

南岭地区与铅锌矿有关岩浆岩的成矿专属性研究

赵正¹, 王登红¹, 张长青¹, 何玉璠²

(1.国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2.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, 贵州 贵阳 550002)

摘要:南岭地区是我国重要的铅锌矿产资源基地之一, 除传统的层控-热液改造型矿床外, 近些年新发现(或储量增加)的铅锌矿产地中岩浆热液型矿床占有越来越重要的地位。本文在总结南岭地区主要岩浆热液型铅锌矿床时空分布规律的基础上, 探讨了与铅锌矿有关的岩浆岩岩石矿物学、地球化学特征和成矿专属性问题。并与成钨锡矿的花岗岩进行了对比, 指出燕山早期(146~173 Ma)和燕山晚期(84~102 Ma)是南岭地区的两个成铅锌矿集中期, 分别以赣南、湘南和桂北为代表。成铅锌矿的岩浆岩具有深源浅成、低分异、中酸性-酸性、高钾钙碱性-钾玄岩过渡系列岩浆特点, 其高 LREE/HREE 比值和低 δEu 异常等特征区别于成钨锡矿的岩浆岩。成铅锌矿岩浆岩进一步划分为铅锌钨锡组合相关的壳源重熔型和铅锌铜金银相关的混合源型, 前者 SiO_2 含量较高(通常>70%)且与成钨锡矿花岗岩具有类似的变质砂岩熔融源区, 后者则为基性岩熔融或壳幔混合型源区。

关键词:南岭地区; 岩浆热液型铅锌矿床; 岩浆岩; 成矿专属性; 燕山早期

中图分类号: P617; P59 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2014)02-0289-012

0 引言

南岭地区是我国有色金属矿产的重要资源基地, 除盛产钨、锡、稀土、铀等矿产外, 同时也是我国重要的铅锌矿产地之一。据全国矿产资源潜力评价项目不完全统计, 南岭地区已发现铅锌矿床(点)520处, 其中大型、超大型 27 处, 包括广东凡口、广西南丹大厂、湖南黄沙坪等世界级的大型-超大型矿床, 以及赣南银坑、赤坑等新发现的中型-大型铅锌矿床。矿床成因类型包括岩浆热液型和层控-热液改造型, 以岩浆期后中-高温热液型、矽卡岩型和沉积改造型较为重要。其中与岩浆作用有关的铅锌矿床以

燕山期最为集中。

地矿部南岭铅锌矿专题组(1985)对南岭地区主要铅锌矿床的成因类型进行了归纳, 并对各类矿床的控矿要素进行了总结。陈毓川等(1989)对南岭地区黄沙坪等重要铅锌多金属矿床的地质特征和成矿模式进行了研究, 并划分出钨锡金银铅锌铀和稀土矿床的成矿系列。王登红等(2010a)对南岭地区包括铅锌在内的重要有色金属和贵金属矿集区的成矿潜力进行了评价, 并以湘南地区为例, 建立了钨锡钼铋铅锌多金属矿床“体中体”成矿模式。

近年来, 南岭地区在传统的沉积改造型铅锌矿床基础上, 勘查新发现和储量增加的矿床中岩浆热

收稿日期: 2013-10-15; 改回日期: 2013-11-24

项目资助: 深部探测技术与实验专项“南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验”(编号: SinoProbe-03-01), “大陆科学钻探选址预研究”之“南岭于都-赣县矿集区科学钻探选址预研究”(编号: 201011064-3/4/5), 国家自然科学基金(编号: 41372092), “南岭于都-赣县矿集区立体探测技术与深部成矿预测示范”(编号: SinoProbe-03-03)及中央公益性科研院所经费(编号: K1303)联合资助。

第一作者简介: 赵正(1984-), 男, 博士后, 高级工程师, 主要从事岩浆岩与成矿规律研究。Email: kevin8572@hotmail.com

通信作者: 王登红, 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿床学研究。Email: wangdenghong@vip.sina.com

液脉型铅锌多金属矿床占据越来越大的比例，然而这类铅锌矿仍以中小型、共伴生矿为主，找矿难度较大、找矿方向不明确、更缺乏有效的找矿标志。本文以岩浆岩的成矿专属性为切入点，在区域地质和岩体地质工作的基础上，结合近年来年代学和地球化学的研究成果(贾大成等, 2002; 郭家松和吴明珠, 2003; 华仁民, 2005; 毛景文等, 2007; 李献华等, 2007; 柏道远等, 2007; 朱金初等, 2003, 2009; 王登红等, 2010b; 丰成友等, 2011; 郭春丽等, 2011; 赵正等, 2012), 重点探讨南岭地区与铅锌矿床有关的岩体岩专属性特征, 总结提出岩体地质、岩石矿物、地球化学三个层次的专属性特征, 力争为南岭地区铅锌多金属矿床的找矿工作提供依据。

1 南岭铅锌矿及相关岩浆岩的空间分布特征

南岭地区各类型铅锌矿床空间分布具有较明显的规律性, 即自北西-南东由层控型-岩浆热液型-火山岩型变化。从整体来看本区铅锌矿床大致呈北东向的带状分布。由于矿床受大地构造单元和断裂构造控制, 因而矿床(点)聚合范围和形式有呈面型、带型、群簇状及零星分散状等形态(图 1)。矿床呈面型密集分布的地区主要为东南沿海褶皱系和华夏古陆东南部。矿床(点)呈北东向带状分布的地区主要为华夏古陆的西部, 赣湘粤坳陷及粤桂古台隆。在北

东向深大断裂两侧矿床(点)尤为密集, 故亦呈北东向展布(如图 1)。

岩浆热液型铅锌矿床及相关岩浆岩主要分布于郅庐深断裂南延西支以东地区, 集中于赣南、湘南、桂北三个矿集区, 其他呈面状零星分布于粤北等地(图 1)。其中中温热液充填型铅锌矿床主要分布于加里东隆起区及江南地轴, 高-中温热液型铅锌矿床和矽卡岩型铅锌矿床主要分布于华南褶皱系中的海西-印支凹陷区, 火山岩型矿床主要分布于东南沿海褶皱系。自西北至南东方向, 铅锌矿床中矿物元素组合变化规律为 Pb、Zn、Cu→Pb、Zn、Cu、Au→Pb、Zn、W、Sn→Pb、Zn、S、Ag, 矿床成矿温度由低逐渐升高。

2 南岭地区与铅锌矿有关岩浆岩的成岩时代

南岭地区铅锌矿的成矿期大致可以分为六期(地矿部南岭铅锌矿专题组, 1985), 其中以燕山期、海西-印支期为主, 总的规律是自本区西北向东南, 铅锌矿成矿时间越来越新, 如表 1 所示。岩浆热液型矿床成矿期主要为燕山期, 其中湘南和赣南铅锌多金属矿床形成于燕山早期, 桂北岩浆热液型锡铅锌多金属矿床形成于燕山晚期(表 1)。

从现有资料看, 岩浆热液型铅锌矿床与中酸性-酸性岩体在空间和时间上有着密切的关系。且这些

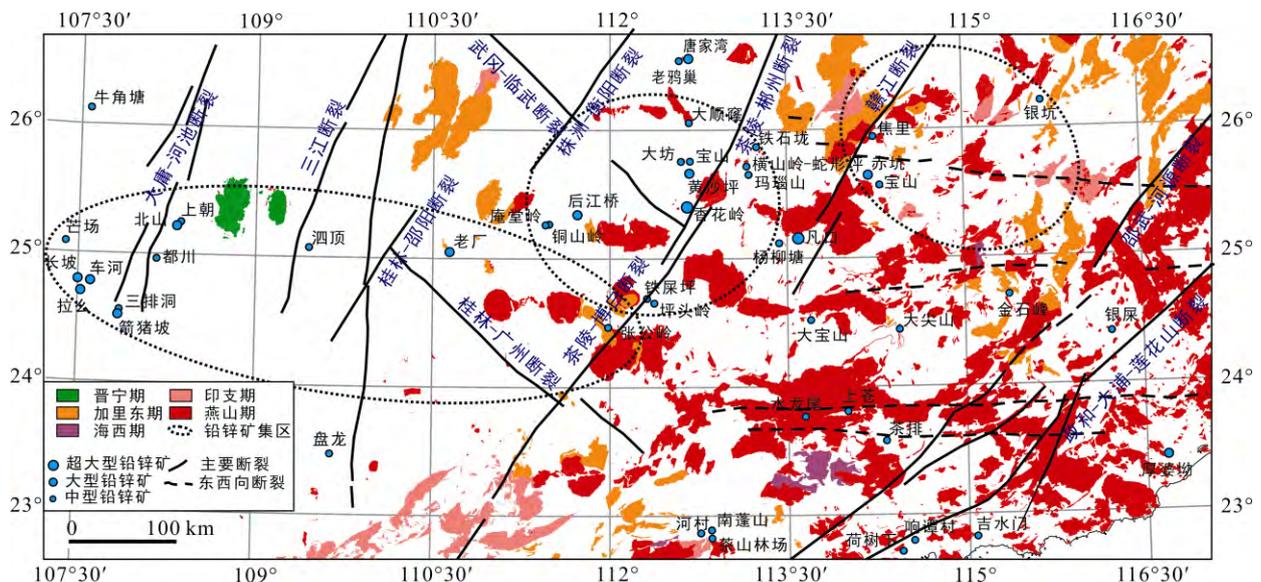


图 1 南岭地区重要铅锌矿床分布图(底图岩浆岩及断裂据 1:20 万各图幅拼接编制)
Fig.1 Map showing the distribution of the major Pb-Zn deposits in the Nanling region

表1 南岭地区部分与铅锌矿有关的部分岩浆岩体简表
Table 1 The magmatic intrusions associated with the Pb-Zn deposits in the Nanling region

序	省区	岩体名称	岩性	岩体年龄(Ma)	有关矿种	典型矿床	资料来源
1	江西	营前	细粒花岗闪长岩	172.2	Pb、Zn、Ag、Au	焦里	郭春丽, 2010
			细粒花岗闪长岩	167.6			
2	江西	牛形坝 柳木坑	花岗闪长斑岩	160.9	Pb、Zn、Ag、Au	牛形坝 柳木坑	赵正等, 2012
			花岗斑岩	153.55			
3	江西	银坑	花岗闪长岩	160	Pb、Zn、W、Ag	柳木坑	赵正等, 2012
4	江西	九龙脑宝山	黑云母花岗岩	156	Pb、Zn、Sn、W	宝山	丰成友等, 2011, 2012
			黑云母花岗岩	156.6			
5	湖南	宝山	黑云母二长花岗岩	173	Pb、Zn、Cu	宝山	Wang et al., 2002
6	湖南	水口山	花岗闪长岩	163	Pb、Zn、Au、Ag	老鸭巢	马丽艳等, 2006
7	湖南	香花岭	铁锂云母二长花岗岩	155	Pb、Zn、Sn、Ag	茶山	钟江临和李楚平, 2006
8	湖南	黄沙坪	石英斑岩体	152	Pb、Zn、Cu、Mo、Bi	黄沙坪	雷泽恒等, 2010
9	湖南	千里山	似斑状黑云母花岗岩等粒黑	152	Pb、Zn、Ag	燕山岭-蛇形坪、 玛瑙山	毛景文等, 1995
			云母花岗岩花岗斑岩	136			
				131			
10	湖南	铜山岭	花岗闪长岩	164	Pb、Zn、Cu	庵堂岭	Jiang et al., 2009
11	湖南	骑田岭	黑云母二长花岗岩	146~163	Pb、Zn、Sn	宝山、黄沙坪	朱金初等, 2009
12	湖南	大义山	花岗岩岩体	160	Pb、Zn、Sn、W、Cu	大义山	伍光英等, 2005
13	广东	大宝山	花岗闪长斑岩体	175.8	Pb、Zn、Cn	大宝山	王磊等, 2012
14	广西	大黎	石英二长岩	102.8	Pb、Zn、Cu、Mo、Au、 Ag	陈塘	胡升奇等, 2012
			石英二长斑岩	101.7			
15	广西	大宁岩体	花岗闪长岩	398	Pb、Zn、Au、Ag	张公岭	陈毓川等, 1989
16	广西	芒场	花岗岩	84	Pb、Zn、Ag	芒场马鞍山	耿明山和刘自力, 1998
17	广西	龙箱盖	花岗岩石英闪长岩	91~93	Sn、Zn	大厂 东坡-铜坑	蔡明海等, 2006 梁婷等, 2009
				91			

浅成和超浅成的岩体规模相对较小,如湖南水口山、蛇形坪、江西银坑、宝山、焦里、广西凤凰岭等大、中型铅锌矿床。据统计,南岭主要铅锌矿产区中,与这类小岩体有关的矿床有36个,储量占85%以上。由于一些热液脉型铅锌多金属矿床在地表并无岩体出露,缺乏直接定年的矿物,只能利用中酸性岩浆岩脉与矿体的穿插关系、以及被判定为成矿期内的岩脉的成岩年龄来确定矿床的成矿时代(如赣南银坑)。因此,确定与铅锌多金属矿床相关的岩浆岩的成岩时代就越发显得重要,由表1可见,南岭地区三个铅锌矿分布集中区的相关岩体(脉)成岩年龄分别为:赣南153~172 Ma,湘南131~173 Ma,桂北84~102 Ma。

除燕山期花岗岩体外,其他各期花岗岩与铅锌矿的关系不密切。这从岩体的铅锌含量中也可以看出,燕山期花岗岩铅锌含量较高,其他各期花岗岩铅锌含量均较低(接近克拉克值)。

3 南岭地区与铅锌矿有关岩浆岩体地质特征

南岭地区自古生代以来构造-岩浆活动强烈而持久,花岗质岩浆岩广泛分布。而与铅锌矿有关的主要为燕山期岩体(脉),其产状和形态严格受构造制约,沿一些主干断裂带展布(图1)。岩体沿多组断裂的交叉结点侵入,或产于断裂与褶皱的转折、倾覆端交汇部位。大部分与铅锌矿有关的岩体规模较小,地表出露面积以0.1~2 km²者对成矿最有利(表2)。

3.1 成矿岩体产状与规模

成铅锌矿的岩浆岩体几种主要产状简述如下:

(1) 岩体沿两组以上的断裂、裂隙带交叉部位侵入,特别是沿着北东向和北西向张剪性复合交汇部位侵入,多形成岩株、岩筒和复杂的岩盘。如天堂矿区的二长花岗斑岩呈复杂的小岩株体,冷水坑矿

表 2 南岭地区主要成铅锌矿岩体产状、形态及规模表

Table 2 Occurrence, shape and size of the major intrusions associated with lead-zinc deposits in the Nanling region

矿区名称	产状	平面形态	剖面形态	岩体规模(km ²)	矿床规模
江西银坑	岩株/岩脉	椭圆形	上小下大岩株	1.0	中型
江西冷水坑	岩筒	不规则条状	上缓下陡岩筒	0.36	大型
江西宝山	岩株	椭圆形	上小下大岩株	1.4	中型
湖南黄沙坪	岩盘	亚岭状	漏斗状	0.8	大型
湖南水口山	岩株	椭圆形	上大下小筒状	1.8	大型
湖南七宝山	岩盘	椭圆形	漏斗状	2.0	中型
湖南大坊	岩盘	不规则状	不规则的岩筒	0.3	中型
湖南蛇形坪	岩墙	岩墙状	倾角陡	0.4	中型
湖南野鸡尾	岩盘	不规则的圆状	漏斗状	0.1	中型
广东天堂	岩株	椭圆形	上小下大岩株	0.34	大型
广西拉么	岩株	椭圆形	上小下大岩株	0.4	中型
广西凤凰岭	岩株	不规则的圆状	倾角陡	0.1	中型

注: 部分数据引自地矿部南岭铅锌矿专题组(1985)。

区的花岗斑岩呈隐爆岩筒, 黄沙坪矿区的石英斑岩呈复杂的岩盘。

(2) 岩体沿一组断裂或两组发育程度悬殊的一组主断裂侵入, 其形态多呈岩脉、岩墙等。如东坡矿田蛇形坪矿区的花岗斑岩呈北东向的岩墙产出, 五部矿区的石英霏细斑岩呈北北西向的岩脉分布。

(3) 岩体沿断裂与褶皱复合部位侵入, 其产状形态因岩体产于褶皱的不同部位而异。当岩体产于背斜轴部时, 一般呈蘑菇状的岩株体。如水口山矿区的花岗闪长岩体。

3.2 岩体形态与矿体的富集部位

岩体的产状、形态与铅锌矿富集的部位有密切的关系。总的看来, 矿体产于岩体的根部, 即通道的接触带部位。但由于岩体形态各异, 矿体富集的部位也不相同:

(1) 岩盘(蘑菇状岩体): 矿体一般富集在岩盘的下部接触带处。由于围压降低, 岩浆便沿主要通道向旁侧裂隙贯入, 从而使岩体上部膨大形成蘑菇状。蘑菇的下盘为矿液的聚集创造了有利的构造条件, 并且岩盘成为矿液的屏蔽, 因此岩盘下部往往形成富矿体。如湖南黄沙坪矿区(图 2)、七宝山矿区的主矿体均位于岩盘的下部。

(2) 岩株: 矿体产于岩体与围岩的接触带上, 或岩体的顶部。如天堂矿区、水口山矿区和拉么矿区。远离接触带常有岩脉与矿体直接接触, 如赣南银坑矿区(图 3)。

(3) 岩墙: 矿体一般富集在岩墙下部及拐弯处。在水平面上, 矿体富集在两岩墙相交处和岩墙的末

端部位。如浙江五部矿区和湖南蛇形坪矿区(图 4)。

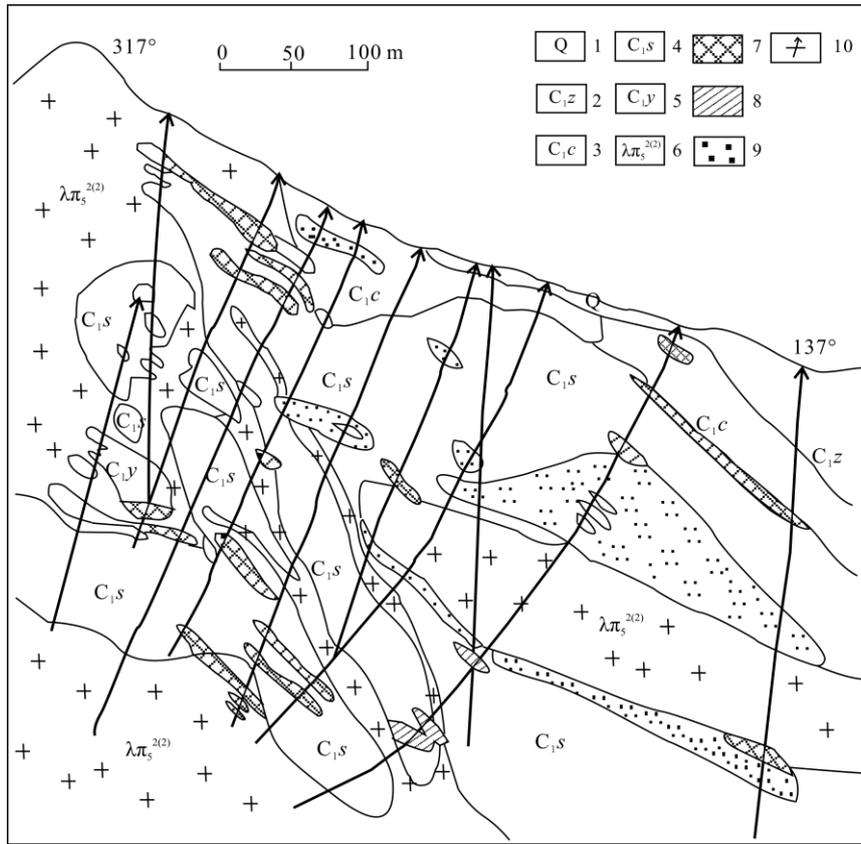
4 与铅锌矿有关岩浆岩的岩石矿物学特征

4.1 岩石类型

南岭地区与铅锌矿有密切关系的岩体一般为酸性、中酸性岩浆岩, 包括黑云母二长花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩、花岗闪长(斑)岩和石英闪长岩等。南岭地区岩浆热液型铅锌矿床的一个最大特点是以共、伴生矿为主。从岩浆岩成矿专属性的角度来看, 与钨锡矿共生的铅锌矿床相关的岩浆岩以黑云母二长花岗岩、花岗斑岩为主(如赣南焦里、九龙脑, 湘南黄沙坪, 桂北东坡-铜坑矿区), 与金银铜贵金属共生的铅锌矿床相关的岩浆岩以花岗闪长(斑)岩、石英闪长岩为主(如赣南银坑、宝山, 桂北龙头山、拉么矿区), 但也有以上多种岩浆岩在同一矿田共存的现象(赣南牛形坝、广西大厂等)。

4.2 矿物学特征

南岭地区与铅锌矿有关的岩浆岩主要形成于燕山早期, 本次工作选择赣南地区热液脉型铅锌矿相关的二长花岗岩(如韩坊岩体)、花岗闪长岩(如赣南高山角岩体)、花岗闪长斑岩(银坑牛形坝岩脉)进行了鉴定(图 5), 其主要矿物有钾长石、斜长石、石英、黑云母和白云母, 斜长石相对发育。斑状结构的斑岩, 其基质普遍具有霏细结构、球粒放射状结构、花斑结构等; 似斑状结构的斑岩, 基质多具显微花岗结构。



1. 第四系残坡积层; 2. 石炭系梓门桥组; 3. 石炭系测水组; 4. 石炭系石碇子组; 5. 石炭系岩关组; 6. 花岗岩; 7. 铅锌矿体; 8. 铁矿体; 9. 砂卡岩; 10. 钻孔。

图 2 湖南黄沙坪铅锌矿剖面图(据湖南冶金研究所和 238 地质队)

Fig.2 Geological section map of the Huangshaping lead-zinc deposit

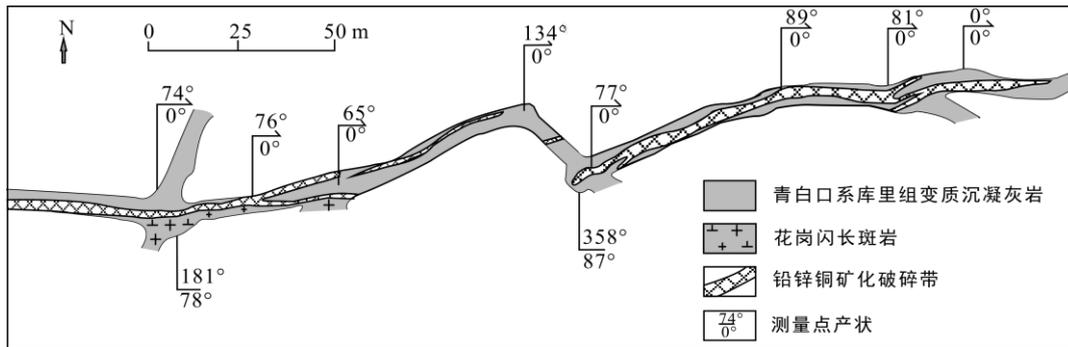


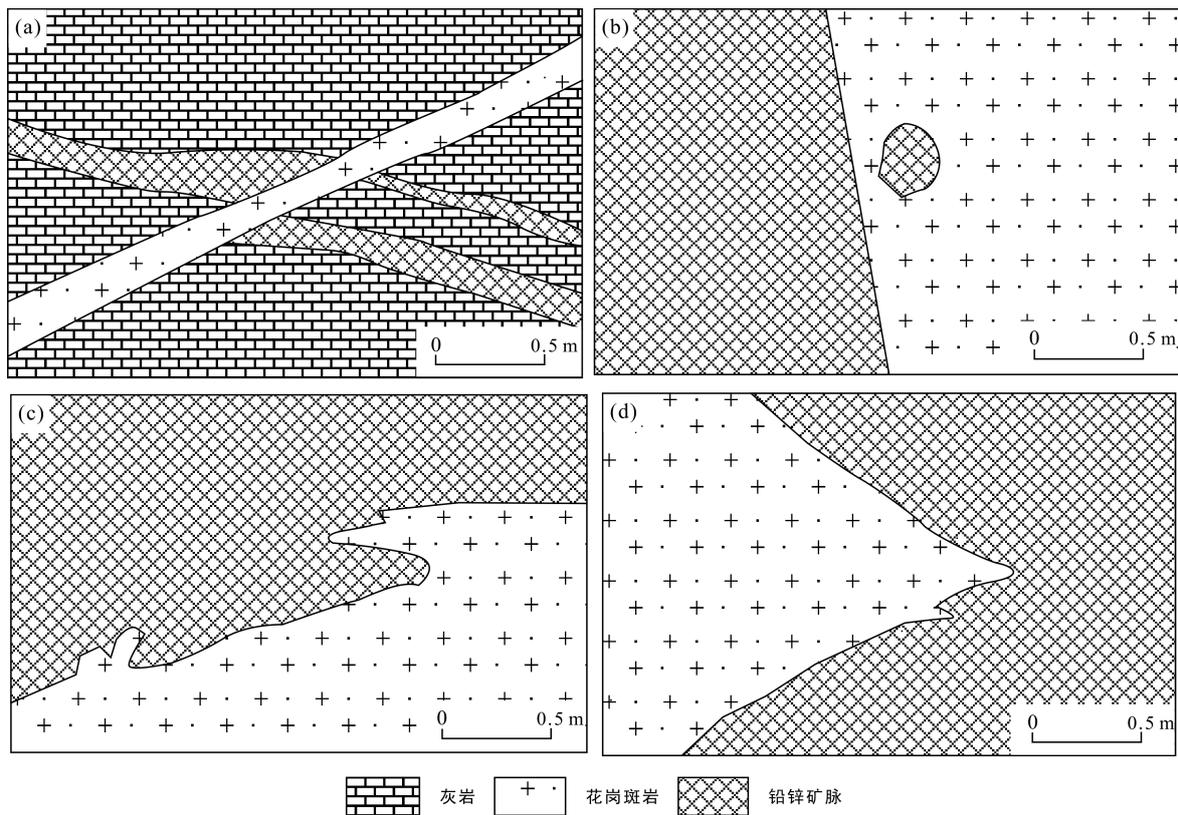
图 3 银坑矿床中铅锌矿脉与花岗闪长岩的接触关系

Fig.3 The contact relation between the lead-zinc veins and the granodiorite at the Yinkeng deposit

成矿岩浆岩与非成矿岩浆岩具有明显的蚀变特征, 如韩坊二长花岗岩多发南岭地区主要成铅锌矿岩体产状、形态及规模表生中等程度蚀变, 钾长石和斜长石被细小高岭石不均匀交代, 表面变浑浊, 部分长石发育净化边结构。黑云母发生不同程度的绢云母化, 在正交偏光下呈现异常干涉色, 并沿解理有铁质析出。

银坑花岗闪长斑岩出露于矿田中呈岩瘤或岩脉状沿断裂带侵入, 附近伴有花岗质斑岩脉或少量隐爆角砾岩筒(如银坑樟石坳隐爆角砾岩)分布。该岩石绢云母化、绿泥石化、绿帘石化和碳酸岩化蚀变强烈, 具明显的褪色现象, 其中长石类矿物以绢云母化和碳酸岩化为主, 暗色矿物角闪石和黑云母则

湖南冶金研究所和 238 地质队. 1976. 黄沙坪铅锌多金属矿成矿地质特征及找矿方向. 湖南冶金地质, 13(1): 24-27.



(a) 花岗斑岩切割铅锌矿体; (b) 花岗斑岩内发育铅锌矿捕房体; (c)、(d), 花岗斑岩延伸到铅锌矿体中。

图 4 湖南东坡-蛇形坪矿区铅锌矿与花岗斑岩的接触关系(据杨昌明, 1986)

Fig.4 The contact relation between the lead-zinc veins and the granite porphyry in the Dongpo-Shexingping mining area

主要为绢云母化或绿泥石化, 它们常呈其假象残留于蚀变岩中。近接触带, 黑云母常遭到绿泥石化或绢云母化蚀变。

4.3 副矿物组合

成矿岩体的副矿物组合较复杂, 种类较多, 最多达 20 余种。副矿物中金属硫化物较多, 且普遍有萤石、重晶石、锡石、黑钨矿等矿物。如黄沙坪、东坡山、七宝山等矿区的石英斑岩体和冷水坑矿区的花岗斑岩体中均含有较多的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂等矿物。而非成矿岩体的副矿物组合简单, 一般少于 7 种。副矿物中金属硫化物少且含量低, 没有发现萤石、重晶石、锡石、黑钨矿等矿物。

5 与铅锌矿有关岩浆岩的地球化学特征

南岭地区成铅锌矿的岩浆岩岩性主要为黑云母二长花岗岩、花岗斑岩、花岗闪长(斑)岩和石英闪长岩, 这与 TAS 图解显示相一致(图 6)。本文搜集了南

岭地区具有代表性的与铅锌矿有关的 20 余组岩浆岩数据(表 3), 从地球化学的角度总结分析了铅锌矿相关岩浆岩的专属性特征, 并与典型的成钨锡矿花岗岩(西华山、漂塘矿区)展开对比。

5.1 岩石 SiO_2 含量与成矿的关系

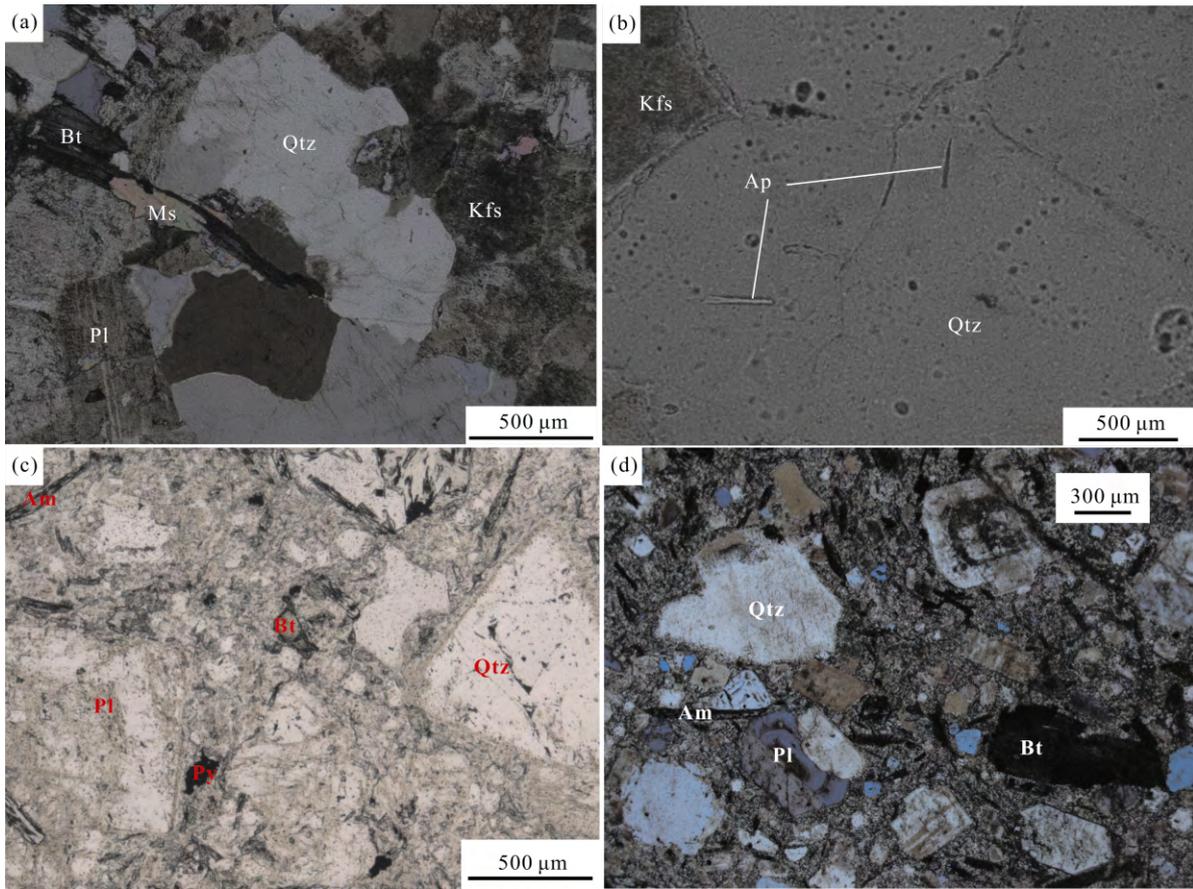
据目前资料分析, 区内与铅锌矿有关的酸性、中酸性岩体 SiO_2 含量变化比较大。从 SiO_2 含量为 57% 到 74% 都能形成规模不等的铅锌矿床。但不同酸度的成矿岩体, 成矿金属组合不尽相同。其规律如下:

(1) 铅锌矿主要成矿岩体 SiO_2 含量多介于 62%~74% 之间, 属中酸性-强酸性岩浆岩。

(2) SiO_2 含量从 57%~72% 的岩体, 主要为铅锌铜银金矿物组合。如天堂矿区、拉么矿区、水口山矿区、铜山岭矿区和银坑矿区等。

(3) SiO_2 含量从 70%~75% 的岩体, 主要为铅、锌、锡、钨矿物组合。如黄沙坪南部矿体、香花岭、大厂矿田东坡-铜坑矿区、江西宝山等。

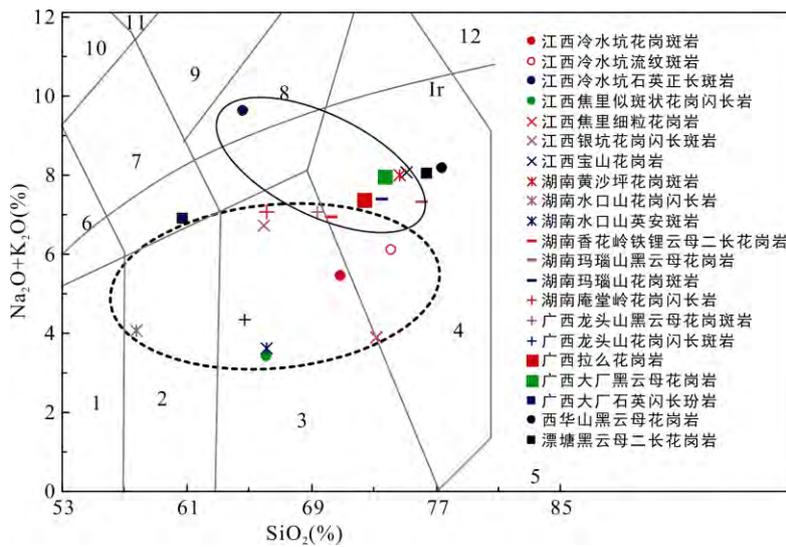
(4) 独立的岩浆热液型钨锡矿床, 如赣南西华山钨矿、漂塘钨矿等, 相关黑云母花岗岩的 SiO_2 含量大于 75%。



(a)、(b) 韩坊二长花岗岩; (c) 高山角花岗闪长岩; (d) 牛形坝黄铁矿化、绿泥石化花岗闪长斑岩。矿物代号缩写: Ap. 磷灰石; Bt. 黑云母; Kfs. 钾长石; Ms. 白云母; Pl. 斜长石; Qtz. 石英。

图 5 南岭地区与铅锌矿有关的花岗岩显微照片

Fig.5 Micrograph of the granites associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region



Ir 为 Irvine 分界线, 其上方为碱性, 下方为亚碱性。虚线范围为铅锌金银组合矿床相关岩浆岩, 实线范围为铅锌钨锡组合矿床相关岩浆岩。
1. 辉长闪长岩; 2. 闪长岩; 3. 花岗闪长岩; 4. 花岗岩; 5. 石英岩; 6. 二长闪长岩; 7. 二长岩; 8. 石英二长岩; 9. 正长岩; 10. 副长石二长正长岩; 11. 副长正长岩; 12. 霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩。

图 6 南岭地区与铅锌矿有关岩浆岩 $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ (底图据 Middlemost, 1994)

Fig.6 SiO_2 vs. (Na_2O+K_2O) diagram of the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region

表 3 南岭地区与铅锌矿相关的岩浆岩数据统计表

Table 3 Statistical data of the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region

岩体/矿区	湖南黄沙坪	江西冷水坑	江西冷水坑	江西冷水坑	广西龙头山	广西龙头山	江西焦里	江西焦里	江西银坑	江西银坑	江西银坑	广西拉么	湖南水口山	湖南水口山	湖南水口山
岩石名称	花岗斑岩	花岗斑岩	流纹斑岩	石英正长斑岩	黑云母花岗斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长岩	斑状花岗闪长岩	细粒斑状黑云母花岗闪长岩	中细粒花岗闪长岩	花岗闪长岩脉	花岗岩	花岗闪长岩	花岗闪长岩	英安玢岩
数据个数	9	5	3	3	2	4	3	1	3	3	3	2	3	1	6
资料来源	姚军明等, 2005	左力艳等, 2008			曾南石等, 2011		李大新和赵一鸣, 2004		赵正等, 2012			赵劲松, 1996	喻亨祥和刘家远, 1997		
岩体/矿区	湖南香花岭	江西宝山	湖南玛瑙山	湖南玛瑙山	湖南玛瑙山	湖南庵堂岭	广西大厂	广西大厂	西华山	漂塘	江西焦里	江西焦里			
岩石名称	铁锂云母二长花岗岩	花岗岩	似斑斑状黑云母花岗岩	千里山等粒黑云母花岗岩	千里山花岗岩	铜山岭花岗闪长岩	黑云母花岗岩	石英闪长玢岩	黑云母花岗岩	黑云母二长花岗岩	早期似斑状花岗岩闪长岩	晚期细粒花岗岩			
数据个数	3	6	6	10	5	4	4	2	9	5	4	6			
资料来源	邱瑞照等, 2002	丰成友等, 2012	毛景文等, 1995			王岳军等, 2001	梁婷, 2008		肖剑等, 2009	华仁民等, 2003	郭春丽, 2010				

注: 表中取各组数据平均值, 限于篇幅统计数据略。

5.2 岩石化学与成矿的关系

区内大多数岩体属铝过饱和岩石(图 7), 而与铅锌矿相关花岗岩 A/CNK 值跨度较大, 在 0.9~2.0 之间, 属于准铝质-过铝质, Na₂O+K₂O 值在 3.6%~8% 之间, 较集中于 6%~7.5% 范围内, 略低于成钨锡矿花岗岩(图 6), 且 K₂O 含量明显高于 Na₂O, 而成钨锡矿花岗岩中 K₂O 与 Na₂O 含量相当, 前者略高。成钨锡矿花岗岩(西华山和漂塘钨锡矿区)属高钾钙碱性系列, 而成铅锌矿花岗岩落于钾玄岩系列及其与高钾钙碱性系列的过渡区域(图 8)。

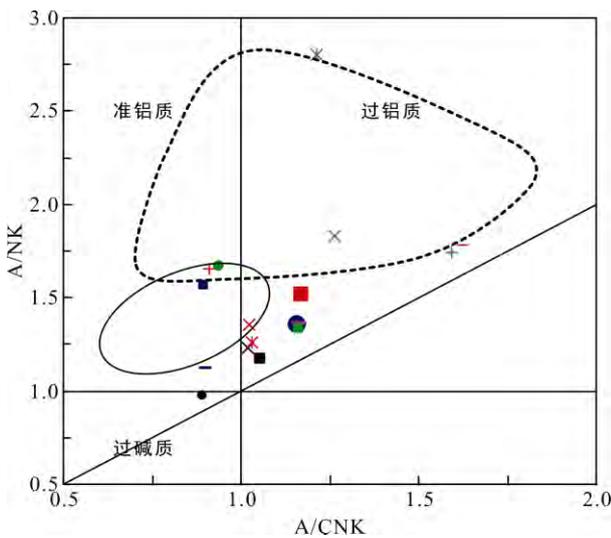


图 7 南岭地区与铅锌矿有关的岩浆岩 A/CNK-A/NK 图 (图例和数据源同图 6)

Fig.7 A/CNK vs. A/NK plot for the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region

热液蚀变在成矿过程中对矿质起到析离和沉淀作用, 故成矿岩体的矿化强弱与热液蚀变的析沉作用强弱有密切的关系。以含碱金属元素和挥发份为主的气-热液愈充足, 作用于含矿岩体的析离蚀变作用愈强烈而且彻底。迁聚条件有利、沉淀蚀变作用完全而集中, 就可能形成大而富的铅锌矿床。如湖南黄沙坪矿区石英斑岩和湖南水口山矿区花岗闪长岩中均含有较高的 F 和 Cl 含量比值(姚军明等, 2005; 刘旭等, 2009)。

5.3 微量元素地球化学特征

微量元素组合特征是辨别成矿岩体和矿石类型

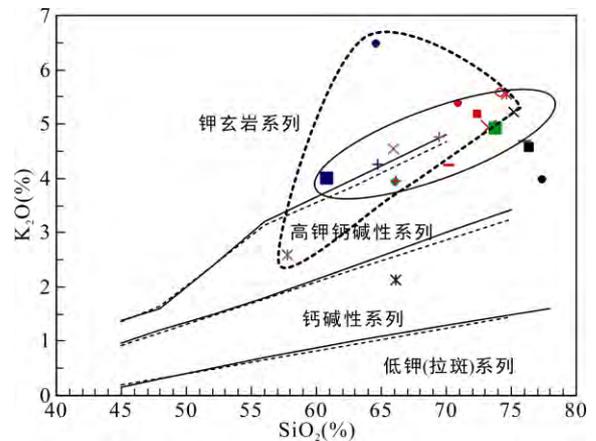


图 8 南岭地区与铅锌矿有关岩浆岩 SiO₂-K₂O 图(图例和数据源同图 6)(底图据 Morrison, 1980)

Fig.8 SiO₂ vs. K₂O plot for the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region

的一个标志。不同金属组合的矿床, 其成矿岩体中微量元素组合是不同的。在铅锌铜金属组合的矿床中, 其成矿岩体的微量元素组合特征是: 含有较多的亲硫元素并含有 Au、Ag、铁族元素, 且分布较普遍, 亲氧元素仅有 Ga、Zr、Rb、Sr 等。如湖南水口山、江西银坑、广东天堂矿区。当出现较多的钨锡时, 就转变为钨锡组合矿床, 其成矿岩体中的微量元素组合较复杂, Sn、W、Nb、Ta、Y 普遍存在, 含量较高。如湖南黄沙坪、东坡、广西拉么矿区等。

成铅锌多金属矿花岗岩稀土元素总量较高 ($\Sigma\text{REE}=99\times 10^{-6}\sim 422\times 10^{-6}$), 大部分集中在 $130\times 10^{-6}\sim 300\times 10^{-6}$ 之间, 明显高于成钨锡矿花岗岩($110\times$

$10^{-6}\sim 130\times 10^{-6}$); 轻、重稀土元素分馏十分明显, La_N/Yb_N 值高达 1.6~21, 而成钨锡矿花岗岩 La_N/Yb_N 值仅为 0.32~0.64; 但成钨锡矿花岗岩具有更明显的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.03\sim 0.04$)(图 9)。崇余犹矿集区作为南岭地区典型的热液脉型钨锡矿产地, 本文选择西华山和漂塘两个典型钨矿区的花岗岩参与对比(图 9), 该区黑云母花岗岩轻-重稀土分馏不明显、重稀土富集、稀土元素球粒陨石标准化分布型式均为“海鸥”型, 而南岭地区成铅锌多金属矿花岗岩则表现为轻稀土富集的右倾型, 两者稀土元素配分模式的差异可以作为区别成钨锡矿和成铅锌多金属矿花岗岩的重要标志之一。

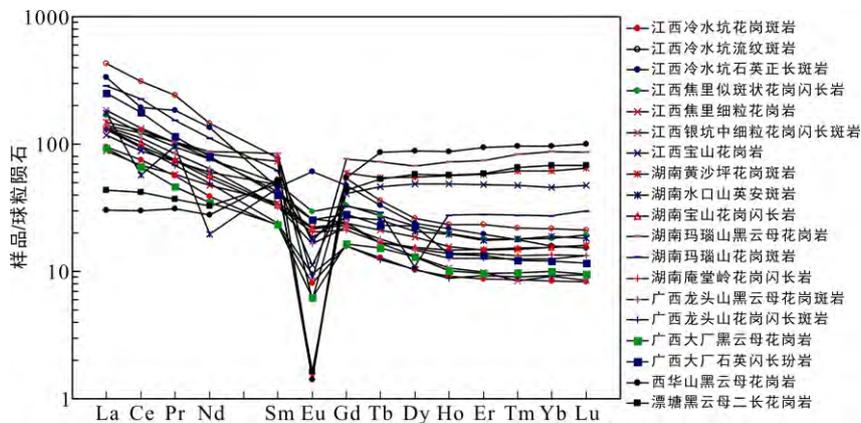


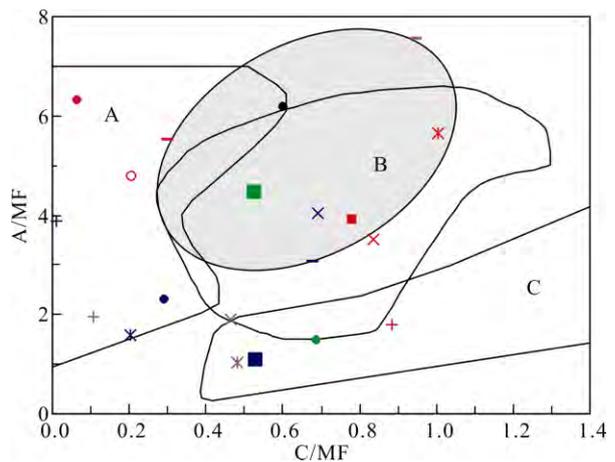
图 9 南岭地区与铅锌矿有关的岩岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig.9 Chondrite-normalized REE patterns of the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region

在岩浆岩源区判别图解中(图 10), 南岭地区成铅锌矿的岩浆岩较分散, 其中湖南铜山岭、水口山、赣南银坑、焦里等铅锌+铜金银组合的矿区落于基性岩部分熔融源区; 湖南黄沙坪、千里山、广西大厂矿田(拉么、东坡)、赣南宝山矿区的花岗岩落于变质砂岩熔融源区, 与赣南石英脉型钨锡矿区黑云母花岗岩区域重叠; 冷水坑和龙头山矿区岩浆岩则落于变质泥岩部分熔融源区。以上信息指示南岭地区成铅锌矿花岗岩源区较复杂, 且同一矿区或矿田内岩浆岩具有多样性的特点(如广西大厂矿田), 但总体表现为与钨锡共生的铅锌矿床相关的花岗岩来自变质砂岩熔融源区, 而铅锌金银铜多金属矿相关岩浆岩来源较深, 为基性岩部分熔融源区或更深的壳幔混合源区。

6 结 论

(1) 南岭地区岩浆热液型铅锌矿床及相关岩浆岩集中形成在燕山早期和燕山晚期两个阶段, 前者



A. 变质泥岩部分熔融; B. 变质砂岩部分熔融; C. 基性岩的部分熔融。

图 10 南岭地区与铅锌矿有关的岩浆岩源区判别 C/MF-A/MF 图(图例和数据源同图 6, 据 Altherr et al., 2000。阴影区域为钨锡铅锌共生的矿床相关的岩浆岩)

Fig.10 C/MF vs. A/MF diagram of the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling region

主要分布在赣南和湘南矿集区,后者主要分布在以大厂多金属矿田为代表的桂北矿集区。岩浆岩多沿深断裂交叉或断裂与褶皱复合部位侵入,矿体多分布于岩体的根部、隐伏岩体顶部、外接触带或岩墙(脉)的转折部位。

(2) 成铅锌矿的岩浆岩主要为低分异、深源、浅成的中酸性-酸性岩,岩性主要为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩和二长花岗岩,主要矿物组成为钾长石、斜长石、黑云母和石英,绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸岩化蚀变强烈,副矿物发育萤石、锡石、黑钨矿及磁黄铁矿、黄铁矿等硫化物。

(3) 成铅锌矿岩浆岩属高钾钙碱性与钾玄质岩浆过渡系列,为准铝质-过铝质中酸性-酸性岩浆;稀土元素球粒陨石标准化分布型式为右倾的轻稀土富集型,轻、重稀土分馏明显, δEu 异常不明显,岩浆源区复杂多样。

(4) 与铅锌钨锡组合相关的岩浆岩为黑云母(二长)花岗岩和花岗斑岩,靠近高钾钙碱性系列, SiO_2 含量在 70%~75%,主要来自变质砂岩熔融源区,具有壳源重熔型花岗岩特征;与铅锌铜金银组合相关的岩浆岩为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩,为钾玄岩系列, SiO_2 含量在 57%~72%,主要来自基性岩部分熔融或壳幔混合源区,具混合型花岗岩特征。

致谢:今年是我国著名矿床学家陈毓川院士 80 华诞,陈先生自 20 世纪 60 年代起在南岭地区开展矿床学研究并指导找矿勘查工作,为南岭地区成矿理论研究和地质找矿工作做出了巨大贡献。本人有幸在陈院士的亲自指导下完成了博士后论文,并在他的悉心关怀和指导下继续在本区开展工作。谨以此文献给尊敬的陈院士,在此恭祝恩师福寿安康!

参考文献(References):

柏道远,黄建中,李金冬,王先辉,马铁球,张晓阳,陈必河. 2007. 华南中生代构造演化过程的多地质要素约束——湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启示. 大地构造与成矿学, 31(1): 1-13.

陈毓川,裴荣富,张宏良,林新多,白鸽,李崇佑,胡永嘉,刘娟群,冼柏棋. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质//中华人民共和国地质矿产部地质专报, 四. 矿床与矿产, 第10号, 北京: 地质出版社: 1-508.

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.

蔡明海,毛景文,梁婷,黄惠兰. 2005. 大厂锡多金属矿

田铜坑-长坡矿床流体包裹体研究. 矿床地质, 24(3): 228-240.

地部南岭铅锌矿专题组. 1985. 南岭地区铅锌矿床成矿规律. 长沙: 湖南科学技术出版社: 1-349.

丰成友,黄凡,曾载淋,屈文俊,丁明. 2011. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学. 吉林大学学报(地球科学版), 41(1): 111-121.

丰成友,曾载淋,王松,梁景时,丁明. 2012. 赣南砂卡岩型钨矿成岩成矿年代学及地质意义. 大地构造与成矿学, 36(3): 337-349.

耿明山,刘自力. 1998. 广西芒场锡多金属矿隐伏岩体特征及含矿性. 矿产与地质, 12(6): 410-417.

郭春丽. 2010. 赣南崇义-上犹地区与成矿有关中生代花岗岩类的研究及对南岭地区中生代成矿花岗岩的探讨. 中国地质科学院博士论文: 1-249.

郭春丽,陈毓川,黎传标,陈郑辉,楼法生. 2011. 赣南晚侏罗世九龙脑钨锡铅锌矿集区不同成矿类型花岗岩年龄,地球化学特征对比及其地质意义. 地质学报, 85(7): 1188-205.

郭家松,吴明珠. 2003. 南岭成矿带(赣南段)铜铅锌矿床成矿特征及找矿方向浅析. 矿产与地质, 97(17): 348-350.

胡升奇,周国发,彭松柏,张先进,易顺华,唐国胜. 2012. 广西大黎铜钨矿石英二长(斑)岩年代学、地球化学特征及其地质意义. 地球学报, 33(1): 23-37.

华仁民. 2005. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义. 地质论评, 51(6): 633-639.

华仁民,张文兰,陈培荣,王汝成. 2003. 赣南大吉山与漂塘花岗岩及有关成矿作用特征对比. 高校地质学报, 9(4): 609-619.

贾大成,胡瑞忠,谢桂清. 2002. 湘东北中生代基性岩脉岩石地球化学及构造意义. 大地构造与成矿学, 26(2): 179-184.

雷泽恒,陈富文,陈郑辉,许以明,龚述清,李华芹,梅玉萍,屈文俊,王登红. 2010. 黄沙坪铅锌多金属矿成岩成矿年龄测定及地质意义. 地球学报, 31(4): 532-540.

李大新,赵一鸣. 2004. 江西焦里夕卡岩银铅锌钨矿床的矿化夕卡岩分带和流体演化. 地质论评, 50(1): 16-24.

李献华,李武显,李正祥. 2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报, 52(9): 981-991.

梁婷,王登红,屈文俊,蔡明海,韦可利. 2009. 广西铜坑

- 锡多金属矿黄铁矿的Re-Os同位素组成及成矿物质来源示踪. *地球科学与环境学报*, 31(3): 230-235.
- 梁婷, 王登红, 蔡明海, 陈振宇, 郭春丽, 黄惠民. 2008. 广西大厂锡多金属矿床S、Pb同位素组成对成矿物质来源的示踪. *地质学报*, 82(7): 967-977.
- 刘旭, 刘悟辉, 息朝庄, 戴塔根, 王明艳. 2009. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿区岩浆岩地球化学特征. *地质找矿论丛*, 24(3): 198-203.
- 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 陈希清. 2006. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石SHRIMP U-Pb定年及其地质意义. *岩石学报*, 22(10): 2475-2482.
- 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995. 湖南千里山花岗岩体的Nd-Sr同位素及岩石成因研究. *岩石矿物学杂志*, 14(3): 235-242.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 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. *岩石学报*, 23(10): 2329-2338.
- 邱瑞照, 周肃, 常海亮, 杜绍华, 肖润. 2002. 香花岭花岗岩稀土元素演化. *现代地质*, 16(1): 53-58.
- 王登红, 陈富文, 张永忠, 雷泽恒, 梁婷, 韦龙明, 陈郑辉, 刘善宝, 王成辉, 李华芹, 许以明, 曾载淋, 许建祥, 傅旭杰, 范森葵, 陈祥云, 贾宝华, 姚根华等. 2010a. 南岭有色-贵金属成矿潜力及综合探测技术研究. *地质出版社*: 1-472.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010b. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据. *地质学报*, 84(7): 1030-1040.
- 王磊, 胡明安, 屈文俊, 陈开旭, 龙文国, 杨振. 2012. 粤北大宝山多金属矿床LA-ICP-MS锆石U-Pb和辉钼矿Re-Os定年及其地质意义. *中国地质*, 39(1): 29-42.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 李旭. 2001. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征. *岩石学报*, 17(1): 169-175.
- 伍光英, 潘仲芳, 李金冬, 肖庆辉, 车勤建. 2005. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系. *中国地质*, 32(3): 434-442.
- 肖剑, 王勇, 洪应龙, 周玉振, 谢明璜, 王定生, 郭家松. 2009. 西华山钨矿花岗岩地球化学特征及与钨成矿的关系. *东华理工大学学报*, 32(1): 22-31.
- 杨昌明. 1986. 蛇形坪铅锌矿床成因初探. *地质与勘探*, 12(4): 19-27.
- 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.
- 喻亨祥, 刘家远. 1997. 水口山矿田花岗质潜火山杂岩的成因特征. *大地构造与成矿学*, 21(1): 32-40.
- 曾南石, 张春鹏, 徐文炘, 朱文风, 邱桂龙. 2011. 广西龙头山斑岩金矿成矿岩体的岩石学、岩石地球化学及热液蚀变作用特征. *桂林理工大学学报*, 31(1): 1-10.
- 赵劲松. 1996. 拉么锌铜矿床成矿地球化学特征及物理化学条件探讨. *地球化学*, 25(6): 591-599.
- 赵正, 陈毓川, 陈郑辉, 王登红, 曾载淋, 赵斌, 张家菁. 2012. 赣南银坑矿田高山角花岗岩闪长岩SHRIMP U-Pb定年及其与成矿的关系. *岩矿测试*, 31(3): 536-542.
- 钟江临, 李楚平. 2006. 湖南香花岭砂卡岩型锡矿床地质特征及控矿因素分析. *矿产与地质*, 20(2): 147-151.
- 朱金初, 黄革非, 张佩华, 李福春, 饶冰. 2003. 湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究. *地质论评*, 49(3): 245-252.
- 朱金初, 王汝成, 张佩华, 谢才富, 张文兰, 赵葵东, 谢磊, 杨策, 车旭东, 于阿朋, 王禄彬. 2009. 南岭中段骑田岭花岗岩基的锆石U-Pb年代学格架. *中国科学(D辑)*, 39(8): 1112-1127.
- 左力艳, 孟祥金, 杨竹森. 2008. 冷水坑斑岩型银铅锌矿床含矿岩系岩石地球化学及Sr、Nd同位素研究. *矿床地质*, 27(3): 367-375.
- Altherr R, Holl A, Hegner E, Langer C and Kreuzer H. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). *Lithos*, 50: 51-73.
- Jiang Y H, Jiang S Y, Dai B Z, Liao S Y, Zhao K D and Ling H F. 2009. Middle to late Jurassic felsic and mafic magmatism in southern Hunan province, southeast China: Implications for a continental arc to rifting. *Lithos*, 107: 185-204.
- Middlemost E A. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3): 215-224.
- Morrison G W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13: 97-108.
- Wang Y J, Fan W M, Guo F, Li H M and Liang X Q. 2002. 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.

Metallogenic Specialization of the Magmatic Rocks Associated with the Lead-Zinc Deposits in the Nanling Region

ZHAO Zheng¹, WANG Denghong¹, ZHANG Changqing¹ and HE Yufan²

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resources Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

Abstract: The Nanling region is an important mineral resource base for lead and zinc. In the last few years, the magmatic hydrothermal type Pb-Zn deposits become more and more important among the newly discovered Pb-Zn resources except for the traditional strata bound-hydrothermal transformed type Pb-Zn deposits. Here we summarize the temporal and spatial characteristics of the magmatic hydrothermal type Pb-Zn deposits in the Nanling region, and point out that the Early (146-173 Ma) and Late (84-102 Ma) Yanshanian periods are the main Pb-Zn mineralization epochs in the Nanling region taking the South Jiangxi, South Hunan, and North Guangxi as typical mining areas. This paper also discusses the petrology, mineralogy, geochemical characteristics, metallogenic specialization of the magmatic rocks associated with the Pb-Zn deposits, and compared with the granites associated with W-Sn deposits. The magmatic rocks associated with Pb-Zn deposits are featured by a deep source but shallow formation, low degree of differentiation, intermediate to acidic, high-K calc-alkaline to shoshonite transitional series magma, and differing from magmatic rocks associated with the W-Sn deposits by a high LREE/HREE ratios and low δEu anomalies. The magmatic rocks associated with the Pb-Zn deposits could be further divided into crust remelting type and mixed source type, within which the former commonly high in SiO_2 (normally > 70%) derived from metamorphic sandstones, comparable with those of the W-Sn bearing granites, are genetically related to Pb-Zn-W-Sn mineralization, whereas the latter derived from basic rocks or crust and mantle sources are genetically related to Pb-Zn-Cu-Au-Ag mineralization.

Keywords: the Nanling region; magmatic hydrothermal type Pb-Zn deposits; magmatic rocks; metallogenic specialization; the Early Yanshanian period