

华南地区流体地震预测指标建立、应用和反思^{*}

廖丽霞, 秦双龙, 洪旭瑜

(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要: 为提高华南地区流体地震预测水平和实效, 在中国震例及日常工作经验积累的基础上建立华南地区流体地震预测指标体系, 并在日常震情跟踪工作中进行检验, 以2019年广西北流5.2级地震为例, 对该指标体系的异常与干扰及会商机制等进行反思。结果表明: ①指标体系中的空间指标、地球化学指标存在应用的局限性; 基于 $M_L 4.5$ 震例基础上建立的震级强度指标在震级的判定上存在一定的偏差; ②任何单一的预测指标用于地震预测时, 都应根据不同区域特点, 并结合多测项及其它学科资料进行综合判定, 才能得到更为准确的判定结果; ③空间分析不能只关注一条断裂带, 应从更大的区域范围对成组断裂带进行分析; ④地震异常和干扰有时是共生或伴生关系, 不能因周围有干扰就直接否定其构造成因; 异常分析不能仅局限在省域范围, 应加强片区内各省学科间的交流协作, 搭建一个可以充分勾通、交流的平台。

关键词: 华南地区; 流体地震预测指标体系; 北流地震

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2020)02-0310-10

0 引言

为深化会商制度改革, 不断完善、提高震例总结的水平和实效, 中国地震局监测预报司对流体、测震、电磁、形变四大学科开展了地震预测指标体系清理工作, 目前四大学科都在建立各自的指标体系。2015年流体学科就率先开展了这项工作, 在分片区梳理异常特征库、典型干扰库的基础上建立了预测指标体系。冯志生等(2019)依托统一的电磁学机理, 应用多种方法探讨全国范围地磁日变化与地震三要素的关系, 在此基础上建立地震地磁预测指标体系。王俊等(2016)基于《中国震例》系统分析了强震前川滇地区地下流体异常特征, 对该区时空强三要素的预测指标进行了探讨; 随后王俊等(2018a, b, 2019)又基于华北、安徽地区的中强震震例, 系统分析了地震前后流体异常信息特征, 初步构建了该区流体预测指标体系。还有专家从地震预测指标体系的建设方法上做了探讨, 如付虹等(2019)从孕震模型的角度出发, 指出中国大陆流体异常预测指标体系的建设应根据不同孕震机理区别对待。目前对已建地震预测指标体系的验证和反思方面

的工作还不多见, 且自2016年华南地区流体地震预测指标体系建立以来, 已在华南地区震情跟踪工作中应用了3年, 对地震的判定有成功也有失败的案例, 尤其是2019年10月12日广西北流5.2级地震的发生, 暴露了其不足。因此, 本文对华南地区流体地震预测指标体系的建立及其在应用过程中存在的问题进行反思, 以便能更好地对华南地区的震情进行跟踪, 对未来地震进行更为科学、客观的预判。

1 地震及流体观测台网概况

1.1 地震概况

华南地区是一个相对少震、弱震区, 主要以4级地震为主。2001—2019年该区内发生的5级以上地震仅5次, 分别是2005年11月26日九江—瑞昌5.7级地震、2016年7月31日广西苍梧5.4级地震、2018年11月26日台湾海峡6.4级地震、2019年10月12日广西北流5.2级地震和2019年11月25日广西靖西5.2级地震, 其中最大地震是2018年台湾海峡6.4级地震。华南地区发生 $M_L \geq 4.0$ 地震的概率也很低, 2001—2019年年均只有5.79次, 如果同一震群 $M_L \geq 4.0$ 地震按一次地震

^{*} 收稿日期: 2019-11-27.

基金项目: 2019年度国家重点研发计划“大用户地震科普与行为指导新媒体平台研发”重点专项(2019YFC1509404)和2020年度震情跟踪定向工作任务(202001010)共同资助。

事件统计，则年均只有 3.74 次。具体的地震情况详见表 1。

表 1 2001—2019 年华南地区 $M_L \geq 4.0$ 地震事件统计
Tab. 1 Statistic of $M_L \geq 4.0$ earthquakes
in South China from 2001 to 2019

$M_L \geq 4.0$			$M_L \geq 4.0$		
年份	地震 次数	同一震群 $M_L \geq 4.0$ 地震按 1 次 地震事件统计	年份	地震 次数	同一震群 $M_L \geq 4.0$ 地震按 1 次 地震事件统计
2001	5	4	2011	2	2
2002	2	2	2012	6	3
2003	3	3	2013	8	5
2004	8	6	2014	4	3
2005	10	6	2015	7	4
2006	3	3	2016	6	6
2007	8	6	2017	5	4
2008	5	2	2018	15	5
2009	1	1	2019	10	4
2010	2	2	平均	5.79	3.74

1.2 流体观测台网概况

截至 2019 年 11 月，华南地区正常运行的流体观测项共有 200 项，观测台站 80 多个，其中观测台站最多的省份是福建和广东省，均在 20 个以上。全区观测站最多的测项是水位（共 76 个），其次是水温（共 75 个），水氦（7 个），水质（6 个），气氦（4 个），气汞（2 个），气体（1 个）。华南地区的观测台站多是综合观测站，一个观测台站同时拥有多个观测项目，其中水位、水温综合观测站最多；少数观测台站为氦及水质、气体综合观测站。华南地区流体观测井空间分布情况详见图 1。

2 流体地震预测指标体系建立和应用

为了便于分析，作如下定义：华南地区指福建、广东、广西、海南、江西、湖南六省及邻近海域；短期指 3 个月以内，中期指 3 个月至 1 年，长期指 1 年以上；地球化学测项指地下水中的气体含量（如氦、汞、氢、氦、氮、甲烷、二氧化碳及气体总量等）、水质（ F^- ， Ca^{2+} ， Cl^- ， HCO_3^- ， Mg^{2+} ，水溶性 SiO_2 浓度）等化学量；地球物理测项指地下水中的物理量观测项目，如水位、水温、流量等。华南地区数字化观测是从 2000 年以后才逐渐发展起来的，因此本文主要对 2001—2019 年该区内的地震及观测资料进行分析。

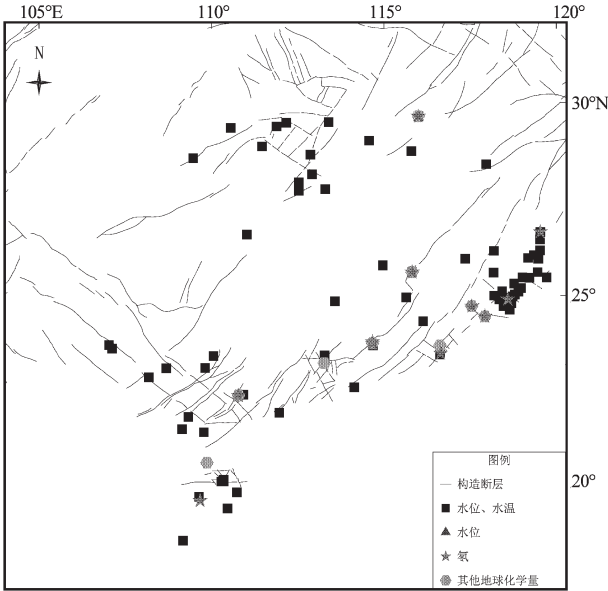


图 1 华南地区流体观测井空间分布图
Fig. 1 Spatial distribution map of fluid
observation wells in South China

华南地区流体地震预测指标体系是基于《中国震例》之华南历史震例统计分析及流体台网监测效能和预报效能评估的基础上，并充分考虑流体本身的特色及华南地区的区域特色完成的。通过对《中国震例》中华南地区的 14 个震例（1966—2012 年）（张肇诚，1988，1990a，b，1999；陈棋福，2002a，b，c；蒋海昆，2018）分析，发现该地区流体异常表现为以下特征：①流体前兆异常不遵循震级越大异常数量越多、震级越大震中距越远的常规，它们之间没有固定的关系；②优势震中距范围为 60 ~ 250 km；③流体异常持续时间及异常出现后半年内发震的比例占多数，是优势发震时段；④地球化学测项映震效能大大优于地球物理测项，是该地区的特征灵敏组分（廖丽霞等，2019）。本文将以上特征作为提取华南地区流体地震预测指标体系主要依据。由于在水温日常观测中没有提取到可靠的震例，所以无法提取指标；水位日常观测频繁受观测技术系统、降雨、基建、抽水等干扰，在地震频度、强度较小的华南地区难以提取到具有普适性的临震及短临异常，只能更多地从原始动态、趋势动态和同震响应及震后效应方面进行分析，提取普适性指标；氦和水质对中、小地震反应较为灵敏，为该区特征灵敏组分，是华南地区较好的时间指标。

根据各测项的特点,华南地区流体预测时间指标以氡、水质为主,水位为辅,同时对效能评估好的水化学资料重点分析进行提取;空间指标以水位为主,化学量为辅,从点、线、面展开分析并加以提取。提取原则为:提取地震前表现出较高重现率的前兆标志性异常,同时其漏报率和虚报率尽可能低,虚报率至少应低于 50%,且至少对地震三要素之一具有较为明确的指示意义。

2.1 时间预测指标

时间预测指标主要从具体观测点的具体测项提取,按预测时间的长短分为短期、中期、长期。分析测项以氡和水质为主,根据地震的最佳对应效果确定判据,当达某阈值多次对应地震,这个阈值作为异常判定标准;出现某特征后多次对应地震,则这个特征就作为异常判定标准。华南地区有 4 口井的氡和水质映震效能较好,分别是华安汰内井、黄子洞井、厦门东孚井、宁德井。当华安汰内井出现气温平稳、水氡震荡这一异常后,与该井周围 250 km 范围内 $M_L \geq 4.5$ 地震有很好的对应关系,发震时间多数在异常出现后 1 个月左右,这项异常作为短期预测指标进行提取;当华安汰内井水氡出现隔年原始数据月均值之差 ≥ 4 Bq/L 这一异常后,与台湾地区 7 级以上地震有很好的对应关系,发震时间多数在异常出现后一年左右,这项异常作为长期预测指标进行提取;华安汰内井和厦门东孚井的水质、宁德井的气氡超出经验阈值时,与井孔周围 250 km 范围内 $M_L \geq 4.5$ 地震有较好的对应关系,发震时间一般在异常出现后半年左右,这作为中期预测指标进行提取。

根据历史震例,这些指标虽然也具有空间的指示意义但指示意义较弱,范围较大,一般在异常井周围 250 km 范围内。

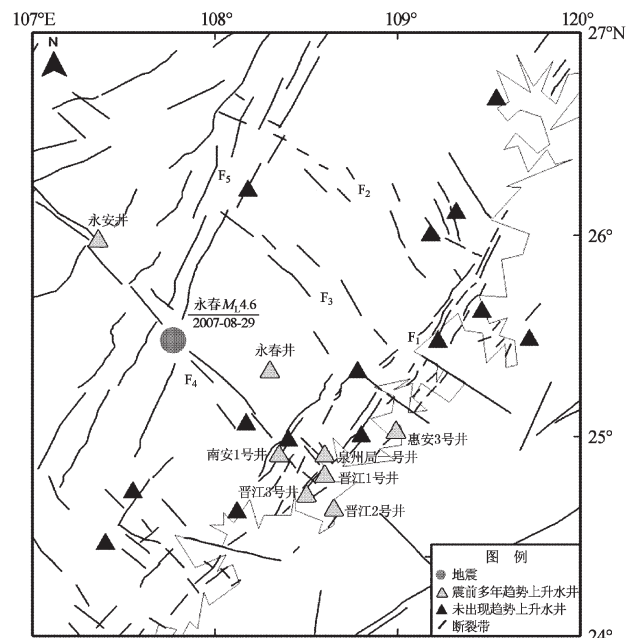
震情跟踪工作中,2013 年 3 月应用华安汰内井和厦门东孚井 F^- 高值异常这一中期预测指标对同年 9 月的仙游 $M_L 5.0$ 震群做出过较为准确的预测(廖丽霞等,2019)。2016 年以来,利用华安汰内井隔年原始数据月均值之差提取到异常,预测中国台湾地区会发生 7 级地震,实际在中国台湾地区只发生了 6.7 级地震、台湾海峡发生了 6.4 级地震,其它指标均未提取到中短期异常,据此在 2016—2019 年度华南地区的会商报告中做出的广东、福建区域下一年度无 $M_L \geq 4.5$ 地震的判定均符合实际情况。

2.2 空间预测指标

从预报评估等级、观测仪器运行情况、观测资料评价情况、各测项主要干扰因素对华南地区水位观测资料进行调研。因水位资料干扰因素较多,且该区地震强度小、前兆信息弱,临震及短临、短期震例较少,为最大限度地应用观测资料,本文尝试应用水位趋势动态、同震响应动态来提取水位趋势动态、同震响应场的异常信息,探讨其与地震的相关性,以期对未来地震做出一定程度的预测。由于预测地震的时间较长,一般是 0 ~ 3 年,地点预测指标只能是一个时间上的长期预测指标,在时间上的预测意义大大弱于空间。

2.2.1 线性地点指标

线性地点指标主要对处于同一构造带上的观测井的水位多年趋势动态进行分析。在福建地区取得多个震例的基础上推广至华南地区,通过对华南地区多个震例分析、总结认为:同一构造带上多井水位(准)同步出现多年趋势上升(一般持续 2 年以上),可以作为该断裂带未来发



F_1 : 长乐—诏安断裂; F_2 : 南平—福州断裂; F_3 : 沙县—南日岛断裂; F_4 : 永安—晋江断裂; F_5 : 政和—海丰断裂

图 2 2007 年 8 月 29 日永春 $M_L 4.6$ 地震前水位趋势动态水井空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution map of water wells about multiyear trend of water level before the Yongchun $M_L 4.6$ earthquake occurred on Aug. 29, 2007

生中强地震的地点指标。如2007年永春 $M_L4.6$ 地震是在永安—晋江断裂带上多井水位出现同步趋势上升的背景下发生的。2007年8月29日永春 $M_L4.6$ 地震前，在永安—晋江断裂带这一发震构造带上，多井水位从2004年开始呈同步或准同步趋势上升，而同期其它断裂带上的水位则未出现趋势上升现象，地震后水位逐渐恢复到正常值或稳定在高值，如图2、3所示。同样，2013年仙游

$M_L5.0$ 地震是在长乐—诏安断裂带多井水位同步趋势上升的背景下发生的，2005年平果 $M_L4.8$ 地震、2013年平果 $M_L4.9$ 地震、2017年靖西 $M_L4.6$ 地震、2019年北流 $M5.2$ 地震、靖西 $M5.2$ 地震都是在百色—合浦断裂带多井水位同步趋势上升的背景下发生的。早在2013年的震情跟踪工作中，笔者曾应用该指标对仙游 $M_L5.0$ 震群做出较为准确的空间预判。

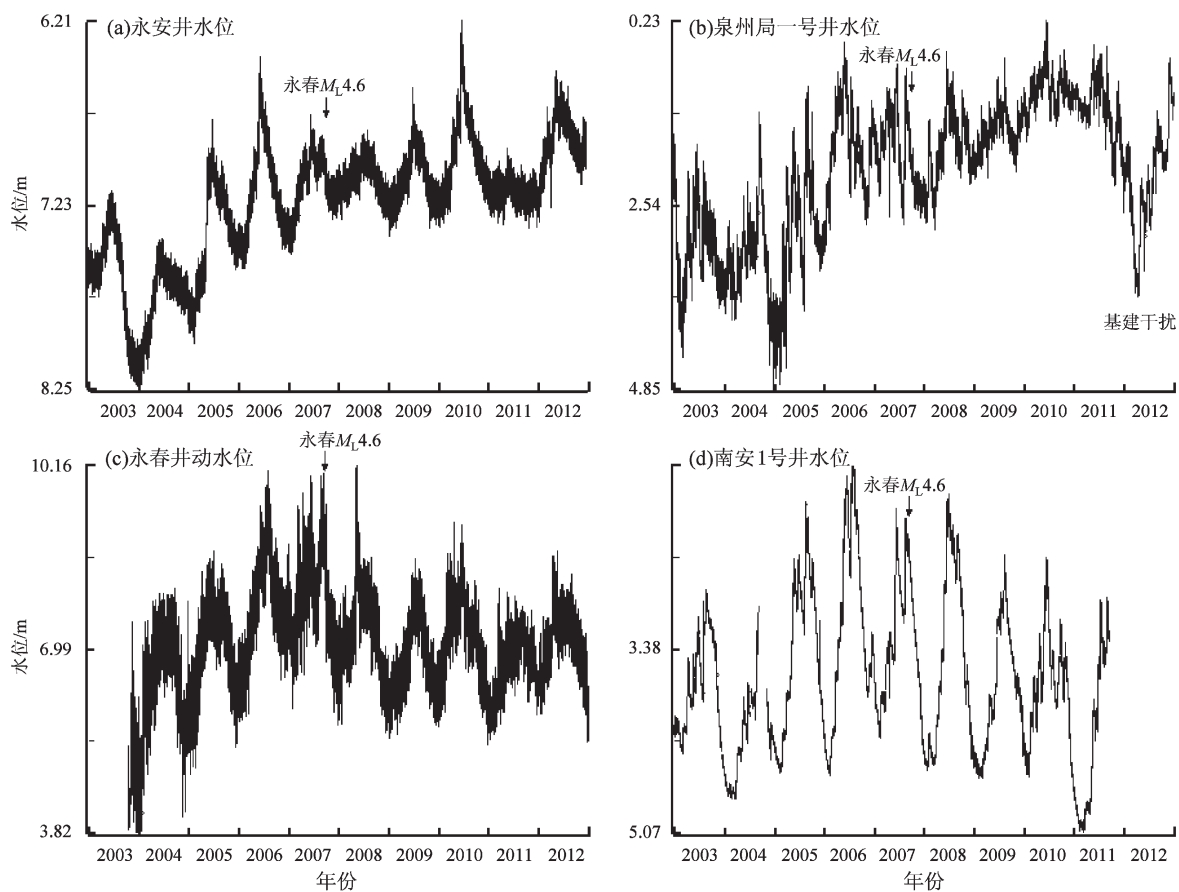


图3 2007年8月29日永春 $M_L4.6$ 地震前多井水位多年趋势上升典型动态图

Fig. 3 Typical curve chart of water wells about multiyear rising trend of water level before and after the Yongchun $M_L4.6$ earthquake occurred on Aug. 29, 2007

震情跟踪工作中，在2017年度华南地区流体会商报告中，利用百色—合浦断裂带多井水位趋势上升对2017年靖西 $M_L4.6$ 地震做出过较为准确的年度趋势预测判定；2019年度和2020年度在华南地区流体学科会商报告中均指出百色—合浦断裂带及邻近区域存在发生 $M_L4.5$ 地震的可能，结果分别在2019年10月12日发生了北流5.2级地震、2019年11月25日发生了靖西5.2级地震。

2.2.2 面状地点指标

面状地点指标主要是围绕水位同震响应场展开分析。华南地区的震例分析显示当多个水位并对同一次全球8级大震的同震响应表现为阶升形态，且围成一定的空间区域范围时，预示未来3年内多个水位同震阶升并围成的空间区域内可能发生 $M_L \geq 4.0$ 地震，一般在引起水位出现阶升的世界巨震发生后2年内发生地震。2006年北部湾 $M_L4.5$ ，2007年顺昌 $M_L4.9$ ，4.7，永春 $M_L4.6$ 地

震是在 2004 年印尼 8.7 级地震水位同震响应阶升并集中区内发生的; 2008 年长泰 $M_L 4.7$ 地震是在 2008 年汶川 8.0 地震水位同震响应阶升并集中区内发生的; 2011 年北部湾 $M_L 4.1$, 2012 年河源 $M_L 5.1$ 地震, 2013 年仙游 $M_L 5.0$ 地震是在 2011 年日本 9 级地震水位同震响应阶升并集中区内发生的^①。2015 年 4 月 25 日尼泊尔 8.1 级地震引起全区大范围的井出现阶升变化, 该现象在全区也是较少见的, 随后的 2015—2016 年华南地区发生了 11 次 $M_L \geq 4.0$ 地震, 最大为广西苍梧 5.6 级地震, 如图 4 所示。分析认为这种大范围的水位同震阶升响应跟区域应力增加可能有一定的关联。笔者曾应用该指标对长泰 $M_L 4.7$ 地震、仙游 $M_L 5.0$ 震群的发震空间位置做出了较为准确的预判。

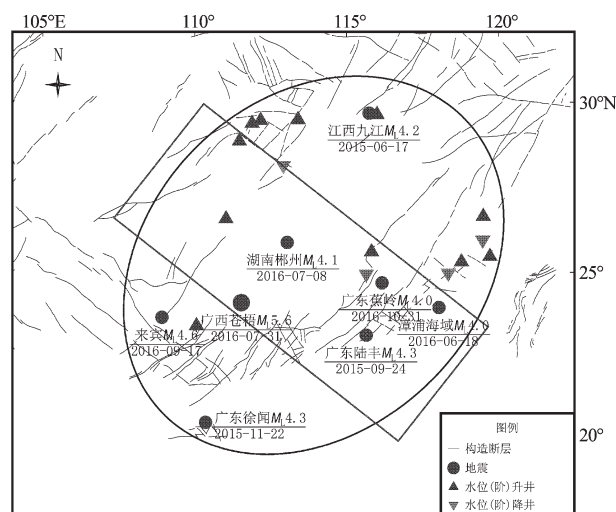


图 4 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 8.1 级地震引起
华南地区水位同震阶升井及后继
4 级以上地震空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution map of water level observation wells in South China area which water level rising at seismic stage of the Nepal $M 8.1$ earthquake occurred on Apr. 25, 2015 and $M_L \geq 4.0$ earthquakes occurred after the mainshock

笔者曾在水位观测井较为密集的福建地区对水位震后效应场和形变应力场等前兆场的空间变化规律与福建地区地震的相关性进行分析, 结果显示福建多次 $M_L 4.5$ 地震孕育过程均伴随着形变

应力及水位震后效应的成场。2007—2008 年上半年, 福建地区水位同震阶升区、压应力场主要分布在郑和—海丰断裂带及长乐—诏安断裂带北段, 而 2007—2008 年上半年福建地区发生的地震, 如 2007 年 3 月 13 日顺昌 $M_L 4.9$, 4.7 地震、2008 年 3 月 6 日古田 $M_L 4.8$ 地震就发生在水位同震阶升和压应力场集中的区域。2008 年下半年, 福建地区的水位同震阶升区、压应力场集中区均转移到闽南地区, 2008 年 7 月 5 日长泰 $M_L 4.7$ 地震同样发生在水位同震阶升区和压应力场集中的区域 (廖丽霞等, 2011)。这也从一个侧面验证了水位同震阶升区确实与区域应力增强有关, 是未来地震可能的危险区。

近几年, 笔者尝试将上述地震预测指标应用于华南地区日常震情跟踪工作及年度会商工作中, 通过分析全球 8 级地震是否引起华南地区水位同震响应的动态变化特征, 判定华南地区未来的地震趋势。2016 年以来全球共发生 4 次 8 级地震, 2016 年 11 月 13 日新西兰 8.0 级地震、2017 年 9 月 8 日墨西哥 8.2 级、2018 年阿拉斯加湾 8.0 级地震、2018 年 8 月 19 日斐济群岛 8.1 级地震, 全区水位井没有出现多井同震阶升的现象, 仅长沙井在阿拉斯加湾 8.0 级地震前出现单井同震阶升, 其它井同震响应的动态均是水震波或没响应, 据此在 2017, 2018, 2019 年度会商时认为从面上分析华南地区不存在应力高度集中的大面积空间区域, 判断下一年度华南地区发生 $M_L \geq 4.5$ 地震的可能性较小, 实际结果除广西地区外其它地区确实十分平静, 没有发生 $M_L \geq 4.5$ 地震。

3 反思

2016 年广西苍梧 5.4 级地震和 2019 年 10 月 12 日北流 5.2 级地震、11 月 25 日靖西 5.2 级地震是在面上区域没提取到空间异常、周围 250 km 内地球化学指标没提取到前兆异常的情况下发生的, 这暴露了华南地区流体地震指标体系的不足。尤其是 2019 年广西北流 5.2 级地震, 其震中位置周边分布有许多流体观测点, 对此做如下反思。

① 华南地区地震预报指标体系清理工作小组. 2017. 华南地区地震预报指标体系清理工作报告 (修改版): 74—77, 79—86.

3.1 关于区域性

由于华南地区地震震级小而少,线性地点指标是在4级以上地震的震例基础上提取的,习惯于关注较小的空间区域,如只是一条、一条断裂带地扫描,只要同一条断裂带上多口井水位没有出现趋势上升就认为该断裂带是安全的。在北流地震300 km范围内共有16个水位观测站,其中三水、信宜、罗屋、石埠、九塘、海口、向荣、火山8口井的水位在震前有持续3年以上的趋势上升,如图5,6所示。另外北海、桂平、阳西3口井的水位从2018年开始也呈趋势上升,其中北海、桂平井2018年还同步出现水位破年变高值异常。所有这些井多分属不同断裂及3个不同省份,但均分布在震中300 km范围内。因此,有理由认为中强地震受力范围更广,应该从更大的范围跨不同断层来分析。如果一定的空间范围内多口井出现水位趋势上升,则这些井围成的空间区域亦存在发生中强地震的可能,不应只把注意力集中在某条断裂带上,而应关注同一方向的成组断裂带。

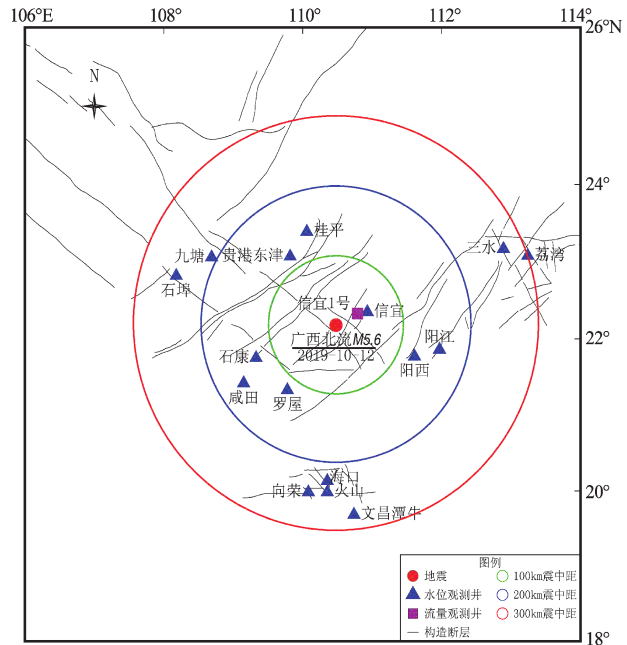


图5 北流地震300 km范围内水位观测井空间分布图
Fig. 5 Spatial distribution map of water level observation wells less than 300 km of the Beiliu earthquake

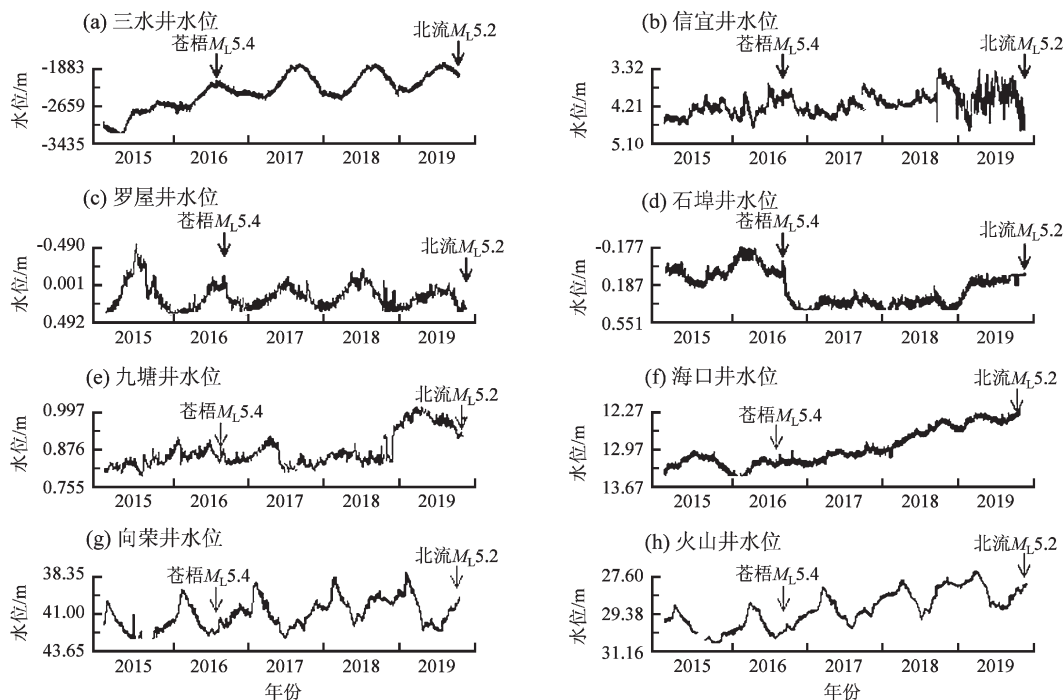


图6 北流地震300 km范围内多井水位多年趋势上升动态图

Fig. 6 The water level multi-year trend rising dynamic map of wells less than 300 km of the Beiliu earthquake

3.2 关于异常与干扰

广西省地震局在2019年5月22日发现北海井(震中距约为166 km)水位出现破年变异常,2次

到现场进行异常核实。该井距海岸线约1.5 km,村民反映近两三年民用井水口感变咸,且北海井水样测试结果表明,观测井水盐度较高,

为溶滤卤水,说明井孔深部含水层受到海水倒灌影响^①。虽给出的结论认为北海井水位破年变上升的现象在一定程度上是由构造运动引起的,反应了区域应力的变化,应作为地震异常进行跟踪,但无法给出较高的异常信度。同样的海口井(震中距 239 km)、向荣井(震中距 243 km)、火山井(震中距 242 km)的水位趋势上升也因周边存在大范围的抽水干扰,异常核实被定性为抽水干扰^②;石埠井(震中距 249 km)也因 2019 年 8 月 4 日井壁破裂、井水溢出,观测技术系统受损而取消这项水位趋势上升年度异常。

那么会不会有这种可能:北海区域水井海水的混入本身就是因震前应力加剧产生各种新的裂隙或促使微裂隙扩张引起的呢?有可能干扰其实是构造运动一因多果的产物。而石埠井井壁破裂本身有可能就是构造运动导致的?海南的 3 口水位趋势上升井虽有抽水的干扰,但在趋势上升过程中在 250 km 范围内相继发生了雷州 4.1、北流

5.2 级地震,那么是否可以认为这些井水位的趋势上升也包含区域应力增强的成分呢?毕竟大自然是一个复杂的系统,不会有那么绝对的干扰和地震前兆的界限,况且同在 250 km 范围内还有 5 口井出现同步或准同步趋势上升,它们并不存在干扰。另外北流地震前还存在海口、北海、桂平 3 口井水位的破年变异常现象。因此今后异常核实是否需要从更大、更广的空间范围跨省来对比分析,而结论是否应该更充分地考虑更多方面的因素,而不能因周边有干扰因素就直接否定其构造成因呢?如果异常具有空间性,虽此处存在干扰但它处不存在干扰是否可以加大其地震前兆的异常信度呢?日常震情跟踪仅从一个省的资料孤立地分析是否会限制其空间的广度,而无法客观全面的进行判定?

3.3 关于地球化学量指标在异常核实中的应用

取水样进行水质全分析或土壤气测量是目前流体观测在异常核实中判定异常是否是构造成因

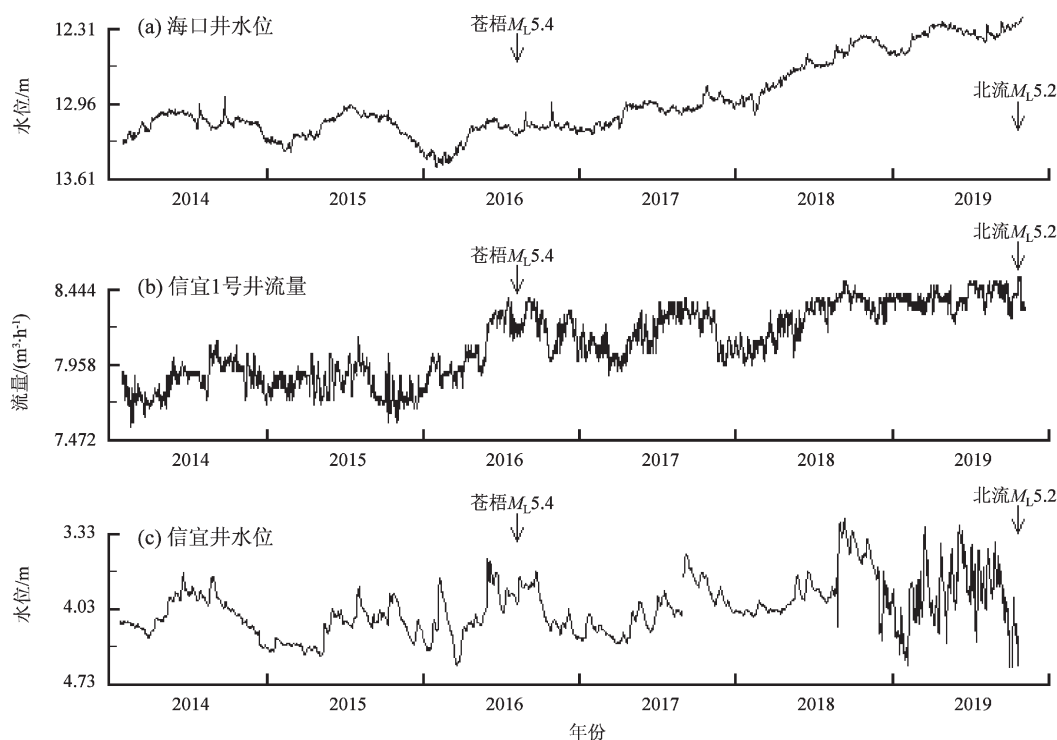


图 7 海口井水位、信宜井水位、信宜 1 号井流量动态图

Fig. 7 Dynamic chart of the Haikou well water level, the Xinyi well water level, and the Xinyi NO. 1 well flow rate

① 莫佩婵,黄美丽,黄惠宁,等.2019.异常核实——2019 年 5 月 22 日广西北海咸田井水位.2019 年度广西局异常核实报告.

② 解晓静.2018.异常核实——2018 年 5 月 2 日海南海口 ZK26 井水位、向荣村 ZK46 井水位、火山流体 922K5 井水位.2018 年度海南局异常核实报告.

的重要手段之一，但地球化学含量的变化尺度如何把握？变化多少才算能引起地震的量呢？是不是所有的构造地震都存在深部物质的上涌而引起地球化学成分发生变化呢？这还需要更多的震例或实验加以论证，不能因其地球化学成分变化不大就完全否定其地震成因。比如 2017—2018 年海口井的破年变高值异常，虽然其水样水质分析的结果与原背景值相比显示该井水型保持一致，水化学含量没有发生较大的变化，但其水位变化趋势与信宜井的水位及信宜 1 号井的流量一致，同时信宜 1 号井的流量、北海水位、桂平水位亦先后出现破年变高值异常，如图 7 所示。因此地球化学量指标只能作为辅助手段，应结合其它手段进行异常成因的综合判定。

3.4 关于地球化学指标映震效能

北流地震 250 km 范围内有气体（氢气、甲烷、氦气、氮气、气体总量）和水质各一个观测点如图 8 所示，但震前和震后均未提取到前兆异常。其中信宜 1 号井气体离震中仅 33 km，没有出现前兆异常是因为该观测井处于是应力闭锁区？雷州水质（震中距 198 km）主要观测 Cl^- ， Ca^{2+} ，

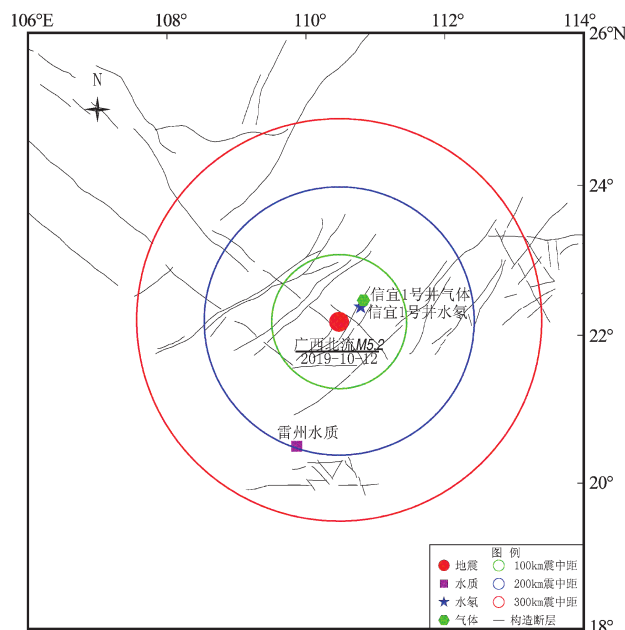


图 8 北流地震 300 km 范围内地球化学观测井空间分布图

Fig. 8 Spatial distribution map of geochemical observation wells less than 300 km of the Beiliu earthquake

Mg^{2+} ，由于该观测井地处海边，这些测项背景值很高，应力引起的变化很可能被掩盖在正常的波动范围中。因此，未提取到地球化学异常并不意味着该区域未来无震，亦不能作为未来该区域无震的唯一依据。总之，不能孤立地应用该指标，应根据不同区域特点并结合水位及其它学科资料进行综合判定。

3.5 关于震级判定的偏差

由于指标体系总结的历史震例均为 $M_L 4.5$ 左右，没有 5 级的震例，因此提取到的异常只能判定存在发生 $M_L \geq 4.5$ 地震的可能，无法做出更为准确的强度预测，这导致对华南地区尤其是广西地区地震震级的判定出现偏差，总是偏小，如 2019 年北流和靖西 5.2 级地震，今后应吸收这些新震例对指标做出进一步的修正。

3.6 关于会商机制

目前的会商机制是在每年年底全国按四大学科分别进行学科会商，分片区进行汇报，但在学科会商会之前的整个会商年度中，华南地区各省的流体学科都只分析本省资料，缺乏一个充分沟通、交流的平台，对其它省流体观测仪器运行、资料干扰情况及动态也不够了解，而地震的孕育、构造运动是不分省界的，视野的局限性也限制了地震预测的准确性。

4 结论和建议

通过对华南地区流体资料分析提取如下预测指标：华南地区流体预测时间指标以氦、水质为主，水位为辅；空间指标应以水位为主、化学量为辅，从点、线、面展开分析并加以提取。具体判定标准为：当氦、水质的测值达某阈值或出现某特征后多次对应地震，则这个阈值或这个特征就作为异常判定标准；当同一构造带上多井水位（准）同步出现多年趋势上升，则该断裂带可以作为未来发生中强地震的地点指标；当多个水位井对同一次全球 8 级大震的同震响应出现阶升形态，则这些阶升水井围成的空间区域可以作为未来发生 $M_L \geq 4.0$ 地震的空间指标。

由于华南地区为少震、弱震区，目前在历史地震基础上总结提取的预测指标不够充分，

还应在今后更多的地震事件中不断补充、完善和修正;单一的预测指标用于地震预测时,如能根据不同区域特点,并结合流体学科其它测项和其它学科资料进行综合判定,将会得到更为准确的判定结果;日常的震情跟踪、预测及异常核实工作必须打破省域的局限性,按构造带从更大的区域范围或按震例总结的观测点范围 250 km 范围内用预测指标体系进行综合分析,才能逐渐接近地震孕育的真实场景,据此做出更为准确的预测及判定;前兆异常和干扰有时是共生或伴生关系,不能因周边有干扰就直接否定其构造成因,应从更大的范围及更多其它的资料综合分析论证。

建议震情分析应从场的角度出发,不局限于省域范围;加强各省流体学科间的联动,如重大异常的核实应设立邻省联动机制,从更大的范围全面调查分析才能找到客观、真实的异常成因;日常工作中应加强各片区内部省份的学科交流,如台站 250 km 范围内的所有观测站资料进行交换、每月会商进行片区视频会商、全国学科会商之前召开一次片区学科会商会,放眼更大的空间区域、开通各种渠道的学科交流等,如能这样这次北流地震还是可以做出一定程度预测的,毕竟震中 250 km 范围内水位还是出现了诸多破年变、高值、趋势上升的异常现象。

对于较为分散在多条断裂上的前兆分布,要判定震中范围有一定难度。目前对地震空间的判定主要靠多观测点来划定区域,对较为分散的前兆要依靠丰富的震例资料提高单测点或少数观测点的前兆信度,才能进行判定,而华南地区属少震、弱震区,震例不多,因此更为有效的方法是加大综合观测密度,沿断裂带多布设一些综合观测点。

感谢刘锦、莫佩蝉、张帆提供了所在省局的观测资料,感谢田雷提供了相关基础资料。

参考文献:

- 陈棋福. 2002a. 中国震例(1992—1994)[M]. 北京:地震出版社,37—53,358—389.
- 陈棋福. 2002b. 中国震例(1995—1996)[M]. 北京:地震出版社,15—28.
- 陈棋福. 2002c. 中国震例(1997—1999)[M]. 北京:地震出版社,74—90.
- 冯志生,倪晓寅,戴苗,等. 2019. 地震地磁日变化预测指标体系建设进展[J]. 国际地震动态,(8):11—12.
- 付虹,胡小静,林辉. 2019. 中国大陆流体预测指标体系建设探索[J]. 国际地震动态,(8):10.
- 蒋海昆. 2014. 中国震例(2003—2006)[M]. 北京:地震出版社,428—446,630—651.
- 廖丽霞,关玉梅,叶晓明. 2011. 前兆场变化在地震空间位置判断上的应用[J]. 地震研究,34(1):19—23.
- 廖丽霞,解小静,洪旭瑜. 2019. 基于中国震例的华南地区中强地震前流体异常特征分析[J]. 内陆地震,33(1):1—7.
- 廖丽霞. 2019. 福建地下流体典型异常核实及分析应用[M]. 北京:地震出版社:199—212,318—320.
- 王俊,黄显良,陶月潮,等. 2018a. 华北地区强震前流体异常特征统计分析[J]. 国际地震动态,(8):115.
- 王俊,缪阿丽,李军辉,等. 2018b. 2011 年安徽安庆 M4.8 地震前苏、皖典型前兆异常特征分析[J]. 地震研究,41(4):568—576.
- 王俊,邵志刚,孙小龙,等. 2016. 川滇地区强震前地下流体前兆异常特征与判断指标初探[J]. 地震,36(4):109—119.
- 王俊,王行舟,周振贵,等. 2019. 2014 年安徽霍山 M4.3 地震异常特征及预测过程总结[J]. 地震研究,42(3):349—357.
- 张肇诚. 1988. 中国震例(1966—1975)[M]. 北京:地震出版社,1—16.
- 张肇诚. 1990a. 中国震例(1976—1980)[M]. 北京:地震出版社,1—421.
- 张肇诚. 1990b. 中国震例(1981—1985)[M]. 北京:地震出版社,1—294.
- 张肇诚. 1999. 中国震例(1986—1988)[M]. 北京:地震出版社,184—212.

Establishment, Application and Reflection of Fluid Earthquake Prediction Index in South China

LIAO Lixia, QIN Shuanglong, HONG Xuyu

(*Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China*)

Abstract

In order to improve the level and effectiveness of fluid earthquake prediction in South China, the index system of fluid earthquake prediction in South China is established on the basis of earthquake cases in China and daily work experience, and it is tested in daily earthquake tracking work in South China. Taking Guangxi Beiliu earthquake as an example, this paper makes a comparative analysis in temporal and spatial domains, and finds that there are limitations in the application of spatial and geochemical indexes in the index system. The magnitude strength index based on the earthquake case has some deviation in magnitude determination. We introspected the index system, anomaly, interference, and consultation mechanism, and the following conclusions are drawn: when a single prediction index is used for earthquake prediction, it should be comprehensively determined according to the characteristics of different regions, combined with multiple measurement items and other discipline data, so as to obtain more accurate judgment results. Spatial analysis can not only focus on one fault zone, but also analyze the group fault zone from a larger regional scope. Seismic anomalies and interferences are sometimes symbiotic or associated, and cannot be directly negated their structural causes because of the interference around them. Anomaly analysis should not be limited to a province, but should strengthen the communication and cooperation among the disciplines in a region, and build a platform for full communication.

Keywords: South China; index system of fluid seismic prediction; Beiliu earthquake