

综 述

北京地磁测网调整与地震预测研究

赵从利, 詹志佳, 高金田, 沈文志

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要: 根据首都圈防震减灾示范区工程地震前兆流动观测系统的实施方案, 2000~2001 年开展了北京地磁测网的测点改造建设和优化; 2001~2002 年应用 G-856 磁力仪取得了准确可靠的资料. 应用磁测资料分析了北京地区地磁变化, 研究了震磁前兆信息, 对开展地震监测预报工作有一定的实际效果与积极作用. 对今后工作重点提出了建议.

关键词: 测网调整; 地磁测量; 震磁前兆; 地震预测; 北京地区

中图分类号: P315.72⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)03-0275-06

0 引言

为了开展震磁前兆与地震监测预报工作, 1975 年在北京地区布设了流动地磁观测网, 取得了大量的准确可靠的资料. 应用北京地区磁测资料分析了地磁变化及其特征, 研究探讨了震磁前兆信息, 获得了有意义的震磁前兆. 在地震监测预报工作中取得了可喜的成果^[1~9].

随着国家建设与发展, 北京地区地磁测网不少测点的环境存在程度不同的电磁干扰, 因此需要调整测网, 进行测点改造. 根据首都圈防震减灾示范区工程地震前兆流动观测系统的实施方案, 2000~2001 年开展了北京地磁测网的测点改造建设, 优化了北京地磁测网, 为今后的北京磁测工作与地震监测预报工作打下了坚实的基础.

20 世纪 60~70 年代, 一些多地震国家相继将地磁方法列入国家地震预测计划, 积极开展震磁前兆与地震预测研究, 至今在震磁前兆及其机理研究与地磁预测地震试验等方面均已获得了有意义的科研成果^[7~13]. 2000 年 9 月 19~22 日在日本东京召开了“国际地震电磁学学术讨论会”^[14], 2001 年 8 月 20~31 日, 在越南河内召开的国际地磁与高空物理协会(IAGA)与国际地震和地球内部物理(IASPEI)联合科学大会的会议期间, 开展了“地震、火山与地热活动过程的地震与电磁研究”专题讨论会^[15]反映了该领域研究的新成果与新进展. 上述的国际学术讨论会表明震磁前兆是客观存在的; 地磁方法预测地震研究具有坚实的物理基础; 实践中地磁方法预测地震也收到了一定的实效, 具有良好的应用前景.

本文概述了北京地磁测网的调整工作, 介绍应用 2001~2002 年所获得的磁测资料分析北京地区地磁总强度变化, 研究震磁前兆信息, 开展磁测预报地震工作的进展.

1 北京测网调整与测点改造

北京测网的调整以原测网为基础, 针对测网中被破坏的测点与受环境干扰的测点进行改造与重建, 共需要改造 30×2 个测点, 包括新测点的选建与受环境干扰影响的老测点迁移^[16].

测点改造的具体内容如下:

(1) 准备工作: 收集了北京地区的地质构造、地震活动性、地球物理、交通等基本资料; 选用弱磁性的

收稿日期: 2002-12-11

* 中国地震局地球物理研究所论著: 03AC2013

作者简介: 赵从利(1955-), 男(汉族), 北京人, 高级工程师, 主要从事地磁观测、震磁前兆与地震预测研究

石灰石材料(磁化率 $<1 \times 10^{-5}$)制作了测桩。

(2) 选点:对已圈定选点的地方进行了野外实地考察与勘测工作,经分析比较确定环境良好、无电磁干扰、磁场梯度 $<2.0 \text{ nT/m}$ 的地点为新选测点。

(3) 建点:在主副桩位上埋设地磁标桩,用指南针与水平仪校对,主副测桩之间的距离 $>20 \text{ m}$,埋入地下 50 cm 左右。

(4) 磁场梯度测量:在水平方向以测桩(包括主副测桩)为中心沿东西方向与南北方向各 10 m 的十字测线上,以 1 m 间距设点测量水平梯度;在垂直方向上测量测桩正上方 0.5 m , 1.0 m , 1.5 m 和 2.0 m 高度的垂直梯度。测量时用 G-856 磁力仪于 1 分钟内均匀取数 10 个;同时在离测点 $>20 \text{ m}$ 的地方设置另一台 G-856 磁力仪,以 1 分钟采样率记录地磁场总强度,以便处理测量梯度的资料,计算磁场梯度^[17]。

(5) 应用 GPS 仪测定各测点的经纬度与高程。

(6) 每个改造的测点都绘制了点位图与点志记,说明测点所处地的有关情况。

经过改造优化后的北京测网一共有 62×2 个测点,包括改造测点 30×2 个;购置 4 台 G-856 磁力仪。测线间距 $20 \sim 30 \text{ km}$,测点间距 $5 \sim 10 \text{ km}$ (图 1)。测点环境良好,无电磁干扰,测桩磁化率 $<1 \times 10^{-5}$,测点周围磁场梯度 $<2.0 \text{ nT/m}$,符合技术要求。

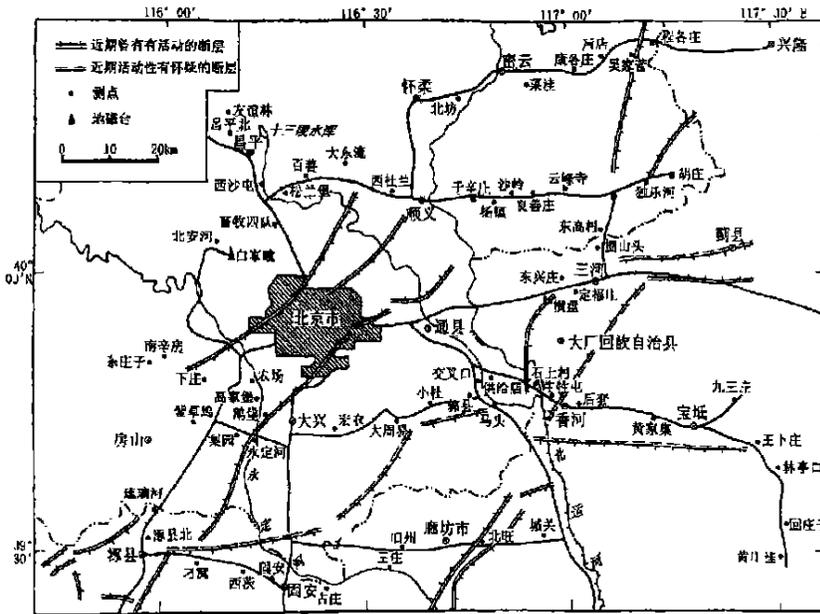


图 1 北京地区地磁测网的测点分布

Fig. 1 Distribution of the survey sites in geomagnetic network in Beijing area.

调整的北京测网进行了两期试运行工作,获得了准确可靠的资料与良好的结果,为今后的地磁监测与防震减灾工作打下了坚实的基础。

2 北京地区地磁监测与磁测数据质量

北京地区地磁常规监测于 3 月、6 月、9 月与 12 月进行,使用 G-856 磁力仪,按照“地震地磁野外测量规范”执行。为了获得准确可靠的地磁资料,采取了以下主要技术措施:

(1) 维护测点环境,避开各种干扰的污染。

(2) 把握仪器工作状态,每次测量前后与标准仪器进行比测并定出仪器差,对磁测资料进行仪器差改正。

(3) 每个测点设立了主副测桩,使用两台磁力仪进行同步交换观测,据此来计算仪器差与主副测桩间

的桩位差, 以判断仪器性能的稳定性与测点环境状况. 如果现场计算得到的仪器差和桩位差与原有的相应值一致, 则可结束该测点的观测, 否则再进行同步交换观测一次.

(4) 自设日变站: 使用 G-856 磁力仪, 以 1 分钟采样率连续记录资料用于磁测数据的通化处理, 提高了通化处理的精度.

(5) 对于磁测数据处理过程中出现地磁变化较大的测点进行复测, 及时落实地磁变化异常并分析研究其原因. 此外, 根据需要还开展了测点附近专门的磁场梯度监测工作.

磁测数据的质量主要受测量仪器、测点周围环境状况等诸因素的制约. 表 1 列出了 2001 年 6 月 ~ 2002 年 9 月北京地区磁测数据的质量参数. 其中 $\sigma_{\text{仪}}$ 为仪器差均方差, $\sigma_{\text{点}}$ 为测点主副桩位差的均方差, σ 为测区总体均方差. 据质量标准可知 $\sigma_{\text{仪}}$ 与 $\sigma_{\text{点}}$ 均为优秀, σ 为优良; 说明测量仪器性能一致、稳定, 测点周围环境良好, 磁测资料准确可靠.

3 震磁前兆研究

表 2 综合列出了北京磁测预报地震的物理依据、分析方法、地磁参量及其异常指标^[18\]. 在实际工作中, 根据北京磁测资料分析研究所得到的地磁前兆异常信息与地磁预报地震的实验性方案^[19], 对北京地区的地震活动趋势作出估计, 参与首都圈地区的地震监测预报工作.

表 1 北京磁测数据的质量参数(单位: nT)

时间	$\sigma_{\text{仪}}$	$\sigma_{\text{点}}$	σ
2001 年			
6 月	0.10	0.25	1.31
9 月	0.14	0.17	0.64
12 月	0.08	0.23	1.28
2002 年			
3 月	0.09	0.20	1.27
6 月	0.09	0.33	1.07
9 月	0.12	0.35	1.32
质量标准	优 ≤ 0.5 良 $0.5 \sim 1.0$	≤ 0.5 $0.5 \sim 1.0$	≤ 1.0 $1.0 \sim 2.0$

表 2 研究震磁前兆的依据与方法

物理依据	分析方法	地磁参量	异常指标
压磁理论	差值比较	δf	$\delta f > 3\sigma_1$
	图像演变		
地震感应 磁效应	快谱幅比	$\varphi = A/A_0$	$a > 15\%$
		$\alpha = \Delta\varphi/\varphi$	
震例结果	统计参量	$\Delta F^2, S_{mj}, b_{sn}$	$\Delta F^2 > 3\sigma_2, b_{sn} > 0.1$ $a > 0.1, F > F_0$

注: 表中 a 与 F 分别为统计参量 S_{mj} 时间变化的斜率与统计检验值. F_0 为在显著水平 0.01 或 0.05 时的相应标准检验值.

表 3 为发生在北京地区及其附近几次地震的震磁前兆信息. 其中的几个 $M 4 \sim 5$ 地震的震磁前兆信息为近场效应, 其异常幅度为 $3 \sim 5$ nT, 前兆时间为几天至几个月. 这些研究结果对于北京地区的地震预测研究具有实际应用价值. 根据地磁异常变化前兆的分析研究结果, 较好地预测了 1993 年 11 月 18 日宝坻 $M 4.5$ 地震、1995 年 7 月 20 日怀来 $M 4.3$ 地震和 1998 年 7 月 28 日宝坻 $M 3.8$ 地震, 表明北京地区地磁监测预报地震起到了积极作用, 收到了一定的实效.

表 3 北京测网所获得的震磁前兆信息

发震时间	发震地点	震级/ M_S	地磁参量	震中距/km	前兆时间	异常幅/nT
1976-07-28	唐山	7.8	$S_{mj}, b_{sn}, \Delta F^2$	120	约 1 年	
1982-12-10	马道峪	4.9	F	30 ~ 50	2 个月	2 ~ 3
1990-09-22	小汤山	3.7	F	2	7 天	3
1993-11-18	宝坻	4.5	F	10	7 个月	5.2
1995-07-20	怀来	4.3	F	15	3 个月	4.5
1996-12-16	顺义	4.0	F	10	5 天	3
1998-07-28	宝坻	3.8	F	10	40 天	3

注: 表中 S_{mj}, b_{sn} 与 ΔF^2 为地磁统计参量, F 代表地磁总强度.

4 2001~2002 年北京地区磁测资料分析及其结果

应用 2001~2002 年所获得的磁测资料, 分析了北京地区地磁总强度变化. 根据 2001 年 6 月 15 日零时(北京时)各测点的通化值, 绘制了北京地区地磁总强度等值线分布(图 2). 北京地区地磁场总强度呈现西北部高, 东南部低, 从西北向东南下降趋势. 其中密云的菜洼测点强度最大, 为 56 319 nT; 温泉的北安河测点次之, 为 55 635 nT; 而宝坻的黄庄洼测点最小, 为 53 937 nT; 固安的城关测点次之, 为 54 031 nT. 整个测区中最大值与最小值之差为 2 382 nT. 上述地磁总强度的分布特征是与北京地区的地理位置、地质构造、地下介质的电磁性质等因素密切相关的.

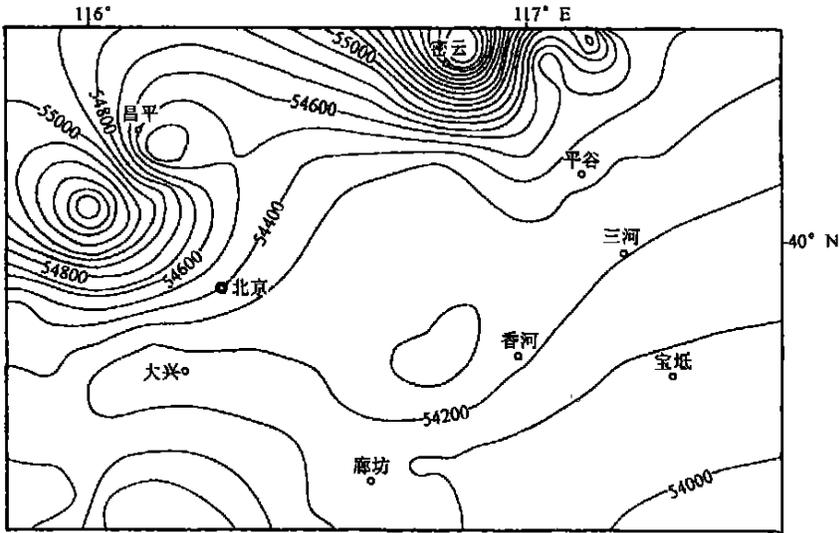


图 2 2001 年 6 月 15 日北京地区地磁总强度分布(单位: nT)
Fig. 2 Distribution of geomagnetic total intensity in Beijing area On June 15, 2001.

应用差值比较与统计参量法分析了 2001~2002 年北京测网各测线地磁总强度的相对变化(图 3). 其中 E1, E2, E3, E4 与 E5 表示北京测区东部的 5 条测线; W1, W2, W3, W4 与 W5 表示北京测区西部的 5 条测线. 计算了各测线地磁总强度的相对变化幅度 γ 、统计参量 ΔF^2 、 b_{sn} 与 S_{mj} 的变化斜率 a 及统计检查值 F , 得到的结果列于表 4. 与异常标准相比较, 测线 W3、W4 与 W5(房山—大兴—石景山一带) 分别在地磁统计参量 ΔF^2 、统计参量 S_{mj} 的变化斜率 a 及统计检验值 F 显示异常, 而其余各项参数则不显示异常. 因此房山—大兴—石景山一带今后需要加强监测工作.

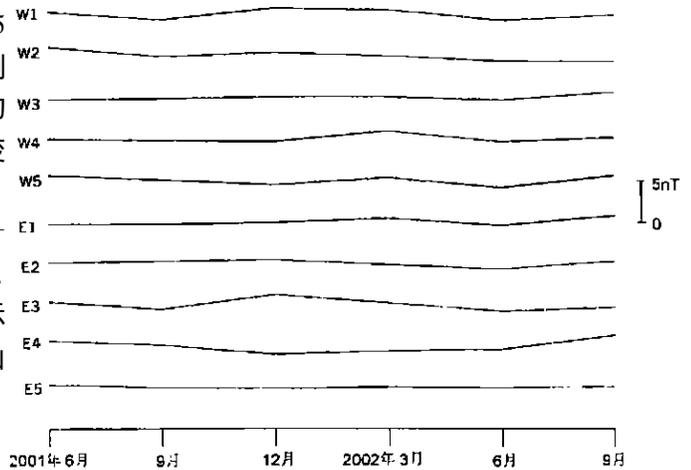


图 3 2001~2002 年北京测网 各测线地磁总强度的相对变化

Fig. 3 Relative changes of geomagnetic total intensity on the survey lines of Beijing network during 2001~2002.

5 讨论

综上所述, 北京地区地磁测网基于坚实的物理基础与准确可靠的观测资料, 深入探讨震磁前兆信息, 开展地磁预测地震研究, 并在实践中参与了首都圈地区的地震监测预报工作, 得到积极作用与一定实效. 但目前北京地区地磁测量每季

度进行一次,这对研究短期震磁前兆信息是不利的.我们认为作为常规监测工作,通常每1~3个月进行一次测量为宜;当出现震情或存在前兆异常时,应当缩短测量周期,适当增设测点与临时台,进行加强观测,提高捕捉震磁前兆信息的效果.

表4 北京测区各测线的地磁参量

测线	$\delta f/\text{nT}$	$\Delta F^2/\text{nT}$	b_{sn}	a	F
E1	1.2	0.9	0.01	0.01	5.6
E2	1.1	0.2	0.01	-0.01	0.2
E3	2.0	0.8	0.01	-0.01	0.1
E4	2.3	0.3	0.01	-0.04	0.1
E5	0.5	1.5	0.04	0.09	1.5
W1	1.2	0.1	0.01	-0.04	0.2
W2	1.6	3.7	0.03	0.43	22.5
W3	1.0	0.7	0.01	0.21	10.7
W4	1.3	1.2	0.02	0.19	1.3
W5	1.5	0.3	0.02	0.02	0.1
异常标准	2.7	2.4	0.10	0.10	9.3($\alpha = 0.05$)

北京地区震磁监测网目前仅测量地磁总强度.由于地磁场是矢量场,观测地磁场应当包括地磁三分量的观测,以便分析研究地磁场及其变化的全貌.从震磁前兆与地震预测研究而言,已有观测结果显示震磁前兆信息不仅存在于地磁总强度,还存在于地磁其他分量以及地磁短周期变化,因此建议创造条件,加大投入,购置地磁分量仪与地磁短周期观测仪,在重点区域开展地磁矢量观测与地磁短周期变化观测,并在重点地区布设流动台网.

目前,北京磁测预测地震仍然处于积累资料与试验研究阶段.为此,应当加强地磁前兆的机理研究与构造磁学研究,着重加强野外现场的观测研究,监测与跟踪地磁异常信息的发展与演变,积极与诸如地震、地形变、重力、地电、地下水等其他前兆手段相配合,逐步提高对潜在地震危险性的科学预测.

[参考文献]

- [1] 詹志佳,高金田,赵从利,等.北京地区地磁变化与震磁前兆研究[J].地震,1998,18(增刊):71-76.
- [2] 詹志佳,赵从利,高金田,等.构造磁学研究进展与展望[A].见:陈运泰主编.中国地震学会成立20周年纪念文集[C].北京:地震出版社,1999.42-48.
- [3] 赵从利,詹志佳,高金田,等.北京地区地磁测量及其成果[J].地震地磁观测与研究,2002,23(1):1-9.
- [4] Zhan Zhijia. Investigations of tectonomagnetic phenomena in China[J]. Physics of Earth and Planetary Interiors, 1989, 57(1): 11-22.
- [5] Zhan Zhijia. Tectonomagnetic observations and earthquake prediction research by geomagnetic approach[A]. See: Technical Reports of the Magnetic Observatory, Special Issue: the Proceedings of Conductivity Anomaly Symposium[C]. Tokyo: 1992. 318-331.
- [6] Zhan Zhijia, Gao Jintian, Zhang Hongli et al.. Seismomagnetic signals observed in China[A]. See: Hayakawa M. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes[C]. Tokyo: Terra Scientific Publishing 1999. 185-196.
- [7] Rikitake T, Honkura Y. Solid Earth Geomagnetism[M]. Tokyo: Terra Scientific Publishing, 1985.
- [8] Sumitomo N, Noritomi K. Synchronous precursors in the electrical earth resistivity and geomagnetic field in relation to an earthquake near the Yamasaki fault, Southwest Japan[J]. J. Geomag. Geoelectr., 1986, 38: 971-989.
- [9] Sasai Y, Ishikawa, Y. Tectonomagnetic signals related to the seismo-volcanic activity in the Izu Peninsula[J]. J. Phys. Earth., 1991, 39: 299-319.
- [10] Johnston M, Mueller R, Sasai Y. Magnetic field observations in the near-field of the 28 June 1992 $M 7.3$ Landers, California, earthquake[J]. Bull. Seis. Am., 1994, 84: 792-798.
- [11] Shapiro V, Muminov M, Abdullabekov K. High precision magnetometry for earthquake prediction in Uzbekistan: ninety-one forecasts between 1982 and 1992[A]. See: Hayakawa M, Fujinawa Y. Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction[C]. Tokyo: Terra Scientific Publishing, 1994. 37-42.
- [12] Iyemori T, Kamai T, Tanaka Y et al.. Co-seismic geomagnetic variations observed at the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake[J]. J. Geo-

mag. Geoelectr., 1996, 48(1): 1059—1070.

- [13] Johnston M. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity[J]. *Surveys in Geophysics*, 1997, 18(1): 441—475.
- [14] 詹志佳, 赵从利, 高金田, 等. 国际地震电磁学学术讨论会与震磁研究概况[J]. *国际地震动态*, 2001, (2): 1—7.
- [15] 詹志佳, 赵从利, 高金田, 等. IAGA 与 IASPEI 联合科学大会的概况与地震电磁研究进展[J]. *国际地震动态*, 2002, (3): 11—15.
- [16] 高金田, 赵从利, 詹志佳, 等. 燕郊等测点迁移优化与地磁观测研究[J]. *地震地磁观测与研究*, 1997, 18(3): 47—55.
- [17] 赵从利, 詹志佳, 高金田, 等. 田庄等测点周围的磁场梯度测量[J]. *地震地磁观测与研究*, 1994, 15(3): 28—31.
- [18] 詹志佳, 张洪利, 赵从利, 等. 北京磁测预报地震效能分析[J]. *地震地磁观测与研究*, 1998 19(6): 12—17.
- [19] 詹志佳, 马森林, 彭纯一, 等. 地磁趋势变化异常前兆与地震预报方法研究[A]. 见: 国家地震局科技监测司编. *中国地震预报方法研究* [C]. 北京: 地震出版社, 1991. 321—329.

READJUSTMENT OF GEOMAGNETIC SURVEY NETWORK AND RESEARCH ON EARTHQUAKE PREDICTION IN BEIJING AREA

ZHAO Cong-li, ZHAN Zhi-jia, GAO Jin-tian, SHEN Wen-zhi

(*Institute of Geophysics, CSB, Beijing 100081, China*)

Abstract: According to the practice plan on mobile observation system of earthquake precursor for engineering of the anti-seismic and disaster-reduction demonstration area in the capital area, the sites of Beijing geomagnetic survey network were rebuilt and optimized during 2000~2001. The new network has obtained accurate and reliable data in the Beijing area during 2001~2002 by using G-856 magnetometers. Based on the data, the geomagnetic changes in the Beijing area were analyzed, the seismomagnetic precursor information was researched. The work has some practice effect to earthquake monitoring and prediction. At the end some suggestions for important work points in future are put forward.

Key words: Readjustment of survey network; Geomagnetic survey; Seismomagnetic precursor; Earthquake prediction; Beijing area