

# 河北西北部熔积岩特征及其地质意义

白志达,徐德斌,孙善平

(中国地质大学,北京 100083)

**摘要:**熔积岩是火山碎屑岩的一种特殊类型,由熔浆和未固结的湿沉积物两种组分掺杂混合而成。熔积岩的形成主要受炽热熔浆与未固结的湿沉积物接触时引起的淬碎或蒸汽爆炸作用以及寄主沉积物流体化作用控制,通常分布于熔岩流底部或前缘,也可分布于超浅成侵入体周围。据熔浆碎屑物的结构特征,冀西北熔积岩可分为流状和块状两种类型。流状熔积岩多是熔浆与细粒沉积物混合的结果,块状熔积岩大多与粗粒沉积物相关。正确鉴别熔积岩对确定沉积作用与岩浆作用的时序、研究盆地发展演化历史具有重要意义。

**关键词:**熔浆;未固结沉积物;混合;熔积岩;冀西北

中图分类号:P588.21<sup>+</sup>1

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2006)06-0487-06

## Characteristics and geological significance of peperite in northwestern Hebei Province

BAI Zhi-da, XU De-bin and SUN Shan-ping

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Peperite is a special kind of volcanoclastic rock formed by the intermingling of magma with wet sediments. The formation of peperite is mainly controlled by the fuel-coolant interactions (FCI) or phreatomagmatism and the fluidization of the host sediments. Peperite usually occurs at the bottom and the frontal part of the lava flows and is also distributed around shallow intrusions. Based on the textures, the authors classified peperite in northwestern Hebei into two types, i. e., fluidal and blocky. The fluidal peperite is produced by the mingling of magma with fine sediments, while the blocky peperite is related to coarse sediments. Correct identification of the peperite is important in studying the chronology of magmatism and the evolution of basins.

**Key words:** magma; unconsolidated sediments; mingling; peperite; northwestern Hebei Province

冀西北中生代火山-沉积盆地发育,其中大部分盆地中有熔积岩分布。熔积岩(peperite)是火山碎屑岩的一种特殊类型,由熔浆和未固结的湿沉积物两种组分掺杂混合而成,对熔浆和沉积碎屑物的含量、粒度没有特别限定,是一个成因术语(White *et al.*, 2000;白志达等,2004)。国内有些学者以往将peperite称为“混积岩”(地质矿产部地质词典办公室,1981;任富根,1986;Le Maitre 主编,王碧香等

译,1991)或“侵入凝灰岩”(吴树仁,1990)等。混积岩一词主要用于沉积岩中,用来表示“没有经过分选或分选很差的粗碎屑沉积岩,而不考虑其成分和成因,如“冰碛岩”或指“由多种成因组分(碎屑、粘土、生物等)组成的岩石,其中每一种组分含量均不超过50%的岩石”(地质矿产部地质词典办公室,1981)。另外,混积岩与混合岩、混染岩、混杂岩等易混淆,故笔者认为将peperite译为混积岩不妥。“侵

收稿日期:2006-06-28;修订日期:2006-09-08

基金项目:国土资源部地质大调查资助项目(199613000032)

作者简介:白志达(1956-),男,副教授,主要从事岩石学和火山地质学的教学与研究,E-mail:baizd@cugb.edu.cn,电话:010-82322032。

入凝灰岩”一词也不能反映岩石本身的特征,而且不能包括出露更广的非侵入的 *peperite*。因此,根据岩石组成、产出状态及其形成过程,译为熔积岩(白志达等,2004)。该岩石最早由 Scrope(1862)提出(吴树仁,1990),指法国中部 Limagne 地区由浅色泥灰岩和黑色玄武质碎屑组成的岩石,并指出由火山喷发物降落在湖水中与沉积物混合而成。以后,不同学者(Fisher,1960;Hanson *et al.*,1982;Hanson *et al.*,1993)对这种岩石进行了研究,论述了其形成过程和定位环境。近年来随着火山地质研究的深入,熔积岩又引起了火山学家的高度重视,许多学者通过野外观察(Busby-Spera *et al.*,1987;Bull *et al.*,1989;Hanson *et al.*,1999;Squire *et al.*,2002;McClintock *et al.*,2006)实验研究(Zimanowski *et al.*,2002;Wohletz,2002)及理论分析(White,1996)等多方位进一步对这种岩石的产出环境和成因作用及其影响因素进行了定性或定量研究和探讨。Skilling等(2002)对熔积岩及其各组分的形态、成因、影响因素和识别意义做了一个总体评述,使熔积岩的研究提高到了一个新的阶段。正确识别熔积岩是研究沉积作用与同期火山作用相互关系以及确定火山岩定位环境的重要标志,同时,研究熔积岩对于了解岩浆/水的相互作用和蒸汽爆炸性火山灾害也很重要。

目前我国对熔积岩的研究还很少,笔者在河北西北部的尚义土木路、丰宁森吉图和辽西建昌、内蒙多伦、北京西山等中生代火山沉积盆地以及北京平谷和天津蓟县中上元古界大洪峪组下部(任富根,1986)河南中上元古界熊耳群等地质体中发现了不同类型、不同产状的熔积岩,表明熔积岩的分布具有广泛性,本文主要以河北西北部尚义土木路和丰宁森吉图盆地熔积岩为例,着重论述其岩性及相序特征。

## 1 岩性特征

尚义土木路和丰宁森吉图中生代火山-沉积盆地熔积岩分布在熔岩流底部、前缘与下伏未固结湿沉积物接触带以及超浅成侵入体与未固结湿沉积物的接触部位。熔岩流或超浅成侵入体与未固结湿沉积物之间相互作用形成复杂的混合接触带,混合接触带中的熔积岩在横向和纵向上与正常的熔岩或沉积物渐变过渡。形成熔积岩的岩浆成分从玄武质到流纹质均有,熔岩碎屑物为玻璃质、隐晶质或斑状结

构。沉积物的结构多种多样,在粒度和成分上变化范围大。熔积岩据其岩浆碎屑的结构特征可分为两种类型,即流状熔积岩和块状熔积岩(Mcphie *et al.*,1993;Skilling *et al.*,2002)。

### 1.1 流状熔积岩

岩石由熔浆碎屑和细粒沉积物组成,碎屑结构,似流动构造或块状构造。岩浆碎屑以透镜状、舌状、水滴状、撕裂状等为特征,具明显的塑变特征,定向或半定向分布。湿沉积物主要为粉砂质和泥质。该类型熔积岩分布较广,在许多火山-沉积盆地中均可见及。河北尚义土木路中生代火山-沉积盆地西南缘出露的熔积岩,分布在英安岩岩床两侧及熔岩流底部与紫红色泥质粉砂岩接触部位,厚度变化较大,为0.1~2.5 m,与熔岩、粉砂岩均呈过渡接触。岩石中熔岩碎屑大小不一,大者约10多厘米,小者仅数毫米,形态多为撕裂状、透镜状、舌状、水滴状及条带状等(图1),具塑变特征,总体定向分布,当熔浆碎屑含量高时则显云絮状(图2a)。熔浆碎屑为斑状结构,基质为隐晶质,部分有气孔发育,边缘具明显的浅色水热蚀变边,蚀变边主体为粘土矿物。熔浆碎屑含量变化较大(10~80%),在近熔岩处含量相对较高,远离熔岩流逐渐减少,直至消失。寄主沉积物为紫红色泥质粉砂岩,局部为凝灰质粉砂岩,沉积物呈可塑性注入式充填于熔浆碎屑之间,熔浆和粉砂质碎屑互为包裹(图1、2a),清晰地反映了两组分混合时均具塑性流状体的特性。局部地段凝灰质粉砂岩中玻屑的长轴平行熔浆碎屑的边缘定向分布,同样反映了凝灰质粉砂物质具有塑性流变特征。当熔浆碎屑超过70%时,紫红色粉砂物多被熔岩碎屑包

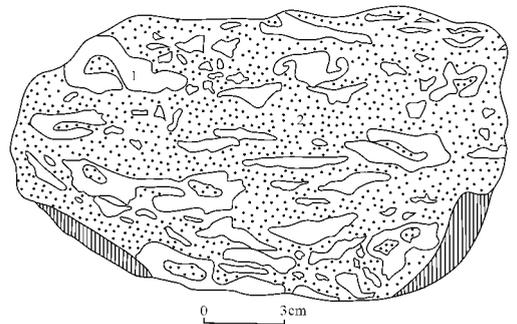


图1 尚义土木路盆地中生代流状熔积岩素描图

Fig. 1 Sketch of the fluidal peperite sample from Tumulu

Basin, Shangyi

1—英安岩 2—紫红色粉砂岩

1—dacite; 2—siltstone

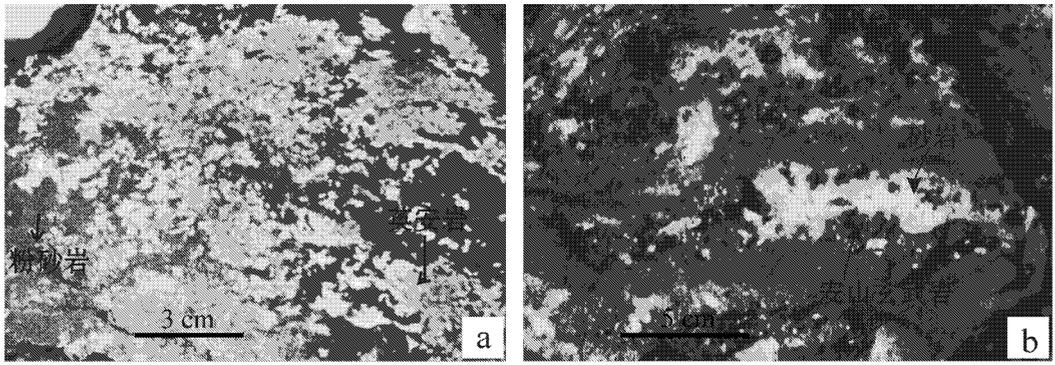


图2 熔积岩野外照片

Fig. 2 Field photos of peperite

a—尚义土木路盆地中生代流状熔积岩 b—丰宁森吉图块状熔积岩；

a—fluidal peperite from Tumulu Basin, Shangyi; b—blocky peperite from Senjitu, Fengning

裹,呈不规则团块状分布,形态复杂,局部也见粉砂岩包裹熔岩。紫红色泥质粉砂物团块常发育有浅色边缘(宽约0.5~1.5 mm),镜下观察有轻度重结晶,表明有一定的热接触变质,反映熔浆碎屑和泥质粉砂物之间有较大的温度差。

### 1.2 块状熔积岩

岩石为角砾状构造,熔岩碎屑以块状、角砾状为特征。沉积物以中粗粒级砂(含砾)屑为主。在尚义土木路火山-沉积盆地西南缘玄武岩流底部和丰宁森吉图中生代火山喷发盆地破火山口洼地中均见有块状熔积岩。森吉图破火山口洼地中块状熔积岩产于安山玄武岩流底部,出露的规模不等,与岩流和沉积物均为渐变过渡接触。岩石由安山玄武岩碎屑和中粗粒砂屑沉积物组成(图2b),熔岩碎屑为棱角状、块状,具淬碎碎屑特征,大小一般为2~8 cm,主要具玻璃质或隐晶质结构,熔岩碎屑间充填的沉积物为中粗粒砂屑(含砾)沉积物,砂屑沉积物局部定向,显示具塑性流变特征。熔浆碎屑和沉积组分含量变化较大,但总体表现为近熔岩流一侧熔浆碎屑含量高,远离熔岩流以沉积组分为主。块状熔积岩的熔岩碎屑与枕状体中淬碎碎屑相似(Corsaro *et al.*, 2002),但相序特征、胶结物成分及胶结类型截然不同。

## 2 产状及相序特征

熔积岩的形成环境与水盆地密切相关,产出的方式比较复杂。当上升的岩浆侵入较厚的未固结的湿沉积物时,在岩床或不规则侵入体边缘形成熔积岩(Kano, 2002);当岩浆溢出地表注入水盆地或盆地

边缘时,形成的熔积岩则位于熔岩流底部或前缘(Dadd *et al.*, 2002)。有时侵入岩床可穿过未固结沉积物转变为熔岩流,亦即从岩床到熔岩流是一个连续的过程,相应形成的熔积岩也由侵入型向岩流型变化。河北尚义土木路中生代盆地就是一典型例子(图3),在盆地西南缘中侏罗世土木路组沉积岩中夹有玄武岩和英安岩,英安岩沿盆缘断裂侵入-侵入,长约30 km,厚仅15~20 m。大致以菜木梁为界,西部约20 km呈岩床产出,在菜木梁以东熔岩注入浅水盆地,形成熔岩流,熔岩流流向与熔岩的展布方向近于垂直,表明熔岩的裂隙通道大致与熔岩延伸方向平行,岩流长度很小。在北西端的岩床段,岩床的顶、底都发育流状熔积岩,熔积岩宽度在0.1~1.5 m之间变化。在纵向上具特征的相序,岩床两侧基本对称,从岩床中心向两侧依次为块状英安岩、流状熔积岩、层理被扰乱的粉砂岩、紫红色正常水平层理粉砂岩,各岩性之间为渐变关系(图4a)。熔积岩中的岩浆碎屑自岩床到寄主沉积岩由多变少,粒度由大变小。在岩流段,熔积岩一般发育在熔岩流底部,其相序自下而上为:正常水平层理粉砂岩、层理被扰乱的粉砂岩或层凝灰岩、流状熔积岩、块状英安岩、紫红色气孔杏仁状英安岩到水平层理粉砂岩(图4b),熔岩流顶界与粉砂岩之间为突变面。丰宁森吉图盆地中发育的块状熔积岩具有相似的相序特征(图4c),下部为层理被扰乱的中粗粒砂岩,向上为块状熔积岩、深灰色安山玄武岩、灰紫色气孔状安山玄武岩,顶部为平行层理砂岩。另外,在多伦北水泉村西晚侏罗世白音高老组破火山口湖相砂岩中侵入的辉绿岩顶部发育块状熔积岩,熔积岩出露的宽度

不一,自侵入体向围岩的相序为辉绿岩、块状熔积岩、层理被扰乱的砂岩、水平层理砂岩。熔积岩的出

现,反映辉绿岩侵位与沉积作用基本同时,且侵位深度很浅。

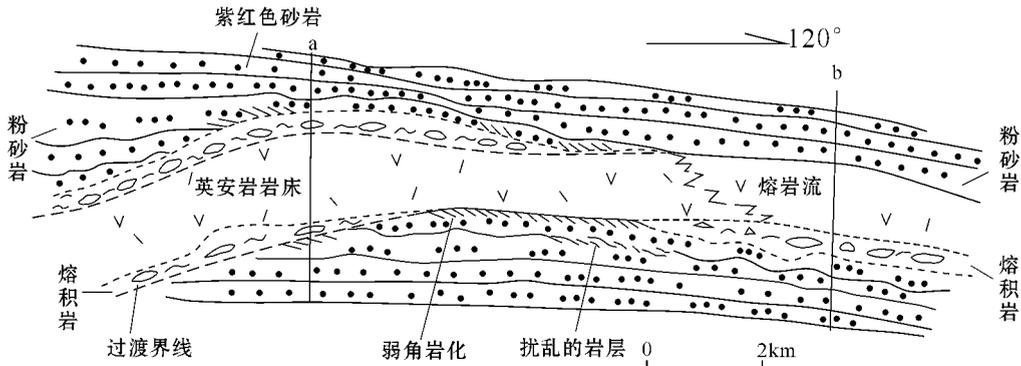


图 3 尚义土木路英安岩岩床、熔岩流及熔积岩分布剖面图

Fig. 3 Schematic section showing dacite sill, lava flow and peperite from Tumulu, Shangyi

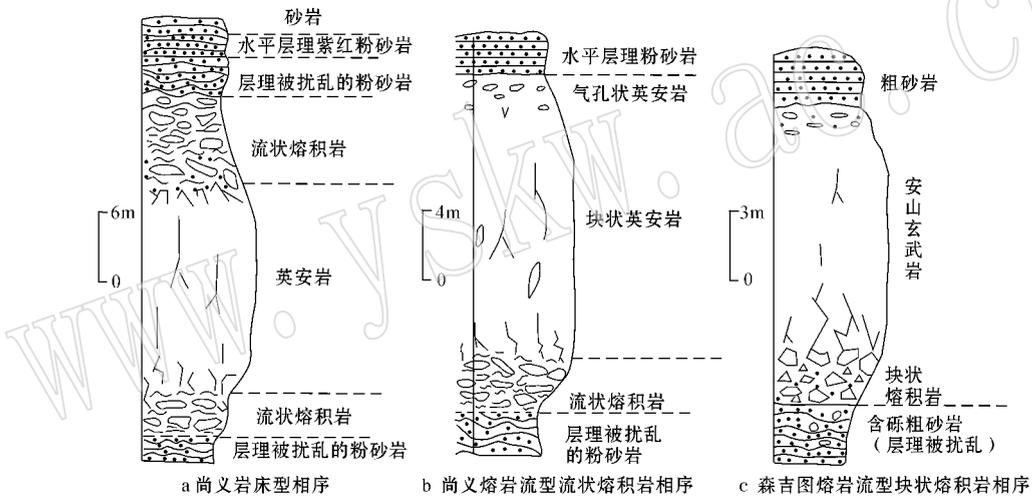


图 4 熔积岩相序剖面图

Fig. 4 Section of peperite facies sequence

熔岩流注入沉积盆地后,有时熔岩流底部局部可形成圈闭的孔隙流体,孔隙流体被汽化后,发生蒸汽或蒸汽-岩浆爆炸作用(Hooten *et al.*, 2002)形成岩浆与沉积物混合物,并穿刺熔岩流上升形成管状熔积岩。这种产状的熔积岩平面上分布局限,近距离即行尖灭,剖面上呈管状,但无根,类似于无根火山口。尚义土木路盆地菜木梁一带见及特征的管状熔积岩(图 5),平面分布形态近等轴状,直径约 60~70 m,陡峭的天然剖面显示,延深约 30 m,无根,岩石类型主要为流状熔积岩,局部为块状熔积岩,岩浆碎屑大小不一,含量约 30%~50%,沉积碎屑物主要为细砂岩。岩石水热蚀变较发育,是局部蒸汽或蒸汽-岩浆爆发作用的产物。

由上所述,熔积岩具有不同的产状及相序特征。正确鉴别熔积岩类型依赖于相序组合、结构及碎屑物的形态特征等。

### 3 成因讨论

熔积岩形成的物理作用主要为炽热熔浆与未固结湿沉积物相接触时引起的淬碎或蒸汽爆炸作用、寄主沉积物的流体化作用以及表面张力作用等。寄主沉积物未固结的特性及其孔隙水的存在对岩浆与其接触后的相互作用过程具有重要意义(Jerram *et al.*, 2002)。孔隙流体被加热膨胀,可使稳定的湿沉积物流体化,成为弥雾状流体活动,如果孔隙水迅速

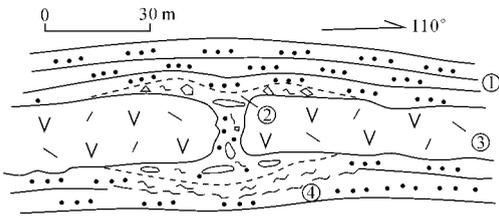


图5 尚义蔡木梁无根喷发熔积岩构造剖面图

Fig. 5 Structural section of rootless eruption in Caimuliang, Shangyi

- ①—砂岩 ②—熔积岩 ③—英安岩 ④—层理被扰乱了的砂岩  
①—sandstone; ②—peperite; ③—dacite; ④—disturbed sandstone

转化为蒸汽,则膨胀发生蒸汽爆炸。流体化或蒸汽爆炸都可破坏熔浆与湿沉积物接触带及其周围沉积物的一致性,以致引起熔浆迅速不规则的穿插侵入于湿沉积物中,使沉积物层理破坏断裂或扰乱扭曲(图4、5)部分熔浆沉没于湿沉积物中,并与主岩流部分或全部分离。同样,熔浆也可以由与湿沉积物接触而发生的淬碎或蒸汽爆炸作用而裂解(Coira *et al.*, 2002)。有时局部蒸汽爆炸较强,不仅使主熔岩流破碎分离,而且可形成小规模无根火山口。这是因为当高位侵入体或熔岩流侵入到浅水沉积物时,低围压允许孔隙流体膨胀,产生破坏性的蒸汽爆炸,这种爆炸作用刺穿岩流,在沉积物与水体界面上形成喷发口,喷出沉积物、岩浆和蒸汽的混合物,形成无根火山。尚义盆地菜木梁一带就是一典型实例(图5)在熔岩流中形成类似火山通道的无根筒状熔积岩地质体。这种穿刺熔岩流的局部无根岩浆-蒸汽爆发是由圈团的孔隙流体汽化而引起。

野外实际资料表明,流状熔积岩与细粒(粉砂级)沉积组分相伴生,熔岩成分多为酸性英安岩和流纹岩(Gifkins *et al.*, 2002; Donaire *et al.*, 2002),而块状熔积岩大多与粗粒沉积组分共生,熔岩成分多为基性玄武岩。流状熔积岩中的透镜状、舌状等碎屑形态可能与岩浆碎屑和湿沉积物接触面上富存的水蒸汽薄膜有关,岩浆碎屑物边缘明显的浅色水热蚀变边反映水蒸汽薄膜的存在,水蒸汽薄膜将岩浆碎屑与湿沉积物隔开,二者不能直接接触,从而抑制了岩浆淬碎作用或蒸汽爆炸作用的发生,并使蒸汽薄膜附近的沉积物沿接触带发生侧向运移,最终使湿沉积物与岩浆碎屑发生混合,因为分选好的细粒疏松粉砂质堆积物在热薄膜水的作用下,更易流体化,所以多形成流状熔积岩。块状熔积岩常与分选差的粗粒级沉积物伴生,因为粗粒级寄主沉积物

渗透率较大,会阻止蒸汽薄膜的形成;由于缺少一个起隔离作用的水蒸汽薄膜,岩浆与湿沉积物之间相互作用主要受淬碎或蒸汽爆炸作用控制,同时由于水蒸汽的驱动使碎屑物混合。块状熔积岩的岩浆碎块主要是玻璃质碎屑,也说明主要是淬碎作用的结果。不同结构类型的熔积岩反映了岩浆和未固结湿沉积物之间相互作用过程的差异主要受控于寄主沉积物的特征,但有些熔浆在与粗粒沉积物相接触时,在接触带的不同部位有块状熔积岩产出,也有流状熔积岩发育(Squire *et al.*, 2002),就其成因尚需进一步研究。野外露头显示不同结构类型的熔积岩还与岩浆成分有关。流状熔积岩主要与酸性岩浆相关,块状熔积岩大多与基性岩浆岩相伴。

另外,岩浆的流变性能、挥发份和气孔含量、寄主沉积物的流变性能、分选、渗透性及其构造、岩浆/水体混合比例、岩浆和沉积物混合的总体积、岩浆/沉积物混合速度、岩浆注入速度、受热孔隙水总体积、围压、局部或区域应力场性质等多个因素也可以影响熔积岩的结构类型(Skilling *et al.*, 2002)。

## 4 地质意义

熔积岩是沉积与岩浆活动同期作用的产物,是火山碎屑岩的一种特殊类型,也是沉积-火山相序中的重要组成部分,识别和研究其具有重要的理论和实际意义。熔积岩是良好的指相标志性岩石,湿的未固结的沉积物一般在水下或盆地边缘,因此,熔积岩是确定盆地沉积过程中同时伴有岩浆活动的直接证据,是确定火山岩定位环境的标志之一,也是确定沉积地层绝对年代良好的同位素测年岩石。另外,在盆地堆积过程中,上升的岩浆遇到较大厚度未固结湿沉积物时常形成具有熔积岩边界的岩床或不规则侵入体,这种具有熔积岩边界的不规则侵入体是与沉积作用同期的产物,可与侵入已固结岩石的晚期侵入体相区别。熔积岩的确定对岩相古地理分析、确定沉积作用与岩浆作用时序关系、研究火山-沉积盆地的发展演化历史等具有重要意义,由于其产出的特殊环境,对寻找有关水热蚀变矿产也有实际意义。

## 5 结论

(1) 熔积岩(peperite)是火山碎屑岩的一种重要

类型,冀西北中生代火山-沉积盆地中包括流状熔积岩和块状熔积岩两种类型,不同类型的熔积岩主要与寄主沉积物的性质、岩浆成分和形成过程有关。

(2) 产状上熔积岩大多分布在熔岩流的底部或前缘,也可出露于超浅成侵入体周围。

(3) 熔积岩是确定盆地沉积作用过程中同时伴有岩浆活动的直接相标志。

## References

Bai Zhida, Sun Shanping, Xu Debin, *et al.* 2004. Peperite-Significance type of pyroclastic rocks[J]. Earth science frontiers, 11(3):134(in Chinese with English abstract).

Bull S W and Cas R A F. 1989. Volcanic influences in a storm and tide dominated shallow marine depositional system: the Late Permian Broughton Formation, southern Sydney Basin, Kiama, NSW, Australia[J]. Aust. J Earth Sci., 36: 569~584.

Busby-Spera C J and White J D L. 1987. Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties[J]. Bulletin of Volcanology, 49(6):765~776.

Coira B and Pérez B, 2002. Peperitic textures of Ordovician dacitic syndimentary intrusions in Argentina's Puna Highland: clues to emplacement conditions. [J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 165~180.

Corsaro R A and Mazzoleni P, 2002. Textural evidence of peperites inside pillow lavas at Acicastello Castle Rock (Mt. Etna, Sicily) [J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 219~229.

Dictionary of Geology, 1981. Fascicle of Mineralogy- Petrography-Geochemistry(2) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 190(in Chinese).

Dadd K A and Van Wagoner N A. 2002. Magma composition and viscosity as controls on peperite texture: an example from Passamaquoddy Bay, southeastern Canada[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 63~80.

Donaire T, Sáez R and Pascual E, 2002. Rhyolitic globular peperites from the Aznalcollar mining district (Iberian Pyrite belt, Spain): physical and chemical controls[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 119~128.

Le Maitre R W translate by Wang Bixiang, Shen Kun, Bi Lijun, *et al.* 1991. A classification of Igneous Rocks Glossary of Terms[M], Beijing: Geological Publishing House, 172(in Chinese).

Fisher R V. 1960. Classification of volcanic breccias[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 71: 973~982.

Gilkins C C, McPhie J and Allen R L. 2002. Pumiceous rhyolitic peperite in ancient submarine volcanic successions[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 181~203.

Hanson R E and Schweickert R A. 1982. Chilling and brecciation of a Devonian rhyolitic sill intruded into wet sediments, northern Sierra Nevada, California[J]. J Geol., 90: 717~724.

Hanson R E and Wilson T J. 1993. Large-scale rhyolite peperites (Jurassic, southern Chile)[J]. J Volcanol. Geotherm. Res., 54: 247~264.

Hooten J A and Ort M H, 2002. Peperite as a record of early stage phreatomagmatic fragmentation processes: an example from the Hopi Buttes volcanic field, Navajo Nation, Arizona, USA[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 95~106.

Hanson R E and Hargrove U L. 1999. Processes of magma/wet sediment interaction in a large-scale Jurassic andesitic peperite complex, northern Sierra Nevada, California[J]. Bulletin of Volcanology, 60(8):610~626.

Jerram D and Stollhofen H, 2002. Lava/sediment interaction in desert settings: are all peperite-like textures the result of magma-water interaction[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 231~249.

Kano K. 2002. Middle Miocene volcanoclastic dikes at Kukedo, Shimane Peninsula, SW Japan: fluidization of volcanoclastic beds by emplacement of synvolcanic andesitic dikes[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 81~94.

McPhie J, Doyle M and Allen R. 1993. Volcanic textures, Centre for ore deposit and exploration studies[D]. Tasmania: University of Tasmania, 53~71.

McClintock M and White J D L. 2006. Large phreatomagmatic vent complex at Coombs Hills, Antarctica: Wet, explosive initiation of flood basalt volcanism in the Ferrar-Karoo LIP[J]. Bulletin of Volcanology, 68(3):215~239.

Ren Fugen. 1986. The Essential Character of volcanic-sedimentary rocks of Dahongyu Formation in Jixian[J]. Bulletin of the Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, 16: 91~108(in Chinese).

Squire R J and McPhie J. 2002. Characteristic and origin of peperite involving coarse-grained host sediment[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 45~61.

Skilling I P, White J D L and McPhie J. 2002. Peperite: a review of magma-sediment mingling[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 1~17.

White J D L. 1996. Impure coolants and interaction dynamics of phreatomagmatic eruptions[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 74: 155~170.

White J D L, McPhie J and Skilling I P. 2000. Peperite: a useful genetic term[J]. Bull. Volcanol., 62: 65~66.

Wohletz K H. 2002. Water/magma interaction: some theory and experiments on peperite formation[J]. J. Volcanol. Geotherm. Res., 114: 19~35.

Wu Shuren. 1990. Dictionary of Petrography[M]. Beijing: Geological Publishing House, 269(in Chinese).

Zimanowski B and Büttner R, 2002. Dynamic mingling of magma and liquefied sediment[J]. J Volcanol. Geotherm. Res., 114: 37~44.

## 附中文参考文献

白志达, 孙善平, 徐德斌, 等. 2004. 火山碎屑岩的一种重要类型——熔积岩[J]. 地学前缘, 11(3):134.

地质矿产部地质辞曲办公室. 1981. 地质词典——矿物、岩石、地球化学分册(2) [M]. 北京: 地质出版社, 190.

任富根. 1986. 蓟县大红峪组火山-沉积岩系的基本特征[J]. 天津地质矿产研究所刊, 16: 91~108.

Le Maitre 主编(王碧香, 沈昆, 毕立君, 等译). 1991. 火成岩的分类命名及术语词典[M]. 北京: 地质出版社, 172.

吴树仁, 1990. 岩石学词典[M]. 北京: 地质出版社, 269.