

Meso-Proterozoic Marine Exhalative Mineralization in Qinhang Belt

—An Example from Xingyuanchong Copper Deposit in Wanzai, Jiangxi

Ting Liu, Chengdong Liu*, Zhaobin Yan, Yiping Chen

State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China Institute of Technology, Nanchang
Email: verating77@163.com, *chdliu@ecit.cn

Received: Jan. 21st, 2013; revised: Feb. 13th, 2013; accepted: Mar. 2nd, 2013

Copyright © 2013 Ting Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The Qinhang belt is located along the Qinhang Neoproterozoic suture in South China, which separates the Yangtze craton and Cathaysian Blocks. Deposits along the belt can be divided into two episodes, *i.e.* Neoproterozoic marine exhalative Cu-Zn deposits, and Yanshanian granitoids related W-Sn-Cu-Pb-Zn deposits. Xingyuanchong copper deposit in its northeast belongs to the former series, is a Mesoproterozoic marine exhalative meta-sedimentary copper deposit, closely related with metamorphic spilite and quartz porphyry in Yifengyan Formation in Jixianian, controlled by late ductile shear zones, and superimposed mineralized after metamorphosed hydrothermal fluids processes.

Keywords: Qinhang Belt; Meso-Proterozoic; Marine Exhalative Sedimentary Mineralization; Xingyuanchong

钦杭成矿带中新元古代海底火山喷流成矿作用

—以江西万载兴源冲铜矿床为例

刘 婷, 刘成东*, 严兆彬, 陈益平

东华理工大学省部共建核资源与环境国家重点实验室培育基地, 南昌
Email: verating77@163.com, *chdliu@ecit.cn

收稿日期: 2013 年 1 月 21 日; 修回日期: 2013 年 2 月 13 日; 录用日期: 2013 年 3 月 2 日

摘 要: 钦杭成矿带位于华南板内, 属扬子与华夏两个古陆块在晚元古代碰撞拼接带。该带及旁侧矿床按成矿系列可归纳为新元古代海底喷流沉积型铜锌矿床成矿系列和燕山期与花岗岩有关的钨锡铜铅锌多金属矿床成矿系列。该带北东端的兴源冲铜矿床为中元古代海底喷流沉积变质叠改型铜矿床, 其矿化与中元古界蓟县系富丰岩组变细碧岩、变角斑岩有密切关系, 受后期韧性剪切带控制, 经变质热液作用, 属多次叠加成矿。

关键词: 钦杭成矿带; 中新元古代; 海底喷流沉积成矿; 兴源冲

1. 引言

钦州 - 杭州成矿带(简称钦杭带), 位于华南地区, 大地构造上属于扬子与华夏两个古陆块在晚元古代碰撞拼接带。该成矿带大致自西南端的广西钦州湾、

经湘东和赣中延伸到东北端浙江杭州湾, 整体呈北东向反 S 状弧形展布, 全长近 2000 公里。该带及其旁侧是华南地区最为重要的 Cu-Au-Pb-Zn-Ag 多金属成矿带, 分布着一大批特大型铜金铅锌钼铀矿床^[1], 也有大批钨锡多金属矿床, 不仅有与元古代细碧角斑岩火山岩系密切相关海底喷流型铜锌矿床, 而且还有

*通讯作者。

与中生代中酸性和酸性花岗岩类有关的铜多金属矿床和钨锡多金属矿床。万载兴源冲铜矿床地处钦杭成矿带北东端,为北东东向宜丰-景德镇板缘深断裂带之大型推(滑)覆构造西段,九岭南缘大型推(滑)覆构造西段^[1-5],是近几年发现的具有较大潜力的铜多金属矿床。

2. 大地构造位置

钦杭成矿带中新元古代的扬子与华夏两个古板块及其间的华南洋于晋宁运动时期,发生洋壳消减、弧陆碰撞所形成的结合带,是一条 1500 公里以上的 Cu-Pb-Zn-Au 和 W-Sn-Mo-Bi 多金属成矿带。该带先后经历了多次开裂和四堡、晋宁、加里东三次碰撞对接造山运动,为华夏构造体系域的中轴,是华南构造活动的重要策源地和最强烈、最复杂的一条构造带,也是一条显著的岩石圈不连续带(图 1)^[1-3,6]。

3. 含矿地层建造和火山岩特征

3.1. 含矿地层建造

钦杭成矿带内中新元古代弧盆构造见于浙皖赣地区,其南西段为湘桂加里东造山带和钦州印支造山带所掩^[1]。所见的构造序列自北向南为:

1) 扬子板块

①江南弧后盆地晋宁期褶皱带:主要由新元古代

早期(825~850 Ma)的地层冷家溪群、双桥山群、溪口群组成,总体成层有序,为一套浅变质岩系,主要为灰绿色、灰黑色粉砂质板岩、凝灰质板岩与变凝灰砂岩等细碎屑岩互层,夹少量细碧岩、石英角斑岩等变质火山岩,推测发育于扬子早前寒武纪克拉通之上。

②万年岛弧晋宁褶皱带:其中部为新元古代早期成层有序的浅变质地层,含较多的海相火山岩,周边为构造混杂、岩片堆覆地层,与怀玉岛弧地体呈交错叠覆状态。

2) 晋宁期华南洋残迹:为准原地构造侵位的蛇绿混杂岩带,由于构造变位,分别出露于:皖南歙县伏川西村岩组(片),赣东北德兴-弋阳张村岩组(片),浏阳-宜丰:宜丰-南桥岩组(片)、涧溪冲岩组(片)、苍溪岩组(片)。这些蛇绿岩带,特别是镁铁、超镁铁质岩,形成了大大小小的岩块。大体上与蛇绿岩套的组成,即超镁铁质岩-镁铁质堆晶岩-基性岩墙-细碧岩-石英角斑岩、硅质岩、凝灰质泥砂质浊积岩相近。其大部因遭叠覆潜伏于两侧岛弧之下,出露的只是其一小部分。德兴西湾蛇绿岩中大洋斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 968 ± 23 Ma、伏川伟晶辉长岩 844 ± 11 Ma、英安质凝灰岩 837 ± 10 Ma。德兴西湾蓝片岩(K-Ar) 866 ± 14 Ma。时代为中元古代晚期至新元古代早期。

3) 华夏板块

①怀玉岛弧晋宁期褶皱带:诸暨平水岩组、弋阳铁砂街岩组、广丰田里岩组(白云母 $40 \text{ Ar}/39 \text{ Ar}$ 坪年龄 1019 ± 0.9 Ma, SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 1535 Ma)均为被消减的残留岩片,平水岩组为含铁铜细碧岩-石英角砾岩(913 ± 15 Ma、 950 ± 15 Ma),铁砂街岩组为含铜细碧岩-碳酸盐岩-石英角砾岩(1119.1 ± 6 Ma)。岛弧中部富阳双溪坞群上部章村组陆相火山岩(887 ± 18 Ma)。

②华南加里东造山带:泥盆系普遍呈不整合覆盖在下古生界及其他老地层的不同层位上。该运动形成的矿床主要产在加里东期构造变形带或变质带中,受深大断裂带及其分支构造所控制,成矿物质主要来自赋矿围岩。中元古界双桥山群、双溪坞群、上元古界板溪群、震旦系、寒武系、澄江期石英闪长岩及加里东期花岗岩斑岩均为赋矿围岩。产于隆起上的矿床赋矿围岩时代较老,均为元古宙变质细碎屑岩类;产于褶皱带中者其围岩除元古宙-寒武纪变质细碎屑岩外,还有火山岩、侵入岩及沉积岩,时代为元古宙-志留纪。

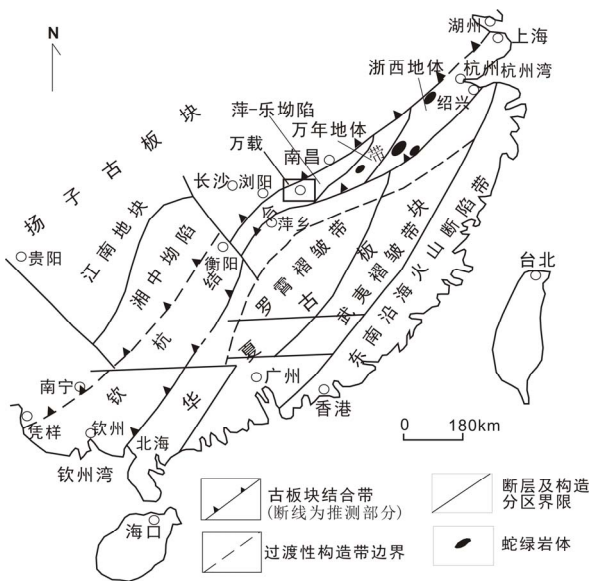


Figure 1. Tectonic locations of Qinhang belt and Xingyuanchong ore deposit^[1,2]
图 1. 钦杭成矿带及兴源冲铜矿床大地构造位置^[1,2]

3.2. 火山岩特征

海底火山喷流沉积成矿作用与火山岩有着密切的成生关系。该成矿带火山岩常常具有双峰式组合特征，即既有基性端元，又有酸性端元。典型矿床有西裘、铁砂街和罗城铜锌矿床，空间上与细碧岩、石英角斑岩、碳酸盐岩建造共存^[7-9]。铁砂街矿区基性端元或是酸性端元 Na:O 总是大于 K:O，充分显示了海相火山岩的富钠特征；矿区属于过铝质或偏铝质岩石系列。里特曼和戈蒂尼指数统计，61%的样本 $\delta = 3.3 \sim 9$ 属碱性系列，可以认为中元古代以发育碱性火山岩为特征；稀土元素地球化学特征均表明其火山岩很可能形成于岛弧环境。

兴源冲铜矿火山岩也具有双峰式组合特征，该中元古火山岩带位于九岭南缘大型推覆构造弧形突出部位，呈北东东向延伸，长达 70 km。兴源冲矿床的赋矿岩层宜丰组主要变质火山岩的数据显示，绝大部分落在中性岩区的很少，具典型双峰式火山岩分布特征。样品处于基性、中基性岩区和中酸、酸性岩区，而征。细碧岩和石英角斑岩这两类岩石的 δ 均小于 3.3，为

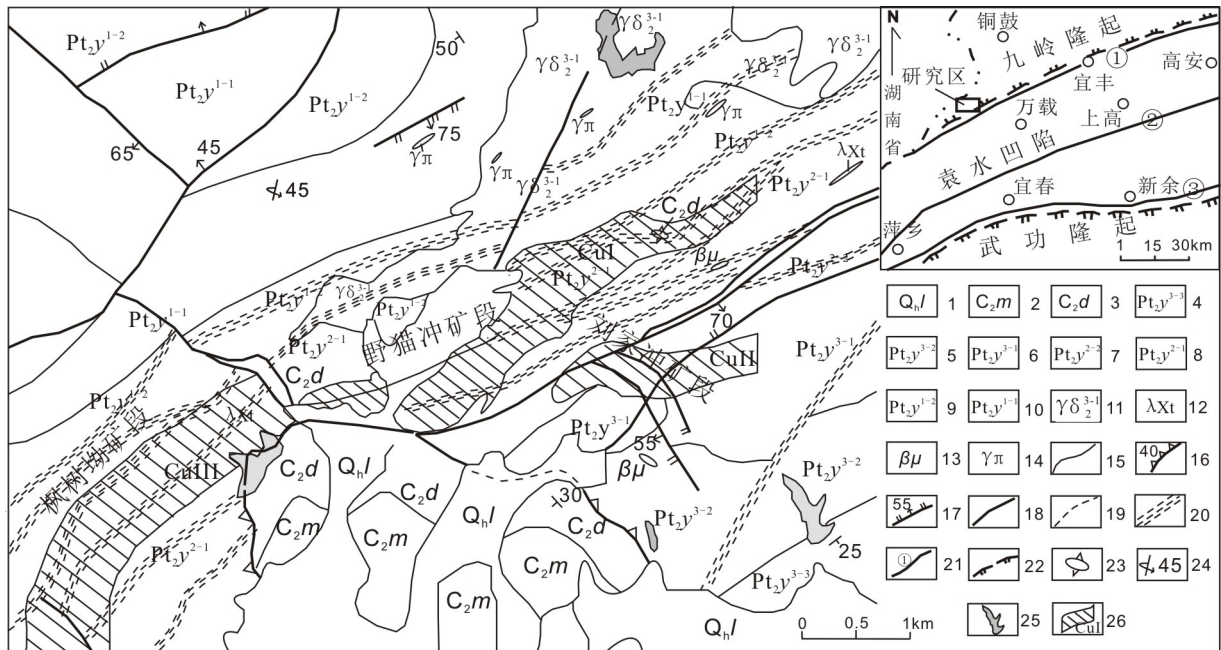
钙碱性岩石系列。该套岩石组合的各类岩石多数 Na_2O 大于 K_2O ，充分显示了海相火山岩的富钠特征，在 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 与 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 图解中大多落入岛弧火山岩区。

4. 矿床地质特征

矿体主要赋存在双峰式火山岩系的海相火山岩夹层中，多为层状、似层状、透镜状产出，受后期褶皱构造、推覆构造影响，矿层与地层发生同步褶皱，矿体多顺层分布于地层中^[10]。

兴源冲矿床的矿体呈脉状、似层状，多数顺层分布于宜丰岩组岩层中，受北东东向大型推(滑)覆构造带的明显控制^[11,12]。与矿化有关的岩浆岩主要是宜丰岩组变辉绿岩、石英角斑岩，形成时代为 $1038.3 \pm 27.5 \text{ Ma}$ ^[14](图 2)。

该矿床矿石矿物主要以黄铜矿、黄铁矿为主，次为闪锌矿、方铅矿、菱铁矿等，脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石、铁白云石等。黄铜矿多呈他形粒状，呈浸染状、细脉状充填于宜丰岩组地层中。区内蚀变较强烈，一般发育在片理化带或构造破碎带附近，与



1: 第四系全新统联圩组; 2: 上石炭统马平组; 3: 中石炭统大埔组; 4: 蓟县系宜丰岩组第三岩片上部; 5: 宜丰岩组第三岩片中部; 6: 宜丰岩组第三岩片下部; 7: 宜丰岩组第二岩片中部; 8: 宜丰岩组第二岩片下部; 9: 宜丰岩组第一岩片中部; 10: 宜丰岩组第一岩片上下部; 11: 晋宁晚期第一阶段: 细粒含斑黑云母花岗岩闪长岩; 12: 变石英角斑岩; 13: 辉长辉绿(玢)岩; 14: 花岗斑岩; 15: 地质界线; 16: 推覆断层; 17: 正断层; 18: 性质不明断层; 19: 推测断层; 20: 韧性剪切带; 21: 深、大断裂(①宜丰-景德镇 NE 向断裂、②蜡市-石岗 NE 向大断裂、③萍乡-广丰 NE 向深断裂); 22: 构造分区界限; 23: 构造窗; 24: 倒转地层产状; 25: 湖泊; 26: 铜矿化带。

Figure 2. Geological map of Xingyuanchong copper deposit^[12,13]
图 2. 兴源冲铜床地质图^[12,13]

黄铜矿化关系密切。

5. 成因信息探讨

杨明桂等(2002)^[15]认为中元古代晚期(蓟县纪)在钦杭带东段曾经历过多岛洋演化阶段,到青白口纪晚期华夏板块大规模扩张裂陷,基性-酸性火山广泛喷发,形成了与细碧岩、石英角斑岩、碳酸盐岩建造共存的西裘、铁砂街和罗城 Cu-Zn 矿床,且通过矿床产出环境和矿床本身的基本特点比较清楚地反映出这一成矿系列形成于大洋开裂和演化过程,他们是由海底喷流沉积成矿作用所形成的以火山岩为容岩的块状硫化物矿床^[3]。

兴源冲矿床流体包裹体均一温度在 75℃~440℃ 之间,变化较大。从均一温度直方图中可以看出包裹体均一温度可以分为两个峰值区间(图 3),分别主要集中在 120℃~190℃ 之间和 210℃~290℃ 之间,且有少数的包裹体温度已经超过 320℃;盐度变化范围在 1.74 wt%~22.58 wt% 之间,峰值出现在 6.0 wt%~16.0 wt% 之间,根据流体盐度与温度关系图可以看出盐度大致随温度的升高而升高(图 4);流体密度在 0.74 wt%~1.08 wt% 之间,且随着温度的升高而降低(图 5)。当均一温度在 110℃~190℃ 之间时,流体密度随着盐度的变化而变化,和温度关系不是很大;而均一温度集中在 210℃~290℃ 之间时,流体密度比中低温流体要小,但并没有因为温度或盐度的变化而变化,始终保持在 0.85 wt%~0.95 wt% 之间;温度大于 320℃ 的流体密度较小,在 0.74 wt%~0.75 wt% 之间。以上说明兴源冲矿床成矿流体具有多期次活动的特点,矿床至少受两期成矿流体的控制:一期为较高温、较高盐度、较低密度流体;一期为较低温、较低盐度、较高密度流体。成矿流体应该是以上两种或几种流体混合作用的结果。

兴源冲矿床矿石硫化物的 $\delta^{34}S_{V-CDT}$ 变化范围较窄,变化范围在 2.84~4.81 之间^[11],同幔源硫(0‰~3‰^[17])相近。而且从不同地质储库及矿床类型的硫化物硫同位素组成分布图(图 6)中可以看出,兴源冲矿床硫化物 $\delta^{34}S$ 值与典型火山沉积块状硫化物矿床 $\delta^{34}S$ 值 -0.5‰~6.1‰^[18] 最为接近,且与钦杭成矿带上相似矿床如铁砂街、永平、西裘、大宝山等块状硫化物矿床硫化物 $\delta^{34}S$ 值^[3,7,8,19] 及 Izu-Ogasawara 岛弧 $\delta^{34}S$ 值 2.7‰~5.8‰^[20] 也都十分相近,表明矿石中硫可能与海

底喷流作用以及后期的岩浆热液叠加改造作用有关。

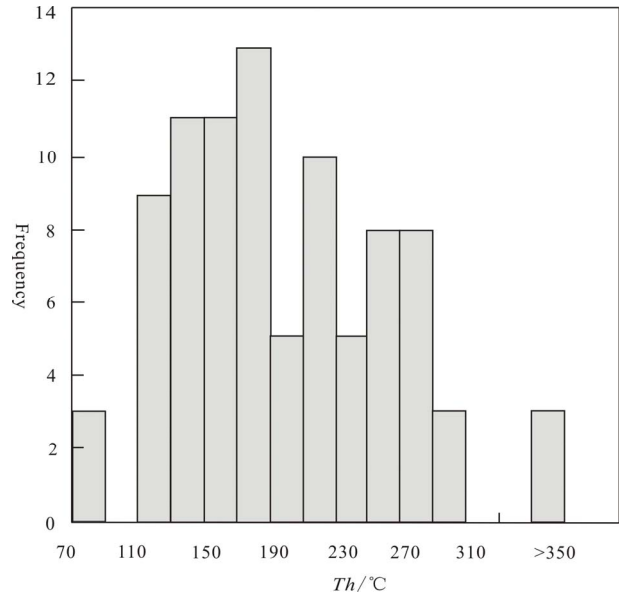


Figure 3. Histogram of homogenization temperature
图 3. 包裹体均一温度直方图

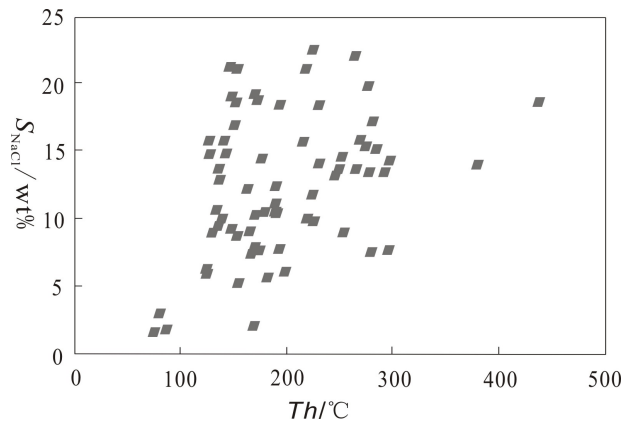


Figure 4. Diagram of homogenization-temperature-salinity
图 4. 包裹体均一温度-盐度图

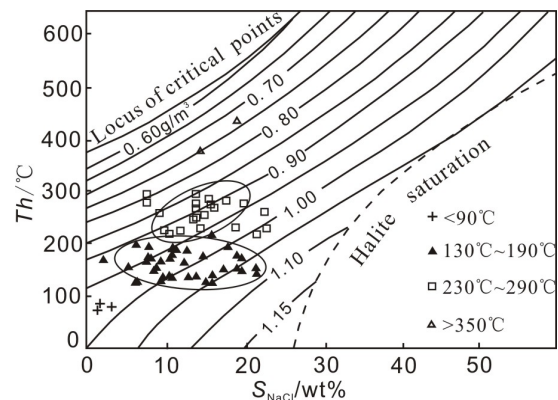


Figure 5. T-W-p phase diagram of NaCl-H₂O system^[16]
图 5. NaCl-H₂O 体系的 T-W-p 相图^[16]

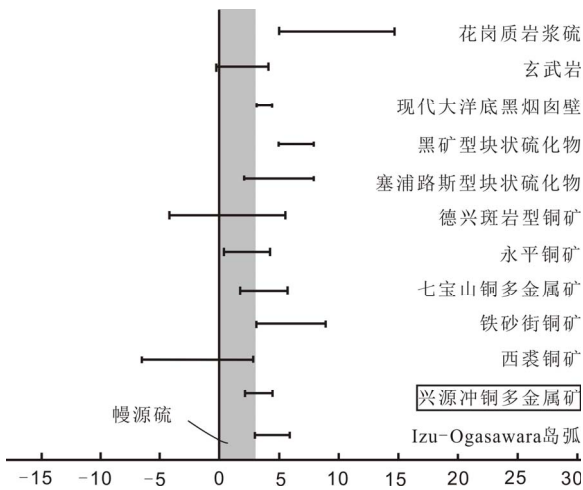


Figure 6. Sulfur isotopic compositions of different geologic reserves, different types of volcanic-hosted deposits and typical ore deposits in Qinhang metallogenic belts^[3,7,8,18-23]

图 6. 不同地质储库与火山有关矿床类型及钦杭成矿带典型矿床的硫化物硫同位素组成^[3,7,8,18-23]

6. 结论

综上所述，钦杭成矿带产于中新元古代火山岩系中的层状含铜硫化物矿层为海底喷流成矿作用的产物。在分析兴源冲矿床成矿地质特征的基础上，通过流体包裹体、硫同位素地球化学研究，得出该矿床为一典型海底喷流成矿作用产物，且经后期变质热液改造，属海底火山喷流沉积变质叠改型铜矿床。

参考文献 (References)

[1] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 唐维新, 毛素斌. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 528-543.

[2] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2329-2338.

[3] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 636-658.

[4] 丁少辉, 余忠珍, 罗小洪, 吴光明. 江西九岭南缘铜多金属矿

预测[J]. 资源调查与环境, 2004, 25(3): 178-183.

[5] 周宝直. 萍乐拗陷东段推构造特征及煤田预测[J]. 华东地质学院学报, 2000, 23(2): 134-140.

[6] 周永章, 曾长育, 李红中, 安燕飞, 梁锦, 吕文超, 杨志军, 何俊国, 沈文杰. 钦州湾-杭州湾构造结合带(南段)地质演化和找矿方向[J]. 地质通报, 2012, 31(2-3): 486-491.

[7] 徐跃通, 尚树川, 张邦花. 浙江西裘铜块状硫化物矿床火山-热泉沉积成矿的地质地球化学证据[J]. 地球化学, 2000, 29(1): 14-20.

[8] 贺菊瑞, 王爱国, 芮行健, 曾勇, 李春海. 江西弋阳铁砂街中元古代海底火山喷流成矿作用[J]. 资源调查与环境, 2008, 29(4): 261-269.

[9] 罗小洪, 余忠珍, 丁少辉, 林黎, 吴光明. 江西万载县罗城铜矿地质特征及找矿前景[J]. 华南地质与矿产, 2006, 1: 28-33.

[10] 贺菊瑞, 王爱国, 芮行健, 曾勇. 赣皖相邻地区中元古代海底火山喷流成矿作用[J]. 矿物学报, 2007, 27(增刊): 339-340.

[11] 楼法生, 吴旭铃, 凡秀君, 刘成东, 严兆彬, 陈益平, 徐磊. 江西万载县兴源冲铜矿成矿地质特征及矿床成因探讨[J]. 地质与勘探, 2012, 48(4): 704-712.

[12] 李均良, 陈振华, 蒋金明, 符海明. 江西省兴源冲铜矿区资源潜力评价[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2012, 35(1): 81-88.

[13] 钱国华. 赣西铜铅锌矿床类型、地质特征及找矿认识[J]. 矿产与地质, 2003, 17(增刊): 338-341.

[14] 江西省地质矿产厅. 江西省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 19-21.

[15] 杨明桂, 王发宁, 曾勇. 赣东北地区的成矿环境与成矿作用[J]. 资源调查与环境, 2002, 23(2): 122-129.

[16] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 172-240.

[17] H. Ohmoto, M. B. Goldhaber. Sulfur and carbon isotopes. In: H. L. Barnes, Eds., Geochemistry of hydrothermal ore deposits (3rd Edition), New York: Wiley, 1997: 517-611.

[18] D. J. Robinson, R. W. Hutchison. Evidence for a volcanogenic-exhalative origin of a massive nickel sulphide deposit at Redstone, Timmins, Ontario. Geological Association of Canada, 1982, 25: 211-254.

[19] 田金辉, 倪培, 范建国. 永平铜矿成矿流体特征研究[J]. 地质找矿论丛, 2001, 16(1): 24-27.

[20] K. Iizasa, R. S. Fiske, O. Ishizuka, M. Yuasa, J. Hashimoto, J. Ishibashi, J. Naka, Y. Horii, Y. Fujiwara, A. Imai and S. Koyama. A kuroko-type polymetallic sulfide deposit in a submarine silicic caldera. Science, 1999, 283(5404): 975-977.

[21] H. R. Rollison. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1993: 266-315.

[22] 刘志远. 赣东北乐华-德兴成矿带成矿环境与成矿作用[D]. 东北大学, 2005.

[23] 胡祥昭, 彭恩生, 孙振家. 湘东北七宝山铜多金属矿床地质特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(4): 365-370.