

非常规火山成因矿床特点及研究意义*

Characteristics of unconventional metal deposits related to volcanoes and their research significance

张正伟^{1,2}, 朱炳泉², 张 乾¹, 陈广浩², 许连忠¹, 黄海明¹, 张中山¹

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

ZHANG ZhengWei^{1,2}, ZHU BingQuan², ZHANG Qian¹, CHEN GuangHao²,
XU LianZhong¹, HUANG HaiMing¹ and ZHANG ZhongShan¹

(1 Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

摘 要 相对于火山成因矿床而言, 一些矿床在成矿时空上(甚至地层建造)与火山活动没有直接的关系, 然而他们往往集中形成在火山主活动期之前或之后的某一阶段, 成矿方式以热液蚀变或热水沉积成矿作用为主, 成矿作用与火山活动引发的构造热事件密切相关, 由此, 文章把这类矿床统称为非常规火山成因矿床。如某些火山红层铜矿、硅-铁-铝土矿人建造、角砾岩型铁矿、脉状-层状铜铅锌多金属矿和卡林型金银矿等。在峨眉山玄武岩大规模喷发阶段(258~253.7 Ma)之前和之后两个阶段, 存在巨型的热液体系和成矿作用, 形成的热液矿床一般为目前研究程度很低的非常规火山成因矿床, 因此, 加深对非常规火山成因矿床的认识, 对于开拓找金属矿、找油新思路, 扩展“既围绕火成岩活动又走出火成岩范围”的非常规资源新视野均具有重要意义。

关键词 峨眉山大火山岩省; 热液成矿作用; 非常规火山成因矿床

大火成岩省(LIP)中不仅在短时间内喷发出巨量岩浆, 而且巨大熔体侵入产生的热平流与热梯度也使 LIP 普遍联系着巨型的热液体系(Campbel et al., 1990; Ernst et al., 2003; Schissel et al., 2001)。国内外对块状硫化矿床、斑岩型矿床、铜镍-PGE 硫化矿床等与火山作用相关的成矿作用研究已有相当的进展, 并有了相对较成熟的成矿模式。然而对于一些涉及火山热液体系的非常规火山成因矿床(Unconventional metal deposits)(Lefebure et al., 1998), 包括与火山作用有关的火山红层铜矿(Dallas et al., 2001; Kirkham, 1996)、铁建造(Lefebure et al., 1996; Barley M E et al., 1997)、角砾岩型铁矿、脉状-层状多金属矿和卡林型金银矿(Zhu, et al., 2005; 黄智龙等, 2004)、以自然铜为主的火山-红层铜矿等(Naldrett et al., 1992; Cannon et al., 1999), 目前研究程度还很低, 成矿模式还不清楚, 类型划分也存在困难。这些矿床的热液蚀变类型不常见, 产出位置在火山岩内外均有, 关系也不很明确。峨眉山玄武岩除了形成了几个超大型的钒钛磁铁矿外, 同时形成了一些铂矿、铜镍矿, 在顶部形成了自然铜(Zhu et al., 2005), 还有相邻地层内产出的与火山岩喷发事件有关的热液作用金银多金属矿床(黄智龙等, 2004)。因此, 本文以峨眉山 LIP 为例, 探讨非常规火山成因矿床的某些特点和找矿意义。

1 与峨眉山 LIP 有关的非常规火山成因矿床特点

据最近资料, 在峨眉山玄武岩主喷发阶段(258~253.7) Ma (Zhou et al., 2002; Lo et al., 2002; Fan et al., 2004; Zhou et al., 2005), 仅形成少量以岩浆热液成矿作用为主的矿床, 主要包括 Cu-Ni-PGE 矿床(如杨柳坪, 金宝山, 大岩子等矿区的部分矿体)和某些玄武岩型铜矿(矿床规模为小型或矿点, 如昭觉乌坡、荣经花滩等铜矿点(张云湘等, 1988)), 并且这些矿

*本文得到中科院知识创新工程重要方向项目(批准号: KZCX3-SW-125)、国家自然科学基金(批准号: 40072033)的资助
第一作者简介 张正伟男, 1959 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床学研究。E-mail: zhangzwigcas@hotmail.com

区或矿化段都具有被后期热液蚀变作用叠加成矿作用的特点(王登红, 1998)。与此相比, 峨眉山 LIP 分布区已发现的大多数矿床以及与其有关的一些重要的成矿作用却发生在主喷发期以前的起始阶段(Cu-Ni-PGE 矿床和 Ti-V-Fe 矿床)和以后的结束阶段(Zn-Pb-Ag-Ge 矿床和 Cu-Co-S 矿床以及卡林型金矿)(黄智龙等, 2004; 张云湘等, 1988; Balykin et al., 2004; Glotov et al., 2001; Yao et al., 2001; 邹日等, 1997; 朱炳泉等, 2005; Zhu et al., 2006)。

在火山大规模喷发前这一阶段, 成矿以岩浆作用为主, 包括超大型的钒钛磁铁矿(攀枝花, 新街等, 263~258 Ma); 大量分布于中带和哀牢山—松达构造带(中国和越南)的 Cu-Ni-PGE 矿床(力马河, 朱布, 白马寨, Ban Mong, Ban Trang, Banfue 与 Hong Ngai 等), 锆石 U-Pb、Re-Os、Rb-Sr 年代测定在 257~270 Ma (Balykin et al., 2004; Glotov et al., 2001; Yao et al., 2001; 邹日等, 1997; 朱炳泉等, 2005; Zhu et al., 2006)。产于中越边境的哀牢山一带的超大型生矿—龙脖子铜矿(6.5 Mt)则以热液成矿为主, 地球化学资料表明成矿以钠交代为主热液作用有关, 锆石 U-Pb 与金云母-角闪石 K-Ar 测定的成矿年龄在 263~265 Ma, 竟然与攀枝花成矿年龄相当。这些分布范围很广的不同类型矿床显示出一致的成矿年龄, 这表明在峨眉山溢流玄武岩主喷发前存在着岩浆-热液作用, 其规模虽不强, 但分布范围广, 对成矿起重要作用(邹日等, 1997)。分布于德昌、米易、元谋一带的小型基性超基性 Cu-Ni-PGE 矿床, 岩体(群)受控于安宁河—绿汁江深大断裂带, 形成铜镍铂矿床的常为具分异特征或多期贯入的基性超基性杂岩, 而岩相单一者多为非含矿岩体; 橄榄石和辉石是含矿岩相的主要成分, 且蚀变强烈(蛇纹石化、次闪石化、滑石化)(Yao et al., 2001), 如会理核桃树、云南朱布矿床(张云湘等, 1988)。含钒钛磁铁矿的层状基性超基性杂岩(Zhou et al., 2005), 在北起冕宁南至攀枝花(长 300km, 宽 10~15km 范围)分布有岩体 30 余个, 占川滇岩带总数 16%。岩体规模多为 8~50km²。按岩石组合, 可分为以辉长岩为主和以超基性为主两大类, 构成我国著名的钒钛磁铁矿资源集中区。近年来对该类矿床进行铂族资源查定及评价, 发现 PGE 元素主要赋存于铁矿层及岩体的硫化物中, 一般富集于岩体下部或底部, 可构成单铂型或铜-铂型矿床。已经评价的云南安益, 规模达大型; 新评价的四川新街, 规模已超过大型。矿床特征可类似于南非布什维尔德杂岩型, 目前查证和评价工作尚在深入开展中(张云湘等, 1988)。

在峨眉山溢流玄武岩喷发的结束阶段, 出现了广泛的硅化作用, 在玄武岩的顶、底部形成了分布范围很广的硅-铁-锰-铝土矿建造。它具有很好的 Rb-Sr 流体混合等时线关系, 给出等时年龄为 253.6 Ma (Zhu et al., 2006) 表明是在玄武岩喷发结束后即发生的热液作用产物。近年来工作发现, 在滇东北峨眉山溢流玄武岩的顶部出现了广泛的自然铜矿化(鲁甸、茂林、会泽等地)。据笔者最近研究, 在二叠系峨眉山玄武岩组中蚀变凝灰岩上部覆盖的火山角砾岩, 被碳泥质、硅质组分胶结, 碳泥质层中有煤碳与硅化木出现。硅质岩应为非热水沉积硅质岩, 因此, 最后一次火山喷发可能晚于碳泥质岩的沉积, 进一步的热泉活动使凝灰岩发生阳起石化、绿帘石-绿泥石化(岩浆期后气液阶段自变质作用)。阳起石 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄 236~223 Ma (朱炳泉等, 2005), 标志着峨眉山玄武岩自大爆发以后有关的热液活动。另外, 在昭觉乌坡、切岩、甘洛色打等地发现有后期热液改造的铜矿床, 它们常出现于峨眉山玄武岩的上部, 数量不多, 规模不大。在四川甘洛吊红岩外围, 坪坝乡金台子—大榨地于峨眉山玄武岩底部与阳新灰岩接触新发现新山及金台子火山热液富铜矿, 矿带延长近 20km, 单矿体呈脉状、透镜状产出, 受断裂控制。矿石矿物以黝铜矿、砷黝铜矿, 黄铜矿为主, 少量黄铁矿及方铅矿、闪锌矿。铜品位 20% 左右, 最高 35%, 银 200~300 g/t。

在峨眉山溢流玄武岩的底部则是大规模的 Zn-Pb-Ag-Ge 矿化(会泽、乐马厂、落红、火德红等)(黄智龙等, 2004; Zhu et al., 2006)。据四川和云南范围初步统计, 发现矿产地多达 245 处, 其中大型矿床 5 处、中型矿床 13 处、小型矿床 25 处, 并构成我国西南重要的铅锌矿产资源富集区。成矿年龄范围(225~228 Ma, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd)和相一致的流体特征(黄智龙等, 2004; 朱炳泉等, 2005)。在四川甘洛地区玄武岩底部与围岩接触带, 新近发现了具有一定规模的大脉状黝铜矿型富铜富银矿床(吊红崖式)(张云湘等, 1988)。在玄武岩中下部或底板围岩中, 由于构造蚀变作用或褶皱层间虚脱, 形成构造热液型铜矿。如贵州威宁秀水乡彭家院子、团箐等铜矿化, 在沉积层顶部及中间局部夹层中, 充填孔雀石、蓝铜矿和黑铜矿等次生氧化矿物。矿石类型为分散粒状黑铜矿, 浸染状、疏松土状次生铜矿物(张正伟等, 2004)。在四川甘洛吊红崖矿点, 矿体呈脉状、透镜状、囊状, 矿石矿物以黝铜矿, 黄铜矿、黄铁矿为主并见少量方铅矿、闪锌矿。

2 讨论

与国内外研究相对较成熟的块状硫化矿床、斑岩型矿床、铜镍-PGE 硫化矿床等相比, 非常规火山成因矿床的形成作用与火山作用主期无关, 而是形成在火山岩浆大规模活动的前兆阶段或之后的热液作用阶段, 其热动力作用与岩浆喷发事件有密切的动因关系。矿床类型包括火山红层铜矿(玄武岩铜矿)、铁建造、角砾岩型铁矿、脉状-桶状多金属矿和卡林型金银矿

等 (Lefebure et al., 1998; Dallaset al., 2001; Kirkham, 1996)。

全球玄武岩铜矿已在美国、加拿大、智利、伊朗、欧洲、中国等不少地方发现, 但以自然铜为主要矿物的只在美国 Keweenaw (Cannon et al., 1999)、中国滇东北 (朱炳泉等, 2005; Zhu et al., 2006)、伊朗 (Darha et al., 2005) 等极少数地区, 而在火山角砾岩和杏仁玄武岩中发现硅质沥青的报导只在美国 Keweenaw、中国滇东北和瑞士 Mitov (Jehlicka J, et al., 2003), 而出现规模最大则在滇东北 (Naldrett et al., 1992; 朱炳泉等, 2005; Zhu et al., 2006; 张正伟等, 2004)。由于火山岩中沥青受到高温热液转化作用, 它们的成因与有机质的高温裂解的关系, 以及碳的聚合广泛受到关注, 特别是近来的瑞士 Mitov 玄武岩硅质沥青中具有玻璃结构碳-60 的发现 (含量达 0.3 ppm) (Jehlicka et al., 2003)。

关于峨眉山 LIP 与成矿作用的研究, 一般认为有 3 个系列, 即钼钛磁铁矿、Cu-Ni-PGE 和自然铜 (张正伟等, 2004; Song et al., 2003)。最近研究表明, 主喷发前存在的岩浆-热液作用形成的矿床年龄在 257~270 Ma 范围, 多数研究者把它们与地幔柱活动相联系 (邹日等, 1997; 朱炳泉等, 2005; Song et al., 2003), 或者认为与主喷发期起始阶段的热液活动有关。而结束阶段的成矿作用均发生在溢流玄武岩层的顶、底板介面或相邻地层, 大量的 Zn-Pb-Ag-Ge 和自然铜矿床成矿年龄范围 225~228 Ma (黄智龙等, 2004; Zhu et al., 2005), 表明存在一个统一的成矿作用事件, 作者认为这个成矿事件与峨眉山玄武岩喷发结束后阶段的建造-构造-流体活动有关 (朱炳泉等, 2005; 张正伟等, 2004), 黄智龙等 (2004) 把会泽超大型铅锌矿床的成因与峨眉山玄武岩相联系 (黄智龙等, 2004), 朱炳泉等发现顺层发育的自然铜、黑铜矿矿化现象 (Zhu et al., 2005), 成矿年代与区域内的铅锌矿床基本一致。

大量新的年代学资料表明, 峨眉山溢流玄武岩主喷发期出现在 258~253.7 Ma (Zhou, et al., 2002; Lo, et al., 2002; Fan et al., 2004; Zhou et al., 2005), 然而与其有关的一些重要的成矿作用却发生在主喷发期以前的起始阶段 (258~265 Ma) 和以后的结束阶段 (253.6~226 Ma) (黄智龙等, 2004; Balykin et al., 2004; Glotov et al., 2001; Yao et al., 2001; 邹日等, 1997; 朱炳泉等, 2005; Zhu et al., 2006)。随着火山岩的大规模喷发, 巨量的地幔物质注入地壳, 不仅带来丰富的矿源, 而且由之引起的区域性的热异常, 使四川含油层气化及煤系变质, 成为我国南方重要的天然气及优质煤产区。同时, 大范围峨眉山玄武岩喷溢及相伴的区域性地下热卤水活动, 又是川滇黔地区广泛分布的铅锌矿床和汞-铋-金矿床之活化迁移和重新富集的重要原因, 造成以峨眉山玄武岩分布区为中心, 向边缘依次出现的铅锌-汞-铋-金 (卡林型) 成矿分带 (Song et al., 2003)。

3 结 论

峨眉山 LIP 是在全球具有完整成矿系列 (包括岩浆与热液体系) 的少数火成岩省之一, 其形成时代与西伯利亚和印度的 Panjal 两个大火成岩省相近 (P/T 之交)。相对于后者, 峨眉山地幔柱区溢流玄武岩面积较小, 但却形成了丰富的矿产资源组合, 有铂钯矿、铜镍硫化物矿以及世界罕见的钼钛磁铁矿。峨眉山玄武岩大规模喷发阶段 (258~253.7 Ma) 的前、后两个阶段, 存在巨型的热液体系和成矿作用, 引起大规模且时间相对集中的成矿构造热事件。在火山岩分布区及其相邻地层内发生大规模的热液成矿作用, 形成川滇黔地区以峨眉山玄武岩分布区为中心, 向边缘依次出现的铜铅锌-汞-铋-金 (卡林型) 成矿分带。形成的矿床一般为目前研究程度很低的非常规火山成因矿床, 在全球 LIP 中具有典型性。峨眉山 LIP 是在全球具有完整成矿系列 (包括岩浆与热液体系) 的少数火成岩省之一, 因此加深对于非常规火山成因矿床的认识, 对于开拓找金属矿、找油新思路, 扩展 “既围绕火成岩活动又走出火成岩范围” 的非常规资源新视野均具有重要意义。

参 考 文 献

- 黄智龙, 陈 进, 韩润生, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿地球化学及成因—兼论峨眉山玄武岩与铅锌矿的关系. 北京: 地质出版社. 154 页.
- 王登红. 1998. 地幔柱及其成矿作用. 北京: 地震出版社.
- 张云湘, 罗耀南, 等. 1988. 攀西裂谷. 北京: 地质出版社.
- 张正伟, 朱炳泉, 张 乾, 等. 2004. 峨眉山玄武岩组铜矿化与层位关系研究[J]. 地球学报, 25(5): 503~508.
- 朱炳泉, 戴童漠, 胡耀国, 等. 2005. 滇东北峨眉山玄武岩中两阶段自然铜矿化的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 与 U-Th-Pb 年龄证据. 地球化学, 34(3): 235~247.
- 邹 日, 朱炳泉, 孙大中, 等. 1997. 红河成矿带壳幔演化与成矿作用的地质年代学研究. 地球化学, 26(2): 46~56.
- Balykin P A, Polyakov G V, Hanski E, et al. 2004. Late-Permian komatiite-basalt complex in the Song Da rift, northwestern Vietnam. J Geol. (Series B), 23: 52~64.
- Barley M E, Pickard A L and Sylvester P J. 1997. Emplacement of a large igneous province as a possible cause of banded iron formation 2.45 billion years.

- Nature, 385: 55~58.
- Campbell I H and Griffiths R W. 1990. Implications of plume structure for evolution of flood basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 99: 79~93.
- Cannon W F and Suzanne W N. 1999. Geology and mineral deposits of the Keweenaw Peninsula, Michigan. U. S. Geological Survey Open-File Report, 99~149.
- Dallas A and Ann I. 2001. Oceanic upwelling and mantle-plume activity: Paleomagnetic tests of ideas on the source of the Fe in early Precambrian iron formation. *Spec. Pap.* 352. Mantle plumes: their identification through time. 323~339.
- Ernst R E and Buchan K L. 2003. recognizing mantle plume in the geological record: *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* , 31: 469~523.
- Fan W, Wang Y, Peng T, et al. 2004. Ar-Ar and U-Pb geochronology of Late Paleozoic basalts in western Guangxi and its constraints on the eruption age of Emeishan basalt magmatism. *Chin. Sci. Bull.*, 49(21): 2318~2327.
- Glotov A I, Polyakov G V, Hoa T T, et al. 2001. The Ban Phuc Ni-Cu-PGE deposit related to the phanerozoic komatiite-basalt association in the Song Da rift, northwestern Vietnam. *Can. Mineralogist*, 39(2): 573~589.
- Jehlicka J, Svatov A, Frank O and Uhlik F. 2003. Evidence for fullerenes in solid bitumen from pillow lava of Proterozoic age from Mitov(Bohemian Massif), Czech Republic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67: 1495~1506.
- Kirkham R V. 1996. Volcanic redbed copper. In: Ecksrand O R, et al., ed. *Geology of Canadian Mineral Deposit types*. Geological Survey of Canada, 8: 241~252.
- Lefebure D V and Church B N. 1996. Volcanic redbed Cu. In: *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1-Metallic Deposits*, Lefebure D V, ed. British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File, 13: 5~7.
- Lefebure D V and Ray G E. 1998. Unconventional metal deposits in volcanic arcs. *Metallogeny of volcanic arcs*. B. C. Geological Survey, Open File, 1998-8.
- Lo C H, Chung S L, Lee T Y, et al. 2002. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian-Triassic boundary events. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 198: 449~458.
- Naldrett A J, Lightfoot P C, Fedorenko V, et al. 1992. Geology and geochemistry of intrusions and flood basalt of the Noril'sk region, USSR, with implications for the origin of the Ni-Cu ores. *Ecol. Geol.*, 87: 975~1004.
- Nezafati N et al. 2005. Darband copper occurrence: an example of Michigan-type native copper deposits in central Iran. In: Mao J and Bierlein F P ed. *Mineral deposit research*, vol. 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 165~166.
- Schissel D and Smail R. 2001. Deep-mantle plumes and ore deposits. In: Ernst R E and Buchan K L ed. *Mantle plume: Their identification through time*. GSA *Am. Spec. Pap.*, 352: 291~322.
- Song X Y, Zhou M F, Cao Z M, et al. 2003. Ni-Cu(PGE) magmatic sulfide deposits in the Yangliuping area, Permian Emeishan igneous province, SW China. *Mineralium Deposita*, 38: 831~843.
- Yao Y, Viljoen M J, Viljoen R P, et al. 2001. Geological characteristics of PGE-bearing layered intrusion in southwest Sichuan, China. *Econ. Geol. Research Unit Information Circular*, No. 358.
- Zhou M F, Malpas J, Song X Y, et al. 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 196: 113~122.
- Zhou M F, Robinson P T, Leshner C M, et al. 2005. Geochemistry, petrogenesis and metallogenesis of the panzhihua gabbroic layered intrusion and associated Fe-Ti-V oxide deposits, Sichuan Province, SW China. *J. Petrol.*, 46(11): 2253~2280.
- Zhu B Q, Hu Y G, Chang X Y, et al. 2005. The Emeishan large igneous province originated from magmatism of a primitive mantle plus subducted slab. *Russian Geol. Geophys.*, 46(9): 904~921.
- Zhu B Q, Hu Y G, Zhang Z W, et al. 2006. Geochemistry and geochronology of native copper mineralization related to the Emeishan flood basalts, Yunnan Province, China. *Ore Geol. Rev.*, (in press) .
- Zhu B Q, Hu Y G and Zhang Z W. 2005. Controls of magmatism and hydrothermal activities on mineralization in the Emeishan flood basalt province. In: Mao J and Bierlein F P, ed. *Mineral deposit Research*, vol. 1. Springer. 77~80.