地热流体溶解 CO_2 总量参数的地震前兆特征*

上官志冠

(国家地震局地质研究所, 北京 100029)

关键词 地热流体 溶解 CO_2 总量 地震前兆

在新构造活动区, 大量的天然 CO_2 释放点的分布与地震活动带的分布有很好的一致性^[1~3]. 这表明一些 CO_2 释放与地震活动有关. 碳同位素证据表明, 这些 CO_2 绝大部分源自深部^[3]. 由于 CO_2 在地热水中的溶解度随压力增加而增大, 因此深部 CO_2 可以并总是随地热水集中迁移和释放. 地热流体中溶解 CO_2 总量的观测方法已有报道^[4].

1 强震发生前的趋势性前兆异常

深部来源的 CO_2 由于在地下深处就与地热水伴生并随之迁移, 在有充足 CO_2 补给的情况下, 地热流体中的溶解 CO_2 总量主要受压力制约. 地表及浅层水和气象等因素对其的干扰影响极小. 多年连续观测资料显示(图1), 在无强震发生的情况下, 地热流体溶解 CO_2 总量参数月均值变化平稳, 无明显年变化. 但在邻近地区强震孕育过程中则可出现明显的趋势性前兆异常变化. 其特征主要为月均值参数呈较大幅度的连续异常升高(或降低), 然后平稳回返至基线后不久发震; 整个过程持续数月甚至一年以上, 一般震级越大, 异常幅度也越大, 异常持续时间则较长.

图1 下关、洱源、普格温泉溶解 CO_2 总量参数的月均值曲线

1994-09-19 收稿, 1994-12-15 收修改稿

* 地震科学联合基金资助项目

震例 1 1988年11月6日云南澜沧—耿马 7.6, 7.2 级地震发生前, 下关温泉的 CO_2 总量参数出现了一次完整的负异常过程, 持续时间约 10 个月. 距震中稍远的洱源观测点则在震前出现了连续 4 个月的大幅度下降异常, 震后才逐渐回返 (图 1).

震例 2 1991年1月5日中缅边境缅甸一侧曼德勒东北发生 7.6 级强震. 震前洱源、下关 (震中距均约 430 km) 两个观测点先后出现了持续一年多时间的正异常变化. 当时许多有关人士认为该异常是澜沧强震后的调整性变化, 作者曾坚持认为是另一次强震的前兆反应. 该次强震发生在上述正异常结束后约 1 个月左右 (图 1).

震例 3 1992年4月23日中缅边境地区孟连境外发生 6.9, 6.7 级强震, 滇西几个温泉溶解 CO_2 总量月均值又同步出现持续近一年的正异常, 但异常幅度较小; 随后发生的普洱 6.3 级地震前的异常变化则很小, 难以在震前识别 (图 1).

值得指出的是, 在观测期间, 我们的观测点附近地区曾多次发生 5.0 ~ 5.6 级地震, 有的地震就发生在离观测点不足 50 km 的近处. 所有这些中等地震前, 各观测点都未出现明显的持续数月以上时间的趋势性异常变化. 因此作者认为, 天然地热流体溶解 CO_2 总量参数月均值持续数月以上的趋势性异常变化是 7 级左右或更强地震才有的一种前兆性异常变化; 其异常形态反映的流体应力状态的动态变化过程, 可能是震前区域应力场异常变化对地下流体的客观影响造成的. 这类异常通常有多点大致同步的特征, 因而很易识别. 多年观测未有出现有异常无强震或有强震无异常的情况, 故此参数可以作为中短期 (半年至一年左右) 强震预报的可靠依据之一.

图 2 若干地震前溶解 CO_2 总量参数的短临前兆异常

2 中强以上地震前的短临前兆异常

地热流体溶解 CO_2 总量参数在震前两个月以内 (许多震例是 2 ~ 3 周内) 出现的异常变化具有突升幅度大、突跳频次高的剧变特征, 因而完全不同于变化平缓的趋势性异常. 当观测点距震中区较近时, 这种剧变尤为明显. 典型震例如下:

- ① 1988年1月10日宁蒗 5.5 级地震前 14d, 洱源地热水溶解 CO_2 总量开始出现大幅度突跳, 震前共出现 6 次异常高值, 平均突升异常幅度是背景值的 2.2 倍 (图 2(a)).
- ② 1992年12月18日永胜 5.4 级地震前 20d, 鹤庆温泉溶解 CO_2 总量出现大幅度突跳异常, 震前 6 次突跳值中最大值为背景值的 4.0 倍 (图 2(b)).
- ③ 1988年11月6日澜沧—耿马

7.6, 7.2 级强震前 23 d, 弥渡温泉 (震中距为 240 ~ 300 km) 出现第一次突跳, 震前 5 次突升异常最大幅度为背景值的 1.41 倍. 在随后发生的强余震前多次重现了类似的短临前兆异常变化 (图 2(c)).

图3 宁蒗 5.1 级地震前洱源、弥渡、普格观测点溶解 CO_2 总量的短临异常变化

④ 云南中甸 5.6 (1993.7.17) 和姚安 5.5 (1993.8.14) 级地震前, 下关温泉溶解 CO_2 总量分别于震前 13 和 12 d 开始出现异常升高, 并持续约 10 d. 尽管该异常升高幅度不大, 但它们出现在原先十分平稳的低背景值上, 所以仍然清晰可辨 (图 2(d)).

我们的观测资料显示, 溶解 CO_2 总量参数震前短临异常变化与强震前的趋势性异常相比, 各泉点的同步性稍差. 不同观测点对同一次地震可有不同的异常形态和起止时间 (图 3), 有时相邻观测点可出现一个反应强烈、另一个基本无反应的现象. 作者认为, 造成上述现象的原因既可能有震中距因素, 更可能是观测点与震中区深、浅构造关系的差异的影响.

3 影响震前 CO_2 异常释放的几个因素

如上所述, 地热流体溶解 CO_2 总量值的变化主要受流体应力状态制约; 但也存在另一些因素, 如震中距、 CO_2 物质来源等都可能对震前 CO_2 异常释放产生重要影响.

3.1 震中距

我们在研究中发现, 震中距对溶解 CO_2 总量参数的震前短临异常形态和发生时间影响很大. 震中距较小时, 短临前兆异常主要呈多点突跳形式 (图 2(a)、(b)、(c)), 偶尔可表现为持续数日的异常高值 (图 2(d)); 即使震级较小, 只要距离近也可出现明显的短临异常反应 (图 4(a)、(b)). 由于这类异常突升幅度大、频次高、且通常只发生在震前较短时间内 (一般不超过 3 周), 实践中很容易发现, 因此它可以作为预报近震的重要依据.

图4 小近震和远震短临前兆异常的差异

当观测点离震中较远时, 地热流体溶解 CO_2 总量有时也会出现短临突跳异常, 但异常形态与近震有明显区别, 一般多呈单点突跳, 仅少数情况出现两次以上突跳; 而且远震前的短临突跳有时出现很早 (图 4(c)). 类似的情况在观测中曾多次出现过. 作者认为, 这类异常必须与其它手段配合的情况下方可作为地震短临预报的依据.

3.2 CO_2 的物质来源

地热流体释放的 CO_2 有不同的物质来源. 同位素证据表明^[9], 下关温泉主要释放深源 CO_2 ,

洱源地热水主要释放变质 CO_2 , 鹤庆温泉属混合型, 既有深源的又有浅层的 CO_2 释放. 就源区深度而言, 深源 CO_2 来源最深, 变质 CO_2 次之, 浅层 CO_2 主要来自土壤层. 我们的观测结果显示, CO_2 来源越深其震前短临突跳出现越早, 反之则较晚, 混合型有时可有前后两次间隔时间较长的突跳(图 4(c)). 究其原因很可能与附加 CO_2 成分迁移进地热流体的时间先后有关.

参 考 文 献

- 1 Irwin W P, Barnes I. Tectonic relation of carbon dioxide discharges and earthquakes. *J Geophys Res*, 1980, 85(B6): 3 115~3 121
- 2 石慧馨. 中国碳酸水出露带分布特征简介. *地震地质*, 1979, 1(2): 86~93
- 3 上官志冠, 刘桂芬, 高松升. 川滇块体边界断裂的 CO_2 释放及其来源. *中国地震*, 1993, 9(2): 146~153
- 4 上官志冠, 高松升, 刘桂芬. 地热流体溶解二氧化碳总量观测方法. *地震*, 1992, (5): 21~28
- 5 Shangguan Z G, Gao S S. CO_2 discharges and earthquakes in Western Yunnan. *Acta Seismologica Sinica*, 1991, 4(2): 275~286