

熔结凝灰岩的液态熔离——泡沫熔岩流成因

林景仟 谭东娟

提要 若干地区的研究证明,熔结凝灰岩是液体熔离——泡沫熔岩流生成的。无色玻屑及其间隙中的褐色玻璃质胶结物为物质的熔体属性提供了证据。熔浆中丰富的水主要来自火山口湖水的向下渗漏,部分属岩浆水。未脱玻化的岩石中无色玻屑和褐色玻璃质胶结物成分分析以及褐色玻璃为主要组分的火焰石的结构和成分分析表明,熔浆中发生过熔离作用。贫水较富铁的液体球滴因密度大发生了重力分异,于负荷压力及粘性流动条件下凝结为火焰石。成岩后岩石发生了广泛的重结晶和自变质作用。德兴地区发现大量的排气筒为一奇景。

主题词 熔岩流 熔离 熔结凝灰岩

近年来有关熔结凝灰岩的报导日益增多,提出过多种不同的成因解释。作者研究了江西省德兴、东平、银路岭,山东省莒南、栖霞,江苏省及安徽省的娘娘山区,浙江省良渚、杭州等地的熔结凝灰岩,查阅了一些文献,认识到熔结凝灰岩是由溶解大量气体、粘度极小的熔离——泡沫熔岩流凝结生成的。

泡沫熔岩流的成因佐证

熔结凝灰岩之成层产出,尽管被广泛引用做为火山碎屑成因的证据,但它也是支持熔岩流成因的最基本证据之一,近年来熔结凝灰岩成侵入状态产出的报导越来越多,这就排除了火山灰流说及热云说的成因可能性,而为熔岩流说提供了更多的证据。

德兴、莒南、娘娘山、银路岭等及文献中报导的一些熔结凝灰岩区柱状及板状节理十分醒目,岩层被切割成形态规则的立方体块体及多边形柱状体,与熔岩中所见雷同,也是熔岩流成因的佐证。

德兴地区熔结凝灰岩中常常见到同种成分的“球状体”呈浑圆球状,椭球状,尤其值得注意的是哑铃状,直径数厘米至数十厘米。从球体的成分是熔结凝灰岩可以判断,它们是下部单元的熔结凝灰岩被冲碎的裹携物,从球状、哑铃状,尤其是后者之外形判断,这些岩块曾遭受过熔体的熔蚀,所谓的“热云”、“火山灰流”于喷发时对扑获的岩石块的机械搬运和磨蚀不可能造成哑铃状的外形。此类球状体在许多地区都有过报导。

作者所研究的地区之熔结凝灰岩中,晶体及其碎屑总是可以见到的,成分甚稳定,说明了这些组分并非外部来源。当斜长石及碱长石含量不太多时,往往呈受熔蚀的但较完好的斑晶体,或遭破碎却保留个别完好晶面,当斑晶含量较多,例如超过20%时,就很少见到完好的晶体,多呈熔蚀的碎斑产出,这些晶体在一般的熔岩中是普遍可见

的。德兴、娘娘山等地的熔结凝灰岩中常见条纹长石斑晶，一般认为碱长石的条纹分解发生于富水和较缓慢的冷凝过程中。石英的熔蚀现象是极为典型的，多数并未于熔蚀后再遭破碎。上述矿物还常常见到不规则的裂纹。在德兴、吕南、良渚等地的强熔结的岩石中常见到未遭暗化分解的晶形较好的黑云母，新鲜的角闪石完好晶体见于良渚的熔结凝灰岩中。未遭暗化分解的黑云母及角闪石的存在能够证明，在岩石最终凝结前处于对氧并非充分开放的条件，熔岩层的内部具备此种条件。

上述特征为作出熔岩流成因解释提供了证据，但是岩石富含玻屑却又曾当成为火山碎屑成因的最重要支柱，而我们则将这些玻屑看作为富含水的泡沫熔岩流的骤冷产物，这是不难理解的。

熔结凝灰岩之强熔结中心带的玻屑定向性强，玻屑的柔性变形使岩石显示为假流动构造，上部带及底部带玻屑形变较弱，熔结亦较弱，这是由于富水熔浆由火山口溢出时形成大面积的泡沫状溢流层状体，在降压和骤冷的条件下岩浆发生沸腾，熔浆中溶解的气体因降压而膨胀，生成大量气泡，熔融体因急冷凝结为“玻璃质”，气体的强烈膨胀则又将气泡壁炸裂，气体经岩流表层逸至空中。气体向上逃逸时，玻璃质的气泡破碎片体堆积下来，并承压变形，通常认为每一喷发单元顶部及底部层散热快，因而粘结程度和变形都弱得多，单元内部之玻屑处于炽热状态，故岩石紧密熔结，在岩石薄片中发现玻屑间尚保留一些熔体，此乃碎屑间胶结紧密的最重要原因。

玻屑间熔体凝结而成的玻璃质，在未脱玻化和未发生蚀变的致密熔结凝灰岩中是很特征的，它将玻屑及其他碎屑物胶结起来，良渚玻斑岩因脱玻化极弱，可以提供最充分的证据，其中褐色的玻璃物填于无色的玻屑之间，在压扁而未完全破裂的气孔腔中也充满了褐色玻璃（图1）。此种充填状态证明这些褐色玻璃在气泡和玻屑形成之时仍为液体。褐色玻璃不但以其颜色区别于玻屑，而且其中晶出了较多的球状、串球状、杆状等雏晶，这在无色玻屑中是较少见的，这种差异可能提供一种证据，说明了玻屑与充填物的成分是有差异的。

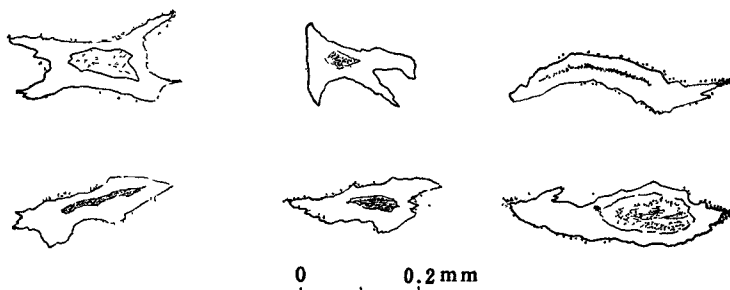


图1 玻斑岩中压扁而未完全破裂的气泡腔中充满了褐色玻璃（细点所示），后者含较多雏晶（良渚）

Fig.1. The brown vitric filling, much being crystallite, (fine dots) in cavities of flattened visicles of ignimbrites (Liangzhu)

熔融体中的液态熔离

玻屑与填间玻璃质的颜色差异和所含雏晶的多寡不同,表示了二者的成分可能不同,玻屑与填间玻璃质的分界总是比较清楚的,前者是主体成员。

作为熔结凝灰岩最典型组成物之一火焰石的原生状态也是玻璃质的。良渚、莒县等地熔结凝灰岩中的火焰石均为褐色,仔细研究可以发现其中常常含有少量无色玻璃质的细点或纹理,界线分明。

无色玻璃质与褐色玻璃质的电子探针分析(表1)证明,二者成分有较明显的差异,后者较贫Si,而较富含Fe、Mg、Ca,如果考虑到褐色玻璃质中有较多的雏晶,成分上的这种差别可能就更大。两种物质中Si的含量及K、Na的低含量与一般岩浆的成分极不协调,这可能与岩浆熔离前已晶出大量长石有关,一些标本的统计得知长石含量可达15—20%。这就使作者确信共存的两种不同色调的玻璃质是液态熔离的结果。只是由于原岩浆的酸度很高,熔离作用尚在进行之中即遭骤冷而凝结,未能分离产生成分显著差别的液体。列别金斯基和穆克敏(1958年)曾阐述过张家口流纹质玻璃岩中出现的熔离现象,在暗灰至绿色的玻璃质基体中含有不等量的紫——赤色的球珠体,界线分明,或断续相联呈条带产出,二者之成分也是不同的,穆克敏等称之为熔离作用的天然例证。

表1 无色玻屑与褐色玻璃质的
电子探针分析结果

成分	无色玻屑 (三个平均)		褐色玻璃质	
	分析结果	除去水后 重新计算 结果	分析结果	除去水 后,重新 计算结果
SiO ₂	76.28	83.38	68.63	79.21
TiO ₂	0.05	0.05	0.06	0.07
Al ₂ O ₃	11.75	12.84	12.63	14.61
FeO	0.47	0.52	1.90	2.20
MnO	0.01	0.01	0.03	0.03
MgO	0.03	0.04	0.21	0.24
CaO	0.34	0.37	0.85	0.98
Na ₂ O	1.39	1.51	1.24	1.43
K ₂ O	1.17	1.28	1.06	1.23
总计	91.49	100.00	83.64	100.00

以良渚地区玻璃质的熔结凝灰岩的结构和成分研究可以认为,较早阶段的熔离作用产生了少量的液滴,于降温过程中逐渐增长,或进而逐渐汇聚成为较大的球滴,凝结后即成为火焰石。与此同时,已析出的球滴之内又可能发生熔融,因为,此时之球滴已与液态的主体部分构成了两个封闭体系,在同一热动力条件下发生进一步的分液作用。“无色”的主体组分中又分出了“褐色”液滴,而早期分出的“褐色”球滴中则又分出了少量的“无色”液滴。无色富长英质的液体富水,褐色较富铁的液体贫水,因而于熔岩流喷发到地表时,富长英质的液体中出现大量气泡,泡

壁凝结并破裂成为玻屑,其间填充了褐色液体凝结物,而球滴(凝结成火焰石)中则是在褐色的玻璃质物中出现了少量无色玻璃质的细点或条纹。

尽管现有的实验资料尚不能对水在熔离作用中的地位作出确切的答案(Roedder, 1979),但是一些资料支持了水促进熔离作用发生的观点,而于发生熔离时水也得以重新分配。

岩流中的重力分异

岩层的剖面研究证明了分异作用,特别是重力分异作用常常是明显的。

对几个地区熔结凝灰岩剖面的系统观察说明，有些地区仅有一、二个喷发单元，有的则可分出更多的单元，每一个喷发单元都是同一火山连续喷溢形成的。德兴、乐平一带可分出二至三个喷发单元（图2），莒南地区的石英粗面质熔结凝灰岩可分出三个喷发单元。喷发单元之间是火山活动的低潮时期。

对各个喷发单元的系统观测表明，底部往往有一层未熔结的细屑凝灰岩，含玻屑、晶屑、岩屑及少量细小火焰石。向上过渡为富含火焰石的致密熔结凝灰岩，因负荷压力

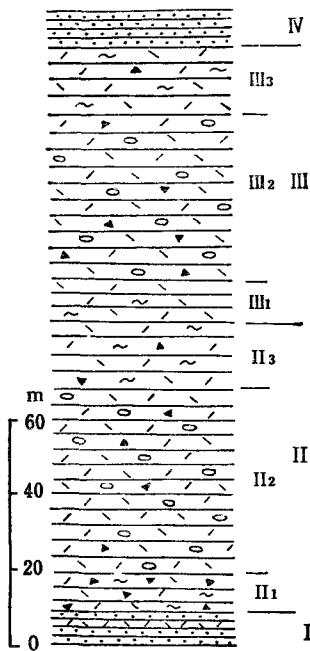


图2 德兴—乐平地区港西熔结凝灰岩剖面柱状图

Fig.2. The columnar section of ignimbrite from Jangxi of Dexing-Leping region

I—紫红色粉砂岩夹凝灰岩；I₁—含火焰石熔结凝灰岩，富含角砾及集块；I₂—富含火焰石熔结凝灰岩，含较多角砾；I₃—熔结凝灰岩，火焰石少；II₁—熔结凝灰岩；II₂—富含火焰石熔结凝灰岩，角砾较多；II₃—熔结凝灰岩，含角砾；IV—紫红色粉砂岩

及粘性流动，玻屑受变形并呈定向排列，火焰石也成为长的条带体，有的则于发生粘性流动时破裂。德兴、乐平地区火焰石最长者达320mm，一般都在2—30mm之间，当火焰石个体增大时，含量也往往较多，可达30%（体积比）；岩石中的岩屑常较大而且量亦较多，例如在德兴至乐平一带的岩层中岩屑含量可达5—8%，或更多些，岩屑一般都略受熔融，直径多数可达3—10mm，有的则更大；晶屑常见，比底部要多些。更上部岩层中玻屑定向性及形变减弱，火焰石及外来岩屑量显著减少，个体也变小，此时晶屑就较为醒目。顶部为细小玻屑为主的弱熔结凝灰岩，火焰石及晶屑量少，且火焰石个体也小得多。火焰石及岩屑的数量和粒度的规律性分布指示了泡沫熔岩流在凝结过程中曾经发生过重力分异作用，即在粘度极小的泡沫熔岩流中岩屑下沉，火焰石块体也下沉，而顶部却富集了泡沫状物质，岩层凝结过程中，气体向上逸出和泡沫状物质在上部富集也是一种与重力有关的效应。莒南县的石英粗面质熔结凝灰岩也可见到类似情况。有些喷发单元上部弱熔结凝灰岩层呈砖红色，单元的中、下部则呈灰色，说明上部层在凝结时处于剧烈氧化条件。

岩屑下沉似无疑义，熔离产生的液滴或球滴下沉的机理是需要作出回答的。对玻璃质态的火焰石的研究（良渚、莒南等）表明，火焰石原属较富铁而SiO₂量较低的褐色液滴，其中分熔出现的无色液滴少而细，气孔细小且数量也少，有的则并无气孔，因而密度较大，它们悬浮在泡沫状熔融体中极易下沉。熔离新生的液滴堆积时，在负荷压力作用下，受上下侧铺盖的玻屑片体的限制易于压扁，球滴内后阶段分熔生成的液滴及所含气孔也因之成细纹状，于延展方向上球滴极易挤注于玻屑片之间，凝结之后即呈火焰

状。

广泛的自变质

完全未脱玻化和未蚀变的玻璃质的熔结凝灰岩是少见的, 据报导某些地区, 例如美国内华达州巴甫洛格破火山口一些喷发单元的致密熔结带的底部有一个玻斑岩带, 良渚的玻璃质熔结凝灰岩可能应属此类型。

岩石中广泛脱玻化及重结晶作用产生了与一般火山熔岩类似的霏细结构的基质, 基质中有时见珍珠状裂隙(德兴), 原先的火焰石有些则脱玻而产生细小球粒, 重结晶岩石中有时可保留玻屑和火焰石残留及假像(德兴、杭州、莒南、娘娘山)。

喷发到地表的泡沫熔岩流, 于地表的压力下因气体逸出而呈沸腾状态, 广泛的重结晶即产生于热和蒸气的向上扩散流动之时, 随着温度的降低, 蚀变矿物组合广泛取代了先前生成的矿物和玻璃质成分, 泥化通常是很强烈的, 磷酸盐化也较普遍, 自变质作用并不受裂隙控制, 而是广泛发生。

气体的排泄往往生成了一些排气筒, 德兴的熔结凝灰岩中就见到此类排气筒(图3), 排气筒直径由5公分至30公分, 垂直层面断续伸展, 时胀时缩, 排气筒常无清晰的边界, 岩层受风化后排气筒可呈柱体剥离出来。排气筒内黑色粉砂岩岩屑(直径5—20mm或更大)较多, 可见少量硅质岩屑、火焰石及长石、石英晶体, 细颗粒物含量少, 碳酸盐化强烈, 有时方解石含量可达40—50%。侧壁的熔结凝灰岩的条纹略向筒体弯曲, 此系排气时细颗粒物被携出后, 筒内岩屑下沉引起的筒壁岩层的下拗。岩筒于层面出露时可见排气锥, 状似火山锥, 直径多在20厘米至1米之间, 中心部位有一洼穴, 围以圆形堤, 堤高可达30—50厘米, 于十里岗一带熔结凝灰岩的层面上, 数十个排气锥星罗密布, 为一奇景, 此类景观尚未见报导。排气筒及排气锥是粘度逐渐增大的泡沫状岩流排放气体时生成的。这种现象提供的证据说明, 至少在排气筒产生时熔岩层中可能含一定量的熔融物质。

熔浆的泡沫化与火山口湖积水的下渗

根据实验资料, 不同压力下熔体饱和水时, 含水量是不同的, 花岗质熔体在 $3 \times 10^8 \text{ Pa}$ 压力下饱和水时, 含水量为8% (重量数), $5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 时为12%, $9 \times 10^8 \text{ Pa}$ 时为20% ±。天然岩石中往往是不饱和水的, 分异的残余岩浆中水的含量纵然增高, 也难达到饱和, 此种岩浆喷发至地表时, 是不可能产生大量泡沫的。

作者所研究的熔结凝灰岩分布区及其它许多地区的实际研究证明, 熔结凝灰岩形成于破火山口发育阶段, 根据熔结凝灰岩的顶底板岩层可以判断, 熔结凝灰岩形成于火口沉陷区的水沉移盆地中, 湖沼中的积水将会沿断裂渗漏至较深处, 使地壳的岩石中富含水, 岩浆侵位至某一层位时可能先从围岩中吸取大量水, 岩浆溶解水或其它挥发分, 可能促进了熔离作用的发生。此后当岩浆上升至较高层位或地表时, 岩浆趋于水过饱和, 从而析出过剩的水而使岩浆泡沫化。



图 3 德兴—乐平区排气筒纵断面素描图

Fig. 3. Sketch of longitudinal section from Baita quarry of Dexing-Leping region

排气筒中含较多岩屑(黑色),次之为火焰石,碳酸盐化(黑点)较强,岩石的假流动条纹向排气筒倾斜(白塔采石场)

phic Petrology, W.H. Freeman and Company, 1982.

- [3] Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J.: The interpretation of igneous rocks, George Allen and Unwin Ltd, 1979.
- [4] Hughes, C.J.: Igneous Petrology, Elsevier Scientific Publishing Company, 1982.
- [5] Roedder, E., Silicate liquid immiscibility in magmas, The evolution of the igneous rocks, Yoder, H.S. Jr. editor, Princeton University Press, P15—57. 1979.
- [6] Ross, C.S., Smith, R. L.: Ash-flow tuffs; their origin, geologic relations and identification, 1966.

结 论

形成熔结凝灰岩的熔浆是一种饱和水(有的可能富含 CO_2),富硅及碱质的粘度很低、流动性很大的泡沫熔浆。该熔浆形成于原生岩浆分异最终阶段挥发分(水)富集的条件下,尤其是地表积淤于盆地和火山口湖中的水大量下渗,使岩浆房顶部岩浆大量吸水成为富水的熔融体。

水的溶入促进了岩浆的熔离,较贫水的熔体球滴进一步熔离,于负荷压力作用和粘性流动中生成细纹理的火焰石,富水的熔体进一步的熔离并泡沫化,生成了玻屑及胶结物,因负荷压力和粘性流动生成了假流动构造。

由于生成火焰石的球滴气孔稀少或无,故密度较大,岩屑密度也较大,发生了重力分异。

在泡沫熔岩流析出水的作用下,岩石广泛的发生自变质。

穆克敏教授审阅了文稿,提出了许多宝贵意见,陈挺协助做了探针分析,于此致谢。

参 考 文 献

- [1] 曲以秀、林景任、臧尧令:山东省莒县莒南县火山侵入杂岩的研究,《长春地质学院学报》,第1期,1985年
- [2] Best, M. G.: Igneous and metamorphic

(本文1985年6月收到)

(英文摘要下转40页)

(上接28页)

IGNIMBRITES FROM LIQUID IMMISCIBILITY; ORIGINATION OF PUMICEOUS LAVA FLOW

Lin Jingqian Tan Dongjuan

Abstract

Research in several regions shows that the ignimbrites may be the solidified products related to liquid immiscibility. The properties of the colourless vitric clasts and the brown glassy cements of the rocks demonstrate that the original material forming ignimbrites is pumiceous melts rich in water (some rich in CO_2) and satcand very low in viscosity. The vast amount of water in melts was coming from the cauldron lake mainly which permeated and fed to the magma chamber, and partly from the magma itself. The textures and composition of colourless vitric clasts, brown glassy cement and fiammes indicate that liquid immiscibility was happened in the melts. Because the liquid globules are poorer in water and richer in iron, they are denser and cause gravitational differentiation. Under load pressure and out from viscous flow the fiammes were solidified. The rock was recrystallized and autometamorphosed widely. The fumarole pipes and cones generated in the case of devolatilization in Dexing area Jiangxi Province offer the excellent example.

Theme words Lava flow, Liquation, Ignimbrite