

中国大陆科学钻探主孔流体异常与其附近 2次 $M_L3.9$ 级地震的关系

李圣强¹ 孙 青² 罗立强² 詹秀春²

(1. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036; 2. 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要: 2001 年 11 月 30 日和 12 月 25 日中国大陆科学钻探主孔 (CCSD) 附近发生了 2 次 $M_L3.9$ 级地震。从日均值图上看, 地震前后中国大陆科学钻探主孔流体测值曲线存在明显的异常现象。通过流体组分的最大相关系数分析知道, 除 Ar 和 CO_2 组分两者相关性较差 (最大相关系数平均值为 0.632, 均方差为 0.223) 之外, 其他组分间的相关性较好, 最大相关系数在地震前后均出现明显的异常波动。从日均值和最大相关系数异常来看, 大陆科学钻探主孔中的地下流体异常与该区的地震活动可能存在一定关系。

关键词: 中国大陆科学钻探主孔; 流体异常; 地震; 日均值; 最大相关系数

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)02-0330-06

北京时间 2001 年 11 月 30 日 8 时 22 分距离 CCSD 西南 170 km 的安徽固镇 ($33^{\circ}42'$, $117^{\circ}15'$) 发生 $M_L3.9$ 地震, 这是大陆科学钻探开钻以来距大陆科学钻探先导孔最近的 3.0 级以上的地震。同年 12 月 25 日 7 时 33 分距 CCSD 东南 345 km 的江苏南通 ($31^{\circ}55'$, $120^{\circ}57'$) 也发生了 $M_L3.9$ 级地震。中国大陆科学钻探主孔流体可能记录到了这 2 次地震的临震异常信息。

1 中国大陆科学钻探区地质构造概况和气体分析方法

1.1 中国大陆科学钻探区地质构造和地震活动背景

研究区内断裂构造十分发育, 特别是郯庐断裂带贯穿整个研究区。该断裂第四纪具有明显的活动性, 沿断裂带历史上曾发生过 7 级以上的地震, 如 1668 年山东郯城 8.5 级巨震就发生在该断裂带上^[1] (图 1)。

2001 年 11 月 1 日至 2002 年 1 月 25 日大陆科

学钻探主孔周围 500 km 范围内震级 $M_L \geq 2.0$ 地震震中分布见图 1。在这一时段内, 共发生小(微)地震 164 次, 其中 1.0~1.9 级地震为 98 次, 2.0~2.9 级地震为 55 次, 3.0~3.9 级地震 11 次。没有 4 级以上地震发生, 最大地震为 2001 年 11 月 30 日距离 CCSD 西南方向 170 km 的 $M_L3.9$ 级地震和 12 月 25 日 7 时 33 分距 CCSD 东南 345 km 的 $M_L3.9$ 级地震。研究区内总体地震活动较弱。

1.2 气体分析方法

中国大陆科学钻探流体现场气体分析采用质谱仪 MS、气相色谱仪 GC, 利用标准气体建立校准曲线后, 在线定量测定 He、Ar、 N_2 、 O_2 、 H_2 、 CH_4 、 CO_2 以及 CO 、 C_1 — C_4 等组分^[2,3]。

2 日均值图异常现象

为了尽可能地消除某些异常点 (某个时间点的不确定测量值) 对流体整个变化规律的影响, 笔者对资料进行日均值处理, 它既可以抑制某些单点突跳

收稿日期: 2005-02-20; 改回日期: 2005-02-28

基金项目: 国家“九五”重大科学工程项目“中国大陆科学钻探工程”、国家自然科学基金重大项目 (40399144) 和国家重点基础研究发展规划项目 (2003CB716508) 资助。

作者简介: 李圣强, 男, 1969 年生, 副研究员, 主要从事地震和流体关系、数据处理及系统集成等研究工作; Email: lsq@seis.ac.cn。

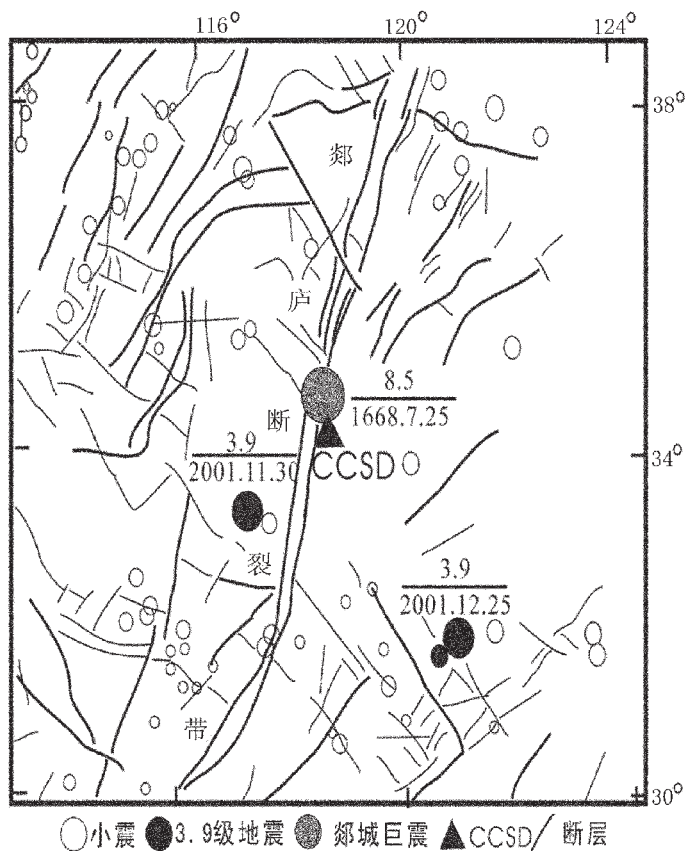


图 1 CCSD 主孔周围 500 km 范围 $M_L \geq 2.0$ 地震震中分布
时间范围:2001-11-01—2002-01-25

Fig. 1 Epicenter distribution of earthquakes of $M_L \geq 2.0$ within an area of 500 km around the CCSD main hole
Time: November 1, 2001 to January 25, 2002

表 1 流体组分间的最大相关系数

Table 1 Maximum correlation coefficients of the concentrations of fluid components

组分	平均值	1 倍均方差	相关性程度
He-Ar	0.99998	0.00004	很好
Ar-N ₂	0.999	0.001	很好
Ar-CO ₂	0.632	0.223	较差
Ar-H ₂	0.874	0.172	较好
CH ₄ -CO ₂	0.984	0.023	很好
CH ₄ -H ₂	0.763	0.226	较好
N ₂ -H ₂	0.9999	0.0001	很好
N ₂ -O ₂	0.910	0.154	好
CH ₄ -He	0.993	0.008	很好
CO ₂ -O ₂	0.998	0.005	很好
CO ₂ -He	1.000	0.0001	很好
CO ₂ -N ₂	0.998	0.005	很好

异常,同时又不致于影响真正的流体异常。图 2 是 2001 年 11 月 1 日至 2002 年 1 月 25 日中国大陆科学钻探区现场实验室记录的主孔流体组成变化日均值变化曲线。从图 2 可以看出,先导孔中的地下流体组分即 H₂、He、CH₄、Ar、N₂、O₂ 和 CO₂ 的浓度日均值变化与该区的地震活动之间可能有一定的关系,地震前后地下流体组分浓度均有不同程度的高值异常或低值异常。如果以偏离平均值 1 倍均方差为异常的话,则 2001 年 11 月 30 日 $M_L3.9$ 级地震和 2001 年 12 月 25 日 $M_L3.9$ 级地震前后 H₂、He、CH₄、Ar、N₂、O₂ 和 CO₂ 均有明显异常存在。从图中可以看出,H₂ 在两个 3.9 级地震前出现明显的高值异常;CH₄ 在 2001 年 11 月 30 日的 3.9 级地震前后异常变化不明显,但在 12 月 25 日的 3.9 级地震前则存在明显的高值异常,且地震后浓度变化也较明

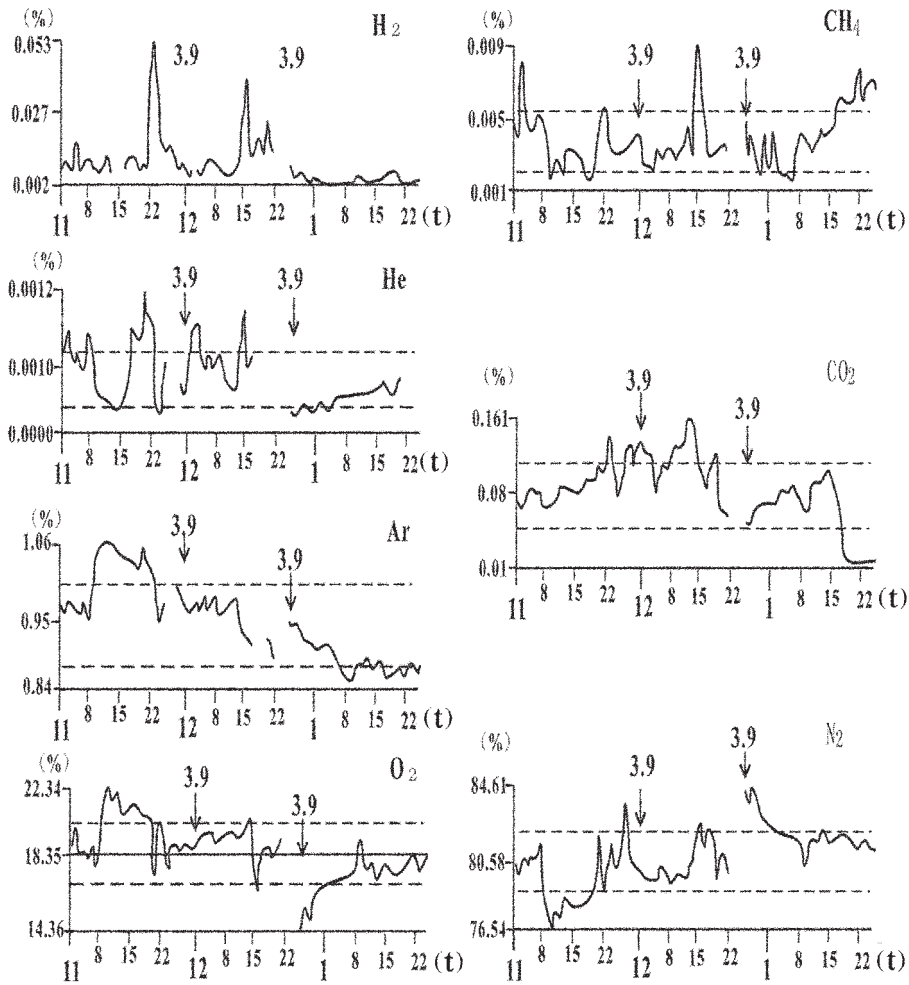


图 2 H_2 、He、 CH_4 、Ar、 N_2 、 O_2 和 CO_2 浓度日均值时变曲线

Fig. 2 Time-variable curves of the daily mean values of the H_2 、He、 CH_4 、Ar、 N_2 、 O_2 and CO_2 concentration

显;He 在 2001 年 11 月 30 日的 3.9 级地震前后均有明显的高值异常,在 12 月 25 日的 3.9 级地震前也存在明显的高值异常,地震后存在低值异常; CO_2 在地震前也有异常存在;Ar、 N_2 、 O_2 在 2001 年 11 月 30 日的 3.9 级地震前存在高值异常,但在 12 月 25 日的 3.9 级地震前后,Ar 浓度变化不明显, N_2 为高值异常,而 O_2 为低值异常。

3 最大相关系数分析

最大相关系数就是求两列前兆观测数据序列最大相关系数,它描述的是两列前兆观测数据之间的相关性^[4]。最大相关系数方法可以分析观测数据间的相关性,为提取异常信息、判定数据间的关系及来

源提供间接证据。

利用 2001 年 11 月 1 日至 2002 年 1 月 25 日时间段内 CCSD 流体的浓度日均值数据,取计算相关系数的样本个数(即窗长)为 10 天,然后进行滑动计算。如果把最大相关系数值小于 0.7、0.7~0.9、0.9~0.98、大于 0.98 分别用较差、较好、好、很好来表示的话,则流体浓度日均值最大相关系数计算结果如表 1 所示。由表 1 可知,Ar 和 CO_2 组分两者相关性较差,最大相关系数平均值为 0.632,均方差为 0.223;Ar- H_2 和 CH_4 - H_2 组分两者相关性较好,其最大相关系数平均值和均方差分别为 0.874、0.172 和 0.763、0.226;其他组分间的相关性均为好或很好,其最大相关系数平均值大于 0.9 以上。

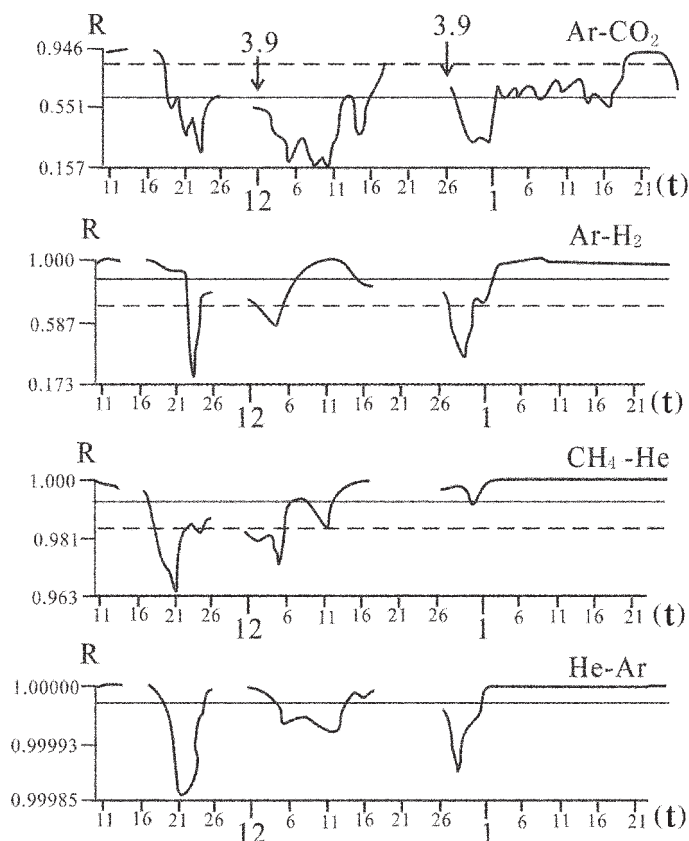


图 3 CCSD 主孔某些流体组分的最大相关系数分析曲线

Fig. 3 Curves of the maximum correlation coefficients of the concentrations of some fluid components in the CCSD main hole

从 $\text{Ar}-\text{CO}_2$ 最大相关系数曲线 (图 3) 可以看出,其相关性较差,且 1 倍均方差较大,扰动较明显,但在 11 月 21—24 日和 12 月 4—11 日以及 12 月 28—31 日均低于 1 倍均方差; $\text{Ar}-\text{H}_2$ 最大相关系数曲线在 11 月 23—24 日、12 月 3—5 日和 12 月 26—29 日均存在明显的低值异常; CH_4-He 最大相关系数曲线在 11 月 18—23 日、12 月 1—6 日存在明显的低值异常; $\text{Ar}-\text{He}$ 最大相关系数曲线在 11 月 20—24 日、12 月 10—13 日和 12 月 28—29 日均存在明显的低值异常。而在 2001 年 11 月 30 日和 12 月 25 日 CCSD 周围连续发生 2 次地震 3.9 级有感地震。流体组分的最大相关系数值在地震前、地震时或地震后不同程度地出现低值异常。有的异常出

现在震前、有的出现在地震发生时,有的异常出现有震后。最大相关系数在地震前后出现明显的异常波动,可能说明地震活动对流体造成一定影响。

4 几点认识

(1)对先导孔中的资料进行初步的处理后,可以明显看出,CCSD 附近的 2 次 3.9 级地震活动前后确实存在流体异常。有的流体异常出现在地震之前,有的异常出现在地震之后,也有的异常在地震前后均存在。而且,地震前后的流体异常多数为正的 高值异常。

(2)当然上述异常资料有待进一步排除钻探过程中地质环境的影响,他们是否确实与地震有关,

是否包含其他地震信息,有待进一步研究,但是初步的研究表明在某些时段出现流体异常,尽管不能确定由地震活动引起,但在地下流体出现异常的时段内确定发生过地震或小震群活动。此外,一些 CCSD 流体异常与地震及区域构造活动可能有关,研究二者关系,有利于揭示华北中南部现代构造应力环境变化规律和原因。但要研究流体异常、地震活动区域构造活动之间的关系,可能还需要收集更多的资料,如收集更长时间段的流体资料和地震资料、流体组分的同位素资料及其他相关资料等。

(3)通过对流体组分的最大相关系数计算结果的分析可以看出,流体组分间除 Ar 和 CO₂ 组分两者相关性较差(最大相关系数平均值为 0.632,均方差为 0.223)之外,其他组分间的相关性均较好。最大相关系数在地震前后出现明显的异常波动,可能说明地震活动对流体造成一定影响。

(4)尽管地震活动过程中地下流体所起的作用尚不清晰,但在地震孕育、发生前后的确伴有地下流体异常现象^[5-7]。在地震孕育过程中,由于岩层中应力的积累、应力状态和热动力状态的变化,都会引起介质体系的变化和水-岩体系动态平衡的破坏,所以导致岩层和地下流体中各种化学组分的迁移变化。地下气体对地壳应力变化极为敏感,地球内部的气体由于受各种外界条件特别是应力—应变的制约与周围环境相互作用,处于一种动态平衡状态,一旦周围环境发生变化,如发生地震、断层错动等,将破坏这种动态平衡,使得地下深部的气体沿破裂面在载体的作用下迅速运移,形成各种气体地球化学异常。因此,地震活动可以引起地下流体异常变化,而真正由地震活动引起的流体异常对地震的认知、预测都具有十分重要的意义。

说明:用于本文分析的地震目录资料和图 1 中的相关背景基础地理数据及第四纪以来的断层数据均源于原中国地震局分析预报中心有关部门,王健、

李松、张保科、李迎春、唐力君、张月琴和李东等参加了大量的现场实验工作,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 孙青,李圣强,罗立强. 中国大陆科学钻探工程主孔地下流体特征及与地震活动的关系初步研究[J]. 地震,2005,25(1):15~21.
Sun Qing, Li Shengqiang, Luo Liqiang. The geochemistry of some fluid compositions in the mud of CCSD main well and their relations to seismicity [J]. Earthquake,2005,25(1):15~21 (in Chinese with English abstract).
- [2] 孙青,罗立强,李圣强. 中国大陆科学钻探主孔 0~2000m 的 N₂、Ar 和 He 流体地球化学[J]. 岩石学报,2004,20(1):179~184.
Sun Qing, Luo Liqiang, Li Shengqiang. N₂-Ar-He compositions in the 0~2000m mud of Chinese Continental Scientific Drilling hole[J]. Acta Petrologica Sinica,2004, 20(1): 179~184 (in Chinese with English abstract).
- [3] 罗立强,孙青,詹秀春. 中国大陆科学钻探主孔 0~2000 米流体剖面及流体地球化学研究[J]. 岩石学报,2004,20(1):185~192.
Luo Liqiang, Sun Qing, Zhan Xiuchun. 0~2000m fluid profiles and sources in Chinese Continental Scientific Drilling Project [J]. Acta Petrologica Sinica,2004, 20(1):185~192 (in Chinese with English abstract).
- [4] 蒋俊,李胜利,张雁滨,等. 地震前兆信息处理与软件系统 EIS2000 [M]. 北京:地震出版社,2000.
Jiang Jun, Li Shengle, Zhang Yanbin, et al. Earthquake Precursory Information Processing and Software System (EIS2000) [M]. Beijing: Seismological Press, 2000(in Chinese with English abstract).
- [5] 中国地震局监测预报司. 实验场区地震预报新技术新方法[M]. 北京:地震出版社,2002. 60~77.
Department of Earthquake Monitoring and Prediction of CEA. New Technology and Methods of Earthquake Prediction of Experimental Site[M]. Beijing: Seismological Press, 2002. 60~77(in Chinese).
- [6] 杜建国,康春丽. 强地震前兆异常特征与深部流体作用探讨[J]. 地震,2000,20(3):95~101.
Du Jianguo, Kang Chunli. Characteristics of earthquake precursors and its geological significance[J]. Earthquake, 2000,20(3):95~101(in Chinese with English abstract).
- [7] Chiadini G, Cardellini C, Amato A, et al. Carbon dioxide earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy [J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(7):L07615.

Anomalous fluid compositions in mud of the CCSD main well and their relations to two nearby earthquakes of $M_L 3.9$

LI Sheng-qiang¹, SUN Qing², LUO Li-qiang², ZHAN Xiu-chun²

(1. *Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*

2. *National Research Center of Geoanalysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

Abstract: Two earthquakes of $M_L 3.9$ occurred near the CCSD main hole on November 30 and December 25, 2001 respectively. The daily mean variation maps show that a pronounced anomalous phenomenon existed on the curves of fluid compositions in mud of the CCSD main hole before and after the earthquakes. Analysis of the maximum correlation coefficient of the fluid components indicates that all the fluid components are well correlated except Ar and CO₂ which are poorly correlated (with a mean maximum correlation coefficient of 0.632 and a mean square deviation of 0.223). Distinct anomalous fluctuations of the maximum correlation coefficient took place both before and after the earthquakes. The daily mean values and anomalous maximum correlation coefficients suggest that the fluid anomalies appearing in the CCSD main hole might have a certain relation to seismic activities in the area.

Key words: anomalous fluids; earthquake; CCSD main hole; daily mean value; maximum correlation coefficient

About the first author: LI Sheng-qiang, born in 1969, associate researcher in the Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration. His major interests involves earthquake prediction, data processing and system integration; E-mail: lsq@seis.ac.cn.