

强震地下流体前兆信息特征^{*}

刘耀炜 施 锦

(中国兰州 730000 中国地震局兰州地震研究所)

摘要 重视前兆异常点的空间分布与活动构造、深部介质及不同类型地震关系等特征的研究,已成为目前地震预报研究人员的共识。本文通过某些强震地下流体前兆的信息特征分析,认为地下流体强震前兆的信息特征主要表现在:出现时间上的阶段性、加速性和空间分布上的群体性和配套性等方面。而对异常的阶段性与配套性特征的深入研究,是揭示地震孕育过程,进而对潜在震源区及发震时间给予较准确预报的关键问题。

关键词 强震 地震预报 地下流体 前兆信息

引言

地震地下流体是指与地震孕育、发生或构造活动有直接联系的、赋存于地壳岩体空隙中的水、气、油等物质。人们把地下流体的异常变化作为地震前兆来研究,起源于强震前出现的井水位变化、冒泡、变色、变味等宏观现象的认识(郭增建,1964)。1966年邢台地震以后,随着强震高潮期的到来,中国大陆有计划地开展了以水氡、水位为主要测项的监测与研究工作。经过30多年的探索,地震地下流体的研究项目已达30多项,除了水位、水氡、水汞、地热(深井水温)以外,还观测流量(水、油)、井压、水中溶解气与逸出气、水离子、断层土壤气(Rn , H_2 , He , CO_2 , Hg),以及铀、砷、锶等元素。这些观测项目丰富了研究工作内容,为深入探讨地下流体的前兆特征打下了良好的基础。

目前大陆地下流体前兆的物理力学机制,主要是基于强震孕育的动力学原理,即在区域应力作用下,地壳介质受到力的作用而发生变形破坏时,赋存于介质中的流体在动力作用、热力作用和化学作用下灵敏响应介质的动态变化。一部分流体通过各种通道上升到地壳浅层,在地表出现多种类型的前兆现象(张炜等,1988)。近几年,一些专家提出了深部流体对孕震过程有控制作用的论点(车用太等,1999),对前兆异常产生的机理也提出了破裂力学成因、介质状态变化成因和物质运移成因等三大成因类型(刘耀炜等,1999),旨在揭示与孕震过程有密切关系的前兆成因机制。

笔者认为,强震流体前兆主要表现在异常时间发展的阶段性、加速性和空间出现的群体性和配套性等特征上。本研究应用多次强震前地下流体的各类测项异常资料,说明这些异常特征的基本特征,以及对地震三要素的预报意义。

* “九五”国家科技攻关和中国地震局攻关项目 95-04-01-01 专题内容。中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC1999052。

1999-05-04 收到初稿, 1999-10-09 收到修改稿并决定采用。

1 强震地下流体前兆特征

1.1 异常出现时间的阶段性

总结 30 年的研究结果, 根据地下流体前兆异常出现、转折及持续时间的特征, 可分为中期异常(异常持续时间 >6 个月, 其中异常持续时间 >1 年的趋势变化称为背景异常)、短期异常(异常持续时间为 1~6 个月)和临震异常(异常持续时间为 1~30 天)(张炜等, 1988). 由于异常出现的阶段性不同, 其异常特征也有一定差异. 异常特征的阶段性主要表现在参量值的形态变化、速率变化、频度变化及群体异常的过程变化上, 这是描述地下流体异常时间阶段性特征的重要指标.

研究强震发生的背景, 特别是判别 7 级以上的大震, 是否出现背景异常非常重要. 1990 年 4 月 26 日青海共和 7.0 级地震前, 距震中 300 km 的甘肃省西武当泉(断层裂隙水)从 1987 年开始出现持续升高的背景异常, 时间已超过 2 年, 到 1989 年 11 月异常转平. 另外, 青海省东部地区的几个水化测点也有趋势升高的背景. 据此专家们判定认为: 1990 年 4 月前后甘、青一带有发生 7.0 级以上地震的可能. 这类异常以水氡、水位参量为主, 常常与区域构造整体活动水平有关(刘耀炜, 张元生, 1998), 如共和地震前的地下流体背景异常, 与该区跨断层形变测量结果有同步变化现象(图 1).

中短期(一年尺度)的异常是大陆强震活动的主要特征之一. 中强以上地震的孕震过程中都可以观测到地下流体各类参量的中短期异常. 图 2 为青海民和、湟源流量在共和、景泰地震前典型的中短期异常(I 阶段)、短临异常(II, III 阶段). 地下流体同一参量在中短期异常(加速变化)的背景上, 同时存在临震突变异常的震例所占比例较少, 而更多的是表现为较单一的阶段性异常特征. 这说明不同构造部位的流体测点, 以及不同测项在响应孕震过程的异常信息时, 具有选择不同阶段异常的特点.

1.2 异常的加速性

地下流体参量强震异常变化的加速特征是孕震进入中短期阶段普遍存在的现象. 从岩石变形的应力-应变理论曲线角度来看, 在震源区介质岩石进入破裂前的非线性阶段时, 如果应力继续加强, 或其它因素的进一步影响(热流体), 就会进入失稳阶段. 震源区岩石或周围断层会出现局部破裂扩展和弱化, 自然要引起前兆信息的加速变化. 反之, 应力减小, 前兆就不会出现加速特征. 这种加速特征主要表现为测值幅度快速增高和高频异常信息频次的增多等类型.

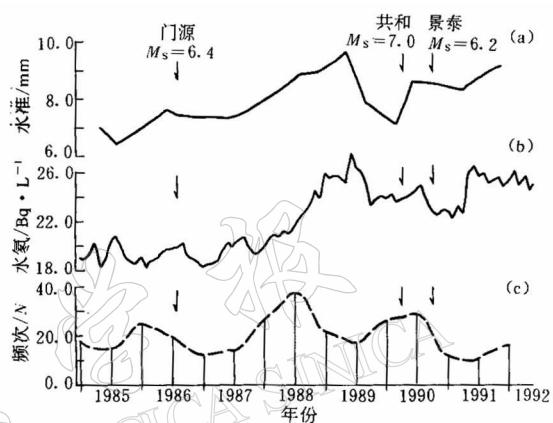


图 1 共和 $M_s 7.0$ 地震前的地下流体

背景异常与跨断层形变测量对比图

(a) 跨断层水准测量; (b) Rn 趋势异常;

(c) 流体群体异常频次

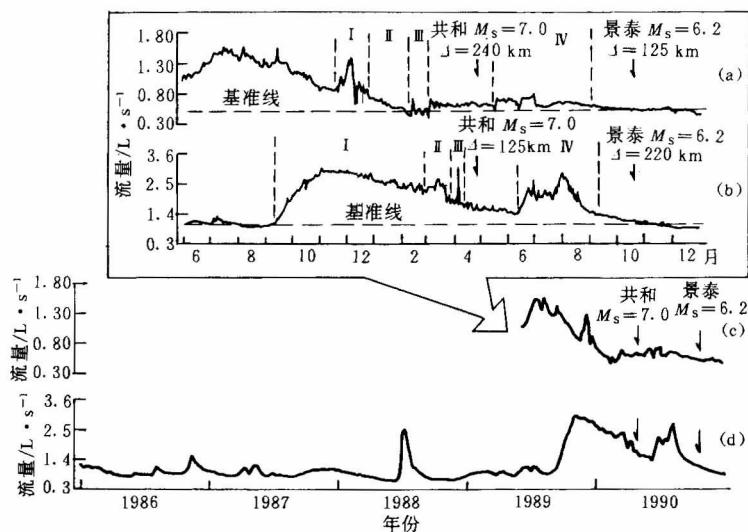


图 2 强震中短期不同阶段异常的典型特征
(a)、(c) 青海民和流量变化全过程; (b)、(d) 青海湟源流量变化全过程

幅度增高加速异常可以表征在比较稳定的外因作用下, 测点响应地壳介质物理、化学性质快速变化的结果(时间一般大于3个月)。由于大陆地震发生所处的构造环境及机制上的差别, 不同构造单元地震带上的这种加速异常的比例也会有所不同。其中位于南北地震带上的甘、宁、青和川滇地区, 该类异常所占比例较高。图3a是甘肃省武山22号温泉多年水氡变化的加速段与强震对应图, 图3b是青海省民和水氡月均值及加速段与强震对应图。

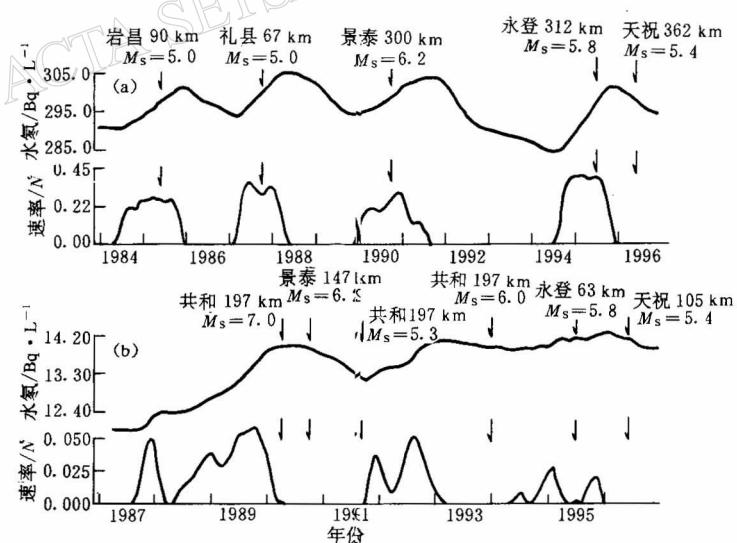


图3 地下流体参数中短期阶段异常加速特征图
(a) 武山22号温泉水氡月均值及上升速率值(\dot{N}); (b) 青海民和水氡月均值及上升速率值(\dot{N})

频次加速异常主要是描述单台或多台高频异常次数的加速状态, 前人在这方面的研究已做过大量工作(王吉易等, 1991, 1994; 张新基等, 1994)。异常频次加速主要出现在孕震区的调整单元, 在断层活动区也有部分测点出现该类特征异常。测项中除水氡以外, 水(气)汞、二氧化碳、氢气、氦气等水化组分, 以及深井水位、地温等测项也易出现该类异常。

1.3 异常的群体性特征

强震地下流体异常在不同阶段均表现有群体性特征。群体性特征主要表现在两个方面: 一是在一定区域内的不同测点的异常出现的时间、形态具有同步变化特点; 二是指在异常发展过程的时空演化中, 异常的起始时间、转折时间在空间和时间上表现为规律性的动态过程。比较突出的表现是异常在中短期或短临阶段异常围绕着震源区, 出现聚集或扩散现象。在唐山 7.8、松潘 7.6、龙陵 7.4 及共和 7.0 级大震的孕震过程中, 异常的这种特征比较明显(李宣瑚, 1981; 张炜等, 1988; 刘耀炜, 张元生, 1998)。图 4 是共和地震前水氡中短期前兆加速、转折时段发展变化图。

1.4 异常的配套特征

地下流体异常在时间或空间上与地表地壳形变、地壳深部介质性质变化出现时间或空间上的准同步。这种特征表明, 流体前兆的出现与孕震区介质状态的变化有直接关系。

地下流体的变化与地壳形变、重力变化、地电阻率和地磁变化在力学上具有成因上的关系, 前人大量的理论研究和室内外实验已给予充分证明。在强震孕育过程中, 分析地下流体的这种特征, 对异常可靠性的判定起着十分关键的作用。图 5 是内蒙古察哈尔右翼前旗 3 号地、兴和水位井变化与张家口水管倾斜仪的曲线对比图(水位井距倾斜仪测点分别为 100 和 80 km)。从图中可以看出, 1995 年 7 月开始, 水管仪出现向西倾的变化, 而水位则同步出现加速上升的变化。1996 年 5 月 3 日包头发生 $M_s=6.4$ 地震之后, 1996 年下半年水管仪出现向东倾异常, 水位则逐渐转平。1998 年 1 月 10 日发生了张北 $M_s=6.2$ 强震。异常变化的这种配套特征, 比较清楚地表现了在强震孕育、发生过程中, 地壳形变与地下流体有着某种成因上的联系。

测震学的某些指标可以较好地反映深部介质状态的变化, 而存在于地壳中的流体在介质发生差异性变化时, 其异常与小震在空间和时间上活动的某些特征出现同步变化。通过对前人总结的多次强震测震学异常指标与地下流体异常的对比分析(刘耀炜等, 1999), 认为中短期阶段地下流体异常, 在空间上与小震空区、弱震条带、 b 值异常区有明显的耦合关系; 在时间上与小震活动频度、 b 值和 η 值等出现同步变化的现象。图 6 是 1969 年渤海 7.4 级地震前后京津地区水氡月均值和 b 值异常同步变化图, 这一特征说明该区地壳介质

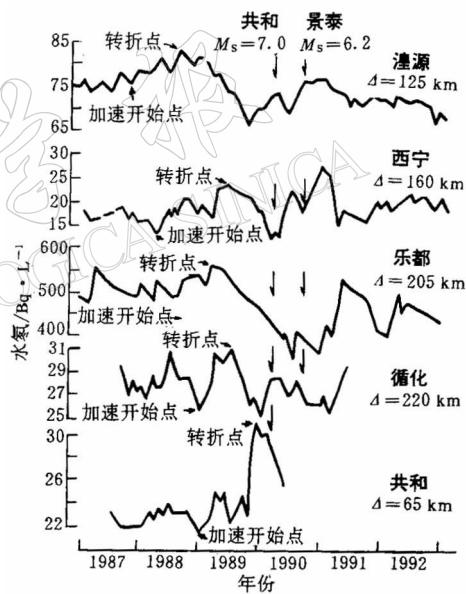


图 4 共和 7.0 级地震前流体群体异常及
加速、转折时段特征图

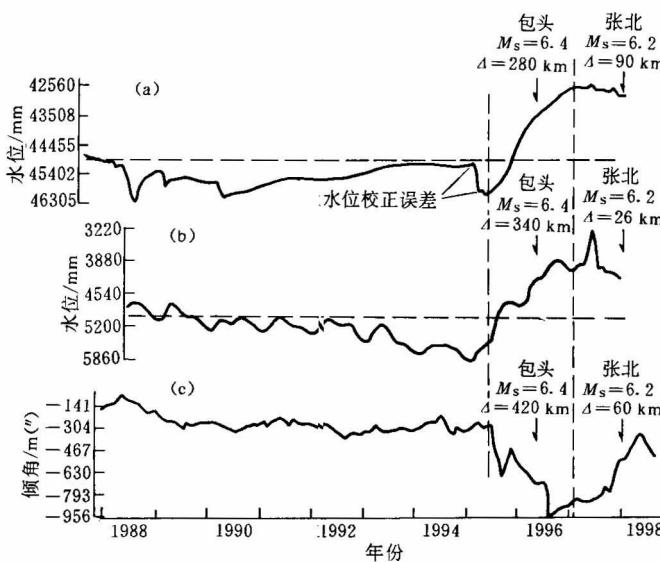


图 5 华北强震前地下水位异常与地壳形变异常同步变化图

(a) 内蒙古察哈尔右翼前旗 3 号地水位; (b) 内蒙古兴和水位; (c) 张家口 EW 向倾斜仪
(a, b 图数据由内蒙古自治区地震局提供; c 图数据由薄万举提供)

处于高能量积累阶段,而地下流体的活动有可能是加速地壳介质能量积累的主要因素之一。

2 讨论

中国大陆强震活动受到不同构造单元、地壳介质条件和动力来源的控制,除了在破裂机制上表现为压、张、扭性质外,在发震类型上还表现有孤立型、主震余震型及震群型等,因而,从客观上不可能找出某一种前兆特征能够表征所有类型地震孕育、发生的过程。只有靠多方位、多学科相互印证、互为补充,才是目前唯一能够提高异常判别可信度的方法。由于地震前兆远比人们想象的复杂得多,过去人们尽管从各类前兆出现的数量、范围、幅度等特征总结强震预报指标,而这种统计量又较少考虑异常本身的物理机制,因而总结出的指标普适性较差。只有结合大陆强震孕育的构造环境特征,从异常的物理特征标志入手,深入研究异常的阶段性、加速性、群体性及配套性等特征,才能更有效地揭示地下流体前兆的物理机制及与强震孕育、发生三要素的关系,使地震预报逐步从目前的统计经验预报过渡到以前兆物理特征为基础的概率预报上来。

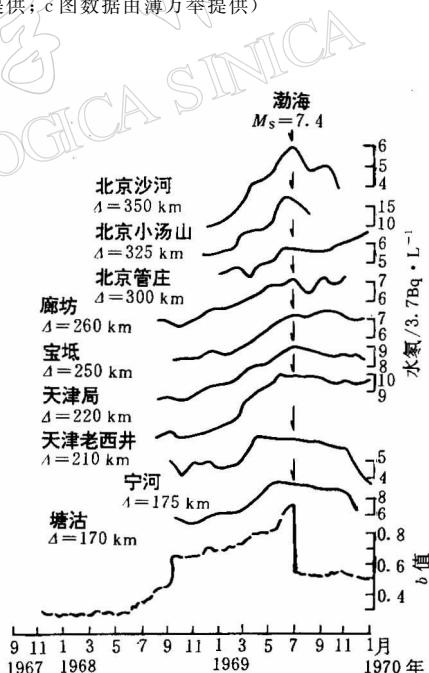
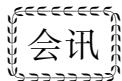


图 6 1969 年渤海 7.4 级地震前京津地区

流体群体异常与 b 值变化图(国家地震局分析预报中心第一研究室, 1984)

参 考 文 献

- 车用太, 鱼金子, 刘五洲. 1999. 华北北部地区3次强震前地下流体异常场及其形成与演化机理. 中国地震, 15(2): 139~150
- 国家地震局分析预报中心第一研究室编. 1984. 中国地震前兆资料图集(1962—1980年). 北京: 地震出版社, 17~18
- 郭增建. 1964. 地震发生前的地下水位变化. 地球物理学报, 13(3): 223~226
- 刘耀炜, 张元生. 1998. 共和7.0级地震前地下流体前兆的动态演化特征. 西北地震学报, 20(1): 59~64
- 刘耀炜, 范世宏, 曹玲玲. 1999. 地下流体中短期异常与地震活动性指标. 地震, 19(1): 19~25
- 李宣瑚. 1981. 水氡异常的扩散收缩现象. 地震, (5): 19~25
- 王吉易, 张素欣, 郑云贞. 1991. 异常系列分析预报新方法探讨. 华北地震科学, 9(1): 91~94
- 王吉易, 郑云贞, 张素欣, 等. 1994. 水化多层次加速前兆图象. 中国地震, 10(增刊): 157~165
- 张新基, 王长岭, 张慧. 1994. 西北地区水化特征及地震预测研究. 地震, (增刊): 81~89
- 张炜, 王吉易, 鄂秀满, 等. 1988. 水文地球化学预报地震的原理与方法. 北京: 教育科学出版社, 205~210, 281~285



第五届《地震学报》编委会在北京召开

1999年12月29日, 在庆祝中国地震学会成立20周年纪念活动的专业委员会分会场, 由主编陈运泰院士主持召开了《地震学报》编委会会议。出席庆祝活动的30余位编委及编辑部全体成员参加了会议。首先, 副主编张以勤编审就《地震学报》创刊20年来的工作向编委们作了汇报, 主要谈及20年来《地震学报》概况、《地震学报》刊登文章的重点领域、《地震学报》在国内科技期刊中的地位, 以及学报文章所反映的我国地震科学工作正在面向世界、不断扩大对世界的影响, 并对《地震学报》的未来作了展望……。

会上, 编委们对学报工作提出了许多宝贵的意见。首先, 编委们对20年来学报工作中取得的成绩给予了充分肯定, 认为无论在反映地震科研最新成果以及在编排印刷质量等方面, 《地震学报》在同类刊物中均属上称。特别是编辑部多年来通过克服各种困难, 自1994年开始中、英文版做到一一对应、同步发行, 并从1997年开始由季刊改为双月刊, 使平均出版周期降至1年内, 个别重要论文在半年内即可出版。编委们还就如何提高学报质量和扩大交流, 提出了中恳的意见。如: 学报应建立自己的网页以扩大对外交流; 鼓励对学报发表过的文章展开评论, 对具有重要的学术价值的问题展开讨论; 为保持原有精度, 学报中的图件应尽量采用计算机绘制; 对前人的研究成果应尽量以参考文献的形式引出; 对于有关国家重点项目, 或近期发生的大地震可出专辑予以报道; 除连续刊登国内外地震目录外, 还应增加同期对地震形势的简要分析说明, 等等。大家共同的认识是, 提高学报质量的关键在于稿源, 学报每年应有几篇“拳头”文章。张以勤副主编希望各位编委能及时向学报编辑部推荐优秀的科技论文(研究成果), 并对编辑部的送审稿件能按要求时间审回。最后, 主编、副主编还就编委们提出有关学报的具体问题作了回答。

会议在认真、求实、对未来充满信心的气氛中结束。

(本刊编辑部)