



地震地磁监测试验区研究进展

张毅¹, 顾左文², 顾春雷¹, 朱志春¹, 王雷¹, 徐如刚¹, 陈斌²

(1. 安徽省地震局, 安徽合肥 230031; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要: 主要从中国地震地磁监测试验区的现况、数据观测与处理、模型计算方法以及监测成果等方面介绍了研究进展。通过对地震地磁试验区的探索性研究, 分析了开展监测试验区研究的重要意义, 展望了其发展前景。

关键词: 地震地磁; 试验区; 三分量测量; 曲面样条方法; 球冠谱分析方法

中图分类号: P315.72⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)04-0393-04

Research Progress in Experimentation Areas of Seismomagnetic Measurement

ZHANG Yi¹, GU Zuo-wen², GU Chun-lei¹, ZHU Zhi-chun¹, WANG Lei¹, XU Ru-gang¹, CHEN Bin²

(1. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China;

2. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: From the respects of current situation, processing of surveying data, method of model computing and surveying results, the research progress on experimentation areas of seismomagnetic measurement in China are introduced. Through exploring research, the important significance of the experimentation areas of seismomagnetic measurement is analyzed, and the development prospect of it is looked forward.

Key words: Seismomagnetic; Experimentation areas; Three components measurement; Surfer spline method; Spherical Cap Harmonic analysis method

0 引言

观测研究表明,震磁前兆信息不仅仅表现在地磁场总强度上,而且在地磁场其他分量以及地磁短周期变化上也有显示。常规流动地磁场的测量仅能得到地磁总强度,很大程度上制约了对震磁前兆信息的提取与分析。为了提升流动地磁监测能力,改进震磁异常的分析方法和思路,探索并初步建立相应的监测预报及应急监测的工作程序和模式,开展局部异常场模型研究,自2005年以来中国地震局地球物理研究所、安徽省地震局等多家单位依托《2005.0中国地磁图》项目已在多个地震活动重点监测区内建立了流动地磁监测试验区同时开展了地

磁场三分量测量。本文重点介绍这些地震地磁监测区的概况、监测技术、数据处理和模型计算方法,以及已经取得的初步监测成果。

地磁三分量测量以地磁学、构造地磁学和观测技术的最新进展为基础,以地磁基本场观测和局部地磁基本场模型计算为基本技术内涵,通过重复测量和相应的数据处理剥离地磁基本场的局部异常并建立监测试验区相应的数值模型;分析局部异常场时空分布和变化特征、及其与地震活动性的对应关系。

1 地震地磁监测试验区概述

收稿日期:2008-12-18

基金项目:地震行业科研专项“2007-08-011”

作者简介:张毅(1964-),男,安徽人,高级工程师,主要从事地震监测等工作。

自 2005 年 12 月九江瑞昌地震发生后,中国地震局依托《2005.0 中国地磁图》项目分别在九江瑞昌地区、苏鲁皖交界地区、首都圈地区、川滇地区、喀什乌恰地区等地震监测重点区域建立了地震地磁监

测试验区(图 1),同时开展地磁场三分量监测工作并取的了大量可靠的地磁场三分量监测数据(表 1)。

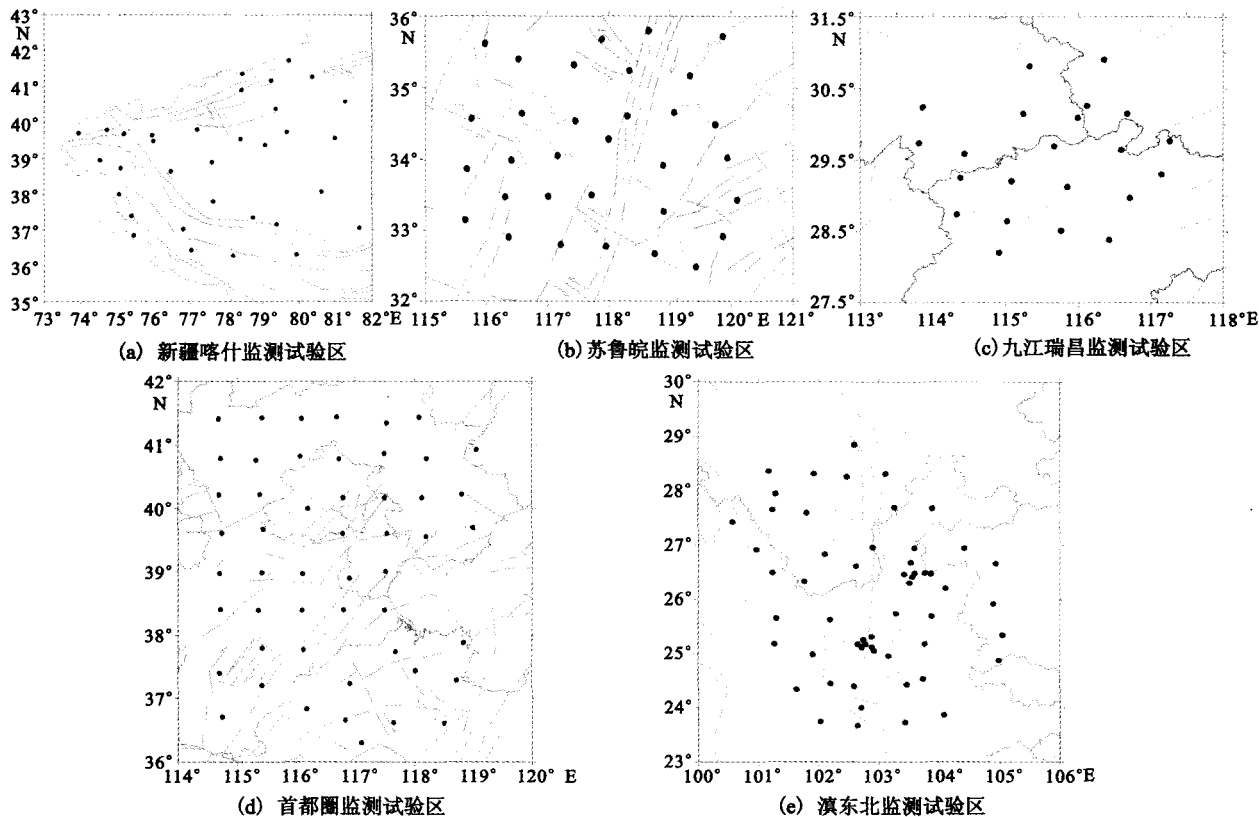


图 1 地震地磁监测试验区点位分布图

Fig. 1 Distribution of geomagnetic stations in experimentation areas of seismomagnetic measurement.

表 1 各地震地磁监测试验区通化精度统计表

监测试验区名称	测量日期	测量期数	测点数目	通化台站	F 通化精度	D 通化精度	I 通化精度	施测单位
苏鲁皖	2007 年 04 月	一	32	蒙城台	0.22	0.05	0.03	安徽局
	2007 年 10 月	二	32		0.25	0.05	0.03	
	2008 年 04 月	三	32		0.10	0.03	0.01	
	2008 年 10 月	四	36		0.10	0.05	0.02	
九江瑞昌	2005 年 12 月	一	22	武汉台	0.14	0.04	0.04	地球所 安徽局
	2006 年 06 月	二	22		0.26	0.08	0.02	
	2008 年 09 月	三	22		0.11	0.04	0.02	
滇东北	2006 年 04 月	一	44	通海台	0.36	0.06	0.02	云南局
	2006 年 10 月	二	43		0.27	0.04	0.02	
	2007 年 04 月	三	49		0.26	0.05	0.06	
	2007 年 10 月	四	55		0.33	0.04	0.04	
	2008 年 04 月	五	55		0.22	0.04	0.04	
首都圈	2007 年 07 月	一	46	红山台	0.11	0.05	0.04	地球所
	2008 年 05 月	二	46		0.17	0.03	0.02	
喀什乌恰	2008 年 05 月	一	32	喀什台	0.33	0.29	0.02	新疆局

2 数据获取及处理

地磁三分量监测资料的准确可靠性主要受仪

器、测量方法、测量环境、资料处理方法等因素制约^[1-4]。高精度、可靠的地磁场三分量观测数据离不

开性能良好的仪器设备。为此各单位在对地震地磁监测试验监测区进行观测时都选用性能良好磁力仪:G-856AX 质子旋进磁力仪,CTM-DI 磁力仪、ProMark2 差分 GPS,SF2050 星站差分 GPS,详细的技术参数指标见表2。

表2 地震地磁观测仪器的主要技术性能指标及用途

仪器名称	精度	用途
G-856AX 质子旋进磁力仪	0.5 nT	观测总强度 F
CTM-DI 磁力仪	0.2'	观测磁倾角 I、磁偏角 D
ProMark2 差分 GPS	5 mm+1 ppm	GPS 信号采集
SF2050 星站差分 GPS	15 cm	测点定位

地磁三分量观测过程中严格执行《中国地磁图野外观测规范及实施细则》。测量前后对仪器设备进行严格的检查与测试,了解仪器性能,测量仪器差,以便对地磁三分量观测资料进行相应的仪器差改正。

对地震地磁监测试验区所获得的地磁场三分量观测数据,统一进行了如下处理:

(1) 对原始观测数据和录入数据进行计算和复核;

(2) 使用地磁台的连续观测分均值对观测数据进行日变通化改正,日变改正的通化均方误差满足: $F < 1.5 \text{ nT}$, $I < 0.5'$, $D < 0.5'$;

(3) 根据《2005.0~2010.0 中国地区地磁基本场长期变球冠谐模型》将观测数据通化至 2005.0 年代;

(4) 基于《2005.0 中国地磁图》数据集,在保持边界约束条件不变的情况下,利用各个不同时期所获取的观测数据,分别建立监测试验区各个不同时期的地磁场曲面样条模型;

(5) 利用监测试验区各个不同时期的地磁场曲面样条模型减去基本背景场——《2005.0 地磁基本场球冠谐模型》,从而建立监测试验区各个不同时期的岩石圈磁场模型。

3 地震地磁监测试验区模型计算方法

监测试验区中的模型计算方法主要采用两类模型:曲面样条模型,球冠谐模型。两类地磁场模型都有各自的特性,根据不同的特性可以分别提取到不同的地磁场信息。

3.1 曲面样条模型计算方法

曲面样条插值模型为“过点”拟合,建模时不存在收敛残差。如果观测数据的精度和测点的空间分布密度足够高,则区域地磁场的曲面样条模型可以准确、细致地描述空间分布尺度较小的局部地磁异

常,能很好地表示地磁场的二维平面结构。因此监测试验区地磁场的空间分布用曲面样条方法表示。在曲面样条模型下地磁场 $W(x, y)$ 可以表示为^[5-6]

$$W(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=1}^N F_i r_i^2 \ln(r_i^2 + \epsilon) \quad (1)$$

式中 $W(x, y)$ 表示坐标 (x, y) 处的地磁场 $r_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2$; ϵ 为控制曲面曲率变化的量; N 为测点的个数; a_0, a_1, a_2, F_i 为待定系数。根据所获取的地磁场观测数据,通过式(2)可解算出待定系数 a_0, a_1, a_2, F_i , 从而给出曲面样条模型:

$$\begin{cases} W_j(x, y) = \\ a_0 + a_1x_j + a_2y_j + \sum_{i=1}^N F_i r_{ji}^2 \ln(r_{ji}^2 + \epsilon) \\ \sum_{i=1}^N F_i = \sum_{i=1}^N x_i F_i = \sum_{i=1}^N y_i F_i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

3.2 球冠谐模型计算方法

球冠谐模型满足地磁场位场的物理限制,可以表示地磁场的三维立体结构,通常使用球冠谐分析方法表示地震地磁监测试验区的地磁基本背景场及其长期变化的分布。在球冠坐标系内地磁剩余场 $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ 可以表示为^[5-6]

$$\begin{aligned} \Delta x &= \sum_{k=0}^{K_{\max}} \sum_{m=0}^k \left(\frac{a}{r} \right)^{n_k(m)+2} \\ &\quad (g_k^m \cos m\varphi + h_k^m \sin m\varphi) \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{d\theta} \\ \Delta y &= \sum_{k=0}^{K_{\max}} \sum_{m=0}^k \frac{m}{\sin \theta} \left(\frac{a}{r} \right)^{n_k(m)+2} \\ &\quad (g_k^m \sin m\varphi - h_k^m \cos m\varphi) P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) \\ \Delta z &= \sum_{k=0}^{K_{\max}} \sum_{m=0}^k (n_k(m) + 1) \left(\frac{a}{r} \right)^{n_k(m)+2} \\ &\quad (g_k^m \cos m\varphi + h_k^m \sin m\varphi) P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

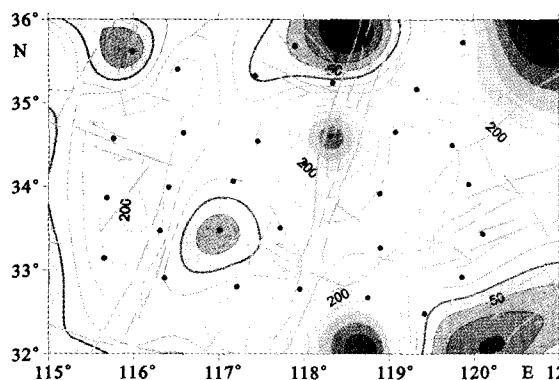
式中 φ 和 θ 分别为球冠坐标系中的经度和余纬; a 是地球的参考半径 ($a = 6371.2 \text{ km}$); r 是离开地心的径向距离; $P_{n_k(m)}^m(\cos \theta)$ 是非整数阶 $n_k(m)$ 和整数 m 次的 Schmidt 缔合 Legendre 函数,模型共有 $(K_{\max} + 1)^2$ 个系数, $K_{\max}$ 代表球冠谐分析的截断阶数。根据各地磁测点异常值利用最小二乘法确定球冠谐系数 g_k^m 和 h_k^m , 利用所获得的地磁剩余场加上正常背景场,即可获得球冠谐模型。

4 地震地磁监测试验区监测成果

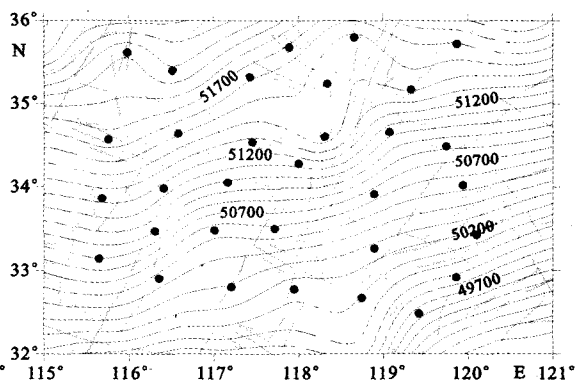
通过在地震活动重点监测区内建立流动地震地磁监测试验区同时开展地磁三分量重复测量,获取了大量高精度地磁场测量数据。通过对三分量监测数据的处理与分析我们获得了如下成果:

(1) 获取了监测试验区大量的高精度地磁场三分量测量数据,为开展地震地磁预报研究提供了科学的基础数据,同时利用新的监测数据对《2005.0 中国地磁图》数据集进行了更新。

(2) 利用地磁监测试验区各个不同时期的地磁



(a) 岩石圈磁场



(b) 地磁基本场

图2 2008年4月苏鲁豫皖试验区岩石圈磁场模型和地磁基本场曲面样条模型等值线图

Fig. 2 The isograms of the geomagnetic field model in crust and the surfer spline model for basic geomagnetic field in the boundary area of Jiangsu, Shandong, Henan and Anhui provinces in April of 2008.

(3) 以地磁基本场曲面样条模型和岩石圈磁场模型为基础,分析上述两种模型所描述的岩石圈磁场局部异常及其时间变化与地震活动性的关系,捕捉到了许多有意义的震磁现象和局部地磁异常变化信息。如:九江瑞昌地震地磁监测试验区地磁基本场水平分量(H)在震中附近空间百公里范围,地震前后发生了百 nT 的局部异常变化,该变化一定程度上反映了江西九江地震引发的地磁异常变化的动态演化特征^[5]。

5 结论与展望

(1) 通过在地震活动重点监测区内建立地震地磁监测试验区并开展地磁三分量监测,为地震预报及科学研究积累大量准确可靠的观测数据。同时根据监测试验区中的高空间分布密度、高精度地磁场三分量测量数据而建立的地磁场数值模型可以对地磁场的空间分布进行细致、准确的描述。

(2) 地磁基本场是矢量场,由于地质构造、岩石性质、地震孕育物理过程各有不同,在不同构造环境、不同构造运动模式下,其矢量变化形态是非均匀的,震磁前兆信息不仅在地磁总强度有显示而且在

场基本场曲面样条模型减去基本背景场——《2005.0 地磁基本场球冠谐模型》,建立了监测试验区各个不同时期的岩石圈磁场模型。根据各个不同时期的岩石圈磁场模型分别绘制出监测试验区岩石圈磁场空间等值线分布图。由于篇幅的原因,本文只给出苏鲁皖地震地磁监测试验区 2008 年 4 月总强度的地磁基本场曲面样条模型和岩石圈磁场模型的空间等值线分布图(图 2)。

地磁各分量与地磁短周期变化也有显示。因此通过在监测区内开展流动地震地磁监测,在某种意义上说等价于在空间上加密测点^[6],有助于增大信息量,拓展研究空间,提升流动地磁监测能力,从而进一步研究岩石圈磁场局部异常及其时间变化与地震活动性的关系。

(3) 适时的在监测试验区开展相应地地磁三分量复测,相应的数据处理,剥离地磁基本场的局部异常,则可以获得某个区域细致、准确的地磁场随时间变化的数值模型。分析地磁场动型的异常变化可以对地震活动的趋势的研究和判断提供有价值的科学依据。

(4) 地震地磁监测试验区探索性研究虽然取得了一些成果,如局部异常场模型研究、监测预报及应急监测的工作程序和模式的探索等,但仍处于积累资料与试验研究阶段。为此,着重加强野外现场的观测研究,积极与重力、地形变、地电、等其他前兆手段相配合,逐步提高流动地震地磁监测能力,提升分析技术水平,逐步提高对潜在地震危险性的科学预测。

(下转 402 页)

续发生 10 多次 6 级地震,不断的能量释放,缓解了这一地区能量积累的速率,出现了少有的 6 级地震持续平静现象。由于对地震活动的规律和现象认识不足,近些年连续将乌恰—喀什地区划定为年度强地震危险区,又导致大量的虚报。

(4) 依据该区域地震活跃与平静的间歇性特点分析,1996—2003 年在伽师周围持续 8 年的活跃后,区域又经过了 5 年多的 5 级地震显著平静。特别是多震区的乌恰周围地区有长达 14 年没有发生 6 级地震。在较显著的平静异常背景下,认为自 2008 年年底或 2009 年开始乌恰—喀什周围地区将进入一个新的地震活跃时段,发生 6 级地震的可能性很大。因此认为该地区在 2009 年度及其以后的几年中,应该被划定为年度强地震危险区。

最后需要说明的是论文完成之际,即 2008 年 10 月 5 日在乌恰发生 6.8 级地震,表明对这一地区地震趋势估计是正确的。

[参考文献]

- [1] 王海涛,王琼,赵翠萍. 2003 年 2 月 24 日新疆巴楚—伽师

Ms6.8 地震的应力触发作用研究[J]. 西北地震学报,2008,28(4):335-340.

- [2] 龙海英,高国英,聂晓红. 1997—1998 年伽师强震群震源区应力场特征[J]. 西北地震学报,2007,29(2):145-149.
- [3] 郭卫英,王琼,高歌,等. 新疆 OLR 场基本特征及强震前的异常现象[J]. 西北地震学报,2008,30(2):163-167.
- [4] 唐丽华,李猛,王海涛. 伽师—巴楚地区中强地震加速度衰减关系研究[J]. 西北地震学报,2007,29(4):377-379.
- [5] 郭卫英,高国英,王筱荣. 新疆年度地震危险区的时空分布特点[J]. 内陆地震,2008,22(1):34-42.
- [6] 高国英,王筱荣,温和平,等. 新疆及周边地区强震成组活动及其预测研究[J]. 地震,2007,27(4):18-26.
- [7] 胥颐,刘建华,刘福田,等. 天山—帕米尔结合带的地壳速度结构及地震活动研究[J]. 地震物理学报,2006,49(2):469-472.
- [8] 高国英,王筱荣,温和平. 天山地区中强地震预报判据及方案[J]. 内陆地震,2008,22(2):104-114.
- [9] 石耀霖,刘杰,张国民. 对我国 90 年代年度地震预报的评估[J]. 中国科学院研究生院学报,2000,17(1):63-69.
- [10] 张国民,刘杰,石耀霖. 年度地震预报能力的科学评价[J]. 地震学报,2002,24(5):525-532.
- [11] 王海涛. 年度地震危险区预测问题的几点初步思考[J]. 国际地震动态. 2005,(317):103-105.

(上接 396 页)

[参考文献]

- [1] 詹志佳,赵从利,张洪利,等. 全国地磁测量与地震预测研究[J]. 地震地磁观测与研究,1999,20(6):22-28.
- [2] 詹志佳,赵从利,高金田,等. 北京地区震磁研究的进展与展望[J]. 地震,2002,22(1):49-54.
- [3] 詹志佳,高金田,赵从利,等. G-856 质子旋进磁力仪及其在野外震磁测量中的应用[J]. 西北地震学报,2000,22(1):74-78.
- [4] 詹志佳,高金田,郭启华,等. 地磁干扰噪声的实验观测[J]. 西北地震学报,1990,12(4):49-54.
- [5] 詹志佳,高金田,郭启华,等. 地磁干扰噪声的实验观测[J]. 西北地震学报,1990,12(4):49-54.
- [6] 祁贵仲. 总强度在地震磁效应观测中的有效性[J]. 地震学报,1980,2(3):268-279.
- [7] 张毅,顾左文,高金田,等. “明灯 1 号”人工爆破地震地磁效应场地试验[J]. 地震地磁观测与研究,2008,29(4):38-42.
- [8] 高金田,安振昌,顾左文,等. 地磁正常场的选取与地磁异常场的计算[J]. 地球物理学报,2005 48(1):56-62.
- [9] 安振昌. 青藏高原地磁场模型的研究[J]. 地球物理学报,2000,43(3):339-345.
- [10] 刘义高,胡诚,张明,等. 流动地磁测量中地震异常信息的探索[J]. 西北地震学报,2004,4(26):353-356.
- [11] 赵从利,詹志佳,高金田,等. 北京地磁网调整与地震预测研究[J]. 西北地震学报,2003,25(3):275-280.
- [12] 张建国,乔子云,张新东,等. 地磁空间相关法在河北省的应用研究[J]. 西北地震学报,2007,29(4):371-376.

说明: 作者要求,在本刊第三期发表的论文“泰安重力观测高频波动信号分析”一文将第 4 作者“李绘丽”更改为“荆强”,其相应的单位和邮编改为“荣成地震台,264300”。