

绍兴平水铜矿地质特征及矿床成因研究进展

王琪栋*, 王旭东#, 徐丽燕

绍兴文理学院元培学院, 浙江 绍兴

收稿日期: 2022年6月5日; 录用日期: 2022年7月11日; 发布日期: 2022年7月19日

摘要

绍兴是浙江金属矿床成矿条件最为优越、金属种类发育最为全面、金属资源保有储量最大的地区, 根据区内规模最大的铜多金属矿床——平水铜矿的地质特征及最新研究成果, 系统地总结平水铜矿的成矿条件及成矿过程, 进而揭示区内多金属矿床的成矿作用及成矿规律, 以期对区内金属矿床的认识、勘查、研究起到指导作用。

关键词

地质特征, 研究进展, 矿床成因, 平水铜矿

Research Progress on Geological Characteristics and Genesis of Pingshui Copper Deposit in Shaoxing

Qidong Wang*, Xudong Wang#, Liyan Xu

Yuanpei College of Shaoxing University, Shaoxing Zhejiang

Received: Jun. 5th, 2022; accepted: Jul. 11th, 2022; published: Jul. 19th, 2022

Abstract

Shaoxing is an area with the most favorable metallogenic conditions, the most types of metal deposits produced and the largest reserve of metal resources in Zhejiang. According to the geological characteristics and the latest research results of Pingshui copper deposit, the largest copper polymetallic deposit in this area, the metallogenic conditions and metallogenic process of Pingshui

*第一作者。

#通讯作者。

copper deposit are systematically summarized, and the metallogenic process, the metallogenic law of polymetallic deposits in this area are revealed. It is expected to play a guiding role in the understanding, exploration and research of metal deposits in the area.

Keywords

Geological Characteristics, Research Progress, Genesis of the Deposit, Pingshui Copper Deposit

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自广西钦州湾经湘东和赣中向东北延伸到浙江杭州湾, 在长 2000 余公里, 宽 100~150 公里的带状区域内, 分布着一大批大型、特大型锡、钨、铜、金、铅、锌、钼矿床, 其中更是包含了世界上最大的钨锡成矿带[1], 被称为钦杭成矿带[2] [3] [4], 也称为十杭带[5] [6] (图 1)。著名的江(江山) - 绍(绍兴)断裂是此成矿带的东南界线。因成矿条件优越, 绍兴是浙江金属矿床(点)产出最多的地区, 浙江省最大的铜矿床和铁矿床, 平水铜矿和漓渚铁矿, 以及一系列的铜、金、银、钼矿床(点)均产于此。

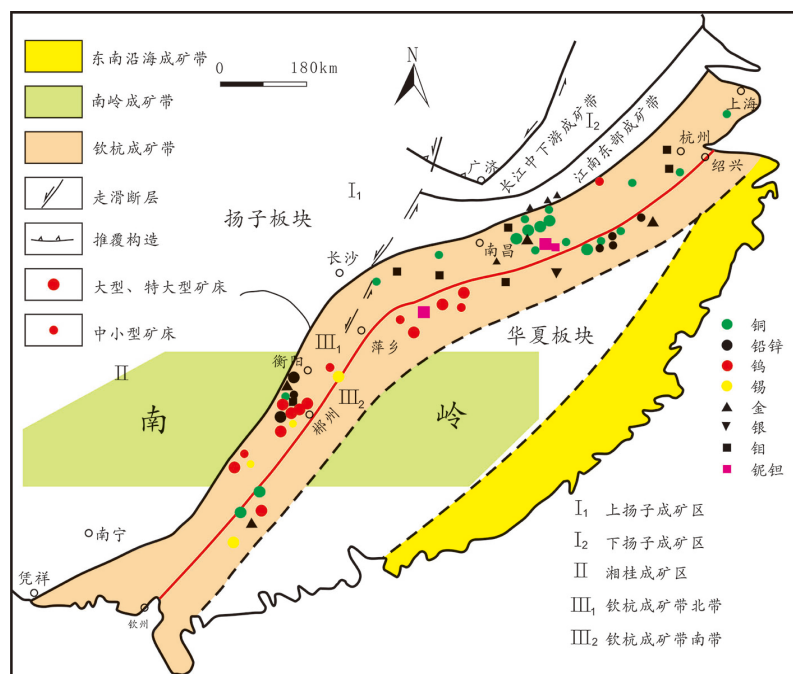


Figure 1. Sketch map of the distribution of endogenous metal deposits in the Qinhang metallogenic belt (Modified according to Yang Mingui *et al.* [4])

图 1. 钦杭成矿带内生金属矿床分布略图(据杨明桂[4]等修改)

平水铜矿在早期的研究中也称西裘铜矿, 位于绍兴市平水镇西裘村, 发现于 1958 年, 绍兴地质队于 1960 年对此矿床开展了普查工作, 1973 年徐克勤院士首次提出平水铜矿床为前寒武纪地槽型海底火山喷

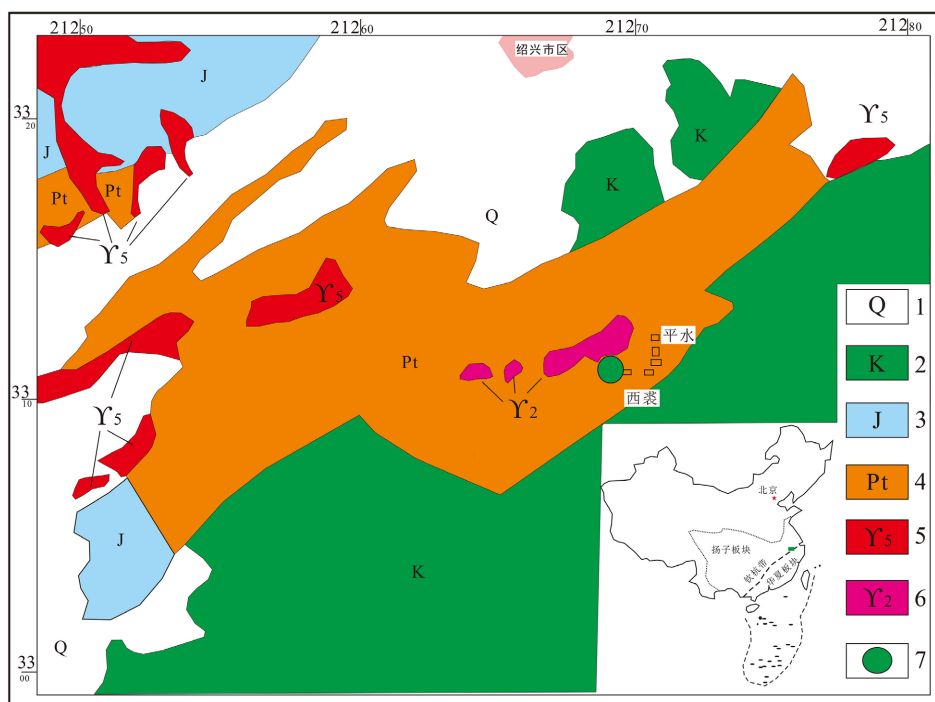
发沉积作用所形成的黄铁矿型铜矿[7]，并将平水(西裘)铜矿作为元古宙细碧角斑岩容矿块状硫化物矿床的典型代表[8]。其后，该矿床作为我国最具代表性的块状硫化物矿床之一，不断在成因研究、找矿勘查等领域取得新进展[9]-[23]。

根据矿床产出的地质特征，结合长期以来该矿床的研究成果以及最新的找矿进展，探讨平水铜矿的矿床的成矿背景、成矿条件以及成矿过程，对揭示区内成矿作用、区内矿床成矿规律以及进一步的找矿勘查工作，具有重要的指导意义。

2. 区域地质背景

平水铜矿大地构造位置上处于钦杭成矿带北东段，江(江山)-绍(绍兴)断裂带上。江绍断裂带是扬子板块与华夏板块的拼贴带，性质上属韧性深断裂，是中国南方最重要的构造带之一[24] [25]。江绍断裂带西北侧为钱塘江-信江拗陷带，此拗陷带自新元古代以来，经历了复杂的板块碰撞、后碰撞伸展作用，挤压与拉张背景交替，并伴有区域变质作用，是区内的成岩成矿作用发育的有利条件[26] [27]。

区内发育元古界、震旦系、侏罗系及白垩系地层。元古界包括细碧岩-角斑岩建造、安山岩-流纹岩建造、复理石建造以及陆相火山岩建造。震旦系为碎屑岩、碳酸盐岩建造。侏罗统自下而上分别为火山沉积岩系和河湖相沉积。白垩系以红层夹火山岩为特征(图2)。



1. 第四系; 2. 白垩系; 3. 侏罗系; 4. 元古界; 5. 燕山期花岗岩类; 6. 晋宁期花岗岩类; 7. 矿区

Figure 2. Geological sketch of Pingshui area (Modified according to Li Chunhai *et al.* [17])

图 2. 平水地区地质略图(据李春海等[17]修改)

浙江是地质历史时期我国火山作用极为活跃的地区，形成的岩浆岩，在时间上，分别集中于新元古代(晋宁期)和燕山期两个时期。在成因类型上，新元古代侵入岩属幔源型，燕山期侵入岩为同熔型或改造型[28]。其中新元古代的火山作用，以海相喷发为主并伴有金属矿床形成，平水铜矿的形成，就与本期次的火山作用具有密切的成因关系。

3. 矿床地质特征

矿区出露的主要地层为双溪坞群平水组，岩性为细碧角斑岩夹砂岩，分四个沉积旋回，铜矿产于第一旋回。此沉积旋回地层上部为细碧岩夹角斑质熔岩及鲕状灰岩，下部为重结晶角斑岩，底部含厚层的砾岩。韧性剪切构造产于铜矿体下盘，剪切构造内发育糜棱岩及糜棱岩化岩石。脆性断裂具有多期活动特点，走向为北东向、北西向、北北东向和东西向，其中北东向断裂规模最大并与矿体空间关系密切，其他产状断裂属成矿后构造且规模较小，对矿体起着不同程度的破坏作用。矿区产出的深成岩为灰绿色、灰白色的石英闪长岩，暗灰绿色的蚀变斑状花岗岩以及蚀变花岗岩，蚀变斑状花岗岩片理化作用强烈，蚀变花岗岩绿泥石化蚀变极为发育。产出的浅成岩为灰绿色、斑状结构的花岗斑岩。此外，矿区内还发育有灰绿色-暗黄绿色闪长岩脉、绿色闪斜煌斑岩脉，灰白略带黄色的霏细岩脉，灰白色石英斑岩脉等中基性、酸性岩脉。

平水铜矿床由 19 个铜矿体及 1 个硫矿体组成，累计探明铜、锌资源储量各 20 万吨，硫资源储量 280 万余吨，并伴生金、银等贵金属，矿床达中型规模。其中 1 号铜矿体规模最大，4 号矿体次之，其余铜矿体规模均较小。1 号矿体赋矿地层为细碧角斑岩岩系内，矿体长 1000 余米，矿体厚 0.21~47.95 m，平均厚 8.8 m，倾斜延伸 750 m 以上，北东走向，倾向南东，倾角上陡下缓，在 65°~85°之间[13]。矿体铜品位 0.6%~1.95%，平均 0.98%。四号铜矿体产于一号铜矿体下侧 3~15 m 处。在危机矿山项目实施过程中，在铜矿体的下盘揭露了两条金矿体，一条真厚度 5.43 米，金平均品位大于 5 ppm，一条真厚度 3.13 米，金平均品位大于 2 ppm，矿体受韧性剪切带控制[22]，不同矿体间产出关系见图 3。

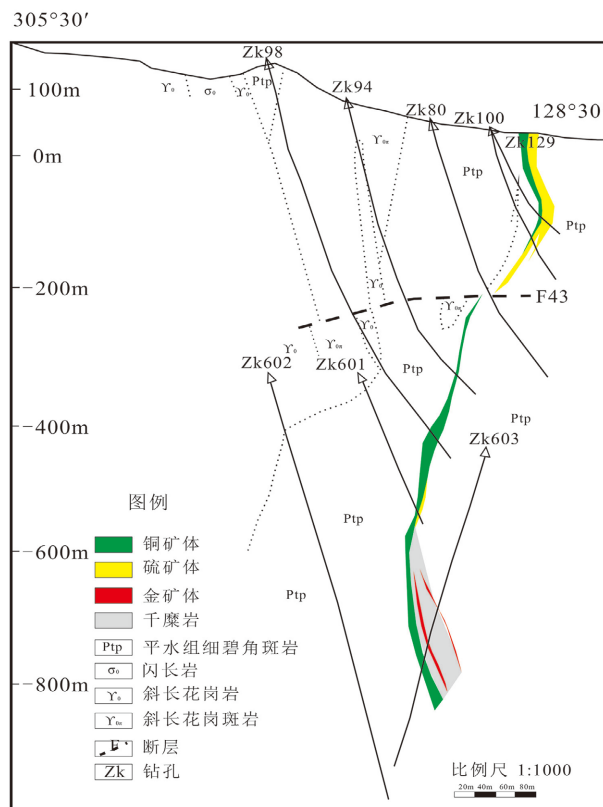


Figure 3. Sectional view of No. 6 exploration line of Pingshui copper-gold polymetallic deposit (Modified according to Chen Hui [19])
 图 3. 平水铜金多金属矿床 6 号勘探线剖面图(据陈辉[19]修改)

平水矿床的铜金多金属矿化可以划分两个期次：与火山作用有关的铜成矿期和与韧性剪切作用有关的金成矿期。铜矿体矿化可以划分四个矿化阶段：1) 微细粒石英 - 微细粒黄铁矿 - 绿泥石矿化阶段，2) 细粒石英 - 黄铁矿矿化阶段，3) 石英 - 黄铁矿 - 黄铜矿 - 闪锌矿矿化阶段，4) 石英 - 黄铁矿 - 方解石 - 重晶石矿化阶段，其中第(3)矿化阶段最具工业意义，是主要矿化阶段[15]。

铜矿体中金属矿物主要为黄铁矿，其次为黄铜矿，另有少量闪锌矿、磁铁矿等；非金属矿物主要为石英、绢云母，其次还有重晶石、方解石、绿泥石、白云石、铁碧玉等。矿石呈块状、条带状、细脉浸染状、浸染状构造，矿石结构为晶粒结构、压碎结构、揉皱结构、胶状结构等。金矿石金属矿物为自然金、黄铁矿，脉石矿物为石英、绢云母、绿泥石等。矿区内蚀变作用与围岩相关，细碧岩发育青磐岩化，角斑岩发育绢云母化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化。细碧岩和角斑岩中均有发育有钠长石化。

4. 金矿体成因研究进展

4.1. 新的金矿体的发现

韧性剪切带与金矿化关系密切，韧性剪切带型金矿是金矿床的重要类型，也有学者将此类型金矿归类为造山型金矿[29]。江山 - 绍兴断裂带内，已发现与韧性剪切带相关的小型金矿床、矿点、矿化点 60 余处，金矿床的成矿时间大多在加里东期[30]。前人研究表明，双溪坞群地层中金元素富集现象明显[31] [32] [33]，可能是金矿床形成的重要矿源层。对平水铜矿体中块状矿石和条带状矿石金属元素含量分析结果显示，铜矿石中的金的品位，远高于地壳丰度值。在平水组火山岩内韧性剪切发育强烈地段，广泛发育片理化和糜棱岩，在糜棱岩带发育的石英脉中，已发现有不同程度金矿化。矿区内韧性剪切强烈地段也出现糜棱岩及糜棱岩化岩石。以上均是剪切带型/造山型金矿床的产出的有利条件。在危机矿山项目实施过程中，在铜矿体的下盘糜棱岩化发育部位揭露了两条金矿体[13]，说明韧性剪切作用与金矿化之间具有密切成因联系，也充分表明了矿床成因模式的建立对找矿工作具有的重要指导作用。

4.2. 金矿体的成矿机制

研究表明，平水铜矿金矿体 Rb-Sr 等时线年龄为 $450 \pm 21 \text{ Ma}$ [19]，结合江绍断裂带内其它金矿床的成矿时代[29]，表明早古生代是江绍断裂带内金矿床形成的时间，金矿化与区内同期陆内造山运动有着密切的联系。同时，不仅双溪坞群地层，还是先成的喷流沉积成因的铜矿体，金元素的含量都远超地壳丰度值，都是金成矿作用的动力条件和物质基础。

对金矿体的流体包裹体研究表明，成矿流体为中等温度、低盐度、富含 CO_2 的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl} \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$ 的流体体系，并且，成矿流体在主成矿期发生了流体不混溶作用[19]。流体在演化过程中经历了不混溶作用并由此导致了金的沉淀和金矿体的形成，均与典型造山型金矿的成矿流体特征类似[34] [35] [36]。结合金矿体产出的地质特征，平水铜矿金矿体的形成机理与造山型金矿是一致的。

5. 铜矿体研究进展

5.1. 铜矿体的成岩成矿年代学研究

如前文所述，相对于金矿体，针对铜矿床研究始于 70 年代。开展的研究表明，火山成因块状硫化物矿床与同时代的火山作用密切相关[37]，平水铜矿体的硫、铅同位素指示矿体与赋矿围岩具有密切的成因联系[19]。因此，细碧角斑岩的年龄即为成矿年龄，平水铜矿赋存于平水组细碧角斑岩中，单颗粒锆石 U-Pb 定年法获取细碧岩的结晶年龄为 $952 \pm 5 \text{ Ma}$ ，角斑岩的结晶年龄为 $954 \pm 8 \text{ Ma}$ [21] [23]。块状矿体下部发育的含硫化物石英脉中锆石年龄为 $899 \pm 21 \text{ Ma}$ [17]，显示部分矿体的形成或略晚于赋矿围岩。

徐克勤等指出西裘石英闪长岩是幔源岩浆来源，为细碧角斑岩的同期晚阶段的产物[28]。全岩地球化

学、Sr-Nd-Hf 同位素等分析显示, 细碧角斑岩属于双峰式火山岩系列, 是来源于亏损地幔的玄武质岩浆在上升过程中发生结晶分异后的产物, 形成背景为岛弧环境[19]。

5.2. 铜矿体的成矿流体研究

对平水铜矿体流体包裹体开展的研究结果显示, 成矿流体为中-低温度, 中-低盐度的 $H_2O-NaCl$ 体系, 流体在演化过程中没有发生沸腾作用。成矿流体盐度的峰值为 3.5 wt% NaCl eqv, 与现代海水相近, 表明平水铜矿体相关的成矿流体主要是古海水[18], 其成矿流体特征以及流体来源与典型火山成因块状硫化物矿床是一致的。平水铜矿矿石矿物的 S、Pb 同位素特征表明平水铜矿体中 S、Pb 同位素均来自于平水组火山岩, 结合该矿床的矿物分带现象, 矿床在成因类型上为典型的火山成因块状硫化物矿床[38] [39]。

6. 平水铜多金属矿床的成矿过程

根据平水铜多金属矿床中铜、金矿体的产出特征, 结合已取得的研究成果, 平水铜多金属矿体可能的成矿过程如下: 新元古代早期(距今 950 百万年左右), 地幔楔的部分熔融产生含金属元素的岩浆, 火山喷发作用下, 含金属元素的岩浆形成平水组细碧角斑岩。其后古海水沿着破火山口作用形成的裂隙下渗、循环、溶解金属元素, 形成含矿流体, 在条件适合时, 含矿流体溢出成矿, 形成铜矿体。加里东期(距今 450 百万年左右), 受广西运动的影响, 华南大陆发生大范围的褶皱变形及韧性剪切作用, 平水地区老地层中及先成铜矿体中 Cu、Au 元素活化, 经历迁移、富集作用, 形成造山型金矿体。

7. 结论

- 1) 平水铜多金属矿床的成矿作用分为明显的两个期次, 分别与海底喷流作用与韧性剪切作用相对应, 海底喷流作用形成块状硫化物型铜矿体, 韧性剪切作用形成造山型金矿体。
- 2) 平水铜多金属矿床中金矿体的发现就表明, 通过系统的矿床学研究, 揭示矿床成矿背景、成矿条件、成矿过程, 进而建立完善的成矿模型, 对指导找矿勘查具有重要意义。

致 谢

审稿专家对论文的初稿提出重要的修改意见, 在此表示诚挚的感谢!

参考文献

- [1] 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.
- [2] 杨明桂, 梅勇文. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, 1997(3): 52-59.
- [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] 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.
- [5] Gilder, S.A., Gill, J., Coe, R.S., Zhao, X., Liu, Z. and Wang, G. (1996) Isotopic and Paleomagnetic Constraints on the Mesozoic Tectonic Evolution of South China. *Journal of Geophysical Research*, **101**, 16137-16154. <https://doi.org/10.1029/96JB00662>
- [6] 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 戴宝章. 十杭带湘南-桂北段中生代 A 型花岗岩带成岩成矿特征及成因讨论[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 496-509.
- [7] 徐克勤. 地质科学与矿床学[J]. 世界科学, 1982(6): 1-4.
- [8] 徐克勤, 朱金初. 我国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)热液叠加类铁铜矿床成因的探讨[J]. 福建地质科技情报, 1978(4): 1-68.

- [9] 徐旃章, 王道永. 试论浙江西裘铜矿控矿构造条件的基本特征[J]. 成都地质学院学报, 1979(4): 4-13+96.
- [10] 王执均, 赵筱福. 西裘铜矿矿床特征及其成因探讨[J]. 地质与勘探, 1980(2): 19-25.
- [11] 杨济民, 余国强. 西裘铜矿勘查模式的初步研究[J]. 地质与勘探, 1990(10): 44-51.
- [12] 黄有年. 浙江绍兴西裘铜矿床成矿模式探讨[J]. 浙江国土资源, 1992(1): 59-68.
- [13] 黄有年. 浙江西裘含铜块状硫化物矿床特征及成矿模式[J]. 地质找矿论丛, 1992, 7(3): 22-34.
- [14] 徐克勤, 王鹤年, 周建平, 朱金初. 论华南喷流-沉积块状硫化物矿床[J]. 高校地质学报, 1996, 2(3): 241-256.
- [15] 李春海. 平水铜矿地质特征、成矿时代和成矿模式[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2008
- [16] 王国武. 对江山-绍兴断裂带东段韧性剪切带金矿深部找矿的认识[J]. 浙江国土资源, 2009(7): 34-37.
- [17] 李春海, 邢光福, 姜耀辉, 董永观, 俞锡明, 陈志洪, 姜杨, 陈荣. 浙江平水铜矿含硫化物石英脉铅石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 477-487.
- [18] 陈辉, 倪培, 刘家润, 闫金宝, 余锡明, 祝关水. 浙江省绍兴市平水铜矿流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(5): 1352-1360.
- [19] 陈辉. 钦杭成矿带北东段浙西北地区铜(金)成矿作用[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2014.
- [20] 陈辉, 倪培, 陈仁义, 吕志成, 庞振山, 耿林. 钦杭带北东段平水铜矿找矿预测新探索[J]. 矿物学报, 2015(S1): 1-2.
- [21] 陈辉, 吕志成, 庞振山, 薛建玲, 姚磊, 甄世民, 陶文. 浙江平水铜矿细碧角斑岩铅石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2016, 62(z1): 93-94.
- [22] 陈辉, 倪培, 陈仁义, 吕志成, 耿林, 张志辉, 贾儒雅. 浙江省绍兴市平水金矿体流体包裹体研究与矿床成因[J]. 地质论评, 2016, 62(z1): 95-96.
- [23] 陈辉, 倪培, 陈仁义, 吕志成, 庞振山, 王国光, 袁慧香. 浙西北平水铜矿细碧角斑岩成岩年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 410-418.
- [24] 浙江省地质矿产局. 1989. 浙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1-688.
- [25] 竺国强, 张福祥, 杨树锋, 陈汉林, 姜继双, 陈梓军, 程晓敢. 江山-绍兴碰撞带构造演化与变形特征[J]. 浙江大学学报: 自然科学版, 1997, 31(6): 35-38+40-42.
- [26] 朱平, 王乃雨. 绍兴-江山对接带石英闪长岩金矿带矿化规律独特性[J]. 浙江国土资源, 1994(2): 33-44.
- [27] 李景运, 马生明, 席明杰, 陈宏强. 浙江江山-绍兴断裂带陈蔡群微量元素地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 现代地质, 2016, 30(3): 493-502.
- [28] 徐克勤, 朱金初, 刘昌实, 沈渭洲, 徐士进. 华南花岗岩类的成因系列和物质来源[J]. 南京大学学报(地球科学), 1989(3): 1-18.
- [29] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1181-1196.
- [30] 陈好寿, 徐步台. 浙江主要金银(铅, 锌)矿床同位素地球化学研究[J]. 地球学报: 中国地质科学院院报, 1997, 18(A00): 179-180.
- [31] 刘英俊, 孙承轅, 沙鹏. 浙江绍兴-龙泉隆起带中金矿床的成矿地球化学研究[J]. 地球化学, 1987(1): 10-21.
- [32] 刘英俊, 孙承轅, 沙鹏. 浙江绍兴-龙泉隆起带中金矿床的原生及次生地球化学异常研究[J]. 物探与化探, 1986(3): 171-182.
- [33] 周乐尧, 郑人来, 韩梦合, 吴明涵. 绍兴-诸暨双溪坞群含金分析[J]. 地质论评, 1991, 37(2): 179-185.
- [34] Guha, J., Lu, H.Z., Dube, B., Robert, F. and Gagnon, M. (1991) Fluid Characteristics of Vein and Alterd Wall Rock in Archean Mesothermal Gold Deposits. *Economic Geology*, **86**, 667-684. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.86.3.667>
- [35] Fedorowich, J.S., Stauffer, M.R., Kerrich, R. (1991) Structural Setting and Fluid Characteristics of the Proterozoic Tartan Lake Gold Deposit, Trans-Hudson Orogen, Northern Manitoba. *Economic Geology*, **86**, 1434-1467. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.86.7.1434>
- [36] Goldfarb, R., Phillips, G. and Nokleberg, W. (1998) Tectonic Setting of Synorogenic Gold Deposits of the Pacific Rim. *Ore Geology Reviews*, **13**, 185-218. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00018-8)
- [37] Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R. and Galley, A.G. (2005) Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richards, J.P., Eds, *Economic Geology: One Hundredth Anniversary Volume 1905-2005*, Society of Economic Geologists, Littleton, 523-560. <https://doi.org/10.5382/AV100.17>
- [38] Lydon, J.W. (1984) Ore Deposit Models-8 Volcanogenic Massive Sulphide Deposits Part I: A Descriptive Model.

Geoscience Canada, **11**, 195-202.

- [39] Lydon, J.W. (1988) Ore Deposit Models#14 Volcanogenic Massive Sulphide Deposits Part II: Genetic Models. *Geoscience Canada*, **15**, 43-66.