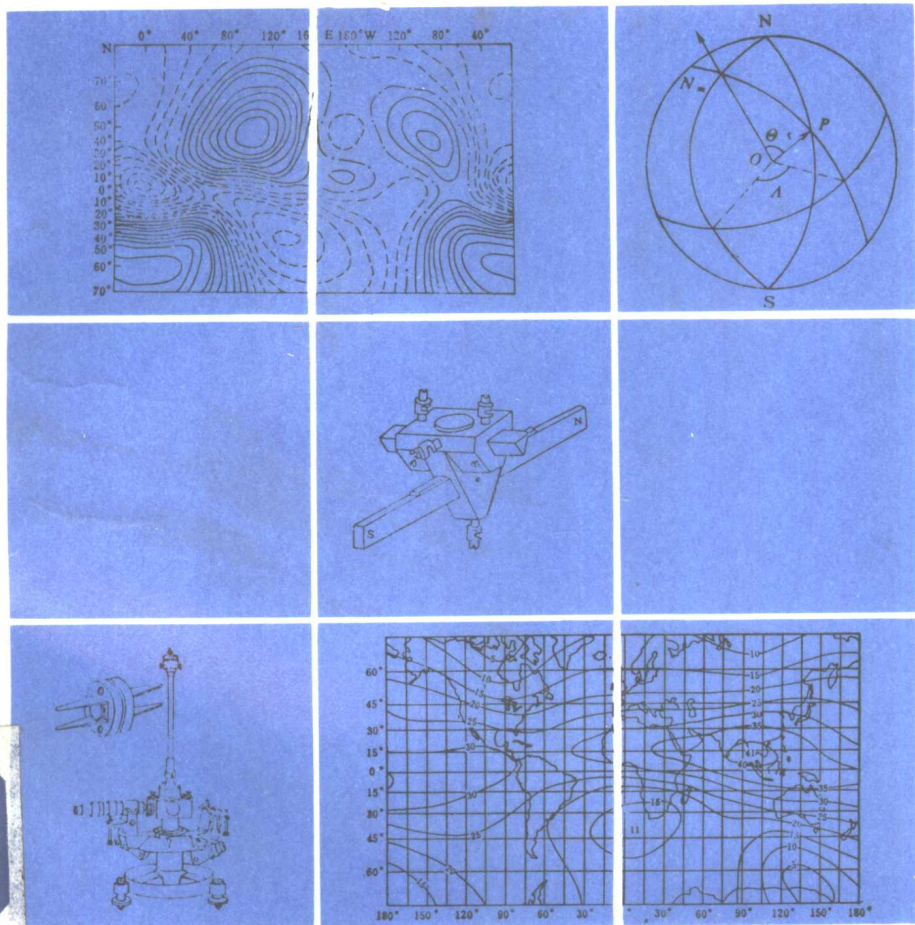


地震地磁学

丁鉴海 卢振业 黄雪香 编著



地震出版社

地震科学联合基金资助

地 震 地 磁 学

丁鉴海 卢振业 黄雪香 编著

地 震 出 版 社

1 9 9 4

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

地震地磁学是在地磁学、地震学及地震预报研究基础上发展起来的一门新兴的边缘学科。本书系统介绍了国内外震磁研究的最新进展,总结了利用地磁预报地震的实践与理论研究成果,对初步形成的地震地磁学进行了科学总结。书中阐述了地震地磁学的由来与发展、研究方法与主要内容,介绍了地震地磁学的基础知识,震磁前兆与地震预报方法、震磁实验与理论探讨,以及国内外震磁研究的前沿课题等。本书既适合从事地震地磁学、地震预报研究的人员使用,亦可以作为大专院校有关专业师生的教学参考书。

地 震 地 磁 学

丁鉴海 卢振业 黄雪香 编著

责任编辑:陈非比

责任校对:王花芝

*

地震出版社 出版

北京民族学院南路9号

北京丰华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

850×1168 1/32 13.25 印张 356 千字

1994年3月第一版 1994年3月第一次印刷

印数:0001—1000

ISBN 7-5028-0908-2/P·563

(1301) 定价:12.70 元

序

地震是自然界一种严重的自然灾害。实现对这种灾害的预报是人类的长期夙愿。地震的孕育、发生是一个极其复杂的过程，地震预报是全世界公认的科学难题，这个夙愿的完全实现不是短期内所能达到的。然而某些地震前存在着若干前兆现象，这一点也是普遍承认的事实。因此，就目前科技水平而言，在一定条件下对部分地震做出某种程度的预报，以达到减轻地震灾害的目的，是可能的。

地震与地磁的关系从 19 世纪末开始为人们所注目，至今已有百余年的历史。但真正开展震磁效应实验和理论研究则是在本世纪 50 年代以后，而有目的地进行震磁前兆观测与地震预报实践则开始于本世纪 60 年代。

1966 年以来，我国逐步建立了震磁观测系统，在震磁效应理论研究和以磁报震实践方面取得了一定的进步。在震磁实验与理论领域开展了“压磁效应”、“感应磁效应”、“膨胀磁效应”、“热磁效应”等研究。在进行野外观测、室内实验与理论研究的同时，积极探索利用地磁预报地震的方法，并参与地震预报的实践，获得了一批震磁效应的较好震例，有的还在震前做了一定程度的预测，显示了地磁前兆手段在地震预报方面的积极作用。在 80 年代，通过震磁前兆与预报方法的系统清理、实用化攻关研究及台站的充实调整，震磁观测系统有了明显改善；在资料处理及识别震磁信息方面建立了科学的方法；总结了震磁前兆特征、以磁报震的判据和指标等。这些进展将震磁研究推向了一个新的高度。

随着地震预报的发展和地磁学科在地震预报中的广泛应用，一门新兴的边缘学科——地震地磁学逐步兴起。这门学科的主要研究内容是：地震孕育、发生及震后调整过程中直接或间接引起

的震磁效应及其机理；地磁预报地震的理论与方法；地磁预报地震的科学思路和技术途径。

《地震地磁学》一书反映了国内外震磁研究的最新进展，特别是总结了我国 1966 年以来利用地磁预报地震的实践与理论成果，给出了伴随地震过程地磁场变化的时空图象。本书对学科框架的勾绘和本质的阐述虽是初步的，但这是一个有意义的尝试，我深信该书的问世将有助于这门尚不成熟的学科的进一步发展，希望著者充分听取广大读者的各种意见，在适当的时候予以修正、补充，使它更臻完善。

梅 世 蓉

1993 年 7 月

Preface

Earthquake is a kind of serious disasters. To predict this disaster successively has been wanted for a long time. The pregnancy and occurrence of earthquake is a very complicated process. Earthquake prediction is a hard scientific problem known all over the world. To realize successive earthquake prediction in a short time is impossible. However, there are precursors before some earthquakes and this fact is accepted generally. According to the present scientific research, it is possible to predict some earthquakes in a certain degree and can mitigate earthquake disaster.

The relationship between earthquake and geomagnetic field has been noticed since the end of the nineteenth century, and its history is over 100 years. The research on the experiment and theory of seismo-magnetic precursors for the object of earthquake prediction have been carried out after 1960s.

Seismomagnetic observation systems have been established one after another in China since 1966. Some progresses have been obtained in seismomagnetic effect theory and in earthquake prediction practice with geomagnetic approach. The research of "piezomagnetic effect", "induced magnetic effect", "dilatancy magnetic effect" and "thermomagnetic effect" have been carried out in seismomagnetic experiment and theoretical research. With the development of field survey, experiment in laboratory and theoretical research, the scientists try hard to explore earthquake prediction with geomagnetic approach and participate in

earthquake prediction practice. Some examples were obtained with better seismomagnetic effect, parts of these events were even predicted before earthquakes in a certain degree. These facts imply the important role of geomagnetic approach in earthquake prediction. In 1980s, through systematic check and application-oriented research of seismomagnetic precursors, the improvement and adjustment for geomagnetic observatories, seismomagnetic observation systems were greatly improved. An advanced scientific method was used in data processing and seismomagnetic information recognition. The characteristics of seismomagnetic precursors, the criterion and index of prediction with geomagnetic approach were summarized. These progresses promote the seismomagnetic research to develop to a new level.

With the development of earthquake prediction and wide application of geomagnetic approach in earthquake prediction, a new frontier science subject—seismomagnetism is developing step by step. The main contents of this subject are: seismomagnetic effects and their mechanism caused directly or indirectly during the seismogeny, occurrence and adjusting process after earthquake; the theory and method of earthquake prediction by geomagnetic approach; scientific idea and technical approach of earthquake prediction by geomagnetic method.

The book “Seismomagnetism” reflects the latest developments of seismomagnetic research both in China and other countries, especially the practical and theoretical results of earthquake prediction by geomagnetic approach since 1966 in China. The temporal and spatial patterns of geomagnetic field variations associated with earthquakes are given. Though it is a preliminary description about the framework and essence of the

subject, it is a very significant attempt. I believe publishing this book can help this unripe subject to develop further. I hope the authors can accept the opinions from various readers, modify it and add something when necessary, so that it will become more complete and perfect.

Professor Mei Shirong

July 1993

目 录

绪论.....	(1)
一、地震地磁学的由来.....	(1)
二、震磁关系研究的发展.....	(3)
三、中国的震磁关系研究.....	(6)
四、地震地磁学的特点与研究内容.....	(8)
五、本书的主要内容	(12)
第一章 地磁基本知识	(14)
第一节 地磁要素与地磁场构成	(14)
一、地磁要素	(15)
二、地磁场的构成	(15)
三、地磁图	(17)
第二节 基本磁场与长期变	(20)
一、高斯理论	(20)
二、基本磁场数学表达式	(22)
三、地心偶极子场与偏心偶极子场	(23)
四、地磁场长期变化	(24)
第三节 地球的变化磁场	(30)
一、地磁场静日变化	(32)
二、地磁场太阴日变化	(36)
三、地磁场的干扰变化	(42)
第四节 岩石磁学概述	(47)
一、物质的磁性	(47)
二、磁性矿物	(51)
三、岩石的磁性	(53)

第二章 地磁观测	(55)
第一节 地磁台网	(55)
一、概况	(55)
二、基准台网	(60)
三、区域台网	(66)
四、流动测网	(67)
第二节 地磁测量与仪器	(69)
一、地磁要素的绝对测量	(69)
二、地磁要素的相对测量	(78)
三、台站观测的数据处理	(86)
第三节 流动地磁测量及通化处理	(88)
一、流动地磁测量	(88)
二、资料的通化处理	(90)
三、流磁测量误差	(91)
第三章 震磁实验与理论	(99)
第一节 压磁效应	(99)
一、压磁实验装置	(101)
二、压磁实验的主要结果	(104)
三、压磁效应数值模拟	(114)
四、野外实验及主要结果	(117)
第二节 感应磁效应	(128)
一、电磁感应基本理论	(128)
二、岩石电阻率变化与地震	(132)
三、感应磁效应在地震预报中的应用	(135)
第三节 电动磁效应	(137)
一、电动磁效应的物理基础	(137)
二、电动磁效应的实验基础	(141)
三、电动磁效应的模型计算	(146)
四、震荡型电动磁效应	(150)

五、电动磁效应的野外实验与震例·····	(153)
第四节 其他磁效应·····	(158)
一、热磁效应·····	(158)
二、相变磁效应·····	(161)
三、位移磁效应·····	(161)
第五节 各种磁效应评述·····	(162)
第四章 基本磁场与地震 ·····	(166)
第一节 基本磁场正常变化的分析方法·····	(166)
一、球谐分析方法·····	(167)
二、泰勒多项式法·····	(169)
第二节 基本磁场长期变化与地震·····	(176)
一、长期变化区域异常与地震·····	(176)
二、长期变化转折时间与地震·····	(180)
三、长期变化局部异常与地震·····	(186)
四、地磁异常与地壳形变的关系·····	(189)
第三节 中国地磁图与区域地震活动·····	(191)
一、中国地磁图·····	(191)
二、地磁等变线图与强震活动·····	(193)
第四节 提取前兆异常的方法与震例·····	(200)
一、简单差值法·····	(201)
二、复杂差值法·····	(210)
三、时空参考场法·····	(214)
第五章 变化磁场与地震 ·····	(220)
第一节 地磁场内、外源场的分离·····	(221)
一、全球地磁场内外源场的分离·····	(222)
二、局部地磁场内外源场的分离·····	(224)
三、地磁内外源场简易分离法·····	(227)
第二节 地磁日变化异常与地震·····	(227)
一、空间相关分析法·····	(228)

二、幅相法.....	(233)
三、谐波振幅比法.....	(237)
四、谱分析方法.....	(245)
第三节 地磁日变“低点位移”与地震.....	(253)
一、“低点位移”的判别	(253)
二、“低点位移”与强震预报	(257)
三、“低点位移”机理探讨	(261)
第四节 地磁短周期变化与地震.....	(268)
一、帕金森矢量、威斯矢量与转换函数.....	(269)
二、电导率异常.....	(273)
三、短周期变化参量异常与地震.....	(277)
四、中国震例.....	(278)
五、国外震例.....	(284)
第六章 震磁前兆与地震综合预报.....	(290)
第一节 震磁前兆特征.....	(290)
一、震例.....	(290)
二、震磁前兆的时空分布特征.....	(293)
三、震磁前兆的复杂性.....	(294)
第二节 渐进式预报方法.....	(299)
一、方法简述.....	(300)
二、应用实例.....	(301)
三、渐进式预报物理基础探讨.....	(308)
第三节 跨越式预报方法.....	(313)
一、方法简述.....	(314)
二、预报方法的统计检验.....	(317)
三、跨越式预报的机理探讨.....	(323)
四、跨越式预报在短临预报中的效果.....	(328)
第四节 场源理论与震磁关系.....	(329)
一、单源场模式与震源区的震磁效应.....	(330)

二、多源场模式与区域应力场的震磁异常·····	(332)
三、震源过程追踪与区域场动态监视·····	(336)
第七章 唐山地震的震磁效应·····	(342)
第一节 孕震区地下的电磁结构·····	(343)
一、上地幔高导层隆起·····	(343)
二、地壳深部构造·····	(352)
三、孕震的地体环境·····	(355)
第二节 中期趋势性前兆异常·····	(355)
一、地磁垂直分量的异常显示·····	(355)
二、总磁场强度的异常显示·····	(360)
三、地磁短周期变化异常·····	(362)
第三节 短临前兆异常·····	(365)
一、短期前兆异常·····	(366)
二、临震前兆异常·····	(371)
第四节 震磁前兆特征与机理探讨·····	(374)
一、震磁前兆时空分布特征·····	(375)
二、关于震磁前兆的几点讨论·····	(376)
三、震磁前兆的机理探讨·····	(380)
结语·····	(390)
参考文献·····	(392)
英文目录·····	(403)

绪 论

地震学和地磁学都是地球物理学中比较成熟的学科，地震地磁学则是本世纪中期特别是 60 年代以来，随着地震预报的实践与震磁关系研究的深入，逐步发展起来的一门新兴的边缘学科。建立与发展这门学科的目的，在于，通过研究震磁前兆的特征、预报地震的方法及其物理基础，充分发挥地震地磁学在地震预报中的作用。

地震地磁学是地震预报学科的重要组成部分，随着在实践中进一步开展震磁观测，深入进行震例总结、实验和理论研究，在促进地震地磁学发展的同时，也将丰富地震预报学科的内容。

一、地震地磁学的由来

地震地磁学是研究震磁关系，特别是研究与地震有关的地磁现象的科学。它的萌生与地磁学、地震学近代的发展有着密切的联系。

众所周知，我国是世界上最早发现磁石与地磁现象的国家，指南针是我国的四大发明之一。远在公元前一千多年已发现磁石的极性，几个世纪后磁铁的性质和应用才被欧洲人所注意；到公元 11 世纪，北宋沈括发现磁偏角的存在。1600 年吉尔伯特 (Gilbert) 提出地磁场成因的论述，指出“地球本身是一个大磁铁”；1839 年高斯 (Gauss) 创造了地磁场的数学理论，提出了地磁场的定量分析方法。1858 年洪波特 (Humboldt) 发现地磁场随时间的大幅度变化特征，并将其命名为磁暴。1882 年斯图尔特 (Stewart) 提出地磁场成因的发电机理论。19 世纪 20 年代建立了第一批地磁台，并开始在大范围内进行连续的地磁测

量。从 19 世纪初地磁学科形成以来，人们对地磁场的时空分布特征、成因以及地磁场与太阳活动的关系等进行了大量研究工作。到本世纪中期逐渐把地磁学发展成为一门物理性很强的成熟学科，观测技术也有了明显的改善，为研究地震引起的微小的地磁变化奠定了观测、实验与理论基础。

我国也是世界上研究地震最早的国家之一，震史记载丰富，已有三千余年的历史；张衡发明的“候风地动仪”可谓开了地震观测的先河。和地磁学一样，地震学同样经历过漫长的发展过程，直到上世纪末发明了近代地震仪后，地震科学才具有近代科学的形态。到本世纪，地震学得到很大发展，地震波理论、地震成因、地震现象的固体物理学等方面的研究进展以及地震学在地震勘探、地球内部和地壳构造研究、核探测等方面的应用，说明地震学已发展成为成熟的学科。在地震灾害研究，例如地震区划、工程地震学等方面也取得相应进展。

近百年来，对社会有影响的巨大地震不断发生，促使人们考虑地震预报的问题。例如：1891 年日本浓尾 8.0 级地震、1906 年美国旧金山 8.3 级地震、1923 年日本关东 8.2 级地震，促使这些国家成立地震研究机构，探索地震预报的可能性。前苏联也以 1948 年阿斯哈巴德 7.3 级地震、1949 年塔吉克 7.5 级地震为契机加强了地震研究工作。本世纪 60 年代以来，全球约有二十余次 7 级以上强震发生在大城市或工业中心附近，给人类造成重大灾难和损失，从而再次引起人们对地震预报的关注。中、日、美、前苏联等多地震国家先后制定并逐步实施了较全面的地震预报研究计划，推进了地震预报研究的开展。70 年代以来，关于预报的物理基础和包括地磁方法在内的各种前兆预报方法的探索尤为活跃。板块构造、地震粘滑机制、膨胀理论的提出；中国海城地震预报的成功与唐山地震的预报失败；对日本东海、前苏联加尔姆、美国沿圣安德烈斯断层等地区地震预报的系统研究等引起了人们的广泛关注。加之现代地震观测技术的提高，地震预报

取得了较快的进展。其重要标志之一便是包括地磁前兆在内的地震前兆现象的研究有了较大的进展。地震的地磁前兆观测以及在此基础上所开展的震磁关系研究和地磁预报地震研究，即是在国际地震预报研究工作得以全面推进这一背景上发展起来的；经过三十余年的探索，初步形成了地震地磁学这门相对独立的新学科。

二、震磁关系研究的发展

地震的孕育、发生是一个极其复杂的过程，由于影响因素很多，伴随这一过程产生的异常现象也就更加复杂。地震预报，则是通过研究与地震孕育、发生过程有关的各种现象，对地震进行科学预测。很早以前，人们就注意到地磁异常变化与地震的关系，至今已有百余年的历史。但真正开展以磁报震的探索与实践却是在本世纪 60 年代以后。

1. 震磁现象的观测

纵观震磁现象的观测发展史可分为三个阶段：

1) 本世纪 50 年代以前，此期所报道的与地震有关的地磁场变化异常，多数是由地震波引起的机械振动效应。以后虽然注意了排除这种机械振动的假象，但由于使用的磁力仪观测精度低，长期稳定性差，同时也由于未形成研究规模，研究水平较低，因此多数观测结果是粗略的、不可靠的。

2) 本世纪 50 年代后期，人们发明了质子旋进磁力仪。这种仪器可直接测量地磁场的绝对值，而且不受温度、湿度等环境的影响，只与原子常数有关。它的观测精度高，稳定性好，同时，还具有操作简便的优点。60 年代以来，质子旋进磁力仪的广泛应用，从根本上改变了震磁观测的状况，研究队伍及研究水平也有长足进步，从而获得了一些较为可信的震磁观测结果。

3) 70 年代至今，震磁观测又有了新的发展。中、日、美、

前苏联等国相继把地震预报纳入国家规划，均把地磁作为地震预报的重要手段加以实施，震磁观测与研究有了很大的发展。各国的野外观测主要集中在地震活动区与构造活动带等试验场上，在那里布设了比较密集的地磁观测网；同时，以固定台站的连续观测与巡回野外地磁测量相结合，研究震磁信息的时、空、强变化。如，在前苏联中亚地震活动区的塔什干、费尔干纳和克兹勒-库姆以及乌拉尔和喀尔巴阡地区建立了试验场或监测网；日本在松代震区和伊豆半岛开展震磁效应和构造磁效应的研究；美国在圣安德烈斯断层附近，建立了地磁观测系统，实现了卫星数据传输和实时处理，是世界上监测能力最好的地区之一，但其地磁观测系统还仅有地磁场总强度的观测，而最佳的观测方案应当包括地磁场三分量的观测与地磁场短周期变化的观测。在这一时期，我国开展了更为广泛和系统的震磁观测。

2. 震磁效应物理基础的研究

与震磁现象观测相辅相成的是地震磁效应物理基础的研究。

1922年，英国威尔逊（Wilson）首先开展了静压力作用下磁铁矿磁化率变化的实验。他认为，压缩效应是与构造活动相关的地磁场异常变化的科学基础。在50年代初，前苏联卡拉什尼柯夫和卡皮查等（Kalashnikov等，1952；Kapitsa，1955）做了几个成功的岩石磁性的压缩实验，获得了岩石磁性变化与压力、温度的关系，发展了压缩理论。根据实验结果，他们认为，岩石磁性的压缩效应可应用于观测地壳应力的变化，在实验室内确立了岩石磁性对应力的依赖关系。随后，永田（Nagata等，1969，1974）进一步对压缩实验与压磁效应进行了深入研究，并提出了构造磁学的概念。斯特西（Stacey，1963）与行武（Yukutake等，1967）等人应用压磁实验的结果，在简化模型条件下，计算了地震发生时地下岩石所产生的压磁效应，大约为2—10nT的变化。郝锦绮和斯特西（郝锦绮等，1984）等人进行了三维压磁模型计算，得到的地震磁效应变化量较小。后来