

7178

56.083

地震监测与预报方法
清理成果汇编

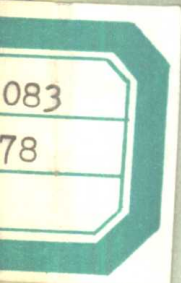
地下水分册

国家地震局科技监测司



地下水分册

地



地质出版社

地震监测与预报方法清理成果汇编

地 下 水 分 册

国家地震局科技监测司

地 震 出 版 社

1 9 8 8

—
—
—
—

内 容 提 要

利用水文地球化学和地下水位动态预报地震是目前地震监测预报的重要方法之一。本文集是地震预报方法清理研究总结的一部分,系统介绍了我国水文地球化学及地下水位动态方法目前的观测系统状况、各种影响因素的识别与排除方法、震例的剖析和预报效能的评价、以及有关的实验和理论研究成果。本文集全面地反映了我国近二十年来在利用水文地球化学和地下水位动态探索地震预报方面所取得的进展,内容系统,资料丰富,可供从事地震预报的地球化学、水文地质工作者及其他人员参考。

地震监测与预报方法清理成果汇编

地 下 水 分 册

国家地震局科技监测司

责任编辑:马 兰

•
地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北京昌平展望印刷厂印刷

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印张 435千字

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

印数:0001—1300

ISBN 7-5028-0012-3/P·12

(421)定价:4.65元

前 言

大陆是人类的主要活动地区，发生在大陆的地震虽只占全球地震的15%，但大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年的统计，地震造成的伤亡和损失比世界其他各国的总和还多。地震预报研究的紧迫性显明地摆在我国地震工作者面前。

不少事实表明，地震是有前兆的，对某些类型的地震，有可能作出一定程度的预报并减轻灾害。然而实践也告诉人们，地震前兆现象是相当复杂的，目前离准确预报地震三要素尚需走较长的路。当前，地震预报中有几个突出的问题有待解决。首先是如何识别和排除各种干扰。可以说，地震预报水平的提高是随着对于干扰因素认识的深化而不断提高的；其次要设法寻找反映地震前兆的灵敏点和优化观测方法。一些大样品模拟实验表明，同一试件中不同区域的反应可以有很大差别；第三要弄清不同地质构造条件下，不同震级地震的异常的对应范围，这对地点预报至关重要；第四要研究不同类型地震长、中、短、临前兆的判据，这是一项战略性的任务。

为了解决上述问题，国家地震局自1983年起，用了两年多的时间，组织了2200余人，对各种前兆观测方法多年来的工作进行了全面清理，并对华北地区和南北地震带10年强震危险区的判定方法进行了系统研究。

1. 地震监测与预报方法的清理研究

包括各类前兆方法的清理，计有测震、地形变、水位、水化、重力、地电、地磁、地应力和综合分析等9个方面。具体清理内容为：

(1) 观测仪器的评价 仪器参数，所测物理量，各类仪器的对比、稳定性、抗干扰性能，提高观测精度的方法等。

(2) 观测条件的清理 台站水文地质条件、岩性、环境干扰源、最佳观测条件，相应的野外与室内对比试验等。

(3) 观测信息的处理 干扰因素的典型图象与识别方法，频谱分析与卓越周期的研究，各种测量方法的试验等。

(4) 监测与预报能力的评价 现有预报方法的依据与科学思路，震例（包括正例与反例）剖析，预报效能的评价等。

2. 强震危险区的判定与研究

以华北地区和南北地震带为研究区，从清理过去的危险区划分原则与方法入手，结合动态应力场随时间变化的资料，探求10年时间尺度的危险性判定方法，以填补通常的烈度区划与每年地震趋势判断之间的一个空档。这是国民经济建设与预报探索之必须。

以上两项工作是国家地震局近三年来的重点科研项目，其工作程序是：首先分单项进行系统的清理研究，并在此基础上针对各类专题撰写成论文或工作报告；然后分单项进行交流和评比，并对各单项的总报告进行横向交流与评比；最后，组织有关人员将清理中有价值的成果按统一要求进行编纂，汇集成册陆续出版。

《地震监测与预报方法清理成果汇编》汇集了各种前兆观测方法的清理研究成果，将按不同专业分若干分册出版。这套成果汇编不仅是邢台地震以来地震预报工作的科学总结，而且反映了符合我国国情的地震预报研究的前沿成果。它不仅对当前的工作具有实际意义，而且也今后的科研攻关奠定了一定的科学基础。

希望本书的出版能给我国地震事业带来新的进步，并能为各国学者了解我国地震预报的进展提供方便。

国家地震局科技监测司

1986年9月

本 分 册 说 明

根据国家地震局关于地震监测与预报方法清理工作的统一布署和要求, 1983年5月分别组成了水文地球化学和地下水位动态清理攻关组。此后, 动员了从事地下水监测预报工作的专业人员300余人, 进行了近两年的清理工作, 编写了各专题的研究报告。1984年下半年进行了学术交流, 并对取得的成果进行了评比。在此基础上, 将有关成果汇编成册。

本分册分水文地球化学和地下水位动态两部分汇编了这次清理研究的成果, 共收编论文40余篇。这些文章对地下水方法的观测仪器、观测技术和观测条件、干扰因素、震例及预报效能、前兆机理与实验研究等各方面进行了系统清理和深入总结, 比较全面地反映了多年来我国利用地下水方法进行地震监测预报所取得的进展。

组织这项研究和编辑本书有关的人员是: 水文地球化学清理攻关组成员孟淑德、蒋凤亮、张炜、王长岭、王吉易、蔡诗凰、姚富鑫; 地下水位动态清理攻关组成员汪成民、卓明葆、贾化周、车用太、郭一新、刘盛利、尹伯忠; 本分册编辑组成员张炜、车用太、李宣瑚、王铁成。

编 者

1986年5月

目 录

地震水文地球化学部分

水文地球化学方法预报地震的可能性与有效性——清理攻关总结

.....	水化清理攻关领导小组 (3)
我国氡气观测技术的现状与评价.....	李正蒙等 (13)
地震水文地球化学观测环境条件的清理与研究.....	鄂秀满等 (25)
漳州高温热水区水化学组分分布调查研究.....	张远诚等 (34)
江苏梅山观测点环境条件的研究.....	陈裕石 (41)
水氡动态的影响因素及其排除方法.....	王吉易等 (44)
裂隙下降泉水氡动态特征.....	刘快胜等 (54)
吉林丰满地震台水氡异常机理与干扰因素研究.....	高清武等 (60)
山西晋祠、奇村井水氡干扰因素识别与排除.....	吴定定 (67)
通过频谱特征分析提取水氡地震信息.....	蔡作馨 (71)
地下水氡预报地震效能的评价.....	张 炜等 (74)
天山地震带的水氡异常特征分析.....	蔡仲琼等 (83)
溧阳 6.0 级地震水氡异常特征.....	徐玉华等 (87)
四川省部分泉点水氡监测预报地震效能剖析.....	贺天培等 (92)
少震弱震地区水氡正常动态分析.....	王国英等 (96)
土氡预报地震效能分析.....	张碧吾 (100)
地下水气体预报地震效能评价.....	何跟巧等 (106)
天津深层水中气体总量和二氧化碳预报地震效能的评价.....	鲍鸿儒 (111)
北京地区水中溶解气体预报地震的效能评价.....	范树全等 (117)
地下水离子成分预报地震效能评价.....	孟淑德等 (120)
地下水电导预报地震效能的研究.....	冯裕中 (127)
北京地区热水孔地下水化学环境及水化学组分预报地震效能的分析.....	陈叔海等 (131)
地震水文地球化学前兆机理的研究.....	蒋凤亮等 (136)
爆破水文地球化学效应试验综述.....	余兆康等 (145)
音频振动下花岗岩氡钍射气测定结果.....	罗光伟等 (149)

地震地下水水位动态部分

地下水动态清理概况.....	地下水动态清理攻关组 (153)
地下水位动态观测仪器的清理测试总结.....	朱清钟 (161)
地下水动态观测条件的清理攻关总结.....	黄祖彭等 (169)

林 4 井动水位观测的最佳泄流量选择·····	许学礼等 (176)
地下水动态影响因素的清理攻关总结·····	贾化周等 (178)
井水位固体潮分析·····	张昭栋 (186)
水位固体潮潮汐参数的初步研究·····	田竹君等 (190)
深井水位的气压效应·····	钱太仲等 (196)
日本秋田地震 ($M_s=7.7$) 引起的我国井水位变化的特征·····	卓明葆 (200)
地下水位同震、震后阶变与应力转移·····	汪成民等 (206)
降雨附加应力对深井水位的影响·····	贾化周等 (211)
井水位的降雪荷载效应·····	郭一新等 (216)
地下水位动态数据处理方法与应用·····	王贵宣等 (220)
地下水动态震例清理及预报效能的评价·····	万迪璽等 (226)
云南某些地震地下水动态异常特征的分析·····	万登堡等 (236)
四川松潘等地震的地下水动态异常特征剖析·····	李介成 (243)
鲜水河断裂带温泉动态特征及其与地震关系的研究·····	刘盛利等 (248)
蠕变水位及其预报地震的效能·····	王雅灵等 (254)
岩土模拟试件受力与孔隙压力关系的试验研究·····	车用太等 (260)

地震水文地球化学部分

水文地球化学方法预报地震的可能性 与有效性——清理攻关总结

水化清理攻关领导小组¹⁾

前 言

1968年以来在我国较系统地开展了水文地球化学方法预报地震的探索。16年来做了大量的工作，在全国布设了水化观测网，寻找灵敏点和灵敏组分，研究影响水化组分变化的因素，排除和识别各种干扰，开展了地震的监测预报工作，研制了各种新的探测仪器，进行了异常机理的研究。大量的实践资料表明，地震前后地下水化学组分出现明显变化；地壳运动和形变引起深部地球化学过程的信息有可能通过地下水传到地表。地震水文地球化学前兆信息的提取，扩大了用传统的地球物理方法探索地震信息的领域。

16年来，在复杂的环境背景上提取和识别水化地震前兆信息方面，已取得了一些认识。但是，观测资料的质量还存在不少问题。为了使今后的工作提高到一个新的水平，有必要对以往的工作和认识进行一次全面的清理和评价。这次清理攻关工作是在国家地震局的统一安排下进行的，广泛地发动了从事水化工作的骨干力量。从所观测的物理量、观测技术、测试仪器、观测环境条件、干扰因素、预报效能、异常机理等方面进行了系统的清理。

通过清理，我们认识到，尽管利用水文地球化学方法进行地震预报探索在各个方面都取得了进展，但是由于水化组分变化受多种因素的控制，特别是现有观测系统方面存在的弱点和局限性以及前兆机理的复杂性，使当前的观测预报仍然处于较低水平。摆在我们面前的是一项难度很大、问题极其复杂的科研课题。因此今后应抓住清理攻关中找出的主要问题组织力量，有计划地开展工作，开创水化预报地震研究的新局面。

一、水化预报地震的理论依据和实验基础

(一) 水化地震前兆的物理机制

研究地震的孕育、发生和发展过程，就必须研究震源和外围介质的状况及其随时间和空间的变化。地震是地球内部某些特殊构造部位应力不断积累、增大并超过岩石强度极限时，岩石突然破裂错动而发生的一种自然现象。众所周知：地壳是由岩石构成，而岩石的孔隙和裂隙中都充满着水和气，因此可以把水和气看成是岩石介质的一个组成部分，而且是地壳中十分活跃的组成部分。在地震的孕育发展过程中，岩石受力发生变形或破裂，岩石中的水和

1) 该总结是清理攻关领导小组成员及各课题负责人共同完成的，主要资料来源于各课题报告，全文由张炜、王长岭、王吉易执笔。参加讨论的还有孟淑德、蒋凤亮、姚富鑫、蔡诗凰、李正蒙、鄂秀满、李彤起、林家涛、何跟巧、冯玮、李一兵以及王连芳、李宜朔等同志。

气必定是一个反应十分灵敏的组分。它在岩石中的赋存方式、运移状况，它的物理性质和化学组分必将随之发生变化。地下水从不同深度的岩层中流出，它能把地下信息比较迅速地传到浅部来。因此它的变化可以反映地下岩体物理-化学状态的变化。通过测定地下水物理性质和化学成分的时空变化，就有可能获得地震地下水前兆。

另一方面，大量的观测资料证明，地下水在岩层中的储存状况对地震的发生有一定影响。水库蓄水可导致地震，深井注水可诱发地震，人工控制地震以及震源孕育模式，如膨胀-扩散假说，都涉及到了水在岩石破裂过程中的作用。因此地下水可作为地壳运动和地震成因中的一个重要因素。

从氡的地球化学特征可以知道，在地震孕育过程中，随着应力的增加，岩体孔隙和裂隙的压缩、闭合，赋存于地下岩体孔隙、裂隙中自由状态的氡和其它成分将被挤压出来，并使其在地下水中的溶解度升高。当应力增大到一定值时，岩石开始微破裂，表面积增大，氡的射气系数增高，加速氡和其它组分从自由面向地下水中扩散。在微裂隙形成和增长过程中，伴随着裂隙形成的音频和超声振动，可使氡及其它组分由束缚状态或封闭状态转为自由状态，加速它们的扩散作用。临震前裂隙的迅速发展和震时的大破裂，岩体错动将会引起不同含水层的沟通和混合，使地下水中氡，以及其它气体组分，水质成分发生大幅度的变化。总之，在地震的孕育、发生过程中，随着应力应变的加强，地下水化学组分不断发生变化，其变化量级可被观测到，当前我们就是利用这种变化来预测地震。

(二) 水化前兆机理的实验研究

上述水化预报地震的理论解释是以多次强震的实际观测资料为依据提出的，并已被多次模拟实验所证实。我国自1969年开始进行水化前兆机理的探索以来，从各个方面开展了实验研究。如无水和有水介质的压氡试验，超声振动实验，音频振动实验，常温加压及中温加压下的压溶实验，含水层的混合实验，生物化学实验，野外爆破和核爆破的水化效应观测实验以及结合具体震例进行的野外模拟实验等，为水化前兆机理提供了实验基础。例如，罗光伟等对岩石破裂过程中氡射气进行了试验研究，含氡样品在单轴压力作用下，在受压破裂过程中和破裂前后氡射气明显增加。又如高清武等人对花岗岩、灰岩等不同样品进行加压试验，发现氡含量增长与岩性和岩石的破碎程度有密切关系。

国内外大量试验已证明，岩体裂隙形成过程中激发出的高频弹性振动，可使岩石中氡、其它惰性气体以及各种微量元素从岩石中析出。冯玮等人的试验证明，岩样在超声振动作用下测氡量可多倍增长，并用电镜扫描发现，经过超声振动的岩样其微观结构有明显变化，超声振动不仅可以破坏吸附氡，还能释放封闭氡。

罗光伟等进行的音频振动实验发现在频率达到几十至几百赫的振动时，可以引起有裂隙花岗岩试样中氡射气发生变化，当振动频率固定在每秒20周时加大振幅，氡射气可成数倍增长。

十几年来，我国还在不同地区先后进行了11次爆破实验，观测水化组分的爆破效应，对地下水及其附近基岩、土壤中的气体组分、化学组分及其它参数共42项进行现场实验研究。爆破和地震虽然性质不同，但在使岩层受力这一点上和天然地震是共同的。多次实验结果表明，岩体受力后，水氡等气体组分变化明显，而其它化学组分因地而异也有不同程度的变化。

总之，利用水化方法预报地震有一定的理论依据和实验基础，在室内外模拟试验研究的

深度和广度方面与国外相比仍处于较先进水平,但是由于试验条件及对地震成因认识上的局限性,当前水化异常机理的研究尚处于较低水平,今后还需大力加强这方面的研究工作。

二、现有水化观测仪器的评价

当前在水氡、气体、水质等化学元素的测试中,分别采用的电离静电计法、闪烁脉冲计数法、气相色谱法、容量滴定法、分光光度法、离子电极法、原子吸收分光光度法、质谱法等都是比较成熟的方法,都有定型的仪器和设备,所测物理量是清楚的,观测数据是准确可信的,在此不再一一叙及。现着重对水氡观测仪器的现状剖析如下。

(一) 观测仪器的灵敏度

水氡测试仪器有十多种,地震工作中主要使用的有二种,即FD-105静电计(包括FD-105k静电计)和FD-125氡钍分析器。其中FD-105(包括FD-105k)占85.8%,FD-125占10%,连续自记测氡仪仅占2.1%,其它类型仪器(FD-118、SD-1)占2.1%。

FD-105静电计灵敏度为 0.1 eman^1 /格/分;FD-125氡钍分析器灵敏度为 0.0025 eman /脉冲/分。当被测水样的氡值在 3 eman 以上时,上述二种仪器的观测误差均 $\leq 5\%$ (即观测精度)。强震前水氡异常量(特别是短临异常)远远大于 0.1 eman ,因此目前使用的测试仪器能够观测到这种量级变化。

(二) 测试仪器的稳定性

仪器的稳定性是指在规定的环境条件下,仪器能否始终保持最佳工作状态,并对同一恒定值在长时间内重复测量中能够得到合乎误差要求的结果。

下面给出两种不同类型测氡仪,用标定 K 值重复测量偏离程度来说明仪器的稳定性。天津市地震局使用FD-105静电计,1979—1981年标定,重复测量 K 值相对偏离为 $\pm 2\%$,甘肃武山地震台使用FD-125室内氡钍分析器,1979年9月30日、1981年12月5日两次标定闪烁室 K 值相对偏离为 $\pm 2-5\%$ 。

综上所述,可见两种测氡仪器性能较稳定,经过多年使用 K 值变化基本上 $\leq \pm 5\%$ 。但是也应考虑到,随着使用时间的增长,闪烁室、光电倍增管的老化,仪器性能逐渐有所改变,甚至变化很大,以致仪器稳定性不合要求,需要更换新仪器。

(三) 所测物理量的准确性

所测物理量的准确性可由以下几方面得到证实:

1. 用两种不同的 α 射线测氡法,即电离静电计测氡法(一般使用FD-105静电计)和闪烁脉冲计数测氡法(一般使用FD-125氡钍分析器)在同一条件下进行对比实验,其结果一致。

2. 将同一时间所取的水样,用液体闪烁 β 法测氡,其结果与用静电法所测结果一致。

以上情况说明,虽然测试方法的原理、操作步骤不同,但测试结果一致,证实了所测物理量的准确性。

上述测氡方法和测试仪器是核物理技术中比较成熟的探测方法,尚能满足观测工作的要求。实践表明,电离静电计(FD-105和FD-105k型仪器)由于其结构简单,成本低,操作

1) $\text{eman} = 3.7 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$

容易,性能较稳定,便于推广,因而为我国绝大多数水氡台站和群测点广泛采用。但该法的缺点是灵敏度较低,受观测环境条件(湿度、温度等)影响较大,易产生漏电;人为目测易带来偶然误差;测试速度慢,效率低,不能适应大批水样观测。闪烁脉冲计数法(FD-125型仪器)灵敏度较高,受环境湿度、温度影响较小,更换闪烁室方便,探测效率较高,适于大批水样观测,自动控制,测值直接以数字显示,人为误差相对减少。但是,由于配用的FH-408型自动定标器存在问题较多(如抗干扰能力差,技术性能不稳定等),使用过程中容易发生各种不正常现象,为此应使用效果较好的自动型或可携式定标器。今后,应加速开展连续自动测氡工作,实现水氡观测的连续自记,遥控电传,研制地震专用智能化氡气测量仪器,把地震水化观测技术提高到一个新的水平。

三、水化观测点的环境条件及干扰因素分析

(一) 观测点的环境条件

自1968年以来,据不完全统计,全国曾进行过地震水化观测的水点(井或泉)约有700多个。随着对选择观测点条件认识的不断提高,水化干扰因素研究的不断深入以及多次中、强地震的检验,对水化观测点不断进行了调整。到目前为止,正在进行观测的水化点约有300多个,其中纳入全国地震水化基本台网(初步方案)的共64个点。

在多年的观测实践中,逐步认识到:水点的自然环境条件,对水化组分的正常动态、地震前兆信息的产生,起着主要的制约作用,而观测室的测试条件,则是取得地震信息的保证。究竟选择什么样的水点,易于显示地震信息呢?通过对多年来工作的清理,总结出以下几点:

1. 观测点必须处于易于受力或易于发生形变的构造部位。例如活动断裂带拐点、端点,断裂交叉或交错部位,地热异常区,历史或近期地震活跃区,地震烈度异常区等,都是应力易于集中,发震机率较高的部位,在上述部位或与其有密切联系的部位选择水点,有利于获得地震信息。如张道口井、雄县井、鸭场井和下关温泉、通渭温泉等观测点都属于构造位置较好的水点。

2. 观测点应具有良好的水文地质条件,使水化学观测项目能获得稳定的或有规律变化的年动态曲线。地震水化前兆的信息量,是在与其正常动态的对比中获得的。这就要求观测点的地下水动态最好稳定或规律明显。因此要选择补给、排泄稳定,径流途径长,且降水、抽水干扰小的井泉。华北平原深埋隐伏岩溶裂隙水和断层切割的深部基岩裂隙水是良好的观测层位。如张道口井、聊城井、雄县井、信宜井等都是水化学正常动态稳定的观测点。

3. 观测点含水层岩性结构(地球化学环境)具有获取异常信息的物质来源,震例资料或室内模拟实验已证明,水化异常的信息是来源于被观测的含水层。选择相邻含水层物质成分差异明显的二元结构之井孔,或以深循环水补给为主的泉点为最佳。如辽阳汤河井,氡在该区分布不均匀并在垂直方向上又有随深度增大而氡含量增高的现象。这些特定的水文地质条件和地球化学环境,使其在1975年2月4日海城7.3级地震前出现了明显的水氡临震突跳异常。还有安各庄井、天津津2井等,在唐山7.8级地震时,所以能出现良好的水氡、二氧化碳前兆信息,均因它们处于优越的地球化学环境所致。

4. 观测点具有合理的井口结构和取样位置,含水层提供的异常信息应以最快的速度并

尽可能地保持其原始状态进入取样器,这是极其重要的。多年的经验告诉我们,对不同类型的水点其井口结构应有不同的要求:自流井,要强调最佳流量的选择,以保证自流井的寿命;泉,尤其是无集中出水口的泉点,在安装取水管时应考虑泉水总流量与取水管分流量的最优比例,以利于取到有代表性的水样。

据全国 115 个水点的统计,综合上述四方面条件较好的点有 48 个,占总数的 42%。这些水点无论是构造位置,还是水文地质和地球化学环境都有利于获取地震前兆,并可依其地球化学环境特点开展多组分的综合观测。

(二) 观测室条件

观测室条件是保证仪器正常工作,取得可靠观测资料的必备条件。清理结果表明,自 1978 年贯彻执行水氡观测规范以来,观测室的环境迅速好转,现已有天津市张道口台、山东省聊城台、福建省福州台和四川姑咱、新疆维吾尔自治区乌鲁木齐等一批设备齐全、条件较好的观测室。不少点还新建了专用观测室。但从全国来看,目前仍然有不少观测点的观测室不符合“规范”要求,条件比较简陋、防尘防污染设备较差。因此观测室的环境条件还有待改进提高。目前开展气体观测的 6 个单位,都有专门的水化实验室,条件较好。

(三) 水氡及其它化学组分的影响因素

1. 正常动态

地下水的化学成分是在漫长的地质时代,在复杂的环境中,在多种因素的综合作用下形成的。它受自然地理因素(气候、地形、水文)、地质因素(岩性、地质构造)、水文地质因素(地下水的动态、埋藏条件、运动规律等)和人类活动等因素的影响。无震情况下,地下水的化学组分的变化就受上述因素的控制,位于不同地区、不同类型、不同构造位置及水文地质条件下的井孔,其水化组分必定显示出一定的区域性和局部性特征。以氡为例,在正常情况下,水氡在各种因素的综合影响下呈现日变化、年变化和多年变化。从变化的速率和幅度看,则具有缓变和阶变两种形式。为描述动态的特征,人们提出了多种动态分类方案。显然,水氡的年变化是当前讨论的重点。因为它能反映水氡动态的基本特点,并对判别水氡的中短期异常有直接的影响。

据 110 个水点统计,水点正常动态主要有夏高冬低、夏低冬高、近直线等 3 种类型。这 3 种水点共计 99 个,占总数的 90%。年变为阶变型或非周期变化的水点仅占 10%。

水中离子和气体组分的含量也有不同程度的年周期变化,一般较水氡平稳。

2. 主要干扰因素

多年观测资料表明,对于水氡测值主要的干扰因素是降水和抽水两种。根据 110 个水点统计,主要受降水和抽水径流改变影响的水点 79 个,占总数的 71.8%;受气温、地温及地表水影响的水点 18 个,占 16.4%;另外还有少数水点的干扰不明。至于其它因素,如滑坡、固体潮、采油等引起的水化组分变化是较个别的现象。目前对降水、抽水、地表水等因素的影响已有较深的认识。

(1) 影响氡含量变化的根本原因

在为期不长的观测期限内,可以认为地壳内氡与镭处于放射性平衡而总量不变的状态。当受到降水、抽水等因素的影响。水动力条件和热动力条件将发生改变,引起氡气在“岩石-井孔-大气”系统内产生迁移和再分配,这是固定测点上水氡浓度发生动态变化的根本原因。例如,抽水引起高氡水的混入、高温热水因流量增大使溶解氡逸出转为自由氡等,都是

氡气在作空间迁移。

(2) 氡与水动力要素的关系

降水、抽水、地表水等因素的影响，主要是通过流量的变化反映出来。氡与流量（水位）间的定量关系，是测点的水文地质、含水层内氡的富集和分布以及引水条件等因素的综合函数。现已见到两种关系：

指数函数关系：据山东聊城、河北怀来后3井的实验结果和天津津2、务1、河北兴济等井的长期观测资料，表明水氡及其它水化组分和流量通常具有指数函数关系。

二次曲线关系：一些水点的水氡与流量（水位）的关系较为复杂，两者需要高次方的代数多项式来描述。例如，高温热水井水样中一般含有或多或少的逸出气（可称为混合氡）。据实验，混合氡与流量具有二次曲线关系。又如氡在含水层内为多元结构分布，也呈现类似的关系。

查明氡等水化学组分与流量（水位）的关系，可解释为水化动态的特点，并为选择最佳观测流量提供依据。

水中其它气体组分和气体总量也主要受降水、抽水及取样方式等的影响，而气温、气压的影响则主要作用于仪器测试方面。目前正积累了一些有关气体干扰因素方面的观测和实验资料。

(3) 不同类型水点干扰变化的特点

通过对全国数10个水点的深入解剖，可看出在降水、抽水等因素的作用下，由于各水点含水层内氡的富集和分布特点不同，其变化机理、氡与流量（水位）的相关性等也各有差异。根据实际资料，现有测点可划分为7类：

泉点：

I. 均质-淡化型；II. 表层-富集型；III. 多元-多作用型。

井孔：

I. 均值-衰变型；II. 分散晕-混合型；III. 两相流-脱气型；IV. 多层-混合型。

在识别和排除干扰时，要考虑上述不同类型水点的干扰变化特点，需对具体水点做仔细的具体分析。

3. 水氡干扰因素的排除方法及效果

能否将非地震因素造成的变化区分出来，是评价水氡预报地震方法可行性的重要因素之一。经过多年的预报实践，现已初步形成以野外实验、图象分析和数据统计相结合的排除干扰方法。下面介绍110个水点干扰的排除情况，并对现行方法的有效性作出初步评价。

(1) 阶变型（包括非周期变化）动态水点

这类水点可开展野外抽水、渗漏等试验寻找干扰因素，也可对某些水点或某些时期，采用相关分析法，均能定性或半定量识别干扰。此类共11个水点，占总数的10.0%。如广西上思温泉、吉林丰满井等。这类水点的资料难以用于预报，故需进行调整。

(2) 缓变型动态水点

分三种情况：

1) 水氡与流量（水位）相关良好的水点，可进行二元或多元回归计算，以消除水位、流量的影响。共18个水点，占总数的16.4%。例如山西忻州奇村热水井，观测点位于冷热水混合的水氡分散晕内。受抽水的影响，氡与水位、水温同步变化。通过不同时期分组的逐步

回归计算,原离差的平方和缩减一半以上,回归效果较理想。

2) 水氡受多种因素影响的水点,采用多元回归或逐步回归,在一定程度上可排除干扰。共计27个水点,占24.5%。例如,甘肃平凉泉的水氡呈夏高冬低型变化。引入室温、气温、降水等5项做逐步回归计算,其结果是:1980—1983年主要影响因素为室温、气压。经 F 值检验效果良好。排除室温、气压后的曲线在1982年4月14日宁夏海原5.5级地震前有趋势增高。

3) 缺少辅助观测参数,或干扰不清的水点,共计10个,占总数的16.4%。采用时序迭加法以消除正常变化成分,效果较差。

(3) 近直线型动态水点

常采用“分布特征的检验”和“均方误差”等方法来确定水氡随机波动的大小。若选取平稳时期的平均氡值作基线,用2倍或3倍均方差作警戒线来判别异常,其效果甚佳。例如,江苏清江抽水井,1976年4—6月水氡均值3.30格/分,均方差 ± 0.21 格/分,以2倍均方差为警戒线,可看出唐山大地震前水氡出现多点突跳。

上述110个井孔如按其排除干扰因素的程度分为3个级别:I类,效果良好的总计65个水点,占总数的59.1%;II类,效果较好的总计27个水点,占24.5%;III类,效果不显著的18个水点,占总数的16.4%。

由此可见,水氡的主要干扰因素基本上是可以定性或半定量地识别和排除的,效果良好和比较良好的水点占83.6%。因此,我们认为剔除干扰成分后得到的水氡地震异常是可信的。

四、水化预报地震效能的评价

为了获取地震的前兆信息,我国在多震区及少震弱震区均布设了水化观测网台。深入研究了少震区或多震区无震时期水化组分的正常变化规律,及多震区有震时期水化组分的异常特征,探索可靠的水化地震前兆信息。

在我国华南、华东、东北等少震弱震地区开展的工作说明,一些观测条件好,干扰小的井(泉)水氡呈现近直线型变化。另一些观测点受某一主导因素或某些因素的控制(如流量、水位、降雨、抽水等),水氡呈现出有规律的年动态变化(夏高冬低或夏低冬高的类型)。上述地区的水化观测,为研究水化正常动态提供了宝贵的资料。

(一) 观测资料的选取及异常判别方法

为了客观地评价水化预报地震的能力,对观测资料进行了认真的选取。选取的原则是:

1) 根据各水点的观测环境条件、观测误差、资料的连续性、年动态变化类型等综合评定各水点观测资料的可靠性。在此基础上,全国共选出了115个条件较好的水点作为效能评价的依据(见表)。2) 对7级以上强震距震中200km范围内所有的水点,6级以上地震距震中100km范围内所有水点以及上述范围以外对地震反映明显的点进行了重点清理。采用统一的异常判别方法即:在定性识别干扰因素的基础上,对具有年变规律的点采用相关分析、回归分析、对干扰作进一步的排除;采用图象分析法,用月均值讨论震前水化的趋势性变化,用5日均值研究短期异常,用日测值寻找临震突跳。另外还利用计算机对观测数据进行处理,编制了水化数据处理专用程序包,如相关分析程序、干扰因子多元回归和多元逐步回归程序、 K 倍均方差扫描程序、频谱分析程序等,探索地震的水化前兆指标。