

·专题讨论·

略论熔结凝灰岩的成因

包永年

(浙江省地质局区域地质调查大队)

熔结凝灰岩 (Ignimbrite) 是一种由火山爆溢作用形成的火山碎屑岩。它包括熔结凝灰岩、熔结角砾岩和熔结集块岩。因细粒级的熔结凝灰岩分布面积最广, 堆积厚度最大, 因而得名。以酸性、中酸性的多见, 碱性及中性的次之, 基性的最少。它广泛分布于大陆造山带, 是一种典型的陆相火山碎屑岩。时代集中在侏罗纪、白垩纪, 近年来在前震旦纪和古生代地层中也陆续有所发现。正确认识这种岩石, 对研究火山作用性质, 再造火山机构, 阐明区域岩浆活动史以及探查有关矿产, 都具有十分重要的意义。

这一岩石自从十九世纪初期发现以来, 其成因一直成为国际地质工作者特别是岩石工作者探讨的中心。它既不象火山爆发空落形成的凝灰岩, 也不象火山喷溢形成的熔岩。时至今日, 还有人忽而把它解释归入凝灰岩类, 忽而把它解释归入熔岩类、次火山岩类, 甚至有的笼统称之为特殊成因的一种岩类。因而在成因上也存在着火山碎屑成因说、熔岩成因说和潜火山成因说等多种学派, 至今尚在争论探索。

浙、闽、赣、粤火山岩分布十分广泛。以浙江来说, 火山岩占全省总面积70%左右。其中又以酸、中酸性熔结凝灰岩为最, 可见其分布范围之广! 故突破熔结凝灰岩的研究对提高我国东南一带岩石工作的研究程度, 具有重要的意义。

熔结凝灰岩之所以复杂难解, 是因为既没有现代活火山可以借鉴, 又没有任何人目睹过它的形成过程。前人提出的假说很多, 具代表性的有:

(一) 发泡岩浆成因说: 远在1878年沃尔克在研究科托帕克西火山后指出: 富含挥发组分的粘稠岩浆溢出地表后, 随着压力温度的急降, 气体迅速外逸, 使整个岩体发泡沸腾, 这些泡沫由小到大直到崩裂, 除部分重熔外, 大部分堆积下来, 由自身的重量压扁伸长, 最后熔结在一起。

(二) 火山砂雨说: 1932—1935年马萨尔研究了新西兰北岛流纹岩高原后提出。他认为熔结凝灰岩是酸性或中性熔浆, 当火山爆发喷至空中后, 形成炽热的火山砂, 象阵雨般的降落堆积起来, 由本身的热量重熔胶结。

(三) 火山灰流说: 这一术语首先由费萨尔、泰勒和马斯格利科 (1954) 等人所使用。是在马萨尔—芬涅尔成因解释的基础上逐渐发展起来的, 后来经威廉斯、查瓦里茨基、罗斯和史密斯等十多个学者的不断补充修改, 目前已成为比较完善的解释熔结凝灰岩成因的假说。这一假说国内转引的很多, 其总的意思是这样的: “高粘度富含挥发份的酸性、中性和碱性岩浆熔体, 当其上升到地表浅处, 由于外压力骤降, 气体大量增加膨胀, 犹如牛奶沸腾那样, 大量发泡, 于是气泡与气泡之间的壁愈来愈薄, 最终以强烈的爆

发喷出火口, 气泡壁破裂, 熔岩柱全部粉碎, 一部份熔岩被粉碎成火山微尘、玻屑、晶屑等碎屑被抛入高空, 经风力分散、搬运、冷却、再降落到大地形成凝灰岩, 但其量有限, 仅是喷发总量的一小部分, 大部分没有抛入高空, 而是呈白炽状态悬浮于狂暴湍流的火山气体之中, 象水一样贴着大地山坡向四周高速弥散充填在低洼处, 当流动停止后, 便冷却固结成岩。

(四) 熔岩流说: 1955年贝克和罗伯逊研究了美国黄石公园的熔结凝灰岩后提出。认为是火口溢出的泡沫状熔岩流带入了熔岩岩块、疏松的火山碎屑和围岩固结成岩。并认为呈胶结物出现的长英隐晶质是熔岩物质。

(五) 陶奎元、王美星、王占宇(1980)研究长江中下游若干地区碱性熔结凝灰岩后提出如下设想: “富含气体挥发分的较高粘度岩浆, 快速爆发出炽热的火山碎屑, 沿斜坡作雪崩状移动, 就火口附近堆积定位, 借砂流自身的热及上复静压力熔结成岩。”

(六) 王德滋、周新民等(1980)指出: 火山灰流问题基本上已为人们熟悉解决。但对泡沫流和泡沫熔岩认识仍不一致。作者认为泡沫流是一种剧烈起泡的熔岩流, 但起泡程度不如火山灰流。它发生在高粘度和中等粘度岩浆中, 规模不大, 离火口不远, 或以次火山岩相产出。泡沫熔岩是介于熔岩和熔结凝灰岩之间, 基本上具熔岩性质的一种火山岩。

此外, 尚有气熔胶说(塔齐耶夫, 1972年)、熔离成因假说(科罗诺夫斯基, 1976年)、岩浆混合成因假说(明茨, 1978年)和玻璃熔岩重融成因假说(田德辉, 1980年)等。

综观上述诸种成因假说, 除个别次生成因假说外, 以原生成因假说为主。而原生成因假说中主要也只有两派意见: 一派以威廉斯、史密斯为代表的火山灰流说; 一派以贝克、罗伯逊为代表的熔岩流成因说。随着研究程度的不断提高, 原有的假说已显得不够全面, 逐渐暴露出较多的弱点和明显的破绽, 诸如:

1. 发泡岩浆和泡沫流成因说, 整个成岩过程都在岩浆中进行, 故严格的讲, 如其说是一种特殊的火山碎屑岩, 倒不如说是一种特殊的熔岩。

2. 火山砂雨说, 现在看来, 不象熔结凝灰岩而颇有点象酸性晶屑玻屑凝灰岩的成因假说。

3. 火山灰流说是当前国内外公认的一个比较合理的解释熔结凝灰岩成因的假说。但火山灰流说本身尚没有完全自认。不可否认, 部分火山灰流堆积后, 确实形成了熔结凝灰岩, 但有的是部分熔结, 有的还根本没有熔结。更值得强调提出的是, 在人类有记载的历史上, 还从来没有见到过产生熔结凝灰岩的火山灰流喷发。虽然培雷山、日本驹个岳、爪哇和菲律宾等地喷出了火山灰流, 但都没有形成熔结凝灰岩。更主要的是火山灰流的理论很难解释侵入熔结凝灰岩的形成和向熔岩过渡这一现象的存在。需知火山灰流的堆积, 主要产生了火山灰流凝灰岩。提出这个假说的最大目的, 唯一是为了与空落成因的凝灰岩相区别, 不能一想到火山灰流就等于产生了熔结凝灰岩。

4. 熔岩论者关键性的论点是认为分布在晶屑、玻屑之间呈胶结物出现的粒径在0.005毫米以下的长英隐晶质是熔岩物质, 它的消长可以向熔岩和凝灰岩过渡。现经电子显微镜证实, 它亦呈碎屑状, 是与玻屑等一起进碎的更细小的火山碎屑一尘屑。尘屑资料的提供, 动摇了熔岩论者的基础。

5. 熔离成因假说自叹地说：不太清楚是在什么地方产生熔离现象。

6. 岩浆混合成因说，理论上推断过多，至少这种复杂现象在浙闽广布的酸性熔结凝灰岩中没有见到过。

7. 次生重融假说，目前还是萌芽阶段，对其产生重融的热源问题，尚没有解决。

综上所述，笔者认为要探讨熔结凝灰岩的成因，建立一个假说，必须正本清源，综合地把下列诸种因素归纳进去。

1. 熔结凝灰岩的形成，与岩浆的化学成分密切相关。据已有的资料统计，酸性成分的熔结凝灰岩分布最广，碱性、中性的次之，基性的最少。即硅铝质组分含量高、铁镁质组分含量低、粘度大、挥发份含量高的岩浆有利于熔结凝灰岩的形成。上述诸种因素，最终将导致熔浆的爆发强度和碎屑破碎程度的差别上。故中、基性熔结凝灰岩用熔岩流成因说尚可勉强解释，而酸性熔结凝灰岩若仍以熔岩流去解释，那就难以理解了。

2. 熔浆的发泡多少，即浮石岩的形成与压力大小成反比。伏罗达维茨曾做过试验，他将黑曜岩加热至870—980℃，在小于12个大气压时就发泡鼓起，当超过15个大气压时就不行，只能成为均一的玻质体，如压力回复到12个大气压则可再次发泡。据此，熔结凝灰岩可以在地下深处形成的设想，不仅在理论上而且在实际上也是很难成立的。因为岩石本身具有相当大的重量，人们推测一米厚的熔岩层就可以产生2.5个大气压，由此推论，当深达六米时就可以增高到15个大气压，往下压力愈大，岩浆发泡和浮石岩的形成将会发生很大困难，甚至是不可能的。据此，可以导出这样一个结论：大规模的熔结凝灰岩不可能在地下深处形成，若用隐爆观点去解释，就很难立论。因为大量的玻璃迸碎，碎屑炸碎，需要骤冷，需要排除压力，需要一定的空间增大体积，若在地下，这个骤冷问题和空间概念在理论上和实际上都会很难解决。

3. 种种迹象证明，熔结凝灰岩中的碎屑必须要像凝灰岩那样高度炸碎，喷出火口后一定要像熔岩那样成为溢流。炸碎环境不可能在高空，也不可能在地下。因为若在高空，碎屑炸碎后，降落过程中热量散失，落地后必然冷却固化，不能熔结。若在地下，前已论及空间问题很难解决。所以极大可能是在通道浅部和火口附近，碎屑在这儿爆炸迸碎后，源源不断的喷出火口，成为一个巨大的炽热火山碎屑流，后续的不断复于其上，这样热量才不会散逸，才能靠自身的余热熔结成岩。

4. 熔结凝灰岩中的岩屑、晶屑与凝灰岩中一样是固体脆性破碎，这是人们公认的。但玻屑、撕屑则不然，它在空落凝灰岩中，落地前已经固化，不再变形；而在熔结凝灰岩中，则在定位以后，还保持一定的温度，是一种可变的塑性体。

5. 碎屑破碎力量来自熔浆内部，不是来自外部，所以严格讲应该叫“迸碎”，不能叫“炸碎”。因为熔浆上升到通道浅部或火口附近，由于外部压力和温度的突然下降，熔浆一方面要迅速冷却凝固成为玻璃，一方面内部饱含的高压气体（挥发分）迅速膨胀要突围逸出，在这样作用与反作用互相矛盾的情况下，必然导致玻璃半凝固体的高度迸碎。

6. 熔结凝灰岩中，分布在晶屑玻屑之间小于0.005毫米的长英隐晶质，有人认为是熔岩物质，把它作为熔岩论的微观依据，现经电子显微镜证实，它亦呈碎屑状，同样是火山爆炸迸碎的产物。由此可以得出结论，熔结凝灰岩中的大小碎屑，都是火山爆发形成的。

7. 关于自碎碎屑岩问题,严格的说,凡是火山碎屑都是自碎的,尤其是玻屑、撕屑和尘屑。但国外所指的岩流自碎碎屑岩,主要系指基性熔岩流先凝结的顶部硬壳,在其流动冲力或被不断出熔的气体膨胀炸裂成碎块,尔后压结而成的岩石。这种岩石应在概念上与熔结凝灰岩有所区别。

8. 熔结凝灰岩中的假流纹构造,与流纹岩中的流纹构造,虽然粗看外貌近似,但其成因和宏、微观特征迥然不同。当其真假流纹难分时,实际上已由假流纹向真流纹;强熔结凝灰岩向流纹岩过渡了。

9. 熔结凝灰岩为什么能够水平地迅速漫流上百公里,动力来自何方?次要的靠斜坡。主要的因为它是饱和着挥发分,尤其是 CO_2 与空气的不混溶性,使火山碎屑流被爆破气体所包围的沸腾状悬浮混浊液,比重减轻,在不断自我爆炸,熔浆源源不断的接踵爆溢,致使碎屑流后浪推前浪的迅猛奔至远方。由于碎屑流中的挥发份可以保持很长时间,甚至在停止流动后,仍可以自我爆炸不休,互相撞击浮动,这就是熔结凝灰岩表面常较熔岩平坦的原因所在。

10. 据浙江实际情况,酸性强熔结凝灰岩经常有向相应的熔岩(流纹岩)过渡的现象,这是火山活动后期,由猛烈的爆发转为较宁静喷溢的佐证。这一现象在已往假说中,都没有阐述过。

11. 熔结凝灰岩之上,从来没有发现过顶盖,这说明它原本出露地表,充分证明它是火山爆发成因的岩石。

12. 熔结凝灰岩局部有呈侵入接触的。这是一个近几年发现的新情况,所有假说,尤其是火山灰流说均没有加以论述归纳。为什么熔结凝灰岩可以呈侵入接触呢?因为熔浆来自地下,在上侵爆发时在其根部偶而贯入围岩,这是可以理解的。

13. 熔结凝灰岩在野外有时可以见到十分发育的柱状节理。为什么侵入岩没有,唯独它有呢?说明它是喷出成因的;为什么凝灰岩没有,唯独它有呢?说明它的性质近似熔岩。在单位时间内喷吐出大量的火山碎屑堆积体,由于骤冷形成很多结晶中心,形成了不同于侵入岩也不同于凝灰岩而类似熔岩特征的宏观外貌。

14. 熔结凝灰岩是介于凝灰岩的爆发作用和熔岩的喷溢作用之间,由爆溢作用形成的中间性岩石。

15. 火山喷溢晚期,由于大量的火山碎屑抛出,岩浆房腾空,势必造成火口陷落,通道敞开,此时后续的熔浆已失去爆发能力,只能滞流于火山管道内,这就是熔结凝灰岩经常与各种形态特别是环形破火山口紧密相联以及内圈常发现有同期熔岩或侵入体分布的道理。

综上所述,如其说凝灰岩是火山爆发作用(碎屑爆炸迸碎喷至空中散落堆积),熔岩是喷溢作用(熔浆喷出火口后,贴着地面成为溢流冷凝)而成的岩石,则熔结凝灰岩两者的特点兼有之。故笔者择其“爆”、“溢”两字,综合上述十五个方面的内容,在选纳前人精华的基础上,针对浙江也就是酸—中酸性熔结凝灰岩的具体情况,提出一个“爆溢成因假说”,其完整的概念如下:

“处于地壳深处,高温、高压、高粘度、高饱和挥发份的酸性、中酸性等熔浆,当其沿构造薄弱部位上侵到通道浅部或火口附近时,由于外部压力和温度骤然下降,贮于熔浆

内的大量高压气体和挥发份，突然膨胀起泡外逸，使骤冷待凝固成玻璃的熔浆，高度迸碎成残破气泡壁状的碎屑，同时连累夹带上的斑晶和围岩也一并炸碎，这些由岩屑、晶屑、玻屑、撕屑、浆屑、尘屑和大量气体、水份组成的火山悬浊液，成一个巨大的碎屑流，到处横溢，部分挤入围岩呈侵入接触、部分抛入空中、大部分成为溢流贴着大地斜坡，在不断逸出气体、不断自我爆炸过程中向四周低洼处高速弥散，处于炽热状态还没有完全固化的火山碎屑，主要是玻屑，在流动和上覆压力下塑性变形，定位后，借自身保存的余热和岩石的静压力，互相熔结、压结，构成了熔结凝灰岩。往后，由于火山物质大量喷出，压力和所含气体大减，岩浆洞室空虚，导致火口陷落，通道敞开，此时，熔浆已无力喷射，也无力炸碎，只表现为较宁静的熔浆喷溢。最后，通道中心往往被同期滞留的熔浆或浅成侵入体堵塞而告终。”

浙江熔结凝灰岩形成的机制，笔者目前认为大体上就是这个模式。

参考文献从略(编者)

THE ORIGIN OF IGNIMBRITE

Bao Yongnian

Abstract

Ignimbrite is a kind of pyroclastic rock formed by volcanic explosive-effusive eruption. This term was formally proposed by P. Marshall in 1932 after he had studied the rhyolite plateau in the North Island, New Zealand. Since then its origin has always been the subject discussed by geologists throughout the world. In this paper, on the basis of reviewing the hypotheses proposed by predecessors, the author enumerates 15 factors according to the concrete conditions of acid and intermediate acid ignimbrites in Zhejiang province. He specially emphasizes that the clasts must be formed in such a manner as tuffs do, i. e. there must be severe explosive fragmentation, and that the rocks must be formed in such a manner as lavas do, i. e. the melts must become flows after bursting through the crater. Besides, ignimbrites should possess such features as transition towards lavas, intrusive contact and emptiness of the magme chamber, crater collapses and finally choking of the centre of the vent by contemporaneous molten magmas and termination of the activity. Hence the "hypothesis of explosive-effusive origin" is proposed. Its concept is as follows:

When high-temperature, high-pressure, high-viscosity and volatile com-

ponents—highly saturated acid and intermediate acid melts at the deep part of the crust are intruded upwards to the neighbourhood of a crater or the shallow part of a vent, as temperature and pressure drop abruptly, large amounts of high-pressure gases and volatile components stored in the melts suddenly expand and froth up and then escape; as a result, the melts that have cooled abruptly and are to be solidified into glass are violently exploded to clasts like broken bubble walls, and meanwhile phenocrysts and wall rocks that have been brought up by the melts are also exploded to clasts together. The volcanic suspensions composed of rock, crystal and glass fragments and a large volume of gases and water occur as gigantic pyroclastic flows and flow all around. They are partly squeezed into wall rocks to exhibit an intrusive contact, partly ejected into the air, and mostly become flows to flatten out and spread all around at high speed to the low-lying land along the slope of the ground in the course of continuous gas escape and self-explosion. Then pyroclasts (mainly glass fragments) that are in a candescent state and have not yet been completely solidified undergo plastic deformation under the flowing and overburden pressures. After localized, they, depending on the remaining heat stored in themselves and the static pressure of the rocks, are packed tightly and weld themselves together to form ignimbrites. Afterwards owing to voluminous pyroclastic eruptions, pressures and gases contained decrease greatly and the magma chamber is emptied, thus resulting in collapse of the crater and opening of the vent. At that time, the melts can neither continue to blow nor be exploded to bits, but be only expressed by relatively quiet effusive eruptions. Finally, the centre of the vent is commonly choked by stagnant contemporary melts or hypabyssal intrusions and then the activity is terminated.