

文章编号: 0258-7106(2008)03-0336-09

# 青海南部熔积岩的发现:对寻找VMS型矿床的重要启示\*

杨志明<sup>1</sup>, 侯增谦<sup>1</sup>, Noel C White<sup>2</sup>, 杨开辉<sup>2</sup>, 宋玉财<sup>1</sup>, 王召林<sup>1</sup>

(1 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 加拿大亚洲资源股份公司, 加拿大 多伦多, M2J 4A6)

**摘要** 熔积岩指的是侵入、混合到未固结或弱固结的湿沉积物中的熔浆分解、原位形成的一类特殊岩石。正确地认识该类岩石, 有利于增进人们对岩浆-水(沉积物)相互作用过程的理解, 恢复古环境。在青海南部沱沱河地区发现了一套角砾为撕片状、锯齿状及浑圆状的安山岩, 胶结物为铁硅质组合的特殊熔积岩。研究表明, 该熔积岩的角砾为岩浆遇水后快速淬火、裂解的产物, 铁硅质组合为海底喷气沉积形成的含铁建造; 且安山岩与含铁建造发生混合时, 含铁建造尚未固结。该套熔积岩的发现, 改变了长期以来对开心岭铁矿为火山热液交代安山岩而形成的认识, 对于在矿区寻找VMS型矿床、区域内寻找海底热水喷流沉积型矿床具有重要的启示意义。

**关键词** 地质学; 熔积岩; 铁硅质组合; VMS型矿床; 开心岭铁矿; 沱沱河; 青海

中图分类号: P618.3

文献标志码: A

## Discovery of peperite in south Qinghai and its inspiration to exploration of volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits

YANG ZhiMing<sup>1</sup>, HOU ZengQian<sup>1</sup>, Noel C White<sup>2</sup>, YANG KaiHui<sup>2</sup>, SONG YuCai<sup>1</sup> and WANG ZhaoLin<sup>1</sup>

(1 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2 Asia New Resources Corporation, Toronto M2J 4A6, Canada)

### Abstract

Peperite, a genetic term for a rock formed essentially in-situ by disintegration of magma intruding and mingling with unconsolidated or poorly consolidated, typically wet sediments. The study of peperite is important for several reasons. It can provide field evidence for the mechanism of magma-water/sediment interaction, and is of great value in palaeoenvironmental reconstruction. The peperite identified in south Qinghai mainly consists of zigzag, subrounded andesitic clasts and sediments composed of cherts, hematite and magnetite. A detailed petrological study indicates that most of the zigzag clasts were generated by in-situ quench fragmentation of andesitic magma. The sediments were formed by sedimentary exhalation, and remained wet when mingling happened. Therefore, the Kaixinling iron deposit, which was originally thought to be a product of hydrothermal replacement, should be a VMS deposit.

**Key words:** geology, peperite, iron-bearing cherts, volcanogenic massive sulfide (VMS), Kaixinling iron deposit, Tuotuohe, Qinghai

\* 本文受到国家科技支撑计划项目(编号 2006BAB01A08)和国家重点基础发展规划项目(编号 2002CB412600)的联合资助

第一作者简介: 杨志明, 男, 1978年生, 博士研究生, 主要从事矿床学研究, E-mail: zm.yang@hotmail.com

收稿日期: 2007-12-13; 改回日期: 2008-01-21。张绮玲编辑。

熔积岩(peperite)是一成因术语,指的是侵入、混合到未固结或弱固结的湿沉积物中的熔浆裂解、原位形成的一类岩石(White et al., 2000)。“peperino”一词最早由Scrope(1827)提出,指法国中部Limagne地区由喷发玄武岩降落在湖水中与沉积物混合而成的一套碎屑状岩石。目前对“peperite”一词存在多种翻译,为准确反映岩石本身特征,避免与其他岩石名称混淆,本文采用白志达等(2006)的译名,称之为熔积岩。近年来,大量的野外观察(Busby-Spera et al., 1987; Bull et al., 1989; Hanson et al., 1999; Squire et al., 2002; Mc-Clintock et al., 2006),实验研究(Zimanowski et al., 2002; Wohletz, 2002)和理论研究(White, 1996),极大地加深了人们对熔积岩的岩石特征、形成过程及产出环境等方面的认识与理解。特别是Skilling等(2002)对熔积岩及其各组分的形态、成因、影响因素的综述性评论,使得人们对熔积岩的认识提高到了一个新的水平。因熔积岩是岩浆-水(沉积物)交互作用的直接野外证据,对其开展详细的研究,不仅可以增进人们对岩浆-水(沉积物)相互作用过程的理解,还可以确定沉积作用与同期火山作用的相互关系,恢复古环境(Skilling et al., 2002)。在中国,熔积岩的研究历史相对较短,首次报道见于1986年(任富根, 1986);产地较少,截止目前,仅在天津、北京、内蒙古、河北等地发现熔积岩(白志达等, 2006),研究程度较低,熔积岩尚未引起人们的足够重视。本次于青海南部唐古拉乡开心岭铁矿区发现的熔积岩,其内沉积物主要为一套铁硅质组合,角砾主要为安山岩。长期以来,该熔积岩曾被认为是火山热液交代安山岩而形成,于是以火山热液型铁矿成矿模式指导该区的找矿勘探工作<sup>①②</sup>,而忽视了熔积岩下部还可能存在块状硫化物型矿化的重要事实。因此,厘定本套岩石的成因,无疑对恢复当时的地质环境,正确认识该矿床的成因,孕育切实有效的找矿勘探思路起作用。

## 1 地质背景简介

开心岭铁矿位于青海南部沱沱河地区(图1),青藏公路通过本区,交通极为方便。其大地构造位置位于唐古拉微陆块北缘开心岭-杂多古生代—中生

代复合弧盆带中,北临西金乌兰-玉树晚古生代缝合带,南接唐古拉微陆块,弧盆体系的构造格局较为清楚<sup>①</sup>。其中,开心岭地区主体由二叠系开心岭群组成,该群自上而下依次为扎日根组、诺日巴尕日保组和九十道班组,为一套产于浅海相环境下的碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩建造(李亚林等, 2006);受新生代碰撞影响,开心岭群多呈逆冲断片出露。开心岭铁矿可分为东、西2个矿带。西矿带矿石类型简单,主要以致密块状、稠密浸染状磁铁矿型矿石为主,另有少量角砾状和条带状磁铁矿,呈不规则脉状产出;东矿带矿石矿物相对复杂,主要以赤铁矿(或镜铁矿)为主,还含有少量磁铁矿、褐铁矿,除局部呈块状,常呈火山岩角砾状的胶结物状产出。整体上,这些铁矿体,呈层状、似层状产于二叠系开心岭群地层中,具有明显的层控特点。本次报道的熔积岩发现于东矿带,产于开心岭群诺日巴尕日保组地层之中(图2);采样的具体位置为:东经 $92^{\circ}21'10.7''$ ,北纬 $34^{\circ}06'12.5''$ ,位于唐古拉乡西南15 km处。

## 2 熔积岩产出位置及岩相学特征

诺日巴尕日保组主要由杂色碎屑岩夹泥岩、灰岩和火山岩组成,地层中富含腕足类、双壳类等浅海相化石,特别是碎屑岩中所夹的生物碎屑泥晶灰岩,其内含有丰富的海百合茎化石,反映出浅海相的沉积环境<sup>①</sup>。本区出露的诺日巴尕日保组地层主要由玄武质-安山质火山岩和灰岩组成,依据岩性可分为2个岩性段:上段由玄武质-安山质火山岩夹灰岩组成;下段主要为玄武质-安山质火山岩(刘永成等,未刊资料)。

本次发现的熔积岩(在没有确定其成因之前,先称之为角砾岩)产于诺日巴尕日保组下段安山质火山岩中,多层产出。空间上,每层角砾岩均类似,其下为块状铁硅质岩,其上为绿泥石+绿帘石+碳酸盐化安山岩(图3)。下部出现的角砾岩较薄,约为8 m,其胶结物为铁硅质组合,但铁含量较低,尚未达到工业要求,角砾以绿泥石-绿帘石-碳酸盐化安山岩为主,含少量的硅质岩,其大小一般小于1 cm,以拉长的线状、块状为主(图4A)。而上部出现的角砾岩则相对较厚,约为14 m,其胶结物亦为铁硅质岩,但

① 青海省地质调查院, 2005. 青海1:25万沱沱河幅(146C002002)区域地质调查. 内部资料. 1-278.

② 青海省地质调查院, 2006. 青海扎日根地区矿产远景调查总体设计书. 内部资料. 1-102.

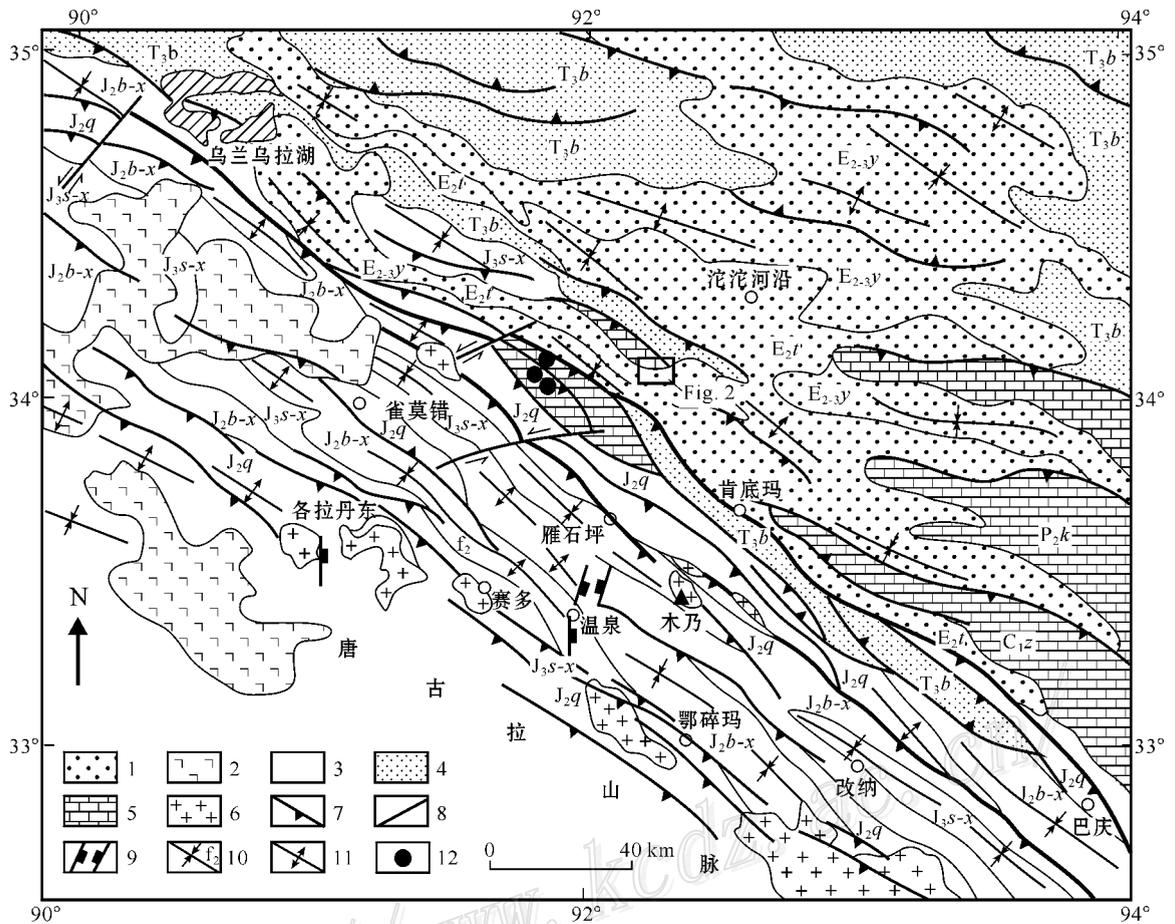


图1 沱沱河地区区域地质图(据李亚林等 2006 修改)

1—第三系;2—新生代火山岩;3—侏罗系;4—三叠系;5—石炭系—二叠系;6—花岗岩;7—逆断层;8—走滑断层;  
9—正断层;10—向斜轴迹;11—背斜轴迹;12—铅锌矿点

Fig. 1 Simplified geological map of the Tuotuohe area (after Li et al., 2006)

1—Tertiary;2—Cenozoic volcanic rock;3—Jurassic;4—Triassic;5—Carboniferous-Permian;6—Granite;7—Thrust fault;  
8—Strike-slip fault;9—Normal fault;10—Axis of syncline;11—Axis of anticline;12—Pb-Zn deposit (or ore spot)

铁含量明显增多,与其下部的铁硅质岩(图4B)一起构成了矿床的主要工业矿体,即前文所述的角砾状铁矿,其角砾以绿泥石-绿帘石-碳酸盐化安山岩为主,靠近下部的角砾以拉长的线状及块状为主,边界较直,一般小于1cm;向上角砾直径逐渐增大,最大可达5cm,角砾边界浑圆,以三向等长的块状为主(图4C)。靠近上部安山岩的角砾明显增大,一般直径为10cm左右,其角砾呈不规则撕片、锯齿状(图4D)。镜下观察发现,块状硅铁质岩则主要由细粒的赤铁矿、石英交互生长而成(图5A、5B),显示出喷气岩的结构特点,胶结物也主要由赤铁矿组成(图4F、图5C),此外还含有少量磁铁矿、褐铁矿等;且胶结物局部定向(图5D),显示具塑性流变特征,局部可见赤铁矿等沿发丝状裂隙贯入安山岩角砾之中(图

5E)。安山岩角砾为斑状结构(图5C),气孔-杏仁状构造,斑晶主要由斜长石组成,基质为显微晶质结构,主要由微晶斜长石及隐晶质角闪石组成(图4C、图4D),斑晶及基质均发生强烈的绿泥石-绿帘石-碳酸盐化(图5F);少量角砾具有明显的淬火反应边(图4E、图5G)。

### 3 熔积岩的成因

#### 3.1 角砾岩的可能成因

在探讨开心岭角砾岩形成过程之前,确定其可能成因尤为重要。一般情况下,角砾岩主要通过火山爆发/隐爆、构造过程以及裂隙控制的热液蚀变形成,角砾形成明显早于胶结物。开心岭地区

产出的这套角砾岩,其角砾为安山岩,呈不规则锯齿状,胶结物为由赤铁矿、磁铁矿、硅质岩等组成的铁硅质组合,表明这套角砾岩不是通过正常搬运沉积形成的,不是典型的正常沉积岩。如果该套角砾岩是在火山爆发/隐爆过程中形成的,由于角砾为安山岩,那么后期喷发物应为赤铁矿、磁铁矿等组成的矿浆,而由矿浆喷发形成的赤铁矿、磁铁矿等应多呈筒状产出,这就与现有的地质事实不符:这些铁硅质组合层控特征非常明显,未见穿层现象(图 2);另外,该种成因也无法解释早形成的安山岩角砾为何具有明显淬火边的现象。那么,是否在安山质熔岩形成之后,后期的构造或裂隙控制的热液蚀变形成了本研究见到的特殊角砾岩呢?答案似乎也是否定的。如果该套角砾岩由构造或裂隙控制的热液蚀变形成,很难想象这种构造或裂隙、相应的热液蚀变及矿化仅局限于诺日巴尔日保组下段安山岩之内,而没有扩大到其上段的碳酸盐岩地层之中;且铁矿体的形态受构造或裂隙的控制,个别地段应该出现穿插到上覆的二叠纪碳酸盐地层的现象,而不应呈层状产出。那么,开心岭的这套角砾岩到底是如何形成的?如果了解了熔积岩的形成过程,问题便迎刃而解。

### 3.2 熔积岩的形成过程

熔积岩是指新生岩浆定位到未固结或弱固结的湿沉积物后发生裂解,原位形成的一类岩石(White et al., 2000)。开心岭的这套角砾岩,安山岩角砾多为块状、锯齿状,具有明显的淬火反应边,是岩浆遇水后淬火、原位裂解的典型特征(Skilling, 2002);胶结物铁硅质岩局部定向,具塑性流变特征,且还可以看到铁硅质岩沿头发丝状裂隙穿插到安山岩角砾之中,表明由赤铁矿、磁铁矿及硅质组分等组成的沉积物在安山岩发生裂解时尚未固结(Skilling, 2002)。因此,开心岭角砾岩为一种典型的熔积岩。

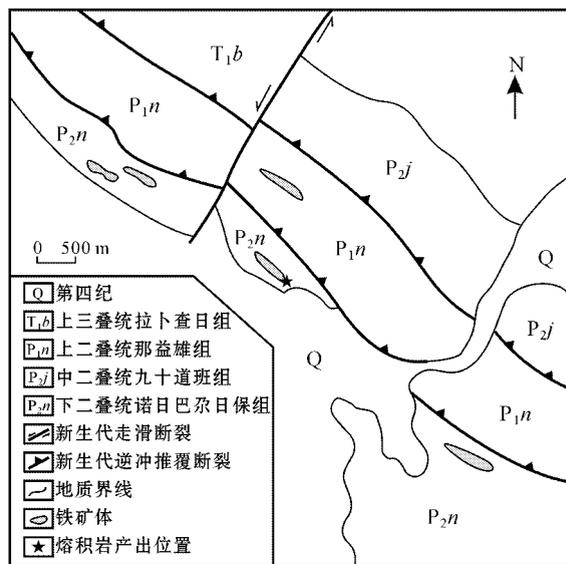


图 2 开心岭铁矿地质简图(据刘永成未刊资料修改)  
Fig. 2 Simplified geological map of the Kaixinling iron deposit( after Liu unpublished data )

熔积岩的形成包括 2 个至关重要的过程:即岩浆岩的分解、碎裂,以及碎裂后的岩浆角砾与沉积物的混合,两者通常可以同时进行。造成岩浆分解、碎裂的过程很多,如淬火、机械应力(自角砾化)、蒸汽爆破、喷发岩浆的气泡化作用、流变沉积物及其孔隙水运动过程中对岩浆的剪切、表面张力、岩浆-沉积物密度差等(Skilling, 2002)。当然,不同过程形成的岩浆角砾的形态不同,按照岩浆角砾的形态,主要分为块状角砾和流状角砾 2 种类型(Busby-Spera et al., 1987)。块状角砾呈块状、锯齿状、板状、锥状,表明岩浆岩的分解、碎裂处于脆性机制条件下,其形成可能与岩浆岩遇水淬火、机械应力或水岩爆破等过程有关;流状角砾呈流动状、球状、拉长的球状、卷须状等,表明岩浆岩的裂解发生在塑性机制条件下,其形成尚存疑问,一般认为流状角砾可能因岩浆-射汽

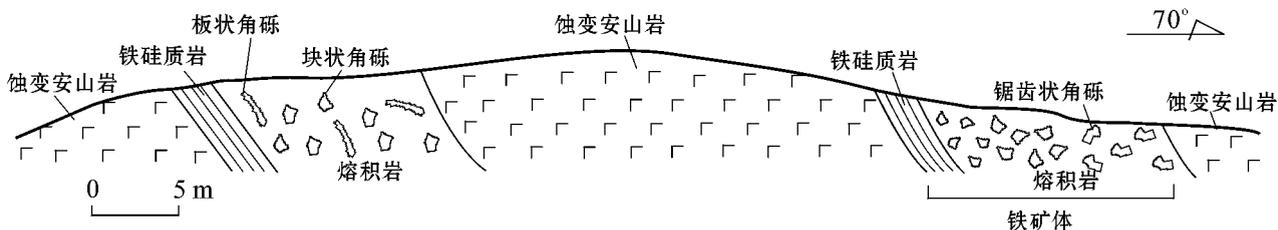


图 3 熔积岩产出位置的野外剖面  
蚀变安山岩的主要蚀变矿物为绿泥石、绿帘石、碳酸盐  
Fig. 3 Field section showing location of the peperite

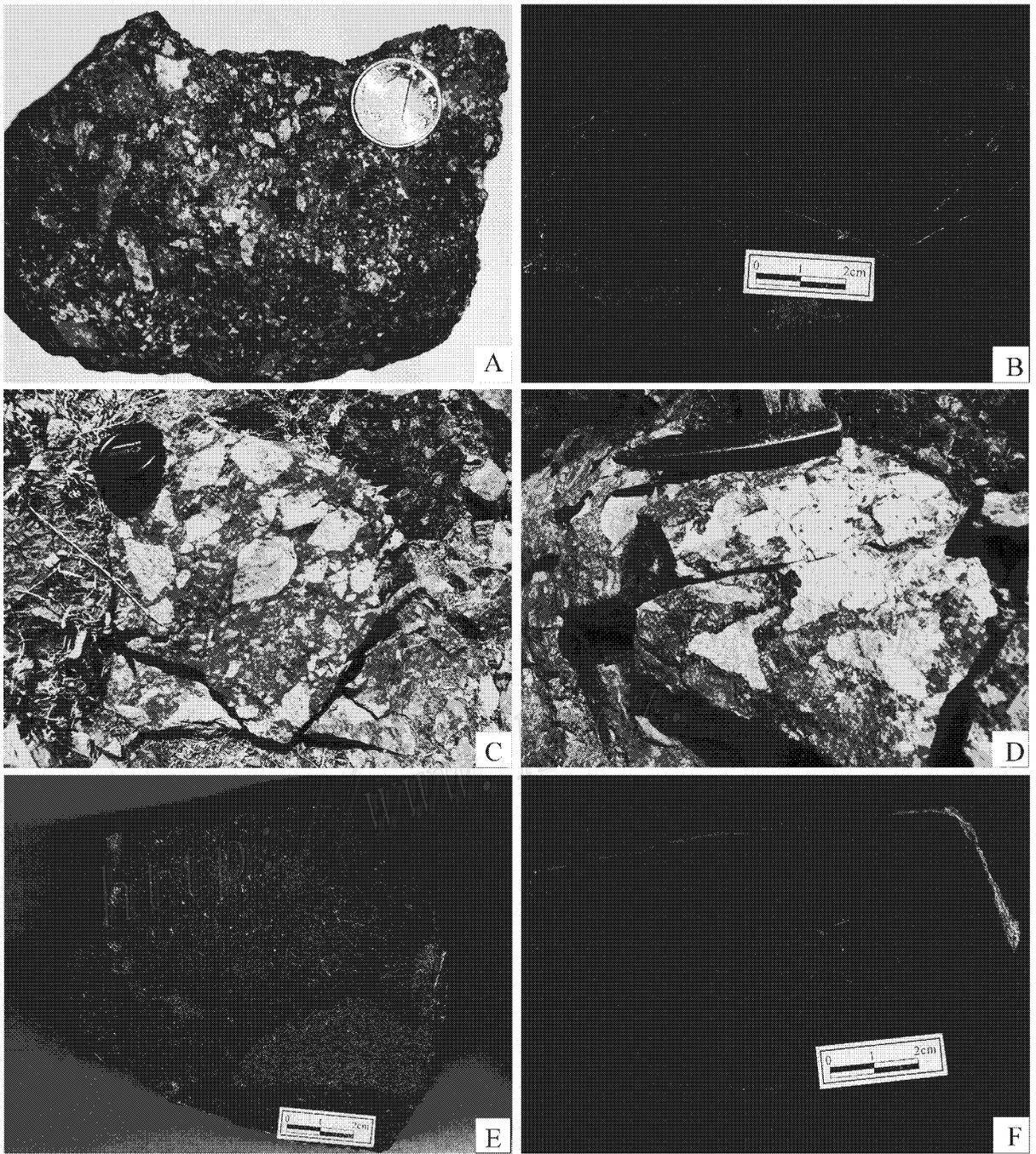


图4 熔积岩的野外及手标本照片

A. 角砾为拉长的线状及块状的熔积岩；B. 上部熔积岩底部的铁硅质岩，其镜下照片见图5A、5B；C. 角砾为三向等长块状的熔积岩，其边界浑圆，为安山岩岩浆遇水后收缩冷凝的产物；D. 角砾呈不规则撕片、锯齿状的熔积岩，为岩浆原位淬火裂解的典型特征；E. 两个较大的安山岩角砾可见较窄的淬火边；F. 铁硅质虽后期发生了强烈碳酸盐化，沉积层理依稀可辨，岩石主要由细粒赤铁矿、碳酸盐、石英组成

Fig. 4 Photographs of peperite in south Qinghai

A. Peperite with elongated thread and blocky clasts; B. Iron-bearing cherts below the upper peperite; C. Peperite with subrounded clasts, formed by quench shrinkage of andesitic magma in contact with sea water; D. Peperite characterized by zigzag clasts, generated by in-situ quench fragmentation of andesitic magma; E. Two big clasts characterized by narrow quench margins; F. Stratification of the rock, which can be easily recognized although it was destroyed by intense carbonate alteration

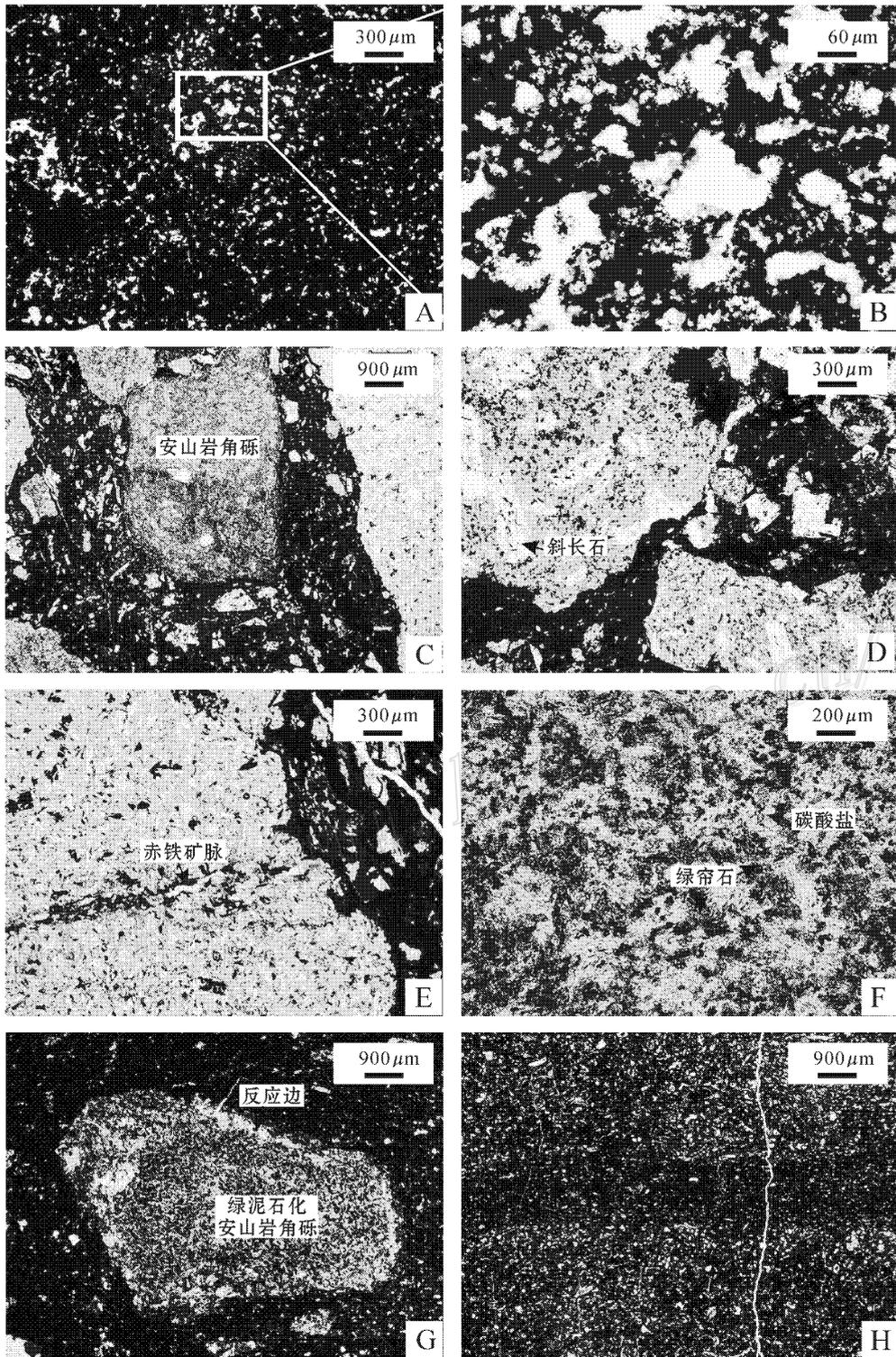


图 5 开心岭熔积岩的显微照片

A. 块状铁硅质岩显微照片，显示出细粒赤铁矿、石英交互生长的结构特征；B. 为 A 图的局部放大；C. 熔积岩中安山岩小角砾，胶结物为铁硅质岩，角砾具有明显的斑状结构，斑晶主要为斜长石；D. 熔积岩中的胶结物铁硅质岩显示了塑性流变的特征；E. 铁硅质岩胶结物沿发丝状裂隙贯入安山岩角砾之中；F. 强绿泥石-绿帘石-碳酸盐化安山岩，该照片下绿泥石不清晰；G. 该熔积岩的安山岩角砾具有明显的淬火反应边，斜长石蚀变为石英+磁铁矿等，角砾绿泥石化强烈；H. 图 4F 的显微照片，尽管岩石后期碳酸盐化强烈，沉积层理依然可辨

Fig. 5 Photomicrographs of peperite in south Qinghai

A. Photomicrograph of iron-bearing cherts, showing intergrowth of hematite and quartz; B. Local enlargement of Fig. A; C. Peperite consisting of andesitic clasts and iron-bearing cherts; D. Sediments in the sample showing fluidal characteristics; E. Sediments formed along hairline cracks; F. Andesite characterized by intense alteration of chlorite-epidote-carbonate; G. Clast with distinct quench margin; H. Photomicrograph of Fig. 4F



的 Zn、Pb、Ba 等元素异常(含 Zn 平均为  $249.58 \times 10^{-6}$  ;Pb 平均为  $73.37 \times 10^{-6}$  ;Ba 平均为  $5721.0 \times 10^{-6}$  ,青海地质调查院,未刊资料),且在矿区东南已发现 2 条长 20 m、宽 2.5 m 的铜矿体(刘永成,未刊资料),显示出在矿区寻找 VMS 型矿床的良好潜力。

#### 4.2 对区域找矿的启示

纵观沱沱河地区已发现的 Pb、Zn 矿床或矿点,可以发现,它们大多产于二叠纪或三叠纪的地层之中(图 1),层控现象明显,如产于开心岭熔积岩西部 30~50 km 范围内的宗隆巴、茶曲帕查、多彩龙、多彩玛等矿化点。这些矿床地表多以氧化矿的形式存在,原生矿体很少见到,其成因目前尚不清楚,致使区域找矿勘探方向不明。开心岭熔积岩的发现表明,早-中二叠世随着玄武质、安山质岩浆的喷发,沱沱河地区发生了一次(或更多)海底热水成矿事件,靠近岩浆喷发中心的部位则以 VMS 型矿床的形式产出,如开心岭地区和赵卡隆地区,远离岩浆喷发中心则可能以热水喷流沉积型矿床的形式产出,如产于中二叠统九十道班组的宗隆巴、多彩玛、茶曲帕查等 Pb-Zn 矿床。该次海底热水成矿事件的规模、对本区 Pb-Zn 成矿的作用(是大规模成矿还是预富集?)和影响范围,以及后期地质和成矿事件对其叠加改造的程度目前尚不清楚。但是,在对沱沱河地区未来的 Pb、Zn 矿床勘探过程中,早-中二叠世海底热水成矿事件不应忽视。另外,由于熔积岩在中国是一种“新生事物”,尚未引起人们的足够注意,多数人仍将其当成普通的角砾岩,而忽视了其存在所反映的古沉积环境,特别是当胶结物为含沉积层理不清楚的含铁建造时。对熔积岩的正确识别无疑会对建立合理的找矿模型起到至关重要的作用。

志 谢 感谢青海省地质调查院刘永成工程师、张雪亭副院长在野外工作中给予的支持与帮助;室内工作得到了中国地质科学院矿产资源研究所杨岳清、余宏全、韩发先生等以及张万益博士的帮助;中国地质大学(北京)白志达教授和罗照华教授、南京大学顾连兴教授、中国地质科学院矿产资源研究所杨岳清老师阅读了初稿,并提出了许多修改意见,在此深表感谢。

#### References

Bai Z D, Xu D B and Sun S P. 2006. Characteristics and geological sig-

nificance of peperite in northwestern Hebei Province [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25 : 487-492 ( in Chinese with English abstract ).

Brooks E R, Wood M M and Garbutt P L. 1982. Origin and metamorphism of peperite and associated rocks in the Devonian Elwell Formation, northern Sierra Nevada, California [ J ]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93 : 1208-1231.

Brooks E R. 1995. Palaeozoic fluidization, folding and peperite formation, northern Sierra Nevada, California [ J ]. *Can. J. Earth. Sci.*, 32 : 314-324.

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 Fromaiton, 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 ]. *Bull. Volcanol.*, 49 : 765-775.

D J Rawlings, M K Watkeys and R J. Sweeney. 1999. Peperitic upper margin of an invasive flow, Karoo flood basalt province, northern Lebombo [ J ]. *South African Journal of Geology*, 102 : 377-383.

Doyle M G. 2000. Clast shape and textural associations in peperite as a guide to hydromagmatic interaction: Upper Permian basaltic and basaltic andesite examples from Kiama, Australia [ J ]. *Aust. J. Earth Sci.*, 47 : 167-177.

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 ]. *Bull. Volcanol.*, 60 : 610-626.

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

Hou Z Q, Han F, Xia L Q, Zhang Q L, Qu X M, Li Z Q, Bie F L, Wang L Q, Yu J J and Tang S H. 2003. Hydrothermal systems and metallogeny on the modern and ancient sea-floor: Case study on some VMS deposits [ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-423 ( in Chinese with English abstract ).

Li Y L, Wang C S, Yi H S, Liu Z F and Li Y. 2006. Cenozoic thrust system and uplifting of the Tanggula Mountain, Northern Tibet [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 80 : 1118-1131 ( in Chinese with English abstract ).

Mc-Clintock 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 LIF [ J ]. *Bull. Volcanol.*, 68 : 215-239.

Moore C L. 1998. Peperite formation within deep-marine mafic volcanic successions: Hokkaido, Japan [ A ]. IAVCEI Int. Volcanol. Congress, Cape Town, Abstracts. 42.

Ren F G. 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 ).

Scrope G P. 1827. Memoir on the geology of central France: Including

- the volcanic formations of Auvergne , the Velay and the Vivarais [ A ]. Longman , Rees , Orme , Brown and Green , London. 79.
- 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.
- Squire R J and McPhie J. 2002. Characteristic and origin of peperite involving coarse-grained host sediment [ J ]. J. Volcanol. Geotherm. , 114 : 45-61.
- White J D J , McPhie J and Skilling I P. 2000. Peperite : A useful genetic term [ J ]. Bull. Volcanol , 62 : 65-66.
- White J D L. 1996. Impure coolants and interaction dynamics of phreatomagmatic eruptions [ J ]. J. Volcanol. Geotherm. Res. , 74 : 155-170.
- Wohletz K H. 2002. Water/magma interaction : Some theory and experiments on peperite formation [ J ]. J. Volcanol. Geotherm. Res. , 114 : 19-35.
- 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,徐德斌,孙善平. 2006. 河北西北部熔岩特征及其地质意义 [ J ]. 岩石矿物学杂志, 25 : 487-492.
- 侯增谦,韩发,夏林圻,张绮玲,曲晓明,李振清,别风雷,王立全,余金杰,唐绍华. 2003. 现代与古代海底热水成矿作用——以若干火山成因块状硫化物矿床为例 [ M ]. 北京:地质出版社. 1-423.
- 李亚林,王成善,伊海生,刘志飞,李勇. 2006. 西藏北部新生代大型逆冲推覆构造与唐古拉山的隆起 [ J ]. 地质学报, 80 : 1118-1131.
- 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所刊, 16 : 91-10

瞭 瞭 瞭

<http://www.kcdz.ac.cn/>