

地下水动态异常与 地震短临预报

万迪堃 汪成民 等编著



地震出版社



076059



地下水动态异常与地震 短临预报

万迪埒 汪成民 李介成 万登堡 编著
许学礼 黄保大 周旭明



地震出版社

1993

(京)新登字095号

内 容 提 要

地震短临预报是当前地震预报的关键和难点。本书通过对大量地下水动态震例的分析和对震前地下水动态异常特征及其与地震三要素关系的总结,论述了地下水动态异常在地震短临预报中的地位和作用,建立了预报地震三要素的异常标志体系和利用地下水动态异常进行地震短临预报的方法。书中还总结了我国地震地下水动态研究的创新和应用前景。

本书可供地震预报、水文地质、地球化学、地球物理以及石油、煤炭、环境等科学部门的广大科技人员和地学院校师生参考。

地下水动态异常与地震短临预报

万迪堃 汪成民等人 编著

责任编辑:马 兰

责任校对:徐雁生

地质出版社 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

787×1092 1/16 14.75印张 374千字

1993年11月第一版 1993年11月第一次印刷

印数 0001—1200

ISBN 7-5028-0919-8/P·571

(1312) 定价: 10.00元

前 言

地震预报是当代重大科学难题，我国的地震科技工作者从1966年邢台地震开始已为之奋斗了26个春秋。经过20多年的努力，尤其是经过1983—1985年的地震监测与预报方法清理攻关和1987—1989年的地震短临预报实用化攻关，我国的地震预报工作无论在实践上还是在理论上都有了长足的进展，并且在国际上处于领先地位。但当前困难仍然是巨大的，尤其是短临预报成功率还很低，有待我们进一步努力。

地震短临预报是地震预报的关键环节和难点。谓其“关键”，是因为短临预报是地震预报“成功”的关键，是减少地震损失的关键；谓其“难度大”，是因为与中长期异常相比短临异常除形态复杂、空间分布散、异常不稳定和异常分布区不断迁移等因素而难于分析外，还在于短临异常的突发性和离发震时间的短促性，以致于使分析者难于在很短时间内掌握全部信息，作出及时的判断，而更为困难的还在于有些地震临震前很难发现“典型的”或确定性的异常。

地震地下水动态与其他监测预报手段相比具有监测面广、短临异常突出的特点，加之能够充分发挥专群结合的优势，因此在地震短临预报中占有重要位置，今后有可能发挥更大的作用，成为攻克短临预报难关的突破口。

本专著是在前两次攻关的基础上，在地震科学联合基金会的资助下，又经过两年“八五”攻关预研究而完成的。全书共分八章，第一章论述地下水动态异常在地震短临预报中的意义；第二、三和四章分别介绍7级、6级和5级地震地下水动态异常实例；第五、第六和第七章分别论述了地下水动态短临异常特征、短临预报方法和短临预报软件系统；第八章论述了地下水动态研究的创新和前景。全书紧密围绕地下水短临异常和短临预报问题，提出了一些新的观点和新的方法，初步建立了地下水动态预报地震的短临标志体系。

本书由万迪堃、汪成民、李介成、万登堡、许学礼、黄保大和周旭明共同编著。各章编写和执笔人是：第一章汪成民；第二章万登堡、黄保大、汪成民、朱自强；第三章李介成、周旭明、黄保大、万迪堃；第四章黄保大、周旭明、李介成、万登堡；第五章万迪堃、许学礼、万登堡、李介成；第六章万迪堃；第七章王宝银、董守玉；第八章汪成民。参加本书第二—四章震例总结或提供震例报告、震例资料的还有夏菲、何琼仙、李正中、江小林、方和弟、李军、王蓉、马声浩、王道、徐士中、孙天林、马贵仁、吴景云、冯适才、秦炳漪、郭一新、黄祖彭、丁仁杰、殷世林、毛继英、许文琪、田竹君、鱼金子、朱清钟、王雅灵、王安滨、孙振璇、李声荣、庄光国、王国治、蓝秀英、刘允清、曹新来、张子广、王爱英、张淑亮、苏鸾声、靖继才、王万青、王庆师、谭克俭、何永治、董义和黄振义等同志。

本书编写过程中得到李宜瑚、贾化周、车用太、董守玉、王铁城、郭一新等同志的关心和支持；得到地震出版社马兰、商宏宽等同志的帮助并提出宝贵意见。本书的出版是和上述同志的协助和支持分不开的。

本书是全国地下水动态监测与预报系统广大科技人员共同劳动的结晶，如果有所成绩，成绩是属于集体的。由于编著者水平和能力有限，缺点和错误是难免的，敬请同行和广大读者提出批评指正。

编著者 1992.2

序

我国进行地震预报的探索研究已有20多年,在这一科学领域,中国已成为举世瞩目的地震预报的先进国家。我们坚持“以预防为主,专群结合,多路探索”、“边观测,边研究,边预报”以及“以监测预报为基础,加强综合防御减灾”的正确方针,不但取得了人类历史首次成功预报破坏性地震——海城地震预报的创举,而且为地震预报科学发展创造了十分坚定的基础。到80年代末,我国已逐步建成了测震台网、前兆台网、流动监测台网、无线通讯网以及数据处理网络等一套正规化、现代化的地震信息系统。1966年以来,我国在台网控制范围内已获得100多次震前有较多观测数据的5级以上的震例。在这100多个震例中,共取得地震活动性、地壳形变、地下水位、水化学、地电、地磁、重力、应力应变以及宏观异常现象等多种前兆异常1千多条。如此丰富的震例资料不仅为地震预报提供了实际经验,也为建立地震三要素预报的前兆判据指标体系提供了科学依据。

众所周知,异常的识别,前兆的判定,是地震预报尤其短临预报的关键性问题。为此,国家地震局于1980—1982年首先组织对海城、唐山、松潘、龙陵等7级以上大地震的震例进行了总结,而后于1983—1985年又对9种前兆手段及综合预报方法的观测技术、方法、预报思路、异常识别、前兆判定及其预报效能进行了攻关性的系统清理,深化了对地震前兆的认识。在此之后的1989—1990年间,国际地震学和地球内部物理学协会(IASPEI)下属的地震预测分委员会,组织了由13位专家参加的工作组,对各国专家提名的29种有意义的地震前兆进行了严格的评议。这个专家小组把地震前兆明确地定义为“地震之前发生的,被认为是与该主震的孕育过程有关联的一种环境参数的、定量的、可测量的变化”。无论是我国的“清理”还是国际上的“评议”,说明都对前兆异常这一基本事实的重视。

地下流体——包括地下水位动态的综合观测,在地震预报的实践中取得了丰硕成果并显示了良好的前景。不仅从理论机理上看,地下流体能灵敏地反映地下岩体受力作用产生的变形(其精度可达 10^{-8} — 10^{-10} 量级),且从各类前兆历次震例出现的异常数量看,地下流体尤其地下水位动态占有显著的优势。国内外专家普遍认为地下水位是地震短临预报的有效方法之一。本书作者向大家提供的正是这批震例中最有价值的观测资料和基本事实,无疑对总结经验、借鉴过去、预测未来将起积极的作用。

本书编写,正值国际上对“地震预报”问题引起新的争论时刻。在日本工作的美国地震学家Geller发表了题为“改弦易辙方能实现地震预测”的文章,对当前以经验为基础的预报地震的途径表示了怀疑和否定。针对上述论点,中国地震专家专门进行了研讨。多数专家认为:地震预报是国际上尚未解决的公认的科学难题,当前的地震预报在科学上尚处在初级的探索阶段,过于悲观或过于乐观的估计都不可取。我们需要有坚持不懈深入探索的勇气和信念,也需要正确的科学思路和途径。一些专家对我国地震预报的战略思想提出了“冷静反思,热情探索;坚持预报,开拓领域;调整结构,强化科研”,“学习新理论,推进‘老’方法”,以及“必须以地震预报的基础研究和经验预报并重的原则作为未来地震预报战略的出发点”等一些中肯建议。坚持中国特色的地震预报道路是专家的共同认识,同时还认为地震科学是观测

科学，没有合格的观测资料，规律是难以揭示的。

“地下水动态异常与地震短临预报”一书以其翔实的第一手观测资料为特色奉献给读者，对致力于探索地震预报的科技工作者深究“老”方法，运用新的观念和独特的技巧去认真研究地震预报领域中的“原始的物理问题”，提供了良机。同时该书的出版，对于广大分析预报人员充分合理地应用现有的实践经验，提高分析预报水平也是一本难得的参考书和教材。它对今后加强地震预报基础理论研究，为探索新的思路、新的方法，推进短临预报必将发挥重要作用。我衷心祝愿该书的出版，因为它包含了地震系统一代地下水工作者的心血和对地震预报事业的执著追求。我坚信该书出版定会激励年青一代地下流体工作者为地震预报事业更加奋进的探索。

李宣珣

1993.5

目 录

第一章 地下水动态异常在地震短临预报中的地位和作用	(1)
一、短临预报是地震预报的核心与难点.....	(1)
二、地下水微动态异常是地震短临预报的希望所在.....	(8)
第二章 7级以上地震地下水动态异常实例	(10)
一、建网前的几次大地震.....	(10)
二、1983年6月24日越南莱州7.0级地震.....	(22)
三、1986年11月15日台湾花莲海域7.6级地震.....	(28)
四、1988年11月6日云南澜沧-耿马7.6、7.2级地震.....	(31)
第三章 6—6.9级地震地下水动态异常实例	(47)
一、1979年7月9日江苏溧阳6.0级地震.....	(47)
二、1981年1月24日四川道孚6.9级地震.....	(51)
三、1982年6月16日四川甘孜6.0级地震.....	(54)
四、1984年5月21日江苏南黄海6.2级地震.....	(59)
五、1985年4月18日云南禄劝6.1级地震.....	(62)
六、1989年4—5月四川巴塘6.7级震群.....	(68)
七、1989年9月22日四川小金6.6级地震.....	(72)
八、1989年10月19日山西大同6.1级震群.....	(76)
第四章 5—5.9级地震地下水动态异常实例	(83)
一、1980年11月6日新疆玛纳斯5.8级地震.....	(83)
二、1981年8月13日内蒙丰镇5.8级地震.....	(85)
三、1982年3月8日河北滦县北5.0级地震.....	(88)
四、1982年10月19日河北卢龙5.3级地震.....	(94)
五、1983年6月1日新疆维吾尔自治区阜康5.3级地震.....	(99)
六、1983年11月7日山东菏泽5.9级地震.....	(102)
七、1984年1月7日河北滦县5.0级地震.....	(107)
八、1985年3月29日四川自贡5.0级地震.....	(110)
九、1985年9月2日云南建水5.3级地震.....	(113)
十、1985年11月30日河北任县5.3级地震.....	(115)
十一、1986年2月9日、3月1日、8月16日黑龙江德都5.0、5.4、5.5级地震.....	(117)
十二、1986年3月13日云南鹤庆5.4级地震.....	(122)
十三、1986年8月12日四川盐源5.4级地震.....	(125)
十四、1986年10月7日云南富民5.2级地震.....	(131)
十五、1988年4月15日四川会东5.4级地震.....	(134)
十六、1989年9月20日云南嵩明5.1级地震.....	(138)

十七、1990年2月10日江苏常熟-太仓5.1级地震	(140)
第五章 地下水微动态短临异常基本特征	(147)
一、异常与前兆	(147)
二、异常的基本特征	(150)
第六章 地下水动态短临预报方法	(173)
一、异常的判别	(173)
二、地震三要素的判定	(181)
三、预报方法与实例	(185)
第七章 地下水动态地震短临预报软件系统	(193)
一、系统概况	(193)
二、日常监测软件系统	(194)
三、地下水动态干扰因素排除系统	(196)
四、地下水动态预报地震系统	(203)
第八章 中国地震地下水动态研究的科学创新与应用前景	(211)
一、认识研究地下水的新时期	(211)
二、中国地震地下水动态研究的创新	(212)
三、地下水动态新开发的地震信息	(217)
四、地震地下水动态研究的应用前景	(221)

Contents

Chapter 1	The position and role of anomalies of groundwater behavior in short and imminent term earthquake prediction.....	(1)
1	Short and imminent term prediction is the key and the difficult point of the earthquake prediction	(1)
2	The identification of the earthquake anomaly of the groundwater micro-behavior is hopes of the short and imminent term earthquake prediction ...	(6)
Chapter 2	The examples of groundwater behavior anomalies of M7.0 earthquakes and over	(10)
1	Several large earthquakes before establishment of the groundwater observation well-network	(10)
2	The Laizhou, Viet Nam, Earthquake of M7.0 of Jan. 24, 1983	(22)
3	The Hualien sea area, Taiwan, Earthquake of M7.6 of November 15, 1986	(28)
4	The Lanchang-Gengma, Yunnan province, Earthquake of M7.6, 7.2 of November 6, 1988	(31)
Chapter 3	The examples of groundwater behavior anomalies of M6.0—M6.9 earthquakes	(47)
1	The Liyang, Jiangsu province, Earthquake of M6.0 of July 9, 1979.....	(47)
2	The Daofu, Sichuan province, Earthquake of M6.9 of June 24, 1981.....	(51)
3	The Ganzi, Sichuan province, Earthquake of M6.0 of June 16, 1982.....	(54)
4	The South Yellow Sea, Jiangsu province, Earthquake of M6.2 of May 21, 1984	(59)
5	The Luquan, Yunnan province, Earthquake of M6.1 of Apr. 18, 1985	(62)
6	The Batang, Sichuan province, Swarms of M6.7 of April-May, 1989	(68)
7	The Xiaojing Sichuan province, Earthquake of M6.6 of Sep. 22, 1989	(72)
8	The Datong, Shanxi province, Swarms of M6.1 of Oct. 19, 1989	(76)
Chapter 4	The examples of groundwater behavior anomalies of M5.0—M5.9 earthquakes	(83)
1	The Manas, Xinjiang province, Earthquake of M5.8 of Nov. 6, 1980	(83)
2	The Fengzhen, Neimeng province, Earthquake of M5.8 of August 13, 1981.....	(85)
3	The Luanxian, Hebei province, Earthquake of M5.0 of March 8, 1982	(88)
4	The Lulong, Hebei province, Earthquake of M5.3 of Oct. 19, 1982	(94)
5	The Fukang, Xinjiang province, Earthquake of M5.3 of June 1, 1983	(99)
6	The Hezhe, Shandong province, Earthquake of M5.9 of November 7, 1983.....	(102)

7	The Luanxian, Hebei province, Earthquake of M5.0 of Jun. 7, 1984	(107)
8	The Zigong, Sichuan province, Earthquake of M5.0 of March 29, 1985	(110)
9	The Jiansui, Yunnan province, Earthquake of M5.3 of Sep. 2, 1985	(113)
10	The Renxian, Hebei province, Earthquake of M5.3 of Nov. 30, 1985	(115)
11	The Dedu, Heilongjiang province, Earthquake of M5.0, 5.4, 5.5 of Feb. 9, March 1, August 16, 1986	(117)
12	The Heqing, Yunnan province, Earthquake of M5.4 of March 13, 1986	(122)
13	The Yanyuan, Sichuan province, Earthquake of M5.4 of August 12, 1986	(125)
14	The Fumin, Yunnan province, Earthquake of M5.2 of Oct. 7, 1986	(131)
15	The Hweibong, Sichuan province, Earthquake of M5.4 of April 15, 1988	(134)
16	The Songming, Yunnan province, Earthquake of M5.1 of Sep. 20, 1989	(138)
17	The Changsu-Taicang, Jiangsu province, Earthquake of M5.1 of Feb. 10, 1990	(140)
Chapter 5	Basic characteristics of short and imminent term anomalies of groundwater behavior	(147)
1	The anomaly and the precursor	(147)
2	The basic characteristics of the anomaly	(150)
Chapter 6	Method of short and imminent term earthquake prediction by groundwater behavior	(173)
1	The identification of the anomaly	(173)
2	The determination of the three essential factors of the earthquake prediction	(181)
3	The prediction method and the examples	(185)
Chapter 7	Software system of short and imminent term earthquake prediction by groundwater behavior	(193)
1	The general situation of the software system	(193)
2	The software system for daily seismic monitoring	(194)
3	The subsystem for elimination the interference factors of the groundwater behavior	(198)
4	The system of the earthquake prediction by the groundwater behavior	(203)
Chapter 8	New ideas and prospects of China's groundwater behavior studies for earthquake prediction	(211)
1	The new period of the research of the groundwater	(211)
2	The new idea in the study of China's groundwater behavior	(212)
3	The new kinds of the earthquake information developed in groundwater behavior	(217)
4	The prospects of study of the groundwater behavior in practical use	(221)

第一章 地下水动态异常在地震 短临预报中的地位和作用

一、短临预报是地震预报的核心与难点

1. 短临预报是地震预报的核心

在人类文明发展的历史长河中,灾害与战争是最突出的主题。因此、人类生存的历史就是一部与灾害斗争史,据近50年统计,每年全世界受灾的经济损失大约为当年全世界经济总产值的10%左右。近年来膨胀性人口增长,城市增多,环境恶化,灾害更趋严重。1987年12月11日联合国大会通过决议,决定1990—2000年定名为“国际减轻自然灾害十年”,这一活动得到了全世界热烈支持与广泛响应,已有近100个国家成立了国家级“国际减灾十年”委员会,制定了一个规模宏大且切实可行的战略计划。

地震是诸多自然灾害中尤其强烈,具有突发性与难以预测性,被视为破坏性最强、难以防御、人们最易恐惧的灾害。据联合国统计,从1900年到1976年,全世界有450多万人死于地震、火山、洪水、风暴、滑坡等自然灾害,导致了3000多万人遭灾(受伤或失去家园),损失上千亿美元,波及全世界82%的城市。其中因地震死亡的人数达260多万,占总死亡人数的58.12%,遭地震破坏的城市占全世界受灾城市的50%以上。

中国是世界上蒙受地震灾害最为深重的国家。虽然大部分破坏性地震都发生在海域中,发生在大陆的仅占全球地震的15%,但大陆地震给人类造成的损失却占全球地震损失的85%。我国是世界大陆区地震分布最广的国家,据1970—1980年统计,地震造成的伤亡和损失超过了世界其他国家和地区的总和。因此,地震预报研究是我国人民的多年宿愿,是国家的紧迫要求,是科技工作者的神圣职责。然而,要达到减少和避免人们在地震灾害中的伤亡与损失,最现实而有效的措施是需要准确、可靠的短临预报。据美国地质调查所估计,假若一次时间准确到3—5天,地区准确到100km²范围内的 ≥ 7 级强震短临预报,则可避免90%的人员伤亡和50%经济损失。这里所谓的经济损失是3—5天不可能搬迁的固定资产与停工、停产、社会混乱所造成损失的总和。虽然根据中、长期预报可以事先加固建筑物的方法来避免人员伤亡、减轻经济损失,但一般中、长期预报往往具有相当大的地区不确切性、时间不确定性,以致往往建筑物加固范围过宽,人们担心受怕的时间过长,到头来一旦地震发生,所减轻的损失与预防措施的投入相比经济效益并不突出,而人员伤亡仍不可避免。因此,对社会、人民来说地震预报最重要的任务是要研究准确的短临预报。这就是敬爱的周恩来总理多次给我们提出的“要事先打招呼”的明确而艰巨的要求。

2. 短临预报是地震预报的难点

可是,恰恰在这个地震预报中最核心的部分,是目前研究水平不高,使地震工作者感到困惑的问题。据对有关省、市会商结果的正式结论的不完全统计,短、临预报的水平明显低于中、长期预报,报准次数少,虚漏等错报次数多(表1-1)。

实际情况是,自唐山地震以后的15年内发生的12次破坏较严重的地震,没有一次由地震

主管部门事先正式、明确地将三要素报准过。某些地震事先有些预报，有些预防甚至取到一些实效，但这些多是个别基层单位、个别方法手段的分析意见，被地方政府了解、采纳的结果。

表1-1 部分省（区）会商预报效果的统计

省（区）	统计时间 (年)	预 报 类 别	预报次数	报准次数	虚报次数	漏报次数
河 北	1976—1982	中期(年)	11	6	5	
		短期(季)	24	9	15	
		短临(周)	73	7	66	
内蒙古自治区	1973—1983	中 期	18	8	10	2
		短 期	25	9	16	10
		临 震	10	2	8	1
云 南	1973—1983	中期(>6个月)	27	8	19	
		短期(2—6个月)	16	3	13	
		临震(1个月)	62	9	53	
江 苏	1973—1983	中 期	11	3	8	
陕 西	1970—1984	趋 势	9	2	7	0
		短 临	1	0	1	0
甘 肃	1970—1984	趋 势	21	8	13	0
		短 临	26	1	25	3
宁 夏	1970—1984	趋 势	21	8	13	0
		短 临	182	17	165	3
青 海	1970—1984	趋 势	13	6	7	9
		短 临	29	5	25	5
新疆维吾尔自治区	1970—1984	趋 势	37	26	11	12
		短 临	40	8	12	26

地震预报水平提高慢，短临预报水平低困难大的情况不仅在中国存在，国外也是如此。1985年9月9日墨西哥8.2级地震与1988年12月7日苏联亚美尼亚7.8级地震，迄今为止，是1976年中国唐山7.8级地震后损失最重、影响最大的两次地震。墨西哥地震发生在世界最繁华城市之一的墨西哥城，离美国边境仅300km，地震就发生在美国台网密集、重点监测的圣·安德列斯断层延续段上。亚美尼亚地震发生在距离两个原苏联加盟共和国首都埃里温和第比里斯仅80km与120km的地方，但事先毫无所察，更无预报，突然袭击，损失惨重，引起社会舆论大哗，群起指责地震工作不力，尤其是短临预报方面的无能。对此，美、苏两国地震学家都有相似的认识。美国地震学家博尔特在墨西哥大地震后接受记者访问时说：我们布设的密集台网没能观测到明显前兆，究其原因可能是：

- 1) 仪器精度不够。今后要在 10^{-9} — 10^{-11} 的体应变量级精度范围内搜索地震前兆。
- 2) 观测点布局不合理。今后要研究地震前兆空间展布的不均一性，寻找敏感点去布点。
- 3) 观测频段不合理。今后要研制宽频道仪器去捕捉各种来自地下的信息。
- 4) 观测深度不够。今后要设法取得更多来自深部的信息。
- 5) 信噪比不高。今后要设法进一步排除认识干扰，提取更“纯”的信息。

因此,理想的观测地震前兆的台网应该是精度高、频带宽、干扰少、探测范围深而又处于敏感的位置上。只有这样,才能提高短临预报效能。

苏联科学院院士尼古拉耶夫在亚美尼亚与格鲁吉亚连续两次大震后发表谈话,承认短临预报工作困难,要求布设能获得深部信息、干扰少的台网,在台网布设中特别强调要选择“敏感点”,否则事倍功半。

根据中国近30年地震监测预报的实践表明,临近地震发生之前,虽然短临异常比中、长期异常更加广泛、鲜明、强烈,但分析判断比中长期异常更复杂、困难。概括起来,大体有以下几点原因。

1) 异常形态复杂。根据重力、地磁、地电、形变、水氧、水位和其他宏、微观手段,长、中、短、临异常的统计结果表明,短临异常的变化形式比中长期异常多,形态复杂(表1-2)。

表1-2 地震异常项目统计表

编号	异常项目名称	出现异常 地震次数	异常出现率 (%)	L	A	B	C	总次数	最长时间 (月)	最近距离 (km)
1	地倾斜	23	40		9	11	25	45	17	470
2	定点重力	6	10		2	3	4	9	12.8	410
3	流动重力	6	10		6	2		8	54.9	160
4	视电阻率	30	50		19	19	15	53	43.9	396
5	Z变化	4	7		2	5	4	11	12.9	192
6	幅差	5	8			4	2	6	5.4	192
7	日变低点位移	9	15			1	8	9	1.5	600
8	日变畸变	4	7				4	4	0.6	600
9	总场(总强度)	3	3		1		3	4	12.3	185
10	流动地磁	3	3		2	1		3	16.6	220
11	偏角	1	2				1	1	1.0	115
12	水氧	35	58		36	38	50	124	38.9	640
13	气氧	1	2				1	1	0.5	136
14	土氧(α 粒子径迹密度)	1	2				2	2	0.2	50
15	总硬度	1	2	1	1	1		3	61.1	220
16	水电导	5	8		3	4	1	8	30.9	185
17	气体总量	2	3		1		1	2	6.9	106
18	CO ₂	5	8	1	3	3	2	9	85.1	135
19	H ₂	1	2				1	1	0.5	150
20	H ₂ S	2	3			1	1	2	6.2	350
21	SiO ₂	1	2			5		5	3.5	240
22	Cl ⁻	5	8	1	3	2	2	8	61.1	220
23	F ⁻	3	5		1	7	1	9	11.9	240
24	地下水位	26	43		13	24	29	66	54.9	490
25	地下水位与潮水位	1	2		1			1	12.2	60
26	水(泉)流量	4	7			2	3	5	5.3	120
27	水温	6	10		4	3	3	10	15.8	460
28	电感应力	19	32		34	17	23	74	49.9	509
29	铜弦应力	1	2		2			2	13.1	230
30	振弦应力	1	2				1	1	2天(0)	130
31	体积应变	2	3			1	1	2	1.8	195
32	气温	2	3		1		4	5	12.2	59
33	干旱	1	2		1			1	27.2	
34	旱涝	1	2		1			1	24.2	

(续)

编号	异常项目名称	出现异常 地震次数	异常出现率 (%)	L	A	B	C	总次数	最长时间 (月)	最远距离 (km)
35	石油井动态	4	7		1	1	6	8	7.9	400
36	地温	4	7		2		3	5	38	30
37	电磁波	3	5				2	2	0.7	360
38	宏观现象	37	62		1	5	31	37	6.9	300

注：表中L、A、B、C为长期、中期、短临异常代号。

2) 异常点空间分布散。据我国41次地下水动态异常资料统计，短临异常反应范围往往比中、长期明显要大，所谓超远距离的敏感点反映，大多是在临震时出现的。其他各项手段的统计结果也大体如此，表1-2中异常反映最远距离，90%的异常属短临异常。

3) 异常特点不稳定。短临异常不仅形态乱，分布散，给分析工作带来更大困难的是异常不稳定，反复变化，而且速度极快，以地磁为例，大体持续若干年的磁场强度长期稳定漂移，常作为中、长期预报的依据，而短临阶段，如 k 指数2倍法、磁偏角突变、幅差法、低点位移法等所确定的异常都是迅速兴起、瞬即消失、相互取代、常有反复的。这些现象与中长期异常相比显著的特点是突发性与不稳定性。主要以突发性群体异常急剧起伏为特点，与中长期的平稳渐变为主要表现形式很不同（图1-1）。

4) 异常区域变迁。除了形态与幅度的变化外，短临异常更表现为空间上的变化，异常出现的地区经常在几天或几十天内可能由一个地区迁移到另一个新区，迁移距离有时可达几十、乃至几百公里，此消彼长，使人顾此失彼，难以分析判断。

5) 异常显露短促突发。上述形态乱、分布散、异常变、地点迁的临近地震时的前兆变化现象，构成了一幅错综复杂、剧烈变幻的活动图象，这种图象显露时间一般很短，有时以日甚至几小时计，如何在如此短促的时间内，了解全局情况，去粗取精，去伪存真，并很快作出正确反映，提出符合客观的决策，这是短临预报最困难的环节。

除上述一般性的困难外，最困难的可能还在于，虽然震后总结中每次地震都可能会发现一批短临异常，但在不少地震发生之“前”很难找到根据过去震例总结出来的“典型”的、可以据此进行短临预报的异常。这一方面可能与前面所分析的难点有关，另一方面则反映出短临异常与中长期异常相比其重现性和稳定性要差，因此短临异常更应采用综合判别标志，而不宜凭单项指标来判别。

总之，假如说地震预报是科学难题，短临预报则是难题中最突出的一个环节。正如郭增建教授所指出的，这种困难在于前兆演化的复杂性。众所周知，地壳被不同时代、不同规模 and 不同性质的断层所切割，地壳中有不同孔隙在被不同化学成分、不同温度的流体所充填。因此，地震是在岩石化学成分不均一、温度不均一、应力不均一的极其复杂的环境中孕育、发生的。而我们所观测的前兆大都是地表某一局部点位对来自深部（震源场）或大区（区域场）的变化的综合反映，即便产生变化的源头本身比较单纯，但经过长达几十（乃至几百）公里复杂介质中的传播后到达观测点，信号已大大地被复杂化了。作者曾对岩石微破裂发展引起孔隙水压变化的过程进行研究后得出，地壳中应力分布是不均匀的，最大可相差1—3个数量级；同样大小的应力在不同介质中引起的应变也不均匀，最大也可能相差1—3个数量级；同样的应变在不同井孔-含水层系统的孔隙压力变化也同样不均匀，最大也相差1—3个数量级。因此，在极端条件的组合下异常的不均匀性是十分惊人的。

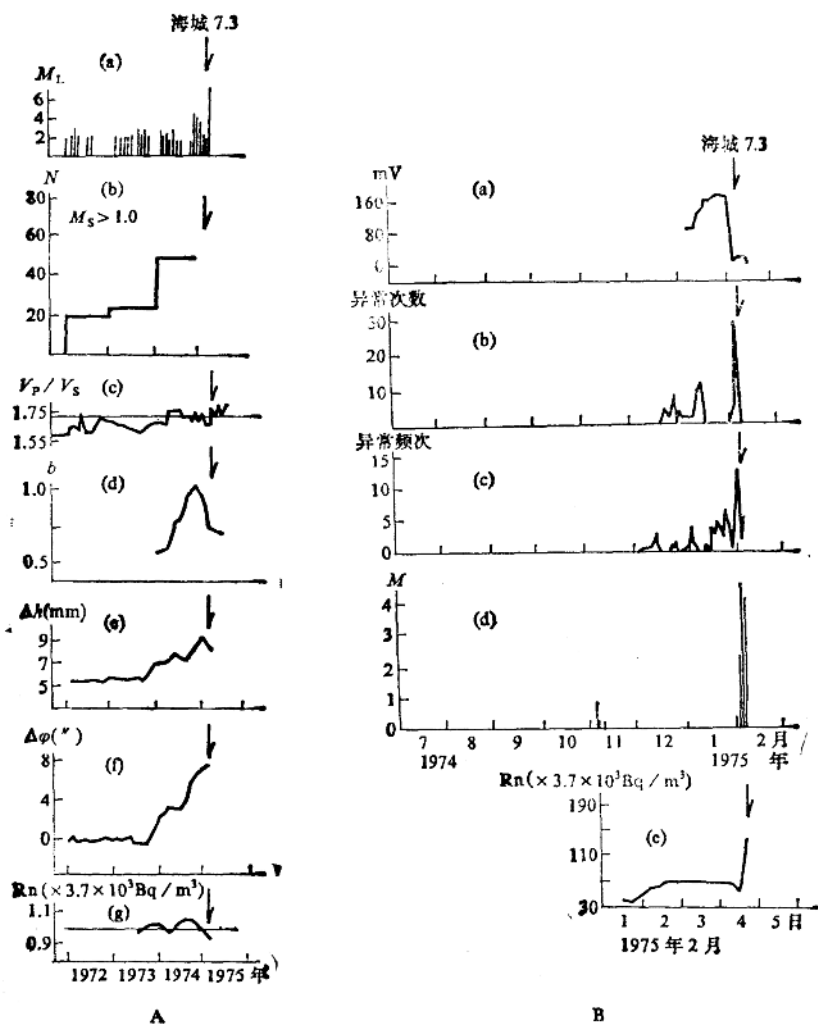


图1-1 海城地震前趋势与短临异常

A. 地震前几年的趋势变化

(a) 辽宁省地震活动; (b) 小震频度; (c) 波速比; (d) b 值; (e) 会县水准 ($\Delta = 190$ km); (f) 营口地倾斜 ($\Delta = 180$ km); (g) 水氡(加权)变化

B. 地震前几十天的短临变化

(a) 冶金部102队自然电位 ($\Delta = 15$ km); (b) 丹东地区动物异常行为频度 ($\Delta = 150$ km); (c) 丹东地区地下水异常频度; (d) 前震; (e) 汤河水氡 ($\Delta = 72$ km)

二、地下水微动态异常是地震短临预报的希望所在

1. 值得注意的事实

尽管短临预报如此困难、复杂,但可值得注意的是,在多年观测实践中,几乎每一次地震都能发现一批十分可靠的、明显的短临前兆异常,依靠这些异常不少地震曾有过比较准确的短临预报,只不过这种预报多来自基层的、单点的,除了海城等少数地震外,大多没有在汇总时被采纳,对外正式预报中很少反映,不被外界社会所了解。假若综合各种判别意见时,事先能充分重视这些个别的但即将被事实证明是正确的意见的话,那末预报的成功率将会大大提高。

作者多年来从事广泛收集、现场核实大量第一性资料的工作,从中挑选出每次大地震前较突出、明显的短临异常及较成功的短临预报实例。

根据第二十五届IASPEI大会提出的国际优秀震例评选指南的规定和我们多年实践的经验认为,异常筛选的标准是:

- 1) 差异性大。异常值与背景值之比的明显程度。
- 2) 重现性强。历史上对应地震的数量。
- 3) 稳定性好。异常形态、判别指标与三要素关系的稳定程度。
- 4) 可合理解释。机制上的有解性、关系上的合理性。其结果发现在各种前兆中,地下流体前兆在诸多短临异常中显示最好,在选择10次地震突出短临异常中有8次名列前茅(表1-3)。

表1-3 我国几次大破坏性地震中显示较好的短临异常

序 号	地 震	突出的短临异常
1	1966.3.22 邢台7.2级地震	小震、水、动物
2	1970.1.5 通海7.7级地震	水、形变、动物
3	1973.2.6 炉霍7.6级地震	水(水温、水位)、形变
4	1975.2.4 海城7.3级地震	水(水化、水温)、小震、形变
5	1976.5.29 龙陵7.4级地震	水(水温、流量、水化)、形变
6	1976.7.28 唐山7.8级地震	水(水位、气体、水温)、形变、地电
7	1976.8.16 松潘7.2级地震	水、形变、地电
8	1988.11.6 澜沧7.6级地震	水(水温、水位、水化)、形变、电磁波
9	1989.4.16 巴塘6.7级地震	水(水温、流量)、形变、地电
10	1989.10.19 大同6.1级地震	水(气体、水位、水温)、形变、地电、电磁波

在大震的短临预报的筛选中综合考虑了三要素预报的准确程度,选择10次地震中的10次最佳预报,发现其中大多数在形成预报意见中地下水起了主要或重要作用(表1-4)。

表1-4 我国几次破坏性地震中显示较好的短临预报

序 号	地 震	突出的短临预报
1	1975.2.4 海城7.3级地震	辽宁省地震局预报(测震、形变、地下水宏观异常)
2	1976.5.29 龙陵7.4级地震	龙陵县预报(地下水、宏观、地电等)
3	1976.7.28 唐山7.8级地震	北京市地震队预报(气象、测震、地下水、形变)
4	1982.6.16 甘孜6.6级地震	川3队预报(地下水)

序 号	地 震	突出的短临预报
5	1982.10.19 卢龙5.3级地震	双桥井、昌黎井预报(地下水)
6	1985.11.30 任县5.3级地震	马17井预报(地下水)
7	1986.8.16 德都5.5级地震	泰来、克东县地震办公室预报(地下水、宏观)
8	1988.11.6 澜沧7.6级地震	景谷、思茅地震办公室预报(地下水、观测)
9	1989.4.16 巴地6.7级地震	毛瑟泉预报(地下水“水温、流量”)
10	1989.10.19 大同6.1级地震	怀来地震台预报(地下水测 H_2 、 H_g 等)

从10次地震前显示较好的短临异常现象以及较好的短临预报意见中可以看到,地下水微动态异常在地震短临预报中的作用和地位。

2. 捕捉地震短临前兆信息的理想的观测手段

根据美、苏地震学家总结墨西哥及亚美尼亚大震预报失败的教训后所提出的理想前兆观测的要求来看,地下水微动态观测是最接近这些要求的手段。虽然我国地下水微动态观测大多利用废旧井、使用简陋的仪器、聘用业余测报人员,但由于地下水本身固有的有利条件加之地震地下水科技人员的精心管理、组织,目前这项手段已具备许多其他手段无法比拟的优越条件。

1) 观测精度高。由于中国地下水观测网充分利用井孔-含水层的自身放大作用,全国有210口井能清晰记录到固体潮,精度达 10^{-8} 以上。18口井能记录到液核动力学效应,精度已达 10^{-10} 以上,已达到或超过美、苏科学家的理想前兆观测手段的精度要求(表1-5)。

表1-5 观测地球固体潮的各种手段的观测精度对比

观测手段	主要观测仪器	一般观测精度	最高观测精度	资料来源
重 力	重力仪($l=25\text{cm}$)	10^{-7}	10^{-9}	据力武常次等 (1980)
	沃登重力仪	10^{-8}		
	阿什卡尼亚重力仪	10^{-9}		
地 形 变	石英伸缩仪 水管倾斜仪 水平摆倾斜仪	$10^{-7}-10^{-8}$	10^{-10}	同上
应 变	小泽应变仪	10^{-8}	10^{-10}	据Mechior (1978)
	激光应变仪	10^{-6}		
	萨克斯应变仪	10^{-8}		
井孔水位	机械水位仪	$10^{-8}-10^{-10}$	10^{-11}	

2) 能获得来自深部的信息。地下流体是地壳中最活跃的组成部分,由于它存在的普遍性、流动性与难压缩性(包括气体),因此它是可以将深部信息直接带到地面的唯一载体,许多震例表明,一些具有深部信息的物质在大震前突然出现在震中附近的井孔中的事实已有力地证明了这一点。

3) 接收频带宽。利用地下水观测地震前兆一般不必为接受频带范围而担心,严格说井水本身是全频带的,由流体组成的振动器可以接受任何频带的振动,但每口井具体频率响应取决于井孔-含水层系统的许多条件。一般来说起始可从周期2—3s到几天、几个月的各种微小振动、起伏都能客观地记录下来。

4) 信噪比高。通过十几年的井网建设,不断择优淘弱,现在地震观测孔多数干扰小,