

再论紫金山矿田成矿系列与成矿模式

王少怀¹⁾, 裴荣富²⁾, 曾宪辉³⁾, 邱小平^{1,4)}, 魏民³⁾

1) 福州大学紫金矿业学院, 福州, 350108; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;
3) 紫金矿业集团股份有限公司, 福建厦门, 361006; 4) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

内容提要:紫金山矿田是由我国大陆发现的首例高硫型浅成低温热液矿床-紫金山铜金矿床为主要组成部分, 该矿床深部和边部相继发现了斑岩型铜(钼)矿、中低温热液型铜矿和低硫浅成热液型银(金、铜)矿、火山岩型铀矿及高温热液型钨锡矿异常等。自晚侏罗世开始, 矿田内经历了多期次的构造作用、岩浆活动及其热液蚀变, 致使紫金山矿田形成多期次的成矿作用, 它们相互叠加、富集以及空间上侧向排列的特点, 构成“构造的构造”、“体中体”、“蚀变的蚀变”、“矿化的矿化”等特征的复杂多样构造-流体-成矿系统, 并具有显著的自上而下“U、Ag→Au→Au、Cu→Cu→Cu、Mo→W、Sn”矿化垂直分带特征和“多层楼”成矿模式。在空间上不同成因类型矿床又显现出侧列分布的格局, 构成了独特的“紫金山式”成矿系列与成矿模式。通过对比研究表明: 在紫金山铜金矿床深部仍存在着斑岩型铜(钼)矿床以及边部可能具有的高温热液型钨锡矿床等, 展现出矿田内具有广阔的找矿新领域, 为配合进一步地质勘查找矿工作提供科学依据。

关键词: 矿化垂直分带; “多层楼”成矿模式; 成矿系列; 紫金山矿田

福建省紫金山地区是我国乃至世界著名的矿集区, 区内已发现了多个与岩浆活动有关的金、银、铜等金属矿床, 如: 紫金山特大型金铜矿、悦洋大型银多金属矿等, 其中, 紫金山金铜矿是紫金山矿田最核心矿床, 据 IDS 法圈定金金属量 305.3t, 铜金属量 190.2 万吨。

紫金山矿田的勘查始于 20 世纪 60 年代, 以铜为对象进行的, 研究工作主要涉及低标高的原生矿化带。80 年代的地质工作是与矿产勘查突破几乎同步进行的, 勘查过程的研究为金铜的发现起了关键的作用。福建省地质矿产局与南京地质矿产研究所^①共同开展紫金山地区金(铜)矿的研究工作, 并把它纳入地质矿产部重点科技攻关项目: “中国东南沿海火山地质及矿产研究”。这是紫金山地区最早较为系统研究的成果, 该研究报告对主要控矿因素, 成矿机制和时间, 矿床特征进行了较系统的研究, 基本奠定了紫金山矿田地质认识的框架; 此外在成矿预测方面明确提出了“上金下铜”的矿化分带和蚀变分带, 提出了成矿远景区预测, 部分远景区被后来勘查所证实。1989~1991 年, 由闽西地质大队负责进

行紫金山铜金矿成矿模式研究, 总结了矿床地质特征, 分析了成矿条件, 进行了较系统的地球化学研究, 提出了紫金山铜, 金矿床次火山热液为主体的成因模式, 并总结了预测评价准则, 指出了找矿方向^{②③}。此间福建省勘查技术研究院、福建省第八地质大队等单位在该区域开展了大量地质、物化探工作, 建立了找矿模型, 指出了进一步开展勘查工作的靶区, 划分了类别^④, 在理论上有些提高。但该时期的研究对于建立矿床模式是有一定难度的, 一是研究深度不够, 二是紫金山金铜矿床并不能独立于区域地质构造而存在, 仅在矿区范围内研究建立起来的矿床模式必然有很多局限性, 虽然取得了丰富的地质资料, 但由于研究任务和时间的局限, 无法深入。这些研究所提出的成矿模式是以描述为主, 却比较符合客观实际。

20 世纪 90 年代的矿床地质研究主要由铜金矿开发业主单位——紫金矿业集团股份有限公司^{⑤⑥⑦⑧}、中国地质科学院矿床地质研究所^⑨和一些单位^{⑩⑪⑫⑬⑭⑮}负责。有以下两个特点: 一是矿床地质研究是为了寻找新的工业矿体, 目的极为明确, 所

注: 本文得到福建省自然科学基金计划项目(编号: 31091163)和紫金矿业集团公司科研项目《东南沿海火山-侵入构造岩浆作用的成矿研究—紫金山矿田深部及外围找矿示范》(编号 2004101806)资助的成果。

收稿日期: 2008-05-08; 改回日期: 2008-11-05; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王少怀, 男, 1965 年生。博士, 教授级高级工程师。从事矿产地质勘查、教学科研工作。电话: 0591-22865213; Email: wangsh@fzu.edu.com。

以把成矿规律和找矿标志作为研究重点;二是应用经济地质理论,重新认识矿床,重新评价工业指标,是矿床评价思想上的一次重大突破^[1];三是从区域成矿学理论角度分析了该矿田形成的构造背景,约束了成矿年龄,并提出了成矿物质来源的证据^[2]。紫金山这一时期的研究工作,极大完善和补充了紫金山金铜矿的成矿理论,金的形成阶段,找矿标志,矿床评价方法等方面,取得了重大进展,对矿山的补勘工作起了重要的指导作用。

依托紫金矿业集团股份有限公司科研项目《东南沿海火山-侵入构造岩浆作用的成矿研究》^[3]资助,本项目强化了矿田范围内的地球化学勘查工作,在此基础上总结矿田成矿系列的成矿模式,旨在指导紫金山矿田深部及外围找矿工作。并期望在紫金山矿床深部寻找铜矿取得了较大进展。

1 区域地质背景

紫金山铜金矿田位于闽西南拗陷之西南,NE向宣和复背斜与云霄—上杭NW向深断裂带交汇部位,上杭白垩纪火山-沉积盆地东北缘(图1;冯宗帜,1993)。

紫金山矿区中生代以前的地层主要呈NE向展布的复式背斜:基底地层为下震旦统楼子坝群浅变质细碎屑岩,构成背斜核部;两翼为泥盆-石炭纪碎屑岩和部分灰岩,白垩纪火山-沉积岩主要则分布于西部上杭火山盆地中。燕山早期酸性岩岩浆沿背斜轴部侵入,并成为紫金山矿区最主要的地质体和矿化围岩,主要岩性为紫金山系列花岗岩和二长花岗岩。燕山晚期火山-侵入作用主要受NW向断裂构造及其与NE向构造交汇部位控制,该部位常成为火山活动中心。火山-岩浆成矿流体活动对紫金山矿区的蚀变和成矿作用有重要影响,其主要母岩为花岗闪长岩类(如四方岩体),与之有成因联系的英安玢岩和隐爆角砾岩在区内较为发育,主要分布于火山机构及其邻近。物探资料和地质推测紫金山矿区深部可能存在花岗闪长岩岩基(陈景河,1999;毛建仁等,2002)。地质演化经历了前泥盆纪下陷沉积-变形变质-混合岩化的发展时期;晚泥盆世-晚三叠世早中时期为相对稳定的板内发展阶段;晚三叠世晚期-晚白垩世以陆间断裂活动及岩浆侵入喷发为主导的发展时期,这个时期完成了紫金山铜金矿集区的成矿作用;新生代发展时期则以隆升缺失沉积,山间河流盆地沉积为主^[4]。

燕山早期和燕山晚期侵入岩隶属于两个不同的

成岩系列(见表1、表2),它们分别具有S型和I型花岗岩的基本特征,特别是燕山晚期火山-侵入岩是一套在扩张环境下与深源机制有关的岩浆岩。深部岩浆房通过中间通道对浅部含矿次火山岩进行叠加改造,岩浆的熔离-流体作用得以持续进行,也有利于岩浆流体成矿系统的形成与演化(张德全等,2001;张德全等,2003)。紫金山矿区岩石蚀变极为强烈,燕山早期岩体几乎全岩蚀变。主要蚀变类型有硅化、明矾石化、地开石化和绢云母化。强烈的硅化作用常出现在上部,与金矿化关系密切,绢云母化则出现在下部,明矾石化分布于火山机构边缘,地开石化分布较为广泛^[5]。

紫金山矿区存在显著的Au、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo和Sn水系沉积物异常,明显高于区域背景值,异常基本上围绕紫金山复式岩体分布,面积十几至几十平方公里,而且强度大。该区的中比例尺岩石及土壤测量,显示低值异常呈NE向,高值异常呈NW向,且有一定侧向和垂向的分带性。以紫金山火山机构为中心,往NW和SE两侧依次为:Mo(Cu)→Au、Cu→Pb、Zn、Ag(Cu)。中部Mo(Cu)异常值较高,与该地段燕山晚期中酸性岩浆岩侵位较高是一致的。在火山机构附近,常形成异常浓集区。紫金山矿区存在一套较完整的斑岩成矿系列:斑岩型、次火山岩型和火山岩型以及一些过渡类型矿床(张德全等,2003)。

2 成矿环境分析

2.1 成矿的构造环境

紫金山矿田构造位于中国东南沿海中生代火山活动带西侧,闽西南拗陷带西南缘,次级构造则属NE向明溪武平拗陷带与上杭—云霄深断裂的斜接部位。地质构造经历了加里东、华力西-印支、燕山及喜马拉雅四个构造旋回的形成发展过程。形变构造复杂,以形成多期叠加的复杂构造带为特征(唐瑞来,2001;陶奎元等,1996;王平安等,1997)。

矿田地质构造以醒目的NW向构造带为特征,可划分为中间堂—象洞NW向岩浆构造带及碧田—安乡NW向断陷带两主要构造带。NW向构造断陷带的火山、潜火山活动,形成了以紫金山(金铜)、古石背(铀)为代表的火山热液型金、铜、银、铀矿床^[6]。

2.2 成矿环境的地球化学指示

2.2.1 岩石化学成分特征及成矿环境指示

紫金山矿田内紫金山序列岩石主要化学成分及特征参数列于表1。从表1可以看出岩石成分变化范围

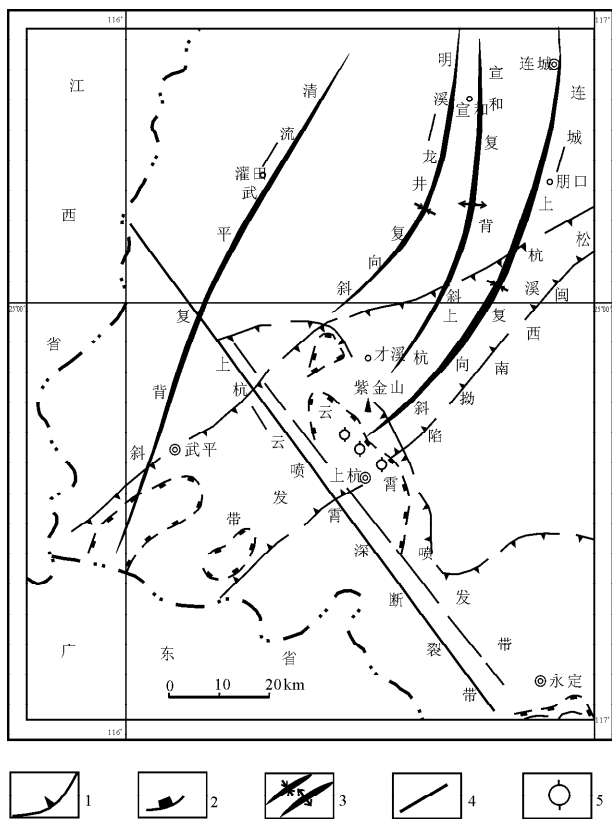


图 1 紫金山地区地质构造略图

(据福建省闽西地质大队,1991^②修改)

Fig.1 Structure delineation of Zijinshan area (modified from Minxi Geology Institute, Fujian Province, 1991^②)

1—火山噴發帶界綫;2—火山噴發盆地界綫;3—復背斜、
復向斜;4—深斷裂;5—火山噴發中心

1—Boundary line of volcano erupting belt; 2—boundary line of volcano erupting basin; 3—double-entry anticlines/double-entry synclines; 4—deep-fault; 5—volcano erupting center

较小, SiO_2 含量变化范围在 74.37 %~75.52%, 里特曼指数(σ)均小于 4, 属于钙碱性岩类。

岩浆成因据表 1 多项指标判别属以幔源为主的壳幔混熔型, 相当于 I 型花岗岩, 岩体侵位于抬升造陆构造环境, 属于岩墙扩展被动就位机制。锆石 U-Pb 同位素地质年龄 $134\text{Ma} \pm$, 时代为晚侏罗世-早白垩世。

而四方花岗闪长岩岩石主要化学成分及特征参数列于表 2。表 2 所列岩体的岩石化学成分显示 SiO_2 含量变化范围较小,为 64.63%~67.88%,总体来讲,花岗闪长岩较酸性, SiO_2 含量 65.39%~67.88%,而花岗闪长斑岩为 64.63%~65.77%,岩石富 Na_2O ,在 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图中(Collins, 1982)位于壳幔混合源 I 型向 A 型花岗岩类过渡区,由于岩石 SiO_2 含量低,总体应为壳幔混合源 I 型花岗岩,岩石 A/CNK 变化范围为 0.92~1.03,平均为 0.97,是准铝质的,在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中表现为高钾钙碱性系列岩石。

四方岩体是与华南软流圈地幔上涌有关的伸展拉张构造环境下侵位的,岩石相对富 Na_2O , $\text{A}/\text{CNK} < 1$, 具壳幔混合源 I 型花岗岩特征。其岩石富 K、Rb、Th、U、LREE, 贫 Ti、Nb、Ta、Sr, 具火山弧/活动大陆边缘钙碱性岩系的特征。岩石主要由幔源岩浆与中下地壳物质部分熔融混合的花岗质岩浆形成的, 与华南早侏罗世软流圈地幔上涌, 岩石圈伸展的张性构造环境有关(李献华, 1999; 郭新生等, 2001)。

2.2.2 岩石微量元素特征及其对成矿环境指示

紫金山序列岩石微量元素中金属成矿元素普遍高于维氏值几倍至几十倍(见表3)。副矿物则以种类多、含量较低、普遍含金属硫化物及金属氧化物为特征。而稀土元素总量低(与省内同期花岗岩比低一倍以上)。属轻稀土富集、钕亏损型(见表3)。

四方花岗闪长岩岩石的稀土元素和微量元素含量见表4,稀土元素总量为124.65~136.71 $\mu\text{g/g}$ 之间,LREE/HREE比值为9.95~8.96,属轻稀土元素富集型,反映稀土元素分馏程度的 $(\text{La/Yb})_n$ 比值较高,为12.49~9.83,与LREE/HREE比值高是一致的; δEu 为0.80~0.85,花岗闪长岩和花岗闪长斑岩的稀土元素分布曲线都呈略向右倾的平滑型,曲线几乎重合而显示同源特征。与壳源S型花岗岩相比,一个显著特点是元素Y含量低,为16.8

表 1 紫金山序列岩石化学成分及特征值表(%;据地矿部福建地质矿产勘查开发局,1988^[1],1992^[2]修改)

Table 1 Eochemical component (%) and eigenvalue of Zijinshan serial rock(modified from Fujian Burean of Geology and Mineral Resources,1988¹,1992²)

单元	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅
金龙桥	75.52	13.20	1.13	0.08	0.09	0.14	0.10	0.81	0.88	0.01	0.04
迳美	74.37	14.05	3.35	3.01	0.19	0.31	0.18	0.70	1.09	0.17	0.05
五龙子	75.39	12.88	5.84	2.72	0.18	0.31	0.27	1.13	0.71	0.04	—
单元	Q	Ab	An	Or	Q'	Anor	δ	A • R	SI	FL	LI
金龙桥	76.2	0.7	0.5	7.3	90.3	2.7	0.05	1.23	4.83	86.5	24.2
迳美	43.8	25.1	0.2	20.3	48.2	3.0	2.01	1.9	3.69	91.6	25.8
五龙子	36.4	22.5	0.8	34.5	38.6	2.27	2.10	2.45	2.89	97.6	26.6

表 2 花岗闪长岩的岩石化学分析数据表(%)
Table 2 Chemical analytical data for granodiorites(%)

序号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL	A/CNK
1	64.63	0.51	15.26	1.59	2.56	0.17	1.92	3.69	3.75	2.24	0.34	2.91	99.57	0.99
2	64.96	0.56	15.42	1.76	2.41	0.19	2.02	4.08	3.32	3.64	0.42	1.35	100.13	0.92
3	65.77	0.42	15.32	1.72	2.19	0.09	1.62	3.51	3.34	4.30	0.15	1.90	100.33	0.93
4	65.39	0.48	15.23	1.70	2.92	0.11	1.90	4.06	2.95	3.62	0.19*	1.34	99.89	0.94
5	67.88	0.44	15.22	1.68	1.76	0.12	1.69	3.32	2.74	3.89	0.25	0.99	99.98	1.03
6	65.59	0.49	15.28	1.61	2.96	0.11	1.90	3.33	2.96	3.78	0.22	1.93	100.16	1.02
7	67.47	0.42	14.86	1.03	3.18	0.16	1.31	3.32	2.80	4.00	0.05	1.39	99.99	0.99

注:陶建华等,1992,1—ZR07 花岗闪长斑岩;2—ZR04 花岗闪长斑岩;3—GS523 花岗闪长斑岩;4—11-Y Q 001 花岗闪长岩;5—Y Q 099 —花岗闪长岩;6—Y Q 063-1 花岗闪长岩;7—GS940 花岗闪长岩。

表 3 紫金山序列微量元素含量(×10⁻⁶)、稀土元素含量(×10⁻⁶)及特征值表
(据地矿部福建地质矿产勘查开发局,1997^[1],1988^[2]修改)
Table 3 Trace element component(×10⁻⁶)、REE component(×10⁻⁶) and eigenvalue of Zijinshan serial
(modified from Fujian Bureau of Geology and Mineral Resources,1997^[1],1988^[2])

单元	Ba	Be	As	Sb	Pb	Sn	Bi	Cr	Ni	Mo	V	Sr	Cu	Zn	Ag
金龙桥	108.4	3.66	40.53	—	84.66	12.08	5.37	5.13	5.93	6.08	8.18	—	45.07	47.86	0.52
迳美	73.2	3.92	45.92	—	74.86	6.34	3.10	5.81	6.15	5.0	17.45	—	37.85	50.11	0.49
五龙子	157.8	3.38	37.0	—	115.0	9.50	5.38	10.28	5.86	6.48	16.27	—	46.42	56.87	0.44
单元	Nb	Zr	Th	La	Y	Li	Au	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Td
金龙桥	25.18	—	—	18.49	19.10	4.89	—	74.63	112.43	15.60	46.75	8.58	1.11	6.35	1.23
迳美	17.18	—	—	28.64	13.61	3.99	—	16.54	35.82	3.23	14.06	3.10	0.25	1.54	0.28
五龙子	21.53	—	—	22.49	14.23	2.67	—	25.34	43.52	5.93	20.34	4.10	0.71	4.28	0.96
单元	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	LREE	HREE	LREE/ HREE	δEu	La/Yb	Ce/Yb	Gd/Yb	
金龙桥	5.33	1.05	2.19	0.46	2.65	0.48	304.90	259.1	45.8	5.7	0.45	28	3	2.4	
迳美	1.29	0.29	0.94	0.18	1.19	0.21	86.5	73.0	13.5	5.4	0.31	14	31	1.29	
五龙子	4.82	0.97	2.79	0.55	3.18	0.60	147.1	99.9	47.1	2.1	0.52	8	14	1.35	

表 4 花岗闪长岩类微量元素和稀土元素的含量表(×10⁻⁶)
Table 4 Trace elements compositions of selected samples of granodiorites(×10⁻⁶)

序号	Rb	Ba	Th	U	K	Ta	Nb	La	Ce	Sr	Nd	P	Hf	Zr	Sm
1	101	709	14.8	3.10	30378	0.81	12.2	33.9	54.9	31	23.5	918	3.75	124	4.35
2	97.0	742	21.0	6.64	27639	1.86	17.5	25.8	48.9	510	24.9	1311	3.86	123	4.70
序号	Ti	Tb	Y	Eu	Yb	V	Cr	Co	Ni	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
1	3171	0.71	16.8	1.16	1.83	85.2	30.1	14.0	6.14	33.9	54.9	6.41	23.5	4.35	1.16
2	4370	0.73	16.8	1.15	1.77	137	39.4	14.7	11.6	25.8	48.9	6.68	24.9	4.70	1.15
序号	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sc	(La/Yb) _n	δEu	ΣREE	ΣLREE/ ΣHREE		
1	3.88	0.71	2.94	0.68	1.79	0.34	1.83	0.32	6.59	12.49	0.85	136.71	9.95		
2	3.95	0.73	2.98	0.67	1.77	0.34	1.77	0.31	9.14	9.83	0.80	124.65	8.96		

注:(毛建仁等,2002,)测试单位:南京地质矿产研究所;测定方法:Rb 为 AAS,其他为 ICP. 1—97SZ6-1,花岗闪长岩;2—97ZK22-8,花岗闪长斑岩。

μg/g,反映重稀土元素之间分馏程度的(Gd/Yb)_n 特征,富集 Rb、Th、U、K,贫 Ti、Nb、Ta、Ba、Sr、P,与原始地幔标准化的微量元素相比,显示出 Rb、Th、K、U、La 正异常和 Nb-Ta、Ti-Y、Ba 负异常,曲线总

比值为 1.71~1.80(毛建仁等,2002)。

花岗闪长岩类显示活动大陆边缘钙碱性岩系的

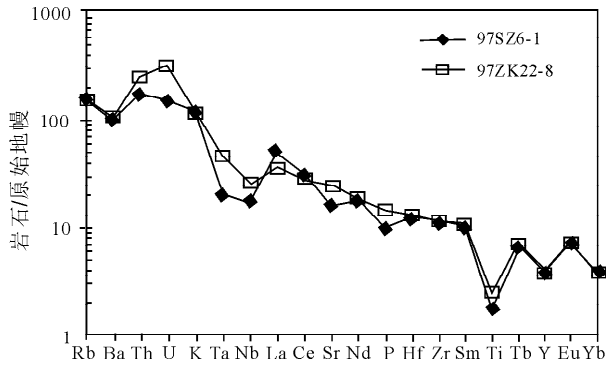


图 2 花岗闪长岩不相容元素原始地幔标准化蛛网图
原始地幔标准化值取自 Sun and McDonough(1989)

Fig. 2 Primitive mantle-normalized incompatible elements spider diagram for granodiorites

体呈现平坦型(图 2)。花岗闪长岩类具较高的相容元素含量(表 4),所有样品都表现较为明显的 Nb、Ta 亏损,与岛弧特征的钾质岩石相似。无明显 Eu 负异常表明花岗闪长岩不可能通过地壳加厚作用所形成。因此,就目前花岗闪长岩的地球化学数据而言,受到俯冲组分改造或影响的岩石圈地幔组成部分很可能对该岩浆的形成有重要贡献;或可能是不同比例的软流圈组分和中下地壳物质混合后部分熔融作用的结果(毛建仁等,2002)。

3 紫金山矿田中生代主要矿床类型

3.1 紫金山铜金矿床

3.1.1 矿床地质特征

位于紫金山矿田复式岩体中部,北东向金山脚下一中寮断裂和北西向铜石下一紫金山断裂交汇部位,与紫金山火山机构大致吻合,面积 4.37km²(见图 3)。

地层:仅出露于矿田西北部,主要为震旦系楼子坝群(Z₁l_z)、泥盆系天瓦紫组(D₃t)、石炭系林地组(C₁l),与燕山早期似斑状中粗粒花岗岩呈断层接触。

构造:矿田内断裂构造比较发育,以 NE 向和 NW 向断裂为主,其次是 NNE 向和 EW 向断裂。除断裂构造外,NE、NW 向两组节理裂隙构造十分发育,互相交切,呈现出控岩控矿的网格状构造样式。

岩浆岩:①侵入岩:以燕山早期花岗岩为主;燕山晚期主要有花岗闪长斑岩和英安玢岩。②火山岩和火山构造:受区域岩浆侵入-火山作用影响,矿区火山-次火山活动强烈,表现为紫金山中心式火山喷发-次火山岩侵入的火山作用。铜、金矿化与花岗闪

长岩浆的火山活动有密切的成因联系。

围岩蚀变:紫金山矿田热液蚀变作用范围广,强度大。热液蚀变作用与燕山晚期钙碱性花岗闪长岩侵入一次火山作用有密切的成因联系。蚀变矿物生成顺序和共生组合关系如下:硅化 Q₁ + 绢云母化 Ms₁ + (地开石化 D₁) → 明矾石化 Ms₂ → Q₂ + D₂ + Alu₁ → Q₃ + D₃ + Alu₂ → Q₄⁺ + D₄ + Alu₂ → Q₄⁺。与多期次蚀变作用相伴随,形成了相互叠加富集的成矿作用系统。

矿体地质特征:紫金山金矿体产于潜水面以上的次生富集亚带中,主要分布在海拔 650m 以上地段,而原生铜矿体主要分布于次生富集亚带以下的原生带中,形成“上金下铜”(陈景河,1999)的矿化垂直分带,属特大型铜金矿床。矿体的分布主要受北西向构造控制,与其深部的铜矿带组成连续的矿带,铜矿带的上延为金矿体(见图 4)。

矿石特征:①矿物成份:含金矿石矿物含量一般为 3%~5%,主要为褐铁矿、针铁矿、微量黄钾铁矾,少量氧化残余的硫化物(黄铁矿、蓝辉铜矿、铜蓝等)●●●●●(涂光炽等,1984)。矿石中存在一定数量的自然金。②矿石的结构构造为包含结构;胶状和变胶状构造、蜂窝状构造、团包状构造、角砾状构造、脉状或网状构造、浸染状等构造。含金矿物呈星散状分布于矿石中(胡受奚等,1997)。

3.1.2 矿床成因分析

对于紫金山矿床,尤其是北西矿段的地质地球化学以及控矿因素、机理的研究,已有众多的论文发表,基本上可以肯定是浅成次火山侵入体及其伴随的火山岩的热液系统,从岩浆的去气作用部位延伸至喷气孔和酸性热泉(裴荣富,1995a),并将斑岩和高硫化成矿环境融为一体,形成紫金山铜金矿床,成矿明显受构造和岩浆活动控制。

据紫金山矿床的不同蚀变带矿物氢氧同位素分析结果表明:成矿流体的介质水主要是燕山晚期火山-次火山岩浆加热的大气降水,石英明矾石蚀变和铜矿化过程中有少量岩浆水混入,晚期硅化(硅质交代岩)和金矿化时,流体几乎全为大气降水(周肃等,1994;周肃等,1996;陈好寿,1996)。而硫的来源则据黄铁矿的 δ³⁴S 值反映本区硫同位素的总硫接近零,硫的原始来源是地幔(陶奎元,1997;陶奎元等,1996;陶奎元,1998)。金属物质来源:根据岩石矿物和有关花岗岩类侵入岩铅同位素组成以及部分岩石 U、Th、Pb 含量计算结果表明:约 90%左右的矿石铅来源于同期(早白垩世)岩浆作用,有 10%

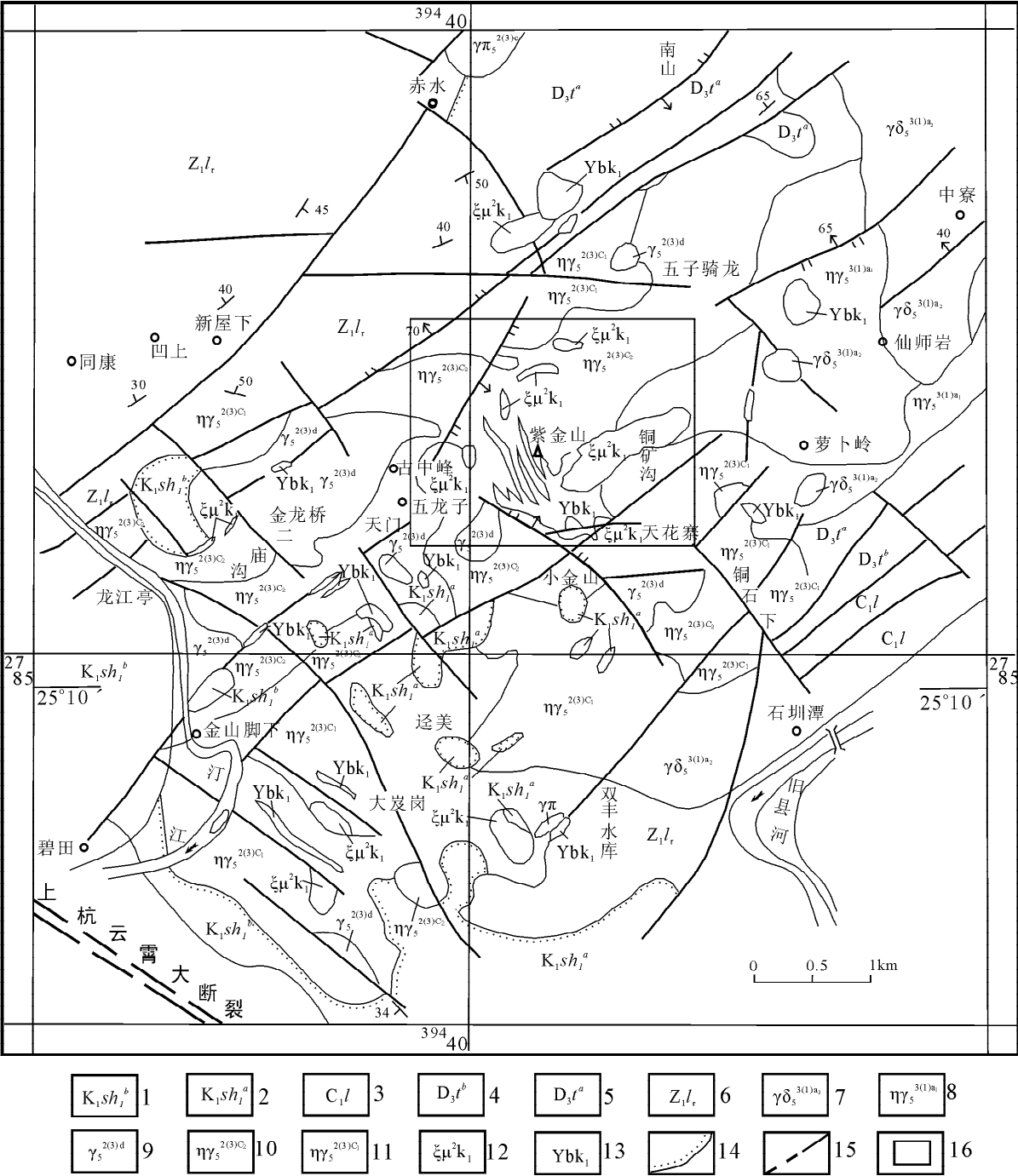


图 3 紫金山矿田地质图(据福建紫金矿业股份有限公司,2000^⑥修改)

Fig. 3 Geological map of Zijinshan mining field(modified from Zijin Mining Group Co., Ltd,Fujian, 2000^⑥)

1—石帽山群下组上段;2—石帽山群下组下段;3—林地组;4—天瓦寨组上段;5—天瓦寨组下段;6—楼子坝群;7—中粗粒花岗闪长岩(四方岩体);8—细粒黑云母二长花岗岩(仙师岩岩体);9—细粒黑云母花岗岩(金龙桥岩体);10—中细粒二长花岗岩(五龙寺岩体);11—中粗粒二长花岗岩(迳美岩体);12—英安玢岩;13—隐爆角砾岩;14—实测正断层;15—实测、推测逆断层;16—矿区范围

1—Upper Shimaoshan Group;2—lower Shimaoshan Group;3—Lindi Formation;4—upper Tianwadong Formation;5—lower Tianwadong Formation;6—Louzibai Group;7—middll-grand granodiorite (Sifang pluton); 8—gine biotite monzogranite(Xianshiyong pluton) ; 9—fine biotite granite (Jinlongqiao pluton) ; 10—middll-fine monzogranite (Wulongshi pluton); 11—middll-grand granite(Jinmei pluton); 12—dacite porphyry; 13—explode volcanic breccia; 14—measuring normal fault ; 15—measuring and indicated thrust fault; 16—mining scope

左右的铅来源于基底岩石(包括元古代基底和海西-印支期沉积岩)。

紫金山矿区是经过多阶段、多期次矿化叠加形成的。如早期的中高温 Cu(Mo)矿化,中期的中低

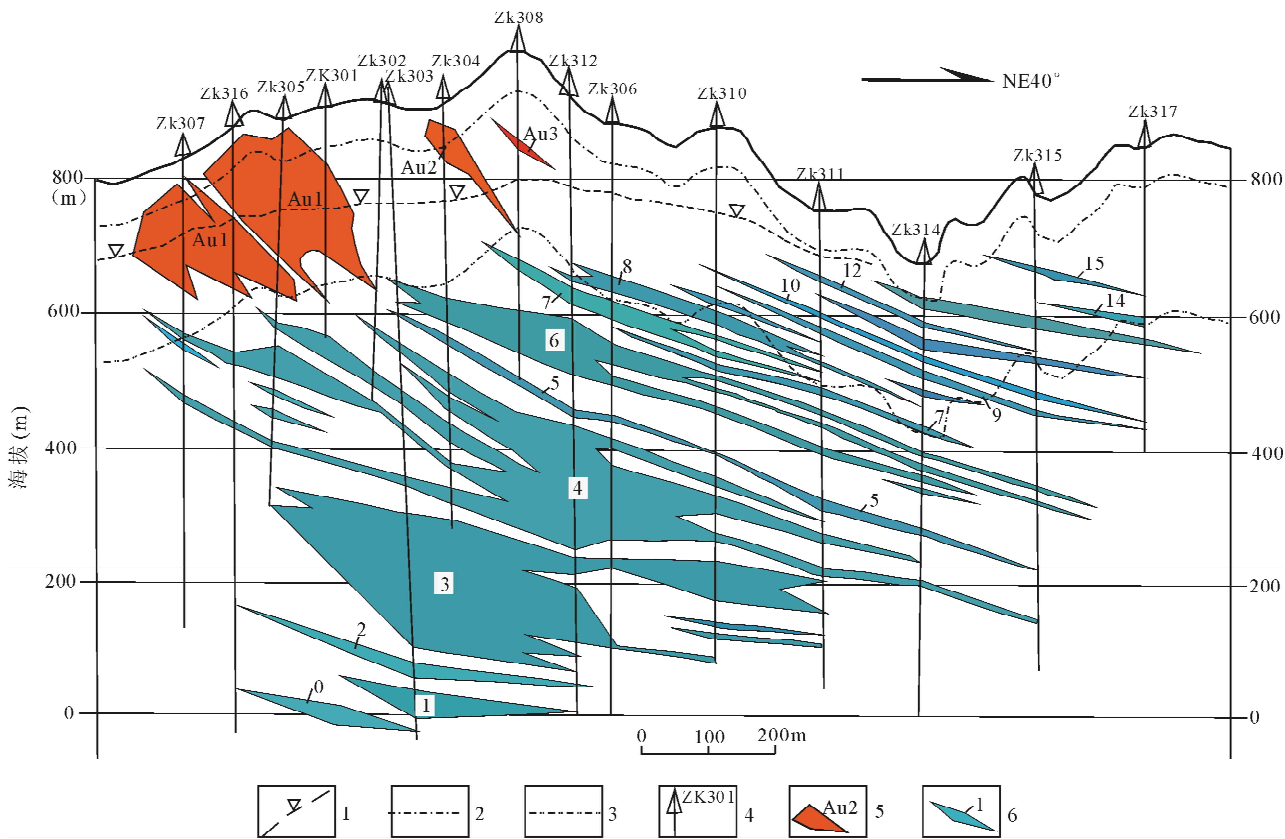


图 4 紫金山铜金矿区 3 线铜矿体剖面图(据福建省闽西紫金矿业集团有限公司,1999^⑥修改)

Fig. 4 Copper ore body section of 3rd line in Zijinshan copper-gold mining area
(modified from Minxi Zijin Mining Group Co., Ltd, Fujian Province, 1999^⑥)

1—潜水面; 2—淋漓亚带下界; 3—次生富集亚带下界; 4—钻孔及编号; 5—金矿体及编号; 6—原生铜矿体
1—Groundwater surface; 2—lower sub-leached; 3—lower sub-concentrated belt; 4—position of drilling and number;
5—gold ore body and number; 6—copper ore body and number

温 Cu(Au)矿化和晚期的低温 Au (Cu)矿化,再经过表生氧化作用形成目前见到的“上金下铜”的矿床垂直分带现象,显示出成矿热液作用的多期性。大规模的铜金成矿作用则发生在早白垩世(陈好寿, 1996; 张德全等, 2001,; 周肃等, 1994; 周肃等, 1996),并与早白垩世岩浆子系统(罗卜岭花岗闪长斑岩)有密切的成因联系。研究表明,大规模隐伏于紫金山地区之下的花岗闪长斑岩是该区铜金矿床的重要控矿因素。

3.2 中寮铜(钼)矿床

中寮矿床是矿田内目前发现唯一的斑岩型铜矿床。该矿床位于矿田的 NE 侧,其西侧与五子骑龙矿床以断裂相隔,它实际上是五子骑龙矿床之深部被断裂抬升的部分(张德全等,1996)。该区广泛出露早白垩世花岗闪长岩, NW 侧有少量楼子坝群浅变质岩和上泥盆统砂砾岩。在东部,花岗闪长岩侵入于紫金山序列花岗岩中,并呈中细粒结构,围岩蚀

变强烈。

断裂构造以 NE、NW 向为主,是重要的控岩控矿构造(陶建华等,1992)。它们交汇部位控制了花岗闪长斑岩由 NE 深部向 SW 浅部、SE 深部向 NW 浅部侵位,由此形成了岩凸、岩钟,控制了中寮斑岩铜矿体分布。NE 及 NW 向断裂系统在成矿后仍有活动,显示为东盘上升,从而导致五子骑龙过渡类型热液矿床深部的斑岩铜矿床被抬升到现在浅表的中寮铜矿床。矿床中发育一套密集的裂隙系统,为主要容矿构造,发育于花岗闪长斑岩的顶面凸出部位以及它与花岗闪长岩接触带两侧的岩石中。浸染状和细脉浸染状的黄铁矿、黄铜矿或辉钼矿化主要受其制约。

中寮矿床中广泛发育一套斑岩型蚀变,大致可以分为钾硅酸盐化、绢云母化、青盘岩化和硬石膏化 4 种类型。

铜矿体以弯月状产于绢英岩化带底部及钾硅酸

盐岩带的顶部,呈浸染状或细脉浸染状。由于该岩凸是从 SE 深部向 NW 浅部斜向上侵,所以其顶面产状平缓,侧面产状较陡,且接触面呈锯齿状,与花岗闪长岩之间呈“犁式”指状穿插。因此斑岩铜矿体赋存于花岗闪长斑岩上凸的顶部陡接触带上,其下偶见钼工业矿体,且品位低。

矿石矿物主要由黄铁矿,少量黄铜矿,偶见斑铜矿、辉铜矿和辉钼矿等组成。矿石类型为细(网)脉状浸染状黄铜矿型硫化物矿石(铜矿石)、细(网)脉状浸染状石英—辉钼矿型硫化物矿石。矿石矿物结晶顺序为磁铁矿→黄铁矿→辉钼矿→黄铜矿→斑铜矿→铜兰。

金属矿物具垂直分带特征:由上往下为黄铁矿→黄铁矿+黄铜矿+斑铜矿→黄铁矿+黄铜矿+辉钼矿→黄铁矿+磁铁矿+辉钼矿+黄铜矿。

3.3 碧田金银钼矿床

3.3.1 矿床地质构造背景

碧田矿床是一个金、银、铜多金属矿床,位于碧田火山盆地的北西段北东侧,也是区域北东向宣和复式背斜与北西向的火山盆地的交汇部位。该火山盆地由西部的金狮寨一大窝里和东部的悦洋—碧田两个 NW 向的火山洼地复合而成,前者以寨下组(K_1z)酸性火山岩堆积为主,27 号矿化带(主要为金、银矿脉)分布于金狮寨层状火山构造底部与晚侏罗世花岗岩的不整合界面中;后者则以黄坑组(K_1h)高钾中酸性火山岩堆积为主,7 号矿化带金、银矿体则产于岭头火山穹隆边部或与晚侏罗世花岗岩的不整合面附近。因此,碧田矿床与两种火山构造类型有关,其一是层状火山;其二是火山穹隆^[1]。

碧田矿床中存在着 NW 向断裂裂隙系统,它们是碧田矿床的主要容矿构造。它既是区域 NW 向深断裂旁侧的配套断裂裂隙带,也是同火山作用期的张性构造系统,如火山穹隆中的放射状断裂裂隙系统或火山盆地底部的剥离断层。这些容矿构造系统在空间上密集成群、平行侧列,构成一个巨大的容矿构造体系。

3.3.2 矿床地质特征

(1)赋矿围岩:碧田矿床的酸性硫酸盐型浅成热液矿床与粗安质火山一次火山岩有关,其火山地层属早白垩世寨下组(K_1z)和黄坑组(K_1h),寨下组(K_1z)酸性火山岩中赋存有热液型铀矿化,酸性硫酸盐型浅成热液金、银矿化仅分布于黄坑组(K_1h)火山地层(粗安岩、粗安质凝灰岩、角砾岩和粗安斑岩)及基底岩石(侏罗纪花岗岩)中(刘晓东等,2005)。

在碧田—上杭火山盆地中,黄坑组(K_1h)火山地层由下往上有由英安质岩石向粗安质岩石过渡的趋势,经综合对比后可以确认,紫金山矿床英安质火山岩和碧田矿床粗安质火山岩虽同属黄坑组(K_1h)中酸性火山岩,但从层序上看,前者是在后者的下面。

(2)矿化带(体)地质特征:碧田矿床的矿化部位有二:其一是寨下组(K_1z)酸性火山岩底部不整合面,这里的矿化以金为主,有时含银,矿化产于不整合面下部的晚侏罗世花岗岩或黄坑组(K_1h)中酸性火山岩中;其二是黄坑组(K_1h)酸性火山岩底部与晚侏罗世花岗岩的不整合面,火山岩和花岗岩中都含矿。

有益组分除 Au 外,还有 Ag、Cu、Pb、Zn 矿化,且部分已达工业品位,如 Ag: $XXX \times 10^{-6}$,最高 $XXXX \times 10^{-6}$;Cu 工业矿石品位一般为 $0. X \sim X\%$,最高 $XX\%$,厚 Xm ;Pb、Zn 品位达 $X\%$,最厚 Xm 。在空间上,Ag 矿体或矿化出现在 Au 矿体之中或紧靠 Au 之下,火山岩及花岗岩中兼而有之;Cu、Pb、Zn 矿体则大多出现在 Au 矿体之下。

(3)矿石特征:金、银矿石类型主要是石英脉型。铜矿石类型有脉状、细脉浸染状、网脉状、团块状、角砾状和斑点状等类型。

含金矿石矿物主要有黄铁矿、少量方铅矿、闪锌矿、局部黄铜矿;脉石矿物石英、方解石、冰长石(陈好寿,1996;高天钧等,1998;高天钧,1998)。金一般呈显微粒状、不规则粒状、片状裂隙金,也有呈包体金和晶隙金等。

银矿石矿物为自然银、辉银矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和少量黄铜矿等,脉石矿物为微晶石英、方解石和偶见莹石,开来石(张之桑等,1994)。银呈显微粒状,浸染状、不规则集合状、微脉状和不规则环带状等,充填于黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿中。

铜矿石矿物以黄铁矿、黄铜矿为主,次为斑铜矿、铜兰,少量方铅矿和闪锌矿,偶见硫砷铜矿、蓝辉铜矿、砷黝铜矿、脆硫锑铜矿;脉石矿物有石英、少量方解石、绢云母,偶见莹石、重晶石、冰长石(刘晓东等,2005)、开来石(张之桑等,1994)。

(4)元素分带:由矿体向外的水平分带是 Au、Ag、Mn、Hg→Cu→Pb→Zn;自上往下的垂直分带序列是 U、Sr、Ni、Co(顶板)→Hg、Au(金矿体上部)→Ag、Au、Mn(金矿体下部)→Cu(底板)→Pb→Zn。金属矿物组合和矿体、矿石空间分布特征显现出矿床具有中低温热液成矿特点的 U→Au、Ag→Cu、Pb、Zn 的“多层楼”分带模式。

(5)火山构造对成矿的控制:碧田火山盆地之次一级金狮寨层状火山和岭头穹隆状火山构造明显对矿体产出的制约作用,而后期喷发的火山岩起到“盖”的作用。故此碧田火山盆地具备了“源”、“运”、“储”、“盖”的条件,资源潜力就决定于“源”的丰富程度和稳定的成矿环境。

4 讨论与结论

(1) 纵观闽西南地区地质构造活动史,自印支碰撞造山后,于晚三叠世晚期一晚白垩世时期,进入了陆间以断裂活动及岩浆侵入喷发为主导的地史时期。

紫金山矿田首先自中晚侏罗世开始,则进入了断裂带再活动及中酸性、酸性岩浆沿断裂带及断裂带复合部位以岩墙扩展机制侵位的构造活动阶段^②,形成紫金山序列(二长)花岗岩。晚侏罗世晚期一早白垩世早期期间的燕山运动第Ⅲ幕主要表现为区域性北西向断陷。从早白垩世晚期开始。断陷进一步发育形成火山喷发沉积盆地,经历了两个旋回的辫状河沉积—中心式火山喷发的演变,并且伴有中基性侵入岩(四方岩体)和喷发作用为中基性、酸性双峰式火山(潜火山英安玢岩)活动,至晚白垩世火山活动有火山热液金、铜、银、铀等多金属在不同构造部位形成不同成因类型矿床在空间上相互叠加的成矿作用(图5)。

燕山运动Ⅴ幕之后,进入了新生代发展时期,基本结束了测区断块造山地史历程,地壳处于相对稳定隆升的构造环境。

(2) 紫金山矿田中生代“行、列、汇”异常成矿构造聚敛场(exceptional metallotect convergence): “行、列、汇”构造样式是对地球表壳充分发育的棋盘格子构造的新发展,具备下列 4 个方面的条件时它是一种有利的成矿“温床”(裴荣富等,1999;裴荣富等,2004a):其一是两组构造的交叉;其二是在构造交叉处(即“汇”)发生多种有利控矿因素的汇聚;其三,与岩浆作用藕合并发生共岩浆补余分异效应(裴荣富,1995);其四,与深部构造作用(过程)藕合。印支—燕山早期 NE 向构造带与燕山晚期 NW 向构造带叠加形成的“行、列、汇”构造式样在该区广泛发育,当其与中生代深部壳—幔不协调运动形成的构造—岩浆作用等成矿因素藕合时,就为特大型矿床的形成创造了极为有利的条件(裴荣富等,2004b)。

(3)根据构造-火山岩浆-成矿流体系统(裴荣富等, 1999; 梅燕雄等, 2004), 当“行、列、汇”结点出现

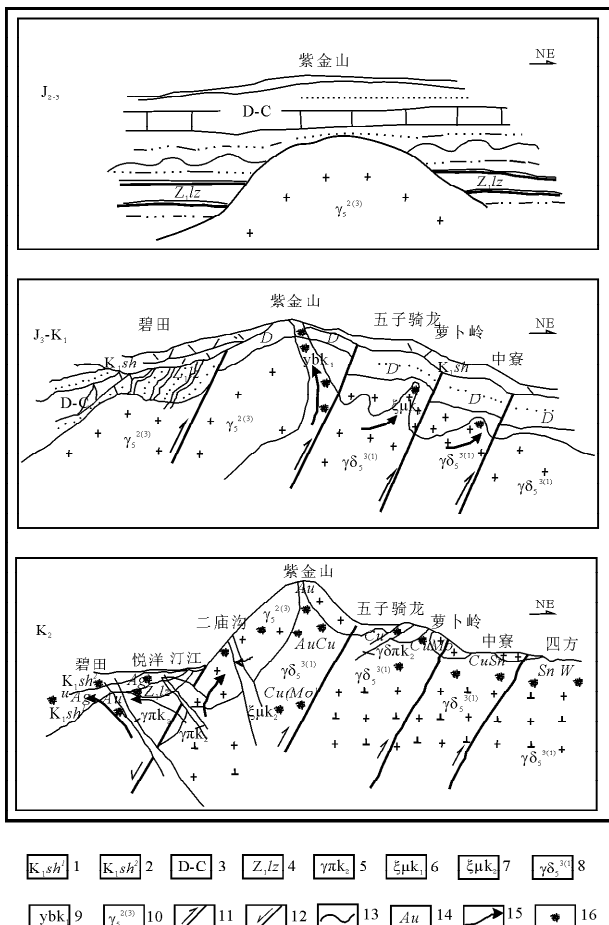


图 5 紫金山矿田成矿系列与成矿模式图

Fig. 5 Mineralization series and model map in

Zijinshan orefield

1—下白垩统石帽山群下段;2—下白垩统石帽山群上段;3—泥盆—石炭系;4—下震旦统楼子坝群;5—燕山晚期花岗斑岩;6—燕山晚期第一次侵入英安玢岩;7—燕山晚期第二次侵入英安玢岩;8—四方花岗闪长岩;9—燕山晚期隐爆角砾岩;10—紫金山系列花岗岩;11—实测、推测逆断层;12—正断层;13—地质界线;14—各种金属成矿元素;15—成矿热液流向;16—矿化范围

1—Lower Shimaoshan Group in Early Cretaceous Period; 2—Upper Shimaoshan Group in Late Cretaceous Period; 3—Devonian and Carboniferous; 4—Louziba group in Early Sinian Period; 5—Late Yanshan granite; 6—dacite porphyry at first Late Yanshan intrusion; 7—dacite porphyry at second Late Yanshan intrusion; 8—Sifang pluton (granodiorite); 9—explode volcanic breccia at Late Yanshan 10—Zijinshan series granite; 11—measuring and indicated thrust fault; 12—normal fault; 13—geological boundary; 14—very metallogenic elements; 15—direction of fluids movement; 16—mineralized range

火山机构时,成矿流体形成涡流,促成成矿流体卸载和金属元素堆积,遂形成工业矿床。特别地,当源源不断的成矿流体流恰好与锅穴构造耦合时,这种特定的地质异常现象就会造就形成超大型矿床(裴荣

富等,1994)。紫金山超大型 Au、Cu 矿床就属于这种特例,她不但处在 NE 向构造带的波峰位置,而且刚好是成矿带的中心和火山机构所在地,早白垩世深源中酸性岩浆多次火山-侵入活动,形成源源不断的成矿流体流,得以在紫金山成矿锅穴堆积超巨量的 Au、Cu 元素,形成超大型 Au、Cu 矿床。如金龙湖细粒白云母花岗岩岩体南侧接触带与 NE、NW 向断裂叠加构造体系,形成成矿锅穴构造,悦洋大型银金矿就赋存在叠加构造体系形成的锅穴中(裴荣富等,1994)。

(4)初步建立紫金山矿田与早白垩世中酸性岩浆作用有关的铜铅锌金银成矿系列的描述性成矿模式(见图 5):即产于花岗闪长斑岩凸起部位与紫金山系列花岗岩接触带的斑岩型 Cu(Mo)矿床(体中体);产于斑岩 Cu(Mo)矿化上部的过渡型 Cu(Au)矿床(矿化的矿化);产于更高位、斑岩顶面拗陷之上、火山岩与基底不整合面及其附近的浅成热液型 Au、Ag、Cu 矿床;产于火山盆地中,以火山岩为容矿岩石的浅成热液型 Au、Ag、U 矿床(化)^①(裴荣富等,2001)。

(5)紫金山矿田内的各个不同矿区都存在着成矿金属元素的垂向分带特征(见表 5),从矿田内各矿床地质特征描述中可以看出碧田矿区和紫金山矿区都具有这一特点,而中寮矿区的外围和深部也相继发现了钨锡等高温金属元素的地球化学异常,此外

五子骑龙和罗卜岭矿区也具备这一特征。因此紫金山矿田总体上显现出“一梯多层楼”式成矿模式,它们在空间上侧向排列,反映出与燕山晚期中酸性侵入岩有关的构造-热液-成矿作用系统,在不同的成矿深度,于一定的构造环境淀积出不同类型的矿床,构成了独特的“紫金山”式成矿系列。

(6)基于以上对“紫金山”式成矿模式的总结和成矿系列的认识,本项目研究认为在紫金山铜金矿床侧向下部,尤其是往 SW 和 NE 方向的深部寻找斑岩型铜(钼)矿床具有广阔的前景。可以通过对该矿区广泛存在的蓝辉铜矿、硫砷铜矿和铜蓝在垂直方向上变化规律的系统研究,加强对深部斑岩型矿床的勘查,以达到增储的目的(与 Noel C. White 的私人邮件)。此外在中寮铜(钼)矿区的深部或邻近,尤其是显现钨、锡地球化学异常范围内,应结合有利构造部位,寻找高温热液型钨、锡矿床。

(7)通过与西南环太平洋内带斑岩型矿床的对比研究,尤其是台湾金瓜石(陶奎元,1996;陶奎元,1997;陶奎元,1998;高天钧,1998)、菲律宾的 Lapanto[■]、拉拉布(王少怀等,2008)、General Santos(王少怀等,2008)、印度尼西亚格拉斯贝格[■]斑岩型铜金矿床的成矿地质条件对比研究后认为:处于滨西太平洋成矿带的紫金山矿田具备形成大型斑岩型铜金矿床的条件,具有良好的铜多金属找矿前景。

表 5 福建紫金山矿田元素垂向分带表

Table 5 Vertical zoning characters of the elements in the Zijinshan orefield

孔号	浅部			中部			深部		
	原生晕异常元素	孔深(m)	蚀变类型	原生晕异常元素	孔深(m)	蚀变类型	原生晕异常元素	孔深(m)	蚀变类型
龙江亭 ZK802	Pb、Zn (Cu、Ag) ^①	0~250	黄铁矿化、硅化	Ag、Bi (Cu、Ag)	250~450	黄铁矿化、硅化、	Ag (Cu、Pb、Zn)	450~500	黄铁矿化
大菱岗 ZK001	Au (Zn、W、Hg)	0~50	黄铁矿化、 绢云母化	Cu、Pb、Hg (Ag、Bi)	50~250	绢云母化、硅化	Pb、Zn	250~550	黄铁矿化、硅化、 绢云母化
紫金山 ZK304	Au、Hg	0~300	硅化	Cu、Ag、As (Bi、Sb)	300~700	硅化、明矾石化	Cu、As、Sb、 W、Sn (Au)	700~800	石英、地开石、 明矾石
紫金山 ZK2701	Pb、Zn (Cu、Ag)	0~100	硅化、绢云母化	Bi、Zn、Cu	100~150	硅化、绢云母化	Pb、Zn、Ag	150~300	硅化、绢云母化
紫金山 ZK4802	Pb、Mo	0~300	硅化	Cu、Mo	450~650	黄铁矿化、硅化、 绢云母化	Au	650~680	
仙狮岩 ZK1	Pb	0~80	黄铁矿化、硅化、 绢云母化	Cu、Mo、W (Hg、Sn)	80~200	黄铁矿化、硅化、 阳起石化	W、Mo	490~600	黄铁矿化、 绢云母化
中寮 ZK2	Cu、Pb、As (Sb、Sn、W、Ag)	0~200	硅化、绢云母化				Pb (Cu)	200~600	硅化、 绢云母化
中寮 ZK4	Cu、Pb、Zn (As、Mo)	0~300	黄铁矿化、硅化、 绢云母化				Mo、W	500~600	黄铁矿化、 硅化、绢云母化

注:① 括号内元素为次要元素。

致谢: 在项目的实施过程中,得到了陈景河教授和紫金矿业集团公司同仁的支持的帮助,胡柳青博士、黎敦朋博士编绘了部分图件,编辑阅读了全文并提出了宝贵意见,在此一并表示感谢!

注 释

① 福建省闽西地质大队,南京地质研究所. 2003. 福建省上杭紫金山地区金矿的研究及远景预测及成果鉴定,内部资料.

② 福建省闽西地质大队. 1991. 福建省上杭紫金山铜金矿床成矿模式研究报告,内部资料.

③ 福建省闽西地质大队. 1989. 福建省上杭紫金山地区金矿的研究及远景预测,内部资料.

④ 福建省第八地质大队. 1991. 福建省上杭县紫金山地区区域成矿模式及 1:1 万综合信息矿产报告,内部资料.

⑤ 福建紫金矿业股份有限公司. 2000. 福建省上杭县紫金山铜金矿区西北矿段金矿地质勘探报告,内部资料.

⑥ 福建省闽西紫金矿业集团有限公司. 1999. 福建省上杭县紫金山金矿成矿地质研究及资源评价,内部资料.

⑦ 福建紫金矿业股份有限公司. 2000. 福建省上杭县紫金山铜金矿区西北矿段金矿地质勘探报告,内部资料.

⑧ 福建紫金矿业股份有限公司. 1999. 福建省上杭县紫金山金矿及外围金成矿规律研究及找矿靶区预测设计说明书,内部资料.

⑨ 地质矿产部矿床地质研究所. 1994. 福建上杭紫金山潜火山(火山)一侵入岩系与成矿作用的关系,内部资料.

■ 地矿部福建地质矿产勘查开发局. 1988. 中华人民共和国地质图说明书(才溪幅 1:50000),内部资料.

■ 地矿部福建地质矿产勘查开发局. 1992. 中华人民共和国地质图说明书(上杭县幅 1:200000),内部资料.

■ 地矿部福建地质矿产勘查开发局. 1997. 中华人民共和国地质图说明书(上杭县幅 1:50000),内部资料.

■ 地矿部福建地质矿产勘查开发局. 1988. 中华人民共和国地质图说明书(芷溪幅 1:50000),内部资料.

■ 核工业部 295 地质队. 1993. 福建省上杭县碧田金、银、铜矿普查地质报告,内部资料.

■ 福建紫金矿业股份有限公司,中国地质大学(武汉)黄金研究所. 2004. 紫金山式金铜成矿场结构模式及矿体定位预测,内部资料.

■ 福建紫金矿业股份有限公司. 2004. 紫金山式金铜矿床成矿结构模型及矿体定位预测,内部资料.

■ 王少怀. 2007. 紫金山铜金矿集区大比例尺成矿预测研究——紫金山矿田及外围找矿,中国地质科学院博士学位论文.

■ 秦克章等. 2002. 国内外斑岩型铜矿研究进展,中国地质调查局,内部资料.

参 考 文 献

陈好寿. 1996. 紫金山铜金矿床成矿年代及同位素找矿评价研究,大地构造与成矿学,20(4):348 ~ 360.

陈景河. 1999. 紫金山铜金矿床成矿模式,黄金,20(7):6~11.

冯宗帜. 1993. 福建中生代火山作用与构造环境,中国区域地质,15(4):311~316.

高天钧,黄仁生. 1998. 福建省上杭紫金山矿田铜金银矿床类型及对比,火山地质与矿产,19(4).

高天钧. 1998. 福建省紫金山大型铜金矿床的发现与研究,中国地质,总 253:32~34.

郭新生,陈江峰,张翼,汤加富,谢智,周泰禧,刘玉龙. 2001. 桂东南富钾岩杂岩的 Nd 同位素组成:华南中生代地幔物质上涌事件,岩石学报,17(1):19~27.

胡受奚等. 1997. 与火山-次火山-热液作用有关的金矿床分类探讨,黄金地质,3(3):25~29.

李献华. 1999. 华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展地质年代学和地球化学制约,中国科学院地球化学研究所编,资源环境与可持续发展,北京:科学出版社,264~275.

刘晓东,华仁民. 2005. 福建碧田金银铜矿床冰长石的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄,地质论评,51(2):151~155.

毛建仁,陶奎元,李寄岬等. 2002. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及其构造意义,岩石学报,018(04):449~458.

梅燕雄,裴荣富,李进文,傅旭杰. 2004. 中国中生代矿床成矿系列类型及其演化,矿床地质,23(2):190~197.

裴荣富,吴良士. 1994. 金属成矿省演化与成矿,地学前缘,1(3-4):95~99.

裴荣富,吴良士. 1994. 找寻特大型隐伏矿床的衍生矿床导向和成矿轨迹追踪研究,矿床地质,13(4):380~382.

裴荣富. 1995a. 共(源)岩浆补余分异作用与成矿,矿床地质,14(4):376~379.

裴荣富. 1995b. 中国矿床模式,北京:地质出版社.

裴荣富,熊群尧. 1999. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场),矿床地质,18(1):37~46.

裴荣富,叶锦华,梅燕雄,尹冰川. 2001. 特大型矿床研究若干问题探讨,中国地质,28(7):9~16

裴荣富,李进文,梅燕雄. 2004a. 金属成矿省等级体制成矿,矿床地质,23(2):131~141.

裴荣富,梅燕雄,李进文. 2004b. 特大型矿床与异常成矿作用,地学前缘,11(2):323~331.

唐瑞来. 2001. 福建省“尤德地体”的成矿特征和找矿远景,火山地质与矿产,22(3):206~213.

陶建华等. 1992. 福建上杭紫金山铜金矿床控岩控矿构造分析,福建地质,11(3):181~202

陶奎元. 1997. 台湾金瓜石金(铜)矿床及其与福建紫金山铜(金)矿床的比较——赴台考察报告之一,火山地质与矿产,18(4):260~275.

陶奎元,薛怀民,毛建仁等. 1996. 中国东南沿海大(中)型浅成中低温热液矿床-斑岩型矿床评价的地质准则、成矿模式及其找矿意义,火山地质与矿产,17(1-2):26~40.

陶奎元. 1998. 再论永梅会矿集区的找矿方向,火山地质与矿产,19(4):295~303.

涂光炽等. 1984. 地球化学,上海科学技术出版社.

王平安,陈毓川. 1997. 秦岭造山带构造-成矿旋回与演化,地质力学学报,3(1):10~19.

王少怀. 2006. 初论紫金山铜金矿床超临界成矿流体系统,地质找矿论丛,21(增):5~9.

王少怀,裴荣富. 2008. 菲律宾拉拉布金矿床围岩蚀变与成矿作用,大地构造与成矿学,32(1):81~91.

张德全,李大新,赵一鸣等. 1996. 五子骑龙矿床——被改造的斑岩铜矿上部带. 矿床地质,15(2):109~122.

- 张德全,余宏全,阎升好等. 2001. 福建紫金山地区中生代构造环境转换的岩浆岩地球化学证据,地质论评,47(6):608~616.
- 张德全,余宏全,李大新等. 2003. 紫金山地区的斑岩—浅成热液成矿系统,地质学报,77(2):160~168.
- 张之桑,杨玲雅. 1994. 福建上杭盆地中生代火山岩首次发现开来石,福建地质,13(3):188~192.
- 周肃,陈好寿. 1996. 紫金山铜金矿同位素年代学及其地质意义,矿物岩石地球化学通报,15(4):216~219.
- 周肃,邱瑞照,陈好寿. 1994. 福建紫金山铜金矿床氢氧同位素组成特征及与成矿关系的研究,福建地质,(2):94~100.
- Chen Haoshou. 1996. The research on the mineralization chronology and isotopic exploration assessment for Zijinshan copper-gold deposit. *Geotectonica et Metallogenia*, 20 (4): 348~360(in Chinese with English abstract).
- Chen Jinghe. 1999. The metallogenic mode of Zijinshan Copper (Gold) Deposit, Golden,20(7):6~11(in Chinese with English abstract).
- Collies W J. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to southeastern Australia, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80:189~200.
- Feng Zongzhi. 1993. Mesozoic volcanism and tectonic environments in Fujian, *Regional geology of China*, 15 (4): 311~316 (in Chinese with English abstract).
- Gao Tianjun, Huang Rensheng. 1998. Comparison of typical characters of Zijinshan copper-gold-silver deposit in Shanghang, Fujian province. *Volcanology & Mineral resources*, 19(4):283~294(in Chinese with English abstract).
- Guo Xinsheng, Chen J F, Zhang X, Tang J F, Xie Z, Zhou T X, Liu Y L. 2001. Nd isotopic ratios of K-enriched magmatic complexes from southeastern Guangxi province: Implications for upwelling of the mantle in southeastern China during the Mesozoic. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (1): 19~27 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shouxi, Wang Wenbin. 1997. Inquiring into the classification of gold deposits related to volcanism-subvolcanism-intrusion-hydrothermal, *Gold geology*, 1997, 3 (3): 25~29 (in Chinese with English abstract).
- Li Xuanhua. 1999. Cretaceous magmatic activity and lithosphere extension in South China: constraints for geochronology and geochemistry. Edited by Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Beijing: Sciences Press. 264~275 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaodong, HUA Renmin. 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of Adularia from the Bitian Gold—Silver—Copper Deposit, Fujian Province, China. *Geological Review*, 51(2):151~155 (in Chinese with English abstract).
- Mao J R, Tao K Y, Lee C Y, Xie F G, Xu N Z. 2002. Geochronology and geochemical characteristics in late Mesozoic Sifang pluton, southwestern Fujian, and their significance. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4):449~458 (in Chinese with English abstract).
- Mei Yanxiong, Pei Rongfu, Li Jinwen, Fu Xujie. 2004. Metallogenic series types of mesozoic mineral deposits in China and their evolution, *mineral deposits*, 23 (2): 190~197 (in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Wu Liangshi. 1994. On the evolution of metallogenetic province and metallogeny, *Earth Science Frontiers*, 1 (3-4):95~99 (in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Wu Linshi. 1994. Guidance of derivative deposit and tracing of metallogenetic path for prospecting concealed giant deposits, *mineral deposits*, 13 (4), 380~382 (in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu. 1995. *Mineral deposit modles of China*, Beijing: Geology Press (in Chinese).
- Pei Rongfu, Xiong Qun Yao. 1999. Metallogenic proferentiality and metalotect convergence of unique ore deposit in China, *mineral deposits*, 18(1):37~46(in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Li Jinwen, Mei Yanxiong. 2004a. Hierarchy systematic metallogeny of a metallogenetic province, *mineral deposits*, 23 (2):131~141 (in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Mei Yan xiong, Li Jinwen. 2004b. Exceptionallarge ore deposits and anomalous ore-forming process, *Earth Science Frontiers*, 11(2): 323~331(in Chinese with English abstract).
- Tang Ruilai. 2001. Metallogenic features and ore-search for minerals in "Youde Terrain" of Fujian province, *Volcanology & Mineral resources*, 22(3):206~213 (in Chinese with English abstract).
- Tao Jianhua, Xu Chunlin. 1992. Discussion on the Rock-and Ore-Controlling Structures of the Zijinshan Copper-Gold Deposit in Shanghang County, Fujian Province, *Geology of Fujian*, 13(3): 181~201(in Chinese with English abstract).
- Tao Kuiyuara. 1997. Investigation report on Taiwan: characteristics of Chinkuashih gold(copper)deposit Taiwen and its comparisons with Zijinshan copper (gold) deposit, Fujian, *Volcanology and Mineral resources*, 18(4): 260~275 (in Chinese with English abstract).
- Tao Kuiyuan, Xue Huaimin, Mao Jianren et al. 1998. Minerogenetic model, prospecting significance and geological criteria for evaluation of large-(middle-) scale epithermal-mesothermal deposits in south-eastern coast of China. *Volcanology & Mineral resources*, 17(1~2):26~39(in Chinese with English abstract).
- Tao Kuiyuan. 1998. On researching for minerals in Yongding-Meixian-Huichang mineralization-concentrated region. *Volcanology & Mineral resources*, 19(4):295~303(in Chinese with English abstract).
- Tu Guangzhi. 1984. *Geochemistry Shanghai*, Shanghai Sciences and technology Press(in Chinese with English abstract).
- Wang Pingan, Chen Yuchuan. 1997. Evolution-minerogenic cycles and minerogenetic evolution through geology history in the Qinling orogenic belt. *Journal of Geomechanics*, 3(1):10~19 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shaohuai. 2006. Preliminary discussion on supercritical ore-forming fluid system of Zijinshan copper-gold drposit, *Contributions to geology and mineral resource research(Sup)*, 21,5~9. (in Chinese with English abstract).

Wang Shaohuai, Pei Rongfu. 2008. The relation between mineralization and wallrock alteration in the Lalab gold deposit, PHIL, Geotectonica and metallogenia, 32 (1): 81 ~ 91 (in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan, Li Daxin, Zhao Yiming et al. 1996. The Wuziqilong deposit-the reformed upper part of a porphyry copper deposit. Mineral Deposits, 15 (2): 109 ~ 122 (in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan, She Hongquan, YAN Shenghao, XU Wenyi. 2001. Geochemistry of Mesozoic Magmatites in the Zijinshan Region and Implication on Regional Tectonic Inversion, Geological review, 47(6): 608 ~ 616 (in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan, She Hongquan, Li Daxin, Feng Chengyou. 2003a. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region, Fujian province. Acta Geological Sinica, 77 (2): 253 ~ 261 (in Chinese with English abstract).

Zhang Zhishen, Yang Lingya. 1994. Kemmlitzite Discovered First from the Mesozoic Volcanic Rocks in the Shanghang Basin, Fujian Province, Geology of Fujian, 13(3): 188 ~ 192 (in Chinese with English abstract).

Zhou Su, Qiu Ruizhao, Chen Hao. 1994. Characteristics of Hydrogen and Oxygen Isotopic Composition of the Zijinshan Copper-Gold Deposit and the Relation to the Ore-Forming Process, Geology of Fujian, 17 (2): 94 ~ 100 (in Chinese with English abstract).

Zhou Su, Chen Haoshou. 1996. Isotopic geochronology and its geological significance of the Zijinshan copper-gold deposit. Bulletin on Mineralogy Petrology and Geochemistry, 15(4): 216 ~ 219 (in Chinese with English abstract).

Metallogenic Series and Model of the Zijinshan Mining Field

WANG Shaohuai¹⁾, PEI Rongfu²⁾, ZENG Xianhui³⁾, QUI Xiaopin^{1,4)}, WEI Min³⁾

1) Zijin College of Mining, Fuzhou University, Fuzhou, 350108; 2) Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037; 3) Zijin Mining Group CO., LTD, Xiamen, Fujian, 361006; 4) Institute of Geology, CAGS, Beijing, 100037

Abstract

The Zijinshan Mining Field, which is dominated by the Zijin copper-gold deposit, is the first high-sulfide epithermal deposit discovered in China. The porphyry copper (molybdenum) deposit, the meso-low-temperature hydrothermal copper deposit, the lower-sulfide epithermal silver (gold-copper) deposit, the volcanic uranium deposit and the high-temperature hydrothermal tungsten (tin) geochemistry abnormality were discovered in the depth and vicinity of the deposit. From late Jurassic, it had gone through multiphase-tectonic movement, magmatism and hydrothermal alteration, which had resulted in multiphase-mineralization. This paper points out that the mineralization system of the Zijinshan Mining Field is characterized by tectonic structure, body within body, altered alteration, mineralized mineralization, and by a vertical zonation of mineralization: “U, Ag→Au→Cu→Mo→W, Sn” from top to bottom, and a “multi-storey” metallogenic model. The different deposit types show laterally-distributed patterns spatially, forming a unique Zijin-typed metallogenic series and mineralization. Compared with other deposits, it is likely that the porphyry copper (molybdenum) deposit and the high-temperature hydrothermal tungsten (tin) may exist at the depth of the porphyry copper (molybdenum) deposit and its vicinity respectively. The research shows that there will be a new exploration field in the mining field and provides a scientific base for further exploration.

Key words: mineralization vertical zoning features; multi-floor building model; metallogenic series; Zijinshan orefield

