

20世纪中国地震地磁观测与研究回顾*

赵育飞¹, 袁洁浩^{2*}, 詹志佳², 陈斌², 高金田²

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要:通过分析国内外现有磁震资料发现, 对于 $M5.0 \sim 7.8$ 地震, 在距离震中 $3 \sim 246$ km 的测点与台站上, 观测到了地磁总强度与垂直分量的震磁信息, 其幅度为 $8 \sim 20$ nT, 而前兆时间为 20 d ~ 2 a, 这种震磁前兆信息是探索地震预测的重要依据。描述并讨论了 20 世纪初以来中国地震地磁观测与研究, 具体分析了唐山 $M7.8$ 、海城 $M7.3$ 等地震的磁震信息, 说明震磁前兆信息对探索地震预测的重要意义。最后结合工程爆破、地下核试验、密云水库实验、紫荆关等活动断裂的地磁观测试验, 模拟地震孕育发生过程当中每个阶段的地磁表现特征。

关键词: 地磁测量; 地磁总强度; 震磁前兆; 构造磁学; 岩石圈磁异常变化; 地震预测

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)03-0422-09

0 引言

1970 年初以来, 美国在圣安德列斯断层及其临近地区 (Johnston *et al*, 1987, 1997, 2006; Mueller, Johnston, 1998)、日本在东海地震活动区 (Rikitake, Honkura, 1985; Sumitomo, Noritomi, 1986; Sasai, Ishikawa, 1991)、前苏联与俄国在中亚地震活动区 (Shapiro *et al*, 1978, 1982, 1994) 等都开展了震磁观测与研究, 并积极探索地震预测, 获得了良好的进展。中、美、日、俄 (前苏联) 等国的震磁观测与研究, 已经积累了一批比较可信的震磁信息。

1966 年 3 月 22 日河北省邢台 $M7.2$ 地震发生后, 我国开始了震磁观测与研究 (祁贵仲, 1977, 1978)。1975 年 2 月 4 日辽宁省海城 $M7.3$ 地震发生后, 京津唐一带出现了一些值得注意的前兆异常现象。为了监测北京及其附近地区地震活动性和观测研究震磁前兆, 1975 年 2 月在北京及其邻区布设了地磁加密观测网 (Fan *et al*, 1984)。1976 年 7 月 28 日, 在河北省唐山发生了 $M7.8$ 大地震, 这次大地震造成了巨大破坏和人员伤亡, 损失惨重。基于唐山地震前后 1975—1981 年的北京磁测资料, 对各测线、各

分区进行深入统计分析发现, 唐山地震存在规律性的地磁异常信息, 其统计特性为: 离震中较近的区域该异常信息不是短期波动, 而是呈趋势性变化, 其持续时间至少一年, 而且离震中较近的区域该异常信息显著, 与唐山地震有着明显的时空相关性 (任熙宪等, 1984)。同时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 $M4.5$ 宝坻地震、1995 年 7 月 20 日 $M4.3$ 怀来地震与 1998 年 7 月 28 日 $M3.8$ 宝坻地震。为北京地区地磁监测地震的研究起到了积极引导作用, 得到了一定的实效。

在唐山大地震前后的 1976 年 5 月 29 日在云南龙陵发生了 $M7.4$ 地震, 1976 年 8 月 16 日在四川松潘发生了 $M7.2$ 地震。为监测地震活动性, 中国地震局所属的 11 个单位在相关地区先后布设了地磁测网, 开展了震磁观测与地震预测研究 (詹志佳, 1999)。上述的震磁观测以地磁总强度为主 (祁贵仲, 1980), 采用高精度、性能稳定的磁测仪器, 注重地磁观测的良好环境, 严格遵守磁测规范与操作规程 (国家地震局, 1986), 得到了准确可靠的地磁资料, 通过这些资料分析研究获得了有意义的震磁效应。本文就这些震磁效应展开描述并讨论, 重点回顾了我国 20 世纪 70 年代初以来的地震地磁观测与研究。

* 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 大华北地区西南缘地磁观测研究 (201508009)、李建成院士工作站和中国大陆综合地球物理场观测——2017 年南北带流磁三分量、总强度数据处理与分析联合资助。

♣ 通讯作者: 袁洁浩 (1982-) 高级工程师, 主要从事流动地磁监测和地磁学研究. E-mail: yjh810405@163.com.

1 震磁前兆的观测与研究

20 世纪 70 年代初以来，国内外震磁观测与研究，已经积累了一批比较可信的震磁信息（表 1）。从表 1 可见，对于 $M5.0 \sim 7.8$ 地震，在距离震中分别为 $3 \sim 246$ km 的测点与台站上，观测到地磁总强度 F 与垂直分量 Z 的变化异常，其异常幅度为 $0.3 \sim 20$ nT，前兆时间为 $0 \sim 2$ a，其中前兆时间为 0 是同震的震磁效应，这是由在发震时刻应力突然释放导致的压磁效应引起的。对于某些地震而言，存在震磁前兆信息，因此，震磁效应的观测与研究是探索地震预测的一种手段。下面就我国 20 世纪 70 年代初以来发生的一些大地震的磁震信息进行回顾。

表 1 国内外一些大地震的震磁信息

Tab. 1 Seismomagnetic information of some strong earthquakes in the world

发震时间	发震地点	震级	观测点的震中距/km	出现前兆时间	地磁分量	异常幅度/nT
1974-11	美国霍利斯特	5.2	11	60 天	F	1.8
1975-02	辽宁海城	7.3	246	15 月	Z	20
1976-07	河北唐山	7.8	80	2 年	Z	12
			90	1 年	F	10
1976-08	日本伊豆半岛	5.4	5	80 天	F	3~5
1978-01	日本伊豆半岛	7.0	20	60 天	F	5
1978-11	日本伊豆半岛	5.0	5	69 天	F	5
1978-11	苏联阿顿	7.0	120	5 年	F	16
				10 天	F	23
1979-07	江苏溧阳	6.0	20	20 天	Z	10
1979-08	美国凯澳蒂湖	5.7	30~50	1 年	F	3~6
1982-07	云南剑川	5.4	<30	1 年	F	9
1984-02	乌兹别克	5.6	75	7 月	F	4
1984-05	江苏黄海	6.2	110	60 天	Z	9
1986-07	美国北棕榈泉	5.9	3	0	F	1.3
1987-08	江西寻乌	5.6	10	2 年	F	13
1989-10	山西大同一阳高	6.1	45	3 月	F	12
1989-09	四川小金	6.6	120	1 年半	F	8
1989-10	美国洛马普里塔	7.1	20	0	F	1.4
1992-06	美国兰德斯	7.3	17	0	F	1.2
2004-09	美国帕克菲尔德	6.0	5	0	F	0.4
			15	1 年半	F	5.0

1.1 1966 年邢台地区 $M4 \sim 6$ 地震

1966 年邢台 $M7.2$ 地震震区成为我国震磁观测与研究的首个野外现场。祁贵仲等（1977）利用红山等地磁台的资料，对 1967—1969 年发生在红山台周围 $7 \sim 50$ km 范围内的 30 多次 $M4.0 \sim 6.0$ 地震进行震磁效应分析，在对资料做了误差分析的基础上得出，在 50 km 范围内，6 级以下地震的磁效应不超过 10 nT。祁贵仲（1978）应用空间相关的方法，分析了 1974 年在邢台地区发生 $M4 \sim 5$ 地震的地磁异常变化，发现在距离震中 15 km 的尧头地磁台，地磁垂直分量的异常变化为 $3 \sim 5$ nT，异常持续时间为 $1 \sim 2$ 个月。

1.2 1975 年海城 $M7.3$ 地震

自 1973 年起，北京大学与河北省地震局在北京、天津、河北、辽宁、山东等地区开展了地磁测量工作。在 1975 年海城 $M7.3$ 地震前做出了比较成功的预测，从而大大减轻了震害，震前的地磁异常现象是该次地震预测的主要依据之一。磁测数据的分析结果表明，1973—1975 年各测点相对于北京台（震中距约 550 km）地磁场垂直分量的差值 ΔZ 随时间发生变化，其中大连测点（震中距约 250 km） ΔZ 的变化异常最大，在 1973 年 10 月—1974 年 5 月上升了 20 nT；唐山测点（震中距约 410 km） ΔZ 的变化异常次大，1974 年 5 月比 1973 年 10 月上升约 15 nT。地磁水平分量的差值 ΔH 与地磁总强度 ΔF 亦有异常显示（朱凤鸣，1982）。

1.3 1976 年唐山 $M7.8$ 地震

1.3.1 地下电性构造背景

陈伯舫（1974）应用北京、昌黎等 6 个台站地磁急始与湾扰的资料，分析研究了地磁短周期变化，发现渤海西岸地区存在地下高导层，并指出该地区是易震地区。

为研究 1976 年唐山 $M7.8$ 地震的地下电性构造背景，祁贵仲等（1981）分析了 1973—1979 年渤海周围地区 25 个台站急始、湾扰等地磁短周期变化事件，以及静日、扰日和磁暴的频谱成分，发现包括唐山震区在内的渤海地区存在地磁短周期变化异常，应用三维电磁感应的数值理论，拟合了与这种地磁短周期变化异常相应的地下电性结构，发现唐山 $M7.8$ 地震发生在渤海地区上地幔高导层局部隆起的北侧边沿。与该高导层局部隆起相关的附加加热应力的量级可达几千 bar，它可能是

唐山 $M7.8$ 地震的动力来源。由此可见,渤海地区上地幔高导层局部隆起所形成的异常电性构造,不仅是唐山地震孕育的地下电性结构的构造背景,而且其附加热应力可能是唐山地震重要的动力来源。

1.3.2 震磁信息综合分析研究

表 2 为对唐山 $M7.8$ 地震的震磁信息深入分析与综合研究的结果。从表 2 可见,唐山 $M7.8$ 地震存在地磁长趋势变化、短期变化与短周期变化 3 类震磁信息,其空间展布为 $100 \sim 150 \text{ km}$,震磁信号强度约 10 nT (詹志佳, 1988)。

表 2 1976 年唐山 $M7.8$ 地震的震磁信息
Tab. 2 Seismomagnetic informations of the 1976 Tangshan $M7.8$ earthquake

类型	地磁参量	震中距/km	前兆时间	异常量
长趋势变化	Z	80	$\sim 2 \text{ a}$	12 nT
	F	90	$\sim 1 \text{ a}$	10 nT
	Smj, bsn	$80 \sim 150$	$\sim 1 \text{ a}$	
短期变化	ΔZ	100	$10 \sim 20 \text{ d}$	9 nT
	A	80	$> 1 \text{ a}$	18 nT
短周期变化	$\Delta Z/\Delta H$	80	$\sim 1 \text{ a}$	$10 \sim 20 \text{ nT}$
	Weise 矢量及其偏差矢量	80	$\sim 6 \text{ 个月}$	

1.3.3 临震异常现象

唐山 $M7.8$ 地震发生前,1976 年 7 月 4 日地磁垂直分量日变化极小值出现的时间(称之为低点时间)在空间分布上出现了少有的异常,全国范围内的低点时间分布明显呈现在 3 个区域,各区域之间的低点时间相差 2 h 左右(低点位移)。在低点位移异常后的 27 d 和 41 d 前后,于低点位移的分界线上分别发生了 1976 年 7 月 28 日唐山 $M7.8$ 地震和 1976 年 8 月 16 日松潘 $M7.2$ 地震。应用地磁幅相法分析各台站的地磁资料表明,在唐山 $M7.8$ 地震之前的 1976 年 7 月 6—17 日,昌黎、宝坻、北京、怀来等台站地磁垂直分量的日变幅度和相位出现了异常现象,1976 年 7 月 5、11、17、21、26 日在昌黎、宝坻等台站的地磁垂直分量日变幅呈现了异常现象(丁鉴海, 1988)。

综合以上各种分析研究的结果表明,无论是地磁总强度 F 还是地磁垂直分量 Z ,无论是地磁较长趋势变化还是地磁短期变化以及短周期变化,在唐山 $M7.8$ 地震前后均出现不同程度的异常现象。由此可见,唐山 $M7.8$ 地震存在比较丰富的震磁信息,也说明了震磁综合分析研究的重要性。

1.4 1979 年溧阳 $M6.0$ 地震

江苏省地震局在江苏地区布设了地磁台网,该台网的台间距平均为 $60 \sim 70 \text{ km}$,观测地磁总强度和垂直分量,还配有垂直分量磁变仪的连续记

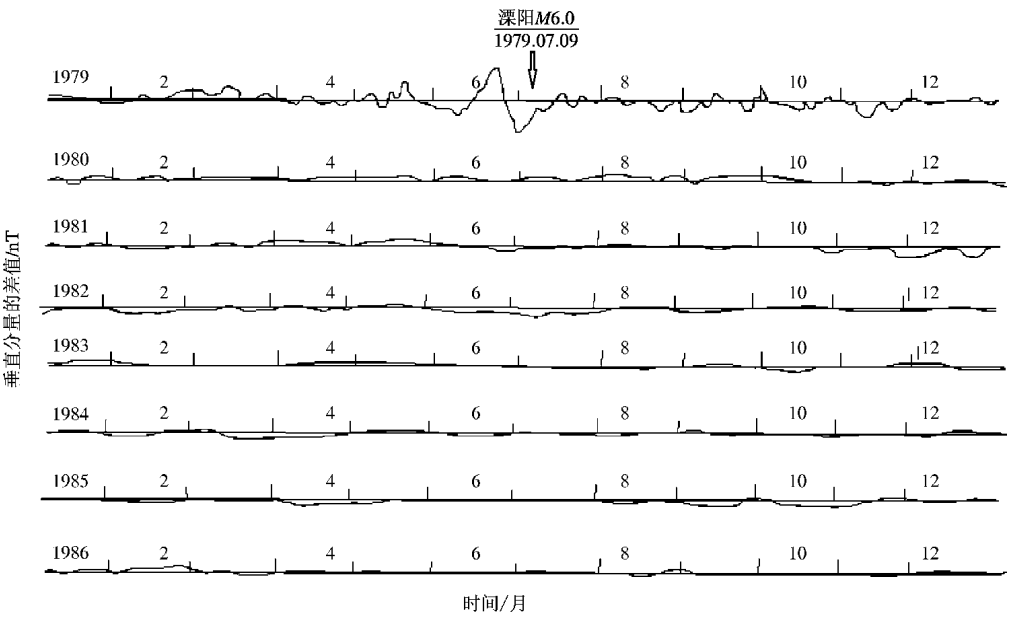


图 1 1979—1986 年溧阳台 (LY) 与南京台 (NJ) 地磁垂直分量的差值与溧阳 $M6.0$ 地震的震磁异常
Fig. 1 Differences of geomagnetic vertical component between LY and NJ stations and the seismomagnetic anomaly for the Liyang $M6.0$ earthquake from 1979 to 1986

录。该台网资料分析结果表明，当台间距为 100 km 时，每天 21 时（北京时）两台差值的均方差为 0 ~ 2.0 nT，当台间距为 300 km 时，该均方差为 0 ~ 2.5 nT。

1979 年 7 月 9 日，在该地磁台网中发生了溧阳 M6.0 地震。该台网的观测结果表明，离震中最近的溧阳台（离震中 20 km）于震前出现了垂直分量的异常变化。从图 1 可见，溧阳台与南京台的垂直分量差值从 1979 年 6 月中旬开始下降，出现负异常，于 6 月底下降到最低点，变化幅度为 -8 nT；然后回升，出现正异常，于 7 月 6 日达到最大，其幅度约为 10 nT，随后在差值恢复到初始值后发震。然而，其他台站与南京台的垂直分量差值在溧阳地震前后没有异常变化。贺楚儒等（1983）应用压磁模式解释了溧阳地震之前出现的上述地磁垂直分量的正异常与负异常。

1.5 1982 年剑川 M5.3 地震

云南省地震局于 1980 年在滇西地区布设的地磁测网，共有 50 个测点，相邻测点的间距为 10 ~ 40 km。对磁测资料的误差分析得出，其均方差约为 2.5 nT。

1982 年 7 月 3 日，在滇西地区磁测网中发生了剑川 M5.3 地震。分析地磁总强度的差值变化，结果显示，离震中 40 km 之内的测点于震前出现地磁异常变化，而离震中 50 km 之外的测点则无异常变化。离震中最近的剑川、民间哨、玉华等测点（离震中约 10 km）的异常变化最大，其变化幅度约为 9 nT。在发现上述地磁异常变化之后，曾于 1981 年 12 月云南省地震局的震情会商会与 1982 年 4 月云南省地震局原综合大队震情会商会上，先后提出过地震预报意见，认为剑川等地区是地震危险区（云南省地震局前兆室流磁组，1984）。

1.6 1987 年寻乌 M5.6 地震

1987 年 8 月 2 日发生了江西寻乌 M5.6 地震。福建省地震局在江西地区布设了磁测网，开展了地磁总强度测量工作。图 2 为该震中附近的地磁测点分布与 1977—1989 年各测点地磁总强度差值 ΔF 的变化。从图 2 可见，离该震中最近的测点 11（距震中 10 km） ΔF 的变化最大，为 13 nT。1985 年发现了该地磁变化异常后，作出了地震预报（郑阿栗等，1994）。

1.7 大同一阳高 M6.1 地震

山西省地震局也于 20 世纪 80 年代初期在山西

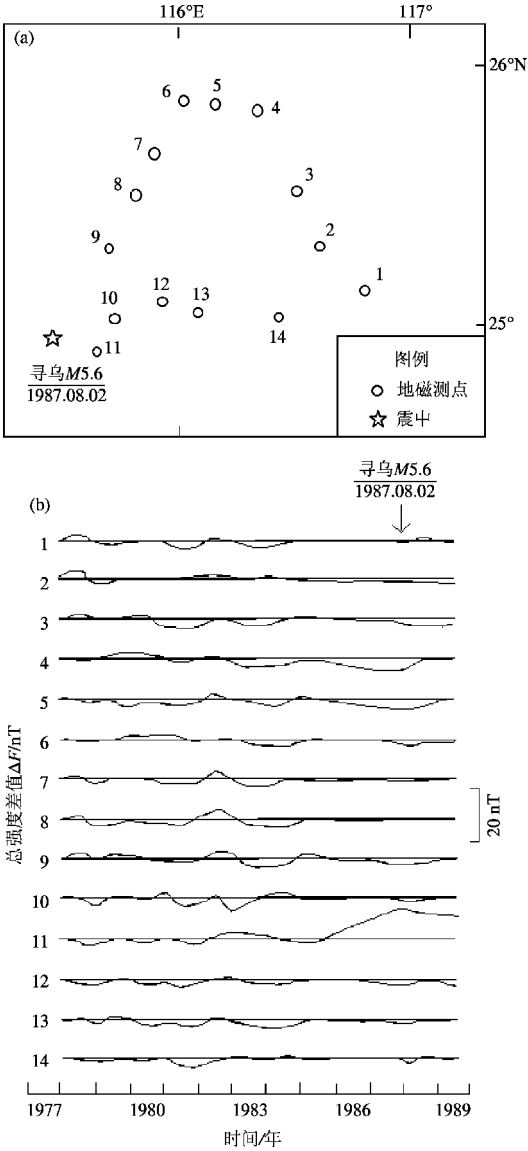


图 2 1987 年 8 月 2 日江西寻乌 M5.6 地震震中附近的地磁测点分布 (a) 及 1977—1989 年各测点地磁总强度差值 ΔF 的变化 (b)
Fig. 2 Distribution of geomagnetic sites near the epicenter of the Jiangxi Xunwu M5.6 earthquake occurred on Aug. 2, 1987 (a) and changes of geomagnetic total intensity difference ΔF at those sites during 1977 and 1989 (b)

地区布设了磁测网，开展了地磁总强度测量工作。1989 年 10 月 18 日发生了山西大同一阳高 M6.1 地震。山西测网的磁测数据分析研究结果表明，该地震发生前的地磁变化异常持续时间为近 6 个月，离震中的地磁异常范围为约 100 km，最大的地磁变化异常为 -12 nT。山西省地震局于 1989 年 7 月分析得到地磁变化异常后，曾作

过地震预报 (Zhan *et al*, 1999)。

表 3 为震磁前兆与地震之间的统计相关性,其中对比组 A 为我国 22 个震例的资料所得到的结果,相关性统计检验表明,在显著水平 $\alpha = 1\%$ 时,相关系数 $r > r_0$ (统计检验值),说明这些拟合关系式是有意义的,因此,震磁前兆与地震之间具有一定的相关性。表 3 中的 B 组是力武常次由日本 4 个震例所得到的结果。比较 A、B 两组结果,它们有着一定的共性,即地震震级越大,相应的地磁前兆异常的时间 T 、展布的空间范围 d 与地磁变化异常幅度 f 都有增大的趋势。然而,这 2 组中相应的系数不同,说明存在一定差异性;这种差异性,一方面可能反映参与统计的样本数多少的差别,另一方面由于这 2 组的统计样本分别来自中国与日本不同地区的地震。研究表明,震磁前兆信息与地质构造、地下介质的物理化学性质、震源机制、孕震过程等复杂因素有关 (陈运泰, 2009)。因此,要获得震磁前兆与地震之间的定量关系,并将其应用于地震预报的实践中,还应当积累更多的资料,做更深入的研究。

表 3 震磁前兆与地震的相关性

Tab. 3 Correlation between seismomagnetic precursors and earthquakes

对比组	拟合关系式	相关系数	相关性统计检验
		λ	$\lambda_0 (\alpha = 1\%)$
A	$f = 3.22M - 9.59$	0.68	0.47
	$\lg d = 0.25M + 0.15$	0.52	0.45
	$\lg T = 0.24M + 0.72$	0.48	0.45
B	$\lg d = 0.38M + 0.33$		
	$\lg T = (0.78 \pm 0.23)M - (2.08 \pm 1.43)$		

注:表中的地磁变化异常量 f 的单位为 nT,震中距 d 的单位为 km,前兆时间 T 的单位为 d, M 为地震的震级。

2 构造磁学的观测与研究

2.1 工程爆破

1979 年 11 月 3 日 11 时,在牡丹江地区进行了一次 TNT 当量为 1 020 t 的工程爆破。为了观测震磁效应,辽宁省地震局在爆破区附近布设了 10 多个测点,相邻测点的间距约 1 km,于 10 月 28 日至 11 月 6 日进行了地磁总强度的观测工作。磁测数据的分析结果表明,与这次工程爆破有关的地磁效应为 2.2 ~ 5.9 nT (赵世华, 1984)。

2.2 地下核试验

1983 年 10 月,在我国西部地区进行了地下核试验 (其当量相当于 4.7 级地震)。为研究这次地下核爆的磁效应,在该现场布设了 17 个测点与 4 个临时台 (与爆心的距离在 3.8 ~ 140 km 范围内),相邻测点的间距为 3 ~ 20 km,离爆点最近的测点为 3.8 km,最远的测点为 140 km。使用质子旋进磁力仪,于 9 月 20 日至 10 月 10 日开展了地磁总强度的试验观测。在地下核爆前后分别进行了 6 次与 2 次磁测,获得了磁测数据,其磁测精度为 1.0 nT。地磁临时台以 5 min、10 s 采样进行连续记录,其地磁数据的精度为 0.3 nT。磁测与临时台记录的大量地磁数据分析研究结果表明,在离爆点 3.8 ~ 140 km 的 15 个测点上呈现与爆点距明显相关的爆炸前后地磁总强度差值的异常变化,平均幅度为 ~1.0 nT,最大幅度为 1.9 nT。每 10 s 采样间隔的地磁数据差值显示,核爆炸时刻存在 2 ~ 3 nT 的地磁变化异常 (Zhan, 1989)。

2.3 密云水库实验

1983 年于密云水库周围布设了 11 个测点 (相邻测点的间距为 2 ~ 8 km) 与离该水库约 10 km 的 1 个地磁临时台 (与通化台站作为对比),1993—1998 年每年开展一次磁测,2002 年 9 月又开展了一次磁测,测量地磁总强度 F 。地磁仪器的分辨率为 0.1 nT,磁测精度为 0.5 nT。1993—2002 年的 7 次磁测获得了大量准确可靠的地磁资料。在此期间,密云水库的水位变化为 15.54 m,水容量变化为 $19.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。Gu 等 (2006c) 对磁测资料与水库蓄水资料的综合分析研究表明,该水库的水位及水容量变化与相应地磁变化之间的关系因子分别为 $-(0.063 \pm 0.008) \text{ nT/m}$ 与 $-(0.052 \pm 0.007) \times 10^{-8} \text{ nT/m}^3$ 。同时,结合该水库地区的航磁资料与地下岩石磁性的分析表明,这种负关系因子是压磁效应在密云水库地区的反映,从而为压磁理论提供了大尺度的野外实验证据。

2.4 活动断裂的构造磁学

图 3a 显示在怀来的土木—石河地区布设的由横跨紫荆关活动断裂的 9 条测线、528 个测点与 5 个临时台组成的地磁观测网。相邻测线之间的距离为 10 ~ 130 m,每条测线上相邻测点之间的间距为 4 m。地磁临时台 SE、SW、NE 与 NW 分别位于该断裂的东西侧,与该断裂相距 100 ~ 500 m。临时台 CO 为磁测数据的通化对比台。地磁测量台与

临时台的仪器的分辨率为 0.1 nT，磁测精度为 0.5 nT，临时台连续记录的地磁精度为 0.3 nT。因此，这次地磁测量与临时台连续记录，获得了大量准确可靠的地磁数据。

图 3b 为紫荆关活动断裂周围的磁场分布。从图 3b 可见，在该断裂的东西两侧，地磁场均为负值，呈现低值，其西侧在 -250 nT 之下，而东侧在 -100 nT 以下；而在该断裂走向及其邻近地区，磁场均为正值，呈现高值（50 nT 以上）。由此可见，磁场分布与紫荆关活动断裂具有明显的相关性。此外，各临时台的地磁总强度日变化的高低点出现时间都相当一致，但地磁总强度的日变幅度存在 0.5~0.7 nT 的差异性。各临时台地磁数据的频谱分析结果表明，紫荆关活动断裂东西两侧

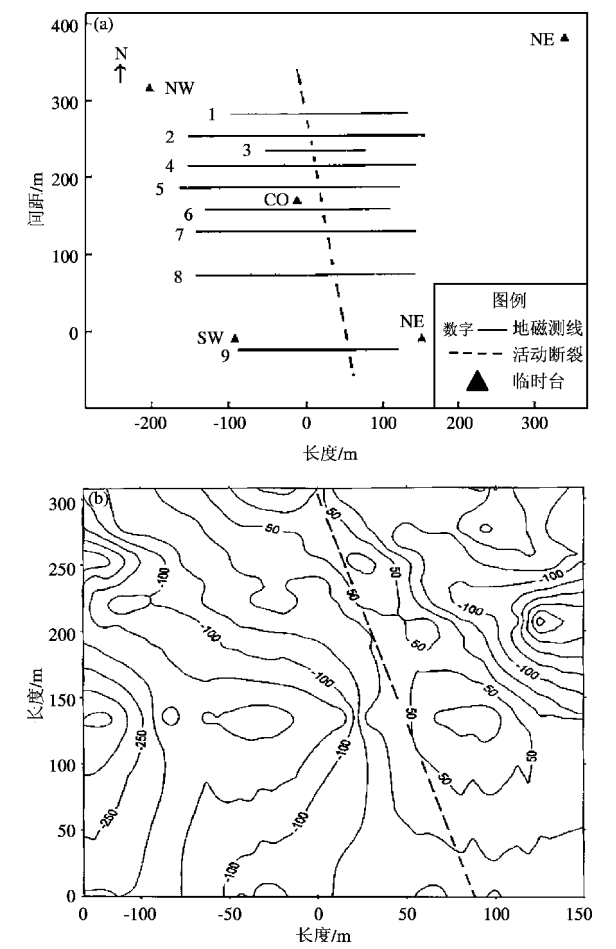


图 3 横跨紫荆关活动断裂的地磁测线与临时台的位置 (a) 及其周围的磁场分布 (b)
Fig. 3 Locations of geomagnetic stations and profiles across the Zijinguan active fault (a) and distribution of magnetic field around the Zijinguan active fault (b)

的地磁频谱相当一致，其差异很小（Gu *et al.*, 2006c）。

图 4a 为横跨紫荆关活动断裂、相距 1.3 km 的 2 个测点 A 与 B 的位置示意图。图 4b 为 1987 - 1996 年测点 A 与 B 的地磁总强度数据的同步差值 ΔF ， ΔF 变化为 $\Delta f = 2.4$ nT。通常相距仅 1.3 km 的 2 个测点的地磁变化是相当一致的。因此， $\Delta f = 2.4$ nT 是与紫荆关活动断裂密切相关的，这是紫荆关活动断裂的动态构造磁效应。而综观图 3b 的地磁分布，紫荆关活动断裂的静态构造磁效应，估计为 -100 nT。

北京及其附近地区的主要活动断裂是八宝山活动断裂、夏垫活动断裂、紫荆关活动断裂。历史上几次大地震就发生在这些活动断裂及其附近：1679 年 M8.0 大地震发生在夏垫活动断裂，1720

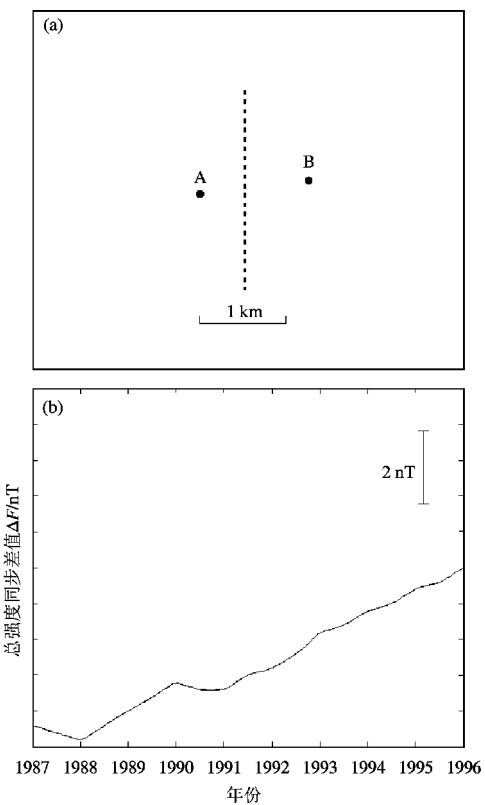


图 4 横跨紫荆关活动断裂两个测点 A 与 B 的位置示意 (a) 及其在 1987—1996 年地磁总强度同步差值 ΔF (b)
Fig. 4 Locations of two sites A and B across the Zijinguan active fault (a) and synchronous difference ΔF of geomagnetic total intensity between sites A and B during 1987 and 1996 (b)

年 $M6.8$ 地震发生在紫荆关活动断裂, 1730 年 $M6.5$ 地震发生在八宝山活动断裂。表 4 为八宝山活动断裂、夏垫活动断裂、紫荆关活动断裂的静态构造磁效应 ΔF 、动态构造磁效应 Δf 与未来潜在地震的震级 M (Gu *et al*, 2006c)

表 4 北京及其附近地区的主要活动断裂的 ΔF 、 Δf 与 M
Tab. 4 ΔF , Δf and M of active faults in Beijing and its adjacent regions

活动断裂名称	$\Delta F/\text{nT}$	$\Delta f/\text{nT}$	M
八宝山	~200	3.2	6.0
夏垫	~20	4.0	8.0
紫荆关	~100	2.4	6.75

上述与构造磁学密切相关的几个大尺度野外实验观测及其研究结果, 对震磁观测与研究是很有意义的。水库的蓄水缓慢变化所引起的地下应力变化, 与地震孕育过程中地下应力的缓慢变化过程相似。因而, 水库构造磁实验是震磁效应的良好模拟。而地下核试验相当于人工地震, 故其磁效应是震磁效应的直接模拟。

3 结论与讨论

1966 年河北邢台 $M7.2$ 地震发生之后, 我国开始了震磁观测研究与地震预测探索。震磁观测与研究得到如下成果: 1976 年唐山 $M7.8$ 大地震发生在渤海地区上地幔高导层局部隆起的北侧边沿, 同时含有比较丰富的震磁信息。而我国 $M5.4 \sim 7.8$ 地震的震磁信息与震中距、异常幅度和异常时间都有不同的反映, 这些对探索地震预测是很重要的、很有意义的。

地下核试验相当于人工地震。水库蓄水缓慢变化所引起的地下应力变化, 与地震孕育过程中地下应力的缓慢变化过程相似, 故水库构造磁实验与地下核试验的磁效应是震磁效应的良好模拟。地震往往发生在活动断裂及其附近, 对活动断裂的动、静构造磁效应进行观测和研究具有直接的地震监测意义。

4 展望

2005 年 11 月 26 日九江—瑞昌 $M5.7$ 地震发生之后, 在地震活动区与构造活动带开展了地磁三

分量的测量工作 (Gu *et al*, 2006a, b; 顾左文等, 2006; 袁洁浩等, 2015), 获得了大量准确可靠的三分量磁测资料。地磁三分量资料的分析研究结果表明, 岩石圈磁异常与相应的区域地质构造、地震活动性具有一定的相关性 (顾春雷等, 2010, 2012; 闫素萍等, 2010; 陈斌等, 2011)。根据岩石圈磁异常与相应区域地震活动性相关性 (倪喆等, 2014a, b, c) 的分析研究结果, 提出并制定了岩石圈磁异常监测预报地震的实施方案。自 2009 年起, 根据该实施方案, 分析与研讨了区域岩石圈磁异常及其地震监测预报意见, 分别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, 报告了依据区域岩石圈磁异常提出的区域地震监测预测意见。2009—2016 年的实际情况显示, 区域岩石圈磁异常变化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 (Chen *et al*, 2016)。因此, 今后要加强岩石圈磁异常的震磁前兆信息观测与研究, 积极与诸如地震、形变、重力、地电、地下水等其它前兆手段相配合, 不断推进区域地震的监测预报工作。

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.

陈伯舫. 1974. 勃海西岸的电导率异常[J]. 地球物理学报, 17(3): 169-172.

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.

丁鉴海. 1988. 地磁预报方法探索[M]//国家地震局科技监测司编, 地震监测与预报方法清理成果汇编. 地磁、地电分册. 北京: 地震出版社, 108-122.

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]. 地震工程学报, 34(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.

顾左文, 张毅, 姚同起, 等. 2006. 九江—瑞昌 $M_{5.7}$ 地震地磁异常的观测与分析[J]. 地震学报, 28(6): 611-621.

国家地震局. 1986. 地震地磁野外测量规范[S]. 北京: 地震出版社.

贺楚儒, 彭纯一, 徐国铭, 等. 1983. 溧阳六级地震的磁异常与断层面的破裂特征[J]. 地震地质, 5(2): 52-58.

倪喆, 陈双贵, 袁洁浩等. 2014a. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场地磁变化异常研究[J]. 地震研究, 37(1): 61-65.

倪喆, 闫万生, 袁洁浩. 2014b. 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.
- 祁贵仲,詹志佳,侯作中,等. 1981. 渤海地区地磁短周期变化异常, 上地幔高导层的分布及其与唐山地震的关系[J]. 中国科学, (7):87–97.
- 祁贵仲. 1977. 地磁场的空间相关性及其在地震预报中的应用[J]. 地球物理学报,20(3):169–184.
- 祁贵仲. 1978. “膨胀”磁效应[J]. 地球物理学报,21(1):18–33.
- 祁贵仲. 1980. 总强度在地震磁效应观测中的有效性[J]. 地震学报, 23(3):268–280.
- 任熙宪,祁贵仲,詹志佳. 1984. 唐山地震前后北京地区地磁场总强度的变化[J]. 地震学报,6(3):25–40
- 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,陈斌,倪喆,等. 2015. 流动地磁测量基本技术要求[S]. 北京:中国地震局监测预报司.
- 云南省地震局前北空流磁组. 1984. 剑川 5.3 级地震的地磁变化 [J]. 地震研究,7(4):40–47.
- 詹志佳. 1988. 震磁现象及其物理基础[M]//国家地震局科技监测司,地震监测与预报方法清理成果汇编—地磁、地电分册. 北京:地震出版社,88–107.
- 詹志佳. 1999. 全国地磁测量与地震预测研究[J]. 地震地磁观测与研究,20(6):20–28.
- 赵世华. 1984. 工程爆破前后地磁场总强度的变化特征[M]. 地震, (2):1000–3274.
- 郑阿栗,卓金填,李克绳,等. 1994. 福建东南部地磁场变化与闽台地震活动性的关系[J]. 地震研究,17(2):143–150.
- 朱凤鸣. 1982. 1975 年海城地震[M]. 北京:地震出版社.
- CHEN B, NI Z, YUAN J, *et al.* 2016. Anomalous variations of lithospheric magnetic field before several earthquakes [C]//Lanzhou: International 2016 EMSEV Workshop, 183.
- FAN G, HOU Z, ZHAN Z, *et al.* 1984. The influence of the Tangshan earthquake on the geomagnetic total intensity in the Beijing area [M]//Earthquake Prediction. Tokyo, Japan: Terra Scientific Publishing, 137–144.
- GU Z, ZHAN Z, GAO J, *et al.* 2006a. Geomagnetic Survey and Geomagnetic Model research in China[J]. Earth Planets Space, 58(6):741–750.
- GU Z, ZHAN Z, GAO J, *et al.* 2006b. Application of GPS in Geomagnetic Survey[J]. Earth Planets Space, 58(6):723–729.
- GU Z, ZHAN Z, GAO J, *et al.* 2006c. Seismomagnetic research in Beijing and its adjacent area, China [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 31(4):258–267.
- JOHNSTON M, MUELLER R. 1987. Seismomagnetic observation during the 8 July, 1986, magnitude 5.9 North Palm Springs earthquake[J]. Science, 237(4819):1201–1203.
- JOHNSTON M, SASAI 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. 1998. Review of magnetic field monitoring near active faults and volcaniccalders in California; 1974 ~ 1995 [J]. Phys Earth Plan Int, 105(3–4):131–144.
- RIKITAKE T, HONKURA Y. 1985. Solid Earth Geomagnetism[M]. Tokyo, Japan: Terra Scientific Publishing.
- SASAI Y, ISHIKAWA Y. 1991. Tectonomagnetic signals related to the seismo-volcanic activity in the Izu Peninsula[J]. J Phys Earth, 3(1):299–319.
- SHAPIRO V, ABDULLABEKOV K. 1982. Anomalous variations of the geomagnetic field in east Fergake magnetic precursor of the Alay earthquake with $M_s^2 = 7.0$ (1978, November 2) [J]. Geophys J R Atron Soc, 68(1):1–5.
- SHAPIRO V, MUMINOV M, ABDULLABKOV K. 1994. High precision magnetometry for earthquake prediction in Uzbekistan. Ninety-one forecasts between 1982 and 1992[M]// HAYYAKAWA M, FUJINAWA Y. Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction. Tokay: Terra Scientific Publlishing Company, 37–42.
- SHAPIRO V, PUSHKOV A, ABDULLABEKOV K, *et al.* 1978. Geomagnetic investigations in the seismoactive regions in Middle Asia[J]. J Geomag Geoelectr, 30(5):503–509.
- SUMITOMO N, NORITOMI K. 1986. 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, 38(10):971–989.
- ZHAN Z, GAO J, ZHANG H, *et al.* 1999. Seismomagnetic signals observed in China[M]//Hayakawa M. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes. Tokyo, Japan: Terra Scientific Publishing Company, 185–196.
- ZHAN Z. 1989. Investigations of tectonomagnetic phenomena in China [J]. Physics of Earth and Planetary Interiors, 57(1):11–22.

Review on Seismomagnetic Observation and Research in China in the 20th Century

ZHAO Yufei¹, YUAN Jiehao², ZHAN Zhijia², CHEN Bin², GAO Jintian²

(1. *Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

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

Abstract

By analyzing the existing seismomagnetic data around the world, we achieve the results that for $M5.0 \sim M7.8$ earthquakes, at the measuring point and station of $3 \sim 246$ km from the epicenter, the seismomagnetic information of geomagnetic total intensity and vertical component was observed, and the intensity of the seismomagnetic information reached $8 \sim 20$ nT, and the precursory time is between 20 days and two years. This article describes and discusses the 20th century China earthquake geomagnetic observation and research, and analyzes the Tangshan $M7.8$, Haicheng $M7.3$ magnetic anomalies, illustrating the significance of seismic precursor information to explore earthquake prediction. Also combined with the engineering blasting, underground nuclear test, Miyun reservoir, and Zijingguan fracture experiment of geomagnetic observation experiments, we simulate the process of earthquake nucleation magnetism performance characteristics of each stage. And these experimental researches on magnetic observations and earthquake are also very meaningful.

Keywords: geomagnetic survey; geomagnetic total intensity; seismomagnetic precursor; tectonomagnetism; lithospheric magnetic anomalous change; earthquake prediction