

中国大陆地震水氡短临异常的空间特征研究^{*}

杜学彬 张新基 张 慧

(中国兰州 730000 国家地震局兰州地震研究所)

摘要 研究了中国大陆 32 个地震近 200 个水氡测点(次)的水氡变化. 结果表明, 水氡短临异常的空间分布主要与震源周围的主要活断层和发震机制有关. 最后, 关于水氡短临异常机理和短临地震预报方面谈了一些认识.

主题词 水氡 短临异常 活断层 发震机制

引言

文中讨论的短临异常指震前半年以内水氡时间序列上的异常变化. 水氡短临异常空间分布极不均匀, 类似于地电. 笔者 1989~1994 年研究了地电短临异常的空间不均匀性, 发现其不均匀性主要受震源周围的主要活断层(现今活动大断裂、强活动性断层)和发震机制控制(杜学彬等, 1993; 1994). 在此启发下研究了 32 个地震近 200 个水点(次)的水氡资料, 得到以下结果: ① 震源与水点之间的主要活断层, 当其走向与发震应力方向(杜学彬等, 1993) 交角小时, 对水氡测点观测短临异常有“阻隔”作用; ② 观测到短临异常的水点位于发震应力方向, 并且一般位于地壳薄弱部位(主要活断层上或其附近、活断层交汇部位、过去强震震中区).

1 震例研究

1.1 1990 年共和 7.0 级地震

本次地震是 NE-SW 向挤压作用下发生的. P 轴方位 39° (向光忠, 张志坚, 1993). 分析 400 km 范围内 9 个水点资料, 过震中分别作大于和小于 P 轴方位 35° 的两条交线, 除了兰州、民和泉外, 其它 7 个泉均位于锐角区, 即位于发震应力方向. 9 个泉与震中之间的主要活断层与发震应力方向几乎正交(图 1a). 西宁、红寺湖(高、低氡)、大通、民和、乐都、北海子等 7 个泉均观测到短临异常(图 2). 红寺湖高、低氡泉位于龙首山断裂上, 也是 1954 年山丹 $7\frac{1}{4}$ 级地震震中区. 虽然震中距已 320 km, 短临异常却很突出. 北海子泉位于龙首山断裂上, 震中距 300 km, 异常也很明显. 距震中最近的西宁、大通泉短临异常明显. 民和泉位于两条一般活断裂交汇处, 下降变化远比乐都泉明显. 不过该泉位于锐角区外,

^{*} 甘肃省自然科学基金和兰州地震研究所青年基金资助项目.
1994-11-09 日收到初稿, 1995-09-25 日收到修改稿并决定采用.

偏离发震应力方向约 40° ，但兰州泉偏离发震应力方向 50° 以上，没有观测到短临异常，西武当泉接近锐角区，震前约 2 个月氡浓度下降究竟是短临异常还是观测条件变化尚不清楚。

1.2 1990 年景泰 6.2 级地震

本次地震是 NW-SE 向拉张作用下发生的，故发震应力方向取 T 轴方位 324° (杜学彬等, 1994)。收集到 400 km 范围内 16 个水点资料，其中兰州、海源、北海子、红寺湖、西武当、通渭、天水、武山、平凉等 12 个泉位于锐角区，红寺湖高、低氡、平凉两水点、通渭、天水、清水水点与震中之间分布有与拉张方向交角小的“阻隔”断层 (图 1a)，龙首山南缘 NW 向断裂与拉张方向几乎一致，红寺湖高、低氡泉震中距略小于共和 7.0 级地震，两个泉未观测到短临变化，平凉、通渭、天水、清水等 5 个泉未观测到异常 (未示 5 个点曲线)，武山泉未明显短临异常 (图 2)，然而兰州、西武当、北海子泉与震中之间无“阻隔”断层，3 个泉短临异常均很突出，尤其西武当泉震中距已 350 km，但下降变化十分突出，西宁、大通、民和、乐都泉位于与拉张方向几乎垂直方位上，西宁、大通泉距本次地震与共和 7.0 级地震距离相当，民和、乐都泉距本次地震远小于共和地震的距离，4 个测点均未观测到短临异常 (图 2)，海源泉接近锐角区，也在海源—六盘山断层附近，异常很明显 (图 2 未示曲线)。

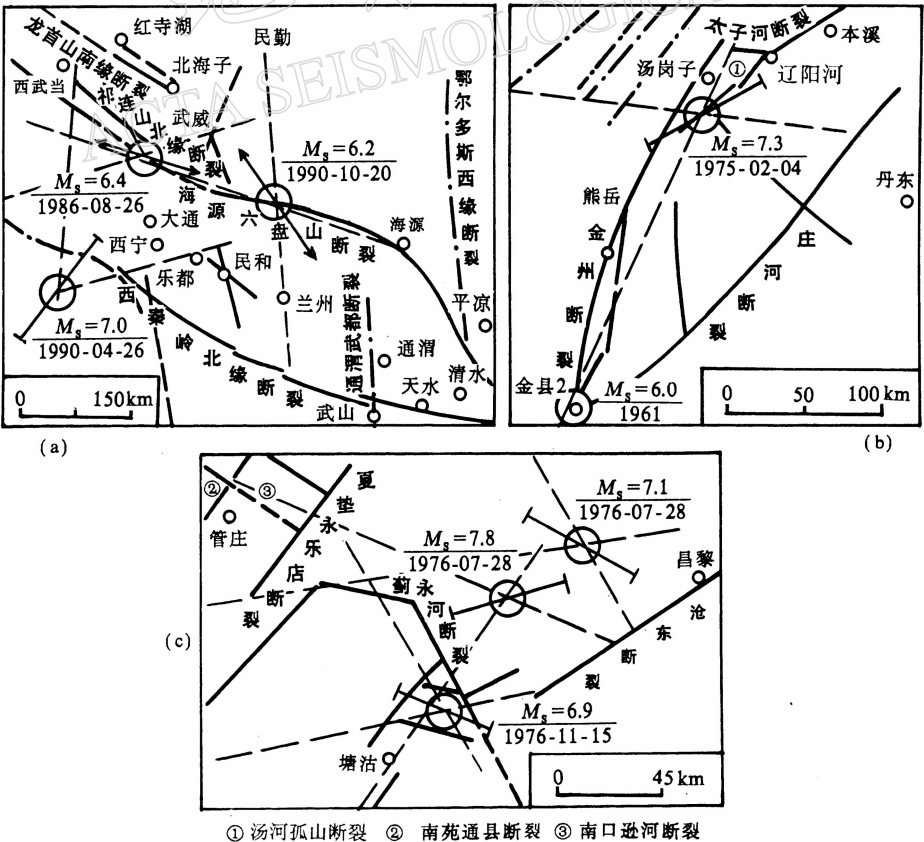


图 1 水氢测点、主要活断层和震中分布图

1.3 1986 年门源 6.4 级地震

本次地震是 NWW-SEE 方向拉张作用为主造成的。T 轴方位 106° 。M5.7, 5.0 两次余震与主震发震机制大致相同(徐纪人等,1986)。故主震发震应力方向取 106° 。仅收集到红寺湖高、低氡、西武当、北海子等 4 个泉资料。除西武当泉外其余 3 个泉均位于锐角区外(图 1a)。红寺湖高、低氡泉与震中之间还相隔祁连山北缘断裂和龙首山南缘断裂,两条活断裂走向与发震应力方向几乎一致。两个泉距震中仅 130 km,远小于共和 7.0 级地震,但未观测到短临异常(图 3)。西武当、北海子泉与震中之间相隔祁连山北缘断裂。西武当泉距震中 140 km,远小于景泰 6.2 级地震;北海子泉仅 95 km,远小于共和 7.0 和景泰 6.2 级地震,两个泉均未观测到短临异常(图 3,北海子泉曲线未示)。

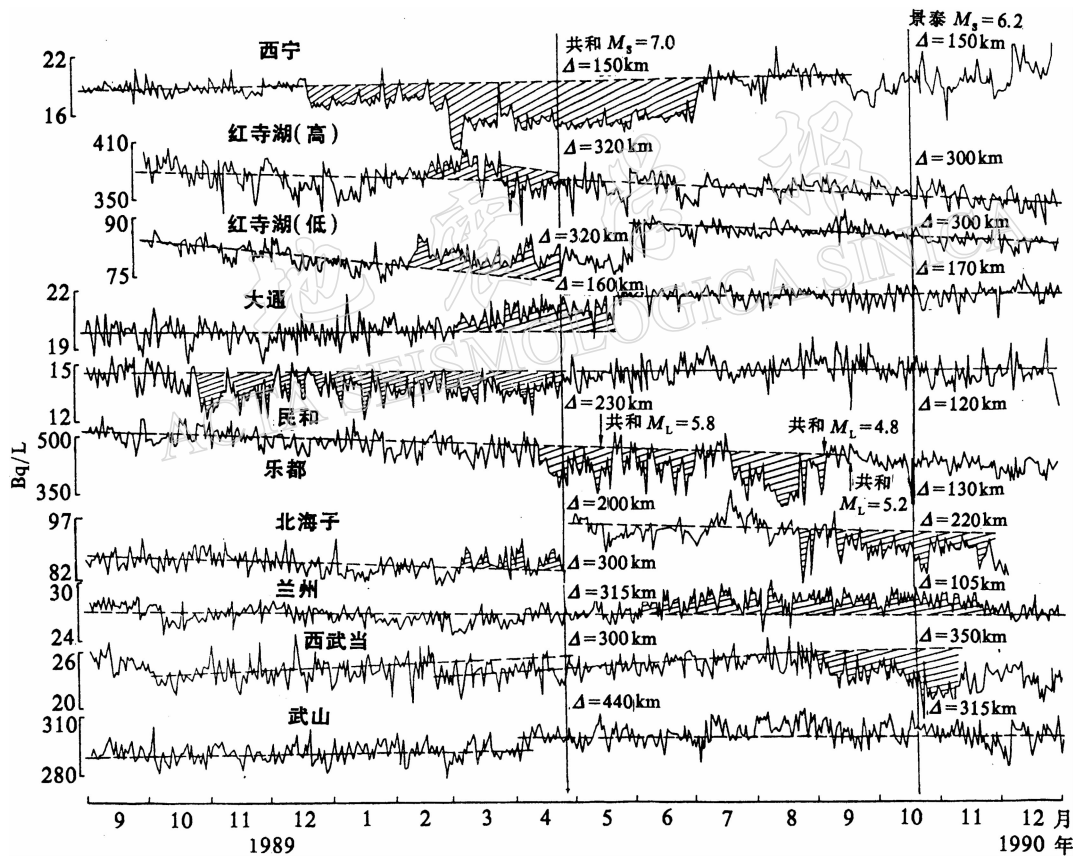


图 2 水氡日值序列

1.4 1975 年海城 7.3 级地震

本次地震震中周围分布有多条 NE, NNE, NW 向活断裂(图 1b)。本次地震是 NEE-SWW 向挤压作用下发生的。P 轴方位 61° (朱凤鸣等,1982)。故发震应力方向取 61° 。收集到 200 km 范围内辽阳河、本溪、金县 2、丹东、兴城、盘 2、盘 1、熊岳、汤岗子等 9 个水点资料。辽阳河、本溪、金县 2、熊岳水点位于锐角区,与震中之间无“阻隔”断层(图 1b)。前 3 个水点观测到明显短临异常。有趣的是,辽阳河水点位于太子河断裂和孤山断裂交汇部

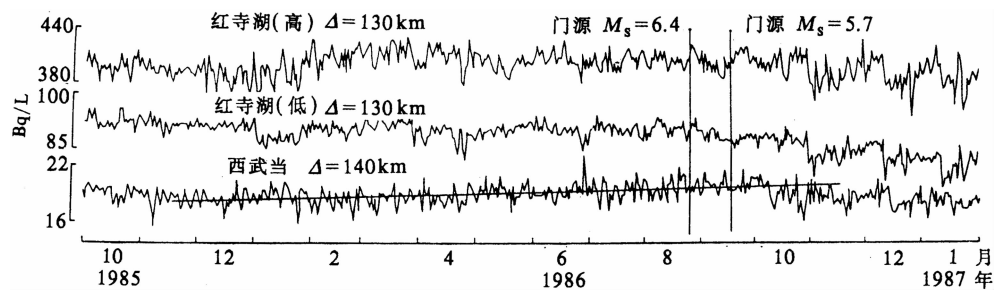


图 3 水氡日值序列

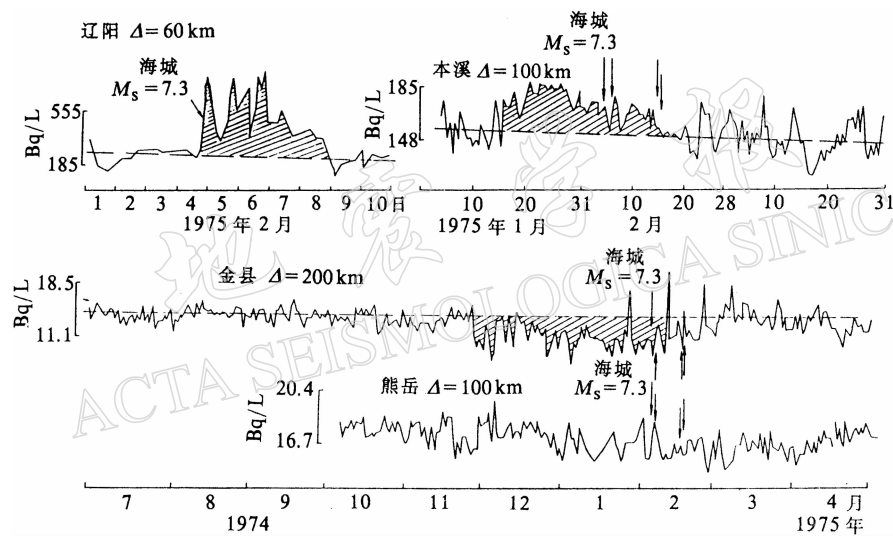


图 4 水氡日值序列

位，异常十分突出(图 4)。金县 2 号井位于金州断裂、庄河断裂交汇部位，并且是 1861 年 6 级地震震中区。尽管距震中 200 km，但异常很明显。熊岳井也位于金州断裂，但不是活断裂交汇部位，构造条件不如金县 2 号井。虽然距震中仅 100 km，却未观测到金县 2 号井那样的明显异常(图 4)。

丹东和兴城水点短临异常很突出。两个水点异常与主震发震机制、周围活构造情况不符合本文阐述的观点。但应注意到，主震后十几天内老震区又发生多次较强余震。其中 4 次 $M_L \geq 5.6$ 余震 P 轴、 T 轴方位与主震相差大，目前也无法确定 4 次余震断层错动具挤压特征还是拉张特征，但中等应力轴仰角在 $54^\circ \sim 86^\circ$ 范围，说明 4 次余震仍以水平错动为主。很可能两个测点异常与较强余震有关。其它几个水点平时测值变化大或观测时间短，确认异常困难。

1.5 1976 年唐山 7.8、滦县 7.1 和宁河 6.9 级地震

几次地震发震应力方向分别取震源机制解的 P 轴方位： 75° ， 297° 和 289° (杜学彬等，1993)。7.8 级地震 250 km 范围内 27 个水点资料可供利用。其观测结果与几次地震发震机制和该区主要活断层之间的关系是明显的。由于水氡测点密度大，该区主要活断裂分布情

况复杂, 详细讨论还需另文给出. 本文仅讨论管庄、塘沽和昌黎井的变化.

管庄井位于 7.8, 7.1 和 6.9 级地震发震应力方向. 构造上几乎在南口迳河 NW 向断层和通县南苑 NE 向断层交汇部位(图 1c). 7.8 级地震(130 km)发震应力方向与该井之间的夏垫永乐店 NE 向断层走向交角小, 7.1 级地震(170 km)与该井之间的南口迳河 NW 向断层交角小, 震前 4 个月该井氡浓度开始出现高值(图 5), 但这是 K 值变化造成的. 该井与 6.9 级地震(120 km)之间分布有沧东 NE 向大断裂和夏垫永乐店等几条 NE 向断裂. 本次地震发震应力与这几条断裂走向交角都约 80° , 震前约 1 个半月氡浓度从高值开始下降, 震后两天即回升, 显示出下降异常与 6.9 级地震关系十分密切(图 5). 应该注意的是, 该井与 7.8 和 6.9 级地震距离相当, 但两次地震前观测结果显然不同.

塘沽井位于 7.8 级地震发震应力方向, 并位于沧东断裂附近, 与 7.8 级地震之间有蓟运河 NW 向断裂. 7.8 级地震发震应力方向与该断裂几乎正交(图 1c). 震前约 3 个月该井氡浓度大幅度下降. 而宁河 6.9 级地震距该井仅 35 km, 二者之间分布由一条 NWW 向断层, 该次地震发震应力方向与该断层平行. 震前几天该井氡浓度似乎略有升高, 但很难认定是临震突跳(图 1c、图 5), 有趣的是, 7.8 级地震前塘沽井附近的塘沽地电阻率也出现类似于水氡的下降变化, 而 6.9 级地震也未观测到可以识别的异常(杜学彬等, 1993).

昌黎井位于 7.8 和 7.1 级地震发震应力方向, 并位于沧东断裂上, 与两次地震之间无“阻隔”断层, 震前氡浓度出现下降异常, 震后下降幅度更大. 位于该井附近几公里的昌黎地电阻率震前也出现类似下降变化(杜学彬等, 1993). 该井不位于 6.9 级地震发震应力方向, 与 6.9 级地震之间有蓟运河 NW 向活断裂, 其走向与发震应力方向交角很小. 本次地震前该井未观测到异常(图 1c、图 5).

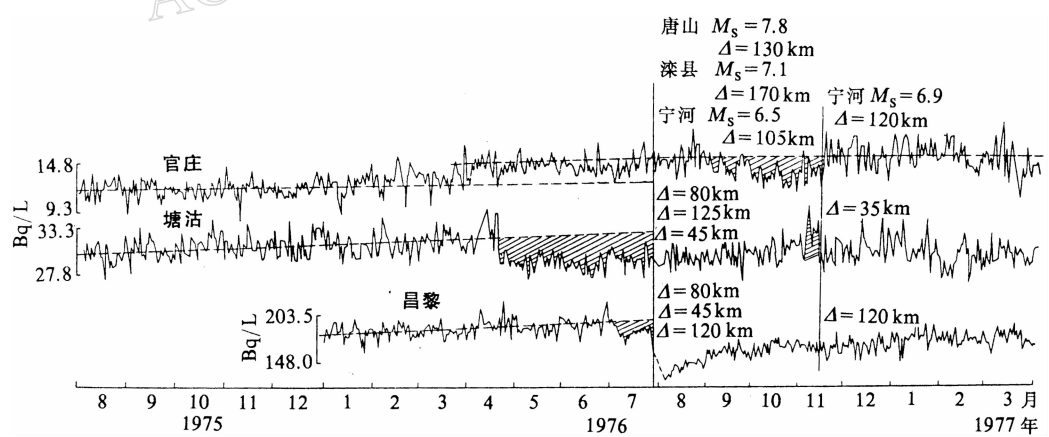


图 5 水氡日值序列

另外, 我们还研究了四川九龙 5.2(1972)、康定两个 5.8(1972)、炉霍 7.9(1973)、松潘 5.6, 6.3(1973)、马边 5.5(1973)、松潘 7.2、6.7、7.2(1976)、南坪 5.7(1974)、云南龙陵—潞西 7.5、5.6(1976)、大关 7.1(1974)、河北宁河 6.5(1976)、宁河北 5.0(1976)、宁河 6.2(1977)、甘肃礼县 4.7(1979)、肃南 5.7, 5.1(1988)、临泽 4.5(1987)、宁夏西吉 5.5(1970)、固源 5.1(1989)等 23 个地震有关测点的水氡变化, 限于篇幅不逐个讨论.

以上涉及到近 200 个水点(次)的观测结果. 其中有的水点观测质量高, 有的水点质量

比较差, 研究中首先剔除观测条件改变造成的变化. 其次本文中涉及到的资料大部分是每天观测一次到两次, 所以单点突跳就很难归于临震异常. 而讨论的短临异常是有一定持续时间、变化幅度大、形态清晰并且震后回复或有回复变化的异常变化. 因此, 本文所讨论的短临异常一般是可信的.

另一方面我们研究了 32 个地震近 200 个水点的资料, 因此个别水点观测质量差、甚至存在伪变化, 也不影响研究结果.

2 水氡短临异常与主要活断层、发震机制之间关系的解释

由以上震例研究可见, 水氡短临异常空间不均匀性主要受到震源周围的主要活断层和发震机制控制. 这与笔者关于地电阻率短临异常的研究结果一致.

氡以自由状态、吸附氡和封闭氡三种状态存在于岩体空隙内. 地壳岩石处于稳定阶段时, 氡处于稳定的衰变状态. 如果岩石处于水包围中, 一旦岩石原应力、应变状态发生变化, 岩石处于失稳状态或岩石温度升高, 则自由氡扩散于水, 吸附氡和封闭氡由于岩石结构变化成为自由氡扩散于水. 其次应力、应变变化, 不同水系的高氡水或低氡水还可能混入原观测水系, 改变氡浓度. 因此, 水氡短临变化是震源力学过程引起测点所在介质处应力、应变变化为源的物理过程.

地电阻率短临异常也是以震源力学过程引起测点所在处介质应力、应变变化为源的物理过程. 笔者曾对地电阻率短临异常与主要活断层、发震机制之间关系的机理作过解释. 因此, 关于水氡短临异常与主要活断层和发震机制之间关系的机理不再赘述, 详见杜学彬等(1993).

3 认识

3.1 关于水氡短临异常机理的认识

唐山 7.8 级地震极震区的唐山自来水厂、唐电 11、唐电 13 三个水井, 仅唐电 13 震前 20 多天地下水氡浓度出现幅度不大的下降变化, 而其余两个并未观测到短临异常(至少说异常不明显), 然而外围区的某些水点短临异常却非常明显. 20 多年观测中这种不均匀现象在震中区有, 在相距上百公里(甚至几百公里)的外围区也有. 从水氡短临异常的形态看并不是以氡浓度升高为主. 以往关于水氡短临异常机理的研究大都从介质应变响应比入手, 但就短临异常机理而言这是有出入的. 我们认为, 机理研究方面除了考虑介质应变响应比外, 还应十分重视应力、应变变化引起地下流体活动的因素. 水氡灵敏测点很可能位于地下流体易活动的、经过测区的浅层断层、溶穴或裂隙上. 例如唐电 13 井在井深 32.8, 35 和 37.5 m 几处溶洞发育.

地电观测中也存在灵敏测点, 并且同一地电台不同观测方向也有区别. 唐山 7.8 级地震极震区的唐山胜利桥地电没有观测到短临异常, 而外围某些台短临异常突出. 1990 年甘肃景泰 6.2 级地震定西地电的 SN 道、武威地电 EW 道和山丹地电 SN 道、NW45°道短临异常突出、同步, 但这几个台的其它观测道就没有观测到异常. 笔者曾指出, 地下水沿断层活动引起介质湿度变化可能是地电阻率短临异常的主要原因(杜学彬等, 1993). 水氡和地电短临变化都是以应力、应变变化为源的物理过程, 因此, 关于地电短临异常机理的探

讨也支持了上述观点.

3.2 关于短临地震预报的认识

中国大陆上地壳内水平应力分量占优势,大陆中强以上地震(尤其浅源大震)震前短期内和断层失稳错动过程中某一特定方向的挤压或拉张突出,这是中国大陆地震的特点、共性.一次地震周围地壳横向上不完整,分布有活断裂(甚至是超壳断裂).因此,震源周围的应力、应变场是不均匀的.其次,地壳薄弱部位对震源力学过程引起的应力、应变变化敏感,也造成应力、应变场的不均匀性.因此,以应力、应变变化为源的水氡、地电短临异常必然出现零乱、不均匀性.本文关于水氡以及以往关于地电短临异常的研究,初步提出了集短临异常-震源位置-主要活断层-发震机制为一整体、短临异常空间不均匀性与震源位置、活断层和发震机制不可分割的观点.这个观点更符合中国大陆地震的特点和前兆测点的构造条件.因此,从多种前兆观测资料、力学实验和理论方面入手,全面开展短临异常空间、时间特征与主要活断层、发震机制关系及其机理和短临异常机理的研究,其结果有可能根据短临异常的空间分布、无异常测点的空间位置和主要活断层空间格局在临震前确定地震(尤其强震)发生的具体地点.我们目前的研究结果,至少在认识地电、水氡短临异常空间特征方面迈进了一步.反过来说通过地电、水氡短临异常的研究,证明了中国大陆中强以上地震震前短期内震源及其周围某一特定方向挤压或拉张突出.

参 考 文 献

- 杜学彬,赵和云,陈宝智,1993.地电阻率临震突变与活断层、发震应力场.地震学报,15(3):303~312
杜学彬,阎志德,邹明武,1994.景泰6.2级地震震源动力学过程.地震学报,16(3):296~303
向光忠,张志坚,1993.共和7.0级地震地质背景及地震机制探讨.内陆地震,7(2):325~334
徐纪人,姚立询,汪进,1986.1986年8月26日门源6.4级地震及其强余震震源机制解.西北地震学报,8(4):82~84
朱凤鸣,吴戈,等,1982.一九七五年海城地震.北京:地震出版社.8~23,156~173