

当代火山喷发碎屑堆积物的 研究进展及其主要类型^①

刘祥

(地球科学系)

摘要 火山喷发碎屑堆积物主要分为:火山喷发空中降落堆积物、火山碎屑流状堆积物、火山泥石流堆积物和火山基浪堆积物。简述了这些火山碎屑堆积物的成因及主要特征。

关键词 火山 火山喷发空中降落堆积物 火山碎屑流 火山泥石流 火山基浪

进入80~90年代,特别是美国圣·海伦斯火山爆发后,对新生代火山喷发碎屑堆积物(pyroclastic deposits 或 pyroclastic rocks)的研究在国际上受到越来越广泛的重视。火山喷发碎屑一词,不仅具有粒度上的涵义,而且按形成方式大体分为火山喷发空中降落堆积物、火山碎屑流状堆积物、火山泥石流堆积物和火山基浪堆积物等。

火山喷发碎屑堆积物本身是重要的非金属矿产。不同成因类型的火山喷发碎屑堆积物形成奇特的火山锥、火口湖等,是观光、旅游、科学考查的圣地和保护区。以火山喷发碎屑堆积物为标志层的新生代、特别是第四纪编年史的研究,全球性大气环流变迁史的研究,对环境的影响都有重要意义。据Fisher和Schmincke^[1]的研究,公元1500~1914年间,陆地上火山喷发碎屑堆积物的量为328 km³,而熔岩量为64 km³。可想而知,新生代火山喷发碎屑堆积物在新生代火山岩总量中占相当大的比例。而且造成了比熔岩大得多的难以估量的火山灾害,据Blong^[2]的资料,1900~1982年间,全世界死于各种火山熔岩的85人,占火山灾害死亡人数的0.2%,死于各种火山碎屑堆积物的46244人,占88.5%。而1985年哥伦比亚Nevado del Ruiz火山爆发和1991年菲律宾皮纳托波火山爆发,由火山泥石流造成的严重灾害,更引起人们的广泛关注。

1 火山喷发空中降落堆积物

火山喷发空中降落堆积物(airfall tephra)包括火山爆发时,从火山口喷向空中的所有产物。依其来源,这些产物既可以是原生岩浆的,即直接起源于喷发岩浆;也可以是同源的,即这些碎屑是同一火山共同岩浆源先前喷发的产物;另外就是含有外来的成分。按粒度大小主要分为三级:火山灰,粒径小于2 mm,固结后称凝灰岩;火山砾,2~64 mm,固结后称火山砾

① 国家自然科学基金(49372127)和地矿部地质行业科学技术发展基金(88099)资助项目

作者简介 刘祥男 53岁 教授 第四纪火山学专业 已发表“吉林省辉南县大龙湾火山基浪(base-surge)堆积物的发现”等论文

收稿日期 1995-08-19

岩,火山岩块和火山弹,大于 64 mm,固结后称火山集块岩和火山角砾岩^[1]。

火山渣和浮岩是常用的两个术语,部分取决于火山碎屑的孔隙度。它们并无粒级大小的涵义,但最常见的是用于火山砾或更大的粒级。浮岩通常指白色或灰色的富硅质火山玻璃,呈泡沫状,常能浮在水面。火山渣则指富铁镁质成分高度膨胀气孔化的原生岩浆火山碎屑。Fisher 和 Schmincke^[1]认为,浮岩也可以指铁镁质成分。

火山喷发空落堆积物在大气中广泛散布。主要取决于火山爆发的规模,即喷发柱的高度,以及优势风向和风速。主要在斯通博里(Strombolian)–普林尼(Plinian)式火山爆发中,形成由固体和气体组成的垂直或近于垂直地表的喷发柱,这种以对流羽的形式扩散的喷发柱可连续升高,最高可达 45 km。火山弹、岩块和较粗的火山砾,具有较大的降落速度,被火山自身的能量抛出以后,遵循弹道轨迹很快降落下来,形成火山锥。而较细较轻的碎屑,裹挟在喷发云的湍流悬浮中,被优势风向推动,扩散得很高很远,当喷发云中的能量耗减的时候,依其沉降速度大小先后降落下来,形成火山碎屑席。如果火山碎屑降落速度与风的强度相比小得多的话,火山尘埃可绕地球好多圈,引起日照和气候变化。因而空落堆积物分布的几何形态、粒度反映了喷发柱高度、排出速度和大气中风的方向。如长白山火山在 1000 a 前爆发,火山灰被西风吹拂,一直飘落到日本,超过 1000 km,因而是迄今为止世界上最大的火山喷发之一^[3]。

火山喷发空落堆积物通常铺天盖地而下,覆盖所有地形。这是辨认空落堆积物特征之一,也是空落堆积物在分布上与火山碎屑流状堆积物、火山泥流堆积物的主要区别。

富硅质的或者中性岩浆成分的空落堆积物比富镁铁质的空落堆积物扩散得更远,这是由于前者常出现更大规模的亚普林尼式、普林尼式和超普林尼式火山爆发,有更高的喷发柱和更快的排出速率,形成浮岩空落堆积物;伴随形成大的复式火山。富镁铁质火山爆发往往形成玄武质–玄武安山质火山渣空落堆积物(scoria fall deposits)组成的火山渣锥、及火山碎屑席及熔岩流。这是斯通博里式和部分夏威夷式火山喷发活动所具有的特点。

空落堆积物发育面状平行层理和递变层理,分选性较好,Inman 分选系数常介于 1.0~2.0 之间。空落堆积物的厚度、中值粒径和最大平均粒径都随远离火山口而呈规律性减小^[1,4]。

中国东北、华北、云南腾冲、广东和海南雷琼地区等各火山群普遍发育火山喷发空落堆积物^[4]。

2 火山碎屑流状堆积物

火山碎屑流(pyroclastic flow)是高温的充满气体的火山物质碎片沿地表的流动,特别是沿河谷和低地流动。Fisher 和 Schmincke^[1]认为,火山碎屑流是“火山成因的、炽热气体的颗粒密度流”,Neall^[5]认为,火山碎屑流“通常是指急速膨胀的炽热的火山气体在流体化物态下沿河谷和地表面搬运颗粒”。

火山碎屑流温度高达 715~1000℃,可以 200 km/h 的飓风般速度前进^[5]。流的前锋以迅雷不及掩耳之势毁灭大多数生命,几乎无人幸免。1902 年培雷火山爆发,近 3 万人在几分钟内即毁于火山碎屑流中;1980 年圣·海伦斯火山爆发,600 km² 森林被火山碎屑流所毁,被 Walker 和 McBroome 称为本世纪最具灾难性的火山事件之一^[6]。

火山碎屑流状堆积物是 100 年来(1868 年始)使火山学家困惑的岩石,这是由于其某些

类型兼有熔岩和火山碎屑堆积物的特点。1868年 Von Fritsch 等认为加那利群岛的某些凝灰岩是由流动侵位形成,称之为条纹斑杂岩(eutaxites),这是对火山碎屑流状堆积物很有见解的最早描述;随后(1882年)又有 Abich 独立命名的凝灰熔岩。关于火山碎屑流的某些详尽描述来自著名的 1902 年的培雷火山喷发,这些描述在火山文献中被称为里程碑式的,如 1904 年 Lacroix 的炽热云(nuee ardente)至今仍被应用。新西兰著名火山学家 Marshal 首先觉察出像熔岩的火山碎屑岩,他称为 ignimbrite(熔结凝灰岩),以及随后 Gilbert 的 welded tuff(熔结凝灰岩)^[1],这些与 nuee ardente 一起都是火山碎屑流及其堆积物较早期的至今亦很有影响的其他称谓。

火山碎屑流沉积由晶体、火山玻璃碎片、浮岩、火山渣(富镁铁质成分)和岩屑组成,含量比例变化很大,取决于岩浆成分和流的成因。常含炭化木;一般是块状的和分选差,分选系数 $\sigma_r \geq 2.0$,粗颗粒中发育递变层理。可出现许多流单位(每个流单位被看作是单一火山碎屑流的沉积)叠加在一起。

火山碎屑流状堆积物有多种不同的形成机制,其中主要有两种类型。一种是熔岩穹丘垮塌(lava dome collapse),形成块灰流(block and ash flows)。这种块灰流堆积由细的火山灰基质和粗大的一般无气孔的同源岩屑混杂在一起组成,岩屑直径最大可达 5 m^[7]。笔者在新西兰进行学术访问时,在野外见到过这种块灰流堆积,它属火山碎屑流成因的重要标志之一是含炭化木。也有将这种块灰流称为熔岩碎屑流(lava debris flow)、热崩塌(hot avalanches)和炽热云(nuee ardentes)等,规模通常比较小。另一种是火山喷发柱垮塌(eruption column collapse),垂直的满载火山灰和火山碎屑的喷发柱的有效密度大于大气的有效密度,于是导致重力垮塌(gravitational collapse),产生火山碎屑流。也有人称之为炽热云或火山碎屑崩塌等。大部分浮岩流和灰流(火山灰粒级含量 > 50%)即形成于此。对于浮岩流,Cas 和 Wright^[7]称之为 ignimbrite,是典型的分选差、块状构造、含有不同量的火山灰、圆状火山砾和岩块的沉积。在许多流单位中,大的浮岩碎屑具递变层理,而岩屑则具正递变层理。在流单位的底部可发育细粒基部层。从几千米高处连续的普林尼式的喷发柱垮塌,可形成大规模的广布的浮岩流席,覆盖除了高地以外的全部地形。长白山火山 1000 a 前的爆发,环绕火山口形成分布广泛的浮岩流沉积^[8]。Cas 和 Wright^[7]认为,最近一些年过于强调火山喷发柱垮塌在浮岩流形成中的作用,并认为在火山口处的急促杂乱爆炸(spluttering)或者起泡沫(frothing)可能起更重要的作用。

另外一种类型的火山碎屑流状堆积物——火山渣流(scoria flow)沉积,也可能形成于火山喷发柱垮塌。火山渣流沉积是由地形控制的、未分选的沉积,含有不同含量的玄武质到安山质火山灰、气孔状火山砾和直径可大到 1m 的渣状、绳状表面的火山碎屑^[7]。这种玄武质成分只能形成小规模火山碎屑流;而长英质的钙碱性和碱性岩浆,英安质—流纹质—粗面质—碱流质成分火山喷发,可形成大规模的火山碎屑流沉积。

此外,常发现薄的成层的浮岩和火山灰沉积伴随火山碎屑流状堆积物一起出现,它们是火山碎屑浪(pyroclastic surge)沉积。当出现在流单位基部时,称为底浪(ground surge),出现在流单位顶部时,称为灰云浪(ash cloud surge)。底浪被认为是火山碎屑流的前驱,居于流的前面,它可以由垂直喷发柱边部垮塌或在火山碎屑流前部裹挟进气体而成。灰云浪是火山碎屑流上驮气体和火山灰中的湍流状、低密度流。灰云浪起源于运动的火山碎屑的顶部的淘洗作用(elutriation)或者在流动中,较粗颗粒从细颗粒物质的重力分离作用^[1]。

3 火山泥流堆积物

火山泥流(lahar)堆积物,是起源于火山的奔腾流动的火山岩石碎屑和水的混合体。火山泥流的性状不同于正常河流,类似于流动的混凝土。火山泥流粘度低,易受地形影响,常沿河谷和低地急驰。1877年厄瓜多尔Cotopaxi火山喷发,火山泥流沿河谷前进320 km。在近火山口附近,火山泥流剥蚀和铲刮陡坡上的下伏的松软物质,并将其裹挟到火山泥流中。火山泥流的速度取决于泥流的密度、量和坡降。火山泥流最高流速可达180 km/h,在低坡降地段,也可达20~40 km/h。火山泥流的排泄速率可达100 000 m³/s,相当亚马逊河的瞬时排放量^[9]。

Lahar(火山泥流)一词起源于印度尼西亚语,1922年由Escher第一次引入英文文献中。直到1949年Van Bemmelen给予印度尼西亚语Lahar一个更为精确的定义,火山泥流是“主要为火山成因的含有碎屑和棱角状岩块的泥流”。1964年Beverage和Culbertson将火山泥流分为碎屑流和超高密集流。在碎屑流中固体物质含量超过80%(按重量)或超过60%(按体积);在超高密集流中固体物质含量为40%~80%(按重量),或20%~60%(按体积)^[10]。

由火山泥流所携带的碎屑颗粒包括从粘土到巨砾的不同粒级。不同的火山泥流和火山泥流的不同部位,粒度变化很大。远离火山口,大碎屑的含量和粒级逐渐减少。火山泥流中含有直径>1 m的巨砾,是火山泥流最重要的特征之一。火山泥流堆积物的分选比火山碎屑流更差。许多火山泥流在粗颗粒(>2 mm)中显示不太清晰的逆递变和正递变层理。

火山泥流的形成机制不同,但水是必需的。一种是直接与火山喷发有关,穿过火山口湖、积雪积冰以及大雨中的火山爆发,或者火山碎屑流注入河流、冰雪中,这是造成火山泥流最普遍的原因。另外是间接与火山喷发有关或火山喷发后短暂时间内,由于地震或火山膨胀长大导致火口湖或疏松火山碎屑崩塌而急速排水。再就是与火山活动没有任何关系的火山泥流,比如,由大雨或不稳定边坡的垮塌等等,使得疏松的火山碎屑有更大的活动性,造成火山泥流。

长白山火山1000 a前的爆发,沿松花江中上游等地发育火山泥流堆积物^[11]。

4 火山基浪堆积物

许多火山爆发导致岩浆和外部水相互作用。Fisher和Schmincke^[12]用水成碎屑(hydroclastic,由Fitch引出)一词,意欲与火成碎屑(pyroclastic)平行。Stearns和Macdonald(1946)将水成碎屑分4种类型:(1)蒸气喷发(潜水水位爆炸)(phreatic eruptions)是低温的,且无原生岩浆喷出物排出;(2)岩浆蒸气喷发(phreatomagmatic eruptions),上升的岩浆接触地下水导致的喷发;(3)海底爆发(submarine eruptions),是一种岩浆上升进入浅海时,导致爆炸,产生大量的玻质碎屑;(4)滨海爆炸(littoral explosions),在滨岸熔岩流或热的火山碎屑流遇到水,产生的爆炸^[13]。

Fisher和Schmincke^[12]用更广义的水下的(subaqueous)一词,它包括海底的及湖下的,冰川下的爆发。并将岩浆蒸气喷发涵义扩大,不仅仅限于地下水与岩浆相互作用,且包括海下、湖下和潮湿沉积物下的火山爆发,即岩浆在任何环境下与水的相互作用。因此,将海底爆

发和滨海爆发视为岩浆蒸气喷发的变种。

水成碎屑通常以细粒为特征,多出现在镁铁质火山爆发中。在许多细粒水成凝灰层中可出现增生火山砾(accretionary lapilli),发育独特的层理构造。

基浪(base-surge)一词最初见于1947年在南太平洋 Bikini Atoll 的水下热核实验爆炸^[10]。作为火山现象的基浪,首先是在1965年菲律宾塔尔湖(Taal)底火山喷发时观察到的^[11]。岩浆,主要是玄武质岩浆一碰到水会立即发生爆炸,并伴随出现基浪。基浪云从许多火山喷发柱呈横向放射状向外扩散,特别是那些正在上升的岩浆柱同地表水或地下水接触的地方更是如此^[14]。这种火山基浪是含有大量的水蒸气、火山灰、火山砾等低温($<100^{\circ}\text{C}$)的喷烟柱从侧面掠过造成的,它的初速度为每秒数十米。凝结的水蒸气,作为火山基浪整体的一部分,与火山基浪流中的火山碎屑颗粒充分混合,并支撑和稀释基浪中的火山碎屑。在火山基浪堆积物中形成独特的交错层理、砂丘、逆行砂丘等构造标志,且分选差^[12~14]。关于基浪辐射的最大距离大致等于火山口的直径;但也有等于火山口直径2倍或数倍的^[12]。

Fisher 和 Schmincke^[1]及 Cas 和 Wright^[7]均将基浪划入火山碎屑浪(pyroclastic surge)的范畴,认为基浪是火山碎屑浪的一种类型。火山碎屑浪有三种类型:基浪、底浪和灰云浪。它们三者之间的区别正如 Cas 和 Wright^[7]所指出的那样,基浪是冷的和湿的,而底浪和灰云浪是热的和干的。前者是由于岩浆和水的爆炸作用形成水成碎屑沉积;后两者则形成火山碎屑流堆积物,与火山喷发柱重力垮塌等作用有关。

基浪常常伴随形成小的火山口,依其形态和组成上的变化,称低平火山口(maar)、凝灰环(tuff ring)和凝灰锥(tuff cone)。Wood 认为,低平火山口是仅次于火山渣锥的、第二位的最常见的火山地貌^[13]。事实的确如此,自塔尔湖底火山喷发中观察到基浪现象及其堆积物之后,70年代以来,在日本、北美一些小火山口周围相继发现火山基浪堆积物,在欧洲、新西兰、韩国等小火山口的喷发物中,也存在着基浪堆积物^[15,16]。吉林省龙岗火山群的几个龙湾(玄武质火山口湖)发育有火山基浪堆积物^[17]。

这种火山喷发碎屑堆积物的成因类型及特征,不仅适用于新生代火山活动,同样也适用于中生代直至前寒武纪^[1],只是因成岩作用、构造变动等因素使其更为复杂。此外,关于原生火山喷发碎屑堆积物的再搬运和沉积已引起人们的注意和研究。

参 考 文 献

- 1 Fisher R V, Schmincke H-U. Pyroclastic rocks. Springer-Verlag, Heidelberg, 1984. 59~229
- 2 Blong R J. Volcanic Hazards. Academic Press, Sydney, 1984. 8~102
- 3 Machida H, Arai A. Extensive ash fall in and around the sea of Japan from Late Quaternary eruption. J. Volcanol. Geoth. Res., 1983, 18, 151~164
- 4 刘祥, 王锡魁. 大椅子山火山碎屑降落堆积物研究. 长春地质学院学报, 1991, 21(4): 417~424
- 5 Neall V E, Alloway B V. Volcanic hazards at Egmont Volcano. In: Volcanic Hazards Information Series, Number One, 1991. 5~14
- 6 Walker G P L, McBroome L A. Mount St. Helens 1980 and Mount ... J. Volcanol., 1983, 11, 571~574
- 7 Cas R A, Wright J V. Volcanic Successions. London, 1987.
- 8 Liu Xiang. Quaternary pyroclastic deposits in north-east China and their significance to mineral resources. 1991, X INQU A

- 9 Neall V E. Lahar as major geological hazards. Bull. of the International Association of Engineering Geology, 1976, 14: 233~240
- 10 Scott K M. Origins, behavior, and sedimentology of lahar and lahar-runout flows in the Toutle - Cowlitz river system. United States Government Printing Washington, 1988, A5-A74
- 11 Liu Xiang. Cenozoic volcanoes in northeastern China. In: Abstract Volume, International Symposium on Geoscience Progresses of Northeast Asia, Changchun, China, 1995: 11~12
- 12 Crowe B M, Fisher R V. Sedimentary structures in base-surge deposits with special reference to cross-bedding, Ubehebe Craters, Death Valley, California. Geol. Soc. Amer. Bull., 1973, 84: 663~682
- 13 Moor J G, Nakamura K, Alcaraz A. The 1965 eruption of Taal volcano. Science, 1966, 151: 955~960
- 14 Waters A C, Fisher R V. Base surge and their deposits; Capelinhos and Taal volcanoes. J. Geoph. Res., 1971, 76(23): 5596~5614
- 15 Sohn Y K, Chough S K. The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan-type tuff cone. Sedimentology, 1992, 39: 523~544
- 16 Sohn Y K, Chough S K. The Udo tuff cone, Cheju Island, South Korea: transformation of pyroclastic fall into debris fall and rain flow on a steep volcanic cone slope. Sedimentary, 1993, 40: 769~786
- 17 刘祥, 王锡魁. 吉林省辉南县大龙湾火山基浪(base-surge)堆积物的发现. 地质论评, 1987, 33(6): 577~582

Advances in Pyroclastic Deposits at Present and the Main Types of the Pyroclastic Deposits

Liu Xiang

(Changchun Univ. of Earth Sciences, Changchun 130061)

Abstract Pyroclastic deposits mainly can be divided into four types, fallout tephra deposits, pyroclastic flow deposits, lahar deposits and volcanic base surge deposits.

The fallout tephra encompasses all the products ejected into air from a vent during a volcanic eruption. The pyroclastic flow is a rapid flow with high temperature and expanding hot gasses originated from a volcanic eruption down valleys and across surfaces low gradient. The lahar is a rapid flowing mixture of volcanic debris and water originated from a volcano, resembling in behaviour of wet concrete as they flow.

The volcanic base surges form at the base of eruption columns and travel outward during some hydroclastic erupting. Some characteristics of the pyroclastic deposits have been illustrated in this paper.

Key words volcano, fallout tephra, pyroclastic flow, lahar, volcanic base surge