南岭铋矿床的产出特征及成因探讨

方贵聪^{1,2)},王登红²⁾,陈毓川³⁾,黄凡²⁾,王岩²⁾,赵云彪¹⁾,刘奕志¹⁾,杨锋¹⁾ 1)桂林理工大学地球科学学院,广西隐伏金属矿产勘查重点实验室,广西桂林,541004; 2)中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037;3)中国地质科学院,北京,100037

内容提要:南岭成矿带是我国乃至世界上最重要的铋矿产地。该区铋矿床的研究尽管起步较早,但进展缓慢, 其产出特征及成因认识仍很薄弱。本文通过系统搜集、综合分析矿山基础地质资料和前人研究成果,在时空分布 规律、含铋矿物类型、矿床成因等方面取得一定认识。南岭成矿带有湘南、粤北、崇-余-犹、于-赣等四大铋矿聚集 区;铋矿床类型主要有石英脉型、砂卡岩型、蚀变花岗岩型、破碎带型、充填交代型、斑岩型等六种,以石英脉型铋矿 数量最多,砂卡岩型铋矿储量最大;铋矿床形成年龄介于 170~150 Ma 之间,与相关花岗岩体侵入年龄相近。目前 已发现含铋矿物 30 余种,涵盖自然元素、硫化物、含硫盐、氧化物、含氧盐、碲化物、铋化物、氟化物等类型,以铋的 含硫盐最为丰富。含铋矿物组合在不同类型铋矿床中有所差异,但一般产在矿脉中下部,且由浅至深矿物中硫的 原子百分比呈下降的趋势。南岭铋矿床的主要成矿物质来自花岗岩浆,在花岗岩浆形成过程中有地幔流体的加 人,成矿中晚阶段大气降水的混入可能是铋大量沉淀的重要因素。

关键词:铋矿床;产出特征;矿床成因;南岭成矿带

铋是美国、欧盟、日本等国家的战略性矿产 (Guo Jia et al., 2018),同时也是我国的关键矿产 (Wang Denghong, 2019)。金属铋具有一系列优良 特性,如比重大、熔点低、凝固时体积热胀冷缩等,尤 其是铋的无毒与不致癌性使其具有多种特殊用途, 广泛应用于冶金、化工、电子、宇航、医药等领域。它 作为绿色金属、健康金属和环保金属的社会形象逐 步被强化,大有取代铅、锑、镉、汞等有毒金属的趋 势。随着人们生活水平的不断提高和对绿色环保材 料的关注,铋的未来应用前景难以估量,尤其是在化 妆品替代重金属铅和珠宝首饰方面潜力巨大。铋产 品消费量每年以 8%的速度增长,新的应用领域也 在不断拓展,精铋矿报价在 3.75 万元/吨左右。

铋广泛分布在钨多金属矿床及各种金属硫化物 矿床中,目前尚未发现独立铋矿床,主要作为其他金 属矿石的伴生组分存在。矿床铋储量≥5万吨为大 型,1~5万吨为中型,<1万吨为小型。工业上对以 铋为主的矿石和伴生铋的矿石有不同要求,作为铋 矿石单独开采时,最低工业品位为 0.5%;在多金属 矿石中作为副产品回收时,首选矿石含铋最低工业 品位为 0.05% ~0.1%,机选矿石最低工业品位为 0.1% ~0.2%。美国地质调查局(USGC)2017 年的 报告显示,全球铋储量共 37 万吨,主要分布在中国、 澳大利亚、秘鲁、墨西哥、玻利维亚、美国、加拿大和 日本,其中我国铋储量为 24 万吨,位居世界首位; 2016 年全球矿山共生产铋矿 1.02 万吨,中国、越 南、墨西哥、玻利维亚、加拿大、俄罗斯和美国为主要 铋矿生产国,其中中国铋矿产量为 0.74 万吨。南岭 则是我国最重要的铋矿产地,至今已发现的小型以 上铋矿床 56 处,探明资源量约 75 万吨。

南岭铋矿床的研究始于 20 世纪 20 年代末,但 进展较迟缓。早在 1920 年《民心周报》就刊登了"吾 国铋矿之新发现"一文,记载我国战争期间南方大量 钨矿中发现了伴生铋矿。近百年来针对铋矿的研究 成果甚少(Ren Yingchen et al., 1986, 1998; Ye et al., 2014),另有少数学者将其作为伴生组分附带

 引用本文:方贵聪,王登红,陈毓川,黄凡,王岩,赵云彪,刘奕志,杨锋.2021.南岭铋矿床的产出特征及成因探讨.地质学报,95(2): 317~335,doi:10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2021101.
 Fang Guicong, Wang Denghong, Chen Yuchuan, Huang Fan, Wang Yan, Zhao Yunbiao, Liu Yizhi, Yang Feng. 2021. The occurrence and genesis of Bi deposits in the Nanling region. Acta Geologica Sinica, 95(2): 317~335.

注:本文为中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号 DD20190379)、国家自然科学基金项目(编号 41802082)、广西自然科学基金项目 (编号 2020GXNSFAA159154、2020JJF150002)、广西找矿突破战略行动项目(桂自然资函[2020]1639 号)联合资助成果。 收稿日期:2020-06-20;改回日期:2020-08-05;网络发表日期:2020-10-23;责任编委:范宏瑞;责任编辑:周健。 作者简介:方贵聪,男,1985 年生。博士,副教授,主要从事成矿规律研究。Email: fanggcong@163.com。

论述(Sun Yihong et al., 1986; Zeng Jiuwu et al., 1987; Sheng Jifu et al., 2018),至今对南岭铋矿床的成矿规律认识仍很薄弱。本文通过系统搜集矿山基础地质资料和前人研究成果,对南岭铋矿床产地、时空分布规律、含铋矿物类型、矿床成因等进行了综合分析。

1 铋矿床时空分布

南岭铋矿床主要分布在湘南、粤北和赣南(图 1、表1)。其中,湘南铋矿床15处,探明资源量约 54.75万吨,占南岭73%;粤北铋矿床15处,探明资 源量9.75万吨,占南岭13%;赣南铋矿床21处,探 明资源量10.5万吨,占南岭14%;桂东的铋矿床仅 4处,以矿点为主。区内形成了湘南(图1A)、粤北、 崇-余-犹(图1B)、于-赣(图1C)等四大铋矿聚集区。

南岭的铋矿主要呈共伴生形式出现在与花岗岩 有关的热液矿床中,大于80%的铋探明资源量来自 钨多金属矿床,如柿竹园钨多金属矿、盘古山钨矿、 铁山垄钨矿、大吉山钨矿等均伴生有相当数量的铋。 矿床类型主要有石英脉型、砂卡岩型、蚀变花岗岩型、 破碎带型、充填交代型、斑岩型等六种(表 1),以石英 脉型铋矿数量最多(30 处),其次是砂卡岩型铋矿(20 处),再次是蚀变花岗岩型铋矿(6 处),但砂卡岩型铋 矿的探明资源量占有明显优势,达53万吨,仅仅湖南 柿竹园砂卡岩型矿床中共伴生铋探明资源量达30.5 万吨,是名副其实的世界上最大的铋矿床;石英脉型 铋矿探明资源量约10万吨,其中盘古山石英脉型矿 床中伴生铋探明资源量达3.5万吨,也相当可观。

由于南岭铋矿大多产在钨矿床中,因而其成矿 时代分布与钨矿床具有相似性。绝大多数铋矿床形 成于 170~150 Ma(表 2),与南岭燕山早期大规模 岩浆-成矿作用的爆发时间基本吻合。中亚带铋矿 床成矿年龄介于 170~149 Ma之间,平均年龄 160 Ma;东亚带铋矿床形成于 158~144 Ma,平均年龄 154 Ma;西亚带铋矿床年龄变化于 161~93 Ma之 间,平均仅 116 Ma,尤以西端高田、罗维一带明显年



Fig. 1 Distribution of Bi deposits in Nanling region

(the range and subzone division of Nanling region from Xu Zhigang et al., 2008)

(a)一湘南矿集区;(b)一崇-余-犹矿集区;(c)一于-赣矿集区

(a)—South Hunan ore concentration area; (b)—Chong-Yu-You ore concentration area; (c)—Yu-Gan ore concentration area

表1 南岭成矿带的主要铋矿产地一览表

Table 1 Main Bi deposits in Nanling region

序号	产地	矿床名称	矿床成因类型	矿种组合	铋矿规模
1	广东怀集	蒲屏岭	矽卡岩型	Bi、Co	小型
2	广东怀集	藤铁	矽卡岩型	Fe, Cu, Sn, Bi	小型
3	广东连平	鸡啼石	矽卡岩-石英脉复合型	Mo、W、Bi	小型
4	广东南雄	棉土窝	石英脉型	W, Bi, Cu, Mo	小型
5	广东曲江	瑶岭	石英脉型	W Sn Bi	小型
6	广东韶关	大宝山	斑岩型	Mo,Re,W,Cu,Bi,Fe	大型
7	广东韶关	黄家山	矽卡岩-石英脉复合型	Sn, W, Bi	小型
8	广东韶关	谢家山	矽卡岩型	Sn,W,Bi,Cu	小型
9	广东始兴	石人嶂(师姑山坑口)	石英脉型	W , Bi	矿点
10	广东翁源	红岭	石英脉-云英岩复合型	W, Mo, Bi, Cu	矿点
11	广东英德	八宝山	石英脉型	W, Bi, Sn, Mo	小型
12	广东英德	长岗岭	石英脉型	Pb,Zn,Bi	小型
13	广东连平	锯板坑	石英脉型	W,Sn,Bi,Cu,Pb,Zn	矿点
14	广东怀集	多罗山	石英脉型	W , Bi	矿点
15	广东阳山	大头	矽卡岩型	W, Sn, Mo, Bi	矿点
16	广东澄海	莲花山	斑岩型	W,Co,Cu,Bi,Au	矿点
17	广西宾阳	高田	石英脉型	W, Bi, Mo	矿点
18	广西隆安与崇左交界	西大明山	破碎带型	W , Bi	矿点
19	广西扶绥	罗维	石英脉型	W,Bi	矿点
20	广西灌阳	萝卜地槽	石英脉型	W, Mo, Bi	矿点
21	湖南道县	祥霖铺	矽卡岩型	Mo,Bi	小型
22	湖南江永	铜山岭	矽卡岩型	Bi,Cu,Pb,Zn	中型
23	湖南郴州	岔路口	矽卡岩型	W, Sn, Mo, Bi	小型
24	湖南郴州	柿竹园	矽卡岩-蚀变花岗岩复合型	W, Sn, Mo, Bi	超大型
25	湖南郴州	水湖里	矽卡岩型	Fe, Bi, Sn	中型
26	湖南郴州	赵家垄	矽卡岩型	W, Sn, Bi	中型
27	湖南郴州	金船塘	矽卡岩型	Sn Bi Mo	大型
28	湖南郴州	山门口	破碎带型	Sn,Cu,W,Bi,Ag	中型
29	湖南郴州	新田岭	矽卡岩型	W Mo Bi	中型
30	湖南郴州	良田	矽卡岩型	Pb,Zn,Ag,W,Bi	小型
31	湖南桂阳	宝山	矽卡岩型	Pb,Zn,Mo,Cu,Bi	中型
32	湖南桂阳	黄沙坪	矽卡岩型	Pb,Zn,Sn,Mo,Bi	小型
33	湖南桂东	竹园里	破碎带-蚀变花岗岩复合型	W , Bi	小型
34	湖南汝城	白云仙(头天门)	云英岩型	W, Bi, Mo	小型
35	湖南宜章县与资兴县交界	瑶岗仙	石英脉型	W Mo Bi	小型
36	江西大余	荡坪	石英脉型	W , Mo , Bi	矿点
37	江西大余	洪水寨	云英岩型	W, Sn, Bi, Mo	矿点
38	江西大余	樟东坑	石英脉型	W, Bi, Mo	矿点
39	江西大余	左拔	石英脉型	W , Mo , Bi	小型
40	江西大余	大龙山	石英脉型	W , Mo , Bi	矿点
41	江西大余	樟斗	石英脉型	W , Mo , Bi	矿点
42	江西大余	西华山	石英脉型	W , Sn , Bi	小型
43	江西大余	漂塘	石英脉型	W, Sn, Bi, Mo, Cu, Pb	小型
44	江西崇义	九龙脑钨矿	石英脉型	W,Bi,Be,Nb,Ta	
45	江西崇义	宝山	充填交代型	W,Pb,Zn,Ag,Mo,Bi,Cu	小型
46	江西南康	红桃岭	石英脉型	W、Bi	小型
47	江西上犹	焦里	矽卡岩型	W,Pb,Zn,Ag,Mo,Bi,Cu	小型
48	江西全南	大吉山	石英脉-蚀变花岗岩复合型	W,Nb,Ta,Bi	大型
49	江西兴国	画眉坳	石英脉型	W, Mo, Bi, Be	小型
50	江西于都	庵前滩	矽卡岩型	W , Bi	小型
51	江西于都	黄沙	石英脉型	W , Mo , Bi	小型
52	江西于都	盘古山	石英脉型	W,Bi,Te,Mo	中型
53	江西于都	上坪	石英脉型	W , Bi	矿点
54	江西赣县	蕉芋坝	石英脉型	Bi, Mo	小型
55	江西赣县	长坑	石英脉型	W , Mo , Bi	矿点
56	江西赣县	黄婆地		W, Zn, Bi	中型

表 2 南岭成矿带主要铋矿床成岩成矿时代一览表 Table 2 Geochronologic data of Bi deposits and related granites in Nanling region

									,	
亚带	矿床 名称	成矿年龄 (Ma)	误差	测试方法	数据来源	相关花岗岩体	成岩年龄 (Ma)	误差	测试方法	数据来源
	高田	93.8	4.6	辉钼矿 Re-Os	Lin Zhiyong et al. , 2008	昆仑关(斑状黑云母花岗岩)	97.7	1.3	锆石 U-Pb	Liu Fei et al. , 2018
西	罗维					罗维(二长花岗岩)	92.9	0.69	锆石 U-Pb	Xiao Changhao et al. ,2018
	铜山岭	161	1	辉钼矿 Re-Os	Lu Youyue et al. , 2015	铜山岭 I 号岩体 (花岗闪长斑岩)	157	2	锆石 U-Pb	Lu Youyue et al. , 2015
	瑶岭	149	0.73	白云母 Ar-Ar	Zhai Wei et al., 2011	瑶岭(黑云母花岗岩)	158	1	锆石 U-Pb	Zhai Wei et al. , 2011
		166.6	1.6	绢云母 Ar-Ar	Qu Hongying et al. , 2014	大宝山(花岗闪长斑岩)	161	0.9	锆石 U-Pb	Mao Wei et al. , 2013
	大宝山	164	2.5	辉钼矿 Re-Os	Wang Lei et al. , 2012	大宝山(次英安斑岩)	174.6	1.5	锆石 U-Pb	Wang Lei et al. , 2012
	71.0	164	2	锡石 U-Pb	Jiang et al. , 2018	石人嶂(斑状黑云母花岗岩)	164	2	锆石 U-Pb	Jiang et al. , 2018
						石人嶂(二长花岗岩)	162	4	锆石 U-Pb	Jiang et al. , 2018
ф	柿竹园	153.7	0.9	白云母 Ar-Ar	Wang Min et al. , 2016	千里山(斑状黑云母花岗岩)	152	2	锆石 U-Pb	Li et al. , 2004
	金船塘	158.8	6.6	辉钼矿 Re-Os	Liu Xiaofei et al. , 2012					
	新田岭	159.1	2.6	辉钼矿 Re-Os	Yuan Shunda et al. , 2012					
		154.8 1.9 辉钼矿 Re-Os		Yao Junming et al. , 2007	花岗斑岩	150.1	0.4	锆石 U-Pb	Ai Hao, 2013	
	黄沙坪					花斑岩	150.2	0.4	锆石 U-Pb	Ai Hao, 2013
						石英斑岩	155.3	0.7	锆石 U-Pb	Ai Hao, 2013
	瑶岗仙	170	5	辉钼矿 Re-Os	Wang Denghong et al. , 2009	黑云母花岗岩	170.7	2.2	锆石 U-Pb	Wang Denghong et al. , 2009
	荡坪	157.4	1.6	辉钼矿 Re-Os	Wang Denghong et al. , 2010					
	洪水寨	157	3.3	辉钼矿 Re-Os	Feng Chengyou et al. , 2011	九龙脑(黑云母花岗岩)	154.9	2.2	锆石 U-Pb	Wang Denghong et al. , 2010
	樟斗	149.1	7.1	辉钼矿 Re-Os	Feng et al. , 2011	红桃岭(黑云母花岗岩)	151.4	3.1	锆石 U-Pb	Feng et al. ,2011
	西华山	157.8	0.9	辉钼矿 Re-Os	Hu et al. , 2012a	斑状黑云母花岗岩	161	3	锆石 U-Pb	Guo et al. ,2012
东	漂塘	153.6	1.6	辉钼矿 Re-Os	Wang Denghong et al. , 2010					
	大吉山	144	1	云母 Ar-Ar	Zhang Wenlan et al. , 2006	大吉山(细粒白云母花岗岩)	151.7	1.6	锆石 U-Pb	Zhang Wenlan et al. , 2006
-	画眉坳	157.1	1.3	辉钼矿 Re-Os	Zhao et al. , 2018	江背(黑云母花岗岩)	160.7	1.1	锆石 U-Pb	Zhao et al. , 2018
	庵前滩	154.3	1.6	白云母 Ar-Ar	Wang Denghong et al. ,2010					
	盘古山	155.3	2.8	辉钼矿 Re-Os	Fang Guicong et al. ,2014a	盘古山(二云母钾长花岗岩)	161.7	1.6	锆石 U-Pb	Fang Guicong et al. ,2014a

轻,形成于 94~93 Ma,可见南岭铋矿床的成矿时代 具有以中亚带为中心,向东亚带和西亚带变年轻的 趋势。成矿时代与相关花岗岩体侵入时代在误差范 围内近于一致(表 2),表明了铋矿床与花岗岩体在

时间上的密切关系。

2 含铋矿物类型及特征

铋位于元素周期表的第六周第五主族,由于铋

是第五主族中最后一个元素,所以它比砷和锑表现 出更强的金属性,自然铋较之自然砷和自然锑更为 常见,而且铋以3价阳离子为特征,亦可与硫形成络 阴离子(Bi₂S₄)²⁻。南岭铋矿床的含铋矿物复杂多 样,包括自然元素、硫化物、含硫盐、氧化物、含氧盐、 碲化物、铋化物、氟化物等类型,目前已发现30余种 (表3),以铋的含硫盐最为丰富。由于粒度细不易 观察和识别,相当一部分含铋矿物还有待于发现。

自然铋(bismuth, Bi):新鲜面呈银白色,氧化 后为浅红、浅紫及蓝紫色,不规则粒状、浑圆状、树枝 状、阶梯状、微细脉状等,粒径通常为 0.03~0.05 mm,个别达1mm,强金属光泽,稍具延展性,反射 率高,反射色为淡玫瑰黄色及微带淡黄的乳白色,强 非均质性。盘古山、大龙山、樟斗、樟东坑和大平等 矿区的钨矿石英脉较常见,其中大龙山、樟斗、樟东 坑和大平的自然铋极为发育,占总铋量的10%~ 40%,也可见于柿竹园矿区的云英岩中或在莲花山 矿区毒砂中沿其两组解理充填呈阶梯状或从毒砂晶 粒中心交代呈骸晶结构,还可见于大宝山等矿床。 Li Yan et al. (1990)研究了赣南漂塘大龙山钨矿中 自然铋的特征,发现在含钨石英脉中既有早阶段与 黑钨矿、辉钼矿共生呈粗大自形晶的自然铋,也有晚 阶段与硫化物共生的自然铋集合体,表明在流体中 铋较丰富的情况下,即使在贫硫、温度较高的成矿作 用早、中期,铋也能以自然铋形式出现。

辉铋矿(bismuthinite, Bi₂S₃): 手标本上为铅 灰一锡白色,强金属光泽,较软,多为他形粒状,有些 则为柱状晶体,粒径多为 0.02~0.05 mm×0.1 mm,个别达 1 mm。柱状晶体可见柱面纵纹,柱面 节理完全,反光下双反射清晰,反射色白色至微带灰 的白色,强非均质性,偏光色黄灰一灰紫。普遍发育 于南岭各铋矿床中,是最主要、最常见的含铋矿物, 通常分布于矿化石英脉中下部,尤以盘古山钨矿最 富,常形成辉铋矿包;在柿竹园矿区的带状石榴石砂 卡岩、条带状云英岩也较为发育,在大宝山矿区也见 有细脉状产于方铅矿裂隙中。

辉碲铋矿(tetradymite, Bi₃ Te_{2+x}S_{2-x}?):该矿物的化学式尚有分歧, Yin Jianzhao et al. (1994)在四川石棉县大水沟碲矿获得的平均化学式为Bi₂ Te₂S。在南岭各铋矿床中常呈他形粒状, 粒度很小, 一般在 0.01 mm 以下, 反射色白色带微黄, 较辉铅铋矿略黄, 反射率稍高, 双反射极弱, 非均质性清楚。在盘古山矿区较为发育, 也可见于柿竹园矿区的钾(化)长石脉中和莲花山矿区。

辉铅铋矿(galenobismutite, PbBi₂S₄):手标本 特征与辉铋矿颇为相似,常呈纤维状和羽毛放射状 集合体出现,亦有板状、细粒状及其集合体者,可见 节理,双晶常见,常与辉铋矿构成连晶。反射色为白 色或乳白色,显白色微黄-灰白微蓝多色性,强非均 质性。在柿竹园矿床钾(化)长石脉和盘古山矿床中 下部较为发育,也可见于江西黄沙(即铁山垄,下 同)、西华山、小樟坑、浒坑等矿区。

斜方辉铅铋矿(cosalite, Pb₂Bi₂S₅):常呈束状、 粒状集合体,未见节理和双晶,低硬度,常包裹细粒 自然铋,有时与自然铋、辉铋矿一同沿辉钼矿节理缝 充填。反光镜下呈白色带粉红或呈灰色、淡黄色、绿 色等,不显双反射和多色性,非均质性较为显著。可 见于湖南柿竹园、江西黄沙、盘古山等矿区。

柱硫铋铅矿(ustarasite, Pb(Bi,Sb)₆S₁₀):与辉 铋矿极为相似,两者很容易混淆,外观为铅灰色,金 属光泽,参差状断口,晶体呈长柱状,集合体呈纤维 状,但多呈块状产出。晶体长 2~50 mm 不等;反光 下为白色,反射率 46%~52%,有明显双反射, R_g 方向,矿物为白色略显黄色调, R_p '则显灰蓝色调,强 非均质性,偏光色,灰黄至深灰色。目前仅见于盘古 山一地产出,呈浸染状产于黑钨矿石英脉中,共生的 硫化物有辉铋矿、硫碲铋矿 A、黄铁矿等。

针硫铋铅矿(aikinite, CuPbBiS₃):集合体常呈 他形粒状、束状,具有完全解理,常包含在方铅矿和 黄铜矿中;反光镜下呈奶油白色或浅黄灰白色,具有 浅黄灰白-灰白色多色性,正交偏光下具有强非均质 性,硬度低。在柿竹园矿区产于钾(化)长石脉中。

富硫铋铅矿((heyrovskyite, Pb₆Bi₂S₉):外观 为铅灰色,金属光泽,条痕黑色,目前所见全为他形 粒状集合体,粒度 0.03 mm×0.3 mm,反光下偶见 长板形切面,面积 0.5 mm×3 mm,反射率 37%~ 43%;在正交偏光下,见到长板形的内部,包括有众 多的细长他形矿物颗粒,它是一个他形晶粒的聚晶, 很可能是在富硫铋铅矿生成之后又发生重结晶。在 江西于都黄沙矿区黑钨矿石英脉中发育于硫化物富 集的部位,它与黄铜矿紧密共生,两矿物组成的细 脉,穿插闪锌矿集合体,有时延伸到石英的块体内。

硫碲铋矿(Joseite, Bi₄ Te_{2-x}S_{1+x}):据 Te 大于 或小于 S,即 x > 0.5 或 x < 0.5,分为硫碲铋矿 A (x > 0.5)和硫碲铋矿 B(x < 0.5)两个亚种。常呈板 状晶体及不规则粒状晶体的集合体,可在自然铋中 形成包体或沿其他碲铋矿物节理生长。反射色呈白 色带黄,不显反射多色性,无内反射,强非均质性。

4

表 3 南岭含铋矿物及其化学组成(%)一览表

类别	名称	产地	Bi	Te	S	Pb	Ag	Au	Se	Cu	Sb	Fe	As	F	资料来源
自然	白梅生物	大宝山	99.67				1.08								1
元素	日然铋	柿竹园	98.90	0.04											2
		大宝山	81.92		18.08										1
		柿竹园	80.36		18.06	1.35				0.34					2
		柿竹园	81.40		18.17	0.87									2
		柿竹园	80.69		17.72	0.74				0.20					2
		大平	76.83	0.01	17.18	1.98			0.07	0.30	0.07	0.34			3
硫化物	辉铋矿	画眉坳	75.37	0.13	17.97	2.74			0.03	0.66	0.05	0.22			3
		盘古山	74.61	0.21	17.90	3.65			0.07	0.55	0.30	0.31			3
		盘古山	76.62	1.14	18.33	0.81					2.43				4
		盘古山	76.31	0.34	18.30	2.45					2.38				4
		盘古山	80.19		18.99	0.24									4
		盘古山	80.16		18.36	0.75									4
		莲花山	38.03	51.71	9.06		0.04	0.13			0.09	0.72	0.04		5
		柿竹园	59.25	35.48	4.75				0.18	0.03					2
	辉碲铋矿	盘古山	60.6	32.16	5.23	2.89									4
		盘古山	60.6	32.69	5.24	3.4									4
		盘古山	61.64	31.09	4.37	1.31									4
		柿竹园	54.57		18.57	24.8				1.24					2
	辉铅铋矿	柿竹园	56.13		16.00	28.29				0.10					2
		大龙	49.03	0.21	17.92	33.09			0.02	0.05		0.26			3
		盘古山	45.73			34.55									3
		浒坑	43.44	0.02	15.95	33.44				0.53	0.02				3
		盘古山	49.98		17.81	33.79									4
		盘古山	51.90		15.91	31.09					1.09				4
		盘古山	51.34		15.85	32.35					0.42				4
		柿竹园	43.20		16.44	36.84	0.64			1.90					2
	斜方辉铅铋矿	小樟坑	41.21	0.02		40.50			0.02	0.13	0.06	1.12			3
		盘古山	38.78		16.43	41.22				0.60	1.40	0.64			3
		西华山	37.29	0.01	15.07	42.60				0.53	0.03	0.08			3
		盘古山	69.88	0.51	18.31	9.55					1.90				4
		盘古山	71.64		18.41	8.58									4
		盘古山	71.84		16.01	9.93				1.04	0.54				6
含硫盐	计広应机矿	盘古山	72.39		15.94	11.02				1.04	0.92	0.07			6
	性弧铋铅矿	盘古山	73.71		16.38	9.46				0.67	0.86	0.12			6
		盘古山	69.88		18.31	9.55			0.07		1.90				6
		盘古山	71.64		18.41	8.58									6
		柿竹园	57.64		16.51	20.26				6.61					2
		黄沙	24.70		14.06	54.03	6.04			0.77					6
	宫体总机矿	黄沙	23.81		14.63	54.66	6.11			0.78					6
	晶 WL W H W	黄沙	23.42		14.15	55.44	6.19			0.79					6
		盘古山	10.73		13.68	76.08	0.47								4
		莲花山	79.32	13.57	4.67	1.44									5
		莲花山	80.64	10.67	6.4	2.22		0.01							5
		莲花山	82.99	11.64	6.06		0.04								5
		莲花山	84.25	12.06	5.97			0.06				0.21	0.16		5
		莲花山	84.3	10.09	6.21		0.02	0.16							5
	硫碲铋矿 A	莲花山	77.58	8.95	6.95	3.44					0.13	0.01			5
		莲花山	77.59	8.82	6.91	2.94		0.16			0.08	0.06			5
		盘古山	80.11	12.26	5.87	1.51									7
		盘古山	82.22	9.34	6.53	0.44									7
	益	盘古山	78.64	12.3	5.92	2.43									4
		盘古山	83.03	12.16	6.01										(4)

盘古山 81.68 9.46 6.77

0.68

The bismuth minerals and their chemical compositon (%) in Nanling region Table 3

- 9	ົ	<u> </u>
- O	Δ	o.

														纣	こま 3
类别	名称	产地	Bi	Te	S	Pb	Ag	Au	Se	Cu	Sb	Fe	As	F	资料来源
		盘古山	82.04	9.33	6.59	0.61									4
		盘古山	82	10.5	6	0.8									3
		盘古山	82.7	12.7	6										3
		盘古山	76.06	20.91	3.2	0.11									(7)
		盘古山	75.78	21.09	3.06	0.31									(4)
		盘古山	76, 81	20.24	2,61										(4)
		显古山 <u> </u> 盘古山	75.1	20.4	2.7	0.7									3
	硫碲铋矿 B	血百 山	74.6	21.8	2.4	0.4									3
		蓝花山	73.62	23.09	3.03					0.01	0.25				5
		莲花山	72.66	19.31	4.01		0.11		0.2		0.12				5
		莲花山	73.28	19.6	2.81	0.51			0.2		0.13	0.08			5
		是北山 盘古山	73.87	19.7	6.87	0.01					0.10	0.00			3
		盘古山	75.17	18.7	6.43										3
	硫碲铋矿	盘古山	74.67	16.5	6.38	0.82									3
		盘古山	72.52	16.16	7.78	3			0.097	0.134					3
		盘古山	68.34	23.03	5.26	1.71					0.15				(8)
		盘古山	71.42	22.75	5.24	1.24					0.1				8
		盘古山	71.75	22.79	5.11	1.06					0.2				8
		盘古山	71.55	23.16	5.34	1.85					0.11				8
	应硫碲铋矿	盘古山	71.77	22.32	5.94	0.93					0.1				8
		盘古山	70.97	22.81	5.18	1.36									0
		盘古山	71.42	22.75	5.24	1.24									(4)
		盘古山	71.77	22.32	4.94	0.93									(4)
		黄沙	28.67		15.30	49.74	5.62			0.67					6
	银锡林郭勒矿	黄沙	25.68		14.60	52.97	5.93			0.76					6
		黄沙	27.04		14.46	53.69	5.39			0.15					6
A		黄沙	37.05		15.62	42.23	5.68			0.38	0.02				6
含硫盐		黄沙	36.91		15.64	42.42	4.56			0.72					6
		黄沙	37.57		15.82	44.47	0.86			0.94	0.35				6
		黄沙	38.24		15.58	41.99	4.02			0.05	0.13				6
	在辉铋铅矿	黄沙	37.68		15.21	41.99	4.57			0.36	0.18				6
		黄沙	38.81		15.49	41.76	3.58			0.01	0.35				6
		黄沙	35.91		15.77	40.76	6.59			0.66	0.32				6
		盘古山	35.57		15.98	46.32	0.38			0.17	1.67				6
		盘古山	49.41		16.56	33.28	0.04				0.72				6
	ト 東岸 たみ とり プン	盘古山	48.51		16.22	33.96	0.02			0.37	0.93				6
	下阵铋铅例	盘古山	50.99		16.28	31.92	0.05				0.76				6
		盘古山	50.66		16.82	31.62	0.05				0.75				6
		黄沙	44.35		16.11	32.39	6.60			0.52	0.01				6
		黄沙	44.92		16.20	30.98	7.10			0.67	0.14				6
		黄沙	45.50		16.36	31.98	6.13								6
	执辉椋机相矿	黄沙	43.79		16.17	32.61	7.73								6
	大冲 咙 扣 秋 9	黄沙	47.30		16.68	11.87	24.07			0.06					6
		黄沙	47.54		16.28	11.93	24.19			0.06					6
		黄沙	47.00		16.81	12.06	24.08			0.04					6
		黄沙	47.53		16.28	11.87	24.33			0.04					6
		黄沙	50.60		16.74	21.60	9.50			1.35	0.22				6
	硫锑铋铅矿	黄沙	50.34		16.71	21.44	9.39			1.90	0.22				6
	90 PA NG NI N	黄沙	50.64		16.81	21.56	9.46			1.30	0.22				6
-		黄沙	50.82		16.81	21.70	9.55			0.90	0.22				6
	硫碲银矿	大宝山		24.71	5.29		70								1
		大龙	74.05		17.25	5.05			0.14	0.30	0.21	0.13			3
	铅辉铋矿	盘古山	72.66	0.28		6.12									3
		盘古山	71.60		18.09	7.97				0.55	1.01	0.36			3

														缤	读表 3
类别	名称	产地	Bi	Te	S	Pb	Ag	Au	Se	Cu	Sb	Fe	As	F	资料来源
	7大 七日 たみ 72-	盘古山	56.90			20.60									3
	航铅铋矿	铁山垅	56.19			20.00									3
		盘古山	38.78		16.43	41.22	1.28				1.40				4
	斜方硫铅铋矿	盘古山	41.13		15.76	39.25					1.84				(4)
		盘古山	64.29		17.61	18.23									(4)
	等轴碲锑钯矿	盘古山	60.9	31.98	4.95	2.5									7
	chivlatite	盘古山	57.06		16.04	24.29					0.25				4
	方铅矿	盘古山	1.65	0.08	13.37	87.34					0.01				4
今広圤		大宝山	45.41		12.44	34.5	7.65								1
百饥益		大宝山	21.27	25.08	6.56		47.09								1
		大宝山	36.57	12.68	7.95	42.81									1
	未定名铋	莲花山	81.87	12.21	4.56	0.99		0.07							5
	硫盐矿物	黄沙	24.50		15.11	44.41	14.87			0.32	0.05	0.27			6
		黄沙	26.07		15.05	43.58	15.05				0.25				6
		黄沙	26.81		15.19	41.06	16.26			0.38	0.51	0.27			6
		黄沙	27.35		15.16	40.21	17.14			0.28		0.02			6
	十户内陆的社	盘古山	74.52	19.2	6.65										4
	不正名师说》	盘古山	76.58	15.59	7.83										6
氧化物	铋华	产于岿美	美山、盘さ	5山、长岗	岗岭和莲	花山									
含氧盐	泡铋矿	产于莲花	を山、岿 美	しん きんしょう しょうしん しょうしょう しょうしん しょう しょう しょうしん しょうしん しょうしん しょうしん しょうしん しょうしん しょう	5山										
		大宝山	78.13	22.38											1
陈化ՠ	赫萨总亚	莲花山	76.5	22.96	0.03										5
响 化 10	加小 100 19	莲花山	81.89	15.29			0.27	2.38				0.18			5
		莲花山	81.71	17.63	0.02		0.03	0.15							5
铋化物	黑铋金矿	莲花山	34.67					65.34							5
氟化物	赣南矿	赖坑	78.421											21.584	(9)

注:①Ye et al., 2014; ②Sun Yihong et al., 1986; ③Xu Deqing et al., 1983; ④Ren Yingchen et al., 1986; ⑤Zeng Jiuwu et al., 1987; ⑥Ren Yingchen, 1998; ⑦Ren, 1986; ⑧Cao Dongyi, 1985; ⑨Cheng Longcai et al., 1984。

在盘古山矿区较为发育,经常与磁黄铁矿共生分布 于矿脉下部,莲花山矿区局部可见。

应硫碲铋矿(ingodite, Bi₂TeS):也有学者称为 "因硫碲铋矿"(Qian Handong et al., 2000; Qiu Shidong et al., 2008),该矿物最初由前苏联发现并 报道,8个月后冶金部天津地质研究院也在江西盘 古山钨矿中发现(Cao Dongyi, 1985)。其与硫碲铋 矿紧密连生,特征与硫碲铋矿极为相似,镜下不易鉴 定,一般只能靠电子探针加以鉴别,目前仅见于盘古 山矿区,且不如硫碲铋矿常见,仅见于少数的光薄 片中。

银 锡 林 郭 勒 矿 (Ag-Xillingolite, AgPb_{3+x}Bi_{2-2/3x}S₆):铅灰色,多为不规则粒状,偶见 长板状,粒度0.03 mm×0.3 mm,金属光泽,灰黑色 条痕,反光下为灰白色,微带蓝灰色调,反射率37% ~41%,具有双反射和强非均质性,偏光色为灰白— 深灰色。该矿物最早于1982年在内蒙朝不楞发现 并被IMA CNMMN 认可,南岭地区目前仅见于江 西黄沙钨矿,产于石英脉中硫化物富集部位,与斜方 辉铅铋矿、富硫铅铋矿、黄铜矿共生,呈细网脉穿插 交代闪锌矿。它的化学成分与 IMA CNMMN 认可 的有一点差异,即银可以进入化学式。

柱辉铋铅矿(bursaite, Pb₅Bi₄S₁₁):铅灰色、金 属光泽、灰黑色条痕,稍有韧性,未显晶体形态,一般 呈粒状产出,粒度 0.1 mm×0.3 mm,有时呈不规则 的细脉状,脉长 1~10 mm;反光下为白色,具灰或 蓝灰色调,强非均质性,偏光色为灰一灰黄色,有明 显双反射,其反射率比共生的卡辉铋铅矿明显要低, 约 39%。产于与花岗岩活动有关的黑钨矿石英脉 型热液矿床中,其共生矿物有卡辉铋铅矿、自然铋, 它们都出现在石英脉中的硫化物块体中,与卡辉铋 铅矿紧密共生,两者有时一起出现,呈不规则的网脉 或细脉交代磁黄铁矿的块状集合体,及其衍生的白 铁矿、黄铁矿集合体,为国内首次报道的铋硫盐矿 物,目前仅产于江西盘古山、黄沙地区,它是该地区 含铋、银的重要矿物。

卡辉铋铅矿(cannizzarite, Pb₃Bi₄S₉):铅灰色, 金属光泽,黑色条痕,未见完整晶体,一般呈粒状产 出,反光下偶见板状切面,粒度 0.06 mm×0.12 mm;反光下为白色,微带灰白色调,双反射不明显, 强非均质性,偏光色深灰一灰黄色,反射率44%~ 45%。目前仅见于盘古山和黄沙矿区,产状与柱辉 铋铅矿相同,赋存在石英脉内的硫化物集合体中,呈 网脉状穿插交代磁黄铁矿、黄铁矿、白铁矿的晶粒集 合体,与其共生的还有自然铋等。

块辉铋铅银矿(schirmerite):化学组成比较繁杂,在南岭地区目前见两个亚种(AgPb₂Bi₃S₇、Ag₄PbBi₄S₉),铅灰色,金属光泽,条痕色呈黑色,未见这种矿物的晶形,呈粒状产出,一般粒度0.12 mm×0.18 mm~0.45 mm×0.8 mm;反光下为白色,微带绿色调,反射率为37%~41%,有灰白一灰色双反射,偏光色为灰黄一灰棕色。目前仅见于江西黄沙矿区,赋存于黑钨矿石英脉富银的硫化物集合体内,此矿物在石英脉中与黄铜矿、硫铋铜矿、闪锌矿共生。

硫锑铋铅矿(kobellite, Pb₅(Bi, Sb)₈S₁₇):铅灰 色,氧化后呈黑色,金属光泽,黑色条痕,反射率 40%~44%,未见晶形,多呈粒状产出,粒度 0.02 mm×0.1 mm;反射光下为白色,微带蓝灰色调,有 弱双反射,强非均质性,偏光色为灰色、深灰色、蓝 色,无内反射。矿物化学组成中铋>锑,铋一锑间可 完全类质同象置换,当锑>铋时则为硫铋锑铅矿 (tintinaite),两者间成一类质同象系列。黄沙的硫 锑铋铅矿产于黑钨矿石英脉的硫化物富集的地段, 它与黄铜矿、硫铋铜矿密切共生,常见硫锑铋铅矿与 黄铜矿接触处出现硫铋铜矿的细小颗粒,镶嵌在硫 锑铋铅矿的外缘,硫锑铋铅矿常与黄铜矿一起呈不 规则网脉交代白铁矿和闪锌矿。

铋华(bismite, α-Bi₂O₃):常呈块状、土状、粉末 状、叶片状集合体,一般在氧化带交代自然铋或辉铋 矿而形成,常具有溶蚀交代结构和交代残余结构,反 射色带蓝灰色、淡绿色或蓝灰色,不显多色性和双反 射,内反射呈黄绿色。可见于岿美山、盘古山、长岗 岭和莲花山矿床。

泡铋矿(bismutite, Bi₂[CO₃]O₂):呈粉末状、土 状集合体覆盖在辉铋矿表面或交代辉铋矿而成假象 结构,或呈脉状填充于石英等矿物的裂隙中,常与辉 铋矿、自然铋伴生,反射色呈微粉红白色,不显多色 性,内反射以黄色为主,亦有土黄、棕红、黄白色,均质 性显著。在广东长岗岭铋矿中与铋华、褐铁矿伴生, 在广东莲花山、江西岿美山、盘古山矿床亦可见到。

赫碲铋矿(hedleyite, Bi₇Te₃):呈他形、棱角状 及微细脉状,粒径一般小于 0.015 mm,可包含于 硫铅铋矿中,也可包含自然铋,常与自然铋、辉钼 矿、硫铅铋矿等共生。反射色为亮白色,双反射 弱,具有非均质性,偏光色为黄-深棕灰色,与辉碲 铋矿、叶碲铋矿极为相似,在显微镜下很难鉴别, 常需借助于化学成分而定。目前主要见于广东莲 花山和大宝山矿区,在大宝山矿区常呈他形粒状产 于闪锌矿裂隙或被包裹在方铅矿和黄铜矿中,还有 部分与 Ag-Te-S 矿物和 Ag-Bi-Pb-S 矿物伴生(Ye et al., 2014)。

黑铋金矿 (maldonite, Au₂ Bi): 呈棱角状、楔状,颗粒极细, 粒径 0.0025 ~ 0.01 mm, 含 Au 68.14%~71.72%, Bi 26.86%~30.48%, 含有微量 Ag、Se等,目前仅在广东莲花山矿区局部发育。

赣南矿(Gananite, α-BiF₃):赣南矿是根据产地 命名的,它产于赣南赣县赖坑钨矿区内,为一含氟和 铋的矿物(Cheng Longcai et al., 1984)。赣南矿呈 棕至黑色,条痕暗灰色,不规则粒状集合体,粒径一 般为 0.15~0.076 mm,无解理,性脆,断口不平坦, 碎屑微透明,半金属光泽至树脂光泽,无磁性,易溶 于盐酸和硝酸,在硫酸中溶解缓慢;在反光镜下为均 质体,内反射为灰色,偏光镜下半透明至不透明,反 射率 11%~13%。

此外,在盘古山矿区还发现威硒硫铋铅矿 (wittite,Pb₉Bi₁₂S₂₇),黄沙矿区还见硫铋铅矿 (lillianite,Pb₃Bi₂S₆)、辉铋铅矿、银柱硫铋铅矿、硫 铋银铅矿、辉铋银铅矿(Gustavite,Ag₃Pb₅Bi₁₁S₂₄)、 未定名硫盐新矿物(Ag₂Pb₃Bi₂S₇、AgPb₂Bi₂S₆)。 盘古山-黄沙地区铅铋硫盐矿物,除尚未找到针辉铋 铅矿(Giessenite)外,PbS-Bi₂S₃系列的种类基本齐 全,这样的矿物产地实例在国内外实属罕见。在广 东大宝山多金属矿区还发现Ag_{4.22}Bi_{0.96}Fe_{0.22}Te_{1.88} S₂、Bi_{2.12}Pb_{2.49}Te_{1.2}S₃、Pb_{2.15}Bi_{2.8}Ag_{0.91}S₅等难以归 类到已知矿物的含铋矿物(Ye et al., 2014),足见 南岭成矿带含铋矿物之复杂。

不同成因铋矿床中的含铋矿物有一定的差异, 斑岩型铋矿床中主要出现自然铋、硫碲铋矿 A、硫碲 铋矿 B、赫碲铋矿、辉碲铋矿;矽卡岩型矿床主要出 现自然铋、辉铋矿、辉碲铋矿、辉铅铋矿、斜方辉铅铋 矿、针硫铋铅矿;云英岩型和破碎带型铋矿床主要发 现自然铋和辉铋矿;热液充填交代型铋矿床以辉铋 矿、辉碲铋矿为主;石英脉型铋矿的含铋矿物极为丰 富,以辉铋矿最为常见(表 4)。矿床中铋硫盐矿物 的某一种属的出现,显然受成矿过程中热液 Pb²⁺、 Bi³⁺离子浓度、硫逸度 f_s 及温度等因素的制约(Ren Yingchen, 1986)。

表 4 不同类型铋矿床中的含铋矿物

Table 4 The bismuth minerals in different types of Bi deposits

铋矿床类型	含铋矿物
斑岩型	自然铋、硫碲铋矿 A、硫碲铋矿 B、赫碲铋矿、辉碲铋矿、黑铋金矿、Ag4.22 Bio.96 Feo.22 Te1.88 S2、Bi2.12 Pb2.49 Te1.2 S3、 Pb2.15 Bi2.8 Ago.91 S5 等
矽卡岩型	自然铋、辉铋矿、辉碲铋矿、辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿、针硫铋铅矿
云英岩型	自然铋、辉铋矿较常见
破碎带型	自然铋、辉铋矿较常见
热液充填型	以辉铋矿、辉碲铋矿为主
石英脉型	自然铋、辉铋矿、辉碲铋矿、辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿、柱硫铋铅矿、富硫铋铅矿、硫碲铋矿、应硫碲铋矿、银锡郭勒 矿、柱辉铋铅矿、卡辉铋铅矿、块辉铋铅银矿、硫锑铋铅矿、威硒硫铋铅矿、硫铋铅矿、辉铋铅矿、银柱硫铋铅矿、硫铋 银铅矿、辉铋银铅矿、泡铋矿、铋华等,以辉铋矿和辉铅铋矿较常见

含铋矿物在矿床中表现出一定的空间分带规 律,如在湖南柿竹园矿区的云英岩、砂卡岩、钾长石 脉中,即向远离成矿岩体方向含铋矿物依次为(自然 铋、辉铋矿)→辉铋矿→(辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿、 针硫铋铅矿、辉碲铋矿)。在江西盘古山矿区,含铋 矿物的分带性更为明显(Ren Yingchen, 1986),一 般产在矿脉中下部,位于铁锂云母、电气石、黑钨矿、 锡石等高温矿物组合之下,且由浅至深由黄铁矿、辉 铋矿逐渐变为磁黄铁矿、铋硫盐、自然铋等贫硫矿物 组合,而铋硫盐中由浅至深又有辉铋矿、柱硫铋铅 矿、斜方硫铋铅矿、辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿、富硫铅 铋矿、方铅矿的变化趋势。显然,不同硫盐矿物的 PbS/Bi₂S₃比值不同而分布空间有差异,柱硫铋铅矿 PbS/Bi₂S₃比值低,与黄铁矿共生,在铋硫盐矿物中 它形成最早,且分布于矿床较上部位,斜方辉铅铋矿 和富硫铋铅矿 PbS/Bi₂S₃比值高,与磁黄铁矿和自 然铋共生,形成较晚,常见于石英脉的晶洞中,具有 较完整的自形晶体,出现在矿体的较下部位。碲铋 矿族矿物从浅到深在空间上有 $Bi_3 Te_{1+x} S_{2-x}$ 、辉碲 铋矿、硫碲铋矿 A、应硫碲铋矿、硫碲铋矿 B 的变化 趋势,矿物中硫占有的原子百分比呈下降的趋势,显 示了一定的规律性。铋具有明显亲硫性,因而南岭 钨矿床的铋矿化常常形成于成矿作用晚期、温度也 较低的硫化物阶段,以辉铋矿或其他硫化物、硫盐矿 物形式出现(Hua Renmin et al., 2008)。Ren Yingchen(1986)认为,在石英脉型钨矿中,随着深 度的增大、裂隙的扩张、矿液温度的降低、氧化物不 断晶出,矿液性质和成分也发生相应变化,即 WO4²⁻ 和亲氧元素不断减少,pH不断增加,S²⁻的浓度和 亲硫元素相对增加,直到240~270℃范围内磁黄铁 矿和辉铋矿大量出现;越到矿床下部 Eh 逐渐降低、 pH 更趋升高,随着温度的降低,S²⁻更加富集,在这 种富硫的碱性还原介质中形成了大量硫化物,导致 越到深部越出现贫硫趋势。

3 成因探讨

3.1 惰性气体同位素分析

热液流体中 He-Ar 同位素主要有大气饱和水、 地幔流体和地壳流体 3 种来源,且不同来源的 He、 Ar 同位素组成及其特征比值具有明显差别 (Burnard et al., 1999):①大气饱和水³He/⁴He=1 $Ra(Ra=1.4\times10^{-6})$, ⁴⁰Ar/³⁶Ar=295.5;②深源地 幔流体,以高³He为特征, ³He/⁴He一般为 $6\sim7$ Ra, Ar 以放射性⁴⁰ Ar 为主,⁴⁰ Ar/³⁶ Ar>40000;③地 壳流体(包括建造水或盆地热卤水),³He/⁴He介于 0.01~0.05 Ra 之间,⁴⁰ Ar/³⁶ Ar>295.5。表 5 显 示,南岭铋矿床辉铋矿、黑钨矿、黄铁矿、黄铜矿等的 成矿流体⁴ He 含量为 $6.18 \times 10^{-8} \sim 26090 \times 10^{-8}$ $cm^3 STP/g$,⁴⁰Ar 含量为 4.82×10⁻⁸~154.2×10⁻⁸ $cm^{3}STP/g$, ³He/⁴He 为 0.004~4.36 Ra(Ra=1.4 ×10⁻⁶), 40 Ar/ 36 Ar为 295.9~2952.4。在³He/ 4 He 图解(图 2)和⁴⁰Ar/³⁶Ar-³He/⁴He 图解(图 3)上,总 体落在地壳端元与地幔端元之间,其中瑶岭矿床中 的⁴He含量变化较大,分布范围从地幔到地壳,原因 被认为是不同程度受到捕获后放射性成因⁴He 的影 响(Zhai et al., 2012)。西华山(Wei et al., 2019)、 柿竹园(Wu et al., 2011)、瑶岗仙(Hu et al., 2012b)等矿床的成矿流体也含有相当比例的地幔 气,表明南岭铋矿床成矿流体具有壳幔混合的特征, 地幔流体参与了成矿作用。华南在中生代发生了一 系列大规模的软流圈上涌、岩石圈减薄、地壳伸展等 地球动力学过程,为来自深部的地幔流体上涌到中下 地壳提供了通道,地幔流体带来的热引起地壳重熔形 成花岗岩浆,并为重熔的花岗岩浆提供成矿物质,这 种混合了地幔流体的花岗岩浆沿有利构造侵入并分 异演化,形成高温的富含地幔 He 等挥发份的含矿热 液,向顶部和边部相对开放的构造裂隙中富集(Hu et al., 2012b; Song Shengqiong et al., 2019).

Table 5 He-Ar isotopic components in ore-forming fluids of Bi deposits in Nanling region										
矿庄	投旦	五亡 州加	4 He	⁴⁰ Ar	³ He/	³⁸ Ar/	$^{40}\mathrm{Ar}/$	幔源 He	⁴⁰ Ar *	$^{40}{ m Ar}^*$ /
19 /	件写	11/12/	$(\times 10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g})$	$(\times 10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g})$	⁴ He(Ra)	$^{36}\mathrm{Ar}$	$^{36}\mathrm{Ar}$	(%)	(%)	$^{4}\mathrm{He}$
	pt-1	黄铜矿	539.42	131.59	0.76	0.1938	554.27	11.47%	46.69%	0.1139
	pt-2	黄铜矿	337.76	110.52	0.86	0.1904	396.84	12.99%	25.54%	0.0836
) 二百 (五)	pt-3	黄铜矿	323.93	68.89	0.28	0.1912	378.62	4.05%	21.95%	0.0467
伝塘	pt-1-1	黑钨矿	482.43	103.55	0.53	0.1944	590.65	7.85%	49.97%	0.1073
	pt-2-2	黑钨矿	823.85	64.54	0.18	0.195	575.03	2.49%	48.61%	0.0381
	pt-3-3	黑钨矿	675.29	66.19	0.17	0.194	354.45	2.32%	16.63%	0.0163
	ts3	黄铁矿	140.00	65.90	0.23	0.189	297.90	3.24%	0.81%	0.0038
	ts4	黄铁矿	169.00	110.80	0.17	0.189	304.70	2.31%	3.02%	0.0198
铁山垅	ts21	黄铁矿	57.00	71.90	0.98	0.183	310.20	14.81%	4.74%	0.0598
	ts28	黑钨矿	1345.00	53.20	0.04	0.188	304.20	0.31%	2.86%	0.0011
	ts29	黄铁矿	104.00	131.80	0.78	0.191	320.40	11.73%	7.77%	0.0985
	ts30	黑钨矿	55.00	154.20	0.47	0.188	295.90	6.94%	0.14%	0.0038
	tsy4	黄铁矿	71.00	34.30	0.86	0.185	345.30	12.96%	14.42%	0.0697
	tsy5	黄铁矿	89.00	30.20	0.55	0.187	341.10	8.18%	13.37%	0.0454
	ts30	黄铁矿	108.00	38.10	0.57	0.185	350.90	8.49%	15.79%	0.0557
	08YL-124-2	黄铁矿	142.30	27.20	1.02	0.159	445.40	15.48%	33.66%	0.0643
	08YL-124-3	黄铁矿	26090.00	34.70	0.004	0.179	603.70	-0.24%	51.05%	0.0007
	08YL-124-4	黄铁矿	42.60	6.24	1.33	0.135	1368.50	20.14%	78.41%	0.1148
	08YL-124-5	黄铁矿	682.00	79.90	0.36	0.188	551.90	5.29%	46.46%	0.0544
瑶岭	08YL-124-7	黑钨矿	4180.00	25.10	0.03	0.147	717.10	0.16%	58.79%	0.0035
	08YL-128-1	黄铁矿	15.40	23.90	4.36	0.173	330.10	67.01%	10.48%	0.1627
	08YL-128-4	黄铁矿	65.10	42.00	1.60	0.17	360.10	24.35%	17.94%	0.1157
	08YL-450-2	黄铁矿	30.20	88.90	2.62	0.181	333.20	40.17%	11.31%	0.3331
	08YL-450-4	黄铁矿	66.00	25.70	1.63	0.2	392.00	24.83%	24.62%	0.0959
	08MZ-640-1	黄铁矿	175.00	81.10	0.74	0.196	401.80	11.06%	26.46%	0.1226
	08MZ-640-59	黄铁矿	316.00	85.30	0.63	0.19	447.70	9.40%	34.00%	0.0918
每子窝	08MZ-760-57	黄铁矿	189.00	29.30	1.23	0.182	803.10	18.66%	63.21%	0.0980
	08MZ-760-1	黄铁矿	80.80	24.00	1.34	0.11	2952.40	20.29%	89.99%	0.2673
	08MZ-640-2	毒砂	15.60	8.40	3.48	0.184	908.40	53.35%	67.47%	0.3633

表 5 南岭部分铋矿床成矿流体 He-Ar 同位素组成

注:漂塘矿区据 Wang et al., 2010;铁山垅矿区据 Li et al., 2011;瑶岭和梅子窝矿区据 Zhai et al., 2012。







3.2 稳定同位素分析

南岭铋矿床成矿流体的 δD_{v-smow} 介于 -121.7%~ -7.7%之间, δ^{18} O_{H,O} 为 -8.7%~ 9.4‰(表 6)。在氢-氧同位素图解(图 4)上,西华 山、铁山垅、黄沙坪等铋矿床主要分布在岩浆水区 域,表明成矿流体主要来自岩浆水,而无明显的大气 降水和变质水加入;柿竹园、大吉山、盘古山矿区落 在岩浆水区域的下方和左侧,指示成矿流体来自岩 浆水,但还一定程度上受到大气降水影响。大气降 水对成矿流体的影响程度可能与矿床岩石的断裂和 裂隙发育特征密切相关。西华山花岗岩的顶部变质 岩对成矿流体起着良好的屏蔽作用(Mei Yongwen, 1985),使得深部的初始岩浆水只能经蚀变交代作用 后或同时直接充填于封闭裂隙体系中,矿脉绝大多 数赋存在花岗岩体内,矿脉顶部延至花岗岩体与围 岩界面一般骤然尖灭;铁山垅钨矿虽然在外接触带 形成了"五层楼"式钨矿石英脉,但容矿断裂系统明 显具有水力致裂的特征(Chen Xiang, 2007),而且 岩体顶部发育似伟晶岩壳(Feng Zhiwen et al., 1989),表明花岗岩浆侵入时处于相对封闭的环境。 因此,它们的成矿流体来源较为均一。相反,盘古山 钨矿床断裂构造错综复杂,成矿前经区域性断裂 F5 的多次改造形成了"X"状裂隙系统,矿床的成矿环 境为相对开放体系,为大量从地表裂隙向下贯入或 受热深部循环的雨水、地下水参与成矿作用提供了 可能。大气降水的参与程度可能也与不同矿化分带 及矿化类型有关,比如在柿竹园钨矿床中靠近大气 降水线的程度由小至大依次为块状矽卡岩、块状云 英岩、远接触带石英脉、退化蚀变砂卡岩、网脉状云 英岩(Wu Shenghua, 2016)。值得一提的是,受到 大气降水影响较明显的柿竹园、大吉山、盘古山矿床 均形成了相当规模的铋矿,分别为超大型、大型和中 型,储量大于未受大气降水影响的铋矿床。Zhuang Longchi(1991)研究也认为,在大吉山矿区钨-硫化 物成矿石英脉阶段,尽管再平衡岩浆水仍处主导地 位,但已有相当数量的大气降水参与。可见,大气降 水混入导致的流体条件变化(如温度降低等)可能是 铋矿沉淀的重要因素。

表 7 列出了南岭主要铋矿床辉铋矿、辉钼矿、黄 铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂等硫化物的硫同 位素组成。从中看出,盘古山钨矿床的 δ^{34} S为 -2.3‰~1.3‰,瑶岭钨矿 δ^{34} S为-1.98‰~1.92‰,

医丁 用吸送可外放可加件到毛肉过来沮

矿床	样号	矿物	δD _{V-SMOW} (‰)	$ \delta^{18} O_{H_2O} $ (%)	数据来源	矿床	样号	矿物	δD _{V-SMOW} (‰)	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (%)	数据来源
	514-1	钾长石	-73.1	2.55			XH-13	石英	-72	7	
	583-33	石英	-70.2	3.6	1		XH-17	石英	-74	5.6	
	514-4	石英	-52.9	6.5	1		XH-18	石英	-72	6.8	
	490-131	石英	-56.6	6.6	Wang	西华山	XH-9	黑钨矿	-80	8.8	Yang et al. , 2019
	490-128	石英	-70.8	4.8	Shufeng		XH-10	黑钨矿	-64	8	
	490-94-15	石英	-54.4	-6.45	et al. , 1988		XH-13	黑钨矿	-75	7.7	
拉佐国	490-94-16	石英	-69.7	-7.14	1		XH-17	黑钨矿	-82	7.4	
1771四	490-94-17	石英	-65.3	-7.48	1		XH-18	黑钨矿	-78	7.8	
	柿-14	石英	-52	-8.7	1		YK1-1	石英	-72.7	6.8	Wong Hui
	10cs-8	石英	-83	-8.2			YK1-7	石英	-59.9	6.2	
-	12cs-12	石英	-7.7	5.1	Wu	黄沙坪	YK1-11	石英	-56.2	6.7	Wang Hui,
	12cs-20	石榴子石	-97	9.4	Shenghua,		HSP-28-1	石英	-54.8	7.2	2013
	12cs-45	石英	-65	-4.2	2016	铁山垅	HSP-28-2	石英	-59.9	7]
	12hsl-5	石英	-83	2.8]			石英	-57.9	5.09	Feng Zhiwen et al. ,1989
	pgs-6	石英	-121.7	2.97				石英	-67.9	6.87	
	pgs-16	石英	-80.6	3.67]			石英	-63.3	4.97	
	pgs-26	石英	-80.7	4.57]		82D-15	石英	-50.4	8.34	
舟十山	pgs-28	石英	-83.6	6.47	Fang Guicong		82D-14	石英	-50.4	8.94	Chen Vuohuon
益白山	NLSD2-824	石英	-88.6	4.13	et al. , 2014b		D467-121	石英	-48.4	5.79	rucnuan
	NLSD2-864	石英	-90.4	4.13]		82D-10	石英	-48.4	7.64	ct al. ,1505
	NLSD2-877	石英	-82.5	4.23]	大吉山		石英	-50.2	6.5	Zhuang Longchi et al. , 1991
	NLSD2-1302	石英	-116.5	5.16]			石英	-48.8	4.1	
西华山	XH-8	石英	-66	7.1	X			石英	-52.6	2.8	
	XH-9	石英	-58	8	rang et al.,			微斜长石	-52.4	4.1	
	XH-10	石英	-64	7.3	2013			方解石	-59.7	-1]

Table 6 Hydrogen and oxygen isotopic composition of ore-forming fluids of Bi deposits in Nanling region

	329

表 7 南岭铋矿床硫同位素组成 Table 7 Sulfur isotopic composition of Bi deposits in Nanling region

矿床	样号	矿物	$\delta^{34}S$	参考文献	矿床	样号	矿物	$\delta^{34}S$	参考文献
19 1/15	Pag-20-625		-1.7	2 J XIIX	19 1/1	538-0	吉砂	-0.2	2 1 X III
	Pga 20 495	ルー DC 19 まだん TC	-2.2			529 11	サリ	-0.1	
	Fgs-39-463	ルキ 地の 切 地震 たみ エピ	-2.3			538-11	母世	-0.1	
	FgS-5-1	性地型	0.0			500-10	母世	-0.1	
	Pgs-9-7-20(2)	旌锐 创	-0.9			538-18	毎砂	0	
	Pgs-18-585	 	1			270-9	毎砂	-0.2	
	Pgs-77-831	黄铁矿	-0.7		西华山	431-32	毒砂	-0.2	Wei et al. , 2012
	Pgs-77-696	黄铁矿	-0.8			538-14	黄铜矿	-0.7	
	Pgs-77-585	黄铁矿	-0.6			538-9	黄铜矿	-0.7	
	Pgs-77-535	黄铁矿	0.2			538-7	黄铜矿	-0.4	
	Pgs-39-761	黄铁矿	1			538-5	黄铜矿	-0.3	
	Pgs-39-696	黄铁矿	0.2	7hu Vanling		538-4	黄铜矿	-0.6	
	Pgs-39-585	黄铁矿	-0.2	et al 1981			黄铁矿	-3.3	
	Pgs-39-535	黄铁矿	0.2	ct al. , 1501			磁黄铁矿	-2.92	
盘古山	Pgs-表-7 正	黄铁矿	-0.1		大吉山		黄铁矿	-1.58	Sun Congon
	Pgs-1-7	黄铁矿	-0.1				辉钼矿	-2.42	Sun Gongan
	Pgs-3-2	黄铁矿	0.3				辉铋矿	-6.74	et al. ,1985
	Pgs-5-7	黄铁矿	0.4				黄铁矿	-1.58	
	Pgs-5-7-7	黄铁矿	-0.8	-			黄铁矿	-2.96	
	Pgs-7-7-17	黄铁矿	-0.1				辉钼矿	4.7	
	Pgs-7-7-20	黄铁矿	-1.2				辉钼矿	6.2	
	Pgs-9-7-12	黄铁矿	-0.7				辉钼矿	6.2	
	Pgs-9-7-20	黄铁矿	-0.7		柿竹园		辉钼矿	5.9	
	Pgs-10-7-20	黄铁矿	-0.6				黄铁矿	6.6	Zhang Ligang et al. ,1989
	NLSD2-1597	苗铁矿	1.3				辉铋矿	2.6	
	NLSD2-1600	苗铁矿	1. 2	Fang Guicong			辉铋矿	1.6	
	NLSD2-914	黄铁矿	0.7	et al. 2014b			辉铋矿	2.7	
	NLSD2-915	黄铁矿	0.7	00 00 / 00 10			辉铋矿	3.6	
	08VI -2/2	黄鉄矿	1 51				海鉱矿	3 1	
-	08YL-2/h	黄铜矿	-1.91				方铅矿	0.7	
	08YL-124-4/a	黄铅矿	1. 92			BSC-1	古 铁 矿	2.1	
瑶岭	08VI -124-4/b	黄铜矿	-0.72	Yang et al. ,2018		BSC-7	黄铁矿	-1	
	08 YI I -128-1/2	黄柄型	-1.98			BSC-16	页 仄 ¹ 古	1 7	
	08 YL L_128_1/h	黄原型	0.78		-	BSC-20	口位が	3.6	
	279 G	戌初初 黄桃市	-1			BSC-20 BSC 20	内井り	3.0	
	378-0	與 仄 1) 去 出 矿	-1			NBSC-20	力扣サ	1.1	
	278 11	田大切 田	-1.6			NDSC-5	万知り	-0.3	
	378-11		-1.6			NBSC-6	万珩伊	0.3	
	378-5	東 铁伊	-1. Z			NBSC-7	<u></u> 貝铁切	1.8	
	270-5	東 铁伊	-0.9			NBSU-8	東铁 伊	2.7	
	270-4	東铁 0	-1.1			NBSC-17	<u> </u>	2.1	
	270-10	更 铁 印	-1. z		黄沙坪	NBSC-18	闪锌创	1.8	Zhu Xinyou
	270-13	黄铁 矿	-1.3			NBSC-20		1.9	et al., 2012
	270-23	黄铁矿	-1.3			NBSC-20	方铅矿	1.1	
	431-3	黄铁矿	-1.4			NBSC-21	闪锌矿	2.3	
	431-4	黄铁矿	-1.2			NBSC-21	方铅矿	0.6	
	538-4	黄铁矿	-1			HSC-03	闪锌矿	10.7	
西华山	538-10	黄铁矿	-1.3	Wei et al2012		HSC-03	方铅矿	7.6	
	538-20	黄铁矿	-0.7	,		HSC-10	辉钼矿	14	
	538-9	黄铁矿	-0.8			HSC-11	辉钼矿	14.7	
	431-5	黄铁矿	-1.4			HSC-13	黄铁矿	11	
	270-28	辉钼矿	-0.9			HSC-13	闪锌矿	10.7	
	378-20	辉钼矿	-1.4			HSC-14	黄铁矿	8.7	
	378-19	辉钼矿	-1.4			YGC-12	辉钼矿	0.4	
	378-17	辉钼矿	-1.2			YGC-39	辉钼矿	-0.6	
	378-34	辉钼矿	-1.4			YGC-66	辉钼矿	0.3	
	378-35	辉钼矿	-0.8		或出仇	YGC-160	闪锌矿	-1.1	Li Shunting
	431-1	辉钼矿	-1.4		墙冈Ш	YGC-161	黄铁矿	1.4	et al. , 2011
	431-6	辉钼矿	-1.1	$\frac{1.4}{1.1}$ 0.5		YGC-161	闪锌矿	-0.5	5
	431-7	辉钼矿	-0.5			YGC-164	黄铁矿	-0.4	4 8
	538-3	毒砂	0.1			YGC-214A	闪锌矿	-1.8	



deposits in Nanling region (references are found in Table 6)

西华山矿床的 δ^{34} S 为一1.6‰~0.1‰,大吉山矿床 的 δ^{34} S 为一6.7‰~一1.6‰,柿竹园矿床的 δ^{34} S 为 0.7‰~6.6‰,黄沙坪矿床的 δ^{34} S 为一1‰~14‰, 瑶岗仙矿床的 δ^{34} S 为一1.8‰~1.4‰,除了黄沙坪 矿区硫同位素值变化较大外,其他铋矿床的 δ^{34} S 变 化范围较窄(图 5),表明这些铋矿床的硫源主要为 岩浆源,经历了岩浆-热液的均一化过程;而黄沙坪 矿区硫同位素变化较大的原因被认为是随温度下降 以及物理化学条件变化导致的热力学分馏作用,其 次是沉积岩围岩中低 δ³⁴S 值硫的加入(Zhu Xinyou et al., 2012)。

3.3 岩石地球化学分析

南岭各地层岩石中的 Bi 含量介于 0.21×10⁻⁶ $\sim 0.49 \times 10^{-6}$ 之间,平均 0.31 $\times 10^{-6}$;而铋矿床的 相关花岗岩体中 Bi 含量比地层高出 1~3 个数量 级,高达 7.3×10⁻⁶~173.37×10⁻⁶(表 8)。据目前 掌握的数据来看,铋矿床规模与花岗岩体的 Bi 含量 表现出一定的正相关关系,花岗岩 Bi 含量越高,趋 于形成规模越大的铋矿床,比如柿竹园、大吉山、盘 古山、漂塘、红岭等铋矿储量分布为 30.52 万吨、 5.02万吨、3.5337万吨、0.185万吨、0.0538万吨, 相关花岗岩体的 Bi 含量依次递减为 173.37×10^{-6} 、 29. 72×10^{-6} , 15. 47×10^{-6} , 14. 91×10^{-6} , 12. $34 \times$ 10⁻⁶(图 6),铋矿储量与花岗岩 Bi 含量表现为正相 关关系。可见,尽管南岭各地层岩石中的 Bi 含量稍 高于地壳丰度(0.004×10⁻⁶),前文的氢氧同位素也 显示大气降水的参与程度和铋矿床的规模有较好的 相关性,大气降水流体会迁移一定数量的铋元素参 与到成矿作用;然而绝大多数铋矿床形成于170~



图 5 南岭铋矿床硫同位素分布直方图(数据来源同表 7)

Fig. 5 Histogram of sulfur isotopes of Bi deposits in Nanling region (references are found in Table 7)

	表 8	南岭地区地层与花岗岩体 Bi含量(×10-6)
Fahle 8	The Bi cor	prosition ($\times 10^{-6}$) of strata and granites in Nanling regio

		- 3.7	ア山ガ	阳公五	南附石	· 中市 万	一日ガ		
- 地层	二登示		白灰杀	泥盆系	奥阔系	表武系	一 晨 旦 杀	用岭全区	
平均 Bi 含量	0.27	0.26	0.21	0.37	0.49	0.32	0.37	0.31	
数据来源	Yu Chongwen et al. ,1987								
矿床名称	盘古山	大吉山	漂塘	红岭	瑶岗仙	柿竹园			
花岗岩平均 Bi 含量	15.47	29.72	14.91	12.34	7.3	173.37			
数据来源	Fang et al. ,2018	Hua Renmin et al., 2003		Wu Jian, 2017	Wang Yanli, 2014				
铋矿床储量(万吨)	3.5337	5.2	0.185	0.0538		30.5			

150 Ma,与南岭燕山早期大规模岩浆-成矿作用的爆 发时间基本吻合,铋矿床与花岗岩体空间关系密切, 表明了地层尚难以为铋矿床的形成提供足量的 Bi, Bi元素更可能是通过这些含铋地层的重熔、活化迁 移而逐渐在花岗岩浆中富集,进而在岩浆演化过程 中形成铋矿床。

综上所述,南岭铋矿床的主要成矿物质来自花 岗岩浆,在花岗岩浆形成过程中有地幔流体的加入, 岩浆热液演化的中晚阶段大气降水的混入可能是铋 大量沉淀的重要因素。

4 结论

(1)南岭是我国最重要的铋矿产地,形成了湘 南、粤北、崇-余-犹、于-赣等四大铋矿聚集区;铋矿床 类型主要有石英脉型、砂卡岩型、蚀变花岗岩型、破 碎带型、充填交代型、斑岩型等六种,以石英脉型铋 矿数量最多,砂卡岩型铋矿储量最大;铋矿床形成年 龄介于 170~150 Ma 之间,与相关花岗岩体侵入年 龄相近。

(2)南岭含铋矿物复杂多样,目前已发现 30 余 种,涵盖自然元素、硫化物、含硫盐、氧化物、含氧盐、 碲化物、铋化物、氟化物等类型,以铋的含硫盐最为 丰富;含铋矿物组合在不同类型铋矿床中有所差异, 但一般产在矿脉中下部,且由浅至深矿物中硫的原 子百分比呈下降的趋势。

(3)南岭铋矿床的主要成矿物质来自花岗岩浆, 在花岗岩浆形成过程中有地幔流体的加入,岩浆热 液演化的中晚阶段大气降水的混入可能是铋大量沉 淀的重要因素。

致谢:两位匿名审稿专家对本稿件提出了宝贵 的意见和建议,在修改过程中编辑部提出了进一步 修改意见,在此一并表示衷心感谢!

References

- Ai Hao. 2013. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions of ore-related granites from Huangshaping polymetallic deposit of Hunan Province. Mineral Deposits, 32 (3): 545~563 (in Chinese with English abstract).
- Burnard P G, Hu R, Turner G, et al. 1999. Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan gold deposits, Yunnan Province, China. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(10): 1595~1604.
- Chen Xiang. 2007. Origin of ore-host fault system in Huangsha tungsten vein deposit, southern Jiangxi Province. The doctor degree dissertation of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang, Lin Xinduo, Bai Ge, Li Chongyou, Liu Gouqun, Xian Boqi. 1989. The Geology of Non-ferrous and Rare Metal Deposits Related to Mesozoic

Granitoids in Nanling Region. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

- Cheng Longcai, Hu Zongshao, Pan Shiwei, Huang Rongsheng, Guo Shuliang. 1984. Gananite ($_{\alpha}$ -BiF₃), a new bismofluoride mineral from Jiangxi, China. Rock and Mineral Analysis, 2: $119{\sim}123{+}187{\sim}188$ (in Chinese with English abstract).
- Fang Guicong, Chen Yuchuan, Chen Zhenghui, Zeng Zailin, Zhang Yongzhong, Tong Qiquan, Sun Jie, Huang Hongxin, Guo Naxin. 2014a. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology of the Pangushan tungsten deposit in south Jiangxi Province and its significance. Acta Geoscientica Sinica, 35(1): 76~84 (in Chinese with English abstract).
- Fang Guicong, Tong Qiquan, Sun Jie, Zhu Guohua, Chen Zhenghui, Zeng Zailin, Liu Konglong. 2014b. Stable isotope geochemical characteristics of Pangushan tungsten deposit. Mineral Deposit, 33(6): 1391~1399 (in Chinese with English abstract).
- Fang G C, Zhao Z, Chen Y C, Chen Z H, Krapez B, Mao J W. 2018. Genetic relationship between granitic magmatism and W mineralization recorded in the Nanling Scientific Drilling (SP-NLSD-2) in the Pangushan W mining district, South China. Ore Geology Reviews, 101: 556~577.
- Feng Chengyou, Huang Fan, Zeng Zailin, Qu Wenjun, Ding Ming. 2011a. Isotopic chronology of Jiulongnao granite and Hongshuizhai greisens-type tungsten deposit in south Jiangxi Province. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 41(1): 111~121 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W J, Du A D, Li D X, She H Q. 2011b. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os isotopic dating of the tungsten deposits in the Tianmenshan-Hongtaoling W-Sn orefield, southern Jiangxi Province, China, and geological implications. Ore Geology Reviews, 43(1): 8 ~25.
- Feng Zhiwen, Xia Weihua, Zhang Jintong, Chen Zhiying. 1989. Geological characteristics of the Huangsha vein-type tungsten deposit and a discussion on the property of its ore-forming fluid. Jiangxi. Earth Science, 14(4): 423 ~ 432 (in Chinese with English abstract).
- Guo C L, Chen Y C, Zeng Z L, Lou F S. 2012. Petrogenesis of the Xihuashan granites in southeastern China: Constraints from geochemistry and in-situ analyses of zircon U Pb Hf O isotopes. Lithos, 148: 209~227.
- Guo Jia, Yi Jining, Wang Hui. 2018. Comparative study on evaluation factors of significant strategic mineral. Modern Mining, 34(12): 1∼5 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Bi X W, Jiang G H, Chen H W, Peng J T, Qi Y Q, Wu L Y, Wei W F. 2012b. Mantle-derived noble gases in ore-forming fluids of the granite-related Yaogangxian tungsten deposit, Southeastern China. Mineralium Deposita, 47(6): 623~632.
- Hua Renmin, Zhang Wenlan, Chen Peirong, Wang Rucheng. 2003. Comparison in the characteristics, origin, and related metallogeny between granites in dajishan and piaotang, Southern Jiangxi, China. Geological Journal of China Universities, 9 (4): 609 ~ 619 (in Chinese with English abstract).
- Hua Renmin, Zhang Wenlan, Li Guanglai, Hu Dongquan, Wang Xudong. 2008. A preliminary study on the features and geologic implication of the accompanying metals in tungsten deposits in the Nanling region. Geological Journal of China Universities, 14 (4): 527 \sim 538 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Wei W F, Bi X W, Peng J T, Qi Y Q, Wu L Y, Chen Y W. 2012a. Molybdenite Re-Os and muscovite ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Xihuashan tungsten deposit, central Nanling district, South China. Lithos, 150: 111~118.
- Jiang Hai, Jiang Shaoyong, Li Wenqian, Zhao Kuidong, Peng Ningjun. 2018. Highly fractionated Jurassic I-type granites and related tungsten mineralization in the Shirenzhang deposit, northern Guangdong, South China: Evidence from cassiterite

and zircon U-Pb ages, geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes. Lithos, 312-313: 186~203.

- Li G L, Hua R M, Zhang W L, Hu D Q, Wei X L, Huang X E, Xie L, Yao J M, Wang X D. 2011. He-Ar isotope composition of pyrite and wolframite in the Tieshanlong tungsten deposit, Jiangxi, China: Implications for fluid evolution. Resource Geology, 61(4): 356~366.
- Li Shunting, Wang Jingshan, Zhu Xinyou, Li Chao. 2011. Re-Os dating of molyb-denite and sulfur isotope analysis of the Yaogangxiang tungsten polymetallic deposits in Hunan province and their geological significance. Geoscience, 25(2): 228~235 (in Chinese with English abstract).
- Li Yan, Sheng Jifu. 1990. Native bismuth in the Dalongshan tungsten deposits in Jiangxi Province. Geological Review, 4: $364 \sim 369$ (in Chinese with English abstract).
- Lin Zhiyong, Wang Denghong, Li Shuiru. 2008. Re-Os isotope age of molybdenite from the Wangshe copper-tungsten deposit in Guangxi province and their implications. Acta Geologica Sinica, 82(11): 1565~1571 (in Chinese with English abstract).
- Liu Fei, Li Kun, Huang Guicheng, Qiu Xiaofei, Yan Lejia, Lu shicai. 2018. Zircon U-Pb geochronology and geochemical characteristics of the Kunlunguan A-type granite in central Guangxi. Earth Science, 43(7): 2313~2329 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaofei, Yuan Shundao, Wu Shenghua. 2012. Re-Os dating of the molybdenite from the Jinchuantang tin-bismuth deposit in Hunan Province and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 28(1): 39~51 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Liu D Y, Sun M, Li W X, Liang X R, Liu Y. 2004. Precise Sm-Nd and U-Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite, SE China. Geological Magazine, 141(2): 225~231.
- Lu Youyue, Fu Jianming, Cheng Shunbo, Liu Shusheng, Li Chuanbiao, Zhang Liguo, Ma Liyan. 2015. Rock-forming and ore-forming ages of Tongshanling copper polymetallic ore-field in southern Hunan Province. Geotectonica et Metallogenia, 39 (6): 1061~1071 (in Chinese with English abstract).
- Mao Wei, Li Xxiaofeng, Yang Fuchu. 2013. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of granites at Dabaoshan polymetallic deposit and its geological significance, Guangdong, South China. Acta Petrologica Sinica, 29 (12): 4104 \sim 4120 (in Chinese with English abstract).
- Mei Yongwen. 1985. The distribution of tungsten ore in Xihuashan Zhongshukeng zone, Geology and Prospecting. 21(4): 11~16 (in Chinese with English abstract).
- Qian Handong, Chen Wu, Xie Jiadong, Huang Jing. 2000. A review of tellurium minerals. Geological Journal of China Universities, 6 (2): 178 ~ 187 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Shidong, Wang Baohua, Xu Jiuhua, Xie Yuling. 2008. Ingodite found for the first time in China. Acta Mineralogica Sinica, 28 (4): 357~359 (in Chinese with English abstract).
- Qu Hongying, Chen Maohong, Yang Fuchu, Gao Zhihui, Wang Yaowu, Zhao Haijie, Yu Zhangfa. 2014. Metallogenic chronology of the stratiform Cu orebody in the Dabaoshan Cu polymetallic deposit, northern Guangdong Province and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 30(1): 152~ 162 (in Chinese with English abstract).
- Ren Y C. 1986. Tellurobismuthinitides from Pangushan. China Geochemistry, 5(1): 76 \sim 79.
- Ren Yingchen, Cheng Minqing, Wang Cunchang. 1986. Characteristics and vertical zoning of tungsten-bismuth minerals in the Pangushan quartz-vein type tungsten deposit of Jiangxi Province. Mineral Deposits, 2: $63 \sim 74$ (in Chinese with English abstract).
- Ren Yingchen. 1998. Restudy of bismuth sulfosalt minerals inPangushan wolfram quartz vein deposit, Jiangxi Province. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 13 (4): 1~17 (in Chinese with English abstract).

- Sheng Jifu, Wang Denghong, Qin Yan, Wang Yan, Chen Zhenghui, Huang Fan, Liu Zhanqing, Fang Guicong, Xiang Xinkui, Ding Jianhua, Xu Jianxiang, Ma Zhendong, Zhao Zheng, Liu Xinxing, Chen Lei, Zhao Ruyi, Ma Shengchao, He Hanhan, Wang Liying, Liu Shanbao, Liu Lijun, Huang Hongxin, Zhang Tong, Dong Xiangping, Qiao Jianjun, Guo Weiming, Sha Junsheng, Sun Yingchao, Zeng Le. 2018. Geology of Mineral Resources in China • Volume of tungsten ore (volume 1). Beijing: Geological Publishing House, 1~565 (in Chinese with English abstract).
- Song Shengqiong, Pan Lichuan, Wei Wenfeng. 2019. He and Ar isotopes of ore-forming fluids in the Taoxikeng tungsten deposit, southern Jiangxi Province, China. Acta Petrologica Sinica, 35(1): 243~251 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yihong, Ren Xiangmei. 1986. Ore minerals in Shizhuyuan deposit. Acta Mineralogica Sinica, 2: 179 \sim 187+195 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Li Huaqin, Qin Yan, Mei Yuping, Cheng Zhenghui, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Cai Hong, Gong Shuqing, He Xiaoping. 2009. Rock-forming and ore-forming ages of the Yaogangxian tungsten deposit of Hunan Province. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 201~208 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenhui, Chen Yuchuan, Tang Juxing, Li Jiankang, Ying Lijuan, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Li Lixing, Qin Yan, Li Huanqin, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Chen Wen, Zhang Yan. 2010. New data of the rock-forming and ore-forming chronology for China's important mineral resources areas. Acta Geologica Sinica, 84(7): 1030~1040 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong. 2019. Study on critical mineral resources: significance of research, determination of types, attributes of resources, progress of prospecting, problems of utilization, and direction of exploitation. Acta Geologica Sinica, 93(6)1189~ 1209 (in Chinese with English abstract).
- Wang Hui. 2013. Huangshaping lead-zinc deposit ore forming fluid geochemistry and depth estimation. The master degree dissertation of China University of Geosciences (Beijing),1~75 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lei, Hu Mingan, Qu Wenjun, Chen Kaixu, Long Wenguo, Yang Zhen. 2012. Zircon LA-ICP-MS U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong Province and its geological implications. Geology in China, 39(1): 29~42 (in Chinese with English abstract).
- Wang Min, Bai Xiujuan, Yun Jianbing, Zhao Linghao, Li Yanlin, Wang Zhouyuan, Pu Zhiping, Qiu Huaning. 2016. ⁴⁰ Ar/³⁹ Ar dating of mineralization of Shizhuyuan polymetallic deposit. Geochimica, 45 (1): 41 \sim 51 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shufeng, Zhang Qiling. 1988. Geology of Shizhuyuan Deposit. Beijing: Beijing Sci. and Tech. Press (in Chinese with English abstract).
- Wang X D, Ni P, Jiang S Y, Zhao K D, Wang T G. 2010. Origin of ore-forming fluid in the Piaotang tungsten deposit in Jiangxi Province: Evidence from helium and argon isotopes. Chinese Science Bulletin, 55(7): 628~634.
- Wang Yanli. 2014. Early Yanshan granitic magmatic-hydrothermal evolution and tungsten deposits mineralization in southeast Hunan. The doctor degree dissertation of China University of Geosciences (Beijing), $1 \sim 158$ (in Chinese with English abstract).
- Wei W F, Hu R Z, Bi X W, Jiang G H, Yan B, Yin R S, Yang J H. 2019. Mantle-derived and crustal He and Ar in the oreforming fluids of the Xihuashan granite-associated tungsten ore deposit, South China. Ore Geology Reviews, 105: 605~615.
- Wei Wenfeng, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Peng Jiantang, Su Wenchao, Song Shengqiong, Shi Shaohua. 2012. Infrared microthermometric and stable isotopic study of fluid inclusions in wolframite at the Xihuashan tungsten deposit, Jiangxi

Province, China. Miner Deposita, 47: 589~605.

- Wu Jian. 2007. Ore geological model of Hongling tungsten deposit in Guangdong and its prospecting. The doctor degree dissertation of China University of Geosciences (Wuhan), $1 \sim$ 147 (in Chinese with English abstract).
- Wu L Y, Hu R Z, Peng J T, Bi X W, Jiang G H, Chen H W, Wang Q Y, Liu Y Y. 2011. He and Ar isotopic compositions and genetic implications for the giant Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo deposit, Hunan Province, South China. International Geology Review, 53(5-6): 677~690.
- Wu Shenghua. 2016. The metallogenic mechanism of distal contact Pb-Zn-Ag eins in Shizhuyuan ore district, Hunan Province, China. The doctor degree dissertation of China University of Geosciences (Beijing), $1 \sim 100$ (in Chinese with English abstract).
- Xiao Changhao, Shen Yuke, Liu Hhuan, Wei Changshan, Le Xingwen, Fu Bin. 2018. Oxygen isotopic compositions and geological significance of zircons from the Yanshanian felsic intrusions in the Xidamingshan cluster, southeastern margin of the Youjiang fold belt, South China: In situ SHRIMP analysis. Acta Petrologica Sinica, 34(5): 1441~1452 (in Chinese with English abstract).
- Xu Deqing, Wu Zilan. 1983. Bi, Pb, Ag, Se and Te in vein tungsten ores in Jiangxi Province. Jiangxi Metal-lurgy, (3): 36 ~39 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008. TheClassification Scheme of Minerogenetic Units in China. Beijing: Geological Publishing House, 1~138 (in Chinese with English abstract.
- Yang F, Zhai W, Sun X M, Klemd R, Sun Y Y, Wu Y S, Hua R M, Zheng S Q. 2018. Fluid inclusions and stable isotopic characteristics of the Yaoling tungsten deposit in South China: Metallogenetic constraints. Resource Geology, 69 (1): 107 ~122.
- Yang J H, Zhang Z, Peng J T, Liu L, Leng C B. 2019. Metal source and wolframite precipitation process at the Xihuashan tungsten deposit, South China: Insights from mineralogy, fluid inclusion and stable isotope. Ore Geology Reviews, 111: 1 \sim 20.
- Yao Junming, Hua Renmin, Qu Wenjun, Qi Huawen, Lin Jinfu, Du Andao. 2007. Molybdenite Re-Os isotopic dating of Huangshaping lead, zinc tungsten and moly bdenum polymetallic deposit in south Hunan Province and its geological significance. Science in China (D: Science of Geology), (4): 471~477 (in Chinese with English abstract).
- Ye Lin, Liu Tiegeng, Yang Yulong, Gao Wei, Pan Ziping, Tan Bao. 2014. Petrogenesis of bismuth minerals in the Dabaoshan Pb-Zn polymetallic massive sulfide deposit, northern Guangdong Province, China. Journal of Asian Earth Sciences, 82: 1~9.
- Yin Jianzhao, Zhou Jianxiong, Yang Baichuan, Guo Chengyuan. 1994. The geological characteristics of the Dashuigou tellurium ore deposit (the first case of the independent tellurium ore deposit), Shimian County, Sichuan Province, China. Earth Science Frontiers, 1(3-4): 241~243 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Sunda, Zhang Donglang, Shuang Yan, Du Andao, Qu Wenjun. 2012. Re-Os dating of molybdenite from the Xintianling giant tungsten-molybdenum deposit in southern Hunan Province, China and its geological implications. Acta Petrologica Sinica, 28(1): 27 ~ 38 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Jiuwu, Wang Manzhi, Chen Senhuang, Qu Weizheng, 1987. A study on Co, Au, Ag, Te, Bi minerals in Lianhuashan porphyry tungsten mines, Guangdong. Journal of Mineralogy and Petrology, 7 (4): $12 \sim 17$ (in Chinese with English abstract).
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Wu Yunshan, Sun hongying, Hua Renmin, Li Wenqian. 2011. ⁴⁰Ar-³⁹ Ar dating of Yaoling

tungsten deposit in northern Guangdong Province and SHRIMP U-Pb zircon age of related granites. Mineral Deposits, 30(1): $21 \sim 32$ (in Chinese with English abstract).

- Zhai W, Sun X M, Wu Y S, Sun Y Y, Hua R M, Ye X R. 2012. He-Ar isotope geochemistry of the Yaoling-Meiziwo tungsten deposit, North Guangdong Province: Constraints on Yanshanian crust-mantle interaction and metallogenesis in SE China. Chinese Science Bulletin, 57(10): 1150~1159.
- Zhang Ligang. 1989. Stable isotope geochemistry of Qianlishan granites and tungsten-polymetallic deposits in Dongpo area, Hunan. Journal of Guilin Institute of Technology, 9(3): 259~ 267 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, Chen Peirong, Li Huimin. 2006. New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi. Acta Geologica Sinica, 80(7): 956~962 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z, Liu C, Guo N X, Zhao W W, Wang P A, Chen Z H. 2018. Temporal and spatial relationships of granitic magmatism and W mineralization. Insights from the Xingguo orefield, South China. Ore Geology Reviews, 95: 945~973.
- Zhu X Y, Wang J B, Wang Y L, Cheng X Y, Fu Q B. 2012. Sulfur and lead isotope constraints on ore formation of the Huangshaping W-Mo-Bi-Pb-Zn polymetallic ore deposit, Hunan Province, South China. Acta Petrologica Sinica, 28 (12): 3809 ~3822 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yanling, Li Chongyou, Lin Yunhuai. 1981. Geology ofTungsten Deposits in South Jiangxi. Nanchang: Jiangxi People's Publishing House (in Chinese).
- Zhuang Longchi, Li Weisheng, Xie Tingyan. 1991. Stable isotope geochemistry of the Dajishan tungsten mine in Jiangxi Province. Bulletin of Yichang Institution of Geology and Mineral Resources, Chinese Academic Geology and Science, (16): 109 ~120 (in Chinese with English abstract).

参考文献

- 艾昊. 2013. 湖南黄沙坪多金属矿床成矿斑岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素制约. 矿床地质, 32(3): 545~563.
- 陈祥. 2007. 赣南黄沙脉状钨矿床容矿断裂构造系统成因探讨.中 国地质大学(北京)博士学位论文.
- 陈毓川,裴荣富,张宏良,林新多,白鸽,李崇佑,刘姤群,冼柏琪. 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.北京:地质出版社.
- 成隆才,胡宗绍,潘世伟,黄荣胜,过叔良. 1984. 赣南矿(α-BiF₃)——一种含氟、铋的新矿物. 岩石矿物及测试,2:119~ 123+187~188.
- 方贵聪,陈毓川,陈郑辉,曾载淋,张永忠,童启荃,孙杰,黄鸿新, 郭娜欣. 2014a. 赣南盘古山钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义. 地球学报,35(1):76~84.
- 方贵聪,童启荃,孙杰,朱国华,陈郑辉,曾载淋,刘孔隆.2014b. 赣南盘古山钨矿床稳定同位素地球化学特征.矿床地质,33 (6):1391~1399.
- 丰成友,黄凡,曾载淋,屈文俊,丁明.2011a. 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.
- 冯志文,夏卫华,章锦统,陈紫英.1989.江西黄沙脉钨矿床特征及 成矿流体性质讨论.地球科学,4:423~432.
- 郭佳,易继宁,王慧.2018.全球主要战略性矿产名录评价因素对 比研究.现代矿业,34(12):1~5.
- 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.
- 华仁民,张文兰,李光来,胡东泉,王旭东. 2008. 南岭地区钨矿床 共(伴)生金属特征及其地质意义初探. 高校地质学报,14(4): 527~538.
- 李顺庭,王京彬,祝新友,李超.2011. 湖南瑶岗仙钨多金属矿床辉 钼矿 Re-Os 同位素定年和硫同位素分析及其地质意义.现代地 质,25(2):228~235.

- 蔺志永,王登红,李水如.2008. 广西王社铜钨矿床的 Re-Os 同位 素年龄及其地质意义.地质学报,82(11):1565~1571.
- 刘飞,李堃,黄圭成,邱啸飞,严乐佳,陆世才. 2018. 桂中昆仑关 A型花岗岩锆石 U-Pb 年代学与地球化学特征. 地球科学,43 (7):2313~2329.
- 刘晓菲,袁顺达,吴胜华.2012.湖南金船塘锡铋矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义.岩石学报,28(1):39~51
- 卢友月,付建明,程顺波,刘树生,黎传标,张利国,马丽艳. 2015. 湘南铜山岭铜多金属矿田成岩成矿作用年代学研究.大地构造 与成矿学,39(6):1061~1071.
- 毛伟,李晓峰,杨富初.2013.广东大宝山多金属矿床花岗岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb定年及其地质意义.岩石学报,29(12):4104 ~4120.
- 梅勇文. 1985. 西华山-棕树坑地区钨矿分布规律. 地质与勘探, 21 (4): 11~16.
- 钱汉东,陈武,谢家东,黄瑾.2000.碲矿物综述.高校地质学报,6 (2):178~187.
- 邱士东,王葆华,徐九华,谢玉玲.2008.因硫碲铋矿在中国的首次发现.矿物学报,28(4):357~359.
- 瞿泓滢,陈懋弘,杨富初,高志辉,王要武,赵海杰,余长发.2014. 粤北大宝山铜多金属矿床中层状铜矿体的成矿时代及其成因 意义.岩石学报,30(1):152~162.
- 任英忱,程敏清,王存昌.1986.江西盘古山石英脉型钨矿床钨铋 矿物特征及矿物的垂直分带.矿床地质,2:63~74.
- 任英忱. 1998. 江西盘古山-黄沙黑钨矿石英脉矿床铋硫盐矿物再 研究. 地质找矿论丛, 13(4): 1~17.
- 盛继福,王登红,秦燕,王岩,陈郑辉,黄凡,刘战庆,方贵聪,项 新葵,丁建华,许建祥,马振东,赵正,刘新星,陈雷,赵如意, 马圣钞,何晗晗,王丽瑛,刘善宝,刘丽君,黄鸿新,张彤,董 想平,乔建军,郭唯明,沙俊生,孙颖超,曾乐.2018.中国矿 产地质志,钨矿卷(上册).北京:地质出版社,1~565.
- 宋生琼,潘力川,魏文凤. 2019. 赣南淘锡坑钨矿床 He-Ar 同位素 地球化学研究. 岩石学报, 35(1): 243~251.
- 孙一虹,任湘眉. 1986. 柿竹园钨锡钼铋矿床主要矿石矿物研究. 矿物学报,2:179~187+195.
- 王登红,李华芹,秦燕,梅玉萍,陈郑辉,屈文俊,王彦斌,蔡红, 龚述清,何晓平.2009. 湖南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学 研究.岩矿测试,28(3):201~208.
- 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. 2010.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.
- 王登红.2019.关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进 展、存在问题及主攻方向.地质学报,93(6):1189~1209.
- 王慧. 2013. 黄沙坪铅锌矿床成矿流体地球化学及深度估算.中国 地质大学(北京)硕士学位论文.

- 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
- 王敏, 白秀娟, 云建兵, 赵令浩, 李岩林, 王周元, 蒲志平, 邱华宁. 2016. 柿竹园多金属矿床成矿作用——⁴⁰ Ar-³⁹ Ar 年代学研究. 地球化学, 45(1): 41~51.
- 王书凤,张绮玲. 1988. 柿竹园矿床地质引论. 北京: 地质出版社.
- 王艳丽. 2014. 湘东南地区燕山早期花岗岩浆-热液演化及钨矿成矿 作用研究.中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 吴剑. 2017. 广东省红岭钨矿成矿地质模型与找矿预测. 中国地质 大学(武汉)博士学位论文.
- 吴胜华. 2016. 湖南柿竹园花岗岩体远接触带 Pb-Zn-Ag 矿脉成矿 机理. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 肖昌浩,申玉科,刘欢,韦昌山,乐兴文,傅斌. 2018. 右江褶皱带 东南缘西大明山矿集区燕山期长英质岩浆锆石 SHRIMP 原位 氧同位素组成与地质意义. 岩石学报,34(5):1441~1452.
- 许德清,吴自兰. 1983. 江西脉钨矿石中的铋、铅、银、硒、碲. 江西 冶金,3:36~39.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划 分方案.北京:地质出版社,1~138.
- 姚军明,华仁民,屈文俊,戚华文,林锦富,杜安道.2007. 湘南黄 沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其意 义.中国科学(D辑:地球科学),(4):471~477.
- 银剑钊,周剑雄,杨百川,郭成远.1994.世界首例独立碲矿床:中 国四川石棉县大水沟碲矿的矿床地质特征.地学前缘,1(3-4): 241~243.
- 於崇文,骆庭川,鲍征宇,胡云中,梁约翰,魏秀. 1987. 南岭地区 区域地球化学.北京:地质出版社,1~543.
- 袁顺达,张东亮,双燕,杜安道,屈文俊.2012. 湘南新田岭大型钨 钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义. 岩石学报,28 (1):27~38.
- 曾玖吾,王曼祉,陈森煌,曲维政.1987.广东莲花山斑岩型钨矿床 钴金银碲铋矿物的研究.矿物岩石,7(4):12~17.
- 翟伟,孙晓明,邬云山,孙红英,华仁民,李文铅. 2011. 粤北瑶岭 钨矿成矿相关花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄与⁴⁰ Ar-³⁹ Ar 成矿年 龄及其地质意义. 矿床地质, 30(1): 21~32.
- 张理刚. 1989. 湖南东坡千里山花岗岩和钨多金属矿床稳定同位素 地球化学. 桂林冶金地质学院学报,9(3):259~267.
- 张文兰,华仁民,王汝成,陈培荣,李惠民. 2006. 赣南大吉山花岗 岩成岩与钨矿成矿年龄的研究. 地质学报,80(7):956~962.
- 祝新友,王京彬,王艳丽,程细音,傅其斌.2012. 湖南黄沙坪 W-Mo-Bi-Pb-Zn 多金属矿床硫铅同位素地球化学研究. 岩石学报, 28(12):3809~3822.
- 朱焱龄,李崇佑,林运淮. 1981. 赣南钨矿地质. 南昌: 江西人民出版社.
- 庄龙池,林伟圣,谢廷焕. 1991. 大吉山钨矿的稳定同位素地球化 学.中国地质科学院宜昌地质矿床研究所所刊,16:109~120.

FANG Guicong^{*1,2)}, WANG Denghong²⁾, CHEN Yuchuan³⁾, HUANG Fan²⁾,

WANG Yan²⁾, ZHAO Yunbiao¹⁾, LIU Yizhi¹⁾, YANG Feng¹⁾

 Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004;

2) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

3) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

* Corresponding author: fanggcong@163.com

Abstract

The Nanling region is the most important Bi metallogenic area in China and even in the world. Despite early efforts, their occurrence and genesis remain unclear. Ourcomprehensive study of the geological survey data and previous research has allowed us to obtain understanding of their spatial and temporal distribution, bismuth mineral characteristics, ore-forming material source, and factors influencing precipitation. There are three metallogenic zones (South Hunan province, Chong-Yu-You and Yu-Gan) and six styles of Bi mineralization (hydrothermal quartz vein, skarn, altered granite, fracturezone, fillingmetasomatism and porphyry). Hydrothermal quartz vein type has the most extensive distribution, but the skarn type enjoys the largest reserves. Both the Bi mineralization and related granitic magma emplacement in the Nanling region mainly occurred at $170 \sim 150$ Ma. More than thirty bismuth minerals have been found in this region, including natural element, sulfide, sulfosalt, oxide, oxysalt, telluride, bismuthide and fluoride, with the sulfosalt being the most abundant. The bismuth mineral assemblages vary in different deposits, but show certain spatial zonal rules. The ore-forming material was derived mainly from granitic magma with the addition ofmantle fluid. The mixture between magmatic fluid and air-saturated water at the middle-late fluid evolution stagemay have accounted for the mass Bi precipitation.

Key words: bismuth deposit; occurrence characteristics; deposit genesis; Nanling region