

湖南桂阳县白沙子岭锡矿床地质 地球化学特征及其成因

曾志方^{1,2} 曾佐勋¹ 曾永红² 邹建林² 胡才志¹

(1. 中国地质大学研究生院, 湖北 武汉 430074;

2. 湖南省地质矿产勘查开发局四一八队, 湖南 娄底 417000)

摘要:白沙子岭锡矿床赋存于大义山复式花岗岩体内,发育蚀变花岗岩型和云英岩脉型两个主要矿床类型,两类矿床在空间上相伴产出。通过矿床成矿地质背景和地质特征的研究,运用同位素和包裹体测试成果,探讨了矿床成因及成矿作用过程。铅同位素表明,锡成矿物质为幔、壳源混合来源。氢、氧同位素特征指示成矿流体主要为沸腾岩浆水。云英岩脉型和蚀变花岗岩型锡矿脉(体)在空间上的耦合性以及它们的流体包裹体和硫、铅同位素特征表明,构造作用和岩浆演化的联合作用是成矿的主要控制因素。成矿温度为 130~425℃,盐度为 1.40%~11.22%,成矿压力为 $67 \times 10^5 \sim 537 \times 10^5$ Pa。矿床属中高温岩浆热液矿床。

关键词:蚀变花岗岩型;云英岩脉型;地质地球化学;成因;白沙子岭

中图分类号:P618.44

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2008)04-0725-13

近年来,湘南地区围绕大型复式成矿岩体尤其是岩体内找矿工作取得了较大进展,继芙蓉、千里山、骑田岭等岩体,在大义山岩体接触带及内部发现了一大批与岩体有关的大、中型锡多金属矿床,矿化类型多,规模大,成群、成带分布,成为南岭锡多金属矿找矿的重要靶区。许多学者从不同角度对锡多金属矿区域成矿规律进行了较系统的探讨和总结^[1-4],但对区内典型矿床研究较少,除对岩体型(蚀变花岗岩型)锡矿床成矿机制进行了定性分析外^[5],对成矿物质的来源和成因缺乏有力的地质、地球化学依据,同时对广泛分布于岩体内的云英岩脉型及与其相伴产出的蚀变花岗岩型锡矿的相互关系均未涉及,从而制约了区内找矿工作的深入开展。

白沙子岭锡矿床位于大义山北体的南东部,大义山锡多金属矿田的东矿带。区内已发现云英岩脉型和蚀变花岗岩型两个主要锡矿类型,为大义山岩体内具代表性的矿床。随着勘查工作的不断深入,在

地质、地球化学等方面积累了较丰富的资料,为探讨矿床成因提供了有力的依据。研究该矿床及成因特征,对研究区内成矿规律,开展找矿评价和成矿预测具有十分重要的理论和实践意义。

1 区域及矿区地质概况

白沙子岭锡矿床位于大义山复式花岗岩体南东部,北西向邵阳—郴州深大断裂带与东西向阳明山—大义山构造岩浆岩带的复合交汇部位,区域性北北西—近南北向西岭圩向斜的南扬起端(图 1)。

围绕岩体主要出露震旦—奥陶纪类复理石建造的砂、页岩,泥盆—三叠纪碳酸盐岩夹砂页岩等。区域内岩浆活动频繁,大义山岩体呈北西向沿邵阳—郴州深大断裂侵入,具多期多阶段侵位特征,由印支期侵位(278~210 Ma)的南体和燕山期侵位(185~128 Ma)^[3,6]的北体组成,依岩石谱系单位,划分为 14 个单元,归并为泥板田、汤市铺、关口等 3 个超单元,其

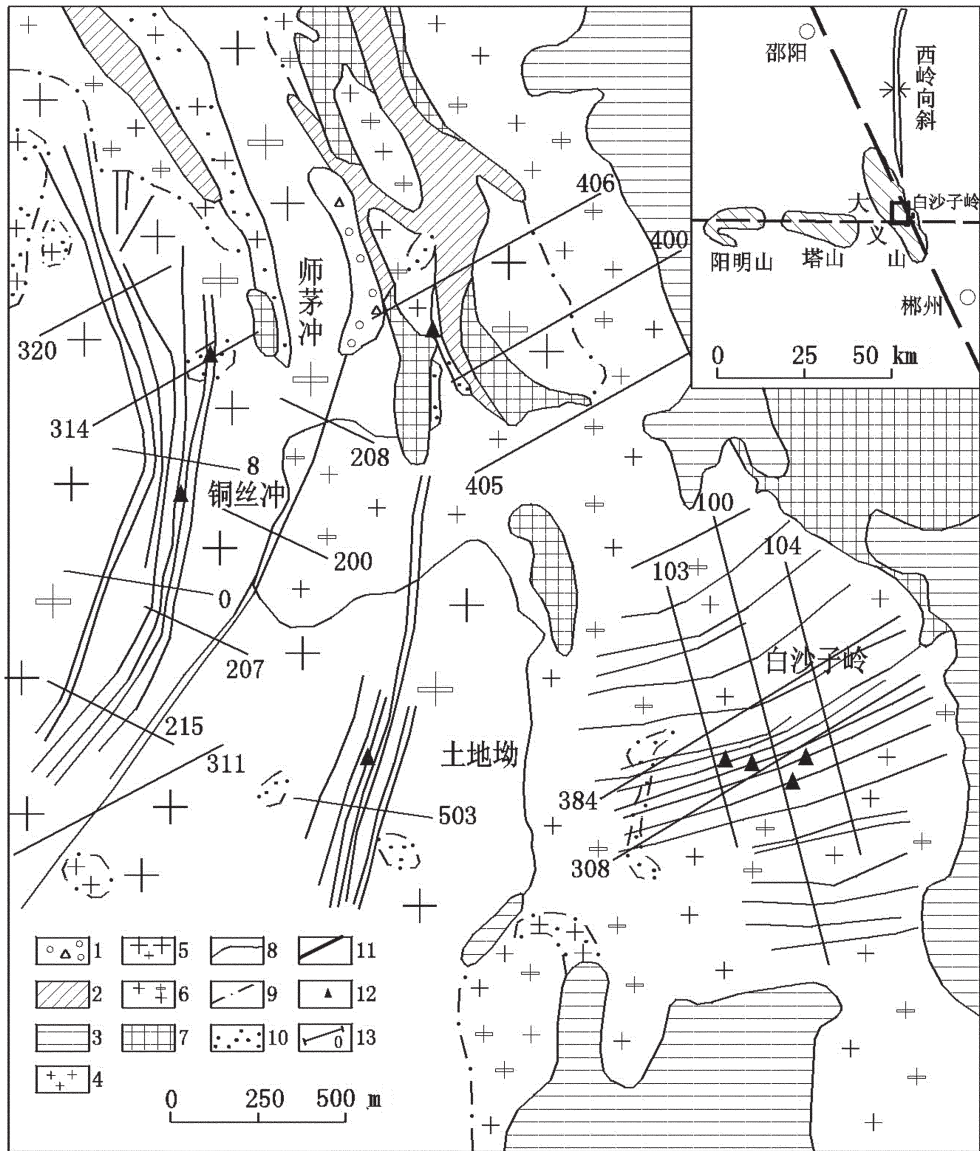


图1 白沙子岭锡矿区地质简图

1—第四纪地层;2—马栏边组;3—锡矿山组;4—介头单元;5—岩前单元;6—小恒单元;7—砂卡岩;8—地质界线;
 9—花岗岩脉动接触界线;10—蚀变花岗岩;11—云英岩脉型锡矿脉;12—同位素及包裹体采样位置;13—勘探线及编号

Fig.1 Geological sketch map of the Baishaziling tin district

1-Quaternary;2-Malanbian Formation;3-Xikuangshan Formation;4-Jietuo unit;5-Yanqian unit;6-Xiaoheng unit;
 7-Skam;8-Geological boundary;9-Line of contact of granite pulsation;10-Altered granite;11-Greisen vein-type tin vein;
 12-Sampling location of isotopes and inclusions;13-Exploration line and number

中汤市铺超单元为主要成矿岩体。区域内构造活动强烈,区域性邵阳—郴州NW向深大断裂自印支—喜山期,至少经历了左旋走滑、右旋走滑和左旋走滑等3次构造活动^[7],形成了以北西向“大义山式断

裂”^[8]为主体,伴随近SN向、NE向褶断带的复杂构造格架。控制了大义山岩体的分布和锡多金属矿的产出。区内锡多金属矿自东向西划分为东、中、西3个NW向矿化带^①,白沙子岭锡矿床位于东矿带的

①湖南省地质调查院.湖南阳明山—大义山锡铋铅锌矿评价报告,2002.

南东部。

矿区内除东部出露零星的中泥盆世锡矿山组灰岩、石炭纪马栏边组灰岩残留体和矽卡岩捕虏体外,出露均为中侏罗世汤市铺超单元细(微细)粒—中粗粒斑状黑(二)云母二长花岗岩,依岩石谱系单位自早至晚划分为小恒、岩前及介头等 3 个单元。岩石中 SiO_2 含量均大于 73%, $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, 且 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, 属铝过饱和酸性岩类。从早期次单元至晚期次单元, 总体具有 SiO_2 增高、酸性增强、 K_2O 降低、 Na_2O 增高; MgO 、 Fe_2O_3 、 FeO 降低, 暗色矿物减少的趋势。成矿元素 W、Sn、Bi 和挥发组分 F、B、As 含量高, 且从早期次单元至晚期次单元逐渐增高, 基性组分 Cr、Ni、Co、V、Ti 有降低的趋势。晚期次介头单元细粒(少斑)二云母二长花岗岩是区内主要锡成矿单元, 多呈岩株、岩枝或岩瘤状产出, 长轴方向以北西为主; Sn、F、As 含量为汤市铺超单元中最高, 分别达 310×10^{-6} 、 12133×10^{-6} 、 191×10^{-6} , 均高于早期侵入体和维氏值, 其中 Sn 高出 2.2~6.8 倍。

矿区内断裂十分发育, 区域性北西向邵阳—郴州深大断裂在区内主要表现为矿区东部岩体内接触带矽卡岩残留块体及晚期成矿单元——介头单元呈似菱状结块均呈北西 $320 \sim 330^\circ$ 相近方位排列。岩体内断裂自西向东由 NNW、近 SN、NNE、NE、近 EW 向渐次转变, 均由 NW 向基底走滑断裂所处构造应力场派生而成^[9,10], 宏、微观特征显示断裂具左行剪切平移性质, 走向延伸较稳定, 倾向延深规模较大, 各组断裂集中成群成组、等间距分布, 控制了区内云英岩脉型锡矿脉的产出。

2 矿床地质

2.1 矿脉(体)特征及分布规律

根据矿脉(体)产状、控矿构造等特征, 将区内锡矿脉划分为蚀变花岗岩型、云英岩脉型两个类型。两

者相伴产出, 集中分布。

2.1.1 云英岩脉型锡矿

区内已控制云英岩脉型锡矿脉 30 条(表 1), 严格受断裂控制, 赋矿围岩主要为早期次小恒单元中细粒斑状黑云母二长花岗岩。按其展布方向分为近 EW ($80 \sim 90^\circ$)、近 SN ($0 \sim 10^\circ$)、NEE ($65 \sim 75^\circ$)、NNE ($13 \sim 30^\circ$) 向等 4 组, 以 NEE 向组最发育, 矿化最强。各组矿脉自东向西集中产于白沙子岭、铜丝岭、土地坳等地段, 构成南北长 1200 m, 东西宽 980 m 的北西向含锡云英岩脉群。各组矿脉与容矿断裂相对应近平行、等距展布, 矿脉间距 15~250 m。单条矿脉长 360~1780 m, 沿走向和倾向厚度、品位变化较稳定, 平均厚 0.60~2.11 m, 厚度变化系数为 47%~85%; Sn 平均品位 0.12%~3.91%, 品位变化系数为 68%~95%, 为较稳定型。矿脉延深规模较大, 控制斜深 120~210 m。

2.1.2 蚀变花岗岩型锡矿

该类型锡矿呈隐伏—半隐伏赋存于成矿岩体——介头单元的前峰和凸起部位, 在空间上与云英岩脉型锡矿脉集中产出, 并常为云英岩型矿脉切割(图 2)。依蚀变体展布和锡矿体产出特征, 自东向西可分为白沙子岭—师茅冲(I号)、土地坳—铜丝岭(II号)2 个 NW 向矿化带。矿化带长 1500~3000 m, 展布宽 750~1000 m, 总体走向 320° , 倾向南西, 倾角平缓, 为 $12 \sim 14^\circ$ 。两矿化带中各控制锡矿体 2 个(I-4, 5; II-1, 2), 呈透镜状、脉状, 近水平产于成矿岩体上凸部位。单个矿体走向长 600~1000 m, 宽 280~600 m, 平均厚 1.50~4.40 m。Sn 品位总体较低, 一般 0.22%~0.45%, 平均为 0.32%~1.17%。

矿体在垂向上分带性较明显, 自上而下一般由伟晶岩壳、云英岩、黄玉化及硫化物化蚀变花岗岩锡矿石等组成。伟晶岩由石英、黄玉、白云母等组成, 厚度厘米至十余米不等, 但多数情况下不甚发育。

矿化受构造控制明显。在云英岩脉与蚀变花岗

表 1 白沙子岭矿区云英岩脉型锡矿脉(体)特征

Table 1 Characteristics of greisen vein-type tin veins in the Baishaziling tin district

产 状			长度/ m	平均厚度/ m	平均品位/ 10^{-2}	矿脉数/条
走向/ $^\circ$	倾向	倾角/ $^\circ$				
65~75	NNW	57~80	360~950	1.40~2.11	0.56~3.91	10
80~90	NNW	58~85	400~880	0.70~1.57	0.12~2.50	7
0~10	NNW	47~80	1150~1400	0.71~1.16	0.79~1.04	5
13~30	NNW	63~85	400~1430	0.60~1.67	0.68~1.21	8

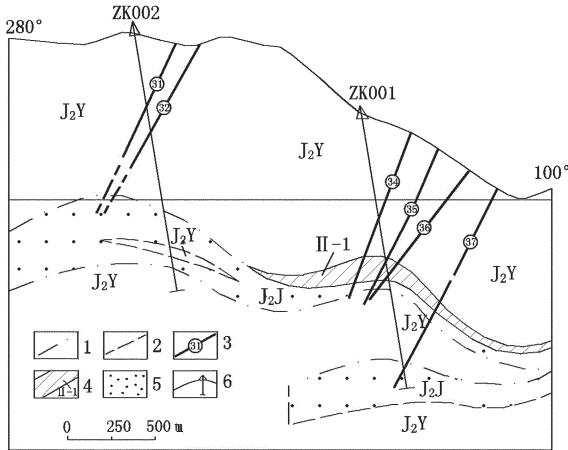


图2 白沙子岭锡矿区0线剖面图

JJ—介头单元;J₂Y—岩前单元;1—花岗岩脉动接触界线;
2—推测地质界线;3—云英岩脉型锡矿脉及编号;4—蚀变花
岗岩型锡矿体及编号;5—蚀变细粒花岗岩;6—钻孔及编号

Fig.2 Section of line 0 of the Baishaziling tin district.

JJ— Jietuo unit;J₂Y—Yanqian unit;1—Contact line of granite
pulsation;2—Inferred geological boundary;3—Greisen vein-type
tin vein;4—Altered granite-type tin orebody;

5—Altered fine-grained granite;6—Hole and number

岩叠加部位及节理裂隙发育和较破碎时,锡矿化较强,矿体厚度较大,品位较高,甚至局部沿裂隙发育块状锡石。据镜下观察,矿石中网状微裂隙发育,微裂隙为较大差应力作用带,有利于含矿热液的渗透,成为成矿物质富集场,从而形成品位较富的矿体^[1]。其次,矿化与伟晶岩并非存在正相关关系,相反,在伟晶岩不甚发育的地段往往可见矿化较好的锡矿体;而顶部发育厚达十余米的伟晶岩壳的完整蚀变花岗岩,矿化一般较差,锡石颗粒较细,多呈他形粒状,粒径一般0.2~1 mm。

由上可见,蚀变花岗岩型锡矿不仅与成矿岩体存在明显的依存关系,而且与构造作用密不可分。

2.2 矿石结构构造

蚀变花岗岩型和云英岩脉型矿体的矿石结构、构造大体一致。

矿石结构自矿脉(体)中心往两侧围岩由粒柱状变晶结构、鳞片粒柱变晶结构—鳞片花岗变晶结构—变余花岗结构逐渐变化,反映矿化由强至弱;富矿石往往具粒柱变晶结构、柱纤变晶结构;变余花岗结构多在矿体边缘和夹块中,矿化较弱,品位较低。

矿石构造主要有浸染状、块状、脉状、角砾状等构造。角砾状构造一般分布于较厚大的云英岩脉型

富矿体中部,在蚀变花岗岩型富矿石中多发育角砾状、细脉状构造。

2.3 成矿阶段与矿物共生组合

根据区内矿脉(体)穿插关系,矿石矿物共生组合、结构构造和围岩蚀变等因素,将本区钨锡矿化划分为3个成矿期5个成矿阶段。第Ⅱ期矿化为主成矿期,规模和分布范围较大,矿化较强;第Ⅰ期矿化分布范围较小,强度较弱;第Ⅲ期明显较前两期减弱,仅局部发育。

(1)伟晶岩期(Ⅰ)。该期矿化较弱,伟晶岩呈透镜状或脉状分布于成矿岩体介头单元顶部,沿走向变化较大,大多不发育。岩石主要由石英、微斜长石、黄玉、电气石等组成,锡含量较低,多为矿化。

(2)云英岩期(Ⅱ)。该期矿化较强,包括分布于蚀变花岗岩中的体型云英岩和脉型云英岩两个阶段。后者往往切割前者或两者相连,表明这两种云英岩的形成均与成矿岩体有直接成因关系。矿物组合为铁锂云母—石英—白云母—黄玉—锡石,其次见铁闪锌矿、辉钼矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等少量硫化物及电气石。锡石颗粒较细,粒径0.1~1.1 mm,呈浸染状分布,与锂云母—铁锂云母共生,矿石呈鳞片变晶结构。在体型云英岩中锂云母含量较高,且含较多长石。

(3)硫化物期(Ⅲ)。该期出现大量硫化物,并发育少量的锡石、黑钨矿。分为锡石黄铁矿铁闪锌矿矿化阶段和黄铁矿铅锌矿化阶段,矿物组合为黄铁矿—黄铜矿—铁闪锌矿—毒砂—萤石—黄玉—黑钨矿—锡石。矿化不均匀,局部富集成透镜体状,规模不大,品位不富。

3 流体包裹体特征及成矿流体性质

3.1 流体包裹体类型及组合特征

针对区内蚀变花岗岩型和云英岩脉型两类矿石分别采集了流体包裹体样品进行测试,测试矿物主要为石英,其次为萤石。其中蚀变花岗岩型矿石,测试石英包裹体64个,云英岩脉型矿石共测试萤石和石英包裹体20个。矿物流体包裹体类型较简单,以气液两相包裹体为主,另见少量的单一气(CO₂)、液相包裹体(表2)。

类型Ⅰ:气液两相包裹体(LH₂O+VH₂O)。为最发育的包裹体类型。在石英和萤石矿物中均可见,形态以圆形、椭圆形为主,其次是多边形及不规则状,多

表 2 白沙子岭锡矿区包裹体特征

Table 2 Types and features of fluid inclusions from various ores of the Baishaziling tin district

样号	矿物	包裹体			冰点/°C	盐度/%	均一温度/°C	P/10 ⁵ Pa	矿石类型			
		类型	大小/ μm^2	相比/%								
T12	石英	CO ₂	24×19	CO ₂ -10		1.43	→H ₂ O214	126	蚀变花岗岩型			
		CO ₂	15×10	CO ₂ -7		1.63	→H ₂ O262	178				
		V-L	12×9	10	5.6			133		85		
		V-L	13×6	5	5.9			103		67		
		V-L	11×9	12	-2.9	4.80		255		135		
		V-L	12×9	15	-3.9	6.30		198		105		
		CO ₂	24×12	CO ₂ -5		1.43	→H ₂ O148			93		
		V-L	8×6	25				256		166		
		V-L	10×5	10				198		105		
		V-L	16×8	15	-3.7	6.01		207		106		
		V-L	14×6	7	-3.7	6.01		131		82		
		V-L	18×13	7	-3.4	5.56		135		87		
		V-L	12×4	10	-3.4	5.56		132		85		
		V-L	12×6	10	-3.4	5.56		128		79		
		V-L	10×10	15	-3.7	6.01		198		105		
		V-L	11×9	10	-3.7	6.01		131		86		
		V-L	22×8	10	2			159		92		
		PD2-T1	石英	V-L	13×5	7					186	蚀变花岗岩型
				V-L	16×5	5					237	
				V-L	17×6	7					161	
V-L	21×10			10				172				
CO ₂	20×5			5				285				
V-L	19×6			5				283				
V-L	10×8			10	-6.1	9.34		167	108			
V-L	10×8			10	-7.6	11.22		192	142			
V-L	13×6			7	-4.9	7.73		290	206			
V-L	25×5			5	-3.5	5.71		186	112			
V-L	16×5			6	-3.1	5.11		159	96			
V-L	12×6			7				252				
V-L	9×5			6				180				
V-L	8×5			6				177				
V-L	11×5			5				296				
V-L	12×7			7				193				
V-L	15×5			6				162				
V-L	13×5			6				175				
V-L	12×7			7				188				
V-L	9×8			10	-3.04	5.56		390	489			
L	12×6			7	-2.6	4.34		336	332			
L	10×6			7	-3.1	5.11		340	341			
V-L	11×6			7	-0.8	1.4		396	537			
V-L	13×7			10	-2.1	3.55		333	306			
V-L	14×7			10	-2.5	4.18		236				
V-L	17×5			7				198				
V-L	18×5			7				287				
V-L	19×6			10				181				
V-L	20×6			10				291				
CO ₂	22×7			10				425				
V-L	23×6	7				190						
V-L	16×6	7				422						
V-L	18×5	5				173						
V-L	19×8	10	-3.6	5.86		271	195					
V-L	11×5	7	-4	6.45		275	208					
V-L	13×5	7				163						
V-L	15×7	7	-2.9	4.8		260	136					
V-L	9×5	7				282						
CO ₂	24×10	10				266						
V-L	16×6	7				278						
V-L	21×10	10				362						
V-L	19×5	7				420						

续表 2

样号	矿物	包裹体			冰点/℃	盐度/%	均一温度/℃	P/10 ⁵ Pa	矿石类型
		类型	大小/ μm^2	相比/%					
PD2-T1	石英	V-L	18×6	7			265		蚀变花岗岩型
		V-L	13×8	10			265		
		V-L	21×15	10			272		
		V-L	16×8	10			196		
大-1	萤石	V-L	14×3	25	0.7		149	90	云英岩脉型
		V-L	20×8	12	-0.8	1.4	283	196	
		V-L	12×6	15	0.2		172	163	
		V-L	12×5	15	0.1		209	108	
		V-L	18×7	10	-0.9	1.57	149	90	
		L	16×9		3.9				
		L	22×6		3.7				
大-7	石英	V-L	18×8	10	-6.1	9.34	140	89	云英岩脉型
		V-L	12×8	10	-7.6	10.21	160	93	
		V-L	10×6	7	-4.9	7.73	180	102	
		V-L	12×5	5	-3.5	5.71	200	124	
		V-L	16×5	6	-3.1	5.11	220	138	
		V-L	11×6	7			240		
		V-L	15×5	6			260		
		CO ₂	11×5	6			280		
		V-L	14×7	7			300		
		V-L	14×8	10	-3.04	5.56	340	386	
		V-L	24×6	7	-2.6	4.34	360	406	
		V-L	16×6	7	-3.1	5.11	380	520	
		V-L	17×6	7	-0.8	1.4	400	637	

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析,2006。

为成群分布,少数沿矿物微裂隙展布。在测试过程中,个别二相气液包裹体的冰点维持到 0℃以上 (2~5.9℃),此类包裹体可能为亚稳定。根据包裹体中气液比的不同,又可分为 $\varphi(\text{VH}_2\text{O})=5\%\sim 10\%$ 、 $\varphi(\text{VH}_2\text{O})=10\%\sim 25\%$ 两个亚类,相对而言前者分布更广。

类型 II:单一水溶液相包裹体(LH₂O)。不甚发育,偶见于云英岩脉型矿石中的萤石和蚀变花岗岩型矿石的石英中,形态呈米粒状、椭圆状、多边形及不规则状,一般分布杂乱无章,部分沿矿物微裂隙展布。

类型 III:单一气相包裹体(VCO₂)。主要发育于蚀变花岗岩型矿石中,偶见于云英岩脉型矿石中。形态主要为方形、负晶形和椭圆形,呈群状分布或混杂于其他类型中。CO₂ 体积占包裹体体积 5%~10%,部分包裹体在测试过程中看不清初熔温度和部分相均一。

上述包裹体,就大小而言,相差悬殊,依长轴大致可分为 15~24 μm 、10~15 μm 、8~10 μm 3 组, III 类型包裹体长轴居于前组范围内,较其他包裹体大;

I 类型包裹体大小相差较大,3 组中均大量出现; II 类型则较小,以 8~10 μm 为主。这 3 个组别的包裹体可能代表了 3 个不同的成矿阶段。前组包裹体个体较大,富含 CO₂, 均一温度较高,且主要出现于蚀变花岗岩型矿石中,可能代表早期体型云英岩阶段成矿时,成矿热液“沸腾”造成 CO₂ 等气体逸出所致。中组包裹体大量出现于两类矿石中,可能代表了中高温脉型云英岩阶段。第 3 组包裹体较小,温度相对较低,代表了硫化物成矿阶段。由此可见,据包裹体大小及组别可大致划分区内成矿阶段。

3.2 成矿流体的均一温度、盐度、压力特征

3.2.1 均一温度、盐度及其关系

云英岩脉型和蚀变花岗岩型矿石中矿物流体包裹体的均一温度变化范围相近,相对集中(图 3),主要分布于中高温范围 (180~300℃), 均一温度存在 3 个峰值区。云英岩脉型矿石包裹体均一温度主要位于 130~140℃, 160~200℃, 250~290℃, 平均分别为 130℃、174℃、265℃, 个别可达 420~425℃。蚀变花岗

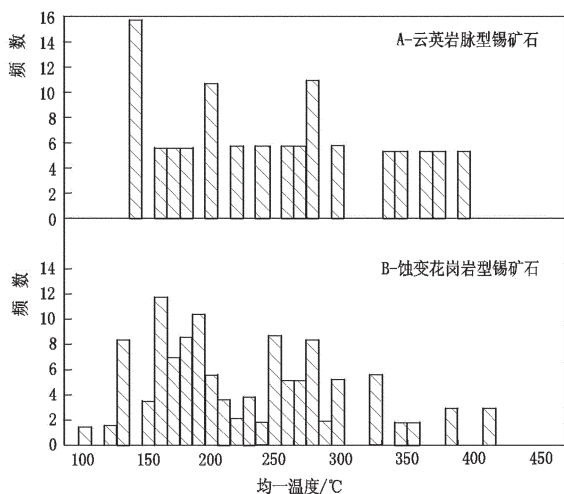


图 3 白沙子岭锡矿床均一温度频率直方图
Fig.3 Frequency histograms of homogenization temperatures for fluid inclusions in tin ores from the Baishaziling tin deposit

岩型矿石包裹体均一温度主要分布于 140~150°C, 190~200°C, 280~290°C, 平均分别为 143°C、195°C、286°C, 个别可达 400°C。由此可推测两类矿床的成矿作用具一致性, 并对应于云英岩(265~286°C)和硫化物(130~195°C)两个成矿期。

根据 Potter 等^[12]的公式计算的盐度可见(表 2), 蚀变花岗岩型锡矿石包裹体流体盐度变化范围为 1.40%~11.22%, 平均值为 4.61%。云英岩型锡矿石包裹体流体盐度变化范围为 1.40%~10.22%, 平均值为 6.06%, 较岩体型矿石略高。由此可见, 两类矿石包裹体流体盐度较低且变化范围相对较大, $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 一般均 < 10%。据 Roedder^[13]研究, 岩浆热液矿床中流体包裹体的盐度一般小于 10%, 与白沙子岭锡矿床吻合较好, 表明白沙子岭锡矿的成矿流体为岩浆热液来源。

将区内流体包裹体的均一温度、盐度数据投于 t_h -NaCl 图中(图 4)可看出, 两类矿石的数据主要集中分布于 2 个区域, 且均远离石盐饱和曲线, 表明属低盐度流体。由此推断, 成矿流体可能存在 2 种流体源, 即 A—中高温、低—较高盐度的流体; B—高温、低盐度的流体。因此, 云英岩脉型和蚀变花岗岩型矿体具有相似的成矿流体源。

3.2.2 压力

利用刘斌等^[14]的压力计算公式 $\text{Ph} = \{ \exp[A_1 + A_2 / (T + A_3) + A_4 \times T + A_5 \ln T + A_6 \times T^2] \} \times 10^{-5}$ ($T = t + 273.15$, t

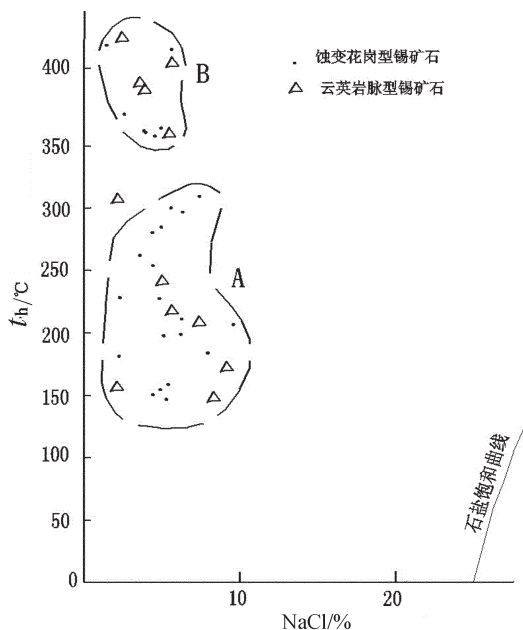


图 4 白沙子岭锡矿床液体包裹体 t_h -NaCl 关系图
Fig.4 t_h -NaCl diagram of fluid inclusions in the Baishaziling tin deposit

为均一温度, °C; A_1 — A_6 为不同流体成分下的常数), 试算了部分流体包裹体均一压力(表 2)。蚀变花岗岩型锡矿石流体包裹体均一压力相差较大, 为 67×10^5 ~ 537×10^5 Pa, 平均 170×10^5 Pa。云英岩脉型锡矿石包裹体均一压力为 89×10^5 ~ 637×10^5 Pa, 平均 277×10^5 Pa, 较蚀变花岗岩型矿石高, 可能为计算时所选择的包裹体代表性不一所致。

4 硫、铅、氢、氧同位素特征

同位素样品由中国地质科学院矿产资源研究所测定。其中硫、氢、氧同位素测试在 MAT251E 质谱仪上进行, 硫化物矿样以 Cu_2O 氧化剂制样, 氢、氧同位素分析方法以爆裂法制水, 锌法制氢, 测试精度执行地质矿产行业标准《同位素地质样品分析方法》(DZ/T0184.X-1997)。

4.1 硫、铅同位素

蚀变花岗岩型矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 0.3‰~2.8‰, 平均 1.8‰; 云英岩脉型矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -2.8‰~0.7‰, 平均 -0.6‰(表 3), 说明两类矿石中硫的来源相对单一。同时, 矿床内含硫矿物主要为黄铁矿, 未发现硫酸盐矿物, 表明成矿热液没有发生强烈的硫同位素

表 3 硫同位素测试结果

Table 3 Sulfur isotopic analyses of some minerals

序号	样品号	矿物名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}/\text{‰}$	岩石类型
1	T1	黄铁矿 ⁺	2.6	蚀变花岗岩型
2	T1	毒砂	1.5	蚀变花岗岩型
3	T3	黄铁矿 ⁺	2.6	蚀变花岗岩型
4	T3	毒砂	2.2	蚀变花岗岩型
5	T5	黄铁矿 ⁺	0.3	蚀变花岗岩型
6	T5	毒砂	1.1	蚀变花岗岩型
7	T9	毒砂	0.9	蚀变花岗岩型
8	T11	黄铁矿 ⁺	2.1	蚀变花岗岩型
9	T11	黄铜矿 ⁺	1.8	蚀变花岗岩型
10	T11	毒砂	2.1	蚀变花岗岩型
11	T12	黄铁矿 ⁺	2.8	蚀变花岗岩型
12	大-6	毒砂	1.4	蚀变花岗岩型
13	大-1	毒砂	0.1	云英岩脉型
14	大-3	毒砂	0.7	云英岩脉型
15	大-2	黄铜矿 ⁺	-0.2	云英岩脉型
16	大-2	闪锌矿 ⁺	-0.7	云英岩脉型
17	大-2	磁黄铁矿 ⁺	-2.8	云英岩脉型

注:由中国地质科学院矿产资源研究所测定,2005。

分馏作用。从围岩蚀变看,主要是云英岩化、绿泥石化、绢云母化等,反映成矿流体为酸性环境,而且从黄铁矿的结晶世代分析,矿石中的黄铁矿最主要的是同一期结晶形成的,说明硫同位素在硫化物不同期次之间的分馏作用也比较弱,所以上述硫化物中

硫同位素组成可能非常接近成矿流体的硫同位素组成。上述硫同位素组成变化范围小,组成稳定,靠近零值,且不超过+8‰,为典型的岩浆来源矿床^[15]。结合矿床特征及本区地质演化特征,可认为白沙子岭锡矿床硫同位素主要来源于围岩——汤市铺超单元二长花岗岩。

两类矿石的铅同位素组成基本一致。其中蚀变花岗岩型矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 18.507~18.8803, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 15.6374~15.6604, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 38.916~39.105。云英岩脉型矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 18.5269~18.6907, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 15.6121~15.6427, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 38.748~38.953(表 4)。将同位素数据投影到 Doe 等^[16]的铅同位素构造模式图中(图 5)可以看出,铅同位素数据落在造山带与上地壳之间,表明铅的来源可能是岩浆来源的造山带与地层中铅相互作用的结果^[15]。

4.2 氢、氧同位素特征

蚀变花岗岩型锡矿石仅测了 1 个样品,云英岩脉型矿石测了 3 个样品。 δD 与 $\delta O V$ 为测试值,按平均捕获温度 290℃,据公式 $\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 3.40$ 计算得 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (表 5)。蚀变花岗岩型锡矿石 δD 为 -79‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 6.64‰。云英岩脉型锡矿石 δD 为 -58‰~-54‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4.14‰~7.64‰。由图 6 可见,成矿流体中水的氢、氧同位素组成投影点远离大气降水线,位于岩浆水范围,对照徐文忻^[17]对锡矿床成矿流体氢氧同位素研

表 4 Pb 同位素测试结果

Table 4 Lead isotopic analyses of some minerals

序号	样号	岩石类型	矿物种类	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$2\sigma/\%$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$2\sigma/\%$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$2\sigma/\%$
1	大-3	云英岩脉型	毒砂	18.6907	0.0007	15.6427	0.0007	38.9530	0.0020
2	大-2	云英岩脉型	磁黄铁矿 ⁺	18.6059	0.0011	15.6121	0.0010	38.7483	0.0027
3	大-2	云英岩脉型	闪锌矿 ⁺	18.5472	0.0019	15.6388	0.0017	38.9188	0.0039
4	大-2	云英岩脉型	黄铜矿 ⁺	18.5269	0.0017	15.6363	0.0015	38.9113	0.0038
5	T3	蚀变花岗岩型	黄铁矿 ⁺	18.8316	0.0025	15.6524	0.0015	38.9834	0.0050
6	T3	蚀变花岗岩型	毒砂	18.5228	0.0008	15.6366	0.0010	38.9164	0.0030
7	T5	蚀变花岗岩型	毒砂	18.8803	0.0050	15.6529	0.0016	39.1055	0.0054
8	T9	蚀变花岗岩型	毒砂	18.5071	0.0014	15.6374	0.0014	38.9191	0.0038
9	T11	蚀变花岗岩型	毒砂	18.5324	0.0013	15.6385	0.0015	38.9205	0.0048
10	T12	蚀变花岗岩型	黄铁矿 ⁺	18.7110	0.0011	15.6604	0.0011	39.0253	0.0035

注:由中国地质科学院矿产资源研究所测定,2005。

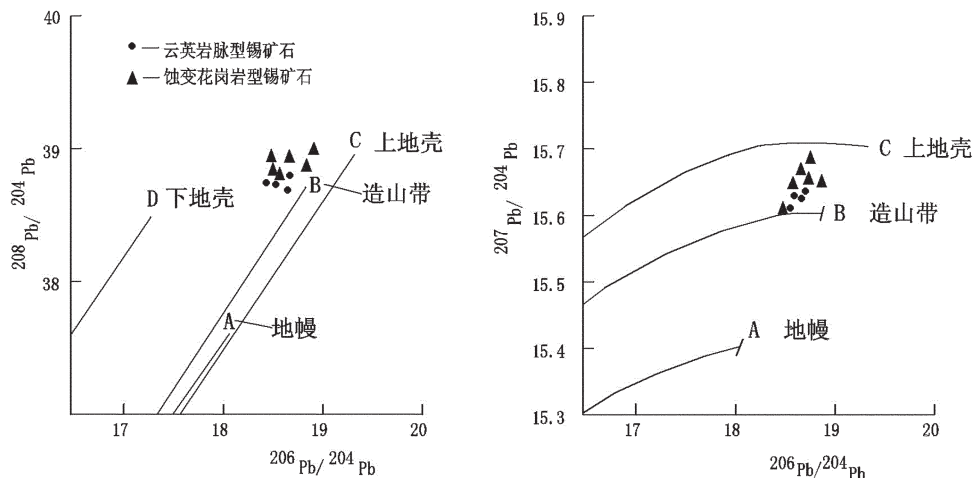


图 5 矿石及硫化物矿物的铅同位素组成图解(底图据 Doe.et al.;1979)

Fig.5 Diagram of lead isotopic composition of ores and sulfide minerals, showing the lead isotope evolution curve (after Doe.et al., 1979)

表 5 H、O 同位素测试结果(‰)

Table 5 Hydrogen and oxygen isotopic analyses of some minerals(‰)

序号	样号	矿物种类	$\delta^{15}D_{V-SMOW}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$	$\delta^{18}O_{H_2O-SMOW}$	岩矿石类型
1	T12	石英	-79	13.9	6.64	蚀变花岗岩型
2	大-1	石英	-54	11.4	4.14	云英岩脉型
3	大-2	白云母	-57	14.9	7.64	云英岩脉型
4	大-7	石英	-58	12.6	5.34	云英岩型

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析,2006。

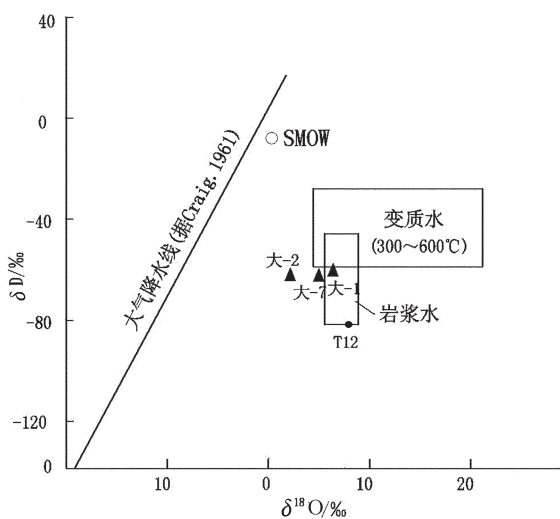


图 6 白沙子岭锡矿床成矿流体水 $\delta^{18}O-\delta D$ 关系图

Fig.6 $\delta^{18}O$ versus δD diagram of water in ore-forming fluids of the Baishaziling tin deposit

究所归纳的流体类型,区内成矿流体水主要为沸腾型岩浆水。

5 矿床成因探讨

5.1 矿床成因分析

通过上述地质、地球化学及成矿条件的分析,对白沙子岭锡矿床的成因作如下总结。

白沙子岭锡矿床属于与大义山汤市铺岩体的多期、多阶段脉动侵位、演化有关,并受构造控制的、以岩浆热液为主的中高温矿床。

硫同位素指示锡矿石的硫来自花岗质岩浆,结合区内成矿特征表明,主要来源于汤市铺超单元介头单元。铅同位素说明矿石中的铅源属于造山带类型,即幔源与壳源的混合来源。北西向邵阳—郴州区域性控矿断裂的左行剪切变形引发的构造动力分异作用是促使岩浆上侵、分异演化的原动力,大

义山岩体的展布形态及晚期成矿单元的分布特征充分说明了这一点。控矿断裂的剪切活动所产生的次级断裂构造成为脉状锡矿脉的重要容矿构造。云英岩脉型和蚀变花岗岩型锡矿脉(体)在空间上的耦合性以及它们的液体包裹体及硫、铅同位素特征的一致性表明,构造和岩浆演化的联合作用是成矿的主要控制因素。

氢、氧同位素特征指示成矿流体主要为沸腾岩浆水。成矿温度为 130~425℃,属中高温范围。盐度、压力变化较大,成矿流体的盐度主要为 1.40%~11.22%,成矿压力为 $67 \times 10^5 \sim 637 \times 10^5$ Pa。正是温度、盐度和压力的强烈波动,一方面造成早阶段包裹体中富 CO_2 ,成矿热液产生“沸腾”现象;另一方面使得成矿介质条件有较大的改变,致使含 Sn 络合物不稳定而分解,Sn 矿物大量沉淀。

据付建明^[18]、丰成友^[19]等对湘南九嶷山矿田大坳和赣南天堂地区岩体型钨(锡)矿成矿时代的研究表明,中生代钨锡成矿和与之密切相关的花岗岩类岩体成岩不存在明显的时差,成矿时代与成岩年龄基本一致,均对应于华南中生代第二次大规模成矿作用。因此,推测本区成矿时代为大义山北体汤市铺岩体的成岩时代,其年龄值为 185~128 Ma。

由上可看出,成矿物质来源、成矿流体来源和成矿时代特点均与本区岩浆构造演化历史吻合。

5.2 成矿作用过程分析

白沙子岭锡矿床的成矿作用过程如下。

本区在经历了古生代—中生代的区域构造演化(褶皱、变质和岩浆活动)的基础上,在燕山早期,伴随邵阳—郴州深大断裂的右旋剪切活动,来自上地幔的岩浆沿该断裂被动上侵至上地壳,使之发生重融,形成富含硅铝质的花岗质岩浆。岩浆侵位具有同源异动,深成浅就特点,通过多次异动侵位,形成多期多阶段复式岩体。由于深大断裂的活动,在早期固结的岩体中应力集中部位产生了一组发辫状次级剪断裂带。随着岩浆进一步演化,富含 Sn 络合物和挥发分(F、S、 H_2O 、As 等)的晚期熔浆异动上侵,在围压减小的环境下,发生残浆沸腾作用,并沿应力集中部位侵位于早期岩体中,同时在侵入体顶部汇聚了大量的含矿气水热液和长英质,在早、晚期单元接触带附近的构造作用相对平稳的部位含矿气液运移以侧向运移为主^[20],残浆发生自变质作用,形成品位较低的蚀变花岗岩型锡矿体,同时伴随残浆逐步冷凝、

结晶形成伟晶岩壳。而在构造作用较强部位,上覆早期岩体断裂、裂隙较发育,围压较小,含矿气热液较封闭环境更加聚集,此时,含矿气热液除发生侧向运移外,伴随强烈的垂向运移。同时,由于晚期岩浆上拱作用,发育于早期单元中的发辫状剪切断裂带发生张扭作用,部分含矿热液沿其充填。在充填过程中,由于物理、化学环境等条件的强烈改变,锡络合物解体,以 SnO_2 形式析出呈浸染状分布于蚀变花岗岩中,形成似层状、帽盖状锡矿体;而在早期断裂带中形成云英岩脉型锡矿脉。从而形成在空间上共生的蚀变花岗岩型和云英岩脉型锡矿脉(体)。

6 讨论与结论

(1)对于锡成矿物质来源,目前有两种观点:一种认为来源于地壳重熔,如骑田岭^[21]、九嶷山大坳钨锡矿区^[22];另一种观点认为来源于上地幔,典型矿床为个旧锡矿床^[23]。近年来,随着对花岗岩及与其有关的锡矿床的研究进展,许多学者越来越认同后一种观点。有的学者^[24]根据锡成矿物质来源的不同,将锡矿床分为壳源型和幔源型两类。通过本区的研究表明,锡成矿物质呈现出多来源,且主要来自上地壳,其次来源于地幔。深部岩浆形成过程中,通过地下热液的对流,萃取了地层中的 W、Sn、Cu、Pb、Zn 等成矿元素,随着岩浆的演化,深源成矿元素与壳源成矿物质混合,共同构成热液系统,并聚集于晚期岩体顶部,在有利的物理化学环境下富集成矿。

(2)对于蚀变花岗岩型(岩体型)锡矿的形成,一般认为,是在稳定的封闭环境下形成,忽视了构造作用。本区研究表明,构造作用对岩体型锡矿的形成有着重要的作用,一方面蚀变花岗岩型锡矿分布于构造应力相对集中的部位,在空间上与云英岩脉型锡矿具有明显的分带性,后者分布于蚀变花岗岩型锡矿的顶部或切割它;另一方面就蚀变花岗岩型锡矿内部结构而言,其中发育细脉状、角砾状锡矿石及透视镜状、块状纯锡石,充分表明构造作用为晚期岩浆上侵和成矿提供了良好的空间。而构造不发育的部位,虽然发育厚达十余米的伟晶岩壳,但蚀变花岗岩型锡矿品位较低,厚度不大,甚至未见工业矿体。

(3)对于分布于蚀变花岗岩型(岩体型)锡矿顶部的云英岩脉型锡矿以往认为主要由岩体上拱张应力作用形成,并建立了“头顶上长毛”的成矿模式^[5,25]。通过对本矿区的研究及野外观察表明,区内云英岩脉

型锡矿脉控矿构造具多期活动特点,并先于蚀变花岗岩型锡矿形成,只是在成矿单元上拱时发生了张扭作用和热液充填成矿作用,并在后期构造作用下切割了蚀变花岗岩型锡矿体。

(4)在蚀变花岗岩型(岩体型)锡矿找矿方面,以往注重于成矿单元的预测和寻找,而往往忽视了构造作用的研究。白沙子岭锡矿成矿特征表明,蚀变花岗岩型锡矿不仅与成矿单元有关,更重要的是有构造的控制。在有利构造叠加部位,蚀变花岗岩型锡矿品位较高,厚度较大,甚至出现高度富集的块状锡矿石,相反,在构造不发育的部位,虽然发育厚大的伟晶岩壳,但锡品位较低,矿体厚度较小。

致谢:行文过程中参阅了国土资源大调查《湖南阳明山—大义山锡锑铅锌矿评价报告》。本项目执行过程中,得到了中国地质调查局宜昌地质研究所有关专家的精心指导,深表谢忱。

参考文献(References):

- [1] 伍光英,潘仲芳,李金冬,等. 湘南大义山花岗岩地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 中国地质, 2005, 32(3):434-441.
Wu Guangying, Pan Zhongfang, Li Jindong, et al. Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in southern Hunan and their relations to mineralization[J]. Geology in China, 2005, 32(3):434-442(in Chinese with English abstract).
- [2] 伍光英,潘仲芳,侯增谦,等. 湘南大义山锡多金属矿田矿体分布规律、控矿因素及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2005, 41(2):6-11.
Wu Guangying, Pan Zhongfang, Hou Zengqian, et al. Ore body distribution pattern, ore-controlling factors and prospecting potentiality in the Dayishan tin posite, Hunan Province [J]. Geology and Prospect, 2005, 41(2):6-11(in Chinese with English abstract).
- [3] 周厚祥,杨贵花,蒋中和,等. 大义山锡矿田矿床地质特征及矿床成因[J]. 华南地质与矿产, 2005(2):87-94.
Zhou Houxiang, Yang Guihua, Jiang Zhonghe, et al. Geological characteristics and origin of the Dayishan tin ore field in Nanling region[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005(2): 87-94(in Chinese with English abstract).
- [4] 龚述清,黄革非,胡志科,等. 大义山岩体东南部锡矿类型及找矿远景浅析[J]. 华南地质与矿产, 2002(1):67-72.
Gong Shuqing, Huang Gefei, Hu Zhike, et al. Types and exploration prospecting of tin deposits in southern Dayishan granite body [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002(1): 67-72(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘铁生. 大义山矿田岩体型锡矿地质特征及矿床成因 [J]. 中国地质, 2002, 29(4):411-415.
Liu Tiesheng. Geological characteristics and genesis of rock-type tin deposit in the Dayishan ore field[J]. Geology in China, 2002, 29(4): 411-415(in Chinese with English abstract).
- [6] 湖南区域地质调查所. 湖南花岗岩单元—超单元划分及其成矿专属性[J]. 湖南地质, 1995, 8(增刊).
Hunan Institute of Regional Geological Survey. The mineralization poverty and units and super-units partition of the granite in Hunan Province [J]. Geology of Hunan, 1995, 8 (supp.)(in Chinese with English abstract).
- [7] 柏道远,黄建中,王先辉,等. 湖南邵阳—郴州北西向断裂左旋走滑暨水口山—香花岭南北向构造成因[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 56-63.
Bai Daoyuan, Huang Jianzhong, Wang Xianhui, et al. Sinistral strike-slip motion of the NW-trending Shaoyang-Chenzhou fault and genesis of the N-S-trending Shuikoushan-Xianghualing tectonic zone in Hunan [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):56-63 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京:科学出版社, 1973.
Li Siguang. Introduction to Geomechanics [M]. Beijing: Science Press, 1973(in Chinese with English abstract).
- [9] 彭和求,伍光英. 湘南“大义山式构造”的厘定及地质意义[J]. 湖南地质, 2000, 19(2):87-89.
Peng Heqiu, Wu Guangying. Determination of “Dayishan-style structure” in southern Hunan and its geological significance[J]. Geology of Hunan, 2000, 19(2):87-89(in Chinese with English abstract).
- [10] 李福顺,符海华. 大义山云英岩脉型锡矿容矿构造特征[J]. 华南地质与矿产, 2002, (1):29-33.
Li Fushun, Fu Haihua. Characteristics of host structures of greisen vein-type tin orebodies in Dayishan orefield [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002, (1):29-33 (in Chinese with English abstract).
- [11] 杜方权,王伏泉,王开怡,等. 构造成矿与找矿—以香花岭至千里山一带及其邻侧地区为例[M]. 北京:地质出版社, 1991:75-77.
Du Fangquan, Wang Fuquan, Wang Kaiyi, et al. Structural Mineralization and Prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:75-77(in Chinese with English abstract).
- [12] Potter R W II, Clyne M A, Brown D L. Freezing Point depression of aqueous sodium chloride solution [J]. Geol., 1978, 73 (2):284-285.
- [13] Roedder E. Fluid inclusions as samples of ore fluids [C]//Barnes H L (ed.). Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (2nd edn). New York: John Wiley & Sons, 1979:684-737.
- [14] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999:47.
Liu Bin, Shen Kun. Fluid Inclusion Thermodynamics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:129 (in Chinese with English abstract).
- [15] 陈柏林,杨屹,王小凤,等. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因[J]. 矿床地质, 2005, 24(2):168-175.
Chen Bailin, Yang Yi, Wang Xiaofen, et al. Origin of Dapinggou gold deposit in northern Altun area, northwestern China[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2):168-175(in Chinese with English abstract).

- [16] Doe B R, Zartman R E. Plumbotectonics 1. the phanerozoic[C]// Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposit 2nd. Wiley interscience; 1979, Chap 2; 22-70.
- [17] 徐文忻. 我国锡矿床的同位素地球化学的研究 [J]. 矿产与地质, 1995, 9(1):1-11.
Xu Wenxin. Study of isotopic geochemistry to tin deposit in our country [J]. Mineral Resource and Geology, 1995, 9 (1):1-11 (in Chinese with English abstract).
- [18] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究[J]. 中国地质, 2007, 34(4):651-656.
Fu Jianming, Li Huaqin, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotope of the Da'ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi mountains, southern Hunan province [J]. Geology in China, 2007, 34(4):651-656 (in Chinese with English abstract).
- [19] 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 等. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据 [J]. 中国地质, 2007, 34(4):642-650.
Feng Chengyou, Feng Yaodong, Xu Jianxiang, et al. Isotope chronological evidence for upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi [J]. Geology in China, 2007, 34(4):642-650 (in Chinese with English abstract).
- [20] 金明霞, 王洁民, 高锦曦. 残浆沸腾与锡钨成矿作用 [J]. 地球学报, 1999, 20(3):265-271.
Jin Mingxia, Wang Jiemin, Gao Jinxi. Ebullition of the residual magma and Sn - W mineralization [J]. Journal of the Earth, 1999, 20(3):265-271 (in Chinese with English abstract).
- [21] 汪雄武, 王晓地, 刘家齐, 等. 湖南骑田岭花岗岩与锡成矿的关系 [J]. 地质科技情报, 2004, 23(2):1-12.
Wang Xiongwu, Wang Xiaodi, Liu Jiaqi, et al. Relationship of Qitianling granite to Sn mineralization in Hunan Province [J]. Geological Science and Technological Information, 2004, 23 (2):1-12 (in Chinese with English abstract).
- [22] 刘树生, 曾志方, 赵永鑫. 湖南道县大坳岩体型钨锡矿床地质特征与成因探讨 [J]. 中国地质, 2007, 34(4):657-667.
Liu Shusheng, Zeng Zhifang, Zhao Yongxin. Study of geological characteristics and genesis of Da'ao rock body-tungsten-tin deposit in Daoxian county, Hunan Province [J]. Geology in China, 2007, 34(4):657-667 (in Chinese with English abstract).
- [23] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 锡矿床与基性岩超基性岩的关系探讨 [J]. 中国工程科学, 2005, 7(增刊):269-274.
Li Yingshu, Qin Dexian, Dang Yuta, et al. Research on relation between tin ore deposit and basic-Ultrabasic rocks [J]. Engineer Science in China, 2005, 7(supp.):269-274 (in Chinese with English abstract).
- [24] Shchelov A D. Tin ore deposit and metallogeny [J]. Global Tectonics and metallogeny, 1991, 4(2):69-74.
- [25] 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖, 等. 南岭花岗岩地质学 [M]. 北京:地质出版社, 1980:231-232.
Mu zhusun, Ye baidan, Pan Weizu, et al. Geology of Granite in Nanling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980:231-232 (in Chinese with English abstract).

Geological and geochemical characteristics and genesis of the Baishaziling tin deposit, Guiyang County, Hunan

ZENG Zhi-fang^{1,2}, ZENG Zuo-xun¹, ZENG Yong-hong², ZHOU Jian-lin², HU Cai-Zhi¹

(1. Graduate School of China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. No. 418 Party, Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Luodi 417000, Hunan, China)

Abstract: The Baishaziling tin deposit is hosted in the Dayishan composite granite body. Two types of tin deposit, altered granite type and greisen vein type, are distinguished, and they occur in association with each other in space. The paper discusses the genesis and ore-forming processes of the deposit according to the geological setting and geological characteristics of the deposit and the results of isotope and inclusion analyses. Pb isotope study shows that ore-forming materials of tin were derived from the mixed source of mantle and crust. Hydrogen and oxygen isotope features indicate that ore-forming fluids were mainly boiling magmatic water. Coupling of altered granite-type and greisen vein-type tin ore veins and consistency of their fluid inclusion and sulfur and lead isotope features show that the combined effect of tectonism and magmatic evolution was the main controlling factor for mineralization. With temperatures of 180–425°C, a salinity of 1.40–11.22% and pressures of $(67-537) \times 10^5$ Pa, the Baishaziling tin deposit is a mesothermal-hypothermal deposit.

Key words: altered granite-type; greisen vein-type; geology and geochemistry; genesis; Baishaziling

About the first author: ZENG Zhi-fang, male, born in 1968, senior engineer and doctor candidate, engages in geological management and research; E-mail: zengzhifanghn@163.com.