

中国地震预报探索

中国地震局地震预测研究所
中国地震台网中心
中国地震学会

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国地震预报探索/中国地震局地震预测研究所,中国地震台网中心,中国地震学会编.

—北京:地震出版社,2008.3

ISBN 978-7-5028-3279-7

I. 中… II. ①中…②中…③中… III. ①地震预报—中国—文集 IV. K826.14-53
P315.75-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 019243 号

地震版 XT200700376

中国地震预报探索

中国地震局地震预测研究所 中国地震台网中心 中国地震学会

责任编辑:李玲

特约编辑:周永健

责任校对:樊钰

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号

发行部:68423031 68467993

门市部:68467991

总编室:68462709 68423029

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

邮编:100081

传真:88421706

传真:68467991

传真:68467972

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2008年3月第一版 2008年3月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:1044千字 插页:3

印张:40.75

印数:001~500

书号:ISBN 7-5028-3279-7/P·1359 (3997)

定价:120.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

《中国地震预报探索》

编辑委员会

顾问：(以姓氏笔划排序)

丁国瑜 马 瑾 石耀霖 许绍燮 岳明生 陈运泰
陈章立 陈鑫连 曾融生 滕吉文

主 编：任金卫 阴朝民

副 主 编：王善恩 张国民 李志雄 张晓东

特约编辑：周永健

编 委：(以姓氏笔划排序)

马文乔	车 时	王善恩	申旭辉	任金卫	江在森
刘 杰	刘宏伟	刘桂萍	刘瑞丰	庄灿涛	阴朝民
李 克	李 京	李志雄	李闽峰	李强华	杜建国
宋治平	宋胜合	陈兆恩	陈华静	陈棋福	张永仙
张国民	张晓东	张雪洁	杨林章	周永健	赵家骝
钱家栋	傅征祥	蒋海昆	蔡晋安	薛 兵	薛 艳

序

地震预报是当今世界科学难题，其探索之路艰难曲折、布满荆棘。40多年来，一大批地震工作者牢记党和人民的重托，肩负着历史使命，知难而上、百折不回，为此付出了毕生的精力。梅世蓉同志就是其中杰出的代表。

党中央、国务院对地震工作高度关注。从1966年起，我国开始进行大规模的地震预测理论研究和实践探索，认真总结、提炼，逐步探索各种可能的预报方法，从而实现了对海城7.3级地震的成功预报，收到了减轻地震灾害的实际效果。海城地震的成功预报，引起了国内外的高度关注，极大地鼓舞了地震学家攻克地震预报难关的信心。之后，逐步提出了长中短临渐进式地震预报思想和综合预报思路，并成功预报了松潘、盐源、伽师等强烈地震。几十年来，在党和政府的正确领导下，我国地震工作者在地震预报为经济建设和社会发展服务方面，走过了艰辛的历程，作出了不懈的努力，尽管距离解决地震预报这个世界难题还有很大的距离，但进步是显著的，成绩是突出的，为地震科学的发展和减轻地震灾害作出了重要贡献。

全面建设小康社会，构建社会主义和谐社会对防震减灾工作提出了新的更高要求。地震工作者要以科学发展观为统领，从战略的高度、从科学探索的角度、用发展的眼光来思考地震预测问题，既要把握规律性，又要富有创造性。继承与发展是相辅相成的，如果不能客观地、批判性地继承以往的经验认识，创新就失去了基础；如果不发展新思路、研究新方法、总结新经验，经验就会越来越偏离实际，失去应用的价值。我国是世界上最早、最广泛持久开展地震预报的国家之一，经过几代人的努力，积累了大量的经验和观测资料。这些经验和资料是十分宝贵的，是我们进一步提高地震预测

水平的重要基础，但受客观条件所限，其中也存在不符合客观实际的认识，要在认真分析、甄别前人经验中的科学成分和不合理认识的基础上，在实际工作中加以运用，通过深入研究，加以更新、完善。在继承的同时，更要注重发展和创新，面对新的形势和挑战，要勇于突破旧的模式，创新思路，从更多角度分析问题，利用新的观测资料，提取新的信息，获得新的认识，使我们的经验有质的提高，更加接近客观真理。

地震预测任重道远，但只要我们坚持不懈地开展地震预测研究，不断有所创新，不断有所进步，就会逐步加深对地震活动规律的认识，逐渐接近攻克地震预测科学难题的目标。

希望广大地震预报研究人员，尊重客观规律，进一步振奋精神，坚定信心，大胆探索，早日攻克地震预报难关，为国家经济社会和科学技术发展，为保护人民生命财产安全作出不朽的贡献。

值此《中国地震预报探索》出版之际，我谨以此文表达对梅世蓉同志的敬意，并与广大地震工作者共勉。

中国地震局局长 陈建民

前 言

我国位于欧亚板块的东南部,为印度板块、欧亚板块、太平洋板块、菲律宾海板块所夹持,特殊的地球动力学条件,决定了我国复杂的地质构造条件和强烈的地震活动现状。根据 20 世纪的资料统计,在过去的 100 年中,我国大陆地区就发生了 452 次 6 级以上强震,其中 7 级以上大地震有 72 次,8 级以上特别巨大地震 7 次。这些 6 级以上强震袭击了 28 个省份,因地震造成的死亡人数达 59 万人之多,伤残人数达 76 万,倒塌房屋 600 余万间,受灾人数达数亿人次,经济损失以千亿元计。防御和减轻地震灾害一直受到我国政府和全社会的高度重视,尤其是自 1966 年邢台地震后,我国开展了大规模的地震预测预防实践。经过 40 多年的不懈努力,我国的地震监测设施已初具规模,积累了大量连续观测的地球物理场、地球化学场和地壳形变场等观测资料,形成了具有一定特色的地震监测预报工作思路和地震分析预报工作规程,取得了一系列旨在提高对地震孕育和发生过程认识的理论和经验。在地震预报艰苦探索过程中,涌现出一批献身地震事业,并取得丰硕科研成果的优秀地震工作者,梅世蓉教授就是其中一位杰出的代表。

梅世蓉教授是国内外著名的地震学家,是我国地震学和地震预报研究的领军人物之一,国家地震局分析预报中心第一任主任。她一生致力于我国的地震学研究和地震预报探索工作,取得的丰硕科研成果极大地丰富了人们对板内地震孕育和发生规律的认识,对我国的地震预报研究产生了重要影响。2008 年 4 月 27 日是梅世蓉教授八十华诞,同时为纪念她从事地震学和地震预报研究 56 周年,中国地震局地震预测研究所以及中国地震台网中心,联合中国地震学会共同组织了《中国地震预报探索》的编印工作。本书汇集了梅世蓉教授海内外同事、同行和学生们的文章 73 篇,约 100 万字,涉及地震预测理论方法、地震前兆机理等研究内容,其中不乏诸多学者的最新研究成果。本书编辑出版过程中,得到了国内外学者和中国地震局领导的热情帮助和积极支持,中国地震局陈建民局长在百忙中为本书作序,大家的支持不仅表达了对梅世蓉教授的敬意,更体现了对地震预报事业发展的关注。借此机会,向支持本书组编工作的各位领导和专家表示衷心感谢!

期待我们共同为之奋斗的事业——地震预报研究和探索在继承中不断创新发展,祝愿梅世蓉教授学术之树常青!

编 者
2007 年 12 月

目 录

中国地震预报探索四十年	中国地震局地震预测研究所 (1)
我国地震预报的开拓者和领军人——庆贺梅世蓉先生八十华诞	陈章立 (26)

地震预报综论篇

新形势下地震预报战略问题的探讨	梅世蓉 (39)
地震预测研究发展战略的几点思考	岳明生 (55)
艰辛的历程 光明的未来——我国地震预测预报探索和实践的回顾与展望	
..... 吴荣辉 李 克 张国民 张晓东	(63)
中国地震预报四十不惑	许绍燮 (76)
地震预测科学及其发展展望	张国民 傅征祥 (79)
地震预报某些问题的理论思考	陈立德 (86)
我国地震预报事业的诸多进展	罗兰格 (90)
经验性预报是科学地震预报的初级阶段	韩渭宾 (95)
地震预报探索的历史解读与思考	张肇诚 张 炜 (100)
中期地震预报可以做得更好——兼谈中期预报的改革创新	刘德富 (111)
年度地震趋势会商及其科学意义	吴忠良 刘 杰 朱传镇 蒋长胜 黄辅琼 (117)
Development of earthquake prediction research after WWII	Peter Bormann (124)
云南地区地震预报的进展及震源参数用于地震预报的尝试	
..... 付 虹 苏有锦 刘丽芳 赵小艳 邬成栋	(160)
地震灾害与人类的关系	孙士铨 (169)

地震前兆研究篇

两次巨大地震前后震源区应力水平对比	陈学忠 李艳娥 (175)
通过弱震活动的分析开展地震预报的一些认识	刘蒲雄 华祥文 马鸿庆 (179)
云南强震活动时间特征研究	秦嘉政 钱晓东 刘丽芳 (186)
充分利用区域数字地震台网研究地震剪切波偏振特性	高 原 石玉涛 太龄雪 (194)
电离层 f_0F_2 与地磁日变异常场及其地震预测研究	
..... 丁鉴海 张 晶 余素荣 李 纲 索玉成	(201)
地磁谐波振幅比地震异常特征的进一步研究	
..... 冯志生 居海华 李鸿宇 张秀霞 杨从杰 立金柱	(212)
地震趋势的水平应力调制时间过程分析	顾瑾萍 郭铁栓 任鲁川 (218)
临界状态下外因触发地震活动的一个可能实例	蒋海昆 吴 琼 苗青壮 (224)
唐山地震断裂带的小震活动分析和重复地震识别	
..... 李 乐 陈棋福 刘瑞丰 钮凤林	(232)
强震前地震非均匀度时间变化特征研究	

..... 李志雄 李圣强 吴 婷 路 鹏 泽仁志玛 (241)	2005~2007 年中国大陆 6 级以上地震超长平静的跟踪预报研究
..... 刘 杰 郭铁栓 杨立明 苏有锦 刘桂萍 (252)	华北地区 5 级以上震前地震活动图像演化特征研究
..... 王慧敏 张永仙 吕梅梅 薛 艳 (260)	水诱发异常机理与华北强震中短期预测新探索
..... 王吉易 贾 炯 范雪芳 杨明波 平建军 刘喜兰 (268)	1999 年岫岩地震序列的重新定位与震源参数测定
..... 吕培苓 杨智娴 刘 杰 (276)	解读 1976 年松潘-平武 7.2 级地震
..... 罗灼礼 (286)	云南地区尾波 Q_e 值区域分布及其时间变化过程研究
..... 马宏生 张国民 刘 杰 华 卫 周龙泉 邵志刚 (299)	关于地壳形变短期变化与地震间的远程相关性
..... 牛安福 吉 平 闫 伟 (307)	2003 年云南大姚地震前地震活动异常研究
..... 薛 艳 马宏生 周龙泉 (313)	岩石试验的结果及对强震前某些前兆的解释
..... 杨林章 (321)	上海市 NOAA 卫星监测热红外地表温度研究
..... 尹京苑 赵俊娟 张 红 赵利飞 杨林章 (326)	昆仑山口西 8.1 级地震对首都圈形变场的影响
..... 张 晶 王武星 方 颖 (334)	新疆乌什 6.2 级地震前区域变形异常特征的研究
..... 平建军 江在森 王 敏 冯向东 贾 炯 (341)	中国大陆钻孔应变观测的最新进展
..... 邱泽华 (349)	唐山井的水温同震变化特征
..... 马 丽 尹宝军 黄建平 陈会忠 张晔军 (356)	地震地下流体预测研究中需强化的若干问题
..... 车用太 鱼金子 (364)	龙陵帮腊掌温泉流体综合异常与地震关系研究
..... 万登堡 李宗兴 毛慧玲 (370)	宁洱 6.4 级地震深井水温异常特征分析
..... 刘耀炜 孙小龙 王世芹 (377)	利用 GPS 观测资料进行强震预测的一点思考
..... 杨国华 张风霜 杨 博 韩月萍 (387)	

地震预测理论与方法研究

加卸载响应比理论的近期进展	尹祥础 张浪平 尹琳玉 (397)
美国南加州强震前加卸载响应比和态矢量特征差异研究	
..... 张永仙 吴永加 尹祥础 彭克银 张浪平 于爱琴 张小涛 (408)	
S 波列 Q 值物理意义探讨	张天中 李艳娥 张宏智 (417)
1976 年唐山大地震发生对华北构造块体系统稳定性影响的数值模拟研究	
..... 林邦慧 白武明 陈祖安 (421)	
地震孕育体源流变模型中前兆分析的理论基础	
..... 宋治平 梅世蓉 尹祥础 薛 艳 (432)	
有限单元法在地学问题研究中的新进展	
..... 邵志刚 李志雄 江在森 马 丽 马宏生 泽仁志玛 吴 婷 (441)	
山东泰安台温度年变化对地应变与地倾斜影响的模拟研究	
..... 孙玉军 李 杰 曹建玲 李 峰 石耀霖 (460)	

基于数字地震波形资料的地震预报分析软件.....	
..... 武安绪 王勤彩 刘 杰 宋治平 林向东 岳晓媛 (467)	
经验模态分解及其在前兆信号预处理中的应用.....	
..... 武安绪 张晓东 张永仙 黎明晓 平建军 (472)	
从多时空尺度地壳运动与形变场认识地震孕育发生过程	
..... 江在森 杨国华 王双绪 牛安福 黎凯武 武艳强 (478)	
远场大地震能量辐射源的台阵技术分析.....	
..... 许力生 杜海林 张红霞 张 勇 陈运泰 (489)	
岩石破坏试验模拟地震前兆研究讨论	
..... 许昭永 蔡静观 (501)	
非线性海啸传播方程的数值分析.....	
..... 朱元清 宋治平 王本龙 刘 桦 薛 艳 温燕玲 刘双庆 (508)	
应用福建地震台网资料反演福建及台湾海峡地区三维地壳速度结构.....	
..... 黄金莉 李祖宁 陈祥熊 林 树 蔡晋安 杨 峰 鲍 挺 (520)	
使用剪切波分裂 SAM 系统分析方法分析区域地震台网资料	
..... 石玉涛 高 原 吴 晶 太龄雪 (529)	
首都圈地区跨断层形变观测反演地壳应力场变化.....	
..... 谢富仁 张红艳 焦 青 李瑞莎 (537)	
EDAS-24IP 地震数据采集器之连续运行保障方案研究	
..... 王洪体 李 江 薛 兵 庄灿涛 (545)	
地下水观测数据拟合与预测的支持向量机方法.....	
..... 王 炜 赵利飞 吴耿锋 马钦忠 林命周 (550)	
数字化网络化地震台网的快速产出.....	
..... 陈会忠 泽仁志玛 闻 军 胡 彬 何加勇 陆松宝 (558)	
用 SKS 分裂与 GPS 观测数据联合分析青藏高原东部的壳幔变形场	
..... 王椿镛 Paul G. Silver Lucy M. Flesch 吴建平 常利军 苏 伟 (564)	
A dislocation model for the collision plate boundary	
..... Kunihiko Shimazaki Yanlai Zhao (577)	
大陆地震受固体潮影响的统计特征	
..... 张晓东 黎明晓 (586)	
河北省地震危险区判定工作的回顾与思考	
..... 张跃刚 陈绍绪 乔子云 (593)	
担杆岛断层潜在 7 级地震在香港的地面运动的模拟	
..... 郑斯华 黄玉龙 (602)	
唐山地区是否会再次发生大地震	
..... 刘启元 王 峻 陈九辉 李顺成 郭 飏 (612)	
战友回顾篇	
探索之路	
..... 马 瑾 (623)	
梅世蓉教授八十华诞颂	
..... 李钦祖 (626)	
可亲可敬的梅老师	
..... 龙晓帆 (629)	
在工作中成长 在成长中工作——敬祝梅世蓉先生八十华诞.....	
..... 王泽皋 马凤霞 曹 轶 薛 经 王 燕 (631)	
附录：梅世蓉先生的主要论著、论文	
..... (636)	

中国地震预报探索四十年

中国地震局地震预测研究所

摘 要

本文系统介绍了我国地震预报探索的发展历程,尤其是1966年河北邢台地震以后40多年来我国地震预报的主要进展。包括1966~1976年中国大陆地区10年大震期间地震预报科研和实践的大规模发展;1976年后至20世纪80年代末地震预报研究在科学总结基础上的稳步发展;1990年以来向强化应用和深化探索,即向实用性和基础性方向发展的新阶段。总结了我国地震预报探索在各个阶段的主要工作和所取得的进展。同时对地震预报作为前沿性科学难题,在强化观测基础、加强基础性探测和研究、建立地震预报实验场等领域的继续长期艰苦探索作出了展望。

关键词: 地震预报; 科学进展; 发展展望

引 言

我国是世界上地震灾害最严重的国家之一,通过地震的预测预报以减轻地震灾害一直是人们的美好愿望和追求目标。在与地震灾害的长期抗衡中,我国劳动人民积累了许多有关地震前兆和地震预防的知识,其中孕育着地震预测的萌芽。如17世纪《银川小志》中记载:“银川地震,每岁小动,民习以为常,大约春冬居多,如井水忽混浊,炮声闪长,群犬围吠,即防止患。如若秋多雨水,冬时未有不震者”。在这段文字中,包含了小地震活动、地下水、地声、动物习性等异常现象与地震的关系,还包括了地震发生与气象、季节等相互关系的认识^[1]。

1855年,辽宁金县地区人民曾根据地震前的声音(即地声)预报和预防了一次地震,减少了生命财产的损失。根据故宫档案记载:“旗民各户住房虽震倒五百六十七间……地未震之时,先闻有声如雷,故旗民早已预防,俱各走避出屋,是以未径压毙多人,只伤男妇子女七名”^[1]。

进入20世纪20年代,一系列大地震袭击了我国中部的许多地区,造成了重大的灾害。其中1920年宁夏海原8.6级大震造成23万人丧生,灾情遍及数省,震惊全国上下。随后又发生1923年四川炉霍7.3级地震,1925年云南大理7级和1927年甘肃古浪8级等大

震。重大的地震灾害激起了社会公众对地震灾害的强烈关注。当时的地质调查所开始筹备用现代科学方法观测和研究地震，并于1930年建成了北京鹫峰地震台。自1930年冬到1937年抗战爆发为止，共记录到地震2472次。在此期间，1931年在南京还建成了北极阁地震台。1937年抗战爆发以后，地震观测研究毁于战火，直至抗战胜利后才逐渐恢复了部分仪器的观测^[2]。

一、地震预报研究的酝酿与准备——解放后至 邢台地震前的地震工作

1949年新中国成立之后，百废待举，百业待兴。1953年国家开始了第一个五年经济建设计划，依照设计厂矿的程序，要建设工矿企业必须先提供建设地点的地震烈度。而提供建设地点的地震烈度，实际上就是对建设地区未来几十年至百年时间尺度地震的长期预测。于是一个基于地震长期预测的地震烈度区划任务应运而生，国家需要成为地震预测的推动力，而地震预测也首次提供了为国民经济建设服务的先例。此后几年，经中国科学院地震工作委员会历史组的努力，编辑出版了《中国地震资料年表》，并在此基础上成功编制了《中国地震目录》第一、二集。在这些基础性工作的前提下，进而编制了《中国地震区域划分图》，这也是地震长期预报的雏形和第一次成功的尝试^[3, 4]。

1956年国务院召开全国科学技术发展规划会议，编制了《中华人民共和国科学技术长远规划》，由傅承义、刘恢先主笔的《中国地震活动性及其灾害防御的研究》课题被列为国家长远科技规划中的第33项中心课题。在该项目中，就明确地将地震预报（当时称地震预告）方法的研究列入了研究规划^[2]。

为了探索地震预测的具体途径，中国地震工作者一方面积极学习外国的先进经验，一方面在实践中探索。1958年中国地震专家访问苏联，交流地震预报的科学思想，考察了苏联塔吉克综合地震考察队（又称塔吉克地震预报试验场）的工作。同年，中国科学院地球物理所组织了地震预报考察队，赴西北近期发生过大地震的地区进行考察，着重调查大震发生前的前兆性异常现象。通过对1920年海原8.6级地震、1954年山丹7.3级地震等的实地调查，分析研究了大震前的地震活动、震中迁移、前震活动等，搜集了有关地声、地光、地下水位变化、动物异常以及气象异常等多种宏观前兆现象。此次考察撰写的地震预报和地震前兆的考察报告，成为中国地震预报的早期文献^[2, 5]。

此后，中国地震学家进一步探讨了地震预报的科学思路、技术途径和地震前兆等问题。但此间的探讨，基本上还局限于理论上对地震预报方法理论和技术途径等可行性的研讨。直到1966年3月河北邢台发生强烈地震，以邢台现场的监视预报工作为起点，我国的地震预报工作进入了广泛研究和深入实践的大规模发展的新阶段。

二、地震预报研究的大规模发展——1966~1976年的地震工作

1966年3月8日凌晨，河北省邢台地区隆尧县发生6.8级强烈地震，接着3月22日，在宁晋县再次发生7.2级大震。这是中华人民共和国建国后首次发生在中国大陆东部人口稠密地区造成严重破坏和伤亡的地震，在国内外引起重大反响。6.8级和7.2级的震中烈

度分别达到Ⅸ度和Ⅹ度,受灾面积达10余万平方公里,共损坏房屋508万间,其中262余万间严重破坏或倒塌。位于震中地区的隆尧县马兰、任村一带和宁晋、东汪等地,房屋几乎全部倒塌,村镇街道变成一片废墟。两次地震中共有8064人丧生,38451人受伤。强烈地震还造成良田被毁,公路开裂,桥梁塌落,交通中断,农田水利设施破坏等严重灾害。

邢台地震引起党中央、国务院和全国人民的极大关注。1966年3月8日地震当天,国务院总理周恩来召开了各部委负责人参加的紧急会议,全面部署救灾工作。第二天,周总理又亲临灾区视察和慰问,代表党中央向灾区人民提出“奋发图强、自力更生、发展生产、重建家园”的号召,极大地鼓舞了灾区人民的抗震救灾斗争。

与此同时,广大地震科技工作者从四面八方日夜兼程,奔赴灾区,在灾区人民要求“地震前打个招呼”的强烈呼声感召下,以邢台震区为地震预报试验场,密切监视和细致分析震情,揭开了中国地震预报科学实践的序幕。此间周总理对地震预报的殷切期望和深切关怀,更是给地震科技工作者增添了巨大的动力。在1966年3月8日地震当晚,周总理亲自召开会议听取震情汇报。会上周总理向地震工作者提出要搞地震预报,号召科学工作者到现场去,到实践中去。1966年3月11日周总理在邢台抗震指挥部又对地震工作做了一系列重要指示。周总理指出:“我们的祖先,只给我们留下了纪录,没有留下经验。这次地震付出了很大代价,这些代价不能白费!我们还可以只留下纪录吗?不能!必须从中取得经验”。“希望转告科学工作队伍,研究出地震发生的规律来……这在国外也从未解决的问题,难道我们不可以提前解决吗?……我们应当发扬独创精神来努力突破科学难题,向地球开战”^[6]。

1966年3月22日7.2级地震发生后,周总理再次来到邢台,在视察地震工作时,周总理语重心长地对中国科学技术大学地震专业的同学说:“希望在你们这一代能解决地震预报问题”。

在邢台地震现场,地震工作者调查考察,总结研究,严密监视,探索强震前的异常现象。发现大震前在震中区及其附近地区确有某些特殊现象出现。如井水翻花、变浑,水位涨落,动物行为异常,小震活动出现“密集—平静”特征等。根据这些认识,地震现场考察队曾成功预报了1966年3月26日发生在宁晋百尺口的6.2级强余震。随着现场预报工作的广泛开展,人们对地震发生过程的认识也不断深化。这些初步经验与认识,极大地鼓舞了地震工作者。来自当时的中国科学院、地质部、石油部、国家测绘总局、北京大学、中国科技大学等部门和单位的科技人员,在邢台大震现场,利用各自的优势探索地震预报的具体途径,从而形成了多学科联合、多路探索的生动局面。现场所开展的观测研究工作涉及地球物理、地质、大地测量、地球化学、工程力学以及生物、气象等十多个学科,建立了一批前兆观测台站,先后有测震、地电、地磁、地下水、水化学、水准、基线、重力、扭秤、地应力、地声、地倾斜等20余种方法投入了观测,取得了一批有价值的观测资料。同时灾区群众也采用多种方法监测地震,如地下水、动物行为习性以及其他一些简易仪器。初步形成了中国第一个综合性的专群结合的前兆观测台网。至此,中国地震预报科研工作进入了以大量前兆观测为基础的,多学科联合攻关的新阶段^[7]。

地震活动在时间上往往具有高潮和低潮相交替的特性。1966年邢台大地震揭开了20世纪我国第四个地震活动高潮。继邢台地震之后至20世纪70年代初,又相继发生了1969年渤海7.4级、1970年云南通海7.8级、1973年四川炉霍7.9级和1974年云南昭通7.1

级等大地震。一连串大地震、大灾害激起了社会公众对地震预报的强烈需求,地震预报工作以邢台地震区为发源地很快在华北(含东北)、云南、四川以及西北、华东和新疆等地发展起来,并在一系列大地震和更多的中强地震中积累了更为丰富的前兆资料,加深了对前兆异常特点的认识。例如大震前不但有各种异常现象,而且还显示出阶段性特点。有些异常出现较早,可以用来作中长期预报;另一些异常出现较晚,可以用来作短期预报。基于对前兆异常的这些特征和对孕震过程发展的实验理论认识,我国地震工作者在1972年提出了长期、中期、短期和临震预报的阶段性地震预报的科学思路和工作程序。正是基于这些经验性认识,辽宁省地震工作者在国家地震局的协助下,对1975年2月4日辽宁海城7.3级大地震做出了较好的长期、中期、短期和临震诸阶段的判断。尤其是在临震阶段,根据短临异常的起伏增加,并在1月底2月初向营口、海城地区集中,特别是从2月1日至2月4日凌晨,海城地震震中区的小震活动竟达500多次,最大为4.7级。在这种紧迫的地震形势下,地震部门做出了临震预测意见,辽宁省政府发出了对辽南地区营口、鞍山等地的临震预报,并采取了一系列应急防震措施,从而避免了重大损失,大大减少了人员的伤亡,取得了防震减灾的实效^[8]。

可是,在地震工作背景基本相似条件下,基于同样的这些基本经验和认识,却未能对唐山地震做出短临预报。1976年7月28日发生的唐山7.8大震,造成24万余人死亡,这是20世纪以来伤亡最大的一次地震。在1976年初的全国年度会商会上,曾估计唐山—辽西地区有发生5~6级地震可能,并建议加强该区工作。1976年6~7月河北省地震局曾派出唐山地震工作小组赴唐山调查,而且有几位同志就在唐山大震中遇难。但为什么未能像海城地震那样做出短临预报呢?这是因为,总的说来,我们对地震孕育发生规律的认识能力还很差。在工作上主要有下述原因:第一,对基本形势估计不足。海城7.3级地震后,在海城周围几百公里范围内,近年内还会有7级以上强震发生吗?虽然少数人根据地震活动和气象异常,认为有大震背景,但多数人抱有怀疑。所以虽然看到唐山—辽西一带有异常,也只作为有5~6级地震的背景加以注意。第二,4月6日在唐山以西500 km左右的内蒙古和林格尔发生6.3级地震,震后京津地区原有一部分异常现象消失,同时天津西南大城1976年4月22日还发生4.4级地震。相当多的人认为这些异常和这两次地震有关。第三,地震前几十天至几天,震中区及其周围没有获得像海城地震前那样大量的突发性异常的报告,也无前震,因此未预计到地震会来的那么快,那么大^[9, 10]。

唐山地震后不到一个月,在四川松潘又发生1976年8月16日7.2级和8月22日7.2级两次大震。四川省地震部门对此作了较好的短临预报。其预报过程也与海城地震相似,是基于数年观测研究基础上的长、中、短、临的预报阶段判断,尤其是在短期和临震阶段的两三个月中出现了3次突发性的短临异常高潮,其中又以宏观异常最为突出。这种短临异常在震前两三个月中的三起三落,尽管给确定震前最后一次高潮和判定临震时间带来难度,但从总体上看是给短临预报提供了有利条件^[11]。

总之邢台地震后的10年,是大震频发的10年,从1966年3月到1976年8月,我国陆区共发生15次7级以上大震。其中12次发生在人口稠密的华北和西南的川滇地区。强烈的地震活动,严重的地震灾害是地震预报研究的最大推动力。在频繁的地震活动中,地震工作者深入地震现场,边开展观测研究,边进行地震预报实践,经过不懈的努力,积累了丰富的前兆资料,初步总结了一些预报地震的方法。在这艰难曲折的历程中,经历了成功

的喜悦,更经历了多次挫折的痛苦。无论是成功与失败,每一次地震的发生都从不同的方面给地震工作者增加了认识,补充了经验。因此,邢台地震后的10年,是地震预报工作发展历程中最为关键和最为重要的十年,是地震预报工作大规模发展的十年。尽管对地震预报科学研究来说,当时是仓促上阵,仅仅是最初的早期探索,但其毕竟使我国的地震预报从束手无策的状态向有计划有目标的科学探索迈出了最重要的一步。

三、科学总结,稳步发展——1976年后至 80年代末的地震预报研究

继1966~1976年我国10年大震连发的高潮之后,1976年9月一直到1988年11月云南澜沧、耿马大震前,其间共12年3个月时间内,我国陆区仅在新疆乌恰发生过一次7.4级地震。前10年是15次7级以上大地震,后12年仅有1次7级以上地震。高潮与低潮、活跃与平静泾渭分明。地震系统的广大科技工作者利用1976年8月以后的地震平静期,抓住机会,深入总结,系统地进行了一系列应用性研究,同时开展地震监测预报的一系列基础性建设,为地震预报科学研究的深化打下了基础,也为下一个地震活跃期到来及其预报工作做了准备。在这一期间,主要开展了下述诸方面的工作^[12, 13]。

1. 开展了对一系列大地震震例的系统总结和深入研究

自20世纪70年代后期开始,首先进行了对历次大震的逐个系统研究,包括对邢台、海城、唐山、龙陵、松潘等大地震,从地震孕育的地质构造环境和条件,大震前的地震活动背景、地震活动图像及其时空演化过程,大震前地震前兆的监测条件及地震前兆异常,震前的多种前兆异常的综合特征及其时空演化,以及震源机制、地震序列特征及其与发震构造关系等。在对逐个大地震系统总结的基础上,分别撰写和出版了专著。在此基础上,还进一步开展了对华北地区邢台、渤海、海城、唐山大地震和川滇地区通海、炉霍、昭通、龙陵、松潘等大地震的综合研究,从大震群体性活动的区域构造环境条件、区域地震活动的时空演化图像,大震前地球物理场、地壳形变、地下水流体和空间环境因素等多学科角度开展深入的综合研究,撰写出版了一系列专著。

与此同时,还开展了对1966年以来在有地震和前兆台网监测能力区域内发生的5级以上地震的全面震例总结。自1966年在邢台地震现场建立地震监测和多学科综合性地震前兆台网以来,随着地震形势发展,在全国各主要地震区相继建立了多学科的地震监测台网。至1985年,已在全国各地区的地震监测台网范围内,共获得了60次 $M_s \geq 5.0$ 地震的震例资料,震级跨度从5.0~7.8级,并对这60次震例进行了全面总结。逐个总结了每次地震的地震地质背景、地震序列、震源机制及地震主破裂面、地震观测台网及前兆异常、前兆异常特征及其时空演化等。在此基础上出版了《中国震例》第一、二、三册。60次震例共记录到921条异常,其中311条(约占异常总数的1/3)为地震活动性异常,包括地震活动空区、条带、增强、平静等地震活动异常图像,地震波速度、应力降、介质衰减特性 Q 值等震源和介质参数,以及频度、应变、能量、 b 值等地震活动性参数。占异常总数2/3的611条异常为地震学以外的多学科前兆异常,其中包括地壳形变、重力、地电、地磁、地下水物理参数和多种地下水化学成分的前兆异常等。经过对1966~1985年所积累的60次震例的总结和研究,使地震工作者对强震的孕育背景、条件和过程、地震前兆异常的综合特

征以及如何用于实际地震预报等问题,取得了系统的认识。

2. 完成了地震前兆和预报方法的系统研究

在大量震例总结的基础上,国家地震局又组织科研人员不失时机地开展了地震前兆和预测方法的系统清理和研究,1983~1986年动员了24个省、市、自治区地震局和局属科研单位2000余人,对测震、大地形变、地倾斜、重力、水位、水化、地磁、地电、地应力等9个学科方法预报地震的理论基础与观测技术、方法、预报效能做出评价。地震综合预报作为第10个学科方法纳入总体计划。

在对地震前兆和预报方法的系统研究中,各学科各手段都对所有台站的全部记录资料作了系统清理、校核和评价。并以此为基础开展对观测资料的干扰排除、异常识别等分析研究,建立各手段各台站干扰排除的方法,给出了异常识别的判据和指标,筛选出一批较为可靠的震前异常。例如,在倾斜清理中,从16万张图纸中收集有前兆异常图例140个,表明大地震和中强地震前地倾斜确有异常显示。其中既有震前异常,又有同震阶变。其中前兆异常为 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 。而同震阶变幅度普遍大于前兆异常。又如在重力清理工作中,通过对几个大家关心的重力异常进行严格审核,肯定了唐山地震前观测到的震中区110 mg重力变化是正确的,否定了海城地震前重力变化100~500 μg 的结论。

总之,通过对地震前兆预报方法的系统清理研究,建立识别和排除干扰的方法,研制了提取和判别前兆异常的判据和指标,给出了一批较可靠的前兆异常,并统计检验了各种异常出现后可望成功预报地震的概率。

3. 开展了地震预报实用化研究,编制了地震预报方法指南

在对一系列大地震开展系统总结和对1966~1985年60次5级以上地震震例综合研究的基础上,通过对地震前兆和预报方法的系统清理研究,在20世纪80年代后期,国家地震局进一步组织了地震预报的实用化研究,其目的是要对60年代中期到80年代这20年中所积累的大量震例资料,现场丰富的预报经验,数量达上千的地震活动和多学科异常的研究成果,地震前各阶段前兆异常特征及其时空演化等进行系统和深入研究,建立一套各地震预报学科预测地震的方法、判据和指标,以科学地、合理地、全面地、充分地将数十年中积累的地震预报经验应用于未来地震预报实践,在现有的地震科学水平下尽可能地提高地震预报水平和能力。

在地震预报实用化攻关研究中,通过各学科对前兆的识别、判定,给出了定量的标准和方法,得出了某些稳定的识别特征,提炼了预报判断、指标及方法,对其预报能力作了不同方式和不同程度的估量,比较普遍地应用预报效能 R 值评分方法,评估了各学科、各预报方法的预测效能。进而提炼出如何运用筛选出的判据、指标,以进行对未来地震时、空、强三要素的预报方法。各学科都考虑到地震孕育的阶段性和地震前兆的复杂性,以及在不同阶段前兆异常所显示的不同特性,建立了长、中、短、临的跟踪预报方法。有的学科对地震预报程序不仅作了内符检验,还作了外推检验,并给出了预报效果的评价结果。

在这些实用化研究工作的基础上,各地震预报学科都分别编制了各自的实用化、规范化的地震预报工作指南。其中汇总了我国20年来在地震预报实践中证实的有效方法和最新研究成果,建立了地震预报实用的绘图软件系统,资料可靠性判定和干扰因素定量排除的计算机程序、单点异常判定、多点异常判定、地震前兆指标提取和地震三要素预报等一整套软件程序。