美国、法国、印度尼西亚、意大利等国家的火山活动区布设了地磁测网, 观测到了伴随火山喷发之前与喷发期间的几 nT 至几十 nT 磁效应 (Sasai, Ishikawa, 1991; Tanaka, 1995; Johnston *et al*, 1981; Mueller *et al*, 1989, 1998; Rees *et al*, 1995; Zlotnicki *et al*, 1990, 1993, 1998)。综合已有的火山磁效应, 可以得出: (1) 在火山喷发之前几年中, 以 -1 nT/a 的年变率持续出现火山磁信息; (2) 在火山活动之前几周中,

① 中国地震局监测预报司. 2015. 关于印发《流动地磁测量基本技术要求》(试行) 的通知。

② 陈斌, 袁洁浩, 倪喆, 等. 2016. 流动地磁专科会商工作规程。

火山磁信号的强度可增加到几个 nT; (3) 在火山喷发时, 火山磁信号的强度可高达几十 nT。

Zlotnicki 还报告了菲律宾的 Taal 火山研究情况。Taal 火山近 3 次喷发分别发生在 1911 年、1965 年和 1977 年, 近 40 年没有喷发过。但是, 该火山有地震活动, 最重要的地震活动出现在 1992 年 2 月 14—28 日与 1994 年 3 月 11—31 日, 在 2005 年 1 月短暂的地震活动之后, 2010 年 4 月开始了新的地震活动。从 2005 年起, EMSEV 与菲律宾合作, 了解该地区的地质构造, 连续监测 Taal 火山的活动性。应用地磁、电磁、甚低频测深、自电势、湖水温度、CO₂ 浓度等方法, 进行各种观测, 分析与研究 Taal 火山的活动状况。从 2012 年起, Taal 火山的活动停止, 将来它的活动性如何, 有待进一步研究, 上述多种观测正在监测 Taal 火山的活动状况。

Sasai 报告了与 2000 年日本 Miyake - Jima 火山喷发的倾斜事件相关的地磁变化。对于 2000 年日本 Miyake - Jima 火山喷发的倾斜事件相关的地磁变化, 已有专家学者做过分析与研究。日本地球科学与防灾研究所提供了新的地磁资料: 在日本 Miyake - Jima 岛上的 6 个测点 1 分钟采样的地磁总强度 F 与 2 个测点 1 秒钟采样的地磁三分量 X 、 Y 、 Z 的数据。分析了地磁总强度相对于 HJJ 测点的同步差值 ΔF 与相对于柿岗地磁台三分量的同步差值 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ ; 结果表明, 与这个最大倾斜事件相关的地磁变化: ΔF 为 2 ~ 5 nT, ΔY 为 -1 nT, ΔZ 为 -1 nT。这些地磁变化是由压磁效应引起的。进一步研究将需要考虑由椭球应力源引起的压磁场。

Sasai 还报告了应用地磁观测来监测菲律宾 Taal 火山的研究情况。Taal 火山位于菲律宾吕宋岛的中部, 该火山由东西长 25 km、南北宽 20 km 的火山湖与活动火山口组成, 在 1911 年发生了大爆发。在该火山曾做过相关大地电磁观测。自 2005 年 1 月起, EMSEV 在 Taal 火山开展了电磁观测, 布设了 28 个测点, 自 2005 年 1 月起测量地磁总强度 F 。此外, 还布设了 4 个台站, 连续观测地磁总强度, 其中 2 个台从 2007 年 12 月开始记录, 另 2 个台从 2012 年 12 月开始记录。2005—2006 年在该火山岛发生了强地震; 2005 年 1—2 月的地磁总强度变化高达 8 ~ 9 nT, 这可能是由地下几米深处地温升高引起的。2010—2011 年 Taal 火山活动期间, 倾斜仪显示 5 km 深处发生了侵入事件, 随后

热气体囊膨胀并伴随大量 CO₂ 气体逸出。已观测到地磁总强度明显的正负变化, 这是由热气体囊膨胀与收缩引起的。

此外, 在 2016 年 EMSEV 学术研讨会上还有地磁模型、地磁卫星数据处理、地磁转换函数等内容的报告。

3 讨论

自 2001 年起, EMSEV 致力于地震与火山电磁研究的国际学术交流与合作, 有力推进了地震与火山电磁研究。2012 年在日本静冈召开了第一次 EMSEV 学术讨论会。之后由 EMSEV 每两年主办一次学术讨论会。2014 年在波兰、2016 年在中国召开了 EMSEV 学术讨论会。从 2004 年开始至今, EMSEV 与菲律宾开展了 Taal 火山的合作监测与研究。2011 年 11 月 10 日, EMSEV 与在 Bishkek 的国际研究中心——地球动力学试验基地 (IGRC)、俄罗斯科学院 Bishkek 研究站 (RS RAS) 签订了科学与技术合作协定, 以推进应用电磁与其它地球物理方法相结合的新研究, 旨在解决有关中亚大陆岩石圈的不同活动断层的地震发生与监测并减轻这类地震的相关问题。

美国西部是美国地震最活跃的地区。20 世纪 70 年代, 美国地质调查局 (USGS) 与各有关大学, 在美国西部、特别在圣安德列斯断层及其临近地区布设了包括地磁在内的地球物理观测网, 以监测该地区的地震活动。该地磁监测网由 28 个永久台、61 个临时台与 131 个测点组成的, 被誉为国际上最好的震磁监测网。该监测网的地磁资料分析结果显示, 对于 $M5.2 \sim 7.3$ 地震, 在离震中 3 ~ 50 km 范围内的观测点与台站, 其地磁总强度的变化异常幅度为 0.3 ~ 6 nT (Johnston, 1997; Johnston *et al*, 1987, 1994, 2006; Mueller *et al*, 1981, 1998)。1974 年 11 月 28 日 Hollister $M5.2$ 地震还存在震磁前兆信息 (Smith, Johnston 1976), 因此, 震磁观测研究是探索地震预测的一种手段。对于 2004 年 9 月 28 日帕克菲尔德 $M6.0$ 地震, 通过深入分析研究该地震前后地磁数据, 表明该地震的同震震磁效应为 -0.4 ~ 0.3 nT, 这是由压磁机制引起的; 而该地震较长时间的震磁异常为 -5.0 ~ 1.0 nT, 该异常是与局部地质构造及其活动、应力变化状况、地下介质的电磁性质

等因素有关 (Johnston *et al.*, 2006)。美国的震磁观测与研究已获得了宝贵的经验, 可供世界各国参考与借鉴。

近年来, 我国的相关专家学者关注岩石圈磁异常变化与地震的关系, 而且在地震活动区与构造活动带, 已观测到与地震活动、地质构造有关的岩石圈磁异常 (陈斌, 2011; 顾春雷等, 2012; 徐如刚等, 2014)。2013年3月3日云南洱源 $M5.5$ 、2013年4月20日四川芦山 $M7.0$ 、2014年8月3日云南鲁甸 $M6.5$ 、2014年8月17日云南永善 $M5.0$ 等地震前, 都存在岩石圈磁变化的前兆异常 (倪喆等, 2014a, b, c)。基于岩石圈磁异常与相应的区域地震活动性相关性的分析研究结果, 中国地震局流动地磁测量团队提出并制定了岩石圈磁异常监测与预测地震活动性的实施方案^①; 根据该方案, 研究并报告了依据区域岩石圈磁异常信息所提出的区域地震活动性的监测预报意见, 参加了中国地震局召开的全国地震监测预报会商会与区域地震监测预报会商会。2010—2015年的实际结果显示, 较好地预测了包括 $M7.0$ 芦山地震在内的 10 多个 $M \geq 5$ 地震, 表明区域岩石圈磁异常含有一定的震磁前兆信息, 对区域地震的监测预报展示了它的效能。2016年在兰州召开的 EMSEV 会议中, 关于岩石圈磁异常前兆及其地震监测预报的成果得到了国际同行们的关注和好评。当然, 地震预报仍然是很困难的科学问题, 今后还有很多工作要做, 还有很长的路要走 (陈运泰, 2009)。因此, 今后应当以创新的精神, 深入研究震磁前兆信息, 不断推进地震监测预报工作。

4 展望

2016年在兰州召开的 EMSEV 学术研讨会是国际地震与火山电磁学领域的一次学术盛会, 为各国同行专家提供了科学技术交流的平台, 进一步推进地震与火山电磁学方法和观测技术的发展, 同时也将促进我国地震科技的创新与发展。

这次会议报告所展现的观测与研究结果表明, 局部地区岩石圈磁异常变化含有震磁前兆信息, 是研讨与预测区域地震活动性的重要依据。今后应当加强地震活动区的地磁观测, 深入分析岩石

圈磁场及其变化, 研究岩石圈磁变化异常与地震的相关性, 探讨其震磁前兆信息及其物理机制, 不断推进岩石圈磁变化异常监测与预测地震活动性的研究工作。

感谢詹志佳研究员对本文提出的宝贵意见。

参考文献:

- 陈斌. 2011. 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用[J]. 地震研究, 34(4): 466–469.
- 陈运泰. 2009. 地震预测: 回顾与展望[J]. 中国科学: 地球科学, 39(12): 1633–1658.
- 顾春雷, 张毅, 顾左文, 等. 2012. 华北地震区岩石圈磁异常场零值线 与中强震震中分布关系[J]. 西北地震学报, 34(2): 174–179.
- 倪喆, 陈双贵, 袁洁浩等. 2014a. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化异常研究[J]. 地震研究, 37(1): 61–65.
- 倪喆, 闫万生, 袁洁浩. 2014b. 2014 年鲁甸 6.5 级、永善 5.0 级地震 前岩石圈磁场局部异常的特征分析[J]. 地震研究, 37(4): 537–541.
- 倪喆. 2014c. 洱源 5.5 级地震前后地磁场变化异常特征分析[J]. 地震研究, 37(3): 426–432.
- 徐如刚, 顾左文, 黎哲君, 等. 2014. 2005—2010 年中国地磁测量与地 磁场模型的应用[J]. 地球物理学进展, 29(5): 2092–2099.
- EMSEV. 2016a. International 2016 EMSEV Workshop: Technical Program [C]. Lanzhou: Electromagnetic Studies of Earthquake and Volcanoes.
- EMSEV. 2016b. International 2016 EMSEV Workshop: Abstracts [C]. Lanzhou: Electromagnetic Studies of Earthquake and Volcanoes.
- JOHNSTON M, MUELLER R, DVORAK J. 1981. Volcanomagnetic observations during eruptions, May ~ August 1980 [R]. The 1980 eruptions of Mount St Helens, Washington USGS Profes Paper, 1250, 183–189.
- JOHNSTON M, MUELLER R, SASSAI Y. 1994. Magnetic field observations in the near-field of the June 28, 1992, $M_L 7.5$ Landers, California earthquake[J]. Bull Seismol Soc Am, 84: 792–798.
- JOHNSTON M, MUELLER R. 1987. Seismomagnetic observation with July 8, 1986, $M_L 5.9$ North Palm Springs earthquake[J]. Science, 237: 1201–1203.
- JOHNSTON M, SASSAI Y, EGBERT G, *et al.* 2006. Seismomagnetic effects from the long-awaited 28 September 2004 $M6.0$ Parkfield earthquake[J]. Bull Seism Soc Am, 96(4B): S206–S220.
- JOHNSTON M. 1997. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity[J]. Surveys in Geophysics, 18(5), 441–475.
- MUELLER R, JOHNSTON M, SMITH B. 1981. U. S. Geological Survey magnetometer network and measurement techniques in western USA. U. S. Geol [R]. Lanzhou: Electromagnetic Studies of Earth-

① 陈斌, 袁洁浩, 倪喆. 2016. 流动地磁专科会商工作规程.

- quakes and Volcanoes.
- MUELLER R, JOHNSTON M. 1989. Large – scale magnetic field perturbation arising from the May 18, 1980, eruption from Mount St. Helens, Washington [J]. *Phys Earth Plan Int*, 57: 23 – 31.
- MUELLER R, JOHNSTON M. 1998. Review of magnetic field monitoring near active faults and volcanic calderas in California; 1974 – 1995 [J]. *Phys Earth Plane. Inte*, 105(1): 131 – 144.
- REES R, RYMER H, MCGUIRE W. 1995. Micromagnetic variations at Mount Etna, Sicily. Abs [C]. IUGG Meeting Prague; International Union of Geodesy and Geophysics.
- SASAI Y, ISHIKAWA Y. 1991. Tectonomagnetic signals related to the seismo – volcanic activity in the Izu [J]. *Peninsula J Phys Earth*, 39(1): 299 – 319.
- SMITH B, JOHNSTON M. 1976. A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister, California [J]. *J Geophys Res*, 81(20): 3556 – 3560.
- TANAKA T. 1995. Volcanomagnetic effectson the Unzen volcano(1990 ~ 1992) [J]. *J Geomag Geoelec*, 47: 325 – 336.
- ZLOTNICKI J, BOF M. 1998. Volcanomagnetic signals associated with the quasi – continuous activity of the andesitic Merapi volcano, Indonesia; 1990 ~ 1995 [J]. *Phys Earth Planet Int*, 105(3 – 4): 119 – 130.
- ZLOTNICKI J, LE MOUÉL J L, DELMOND J C, *et al.* 1993. Magnetic variations on Piton dela Fournaise volcano. Volcanomagnetic signals associated with the November 6 and 30, 1987, eruptions [J]. *J Volc Geotherm Res*, 56: 281 – 296.
- ZLOTNICKI J, LE MOUÉL J. 1990. Possible electrokinetic origin of large magnetic variations ai La Fournaise volcano [J]. *Nature*, 343: 633 – 636.

International 2016 EMSEV Workshop and New Progress of Seismomagnetic Research

YUAN Jiehao, GU Zuowen, CHEN Bin, WANG Can,
DI Chuanzhi, WANG Zhendong

(*Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*)

Abstract

The International 2016 EMSEV Workshop was held in Lanzhou, China during August 25 ~ 29, 2016. This paper briefly introduced the Workshop and the seismomagnetic and volcanomagnetic effects. Also, it discussed and looked forward the prospect of the seimomagnetic research. The new progress shows variation characteristics of lithospheric magnetic field before earthquakes and geomagnetic anomalies before volcanic eruption, especially the variation of lithospheric magnetic field achieve good effect in earthquake prediction.

Keywords: International 2016 EMSEV Workshop; seismomagnetic effect; volcanomagnetic effect; international academic exchange