

王小娜, 邓志辉, 叶东华, 等. 2016年10月广东乳源 $M_L$  2.8级震群活动特征[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 1-8. [WANG Xiaona, DENG Zhihui, YE Donghua, et al. Seismic Activity Characteristic of Ruyuan  $M_L$  2.8 Earthquake Swarm in October, 2016 in Guangdong [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(3): 1-8.]

## 2016年10月广东乳源 $M_L$ 2.8级震群活动特征

王小娜, 邓志辉, 叶东华, 刘特培, 刘吉平, 邵 叶  
(广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 2016年10月7日至26日广东省乳源县发生 $M_L$  2.8级震群活动, 共记录到地震250次, 其中 $M_L$  1.0~1.9级166次,  $M_L$  2.0~2.9级17次, 最大为10月10日的 $M_L$  2.8级地震, 震源深度8 km。根据乳源震群与南水水库震群活动、波速比、视应力和应力降对比, 初步判断此次乳源震群活动在弱挤压应力背景下产生, 且为非水库诱发地震, 印证了近年来东南沿海地区地震活动由水库区向非水库区转移或扩展的特征, 是东南沿海地震带地震活动进一步增强的表现。根据乳源震群沿北西向沟谷展布的特征、主震震源机制解北西向节面的左旋走滑正断性质, 结合地质构造背景及现场调查结果, 推测从震中区到英德市望埠镇存在走向 $310^\circ$ , 倾向南西, 倾角 $47^\circ$ 的隐伏断裂, 为乳源震群发震构造, 此隐伏断裂可能是北东向吴川-四会断裂带的共轭构造, 与近年来吴川-四会断裂活动增强有密切关系。

**关键词:** 乳源震群; 南水水库; 隐伏断裂; 发震构造; 吴川-四会断裂带

**中图分类号:** P315.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2017) 03-0001-08

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.03.001

## Seismic Activity Characteristic of Ruyuan $M_L$ 2.8 Earthquake Swarm in October, 2016 in Guangdong

WANG Xiaona, DENG Zhihui, YE Donghua, LIU Tepei, LIU Jiping, SHAO Ye  
(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** The  $M_L$  2.8 earthquake swarm occurred in Ruyuan of Guangdong province from October 7th to 26th, 2016. There are 250 earthquakes recorded, including 166  $M_L$  1.0-1.9 earthquakes and 17  $M_L$  2.0-2.9 earthquakes, the largest earthquake of this swarm is the  $M_L$  2.8 earthquake which occurred in October 10th with the focal depth of 8km. According to the comparisons of seismic activity, wave velocity ratios and apparent stress between Ruyuan swarm and Nanshui reservoir swarm, the paper premonitory estimates that Ruyuan earthquakes which occurred under the background of low compressional stress are not the reservoir-induced earthquakes,

**收稿日期:** 2017-01-10

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(41676057)、国家自然科学基金青年科学基金项目(41604055)、2016年度震情跟踪定向任务(2016010111, 2016010116) 联合资助。

**作者简介:** 王小娜 (1987-), 女, 博士, 工程师, 主要从事地震重定位、地震层析成像和人工测深。

**E-mail:** wangxiaona16@163.com.

which confirmed the southeastern coastal area's seismic activity characteristic that the seismic activity transfers from reservoir area to non-reservoir area. The Ruyuan earthquakes distribute along north-west striking valley and the mechanism of Ruyuan mainshock is left-lateral strike-slip, with normal component. Combining seismotectonic environment and field survey, the paper speculates a buried fault which may be the seismogenic of Ruyuan swarm exists from epicentral area to Wangbu of Yingde city. This fault dips to southwest, with strike angle of  $310^\circ$  and dip angle of  $47^\circ$ , it may be the conjugate structure of NE Wuchuan-Sihui fault, which has close relationship with the seismicity enhance of Wuchuan-Sihui fault.

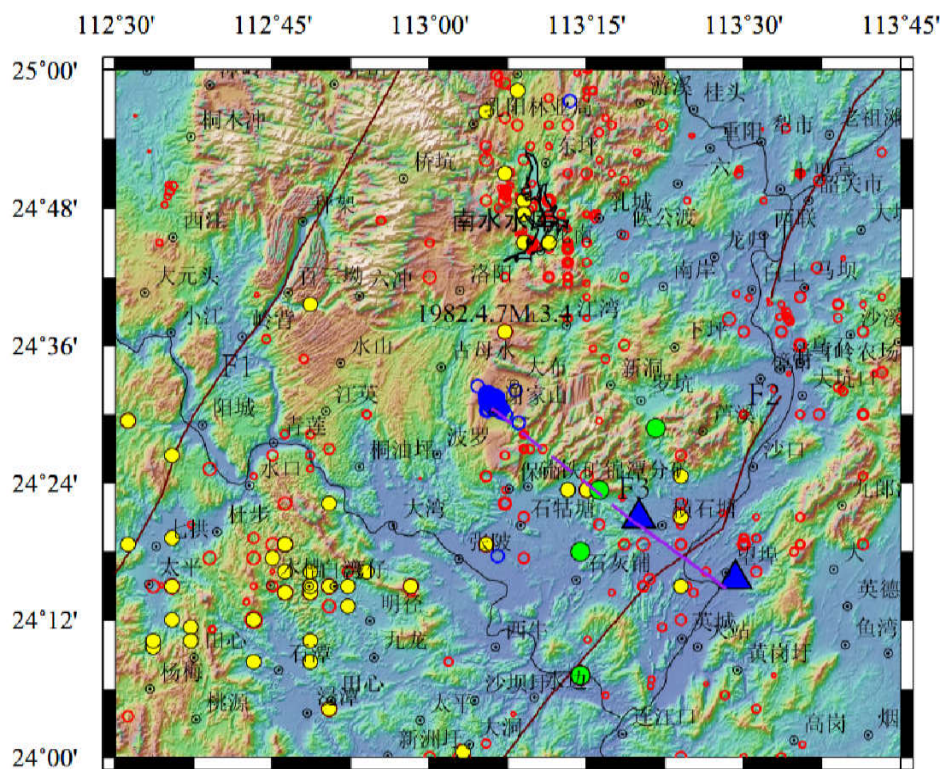
**Keywords:** Ruyuan swarm; Nanhui reservoir; Buried fault; Seismogenic; Wuchuan-Sihui fault

## 0 引言

2016 年 10 月广东省乳源县 ( $24.516^\circ\text{N}$ ,  $113.301^\circ\text{E}$ ) 发生  $M_L$  2.8 级震群活动(图 1), 乳源震群发生后, 广东省地震预报研究中心、监测中心, 韶关市地震局, 乳源县国土局及大布镇国土所人员, 前往乳源县大布镇国土所、垵头村、船塘小水库、坞莲村以及英德市前进村等地进行现场核实。此外, 本文对乳源地区可能的相关活动构造进行了野外调查研究, 从乳源地震活动性、震源机制解、波速比、视应力和应力降等方面, 并结合震源区地质构造背景、野外调查情况对乳源震群成因进行分析。

## 1 震群序列特征

本次乳源震群活动从 2016 年 10 月 7 日至 10 月 26 日共记录到地震 250 次, 其中  $M_L$  1.0~1.9 级 166 次,  $M_L$  2.0~2.9 级 17 次, 最大为 10 月 10 日 8 时 7 分的  $M_L$  2.8 级地震, 震源深度 8 km。根据此次地震序列  $M-T$  图及日频次图(图 2a, 图 2b), 可以看出, 10 月 7 日晚 21 点地震开始密集发生, 10 月 8 日和 9 日地震频次达到最大, 分别为 51 次(其中 1 级以上 46 次)和 50 次(其中 1 级以上 33 次), 其后地震频次逐步衰减, 10 月 14 日仅发生一次地震, 之后 15 日未发生地震, 16 日 21 时之后继续出现震群活动, 但地震频次明显降低。



F1: 怀集-郴州断裂; F2: 吴川-四会断裂; F3: 现场调查发现断裂。

图 1 乳源地区地震构造图

Fig.1 Seismic structure map of Ruyuan area

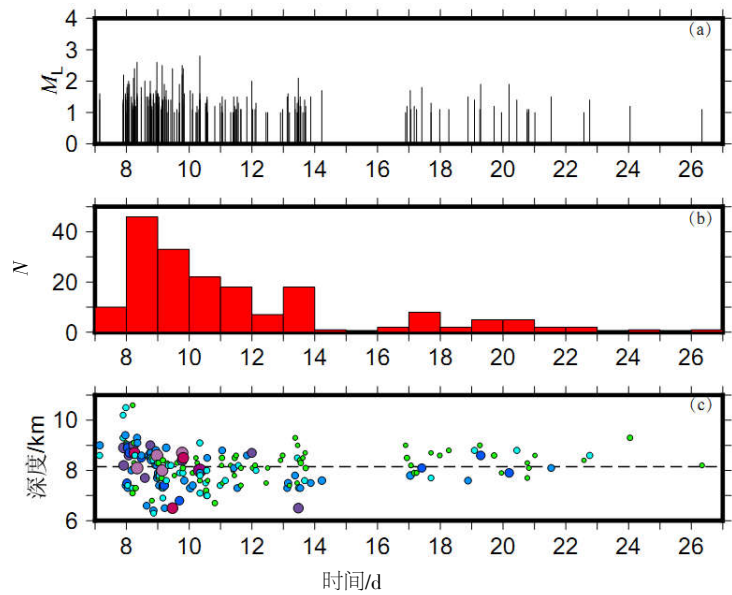


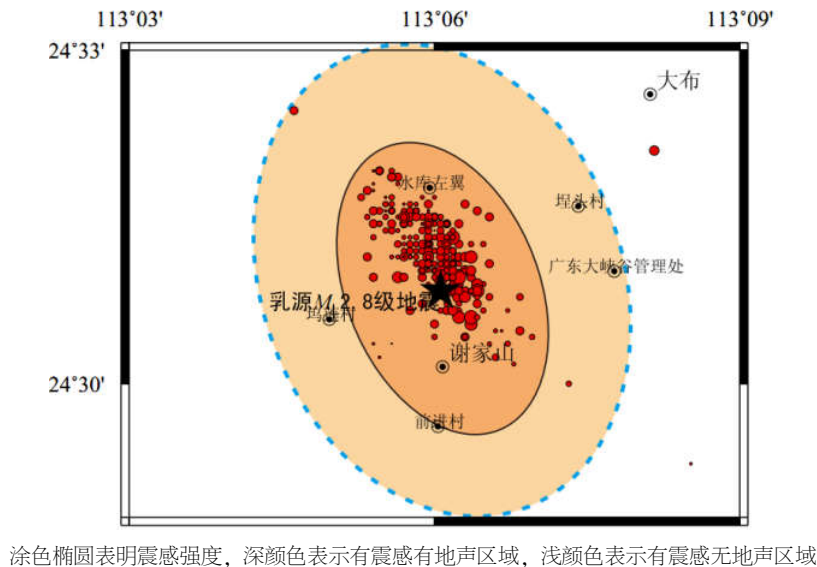
图 2 乳源震群  $M$ - $T$  图(a)、日频次图(b)及深度分布图(c) ( $M_L > 1.0$ )

Fig.2  $M$ - $T$  map(a), daily frequentness map(b) and depth distribution map(c) of Ruyuan swarm ( $M_L > 1.0$ )

2 震感调查

经走访调查发现，震群西北侧船塘水库旁养鸡场和震群东南侧的前进村震感较为强烈，既有震感，也听到地声；而位于震群东北的埕头村、广东大峡谷和西南侧均莲村震感次之，只有震感，

没有听到地声；大布镇震感最弱，但震后 10 月 13 日饮用水开始变浑浊，该现象持续近一周，至 10 月 19 日下午方恢复正常。本文根据震感情况绘制出震感分布图(图 3)，震感明显的区域北西向长轴约 6 km，北东向短轴约 3.5 km；震感较弱的区域北西向长轴约 9 km，北东向短轴约 5 km，具体震感情况见表 1。



涂色椭圆表明震感强度，深颜色表示有震感有地声区域，浅颜色表示有震感无地声区域

图 3 乳源震群震中和震感图

Fig.3 Epicenter distribution and felt area of Ruyuan swarm

3 地质构造背景及地震活动

本次乳源  $M_L$  2.8 级震群发生在广东北部韶关市乳源县，位于怀集-郴州断裂带和吴川-四会断

裂带北段之间的区域(图1)。怀集-郴州断裂带(F1)经怀集、阳山、连县，向南延入广西苍梧，向北入湖南茶陵。断裂由多组平行的断裂束组成，

总体走向北东 20~25°, 西南段转向 35~45°<sup>[1]</sup>。断裂带发育在寒武、泥盆、石炭系内, 普遍见强烈的挤压破碎带和硅化带, 宽度可达数百米至数公里, 断面倾向北西, 倾角 50°以上, 断裂所经之处片理化带、糜棱岩化带广泛发育, 常常造成老地层逆

掩在新地层上<sup>[2]</sup>。断裂形成于加里东运动晚期, 有同时代的岩浆岩侵入, 包括印支和燕山期侵入岩, 控制白垩-第三系红色盆地的分布, 沿断裂带有多处温泉涌出, 但地震活动性较弱, 断裂最新活动时代为早中更新世。

表 1 震感现场调查结果表  
Table 1 The result of felt area investigation

调查点	经度/(°)	纬度/(°)	有感次数	震感描述
垵头村	113.123 6	24.526 7	2	东南向听到地声, 1~2 s 后有震感
船塘养鸡场	113.099 2	24.529 4	>10	听到地声, 1~2 s 后震感明显。
广东大峡谷	113.129 4	24.516 9	2	震感明显, 未听到地声, 无滚石发生。
前进村	113.100 6	24.493 6	>10	北西向听到地声, 1~2 s 后有震感
坞莲村	113.082 8	24.509 7	2	震感轻微, 未听到地声。
大布镇	113.135 8	24.544 2	1	听到地声, 无震感, 震后自来水变浑浊。

吴川-四会断裂带(F2)自西南的吴川向东北经云浮、四会、广宁、英德、曲江延伸至韶关。韶关以北, 断裂分为两支, 其中一支往北与江西大余-兴国-南城断裂连接, 一支与赣江断裂相连。断裂在云浮以南, 一支经阳春、茂名、电白、吴川, 潜伏在雷琼断陷下, 一支沿阳春、阳西织箕入南海。断裂斜贯广东的中、西、北部, 广东省内全长超过 800 km<sup>[3]</sup>。断裂带在地球物理场上是重力、磁场和莫霍面变化的分界线, 布格重力场梯度带在断裂两侧表现为东高西低, 断裂东侧为上地幔局部隆起区。航磁沿断裂表现出一条北东向展布的局部磁场异常带, 磁场异常带的位置与重力梯度带相当。该断裂形成于早古生代, 经历多旋回的构造运动, 沿断裂热变质十分发育, 形成宽数公里至近 20 km 的断裂挤压破碎带和混合岩化带, 并有多期的岩浆活动, 包括加里东、华力西、印支和燕山期。新构造期以来, 断裂主要以继承性断块运动为特征。断裂最新活动时代为早中更新世, 沿断裂带历史上于 1445 年在四会发生过 4 $\frac{3}{4}$  级地震<sup>[4]</sup>, 1611 年在电白海域发生过 6 级地震, 1749 年在云浮发生过 5 级地震, 1969 年在断裂带东侧阳江发生过 6.4 级地震。

据广东省地震目录记载, 自 1970 年以来乳源震群周围 100 km 范围内无破坏性地震发生, 但曾发生过 3 次  $M_L$  4.0 级以上地震, 分别为 1974 年 3 月 4 日广东清远的  $M_L$  4.0 级地震、1996 年 4 月 29 日广东英德的  $M_L$  4.0 级地震以及 2014 年 10 月 23 日广东怀集的  $M_L$  4.1 级地震, 距离乳源震群最近的  $M_L$  3.0 以上地震为 1982 年 4 月 7 日的  $M_L$  3.4 级

地震, 该地震在乳源震群主震正北方向约 11 km 处(图 1)。

4 数字地震学方法分析

4.1 震源机制解及主破裂面

本文对 10 月 10 日  $M_L$  2.8 级主震做震源机制解分析, 根据 Snoke 方法<sup>[5-6]</sup>, 利用双力偶点源模型, 采用格点尝试法, 通过比较理论计算与实际观测得到的 P 波、S 波、SV 波、SH 波初动符号和振幅比, 选择其中拥有矛盾符号数最少和振幅比残差最小的震源机制解作为震源机制的最佳解。本文在乳源  $M_L$  2.8 级地震 200 km 范围内选取 16 个台站, 其中离主震最近的清新台震中距约 41 km, 相邻台站张角在 10°~88°之间。利用 16 个台站记录的 P、S 波初动及振幅比, 获得的震源机制解结果(图 4, 表 2) 显示本次乳源  $M_L$  2.8 级地震两个节面分别为 NW 和近 EW 向, 震源机制具有明显的正走滑的性质, 由于乳源震群沿北西向分布, 因此认为乳源  $M_L$  2.8 级地震断层错动类型为 NW 向左旋走滑兼明显正断类型。

4.2 波速比

本文使用单震多台和达法计算了 2010—2016 年乳源震群附近地震的波速比( $V_p/V_s$ ), 在波速比计算过程中, 影响计算结果不稳定的因素主要有震相数据精度、台站个数、地震位置等, 针对这些因素, 为了最大限度得保证结果的稳定性, 在初步数据筛选时遵循以下原则:

(1) 根据  $\lg N-M$  关系, 乳源及其邻区地震完备震级为 1.0 级, 因此震级下限设为  $M_L \geq 1.0$ , 每

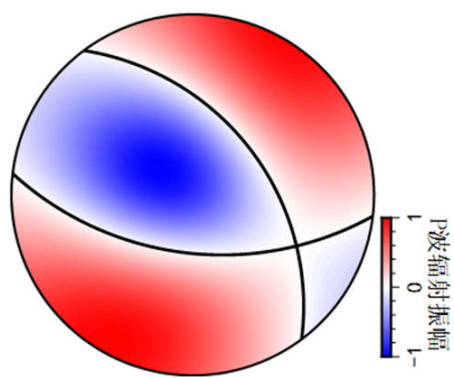


图 4 乳源  $M_L$  2.8 级地震震源机制解  
Fig.4 Focal mechanism solution of the  $M_L$  2.8 earthquake in Ruyuan area

个地震至少有 4 个台站记录到  $P_g$  和  $S_g$  走时数据。

(2) 去除走时数据中离散的震相数据(距走时曲线最佳拟合线较远的数据)。

(3) 同一台站  $S_g$  波和  $P_g$  波走时差  $\Delta t \leq 20$  s, 计算出的视速度基本代表了距震中约 180 km 内的介质平均物性, 经过初步筛共有 176 个地震符合要求。

经波速比计算获得乳源震群发生前平均波速比 1.695(均方差 0.019), 将该值作为该区域的正常背景值, 而本次震群波速比均值为 1.682(均方差 0.025), 低于正常背景值, 乳源震群后期波速比逐渐趋近于平均波速比(图 5)

表 2 乳源  $M_L$  2.8 级地震震源机制解

Table 2 Focal mechanism solution of the $M_L$ 2.8 earthquake in Ruyuan area						P 轴		T 轴		B 轴	
节面 1			节面 2			P 轴		T 轴		B 轴	
走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	走向/(°)	仰角/(°)	走向/(°)	仰角/(°)	走向/(°)	仰角/(°)
333.04	46.03	-54.04	96.78	54.37	-121.37	308	64.54	208.4	4.53	116.31	25

乳源地震发生前, 地震主要集中在南水水库附近。水库蓄水后由于水库渗流水冲击岩石裂隙, 降低了岩石面上的正应力和剪切强度, 使得水库区平均波速比高于附近非水库区波速比, 因此推测本次乳源震群不是水库诱发地震。

**4.3 视应力和应力降**

地震视应力<sup>[7]</sup>是表征震源区应力水平的物理量, 地震视应力可作为区域绝对应力水平的下限估计<sup>[8]</sup>, 其定义为:

$$\sigma_{app} = \mu \frac{E_s}{M_0}$$

(1)

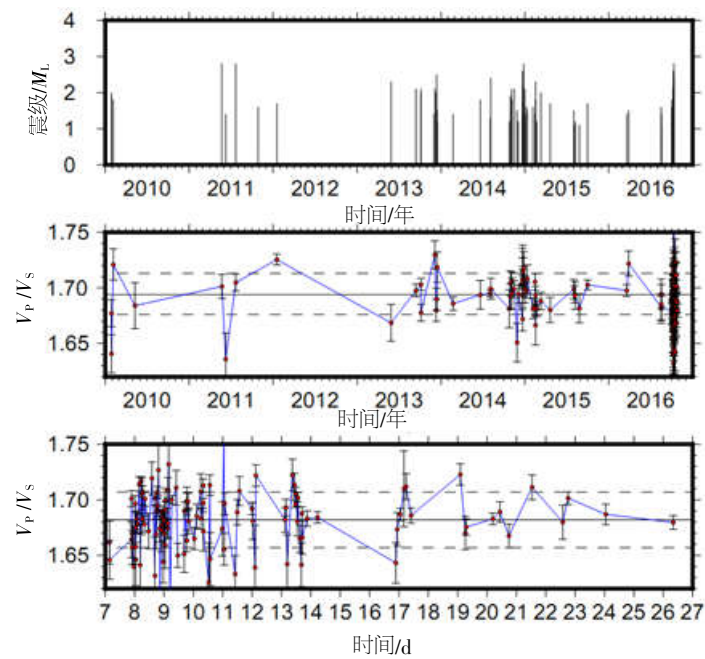


图 5 乳源地区  $M$ - $T$  图及波速比时序图  
Fig.5  $M$ - $T$  map and wave velocity ratios variation in Ruyuan area



式(1)中： $E_s$ 为地震波辐射能量； $M_0$ 为地震矩； $\mu$ 为震源区介质剪切模量，通常取  $3.0\times 10^4$  MPa。 $E_s$ 与  $M_0$ 之比表示单位地震矩辐射出的地震波能量。 $\sigma_{app}$ 值越高，表明震源区应力水平越高。研究表明，在一些强震前，如汶川地震和芦山地震，震源区均出现过中等地震视应力偏高现象<sup>[9-11]</sup>。

本文选取离震群中心约 100 km 范围内台站记录波形较好的资料求取视应力和应力降，并取 2010—2015 年乳源地震  $M_L>2.0$  级视应力平均值 0.32 MPa 及应力降平均值 0.12 MPa 作背景值，将本次震群  $M_L>2.0$  级地震应力降及视应力(表 3)与背景值相比，发现二者基本接近，本次应力降和视应力略小于背景值。而 2004 年阳江 4.9 级、2012 年和 2013 年新丰江 2 次 4.8 级震前应力降均最高达 2 MPa。本次乳源震群最大应力降为 0.861 MPa，平均约 0.308 MPa，属于低应力降。视应力最大为 0.351 MPa，平均为 0.114 MPa，属低应力背景，表明本次震群活动是在弱挤压应力背景下发生的，后期发生中强地震的可能性不大。

5 震群与南水水库地震活动比较

乳源地区有一南水水库，该水库建于珠江系北江的支流南水河上，是 1958 年动工修筑的大型水库，水库呈狭长形，南北走向，高 81.5 m (包括防浪墙)，正常水位高度为 220 m，控制面积为 608 km<sup>2</sup>，总库容为 12.15 亿 m<sup>3</sup>，库区及其所在的乳源县历史上无强震记录，但自 1969 年 2 月水库蓄水后，库区出现了较频繁的地震活动<sup>[12-14]</sup>，1998 年 1 月 3 日南水水库西侧发生  $M_L$  3.7 级地震，随后在 3 月 4 日又发生  $M_L$  3.3 级地震，但期间无震群活动现象。2000 年之后，该区开始出现水库震群活动(图 6)，水库震群主要发生时段为 2000—2003，2005—2007 和 2013—2015 年(图 7)。其中 2000—2003 年  $M_L\geq 1$  级地震频次为 87 次，期间地震最为密集的时段为 2002 年 5 月至 7 月，共发生  $M_L\geq 1$  级地震 67 次，地震主要位于水库南东，呈北西向展布；2005—2007 年  $M_L\geq 1$  级地震频次为 21 次，地震主要位于水库北部区域，分布较分散；2013—2015 年  $M_L\geq 1$  级地震频次为 50 次，地震密集分布在水库区西侧。

表 3 乳源震群  $M_L>2.0$  级地震应力降及视应力  
Table 3 Stress drop and apparent stress of the  $M_L>2.0$  earthquakes of Ruyuan swarm

时间	地点		震级	应力降/MPa	视应力/MPa
	经度/(°)	纬度/(°)			
2016-10-07 21:48	113.11	24.51	2.2	0.113	0.041
2016-10-07 21:49	113.10	24.51	2.1	0.112	0.040
2016-10-08 01:44	113.11	24.52	2.0	0.102	0.037
2016-10-08 05:25	113.10	24.51	2.1	0.123	0.043
2016-10-08 06:05	113.10	24.51	2.4	0.335	0.155
2016-10-08 08:06	113.11	24.51	2.6	0.678	0.265
2016-10-08 14:10	113.09	24.52	2.0	0.097	0.032
2016-10-08 18:12	113.10	24.52	2.0	0.101	0.034
2016-10-08 23:20	113.11	24.51	2.6	0.725	0.321
2016-10-09 03:22	113.10	24.52	2.5	0.625	0.213
2016-10-09 11:13	113.10	24.52	2.4	0.333	0.101
2016-10-09 18:36	113.10	24.51	2.2	0.183	0.066
2016-10-09 18:37	113.10	24.52	2.5	0.434	0.112
2016-10-09 19:30	113.11	24.52	2.4	0.358	0.109
2016-10-10 08:07	113.10	24.52	2.8	0.861	0.351
2016-10-11 23:52	24.51	113.11	2.0	0.136	0.041
2016-10-13 11:24	24.53	113.10	2.1	0.118	0.056
2016-10-20 17:49	24.96	113.22	2.0	0.101	0.035
平均				0.308	0.114

2016 年 10 月 1 至 26 日乳源震群共计  $M_L\geq 1$  级地震 183 次，远大于历次震群活动的地震频次，此次震群远离水库区，在距离南水水库以南 23 km 的乳源大布镇密集发生，并沿北西向密集展布(图

3)，地震分布长轴约 5 km，短轴约 2.4 km，平均深度为 8.15 km，10 月 7 至 13 日地震深度主要集中在 7~9 km，而 16 日之后地震深度主要集中在 8~9 km(图 2c)，与之前南水水库区震群活动差异较大。

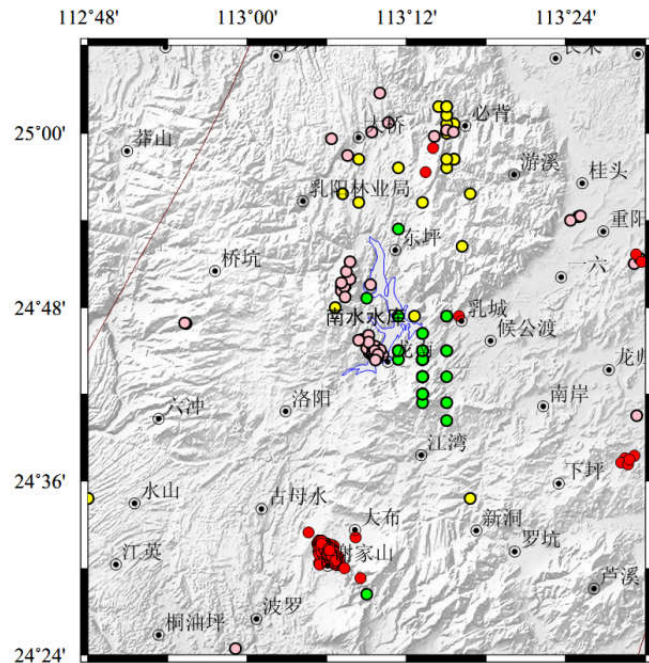


图 6 乳源地区 4 个地震活动时段的震群震中分布图

Fig.6 Epicenter distribution of swarms at four seismic active time interval in Ruyuan area

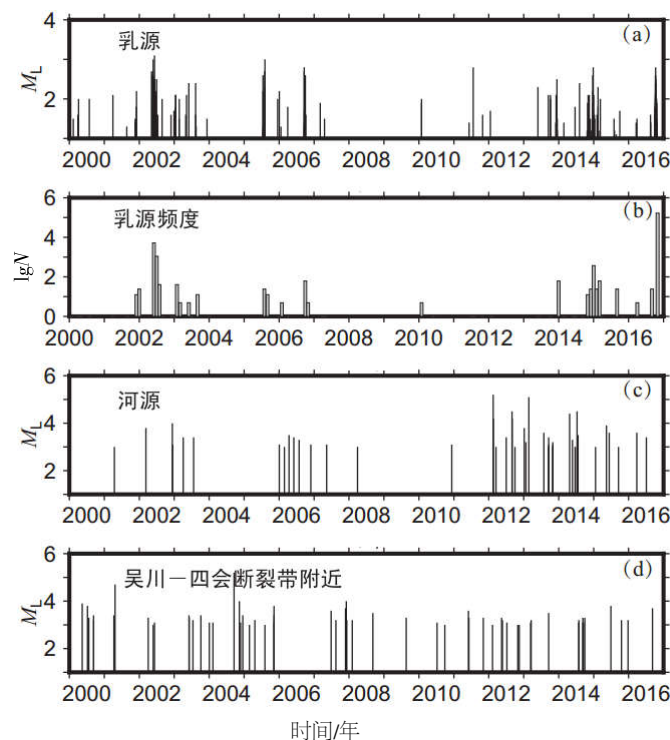


图 7 2000 年以来乳源地区  $M_L>1.0$  级地震  $M-T$ (a)、月频次图(b)与河源(c)及吴川-四会断裂带附近(d) $M_L>3.0$  级地震  $M-T$  图  
Fig.7  $M-T$  map(a), monthly frequentness map(b) of  $M_L>1.0$  earthquakes in Ruyuan area,  $M-T$  map of  $M_L>3.0$  earthquakes in Heyuan(c) and the area near Wuchuan-Sihui fault(d)from 2000

6 结语

此次乳源震群活动与以往水库震群活动不同，位于南水水库南部 23 km 处，与水库之间有大山相隔，目前未发现与水库直接连通的活动断裂，

近期南水水库水位无明显变化，乳源震群平均波速比低于水库震群波速比背景值，初步判断此次震群活动为非水库诱发地震，印证了近年来东南沿海地区地震活动的一个重要特征，既地震活动

由水库区向非水库区转移或扩展,是东南沿海地震带地震活动进一步增强的表现。从 2012 年广东东源 4.8 级地震以来,东南沿海地震带的地震活动呈增强趋势,2016 年 6 月以来,随着福建漳浦海域 3.8 级地震、湖南多次 3 级地震、广西苍梧 5.4 级地震、平远震群、广东新兴 3.1 级等地震的发生,广东省及其周边的地震活动进一步增强,省内北东向的大断裂几乎都发生过 3 级以上地震活动或小震群,乳源震群是整体地震活跃背景下的一处地震活动。

在现场调查过程中,对区域相关的地质构造进行了考察和资料收集,结合地震分布总体沿北西向沟谷展布的特征,推测从震中区到英德市望埠镇存在北西向隐伏断裂(图 1),此断裂对应的地形存在明显的突变带,西段(图 1 虚线)东北侧为山地,西南侧为盆地,东段(图 1 实线)表现为负地形,可能是北西向断裂活动的结果;北东流向的北江在望埠镇附近突然由北东向转为北西向,可能是断裂控制的结果;此外温泉呈线性排列分布,从望埠镇往北西直至震群区,延伸 50 km,推测北西向断裂成为温泉热流的通道。根据温泉开采勘测报告,区内存在若干北西向断裂,可能是北东向吴川-四会断裂带的共轭构造,其中奇洞温泉钻探剖面揭示的北西向断裂走向  $310^\circ$ ,倾向南西,倾角  $47^\circ$ ,断面发育斜向擦痕,并出现滑石化现象,这与乳源  $M_L$  2.8 级地震震源机制解北西向节面揭示的左旋走滑正断性质相一致。沿此断裂带附近 10 km 内,历史上发生过 8 次  $M_L$  3~3.9 级地震,并分别于 1643、1839 和 1996 年发生过 3 次  $M_L$  4~4.9 级地震(图 1)。

此外,乳源地区震群活动与吴川-四会断裂带和河源水库区  $M_L$  3.0 级以上地震有一定的对应关系。本次震群活动前(2016 年 6 月),吴川-四会断裂带上的韶关曲江地区亦出现过微震活动,今年 9 月 6 日云浮新兴发生了  $M$  3.1 级地震。根据乳源震群沿北西向沟谷展布的特征、主震震源机制解北西向节面的左旋走滑正断性质,结合地质构造背景及现场调查结果,推测从震中区到英德市望埠镇存在走向  $310^\circ$ ,倾向南西,倾角  $47^\circ$  的隐伏断裂,此断裂可能为乳源震群发震构造,推测该隐伏断裂是北东向吴川-四会断裂带的共轭构造,因此乳源震群现象与近年来吴川-四会断裂活动增强有密切关系。

致谢:感谢广东省地震监测中心林伟、韶关市地震局李培元、乳源县国土局及大布镇国土所

曹瑜、大布镇国土所秦细元在野外调查和地质资料获取方面提供的帮助,感谢审稿专家提供的宝贵意见。

## 参考文献:

- [1] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1988.
- [2] 马海毅. 广东阳山电厂及其邻区断裂特征与活动性研究[D]. 广州:中山大学, 2002.
- [3] 魏柏林. 广东省地震构造概论[M]. 北京:地震出版社, 2000.
- [4] 邹和平, 黄玉昆, 王建华, 等. 四会-吴川断裂带新构造时期的活动特征[J]. 逻辑学研究, 1992 (1): 40-51.
- [5] Snoke J A, Munsey J W, Teague A G, et al. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data [J]. Earthquake Notes, 1984, 55 (3): 15.
- [6] Snoke J A. Earthquake mechanisms [M]. Geophysics, Springer US, 1989.
- [7] Wyss M, Brune J N. Seismic moment, stress, and source dimensions for earthquakes in the California - Nevada region[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1968, 73 (73): 4 681-4 694.
- [8] 吴忠良, 黄静, 林碧苍. 中国西部地震视应力的空间分布[J]. 地震学报, 2002, 24 (3): 293-301.
- [9] 易桂喜, 龙锋, Vallage A, 等. 2013 年芦山地震序列震源机制与震源区构造变形特征分析[J]. 地球物理学报, 2016, 59 (10): 3 711-3 731.
- [10] 易桂喜, 龙锋, 张致伟, 等. 长宁震地震与四川邻区  $M \geq 5.5$  地震的对应关系[J]. 地震研究, 2013, 36 (4): 427-432.
- [11] 易桂喜, 闻学泽, 辛华, 等. 2008 年汶川  $M_s$  8.0 地震前龙门山-岷山构造带的地震活动性参数与地震视应力分布[J]. 地球物理学报, 2011, 54 (6): 1 490-1 500.
- [12] 肖安予. 南水水库地震及其发展趋势[J]. 华南地震. 1990, 9 (2): 68-77.
- [13] 官会玲. 越西盆地晚第四纪构造活动的初步认识[J]. 华南地震, 2016, 36 ((01): 49-58.
- [14] 官会玲, 冉勇康. 基于 DEM 的垂直位错分析-以安宁河断裂为例[J]. 华南地震, 2015, 35 (04): 71-76.