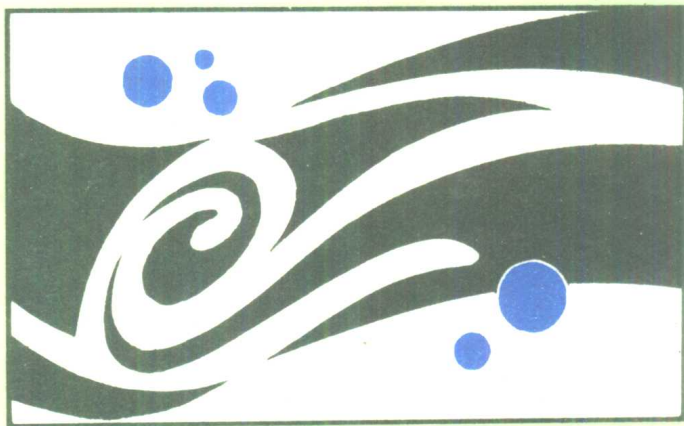


地震监测技术系统系列教材

地震地下流体观测技术

国家地震局科技监测司



地震出版社

577

3

地震科学联合基金资助

56.2577

8348

地震监测技术系统系列教材

地震地下流体观测技术

国家地震局科技监测司

地震出版社

1995

107-130

内 容 提 要

本书是国家地震局科技监测司组织编写的《地震监测技术系统系列教材》之一。书中主要介绍地下水位、流量、地热(水温)与油井动态,水氧、离子、汞、气体及有关辅助观测技术及其动态特征。全书共分十五章。第一至三章介绍有关地下流体的基本概念与观测台网;第四至十一章分别论述水位、地热、流量与油井动态、水氧、水质、汞、气体及辅助观测等的观测原理与方法,包括动态观测技术的思路与要求,观测仪器及其使用,观测资料的整理与质量检查等;第十二章至十四章介绍有关地震预报方法;最后一章对地震地下流体观测技术的发展动向进行了阐述。

本书主要作为地震系统工作在台站第一线的科技人员提高业务素质的培训教材;同时可供地矿、石油、水利水电、城建、环保等部门从事地下流体监测的有关人员参考。

地震监测技术系统系列教材
地震地下流体观测技术
国家地震局科技监测司

责任编辑:马 兰

责任校对:李 珏

*

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

*

787×1092 1/16 17.5印张 444千字

1995年7月第一版 1995年7月第一次印刷

印数 0001—2300

ISBN 7-5028-1207-5/P·743

(1600) 定价:20.00元

《地震监测技术系统系列教材》编委会

主 编	孙其政			
副主编	苗良田	张奕麟	李宣瑚	吴宁远
编 委	赵仲和	钱家栋	车用太	陈建民
	周锦屏	赖锡安	耿世昌	陈德福
	傅子忠	夏恩山	林榕光	崔德海
	修济刚	李友博	赵和平	沈建华
	阴朝民	潘怀文	吴书贵	高荣胜
	李 健	(兼秘书)		

《地震地下流体观测技术》编写组

负责人	车用太	陈建民		
成 员	李宣瑚	郭秀满	王铁城	董守玉
	王吉易	傅子忠	李正蒙	范树全
	魏家珍	万迪堃	孙天林	刘永铭
	鱼金子	王安滨	吴景云	宁立然

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，国家地震局科技监测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。

陈 章 立

1994. 12. 20

编写说明

《地震地下流体观测技术》一书是在国家地震局科技监测司的组织下和地震监测技术系列教材编委会（简称编委会）的指导下，由地下流体学科技术协调组（简称学科组）负责编写的。

1993年6月由国家地震局科技监测司下达任务，当即在李宣璐组长的指导下由车用太与陈建民负责编制了编写提纲的初稿，征得了王铁城、王吉易、董守玉与孙天林同志的意见之后，7月初经编委会审定。7月中旬，成立了编写组并讨论了编写计划，8月开始分工编写，具体分工是：李宣璐编写绪论；车用太与鱼金子编写第一、二章；王铁城编写第三章第一、二节；董守玉编写第四章；刘永铭编写第五章；吴景云编写第六章第二节；鄂秀满编写第七章与第三章第三节；李正蒙编写第八章；魏家珍编写第九章与第三章第四节；范树全编写第十章；孙天林编写第十一章；万迪堃编写第十二章；王吉易编写第十三章；傅子忠编写第十四章第一节；王安滨编写第十四章第二、第三节；车用太编写第十四章第四节；陈建民与宁立然编写第十五章。附录与参考文献等由鱼金子、车用太负责编录。12月中旬上述各章编写人完成初稿以后，由车用太、鱼金子、张培仁、范树全、王基华、朱清钟等同志进行了第一次统稿，重点对各章节的篇幅及彼此间的衔接做了调整。1994年1月初由编写组李宣璐、王铁城、万迪堃、王吉易、董守玉、鄂秀满、魏家珍、马兰、陈建民、车用太等同志集中对全书进行了第二次修改、补充。接着，1月中下旬由鱼金子、张培仁、张大维、谷圆珠同志把全部书稿录入计算机软盘中。2月上旬编写组又对计算机打印稿进行了第三次修改与最后定稿。

全书历经8个月如期定稿。这样快速地完成书稿的编写，首先是由于国家地震局科技监测司加强了领导，编委会提出了明确的要求，编写组全体同志进行了忘我劳动，同时也因为编写过程中得到了各有关单位领导与同志们的大力支持，特别是国家地震局地质研究所、分析预报中心与河北省地震局有关领导的支持及李友博副司长、张炜研究员、贾化周研究员的热情指导。

尽管为保证本书的编写质量，编写组全体同志尽了很大的努力，但毕竟编写时间较紧，特别是编写组人员的能力与水平有限，因此书中难免有错误及不妥之处，欢迎各位读者提出批评指正。

本书编写组

1994年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 地壳中的流体	(4)
第一节 地球的结构与组成	(4)
1.1 地球的外层圈结构及其特征	(4)
1.2 地球的内层圈结构及其特征	(5)
第二节 地壳及其流体	(6)
2.1 地壳概述	(6)
2.2 地壳中的流体	(6)
第三节 地壳中的流体与地震	(9)
3.1 流体在发震过程中的作用	(9)
3.2 流体具有灵敏的映震能力	(10)
3.3 流体对其他前兆的影响	(11)
3.4 流体对地震灾害的影响	(13)
第二章 地下流体动态	(14)
第一节 流体动态的概念	(14)
1.1 动态的概念	(14)
1.2 地下流体动态的分类	(14)
第二节 井水位动态的成因类型及其基本特征	(15)
2.1 井水位动态的成因分类	(15)
2.2 井水位的宏观动态	(16)
2.3 井水位的微观动态	(19)
2.4 与地震活动有关的动态	(21)
第三节 井泉水温与流量动态类型	(24)
3.1 井泉水温动态	(24)
3.2 井泉流量动态	(24)
第四节 水氡动态类型	(27)
4.1 水氡的多年动态	(27)
4.2 水氡的年动态	(27)
4.3 水氡的短期动态	(28)
4.4 水氡的震前异常动态	(29)
第五节 其他水化学测项的动态	(30)
5.1 水汞动态	(30)
5.2 水离子动态	(30)
5.3 电导率与 pH 值动态	(31)

第六节	气体化学动态	(32)
6.1	水溶气体动态	(32)
6.2	逸出气体动态	(35)
6.3	土壤气体动态	(36)
第三章	地下流体动态观测网	(38)
第一节	水位动态观测网	(38)
1.1	布网的原则	(38)
1.2	观测井建设	(40)
1.3	观测室	(42)
1.4	我国地下水位动态观测网的现状	(43)
第二节	其他物理动态观测	(43)
2.1	地热动态观测	(43)
2.2	流量动态观测	(45)
2.3	油井动态观测	(45)
第三节	水化学动态观测网	(46)
3.1	布网原则与观测点的选择	(46)
3.2	测项选择与测试环境的要求	(47)
3.3	我国水化台网现状	(48)
第四节	其他化学动态观测	(53)
4.1	水汞动态观测	(53)
4.2	溶解气与逸出气动态观测	(54)
4.3	土壤气动态观测	(56)
第四章	水位动态观测技术	(57)
第一节	水位动态观测概述	(57)
1.1	观测工作的技术思路	(57)
1.2	观测技术的现状分析	(57)
1.3	观测工作的技术要求	(58)
第二节	水位动态观测仪器的类型与性能	(59)
2.1	仪器的主要类型及其工作原理	(59)
2.2	机械式水位仪的性能与特点	(62)
2.3	机电式水位仪的性能与特点	(65)
第三节	常用水位仪的使用与维修	(66)
3.1	仪器使用细则	(66)
3.2	仪器故障与维修	(73)
第四节	水位动态观测方法	(75)
4.1	水位动态的观测与记录	(75)
4.2	水位校测	(75)
4.3	资料的整理与报送	(76)
4.4	观测质量的检查与评比	(77)

第五章 地热动态观测技术	(79)
第一节 地热动态观测概述	(79)
1.1 地热动态观测的技术思路	(79)
1.2 地热动态观测的技术要求	(80)
第二节 地热动态观测仪器及其使用	(81)
2.1 温度传感器	(81)
2.2 高精度数字式温度计及其使用	(82)
2.3 其他类型的水温观测仪器	(87)
第三节 地热动态观测方法	(88)
3.1 探头下井与试验观测	(88)
3.2 观测资料的整理	(89)
3.3 观测资料的报送	(89)
3.4 观测质量的检查评比	(89)
第六章 流量与油井动态观测技术	(91)
第一节 流量动态观测技术	(91)
1.1 流量动态观测的技术思路	(91)
1.2 流量动态观测的基本条件	(91)
1.3 自流井的泄流方式与管道设置	(92)
1.4 流量测定的方法	(94)
1.5 日常观测的基本要求	(94)
1.6 流量观测仪器及其使用	(95)
第二节 油井动态观测技术	(96)
2.1 油气井的井孔结构	(97)
2.2 压力观测技术	(97)
2.3 油井产量观测技术	(100)
第七章 水氧观测技术	(103)
第一节 水氧观测概述	(103)
1.1 氧的物理化学特性	(103)
1.2 水氧观测的技术思路	(105)
1.3 水氧测量的技术	(105)
1.4 水氧观测的一般要求	(106)
第二节 水氧样品的采集与处理	(106)
2.1 采样的技术要求	(106)
2.2 采样的技术方法	(108)
2.3 样品的处理方法	(110)
第三节 常用水氧观测仪器	(110)
3.1 FD-105K 型静电计	(110)
3.2 FD-125 型氧钍分析器	(115)
3.3 连续自动测氧仪	(118)

第四节 水氨观测仪器的标定与维护	(125)
4.1 仪器的标定	(125)
4.2 仪器的维护	(126)
第五节 水氨的观测方法	(127)
5.1 水氨测试的技术方法	(127)
5.2 逸出氨的测试技术	(130)
5.3 水氨观测资料的整理与质量管理	(130)
第八章 水质观测技术	(132)
第一节 水质观测概述	(132)
1.1 水质观测的技术思路	(132)
1.2 水质观测项目	(132)
1.3 水质观测工作的基础	(132)
第二节 水样采集技术	(136)
2.1 盛水样容器的选择与洗涤	(136)
2.2 各类水样采集	(137)
2.3 水样的保存	(138)
第三节 水质测定技术	(139)
3.1 电导率的测定	(139)
3.2 Eh 值的测定	(140)
3.3 常量离子的测定	(141)
3.4 微量化学组分的测定	(143)
3.5 几种先进的化学测试技术	(144)
第四节 水质观测结果的整理与检查	(145)
4.1 观测结果的整理	(145)
4.2 观测结果的报送	(147)
4.3 观测质量及其评比	(147)
第九章 水汞观测技术	(150)
第一节 水汞观测概述	(150)
1.1 汞的物理化学特性	(150)
1.2 水汞观测的技术思路	(151)
1.3 测汞的技术要求	(151)
1.4 对观测人员的要求	(153)
第二节 常用测汞仪及其调试与标定	(154)
2.1 常用测汞仪及其原理	(154)
2.2 XG-4 型数字式测汞仪及其调试	(155)
2.3 测汞仪的标定方法及格值 K 的计算	(159)
第三节 水汞的观测方法	(161)
3.1 水汞的测量流程	(161)
3.2 捕汞管的净化、检漏与筛选	(161)

3.3	XG-4 型测汞仪的使用方法	(162)
3.4	水汞测定的步骤	(163)
3.5	水汞含量的计算方法	(164)
3.6	水汞观测结果的整理与质量管理	(165)
第十章	气体观测技术	(167)
第一节	气体观测概述	(167)
1.1	气体观测的技术思路	(167)
1.2	气体观测的技术要求	(167)
第二节	气体分析仪器及其调试	(167)
2.1	气相色谱仪及其安装调试	(167)
2.2	其他测定方法与仪器	(170)
第三节	气体样品的采集技术	(173)
3.1	溶解气体样品的采集	(173)
3.2	井(泉)逸出气体样品的采集	(175)
3.3	土壤气体样品的采集	(176)
第四节	气体测定方法	(177)
4.1	气相色谱的定性定量基础	(177)
4.2	气相色谱的定量计算方法	(179)
4.3	气体组分的测定	(180)
4.4	低含量气体组分的测定	(181)
第五节	气体观测结果的处理及质量管理	(184)
5.1	气体观测结果的处理	(184)
5.2	气体观测结果的质量检查	(184)
5.3	气体观测资料报送与质量评比	(185)
第十一章	辅助观测技术	(186)
第一节	气压观测	(186)
1.1	动槽式气压表及其观测	(186)
1.2	定槽式气压表及其观测	(187)
1.3	本站气压的计算	(188)
1.4	自记气压计	(188)
第二节	大气降水观测	(190)
2.1	雨量器及其观测	(190)
2.2	虹吸式雨量计及其观测	(191)
第十二章	水位动态异常与地震预报方法	(193)
第一节	水位观测数据的日常处理与异常识别	(193)
1.1	水位观测数据的日常处理	(193)
1.2	水位干扰因素的识别与排除	(195)
1.3	水位异常的判定	(197)
第二节	水位异常的基本特征	(200)

2.1	异常的形态特征	(200)
2.2	异常的空间分布类型及其特征	(200)
2.3	异常的时间分布特征	(202)
2.4	异常的时空转移特征	(204)
2.5	异常幅度特征	(205)
第三节	水位预报地震的原理与方法	(205)
3.1	地震三要素的判定	(206)
3.2	预报方法	(208)
第十三章	水化学动态异常与地震预报方法	(211)
第一节	水化观测数据的日常处理与异常识别	(211)
1.1	基础资料的收集整理	(211)
1.2	观测数据的计算和图件绘制	(211)
1.3	水化异常的定量判定方法	(212)
1.4	异常的调查核实	(215)
1.5	异常目录	(216)
第二节	水化动态异常的基本特征	(217)
2.1	水化个体异常特征	(217)
2.2	水化群体异常特征	(218)
2.3	水化地震前兆图象特征	(220)
第三节	水化预报地震的原理与方法	(222)
3.1	水化地震预报的科学与技术思路	(222)
3.2	强震发生时间预测	(223)
3.3	发震地点的预测	(225)
3.4	震级的预测	(225)
3.5	实例分析	(225)
第十四章	其他异常及其在地震预报中的应用	(230)
第一节	地热异常及其预报	(230)
1.1	地热异常的识别	(230)
1.2	地热的典型异常	(230)
1.3	地热异常的主要特征	(234)
1.4	地热预报地震方法的讨论	(235)
第二节	流量动态异常及其预报	(236)
2.1	流量动态的典型震例	(236)
2.2	流量动态异常的若干特征	(236)
2.3	流量动态异常的预报意义	(238)
第三节	油井动态异常及其预报	(239)
3.1	油井动态的典型震例	(239)
3.2	油井动态异常的若干特征	(239)
第四节	断层土壤气异常及其预报	(241)

4.1 断层土壤气异常的典型震例	(241)
4.2 断层土壤气异常的若干特征	(242)
第十五章 地震地下流体观测技术的发展动向	(243)
第一节 国外地下流体观测技术的发展现状与动向	(243)
1.1 国外地震地下流体观测网的现状	(243)
1.2 国外地震地下流体观测技术的现状	(246)
1.3 国外地震地下流体观测技术的发展动向	(247)
第二节 我国地下流体观测台网的发展动向	(248)
2.1 现有台网的调整与优化概述	(248)
2.2 台网的调整方案	(249)
2.3 台网的综合观测方案	(250)
2.4 台网的强化观测方案	(251)
2.5 台网观测项目的发展方案	(252)
第三节 我国地下流体观测技术的发展动向	(253)
3.1 观测仪器发展的基本要求	(253)
3.2 一次仪表的电量化	(254)
3.3 二次仪表的自动化与智能化	(255)
3.4 常规仪器的规范化	(255)
3.5 遥测与传输	(256)
主要参考文献	(258)
附录 地下流体学科常用计量单位换算表	(262)

绪 论

经过 20 多年的地震监测预报实践的探索,我国的地震工作提出了以最大限度地减轻地震灾害为目标,以监测预报为基础的综合防御的方针。这个方针既区别于发达国家采取的以工程抗震为主的减灾方针,也不完全等同于我国前期的地震工作方针。我国的地震工作,近几年来正沿着具有中国特色的道路不断发展。

地震科学本身历来都是以观测为基础的,我国的综合减灾道路也以监测预报为基础。因此,观测技术在推进地震科技发展中占有重要的地位。随着我国高新技术的飞速发展,我国的地震观测技术也迈入新的发展阶段,新型传感器的应用、计算机技术的普及、通讯技术的引进等使地震观测技术走向自动化、数字化、智能化,逐步建设了先进的地震观测信息的传输与处理系统,形成了以数字化测震观测技术为龙头的现代化的地震监测台网。

地下流体指活跃于地壳中的水、气与油。它们广泛地赋存于地壳岩体的空隙之中,在各种驱动力作用下能够自由地流动,特别是在水压力、热动力等作用下可由地壳深部自然地流到地表面上来。地下流体的这种特性,决定了它们对地壳运动,尤其是对地震的孕育与发展可能作出较为灵敏的响应。因此,观测地下流体的各项物理化学动态,一直被人类作为探索地震预报科学奥秘的有希望的途径。

早在我国明代天启六年(公元 1626 年)就有“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,风吹成谷苻交索,无端泡沫上腾,若沸煎茶,势必地震……”之记载。我国解放之后,郭增建教授早在邢台地震之前(1964)就提出利用地下水位变化预报地震的观点。邢台地震之后,开始了利用地下水位与水化学动态预报地震的大规模科学探索,经历了几十次中强以上地震的检验,证明了地下流体动态观测的确是预报地震的重要手段。

1979 年联合国教科文组织在巴黎召开的地震预报国际讨论会上,世界科学家们一致把测震、形变与地下流体作为最有希望攻破地震预报难关的三大手段。同年,我国各省、市、自治区地震局长会议上作出决定,把地下流体作为重要的前兆手段予以发展。在国内外普遍的关注下,我国以水位与水氡为主的地下水动态观测研究得到了历史性的进展,在地震监测预报中占据重要地位,尤其在短临预报中发挥了积极的作用,成为国内外地震界注目的前兆手段之一。

我国地下流体观测,已经取得了很大的发展。70 年代末到 80 年代初先后建成了全国地震地下水位动态观测井网和水文地球化学观测台网(分别简称水位网与水化网),80 年代又建成了区域性的地热观测网,开展了水汞、断层土壤气等新项目的试验性观测。此外,在许多多震区建立了地方水位、水化、水温观测网。在我国已经形成了规模宏大的具有中国特色的地震地下流体动态观测体系。

这个体系中,包括国家水位观测井 260 口、地方水位观测井 600 多口;国家水化基本台 68 个、区域台 110 个、地方台 152 个;地热观测点 44 个、水汞观测点近 60 个、断层土壤气

观测点 10 多个,观测井泉点的总数达 1300 多个。这些测点展布在除西藏与台湾外的 28 个省、市、自治区的广大范围内。

地下流体的观测项目达 30 多项。除了水位、水氡等主要测项之外,还有流量、水温、水汞、水中溶解气与逸出气、水离子、水电导、土壤气等多种测项。此外,与石油部门合作,在华北与西北的一些油田中开展油气井产量与各种压力动态观测。在上述测项的观测中,利用多达几十类物理与化学测试仪器。

我国目前从事地震地下流体观测的专业科技人员多达上千人,加上有关科学研究、分析预报与科技管理人员近两千人。随着时代的前进还将不断地有大中专毕业学生补充到这个队伍中来。

面对着世界上规模最大的地下流体前兆观测网,拥有如此众多的各种动态观测井(泉),运营着几十类上百种型号的物理与化学观测仪器,观测着几十项动态的我国地震地下流体动态观测技术人员所要承担的观测任务是十分艰巨的。然而,我国目前尚未设置地震地下流体学科专业,多数在岗人员都没有机会接受系统的专业教育,而且现代科技的发展还要求更新知识。面对着上述复杂多样的观测技术,很需要有计划地进行在岗人员的较为系统的专业培训。特别是一部分即将到观测岗位工作的青年科技人员,更需要进行上岗前的培训。为了进行技术培训,提高我国地震地下流体观测人员的技术水平和推进我国地震地下流体观测工作的正规化建设,在国家地震局科技监测司的统一安排下,组织编写了这本《地震地下流体观测技术》教材。

我国地震地下流体观测学科的专家们已先后撰写与出版了《地震与地下水》(1976)、《地震地下流体地质学概论》(1981)、《地震地下水动态及其影响因素分析》(1985)、《地下水微动态研究》(1988)、《水文地球化学预报地震的原理与方法》(1988)、《地震地球化学》(1989)、《中国地震地下水动态观测网》(1990)、《水文地球化学地震前兆观测与预报》(1992)、《地下水动态异常与地震短临预报》(1993)等专著。国家地震局编制与施行了《地震水文地球化学观测技术规范》(1985)、《地震地下水动态观测规范》(1989)、《地热前兆观测规范(试行)》(1992)、《地震地下水手册》(1995)等规范及工具书。上述专著与规范中,对主要地下流体测项的观测技术都作了不同程度的介绍,但还不系统、完整。因此,在上述专著与规范的基础上,对观测技术方面的内容经过进一步提炼与充实,编写出这本教材。

本教材面向从事地震地下流体观测技术与地震监测管理人员,力求总结出我国 20 多年来地震地下流体动态观测的实际经验,努力做到精简、高质与实用。

本教材由五大部分组成。第一至二章作为基础,介绍地下流体及其动态特征;第三章概述我国地下流体观测网的建设现状;第四至十一章是本书的主体,分别介绍水位、地热(水温)、流量与油井动态、水氡、离子、水汞、气体与辅助观测技术,各章中又系统介绍了该项动态观测的技术思路与要求、观测仪器及其使用方法、观测资料的整理与检查评比等;第十二至十五章扼要介绍了观测资料在地震监测预报中的应用,其中包括各种观测项目数据的日常处理与异常识别、典型震例与震前异常特征及地震预报方法;第十六章则结合国内外地下流体观测技术的现状与发展动向讨论了我国地震地下流体观测技术的发展意向,其中提出了在现有的水位网、水化网、地热与水汞观测为基础经过进一步调整、优化、提高后建成地下流体综合观测网(第三代网)的设想,在多震强震区建设若干个区域性的地下流体强化观测网

和遥测传输网的设想，积极推进地下流体观测仪器中一次仪表的电量化、二次仪表的自动化、数字化与智能化和常规仪器的规范化进程等。由上可见，这是一本较系统而全面地介绍地下流体观测技术的教材。

我们希望本书的编写与出版，能够显著地促进我国地震地下流体观测技术的发展，大力提高观测质量，有效地增强地下流体观测在地震短临预报中的效能，为努力减轻地震灾害作出应有的贡献。

第一章 地壳中的流体

第一节 地球的结构与组成

我们的地球是宇宙中太阳系的九大行星之一，围绕着太阳在一个椭圆形的轨道上已经运转了约 50 亿年。在这漫长的地质历史中，经历了形成与演化，发展成为现今的地球，具有了特有的结构与组成。

1.1 地球的外层圈结构及其特征

地球的外围，可以划分为三大层圈：岩石圈、水圈与大气圈。

岩石圈指固体地球的外壳。这个外壳主要由坚硬的岩石组成，其底面是一个温度恒定面，其典型温度值是 1600°K (1300°C)，其表面是地表面。岩石圈的厚度约为 100km ，但在大陆上可达 200km 以上。由于岩石圈的岩石是足够冷的，因而在力学属性上具有刚性，又因岩石圈的厚度只等于固体地球半径的 $2\%—4\%$ ，形似薄壳，易破裂，构成几大板块，如太平洋板块、欧亚板块等。

由于岩石圈底面以下的岩石是足够热的，在地质时间的尺度上表现出一定的流动性，从而使板块产生相对的运动，并由此引起一系列地球动力学的效应，如地壳的变形与破裂，地震的孕育与发生，火山喷发等等。

固体地球的外圈被大气所包围，被称为大气圈。大气圈的密度，近地表处最大，向上随高度的增加而减小，自海平面以上至 50km 高度范围内的大气占大气圈总质量的 99.9% 以上。大气圈下部的主要组成元素是 N_2 ，其次是 O_2 (表 1-1)。水蒸气的容量多达 $4\%—5\%$ 。大气圈又根据温度与成分可分为对流层 ($0—18\text{km}$)、平流层 ($18—50\text{km}$)、中间层 ($50—80\text{km}$) 与热成层 ($80—400\text{km}$)。对流层中，气温随高度的增加而下降，其顶界温度为约 -55°C ，该处的压力仅为海平面处的十分之一。平流层中，温度是随高度而升高，其顶面可达约 10°C 。中间层中，气温又随高度而下降。热成层与电离层大体上相当，在此气温随高度而升高，因受太阳辐射热的影响而使大气电离。

表 1-1 底层大气圈除水蒸气以外的成分 (据 Gluckauf, 1951)

元 素	体积百分比(%)	重量百分比(%)	元 素	体积百分比(%)	重量百分比(%)
氮(N_2)	78.084	75.523	氦(He)	0.00053	
氧(O_2)	20.946	23.142	氪(Kr)	0.00012	
氩(Ar)	0.934	1.28	氙(Xe)	0.00009	
二氧化碳(CO_2)	0.033(不定)	0.05	氢(H_2)	0.00005	
氖(Ne)	0.00182	0.0013	甲烷(CH_4)	0.00002	0.00001