

火山：大自然的烟花

刘绍文

地球深部炽热的岩浆沿通道上升，穿过地球表层薄弱的地方喷出地面，我们把这一过程称为火山喷发。火山喷发出来的熔岩和碎屑流等物质围绕喷口堆积形成的不同形状的山丘就是火山。与我们常见的连绵起伏的山脉不同的是，火山大多呈现出孤立的盾形或圆锥形态，往往还伴随塌陷的山口，或积水成湖，我国的长白山天池就是典型的火山口湖。

火山一直以来就与神话和传说结缘。远古时代的地中海一带火山活动频繁，当时的人们以为是地下物质的燃烧，并用罗马神话中火和锻造之神 Vulcan 的名字来称呼这种地下冒火的现象。火山的英文 Volcano 则是由 Vulcano（锻造之神的烟囱）音译而来。中国历史文献中也多次提到火山。如在《山海经》的大荒西经中就有“炎火之山”的说法，《魏书》西域列传中也有“般悦国火山”。早期人类很多都是火的崇拜者，因此火山自然地成为神话的一部分。日本自古以来就把富士山视为天神国常立尊的家，是日本的守护神。墨西哥海拔 5452m 的烟峰火山于 1502 年发生一次猛烈地喷发，阿兹特克人相信这是上帝对洗劫神庙的西班牙征服者发怒的表现。夏威夷的人们认为火神佩莱太太居住在基拉韦厄火山口内，许多人声称在火山喷发前都曾见到佩莱太太。我国长白山主峰地带被视为清王朝兴隆发祥之地，并于康熙 16 年（1677 年）敕封为“长白山之神”。由于火山喷发的高温 and 不可接近性，特别是火山喷发的巨大破坏性，人类最初对火山的印象是恐惧和灾难，在不能对火山喷发做出解释时，只能是归结于“神”的驱使。直到公元 79 年小布里尼详细记录了意大利维苏威火山的喷发过程，人们对火山的认识才逐渐步入科学的轨道。火山和火山作用与人类生存环境关系密切，在长期的实践探索中，人们逐步积累和加深了对火山的理解和认识，火山学也从而发展成为现代地球科学中的一门分支学科。

实际上，不只是地球上具有火山活动，太阳系内许多行星也都发生过火山作用，月球、金星和火星上均有火山作用形成的地表。火山活动同时也是行星生命力的一种象征，那些目前仍拥有火山活动的星球则处于壮年期，而火山活动已消失殆尽的星球则步入暮

年。我们也会常常听到“泥火山”这个概念，它与我们这里讨论的火山不一样。泥火山是泥浆和大量的水汽、碳氢气体在压力作用下喷出地表，有时也伴随气体的燃烧而出现火焰，喷出物堆积成大小不等的平顶锥形台地，类似火山。我国台湾地区及新疆克拉玛依油田附近的独山子就有泥火山产出。由于泥火山喷发的物质来源、成分和物理过程不同于上述的火山喷发，且喷发物不是高温的，所以泥火山不应归于火山。

火山活动是一种重要的地质作用，它是地球释放内部能量的过程。它参与了地球不同圈层的形成和演化，也为人类文明和社会发展提供了许多重要的矿产和旅游资源。但与此同时，火山活动具有强烈的破坏性，对人们生命安全和财产也具有灾难性的威胁。科学地认识火山、了解火山活动的规律，是和谐人居、可持续发展的途径之一。

一、火山的成因机制及喷发类型

根据其活动情况，火山可分为活火山、休眠火山和死火山。经验上把正在喷发、历史时期有过喷发并预期将来有可能再次喷发的火山称为活火山，国际上一般把全新世（距今 1 万年左右）以来有过喷发的火山称为活火山。过去虽喷发过，目前没有喷发，且较长时间内处于平静的火山称为休眠火山。那些年代久远（1 万年以上）且证明将来也不会活动的火山则称为死火山。实际上，活火山和休眠火山很难划出明确的界限，也有学者认为休眠火山应纳入活火山的范畴。“死”和“活”也是相对的，没有绝对的科学标准加以界定。那些归为死火山的火山，若因后期的深部岩浆作用也可能重新活动；相反，那些目前被认为的活火山，也可能正在走向熄灭，从而成为死火山。全球陆地上已知的活火山（含休眠火山）约 1500 座，每年约有 50 座火山喷发。海底活火山更多，由于水下喷发，没法观测和统计。

火山喷发是地下岩浆喷出地表的过程，因此岩浆的形成、聚集和运移是理解火山形成机制的关键因素。我们知道，地球从地表到地心依次可分为地壳（大陆地壳的平均厚度约为 33km，海洋地壳的平均厚度约 10km）、地幔（厚约 2900km）和地核（厚约 3470km）三个圈层（类比鸡蛋的蛋壳、蛋清和蛋

黄)。地球上最坚硬的外表层称为岩石圈，它由地壳和部分上地幔组成，厚度为 80~200km 不等。地壳下部和地幔上部的岩石在高温、高压条件下会部分熔融形成岩浆。岩浆主要由硅酸盐和挥发物（水蒸气、CO₂、SO₂ 等气体）组成。地壳物质熔融形成岩浆时所需温度为 600~900℃，压力为 $0.5 \times 10^9 \sim 1.0 \times 10^9 \text{Pa}$ ；上地幔物质形成岩浆时所需温度为 1000~1250℃，压力大于 $1.5 \times 10^9 \text{Pa}$ 。一般情况下，地球内部的温度虽高，但压力也大，大部分地区的温度未超过熔点，岩石还处于固态。在一些特殊的地质环境下，通过减小压力、增加温度和加入挥发物等途径来使岩石熔融，进而形成岩浆。岩石的熔点与其受的压力相关，压力越大，岩石熔点也越高。地球深部的热对流作用使得地幔物质上涌，在上升过程中压力降低，于是熔点降低，形成岩浆。此外，岩石圈板块的俯冲也会把地球表层沉积物带入地球深部，这些沉积物发生脱水反应，脱出来的水及挥发物则进入地幔，造成岩石的熔点降低，形成岩浆。

岩浆上升及最后喷出地表的过程可参见中心彩插 2、3 页。携带挥发物的岩浆在上升过程中，温度和压力会降低，挥发物气体达到过饱和，这时气体会出溶，形成气泡并生长，此时整个体系的体积迅速膨胀，驱动气液混合物上升；当岩浆继续沿着火山通道上升且温度继续下降时，富含挥发物的岩浆遇到地下水时会沸腾起来而泡沫化和碎屑化，形成碎屑化面。炽热的岩浆与地下水或地表水相互作用时并使水快速气化而导致爆炸。岩浆和水汽等挥发物源源不断地通过火山管道向大气层喷发形成喷发柱，喷发高度可达 20~30km，甚至 50km。喷发的猛烈程度与岩浆的黏度及挥发物的含量多少有关。若岩浆的黏度小，溶解气体容易从岩浆中跑出来，岩浆一边上升，气体一边释放，快到地面时，气体都已跑完，这时形成的喷发就不猛烈。若岩浆中的气体挥发物含量较低时，也不会形成泡沫化和碎屑化，则直接由火山口或裂隙中溢流出来，这种情形下的火山喷发较为宁静。

根据岩浆通道的形状，火山喷发也可分为裂隙式喷发和中心式喷发两种类型。前者主要是沿地壳中的裂隙喷发到地表，形成一大片的熔岩区域。澎湖列岛、夏威夷群岛和印度德干高原均由此形成。后者是指以某一据点为喷发中心进行持续喷发，如美国圣海伦斯火山和日本富士山均为典型的中心式喷发火山。当然，地球上的火山喷发既有上述的两

种端元方式，也有这两种方式的复合。

另外，根据岩浆的黏度及气体挥发物的多寡，火山喷发形式还可分为爆炸式和宁静式喷发。前者是指黏度大的岩浆，因流动慢，气体不易散失，累积至足够压力时成爆炸式喷发。这种喷发方式常炸破火山口，并将岩石碎屑及火山灰喷至高空，落下后形成火山碎屑岩。因为熔岩的黏度大，易在通道周围堆积成锥状火山。锥顶因为大量物质喷发掏空后引起崩落，形成巨大的破火山口，若积水，则成火山口湖。宁静式喷发的岩浆多为玄武岩浆，其黏度低，气体容易逸散，玄武岩熔岩流多形成熔岩台地或盾状火山。目前世界上活动最频繁的火山都是宁静式喷发，如夏威夷和冰岛的火山。许多大陆上的高原都是熔岩台地，如前面提及的印度德干高原和美国哥伦比亚高原等。

二、活火山的分布规律

火山活动作为地球的物质循环和能量释放的一种方式，其分布并非散乱无序，而是与大地构造环境密切相关。大量的火山活动观测资料表明，世界上的活火山绝大部分集中在不同岩石圈板块的接触带上（也即板块边界带之上），仅少数火山分布在板块内部或大陆裂谷带之上。我国的火山多分布在东部和青藏高原及周边地区，也是与特定的地质构造活动有关。

1. 世界活火山的分布特征

世界上典型的活火山带主要为环太平洋火山带、地中海-喜马拉雅火山带和洋中脊火山带，此外还存在一些板内火山带，现分述如下：

环太平洋火山带 环太平洋沿岸是太平洋板块向岛弧和大陆之下俯冲隐没的地带，地质作用强烈，因故也是世界上火山和地震活动最多的地方，分布约 400 多座活火山，因此被称为环太平洋火圈。该带西岸南自印度尼西亚、菲律宾，向北经日本、库页岛和堪察加半岛，向东经阿留申群岛，至北美、中美和南美洲的西海岸。该带西岸著名的活火山包括日本的富士山、云仙岳、阿苏火山，菲律宾的马荣、皮纳图博和塔尔火山，印度尼西亚的坦博拉、默拉皮和阿贡火山等，巴布亚几内亚的包尔、拉明顿火山，新西兰塔拉韦拉和鲁阿佩胡火山。东岸则有美国的奥古斯汀、圣海伦斯、拉森峰火山，墨西哥的科利马、乔鲁洛火山，加勒比地区的圣玛利亚、科西圭火山及马提尼克岛佩雷火山、圣文森特岛苏弗里埃尔火山等。仅拉丁美洲的活火山数目就占据全球总数的 1/5 以上。该带不仅火山数目多，而且活动性强，喷发也剧烈，是火

山学家最为关注的地区之一。

地中海-喜马拉雅火山带 它横亘欧亚大陆中部,呈东西向展布,西起直布罗陀,向东通地中海各国,再经土耳其、伊朗和巴基斯坦、喜马拉雅山到我国川、滇山区后,转南经缅甸及印尼群岛与环太平洋火山带汇合于巴布亚新几内亚附近。该带火山活动分布不均,但有许多著名的活火山,如意大利的维苏威、埃特纳、武尔卡塔火山、希腊桑托林岛火山和西班牙的一些火山等。该带是欧亚大陆板块和非洲大陆板块碰撞拼合的地带,深部岩浆作用强烈,因故火山和地震活动也活跃。整体而言,该火山带活动性向东减弱,在我国主要有青藏高原和腾冲火山群等活动。

洋中脊火山带 各大洋的洋中脊带蜿蜒连绵近六万千米,该带作为板块扩张地区,不断地形成新的大洋地壳,且自扩张中心逐步向两侧扩展。这类火山主要为玄武质岩浆的宁静式喷发所致。由于洋中脊地区的火山多属海底喷发,不易被人们察觉,仅有冰岛等少数地区是出露在地表的洋中脊火山区。冰岛是北大西洋中脊上的一个岛屿,分布着数以百计的火山,是世界上火山密度最大的国家之一。由于火山不断喷发,冰岛周围海域生成新岛的现象时有发生。太平洋中脊上的活火山大约 15 座。印度洋中脊也有部分出露海面的火山岛屿,如塞舌尔群岛、马尔可林群岛等。由于洋中脊的火山绝大部分在海底喷发,因此具体的火山数目还不得而知,肯定比上述列举的多得多。有趣的是,水下喷发的玄武质岩浆与海水接触后,迅速冷凝,形成一个个像枕头形态的熔岩,称为枕状熔岩。相反地,若岩浆有足够的空间和时间来慢慢冷却,冷凝后的结晶形态完整,则会形成柱状节理,如韩国济州岛西归浦海岸等常见此类现象。

板内火山带 除了上述的板块边界火山带以外,板块内部也有火山活动。大洋内部的火山则以夏威夷群岛最为著名,它们是太平洋板块沿西北方向运动时,被一股来自地球深部的岩浆像蜡烛“烘烤”上覆的被子时所留下的轨迹;有趣的是,自西北往东南方向,这些火山逐渐变得年轻。此外,大陆内部也还存在一些火山带,如著名的东非裂谷火山带。裂谷是地球表面正在被撕裂的地方,深部地质作用强烈;假以时日,裂谷也会变成现在的汪洋大海。自新生代形成以来,东非裂谷带的火山活动频繁,非洲的活火山多分布在该带的断裂系附近。位于坦桑尼亚和肯尼亚边境的乞力马扎罗山(5895m)和梅鲁山(4566m)

都是火山,前者是非洲第一高峰。维龙加山是东非著名的火山群,位于前扎伊尔、卢旺达和乌干达三国接壤地区,由 8 座巨大的火山和几百座小火山组成,主要的活火山有尼拉贡戈火山、尼亚姆拉吉拉火山、埃塞俄比亚的埃尔塔和阿夫代拉火山等。

火山活动并不限于地球,其他行星上也发现存在火山作用。火星上有许多硕大无比的火山,其中最高最大的是奥林巴斯山,它或许是整个太阳系最高的山脉和最大的火山,其直径约为 600km,高出周围约 25km(是珠穆朗玛海拔的 3 倍之多),该火山目前已不活动了。木星的一个卫星 Io(也即木卫一,大小与月球相当),可能是当今太阳系里火山活动最为强烈的星体。当美国的一个星际探测器(Voyager 2)飞越她时,发现了 9 个正在喷发的喷发柱,其高度可达 300km,火山面积也很大,直径达 300km。

2. 中国的活火山分布

中国虽然缺少现代火山喷发,但新生代(6500 万年前)火山活动频繁,特别是中新世至更新世期间(2300 万年~1 万年),当时的中国也是多火山国家,不亚于现在的日本。那时候的火山活动主要集中在东部大陆边缘(从黑龙江五大连池、吉林长白山、辽宁宽甸、山西大同、山东蓬莱、江苏六合、福建的明溪、台湾大屯、基隆海域、广东雷州半岛及云南腾冲等)和青藏高原及周边地区。根据历史喷发记载及火山区地质、地貌等特征来看,我国全新世以来有过喷发的火山有 9 处,其中半数在东北境内(表 1)。他们为黑龙江五大连池火山群,黑龙江镜泊湖地下火口森林火山、吉林长白山天池火山、吉林龙岗火山、云南腾冲火山群、新疆西昆仑阿什库勒火山、台湾大屯火山和龟山岛火山、海南岛雷虎岭-马鞍山火山。上述火山基本位于第四纪火山活动区,以中心式喷发、中小型火山锥成群出现为特征,锥体普遍较小,锥体直径 400~1000m,相对高度为 70~220m。除了长白山天池火山,很少形成大面积熔岩台地或大型层状火山;当熔岩体堵塞河流时,便形成堰塞湖,镜泊湖就是中国最大的堰塞湖。五大连池、长白山、腾冲和西昆仑等区在近 400 年间都有火山喷发。其中,仅长白山目前查到的历史喷发记录就有三次以上(分别为 1668 年,1702 年和 1903 年),最近一次为 1903 年。我国最新的火山喷发为 1951 年 5 月 27 日的新疆西昆仑阿什库勒火山。据新疆日报 1951 年 7 月 5 日报道:“在于田县

苏巴什以南，昆仑大坂西沟一带，5月27日上午9时50分发生火山爆发。第一次爆发时只见一个山头上发出轰隆巨响，接着烟灰像一条大圆柱似地自山顶冒出。接着又连续爆发3次，每次只隔几分钟，未发出巨响，只有烟灰上冒。以后几天看到火山冒烟……”。这是正在修筑新藏公路的部队官兵看到的火山喷发情景。等火山喷发的消息传到山下并见诸报端时，乃40天以后了。

表1 我国主要活火山区的分布及其特征

序号	活火山区	火山区面积 (km ²)	火山数量 (座)	最近的喷发时间
1	五大连池	880	54	1719~1721年
2	长白山	2100	110	1668年、1702年、1903年
3	龙岗	1700	164	距今1680~1690年前
4	镜泊湖	500	13	距今5140年前
5	雷琼	7255	177	1883年、1933年(?)
6	腾冲	792	68	1609年
7	阿什库勒	700	14	1951年
8	大同	150	20	23万年前(?)
9	台湾大屯	430	20	10万年前

注：据郭正府等，2010

三、火山灾害及其监测

火山灾害是主要的自然灾害之一。1987年12月第42届联合国大会通过一项决议，把1991~2000年定名为“国际减轻自然灾害十年”；其中，火山列在自然灾害的第六位。火山灾害取决于火山喷发的类型、规模和性质及所处的地点等因素。火山喷发物主要为火山碎屑流、熔岩流、火山灰和火山气体等，它们可造成直接和间接灾害。前者乃火山喷发本身引起的灾害；而后者是指火山喷发造成气候、环境的变化进而引起的灾害。

1. 火山喷发的主要灾害

火山碎屑流(pyroclastic flow)能量大、流速快，它们从火山口喷出后以迅猛的速度沿山坡向下流动，短时间内可以摧毁火山口周围数千米甚至上百千米范围内的森林、城市、桥梁及建筑物等。火山碎屑流相当于携带大大小小的岩石碎片的灼热特级台风(台风的风速一般不超过200km/h，而大的火山碎屑流的流速通常可达700km/h)，因此沿途摧枯拉朽，极具破坏力。公元79年意大利维苏威火山喷发是有史以来规模最大，给人类造成危害最惨重的喷发事件之一，也是火山碎屑流灾害的典型事例。

火山喷出的碎屑流及火山灰很快埋葬了南部当时最为繁华的拥有2万人口的庞贝古城，埋深近3米，直到1689年才被后人发现。1902年Mont Pelee火山喷发产生的大量火山碎屑流使居住人口达2.9万的St. Pierre城镇变为一片废墟，据说只有2名关在监狱地下室的罪犯幸免于难。

火山熔岩流(lava flow)乃炽热的岩浆，它犹如奔腾的钢水，所至之处不仅会摧毁、烧毁当地的农田、生物和建筑物等，有时还会引起严重的火灾，造成巨大的灾难。熔岩流的黏度越小、流速越快、规模越大，造成的损失和灾害也越大。如1783年冰岛拉基火山喷发，其熔岩流溢满了附近的冰川河床并向周边的村庄蔓延，喷发了近12km³的熔岩，覆盖面积为565km²，造成冰岛人口减少近1/5，有一半以上的家畜死亡。若火山喷发维持时间长(有时可达数年)，熔岩流流过程中，外壳冷却固结，形成熔岩隧道，韩国济州岛著名景点“万丈窟”就是一熔岩隧道。

火山灰对飞行安全具有很大的影响。爆炸式火山喷发形成的大规模火山灰云能随大气环流几天内漂移到几百甚至几千千米以外的地方，能喷发至20~35km的高度。它们会降低空气能见度，吸入飞机发动机内的火山灰会损坏发动机的正常功能，破坏飞机的导航控制系统，严重时使飞机失灵。自1980年以来，沿北太平洋航线至少有15架飞机由于途径火山灰云区而遭到损坏，同一时间内全球共有80架飞机遭此灾害，造成的经济损失达数亿美元。这方面最近的实例为冰岛火山喷发所造成的损失。2010年4月14日以来，冰岛南部的埃亚菲亚德拉冰盖火山大规模持续喷发产生了大量的火山灰严重扰乱欧洲空中交通，受火山灰和烟尘侵袭影响，冰岛、英国、挪威、瑞典、丹麦等欧洲部分国家机场关闭，近10万次航班延误或取消，造成全球经济损失近50亿美元。

火山喷发产生的大量气体(水汽、CO₂、SO₂、H₂S、HCl、F等)对环境和气候能造成影响。喷发出来的某些有毒气体(CO、H₂S、F等)及密度较大的气体(如CO₂)能迅速扩散，在短时间内造成动物窒息，甚至死亡。1986年8月非洲喀麦隆尼奥斯湖(Nyos)底火山喷出大量的CO₂，造成1700余人及大量牲畜和动物的死亡。此外，火山气体及形成的气溶胶能在大气圈内发生光化学反应，导致平流层中臭氧浓度减小，破坏臭氧层，使人类接受过量的紫外线辐射，诱发皮肤癌等疾病。滞留于平

流层内的气溶胶与火山灰一起阻挡太阳光，导致太阳到地表的辐射能量减少，造成地表温度降低。强火山活动频繁期总是对应历史上较冷的时期。如1815年印度尼西亚坦博拉火山喷发，浓密的火山灰云遮天蔽日，使500km远的马都拉岛完全黑暗了3天，还使得北半球温度降低，造成1816年7~8月的欧洲和美洲还有降雪，称为“没有夏天的一年”。越来越多的证据表明，地质历史上若干次大的物种集群灭绝事件可能是该时期火山大规模喷发活动所致，如距今2亿5千万年前的二叠纪末期灭绝（P/T事件）就与这一时期的西伯利亚玄武岩浆喷发有关；而距今6500万年前的白垩纪末期包括恐龙等在内的大型物种灭绝（K/T事件）也可能与当时的火山喷发有关，同期的溢流岩浆形成了印度德干高原。可见，火山喷发的气体所造成的环境和气候效应不容忽视。

此外，火山喷发还会伴生间接灾害。大规模火山喷发引起山崩地裂，伴有泥石流和滑坡出现，从而破坏流经地区的农作物、路桥、建筑物等，造成巨大损失。如1980年美国圣海伦斯火山喷发，炙热的岩浆融化了山顶的冰雪，形成能量极大的火山泥石流，以40m/s的速度从山坡倾泻而下，沿途几乎没有一个生命躲过这次劫难，并造成哥伦比亚河洪水泛滥，使得24人死亡，46人失踪，是美国历史上规模最大的火山灾害之一。此外，大规模近海或近岸火山喷发会引起海啸。1883年印尼喀拉喀托火山猛烈喷发引起海啸，袭击了爪哇和苏门答腊，浪高35m，毁坏300个村庄，造成3.6万人死亡。1792年日本云仙岳火山喷发物塌落海中，也引起了海啸。火山喷发往往还会伴随地震活动。如1991年菲律宾的皮纳图博火山喷发，引起了4次地震，导致周围地壳变形，对建筑物造成危害。

2. 活火山的监测与灾害减轻

虽然火山喷发是一种可怕的自然灾害，会造成严重的人生安全和财产损失。然而，通过对活火山进行监测和预测预报，火山灾害是可以减轻的。实践表明，火山监测是火山预报的基础，也是减轻火山灾害的有效方法。对预期即将喷发的火山制定相应的减灾政策，对火山区的居民、官员及旅游者进行火山喷发、灾害方面的宣传教育，都能一定程度上减轻火山喷发引起的灾害。目前国内外进行火山监测的主要方式有如下几种。

火山区的地震台网监测 历史记载和观测表明，火山喷发往往伴随地震的发生。研究火山喷发

前的地震活动特点，是火山监测的重要而有效手段之一。通过对典型活火山及其周围地区布设长期的地震观测台网，提取地震信号，进而结合先进的计算机模拟技术和手段，分析前兆地震的特质。火山学家已观测到火山前的地震活动具有如下特征：①不具备构造地震的主震-余震序列的震群；②火山地震的震级都较小，一般小于5级，甚至小于3级；③震群中地震的波形相似；④喷发前地震数量增加；⑤震中多位于活火山及其附近。美国圣海伦斯火山区自1980年3月20日以来就频繁出现微小地震活动，3月25日后，震级增大，频繁发生4级甚至更大的地震，最终于5月18日发生大规模喷发。当然，尽管火山地震监测趋向成熟，并成为主要的监测手段之一，但作为一种喷发前兆，也存在许多捉摸不定之处，还有待进一步观测和深入研究其机制和过程。

火山区的地壳变形监测 火山喷发前，岩浆不断地向上部浅表运移，会造成喷发区周围地形不断隆升变形，隆起最突出的部位往往就是喷发中心。因此，对火山区的地壳变形进行监测，也是火山监测和预报的重要方法。如美国圣海伦斯火山喷发前其北翼隆起达100m左右，结果喷发时把整个北翼掀翻。目前，大量先进的对地空间观测技术已被引进到火山区的地壳变形监测之中，如GPS（全球定位系统）、VLBI（甚长基线干涉）、INSAR（合成孔径雷达干涉测量）等，这些观测系统不仅精度较以往有显著性提高，而是可提供实时监控和数据传输，极大地提高了数据质量和监控效率。

火山区的气体地球化学监测 通过测量火山区（主要是火山区的温泉）的CO₂、CO、SO₂、H₂S、CH₄、He、F等含量的变化，来判断火山喷发的可能性。一般地，当火山进入活跃期时，岩浆房充气膨胀，岩浆上升也会导致脱气率变化，进而影响到上述气体含量的变化。火山向活跃期发展时，喷出气体中往往含刺激性臭味的亚硫酸气和臭鸡蛋味的硫化氢（H₂S）增多；而当火山处于平静期或者逐步衰老时，喷出的气体中以水汽和CO₂居多。根据喷气的成分和温度变化可以辅助预测火山活动的发展趋向。

火山区的系统地温观测 火山区地温变化通常可以反映地下岩浆活动的情况，地温的骤升是火山活动的前兆之一。对火山区地温进行长期而系统的观测，可有效地判断地下岩浆活动的时空范围，从而为火山监测和预报提供科学依据。

火山区的卫星红外监测 这是近些年发展起来的火山监测中经济、快速和有效新方法之一。岩浆向上运移及火山喷发过程都是地球内部热量向外释放的过程，它们会把热量带到浅表，同时加热围岩、土壤和地下水，引起地表温度的升高。研究表明，一般的中强地震在震前能引起 $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 的红外增温异常，而火山活动引起的温度异常显然要高于地震，因此能被每天都在高空巡航的卫星热红外仪器捕捉，从而为火山监测和预报提供依据。美国、日本、意大利、印尼和菲律宾等国家都已把卫星红外遥感用于火山监测之中。随着 Internet 技术的发展，使得数据实时传输和处理成为可能，这一技术也将在火山监测中发挥更大的效益。

1 万年以来有过一次喷发的活火山目前在全球大约有 1500 座，其中 534 座有过历史喷发记载。在这些活火山中，只有少数（约 150 座）火山被不同程度的监测。火山监测可谓任重道远。近 20 年来，基于火山监测来获取喷发前的前兆信号并进行预报方面已取得很大进展。成功的实例包括美国 1980 年圣海伦斯火山喷发、菲律宾 1991 年皮纳图博火山和印度尼西亚 1998 年的默拉皮火山等，大大地减轻了火山灾害。然而，也不要以为火山喷发预报的问题已全部解决了，我们仍需持谨慎乐观的态度。与其他自然灾害的预测和预报一样，对科学而言，都是一个永恒的挑战。今后要进一步加大科技投入、深入研究和总结，以此来提高我们对这些自然灾害的孕育机理和过程方面的认识，从而尽可能地达到科学预报的目的。

在减轻火山灾害方面，我们应对那些具有潜在灾害性喷发的火山进行上述提及的多种不同性质的监控技术的联合观测，并深入开展这些活火山详细的历史喷发研究；在了解最近一次历史喷发的基础上，在火山重新活跃之前，编制火山区的基础地质图和灾害区划图；对火山区的居民、政府官员和旅行者进行火山知识的普及和宣传，提高民众应对突发性火山灾害的知识储备和能力。告诉公众，火山喷发是可作一定程度的预报，火山灾害也是可以减轻的。根据火山喷发前兆发生的不同情况而制订出不同的警报级别和应急预案，及时疏散民众，转移财产。此外，日本、冰岛、意大利等一些多火山国家在多次与火山灾害作斗争的过程中也积累了一些经验，通过一些工程来减轻灾害。如通过人工筑坝阻挡或延缓火山泥石流的流速，或改变其流向；用

大量海水浇灌熔岩流顶部，使熔岩流停止前进等。

我国的火山虽不少，但由于鲜有现代喷发，且历史时期的一些火山喷发多发生在偏僻的无人区，未能引起人们的注意，因此对火山灾害的认识也不够。然而，从地质环境上看，我国的火山处在地壳活动区，且许多火山最后一期的喷发时间距今也不算长，属于具有一定活动性的休眠火山；条件成熟时也会再次喷发，因此火山喷发的可能性和危害性仍旧存在。20 世纪 80 年代以来，我国对长白山、五大连池和腾冲火山进行了监测和研究，监测资料表明长白山火山有可能再次喷发，该火山是我国潜在危险最大的火山。在本稿完毕之时，*Science* 杂志上以新闻的形式报道了中、韩、朝三国火山科学家对长白山天池火山的关注。此外，云南腾冲火山区的热海热田地区是仅次于长白山天池火山的应予以高度关注的地区，均需开展深入的监测研究。这些地方目前都是著名的风景旅游区、新兴工业区和潜在的资源开发区，若万一发生火山喷发，可能造成巨大的灾害，值得引起相关官员和民众的注意。

四、火山资源

火山喷发虽然会造成灾害性破坏，给人们带来恐惧和灾难；然而，火山喷发也是创造自然财富的重要手段。大多数的金属和非金属矿产的形成均与火山作用有关。地热温泉、矿泉水等资源也往往与火山作用伴生。特别是，火山虽然摧毁了地面原有的景观，可也同时塑造了新的更为壮观的火山景观，催生了一大批与火山有关的旅游资源。

矿产资源 富含金属或非金属元素的岩浆在上升过程中遇到合适的成矿环境和条件时，一些矿石组分会离析出来形成矿床；或在岩浆房中分异出来，随后或被喷出地表形成矿产，或就地逐步冷凝成含矿侵入体。如我国攀枝花铁钛钒矿、镜铁山铁矿床和宁芜铁矿床、金川镍-铂矿等。全球主要的金刚石矿床（我国的产区主要是山东、辽宁等地）则与金伯利岩浆或钾镁煌斑岩的喷出有关。此外，许多火山喷出气体中富含硫，它们在冷凝中会形成硫磺矿，如我国的台湾基隆、云南腾冲和黑龙江德都硫矿床，意大利西西里岛和印尼爪哇岛也有大量的硫矿床。特别是，许多宝石也与火山有关。我国福建明溪、江苏六合、山东昌乐、安徽女山及黑龙江尚志等地新生代玄武岩中就有许多宝石，主要为蓝宝石、红宝石、石榴子石、玉髓、橄榄石等。与火山岩有关的非金属矿产包括石棉、硅

藻土等。火山灰、火山渣和浮岩等都是上好的建筑材料，吉林龙岗和长白山一带就大量分布。

地热资源 火山和地热有如孪生兄弟，经常共生。火山携带的炽热岩浆能加热周围的地下水，从而形成丰富的地热温泉资源。新西兰、冰岛、日本等国的地热资源非常丰富，并建有地热电站。笔者曾于 2008 年考察地热之王国——冰岛，发现该国到处都有地热温泉出露，宾馆、学校等的热水供应均来自地下热水，实为干净能源，节能减排效果好。我国的台湾、腾冲和长白山天池等也有多处温泉。腾冲温泉甲天下，而“大滚锅温泉”则乃温泉之王，其温度之高、压力之大、蒸汽之盛，实为国内罕见。徐霞客见过后曾描述“水与气从中喷出，风水交迫，喷若发机，声如吼虎，其高数尺，坠涧下流，犹热若探汤”。台湾地区的温泉多达 80~100 处，温度在 41~60℃ 的有 14 处，60~100℃ 的有 7 处，100℃ 以上的有 5 处，其温泉分布均与第四纪火山岩分布一致。

土地资源 火山喷发能给人类创造土地资源。夏威夷群岛、冰岛及台湾的澎湖列岛等全是火山喷发出来的，1960 年夏威夷基拉韦厄火山大爆发时，熔岩流从高处奔腾下泻，涌入大海，在海边填造了一块约 2km² 的新陆地。1986 年喷发时，给大岛增加了 17 英亩的新土地。20 多年来，基拉韦厄火山持续不断涌出的大量岩浆已经在夏威夷岛东南形成几个新的黑沙滩并使岛的面积不断扩大。而且，火山喷出的火山灰使土壤肥沃，往往形成重要的农业区。我国东北的“黑土地”及其优质的大米均得益于历史上数次火山喷发带来的营养。

旅游资源 火山喷发造就了千姿百态的自然景观，引人入胜。它们带来了高耸的锥形火山（如日本富士山）、神秘的熔岩通道（如韩国济州岛的万丈窟）、壮观的火山碎屑流峡谷（如我国长白山鸭绿江峡谷）、清澈的火山口湖（如长白山天池）和堰塞湖（如镜泊湖及五大连池）等。因故，世界上很多火山区都是著名的风景区，是当今旅游和疗养的热点地区。如美国的黄石公园、夏威夷群岛，日本鹿儿岛、富士山，意大利的维苏威，新西兰的北岛和韩国济州岛、我国的长白山、五大连池等均火山景观著称。实际上，我国的 41 个地质公园中就有 7 个与火山有关。此外，利用景区的自然景观建立火山博物馆，使旅游者在旅游中同时接受火山知识方面的教育，了解火山，对于提高公民应急素质都不失为了良方。

22 卷第 4 期 (总 130 期)

科研价值 人类目前对地球的了解还远不及对宇宙的了解，地球与我们的生产生活息息相关，需要深入认识。地球的半径为 6370km，而地球上目前最深的钻探仅为 12km，还没有钻透地壳，更不屑说深部的地幔。科研工作者在研究地球内部时往往缺乏直接手段和样品，而火山喷发携带的深部地幔物质则为我们打开了一扇窥视地球深处的窗口。通过玄武岩浆中夹带的地幔岩石，科学家可以研究地幔的物质组成和物理化学性质。我国的河北汉诺坝、河南鹤壁、山东蒙阴和安徽女山等地因出露大量的火山岩包体，吸引了国内外众多地球科学家前来开展研究，从而推动了中国地学的发展。

五、结语

火山喷发是自然界常见的一种地质现象，它并非是什么不可知的神秘力量。随着现代科学的发展，人们对火山及其喷发机制和过程也越来越了解。科学地认识火山是开发和利用火山资源、规避火山灾害的必由之路。

活火山的分布并非散乱，而是有规律可循，多集中于特定的地质环境（不同板块的边界部位）。火山喷发在一定程度上是可预报的，火山灾害也是可减轻和转移的。然而，就目前而言，火山预报并没有完全解决，需持谨慎乐观的态度。

火山喷发具有两面性，它既造成了毁灭性的灾难，严重威胁人生安全和财产；同时火山作用也有积极的一面，它为我们带来了诸如土地、地热、矿产和旅游等方面的宝贵资源。

致谢：文中引用了国内外火山学家的部分成果和认识，囿于篇幅，未能列出，特致谢意。南京大学周新民教授和张永战副教授提供了部分照片，彩插也援引了诸多来自网络的相关图片。

（南京大学地理与海洋科学学院 210093）

作者简介

刘绍文，1977 年 12 月生，湖北石首人。2004 年 6 月毕业于南京大学，获地质学博士学位。现为南京大学地理与海洋科学学院暨南京大学海岛与海岸开发教育部重点实验室副教授，硕士生导师。主要从事海洋地质与地球物理学方面的教学和科研工作。

