

宋雨佳, 曹戎机, 盘晓东, 顾国辉, 韩迪, 关升, 孙立影. 2022. 汤加火山 2022 年喷发回顾——对国内火山监测研究的启示. 地球与行星物理论评, 53(2): 228-232. doi: 10.19975/j.dqyxx.2022-015  
Song Y J, Cao R J, Pan X D, Gu G H, Han D, Guan S, Sun L Y. 2022. Review of the 2022 eruption of Tonga Volcano —Implications for domestic volcano monitoring researches. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 53(2): 228-232. doi:10.19975/j.dqyxx.2022-015

## 汤加火山 2022 年喷发回顾 ——对国内火山监测研究的启示

宋雨佳<sup>1,2</sup>, 曹戎机<sup>1,2</sup>, 盘晓东<sup>1,2\*</sup>, 顾国辉<sup>1,2</sup>, 韩迪<sup>1,2</sup>, 关升<sup>1,2</sup>, 孙立影<sup>1,2</sup>

1 吉林省地震局 吉林长白山火山国家野外科学观测研究站, 长春 130117

2 中国地震局火山研究所, 长春 130117

**摘要:** 2022 年 1 月 15 日汤加一座海底火山发生了猛烈的爆炸式喷发, 喷出大量火山灰、气体与水蒸气, 并进入平流层, 形成巨大火山灰云团, 引起国内外广泛关注. 本文对汤加火山的地质构造背景、喷发历史、喷发过程、灾害影响、喷发机理等方面进行综合分析, 详述此次汤加火山喷发的过程及灾害影响, 由此引申到当前国内活火山的活动状态. 长白山天池火山作为规模最大、最具潜在灾害性喷发危险的活火山, 其火山监测预警研究工作应进一步加强. 借鉴此次汤加火山灾害应对经验, 科学研判火山动态、完善国内火山灾害风险监测预警系统尤为重要.

**关键词:** 汤加火山; 火山喷发; 火山灾害

doi: 10.19975/j.dqyxx.2022-015

中图分类号: P317

文献标识码: A

## Review of the 2022 eruption of Tonga Volcano —Implications for domestic volcano monitoring researches

Song Yujia<sup>1,2</sup>, Cao Rongji<sup>1,2</sup>, Pan Xiaodong<sup>1,2\*</sup>, Gu Guohui<sup>1,2</sup>, Han Di<sup>1,2</sup>, Guan Sheng<sup>1,2</sup>, Sun Liying<sup>1,2</sup>

1 Jilin Earthquake Agency, Jilin Changbaishan Volcano National Observation and Research Station, Changchun 130117, China

2 Institute of Volcanology, China Earthquake Administration, Changchun 130117, China

**Abstract:** On January 15<sup>th</sup>, 2022, a submarine volcano in Tonga erupted violently and explosively, ejecting a large amount of ash, gas and water vapor which entered the stratosphere to form a huge ash cloud. The volcanic eruption caused widespread concern at home and abroad. This paper presents a comprehensive analysis of the geological background, eruption history, eruption process, disaster impact, and eruption mechanism of the Tonga Volcano. This draws attention to the current activity of active volcanoes in China, especially to Changbaishan Tianchi volcano, which is the largest active volcano with most potentially catastrophic eruption risk. It warns us that we should take precautionary measures to further strengthen the monitoring and early warning of domestic volcanic hazards. Drawing on the experience of this volcanic disaster in Tonga, it is particularly important to scientifically study and judge the dynamics of volcanoes and improve the domestic volcanic disaster risk monitoring and early warning system.

**Key words:** Tonga Volcano; volcanic eruption; volcanic disaster

收稿日期: 2022-02-08; 录用日期: 2022-02-17

基金项目: 吉林长白山火山国家野外科学观测研究站基金项目 (NORSCBS21-04)

Supported by the Jilin Changbaishan Volcano National Observation and Research Station Fund Project (Grant No. NORSCBS21-04)

第一作者: 宋雨佳 (1996-), 女, 助理工程师, 主要从事地质学研究. E-mail: songyujia182010@126.com

\*通信作者: 盘晓东 (1970-), 男, 高级工程师, 主要从事火山学研究. E-mail: 249136918@qq.com



## 0 引言

北京时间 2022 年 1 月 15 日, 南太平洋岛国汤加洪阿哈阿帕伊岛 (Hunga Tonga-Hunga Ha'apai) 海底火山 (下文简称“汤加火山”) 发生大规模爆炸式喷发, 火山灰、气体和蒸汽组成的火山喷发柱高达 20 km, 释放  $\text{SO}_2$  约 40 万吨. 引发的海啸波及环太平洋沿岸多个国家, 已造成 6 人死亡, 至少 85 000 人受灾, 洪阿哈阿帕伊岛火山周边 285  $\text{km}^2$  的陆地面积几乎“消失”. 汤加芒奥岛全部房屋遭摧毁; 福诺伊富阿岛、诺穆卡岛及主岛汤加塔布岛房屋、道路与桥梁受损严重, 空气及饮用水受到污染, 海洋生态遭到严重破坏. 大量火山灰使当地农业遭受重创, 大量牲畜因海啸死亡, 目前汤加国内航班仍然暂停. 此次火山喷发引起了全球广泛关注.

## 1 汤加火山地质构造背景

汤加火山位于汤加首都努库阿洛法以北 65 km 处的洪阿哈阿帕伊岛, 构造位置位于西南太平洋板块和印度—澳洲板块之间的“汇聚型板块边界”上, 是环太平洋火山—地震带汤加火山链的火山, 地质活动十分活跃. 太平洋板块向西侧的澳大利亚板块之下俯冲, 形成了海洋岛弧. 经过弧后拉张作用, 海洋岛弧周边逐渐发展成为劳盆地, 随后盆地发生裂隙, 在西侧形成劳山脊, 东侧形成汤加山脊. 汤加山脊与太平洋板块相邻, 火山活动十分频繁, 是现今地球上火山地震最活跃的环太平洋汤加火山链 (图 1).

## 2 汤加火山喷发历史

历史记录的该火山分别于 1912 年、1937 年、1988 年、2009 年、2014 年、2021 年发生过喷发 (表 1). 其中, 2009 年 3 月 17 日的火山喷发在洪阿哈阿帕伊岛的南部水域上形成了新的陆地. 2014 年 12 月 19 日该火山发生了喷发, 持续到 2015 年 1 月 28 日结束. 火山喷发形成了一个高约 120 m、宽 1.5 km (N-S)、长 2 km (W-E) 的新岛, 火山口直径为 400~500 m. 后来新岛与洪阿哈阿帕伊岛相连. 2021 年 12 月 20 日该火山再次发生爆炸式喷发, 喷发规模比历次喷发都大.

## 3 汤加火山喷发过程

此次汤加火山喷发可追溯到 2021 年 12 月, 在停止活动 7 年后汤加火山于 2021 年 12 月 20 日又开始活动, 喷发活动一直持续到 2022 年 1 月. 从 2021 年 12 月开始喷发以来, 规模较大的事件有 3 次, 分别为 2021 年 12 月 20 日、2022 年 1 月 14 日、2022 年 1 月 15 日的喷发. 其中, 2022 年 1 月 15 日的喷发规模最大, 且几乎持续了一整天, 最猛烈的喷发持续了 1 小时 46 分钟, 喷发柱高度达 20 km.

### (1) 2021 年 12 月 20 日的喷发

2021 年 12 月 20 日汤加火山开始爆炸式喷发, 火山灰高度超过了 15 km, 之后该火山一直处于间歇性的喷发状态. 2021 年 12 月 29 日至 2022 年 1 月 4 日期间, 火山喷发呈断断续续状态. 2022 年 1 月 4 日之后火山活动出现短时平静现象.

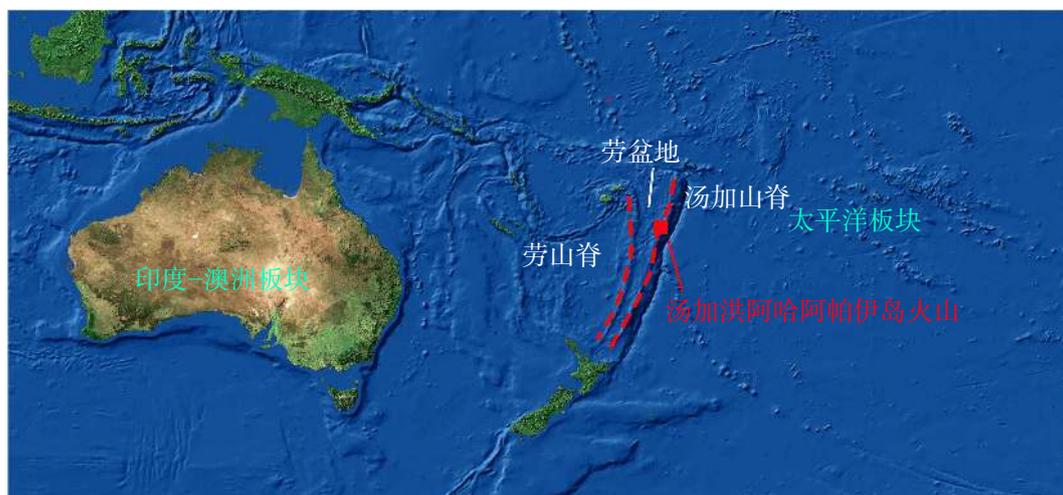


图 1 汤加火山构造背景略图

Fig. 1 Geotectonic background map of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano

表 1 汤加火山历史喷发记录表

Table 1 Records of the historical eruptions of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano

开始日期	停止日期	VEI	喷发高度	影响
2021-12-20				汤加全境短暂失联, 太平洋多个国家地区发生海啸
2014-12-19	2015-01-23	2	9 km	排放SO <sub>2</sub> 为14 kt
2009-03-17	2009-03-22	2	2009-03-18: 4.6 ~ 7.6 km; 2009-03-18至2009-03-19: 4 ~ 5.2 km; 2009-03-20: 1.8 km; 2009-03-21: 0.8 km	在水面上形成了新的陆地, 火山降落物破坏了岛屿植被
1988-06-01	1988-06-03	0		派哈群岛1 km范围内灾害严重
1937		2		
1912-04-29		2		

### (2) 2022 年 1 月 14 日的喷发:

2022 年 1 月 14 日凌晨汤加火山再次发生爆炸式爆发, 火山喷发持续时间超过 12 个小时. 喷发规模是 2021 年 12 月 20 日火山喷发的 5~7 倍, 喷发柱高度为 15~20 km. 此次活动喷出大量火山灰和火山气体, 有 8 万多次闪电现象, 汤加全境空气质量受严重影响. 此次喷发使火山地貌及火山结构形态发生重大变化, 与之前的图像相比, 该岛的大部分地区似乎被摧毁了.

### (3) 2022 年 1 月 15 日的喷发:

2022 年 1 月 15 日汤加火山发生了更大规模的爆炸式喷发, 是本世纪以来的最大规模火山喷发, 火山喷发柱高度达 20 km. 距火山口 65 km 外的首都努库阿洛法听见了巨大的爆炸声, 火山灰及火山碎屑从天而降. 这次喷发产生的巨响在距离火山 800 多千米的斐济群岛、2 200 km 外的新西兰北岛都能听见. 火山喷发产生的冲击波还影响到了全球各地的气压, 日本、澳大利亚、中国、新西兰等多国均监测到气压数据突然弹跳的变化. 火山喷发同时引发了太平洋全域海啸过程. 从太空中, 卫星捕捉到了一个巨大的火山喷发柱和爆炸式蘑菇状火山灰云团. 臭氧测绘 (OMPS) 激光雷达卫星数据显示, 喷出的火山灰及火山气体已到达了平流层高度. TROPOMI (“哨兵-5P” 卫星上对流层观测仪) 基于卫星的大气 SO<sub>2</sub> 浓度测量结果, SO<sub>2</sub> 排放量约 40 万吨.

## 4 汤加火山喷发灾害影响

此次汤加火山喷发灾害种类多, 影响范围广. 火山喷发产生的火山气体、火山灰等直接灾害严重威胁了汤加境内的社会生活, 酸雨、海啸等间接灾

害对环太平洋地区的气候环境造成了一定的影响.

### (1) 火山灰灾害

汤加首都努库阿洛法当地及附近岛屿的建筑、道路、植被等几乎全被火山灰覆盖, 受损严重; 农作物也被火山灰掩埋, 支柱产业农业受灾严重; 汤加国际机场跑道上的火山灰覆盖范围广, 清理困难导致打通空中救援通道受阻. 火山灰还可能影响了汤加境内的通讯, 严重污染了饮用水源, 给居民日常生活造成了不便.

### (2) 海啸灾害

此次火山喷发引发了太平洋全域海啸过程: 1 月 16 日美国加利福尼亚州、俄勒冈州、夏威夷群岛均监测到 1~2 m 高的海啸波; 日本列岛均监测到 0.2~1.2 m 不等的海啸波; 智利中部科金博大区监测到 2 m 高的海啸波; 墨西哥沿岸监测到 0.43~2.05 m 高的海啸波. 我国浙江石浦站监测到最大海啸波幅约 20 cm, 此次过程未对中国沿岸造成灾害性影响.

受海啸影响, 秘鲁利马附近海域发生了严重的石油泄漏, 截至 1 月 20 日已污染了秘鲁沿岸 20 万平方英尺的海滩, 引发了严重的生态灾难并导致秘鲁海滩关闭、渔业停止.

### (3) 气候影响

地球上每年发生多次火山爆发, 但只有将大量火山灰、火山气体及其气溶胶喷送至平流层位置处的强火山爆发才对大范围天气与气候产生影响. 长久飘浮滞留于平流层上空的大量火山灰气溶胶会吸收和反向散射一部分短波辐射, 并减弱进入对流层的太阳辐射, 从而引起天气与气候变化. 同时, 喷上平流层的大量硫化气体, 在阳光照射下与水汽结合后会形成很小很亮的硫酸气溶胶, 它们在平流层长期飘浮会强烈反射一部分太阳辐射. 因此, 选择

火山气体中对气候影响作用最大的  $\text{SO}_2$  作为参考项, 此次汤加火山爆发最大喷发柱带入约 42 万吨的  $\text{SO}_2$ , 小型喷发柱也多次带入,  $\text{SO}_2$  释放总量应该在百万吨数量级, 约相当于皮纳图博火山的百分之几 (1991 年菲律宾皮纳图博火山爆发排放出 1 700 万吨  $\text{SO}_2$ ), 能够达到当年皮纳图博火山“全球降温  $0.5^\circ\text{C}$  的无夏之年”的概率极小. 而且, 汤加火山的岩浆体系比皮纳图博火山岩浆体系的硫含量更低 (酸性更低), 这也从另一个方面削弱了其影响气候的能力.

## 5 汤加火山喷发机理

太平洋板块在汤加东侧的海沟处俯冲, 俯冲的大洋洋壳在深部脱水引起地幔楔的熔融, 形成岩浆 (Sun et al., 2020). 基于空间大地测量技术长期观测研究结果认为, 太平洋板块整体以  $70.1 \text{ mm/a}$  向西北移动, 汤加火山附近的太平洋板块汇聚速率约为  $78 \text{ mm/a}$  (金双根等, 2002). 最新研究表明, 汤加火山北部太平洋板块汇聚速率约为  $119 \text{ mm/a}$  (图 2), 一定程度上说明了西太平洋板块呈持续俯冲的状态, 俯冲速率增加, 熔融逐渐积聚, 待压力达到临界时, 在俯冲带上部发生火山喷发.

## 6 启示与讨论

汤加火山是太平洋板块向印度—澳大利亚板块俯冲作用的结果, 我国长白山火山也是受太平洋板

块向欧亚板块俯冲作用影响, 二者火山活动都与板块活动有关. 太平洋板块俯冲作用能导致汤加火山喷发, 也会对我国长白山火山产生影响. 近期汤加发生海底火山大规模爆炸式喷发事件, 也警示我们应防患于未然, 进一步加强长白山火山灾害风险监测预警工作.

地质调查及火山监测研究表明, 我国存在 14 座在全新世有过喷发活动的火山, 其中长白山天池火山是规模最大、最具潜在灾害性喷发危险的活火山. 据文献记载和专家考证, 长白山火山有过多次喷发, 公元 1413 年、1597 年、1668 年、1702 年及 1903 年分别发生过 5 次中小规模喷发 (刘若新等, 1998), 火山活动较为频繁. 公元 946 年的大喷发, 被认为是全球近 2 000 年来最大的火山喷发事件之一, 造成了巨大灾害, 摧毁了半径  $80 \text{ km}$  范围内的原始森林, 火山泥石流沿鸭绿江、图们江和松花江流域向下游扩展, 在  $300 \text{ km}$  之外的吉林丰满一带堆积物的厚度还可达  $15 \text{ m}$ , 其火山灰降落到  $1 000 \text{ km}$  之外的日本 (刘嘉麒等, 2015). 刘嘉麒院士认为, 长白山火山仍处于构造活动强烈的东北亚板块体系中, 与西太平洋火山、地震带密切相关, 濒临千年大喷发和百年小喷发周期的节点, 且地下存在岩浆房, 过去喷发的基本条件和地质背景没有变, 在可预见的将来仍然会喷发. 天池蓄水 20.4 亿立方米, 即使发生中小规模喷发, 也会造成巨大灾害.

为减轻和预防国内活火山喷发形成的灾害, 我国在长白山、龙岗、五大连池、镜泊湖、腾冲、琼

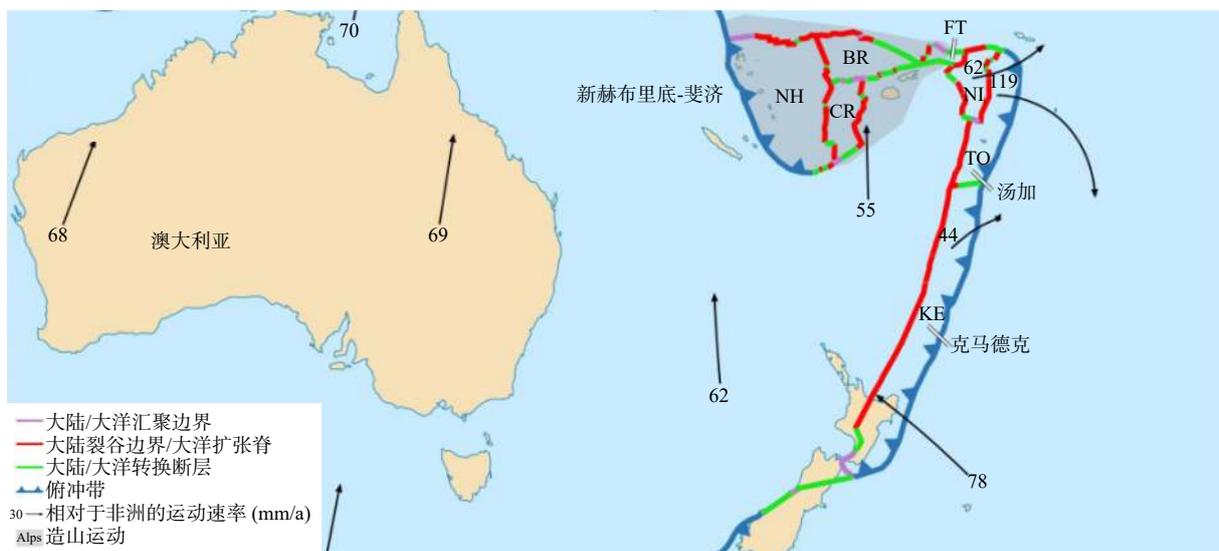


图 2 构造板块运动要素解析 (修改自 Wikimedia Commons 网站)

Fig. 2 Analysis of the elements of tectonic plate movement (modified from Wikimedia Commons website)

北等 6 个活动火山区建立了火山监测站, 成立了火山研究中心, 开展了火山监测工作. 2020 年 6 月成立的中国地震局火山研究所开展了国内火山监测预测预警、国外火山活动跟踪及信息服务工作. 目前我国火山监测技术分为三大类, 分别为火山地震监测、火山形变监测和火山气体监测, 一些新的观测技术也不断在火山监测中得到应用. 在火山喷发序列、岩浆成因演化、火山灾害、岩浆房探测研究方面, 取得了一些新的认识. 但是, 由于我国火山监测研究起步较晚, 与国外火山监测水平先进国家相比, 还存在一定的差距, 尚未建立火山预警系统, 需要进一步加强火山监测预测预警研究工作. 其中水下声学监测, 在汤加火山监测实践中起到了重要作用, 为国内火山监测体系的发展提供了启示作用 (Bohnenstiehl et al., 2013). 因此, 借鉴此次汤加火山灾害应对经验, 尤其是针对具有潜在喷发危险的长白山火山, 建立完善的火山监测预警系统尤为关键.

#### 数据与来源

本文数据来源为: Government of Tonga: <http://pmo.gov.to/>; Tonga Meteorological Services: <http://met.gov.to/>; Volcanic Ash Advisory Center (VAAC): <http://vaac.metservice.com/>.

#### References

- Bohnenstiehl D R, Dziak R P, Matsumoto H, et al. 2013. Underwater acoustic records from the March 2009 eruption of Hunga Ha'apai-Hunga Tonga volcano in the Kingdom of Tonga[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 249: 12-24.
- Jin S G, Zhu W Y. 2002. Pacific plate motion, deformation and the present relative motion of its margins[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 22(2): 57-60 (in Chinese).
- Liu J Q, Chen S S, Guo W F, et al. 2015. The research progress of Changbaishan volcano[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 34(4): 710-723 (in Chinese).
- Liu R X, Wei H Q, Li J T, et al. 1998. The Modern Eruption of Changbaishan Tianchi Volcano[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Sun W D, Zhang L P, Li H, et al. 2020. The synchronic Cenozoic subduction initiations in the west Pacific induced by the closure of the Neo-Tethys Ocean[J]. *Science Bulletin*, 65(24): 2068-2071.

#### 附中文参考文献

- 金双根, 朱文耀. 2002. 太平洋板块运动和形变及其边缘现今相对运动[J]. *大地测量与地球动力学*, 22(2): 57-60.
- 刘嘉麒, 陈双双, 郭文峰, 等. 2015. 长白山火山研究进展 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 34 (4): 710-723
- 刘若新, 魏海泉, 李继泰, 等. 1998. 长白山天池火山近代喷发 [M]. 北京: 科学出版社.