

目 录

我国地震流体前兆研究与展望	杨玉荣 (1)
孟连西中缅边界 7.3 级地震前的地热异常特征	卢艳清 张朝方 (5)
内陆湖泊水位变化与发生在其附近强震的关系	李圣强 汪成民 (11)
晋冀蒙交界地区大气降水-地下水异常-地震活动关系试探	车用太 鱼金子 等 (16)
地下流体观测技术发展方向——综合数学遥测技术系统	鄂秀满 蔡诗凰 等 (22)
地下水位短临预报异常的判别方法的最优化研究	秦清娟 董守玉 等 (26)
吉林省八宝井水位动态异常探析	李富 (32)
云南省地下水位动态短临标志体系研究	万登堡 夏菲 (37)
昌宁 1 号泉水氢信息熵分析	董敬高 杨芸霞 (54)
地热异常及映震能力分析	毕青 (58)
保山地区地下流体网在 1995、1996 年地震中的异常总结	李宗兴 (64)
滇 04 井映震能力剖析	张玉辉 (71)
弥勒 ZK-21 井地下流体综合观测与孟连西 7.3 级、武定 6.5 级、 丽江 7.0 级强震探讨	周保荣 (75)
玉溪杯湖机井映震能力和干扰因素分析	田钧 (79)
云南澜沧-耿马地震前广西南宁井水位异常响应现象研究	覃志甫 冉启华 (84)
滇 21 井水位微动态特征研究	施子岩 (88)
孟连西 7.3 级、丽江 7.0 级强震与地下水位动态异常	张蕾 (94)
1995 年 7 月 12 日孟连西 7.3 级地震远源场前兆异常总结	李敏 李宗兴 (100)
玉溪杯湖机井气压系数畸变与地震关系分析	金志林 毕青 (105)
武定地震前楚雄 WGD 水位异常	丁德广 (111)
鹤庆化龙泉 CO ₂ 释放与地震关系的探讨	郑永恩 张维诚 (115)
三次强震前滇 18 井的综合异常特征	王家彬 (119)
龙陵邦纳掌观测站地下水异常与地震的关系	赵铃 王兴荣 (122)
地下水结构系统突变与短临异常	董国胜 杨丽凤 (126)
107 井映震研究	虎保昌 (130)
保山地区地震流体监测工作现状及前景展望	李敏 (134)
在腾冲热海建立地震前兆观测站可行性研究	杨存宝 (141)
弥勒 ZK-21 井地下流体综合观测站的建设及井口管路设计	刘国寿 (146)
湖大井动水位与流量关系中的阶跃现象	陈立军 (149)

我国地震流体前兆研究与展望

杨玉荣

(国家地震局地震数据信息中心)

尽管有计划地开展地震预测预报研究已走过 30 多个年头,但至今仍是一个世界性未解决的科学难题。其难在于地震发生在地下数公里至数十公里深处,对于“震源”处的动态看不见摸不清。30 多年来,各学科专家用多种方法进行探索,经过实践,有的方法被淘汰了,新的方法又出现了,而对流体的研究始终是一个十分活跃的课题。流体研究的科学工作者,30 余年来,面对地震预测科学难题,孜孜不倦地求索着,从观测点选择、台网布局、测项筛选、干扰的识别、异常特征判定到预报方法、机理解释研究,取得了一批又一批成果,成为一些成功预报实例的重要依据之一。但更多的难题是有时有异常而无相应地震,有时地震真的发生了,异常又不十分显著,难题一个接一个。30 多年的实践证明,流体地震研究科学工作者,由对地震过程所表现出来的复杂性知之甚少,到现在能比较全面的理解这种复杂性、多样性,并能理性而坚定地探索下去,这种精神是难能可贵的。笔者仅借中国地震学会地震流体专业委员会同云南省地震局地方处共同组织全国地方地震流体学术研讨会并出版《地震流体前兆研究》文集一书之机,简单介绍近期的一些国内、国外的研究动态,并预祝流体学科在多学科交叉联合的基础上,吸收各学科领域的新思路、新方法,将地震流体预报地震的研究深入下去,取得更大进展。

1. 流体地震前兆研究的主要进展

(1) 回顾。1966 年在人口稠密的中原大地发生了邢台地震。地震前后震区强烈地喷沙冒水、喷气发响。井水打旋、变色、变味等宏观现象,再现了历史地震记载的现象。于是在震区用井水的变化监视余震的发生已成为重要的方法之一,并很快在震区和京津地区建起了以观测水位和水氢变化为主的井网,同时开展了分析水中某些化学组分的试验工作。1969 年渤海地震前,京津地区的观测资料显示了水氢、水位及二氧化碳等化学组分的异常,极大地鼓舞了流体地震工作者,与此同时,流体观测点和测项也不断地增加。1975 年海城地震前,辽阳汤河温泉中水氢浓度升高,及时采取加密取样分析,观测到了临震前的急骤大幅度变化的异常,成为成功预报海城地震的重要临震异常之一。1976 年先后在龙陵、唐山和松潘等地发生多次 7.0 级以上强震,再次证明了流体前兆现象的客观存在。唐山地震发生在台网最密、观测时间最长的华北地区,未能作出成功预报,但震前的确发现了包括流体在内的很多前兆变化。1976 年上半年,流体工作者同其他地震工作者一样,忙于现场核实异常,反复讨论哪些是海城地震的后效异常,哪些是和林格尔地震的前兆,哪些是未来地震的前兆?同时水氢突跳变化异常现象多起来,7 月 27 日研究近期变化,决定次日去核实廊坊等处的水氢突变异常,但凌晨就发生了唐山大震。震后即发现区域性水氢浓度突跳频度增加是唐山地震前流体短临前兆的反映,且在时间上先于水位、地电、地声及动物等异常(杨玉荣等,1976,1982)。

从 1966 年至今,流体前兆研究已走过了 30 多个春秋,目前已形成了全国、区域、地方三级管理的,以水位、氢、水温 and 汞测量为主要测项的具有相当规模的流体监测台网。以该网的观测资料为基础,结合上百个 5.0 级以上地震震例研究、野外实验、室内试验、干扰因素研究等,通过综合分析、研究,总结出不同强度地震前不同阶段中流体前兆异常特征,研究孕震过程不同阶段的流体前兆数据、指标和预报方法。通过震例总结认识到,流体的异常动态幅度大,如水位变化可从固体潮汐畸变到米级甚至数米级的变化;气体浓度变化可为基值的数倍甚至数十倍;水温也可从 10^{-4}°C 变化到 1°C 或几度;其异常展布范围,在震中区相对集中,但可从震中区数十米、数百米乃至数千米以外均可见到异常;异常项目种类多,但因不同井的环境条件复杂而难以对比;异常时间进程具有长、中、短临的阶段性和少数观测点连续出现完整的 4 个阶段,但更多的是在某一区域内多个测点综合时才具备 4 个阶段。有的地震反应出流体前兆异常出现在空间上有聚散现象(李宣瑚,1978);有的地震的后效流体变化可能是下一次地震的前兆(汪成民,1976),再加上干扰因素研究、室内外试验研究,一方面证明了流体动态变化与地震有关,另一方面也显示了流体动态变化的多样性、复杂性,给利用流体前兆实现准确的地震预报带来了目前尚难克服的困难。因此,流体地震工作者开始在方法上、技术上、思路上的全面推进,并取得了很大进展。

(2) 地震流体前兆物理基础研究。在震前观测流体动态,大量的研究表明,流体与地震的关系有着明确的物理基础。其一,众所周知,地球介质是由固体岩石骨架和流体组成的多相体。对固体格架任何微小的应变变化反应最灵敏的当属充填于其中的流体,这就是我们不遗余力地将流体动态作为地震前兆观测研究的主要依据;其二,地球内部的流体,在温度差、压力差、浓度差的作用下流动着,并在运动中不断地打破又趋于新的压力、温度、浓度平衡。流体的动态过程对其周围固体介质具有强大的营力作用,不仅改变固体介质的物理化学性质,并对固体介质的已有裂隙开合、新裂隙的产生起重要的控制作用,这就是我们认为流体的存在和运动是地震孕育过程重要动力作用的物理依据。

(3) 流体前兆标志体系的研究。流体前兆标志体系研究是“八五”期间旨在强化短临预报研究的攻关研究。该项研究强调用一致性方法,对流体观测资料做统一处理;强调由单个震例研究为多个地震震例资料进行全面、综合系统分析研究;强调统一短临异常的识别、提取、检验方法研究,从而建立适合地震短临预报的判据和指标体系,对流体前兆研究具有指导意义。云南省的区域流体指标体系的研究(万登堡等,1997)对指导该区 1996 年景洪 5.2 级地震预报取得了实效(夏菲,1997)。但也有不少地区和地震工作者在实际应用指标体系时还存在一些不甚灵验的事实。原因其一,由于研制指标体系时强调了多个地震的综合分析,从而忽略了多个地震发生在不同地区的不同地质构造、水文地质和地球化学环境,因此,用统一的指标体系去预报某一地区特定地震时出现偏差是可以理解的;其二,任何一次大震发生后,其地质构造、水文地质、地球化学环境或多或少都会发生变化,如井孔淤塞、震前自流、震后断流,震前不自流震后自流等环境改变,因此,同一口井在未来震前所观测到的前兆变化不完全重复上次大震前的异常特征是完全可以理解的。所以,不在于有问题,而是在于不断发现新问题、解决问题,使预报方法不断趋于科学,接近实际。

(4) 新方法的探索。国内外都认为,地震预报尚处于探索阶段。因此,不断地探索新的方法以增加综合分析的广度和深度,是地震工作者经常思考的问题,流体地震工作者也不例外。

扩展地下气体的观测项目。自 1984 年以来,申春生、魏家珍等开展了将物探方法——汞测量技术引入地震前兆观测,建立了台网,积累了一些震例。

在井的深部观测水温。过去对水温的观测是普遍在井口观测,也有一些水温变化的震例,但井口观测受外空场及人为影响较大,付子忠等自 80 年代中期开展了,将水温传感器放到井下数十米乃至数百米深处,不仅避免了外界干扰,同时可望观测到来自深部的不同量级的温度变化,积累了一些震例资料,深层水温同浅部地温、卫星热红外观测、地热研究相结合,将为立体温度变化观测系统的建立和前兆机理解释提供新的资料。

地表水体水面变化与地震关系的研究。张雅英同志研究海平面变化与地震有关;李圣强、汪成民等(本文集)认为湖泊水面变化亦与附近地震有关。将地表水体视为一个大的“水平器”,研究地震前地壳形变的地表流体动态异常,寻找新的预报方法。

干旱与地震关系研究(耿庆国,1985;汤懋苍,1994)、降水与地震关系研究(汤懋苍,1994,1995;车用太,本文集)、井水气压系数畸变与地震关系(金志林,本文集)以及深部气体与地震关系研究(杜乐天,1994)等,都给出了一些震例研究结果。

以上流体新方法探索和已有流体前兆观测系统,为建立全方位立体的流体前兆观测研究系统打下了基础。

(5) 新的观测技术的开发与研制。地震预报是一个世界性的科学难题,它以观测为基础。实现准确的地震预报,需要同时获取来自震源的、尽量多的、可靠的信息。就目前情况,增加信息量的途径有 3 个方面:一是增加台网密度,但国情不允许;二是在一个台站增加测项,由于技术和经济实力只能有限增加;三是对所测参数尽量增加采样密度,以反应完整的变化过程。为此,“八五”期间,国家地震局立项开展综合化、数字化技术开发,并在“九五”期间进一步完善和实用化。流体前兆观测技术也取得长足发展。首先采用了现代先进的通信技术、计算机技术和数字采集技术,并对各传感器、探测器提出统一的接口要求。宁立然等研制了投入式压力式水位传感装置(LN-3 型),不仅极大地提高了观测精度,而且因无机械传动装置,从而大大地提高了稳定性和可靠性,一改过去浮漂式机械式模拟记录为电信号输出,不仅便于数字采集和远距离自动传输,而且也为一井多测项综合观测提供了条件。付子忠等研制了高分辨率、高精度石英温度传感器(SZW-1A 型),高灵敏度、大动态范围测量,电信号输出,密封性能好,可置于井水面以下数十米乃至数百米深处,探测来自深部的水温变化。张平等研制了双道防潮自动测氧仪(SD-3 型),可广泛用于自流井、非自流井、干井和土壤中氧的观测。申春生等研制了汞量测量仪(DFG-B 型),可连续自动检测大气、岩石、井泉逸出气和水的逸出汞和游离汞。同时孔令昌等正在开发研制适于台站连续观测的 H_2 、He 测量仪;陈华静等正在研制适于井泉中直接连续探测 CO_2 的观测仪等。

2. 愿望

(1) 一些新成果新思维的启示。1992 年 A. A. Meyerhoff 提出了气动构造(Surge tectonic)新理论,探讨板块运动的力源同地球内部高压气体的关系。我国地球化学家在研究了石油天然气和地幔流体后认为,地球是具有 5 个气圈层的大气球,地壳中的低速带是高压充气带,该充气带同来自地幔的氢气流的非平衡态及其调整是导致地壳上部大地构造运动(包括地震错断)等的根源和决定因素(杜乐天,1993)。在研究流体前兆产生原因时,有人提出“附加力源”的思想,认为各种形式的流体储量变化是一种附加力源,它通过流体负荷(重力)、孔隙压力、动水压力及应力腐蚀作用,促进和引发地壳的构造变形和地震的发生,并

导致产生多种地震前兆(王吉易等, 1995)。这已由水库蓄水诱发地震、油田注水、抽水、干热田开发、水压致裂(高压注水等)等诱发地震所证实。如果我们考虑深部高压流体在向地壳浅部迁移过程中是个减压和体积膨胀的过程, 也是巨大能量的转换过程, 这种膨胀过程同样对其周围的固体岩石产生强烈的压力和应力腐蚀作用, 迫使岩石发生错动(地震), 即流体致震作用(杨玉荣, 1995)。我们研究地震是一种自然现象, 就用自然的规律去研究, 平常人们常认为“地震”是直接的、可靠的前兆, 其他都是二次效应, 其实都是“破裂效应”(马宗晋院士, 1997, 不是原话, 仅为其意)。从而是否可以认为, 岩石以发生破裂错动来释放构造能(地震), 而地面形变(隆地、沉陷、水平及垂直位移)、流体的喷涌、温度的变化、重力场变化等都是释放构造能的方式。

由上可见, 以往对流体“前兆”的解释, 往往强调固体岩石介质对流体的存在状态和运动形式的控制作用, 用流体的动态变化去符合地壳岩体的应力-应变变化过程, 而很少考虑流体存在状态与运动形式对固体岩石介质的营力作用, 而使这种对应解释出现很多矛盾。因此, 随着对两方面作用并重的深入研究, 对流体前兆机理的解释将出现一个新局面。

(2) 地震流体前兆的机理解释乃至地震成因研究有待于地球深部物质的研究进展。由陆洋超深钻探资料表明, 在地面 8km 以下的深部仍然像上部一样存在大量含矿热卤水, 并进行着强烈的地质作用(R. A. Kerr, 1994); 在 12km 范围内普遍存在着大量的以自由水为主的流体; 在大洋深钻孔中观察到不断涌出的孔隙流体, 证明地壳深部存在着流体运移通道。我国地幔流体的研究(杜乐天, 1997)也充分证明地壳深部和地幔都普遍存在流体。火山、温泉的观测, 证明有来自深部的流体, 地球物理探测发现在地壳深部有高导层, 用一个连续的含水流体相带解释最为合理; 在地球 50~220km 间存在低速层常被解释为部分熔融。普通水文地质和地球化学方法研究也表明地表流体(源于大气降水)可达 10~30km 或更深的深度大规模的循环。近年来国内外静态大腔体超高压实验方法和实验技术的发展, 为更真实地研究地球深部流体的物理化学性质提供了可能。研究表明, 地下 10 余公里以下, 流体处于超临界状态, 超临界流体具有特殊的性质, 具强溶剂性质, 对周围介质进行强烈的物理化学改造等。所有这些研究, 不仅表明地球各圈层普遍存在着流体, 而且参与并控制各种地质作用过程, 地震过程也不例外, 实际资料表明, 在背斜圈闭构造下的高温高压气储是某些大震发生的原因(白恩胜, 1997)。通过研究地球流体的各种作用, 并将其与地震过程联系起来研究, 有可能揭示出地震孕育、发展、发生的本质原因和机理, 地震流体前兆的机理及理论也将有新的面貌出现。

(3) 随着观测资料和实践经验的不断积累, 自觉地吸收各行业、各专业领域和不同学科的新思路、新方法、新技术和新成果, 开展广泛的学科交叉联合, 不断地开发研制能连续、稳定、可靠地观测深部信息的新技术, 认真分析研究地震监测预报实践, 变流体动态与地震的宏观联系为微观科学合理的解释, 地震流体前兆研究一定会在地震预报和地震成因研究中不断作出新的贡献。

孟连西中缅边界 7.3 级地震前的 地热异常特征

卢艳清 张朝方

(云南省地震局)

1995 年 7 月 12 日 05 时 46 分, 在孟连西中缅边界发生了 7.3 级地震, 震中位置为北纬 $21^{\circ}57'$, 东经 $99^{\circ}01'$, 震源深度 9km, 在此之前的同一地点, 6 月 30 日发生 5.5 级, 7 月 10 日发生 6.2 级地震, 震前云南省大部分地温观测资料出现不同程度、不同形态的变化。我们将这三次地震作为一次地震事件进行研究, 对震中附近滇西南几个台站的高精度地温仪记录到的地热异常现象做一些探讨, 从中可看出地热前兆与地震的对应关系。

一、澜沧井台址条件及观测资料

1. 澜沧井台址及井孔条件

澜沧井处于地热异常区, 系普洱-澜沧-勐阿断裂和澜沧-勐遮断裂的交汇部位, 澜沧断陷盆地南缘。井孔直接打钻在断层带上, 是为地震前兆观测打的专用井。地理坐标: 北纬 $22^{\circ}32'51.3''$, 东经 $99^{\circ}55'17.5''$, 海拔高度为 1030m。观测井完钻深度 108.57m, 1991 年 8 月 18 日完钻, 现有井深 93.67m。井孔地层 24.58m 以上是第四系坡残积物, 下部是奥陶-志留系的浅变质碎屑岩类, 岩性特征总体呈浅紫、紫色、灰绿色板岩和细砂岩等厚互层; 75.27~108.57m 为浅灰、灰白色细砂岩, 结构致密、坚硬, 解理裂隙发育, 为主要含水段。地温仪探头放置深度 83.6m。温度值为 49.68°C , 属高温静水井 (图 1)。

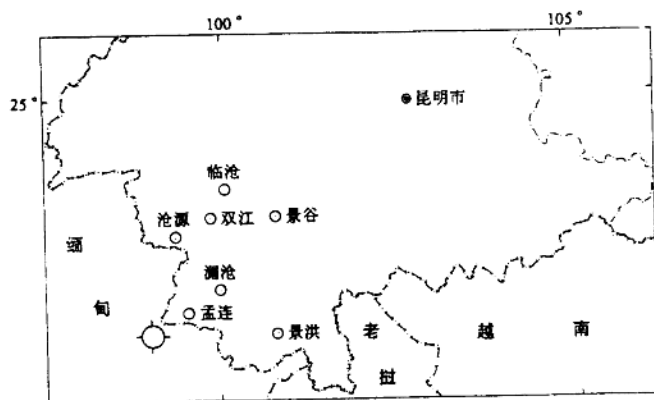


图 1 震中与滇西南地温井位置

2. 澜沧井地温观测资料

澜沧井地温从 1993 年 12 月开始观测。仪器型号: SZW-1A 型。澜沧井观测资料连续可