

# 华南中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌多金属矿床时空分布及其岩浆源区特征\*

李晓峰<sup>1</sup> 胡瑞忠<sup>1</sup> 华仁民<sup>2</sup> 马东升<sup>2</sup> 武丽艳<sup>1</sup> 齐有强<sup>1</sup> 彭建堂<sup>1</sup>

LI XiaoFeng<sup>1</sup>, HU RuiZhong<sup>1</sup>, HUA RenMin<sup>2</sup>, MA DongSheng<sup>2</sup>, WU LiYan<sup>1</sup>, QI YouQiang<sup>2</sup> and PENG JianTang<sup>1</sup>

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

2. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,南京大学地球科学与工程学院,南京 210093

1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2. State Key Laboratory of Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2013-08-20 收稿, 2013-11-14 改回.

Li XF, Hu RZ, Hua RM, Ma DS, Wu LY, Qi YQ and Peng JT. 2013. The Mesozoic syntexis type granite-related Cu-Pb-Zn mineralization in South China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4037-4050

**Abstract** Granites and related mineralization have been an important scientific issue of economic geologists. In the past a few decades, much progress have been made on the research of granitoid series and related metal commodities. It hosts a huge Mesozoic magmatic province containing abundant W-Sn-Mo-Cu-Pb-Zn mineralization in South China, but the scale of Cu-Pb-Zn deposits is relatively smaller than that of W-Sn deposits. Based on the review on classification and metallogenic specialization of granites, the paper discusses spatial and temporal distribution of Mesozoic syntexis type granite-related Cu-Pb-Zn mineralization in South China, the characteristics of syntexis type granite, magma source, and its relationship to re-melting of the ancient crustal materials. This paper argues that the source magma of syntexis type granite is closely associated with Cu-Pb-Zn mineralization. The size of ore, such as, the scale of copper is associated with the proportions of mantle contribution, but the lead-zinc mineralization is primarily related to the contribution of crustal materials. There is also difference of mantle contributed to the copper mineralization in the different ore-concentrating district. The paper concludes that the Mesozoic syntexis type granite is characteristics of transition type granites between typical porphyry copper deposit-related and W-Sn deposit-related, the Cu-Pb-Zn mineralization was resulted from the re-working of ancient crustal materials, in South China.

**Key words** Syntexis type granite; Cu-Pb-Zn deposits; Magma source; Size of ore deposits; Re-working of ancient crust materials; South China

**摘要** 花岗岩及其成矿作用一直是地质学家关注的重要科学问题。本文在回顾花岗岩分类及其成矿专属性研究的基础上,以华南同熔型花岗岩为例,探讨了华南地区与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床的特点、时空格架及其分布规律,研究了与成矿有关的同熔型花岗岩的特点、源区属性及其与华南古老地壳的关系。本文认为华南地区与同熔型花岗岩有关的铜铅锌成矿作用是壳幔相互作用的结果,且这些同熔型花岗岩具有过渡类型的特征。岩浆源区属性与成矿类型、成矿规模的关系存在着某种制约联系,该类矿床的形成是不同时期华南地区古老地壳改造的结果。

**关键词** 同熔型花岗岩; 铜铅锌矿床; 岩浆源区; 成矿规模; 古老地壳改造; 华南

中图法分类号 P588.121; P611

在地质文献中,华南地区一般指的是华夏地块及其邻区,主要包括华夏地块全部和扬子地块东部的江南造山带(如赣东北地区)。它是我国重要的有色、稀有、稀土和贵金

属矿产资源集聚地,并以发育大量多时代、多旋回花岗岩类和独特的中生代铜钨锡铋钼铍等大规模成矿作用而闻名于世。华南不同时代花岗岩不仅在空间分布上具有明显的

\* 本文受国家基础研究重点规划项目(2012CB416705)、国家自然科学基金项目(41272112)和中国科学院“百人计划”项目联合资助。

第一作者简介: 李晓峰,男,1971年生,博士,研究员,博士生导师,主要从事矿床地质-地球化学研究工作, E-mail: x-f-li@hotmail.com

规律性,而且其源区特征与区域内出露的基底变质岩的时代与成分密切相关(朱金初等,1990;沈渭洲等,1998,1999; Zhou *et al.*, 2006)。其基底主要由古元古代和中-新元古代变质岩组成,其中华夏地块基底主要由古元古代八都群、麻源群和中元古代陈蔡群、马面山群组成,扬子地块基底主要为古元古代星子群和中-新元古代双桥山群、冷家溪群、板溪群和上溪群(沈渭洲等,1999)。华南地区经历了不同时代多期次的构造-岩浆-成矿作用及地壳演化。自20世纪以来,华南花岗岩及其成矿作用的研究成果硕果累累(中国科学院地球化学研究所,1979;南京大学地质学系,1981;徐克勤和涂光炽,1984;陈毓川和王登红,2012;地矿部南岭项目花岗岩专题组,1989;华仁民和毛景文,1999;华仁民等,2003,

2005,2010;裴荣富等,1999,2008;周新民,2003;舒良树,2012)。其中,在花岗岩成矿专属性研究方面取得了长足的进展,如:华南地区W、Sn、Mo、Bi、Nb、Ta、Be、U主要与“改造型”花岗岩有关,而Cu、Pb、Zn、Au、Ag主要与“同熔型”花岗岩有关(南京大学地质学系,1981;徐克勤等,1982,1983)。

本文在前人工作的基础上,研究了华南地区与中生代同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床成矿作用的类型、特点及其时空分布规律,探讨了岩浆源区属性以及深部物质对成矿作用的贡献,认为华南中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床成矿作用是壳幔相互作用的结果,其中中-新元古代古老地壳对成矿起着重要的作用。

表1 华南地区典型Cu-Mo-W-Sn矿床及其有关的花岗质岩体的成岩成矿年龄

Table 1 A summary of radiometric ages for the granites and related copper, molybdenite, tungsten and tin deposits in South China

序号	矿床名称	矿床类型	侵入体 岩石类型	与成矿作用有关侵入体年龄			成矿年龄			参考文献
				分析对象	分析方法	年龄(Ma)	分析对象	分析方法	年龄(Ma)	
1	德兴铜厂	Cu-Au-Mo	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	170.6 ± 1.8	辉钼矿	Re-Os	170.4 ± 1.8	王强等,2006; 陆建军,2005; Li <i>et al.</i> ,2007b
2	德兴朱砂红	Cu-Au-Mo	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	171.3 ± 1.7	辉钼矿	Re-Os	169.4 ± 1.8	Wang <i>et al.</i> ,2013
3	德兴富家坞	Cu-Au-Mo	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	172.0 ± 2.1	金红石 辉钼矿	U-Pb Re-Os	165.0 ± 1.1 172.3 ± 2.3	Li <i>et al.</i> ,2013
4	银山	Cu-Au	英安斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	181.0 ± 3.0	白云母	Ar-Ar	178.18 ± 1.4	李晓峰等,2006, 2007a
5	桐村	Mo-Cu	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP U-Pb	167.6 ± 2.5	辉钼矿	Re-Os	162.2 ± 1.3	陈帅七等,2011; 张世铭等,2013
6	村前	Cu-Pb-Zn	斜长花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	169.3 ± 1.1Ma				王强等,2012
7	永平	Cu-W-Mo	石英斑岩	锆石	SHRIMP U-Pb	162.1 ± 1.4	辉钼矿	Re-Os	156.7 ± 2.8, 155.7 ± 3.6	Li <i>et al.</i> ,2013
8	紫金山	Cu-Au-Mo	花岗闪长斑岩	黑云母 锆石	Ar-Ar LA-ICP-MS U-Pb	104.5 ± 1.7 107.8 ± 1.2	绢云母 冰长石 辉钼矿	Ar-Ar Ar-Ar Re-Os	102.5 ± 1.5 93.5 ± 2.8 104.9 ± 1.6	张德全等,2005 梁清玲等,2010
9	铜山岭	Cu-多金属	花岗闪长斑岩	锆石	U-Pb	178.9 ± 1.7 181.5 ± 8.8				王岳军等,2001
10	湖南宝山	Cu-Mo-W	花岗闪长斑岩	锆石	U-Pb	173.3 ± 1.9	黄铁矿	Pb-Pb	174.0 ± 7.0	王岳军等,2001 姚军明等,2006
11	水口山	Cu-多金属	花岗闪长斑岩	锆石	U-Pb	172.3 ± 1.6				王岳军等,2001
12	黄沙坪	Pb-Zn-Cu	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICPMS U-Pb	161.6 ± 1.1	辉钼矿 辉钼矿	Re-Os Re-Os	154.8 ± 1.9	本文 姚军明等,2006
13	大宝山	Cu-Mo-W	英安斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	161.0 ± 0.7	辉钼矿	Re-Os	164.7 ± 0.3	本文
14	圆柱顶	Cu-Mo	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	154.0 ± 2.0	辉钼矿	Re-Os	155.0 ± 5.0	陈富文等,2012; 钟立峰等,2010
15	石碇	Cu-Mo	石英闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	107.0 ± 0.7	辉钼矿	Re-Os	104.1 ± 1.3	赵海杰等,2012
16	天堂	Cu-Pb-Zn					硫化物	Rb-Sr	98.1 ± 1.6	郑伟等,2013
17	广西宝山	Cu-Pb-Zn	石英斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	97.5 ± 1.1				本文
18	佛子冲	Pb-Zn	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	106.2 ± 0.9				杨启军等,未发表
19	寨宝	Cu					黄铜矿	Re-Os	84.7 ± 6.5	本文
20	钟腾	Cu-Mo	石英闪长玢岩	全岩	K-Ar	101.9				杨世义等,1984

## 1 花岗岩分类及其成矿专属性回顾

根据岩浆源区熔融物质的性质, 澳大利亚学者 Chappell 和 White 于 1974 年较早地提出了 I 型和 S 型花岗岩分类方案(Chappell and White, 1974)。I 型花岗岩是由未经地表风化作用的火成岩物质部分熔融的产物, 而 S 型花岗岩是由经历过地表风化作用的中部地壳变质沉积物质部分熔融而形成。I 型花岗岩是准铝质的, 以含有黑云母和角闪石为特征, 而 S 型花岗岩则以富含铝质的矿物为特点, 如堇青石、红柱石和白云母等。日本学者石原舜三根据岩浆系统的氧化-还原状态提出了磁铁矿系列(magnetite series)和钛铁矿系列(ilmenite series)的花岗岩分类方案(Ishihara, 1977)。磁铁矿系列花岗岩以含有磁铁矿为特征, 而钛铁矿系列花岗岩则以不含磁铁矿为特征; 磁铁矿系列花岗岩全岩  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  比值大于 0.5, 磁性异常大于  $1 \times 10^{-3}$  SI 单位, 具有正的  $\delta^{34}\text{S}$  值和低的  $\delta^{18}\text{O}$  值, 而钛铁矿系列花岗岩则相反(Černý *et al.*, 2005)。随着花岗岩岩石学、岩石地球化学研究的深入, 新类型的花岗岩不断被识别出来。例如, Whalen(1985)把主要来自于地幔或者地幔楔的熔融或者分离结晶作用的、与辉长岩或者铁镁质岩体有关的斜长花岗岩和英云闪长岩(tonalites)称之为 M 型花岗岩, 它与现代大洋内洋壳(intraoceanic)的岩石一样。又如, 为了区别相对于典型钙碱性的 I 型花岗岩中弱碱性的岩石, Loiselle 和 Wones 把这类碱性花岗岩称之为“A 型花岗岩”(Loiselle and Wones, 1979), 它具有无水、非造山和富碱的特点。Chappell 和 Stephens 于 1988 年识别出了更加富长英质、在化学组成上演化程度更高的 I 型花岗闪长岩和花岗岩, 它们主要是由古老的、基性的、侵位于地壳下部的、在化学组成上原始火成岩(I 型英云岩)的重熔作用而形成(Chappell and Stephens, 1988)。Defant and Kepezhinskis(2001)根据在 Adakite 岛年轻岛弧上出露的与洋壳岩石圈俯冲有关的花岗岩的特点, 提出了 Adakite 类型的花岗岩, 并在国内外引起了极大的反响, 认为 Adakite 花岗岩与斑岩铜矿的形成密切相关(侯增谦等, 2003, 2004; 曲晓明等, 2004, 2006; 张旗等, 2003; 张旗, 2008; Castillo, 2006)。

在国内, 徐克勤等(1983)最早提出了华南花岗岩“同熔型(syntexis type)”和“改造型(transformation type)”的分类方案, “同熔型”花岗岩类主要由上地幔衍生岩浆或下部地壳部分熔融形成的岩浆, 在上升过程中同化混染了硅铝物质或与由硅铝层熔融的岩浆混合而形成, 而“改造型”花岗岩类为中上地壳重熔结晶的产物。

伴随花岗岩的成因研究, 不同类型的花岗岩的成矿专属性研究也不断向前推进, 并取得了显著的成果。例如, 对于磁铁矿系列和钛铁矿系列的花岗岩分类而言, 磁铁矿系列的花岗岩主要与 Cu-Pb-Zn-Mo 硫化物的成矿作用有关, 而钛铁矿系列花岗岩主要与 Sn-W 成矿作用有关(Ishihara, 1977, 2004; Černý *et al.*, 2005)。对于 I、S、M 和 A 花岗岩来说, Cu-

Au 矿化作用主要与 M 型和 I 型英云地体有关, 而 Sn-Mo 和亲石稀有元素的矿化作用主要与在化学组成上高度演化的 I 型花岗闪长岩和 S 型的地体有关(Černý *et al.*, 2005)。对澳大利亚花岗岩的研究表明, 与花岗岩有关的铜矿床主要与分异程度较低( $\text{Rb}/\text{Sr} \approx 0.01 \sim 0.1$ )、较氧化性( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} \approx 0.5 \sim 5$ )的侵入体有关; Mo 矿床主要与分异程度稍高( $\text{Rb}/\text{Sr} \approx 0.1 \sim 10$ )、而氧化性与形成铜矿床岩体相同的侵入体有关。而 W 矿床则与分异程度稍高( $\text{Rb}/\text{Sr} \approx 0.1 \sim 10$ )、氧化性中等( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} \approx 0.1 \sim 2.0$ )的侵入体有关。Sn 矿床则与分异程度更高( $\text{Rb}/\text{Sr} \approx 1 \sim 100$ )、相对还原性( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} \approx 0.01 \sim 0.5$ )的侵入体有关。与 Cu 和 Mo 矿化有关的岩体主要是 I 型侵入体, 而与 W 和 Sn 矿化有关的主要是 I 型和 S 型侵入体(Černý *et al.*, 2005; Baker *et al.*, 2005)。从 Cu-(Mo)矿床到 W-Sn 矿床其  $\text{SiO}_2$  含量有逐渐增大、氧化性逐渐降低、还原性逐渐增加以及分异演化程度有逐渐增高的趋势, 即花岗岩的氧化还原及分异演化程度制约着不同类型的成矿作用(Lehmann, 1990; Blevin and Chappell, 1992, 1995)。

华南地区 W、Sn、Mo、Bi、Nb、Ta、Be、U 主要与“改造型”花岗岩有关, 而 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 主要与“同熔型”花岗岩有关(南京大学地质学系, 1981; 徐克勤等, 1983)。李晚峰等(2008)认为华南地区 Cu 矿床主要与同熔型花岗岩有关, 而 Mo、W-Sn 既与同熔型花岗岩有关, 又与改造型花岗岩有关。大多数 Sn 和 Mo 的矿化主要与富硅、高度分异的花岗岩有关, 而大多数 Cu-Au 矿化则主要与低硅的、高度氧化的、低分异的花岗岩有关。朱金初等(1990)认为华南同熔型花岗岩是华南上地壳端元和亏损地幔按一定比例混合的产物。本文所说的“同熔型花岗岩”是指在岩浆的形成过程中, 有明显的地幔物质加入而形成的花岗岩, 它包括原先侵位于古老下地壳中的地幔物质的重融, 也包括铁镁质岩浆的底辟而加入到岩浆的形成过程中。

## 2 华南地区铜铅锌多金属矿床的类型及其时空结构

### 2.1 铜铅锌多金属矿床的类型

华南地区金属矿床主要以钨锡钼、铜铅锌、稀有和稀土金属为主, 其中包括一些世界著名的大型、超大型矿床, 如德兴斑岩铜矿、柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 矿床、西华山钨锡矿等。由于华南地区成矿作用的多阶段性和特殊性, 常常在同一矿床或者矿田中, 呈现多种类型矿床(或者)矿体共生的特点, 有的矿床出现不同的元素组合, 如黄沙坪 W-Mo-Pb-Zn-Cu 矿床、水口山 Pb-Zn-Au 矿床等。华南地区与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床, 除了与斑岩有关的 Cu-Mo-Au 矿床(德兴、银山和紫金山)外, 大都呈现出不同元素组合分布的特点, 具有类似不同成矿系统叠加的特点。例如黄沙坪矿床, 不仅有 Pb-Zn-Ag 成矿元素组合, 还有 Pb-Zn-Cu、W-Mo、Cu-Mo 等元

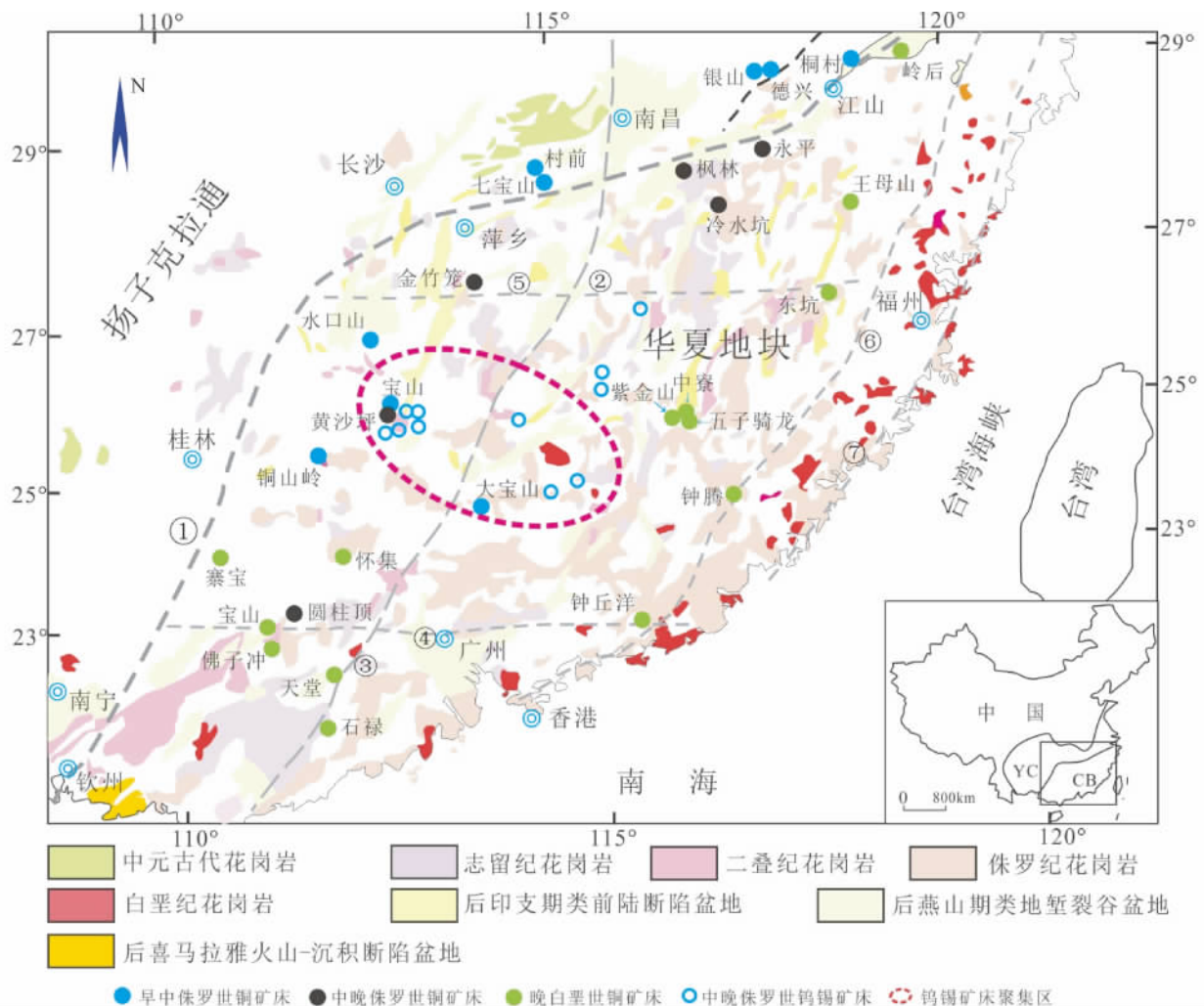


图1 华南地区中生代铜铅锌矿床空间分布图(据任纪舜等,1999 修改)

Fig. 1 Distribution of Mesozoic granite-volcanic rocks, basins, and porphyry copper deposits in South China (modified after Ren *et al.*, 1999)

素组合(姚军明等,2005;李晓峰等,2008;黄诚等,2013);江西永平铜矿既有早期的Cu矿化,也有晚期的Mo矿化的叠加(李晓峰等,2007;Li *et al.*,2013)。根据有关成矿元素组合及其花岗岩特点,华南中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床可以划分为两类:(1)以Cu为主要成矿元素的矿床,包括Cu-Au-Mo,Cu-Au,Cu-Pb-Zn等矿床,如:德兴、银山、永平、紫金山、大宝山、圆柱顶、铜山岭等。(2)以Pb-Zn为主的矿床,包括Pb-Zn-Cu,Pb-Zn-Ag和Pb-Zn-W-Mo等矿床,如冷水坑、黄沙坪、水口山、佛子冲、宝山等。

## 2.2 铜铅锌多金属矿床的时空结构

华南地区与同熔型花岗岩有关的铜铅锌多金属矿床主要分布于江绍断裂带两侧、桂东-粤西北地区,以及闽西北上杭地区。根据矿床的聚集地区,可以分为赣东北成矿区、湘东南成矿区、粤西矿集区、桂东南矿集区(博白-岑溪成矿带)

以及闽西北矿集区。

由图1可见,与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床主要由三条呈近NE向近于平行分布的矿带组成。最东北的一条是由浙江的桐村、江西德兴、银山、船坑、村前、七宝山等组成(简称德兴-七宝山带),这些矿床主要分布在华南地区东北缘的扬子地块内,主要是Cu-Mo-Au-(Pb-Zn)元素组合。另一条是江西的永平、冷水坑、湖南的金竹笼、水口山、宝山、黄沙坪和铜山岭、广东大宝山、圆柱顶等组成的NEE向Cu-Mo-(W)矿带(简称永平-大宝山带),这些矿床主要围绕江绍断裂带呈环状分布,主要的元素组合是Pb-Zn-Cu-Mo-W;第三条是位于华夏地块的东南侧,主要由福建紫金山、中寮以及铜坑,以及粤北的张天堂、怀集,桂东的宝山和佛子冲等组成(简称紫金山-佛子冲带)。

德兴-七宝山带,主要是以Cu为主的矿床,含有Au-Mo或者Pb-Zn元素组合,与成矿有关的岩石类型主要为花岗闪长斑岩、花岗斑岩、斜长花岗岩和英安斑岩等,与成矿有关的

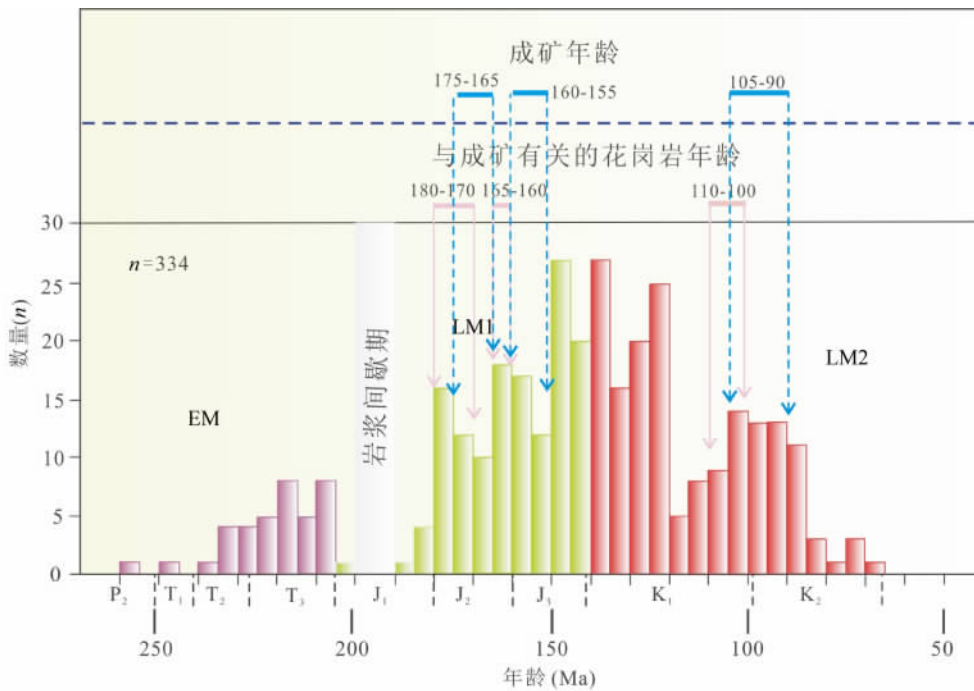


图2 华南地区中生代铜铅锌矿床时间格架图(据 Zhou *et al.*, 2006 修改)

Fig. 2 Histogram of ages for Mesozoic granitic-volcanic rocks in SE China, shows the ages of copper systems (modified after Zhou *et al.*, 2006)

花岗岩侵位时代在 170 ~ 180Ma 左右(表 1、图 2),为早侏罗世的产物,成矿年龄一般 165 ~ 175Ma 左右,为早-中侏罗世的产物,成岩成矿时间差较小。其成矿类型可以分为与花岗闪长斑岩有关的 Cu、Cu-Au 或 Cu-Mo 斑岩型矿床,如德兴铜厂、朱砂红、富家坞以及浙西的桐村,和与陆相次火山有关的浅成低温热液 Cu-Au-Pb-Zn-Ag 多金属矿床,如江西银山。

永平-大宝山带,主要为含 Cu 的 Pb-Zn 矿床和 Cu-(Mo) 矿床。其中湘东南矿集区和桂东矿集区主要为含 Cu 的 Pb-Zn 矿床,而粤北矿集区主要为 Cu-Mo 矿床,但含有一定的 Pb-Zn,而赣东北矿集区的永平铜矿以铜为主,而冷水坑则以 Pb-Zn 为主。在该带矿床中基本都含有一定量的 W(如永平、大宝山、金竹笼)。该带以成矿元素组合比较复杂为特点,单一矿床中呈现多种金属成矿元素的叠加,如黄沙坪为 Pb-Zn-Ag-W-Mo-Bi-Cu 等元素组合。该带与成矿有关的岩石类型主要由花岗闪长岩、花岗斑岩、石英斑岩、英安斑岩等,这些与成矿有关的花岗岩的侵位年龄在 155 ~ 165Ma,为中-晚侏罗世的产物。成矿年龄一般在 155 ~ 160Ma 左右(表 1、图 2),与华南地区钨锡矿床大规模成矿作用的时间基本一致。成矿类型主要为矽卡岩型(黄沙坪、宝山、永平、水口山)和斑岩型(大宝山、圆柱顶等)。

紫金山-佛子冲带,主要为 Cu-Au-Mo 组合和 Pb-Zn-Cu 组合,包括粤北的石碁和天堂、桂东的佛子冲和宝山、福建紫金山、钟腾和东坑等。其岩石类型主要为花岗闪长斑岩、花岗斑岩和石英斑岩,成矿时代主要为 90 ~ 105Ma(表 1、图 2)。

在该带成矿类型多样,既有福建紫金山地区的完整的斑岩-浅成低温热液成矿系统(主要由中寮斑岩 Cu-Mo 矿床(104.5 ± 1.7Ma)、五子骑龙斑岩 Cu-Au 矿床(102.5 ± 1.7Ma)、紫金山高硫型浅成低温 Cu-Au 矿床(100 ± 3Ma)和碧田低硫型浅成低温热液 Cu-Au 矿床(94.7 ± 2.3Ma)组成)(张德全等, 2001 2003),也有与花岗斑岩有关佛子冲 Pb-Zn-Cu 矿床(杨启军等,未发表)和与岩浆期后热液有关的桂东宝山 Cu-Pb-Zn 矿床。

### 3 同熔型花岗岩铜铅锌成矿作用与深部岩浆源区

#### 3.1 与铜铅锌成矿作用有关的同熔型花岗岩的特点

随着研究的不断深入,人们对花岗质岩石的成矿专属性有了越来越多的且较为全面的认识。华南地区与同熔型花岗岩有关的铜铅锌多金属成矿作用也呈现不同的特点。总体上看,与铜铅锌多金属成矿有关的同熔型花岗岩属于高钾的钙碱性系列。与以 Cu 为主成矿作用有关的岩石主要类型有花岗闪长岩和英安斑岩;与 Pb-Zn 有关的岩石类型主要为花岗闪长岩、石英斑岩、花岗斑岩等。根据岩石中 TiO<sub>2</sub> 的含量,华南地区与同熔型花岗岩有关的 Cu-Pb-Zn 矿床可以分为两类,一种是高钛型(TiO<sub>2</sub> > 0.2%);另一种是低钛型(TiO<sub>2</sub> < 0.2%)(图 3)。其中低钛型主要以 Pb-Zn 为主的矿床,而高钛型既有以 Cu 矿床为主的矿床,又有以 Pb-Zn 为

主矿床 相对来说,与同熔型花岗岩有关的以 Cu 为主矿床较以 Pb-Zn 为主矿床具有较高的  $\text{TiO}_2$  和  $\text{P}_2\text{O}_5$ 。以 Cu 为主的矿床  $\text{SiO}_2$  含量在 60.3% ~ 68.1% 之间,如江西德兴、银山、永平、广东大宝山和湖南宝山等。另一种是以 Pb-Zn 为主的矿床  $\text{SiO}_2$  含量在 73.3% ~ 75.2% 之间,如湖南黄沙坪铜铅锌矿床。第一类铜矿具有高的 Sr/Y 值, Rb/Sr 值较低(0.05 ~ 3.3), 氧化性较高 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0.31 \sim 1.81$ ); 而第二类铜矿的 Sr/Y 值相对较低, Rb/Sr 值较高(10.8 ~ 57.8), 氧化性 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0.66 \sim 1.74$ ) 与第一类型的铜矿相当。在花岗岩氧化还原状态 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ ) 与分异演化程度 (Rb/Sr) 关系图(图 4) 上, 华南地区与同熔型花岗岩有关的 Cu-Pb-Zn 矿床均落于典型斑岩铜矿与典型 W-Sn 矿床之间的过渡区域, 显示了该地区与 Cu-Pb-Zn 矿床成矿作用有关的同熔型花岗岩属于过渡类型的花岗岩。

### 3.2 地幔(深部)物质对成矿作用的贡献

岩浆源区与成矿类型、成矿规模的关系, 以及地幔物质在成矿作用的贡献一直受到矿床学家的关注(Griffiths and Godwin, 1983; Lehmann, 1990; Cline and Bodnar, 1991; Barnes 1997; Hou *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2013a, b)。美国西部和安第斯中部成矿带的研究表明, 岩浆源区与成矿金属类型存在着某种必然的联系(Barnes, 1997); 在玻利维亚和美国西部亲石金属元素(如 Sn) 的矿化作用与地壳深熔作用产生的过铝质花岗岩有关。而 Nd 同位素表明马来西亚半岛西海岸三叠纪过铝质、含锡的花岗岩是先存地壳经过深熔作用形成的(Liew and McCulloch, 1985)。当然并非所有的过铝质花岗岩都能够产生矿化作用, 尽管岩浆的地壳来源是必须的, 但它也并不是形成具有经济价值矿床的足够条件(Lehmann, 1990)。其它因素, 如挥发份的组成和浓度、岩浆源区的属性(如变质火成岩和变质沉积岩等), 以及花岗岩的剥蚀程度也是能否形成具有经济价值亲石元素矿床的重要决定因素(Lehmann, 1990)。一般来说, 大多数准铝质花岗岩与含 Mo 的斑岩矿床有关(如, 南美洲、美国西部、British Columbia 西部)(Griffiths and Godwin, 1983), 它包含先存地壳的组分。尽管地壳组分的来源还不十分清楚, 如它是来自于俯冲的地壳物质? 还是俯冲的贱金属? 还是幔源岩浆上升过程中通过大陆岩石圈中污染了下部地区物质? 斑岩铜矿也主要与花岗质岩石有关, 同位素的信息表明, 它要么含有地幔来源岩浆的组分, 要么含有高  $\epsilon_{\text{Nd}}$  铁镁质地壳的组分。而大陆斑岩矿床中贱金属的来源是非常复杂的。Hou *et al.* (2013) 认为青藏高原岩浆的源区性质和地幔物质的贡献决定了斑岩能否成矿, 如含矿斑岩岩浆主要来源于加厚的新生的铁镁质下地壳角闪石榴辉岩相的部分熔融, 而不含矿的斑岩主要来自于古老的下地壳, 是榴辉岩相或者石榴子石角闪岩相的部分熔融。成矿斑岩具有相对较高的  $\epsilon_{\text{Nd}}$  ( $> -4.0$ ) 和  $\epsilon_{\text{Nd}} + \epsilon_{\text{Hf}}$  ( $> -2.0$ )。Li *et al.* (2013a) 认为地壳的贡献, 即中元古代地壳的部分熔融与永平铜矿的形成有重大联系。

在  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - \epsilon_{\text{Sr}}(t)$  图解(图 5) 上, 华南地区中生代与铜铅锌成矿作用有关的同熔型花岗岩都表现出不同程度壳幔相互作用的特点, 不同地区、不同的成矿类型, 地幔(或深部)物质对成矿的贡献不同。

扬子地块内赣东北矿集区的德兴花岗闪长斑岩、银山石英斑岩、英安斑岩, 属于同熔型花岗岩类, 在  $\epsilon_{\text{Nd}}-t$  (Ma) 图上位于由双桥山群(马长信和奚舫, 1992) 和上溪群(陈江峰等, 1989; 周泰禧等, 1995) 变质沉积岩构成的中元古代地壳演化域上面, 说明其源区物质中含有较多的地幔组分, 反映了壳幔混源的特点。它们的  $\epsilon_{\text{Nd}}$  值(-3.02 ~ +1.3) 和 Nd 模式年龄(0.9 ~ 1.2Ga) 与该地区中元古代中基性火山岩在这些花岗岩类形成时的  $\epsilon_{\text{Nd}}$  值(-3.9 ~ +2.2) 以及 Nd 模式年龄(0.7 ~ 1.2Ga) 基本一致(马长信和奚舫, 1992; 沈渭洲等, 1999), 说明这些花岗岩类很可能是由变中基性火山岩为主要构成的初生地壳衍生的。沈渭洲等(1999) 认为德兴花岗闪长斑岩、银山石英斑岩、英安斑岩位于赣东北深断裂带上, 由于该断裂切入地壳深部、甚至上地幔, 因此, 在这些岩石形成过程中, 地幔物质直接参与的可能性是存在的。在德兴铜厂花岗闪长斑岩中含有同时代的玄武质包体( $\epsilon_{\text{Nd}} = -0.68$ ,  $I_{\text{Sr}} = 0.7050$ ) 以及同时代的铁镁质岩浆( $\epsilon_{\text{Nd}} = 0.83$ ,  $I_{\text{Sr}} = 0.7049$ ) 的侵入, 也充分证明了铁镁质岩浆参与成矿。

同是赣东北地区但靠近华夏地块一侧内的永平英安斑岩、石英-长石斑岩以及冷水坑的花岗斑岩, 属于改造型花岗岩, 位于由浙南陈蔡群(沈渭洲和凌洪飞, 1998) 和赣中周潭群(胡恭仁和章邦桐, 1998) 变质沉积岩构成的中元古代地壳演化域内, 表明冷水坑和永平矿床的花岗质岩石是由成分上与中元古代地壳相当的地壳物质经部分熔融形成的。在  $\epsilon_{\text{Nd}}-I_{\text{Sr}}$  图上, 投影点呈明显的水平方向展布, 也反映了地壳成因的特点(图 5)。

紫金山矿集区与成矿有关的主要岩石类型是花岗闪长斑岩( $\epsilon_{\text{Nd}} = -5.1 \sim -4.7$ ,  $I_{\text{Sr}} = 0.7064 \sim 0.7080$ ) (张德全等, 2001)。在  $\epsilon_{\text{Nd}}-t$  (Ma) 图上位于由浙南陈蔡群(沈渭洲和凌洪飞, 1998) 和赣中周潭群(胡恭仁和章邦桐, 1998) 变质沉积岩构成的中元古代地壳演化域内, 但偏上方, 其较低的  $\epsilon_{\text{Nd}}$  值和较古老的 Nd 模式年龄( $t_{2\text{DM}} = 1.1 \sim 1.2\text{Ga}$ ), 反映其源区有较多的地幔组分(初生地壳)。由于紫金山花岗闪长斑岩在成分上偏中性, 变质沉积岩的部分熔融一般不可能产生这样的成分, 因此, 它们可能是幔源的岩浆与更古老的地壳物质相混合的产物, 这一点与花岗闪长斑岩同期侵位的辉绿岩可以得到佐证(张德全等, 2003)。

湘东南矿集区与成矿有关的岩石主要是花岗闪长斑岩和花岗斑岩( $\epsilon_{\text{Nd}} = -7.3 \sim -4.8$ ,  $I_{\text{Sr}} = 0.7074 \sim 0.7112$ ) (姚军明等, 2005; 谢银财等, 2013)。在  $\epsilon_{\text{Nd}}-t$  (Ma) 图上位于由浙南陈蔡群(沈渭洲和凌洪飞, 1998) 和赣中周潭群(胡恭仁和章邦桐, 1998) 变质沉积岩构成的中元古代地壳演化域的, 其古老的 Nd 模式年龄( $t_{2\text{DM}} = 1.1 \sim 1.6\text{Ga}$ ), 反映这些花岗岩可能由成分上与这些中元古代地层相似的地壳岩石部分



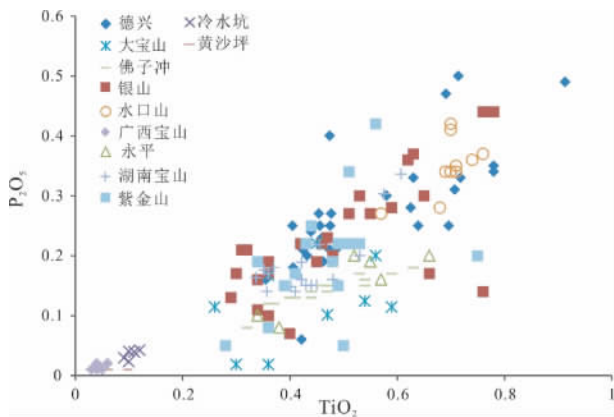


图3 华南地区与铜铅锌多金属矿床有关的同熔型花岗岩  $P_2O_5$ - $TiO_2$  图解

数据来源: 德兴: 李晓峰等(未发表数据); 王翠云等(2012). 银山: 江西银山多金属矿床编写组(1996), Wang *et al.* (2012). 冷水坑: 孟祥金等(2007). 佛子冲: 杨启军等(未发表数据). 永平: 李晓峰等(2007); 朱碧等(2008); Li *et al.* (2013). 湖南宝山: 姚军明等(2005), 谢银财等(2013). 黄沙坪: 姚军明等(2005). 紫金山: 张德全等(2001). 广西宝山: 陈懋弘等(2012). 图4-图8数据来源同此图

Fig. 3  $P_2O_5$  vs.  $TiO_2$  diagram of Cu-Pb-Zn ore related granites in South China

Data sources: Dexing: Li *et al.* (unpublished data), and Wang *et al.* (2012). Yinshan: WGJYPD (1996); Wang *et al.* (2012). Lengshuikeng: Meng *et al.* (2006). Fozichong: Yang *et al.* (unpublished data). Yongping: Li *et al.* (2007), Zhu *et al.* (2008) and Li *et al.* (2013). Hunan Baoshan: Yao *et al.* (2005), Xie *et al.* (2013). Huangshaping: Yao *et al.* (2005). Zijinshan: Zhang *et al.* (2001). Guangxi Baoshan: Chen *et al.* (2012). The data sources of Fig. 4-Fig. 8 as those in Fig. 3

熔融而形成的。但是宝山花岗闪长岩和水口山花岗闪长岩在成分上偏中性, 变质沉积岩的部分熔融一般不可能产生这样的成分, 因此, 它们可能是幔源的岩浆与更古老的地壳物质相混合的产物; 而黄沙坪花岗斑岩和石英斑岩在成分上偏酸性, 可能反映其主要来源于与中元古代类似的变质沉积岩(图6)。

桂东矿集区与成矿有关的岩石主要是花岗斑岩 ( $\epsilon_{Nd} = -10.4 \sim -8.3$ ,  $I_{Sr} = 0.7099 \sim 0.7158$ ) (杨启军等, 未发表; 陈懋弘等 2012) 在  $\epsilon_{Nd}(t)$  图上位于由浙南陈蔡群(沈渭洲和凌洪飞, 1998) 和赣中周潭群(胡恭仁和章邦桐, 1998) 变质沉积岩构成的中元古代地壳演化域的内, 其古老的 Nd 模式年龄 ( $t_{2DM} = 1.7 \sim 2.4 Ga$ ), 反映这些花岗岩可能由成分上与这些中元古代地层相似的地壳岩石部分熔融而形成的。但是佛子冲花岗斑岩在成分上偏中性, 主要为二长花岗岩, 同样, 变质沉积岩的部分熔融一般不可能产生像佛子冲花岗斑岩这样的成分, 因此, 它可能是幔源的岩浆与更古老的地壳物质相混合的产物。

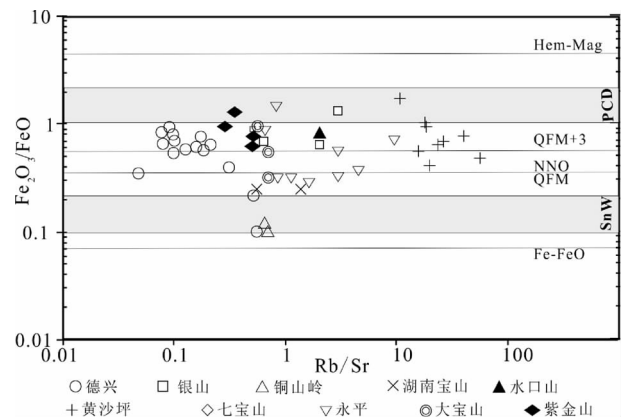


图4 华南地区与 Cu-Pb-Zn 矿床有关的同熔型花岗岩的氧化还原状态 ( $Fe_2O_3/FeO$ ) 与分异演化程度 ( $Rb/Sr$ ) 关系图 (据 Hart *et al.*, 2004)

NNO = 镍-氧化镍; QFM = 石英-铁橄榄石-磁铁矿; Hem-Mag = 赤铁矿-磁铁矿; PCD = 斑岩型铜矿; Sn-W = 钨锡矿床

Fig. 4 Changes in the oxidation state ( $Fe_2O_3/FeO$  ratios) with  $Rb/Sr$  ratios for Cu-Pb-Zn ore related granites in South China (modified after Hart *et al.*, 2004)

NNO = Ni-NiO; QFM = quartz-fayalite-magnetite; Hem-Mag = hematite-magnetite; PCD = porphyry copper deposit; Sn-W = Sn-W deposit

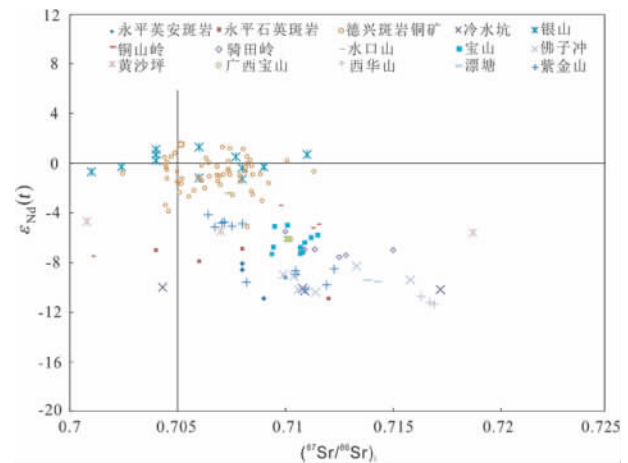


图5 华南地区与铜铅锌矿床成矿有关的同熔型花岗岩 Sr-Nd 同位素图解

Fig. 5 Sr-Nd isotopic diagram for Cu-Pb-Zn ore related granites in South China

总的来说, 华南地区与铜铅锌矿床有关的同熔型花岗岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值变化较大, 反映了它们源区成分的不均一或者源区成熟度有差异。但是对于单一的矿集区来讲, 虽然  $\epsilon_{Nd}$  值变化较小, 但是其成矿类型不同, 可能反映了其它因素(如挥发份的组成和浓度)对成矿作用的制约。部分矿床 Sr 同位素有较大的变化范围(如冷水坑、佛子冲、黄沙坪等), Farmer

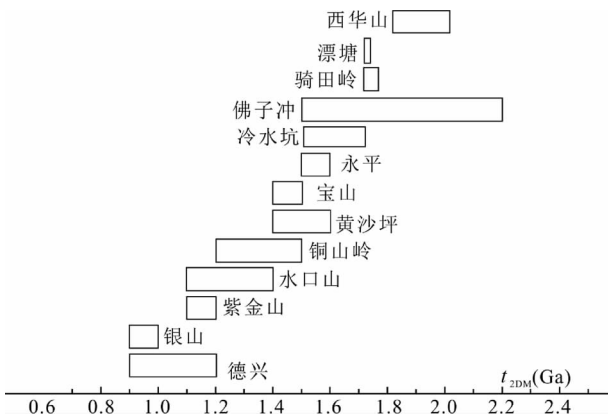


图6 华南地区与铜铅锌矿床成矿有关的同熔型花岗岩  $t_{2DM}-t$  (Ma) 图解

Fig. 6  $t_{2DM}-t$  (Ma) diagram for Cu-Pb-Zn ore related granites in South China

and DePaolo (1984) 认为这种 Sr 同位素的大范围的变化则是热液蚀变过程中热液流体与围岩相互作用的结果,而不能代表源区岩浆 Sr 同位素的差别。

根据某些矿集中花岗岩中继承锆石年龄(如永平铜矿继承锆石年龄为 790Ma 和 435Ma, 桂东宝山和粤北大宝山继承锆石年龄(435Ma)等) (Li et al., 2013; 毛伟等, 2013) 推测, 在华夏地块壳幔作用过程中涉及的地壳组分可能以新元

古代地壳和古生代地壳为主(图6), 壳幔混合方式除地壳混染和源区混合(由初生地壳和古老地壳按不同比例组成混合源区)外, 两种来源(铁镁质岩浆和花岗岩岩浆)的岩浆混合可能是某些与成矿有关的花岗岩的形成方式之一(如粤北大宝山和湘东南水口山和宝山)。

### 3.3 深部岩浆源区属性

从上述讨论可以看出, 岩浆源区的属性对于形成不同类型的矿床至关重要, 那么到底何种源区的部分熔融形成何种对应的矿床? Sr/Y 比值通常用于判别在岩石成因体系中长石和石榴子石是以分离结晶相还是残留相存在(Haschke et al., 2010), 如 Sr/Y 比值 (>40) 暗示源区是在含石榴子石角闪岩相或榴辉岩相(残留相矿物以含石榴子石, 无长石为特征)条件下发生部分熔融。低 Sr/Y 比值 (<20) 表明熔融体是无石榴子石的地幔橄辉岩相源区的部分熔融的产物(以长石分离结晶, 无石榴子石为标志) (Haschke et al., 2010)。但是, 由于在成矿作用过程中, 强烈的水岩反应, 导致 Sr 的带进和带出, 从而影响了 Sr/Y 比值的合理利用。

由于稀土元素的不活动性, La/Sm 和 Sm/Yb 比值也经常用于判别源区的残留相是以石榴子石还是辉石、角闪石为主(Kay and Mpodozis, 2001; Ahmadian et al., 2009; Shafiei et al., 2009; Haschke et al., 2010)。基于与 Sm 相比, Yb 在石榴子石中的分配系数高很多 (Van Westrenen et al.,

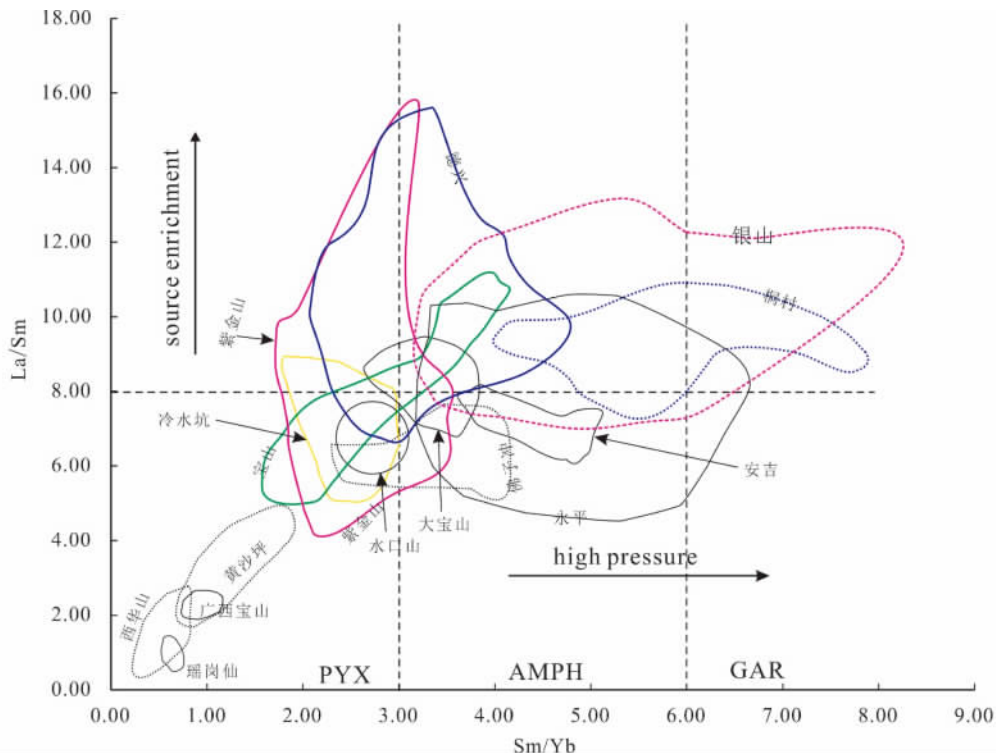


图7 华南地区与铜铅锌成矿作用有关的同熔型花岗岩 La/Sm-Sm/Yb 图解

Fig. 7 The diagram of La/Sm vs. Sm/Yb ratios of the Cu-Pb-Zn ore related granites



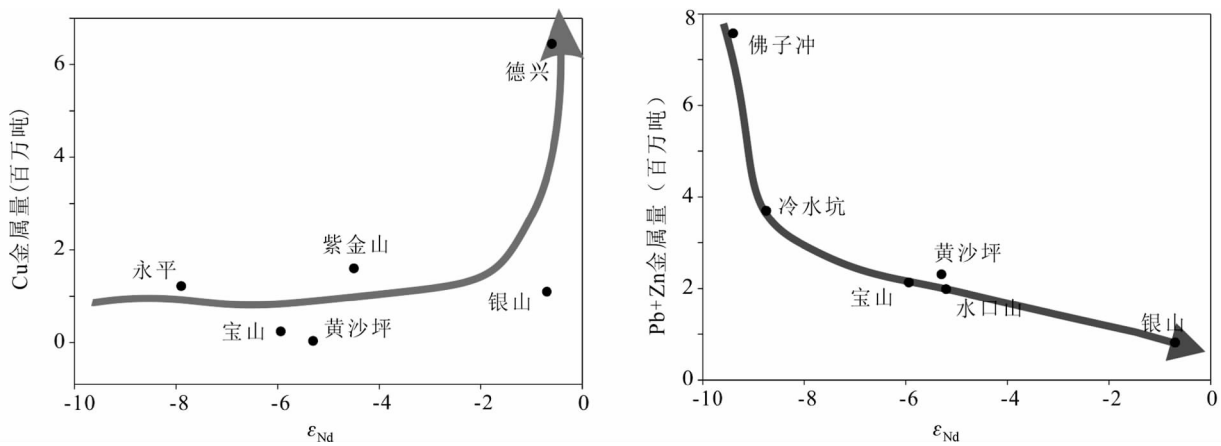


图8 华南地区与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床金属量与岩石  $\epsilon_{Nd}(t)$  图解

Fig. 8 The diagram showing the relationship between the tonnage of Cu-Pb-Zn ore and the  $\epsilon_{Nd}(t)$  of ore related granites

2001) 高 Sm/Yb 比值 ( $>6$ ) 代表一种含水量低的榴辉岩相熔融残留体; Sm/Yb 比值 ( $3 \sim 6$ ) 代表含水角闪石相残留体, 而低 Sm/Yb 比值 ( $<3$ ) 则代表一种以辉石相为主的残留体。高 La/Sm 比值 ( $>8$ ) 代表富集熔融源区, 并以角闪石为残留相, 而低 La/Sm 比值代表富集程度相对较低的熔融源区且无或极少量角闪石 (Kay and Abbruzzi, 1996)。据此, Haschke *et al.* (2010) 认为安第斯造山带弧岩浆具有较高的 Sm/Yb 比值, 反映了石榴子石是岩浆源区的残留体; Papua New Guinea 碰撞埃达克岩具有较高的 Sm/Yb 和 La/Sm 比值, 显示岩浆的交代蚀变源区, 以及榴辉岩是残留的矿物相。伊朗中部 Miocene Natanz 岩石具有较低的 Sm/Yb 比值和 La/Sm 比值, 与 Anatolia 地块碰撞火山岩的比值一样, 说明相对较小的轻稀土富集源区以及主要以辉石做为残留相的岩浆源区。王翠云等 (2012) 对德兴朱砂红斑岩铜矿的岩浆表明, 朱砂红斑岩铜矿其岩浆可能是以角闪石 ± 石榴子石为残留相的源区部分熔融的产物。Hou *et al.* (2013) 认为角闪石源区的部分熔融对形成青藏高原斑岩铜矿至关重要, 而不含矿的岩浆主要是有榴辉岩的源区在相对高的压力下熔融而成。

从华南地区与铜铅锌成矿作用有关同熔型花岗岩的 La/Sm-Sm/Yb 图解 (图 7) 可以看出, 与铜铅锌矿床有关岩石的源区与钨锡等矿床有关岩石的源区明显不同, 西华山和瑶岗仙矿床岩石 La/Sm  $<3$ , Sm/Yb  $<1$ , 可能代表了低压的辉石为残留相的源区。而黄沙坪和广西宝山矿床则代表了压力稍高的辉石为残留相的源区, 两者岩石的源区处于与钨锡矿床有关岩石的源区与与铜铅锌矿床有关岩石源区的过渡部位。与铜铅锌矿床有关的岩石的源区可能为角闪石为残留相的源区, 但是对于不同成矿元素为主的矿床, 还是存在着差别。德兴朱砂红、富家坞和铜厂斑岩铜矿和银山多金属矿床的花岗质岩石可能代表的是相对较大轻稀土富集, 且主要以角闪石为残留相的交代蚀变岩浆源区, 但银山多金属矿床显示出相对的高压条件。紫金山矿床、水口山矿床、大宝山

矿床、湖南宝山矿床、佛子冲矿床都显示为角闪石为残留相的岩浆源区。而桐村矿床、安吉矿床和永平矿床显示出相对高压的、角闪石为残留相, 可能含有少量石榴石的岩浆源区。

从  $t_{2DM}-t$  (Ma) 图解 (图 6) 上, 可以看出, 不同类型的矿床与华南不同时代古老地壳有关, 如, 德兴斑岩铜矿和银山多金属矿床岩石主要与新元古代地壳有关。而钨锡矿床主要与更老的中元古代或者古元古代的地壳有关。相对来说, 斑岩型铜矿床, 如德兴、紫金山与相对年轻的地壳有关, 而铅锌银矿床则与相对较老的地壳有关。

尽管成矿元素的巨量聚集以及成矿类型与众多因素有关 (Sillitoe, 1997, 2010; Richard, 2003, 2009; Li *et al.*, 2013a, b), 但是华南地区与铜铅锌有关的矿床中 Cu 的储量与成矿岩石  $\epsilon_{Nd}(t)$  之间的相关关系说明 (图 8), 地幔物质 (或者深部物质) 对成矿岩浆的贡献大小与能否形成金属物质的巨量聚集有关, 地幔物质 (或者深部物质) 贡献越大, 金属物质的巨量聚集的几率就越大, 这一点与青藏高原斑岩铜矿基本一致 (Hou *et al.*, 2013); 而与铅锌有关的矿床 Pb + Zn 的储量与成矿岩石  $\epsilon_{Nd}(t)$  之间的负相关关系说明铅锌矿床的成矿作用与铜的成矿作用明显不同, 铅锌等元素能否巨量聚集则取决于地壳物质的贡献, 尤其是古老地壳物质的贡献程度有关 (图 8)。

Nb/Zr 比值通常被认为是判别构造背景的灵敏指示剂, 一般认为火山弧环境, 岩石的 Nb/Zr  $<0.1$ , 而板内环境一般 Nb/Zr  $>0.1$ 。德兴、银山、永平、桐村、大宝山、佛子冲矿床位于火山弧环境 (Nb/Zr  $\leq 0.1$ ), 而冷水坑、安吉、水口山、湖南宝山、黄沙坪、广西宝山和华南地区的瑶岗仙钨矿、西华山钨矿位于板内环境 (Nb/Zr  $>0.1$ ), 而紫金山则处于过渡环境 (Nb/Zr = 0.08 ~ 0.30) 即火山弧向板内环境过渡, 这些说明华南中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌多金属矿床形成地质背景的差异性, 可能反映了中生代华南地质构造的复杂性和不均一性。

## 4 结论

(1) 华南地区中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌矿床主要分布于江绍断裂带两侧、桂东-粤西北地区,以及闽西北上杭地区,可以分为赣东北成矿区、湘东南成矿区、粤西矿集区、桂东南矿集区(博白-岑溪成矿带)以及闽西北矿集区。这些矿床主要形成于早-中侏罗世、中-晚侏罗世和早-晚白垩世,分别呈 NE 向展布。

(2) 与铜铅锌成矿作用有关的岩石主要为高钾的钙碱性岩石。以 Cu 为主要成矿元素的矿床成矿岩石类型为花岗闪长岩和英安斑岩,以 Pb-Zn 为主要成矿元素的矿床的成矿岩石类型为花岗闪长斑岩、石英斑岩、花岗斑岩等。这些岩石既不同于与典型斑岩铜矿有关的岩石,也不同于与典型 W-Sn 矿床有关的岩石,说明华南地区与铜铅锌成矿作用同熔型花岗岩是过渡类型的岩石。

(3) 与成矿有关的花岗岩均表现出不同程度壳幔相互作用的特点,不同地区、不同的成矿类型、地幔(或深部)物质对成矿的贡献不同。岩浆源区属性与成矿类型、成矿规模的关系可能存在某种联系,这些矿床的形成是不同时期华南地区古老地壳改造的结果。

致谢 在成文的过程中,项目首席科学家蒋少涌教授和专家组成员提出了宝贵的意见,在此深表感谢!

## References

- Ahmadian J, Haschke M, McDonald I, Regelous M, Ghorbani M, Emami M and Murata M. 2009. High magmatic flux during Alpine-Himalayan collision: Constraints from the Kale-Kafi complex, central Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 121(5-6): 857-868
- Baker T, Pollard PJ, Mustard R, Mark G and Graham JL. 2005. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: Implications for exploration. *SEG Newsletter*, 61: 5-16
- Barnes HL. 1997. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Hubert: John Wiley & Sons, Inc, 1-963
- Blevin PL and Chappell BW. 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Science*, 83(1-2): 305-316
- Blevin PL and Chappell BW. 1995. Chemistry, origin and evolution of mineralized granites in the Lachlan fold belt, Australia: The metallogeny of I- and S-type granites. *Economic Geology*, 90(6): 1604-1619
- Castillo PR. 2006. An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, 51(3): 257-268
- Černý P, Blevin PL, Cuney M and London D. 2005. Granite-related ore deposits. *Economic Geology*, 100<sup>th</sup> Anniversary Volume, 337-370
- Chappell BW and White AJR. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8: 173-174
- Chappell BW and Stephens WE. 1988. Origin of infracrustal (I-type) granite magmas. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 79(2-3): 71-86
- Chen FW, Li HQ, Wang DH, Xiao GM, Yang XJ, Gao YW, Mei YP and Lin XG. 2012. Geological characteristics and diagenetic-metallogenetic chorological study of the Yuanzhuding porphyry Cu-Mo deposit, western Guangdong Province. *Acta Geologica Sinica*, 86(8): 1298-1305 (in Chinese with English abstract)
- Chen JF, Zhou TX and Xin FM. 1989. Nd isotopic compositions and deposition provenance in epi-metamorphic and sedimentary rocks in the south of Anhui Province. *Chinese Science Bulletin*, 34(20): 1572-1574 (in Chinese)
- Chen MH, Huang ZZ, Li B and Huang HW. 2012. Geochemistry of granitoid rocks of Shedong W-Mo deposit district in Cangwu County, Guangxi and its relation to mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1): 199-212 (in Chinese with English abstract)
- Chen SQ. 2011. Discussion on the Yanshan epoch rock characteristics and ore-forming background in Zhejiang Kaihua region. Master Degree Thesis. Beijing: China University of Geosciences, 28-35 (in Chinese with English summary)
- Chen YH and Wang DH. 2012. Four main topics concerning the metallogeny related to Mesozoic magmatism in South China. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 315-321 (in Chinese with English abstract)
- Cline JS and Bodnar RJ. 1991. Can economic porphyry copper mineralization be generated by a typical calc-alkaline melt? *Journal of Geophysical Research*, 96(B5): 8113-8126
- Defant MJ and Kepezhinskas P. 2001. Evidence suggests slab melting in arc magmas. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 82(6): 65-69
- Department of Geology, Nanjing University. 1981. *Granitoids of Different Epoch and Their Relationship with Mineralization in South China*. Beijing: Science Press, 1-408 (in Chinese)
- Farmer GL and DePaolo DJ. 1984. Origin of Mesozoic and Tertiary granite in the western United States and implications for pre-Mesozoic crustal structure: 2. Nd and Sr isotopic studies of unmineralized and Cu- and Mo-mineralized granite in the Precambrian craton. *Journal of Geophysical Research*, 89(B12): 10141-10160
- Griffiths JR and Godwin CI. 1983. Metallogeny and tectonics of porphyry copper-molybdenum deposits in British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(6): 1000-1018
- Hart CJR, Mair JL, Goldfarb RJ and Groves DI. 2004. Source and redox controls on metallogenetic variations in intrusion-related ore systems, Tombstone-Tungsten Belt, Yukon Territory, Canada. *Earth Sciences*, 95(1-2): 339-356
- Haschke M, Ahmadian J, Murata M and McDonald I. 2010. Copper mineralization prevented by arc-root delamination during Alpine-Himalayan collision in central Iran. *Economic Geology*, 105(4): 855-865
- Hou ZQ, Mo XX, Gao YF, Qu XM and Meng XJ. 2003. Adakite: A possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile. *Mineral Deposits*, 22(1): 1-12 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, Meng XJ and Huang W. 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 239-248 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Zheng YC, Yang ZM, Rui ZY, Zhao ZD, Jiang SH, Qu XM and Sun QZ. 2013. Contribution of mantle components within juvenile lower-crust to collisional zone porphyry Cu systems in Tibet. *Mineralium Deposita*, 48(2): 173-192
- Hu GR and Zhang BT. 1998. Neodymium isotope composition and source materials of the meta-basement in central, Jiangxi Province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(1): 35-40 (in Chinese with English abstract)
- Hua RM and Mao JW. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic

- metallogenic explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 300–308 (in Chinese with English abstract)
- Hua RM, Chen PR, Zhang WL, Liu XD, Lu JJ, Lin JF, Yao MJ, Qi HW, Zhang ZS and Gu SY. 2003. Metallogenic systems related to Mesozoic and Cenozoic granitoids in South China. *Sciences in China (Series D)*, 33: 335–343 (in Chinese)
- Hua RM, Chen PR, Zhang WL and Lu JJ. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99–107 (in Chinese with English abstract)
- Hua RM, Li GL, Zhang WL, Hu DQ, Chen PR, Chen WF and Wang XD. 2010. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralizations in South China. *Mineral Deposits*, 29(1): 9–23 (in Chinese with English abstract)
- Huang C, Li XF, Wang LF and Liu FP. 2013. Fluid inclusion study of the Huangshaping poly-metallic deposit, Hunan Province, South China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4232–4244 (in Chinese with English abstract)
- Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1979. *Geochemistry of Granitoids in South China*. Beijing: Science Press, 1–421 (in Chinese)
- Ishihara S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27(145): 293–305
- Ishihara S. 2004. The redox state of granitoids relative to tectonic setting and earth history: The magnetite-ilmenite series 30 years later. *Earth Sciences*, 95(1–2): 23–34
- Kay SM and Abbruzzi JM. 1996. Magmatic evidence for Neogene lithospheric evolution of the central Andean “flat slab” between 30°S and 32°S. *Tectonophysics*, 259(1–3): 15–28
- Kay SM and Mpodozis C. 2001. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today*, 11: 4–9
- Lehmann B. 1990. Metallogeny of tin. *Lecture Notes in Earth Science*, 32: 211
- Li XF, Chen W, Mao JW, Wang CZ, Xie GQ and Feng ZH. 2006.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of sericite from altered dacite porphyry and quartz porphyry in Yinshan polymetallic deposit of Jiangxi Province and its geological significance. *Mineral Deposits*, 25(1): 17–26 (in Chinese with English abstract)
- Li XF and Sasaki M. 2007. Hydrothermal alteration and mineralization of middle Jurassic Dexing porphyry Cu–Mo deposit, Southeast China: Geochemical and H–O–C–S constraints. *Resource Geology*, 57(4): 409–426
- Li XF, Watanabe Y, Mao JW and Yi XK. 2007a. SHRIMP II U–Pb zircon and  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  muscovite geochronology in the Yinshan deposit in the Northeast Jiangxi Province, South China. *Resource Geology*, 57(3): 325–337
- Li XF, Watanabe Y and Qu WJ. 2007b. Textures and geochemical characteristics of granitic rocks in the Yongping climax-type Cu–Mo deposit, Jiangxi, southeastern China, and their alteration, mineralization and tectonic regime. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2352–2365 (in Chinese with English abstract)
- Li XF, Watanabe Y, Hua RM and Mao JW. 2008. Mesozoic Cu–Mo–W–Sn mineralization and ridge/triple subduction in south China. *Acta Geologica Sinica*, 82(5): 625–640 (in Chinese with English abstract)
- Li XF, Hu RZ, Hua RM, Wei XL, Xiao R, Yang F and Wang CY. 2012. Mineral deposits types, mineralization features and genesis relationship between Jinshan gold deposit and Dexing porphyry copper deposit, northeastern Jiangxi Province, South China. *Geological Review*, 58(1): 82–90 (in Chinese with English abstract)
- Li XF, Hu RZ, Rusk B, Xiao R, Wang CY and Yang F. 2013a. U–Pb and Ar–Ar geochronology of the Fujiauw porphyry Cu–Mo deposit, Dexing district, Southeast China: Implications for magmatism, hydrothermal alteration, and mineralization. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74: 330–342
- Li XF, Watanabe Y and Yi XK. 2013b. Ages and sources of ore-related porphyries at Yongping Cu–Mo deposit in Jiangxi Province, Southeast China. *Resource Geology*, 63(3): 288–312
- Liang QL, Jang SH, Wang SH, Li C and Zeng FG. 2012. Re–Os dating of molybdenite from the Luoboling porphyry Cu–Mo deposit in the Zijinshan ore field of Fujian Province and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 86(7): 1113–1118 (in Chinese with English abstract)
- Liew TC and McCulloch MT. 1985. Genesis of granitoid batholiths of Peninsular Malaysia and implications for models of crustal evolution: Evidence from a Nd–Sr isotopic and U–Pb zircon study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(2): 587–600
- Loiselle MC and Wones DR. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 11(7): 468
- Lu JJ, Hua RM and Yao CL. 2005. Re–Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu–Au deposit of Jiangxi Province, China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(Suppl. A): 882
- Ma CX and Xi Y. 1992. Geochemistry of the presinian metamorphic strata in northeast Jiangxi and their evaluation of gold-bearing property. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 7(1): 36–51 (in Chinese with English abstract)
- Mao W, Li XF and Yang FC. 2013. LA–ICP–MS zircons U–Pb dating from granitic rock in Guangdong Dabaoshan polymetallic deposit and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4104–4120 (in Chinese with English abstract)
- Meng XJ. 2007. *Lengshuikeng Porphyry Pb–Zn–Ag Deposit in Jiangxi Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1–148 (in Chinese)
- Pei RF, Zhai YS and Zhang BR. 1999. *Deep Structure Action and Mineralization*. Beijing: Geological Publishing House, 1–14 (in Chinese)
- Pei RF, Wang YL, Li L and Wang HL. 2008. South China great granite province and its metallogenic series of tungsten–tin poly-metallic. *China Tungsten Industry*, 23(1): 10–13 (in Chinese with English abstract)
- Qu XM, Hou ZQ, Guo LJ and Xu WY. 2004. Source compositions and crustal contaminations of adakitic ore-bearing porphyries in the Gangdise copper belt: Nd, Sr, Pb and O isotope constraints. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 813–821 (in Chinese with English abstract)
- Qu XM, Hou ZQ and Xin HB. 2006. Zircon SHRIMP ages and geochemical characteristics of two generations of adakite from Gangdise collisional orogenic belt, Tibet. *Mineral Deposits*, 25(Suppl.): 419–422 (in Chinese with English abstract)
- Ren JX, Wang ZX and Chen BW. 1999. *View on China Tectonics from the Globe: Brief Introduction of the Tectonic Map of China and Adjacent Area*. Beijing: Geological Publishing House, 1–50 (in Chinese with English abstract)
- Richards JP. 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu–(Mo–Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8): 1515–1533
- Richards JP. 2009. Postsubduction porphyry Cu–Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere. *Geology*, 37(3): 247–250
- Shafiei B, Haschke M and Shahabpour J. 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44(3): 265–283
- Shen WZ, Ling HF and Li WX. 1998. Study on the Nd–Sr isotopic compositions of Mesozoic granitoids in Jiangxi Province. *Chinese Science Bulletin*, 42(24): 2653–2657 (in Chinese)
- Shen WZ, Ling HF, Li WX, Huang XL and Wang DZ. 1999. Study on the Nd–Sr isotopic compositions of granitoids in SE, China.

- Geological Journal of China Universities, 5(1): 22–32 (in Chinese with English abstract)
- Shu LS. 2012. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block. *Geological Bulletin of China*, 31(7): 1035–1053 (in Chinese with English abstract)
- Sillitoe RH. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3): 373–388
- Sillitoe RH. 2010. The challenge of finding new mineral resources: An introduction. In: Goldfarb RJ, Marsh EE and Monecke T (eds.). *The Challenge of Finding New Mineral Resources: Global Metallogeny, Innovative Exploration, and New Discoveries*. Society of Economic Geologists Special Publication, 15: 1–4
- The Investigation Team of Nanling Granitoid Project, Department of Geology and Mineral Resources. 1989. *Granite Geology, Genesis and Its Mineralization*. Beijing: Geological Publishing House, 1–474 (in Chinese)
- Van Westrenen W, Blundy JD and Wood BJ. 2001. High field strength element/rare earth element fractionation during partial melting in the presence of garnet: Implications for identification of mantle heterogeneities. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2(7): 33–53
- Wang CY, Li XF, Xiao R, Bai YP, Yang F and Jiang SK. 2012. Elements mobilization of mineralized porphyry rocks during hydrothermal alteration at Zhushahong porphyry copper deposit, Dexing district, South China. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3869–3886 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Zhao ZH, Jian P, Xu JF, Bao ZW and Ma JL. 2004. SHRIMP zircon geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyries. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 315–324 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Sun Y, Zhang XH, Zhang SM, Wang YL and Zhang CM. 2012. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of plagiogranite porphyry in the Cunqian copper polymetallic deposit of Jiangxi Province and its geological implications. *Geology in China*, 39(5): 11143–11150 (in Chinese with English abstract)
- Wang YJ, Fan WM, Guo F, Li HM and Liang XQ. 2001. U-Pb dating of Early Mesozoic granodioritic intrusions in southeastern Hunan Province, South China and its petrogenetic implications. *Science in China (Series D)*, 45(3): 280–288
- Whalen JB. 1985. Geochemistry of an island-arc plutonic suite: The Uasilau-Yau yau intrusive complex, New Britain, PNG. *Journal of Petrology*, 26(3): 603–632
- Writing Group for Jiangxi Yinshan Polymetallic Deposit (WGJYPD). 1996. *Yinshan Cu-Pb-Zn-Au-Ag Deposit in Jiangxi Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1–380 (in Chinese)
- Xie YC, Lu JJ and Ma DS. 2013. The genesis of granodioritic porphyry and its enclaves in Baoshan Pb-Zn polymetallic deposit in southeastern Hu'nan Province, South China: Zircons U-Pb dating, rock geochemistry and Sr-Nd-Hf isotope composition constraints. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4186–4214 (in Chinese with English abstract)
- Xu KQ, Hu SX, Sun MZ and Ye J. 1982. On the two genetic series of granites in South China and their metallogenetic characteristics. *Mineral Deposits*, 1(2): 1–14 (in Chinese with English abstract)
- Xu KQ, Hu SX, Sun MZ, Zhang JR and Ye J. 1983. On the genetic series of granites, as exemplified by the Mesozoic granites of south China. *Acta Geologica Sinica*, (2): 107–118 (in Chinese with English abstract)
- Xu KQ and Tu GC. 1984. *Petrogenesis of the Granitoids and Their Metallogenetic Relations in South China*. Nanjing: Jiangsu Technology Press, 1–20 (in Chinese)
- Yang SY, Liu HQ, Zhang XL and Chen CJ. 1984. Alteration and mineralization at the root zone of the Zhongteng porphyry copper (molybdenum) deposit in Fujian Province. *Mineral Deposits*, 3(1): 11–18 (in Chinese with English abstract)
- Yao JM, Hua RM and Lin JF. 2005. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in Southeast Hu'nan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688–696 (in Chinese with English abstract)
- Yao JM, Hua KM and Lin JF. 2006. REE, Pb-S isotope geochemistry and Rb-Sr isochron age of pyrites in the Baoshan deposit, South Hu'nan Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1045–1054 (in Chinese with English abstract)
- Zhai YS, Yao SZ, Zhou ZG, Lü XB, Huang FF, Jin W, Huang S and Chen XB. 1999. *Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Copper-gold Deposit Field Structure*. Beijing: Geological Publishing House, 19–58 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, Li DX, Feng CY and Dong YJ. 2001. The temporal and spatial framework of the Mesozoic magmatic system in Zijinshan area and its geological significance. *Acta Geoscientica Sinica*, 22: 403–408 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, She HQ, Li DX and Feng CY. 2003. The porphyry-epithermal metallogenic system in Zijinshan region, Fujian Province. *Acta Geologica Sinica*, 77: 253–261 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, Feng CY, Li DX, She HQ and Dong YJ. 2005. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(2): 127–136 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Wang Y, Liu HT, Wang YL and Li ZT. 2003. On the space-time distribution and geodynamic environments of adakites in China annex: Controversies over differing opinions for adakites in China. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 385–400 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q. 2008. Adakite research: Retrospect and prospect. *Geology in China*, 35(1): 32–39 (in Chinese with English abstract)
- Zhang SM, Xiao YF, Wang Q, Zhang XH, Yang L, Wang YL and Zhang CM. 2013. Re-Os dating of molybdenite from the Tongcun porphyry molybdenum deposit in western Zhejiang Province and its geological implications. *Geology and Exploration*, 49(1): 50–57 (in Chinese with English abstract)
- Zhao HJ, Zheng W, Yu ZF, Hu YG and Tian Y. 2012. Re-Os dating of molybdenite from the Shilu Cu (Mo) deposit in western Guangdong Province and its geological implications. *Geology in China*, 39(6): 1604–1613 (in Chinese with English abstract)
- Zheng W, Chen MH, Xu LG, Zhao HJ, Ling SB, Wu Y, Hu YG, Tian Y and Wu XD. 2013. Rb-Sr isochron age of Tiantang Cu-Pb-Zn polymetallic deposit in Guangdong Province and its geological significance. *Mineral Deposits*, 32(2): 259–272 (in Chinese with English abstract)
- Zhou TX, Chen JF, Zhang X and Li XL. 1995. Geochemistry of the north Huaiyang granite-syenite zone and its tectonic implication. *Geological Review*, 41(2): 144–151 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XM. 2003. My thinking about granite geneses of South China. *Geological Journal of China Universities*, 9(4): 556–565 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XM, Sun T, Shen WZ, Shu LS and Niu YL. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. *Episodes*, 29(1): 26–33
- Zhu B, Jiang SY, Ding X, Jiang YH, Ni P and Gu LY. 2008. Hydrothermal alteration and petrogenesis of granites in the Yongping copper deposit, Jiangxi Province: Constraints from mineral chemistry, element geochemistry and Sr-Nd isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1900–1916 (in Chinese with English abstract)
- Zhu JC, Shen WZ, Liu CS and Xu SJ. 1990. Nd-Sr isotopic

characteristics and genetic discussion of Mesozoic granitoids of syntexis series in South China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 9 (2): 97–105 (in Chinese with English abstract)

#### 附中文参考文献

- 陈富文, 李华芹, 王登红, 肖光铭, 杨晓君, 高亦文, 梅玉萍, 林秀广. 2012. 粤西圆珠顶斑岩型铜钼矿床成矿地质特征及成岩成矿作用年代学研究. *地质学报*, 86(8): 1298–1305
- 陈江峰, 周泰禧, 邢凤鸣, 徐祥, Foland KA. 1989. 皖南浅变质岩和沉积岩的钨同位素组成及沉积物源区. *科学通报*, 34(20): 1572–1574
- 陈懋弘, 黄智忠, 李斌, 黄宏伟. 2012. 广西苍梧社洞钨钼矿床花岗岩类岩石的地球化学特征及其与成矿关系. *岩石学报*, 28(1): 199–212
- 陈帅奇. 2011. 浙西开化地区燕山期岩体特征及成矿背景研究. 硕士学位论文. 北京: 中国地质大学, 28–35
- 陈毓川, 王登红. 2012. 华南地区中生代岩浆成矿作用的四大问题. *大地构造与成矿学*, 36(3): 315–321
- 地矿部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用. 北京: 地质出版社, 1–474
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例. *矿床地质*, 22(1): 1–12
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄卫. 2004. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制. *岩石学报*, 20(2): 239–248
- 胡恭仁, 章邦桐. 1998. 赣中变质基底的 Nd 同位素组成和物质来源. *岩石矿物学杂志*, 17(1): 35–40
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, 18(4): 300–308
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚军明, 戚华文, 张展适, 顾晟彦. 2003. 华南中-新生代与花岗岩类有关的成矿系统. *中国科学(D辑)*, 33(4): 335–343
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用. *矿床地质*, 24(2): 99–107
- 华仁民, 李光来, 张文兰, 胡东泉, 陈培荣, 陈卫锋, 王旭东. 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探. *矿床地质*, 29(1): 9–23
- 黄诚, 李晓峰, 王立发, 刘凤平. 2013. 湖南黄沙坪多金属矿床流体包裹体研究. *岩石学报*, 29(12): 4232–4244
- 江西银山多金属矿床编写组. 1996. 江西银山铜铅锌金银矿床. 北京: 地质出版社, 1–380
- 李晓峰, 陈文, 毛景文, 王春增, 谢桂青, 冯佐海. 2006. 江西银山多金属矿床蚀变绢云母 Ar-Ar 年龄及其地质意义. *矿床地质*, 25(1): 17–26
- 李晓峰, Watanabe Y, 屈文俊. 2007. 江西永平铜矿花岗岩质岩石的岩石结构、地球化学特征及其成矿意义. *岩石学报*, 23(10): 2353–2365
- 李晓峰, Watanabe Y, 华仁民, 毛景文. 2008. 华南地区中生代 Cu-(Mo)-W-Sn 矿床成矿作用与洋岭/转换断层俯冲. *地质学报*, 82(5): 625–640

- 李晓峰, 胡瑞忠, 华仁民, 韦星林, 肖荣, 杨锋, 王翠云. 2012. 江西德兴地区主要矿床类型、成矿地质特征及其成因关系. *地质论评*, 58(1): 82–90
- 梁清玲, 江思宏, 王少怀, 李超, 曾法刚. 2012. 福建紫金山矿田萝卜岭斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及地质意义. *地质学报*, 86(7): 1113–1118
- 孟祥金. 2007. 江西冷水坑斑岩型铅锌银矿床. 北京: 地质出版社, 1–148
- 马长信, 奚敏. 1992. 赣东北前震旦系变质地层的地球化学特征及含金性的评价. *地质找矿论丛*, 7(1): 36–51
- 毛伟, 李晓峰, 杨富初. 2013. 广东大宝山多金属矿床花岗岩质岩石锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义. *岩石学报*, 29(12): 4104–4120
- 南京大学地质学系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社, 1–408
- 裴荣富, 翟裕生, 张本仁. 1999. 深部构造作用与成矿. 北京: 地质出版社, 1–14
- 裴荣富, 王永磊, 李莉, 王浩琳. 2008. 华南大花岗岩省及其与钨锡多金属区域成矿系列. *中国钨业*, 23(1): 10–13
- 曲晓明, 侯增谦, 国连杰, 徐文艺. 2004. 冈底斯铜矿带埃达克质含矿斑岩的源区组成与地壳混染: Nd、Sr、Pb、O 同位素约束. *地质学报*, 78(6): 813–821
- 曲晓明, 侯增谦, 辛洪波. 2006. 西藏冈底斯碰撞造山带两套埃达克岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地球化学特征. *矿床地质*, 25(增刊): 419–422
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚. 1999. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明. 北京: 地质出版社, 1–50
- 沈渭洲, 凌洪飞, 李武显. 1998. 江西省中生代花岗岩类的 Nd-Sr 同位素研究. *科学通报*, 42(24): 2653–2657
- 沈渭洲, 凌洪飞, 李武显, 黄小龙, 王德滋. 1999. 中国东南部花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究. *高校地质学报*, 5(1): 22–32
- 舒良树. 2012. 华南构造演化的基本特征. *地质通报*, 31(7): 1035–1053
- 王翠云, 李晓峰, 肖荣, 白艳萍, 杨锋, 蒋松坤. 2012. 德兴朱砂红斑岩铜矿热液蚀变作用及元素地球化学迁移规律. *岩石学报*, 28(12): 3869–3886
- 王强, 赵振华, 简平, 许继峰, 包志伟, 马金龙. 2004. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学. *岩石学报*, 20(2): 315–324
- 王强, 孙燕, 张雪辉, 张世铭, 王瑜亮, 张春茂. 2012. 江西村前铜多金属斜长花岗岩斑岩 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地质意义. *中国地质*, 39(5): 1143–1150
- 王岳军, 范蔚茗, 郭峰, 李惠民, 梁新权. 2001. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U-Pb 法定年及其成因指示. *中国科学(D辑)*, 31(9): 745–751
- 谢银财, 陆建军, 马东升. 2013. 湘南宝山铅锌多金属矿区花岗闪长斑岩及其暗色包体成因: 锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素制约. *岩石学报*, 29(12): 4186–4214
- 徐克勤, 胡受奚, 孙明志, 叶俊. 1982. 华南两个成因系列花岗岩类及其成矿特征. *矿床地质*, 1(2): 1–14
- 徐克勤, 胡受奚, 孙明志, 张景荣, 叶俊. 1983. 论花岗岩的成因系



- 列——以华南中生代花岗岩为例. 地质学报, (2): 107-118
- 徐克勤, 涂光炽. 1984. 华南花岗岩地质和成矿关系. 南京: 江苏科学技术出版社, 1-657
- 杨世义, 刘妮群, 张秀兰, 陈长江. 1984. 福建钟腾斑岩铜(钼)矿床根部带的蚀变矿化特征. 矿床地质, 3(1): 11-18
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征. 岩石学报, 21(3): 688-696
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2006. 湖南宝山矿床 REE、Pb-S 同位素地球化学及黄铁矿 Rb-Sr 同位素定年. 地质学报, 80(7): 1045-1054
- 翟裕生, 姚书振, 周宗桂, 吕新彪, 黄方方, 金伟, 黄诗峰, 陈先兵. 1999. 长江中下游铜金矿床矿田构造. 北京: 中国地质大学出版社, 1-194
- 张德全, 李大新, 丰成友. 2001. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义. 地球学报, 22(5): 403-408
- 张德全, 余宏全, 李大新. 2003. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统. 地质学报, 77(2): 253-261
- 张德全, 丰成友, 李大新, 余宏全, 董英君. 2005. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化. 地球学报, 26(2): 127-136
- 张旗, 王焰, 刘红涛, 王元龙, 李之彤. 2003. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景附《国内关于埃达克岩的争论》. 地学前缘, 10(4): 385-400
- 张旗. 2008. 埃达克岩研究的回顾和前瞻. 中国地质, 35(1): 32-39
- 张世铭, 肖渊甫, 王强, 张雪辉, 杨玲, 王瑜亮, 张春茂. 2013. 浙江省桐村钼矿床 Re-Os 同位素年龄及地质意义. 地质与勘探, 49(1): 50-57
- 赵海杰, 郑伟, 余长发, 胡耀国, 田云. 2012. 粤西石碇铜钼矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 中国地质, 39(6): 1604-1613
- 郑伟, 陈懋弘, 徐林刚, 赵海杰, 凌世彬, 吴越, 胡耀国, 田云, 吴晓东. 2013. 广东天堂铜铅锌多金属矿床 Rb-Sr 等时线年龄及其地质意义. 矿床地质, 32(2): 259-272
- 中国科学院地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学. 北京: 科学出版社, 1-421
- 周泰禧, 陈江峰, 张巽, 李学明. 1995. 北淮阳花岗岩-正长岩带地球化学特征及其大地构造意义. 地质论评, 41(2): 144-151
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考. 高校地质学报, 9(4): 556-565
- 朱碧, 蒋少涌, 丁昕, 姜耀辉, 倪培, 顾连兴. 2008. 江西永平铜矿区花岗岩热液蚀变与岩石成因: 矿物化学, 元素地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素制约. 岩石学报, 24(8): 1900-1916
- 朱金初, 沈渭洲, 刘昌实, 徐士进. 1990. 华南中生代同熔系列花岗岩类的 Nd-Sr 同位素特征及成因讨论. 岩石矿物学杂志, 9(2): 97-105