



赵波，博士，中国地震局活动构造与火山重点实验室助理研究员。2003年毕业于中国地质大学（北京）地球科学资源学院测绘工程专业，2006年获中国地质大学（北京）第四纪地质学灾害与环境方向硕士学位，2010年获中国地震局地质所构造地质学博士学位，现主要从事火山地质、岩浆与水作用和火山碎屑岩石学等方面的研究工作，主持国家青年自然科学基金、中央级公益性科研院所基本科研业务专项等4项课题，先后3次参加新疆昆仑山火山科学考察，发表学术论文多篇。

认识火山

赵波

Volcano（火山）一词来源于意大利西西里岛和亚平宁半岛之间的Vulcan（乌干）火山岛。火山活动是一种奇特的自然现象。人类对于火山的认知，经历了漫长的历史，由神话到假说，由简单记录到科学解释。

神话中的火山

在火山多发国家的神话中，火山大多与火神相关。古希腊神话中火神和锻造之神赫菲斯托斯利用火山为众神打造武器，冒烟的火山是火神的熔炉和烟囱（图1）。火山喷发就是火神在打铁冶炼武器。古罗马神话里，火与工匠之神乌干住在火山里面。在古罗马和古希腊神话里，这两个火神发怒就会引起火山喷发。日本富士山在阿伊努族的语言中，意思是火之山或火神。在夏威夷神话中，基拉维厄火山为女火神贝蕾的家，熔岩流入大海是贝蕾女神与妹妹海女神为争夺爱人爆发的水火之战。在墨西哥阿兹特克人的神话中，蟬

蒂科是家庭灶台女神和火山女神。中南美洲尼加拉瓜一带的古印第安人认为火山喷发是神在发怒，因此古印第安人经常在马萨亚火山口边缘举行祭祀仪式，据说祭祀过程是把人作为牺牲品推进熔岩湖以使神息怒。在北美洲印第安人的传说中，威易斯特（胡德火山）和塔透（亚当斯火山）兄弟二人为了争夺美女拉瓦拉克劳（圣海伦斯火山）大打出手，造成火山喷发，熔岩四溢。新西兰毛



图1 希腊神话中的火神赫菲斯托斯和火山熔炉

利人的神话中，半神毛伊和兄弟们钓到了一条巨大的鱼，鱼在挣扎过程中，鱼身变成了陆地，形成山脉，而鱼的腹部形成了陶波火山和汤加里罗火山。这些火山多发国家地域不同，文化形态不同，但火山神话都具有一定的相似性，反映了人类在蒙昧时期对火山喷发现象的基本认识具有共同性，充满了对强大自然力量的畏惧与崇拜。

早期的火山假说和喷发记录

西方的先哲们对火山的成因进行了各种猜想。公元前5世纪，古希腊哲学家恩培多克勒提出火山是火元素的表现。随后，大哲学家柏拉图认为“地底下有一条巨大火河，它支持着全世界的火山”。柏拉图的学生亚里士多德提出地底下的火是风进入狭窄裂缝摩擦导致的。公元前1世纪，古罗马的诗人和哲学家卢克莱修认为“埃特纳火山内部是空的且充满火焰，内部的旋风使火焰喷出地表”。可见早期的火山假说都是认为火山与火密切相关。

一些勇敢的学者开始观察和记录火山活动。公元79年，意大利人老布里尼首次注意到维苏威火山喷发前的地震现象，在野外观察火山爆发时窒息而亡。他的侄子小布里尼继承了他的事业，记录了维苏威火山喷发过程。该次喷发摧毁了庞贝、斯塔比伊和赫库兰尼姆三座城市，导致了25000~30000人的死亡。为了纪念小布里尼首次记录维苏威火山喷发过程，人们把这种大规模的爆炸式火山喷发称作布里尼式喷发。

相对于国外，中国系统的火山喷发记录则要晚得多。《宁古塔记略》《盛京通志》和《黑龙江外记》均记载了1720—1721年黑龙江五大连池火山喷发的过程。令人感到惊奇的是，一部分现代火山学者认为《后汉书》中记载的洛阳天气突变，与同一时期《罗马帝国史》中记载的罗马天气异象，都是反映新西兰陶波超级火山喷发对全球气象的影响。

无论是早期火山假说，还是火山喷发观察记录，都反映了当时人类的先进学者们对火山自然现象的探索以及对火山知识的追求。

中国历史资料中的火山

中国不是一个火山喷发多发国家。古籍中记载的火山大部分是指燃烧的山，可以是森林着火的山，也可以指煤层自燃，与地质学中火山喷发现象并不是完全相同的。

战国时期神话志怪小说《山海经》中“其外有炎火之山，投物辄然”，是中国关于火山最早的文字记录。汉朝神话志怪小说《神异经》中亦有“荒外有火山，其中生不昼之木，昼夜火燃，得暴风不猛，猛雨不灭”，明朝神话小说《西游记》中记载“这里有座火焰山，无春无秋，四季皆热，那火焰山有八百里火焰，四周寸草不生”。

火山这个词在历史典籍和古代诗歌中出现的次数远比在神话小说里多。北魏郦道元的《水经注》中有“右合火山西溪水，水导源火山，西北流，山上有火井”，清朝顾祖禹《读史方輿记要》中记载“火山，在县西五里，黄河东岸，山上有孔，以草投孔中，烟焰上发，可熟食”。《魏书》《新唐书》《宋史》和《金史》中介绍当时朝廷以火山为地名建立州县。南宋陆游的《老学庵笔记》中记载“言火山之南，地尤枯瘠，锄耨所及，烈焰应手涌出，故以火山名军”。唐朝诗人岑参多次从军边塞，所著的《经火山》《火山云歌送别》和《武威送刘判官赴碛西行军》等诗中均含有关于火山的诗句，例如“火山今始见，突兀蒲昌东”“火山突兀赤亭口，火山五月火云厚”等。这些诗句描述的都是吐鲁番的火焰山。唐朝贾岛《送黄知新归安南》中的“火山难下雪，瘴土不生茶”。宋朝苏轼《咏汤泉》中“郁攸火山烈，霏沸汤泉注”。关于火山的诗句不胜枚举。

晋朝郭璞在《山海经图赞》中对火山的成因进行了探讨，提出了“木含阳气，精构则然，焚之无尽，是生火山”。地质学家、地质科学史专家、中国科学史事业的开拓者章鸿钊于1924年所著《火山》一书对古籍中所记载火山进行甄别。地质学家陶世龙1983年《火山辨》亦对古籍中记载的火山现象进行分辨。这些学者的考证结果表明，古籍中火山大部分是煤层自燃现象。

当然，有部分史料所记载的现象与现代火山喷发过程相似。《魏书》列传第九十中“悦般国南界有火山，山傍石皆焦溶，流地数十里乃凝坚，人取为药，即石流黄也”。清代《海岛逸志》中记载的“其山极高，人罕到，峰顶如灶上之突，晴明则烟少减，风雨晦暝则烟愈炽；或有时如鸣巨炮，则天雨灰，气味如硫磺”。《新疆日报》记载1951年5月27日在于田县西昆仑山中，筑路工人听到火山爆发的声音。这些火山喷发现象的记载为后人研究区域内火山喷发时代、喷发规模以及喷发方式等提供了参考资料。

中国古籍中记载的火山，大部分并非真正意义上的火山。究其原因，是绝大多数中国火山分布于人迹罕至的边远地区，

聚居于中原地区的国人并未见过真正的火山喷发景象，反而用火山一词来描述常见的煤层自燃和山火现象。

18 世纪至 19 世纪的火山研究

5—13 世纪，欧洲处于黑暗时代，科学发展受到严重阻碍。文艺复兴时期，人类对火山的认识仍束缚于地下火的框架之中。18 世纪早中期，意大利自然学家莫罗、法国地质学家盖塔尔、法国博物学家布封以及德国哲学家康德等对火山成因进行了探讨，为火山学发展做出了贡献。但由于当时知识的局限，布封和康德仍认为火山喷发是地下煤层燃烧形成的，盖塔尔认为玄武岩的柱状节理是水成因的。一直到了被誉为“地质学英雄时代”的 1790—1830 年间，火山学才在争辩中得到了发展。这时期地质学界出现的水成学派与火成学派之争。地质学水成学派的代表者，德国矿物学家维尔纳 1791 年提出火山喷发是地壳内部煤燃烧引起的；地质学火成学派的代表者，英国地质学家赫顿 1795 年系统地提出岩浆岩是由高温岩浆冷却结晶而成。两个学派为此争论不休。英国的霍尔、法国的多洛米厄、德国的洪堡和布赫等地质学家通过野外地质调查和地质实验证明了赫顿的岩浆设想是正确的。德国化学家蓬善 1853 年提出了混合岩浆说。随后，美国地质学家克拉伦斯·金根据岩浆重力分异定义火山岩岩序为酸性、中性和基性。火山的认识逐步走向科学的道路。

现代火山研究

现代火山研究也是在地质学的争论中不断发展的。20 世纪早期，海陆固定学说和活动学说成为地质学界争论的焦点。海陆固定学说是 20 世纪初地质学的正统观点。活动论代表者德国人魏格纳 1912 年提出了大陆漂移说。英国人乔利 1925 年提出了脉动说来解释岩浆的产生，霍姆斯 1928 年则提出了地幔对流说来解释地壳运动。由于受科学技术的限制，当时这些假说的提出者和支持者并未提出令人信服的证据，但这些假说为后来以板块构造学为中心的地学革命奠定了基础。进入 60 年代后，威

尔逊、摩根和勒皮雄三位地质学家在大陆漂移说的基础上，建立并完善了板块构造学说。在板块构造理论的指引下，人类对火山，火山喷发以及火山作用过程的认知越来越深入，了解到火山是地壳构造活动的表现形式之一。

（一）火山定义

通常情况下，火山是指地球、月球以及类地行星的地壳破裂开口，炽热的物质（岩浆、火山灰、气体、岩石等）通过它流出或者被抛出形成的一种地貌。火山地貌主要有盾状山、穹丘状山、锥形山、熔岩坑、环形裂隙和线形裂隙等。不同于其他山岭地貌，火山还涉及到地底下的岩浆、岩浆通道、岩浆房、地表的构造轨迹以及各种喷发产物的分布等（图 2）。

（二）火山喷发及其产物

地下熔融的石头叫岩浆，流出地表的叫熔岩。岩浆一般形成于地下 100 ~ 150km 处。它的形成一般与地球板块构造活动和热点密切相关，比如太平洋板块俯冲到欧亚板块下部后脱水发生部分熔融形成岩浆，夏威夷火山岛就是热点岩浆喷发形成的。岩浆密度要比周围的固体岩石要小，向上的浮力驱使岩浆沿着裂隙向上迁移。岩浆迁移形成的通道叫作岩浆通道。岩浆在地下汇聚形成的巨大岩浆池，叫作岩浆房。当岩浆房内岩浆压力或者是气体压力变大，远远大于外部压力时，岩浆等流体突破上覆围岩，喷出地表的过程叫作火山喷发。

火山喷发时的地表出口叫作喷火口。地表缓慢流动的熔岩流体叫作熔岩流，温度一般在 800—1200℃ 之间。根据

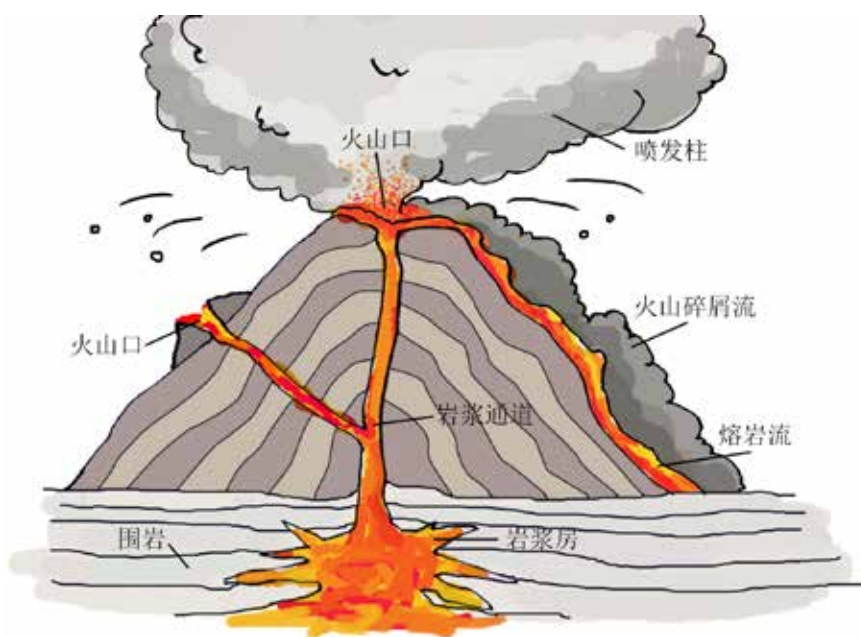


图2 火山结构示意图

化学成分的不同，熔岩可以分为玄武质，粗面质，安山质和流纹质等。爆炸式喷发形成的蘑菇云状体叫作喷发柱，喷发柱中充满火山碎屑。直径大于 64mm，在火山口附近做弹道运动并在空中冷却的熔岩碎屑叫作火山弹（图 3）。直径在 2—64mm 之间的火山碎屑叫作火山砾。直径小于 2mm 的火山碎屑叫作火山灰。布里尼式喷发一般形成喷发柱，大的高达 40km。喷发柱中火山灰随风飘动，滞留空中时间长，影响范围广泛，对航空业亦会造成威胁。喷发柱坍塌一般形成火山碎屑流，庞贝古城就是淹没于火山碎屑流之中的。大部分火山碎屑堆积时很松散，雨水天气易导致火山泥石流流的形成。

（三）火山分类

火山分类有很多种划分方法。本文简要介绍两种常用的划分方式。

根据喷发时间和活动状态，火山分为活火山，休眠火山和死火山。活火山是指人类历史时期（1 万年内）有过喷发活动且现代仍然活跃的火山；休眠火山是指人类历史时期曾经喷发过，但长期以来处于相对静止状态的火山；死火山指人类历史时期从来没有活动过的火山。迄今为止，地球上分布有 534 座活火山，还有大量分布在偏远地区以及海底的活火山尚未发现。有证据显示，中国黑龙江省五大连池市的老黑山和火烧山、黑龙江省镜泊湖 1 号火山和 4 号火山、内蒙古自治区阿尔山市的焰山和高山、吉林省的长白山天池火山、吉林省辉南县的金龙顶子火山（图 4）、新疆自治区于田县的

阿什火山、海南省海口市的雷虎岭和马鞍岭火山、云南省腾冲县马鞍山和黑空山等，1 万年以来都有过喷发。但这些火山现在都处于相对平静状态。

根据喷发的活动方式，火山喷发主要分为溢流式喷发和爆炸式喷发两种形式。美国夏威夷基拉维厄火山 2018 年喷发就是溢流式喷发，高温的熔岩在地表平静缓慢地流动；而冰岛艾雅法拉火山 2010 年喷发则是爆炸式喷发，爆发形成高耸入云的喷发柱，火山灰随风飘动，影响到大部分北欧和西欧地区的航线。

（四）火山作用

广义的火山作用是指地球以及类地行星深部岩浆喷发至地壳的现象，具体指岩浆在地幔和地壳内运移，突破地壳喷发形成火山岩引起的所有现象。火山作用包括在地表以下的岩浆作用过程和突破地表的喷发作用过程。

1. 岩浆作用

深部岩浆作用过程及其复杂，其中岩浆分异作用和岩浆同化混染作用是两个最普遍的岩浆演化过程。成分均一的源区岩浆，受温度、压力等物理化学条件的影响，形成不同成分的派生岩浆，叫岩浆分异作用。岩浆与周围的岩石及捕虏体发生了熔化和交代过程，叫作同化作用。由于加入了外来物质，岩浆的成分发生变化，叫作混染作用。由于岩浆同化作用和混染作用过程是相互依存的，因此统称为岩浆同化混染作用。此外，岩浆作用还包括岩浆不混溶作用、分离结晶作用、扩散作用以及气运作用等。

2. 喷发作用

狭义的火山作用就是指岩浆突破地壳的喷发作用过程。根据喷发活动方式，火山喷发作用可以分为溢流式喷发作用和爆破式喷发作用。水参与火山喷发是最常见的喷发作用过程之一。地球表面的 71% 是水域，还有大量的地下水和冰川。水与岩浆作用可以分为海洋火山作用、浅水火山作用和冰川火山作用。

（1）海洋火山作用

地球上超过 70% 的火山作用是发生在海底的。通过卫星影像分析，研究人员已经解译出超过 10 万座已经死亡和正在活动的海底火山，但仍有大量存在于海底深处的火山未被发现。在大



图3 火山弹

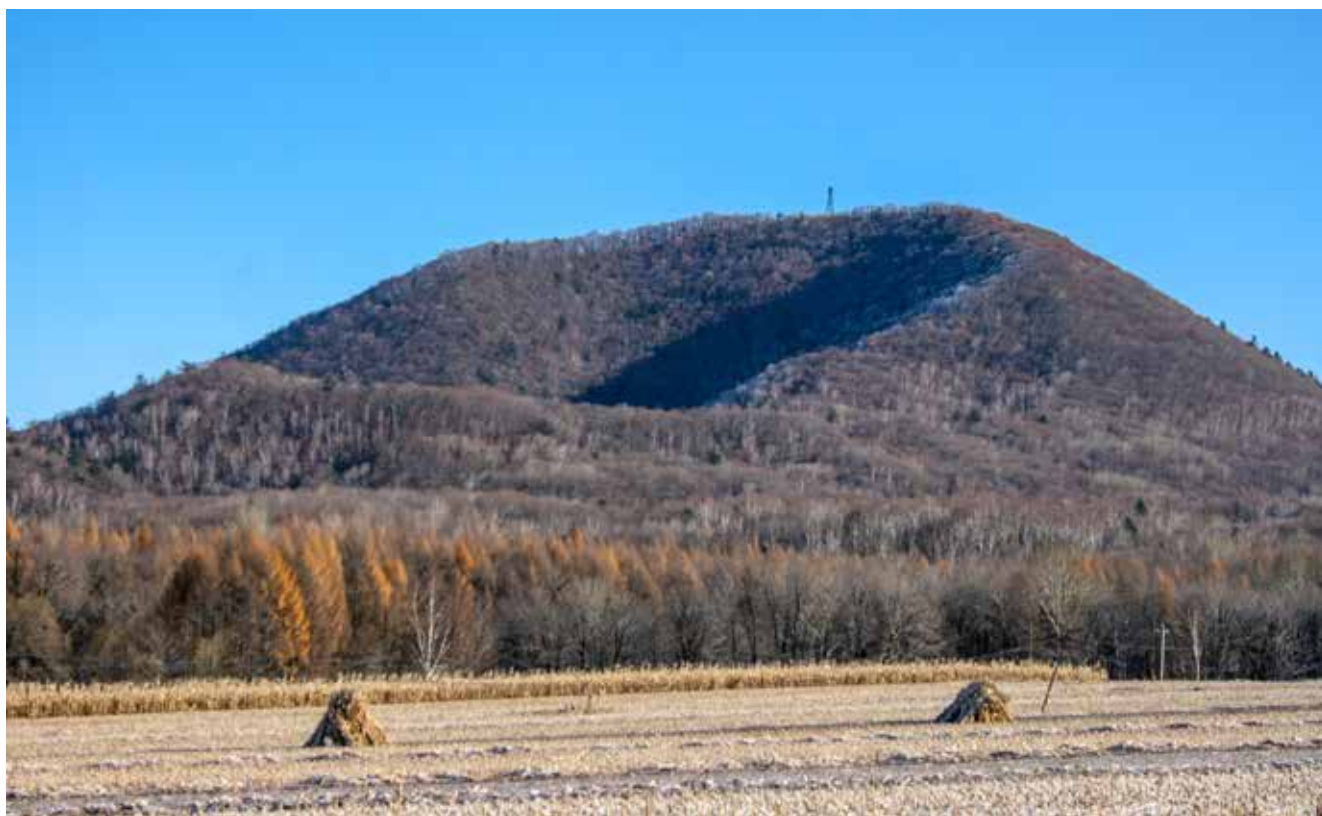


图4 吉林省辉南县金龙顶子火山锥体

洋中脊几乎每天都有大量的火山喷发，而这些火山喷发过程大多数是我们观测不到的。海底火山持续喷发，高于海平面就形成了火山岛。冰岛的苏特赛岛形成于1963—1967年的多次喷发，海水的加入，形成了大量的火山灰。苏特赛喷发（Surtseyan eruption）特点就是水蒸汽爆发和岩浆爆破式喷发交互出现，这与陆地的火山爆发不同，从此，人们首次对海洋火山作用有了了解。深海潜水器、机器人技术和光纤技术的发展，为研究海洋火山作用提供了技术支持。2017年，在美国地球物理联合会举办的查普曼会议上提出的海洋火山作用是当今火山学研究的前沿。此外，海洋火山作用还可能与生命起源密切相关，比如深海的黑烟囱。

（2）浅水火山作用

相对于海洋火山作用而言，岩浆或熔岩与陆地地表的地下水，地表的河流和湖泊发生反应产生的火山作用叫作浅水火山作用。浅水火山作用形成的低平火山口，是陆地上仅次于火山渣锥，分布第二广泛的火山。

（3）冰川火山作用

有冰川加入的火山作用过程叫作冰川火山作用。与前两种火山作用相比，地球上的冰川火山作用仅分布在高海拔和

高纬度地区。南极有大量的火山被覆盖在冰川下面，其中不乏活火山。在冰川下面发生的火山喷发作用，会形成特有的桌状山（Tuya）和廷达尔（Tindar）火山地貌。根据桌状山和廷达尔火山高度，可以推测大型古冰川厚度，获取古环境信息。地球冰川火山作用的研究，可以为人类探测和研究外星球提供借鉴，比如火星，就可能存在大量冰川火山。

结束语

人类对火山的认识是在思辩中不断进步的。了解火山活动规律，可以减轻火山喷发的危害。通过火山这个“窗口”，可以了解到地球内部各种信息。火山也会给人类带来能源和矿产。火山地热可以用来发电。许多宝贵的矿产资源都出现在死火山的根部。认识火山，人类依然任重道远。📖

本文由中央级公益性科研院所基本科研业务专项（IGCEA1516、IGCEA1603）和国家自然科学基金（41402299）共同资助。