

火山灰年代学 画出更精准火山喷发历史

1月14日和15日,南太平洋岛国汤加的洪阿哈帕伊岛发生火山喷发,引发世界关注。专家指出,事发地火山口已苏醒,喷发活跃期可持续数周甚至数年。

大规模的火山喷发会释放出大量火山气体和火山灰,可能对地球气候和人类活动造成严重影响,对此,科学家一直在进行相关研究。其中,火山灰年代学可以帮助我们解决一些重要的科学问题,比如大型火山喷发事件与气候变化、人类演化之间的成因联系,以及气候快速变化事件的区域差异等。

对于科学家来说,火山灰是极佳的研究对象,是理解地球系统演化的关键信息。不久前,中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室、深地科学卓越研究中心博士后陈宣谕,中国科学院院士徐义刚与英国学者合作,采用贝叶斯统计方法研究了两大火山灰的火山喷发年龄,在年轻火山喷发定年研究中取得新进展,相关研究发表于《第四纪地质年代学》。



2021年12月6日,印尼塞梅鲁火山喷发,火山灰将印尼东爪哇省卢马姜的村庄覆盖。新华社发

确定火山灰年龄 意义重大

火山灰是指火山爆炸性喷发形成的、直径小于2毫米的喷发碎屑。在爆炸性火山活动中,围岩和岩浆被炸碎成细小的颗粒从而形成火山灰。火山灰从火山口喷发到大气中,经过大气搬运再沉降到各类环境中,整个过程时间非常短,通常只有数年左右。从地质时间尺度来看,这几乎是瞬时的,所以在各种地质记录中,火山灰是一种高精度的绝对时间标志层。

“火山灰年代学研究是利用地质记录中的火山灰层来确定地质年代的,研究内容涉及火山灰的化学成分、地层位置、空间分布,以及喷发年代等。”陈宣谕表示,火山灰年代学可以帮助我们解决一些重要的科学问题,比如大型火山喷发事件与气候变化、人类演化之间的成因联系,以及气候快速变化事件的区域差异等。

值得一提的是,绝对时间是地球科学研究中的一个重要参数,只有得到各个地质事件发生的准确年代,才能判断相关事件的因果关系(比如火山喷发与气候变化)和了解地球完整的演化历史。

火山灰年代学的核心原理之一,是不同地点发现的相同火山灰层具有一致的年龄,因此厘定火山灰标志层准确的喷发年龄十分关键,其可用于各类地质、古环境和考古学记录的定年。本次选取的研究对象为Ko-g和Ma-f~j火山灰,它们是日本北部重要的时间标志层,分别来自北海道驹岳和摩周火山全新世规模最大的普林尼式喷发。

“尽管过去的研究对上述火山灰开展了大量的放射性碳(14C)测年工作,但不同研究的结果差异较大,关于火山灰的喷发年龄尚无一致认识。”陈宣谕指出,过去的研究中还存在采样偏差、可能的样品污染以及14C年龄校正等

问题,这些问题对单个14C测年结果影响较大。

此次研究中,研究人员利用贝叶斯统计建模方法开展火山喷发年龄研究。经综合分析所有近源和远源年代学和地层学信息后,该研究为Ko-g火山灰提供了目前最准确且最精确的年龄估算,而为Ma-f~j火山灰提供了目前最准确的年龄估算,确证了上述两次大型喷发分别发生在距今约6600年和7500年以前。

火山灰定年法 总体有两大类

对火山喷发时间的估算实际上是对喷发产物的定年研究。火山灰是火山爆炸性喷发的产物,对其开展定年大体上包括直接测年和间接测年两类方法。

直接测年利用火山灰中的原生矿物或玻璃确定火山灰年龄,方法主要是放射性测年法,如氩-氩法、铀系法、释

光法等。间接测年利用包裹火山灰或被火山灰包裹的外来物质间接地确定火山灰年龄,方法主要是放射性测年法和增量法。如对火山喷发碎屑中的碳化木或火山灰下部土壤中的有机质开展的14C测年就属于放射性测年法,而通过纹层年代学、冰芯年代学得到的火山灰年龄则属于增量法。

“间接测年法还包括对含有火山灰的沉积层序开展年龄模拟,我们的研究就属于这一范畴。”陈宣谕说。

据介绍,本次研究利用英国牛津大学的OxCal软件建立阶段模型分析火山灰的近源14C年龄。样品依据其与火山灰层的相对地层关系,被纳入不同的沉积阶段,如喷发前、同喷发、喷发后阶段。阶段模型在校正样品年龄的过程中,同时考虑了样品地层位置给火山灰带来的年代学制约。陈宣谕告诉记者:“这与先前研究中,将来自火山灰之中和之下(紧邻地层中)样品的年龄均认为是喷发年龄相比更为准确。”

由于Ko-g和Ma-f~j火山灰在远源湖泊中被识别,且相应湖泊沉积记录具有大量14C测年数据,这使得利用贝叶斯统计方法进一步分析所有近、远源信息成为可能。研究人员利用湖泊14C年代学和地层学数据,构建了正式的“沉积”模型,该模型利用泊松过程模拟湖泊沉积物形成过程。根据火山灰在沉积记录中的层位,沉积模型在相应位置交叉引用了上述两层火山灰的阶段模型,实现了同时分析与火山灰相关的所有可用的年代学和地层学信息。

有助完善 东亚全新世火山灰地层框架

本次研究运用的年代学建模方法是基于贝叶斯分析的一种统计方法。

“贝叶斯分析方法就是将关于未知参数的先验信息与样本信息综合,根据贝叶斯公式得出后验信息,再根据后验

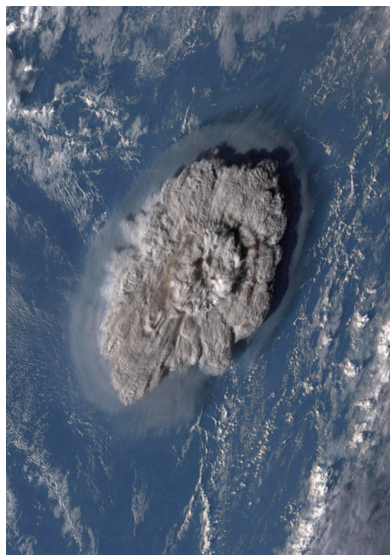
信息推断未知参数的方法。该方法的优点之一是在处理非常复杂问题时的高效性。”据陈宣谕介绍,对于东亚火山灰研究,过去对火山喷发年龄的估算通常基于单个14C测年结果,但由于采样偏差、可能的样品污染以及14C年龄校正等问题,单个样品测年结果的误差较大,不同研究得到的结果可以相差数千年的时间。

“测年结果的误差主要与两方面因素有关。一方面是各类测年方法固有的误差,如仪器测定的误差,又如14C年龄校正过程中产生的误差,这类误差较难避免;另一方面,是采样过程中可能存在的偏差或样品污染等,这类误差属于样品处理过程中人为引入的误差,通常可以避免。”陈宣谕说。

本次研究利用贝叶斯统计方法构建模型,综合分析了来自多个地点的、与火山灰相关的所有可用的年代学信息,同时还将地层学信息纳入模型。这类综合分析大量信息的方法,使得对火山喷发年龄估算的准确度有极大的提升。研究中,喷发年龄估算的精确度也较过去的研究有所提升。

在国际火山学界,学者们已经意识到贝叶斯统计方法可以为估算火山喷发年龄提供精度和准确度更高的结果,该方法也越来越多地被应用到火山灰年代学研究中。大型爆炸性火山喷发的产物,由于其分布广泛,常在不同记录中被发现和测年,因此文献中有很多这类火山灰的地层和年龄信息,而利用贝叶斯统计方法可以综合分析这些信息并对火山喷发年龄进行优化。

“这一方法目前在欧美地区应用较多,但在亚洲地区应用很少。”陈宣谕表示,该项研究是利用贝叶斯统计方法优化火山灰年龄的一个范例,研究结果厘清了过去关于火山喷发年龄的争论,增强了相应火山灰作为定年工具的作用,为完善东亚全新世火山灰地层框架提供了关键信息。 据《科技日报》



1月15日卫星拍摄的汤加海底火山喷发景象照片。新华社发