

于红梅，中国地震局地质研究所副研究员，博士后，硕士研究生导师，北京地质学会理事。2007年、2011年先后获中国地震局地质研究所构造地质学硕士和博士学位，2011年至2013年在中国地震局地球物理研究所地球物理专业博士后流动站工作。现主要研究岩浆演化和火山喷发过程中的动力学特征、火山空降碎屑物灾害模拟研究等。多年来主持和参与国家自然科学基金、地震行业专项以及中央级公益性科研院所基本科研业务专项等多项课题。在国内外公开发行刊物上发表学术论文30余篇，其中第一作者14篇。

火山分类

于红梅

引言

火山是地下岩浆上升到地表产生的一种地貌形态，火山喷发是一种自然地质现象。火山喷发时喷出大量炙热的熔岩、火山碎屑、火山灰和有毒有害火山气体，并伴随火山泥石流、火山崩塌、海啸、地震、地形变、火山爆炸冲击波、酸雨等，会给人类造成巨大的灾难。不同类型的火山具有不同的喷发方式，造成的灾害类型和灾害程度也不同，了解火山的分类及其特征，可为减轻火山灾害提供技术支持。火山的类型按不同的划分依据具有不同的分类方法，本文按活跃程度、构造成因和地貌形态三个方面进行了分类，并对每种类型的火山特征及代表性的火山进行了介绍。

火山活跃程度分类

按活跃程度，火山可分为死火山、休眠火山和活火山三类。死火山是指那些保留火山形态和

物质，但在人类历史时期和现今从未活动过，并被证明在可预见的将来不会发生喷发的火山；休眠火山是指人类历史时期有过活动，但现今处于“休眠”状态的火山，休眠火山随着地壳的变动会突然喷发；活火山则是指目前正在喷发的或历史时期及近1万年来有过喷发的火山。目前，世界上的活火山约有1500余座。比较著名的活火山包括夏威夷的基拉维厄（Kilauea）火山、意大利的埃特纳（Etna）火山和斯通博利（Stromboli）火山、印度尼西亚的默拉皮（Merapi）火山、冰岛艾雅法拉（Eyjafjallajökull）火山、日本的樱岛（Sakurajima）火山等。

我国已确定的活火山有：黑龙江五大连池的老黑山火山和火烧山火山、镜泊湖火山口森林火山和蛤蟆塘火山，内蒙阿尔山的焰山和高山火山，吉林长白山天池火山、龙岗金龙顶子火山，云南腾冲马鞍山火山、打莺山火山和黑空山火山，新疆阿什库勒阿什火山，台湾大屯火山和龟山岛火山，海南雷虎岭火山和马鞍岭火山，它们的最新

表1 中国主要活火山最新喷发时代

火山	最后一次喷发时间	参考资料
吉林长白山天池火山	1903	史料记载
黑龙江五大连池老黑山、火烧山	1720—1776	史料记载
黑龙江镜泊湖火口森林火山和蛤蟆塘火山	距今 1000—2000 年前	张招崇等, 2000
吉林龙岗金龙顶子火山	距今 1600 年前	樊祺诚等, 2002
内蒙阿尔山焰山和高山火山	距今 1900 年前	白志达等, 2005
云南腾冲黑空山、马鞍山、打莺山火山	明成化、正德、嘉靖、万历年间	史料记载
新疆阿什库勒阿什火山	1951	新疆日报
海南雷虎岭和马鞍山火山	8000 年前	樊祺诚等, 2002
台湾大屯火山	最新喷发年龄不详, 根据温泉、喷气和频繁的地震活动认为其为活火山	
台湾龟山岛火山	小于 7000 年	宋圣荣, 2000

活动时代见表 1。

火山构造成因分类

1. 汇聚板块边缘火山

汇聚板块边缘是两个或多个板块碰撞的地方，通常是一个大洋板块和一个大陆板块。在这种情况下，海洋板块密度大，会俯冲或沉入大陆板块之下，在此过程中水分也会随大洋板块一起带入俯冲带内。从俯冲板块中释放出来的水降低了上覆地幔楔的熔融温度，从而易于形成岩浆。另外，两个

板块之间摩擦生热也促进了岩浆的形成。当岩浆到达地表时，就形成了火山（图 1）。一般火山距离俯冲形成的海沟 100 ~ 300km。典型的例子为环太平洋火山。

2. 离散板块边缘火山

在大洋中脊，两个构造板块彼此分开，洋中脊上部地壳轻薄，由于构造板块的拉动，压力释放导致绝热膨胀和地幔的部分熔融，造成火山作用，随着熔融岩石的冷却和凝固会形成新的海洋地壳（图 1）。大多数离散板块边界位于海洋底部，因此，地球上的大多数火山活动都是海底活动，形成新的海底。黑烟窗（也被称为深海喷火口）是这种火山活动。当洋中脊高于海平面时，则形成火山岛，例如，南太平洋洋岛火山。

3. 热点型火山

有一些火山并不位于板块的交接处，而是坐落于“热点”上，位置不受构造板块边界控制。热点的概念起源于约翰·图佐·威尔逊（John Tuzo Wilson）的工作，他在 1963 年提出，夏威夷火山岛的形成是由于构造板块在地表下的一个热点区域缓慢运动的结果。当板块在热点上做水平移动时，便有一连串的火山生成。这样作用连续发生后，会造成一系列的火山岛群，而离热点越远的火山其生成年代越老（图 2）。随后提出热点来自地球核幔边界的热地幔流补给，被称为“地幔柱”。曾经提出受地幔柱补给热点的数量从 20 个到几千个，但是大部分地质学家认为存在的就几十个。夏威夷、留尼旺岛（Réunion）、黄石公园和加拉帕戈斯群岛（Galápagos）是最活跃的热点火山地区。

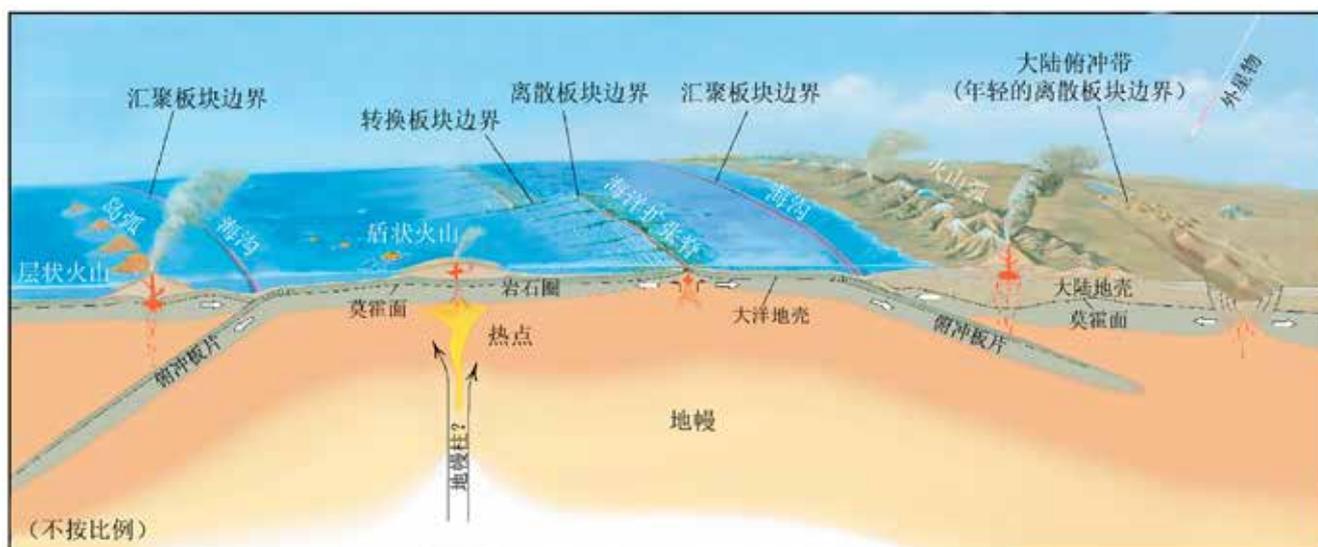


图1 板块构造与火山成因示意图

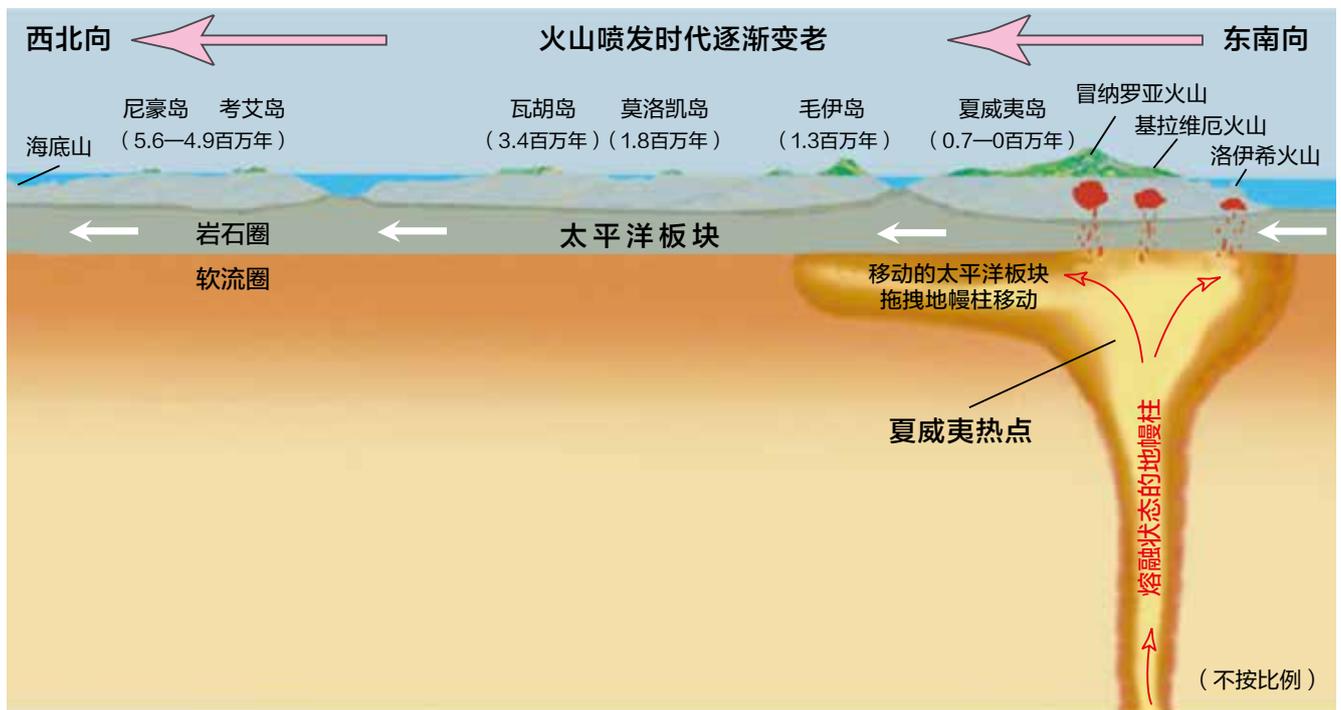


图2 夏威夷火山链形成过程示意图

大多数热点火山岩为玄武岩，所以相比俯冲带热点型火山具有较弱的爆破性。当热点发生在大陆内部时，玄武质岩浆上升穿过大陆地壳会演化为流纹岩，这些流纹岩可以产生爆炸性喷发。例如黄石火山口是地质历史时期几次较大的爆炸喷发形成。

火山地貌形态分类

根据火山的形状、大小、坡度、组成物质等，可分为盾状火山、层状火山、火山渣锥、熔岩穹丘、低平火山口、泥火山等，不同类型的火山其构造成因、喷发机制、灾害程度均有差异。

1. 盾状火山 (Shield volcano)

盾状火山是几乎全部由熔岩流组成的一种火山。盾状火山坡度较缓，一般 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，向山顶逐渐变陡，最大可达 10° ，体积一般超过 1000km^3 。在近山顶处呈扁平状，形成一个整体向上凸起的形状，高度通常是宽度的二十分之一，像战士的盾牌躺在地上，所以称为“盾状火山”。它与盾片状熔岩不同，后者体积要小很多，一般 $0.1 \sim 15\text{km}^3$ 。岩浆成分一般为玄武质，由于黏度低，熔岩流流速一般较层状火山快，导致熔岩不断地堆积，形成盾状火山独特的形态。但也存在

爆炸喷发产生的火山碎屑岩盾和少量的偏酸性岩浆产生的盾状火山，例如巴布亚新几内亚的比利米切尔 (Billy Mitchell) 火山碎屑岩盾和美国俄勒冈州的黑耀岩盾。

活动的盾状火山可在很长的一段时间内经历近连续的火山喷发活动，产生大规模的火山机构。破火山口也是盾状火山一个普遍的特征，长时间的喷发造成火山锥体崩塌形成破火山口，之后还会被后期喷发充填和改造 (图 3)。世界上最大的陆上盾状火山为夏威夷冒纳罗亚 (Mauna Loa) 火山，位于海拔 4169m 之上，底部宽超过 100km ，估计玄武岩体积 80000km^3 。

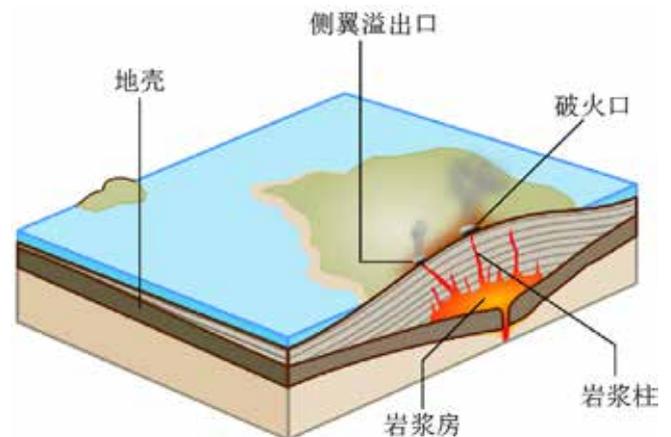


图3 盾状火山的结构特征图

盾状火山在世界各地都有发现。它们可以形成在热点地区，如夏威夷群岛，每个岛屿都是一座大型的盾状火山，厄瓜多尔的加拉帕戈斯群岛（Galápagos islands），或者也可形成于裂谷带内，如位于大洋中脊的冰岛火山以及东非裂谷内的盾状火山。许多盾状火山分布在海洋盆地中，如世界上最大的火山是太平洋内的塔穆山（Tamu Massif）。我国吉林长白山火山早期（1.48—4.5Ma）经历了造盾式喷发，产生的玄武岩熔岩台地坡度小于 4° ，分布面积达 7200km^2 。

2. 层火山（Stratovolcano，或者 Composite volcano）

层火山也称为复式火山，是一种多成因中央式火山，发生周期性的爆炸式喷发和溢流式喷发，由多层熔岩、火山碎屑、浮岩和火山灰组成，是最常见的火山类型。与盾状火山不同的是锥体呈圆锥形，其侧翼较陡，具有一个火山口，一些火口也会塌陷为破火山口。层火山普遍发生在俯冲带，可形成火山链或者火山群，例如大洋地壳和大陆地壳碰撞后产生的北美的喀斯喀特山脉和南美的安第斯山脉，大洋地壳和大洋地壳碰撞后产生的日本岛弧和菲律宾岛弧等。

由于不同期的岩浆可沿相同的通道上升，而且一般都会含有岩浆房，所以层火山岩浆补给率较高，溢率也较高。该类型火山往往会发生爆炸式喷发，喷发柱可达几十千米，并伴随大量的空降火山灰、火山碎屑流和泥石流等，产生的灾害巨大。两个比较有名的层火山，一是印度尼西亚的喀拉喀托（Krakatoa）火山，因1882年灾难性喷发而众所周知，二是意大利的维苏威（Vesuvius）火山，因公元79年的喷发埋没了庞贝和赫库兰尼姆古城而闻名。两次火山爆发均夺去了数千人的生命。我国吉林的长白山火山属于层火山，火口塌陷后形成了美丽的天池（图4），其公元946年的喷发，被认为是近2000年来全球最大规模的火山喷发之一。

层火山的岩浆成分经常为长英质，具有高一中等二氧化硅含量，黏度较高，所以层火山流出的熔岩不会流太远就冷凝。大范围的长英质熔岩流不常见，但也有流动距离较远的，目前见到的最远的可达15km。我国长白山火山气象站熔岩流为碱性流纹岩，总长约5km。

3. 火山渣锥（Cinder Cone）

火山渣锥为一个陡峭的锥形山体，由松散的火山碎屑物堆积而成，例如火山渣、火山灰。锥体一般是对称的，近圆形，高几十米到几百米，坡度 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，大多数火山渣锥在顶部具有一个碗状的火山口。火山渣锥的喷发方式相对简单，当熔岩喷发时，火山渣喷出到空气中，降落在火口周围产生了锥体。在火山渣锥喷发的后期，岩浆损失了大部分挥发分，岩浆密度增加，会以熔岩流的形式缓慢地流进火山口内部，或者在渣锥的底部流出。未固结的锥体不能承受岩浆穿过中心出口上升到地表的压力，所以几乎不会在锥体顶部溢出。如果火山口一侧被熔岩流完全破坏，剩下的火口缘就会形成一个马蹄形火山口。

火山渣锥通常是由一次喷发形成，为单成因火山，但喷发也可以持续10年之久，例如著名的墨西哥帕里库廷（Paricutin）火山，1943年形成一个新的火山口之后，持续喷发到1952年，产生了一个高424m的锥体，熔岩流面积约 25km^2 。该类型喷发由于岩浆要开辟新的通道，岩浆补给率和溢率一般较低，所以相比其他类型火山危险性较低。火山渣锥经常出现在盾状火山和层状火山的侧翼。例如，在夏威夷岛莫纳克亚（Mauna Kea）盾状火山侧翼有近100个火山渣锥。

目前世界上最活跃的火山渣锥是尼加拉瓜的塞罗内格罗（Cerro Negro）火山，自1850年首次喷发以来，已经喷发

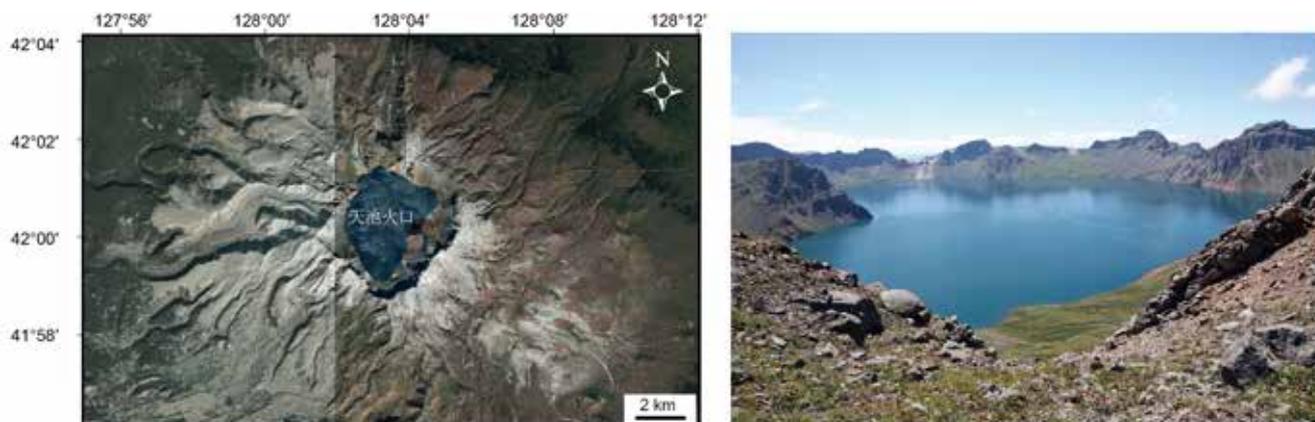


图4 长白山火山口和天池火瀑布



图5 五大连池老黑山火山渣锥和火山口

了 20 多次，距今最近的两次分别是在 1995 年和 1999 年。我国很多火山都具有火山渣锥，例如五大连池的老黑山火山（图 5）、龙岗金龙顶子火山、云南腾冲的黑空山火山、内蒙古阿尔山的高山和焰山等。

4. 熔岩穹丘（Lava Dome）

黏性岩浆从火山中缓慢流出产生的一个近圆形的突出物称为“熔岩穹丘”。造穹喷发非常普遍，尤其是在汇聚板块边界地区。熔岩穹丘是世界上许多层状火山的主要结构特征之一。例如美国圣海伦斯火山，1980 年喷发之后在火口内部生长出一座熔岩穹丘（图 6）。地球上大约 6% 的火山喷发为造穹喷发。熔岩穹丘的岩浆成分可以从玄武岩到流纹岩，但

大部分为中性岩。玄武质和安山质穹丘风化较快，很容易被后期流动岩浆破坏，大多数保留下来的穹丘都具有高含量的硅，由流纹岩或者英安岩组成。由于高的硅含量或者岩浆脱气使得岩浆黏度较高，高黏度的岩浆导致其流动距离不会太远，造就了穹丘的形状特征。

穹丘高度可达几百米，生长非常缓慢，可持续几个月（日本云仙岳火山）、几年（苏佛利尔火山）甚至几个世纪（默拉皮火山）。穹丘平均生长速率可作为岩浆供给的粗略指标，但与熔岩穹丘爆炸的时间或特征没有系统关系。熔岩穹丘的火山机构都是由不稳定的岩石碎屑组成。由于间歇性的气体压力积聚，穹丘会经历爆炸式爆发。如果熔岩穹丘的一部分坍塌，就可以产生火山碎屑流。穹丘还会产生熔岩流、森林火灾，以及松动的火山灰和火山碎屑产生的火山泥石流。



图6 美国圣海伦斯火山及火口内部的熔岩穹丘

5. 低平火山口（Maar）

低平火山口是一种由射汽岩浆喷发（当炽热上升的岩浆接触到近地表地下水或地表水时发生的爆炸）产生的地势较低、产状平缓的火山口。低平火山口内壁通常深而陡，直径相对较大，低而平缓的火口缘由一些火山碎屑和围岩碎屑组成，该类型喷发的灾害范围一般影响不大。有时在火口缘靠外侧形成凝灰岩环（tuff

ring),凝灰岩环的火山灰也呈近水平的薄层状。凝灰岩锥(tuff cone)是一种锥体相对较高的凝灰岩环,锥体坡度要陡于凝灰岩环,它们都是由威力较小、位置较浅的爆炸点形成的。

低平火山口直径大小从60m到8km,深度从10m到200m不等。低平火山口内充填有水,也就形成一个相对较浅的火山口湖,也称玛珥湖。有时玛珥湖会干枯,被充填物淤塞。例如德国的艾克费尔德(Eckfelder)火山,是已知的最老的玛珥火山,形成于44.3Ma年前,20世纪干涸的。低平火山口有时下部为多孔的岩石,火口内也就不能存储住水。

已知的最大的低平火山口在阿拉斯加西北部的苏厄德半岛(Seward Peninsula)。这些低平火山口的直径从4000m到8000m不等,深度高达300m。这些喷发发生在大约10万年前,最年轻的在17500年前。由于喷发时岩浆接触到永久冻土带而造成了如此大规模的喷发。中国吉林龙岗火山群具有较多的低平火山口,例如大龙湾、二龙湾、三角龙湾、南龙湾、龙泉龙湾等,形成于中更新世至早全新世,是国内最新的、最典型的低平火山口群(图7)。其他如内蒙阿尔山的卧牛泡子、广东湛江的湖光岩、海南的罗经盘等。

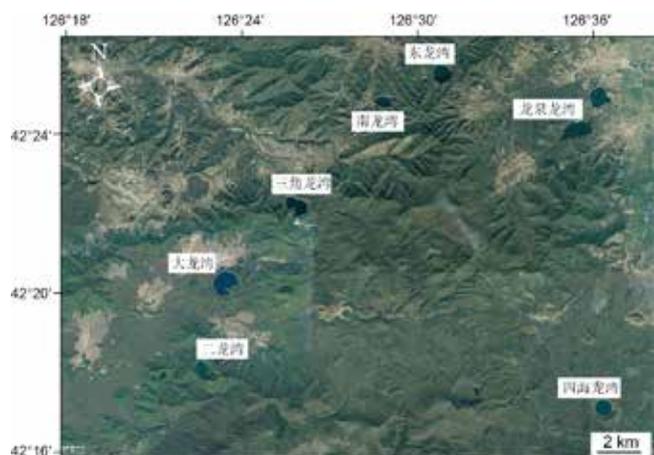


图7 吉林龙岗火山群低平火山口—龙湾分布

6. 泥火山(mud volcano)

泥火山是由泥浆、水和气体喷发而形成的地貌。泥火山不是真正的火成岩火山,因为它们不会产生熔岩,有些泥火山也不是受岩浆活动驱动的,其喷发动力受到地下油气压力或构造应力的影响。泥火山的大小范围很大,高可从1~2m到700m,宽1~2m到10km。最大的泥火山是印尼爪哇岛的“露西”(Lusi)泥火山,它的直径为10km。泥火山一般与俯冲带有关,目前在全球陆地或近陆地已发现



图8 新疆北天山泥火山
A. 独山子泥火山; B. 独山子泥火山喷出口

的泥火山约1100座。泥火山的温度可从近100℃到2℃,但一座泥火山的温度通常变化不大。泥火山释放的气体中大约86%是甲烷,另外含有少量的二氧化碳和氨。喷出物质通常是悬浮在水中的细粒泥浆,其中可能含有盐、酸和各种碳氢化合物的混合物。我国新疆北天山分布着国内最大的泥火山群,约90多个泥火山喷出口,如独山子泥火山(图8)。

结束语

不同构造环境产生不同类型的火山,不同类型的火山具有不同的喷发方式,会造成不同类型与不同程度的灾害。只有对每种火山类型的构造背景、喷发机制、喷发历史等进行全方面详细的了解,才可以更好地制订火山灾害预警方案和对策。

本文由国家自然科学基金(41502314)和中央级公益性科研院所基本科研业务专项(IGCEA1603)共同资助。