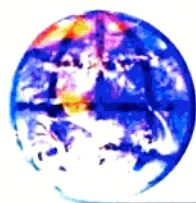
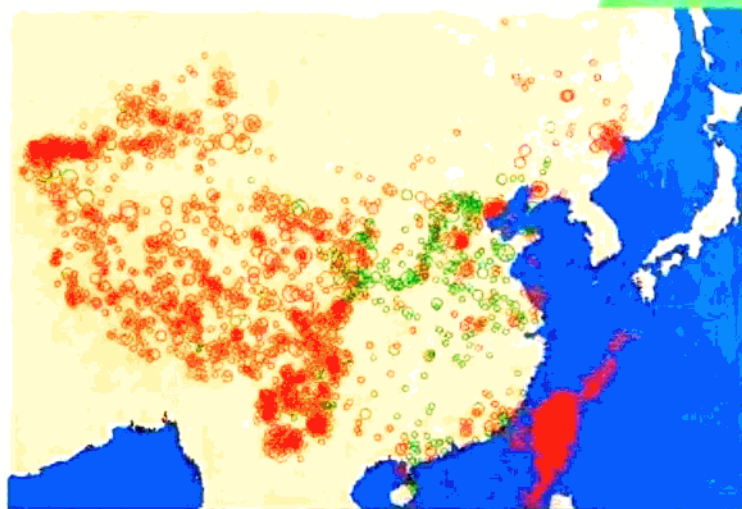


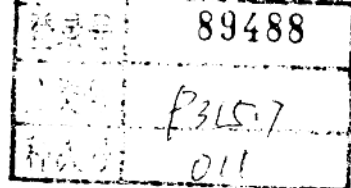
地震预报系列教材

# 地下流体地震预报方法

国家地震局预测预防司



地震出版社



地震科学联合基金资助

地震预报系列教材

# 地下流体地震预报方法

国家地震局预测预防司

SYPD/12



地震出版社

1997

## 内 容 提 要

地震预报是当代重大科学难题。本书是中国地下流体预报地震方法的总结。本书系统地介绍了地下流体方法预报地震的有关基础知识和地下流体前兆理论；地下流体的观测资料处理，异常提取，前兆异常的特征，地震三要素的预报方法；地下流体预报地震研究取得的最新进展和今后研究方向。

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领域院校师生参考。

地震预报系列教材  
地下流体地震预报方法  
国家地震局预测预防司

责任编辑：马 兰

责任校对：庞建群



787×1092 1/16 10.625印张 272千字

1997年2月第一版 1997年2月第一次印刷

印数 001—900

ISBN 7-5028-1379-9/P·860

(1807) 定价：15.00元

## 《地震预报系列教材》编辑委员会

主    编 孙其政  
副主编 张国民 李宣珣 陈建民  
编    委 高    旭 丁鉴海 朱传镇 吴宁远 修济刚  
          李友博 刘蒲雄 陆远忠 钱复业 王    炜  
          徐京华 罗兰格 吴翼麟 郭大庆 辛书庆  
          李志雄 刘升礼 王瑜青 高荣胜 刘小伟  
          张志波 康    建

## 《地下流体地震预报方法》编写组

负责人 王吉易 董守玉 陈建民

成    员 万迪堃 秦清涓 张素欣 王瑜青 付子忠

## 序

地震监测预报是防震减灾的一个重要环节，也是整个防震减灾工作的基础。破坏性地震给人类造成的灾难，使地震预报成为人们长期以来追求的目标，成为当代地球科学中最富有魅力的一项前沿性课题。近代科学技术的进步逐渐为实现这种目标提供了可能。特别是经过近30年来艰辛的探索，人们在认识地震发生过程，掌握和应用地震预报理论、技术、方法等方面已经取得了长足的进步。在地震预报的实际应用中所获的某些成功，对减轻地震灾害的经济损失和鼓舞人们实现预报地震的信心起了积极的作用。

地震预报作为一个难度很大的科学问题，期望在短时间内从根本上过关是不切合实际的，它需要几代人做坚持不懈的努力。因此，提高地震预报工作者的业务水平与技术素质是当务之急的大事。为便于现在从事这一领域工作的科技人员学习国内外已取得的成果，也便于未来将要从事这一领域工作的科技人员继承、检验、发展地震预报的理论、技术、方法，国家地震局预测预防司组织有关专家编写了《地震监测技术系统系列教材》和《地震预报系列教材》丛书。

这两套丛书包括了目前地震监测预报实践中各种常用的学科方法，它是广大地震科技工作者长期以来辛勤劳动的结晶，反映了近30年来，特别是近十多年来地震监测预报“清理攻关”、“实用化攻关”、“深入攻关”的成果。这两套丛书既适用于地震监测预报工作人员的培训，也对广大科技人员从事地震科学研究，特别是地震监测预报研究有重要的参考价值。笔者期望并相信这两套丛书的编写、出版，将对提高地震监测预报工作者的业务水平，促进地震监测预报研究的深入开展和进一步减轻地震灾害损失，发挥积极的作用。

陳章立

1996.11.20

## 编写说明

《地下流体地震预报方法》一书是在国家地震局科技监测司和地震预报方法丛书编委会的指导下编写的。

1993年9月国家地震局科技监测司下达任务,由董守玉、王吉易及陈建民负责编写提纲,并经编委会审定。1994年6月成立了编写组,编写组由董守玉、王吉易、陈建民、万迪埜、秦清娟、张素欣、王瑜青、付子忠组成。同年7月在石家庄召开了编写组会议,落实了各章编写人员和编写要求。1995年4月在石家庄由董守玉、王吉易对全书各章进行了修改,1995年5月在香山由董守玉、王吉易、陈建民、马兰对全书进行了统稿和修改,最后于1996年1月定稿。

本书主要介绍了历次攻关中取得的部分成果。此书的编写以面向基层为宗旨,故其内容的叙述深入浅出,列举的方法实用可行,以期收到实用效果。

本书共分十章。前三章介绍了地下流体方法预报地震的有关基础知识和地下流体前兆理论。第四章至第九章为本书主体部分,介绍了地下流体的观测资料处理、异常的提取、前兆异常的特征以及地震三要素的预报方法等内容。第十章介绍了地下流体预报地震研究取得的新进展,并对今后的研究方向提出了看法和意见。各章的执笔人:第一章陈建民;第二章董守玉,第三章王吉易;第四章董守玉、秦清娟;第五章秦清娟;第六章万迪埜、董守玉;第七章张素欣;第八章王吉易、张素欣;第九章王瑜青、付子忠;第十章王吉易、陈建民。全书稿由秦清娟、张素欣、张子广、王瑜青同志录入计算机软盘中。

全书历经一年时间如期完稿,首先是由于国家地震局预测预防司加强了领导,编委会提出了明确的要求,编写组全体同志忘我劳动的结果。本书在编写过程中得到了国家地震局原科技监测司李宣璐副司长、徐京华处长、李志雄副处长,吴书贵工程师以及罗兰格研究员、贾化周研究员、张炜研究员、车用太研究员和王铁城研究员的热情指导与帮助,在此谨致谢意。

尽管为本书的编写顺利完稿,编写组付出了长达一年多的辛勤劳动,但由于地震预报方法还不成熟,加之编写人员的水平有限,本书难免存在不足之处,敬请各位读者批评指正。

# 目 录

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| <b>第一章 地下流体预报地震概述 .....</b>       | <b>( 1 )</b>  |
| 第一节 地下流体预报地震研究概况 .....            | ( 1 )         |
| 一、地下流体台网的建设及经验预报阶段 .....          | ( 1 )         |
| 二、由经验性预报向统计概率预报发展阶段 .....         | ( 2 )         |
| 第二节 地下流体观测在地震预报中的作用 .....         | ( 4 )         |
| 一、历史地震地下流体的前兆异常现象 .....           | ( 4 )         |
| 二、地下流体具有较好的预报效能 .....             | ( 4 )         |
| 三、捕捉地震短临前兆的理想观测手段 .....           | ( 5 )         |
| 第三节 地下流体预报地震的科学思路 .....           | ( 7 )         |
| 一、预报的物理依据 .....                   | ( 7 )         |
| 二、预报的技术途径 .....                   | ( 8 )         |
| <b>第二章 地下流体基础知识 .....</b>         | <b>( 9 )</b>  |
| 第一节 地下水存在的形式与运动规律 .....           | ( 9 )         |
| 一、岩石中水的存在形式 .....                 | ( 9 )         |
| 二、岩石的水理性质 .....                   | ( 10 )        |
| 三、地下水运动的规律 .....                  | ( 10 )        |
| 第二节 水文地质要素与地下水的类型 .....           | ( 13 )        |
| 一、水文地质要素 .....                    | ( 13 )        |
| 二、地下水的类型 .....                    | ( 14 )        |
| 第三节 地下水的化学成分与形成作用 .....           | ( 15 )        |
| 一、地下水中的主要气体成分 .....               | ( 15 )        |
| 二、地下水中的主要离子成分 .....               | ( 16 )        |
| 三、微量离子组分 .....                    | ( 18 )        |
| 四、同位素 .....                       | ( 19 )        |
| 五、地下水化学成分的形成作用 .....              | ( 20 )        |
| <b>第三章 地震地下流体前兆的理论基础和实验 .....</b> | <b>( 22 )</b> |
| 第一节 岩石的变形破坏与地下流体的变化 .....         | ( 22 )        |
| 一、地球固体潮汐效应 .....                  | ( 22 )        |
| 二、地表水载荷效应 .....                   | ( 23 )        |
| 三、气压效应 .....                      | ( 23 )        |
| 四、其他形式的力学效应 .....                 | ( 24 )        |
| 五、震时和震后效应 .....                   | ( 25 )        |
| 第二节 地下流体在岩体变形破坏中的作用 .....         | ( 26 )        |
| 一、孔隙压力作用 .....                    | ( 26 )        |

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 二、动水压力作用 .....             | (27) |
| 三、物理化学作用 .....             | (27) |
| 四、化学动力作用 .....             | (28) |
| 第三节 地下流体异常机理 .....         | (29) |
| 一、物理动态异常机理 .....           | (29) |
| 二、化学动态异常机理 .....           | (29) |
| 第四节 地下流体的地震前兆理论 .....      | (30) |
| 一、地震前兆模式 .....             | (30) |
| 二、地下流体地震前兆场 .....          | (32) |
| 第五节 试验研究 .....             | (36) |
| 一、人工爆破效应试验 .....           | (36) |
| 二、水压致裂效应试验 .....           | (37) |
| 三、室内模拟实验 .....             | (37) |
| 第四章 地下流体的观测资料处理 .....      | (39) |
| 第一节 地下流体观测资料的评价及预处理 .....  | (39) |
| 一、观测资料的评价 .....            | (39) |
| 二、观测资料的预处理 .....           | (40) |
| 第二节 原始观测数据的日常处理 .....      | (41) |
| 一、日常计算 .....               | (41) |
| 二、日常分析绘制的基本图表 .....        | (44) |
| 三、日常监测数据处理软件系统 .....       | (45) |
| 第三节 地下流体干扰因素及排除方法 .....    | (47) |
| 一、地下流体物理动态的干扰因素及排除方法 ..... | (48) |
| 二、地下流体化学动态的干扰因素及排除方法 ..... | (52) |
| 第五章 地下流体物理动态异常判定与特征 .....  | (55) |
| 第一节 异常的判定方法 .....          | (55) |
| 一、图形判读法 .....              | (55) |
| 二、差分法 .....                | (56) |
| 三、回归分析法 .....              | (56) |
| 四、滤波方法 .....               | (60) |
| 五、调和分析法 .....              | (64) |
| 六、模糊数学从属函数方法 .....         | (66) |
| 第二节 异常特征 .....             | (67) |
| 一、单井异常的分类与特点 .....         | (67) |
| 二、多井异常的群体特征 .....          | (68) |
| 第六章 地下流体物理动态预报地震方法 .....   | (73) |
| 第一节 预报方案与方法的选择 .....       | (73) |
| 一、预报方案的选择 .....            | (73) |
| 二、预报方法的选择 .....            | (73) |



|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 第二节 地下流体物理动态预报地震的异常标志体系 ..... | ( 74 )  |
| 一、判定震级的标志和指标 .....            | ( 74 )  |
| 二、判定发震时间的标志和指标 .....          | ( 74 )  |
| 三、判定发震地点的标志和指标 .....          | ( 75 )  |
| 第三节 单井预报方法 .....              | ( 75 )  |
| 一、单井预报的目标与任务 .....            | ( 75 )  |
| 二、单井预报的原理和指标 .....            | ( 76 )  |
| 三、单井预报程式 .....                | ( 77 )  |
| 四、单井预报实例 .....                | ( 79 )  |
| 第四节 多井预报方法 .....              | ( 83 )  |
| 一、多井预报的目标与任务 .....            | ( 83 )  |
| 二、多井预报的原理和指标 .....            | ( 83 )  |
| 三、多井预报程式 .....                | ( 83 )  |
| 四、多井预报实例 .....                | ( 87 )  |
| 第五节 平面图演化方法 .....             | ( 90 )  |
| 一、思路 .....                    | ( 90 )  |
| 二、 $\mu$ 值等值线图法 .....         | ( 91 )  |
| 三、预测实例 .....                  | ( 91 )  |
| 第六节 其他预报方法 .....              | ( 94 )  |
| 一、追踪预报法 .....                 | ( 94 )  |
| 二、后效预报法 .....                 | ( 95 )  |
| 第七章 地下流体化学动态异常的判定与前兆特征 .....  | ( 96 )  |
| 第一节 化学动态异常的判定方法 .....         | ( 97 )  |
| 一、形态分析法 .....                 | ( 97 )  |
| 二、原始曲线法 .....                 | ( 97 )  |
| 三、差分法 .....                   | ( 98 )  |
| 四、自适应阈值法 .....                | ( 99 )  |
| 五、剩余曲线法 .....                 | ( 101 ) |
| 六、异常可靠性落实 .....               | ( 102 ) |
| 七、异常目录的编制 .....               | ( 102 ) |
| 第二节 化学动态异常与前兆的特征 .....        | ( 103 ) |
| 一、个体异常的特征 .....               | ( 103 ) |
| 二、群体异常的特征 .....               | ( 105 ) |
| 三、地震化学动态前兆特征 .....            | ( 107 ) |
| 第八章 地下流体化学动态预报地震方法 .....      | ( 112 ) |
| 第一节 水化统计判据预报方法 .....          | ( 112 ) |
| 一、预报的目标与依据 .....              | ( 112 ) |
| 二、震级的判据与方法 .....              | ( 112 ) |
| 三、发震时间的判据与方法 .....            | ( 113 ) |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 四、地点的判据与方法·····                   | (114)        |
| 第二节 水化短临预报整体化方案·····              | (115)        |
| 一、预报的目标与原理·····                   | (115)        |
| 二、单点异常的判定·····                    | (116)        |
| 三、异常的组合分析和预报指标·····               | (116)        |
| 四、地震预报三要素预测·····                  | (117)        |
| 五、预报实例·····                       | (119)        |
| 第三节 水化多层次跟踪预报方法·····              | (122)        |
| 一、预报的目标与思路·····                   | (122)        |
| 二、预测标志的提取·····                    | (123)        |
| 三、发震时间的预测·····                    | (125)        |
| 第四节 单点预报方法·····                   | (129)        |
| 一、预报方案的设计·····                    | (129)        |
| 二、强震的预报·····                      | (129)        |
| 三、中强地震的预报·····                    | (130)        |
| <b>第九章 地热预报地震的原理与方法·····</b>      | <b>(132)</b> |
| 第一节 地热与地震预报·····                  | (132)        |
| 一、地热预报地震研究概况·····                 | (132)        |
| 二、地热在地震预报中的作用·····                | (133)        |
| 第二节 地热预报地震的理论依据·····              | (136)        |
| 一、地热基础知识·····                     | (136)        |
| 二、地热前兆方法预报地震和所采用的技术途径·····        | (138)        |
| 第三节 地热前兆的特征、控制条件及映震能力·····        | (139)        |
| 一、地震前兆异常的时空分布特点·····              | (139)        |
| 二、水温异常的控制条件·····                  | (140)        |
| 三、地热前兆异常的映震能力·····                | (143)        |
| 第四节 地热分析预报地震方法·····               | (144)        |
| 一、地热观测资料的正常动态分析·····              | (144)        |
| 二、日常资料处理·····                     | (145)        |
| 三、异常判据·····                       | (146)        |
| 四、地热前兆预报指标·····                   | (146)        |
| <b>第十章 地下流体预报地震研究的新进展和方向·····</b> | <b>(148)</b> |
| 第一节 研究的新进展·····                   | (148)        |
| 一、地下流体监测系统研究的进展·····              | (148)        |
| 二、气体及其他映震灵敏测项研究的进展·····           | (148)        |
| 三、前兆特征和预报方法研究的进展·····             | (149)        |
| 四、前兆理论研究的进展·····                  | (150)        |
| 第二节 今后研究的方向·····                  | (151)        |
| 一、完善基本的科学思路·····                  | (151)        |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 二、加强地下流体前兆理论的研究.....  | (151) |
| 三、开展多测项和多学科的综合研究..... | (152) |
| 四、加强地下流体监测台网的建设.....  | (152) |
| 五、地下流体前兆震例的再研究.....   | (152) |
| 六、探讨分析预报新方法.....      | (153) |
| <b>参考文献</b> .....     | (155) |

# 第一章 地下流体预报地震概述

## 第一节 地下流体预报地震研究概况

预报地震是人类的宿愿,也是世代人们梦寐以求的理想。在漫长的历史进程中,为实现这一理想,多少代人进行前仆后继、顽强的斗争。我国有关地震的史料记载是十分丰富的,但是明确提出地震预报并组织实施起始于邢台地震之后。周恩来总理在邢台地震区会见地震工作者时提出:“我们的祖先,只给我们留下了记录,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,必须从中取得经验,研究出地震发生的规律”,周总理号召“希望你们这一代能解决地震预报问题”。从此中国地震工作进入开创一条具有中国特色的地震预报道路的探索时期。

我国地震工作者在邢台地震现场调查发现,地震前曾出现过地下水位急剧涨落,地下水翻花、冒泡和水味苦甜变化等宏观现象,于是提出利用地下水位、地下水中的气体及其他化学组分探索预报地震研究的设想。中国科学院地球化学研究所、地质所于1968年5月,地质部水文工程地质研究所于1968年7月,先后在邢台地区开展了地下水水位、地下水中的氨浓度、氯、钙、镁等离子成分含量以及地下水中气体总量、 $\text{CO}_2$ 等的观测,积累了邢台余震地下流体变化的观测资料,获得了地下流体与地震关系的初步认识及预报地震的实践经验。

回顾近30年地下流体预报地震的发展史,地下流体预报地震大致经历两个阶段。

### 一、地下流体台网的建设及经验预报阶段

此阶段我们“坚持预防为主、专群结合、多路探索”、“边观测、边研究、边预报”及以“监测预报为基础、加强综合防御减灾”的正确方针。在台网建设上,就总体而言,性质上由临时性井网逐步发展为固定性井网,规模上由局部性井网,逐步发展为全国性井网,观测对象以浅井为主逐步过渡到以中深井为主;观测内容以单纯的水位、水氨观测逐步过渡为多项目综合观测,组织形式由群众业余观测逐步转变为专群结合的方式。我国地下流体台网建设历史大致可分为三个阶段:

- (1) 余震区临时性观测网的建设;
- (2) 重点监测区固定观测网的建设;
- (3) 全国水位和水化观测台网的建设。

经过上述三个阶段的台网建设,在我国已建成迄今为止世界上覆盖面最大、测点数量最多、精度最高、效果显著的地下水观测网。井网的建成和运转,积累了丰富宝贵的观测资料和震例资料,大大推动了地下流体预报地震科学探索的进程。

在此阶段,我国地震地下水工作者为了提高观测质量和预报水平开展了如下研究工作:

- (1) 地下水观测方法的研究;
- (2) 水位、水化观测规范的制定;

(3) 1981~1982年开展了地下水主要影响因素的专题研究。该项研究对地下水的观测条件、正常动态、干扰因素等问题进行了系统深入的分析总结,并提出水位、水化主要干扰因

素分类及半定量、定量排除干扰的方法。

(4) 1983~1984 年,在全国范围内开展了利用地下流体(水位、水化)地震预报方法的全面清理。该项清理从观测技术、观测点的环境条件、干扰因素的识别与排除、震例总结、地震预报效能以及前兆机理等方面进行了全面研究。清理总结工作为水位、水化台网今后的调整、改造、优化,为提高地下流体预报地震的水平,奠定了良好的基础。

在此阶段虽然对地下水的正常动态、异常动态和干扰因素进行了系统的研究,对震例进行了深入总结,并提出一些排除干扰和预报地震方法,但是地震预报仍是以“看图识字”的经验性预报为主。

## 二、由经验性预报向统计概率预报发展阶段

1987~1990 年,在国家地震局科技监测司的领导下,对水位、水化短临预报方法进行了实用化攻关研究。通过实用化攻关研制出一批新的预报方法,使地下流体由经验性预报向统计概率预报迈出了决定性的一步,从而大大提高了地下流体预报地震水平。

水位短临预报方法实用化攻关取得的主要进展为:

- (1) 通过对典型井孔和震例剖析,提出不同类型井孔异常的判别指标;
- (2) 对经验预报指标进行了定量分析,提出了量化异常判别方法和指标,并给予概率估计;

- (3) 研制了一批新的预报方法;

(4) 建立了地下水动态预报地震软件系统。该软件系统是一个多层次、多功能、多机型(PC-1500、IBM-PC、VAX 机)的数据处理及异常判别的地下水动态预报地震系统。该系统首次实现了从数据入机到给出日常监测预报的各类图件、干扰排除、异常判别,直至给出地震预报意见这一整个过程的计算机程序化和实用化;

(5) 首次将专家总结的 14 条判别地震三要素的地下水异常特征定量化,并建立专家经验预报模块。

总之,通过这次攻关,首次将地下水位预报地震的步骤概括为四级 20 步(图 1-1)。

水化短临预报方法实用化攻关取得的进展为:

- (1) 建立了水化方法预报地震的基本工作程序;
- (2) 提出一套水化观测资料预处理的定性和定量的评价方法;
- (3) 研制了一批水化干扰的定量排除方法和水化异常的数学判定方法;
- (4) 建立了水化地震短临预报整体方案。方案中包括从异常判定到预报意见生成等 6 个分析步骤和方法,内容齐全,所采用的具体分析方法已经挑选与优化,各步骤、各种方法之间是相互衔接、协调一致的;
- (5) 研制出“水文地球化学地震预报软件系统”;
- (6) 对水化映震灵敏测点和灵敏测项进行了探索。

我国的地震地下流体学科经过近 30 年的发展,虽然从监测网的建设到地震预报方法的建立,均属世界前列,但是,目前仍存在一些问題。在台网建设上存在的问题如下:

- (1) 重点监测区的监控能力相对薄弱;
- (2) 单井利用率不高;
- (3) 观测技术的现代化水平不高。

在预报研究上存在的问题如下:

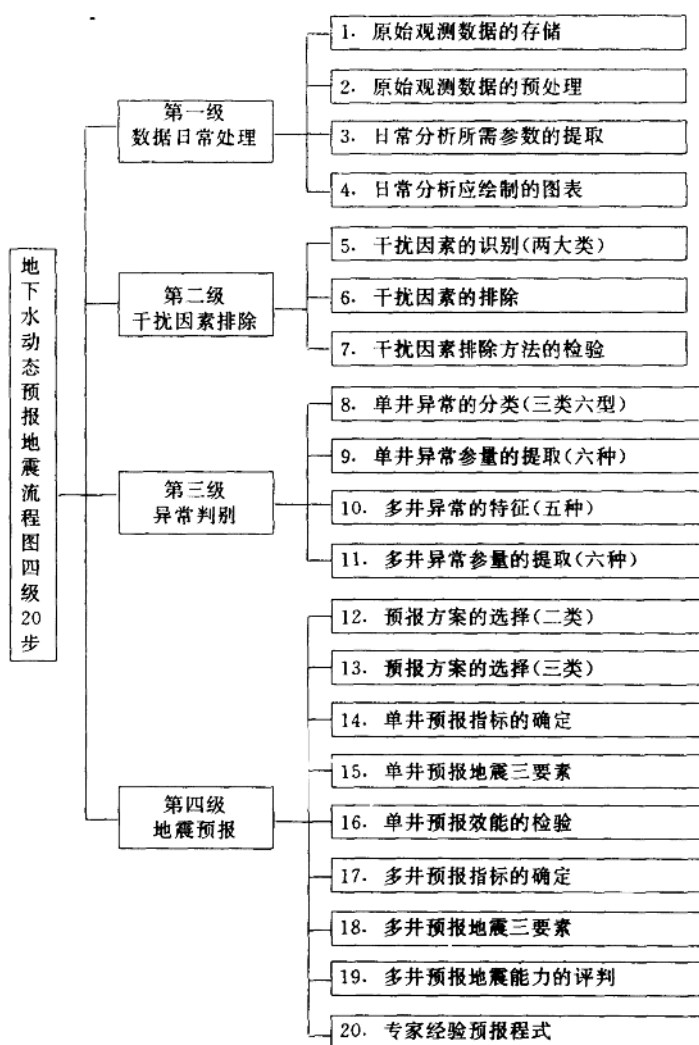


图1-1 地下水动态预报地震流程图

- (1) 排除干扰和异常的判定效果不佳;
- (2) 现有的预报方法在预报效能上有较大的局限性;
- (3) 映震理论研究不够,使得现有预报缺乏映震理论的指导。

根据上述存在的问题,我国地震地下流体工作者对今后地下流体的监测预报提出了新设想。

(1) 建立第三代地震地下流体监测台网。该台网建设可采用调整、评价、分级和建设四步进行。调整:指对现有的水位、水化、地热、水汞和断层气台网尽快地调整为地震地下流体的综合观测台网;评价:指把现有台站与台项观测进行观测条件、观测技术、反映能力和映震效果的统一评价;分级:指把现有的观测台网分为三级,即国家台、区域台和地方台,

并分别构成国家网、区域网与地方网三个层次的台网；建设：指把台网的建设重点放在国家网建设上。

(2) 改进与提高观测技术。

①对现有仪器要实现标准化与定型入网；②对一次仪表逐步实现定量化观测；③对二次仪表逐步实现数字化、自动化与智能化；④在重点监测区建立地下流体遥测网。

(3) 新的预报方法与映震理论的探索。

①选择典型震例，在一定映震理论指导下，进行更深层次剖析，对前兆场的时、空、强图象演化规律进行深入探讨；②把现有的经验预报与统计预报方法向有物理基础的统计预报方法再推进一步；③地下流体中短期预报指标研究；④开展地下流体映震动力学的理论与实验研究。

## 第二节 地下流体观测在地震预报中的作用

地下流体观测的物理量明确，观测方法简单直观，它能灵敏地反映岩体微小的应力应变状态变化，因此，地下流体动态是地壳应力应变状态的一种指示器。多年来，它所观测的地震前兆信息十分丰富，使地震地下流体学科成为地震监测预报中非常重要的学科，在地震预报的实践中取得了丰硕的成果，显示了良好的前景。

### 一、历史地震地下流体的前兆异常现象

中国古籍所载，只要有地震发生都相继伴随有地下水异常。早在公元前约 23 世纪就有“三苗欲灭时，地震泉涌”的记载，1900 年前西汉绥和二年陕西、甘肃和山西一带地震，有“水出地动”之说。

公元 408 年“广固地震，天各水涌”，“井水溢，汝水竭”（《太平御览》）。1100 年（宋哲宗元符三年）安徽歙县一带地震，据宋《新安志》记载，黄山第四峰下有泉沸如汤，出香溪中，号朱砂汤。元符三年正有，“休宁、太平县民三人来浴，凌晨水变赤如丹，惊相视不敢言。顷之，地势动，波沸涌，声如雷，屋舍皆震”。

明、清以来，有关地震前后地下水、气异常变化的记载更加详尽。1556 年陕西华县关中大地震，“地震前数日，丰渭水溢，巨鱼甚多”，“关中大地震，河水涨，井水溢”，卑湿之地，地裂泉涌高丈余，因而井竭，洛渭可涉”等。1663 年宁夏《隆德县志》总结地震的某些征兆，指出“地震之兆约有六端，一、井水本湛静无波，倏忽浑如墨汁，泥渣上浮，势必地震；二、池沼之水，风吹成谷苻交紫，无端泡沫上沸，若沸煎茶，势必地震；……”。

除中国外，历史地震记载较全的日本、西欧也同样发现地震前后地下水、气异常较其他种类异常更突出，更广泛。

据统计，中国历史地震资料中所记载的地震前兆异常现象共计 1160 条目之多，其中地下水、气的异常约占 50% 以上。据浅田敏（1981 年）统计，日本历史大震记载中，水、气异常在前兆异常中占据首位。

### 二、地下流体具有较好的预报效能

我国近 30 年的地震监测预报实践表明，地下流体对地震具有明显的反映能力，并已在地震预报中发挥了重要作用，成为地震预报最有希望的手段之一。

### 1. 地下流体映震能力强

我国地震地下流体专家汪成民等,根据第25届IASPEI大会提出国际优秀震例评选指南的规定和多年实践的经验认为,异常筛选的标准是:

- (1) 差异性大。指异常值与背景值之比的明显程度;
- (2) 重现性强。指历史上对应地震的数量;
- (3) 稳定性好。指异常形态、判别指标与地震三要素关系的稳定程度;
- (4) 可合理解释。指机制上的有解性、关系上的合理性。

按上述标准筛选结果发现,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次大震突出短临异常中有8次名列前茅(表1-1)。

表1-1 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 7.9 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(水位、气体、水温)、形变、地电、电磁波 |

### 2. 地下流体的预报效能良好

(1) 水位,据初步统计在1979~1987年发生41次( $M_s \geq 5.0$ )地震,其中38次有异常,有预报15次,占40%;预报效果好的7次,占20%;

(2) 水化学(Rn、Hg、 $H_2$ 、 $CO_2$ 、He等),在1979~1983年期间,发生17次 $M_s \geq 6.0$ 地震,其中12次有明显异常,有预报的4次,占25%;有觉察的7次,占41%;

(3) 土壤气(Rn、Hg、 $H_2$ 、 $CO_2$ 等),据国家地震局地质所1991年统计,1~10月份预报22次,作出无震预报的准确率为67%;作出有震预报的准确率为63%;

(4) 水温,在甘孜、澜沧、大同地震前有较明显异常和较好的预报实例。

### 三、捕捉地震短临前兆的理想观测手段

根据美、苏地震学家总结墨西哥及亚美尼亚大震预报失败教训后所提出的理想前兆观测的要求看,地下流体微动态观测是最接近这些要求的手段。

#### 1. 观测精度高

在我国地下流体水位网中有210口并能记录到固体潮,精度达 $10^{-8}$ 以上,其中18口并能记录地球液核动力学效应,精度已达 $10^{-10}$ 以上;达到或已超过美、苏科学家的理想前兆手段的精度要求,见表1-2。



表 1-2 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  | 重力摆 ( $L=25\text{cm}$ ) | $10^{-7}$              | $10^{-9}$  | 据力武常次 (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                   | $10^{-7}\sim 10^{-8}$  | $10^{-10}$ | 同上               |
|      | 水管倾斜仪                   |                        |            |                  |
|      | 水平摆倾斜仪                  |                        |            |                  |
| 应 变  | 小泽应变仪                   | $10^{-5}$              | $10^{-8}$  | 据 Mechior (1978) |
|      | 激光应变仪                   | $10^{-6}$              |            |                  |
|      | 萨克斯应变仪                  | $10^{-10}$             |            |                  |
| 井孔水位 | 机械水位仪                   | $10^{-8}\sim 10^{-10}$ | $10^{-11}$ |                  |

## 2. 信息资源量大

地下流体观测到的信息十分丰富。它所观测到的信息包括以下几方面：水量信息、水质信息、地热信息、地球物理信息、地壳应力应变信息、构造地质信息等。这些信息的频带较宽，即有年周期的低频信息，又有几秒为周期的高频信息，见表 1-3。

表 1-3 井孔水位记录到主要信息特征

| 信息源    | 频率/Hz                         | 周 期                         | 应变量                    | 波长/km          | 波速/ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ |
|--------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------------|
| 地震波    | $10\sim 10^{-2}$              | $0.1\sim 100\text{s}$       | $10^{-8}\sim 10^{-11}$ | $1\sim 200$    | $2\sim 8$                           |
| 地球自由振荡 | $10^{-2}\sim 10^{-4}$         | $100\text{s}\sim 1\text{h}$ | $10^{-9}\sim 10^{-11}$ | $200\sim 7200$ | 2                                   |
| 气压变动   | $10^{-2}\sim 10^{-3}$         | $1\text{min}\sim 1\text{a}$ | $10^{-9}\sim 10^{-12}$ |                | 0.005                               |
| 地球固体潮  | $5\times 10^{-4}\sim 10^{-5}$ | $12\sim 35\text{h}$         | $4\times 10^{-8}$      |                |                                     |
| 地表水体荷载 | $5\times 10^{-4}\sim 10^{-5}$ | $12\sim 35\text{h}$         |                        |                |                                     |

## 3. 能获得来自深部的信息

地下流体是地壳最活跃的组成部分，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载体。一些震例中，具有深部信息的物质在大震前突然出现在附近井孔中的事实已有力地证明了这一点。

## 4. 信噪比高

通过十几年地下流体观测网的建设，以及观测井孔的不断调整、优化，目前多数地震观测井的干扰小、信噪比高。

## 5. 井网覆盖面广，布局合理

地下流体井网覆盖了我国除台湾省外的所有省、市和自治区，其规模之大名列世界第一。井网的许多观测井都位于活动构造带上，即前兆的敏感点上。这就为捕捉地震前兆信息创造了有利条件。