



高玲，北京市地震局副研究员，2006年毕业于中国地震局地质研究所地球化学专业获硕士学位。硕士论文为《长白山天池火山湖滨强气体释放带流体地球化学研究》。现主要从事地震流体等监测研究工作。先后参与和主持国家自然科学基金委项目、“十二五”国家科技支撑项目和中国地震局项目多项。在国内外重要期刊发表论文10余篇。获得省级奖励一等奖1次、二等奖2次、三等奖5次。

中国火山温泉

高玲 魏海泉

引言

火山是地球的宝藏，它是大自然对人类的馈赠，同时火山又具有两面性。一方面火山喷发给人类带来巨大的财富；另一方面，火山喷发也给人类带来巨大的灾难。研究火山的目的就是认识火山，识别火山喷发规律，减轻火山灾害，趋利避害，与火山和谐共处。按照活跃程度，火山被分为三种类型，分别是活火山，休眠火山和死火山。一般主要研究对象是活火山和休眠火山，当然三种类型的火山之间是可以转换的。

火山温泉是火山活动的重要标志，其主要媒介为地下热水。当你走近火山，映入眼帘的除了火山熔岩等喷发物外，还经常会看到各式温泉、

沸泉、泉华，有的涌流如注，有的涓涓细流，有的热气升腾，有的透彻清亮，这就是火山温泉的主要表现形式。火山温泉通常出现在活火山和休眠火山区域。

我国主要火山温泉简介

中国现代火山主要分布在东北、西南地区和东南沿海地区。东北三省主要包括长白山天池火山、五大连池火山、龙岗火山、镜泊湖火山和阿尔山火山。西南地区主要是腾冲火山。东南沿海主要包括海南岛火山和大屯火山。上述火山基本上受地质构造控制。与此相对应，与现代火山活动有关的温泉也主要集中在上述火山（图1）。

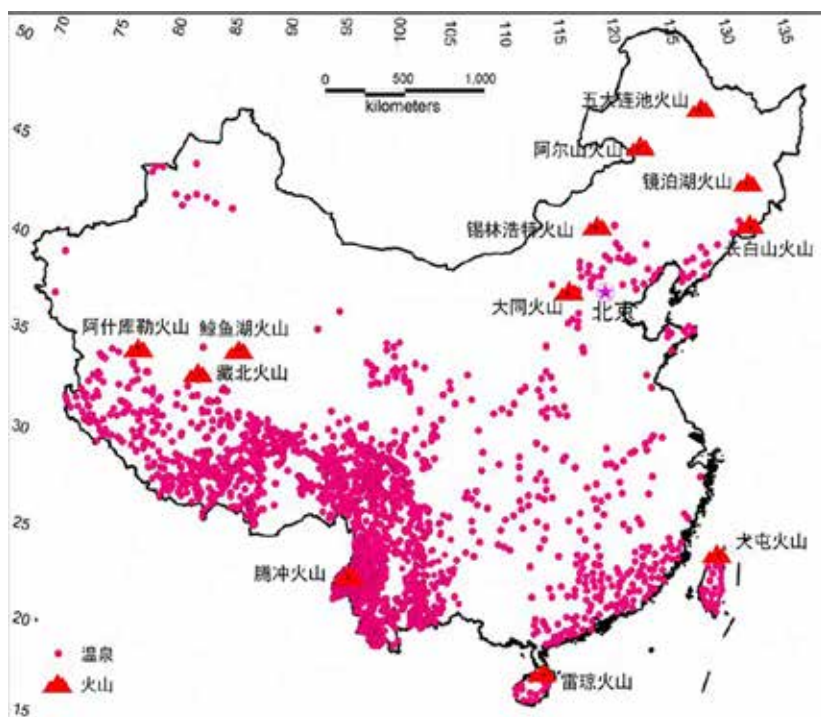


图1 中国火山温泉分布图(赵慈平, 2018)

1. 长白山天池火山温泉

长白山天池火山属多成因中央式火山，构造上处于西太平洋俯冲带，珲春一带一直存在深源地震。近10多年来，珲春一带多次发生5级以上深震，其中最大震级达到了7.1级。火山区小震活动有时也比较频繁，地热发育是火山活动的重要显示。位于火山中心的泉群分别是天池北坡的长白聚龙泉群、西坡的锦江温泉群及位于天文峰下方的天池湖滨温泉群，外围泉群多为冷泉。三大泉群都为热水气体强烈释放区域，其中聚龙泉群最高水温达到了83℃以上。湖滨温泉群是一处强气体释放带，但由于湖水大量混入，水温多集中在23℃左右，它也是目前中国境内唯一可直接在火山口内采集温泉气体样品的泉群(图2)。不同的温泉表现各异，有的泉群无色无味，清亮透明，如湖滨温泉群；有的泉群释放



图2 长白山天池火山口湖滨温泉部分区域

出明显的硫化氢，如聚龙泉群。

2. 腾冲火山区温泉

腾冲火山大大小小共有 70 余座。其中与最新的火山喷发活动有关的火山有黑空山、打鹰山、马鞍山等火山。腾冲火山构造上位于印度板块和欧亚板块碰撞带的延伸部分，第四纪活动断裂发育。它也是我国温泉数量最多的火山区域之一，温泉数量达 800 多个，覆盖面积约 500km²。主要温泉区分布在热海、朗蒲、龙陵等地区，同时在马鞍山火山口及曲石附近还分布有低温泉。腾冲火山温泉喷出形式多样，有蒸腾气雾状，有喷如泉涌状，有冒泡状，数不胜数。

3. 黑龙江五大连池火山活动区温泉

五大连池火山位于五大连池市，其熔岩流的面积达 700 km²，区内有 14 座火山锥堆积在熔岩台地上，位于松辽裂谷的西北缘。五大连池火山温泉主要分布在火烧山、老黑山和药泉山地区。这里分布的著名的矿泉，富含锌、硒等多种人体所需的微量元素，具有医疗功用。火山温泉常年保持在 4℃ 左右，比当地年平均温度略高 2℃ 左右，因此该温泉有冷矿泉之称。

中国火山温泉的主要表现形式

温泉有广义和狭义之分，我们习惯上称之为的温泉为广义上的温泉。一般广义上将温泉水温度高于当地年平均温度称之为温泉，狭义上将温泉水温度高于 25℃ 称之为温泉。火山

活动区温泉热水深循环过程中，由于裂隙的随机分布，并存在巨大的压力差导致深部热水上涌过程中出现不同的表现形式。主要表现为：

火山温泉：这类温泉在长白山天池火山、腾冲火山区域广泛分布（图 3）。温泉水主要来自于大气降水，在地下水下渗过程中，通过热源加热，形成温泉水。表现为地下热水沿裂隙涌出地表，溶解于水中的气体源源不断地迁移释放。泉水中富含 Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、CO₃²⁻ 和 SO₄²⁻ 等多种离子，水质或清澈或浑浊。

火山沸泉：一般把温泉水温度达到当地沸点涌出的热水称为沸泉。该泉热水表面类似开水咕嘟状，并释放出大量热蒸汽。这类泉点大都分布在腾冲火山地区，这些泉点水量大，气量足，温度高，目前有 20 多个。其中尤以大滚锅沸泉为代表，该沸泉形成于某次强烈的水热爆炸，形成洼地热水池，热水自地下通道上涌，呈沸溢状。大滚锅泉水温 95℃ 左右，接近于沸点，泉水中心呈沸腾状，热气蒸腾（图 4），现已成为热海著名的景点。

水热爆炸：是指饱和热水或过饱和热水由于处于外来因素导致超压状态下，体积迅速膨胀，并爆破上覆盖层的一种水热活动。多表现为蒸汽热水流夹杂着砂石喷射。其主要分布在腾冲火山热海地区，它是全国少有的水热爆炸区。历史上就有纪录，近年来，热海地区水热爆炸已达 10 余次（图 5）。

间歇喷泉：顾名思义是由热水夹带蒸汽以一定的时间间隔反复向高空排放的热泉现象。在腾冲龙陵的邦腊掌存在有



图3 长白山天池火山口湖滨温泉



图4 腾冲火山热海大滚锅沸泉



图5 腾冲火山热海水热爆炸蒸汽喷发与碎屑锥



图6 长白山天池火山聚龙泉群硫华

间歇喷泉。

泉华：当地热水涌出地表，由于压力降低，温度骤变，溶解在热水中的矿物质发生沉淀，并堆积在泉口的这种疏松多孔物质叫泉华。泉华包括钙华，硫华和硅华等。由于泉华的矿物成分、沉淀数量和泉口差异，使得泉华形态多姿多彩，或壮观或绚丽。例如长白聚龙泉表面覆盖有大量的硫华，主要是热水中含有大量硫化物，溢出地表凝结成硫黄晶体，堆积在泉口表面，异常艳丽（图6），它是火山高温地热的主要标志。

中国火山温泉 研究概况及主要研究成果

1. 研究概况

火山温泉是火山流体研究的主要媒介。火山流体释放是活火山的重要特征。研究火山流体活动可获得与火山活动有关的地下岩浆活动和现代构造活动的重要信息。一般来说，世界各国都非常重视火山温泉的研究。一方面，火山温泉气体含有大量温室气体，具有危害性（表1）；另一方面，火山温泉含有大量的来自深部的气体及挥发组分，火山临界喷发期间，利用温泉热水释放信息可识别出短临预报信息。例如，1980年5月18日沉寂123年的圣海伦斯火山喷发。喷发前，深部来源气体He、CH₄、CO₂和H₂S等出现异常释放，通过连续的深源地热流体指标监测对成功预测该火山短临活动提供了实际的评判依据。

我国火山学研究起步晚，作为火山学之一的火山流体地球化学研究也不例外。目前在若干火山区开展了火山流体研究工作，并相继建立了火山流体观测系统，开展了火山活动区地热流体的流动与连续观测。通过大量的资料收集，火山区域地质背景，地热流体区域构造环境调查与研究，热水及逸出气体样品测试分析，结合形变学、地震学等研

表1 代表性与火山气体有关的火山灾害

时间	火山	火山气体	喷发灾害
1783年7月29日	拉基火山	硫黄气体	欧洲大陆温室效应, 9万人丧生
1902年4月23日	培雷火山	大量硫化氢等有毒烟雾	3万人死于窒息
1984年	莫罗温火山口湖	高浓度温室气体释放	37人死亡
1985年11月15日	路易兹火山	火山高温炙热气体融化冰川形成泥浆	10多万牲畜死亡, 2.3万余人死亡
1986年8月21日	尼奥斯火山口湖	高浓度温室气体释放	1700人死亡
1991年6月9日	皮纳图博火山	喷出2000万吨二氧化硫	全球出现灾害性气候效应

究, 开展了一系列研究工作。

2. 主要研究成果

自20世纪90年代我国正式开展火山学研究以来, 在上述三大火山区内, 对其分布的温泉热水系统进行了大量的探测, 对火山中心区域和外围的温泉群进行了大量的采样、分析与测试研究。主要研究成果有:

1) 大致了解了中国三大火山区现代流体活动的空间分布与活动特征。示踪了三大火山区地热水成因, 建立了火山区域地温场。示踪了与火山活动有关的现代流体释放点逸出气体来源。例如, 火山区域所有的现代流体释放中均检测到幔源气体组分, 由于所处构造环境不同, 其释放特征存在差异。这些幔源物质可能与地下岩浆体的脱气作用有关, 逸出气体中幔源物质的释放量与火山活动的中心距离呈正相关。总体上幔源物质释放量由高到低依次为长白山天池火山、腾冲火山和五大连池火山。

2) 建立了三大火山区地热水释放点稀有气体氦及其同位素比值的空间分布场, 示踪地下岩浆流体活动。大致掌握了已知火山区现代温泉群的释放类型与活动类型。确立了各火山区域深部气体释放强度分布图, 对岩浆活动性进行了明确的数据追踪。如给出了腾冲地区现代幔源岩浆挥发性组分的范围与释放中心的位置。通过火山区的氦同位素填图, 给出了腾冲火山区幔源挥发分释放的时空分布图。

3) 促进了火山流体地球化学与环境学、气候学等学科的交叉综合发展。开展了温室气体通量变化与环境的演化研究和低平火口湖沉积学等学科的研究工作。追根溯源, 以古鉴今, 为改善环境变化提供理论依据。交叉学科的发展大大推进了火山学的应用与推广。如目前利用相关数模, 依据已有研究成果计算了长白山天池火山、腾冲火山和五大连池火山的温泉气体排放通量, 获得了观测基线值。

4) 三座火山活动危险性科学评价。利用火山流体地球

化学研究火山区地下岩浆活动机理, 将中国火山活动危险性分为以下三类: ①最具火山喷发危险性火山——长白山天池火山。②存在潜在的喷发危险火山——腾冲火山。③有潜在活动可能性的火山——五大连池火山。如长白山天池火山是中国最大的一座近代活动火山, 其中长白山天池是千百年来火山喷发的固定通道, 说明地下深部存在岩浆体, 并得到连续不断的供给。一方面围绕火山口周围众多的瀑布、星罗棋布的温泉和广袤无垠的森林向人们展示火山的美, 另一方面长白山天池火山周围绵延数百千米的火山碎屑流显示了天池火山喷发的巨大威力。研究显示, 天池火山下方的岩浆体仍然存在活动性, 具有再次喷发的可能性, 需要关注。

结 语

火山温泉既具有极大的观赏性又是火山资源重要的储备库, 同时火山温泉也是研究火山喷发活动的有效途径。火山温泉流体监测研究从无到有走过了30年。这30年的发展得到了国家和各级部门的大力支持, 这得益于国家的经济发展和科技支撑。现有科研工作已取得了重要成果, 产出了一批具有高质量的、重要应用价值的基础数据、基础图件, 并在我国火山流体监测台网建立等方面得到了很好的应用和推广。在经济社会发展和人口逐渐城市化的今天, 火山监测研究在国家防灾安全监控方面越来越重要。实践证明, 开展火山温泉流体监测研究对于预测火山喷发、减轻火山喷发危害有重要的指示作用。通过对中国火山温泉等多学科全方位的综合监测, 不断提升我国火山科学监控水平, 为构建安全中国、服务大众做出应有的贡献。

本文由中央级公益性科研院所基本科研业务专项(IGCEA1603)资助