

湖南道县大坳岩体型钨锡矿床地质特征 与成因探讨

刘树生^{1,2} 曾志方^{1,2} 赵永鑫¹

(1. 中国地质大学, 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:大坳岩体型钨锡矿床赋存于金鸡岭复式花岗岩体内。通过矿床成矿地质背景和矿床地质特征的阐述, 运用 Pb、S、H、O 同位素测试成果, 探讨了矿床成因, 初步总结了矿床成因模式。认为该矿床是与区内多期次构造活动和岩浆脉动侵位、演化有关。矿床形成温度为 260~340℃, 成矿热液盐度为 0.88%~11.22%, 成矿压力为 862×10^5 Pa, 成矿深度为 2~3 km。矿床属中—高温交代成因矿床。

关键词:岩体型钨锡矿床; 成矿岩体; 成因; 大坳; 湖南

中图分类号: P618.67; P618.44

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2007)04-0657-11

国土资源大调查开展以来, 南岭地区发现了骑田岭^[1]、大义山^[2]、锡田^[3]等一批具大型、超大型规模的钨锡矿床。大坳矿区是继大义山师茅冲钨矿^[4]发现的又一具大型规模、以岩体型为主的钨锡矿床。该类型矿床具单个矿体规模较大, 品位中等, 矿石可选性较好等特点, 成为近年来南岭大型复式花岗岩体内钨锡找矿的主攻类型之一。因此, 对其成因机理的研究为许多学者所重视。根据岩体型矿床的空间产出特征, 一些学者^[5,6]认为矿床与岩浆期后气—热液交代作用密切相关, 矿化受岩浆上拱或前锋部位的原生节理及多期活动形成的小断层、节理裂隙等控制^[6]。曾志方等^[7,8]从构造角度探讨了大坳矿区矿化形成机制; 一些科研院所对区内成矿规律进行了研究, 提出了“断裂构造+晚期岩体+岩浆热液”的成矿模式^①。笔者通过同位素测量、包裹体测温等工作, 对大坳钨锡矿床地质特征和成因进行了较深入的研究, 对南岭地区钨锡找矿具有重要的实际和理论意义。

1 地质背景

矿区位于南岭纬向构造带中段的九嶷山复式花岗杂岩带金鸡岭岩体西部, 北东向炎陵—蓝山壳断裂、北西向新宁—道县基底断裂及东西向铜山岭—九嶷山基底断隆带的交汇部位(图 1)。据付建明等^[9]研究, 本区深部构造处于扬子

板块与华夏陆块接合部附近。

地层除志留系、古近系外, 震旦—第四系均有出露。震旦—寒武系为一套巨厚的海相复理石建造, 普遍浅变质, 构成了九嶷山隆起, 岩石中成矿元素丰富, 钨、锡、铅的含量高于地壳平均值几倍至几十倍, 平均含量分别为 4.7×10^{-6} 、 8.6×10^{-6} 、 57.6×10^{-6} 。泥盆—三叠系为浅海相碳酸盐岩夹海陆交互碎屑岩, 构成了第一盖层, 分布于隆起边缘坳陷区。侏罗—白垩系为内陆湖泊相红色碎屑岩, 构成了第二盖层, 分布于 NNE 向断陷盆地中。

区内岩浆活动频繁, 志留纪—晚侏罗世均有出露, 呈近东西向分布于九嶷山隆起核部, 构成了九嶷山复式岩体。中侏罗世金鸡岭岩体为主要赋矿岩体, 具多期脉动侵位特征, 依岩石谱系单位自早到晚划分为鸟岫岭 (J_2N)、茶园头 (J_2CH)、黄河 (J_2H)、平山 (J_2P)、凉亭坳 (J_2L)、羊角冲 (J_2Y) 6 个单元。

区域内构造复杂。前泥盆纪基底构造为 NE 向的断褶皱带, 泥盆—三叠纪盖层构造为近 SN 向, 构造型式表现为断裂与复式褶皱相间发育; 白垩纪盖层构造以 NNE 向断裂为主, 褶皱不发育, 该组断裂构造迁就改造早期构造, 形成 NNE—近 SN 向断裂构造, 控制了区内钨锡多金属矿的展布。

收稿日期: 2007-02-12; 改回日期: 2007-04-20

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (200110200024) 资助。

作者简介: 刘树生, 男, 1963 年生, 硕士生, 高级工程师, 从事地质矿产勘查管理与研究工作; E-Mail: liushusheng418@163.com。

①秦松贤, 等. 湖南九嶷山—姑婆山钨多金属矿成矿规律研究. 中国地质大学(武汉), 2006.

2 矿床地质特征

2.1 成矿岩体

区内出露均为花岗岩，自早至晚为金鸡岭超单元黄河(J₂H)与凉亭坳(J₂L)单元，岩性为粗中粒—微细粒斑状黑(二)云母二长花岗岩，为主要赋矿围岩(图1)。钻探揭露深部见晚期羊角冲单元(J₂Y)细粒二云母二长花岗岩，呈岩株状隐伏产出，为区内主要成矿单元^[11,12]，岩石中微量元素W、Sn含量高，分别是其他单元的24~419倍和2~12倍，富集系数分别为476和88.2；岩石中低熔组分或活性组分¹³SiO₂、Al₂O₃、Na₂O、K₂O含量较高(占95%以上)，基性组分FeO、MgO、CaO较低，TiO₂极低(几乎为零)，挥发分F含量较高，为1650×10⁻⁶，重砂矿物黑钨矿含量达192.06 g/t，锡石为2.00 g/t，为成矿提供了丰富的矿化剂和成矿物质。

2.2 控矿构造

区内构造以发育的NNE—近SN向断裂(F1~F4)为主干

构造，伴随次级NE向、NW向断裂和节理裂隙构造。

F2、F3断裂为主要导矿构造^[8]，大坳岩体型钨锡矿分布于两断裂的扶持断块内(图1)。区域上沿断裂带从南往北依次分布了狮子头、大坳钨锡矿和沙子岭、小蓬江、癞子山铅锌多金属矿等高中温矿床。断裂走向355~30°，倾向E-SEE，倾角较陡，为65~85°。区内走向长度620~1300 m，往南、北均延出矿区，倾向延深达200 m以上。破碎带宽2~15 m，由硅化花岗岩、次生石英岩、构造角砾岩、碎裂化花岗岩及网状石英脉等组成，局部发育断层泥。镜下见构造角砾岩具二次破碎，角砾略显定向排列，其间为糜棱质的长石、石英等细小矿物及次生石英脉(团块)充填，石英见强波状消光、变形纹等亚结构，黑云母变形亚结构如膝折等十分发育，表现出断裂以压性或压扭性为主的多次活动特征。

岩体型钨锡矿的容矿构造主要为弧形裂隙带。弧形裂隙带是指由一组产状平缓、近平行产出的弧形裂隙构成的构造型式，各裂隙在剖面上自上而下等间距叠置分布，主要呈隐

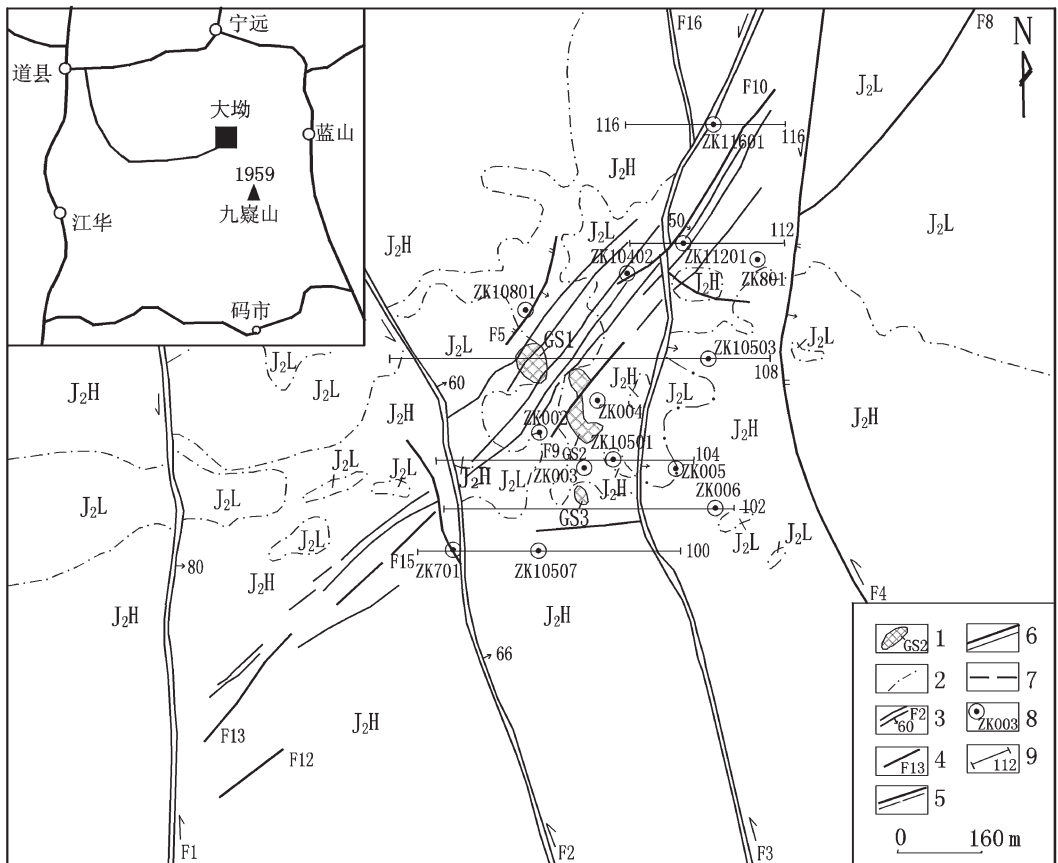


图1 大坳钨锡矿区地质简图

J₂H—黄河单元;J₂L—凉亭坳单元;1—云英岩体露头及编号;2—花岗岩脉动接触界线;3—硅化破碎带编号及产状;4—性质不明断层及编号;5—壳断层;6—基底断裂;7—断隆带;8—钻孔及编号;9—勘探线及编号

Fig.1 Geological sketch map of the Da'ao tungsten-tin ore area

J₂H—Huanghe unit;J₂L—Liangting'ao unit;1—Outcrop of greisen body and number;2—Line of contact of granite pulsation;3—Silicified loosened belt;4—Fault and number;5—Crustal fault;6—Fundamental fault;7—fault;8—Drill hole;9—exploration line

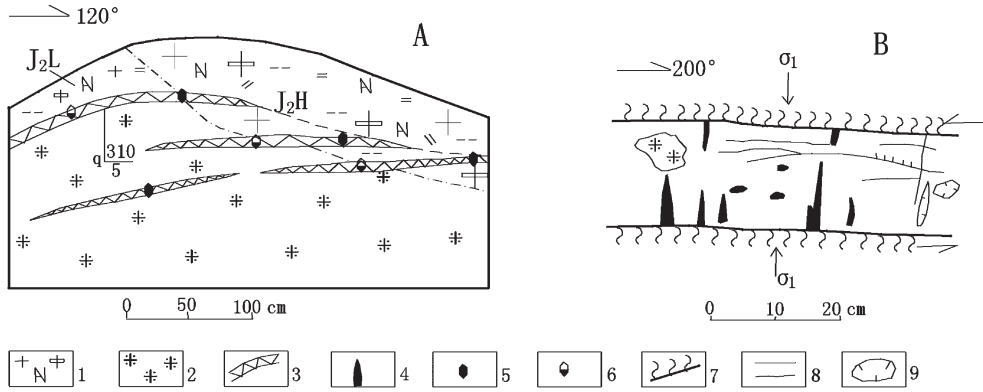


图 2 云英岩及长英质脉产状特征素描图

A—长英质脉分布特征 (PD2-YM2); B—长英质脉内部构造素描图; 1—钠化花岗岩; 2—云英岩; 3—长英质脉; 4—黑钨矿细脉; 5—黑钨矿; 6—锡石; 7—铁锂云母; 8—节理; 9—晶洞; J₂L—凉亭坳单元; J₂H—黄河单元; ρ_1 —最大压应力

Fig.2 Sketch showing the modes of occurrence of greisen and felsic veins

A—Distribution characteristics of felsic veins (PD2-YM2); B—Sketch of the internal structure of felsic veins; 1—Sodic granite; 2—Greisen; 3—Felsic; 4—Wolframite veinlets; 5—Wolframite; 6—Cassiterite; 7—Zinnwaldite; 8—Joni; 9—Geode; J₂L—Liangting'ao unit; J₂H—Huanghe unit; ρ_1 —maximum compressional stress

伏—半隐伏分布于矿区中部 F2 与 F3 断裂所挟持的早期花岗岩断块内,由岩体侵入、固结后,在近东西向挤压应力和晚期岩体上拱应力共同作用下,在早期单元花岗岩体 (J₂H J₂L) 中产生了一组剖面上的共轭剪节理相互迁就利用而形成^[6]。沿裂隙充填云英岩、伟晶岩、长英质脉等岩脉 (图 2-A)。石英脉脉壁对称发育 S 形铁锂云母细晶,显示其剪切成因特征 (图 2-B)。

经大量钻探及硃探揭露显示,弧形裂隙带呈走向近 SN,向 E、W 倾斜的似穹状展布。目前已控制南北断续长约 880 m,东西宽 200~500 m,弧顶呈桥拱形,略向西倾。弧形裂隙带往往为 NE 向断裂切割。

2.3 矿床地质

2.3.1 含矿蚀变体

蚀变体是一个由云英岩、蚀变花岗岩及长英质脉等组成的含钨锡多金属矿的矿化蚀变体,地表仅出露 3 处 (GS1-3) (图 1),往深部汇成一体,呈似穹状产出,走向近 SN,向四周倾斜,倾角较平缓,顶部一般 15~35°,往两侧变陡,为 45~52° (图 3)。主要分布于黄河 (J₂H) 及凉亭坳单元 (J₂L) 中,沿 F2 与 F3 断裂所挟持的断块展布,地表为 NE 向断裂切割 (图 1)。控制走向长 950 m,倾向最大宽 495 m,倾斜延深最大达 600 m 左右。

云英岩和蚀变花岗岩在垂向上和走向上相互更替,逐渐过渡,沿走向或倾斜方向呈似层状,并呈指状分叉尖灭。云英岩多分布于 600 m 标高以上,共有 6 个云英岩,呈脉状或透镜状,由地表向深部重叠分布,云英岩为钨锡矿体的主要载体,可直接构成矿体。蚀变花岗岩对称分布于云英岩的两侧,蚀变类型主要有云英岩化、钠化、钾化等。其中见菱块状花岗岩残留体,岩性主要为微细—粗中粒斑状二 (黑) 云母二长花

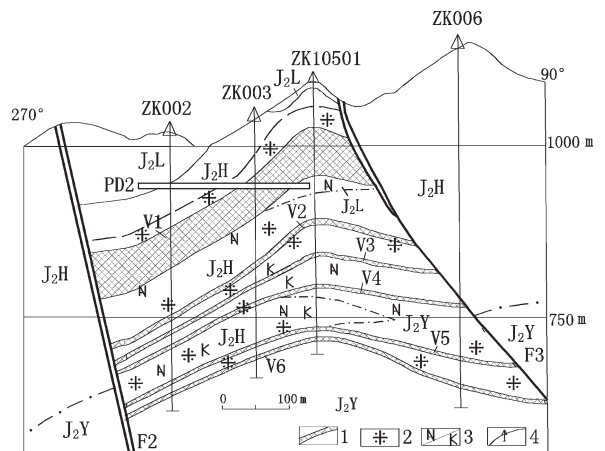


图 3 大坳矿区 104 线剖面图

J₂Y—羊角冲单元; J₂L—凉亭坳单元; J₂H—黄河单元; F₂—断裂; 1—钨锡矿体; 2—云英岩化; 3—钠化/钾化; 4—钻孔位置; V1-6—矿体编号

Fig.3 Section along line 104 in the Da'ao ore district

J₂Y—Yangjiaochong unit; J₂L—Liangting'ao unit; J₂H—Huanghe unit; F₂—Fault; 1—Tungsten-tin orebody; 2—Greisenization; 3—Sodic-potassic alteration; 4—Location of drill hole; V1-6—Orebody and its number

岗岩 (J₂H J₂L), 其次为细粒二云母二长花岗岩 (J₂Y)。由此可见,蚀变体主要由早期花岗岩体蚀变而成。蚀变体顶部发育近水平产出的含钨锡长英质岩脉构成的似伟晶岩壳,脉带厚数十厘米至数十米不等,由粗晶石英 (80%~95%)、微斜长石 (5%~15%)、白云母 (2%~5%)、锡石、黑钨矿 (1%~5%) 等组成,常破碎成角砾状。镜下见石英呈粗大的粒状变晶,彼此紧密相嵌,并大致作定向分布,石英变形亚结构十分发育,见一组发育的变形纹,波状消光,显示压扭成因特征。

2.3.2 矿体特征及矿化空间分布规律

矿体分布于含矿蚀变体中,与围岩呈逐渐过渡。目前已控制矿体 11 个,除 V1 号矿体呈半隐伏状产出外,其余矿体均隐伏于深部。在平面上主要出露于 F2 与 F3 断裂间,各露头呈近 SN 向展布。在剖面上,矿体分别以 F3 与 F2 为东、西边界,发育于两断裂间的蚀变体内(图 3)。在垂向上矿化深度较大,矿体垂向延伸达 600 m 以上。矿体形态、产状与蚀变体具一致性。矿体主要由含钨锡长英质脉、云英岩及蚀变花岗岩等组成,三者呈现出规律性变化,长英质脉分布蚀变体顶部。走向上常为 NE 向断裂切错,破坏了其完整性。

矿体规模较大,单条矿体沿走向延长一般 600~760 m,最长可达 940 m,倾向控制长 120~370 m,最长 444 m;平均厚 2~21 m;规模小的矿体走向长仅数十米,倾向延深数米,厚 1~2 m。

矿体沿走向和倾向厚度、品位变化较大。沿走向单个矿体厚度可相差数十倍,如 V1 号矿体最厚达 78.29 m,较薄处仅为 1.40 m,矿体胀缩现象明显;两个样品之间的 Sn、WO₃ 含量相差可达十多倍,且两者呈此消彼长,钨、锡矿体出现显著重叠;在长英质脉发育地段,矿石品位呈现局部增高,显示其后期矿化叠加作用。沿厚度方向,脉幅与品位一般表现为正相关。矿体呈透镜状、板状、脉状,沿走向分支复合,尖灭侧现、再现现象可见。

剖面上,矿体成带状分布,自上而下可分为 3 个脉带,脉带间距 50~60 m,上带(V1 号矿体)呈巨厚板状-凸透镜体状,矿化以钨为主;中带(V2-V4 号矿体)为厚板状,钨锡共生;下带(V5-V11 号矿体)为脉状、薄-厚板状,以锡为主。由此形成上富钨、下富锡的分带现象。

2.3.3 矿石及结构构造特征

矿石类型主要有云英岩型和石英脉型(钨)锡矿石两大类,以前类矿石为主。这两类矿石分别产于蚀变体的不同部位,石英脉型(钨)锡矿石主要分布于蚀变体顶部,往下逐渐不发育;云英岩型钨(锡)矿石分布于上部;云英岩型(钨)锡矿石则主要分布于下部。由此自上而下呈现出石英脉型(钨)锡矿石→云英岩型钨(锡)矿石→云英岩型(钨)锡矿石的变化规律。云英岩型(钨)锡矿石沿走向或倾向呈相互过渡,局部还可见相互包含的现象。云英岩型矿石间分布蚀变花岗岩型(钨)锡矿石。

矿石具鳞片变晶结构、变余斑状结构与交代结构、自形、半自形结构、他形晶结构;块状构造、星散浸染构造等。

2.3.4 围岩蚀变

蚀变种类主要有云英岩化(矿化阶段)、钾长石化、钠长石化、黄玉化、硫化物化、硅化、绢云母化、绿泥石化等。

云英岩化与钨锡矿化关系最为密切,主要呈面状沿缓倾斜节理裂隙分布,其次呈脉状发育于陡倾裂隙中,蚀变深度可达数十米至百余米,宽可达数百米。

钠化、钾化往往与云英岩化密切共生,由云英岩向外依次分布。

2.3.5 成矿阶段及矿物共生组合

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 I 期矿化为主成矿期,规模和分布范围较大,矿化较强;第 II 期矿化分布范围较小,规模强度有所减弱;第 III 期明显较前两期减弱,仅局部发育。

(1) 体型云英岩期(I)

包括铁锂云母黄玉锡石黑钨矿阶段(1)与黑钨矿锡石石英长石脉阶段(2),第 2 阶段矿化穿插切割前阶段矿化。矿物组合为铁锂云母-石英-黄玉-白云母-黑钨矿-锡石,其次见辉钼矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等少量硫化物。第 2 阶段矿物组合与第 1 阶段基本相同,但硫化物极少见。本期矿化中黑钨矿、锡石晶形一般发育较好,自形度高,晶体粗大,显示该阶段矿化极强。

(2) 云英岩-石英脉期(II)

矿化明显切割含矿蚀变体及平缓长英质脉,主要发育于蚀变体上部。矿物组合为石英-铁锂云母-黄玉-白云母-钾长石-黄铁矿-黄铜矿-铁闪锌矿-黑钨矿-锡石。黑钨矿、锡石自形度较高,颗粒粗大,硫化物较发育。

(3) 硫化物期(III)

以硫化物为主,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(4)和黄铁矿铅锌矿化阶段(5),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 矿床成因探讨

3.1 成矿物质来源

(1) 硫同位素

围岩花岗岩与矿石(石英脉和云英岩)毒砂、黄铁矿中 S 同位素值相差不大,数据相近(表 1)。石英脉只有一个样品, $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 为 -0.8‰;云英岩有 6 个样品, $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 为 -1.7‰~-2.4‰,平均 0.4‰,较集中,其值与石英脉相近。说明硫源比较单一,成矿环境和物理化学条件较为稳定;同时矿石中含硫

表 1 硫同位素测试结果

Table 1 Sulfur isotopic analyses of some minerals

序号	样品号	矿物名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}\text{‰}$	岩矿石类型	资料来源
1	PD2-TW1	毒砂	3.7	花岗岩	本文
2	PD2-TW2	黄铁矿	-0.8	石英脉型	本文
3	PD2-TW3	黄铁矿	2.4	云英岩型	本文
4	PD2-TW4	黄铁矿	1.2	云英岩型	本文
5	MD2-TW1	黄铁矿	-1.2	云英岩型	本文
6	MD2-TW1	毒砂	-0.7	云英岩型	本文
7	MD8-TW3	毒砂	-1.7	云英岩型	本文
8	MD8-TW3	闪锌矿	2.4	云英岩型	本文
9		毒砂	2.8	花岗岩	

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析,2005;序号 9 引自 1:5 万沱江镇、洪塘营矿区调报告,1995。

矿物主要为黄铁矿、毒砂和闪锌矿,未见硫酸盐矿物,表明成矿热液没有发生强烈的硫同位素分馏作用。花岗岩 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 较稳定,为 2.8‰~3.7‰,平均 3.3‰,在壳源同熔型花岗岩的 S 同位素组成范围内^[14]。对比矿石与花岗岩硫同位素值可见,两者 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值相近,表明成矿物质来源于花岗岩,且两者有相近的缘源关系。

(2) 铅同位素

矿石(云英岩)的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.8573~18.7108, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.7622~15.7624, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 39.0311~39.0773; 矿体围岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.599~18.829, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.685~15.751, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.822~39.054; 花岗岩的围岩浅变质砂岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.803, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.806, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ = 39.390, Pb 同位素组成较集中,为单阶段正常铅(表 2)。由铅同位素图解(图 4)可看出,样品均位于上地壳铅同位素平均演化曲线附近,表明岩浆岩和矿石铅均来源于上地壳,与金鸡岭岩体的地壳重熔成因吻合^[15]。因此,区内成矿物质最终来源于上地壳。

3.2 流体包裹体特征及成矿条件

流体包裹体是封闭在矿物中的成矿流体,是矿床成因研究的理想客体。对流体包裹体特征的研究,可以探讨矿床的成矿物化条件及热流体、热动力的来源。

(1) 石英流体包裹体一般特征

矿区石英脉型钨锡矿石的石英样品中流体包裹体比较发育,包裹体的形态多样,有负晶形状,不规则状,但最多的为似椭圆状。包裹体的大小一般为 5~10 μm , 偶见大者可达 15 μm 。原生包裹体在主矿物中随机分布,包裹体中流体为气液包裹体,在所观测的薄片中共未见富 CO_2 包体和含子矿物包裹体,而且流体的气相所占包体体积均小于 10%,多数为 5%~6%。

(2) 成矿温度与压力

含矿石英脉中 120 个包裹体的均一温度在 135~425℃之间,大量集中在 260~390℃,仅一个包体均一温度达 425℃,其算术平均值为 280℃(表 3),基本上属于中—高温范畴。均一温度是矿物形成可能的下限温度,而矿物结晶的温度肯定高于此温度区间,所以估计大量流体被捕获的温度居于中—高温热液矿床的范围。从温度分布范围来看,石英的形成大致有二期,即中温阶段(425~320℃),相当于含矿云英岩形成阶段,此阶段为主成矿阶段,黑钨、锡石自热液中析出;中低温阶段(320~135℃),相当于硫化物形成阶段,形成了黄铁矿、黄铜矿、毒砂、铁闪锌矿等硫化物。

利用刘斌等^[16]的压力计算公式,求得流体包裹体均一压力为 $6 \times 10^5 \sim 209 \times 10^5 \text{ Pa}$ 范围(表 3)。目前没有得到另一种独立的指示矿物形成的温度。如果按以往对石英测定的均一温

表 2 Pb 同位素测试结果
Table 2 Lead isotopic analyses of some minerals

序号	样品号	矿物种类	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ %	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ %	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ %	资料来源
1	PD2-TW3	云英岩	18.8573	0.0015	15.7624	0.0014	39.0773	0.0041	本文
2	PD2-TW4	云英岩	18.7108	0.0014	15.7622	0.0013	39.0311	0.0039	本文
3	D131-1	花岗岩	18.829	0.001	15.744	0.001	39.054	0.003	参考文献[22]
4	D141-1	花岗岩	18.599	0.001	15.685	0.001	38.822	0.004	参考文献[22]
5	D142-1	花岗岩	18.661	0.001	15.751	0.001	39.054	0.003	参考文献[22]
6		变质砂岩	18.803	0.014	15.806	0.009	39.390	0.024	

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析,2005;序号 6 引自 1:25 万道县幅区调报告,2004。

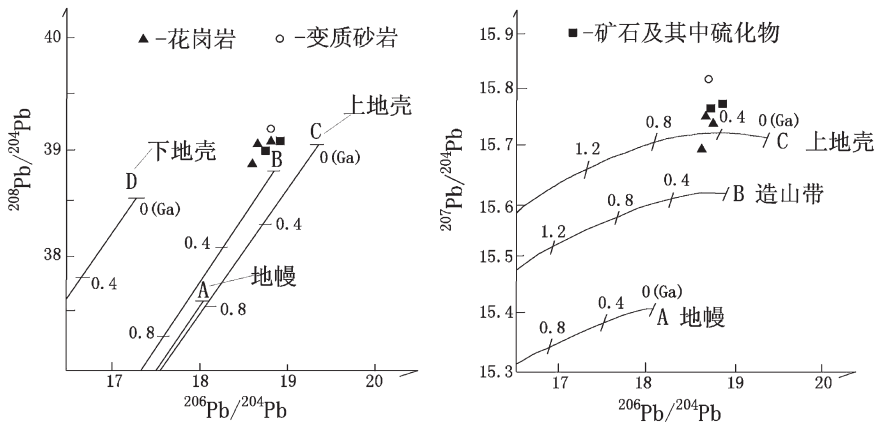


图 4 矿石及硫化物的铅同位素组成图解(底图据 Doe et al.1979)

Fig.4 Lead isotope composition of ores and sulfide minerals (after Doe et al., 1979)

表 3 流体包裹体显微测温结果

Table 3 Microthermometric data of fluid inclusions in the Da'ao tungsten-tin deposit

样号	长轴长/ μm	气液比	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷冻温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\omega(\text{NaCl})/\%$	$\rho\text{ g/cm}^3$	$p/10^5\text{Pa}$
PD2-TW2	6	7	295				
	6	7	330	-4.2	6.74	0.88	125
	7	10	286	-3.8	6.16		
	6	7	287	-3.5	5.71		
	5	7	354	-6.6	9.98	0.936	152
	7	7	425				
	5	5	197	-4	6.45	0.917	16
	5	5	410				
	5	5	255				
	5	5	160				
	5	5	421				
	6	7	315	-1.3	2.24	0.864	
	6	7	323	-0.8	1.4	0.864	112
	5	7	302	-0.5	0.88	0.784	83
	5	5	370	-1.1	1.91	0.873	206
	8	7	337				
	5	5	358				
	PD2-TW7	5	7	186			
5		5	237				
6		7	161				
10		10	172				
5		5	285				
6		5	283				
8		10	167	-6.1	9.34	0.968	8
8		10	192	-7.6	11.22	0.958	12
6		7	290	-4.9	7.73	0.934	74
5		5	186	-3.5	5.71	0.924	12
5		6	159	-3.1	5.11	0.948	6
6		7	252				
5		6	180				
5		6	177				
5		5	296				
7		7	193				
5		6	162				
5		6	175				
7		7	188				
8		10	390	-3.04	5.56	0.918	209
6		7	336	-2.6	4.34	0.964	138
6		7	340	-3.1	5.11	0.965	141
6		7	396	-0.8	1.4	0.85	207
7		10	333	-2.1	3.55	0.849	129
7		10	236	-2.5	4.18		
5		7	198				
5		7	287				
6		10	181				
6		10	291				
7		10	425				
6		7	190				
6		7	422				
5		5	173				
8		10	271	-3.6	5.86	0.941	55
5	7	275	-4	6.45	0.941	58	
5	7	163					
7	7	260	-2.9	4.8	0.945	46	
5	7	282					
5	5	246	-2.1	3.55	0.95	36	
10	10	266					
6	7	278					
10	10	362					
5	7	420					
6	7	265					
8	10	265					
15	10	272					
8	10	196					
PD1-TW3	7	10	242	-1.6	2.74	0.949	34
	6	7	235	-0.9	1.57	0.948	28
	5	7	259	-1.3	2.24	0.951	47
	5	7	261	-3.6	5.86	0.929	49
	5	7	173	-2.6	4.43	0.935	8
	10	10	231				
	5	5	260				
	8	10	265				

续表 3

样号	长轴长/ μm	气液比	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷冻温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\omega(\text{NaCl})/\%$	$\rho/\text{g}/\text{cm}^3$	$p/10^5\text{Pa}$
	6	7	266	-1.3	2.24	0.834	47
	6	7	271	-2.1	2.07	0.825	55
	6	7	230	-0.8	1.4	0.836	27
	8	10	235	-2.5	4.18	0.852	25
	6	7	281	-1.9	3.23	0.820	58
	6	7	278	-0.7	1.23	0.756	63
	6	7	282				
	6	7	391				
	6	7	311				
PD1-TW2	6	7	295				
	6	7	325				
	7	7	204				
	8	10	135				
	6	7	265				
	6	10	243	-2.8	4.65	0.844	32
	5	5	202	-3.1	5.11	0.901	15
	5	7	173	-1	1.74	0.912	8
	10	10	246	-3.2	5.26	0.845	33
	5	7	195	-0.9	1.51	0.884	11
	6	7	202	-2	3.39	0.889	13
	5	5	298				
	6	7	297				
	5	5	289				
	6	5	191				
	6	7	204				
	6	7	270				
	6	7	271				
	6	7	279				
	5	7	250				
	5	7	276	-1.3	2.24	0.862	61
	5	7	269	-0.5	0.88	0.862	27
	5	7	227				
	7	7	269				
PD1-TW4	5	7	252				
	6	10	135				
	6	10	365				
	5	7	135				
	5	7	265				
	5	7	242				
	5	7	293				
	6	7	288				
	6	7	380				
	5	5	207				
	6	5	223				
	6	7	362				
	6	7	358				
	5	5	366				
	5	5	351				

表 4 H、O 同位素测试结果

Table 4 Carbon and oxygen isotope analyses of some minerals

序号	样号	矿物种类	$\delta^{13}\text{D}_{\text{V-PD}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H-COSMOW}}/\text{‰}$	岩矿石类型
1	PD2-TW2	石英	-73	12.4	5.9	石英脉型
2	PD2-TW2	石英	-54	10.4	3.9	石英脉型
3	PD2-TW2	锡石	-86	4.9	-1.6	石英脉型
4	PD2-TW3	石英	-92	9.7	3.2	云英岩型
5	PD2-TW4	石英	-81	11.8	5.3	云英岩型
6	PD2-TW6	石英	-69	10.4	3.9	云英岩型

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析,2005。

度和爆裂温度(起爆温度)分别代表形成温度的下限和上限,那么流体捕获温度较均一温度高 30 $^{\circ}\text{C}$ 左右是合理的。如果按均一温度增加 30 $^{\circ}\text{C}$ 视为流体的捕获温度(310 $^{\circ}\text{C}$),经试算一个包裹体测温资料,得到为约 862 $\times 10^5$ Pa 的成矿压力。大约

相当于 2.5 km 的静岩压力。

(3) 盐度与密度

测定 43 个包裹体的冷冻法冰点温度在 -7.6~-0.5 $^{\circ}\text{C}$,所计算的盐度(NaCl)(表 3)主要集中于 2.24%~9.34%,最低为

0.88%,最高为 11.22%,平均 5.37%,因此成矿热液为较低盐度。成矿流属低密度流体(表 3),密度低于 1.00 g/cm³,为 0.756~0.968 g/cm³,平均 0.854 g/cm³。

(4) 成矿流体来源

大坨矿区矿石中石英的 δ¹⁸O 值为 9.7‰~12.4‰,平均为 10.9‰,为岩浆来源,与金鸡岭花岗岩相近(9.19‰~11.18‰);但锡石为 4.9‰,显示混合水来源特征。按平均捕获温度 310℃,利用公式 δ¹⁸O_{矿物}-δ¹⁸O_水=3.38T⁻²-3.40 计算,求得矿物包裹体水 δ¹⁸O_{H₂O} 值为-1.6‰~5.9‰,δ¹³D=-54‰~-92‰(表 4),为典型的岩浆水。从图 5 中可见,投影点位于岩浆水范围或变质水范围左侧的雨水范围,表明成矿流体水为岩浆水与雨水的混合水。

由上述成矿物理化学条件,结合矿石组构、矿物组合、矿体地质等特征,认为大坨岩体型矿床属于中—高温交代成因矿床。

3.3 成因模式

大坨钨锡矿床的成矿作用过程(图 6),经历了锡的原始聚集,多次岩浆构造作用的活化、迁移和初步富集,以及晚期岩浆的脉动演化,成矿物质运移、淀积成矿等一系列过程。

新元古代区内处于地槽发展阶段,沉积了一套巨厚的含钨锡丰度较高的浅海相复理石建造,形成了初始“矿源层”。加里东、印支构造运动,地槽褶皱回返,地壳上隆,岩浆侵入,成矿物质进一步活化,并形成了一系列 NNE—近 SN 向断裂构造(导矿构造)。

中侏罗世为区内主要构造岩浆活动和成矿期。燕山早期,由于扬子板块与华夏陆块碰撞挤压、地壳增厚,构造应变热在地壳深部引起热效应,导致地壳重熔—再生作用,形成熔融岩浆,沿九嶷山隆起上侵。

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、Pb、Zn 等成矿元素,导致岩浆中的成矿元素的富集。同时,区域性 NNE—近 SN 向断裂(F₂、F₃)再次活动,形成了延伸(深)规模较大的断裂带,为含矿气液的运移提供了有利构造。

区内岩浆具多次脉动侵位特点,随着岩浆的不断演化、逐渐冷凝,大量富含成矿元素的气热液不断积聚在晚期岩体顶部,形成了岩浆热液的对流系统^[7],在气热液巨大的低密度及内应力作用下,形成了一个单向的对流体系,沿 NNE—近 SN 向导矿断裂上升至距地表 2~3 km 深处,在岩浆热液上升过程中,雨水沿控矿断裂下渗,加入到热液中,形成混合流体,贯入至上覆岩体的弧形裂隙中。

此后,成矿作用进入期后气化热液的成矿阶段。从矿床内普遍存在的黄玉、萤石等蚀变矿物及多种金属硫化物和碱金属等可间接判断,气液热流体富含 Sn、W、Li、Rb 等成矿元素及 F、H₂S、OH⁻等挥发分,以气相为主。据晚期岩体结晶温度判断,气液温度接近 505℃^[8],处于临界—超临界状态,此时,气液矿化度极高,离子强度很大,因此,具有很强的迁移能力,在裂隙中向旁侧扩散渗滤,与围岩发生强烈的交代作

用。在热液交代作用过程中,由于初始阶段矿质交代的不断进行,溶液中 Na⁺、K⁺的浓度降低,气液酸度升高,从而破坏了含锡氟—氢氧络合物平衡,通过高温水解作用,形成锡石和游离 HF,引起热液迅速酸化,酸性热液作用于花岗岩,导致碱金属的淋滤析出,形成锡石、黄玉等一系列的云英岩矿物的产生。

由于花岗岩体上部围压相对较低,且处于相对氧化状

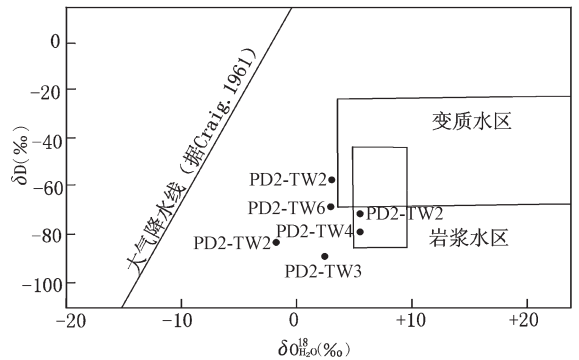


图 5 大坨钨锡矿床氢氧同位素投影图 (底图据张理刚,1985,投影点序号同表 4)

Fig.5 Projection diagram of the oxygen and hydrogen isotopic compositions of ores from the Da'ao tungsten-tin deposit (after Zhang Ligang, 1985, the serial number of data points same as in Table 4)

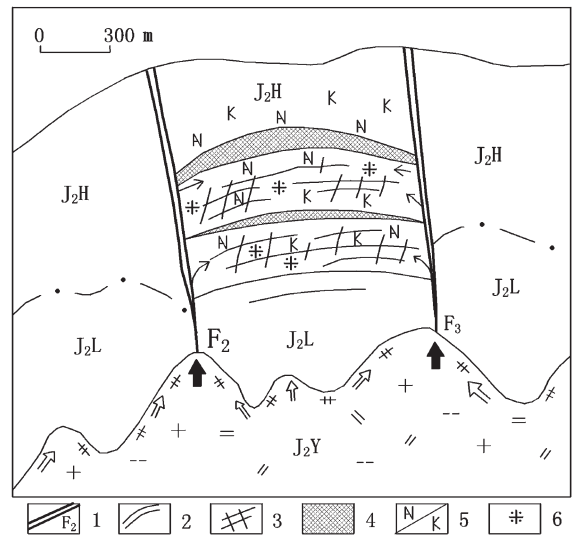


图 6 大坨矿区成矿模式图

1—断层及编号;2—弧形裂隙;3—共轭 X 节理;4—钨锡矿(脉)体; 5—钠化/钾化;6—云英岩化;J₂H—黄河单元;J₂L—凉亭坨单元; J₂Y—羊角冲单元
Fig.6 Metallogenic model of the Da'ao tungsten-tin district
1—Fault and No.; 2—Arcuate fissure; 3—Conjugated X joints; 4—Tungsten-tin ore body (vein); 5—Albitization/Potash feldspathization; 6—Greisenization; J₂H—Huanghe unit; J₂L—Liangtin'ao unit; J₂Y—Yangjiaochong unit

态,气液大量聚集,交代较充分开,从而形成厚大的云英岩型矿体,且品位较高;而往深部,围压较大,裂隙较难开启,气液难于扩散,云英岩规模较小,以脉状为主,形成规模较小的脉状矿体,围岩蚀变相对较弱,以钾化、钠化为主。

由于岩浆的不断演化,在最后阶段形成了非均匀的富含成矿元素 W、Sn 及挥发分和 SiO₂ 的熔浆—溶液^[14],并沿 NNE—近 SN 向断裂上升,充填于弧形裂隙带顶部,形成富含黑钨锡石的长石—石英脉。

随着温度的降低,含矿热液化学性质发生变化,由富 W、Sn 为主转变为以富硫为主,并沿 NE 向断裂带和弧形裂隙构造带充填,形成富含黄铁矿、铅锌矿等硫化物的矿脉(体),局部伴随黑钨锡石矿。

4 讨论与结论

长期以来,许多学者^[19-21]将岩体型(钨)锡矿的成因归为成矿岩体在构造运动的相对平静条件下就地演化和含矿热液的就地晶出而成,否认成矿期的构造作用;认为矿体形态严格受含矿花岗岩小侵入体的制约,赋存于含矿岩体顶部,顶、底板不穿切岩性界面。然而在许多岩体型(钨)锡矿床如大义山师茅冲、赣南大吉山^[13]等矿床中,发现矿体内部构造十分复杂,矿石中发育细脉状或细脉浸染状云英岩脉和锡石—硫化物脉,矿体呈巢状、透镜状、三角状等复杂形态成带成群分布;矿体顶底板界线均可见穿切不同岩性界面。上述现象表明,在岩体型钨锡矿成矿过程中,除成矿岩体的气液作用外,伴随较强的构造作用,矿体的形成是构造与岩浆演化耦合作用的结果,符合“断裂构造+晚期岩体+岩浆热液”的岩体型矿床成矿模式。大坳钨锡矿床在形态、矿石结构构造特征及成矿作用过程等方面均与之有相似之处,将其归于岩体型矿床是合理的。

付建明等^[22,23]认为金鸡岭岩体形成于大陆边缘裂谷环境,为铝质 A 型花岗岩;章邦桐等^[24]认为形成于板块碰撞和挤压,地壳增生的构造环境,属 S 型花岗岩。但本次工作 Pb 同位素组成表明该岩体可能为地壳重熔型(S 型)花岗岩,成矿物质最终来源于上地壳。据上,得出以下结论:

(1)大坳钨锡矿床经历了长期复杂的构造岩浆演化史和成矿作用过程。该矿床是在成矿物质原始聚集,多次岩浆构造作用的活化、迁移和初步富集,以及晚期岩浆的脉动演化,成矿物质运移、淀积而成。与成矿有关的花岗岩体为金鸡岭岩体羊角冲单元。

(2)矿床形成温度主要为 260~340℃,平均 280℃,属中—高温范围,低于晚期岩浆结晶温度(505℃),表明成矿发生于岩浆侵入冷凝结晶后期;成矿热液盐度为 0.88%~11.22%,属较低盐度;成矿压力为 862×10⁵ Pa,成矿深度为 2.5 km。故可认为本矿床属中—高温交代成因矿床。

致谢:在成文过程中,中国地质大学(武汉)赵永鑫副教授提出了宝贵的修改意见,深表感谢。

参考文献(References):

- [1] 魏绍六,曾钦旺,许以明,等. 湖南骑田岭地区锡矿床特征及找矿前景[J]. 中国地质, 2002, 29(1):67-75.
Wei Shaoliu, Zeng Qinwang, Xu Yiming, et al. Characteristics and ore prospects of tin deposits in the Qitianling area, Hunan [J]. Geology in China, 2002, 29 (1):67-75 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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):434-442.
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).
- [3] 蔡新华,贾宝华. 湖南锡田锡矿的发现及找矿潜力分析 [J]. 中国地质, 2006, 33(5):1100-1108.
Cai Xinhua, Jia Baohua. Discovery of the Xitian tin deposit, Hunan, and its ore potential[J]. Geology in China, 2006, 33(5):1100-1108 (in Chinese with English abstract).
- [4] 贺同兴,卢良兆,李树勋,等. 变质岩岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1988:84-85.
He Tongxing, Lu Liangzao, Li Shuxun, et al. Petrology of Metamorphic rock[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1988: 84-85(in Chinese with English abstract).
- [5] 王增润,罗贤昌,吴延之. 香花岭有色稀有多金属矿田综合成矿模式 [C]//湖南省国土资源厅. 湖南省地质学会著. 湖南地质新进展.长沙:湖南科学出版社, 1995:56-58.
Wang Zengyun, Luo Xianchang, Wu Yanzhi. Comprehensive metallogenic model for Xianghualing nonferrous polymetallic orefield [C] //Land and Resource Department and Geological Society of Hunan Province (ed.). New Development for Geology Hunan. Changsha:Scientific and Technical Press Hunan, 1995:56-58(in Chinese with English abstract).
- [6] 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 body-type tin deposit in the Dayishan orefield[J]. Geology in China, 2002, 29(4):411-415(in Chinese with English abstract).
- [7] 曾志方. 湖南大坳矿区控矿构造特征及其对云英岩体型钨锡矿的控制作用[J]. 矿产与地质, 2006, 20(6):612-617.
Zeng Zhifang. Characteristics of ore controlling structure in Da'ao mine, Hunan and its controlling function to greisen type tungsten and deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20(6):612-617(in Chinese with English abstract).
- [8] 曾志方,曾永红. 湖南大坳矿区云英岩体型钨锡矿构造控矿特征 [J]. 华南地质与矿产, 2005, 14(4):27-34.
Zeng Zhifang, Zeng Yonghong. Structure ore -controlling characteristics of the greisen body-type tungsten-tin mineralization in Da'ao area, Hunan Province [J]. Geology and Mineral Resources of south China, 2005, 14(4):27-34(in Chinese with English abstract).

- [9] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4):370-378.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Chaifu, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Jiuyishan composite granite in Hunan and its geological significance [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(4): 370-378(in Chinese with English abstract).
- [10] 王昌烈, 罗仕徽, 胥友志, 等. 柿竹园钨多金属矿床地质 [M]. 北京:地质出版社, 1987:29-30.
Wang Changlie, Luo Shihui, Xu Youzhi, et al. Geology of the Shizhuyuan Tungsten-Polymetallic Deposit[M]. Beijing:Geological Publishing, House 1987:29-30(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘树生, 贾宝华, 曾志方. 九嶷山锡矿田矿床地质特征及矿床成因[J]. 华南地质与矿产, 2005, 84(2):39-44.
Liu Shusheng, Jia Baohua, Zeng Zhifang. Geological characteristics and origin of the Jiuyishan tin orefield in Nanling region [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, 14(4):27-34(in Chinese with English abstract).
- [12] 廖凤初. 湖南大坳地区云英岩蚀变体型锡钨矿床地质特征及控矿因素[J]. 华南地质与矿产, 2004, 79(3):20-25.
Liao Fengchu. Geological characteristics and ore-controlling factors of Da'ao greisen-type W-Sn deposit in south Hunan Province[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, 14(4):27-34(in Chinese with English abstract).
- [13] 朱炎龄, 李崇佑, 朱运淮. 赣南钨矿地质[M]. 南昌:江西人民出版社, 1981:88-89.
Zhu Yanling, Li Chongyuo, Zhu Yunhuai. Tungsten Geology in Southern Jiangxi [M]. Nanchang:Jiangxi People's Press, 1981:88-89(in Chinese with English abstract).
- [14] Sasaki A and Ishihara S. Sulfur isotope compositions of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Japan[J]. Contrib. Mineral. Petrol, 1979, 68:107-115.
- [15] 章邦桐, 戴永善, 王驹, 等. 南岭西段金鸡岭复式花岗岩基地质及岩浆动力学特征[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1):50-55.
Zhang bangtong, Dai Yongshan, Wang Ju, et al. Geology and magma dynamical features of Jinjiling composite granitic batholith in the western Nanling region [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(1):50-55(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999:129.
Liu Bin, Shen Kun. Fluid inclusion thermodynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:129 (in Chinese with English abstract).
- [17] 卢树东, 杜杨松, 肖镔, 等. 江西彭山锡(铅锌)多金属矿田构造地质特征及成矿机理探讨 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 297-305.
Lu Shudong, Du Yangsong, Xiao E, et al. Study of tectonic features and metallogenic mechanis of the Pengshan Sn-Pb-Zn polymetallic orefield, Jiangxi Province[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3):297-305(in Chinese with English abstract).
- [18] 夏卫华, 章锦统, 冯志文, 等. 南岭花岗岩型稀有金属矿床地质 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1989:112.
Xia Weihua, Zhang Jintong, Feng Zhiwen, et al. Geology of the Granite-Type Rare Metal Deposit in Nanling [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1989:112(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈富文, 付建明. 南岭地区中生代主要成锡花岗岩地质地球化学特征与锡矿成矿规律[J]. 华南地质与矿产, 2005 年, 10(2):12-20.
Cheng Fuwen, Fu Jianming. Geological and petrochemical characteristics of main Mesozoic tin-mineralized granitoids and regional metallogenetic regularities in Nanling region [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, 10 (2):12-20 (in Chinese with English abstract).
- [20] 蔡明海, 汪雄武, 何龙清, 等. 南岭中段锡矿床主要类型及找矿模式[J]. 华南地质与矿产, 2005, 10(2):22-29.
Cai Minghai, Wang Xiongwu, He Longqing, et al. Main types and prospecting models of tin deposits in the mid-Nanling region [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, 10(2):22-29(in Chinese with English abstract).
- [21] 羊士赣, 王瑞湖. 南岭西段锡矿类型与找矿前景[J]. 矿产与地质, 2004, 18(3):207-211.
Yang Shigan, Wang Ruihu. Tin deposit types and its exploration prospect in western Nanling [J]. Mineral Resources and Geology, 2004, 18(3):207-211(in Chinese with English abstract).
- [22] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析[J]. 地球化学, 2005, 34(3):215-226.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Chaifu, et al. Ascertainment of the Jingjiling aluminous A-type granite, Hunan Province and its tectonic settings[J]. Geochemistry, 2005, 34(3):215-226(in Chinese with English abstract).
- [23] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 中国地质, 2004, 31(1):96-100.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Chaifu, et al. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan south China, and its significance [J]. Geology in China, 2004, 31 (1):96-100 (in Chinese with English abstract).

Geological characteristics and genesis of the Da'ao intrusion-type tungsten-tin deposit, Daoxian County, Hunan

Liu Shu-sheng^{1,2}, Zeng Zhi-fang^{1,2}, Zhao Yong-xin¹

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

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

Abstract: The Da'ao intrusion-type tungsten-tin deposit is hosted in the Jinjiling composite granite body. The paper discusses the genesis of the deposit and preliminarily summarizes the metallogenic model of the deposit according to the geological setting and characteristics of the deposit and results of Pb, S, C and O isotopic analyses of granite and ores. The deposit formed by the polyphase tectonic movements and magmatic pulsation and evolution. The metallogenic temperatures of the deposit range from 260 to 320°C, the salinities of ore-forming fluids range from 0.88% to 11.22%, the pressure is 862×10^5 Pa and the depth is 2–3 km. So the Da'ao tungsten-tin deposit is of intermediate- and high-temperature metasomatic origin.

Key words: intrusion-type tungsten-tin deposit; mineralized granite body; genesis; Da'ao; Hunan

About the first author: LIU Shu-sheng, male, born in 1964, senior engineer and master candidate, engages in geological management and research.