

2014年AGU秋季大会与震磁研究进展*

袁浩浩¹, 顾左文¹, 陈斌^{1,2}, 王 粲¹, 狄传芝¹, 冯丽丽¹, 高金田¹

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. USGS, Menlo Park, CA 94025, USA)

摘要: 概述了2014年12月15~19日在美国旧金山召开的美国地球物理联合会(AGU)秋季大会, 充分展示了此次大会上震磁研究的新进展与新成果, 讨论并展望了今后的发展前景。震磁研究是地震预测探索的一个重要方面, 研究结果显示, 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。

关键词: 美国地球物理联合会; 震磁研究; 岩石圈磁异常; 前兆信息

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)03-0491-04

0 引言

1919年, 美国国家研究局创立了美国地球物理联合会(AGU), AGU是一个非营利的国际科学组织, 致力于研究地球科学、行星及空间科学, 服务于全人类。AGU现有62 000多名会员, 作为美国国家研究局的一个分支机构, 已运作了50多年。1972年, AGU成为了一个独立的科学团体。

自1919年起, 作为国际大地测量学与地球物理学联合会(IUGG)的美国国家委员会和美国国家研究局的地球物理学委员会的联合会, AGU已成为推进地球物理事业迈向卓越的国际力量。1919~1948年间, AGU的年会为世界地球物理学家提供了主要的会议场所。从此, 大家可以广泛地分享地球物理研究成果, 而且可以利用诸如卫星、高速计算机、先进的成像设备等高新技术来深入了解、研究地球与外层空间。

与远离人们日常生活的其它科学不同, AGU的成员从事分析与研究影响人们日常生活的过程: 下雨的概率、海洋渔业的趋势、地震的概率、火山爆发的潜在危险性等。AGU不仅研究地球科学, 而且研究地球功能的升值机制。

AGU每年在美国召开两次大会: 4月的AGU春季大会与12月的AGU秋季大会。此外, AGU还召开各种学术讨论会与诸如西太平洋地球物理

学术讨论会(WPGM)的区域性AGU会议。

本文概述了2014年12月15~19日在美国旧金山召开的美国地球物理联合会(AGU)的秋季大会, 展示了此次大会上震磁研究的新进展与新动态, 讨论并展望了今后的发展前景。

1 2014年AGU秋季大会

2014年AGU秋季大会, 于2014年12月15~19日在美国旧金山召开。来自世界各地的近24 000名专家学者参加了这次AGU秋季大会。这次AGU秋季大会, 既有学术讨论会, 也有图书与仪器设备展示, 充分展示了地球科学与空间科学研究的新进展与新成果。

2014年AGU秋季大会, 共有大气层与空间电学、大气层科学、生物地球科学、冰冻层科学、地球与行星的表面过程、地球与空间科学、大地测量学、地磁学与古地磁学、全球环境变化、水文学、矿物与岩石物理学、自然灾害学、近地表地球物理学、非线性地球物理学、海洋科学、古海洋与古气候学、行星科学、地震学、社会响应与政策科学、空间物理学与高空物理学、地球深部研究、构造物理学、火山学、地球化学、石油勘探学共25个学科的1 700多个专题学术讨论会, 口头报告与展板报告了23 000多篇论文, 内容十分丰富, 科研成果十分丰硕。

* 收稿日期: 2015-03-22.

基金项目: 2013年度地震行业科研专项经费项目“流动地磁测量基本技术要求和标准研究(201308005)”、2013年度地震行业科研专项经费项目“中国地震科学台阵探测——南北地震带北段(201308011)”和2013年度地震行业科研专项经费项目“地球物理场流动观测信息融合关键技术研究(201308009)”联合资助。

2 震磁研究进展

为观测与研究地震之前的超低频电磁 (ULFEM) 前兆现象, 从 2006 年起, 布设了 Quake Finder (QF) 台网, 由美国 QuakeFinder (QF) 研究团队运作。2014 年, 该 QF 台网已有 166 个台点, 包括美国加州 125 个, 中国台湾 15 个, 巴西 10 个, 希腊 8 个, 智利 4 个以及印度尼西亚 4 个, 成为了国际地震监测的电磁台网。该台网的仪器设备包括感应磁力仪 (型号为 ANT4 与 QFIDO-3), 其频率范围为 0.01 ~ 12 Hz, 灵敏度为 1 Hz: 1.0 V/nT (Ver. 1) 与 0.1 V/nT (Ver. 2), 采样率为 50 sps; 空气电导率探头; 太阳能供电; GPS 授时。该台网的观测数据, 通过互联网传到美国加州 Palo Alto 的 QuakerFinder 研究中心, 再通过互联网传给研究人员与用户。表 1 列出了 QF 台网相关台点附近 (与震中的距离 $d \leq 100$ km) 的 $M > 4$ 地震事件个数。该台网的观测数据分析研究结果表明, 2007 年 10 月 30 日美国加州 Alum Rock M5.4 地震、2014 年 11 月 20 日美国加州 San Juan Bautista M4.2 地震、2014 年 4 月 1 日智利 Iquique M8.2 地震等都存在超低频电磁 (ULFEM) 前兆现象 (Bleier *et al.*, 2014)。

表 1 QF 台网的台点附近的地震事件个数

Tab. 1 The number of earthquake events at various sites in the QF network

震级 M	0 ~ 10 km	10 ~ 20 km	25 ~ 50 km	50 ~ 100 km
>4	32	109	138	253
>5	5	18	60	203
>6	0	0	7	21
>7	0	0	1	1

在上述地震之前, 已观测到超低频电磁 (ULFEM) 前兆现象 (Fraser-Smith *et al.*, 1990, 1994)。然而, 多数 ULFEM 异常只在单个台站可被观测到。那么, 如何识别 ULFEM 异常是地震前兆还是人为的干扰、仪器的噪声? 为此, 研究人员比较与分析研究了 2014 年 3 月 31 日至 5 月 13 日在美国加州旧金山湾区两个独立 ULFEM 观测系统的数据。这两个独立 ULFEM 观测系统中, 一个是 USGS-Stanford 观测系统, 由美国地质调查局与斯坦福大学运作, 在旧金山湾区有 4 个 ULFEM 台

点; 另一个是 QuakeFinder (QF) 台网, 由美国 QuakeFinder 研究团队运作, 在旧金山湾区有 20 个 ULFEM 台点。分析观测数据的时间系列表明, 这两个独立 ULFEM 观测系统具有相同的响应函数、相同的噪声; 然而, 在个别情况下, 一个观测系统记录到某种信息, 而另一个观测系统却没有记录到这种信息。频谱分析结果显示, 这两个独立 ULFEM 观测系统的频谱是相同的。由比较与分析研究可见, 这两个独立 ULFEM 观测系统具有良好的一致性, 频谱响应与绝大多数脉冲都是相同的; 个别情况的差异, 可能是由人为的干扰或仪器的噪声引起的 (Chen *et al.*, 2014)。

2013 年 4 月 20 日四川芦山发生 M7.0 地震, 该地震存在 GPS (Niu *et al.*, 2014)、地磁 (倪喆等, 2014a) 等前兆信息。为研究岩石圈磁场与地下磁化率结构, 在 900 km 长的内蒙古—山西地区宁陕—固阳剖面上, 以 7 km 间距布设了地磁测点, 开展了地磁测量。分析这些磁测数据, 得到了相应的岩石圈磁场。应用向上延拓的方法, 获得了不同深度的岩石圈磁异常: 基底磁异常、上地壳磁异常与浅表磁异常。根据这些磁异常, 反演得到了地下磁化强度的结构。结果表明: (1) 这些岩石圈磁异常与局部地质构造、地震活动性具有良好的相关性; (2) 该地下磁化强度的结构是与磁化率的强度、居里面的深度变化、地震活动性、地质构造块体等因素有关 (Yuan *et al.*, 2014)。

在中国台湾地区开展了地震前兆信号的综合监测与分析研究。自 1990 年代起, 已连续测量了重力、地磁、地壳形变、电离层扰动、地下水位、地壳中的氦气, 探索研究了可能的地震前兆。2010 年实施了“为预防台湾地区地震灾害的综合地震前兆与早期预报”项目, 还开展了 r 射线、井下应变、地电场观测与热红外射线分析。在该项目中, 还研发了岩石圈—大气层—电离层的电耦合模型; 得到了有关地震前兆信号的综合观测与理论模型的一些重要结果 (Lee, Lin, 2014)。

使用 2001 ~ 2010 年包含柿岗台在内的日本 7 个台站的地磁资料, 应用小波分析方法, 研究了 ~0.01 Hz 的超低频磁信号。为降低人为干扰, 采用了地磁夜间值 (2: 30 ~ 4: 00)。统计结果表明, 大地震前 6 ~ 15 天存在超低频磁异常。同时, 还分析了区域大地震超低频磁信号的前兆信息, 结果显示, 超低频磁异常是与大地震有关的, 而且还有相应的前兆信号 (Hattori, Han, 2014)。

此外,此次大会上还有“为地震预测在美国南加州监测应力状态变化”,“基于地面与空间的观测的短期地震预测的方法”,“台湾活动断层带地震-地球化学研究的自动连续系统”等报告。

3 讨论

在2014年AGU秋季大会中,有关地震之前的多学科观测与研究的交流讨论表明,震磁观测与研究是地震预测探索的一个重要方面。如上所述,由美国QuakeFinder研究团队运作的超低频电磁台网,实际是国际地震监测的电磁台网。表1所列的地震事件显示,在距离QF超低频电磁台网的台点 $\leq 100\text{ km}$ 范围内已经记录到了不少 $M>4$ 的地震,从而为分析研究地震电磁前兆信息提供了有利条件。目前,地震预测仍然是国际科学界所面临的难题(陈运泰,2009),攻克这个难题需要开展国际合作与国际学术交流讨论。2001年成立的国际地震与火山电磁研究工作组(EMSEV),一直致力于地震与火山电磁研究的国际学术交流与国际合作(袁洁浩等,2013)。2014年3月25~29日,EMSEV与俄罗斯科学院在法国Toulouse开展了学术讨论会,回顾与总结2011~2013年EMSEV与俄罗斯科学院的合作及其进展,交流讨论了与构造活动有关的信息及震前所观测到的地下电导率变化、评估了电流注入与磁暴的触发效应、讨论了今后在理论研究与野外实验的合作问题。2014年9月22~26日,在波兰Konstancin Jeziorna召开了2014年EMSEV学术讨论会,研讨了7个专题:地震孕育过程的物理学与观测、来自地震学与大地测量学及其它地球物理学技术的约束、固体与岩石的电动力学理论与实验结果、对应于地震的电磁信号与其它物理参数、信号识别与数据处理及模拟、地震与火山及地面滑坡的前兆信息的可靠性、今后的实验与课题及理论研究。44位专家学者参加了2014年EMSEV学术讨论会,展示报告了18篇论文,口头报告了48篇论文,展示了震磁研究的新动态与新进展。

在地震活动区与构造活动带,已观测到与地震活动性、地质构造有关的岩石圈磁异常(张毅等,2009;顾春雷等,2010,2012;陈斌等,2011;闫素萍等,2012)。分析研究结果表明,

2013年3月3日云南洱源5.5级地震、2013年4月20日四川芦山7.0级地震、2014年8月3日云南鲁甸6.5级地震、2014年8月17日云南永善5.0级地震前都存在岩石圈磁异常变化(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,顾左文等^①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。根据该方案,参加了中国地震局召开的全国地震监测预报的会商会与区域地震监测预报的会商会,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。2009~2014年的实际结果显示,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^①。

4 展望

2014年AGU秋季大会展示了地球科学与空间科学的观测与研究获得的新进展与新成果,在科学思路、观测技术、分析方法、结果解释、模型与实验、理论研究等方面都值得借鉴与参考的。AGU秋季大会上,我们与国际同行们进行了学术交流与讨论,共享了最新科研成果,吸取了国际同行们的好经验,了解了最新的科研信息与动态,这些都将有助于凝练我们的科学问题和研究目标,为今后的科研工作取得更大进步奠定了良好的基础。

震磁观测与研究是地震预测探索的一个重要方面。2015年6月22日至7月2日在捷克布拉格召开的IUGG大会中,国际地震与火山电磁研究工作组(EMSEV)将主持“地震前后的物理过程与地震前兆的可靠性”和“火山活动的地球物理成像与监测”两个专题讨论会,以展示并推进包括震磁研究在内的地震与火山电磁研究的新进展。

分析与研究地震前后岩石圈磁异常变化是震磁研究的重要课题。观测与研究的结果表明,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。因此,分析研究岩石圈磁异常变化与地震的关系是震磁研究中的重要探索途径。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,研究岩石圈磁异常变化与地震的相关性,

^① 顾左文、贾立峰、袁洁浩,等. 2014. 2015年度流动地磁观测资料专题会商会报告.

探讨其震磁前兆信息及其物理机制,不断推进岩石圈磁异常变化监测与预测地震活动性的研究。

感谢高孟潭研究员的指导与支持及詹志佳研究员的宝贵意见。

参考文献:

- 陈斌,顾左文,狄传芝,等. 2011. 2009~2010 年大华北岩石圈磁异常分布及其变化特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 33(5): 548-553.
- 陈运泰. 2009. 地震预测: 回顾与展望[J]. 中国科学(D 辑), 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 with 中强震震中分布关系[J]. 西北地震学报, 25(2): 174-179.
- 顾春雷,张毅,徐如刚,等. 2010. 地震前后岩石圈磁场变化特征分析[J]. 地球物理学进展, 25(2): 472-477.
- 倪喆,陈双贵,袁洁浩,等. 2014a. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈地磁变化异常研究[J]. 地震研究, 37(1): 61-65.
- 倪喆,袁洁浩,王黎,等. 2014b. 2014 年云南鲁甸 6.5 级、永甸 5.0 级地震前岩石圈局部磁场异常特征分析[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.
- 闫素萍,张毅,张有林,等. 2010. 东大别构造带地震地磁监测试验区岩石圈磁场特征分析[J]. 地球物理学进展, 25(5): 1599-1604.
- 袁洁浩,顾左文,陈斌,等. 2013. 地震与火山电磁研究的国际学术交流与合作[J]. 地震研究, 36(1): 132-140.
- 张毅,顾左文,黄媛,等. 2009. 苏、鲁、豫、皖交界及南黄海地区地磁监测与分析[J]. 地震, 29(2): 133-140.
- Bleier T., Dunson J. C., Lemon J. . 2014. Recent Experiences Operating a Large, International Network of Electromagnetic Earthquake Monitors[C]. San Francisco, USA; 2014 AGU Fall Meeting, NH31B-3861.
- Chen B., Glen J. M. G., Klemperer S. L., *et al.* . 2014. Progress in evaluating potential EM earthquake precursors: comparison of independent Ultra Low-Frequency Electro-Magnetic (ULFEM) systems [C]. San Francisco, USA; 2014 AGU Fall Meeting, NH31B-3863.
- Fraser-Smith A. C., Bernardi a., McGill P. R., *et al.* . 1990. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the M7.1 Loma Prieta earthquake[J]. Geophys. Res. Lett., 17: 1465-1468.
- Fraser-Smith A. C., Bernardi a., McGill P. R., *et al.* . 1994. Ultra-low frequency magnetic field measurements in southern California during the Northridge earthquake of 17 January, 1990[J]. Geophys. Res. Lett., 21: 2195-2198.
- Hattori K. and Han P. . 2014. Statistical analysis of ULF seismo-magnetic phenomena at Kanto, Japan, during 2001-2010 [C]. San Francisco, USA; 2014 AGU Fall Meeting, H31B-3860.
- Lee L., Lin C. . 2014. Integrated monitoring of pre-earthquake signals in Taiwan[C]. San Francisco, USA; 2014 AGU Fall Meeting, NH21C-01.
- Niu A., Yan W., Li Y. . 2014. Possible precursory observations relevant to the 2013 Lushan $M_s 7.0$ earthquake, China [C]. San Francisco, USA; 2014 AGU Fall Meeting, NH31A-3847.
- Yuan J., Gu Z., Chen B., *et al.* . 2014. The lithospheric magnetic field along the Nishan-Guyang profile, China [C]. GP33A-3693, San Francisco, USA; 2014 AGU Fall Meeting.

2014 AGU Fall Meeting and Progress of Seismomagnetic Research

YUAN Jie-hao¹, GU Zuo-wen¹, CHEN Bin^{1,2}, WANG Can¹, DI Chuan-zhi¹, FENG Li-li¹, GAO Jin-tan¹

(1. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

(2. USGS, Menlo Park, CA 94025, USA)

Abstract

We summarized the seismomagnetic research result in the 2014 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting which was held in San Francisco, USA on Dec. 15~19, 2014. The papers of the AGU meeting fully showed the new progresses and the new results of seismomagnetic research, and the development prospect of it in the future. The seismomagnetic research is very important for the earthquake prediction. The research results display that the lithospheric magnetic anomalies variation in local region has the seismomagnetic precursor information, and it is an important basis for predicting the local seismic activity.

Key words: American Geophysical Union; seismomagnetic research; lithosphere magnetic anomalies; precursor information