

试论熔结凝灰岩中塑性碎屑内 晶质结构的成因

杜 杨 松*

(南京大学地球科学系)

主题词: 熔结凝灰岩; 晶质结构; 成因; 脱玻化; 过冷结晶

提 要: 本文在岩相学研究的基础上, 将熔结凝灰岩中的各种晶质结构分成两类, 即浆屑和塑变玻屑等塑性碎屑中的晶质结构及刚性玻屑和火山微尘中的晶质结构。依据过冷结晶理论, 结晶实验成果, 本文重点讨论了浆屑和塑变玻屑等塑性碎屑中晶质结构的成因, 指出它们不是由脱玻化形成的, 而是由过冷结晶形成的。

Marshall(1935)在岩相学研究的基础上, 率先提出熔结凝灰岩中的各种晶质结构(包括浆屑、塑变玻屑、刚性玻屑和火山尘中的晶质结构)都是由脱玻化形成的观点^[1]。自那以后, 这一观点一直延续至今。然而, 详细的岩相学研究却表明, 问题并非如此简单。

根据岩相学的观察研究, 熔结凝灰岩中的各种晶质结构可以分成两类, 即浆屑和塑变玻屑等塑性碎屑中的晶质结构及刚性碎屑和火山微尘中的晶质结构。这两类晶质结构在岩相学特征方面的差异是十分明显的。

浆屑和塑变玻屑中的晶质结构的岩相学特征可以综合概括如下:

(1) 浆屑中的晶质结构很有规律, 绝大多数都具有圈层结构, 其中发育得最完整者从边缘至中心依次为梳状结构、球粒结构、细粒结构和微花岗结构(照片1), 结晶程度依次增高。当然, 在大多数情况下, 浆屑中的圈层结构发育得并非都是如此完整, 依形成时的物化条件(如温度高低、散热快慢等)的不同, 可以出现不同的圈层组合(图1), 但各圈层的相对顺序不变, 即结晶程度都是从外往内依次增高的, 尚未见到不同圈层交叉现象;

(2) 浆屑的最外边缘常有一层玻璃质壳;

(3) 除形成时的环境条件外, 浆屑中圈层结构的发育程度和结晶颗粒的粒度主要与浆屑的大小有关, 而与其形成时间的早晚无直接联系。例如, 在同一块岩石标本中(形成时的环境条件相同), 浆屑大者圈层结构发育, 结晶颗粒的粒度大, 反之则圈层结构不发育, 结晶颗粒的粒度也相对较小。又例如在中生代或新生代的熔结凝灰岩中, 浆屑都可以发育圈层结构;

(4) 浆屑的圈层结构往往与其整个形态协调;

(5) 浆屑中的各种结构相对于周围的火山碎屑是独立的, 不受周围碎屑的影响;

(6) 尚未见到浆屑与玻屑, 或浆屑与浆屑形成连续的结构;

* 作者现在工作单位: 中国地质大学(北京)三系博士后流动站。

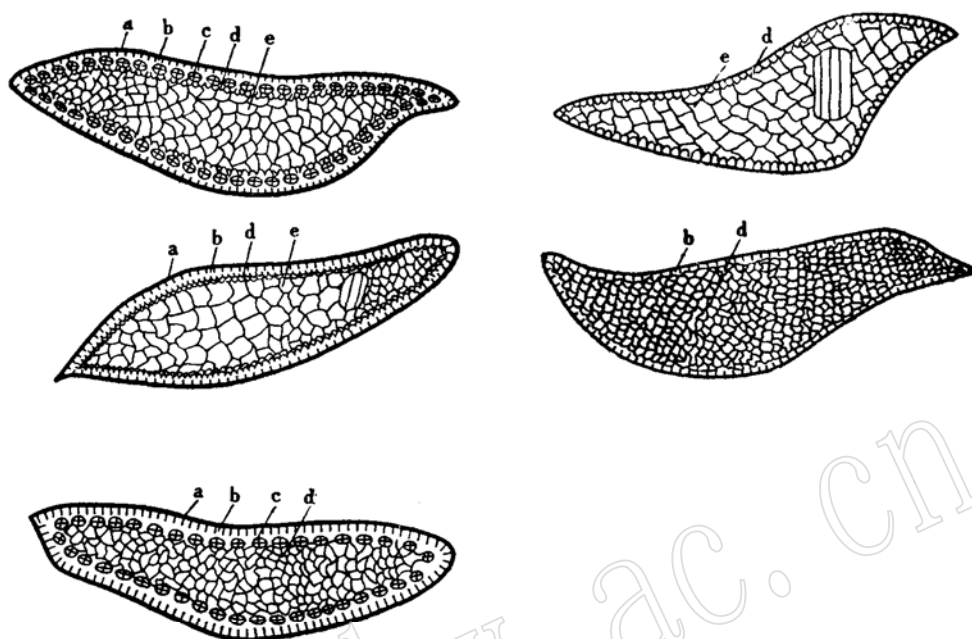


图1 浆屑圈层结构组合模式图

Fig. 1 Association pattern of zonal textures in pumices

a—玻璃质壳层；b—梳状结构层；c—球粒结构层；d—细粒结构层；e—微花岗结构层

(7) 浆屑中往往能见到晶形比较完好的斑晶；

(8) 塑变玻屑的特征与浆屑类似，仅各圈层的结构不如浆屑明显。不过，偶而也能见到球粒、扇状和帚状晶体穿过多个塑变玻屑的现象，但这种现象多发生在周围有刚性碎屑的地方。

刚性玻屑和火山尘中的结构岩相学特征亦可综合概括如下：

(1) 晶质物质不构成圈层结构；

(2) 晶质物质的粒度往往与岩石形成的时代有关，时代越老，晶粒越大。例如，大多数新生代熔结凝灰岩中的刚性玻屑和火山尘都没有晶化，而中生代或更老者基本上都有不同程度的晶化；

(3) 晶质物质往往呈球粒、束状、扇状和帚状等形态；

(4) 晶质物质往往可以穿过很多碎屑，而不受碎屑形态和大小的限制（照片2），有时甚至能见到同一个玻屑一半在球粒中，一半在球粒外。

考虑到上述岩相学特征，笔者认为，熔结凝灰岩中浆屑和塑变玻屑的晶质结构不是脱玻结构。它们不是由脱玻化形成的，而是由过冷结晶形成的。

浆屑及塑变玻屑中的结构岩相学特征是与脱玻化的观点相矛盾的。譬如，脱玻化本应从边缘开始，为什么边缘“脱玻”不好，中央反而“脱玻”好呢？既是脱玻，为什么见不到穿过浆屑边缘的脱玻产物呢？显然，这些问题用脱玻化作用是难以解释的。而用过冷结晶理论，则可加以圆满解释。

图2是岩浆过冷度、结晶能力与所形成结构的关系示意图^[2]。图中共分六个区段，每个区段的过冷度、结晶能力和所形成的结构都有所不同。

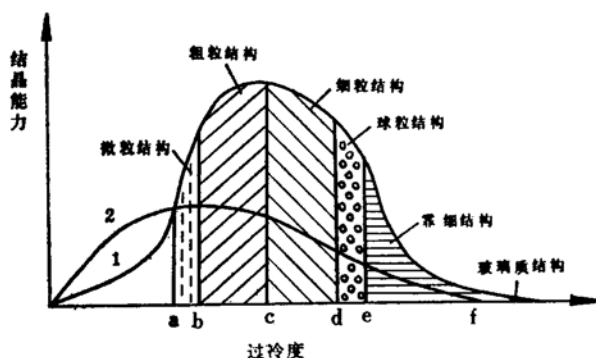


图 2 过冷度、结晶能力与岩浆岩结构关系示意图
(据金兹堡, 1951)

Fig. 2 Relation of the degree of supercooling and the crystallizing power to the texture of magmatic rocks

1—晶核形成速度曲线; 2—晶体生长速度曲线

a 区: 过冷却, 晶核未产生或晶核刚产生, 但受结晶潜热影响而又熔化, 故不见晶体, 形成玻璃质结构;

b 区: 过冷度稍大些, 晶核刚刚开始形成, 量少, 同时, 晶体开始缓慢生长, 形成晶体稀少的微粒结构;

c 区: 生长速度比成核密度增长得快, 围绕少数晶核迅速生长, 形成粗粒结构;

d 区: 成核密度比晶体生长速度增长得快, 围绕很多的晶核缓慢生长, 形成细粒结构;

e 区: 成核密度与生长速度都大为减弱, 晶核数量少, 晶体生长慢, 形成球粒结构、梳状结构、霏细结构或隐晶质结构等;

f 区: 过冷度相当大, 岩浆温度已降至结晶范围以下, 不再产生晶核, 也不围绕晶核生长, 形成玻璃质结构。

由于浆屑定位时仍为高温塑性岩浆 (有时其中也有少量早期结晶的斑晶), 而其周围环境是已冷却了的刚性玻屑和火山尘 (刚性玻屑和火山尘个体小, 散热快, 易冷却), 其边缘受周围环境影响, 温度迅速降低, 产生很大的过冷度 (相当于 f 区), 从而形成玻璃质壳。向内过冷度逐渐减小, 依次就会出现霏细结构或梳状结构、球粒结构、细粒结构, 乃至微花岗岩结构。如果浆屑定位时其温度与环境温度相差不是很大, 过冷却条件形当于 e 区, 则边缘就出现霏细结构或梳状结构而没有玻璃质壳。同样, 如果定位时浆屑的温度与环境温度相近, 过冷却条件相当于 a 区, 则只会出现玻璃质结构。福建福州五虎山熔结凝灰岩中的浆屑为玻璃质结构 (具有珍珠构造) (王德兹和周新民, 1982), 可能就属这种情况。因此, 随浆屑定位时过冷却条件的不同以及结晶过程中过冷却条件变化情况的不同, 浆屑的圈层结构就可以具有不同的圈层组合。

此外, 结晶时间的长短和岩浆成分的改变也是造成浆屑具圈层结构的原因之一。浆屑刚定位时, 其边缘受环境影响迅速冷凝而形成玻璃质壳, 内部则缓慢结晶, 且越往内部, 结晶越缓慢, 气、液组分也相对增多, 故能结晶出较大晶体。这样, 圈层结构也就可以形成了。当然, 这样形成的圈层结构必然与浆屑形态相协调。

塑变玻屑中的晶质结构,其形成机制与浆屑中者类似,所不同的只是其个体较小,因而冷却较快,故其中的晶粒粒度及圈层结构的发育都不及浆屑。

浆屑和塑变玻屑中的晶质结构是由过冷结晶形成的观点还得到过冷结晶实验结果的有力佐证。

样品的过冷结晶实验是在上海实验电炉厂生产的箱式硅碳棒电炉上进行的。实验时将先行制备的固态过冷液体样品放入高铝小坩埚中,置于箱式硅碳棒电炉炉膛中的托盘上,封闭炉膛,关上炉门后通电加热快速升温,至一定温度后保持恒温,使样品结晶。实验条件与样品分布如表1。

表1 过冷结晶实验条件与样品分布
Table 1 Conditions and sample distribution of
supercooling crystallization experiments

| 样品编号 ^② | 样 品 名 称 | 液相线 温度 ^③ (°C) | 实 验 条 件 ^① | | | | | |
|---------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------|------|------|-------|------|-------|
| | | | T (°C) | 1300 | 1200 | 1000 | 1000 | 800 |
| | | | t (h) | 4×24 | 4×24 | 12×24 | 8×24 | 12×24 |
| A013 | 流纹质 泡 沫 熔 岩 | 1305 | $\Delta T(^{\circ}C)$ | | 195 | 395 | 395 | 598 |
| A016 | 流纹质熔结凝灰岩 | 1420 | | 120 | 220 | 420 | 420 | 620 |
| A022 ⁻⁹ | 流纹质熔结凝灰岩 | 1420 | | | 220 | 420 | 420 | 620 |
| A022 ⁻¹⁰ | 流纹质熔结凝灰岩 | 1415 | | 115 | 215 | 415 | 415 | 615 |
| A023 ⁻⁷ | 流纹质 泡 沫 熔 岩 | 1380 | | 80 | 180 | 380 | 380 | 580 |
| A003 | 石 英 正 长 岩 | 1320 | | 20 | 120 | 320 | 320 | 520 |

①压力为常压;②样品均取自浙江北雁荡山;③在高温显微镜下测定。

根据样品结晶情况及矿物晶体生长情况的不同,可将过冷结晶实验产物分成四种类型:

第一种类型,样品结晶程度高,晶出的矿物具一定形态。具体分四种不同条件:

1. $T = 1000^{\circ}C$, $t = 12 \times 24\text{hour}$, $\Delta T = 320^{\circ}C$, 样品为 A003 号石英正长岩。

样品中结晶出来的矿物主要包括以下几种类型:

- ①粗大的枝状晶体(图3-a);
- ②由针状纤维集合而成的扇状体(图3-b);
- ③粗大的针状或羽毛状晶体(图3-c);
- ④羽毛状或蠕虫状晶体(图3-d);
- ⑤不规则板柱状晶体(图3-e);
- ⑥星散分布的雏晶(图3-f)。

电镜下观察,晶体主要呈粒状、束状、金針葉状和鸡毛掸状等(照片3),其中大者达 $20 \times 5\mu$,小者仅 $1-2\mu$,晶形都比较完整。总的看来,晶体个体大,但数量不是很多。

2. $T = 1000^{\circ}C$, $t = 12 \times 24\text{hour}$, $\Delta T = 380^{\circ}C$, 样品为 A023⁻⁷ 号流纹质泡沫熔岩。

本样品中结晶出来的矿物包括:

- ①沿坩埚壁生长的由针状纤维构成叶片状并具一定形状的晶体(图4-a);
- ②由针状纤维构成且具一定形状之晶体(图4-b);

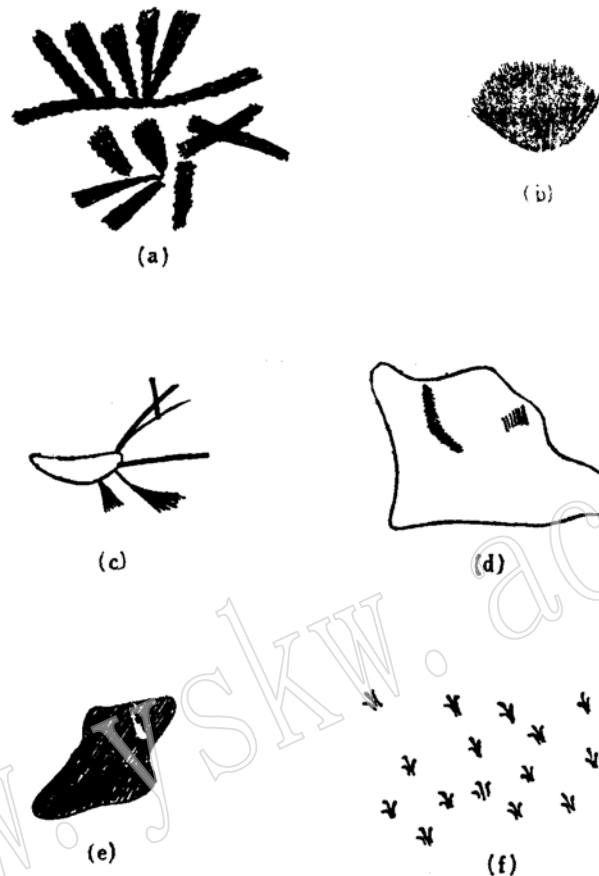


图3 过冷结晶形成的矿物晶体

Fig. 3 Mineral crystals formed by supercooling crystallization
 $T=1000^{\circ}\text{C}$; $t=12\times 24\text{hour}$; $\Delta T=320^{\circ}\text{C}$; 样品为A003号石英正长岩, 放大100倍

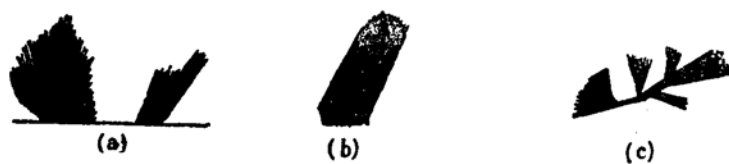


图4 过冷结晶形成的矿物晶体

Fig. 4 Mineral crystals formed by supercooling crystallization
 $T=1000^{\circ}\text{C}$; $t=12\times 24\text{hour}$; $\Delta T=380^{\circ}\text{C}$; 样品为A023⁻⁷号流纹质泡沫熔岩, 放大100倍

③呈穗状、帚状等放射状生长的纤维状晶体(图4-c);

④板柱状晶体(图3-e);

⑤星散分布的雏晶(图3-f)

电镜下观察, 晶体主要呈粒状、束状、穗状等, 其中大者达 $10\times 3\mu$, 小者 $1-2\mu$ 。晶体个体较大, 但数量较少。

3. $T=1000^{\circ}\text{C}$, $t=8\times 24\text{hour}$, $\Delta T=380^{\circ}\text{C}$, 样品为A023⁻⁷号流纹质泡沫熔岩。

样品中结晶出来的矿物类型同2,但晶体数量较多,个体稍小。电镜下观测矿物晶体大者粒径 $8 \times 3 \mu$,小者粒径 1μ 左右。

4. $T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 12 \times 24$ hour, $\Delta T = 420^\circ\text{C}$, 样品为A016号流纹质熔结凝灰岩。

样品中结晶出来的矿物主要是细小的枝状、羽状晶毛,也有呈蜈蚣状者(图5)。电镜下观察矿物晶体均为粒状,它们聚集在一起,呈带状分布。晶体粒径为 $1-1.5 \mu$,数量较多。

第二种类型,样品结晶程度低,矿物多呈晶毛和雪花状雏晶等,没有完整的晶形。如 1200°C 结晶条件下各样品中结晶出来的矿物基本上都是这样。不过,相比之下,A003号石英正长岩和A023-7号流纹质泡沫熔岩结晶稍好。

第三种类型,样品结晶程度更低,见不到矿物晶体,但在正交镜下有光性反应,如 800°C , 12×24 hour, A003号石英正长岩就属这种情况。

第四种类型,样品几乎没有结晶,正交镜下近乎全消光,如 800°C 和 1300°C 条件下的各类样品基本上都是属于这一类。

综合分析上述资料可知,过冷度是决定矿物结晶程度及结晶大小的主要控制因素,通常情况下过冷度适中时样品的结晶程度较高,矿物易于结晶生长,个体较大。过冷度过大或过小都不适于矿物结晶生长。当过冷度接近时,结晶时间长者结晶程度高,矿物晶体较大。但比较起来,过冷度对结晶程度的影响要比结晶时间的影响大。此外,从样品的成分来看,富碱的石英正长质样品较流纹质样品易于结晶生长,结晶个体也较大。联系到前述浆屑和塑变玻屑边缘和内部的过冷度大小、结晶时间长短及成分差异,浆屑和塑变玻屑等塑性碎屑中的晶质结构是否是由过冷结晶形成的,也就不言而喻了。

当然,尽管浆屑和塑变玻屑中的晶质结构主要是由过冷结晶形成的,但有时存在过冷结晶作用与脱玻化作用两者结合的情况,前述球粒、扇状和帚状晶体穿过多个塑变玻屑的现象就是一例。显然,有关现象是由脱玻化产物叠加在过冷结晶产物之上而造成的。

必须指出的是,由于浆屑和塑变玻屑中的晶质结构(圈层结构)是由过冷结晶形成的,它们的发育程度与其形成时的环境条件密切相关,因此我们可以据以了解有关岩石形成时的环境条件,恢复其岩浆冷却成岩历史。

刚性玻屑和火山尘中晶质结构的岩相学特征表明,它们是由脱玻化作用形成的,属于真正的脱玻化产物。有关这方面的论述颇多,这里不再赘述。

本文工作过程中得到王德滋教授、周珣若教授和周新民教授的悉心指导,实验工作是在吴国忠副教授的指导下,于北京中国地质大学工艺岩石室完成的,扫描电镜鉴定承蒙北京中国地质大学扫描电镜室协助完成,在此一并致谢!



图5 过冷结晶出来的蜈蚣状晶体

Fig.5 Centipede-like mineral crystals formed by supercooling crystallization

$T = 1000^\circ\text{C}$; $t = 12 \times 24$ hour; $\Delta T = 420^\circ\text{C}$;
样品为流纹质熔结凝灰岩,放大100倍

参 考 文 献

- [1] Chapin, C.E. and Elston, W.E. (1979), Ash flow tuffs, Geol. Soci. Amer. Spec. Paper, V.180, 1-5.
- [2] 周珣若和王方正, 1987, 岩石物理化学基础, 河南科学技术出版社, 196—197.

The Genesis of the Crystalline Textures in Plastical Fragments of Welded Tuffs

Du Yangsong

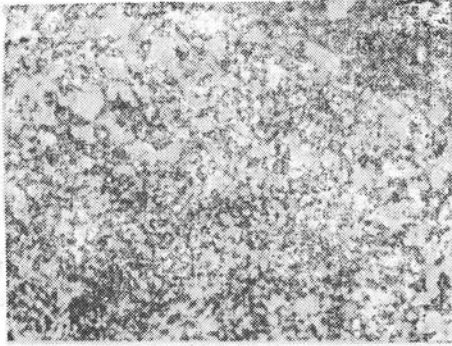
(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Key words: welded tuff; devitrification; supercooling crystallization

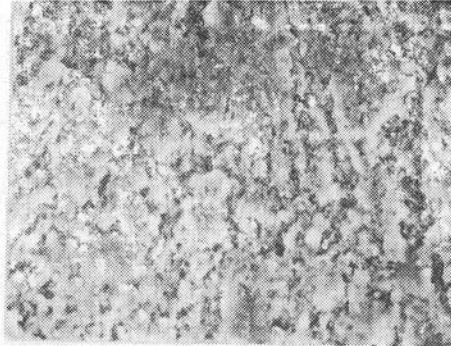
Abstract

Having study of the petrography of the welded tuffs, the author divided the crystalline textures in the welded tuffs into two types, i. e., the crystalline texture in the plastical fragments, such as pumice and plastically deformed glass shard, and the texture in rigid glass shard and volcanic dust. Using the theory and the experimental achievement of supercooling crystallization, this paper puts the stress on discussing the genesis of the first type and suggests that it may be formed not by devitrification, but by supercooling crystallization.

杜杨松：试论熔结凝灰岩中塑性碎屑内晶质结构的成因



照片 1. 熔结凝灰岩中浆屑的多层结构，从边缘向中央能见到玻璃质壳、粒状结构、球粒结构和细粒结构，正交偏光，视野长1.2mm，北雁荡山



照片 2. 熔结凝灰岩基质脱玻化形成的球粒的扫描图象，球粒纤维由定向排列的粒状和柱状晶粒构成，它们明显地穿过碎云状玻璃屑的边界，视野长1.5mm，浙江狮子山



照片 3. 过冷结晶形成的晶体的扫描图象，晶体呈粒状、束状、金针菜状和鸡毛掸状， $T=1000^{\circ}\text{C}$, $t=12 \times 24$ 小时, $\Delta T=320^{\circ}\text{C}$, 石英正长岩，北雁荡山