

五大连池火山区历史监测数据分析

吴海军,杨维辉,王刚,闫峰,刘鸿城,邵帅,孙炜,蔡金田

(五大连池地震监测中心站,黑龙江 五大连池 164155)

摘要:为充分发挥五大连池火山区历史数据在火山与地震活动监测中的作用,采用五大连池火山区历史地震数据、地下流体数据、电磁数据进行分析、整理,详细统计出五大连池火山区有监测数据以来历年地震发震频次和最大震级,流体数据和电磁数据年变规律。结果表明,五大连池火山区历史地震频次较低,流体和电磁数据变化形态符合正常数据年变规律,说明五大连池火山区火山与地震活动相对平静,近期内无活动迹象。

关键词:五大连池火山区;地震观测;地球物理观测;历史数据;地震与火山活动

中图分类号:P315

文献标志码:A

文章编号:2095-2945(2023)15-0001-09

Abstract: In order to give full play to the role of historical data in the monitoring of volcanic and seismic activities in Wudalianchi Volcanic Area, historical seismic data, underground fluid data and electromagnetic data in Wudalianchi Volcanic Area are used for analysis and sorting, and the frequency and maximum magnitude of earthquakes over the years since the monitoring data are available in Wudalianchi Volcanic Area, as well as the annual variation law of fluid data and electromagnetic data are calculated in detail. The results show that the historical earthquake frequency in Wudalianchi Volcanic Area is low, and the fluid and electromagnetic data change patterns conform to the annual variation law of normal data, indicating that the volcanic and seismic activities in Wudalianchi Volcanic Area are relatively quiet, and there is no sign of activity in the near future.

Keywords: Wudalianchi Volcanic Area; seismic observation; geophysical observation; historical data; earthquake and volcanic activity

五大连池火山群地处松嫩平原的北部边缘,由更新世以来多次喷发的14座火山锥体组成,其地理坐标为东经 $125.75^{\circ}\sim126.5^{\circ}$,北纬 $48.50^{\circ}\sim48.85^{\circ}$ ^[1]。1720年以后的老黑山、火烧山现代火山喷发形成了保存完好的火山地质地貌,素有“天然火山博物馆”之称。五大连池火山群地震地质构造为松辽凹陷与华力西期的大兴安岭褶皱系的衔接部位,北为小兴安岭西南缘深断裂,西为嫩江深断裂,南部边缘为切割地壳的讷谟尔河断裂,东部边缘为孙吴地堑断裂和南北河-勃利断裂等数条深断裂的围限区内^[2]。

1 五大连池火山研究简介

中华人民共和国成立前,19世纪中叶欧洲学者,1935—1943年日本学者小仓勉等考察五大连池火山,并出版相关考察报告。1949—1979年主要是地矿部门围绕矿产资源和矿泉水的勘探评价。1979—1988年为火山地质学研究阶段,研究火山区地质特征和火山形

成过程及演化规律。1988年五大连池地震火山监测站成立,国内外知名专家、学者开始重点研究五大连池火山喷发过程和机制,出版了《五大连池火山研究》专著。“十五”计划以后,五大连池火山的研究趋于常态并随着老一代科研人员相继退休,火山研究人员后继乏人,日趋势微^[2]。

虽然五大连池地震火山监测站对五大连池火山区的研究暂停了,但国内的地质学者们一直没有停下对五大连池火山区的研究,老一辈火山专家刘若新、刘嘉麒等多次来五大连池进行考察研究,中国地震局地质研究所许建东、魏海泉、詹艳和潘波等,中国科技大学张海江、高级、张宝龙等,中国科学院测量与地球物理研究所大地测量与地球动力学国家重点实验室李志伟、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心张森琦等专家先后来五大连池火山区开展研究工作,在国内外地学期刊发表相关研究结果的文章。比较有代表

基金项目:中国地震局地质研究所国家业务科学观测研究站研究课题(NORSB20-11)
第一作者简介:吴海军(1966-),男,高级工程师。研究方向为地震与火山监测。

性的有张海江教授的《Magma recharging beneath the Weishan volcano of the intraplate Wudalianchi volcanic field, northeast China, implied from 3D magnetotelluric imaging》和李志伟专家的《Shallow magma chamber under the Wudalianchi volcanic field unveiled by seismic imaging with dense array》及潘波专家的《Development and status of active volcano monitoring in China》等,还有詹艳专家的《黑龙江五大连池火山群地壳电性结构》、张森琦专家的《黑龙江省五大连池尾山地区火山岩浆囊探测与干热岩地热地质条件分析》。地壳所雷建设研究员在五大连池火山区尾山火山锥的台阵探测项目研究成果尚未公布,南方科技大学韩鹏老师在五大连池火山区尾山火山的无人机航磁和热辐射及火山溢出气体的探测研究项目,中国科学院精密测量科学与技术创新研究院冯伟研究员和中国科学院测量与地球物理研究所动力大地测量学重点实验室主任钟敏研究员对五大连池火山区的重力观测与研究,吉林大学田有教授在五大连池火山区短周期高密度地震台阵测量项目都才刚刚开始。

2 五大连池火山区监测历史

1976年7月28日唐山地震后,国家加强了地震危险区的地震与地球物理监测,地震火山监测台站和地球物理监测台站先后在全国各地震危险区成立。黑龙江省德都地震台地磁观测项目就是在此期间开始建设的,但由于建设经验不足,地磁记录室无法正常使用,1986年6月才开始运行,1990年通过国家地磁台网管理部批准纳入地磁基准台网管理;2006年增加地电场观测项目,2007年实现地磁三分量数字化正式记录。地磁相对记仪标准仪器为FHDZ-M15地磁总场与分量组合观测系统,地磁备用记录仪为GM4磁通门磁力仪,2008年开始工作至今。地磁第一绝对观测仪器为Mingeo-DIM磁通门经纬仪和GSM-19T质子磁力仪,地磁第二绝对观测仪为CTM-DI磁通门经纬仪和GSM-19T质子磁力仪,采样率为每周2次人工读数。地电场观测仪器设备为ZD9A-II电场仪,2006年开始工作至今。

1978年在五大连池风景区选址建设黑龙江省德都地震台北山测震点,1983年投入观测,设备为模拟DD1短周期地震计;1998年实现数字化观测,设备为FBS3短周期地震计,2005年10月升级为CTS-1E中长周期地震计;2005年建成了由北山台、笔架山子台、凤凰山子台和团结子台组成的无线遥测火山台网,

2011年9月增加小洪山子台和引龙河子台,2013年撤销凤凰山子台,新建向阳村子台,至此,包含6个子台的地震火山监测台网布设完毕,但由于无法实现实时监测,直到2021年才有火山台网6个子台的记录数据参与火山区地震定位。

地下流体物理量数字化观测,以位于五大连池地震监测中心站办公楼院内的W-32井为观测用井,井深233m,现有静水位、118m水温、198m水温观测。

静水位观测,仪器型号为LN-3水位仪,2006年起观测,2020年10月1日水位观测仪器更新为SWY-II水位仪。水温观测,118m深度水温观测和198m深度水温观测,仪器型号为SZW-1A水温仪。

地下流体化学量数字化气氡、气汞观测为位于台站南侧1.3km处的工人疗养院内的工会井,成井深90m,观测仪器为SD-3A测氡仪和RG-BQZ测汞仪,2007年5月投入观测至2016年9月工人疗养院内因整体规划,重建观测室而停止观测,因规划批复原因,目前观测室仍在重建中。

2.1 历史地震情况

自1949年10月以来,五大连池火山区及周边曾经发生的强有感地震是1985年7月21日发生在固东河林场(48.5°N,126.5°E)的 M_L 4.4级地震;1986年2月9日、3月1日、8月16日在黑龙江省德都县发生的 M_L 5.0级、 M_L 5.4级、 M_L 5.5级地震震群,震中分别在(48.65°N,126.53°E)(48.67°N,126.53°E)(48.67°N,126.58°E),宏观震中在五大连池市讷谟尔乡、沾河林业局、引龙河农场等地;2011年1月15日8时43分发生在五大连池市团结乡(48.6°N,126.0°E)的 M_L 4.2级地震等都是比较有影响的有感地震。

通过整理五大连池火山区自1983年12月有地震观测数据以来报送的观测月报,选取火山区地方震,重新编辑地震目录。并对数字化记录以来的地方震,重新复核震动事件记录,将爆破和震动不清晰的地震事件予以剔除,对震相清晰的地震事件,重新截取事件文件,由专人用SSDP分析软件对震动事件进行重新定位,以减少人为误差,从而获得精确度较高的火山区地震三要素,并将定位结果重新编辑成火山区地震事件目录,经MAPSIS软件绘图分析,截至2021年12月31日,共记录到火山区地震1828次,分别是负级地震437次, M_L 0.0级到 M_L 0.9级地震842次, M_L 1.0级到 M_L 1.9级地震481次, M_L 2.0级到 M_L 2.9级地震57次, M_L 3.0级到 M_L 3.9级地震4次, M_L 4.0级到 M_L

4.9级地震4次, M_L 5.0级到 M_L 5.9级地震3次。五大连池火山区历年地震统计表见表1, 五大连池火山区历年地震震中分布图如图1所示。

2.2 负级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到负级地震437次, 占地震总数的23.91%, 且大多数都集中在2000年数字化以后的观测时段。分析出现这种现象的原因, 认为是2000年数字化运用以前都是手动量取周期和振幅计算震级, 存在量取和计算不准确的现象, 也不排除0级以下地震事件本身就少的可能。而2000年以后运用的数字化记录, 记录的震动事件更清晰, 后续震相更丰富, 量取周期和振幅更精准, 更易于判断地震, 也更易于计算震级。

2.3 0.0级到0.9级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到 M_L 0.0级到 M_L 0.9级地震842次, 占地震总数的46.06%, 可以看出2000年以前 M_L 0级到 M_L 0.9级地震较多。

2.4 1.0级到1.9级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到 M_L 1.0级到 M_L 1.9级地震481次, 占地震总数的26.31%, 可以看出2000年以前 M_L 1.0级到 M_L 1.9级地震居多, 1986年德都地震后, M_L 1.0级到 M_L 1.9级地震是历年同级别地震的最高值, 1986年以后, 基本呈现逐年减少的下降趋势, 偶有多发的年份也未超过1986年的45次。分析认为负级地震到 M_L 1.9级地震2000年以前数量居多, 是1986年德都震群后, 应力调整所致, 2000年以后, 五大连池火山区周边再未发生5级以上地震, 应力调整和应变能释放趋缓, 地震频次明显降低。

2.5 2.0级到2.9级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到 M_L 2.0级到 M_L 2.9级地震57次, 占地震总数的3.12%, 1986年德都地震后, M_L 2.0级到 M_L 2.9级地震是历年同级别地震的最高值14次, 认为是1986年德都地震后余震, 1986年以后, M_L 2.0级到 M_L 2.9级地震不是每年都有发生, 在发生的年份, 也未超过3次, 根据黑龙江地震台分析预报人员统计表明, 未达到对未来4级以上地震有指示意义的(5次以上)指标。

2.6 3.0级到3.9级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到 M_L 3.0级到 M_L 3.9级地震4次, 占地震总数

的0.22%, 分别在1986年德都地震后发生2次, 1996年发生2次, 其他年度未记录到 M_L 3.0级到 M_L 3.9级地震。

表1 五大连池火山区历年地震统计表

年度	地震总数/次	年地震数/次	年地震数占比(%)	年最大震级(M_L)
1983		4	0.22	0.9
1984		14	0.77	2.2
1985		42	2.30	4.4
1986		100	5.47	5.7
1987		46	2.52	1.6
1988		84	4.60	1.7
1989		47	2.57	2.3
1990		50	2.74	2.1
1991		65	3.56	2.4
1992		33	1.81	2.0
1993		41	2.24	1.7
1994		45	2.46	1.9
1995		38	2.08	1.6
1996		75	4.11	3.2
1997		37	2.03	1.8
1998		45	2.46	1.9
1999		61	3.34	2.9
2000		35	1.92	1.8
2001		58	3.17	1.7
2002	1 828	35	1.92	2.2
2003		57	3.12	2.2
2004		46	2.52	1.5
2005		48	2.57	1.2
2006		36	1.97	0.8
2007		56	3.07	2.1
2008		36	1.97	1.8
2009		69	3.78	2.4
2010		50	2.74	1.5
2011		78	4.27	4.2
2012		51	2.79	2.9
2013		49	2.68	1.7
2014		26	1.42	1.8
2015		44	2.41	2.5
2016		52	2.85	2.3
2017		27	1.48	2.1
2018		15	0.82	1.4
2019		17	0.93	1.5
2020		37	2.03	2.9
2021		79	4.32	3.6

2.7 4.0级到4.9级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到 M_L 4.0级到 M_L 4.9级地震4次, 占地震总数的0.22%, 分别在1985年1次, 1986年德都地震后的余震2次, 2011年五大连池市团结乡发生1次, 其他年度未发生 M_L 4.0级到 M_L 4.9级地震。

2.8 5.0级到5.9级地震

自1983年五大连池火山区有地震观测记录以来, 共记录到 M_L 5.0级到 M_L 5.9级地震3次, 占地震总数的0.16%, 分别在1986年2月9日、3月1日、8月16日发生3次强有感地震, 这3次5.0级以上地震均

发生在五大连池火山区边缘。

从震中分布图上,可以看到,负地震大多集中在五大连池火山区内 14 座火山附近,在火山区以外分布不多,集中在讷漠尔河断裂和嫩江与讷河交界处及 1986 年德都中强震群发生地附近零散分布,这种情况也体现了负级地震多为火山区地震的很好例证; M_L 0.0 级到 M_L 1.9 级地震在火山区以外也有零散分布,大多集中在讷漠尔河断裂和嫩江与讷河交界处及 1986 年德都中强震群发生地附近,分布比较有规律。 M_L 2.0 级到 M_L 2.9 级地震多集中在五大连池火山区内黑龙山、笔

架山、药泉山和卧虎山一带,在备受重视的尾山火山附近, M_L 2.0 级到 M_L 2.9 级地震基本没有,而在火山区以外大多集中在 1986 年德都中强震群发生地附近,分布比较零散。 M_L 3.0 级到 M_L 3.9 级地震多集中在五大连池火山区和 1986 年德都地震震中附近,除了这两处地震比较集中外,其他地区未发生 M_L 3.0 级到 M_L 3.9 级地震。 M_L 4.0 级到 M_L 4.9 级地震均发生在火山区外围边缘,符合火山区地震强度弱于周边地区的特征^[3],其他地区未发生 M_L 4.0 级到 M_L 5.9 级地震。五大连池火山区负级到 5.9 级地震震中分布图如图 1 所示。

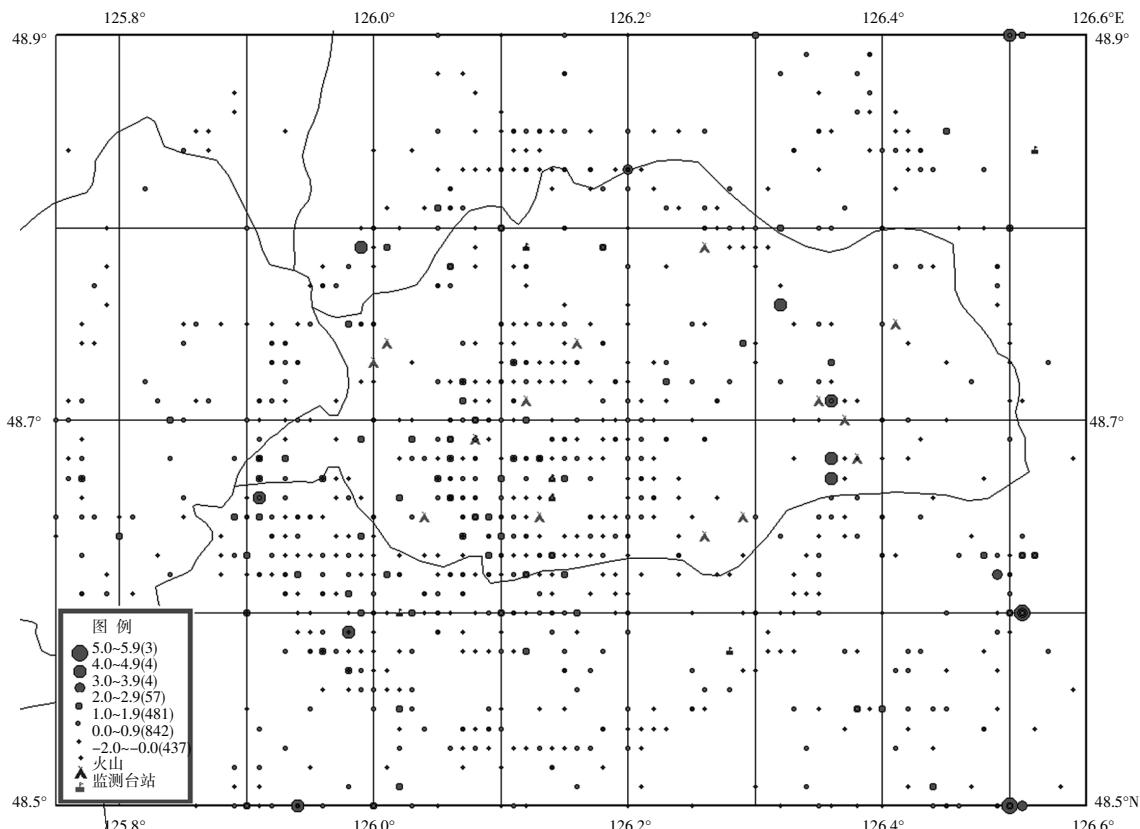


图 1 五大连池火山区负级到 5.9 级地震震中分布图

2.9 历年地震最大震级

统计 1983 年五大连池火山区有地震观测记录以来历年最大震级,基本都是 M_L 3.5 级以下地震居多,其中 M_L 0.1 级到 M_L 0.9 级地震 2 次,占历年最大震级的比例为 5.1%; M_L 1.0 级到 M_L 1.9 级地震 15 次,占历年最大震级的比例为 38.5%; M_L 2.0 级到 M_L 2.9 级地震 18 次,占历年最大震级的比例为 46.1%; M_L 3.0 级到 M_L 3.9 级地震 1 次,占历年最大震级的比例为 2.6%; M_L 4.0 级到 M_L 4.9 级地震 2 次,占历年最大震级的比例为 5.1%; M_L 5.0 级到 M_L 5.9 级地震 1 次,占历年最大震级的比例为 2.6%。五大连池火山区历年地震最大震级分布图如图 2 所示。

2.10 地磁观测数据分析

五大连池火山区模拟地磁观测始于 1988 年,1990 年纳入国家地磁台网,参加全国基本地磁台观测数据评比,相对记录仪器为 CB-3 型和 72 型地磁日变记录仪,绝对观测仪器先后有 CJ-6、CHD-6、DTZ1、DTZ2 和 G856 等;2008 年开始进入数字化记录时代,相对记录仪器为 FHDZ-M15 地磁总场与分量观测系统和 GM4 磁通门磁力仪,绝对观测为 Mingeo-DIM 磁通门经纬仪和 CTM-DI 磁通门经纬仪,G856 质子磁力仪和 GSM-19T 磁力仪。

由于在 1986 年德都 4 次中强地震时,地磁观测尚未正常开展,积累的观测资料不足以作为震例开展深

入研究,而2011年团结地震,由于震级相对偏小,地磁观测数据未记录到异常变化。从多台地磁日变记录曲线看,五大连池火山区地磁场日变化与同区域的地磁台站日变化相同,未明显表现出与火山区有相关性的明显特征。

五大连池火山区地磁场的年尺度变化,也和其他地磁台站观测的结果一致,除磁暴日受空间天气的影响,曲线形态的变化规律会有所改变外,曲线形态的变化规律符合变化地磁场白天变化大,傍晚到凌晨变化小;夏季变化大,冬季变化小的Sq变化特点^[4]。五大连池火山区地磁日均值年变化曲线如图3所示。

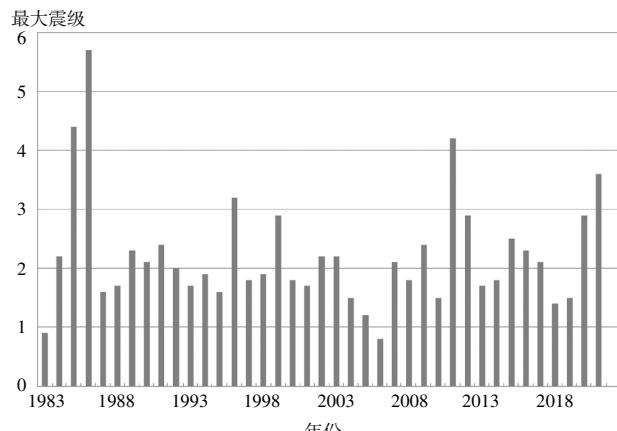


图2 五大连池火山区历年地震最大震级分布图

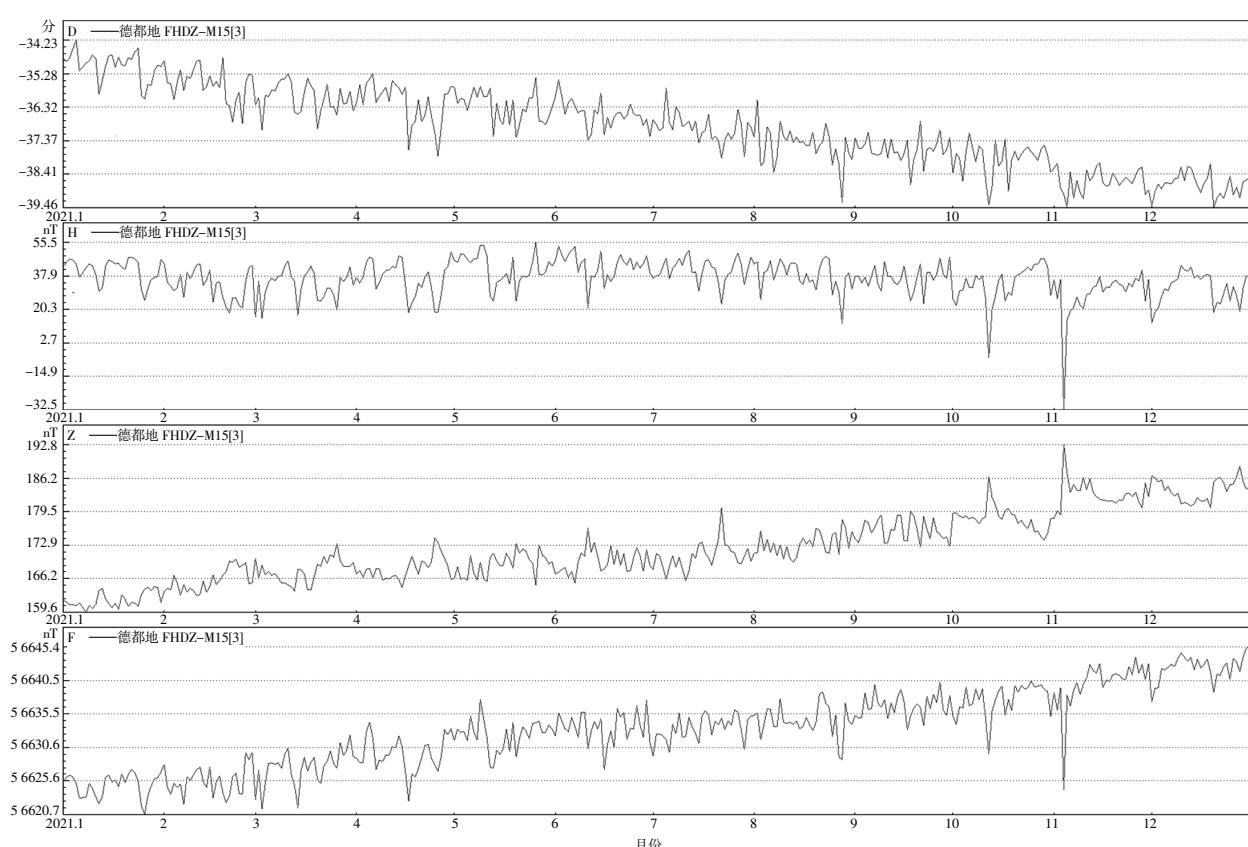


图3 五大连池火山区地磁日均值年变化曲线图

2.11 地电场观测数据分析

五大连池火山区地电场观测始于2006年中国地震局“十五”计划项目建设时期,观测设备为ZD9A-II地电场仪,采样率为每分钟1次,仪器自架设起工作连续,稳定。

五大连池火山区地电场观测数据日变化符合地电场变化规律,每日的峰谷形态清晰^[4],在磁暴时能同步记录到地电场的地电暴,数据质量较高,相关系数较好,在参加中国地震局组织的全国地电场观测资料评比中曾经获得过前三名的好成绩。五大连池火山区地电场分钟值日变化曲线如图4所示。

由于地电场设备工作年限较久,老化严重,频繁死

机,使观测数据连续率明显下降,从而影响了观测数据的质量,但总体上观测数据可用率还可以,近几年的地电场长极距方位角未有异常显示。五大连池火山区地电场观测自架设以来未经历5级以上地震的震例检验,无法确定震前异常变化形态,在2011年1月15日五大连池火山区附近团结乡发生4.2级地震前,地电场数据未记录到明显的异常变化;每年的春季积雪融化的积水和夏季降雨时节的雨水渗入电极坑,导致电极受到干扰,各测道出现不同程度的较大的跳变和阶跃,影响观测数据的质量。五大连池火山区地电场日均值历年变化曲线如图5所示。

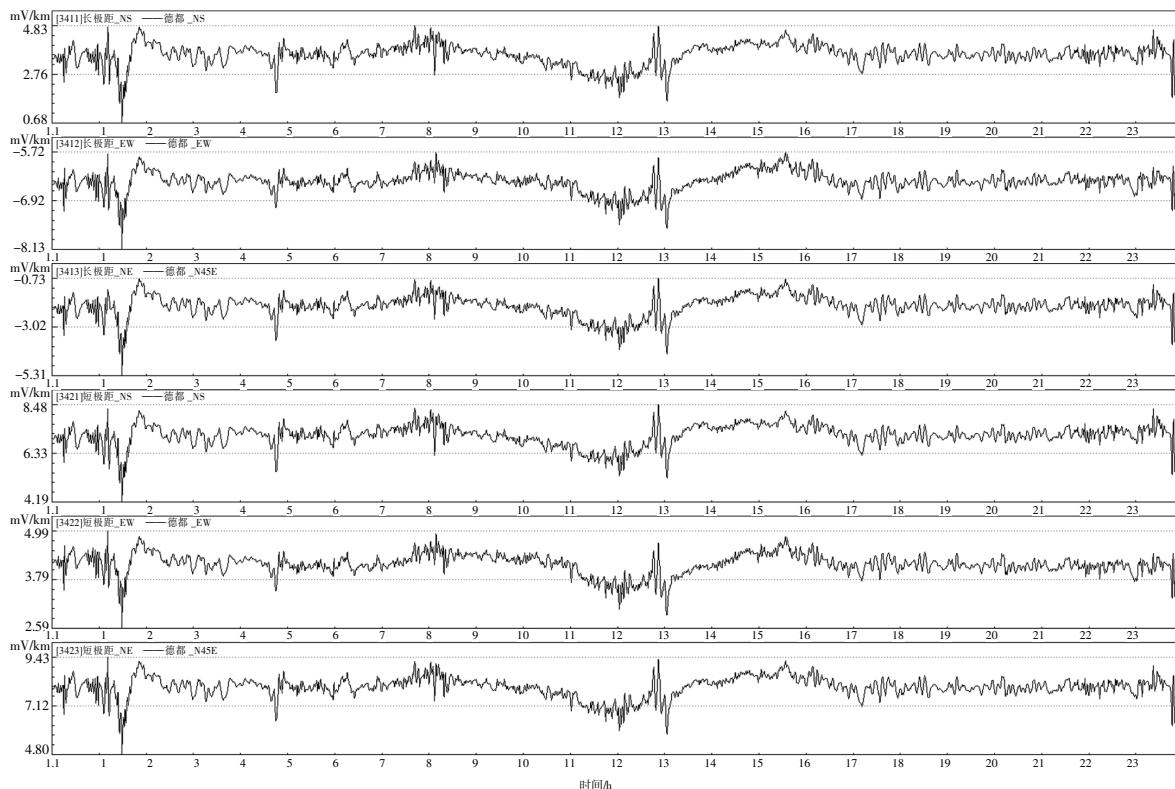


图 4 五大连池火山区地电场分钟值日变化曲线图

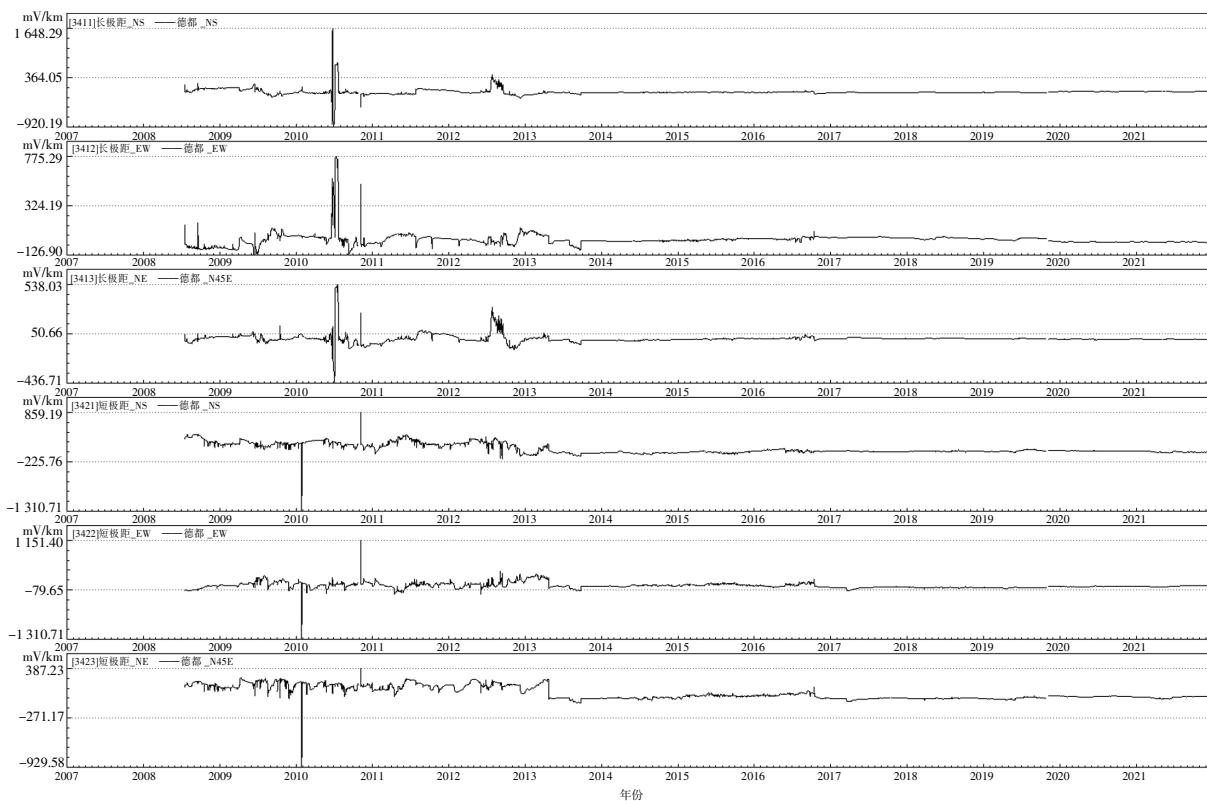


图 5 五大连池火山区地电场日均值历年变化曲线图

2.12 井水位观测数据分析

五大连池火山区井水位观测数据连续稳定,质量较好,月变化幅度一般在 0.2 m 左右。自 2007 年开始观测以来,参加中国地震局组织的全国水位观测资料

评比中,多次获得全国前三名的好成绩。五大连池 W-32 井的水位观测数据潮汐因子精度较高。五大连池火山区井水位日均值年变化曲线如图 6 所示,能很好地反映含水层在日、月起潮力作用下产生的固体潮应变效应^[5],

在全球发生较大的地震时，五大连池水位数据能记录到比较清晰的水震波；在流体井半径为10~3 000 km时，都可能存在数十天到180 d左右的震前异常^[6]，为地震趋势分析发挥应有的作用。五大连池火山区井水位日均值历年变化曲线如图7所示。

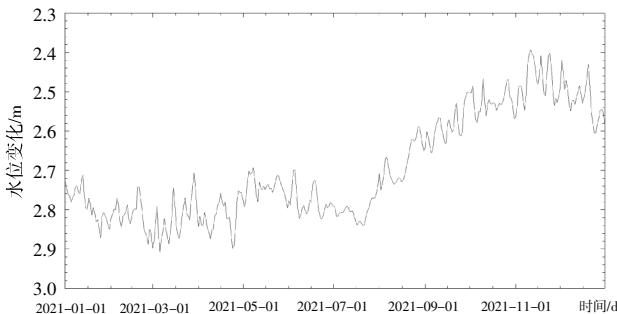


图6 五大连池火山区井水位日均值年变化曲线图

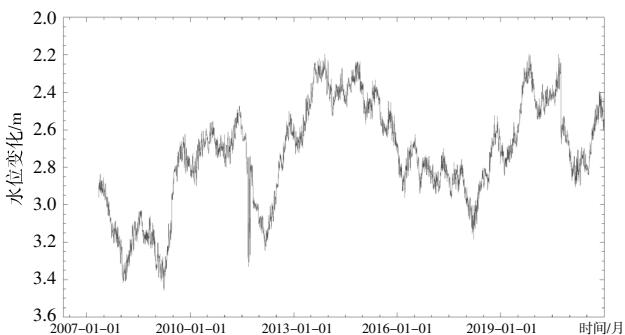


图7 五大连池火山区井水位日均值历年变化曲线图

2.13 井浅层水温(118 m)观测数据分析

五大连池火山区井118 m水温观测数据连续稳定，质量较好，月变化幅度一般在0.003 °C左右。自2008年开始观测以来，参加中国地震局组织的全国水温观测资料评比中，曾经获得全国前三名的好成绩。五大连池W-32井的118 m水温观测数据开始架设时由于仪器工作不稳定，出现了小幅台阶变化，从2012年1月开始逐渐降低，到2013年7月按一定的斜率逐渐增加，2019年5月开始快速增加到与2012年1月趋势一致的位置后又小幅增加，因无备用仪器，无法进行对比观测。由于台站300 km内未发生5.0级以上地震，因此，经相关技术人员判断疑为仪器原因，排除震前异常的可能。五大连池火山区118 m水温观测日均值年变化曲线如图8所示，五大连池火山区118 m水温观测日均值历年变化曲线图如图9所示。

2.14 井深层水温(198 m)观测数据分析

五大连池火山区井水位观测数据连续稳定，质量较好，日变化幅度一般在0.008 °C左右。自2007年开始观测以来，参加中国地震局组织的全国水位观测资料评比

中，多次获得全国前三名的好成绩。五大连池W-32井的198 m水温观测数据连续性好，稳定性高，自架设以来，很少出现缺记和跳动现象，就是数据本身变化频率较118 m水温有所增加，五大连池火山区198 m水温日均值年变化曲线图如图10所示。从历年观测曲线图上可以看到，除做对比试验探头受干扰和改变探头位置造成数据出现台阶外，一直变化较稳定，由于未受到5.0级以上地震的检验，无法确定异常阈值，五大连池火山区198 m水温日均值历年变化曲线图如图11所示。

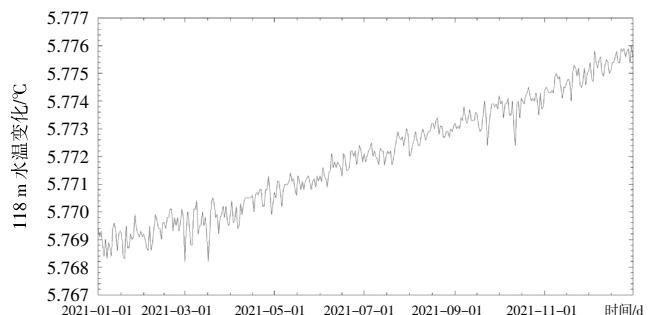


图8 五大连池火山区118 m水温日均值年变化曲线图

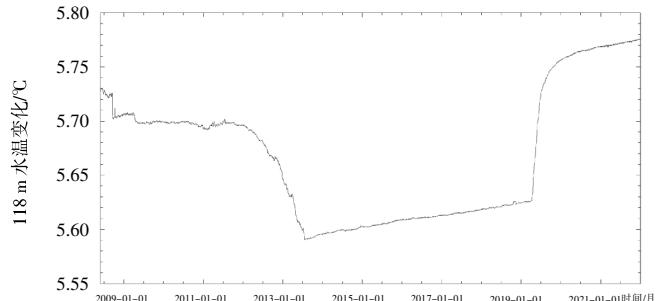


图9 五大连池火山区118 m水温日均值历年变化曲线图

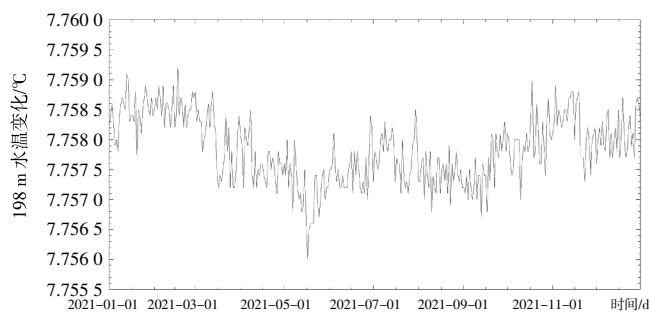


图10 五大连池火山区198 m水温日均值年变化曲线图

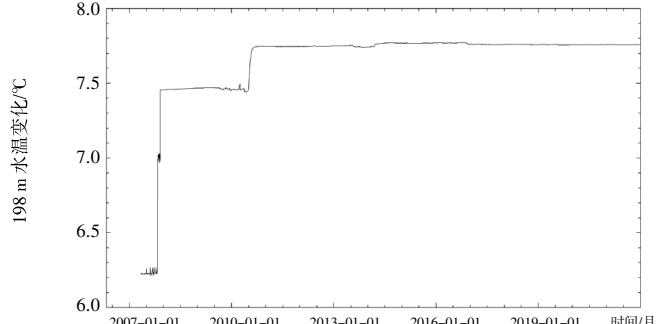


图11 五大连池火山区198 m水温日均值历年变化曲线图

2.15 气氡观测数据分析

五大连池火山区气氡观测，溢出气氡含量较低，一般都小于 10 Bq/L ，偶有超出现象，也未超出太大，表明氡的背景值比省内其他测氡台站都低。由于自 2007 年 6 月开始观测以来，五大连池地震监测中心站附近未发生 5.0 级以上地震，观测数据是否对地震活动有指示意义还需要后续观测来检验，同时观测数据反映出五大连池火山区的岩浆活动较弱，溢出气氡含量较低。五大连池火山气氡观测日均值历年变化曲线如图 12 所示。

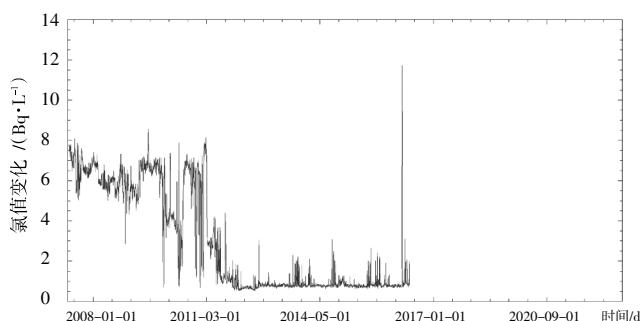


图 12 五大连池火山区气氡观测日均值历年变化曲线图

2.16 气汞观测数据分析

五大连池火山区气汞观测，溢出气汞含量较低，一般都小于 1 ng/L ，偶有超出现象，也未超出太大，表明汞的背景值比较低。由于自 2007 年 6 月开始观测以来，五大连池地震监测中心站附近未发生 5.0 级以上地震，观测数据是否对地震活动有指示意义还需要后续观测来检验，同时观测数据反映出五大连池火山区的岩浆活动较弱，溢出气汞含量较低，五大连池火山区气汞观测日均值历年变化曲线图如图 13 所示。

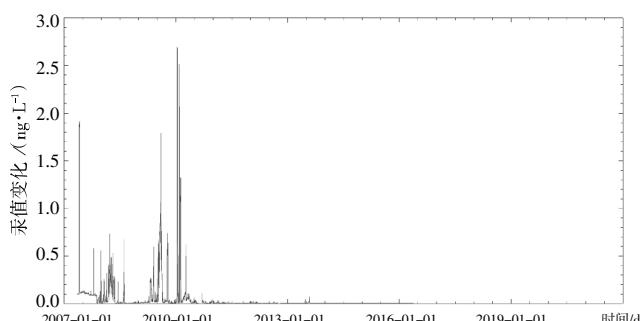


图 13 五大连池火山区气汞观测日均值历年变化曲线图

3 五大连池火山区地震类型与典型震例

一般来说，火山地震监测台网观测到的地震事件有一定差异，一般可记录到火山振动(VT)、长周期事件(LP)、火山地震(VE)或其混合事件^[7]。从整理出的 1983 年到 2021 年 12 月 31 日的地震事件记录，检索模拟记录的图纸，并浏览了 2000 年以来的数字化记录，从实际波形上看，五大连池火山区未记录到明显的

火山振动、长周期事件及火山地震，记录到的所有地震都是火山区内隐藏的井字型断裂带周边的构造地震及一些显著的干扰事件。

3.1 火山区构造地震

火山区记录到的构造地震事件 P 波与 S 波到时清晰，五大连池火山区构造地震典型震例如图 14 所示，均为短周期地震事件。频谱分析显示，符合构造地震优势频率 $5\sim15 \text{ Hz}$ 的特征，五大连池火山区构造地震频谱分析如图 15 所示，为火山区内断裂活动事件。

3.2 火山区附近爆破

火山区记录到的非地震事件，为周边几十公里内的爆破，仿真 W.A. 时， P 波到时清晰， S 波到时不清晰，并有明显的面波。而且每天基本在中午前后或晚饭前后的相对同一时段重复出现，一般连续数次，很好区分和判断。五大连池火山区爆破事件典型示例如图 16 所示。

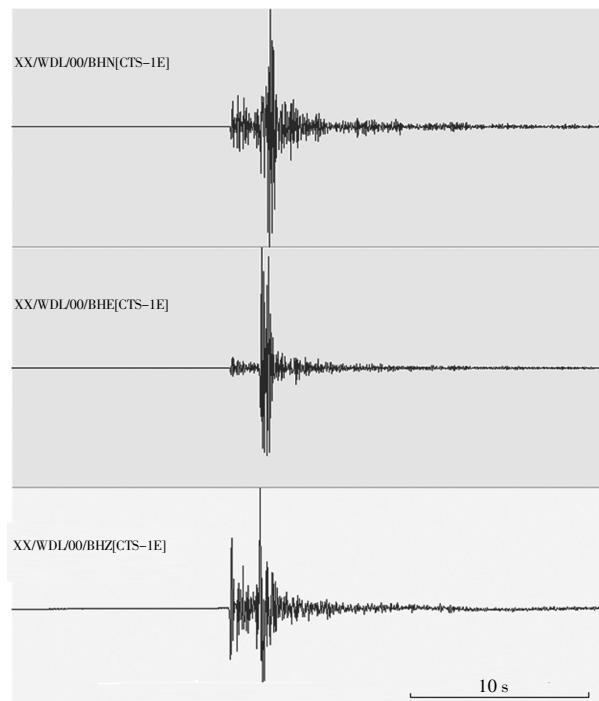


图 14 五大连池火山区构造地震示例图

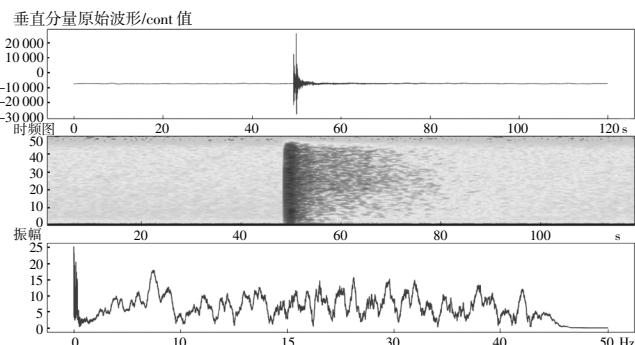


图 15 五大连池火山区构造地震频谱图

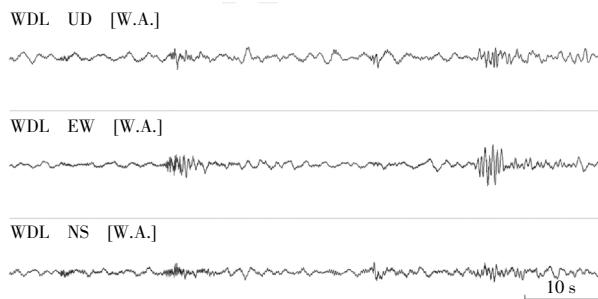


图 16 五大连池火山区典型爆破事件图

3.3 大振幅事件

火山区每年的11月中旬到次年的4月底都能记录到或大或小的大振幅事件，表现形式是三分向同时存在较大的初动，并维持几个周期后，迅速衰减到正常范围，五大连池火山区大振幅事件典型示例如图17所示。区别于火山区LP事件的是大振幅事件，是三分向都有明显的幅度变化，而LP事件仅垂直向出现明显变化。这种现象在每年的5月1日到11月中旬不存在，经黑龙江省地震局火山专家赵谊博士分析，大振幅事件是火山区富集的地下泉水在流动中，由于存在冰层，阻挡了泉水的运移，在泉水冲破阻力冰层时产生的气(水)泡破裂效应导致的，频谱分析也验证大振幅事件频率是小于5 Hz的长周期事件。五大连池火山区大振幅事件频谱图如图18所示。

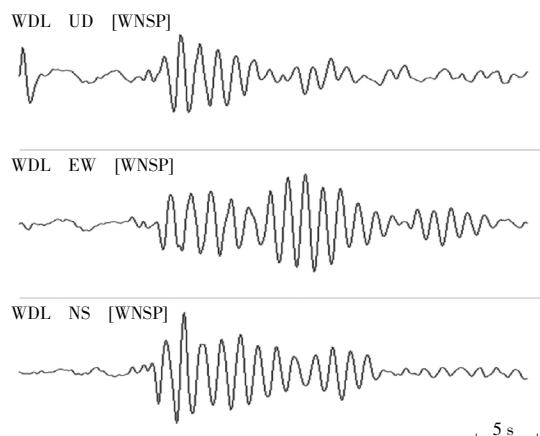


图 17 五大连池火山区大振幅事件典型示例图

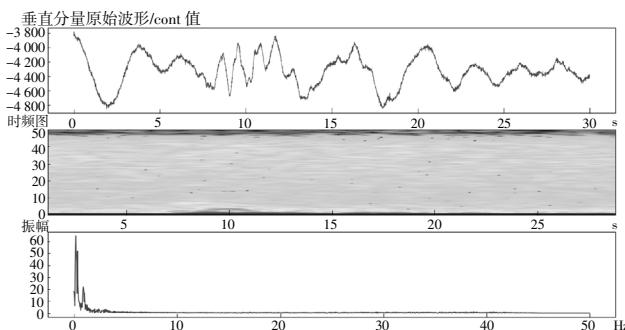


图 18 五大连池火山区大振幅事件频谱图

4 结束语

经对五大连池火山2001年以来的数字化观测资料进行分析，未发现五大连池火山地区存在火山活动带来的火山振动、火山颤动、火山长周期事件。监测到的地震都是火山区构造地震，发震机理均是火山区内各隐含断层相互作用的结果，未反映出火山区深部岩浆囊在近地表的活动迹象，詹艳等^[8]的大地电磁测深也表明深部岩浆囊正处于冷却状态，但需要密切注意火山区构造地震的频次变化和震级变化，切实做好火山区频次变化和震级变化对五大连池火山区火山活动带来直接或间接影响的应对准备。

地球物理场数据分析也未发现存在明显的震前异常，这可能是地震发生的位置不能引起地球物理场数据变化；也可能是震源机制产生的断层，未处于地球物理场敏感带上；也可能是震级偏小，地下介质的应力积累相对变化也较小，未触发地球物理场的临震变化等有关，需要对今后的监测数据进行认真研判，以便及时捕捉到火山活动和火山地震前地球物理场异常信息，为防震减灾工作作出贡献。

参考文献：

- [1] PAN B, LIU G, CHENG T, et al. Development and status of active volcano monitoring in China [J]. Geological Society London Special Publications, 2020, 510: 227–252.
- [2] 黑龙江省地震局.五大连池火山研究[M].哈尔滨：哈尔滨地图出版社，2010.
- [3] 闫成国, 张文明.第四纪火山活动典型地区地震活动特征研究[J].防震减灾学报, 2013, 29(1): 13–24.
- [4] 中国地震局监测预报司.地震电磁学理论基础与观测技术[M].北京：地震出版社，2010.
- [5] 王海涛, 贾秀玲, 岳力.水位潮汐因子异常变化与地震活动关系的分析[J].防震减灾学报, 2013, 29(1): 55–58.
- [6] 王刚.日本9级地震前后五大连池流体异常分析[J].防震减灾学报, 2012, 28(3): 67–72.
- [7] 明跃红, 吴建平, 房立华, 等.火山地震信号和火山颤动震源模型[J].地球物理学进展, 2009, 24(2): 382–390.
- [8] 詹艳, 赵国泽, 王继军, 等.黑龙江五大连池火山群地壳电性结构[J].岩石学报, 2006, 22(6): 1494–1502.