

# 火山 温泉 地热能

黄尚瑶 胡素敏 马兰 编著

地质出版社



VOLCANOES

HOT

SPRINGS



GEO-

THERMAL

ENERGY



# 火山·温泉·地热能

黄尚瑶 胡素敏 马 兰 编著

地 质 出 版 社

**火山·温泉·地热能**

黄尚瑶 胡素敏 马 兰 编著

责任编辑：殷维翰

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：11<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 字数：258,000

1986年3月北京第一版·1986年3月北京第一次印刷

印数：1—3,672册 定价：2.85 元

统一书号：13038·新203

# 前 言

地球内部蕴藏着巨大的自然能源——地热能。它通过火山爆发、温泉、喷泉及岩石的热传导等方式源源不断地向地表传送。地球内部的热能，不论是通过地下热水（汽）的循环对流或地幔对流（火山爆发、岩浆侵入），还是通过岩石的热传导，一般都要在特定的地质构造及水文地质条件下，才能在地壳浅部富集和赋存起来，形成地热异常和有开发价值的地热田，而为人类开发利用地热能提供十分有利的自然条件。

在本书第一章“奇特的地热显示”中介绍了火山、温泉、间歇喷泉、喷气孔、沸泥塘、泉华等各种奇异而有趣的地表地热现象，扼要地说明了各类显示的定义、类型、特点及形成机制等，并相应地列举了世界著名活火山、间歇喷泉等实例。

火山、温泉、间歇喷泉等地热显示是为人们所目睹和可触及的地热现象，它们的存在表明：地球是个大热库、地球内部蕴藏着无穷无尽的热能。因此在本书第二章“地球的内热——巨大的自然能源”中，首先讨论了研究地球内热的新学科——地热学的发展，随后针对地球内部为什么是热的、为什么越往深部越热以及地下是遵循什么规律而增温等问题，讨论了地球热场的时、空分布规律，地球内部的热源以及地球的热状况、热历史等基本概念和基本理论。试图通过以上论述，揭示出各种有关问题的科学道理，为进一步探索地球深部的秘密打好基础。

为了对地热能资源的潜力作出正确评价，以便充分合理地开发和利用，重要的任务是结合地质构造研究和掌握地热分布的规律。因此，我们继第一、二两章之后，接着便进入第三章“从地质构造看地热的分布”。大量实际观测资料表明，无论是从全球或从某一局部地区来看，地热的分布都不是杂乱无章，而是严格遵循一定的地质规律的，也就是说，地热资源是在某一特定的大地构造环境中形成的，其分布严格地受到地质构造格架的控制。我们在本章中，试图应用新地球观——板块构造学说来研究世界及我国地热的形成与分布规律，以预测其开发利用远景。我们认为，不论应用那一种大地构造学说和观点来研究和分析地热的形成与分布，都有一个共同的目的，就是力求找出构造控热的规律，正确指导找热探热的方向，最终达到：用最小的勘探工作量取得最大的经济效果。

在本书第四章“地热资源的普查勘探方法”中，首先扼要说明地热资源及地热异常的概念，然后分别介绍地质—水文地质调查、地球化学勘查、地球物理勘查及钻探等地热普查勘探工作方法，并结合热田普查勘探实例，系统地说明应用各种勘查方法所取得的成果。

近年来，世界各国在地热能资源勘查和利用方面已取得重大进展。我国自七十年代以来，在已故著名地质学家李四光的积极倡议和支持下，在全国范围内先后有20多个省、市、自治区开展了地热勘查和综合利用等工作，并已取得显著成绩。有的地方根据我国的特点，因地制宜，在中、低温地下热水研究和利用方面已取得不少成果，尤其是在直接利用中、低温地下热水代替部分常规能源方面所取得的经验，已引起世界一些国家的兴趣。我们在本书的最后一章“地热资源的综合利用”中，首先综述世界地热资源的开发、

利用概况，然后分别介绍地热发电、地热采暖以及地下热水在轻纺工业、化工工业、农林牧副渔业和人民日常生活中的利用，并结合国内外大量实例，指出利用地热所取得的经济效益。

地热能是人类开辟的一种新能源。它在某些方面，具备了太阳能、风能、潮汐能等所不具备的优点，如分布较广，不受白昼和季节变化的限制，以及能够直接利用等等。与常规能源煤、石油和天然气及核能等相比，它又是一种较廉价的、洁净的和可以更新的能源。由此可见，地热能与各种新能源及常规能源和核能等相比，具有一定的竞争力。只要加强研究，掌握其形成与分布的规律，充分合理地开发和利用，可以确信，在不久的将来，地热能必将逐步地代替部分常规能源，改变能源结构，成为一种不可忽视的理想能源之一。

编写本书的目的是普及地热知识，希望有更多的读者关心、支持和促进我国地热能事业的发展，使地热能逐步改变能源结构、实现我国四个现代化的过程中做出应有的贡献。

全书由殷维翰同志审订。在本书编写过程中，并曾得到徐光彩、岑加法、段永候、王大纯、沈照理、汪集阳、王钧、张知非、廖志杰、安可士、姚足金、陈国富、齐宝翔、路祥柱、谢长芳、杨期隆、郑克棧及马大乐等同志以及勘查研究与开发利用地热能资源有关单位许多同志的热情支持和帮助。均此感谢。

# 目 录

## 前言

<b>第一章 奇特的地热显示</b> .....	1
第一节 火山喷发奇观.....	2
第二节 绮丽的间歇喷泉.....	14
第三节 一股股喷气如炊烟缭绕.....	31
第四节 沸泥塘的秘密.....	33
第五节 奇异的水热爆炸.....	34
第六节 千姿百态的泉华沉积.....	36
第七节 色彩鲜艳的水热蚀变带.....	41
第八节 水热矿化放异彩.....	42
<b>第二章 地球的内热——巨大的自然能源</b> .....	44
第一节 研究地球内热的新学科——地热学.....	44
第二节 地壳岩石的热物理性质.....	48
第三节 地球内部的热源.....	52
第四节 地球内部的热状态和热历史.....	57
<b>第三章 从地质构造看地热的分布</b> .....	67
第一节 全球热流之分布与板块构造的关系.....	67
第二节 按板块构造学说对地热带分类.....	72
第三节 板缘地热带.....	78
第四节 板内地热带.....	88
第五节 中国地热资源之分布与形成特征.....	95
<b>第四章 地热资源的普查勘探方法</b>	
第一节 地热资源与地热异常.....	106
第二节 地质——水文地质调查.....	111
第三节 地球化学勘查.....	115
第四节 地球物理勘查.....	126
第五节 钻探工作.....	139
<b>第五章 地热资源的综合利用</b> .....	140
第一节 世界地热资源开发利用概况.....	141
第二节 地热发电.....	145
第三节 地热采暖.....	150
第四节 地下热水在轻纺工业及化工工业方面的利用.....	152
第五节 地热在农林牧副渔业方面的利用.....	156

第六节 地热在医疗、卫生及旅游事业上的利用 .....	158
第七节 地下热水的逐级综合利用 .....	160
结束语 .....	163
参考文献 .....	165

# 第一章 奇特的地热显示

地球是个大热库，蕴藏着巨大的热能。

蕴藏在地球内部的巨大热能，通过火山爆发、温泉、间歇喷泉、岩石的热传导等等形式源源不断地带出地表。

火山爆发是地球内部的热能在地表的一种最为强烈的显示。大家知道，火山喷出的熔融岩浆，其温度可高达1000—1200℃。除火山爆发外，人们还可以看到地热在地表的其他各类显示，如温泉、沸泉、沸喷泉、间歇喷泉等。其中分布最广又最常见的就是人们所熟悉的温泉。这里所说的温泉一般是指温度在20—90℃之间的温泉。温泉水常年不断地流出地表，它可以是地表地热显示中比较微弱的一种，常常与猛烈的火山爆发形成鲜明的对比。其余如沸泉、沸喷泉、间歇喷泉、冒气穴、汽泉、喷气孔和沸泥塘等，其温度多接近或超过当地沸点，都属于强烈的高温地热显示。从目前已开发的世界著名的高温地热田来看，地热流体（地下热水与蒸气两相混合物）的温度，通常都在150—200℃以上，最高可超过300—380℃。如意大利的拉德瑞罗（245℃），新西兰的怀拉开（266℃），冰岛的纳马菲雅尔（280℃），日本的大岳（206℃）与松川（250℃），墨西哥的塞罗普列托（388℃），美国的盖瑟尔斯（288℃）和索尔顿湖（360℃），苏联的波热特（200℃）以及我国台湾的马槽（240℃）、土场-清水（226℃）和西藏羊八井（150℃）等。其他如泉华沉积、水热蚀变及水热矿化等，也都属于水热活动在地表的不同显示。

上面列举的地热显示中，火山爆发、间歇喷泉、喷气孔、沸泥塘、水热爆炸、泉华、水热蚀变及水热矿化等类型都将在本章各节中逐一地进行介绍。在介绍中，将分别对各类奇特的地热显示按其含意、类型、活动特点、形成机制及一些实例进行扼要说明，使我们能对地热在地表的各种显示有一个比较完整和系统的了解。

我们了解地热在地表的各种显示，首先是因为这类显示可作为“找热探热”的标志。如同铁帽及油苗可以预示深部可能存在着矿田及油田，地热在地表的各类显示，也可以预示深部可能存在着地热田。许多地热田由于拥有各种奇特的地热显示，加上秀丽的自然景色，构成一幅幅十分动人的画面，到过地热显示区的人们都会有这样的感觉，这些地方蕴藏着多么丰富的旅游资源啊！真可以说是人们理想的疗养和旅游胜地了。此外，在地下热水及热卤水中，不仅本身含有许多有用元素及化合物，如碘、硼、锂、铷、铯、氡、重水、各种气体和盐类，可供化学提取；而且，有某些金属及非金属能从地下热水及热卤水中沉淀出来，形成各种矿物。例如在地热田及其附近，常常发现一些与水热活动有关的金属及非金属矿化，如金—银矿化，铁—铜、铅、锌等多金属矿化，以及硫磺矿、汞矿、萤石、重晶石、硬石膏等矿化。这些矿化现象，通常都可作为“找矿探矿”的重要标志。如果达到工业品位，即可供开采。

由上面谈到的几个方面可以看到，我们研究地热在地表的各种显示，对国民经济的发展和人民的生活都具有重要的意义。



## 第一节 火山喷发奇观

你可曾亲临其境，或从电视、电影、书报中，看到过火山喷发时的情景？一股股炽热的岩浆从地下喷射出来，火光四起，一切都被熊熊的烈火席卷着、燃烧着、毁坏着，呈现出一片多么可怕的情景啊！

这种火山爆发现象，无论在大陆、岛屿或洋底，抑或在过去某个地质时期或现在，都在断断续续地发生着、消失着。它的发生常常给居住在火山区的人民造成极大的威胁和危害。有不少城镇和村庄被烧毁或埋葬在火山灰下，无数居民被夺走了生命……。但同时火山也会给人类带来巨大的能源、丰富的矿产和肥沃的土地。例如：北大西洋的冰岛人民就是在一个破火山口内建造了克拉弗拉地热电站（见封三左中<sup>①</sup>，黄尚瑶摄）；日本最大的地热电站——八丁原地热电站就是建造在与阿苏山火山相距30公里的地方；在美国的夏威夷岛已开始对火山口内熔融岩浆的热能进行试验性开发。此外，爪哇有8万人就是依靠火山灰肥沃的土地生存的……。类似的例子还有许多。

随着近代科学技术的发展，人类已开始利用地球卫星技术及其他方法来观测火山爆发前的地颤动、地倾斜度的变化及其活动规律，力求正确预报火山爆发，以减轻它给人类可能造成的危害。可以预言，离人类预测和利用火山的时代已为期不远了。

火山爆发是一种奇特的地质现象，是地壳运动的一种表现形式，也是地球内部的热能在地表的一种最为强烈的显示。一次猛烈的火山爆发可以从地球内部释放出十分巨大的能量，可以说，氢弹或是原子弹的爆炸，或者是万炮齐轰，都远远比不上火山爆发时所释放的能量。

世界最猛烈的一次火山爆发发生在公元前1470年爱琴海中希腊的桑托林岛火山，这次爆发激起了50米高的海浪，摧毁了约130公里外克里特岛上的米诺文明中心。这是世界上破坏性最大的一次火山爆发，有人估计，这次火山爆发相当于氢弹爆炸力的130倍。类似的一次发生在1883年8月27日爪哇岛和苏门答腊岛之间海峡中的喀拉喀托火山岛上，据估计，这次火山爆发释放出来的能量相当于20万个投在广岛的原子弹。它是近期历史上最强烈的一次爆发，把75平方公里的海岛全部炸毁。火山灰上升到27公里的高空。原来这座火山高出海面500米，爆炸后低于海面300多米。1815年4月5日到7日发生在印度尼西亚巴哇岛坦博腊火山的一次大爆发，是世界上喷发物最多的一次，喷出的火山物质估计体积达151.7立方公里（ $151.7 \times 10^9$ 立方米），喷发的能量为 $8.4 \times 10^{26}$ 尔格。喷发后，火山的海拔大约降低了1200米，形成了直径为11公里多的火山口。

由上述几例即可看出，火山爆发具有多么巨大无比的能量啊！

目前已知地球上仍处在活动状态的火山（即活火山）有820多个（表1），其中海底火山近70个。从“世界火山分布图”（图1）可清楚地看出，世界活火山中大约有80%分布在环太平洋地区，形成世界上著名的环太平洋“火山环”，其分布大体上从新西兰到印度尼西亚东部，经菲律宾、日本到堪察加，向东经阿留申、阿拉斯加南部，再向南沿美国

<sup>①</sup> 封三左中为克拉弗拉地热电站全景，图前中为汽、水分离站，由输汽管道与图后坡前的电厂相连接，电厂的左前方为冷却塔。

表 1 世界活火山分布 (腾井义雄, 1971)

地 区	活火山数	%
环太平洋地区①	512	61.8
印度尼西亚	129	15.6
欧亚大陆	30	3.6
非洲、红海、阿拉伯半岛	79	9.5
太平洋	14	1.7
大西洋②	60	7.2
印度洋	5	0.6
合 计	829	100.0

① 包括西印度群岛和南散得维齿群岛

② 不包括上述两个群岛

西海岸，一直到智利南部及南极地区，是世界上最大的火山带。其次是大洋中脊，其中大西洋中脊最为典型，包括冰岛及亚速尔、加那利和佛得角等群岛，还有大量的海底火山。此外是地中海地区，尤其是意大利、土耳其、伊朗及红海附近，还有埃塞俄比亚-东非裂谷带，它与红海—亚丁湾裂谷系相连接。世界著名的活火山有意大利的维苏威火山和埃特纳火山，美国阿拉斯加半岛上的卡特迈火山、夏威夷岛上的基拉韦厄火山和美国西部的圣海伦斯火山，冰岛的拉基火山、赫克拉火山和苏特西火山，日本的阿苏山和三原山火山，苏联堪察加半岛的克留赤夫火山，墨西哥的帕里库廷火山，新西兰的塔腊韦腊火山，以及印度尼西亚的喀拉喀托火山、小安的列斯群岛的培雷火山和非洲扎伊尔的尼腊贡戈火山等。此外，还有南极洲罗斯海的埃里伯斯火山。

预报火山爆发目前尚无多大把握，火山学家和科学家们正在努力寻找可靠的方法，并已做过许多实地观察。他们认真研究火山爆发前的一切可能的征兆，如火山温度及气体成分的变化、地震仪的摆动以及动物的反应等。1935年，夏威夷天文台创始人贾加教授曾根据火山内部岩浆<sup>①</sup>上升所引起的轻微地震，提前几个月预报了冒纳罗亚火山的爆发。1973年，冰岛南部维斯特曼群岛的海迈岛火山临爆发前的地颤动预示了爆发的到来，因此岛上5000多居民得以迅速撤走，故无一人伤亡。目前，美国正在利用地球资源卫星对北美洲、中美洲、冰岛、夏威夷岛20个火山坡度的微小变化进行监测，力图作出可靠的火山爆发预报，以减轻火山带来的危害。

对各国的火山学家、科学家以及居住在活火山区的居民来说，很早以来就有不少机会能够目睹和直接观测研究火山的活动规律。然而，对世界绝大多数地区的居民来说，亲临其境观赏火山喷发时的奇景，确是人生难逢的机会。但是，人们从电视、电影中或书报上都可以获得许多关于火山的知识。

我们在本节中将向读者介绍什么是火山，火山的类型，火山喷发活动的特点等问题，并列举一些世界著名火山喷发的实例。

我们用较大的篇幅介绍活火山，是因为世界许多正在开发热水和蒸汽的高温地热田正是在这些地方，如意大利、冰岛、新西兰、美国、日本、菲律宾、印度尼西亚和苏联等国

① 岩浆 (magma) 一词来自希腊语，意为“浆糊”，它是一种炽热的硅酸盐熔体。

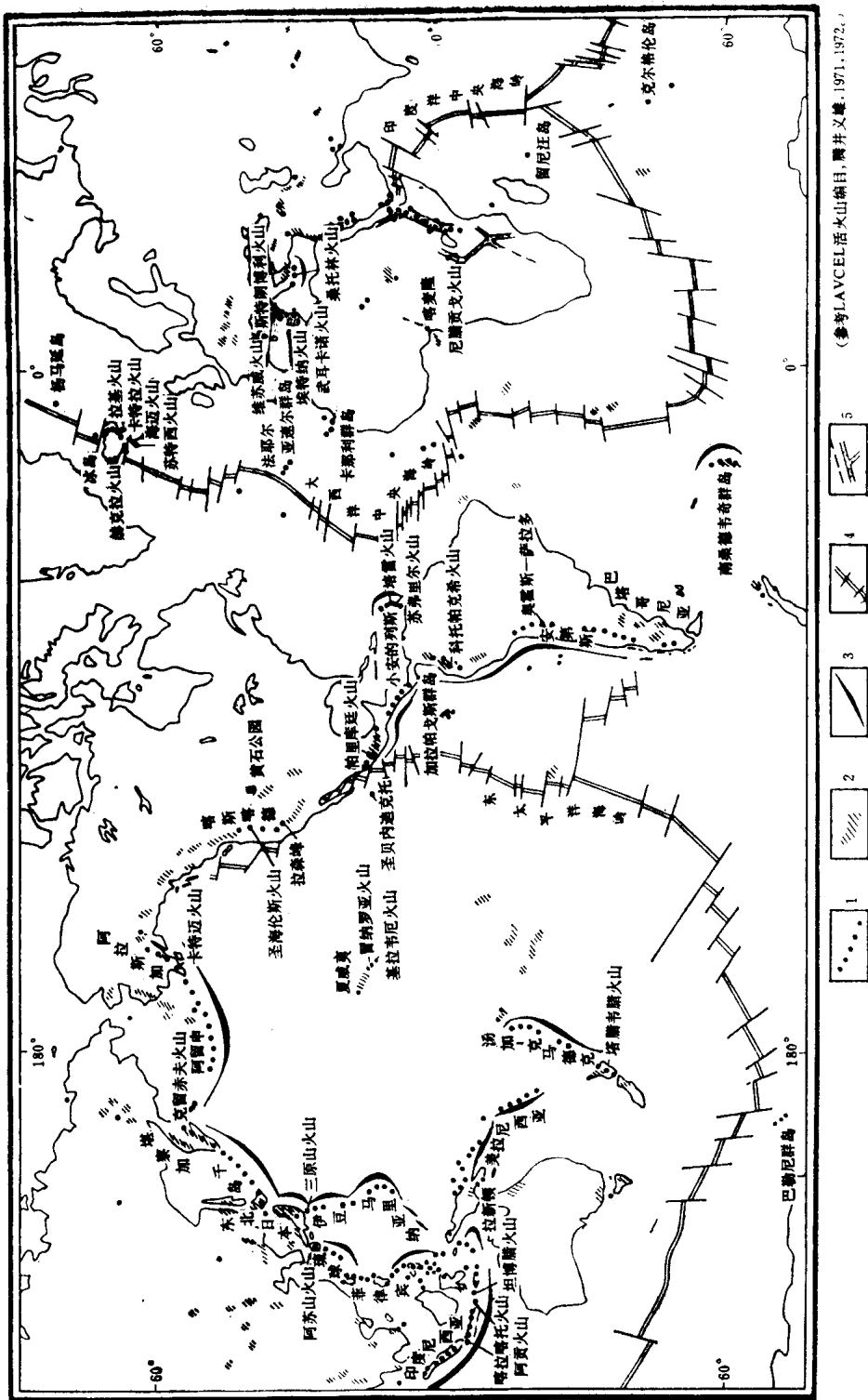


图 1 世界火山分布略图

(贝冢等, 1976)

1—活火山 (包括有活动记录的火山及喷气中的火山); 2—上新世—第四纪火山区; 3—海沟; 4—中央海岭; 5—断层破碎带及地沟

的一些地热田，而且喷气、水热矿化等现象都与火山喷发活动密切相关。

## 一、什么是火山？火山有哪几种类型？

“火山”（Volcano）这个名词来自意大利语。拉丁语的“Vulcanus”，是火神的意思。据神话传说，火神是古罗马主神的儿子，住在西西里岛附近的一个岛上。这个岛上经常发生喷火现象，因此人们称这个岛为Volcano岛。火山“Volcano”的名称即来源于此。

那么，什么是火山呢？大家知道，在地球深部，主要是地壳的中下部及上地幔顶部，存在着温度在摄氏1000度左右的熔融物质，这种物质称为岩浆。当地球内部炽热的岩浆沿着地壳的薄弱地带即深断裂带造成的通道冲出地表时，其喷出物在喷火口<sup>①</sup>及其四周堆积而成的山，就叫做火山。

火山有活火山、休眠火山及死火山之分。活火山（active volcano）是指历史上有过喷发及现在仍在活动的火山。休眠火山（dormant volcano）是指历史上有过喷发而现在处于休眠状态的火山。死火山（extinct volcano）是指有史以来即无喷发活动的火山，又称熄灭火山。在后一种情况下，火山机构在漫长的地质历史过程中已多被破坏。而活火山和休眠火山之间的界限并不是很严格的，因为有时沉睡数百年甚至数千年之久的火山，后来又突然爆发，如美国西部的圣海伦斯火山及冰岛南部维斯特曼群岛的海迈岛火山。

火山按其形态、喷出物的性质及构造等可分为圆锥状成层火山、块状或钟状火山、白状火山、盾状火山、岩塔式或尖塔式火山、熔岩台地及蒸气爆发火口等7类。

火山喷发表现为三种基本形式：第一种是爆发，是一种猛烈的喷发，喷出大量的碎屑物，堆积成火山碎屑锥；第二种是喷溢，开始时岩浆从火山口宁静地溢出，流动性较好，形成熔岩流和盾形火山，如果第一种和第二种交替发生，则形成成层火山锥；第三种是侵出，主要是粘性较大的熔岩从火山口涌出，堆积而成岩钟、岩塔、岩针等“侵出体”。

世界各地的活火山，具有不同的喷发特点。按火山喷发活动特点的分类，大多数以活火山的名称命名。现介绍以下6种：

### 1. 夏威夷式

火山通道一般属裂隙型，特别是在喷发早期。当从火山口喷出炽热的岩浆到达地表时，即形成熔岩喷泉，喷射高度一般几米到几十米，最高可达800余米。

### 2. 斯特朗博利式

以意大利西海岸附近一个小岛上的斯特朗博利火山命名。这类火山的熔岩比夏威夷式火山的熔岩要粘一些。它可连续平稳地喷发达数月甚至几年，喷发中伴有间歇性爆发。常常从火山通道里喷出白热的火山渣、火山砾、火山弹，喷射高度一般为几十米到几百米。夜间喷发时，呈现出节日焰火般壮丽景色，如新西兰北部恩加郎戈火山于1974年3月29日的一次喷发。封四左上图是该火山喷烟时的情景（Richard Glover摄）。

### 3. 武耳卡诺式

以位于地中海西西里岛附近的武耳卡诺岛火山命名（武耳卡诺岛就是前面提到过的古代传说中火神居住的地方）。这类火山喷发出来的岩浆粘性较大，喷发猛烈，如苏联堪察

<sup>①</sup> 喷火口或火山口（Crater）一词来自希腊语，意为“碗”。

加伯扎米阿尼火山。喷发时夹杂着火山灰的云雾可升入高空40—50公里以上。也可以是水下喷发。喷发物中可见面包壳状火山弹及不规则状火山块，大的火山块可重达几吨至上百吨。碎屑物中有大量的火山灰和火山砾，其中夹有棱角状岩屑，夜里喷发时因热发光。

#### 4. 培雷式

以小安的列斯群岛中的马提尼克岛上的培雷火山命名。培雷式喷发具有两个特点：一是喷发时具有热崩碎屑流，有时称热云或炽热云。热崩碎屑流是由火山灰、水蒸汽和气体在高温中混合成为乳浊状物质，喷发时景象壮观而又可怖（1902年喷发时仅在几分钟内就破坏了皮埃尔城，有三万人丧生）。二是伴有岩钟的形成（图2）。培雷式喷发的这两个特点有时同时表现出来，有时只表现出其中的一个。

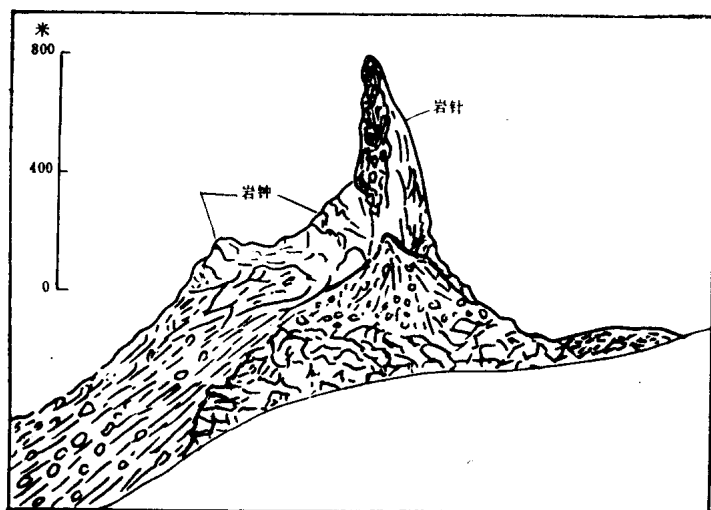


图 2 1903年4月形成的培雷山  
巨大岩针和岩钟素描图  
(据Lacroix, 1904; 转引自王德滋、周新民, 1982)

#### 5. 布里尼式

布里尼式火山喷发类型是唯一的一种以人名命名的。布里尼是罗马人，他在考察公元79年维苏威火山爆发时，因受火山喷出的有害气体中毒而死。这类火山喷发是一种很猛烈的大规模的岩浆喷发。岩浆粘性大，并含丰富的气体。喷发时形成浮石碎屑和火山灰，有时还有岩流溢出，或热崩碎屑流和（或）火山灰流沿地面喷出。

#### 6. 卡特迈式

以太平洋沿岸阿拉斯加半岛上的卡特迈火山命名。这类火山喷发的特点是一次又一次地喷发出火山灰流，从而形成熔结凝灰岩，构成广阔而平坦的盾形山。由于大量岩浆以火山灰流形式从火山口涌出，常常形成破火山口和地堑。

以上介绍的六种火山喷发类型，多以火山命名，但并不表示每一个火山只存在一种喷发形式。

## 二、世界著名活火山举例

以下介绍世界著名的活火山，其中主要有意大利、美国、冰岛、日本、苏联及墨西哥等国的一些活火山，其位置见图1。

### 1. 意大利

#### (1) 维苏威火山

意大利维苏威火山是世界著名的活火山之一。大家所熟知的破坏性最大的一次爆发，发生在公元79年8月。这次火山爆发喷出了大量的火山灰渣，象下大雨似地下了八昼夜，使庞贝及赫尔库拉诺两座城市被埋葬在火山灰渣之下。时隔1600多年之后，庞贝古城才被发掘出来，据报导，当时有2000多人遇难。

维苏威火山在公元79年8月这次爆发之前，曾有很长时间没有活动过，人们曾以为它是一座死火山，在它的附近曾建起了许多美丽的城市，庞贝就是其中的一个。公元79年这次突发性的猛烈爆发，完全出乎人们意料之外。在这次爆发之后，又经过了多次活动，有时相隔数年或数十年爆发一次，有时则沉睡数百年。

维苏威火山自1961年大规模喷发以后，即进入有规律的喷发活动。当休眠期结束，再次喷发时，首先在塌陷火山口底部构成火山灰及火山渣锥，然后火山锥逐渐长大，熔岩上涌，自火山口边缘溢出，直到火山口全部填满、即进入喷发高潮，发生强烈爆炸。爆发性活动持续很短，即进入下一个新的休眠期。此时火山锥顶部又发生塌陷，形成新的塌陷火山口。图3表示维苏威火山经过几次喷发后火山剖面的变化情况。

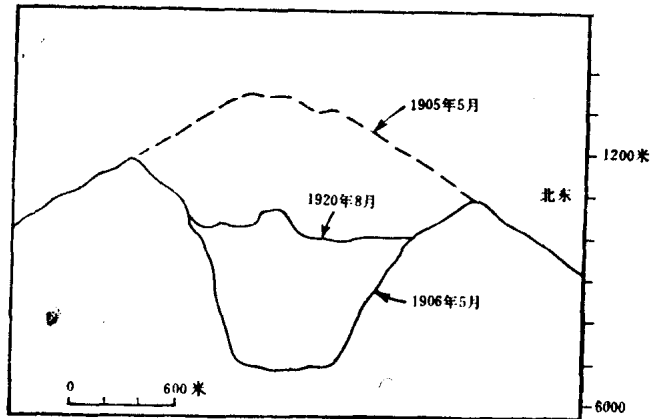


图3 维苏威火山剖面

表示1906年喷发造成的火山锥形状的改变（虚线表示1905年5月时形状）直至1920年火山口又再次被填满  
(据Perret, 1924; 转引自王德滋、周新民, 1982)

尽管维苏威火山常常发怒显威，然而，人们对它的狂暴似乎毫不介意，在每次喷发之后又回到它的身边重建家园。原来，火山灰渣中含有大量的天然肥料，人们可以在火山附近的肥沃的土地上，种植各种农作物，赖以生存。

#### (2) 埃特纳火山

埃特纳火山位于意大利西西里岛的东部，和维苏威火山一样，也是世界著名的活火山之一。

埃特纳火山是第三纪由海底升起的火山，它的活动成长史，跨越了第三纪和第四纪，现在仍在不断地活动。其海拔为3340米。它系由许多次熔岩流叠加形成，在主火山锥的翼部，有250多个寄生的火山碎屑岩锥。该火山曾发生多次灾难性的喷发，尤其是1669年的一次喷发最为猛烈。1971年春天的一次喷发，使火山观察所（海拔2935米）及缆车铁道全部烧毁。据统计，自1669年至1928年期间，共发生33次喷发。

埃特纳火山有史以来一直断断续续的喷发，从远处看去犹如地中海的灯塔，故有地中海“灯塔”之称。埃特纳火山1983年夜间喷发时的情景见封一中图。

## 2. 美国

### (1) 基拉韦厄火山

基拉韦厄火山是世界上活动性最强的一个活火山，位于太平洋夏威夷岛的东南岸，海拔1247米。由直径4.5公里的火山口所形成的熔岩湖，经常处于沸腾状态，熔岩从湖的四周溢出地面。当火山爆发时，常常形成熔岩喷泉。如1961年9月23日，沿基拉韦厄火山侧翼的狭谷带裂隙，喷出帷幕式熔岩喷泉，高约100米。

基拉韦厄火山喷发时，如喷发物由于风力作用而处在十分流动的条件下，则在空中固结为两头圆滑且单向延长的极细的长丝，称火山毛。伴随火山毛的还有雨滴状和弯勾状的小粒，称火山滴（图4）。火山毛及火山滴分别称为“佩蕾之发”及“佩蕾之泪”。传说佩蕾（Pele）是夏威夷岛上的“火山女神”。



图4 基拉韦厄的火山毛（下）及火山泪（上）  
（Perret摄，转引自王德滋、周新民，1982）



图5 美国圣海伦斯火山1980年爆发时情景  
（引自《Volcano》，1980）

### (2) 圣海伦斯火山

沉睡了100多年的美国圣海伦斯火山，于1980年又苏醒了。这次爆发非常猛烈，震声响彻200公里方圆以外，巨大的瓦斯云升到约4000米的高空中，火山熔岩顺坡而下冲毁了沿途的一切。与此同时，美国有3个州次日清晨即被一片灰雾所笼罩。美国地调所火山学家David Johnston在5月18日的一次大规模喷发活动中身亡。……这次火山爆发断断续续，持续了很长时间。据统计，这次喷到大气同温层中的火山物质有50万吨。图5是美国圣海伦斯火山喷发时情景。

美国圣海伦斯火山于1980年5月18日爆发后，一些地质学家根据现场破坏的汽车、车上的塑料零件、照像机盒子及盒子上粘的一块火山岩（浮石）等，利用相当的材料做了烧熔

及现场模拟实验，测出了当时当地的环境温度。结果表明：在火山周围的某个地方，火山爆发的最初几分钟，温度达342℃，然后慢慢下降到177—121℃，在此温度下持续了好几个小时；粘在照像机盒子上的一块浮石，表明其当时温度是150℃。

1983年2月，圣海伦斯火山又开始冒烟、喷气，似乎在孕育着又一次喷发。

### 3. 冰岛

冰岛是北大西洋的一个火山岛屿，岛上有200多个火山，其中有30多个是活火山。根据冰岛著名火山地质学家 S. Thorarinsson (1960) 的统计，在近1000年中，大约发生了200多次火山喷发，也就是说，平均每5年一次。近30多年来，冰岛总共发生6次火山喷发活动。下面介绍冰岛著名的赫克拉火山、拉基火山和冰岛南部洋底火山喷发形成的新生火山岛——苏特西岛，以及冰岛南部维斯特曼群岛中的海迈岛火山喷发和由纳马菲雅尔地热田钻孔喷出岩浆的情况。

#### (1) 赫克拉火山

赫克拉火山是冰岛南部的一个著名的活火山，它是由多层的熔岩和火山灰交互而成。从1104年以来，共发生过20多次较大的喷发，每次喷发都是首先喷出大量浮石和火山灰，随后就喷溢出大量的熔岩，熔岩的喷溢活动持续时间较长，最后以含有二氧化碳和氟的喷气阶段结束。

赫克拉火山在1947—1948年喷发之后，于1970年及1980年又2次喷发。1970年喷发时间虽短，但火山灰覆盖面积达全国总面积的1/5，约有7500只羊因氟中毒死亡。

#### (2) 拉基火山

冰岛拉基火山位于冰岛北部，与赫克拉火山一样，是冰岛著名的活火山之一。拉基火山1783年的一次喷发曾为人们所目睹。这次喷发属裂隙型喷发，裂缝长达25公里。喷发出的熔岩在12立方公里以上，火山碎屑物达3立方公里左右，被熔岩流所覆盖的面积约565平方公里，熔岩流长达70多公里。这次喷发所造成的后果是冰岛有史以来最严重的火山灾难之一，喷出的火山灰和气体破坏了全国大部分草场，全国约50%的牛及80%的羊和马死亡。20%以上的居民在喷发后2年中死亡。

#### (3) 苏特西火山岛的诞生

1963年11月14日，在冰岛南部北大西洋海域中，突然从海底冲出浓密的黑色烟雾，同时从海底还发出低沉的隆隆声，原来是大西洋洋底的火山开始发怒了。这次火山爆发断断续续一直到1967年6月5日才停止，总共延续了3年7个月，其延续时间之久仅次于冰岛北部的“米瓦喷火”<sup>①</sup>。由于这次海底喷发的结果，最后在海域中诞生了一个新的岛屿，这个岛屿就是世界著名的苏特西火山岛。

冰岛人民把这次喷发称作是火与海（冥王星与海王星）之间的一场激烈而残酷的搏斗。如同世界上所有海底喷发的情况一样，新岛屿的诞生确实不是一件容易的事。一方面是来自大洋波浪的破坏营力，另一方面是来自洋底喷发的建造营力，这两种营力在多次反复较量中，互有胜负。有时前者战胜后者，一些新生岛屿仅仅在海面出现数日或数月即被海浪冲毁，如地中海靠近西西里岛南岸曾在英法之间引起领土之争的弗定南德岛以及冰岛南部的修特林格岛和圣诞岛等。有时情况刚刚相反，则形成新的岛屿，如日本的西之

<sup>①</sup> “米瓦喷火”系指冰岛北部米瓦湖畔的一次火山喷发，它自1725年开始，到1729年结束，总共延续了4年。



岛，南太平洋汤加王国拉特岛西南海上的拉特伊基小岛，阿拉斯加靠近卡特迈火山的约翰·波高斯洛夫岛以及冰岛的苏特西岛等。这些新岛屿，有的经过一年或数年，有的经过10年甚至100多年的时间，也就是说，要经历“几番搏斗较量”之后才能稳定地出现在海面上，或屹立于海域中，或与原有岛屿相连。

1963年在冰岛的这次海底喷发之前大约一周，冰岛首都雷克雅未克由地震仪记录了微弱的地颤动，在维斯特曼岛沿岸（位于苏特西岛东北23公里处）曾闻到硫磺味，同时还发现海底喷发点附近海水的温度比外围约高2.4℃。除上述现象外，未观察到任何别的征兆。海底喷发开始几天之后，海面上浓云密布，低沉的隆隆声变为雷鸣般的响声，火山灰柱从100多米高度迅速升高达数公里，火山弹呼啸着……。由于火山喷发物质的大量堆积，大约经过两个半月的时间，即到1964年1月31日，新的火山岛屿——苏特西岛诞生了。它在整个喷发过程中，不断地长大着。1963年11月20日，其长约900米，宽约700米，海拔高度为70米。1964年3月末，面积约达1平方公里，4月末，已形成高达90米的熔岩丘。1965年5月中旬，熔岩停止流出，但火山口内仍翻滚着炽热的岩浆。大约就在此时，在苏特西岛北东东方向600米的地方，由海面上升起一股股蒸汽，这标志着又一次火山活动的开始，至6月8日，新生了一个年青岛屿，其高度可达16米，直径为170米，但在4天之后便消失了。然而，到6月14日，它又重新出现在海面上，经过两天，其高度达37米，长约190米。3个月中，其最大高度达70米，长650米。自此以后，火山活动的强度大大减弱，大约经过1个月，小岛便被海浪彻底冲毁了。这个岛屿被称为修特林格岛。

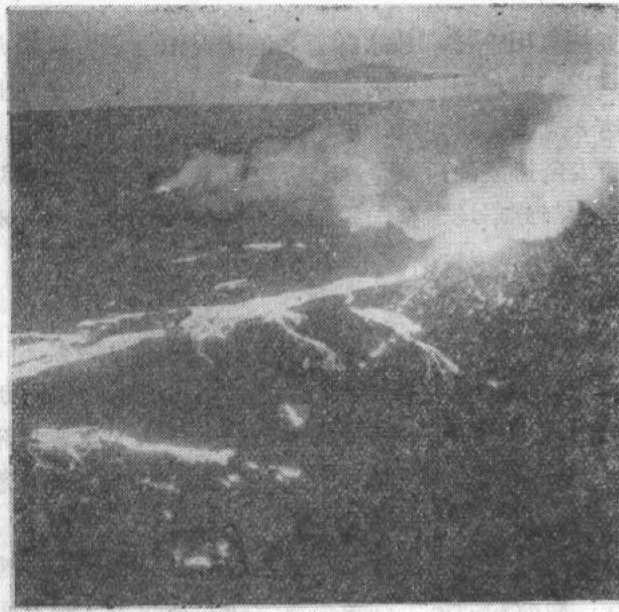


图6 冰岛南部海域中诞生的新岛屿——苏特西岛。从火山口喷溢出炽热的熔岩流，犹如长长的火河（背景为圣诞岛）

（1966年8月27日摄，引自Hjalmar R. Bardarson, 1974）

在修特林格岛消失后约2个月，即1965年12月26日，在苏特西岛西南部大约900米处，海底喷发再度发生。一个星期之后，即到1966年1月2日便形成了另一个新岛屿，但它只存在了几天便消失了。从头一年的12月26日到1966年的4月7日大约3个月中，新岛屿的出现——消失——再出现——再消失，共反复了5次。到4月14日，它又一次出现在海面上，5月12日，其高度达40米，长560米。5月20日，喷出烟柱高达6公里以上。8月初其活动性减弱，8月中旬停止活动，到10月，这个年青的岛屿终于从海面上消失了。因为这个岛屿是在1965年圣诞节的第二天出现的，人们也就称它为圣诞岛。它间断地存在了10个月，其最大面积曾达28公顷，最大高度达70米（图6上部）。1966年8月19日，就是

在圣诞岛停止活动后不久，在苏特西岛的自1964年1月以来休眠了两年半之久的原有火山口——“老苏土尔”火山口，又发生了一次新的火山喷发。瞬时浓烟滚滚，由火山口涌