

湖南锡田锡钨多金属矿床成矿构造特征及其找矿意义

伍式崇¹ 龙自强¹ 徐辉煌¹ 周云^{2,3} 蒋英^{2,3} 潘传楚⁴

(1. 湖南省地质矿产勘查开发局 四一六队 湖南 株洲 412007; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室 广东 广州 510640; 3. 中国科学院 研究生院 北京 100049; 4. 中国科学院 广州地球化学研究所 长沙矿产资源勘查中心 湖南 长沙 410013)

摘要: 锡田矿床内发育近 SN 向花岗岩穹窿伸展构造、NE 向复式褶皱和 NE 或 NEE 向走滑伸展构造系统。穹窿构造主要由印支期和燕山期侵入的花岗岩和古生代地层及不连续的环形滑脱断层组成,控制燕山期花岗岩与围岩接触带矽卡岩型矿体的分布;复式褶皱为古生代地层组成的 NE 向复式向斜,在矿区中部被锡田复式花岗岩体切割。严塘复式向斜与小田复式向斜中的背斜核部,尤其断层叠加的部位常控制一些构造破碎带型钨锡富矿体的分布。NE 向或 NEE 向走滑伸展构造系统包括 NE 向右行(伸展)走滑断层、NE 向或近 EW 向右行次级的走滑伸展断层、近 SN 向左行走滑断层和 NW 向伸展断层,控制了锡田矿区内的不同方向构造蚀变岩型、石英脉型和云英岩脉型锡钨多金属矿床的分布。花岗岩锆石 U-Pb、白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 和辉钼矿 Re-Os 同位素测年表明锡田地区燕山期构造活动、岩浆作用与成矿响应时间非常接近,介于 150 ~ 160 Ma。岩体与地层(灰岩)接触带、岩体中的 NEE 向断裂带以及被 NE 向断裂叠加的背斜轴部是重要的成矿区域,可作为下一步矿产勘查工作重要靶区。

关键词: 成矿构造; 锡钨矿床; 年代学; 矿产勘查; 湖南锡田

中图分类号: P613 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4552(2012)02-0217-010

锡田锡钨多金属矿床地处湘赣交界处,位于郴州-临武深大断裂南东侧,受构造-岩浆的双重控制(图1)。自国土资源大调查以来,锡田矿区已发现矽卡岩型、构造-矽卡岩复合型、构造蚀变岩型、石英脉-云英岩脉型等多种类型的锡钨多金属矿床,其中规模较大的锡钨多金属矿脉 20 多条,主要分布在锡田岩体哑铃柄地段东西两侧内外接触带的垄上、晒禾岭、桐木山等地(罗洪文等 2005)。近十年来,对矿床的成矿时代和岩浆作用已有一定程度的研究(刘国庆等 2008; 罗洪文等 2005; 付建明等, 2009; 伍式崇等 2004; 马铁球等 2004; 李献华, 1990),但对矿床构造的研究相当薄弱,对成矿构造的认识还不清晰。因此,很有必要进一步工作和研究。

锡田矿床构造对矿床的控制主要体现在两个方面,一是构造对矿体以及与矿体形成有关的岩体形

成过程的控制;二是构造对矿体产状和保存环境的控制。对锡田矿区成矿构造研究的主要目的,在于阐明控制成矿作用和矿产时空分布规律以及矿床产状的构造要素,为解决矿区的找矿勘查、预测和寻找隐伏矿体等地质工作的根本问题提供科学依据。

1 区域地质

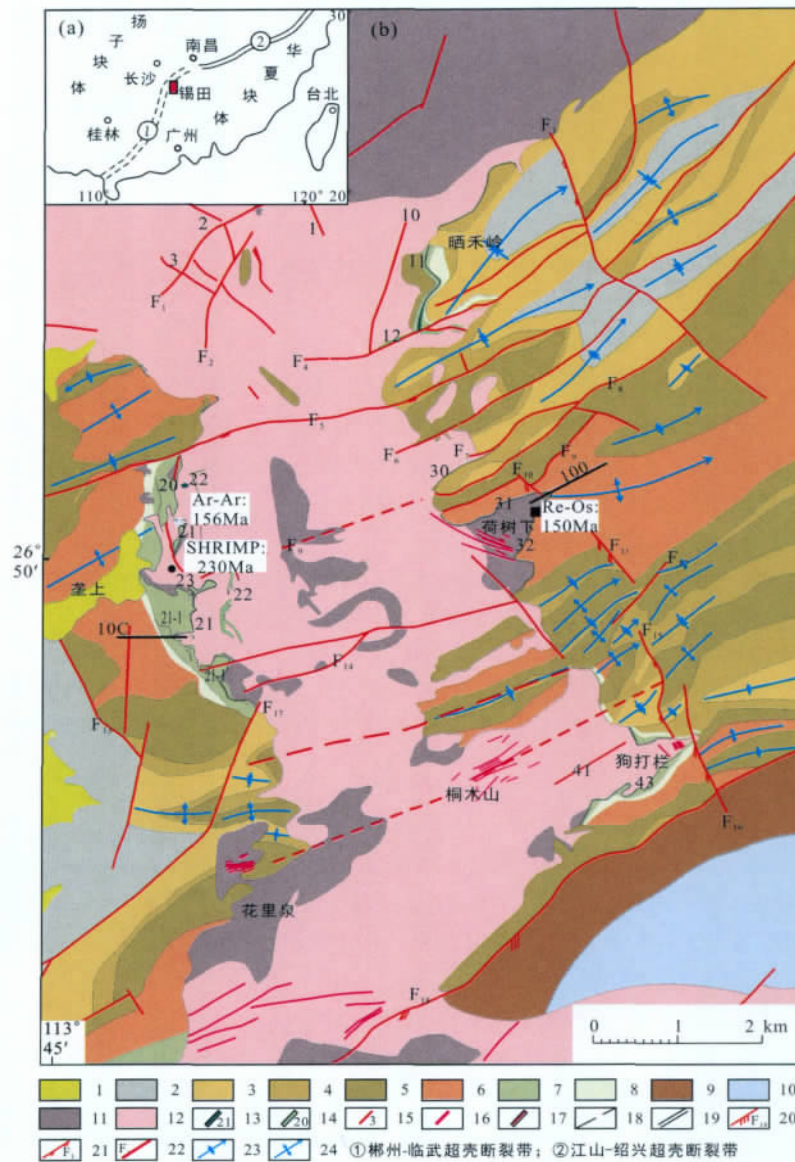
锡田矿区隶属湖南省茶陵县严塘镇、秩堂镇管辖,为南岭成矿带的一部分,处于扬子块体和华夏块体的交接部位(图 1a)。

除缺失志留系外,本区发育震旦系到第四系所有地层。震旦系-奥陶系主要分布在本区南部,发育炎陵-桂东的 SN 向隆起带和炎陵-汤市的 NW 向褶皱带。这些构造形成于加里东期,最后定型于

收稿日期: 2011-09-20; 改回日期: 2011-10-28

项目资助: 国土资源部项目(201211024-01-03)、中国科学院重大项目(KZCX1-YW-45-4)和国家自然科学基金项目(40872080 41072081)资助。

第一作者简介: 伍式崇(1967-),男,高级工程师,长期从事矿产资源勘查与研究。Email: wushichong1967@163.com



1. 第四系全新统(Qh); 2. 下石炭统岩关阶(C_{1y}); 3. 上泥盆统锡矿山组上段(D_{3x}²); 4. 上泥盆统锡矿山组下段(D_{3x}¹); 5. 上泥盆统余田桥组(D_{3s}); 6. 中泥盆统棋梓桥组(D_{2q}); 7. 砂卡岩(SK); 8. 砂卡岩化灰岩(SKLS); 9. 中泥盆统跳马涧组(D_{2t}); 10. 上奥陶统(O₃); 11. 燕山期细粒黑云母花岗岩(γ₅¹); 12. 印支期中粒斑状黑云母花岗岩(γ₅²); 13. 砂卡岩型锡钨多金属矿脉及编号; 14. 构造-砂卡岩复合型锡钨多金属矿脉及编号; 15. 构造蚀变岩型锡钨多金属矿脉及编号; 16. 石英脉-云英岩脉锡钨矿体及编号; 17. 硅化破碎带; 18. 实、推测地质界线; 19. 不整合地质界线; 20. 压扭性断层及其编号; 21. 张性断层及其编号; 22. 性质不明断裂及编号; 23. 倾伏向斜轴线; 24. 倾伏背斜轴线。

图 1 锡田矿区位置(a)与地质(b)略图

Fig.1 Location (a) and geological sketch map (b) of the Xitian area, eastern Hunan province

印支期(郝义等 2010)。前者由一系列复式岩体组成,从北往南为万洋山岩体、桂东岩体、诸广山岩体和一些小的岩株、岩脉群。这些地质体构成隆起带的主体,侵位于震旦系、寒武系、奥陶系组成的复式背斜中,总体走向近SN。岩层褶皱呈短轴状,轴向330°~300°(湖南省地质矿产局,1988)。背向斜的

排列有一定的等距性、对称性,疏密相间,组成疏波和密波带,间距一般7 km,这种疏密相间现象在万洋山与彭公庙岩体之间表现最为明显。而NW向断裂受晚期华夏系和新华夏系构造的影响,其构造形迹连续性较差。

泥盆系-二叠系分布于区内锡田-南部的水口

一带,发育一系列 NNE-NE 向复式背向斜和断裂构造,是本区重要的控岩控矿构造。前者由一系列复式背向斜组成,轴向 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$,背斜核部地层为奥陶系,盖层基本被剥蚀。向斜核部地层为石炭系,出露宽度 $2 \sim 20$ km,长度大于 10 km。多为长轴状至线状褶曲。后者由一系列 NNE 向断裂带组成,从北往南有严塘断裂带、炎陵-宁岗断裂带、桂东断裂带等。这些断裂带的长度大于 30 km,总宽度 $10 \sim 20$ km,走向 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。它们呈平行展布,具有一定的等距性,两者之间的距离 $5 \sim 10$ km。断裂是区域内的主要控矿构造。

2 矿区地质

矿区主要出露上古生界泥盆系、石炭系,岩性为浅海相碳酸盐岩、碎屑岩,石炭系中夹有滨海沼泽相含煤岩系。其中,泥盆系中统棋梓桥组(D_2q)和上统锡矿山组(D_3x)分布广,主要由一套不纯的碳酸盐岩组成,在其与岩体的接触部位发育强砂卡岩化和钨锡矿化。受印支-燕山期构造运动影响,围岩节理、裂隙发育,为脉型钨锡富集成矿提供了有利的赋矿空间。

锡田花岗岩岩体,出露面积约 240 km^2 ,呈 NW 向或 NNW 向展布的哑铃状,为印支期和燕山期形成的复式岩体,构成热-穹窿构造。主体岩性为印支期(中)粗粒斑状黑云母二长花岗岩,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 230 Ma(付建明等 2009;马铁球等 2005)。燕山期主要为中细粒斑状黑云母二长花岗岩和细粒黑云母花岗岩,呈岩株或岩枝状产出,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 156 Ma(付建明等 2009;马铁球等 2005)。燕山期岩石具有高硅、富碱以及 W、Sn、Mo、Bi、Cu、U 和 Th 丰度高的特点。研究区与湘南地区的骑田岭、香花岭等含锡花岗岩体特征相似,是勘查钨锡矿的有利靶区。频繁的岩浆活动,为成矿提供了丰富的物质来源和条件,因而在晚期岩体附近及岩体内外接触带形成了以锡为主的一系列多金属矿床(付建明等 2009)。

锡田矿区为一复式褶皱。其中部由于锡田岩体(热-穹窿构造)的切割,在岩体西侧形成了朝 NE 扬起,向 SW 倾伏的严塘复式向斜,岩体东侧形成了向 SW 扬起,朝 NE 倾伏的小田复式向斜。而在矿区范围内仅出露复式向斜的次一级褶皱,例如,西侧有垄上向斜,东侧有晒禾岭向斜、荷树下向斜等。断裂构造主要有 NE 向或 NEE 向、近 SN 向和 NW 向 3

组,具有多期次活动特点,彼此交截、叠加和改造。热-穹窿构造与 NW 向及 NEE 向断裂是本区重要的控矿构造,对锡、钨、铅、锌、银矿的形成具有重要意义。

研究区矿石类型为锡钨和铅锌多金属矿。锡田钨锡多金属矿体大多赋存在接触带或砂卡岩的层间破碎带中,呈层状、似层状产出。矿石矿物主要为锡石、白钨矿、黄铁矿、黄铜矿,其次为铁闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿;脉石矿物主要为透辉石、石英、绿泥石,少量萤石、方解石、绿帘石。矿石为半自形-它形粒状结构、交代结构、交代残余结构,浸染状构造为主,条带状、块状构造次之。铅锌矿呈不规则脉状产于灰岩的断裂中,主要矿石矿物为闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿,少量毒砂、黄铜矿。矿石多呈块状、粗粒,闪锌矿棕黑色或黑色。脉石矿物主要为方解石、石英等。

3 锡田矿区成矿构造特征

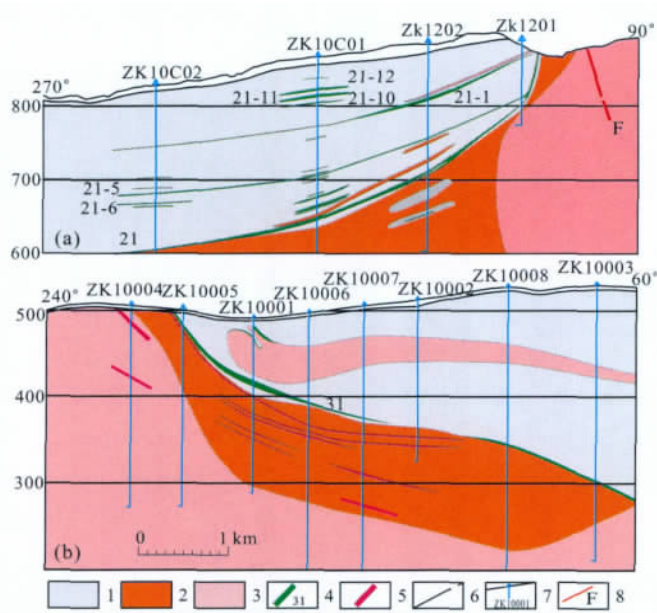
3.1 穹窿构造特征

锡田穹窿构造,呈哑铃状,主要由多期次侵入的花岗岩及不连续的环形滑脱断层组成(图 1)。花岗岩的多次侵入造成原有地层或复式 NE 向褶皱被改造。靠近岩体的地层翘起,并出现顺层滑脱、褶皱、剪切等现象。花岗岩主要形成时代有两期,230 Ma 和 155 Ma(付建明等 2009;马铁球等 2005)。强弱岩层之间滑断面有规律地倾向穹窿的周缘。下盘岩层构造简单,上盘滑裂岩特别发育,呈大小不等的角砾状及柔皱状。灰岩发生砂卡岩化,并在有利成矿部位富集成矿。锡田砂卡岩型矿体主要分布在燕山期花岗岩与白云质灰岩的接触带上(图 2)。燕山期花岗岩穹窿构造的内外接触带是目前重要的找矿方向。

3.2 褶皱构造特征

褶皱在矿区中部被锡田花岗岩体切割,形成岩体西侧的向 NE 扬起,朝 SW 倾伏的严塘复式向斜;东侧的朝 SW 扬起,向 NE 倾伏的小田复式向斜。

严塘复式向斜总体轴向 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$,往西延伸出图外,总长约 13 km,矿区范围内仅出露长约 $2 \sim 5$ km。复式向斜由 D_2q 和 D_3x^1 组成,从北往南由 4 个次级背斜、5 个次级向斜相间排列而成,在垄上地段两者间距较大,由此往南和北两端其间间距变小。两翼地层产状大多较平缓,但在花里泉的近接触带部位较陡。



1. 中泥盆统棋梓桥组 (D_2q); 2. 燕山期细粒黑云母花岗岩 (γ_2^1); 3. 印支期中粒斑状黑云母花岗岩 (γ_3^1); 4. 砂卡岩型锡钨矿体及编号钻孔及编号; 5. 云英岩型锡钨矿体; 6. 实、推测地质界线; 7. 钻孔及编号; 8. 断层。

图2 锡田锡钨多金属矿区垄上矿段 10C(a) 和 100(b) 号勘探线(位置见图 1b)剖面图

Fig.2 Profile of 10C(a) and 100th(b) prospecting line in the Longshang section of the Xitian tin and tungsten polymetallic deposit

小田复式向斜总体轴向 $45^\circ \sim 60^\circ$, 往东延伸出图外, 矿区范围内出露长约 $4 \sim 6$ km。复向斜由 D_2q 和 C_1y 组成, 从北往南由 8 个次级背斜、9 个次级向斜相间排列而成, 南北两端背向斜的间距较小, 中段两者间距变大, 次级背向斜两翼产状大多较陡。复向斜北部次级背斜轴部大多被区域性断裂穿切(如 F_4 、 F_5 等) 而发育不全。

3.3 断裂构造特征

断裂构造是本区重要的控矿构造。矿区发育有多组不同方向的断裂构造, 如 NE 向、近 SN 向和 NW 向, 组成了矿区的基本构造格架。其中具一定规模的断裂 30 余条, 已研究编号 19 条(图 1)。

NE 向(或 NEE 向) 断裂: 为矿区最主要的走滑断裂构造, 局部被 NNW 向或 SN 向断裂错开。已编号的有 F_1 、 F_2 、 F_4 、 F_5 、 F_6 、 F_7 、 F_8 、 F_9 、 F_{14} 、 F_{18} 等。断层地表断续出露长 $2 \sim 13$ km 不等, 从北东到南西, 其走向从 NE(荷树下以东)、NEE(荷树下-垄上之间) 到 NE(垄上以西) 有所变化。 F_1 、 F_{17} 构成 S 型(图 1), 断层倾向 SE 或 SSE, 局部倾向 NW 或

NNW, 倾角陡, 一般 $60^\circ \sim 85^\circ$, 局部近于直立。断裂面沿走向和倾向呈舒缓波状, 有膨大缩小现象。在 MC21 和 BT2 剖面点, 印支期花岗岩体断层面上出现非常明显的近水平擦痕, 断层产状 $165^\circ \sim 175^\circ \angle 85^\circ$, 擦痕滑动线产状为 $250^\circ \sim 265^\circ \angle 5^\circ \sim 10^\circ$, 阶步与擦痕等显示右行走滑(伸展) 性质(图 3a、b), 为印支期后的构造活动产物。在 No. 5 ($26^\circ 49' 17''$, $113^\circ 46' 03''$)、No. 6 ($26^\circ 50' 14''$, $113^\circ 45' 50''$)、No. 16 ($26^\circ 52' 54''$, $113^\circ 41' 5''$) 和 No. 26 ($26^\circ 49' 42''$, $113^\circ 45' 50''$) 等印支期花岗岩地质观测点, 断层 F_5 、 F_9 和 F_{14} 发育 10 余米宽的 NEE 向断裂硅化带(图 3c), 两侧蚀变强烈, 蚀变范围较大, 并呈右阶右行排列, 显示伸展力学性质。在桐木山或垄上“铜矿”开采坑道内, 见含矿石英脉呈右阶雁列或平行分布, 呈群出现, 为张性脉, 类似于湘东钨矿。在泥盆系-石炭系, NE 向断裂主要沿 NE 向褶皱构造的轴部出现, 也发育很多顺层的拆离断层。在 B26, 印支花岗岩中发育近直立的韧性剪切带, 长石、石英明显地定向拉长, 并细粒化, 石英脉呈 S 型构造, XY 面上观察呈现右行走滑(图 3d)。

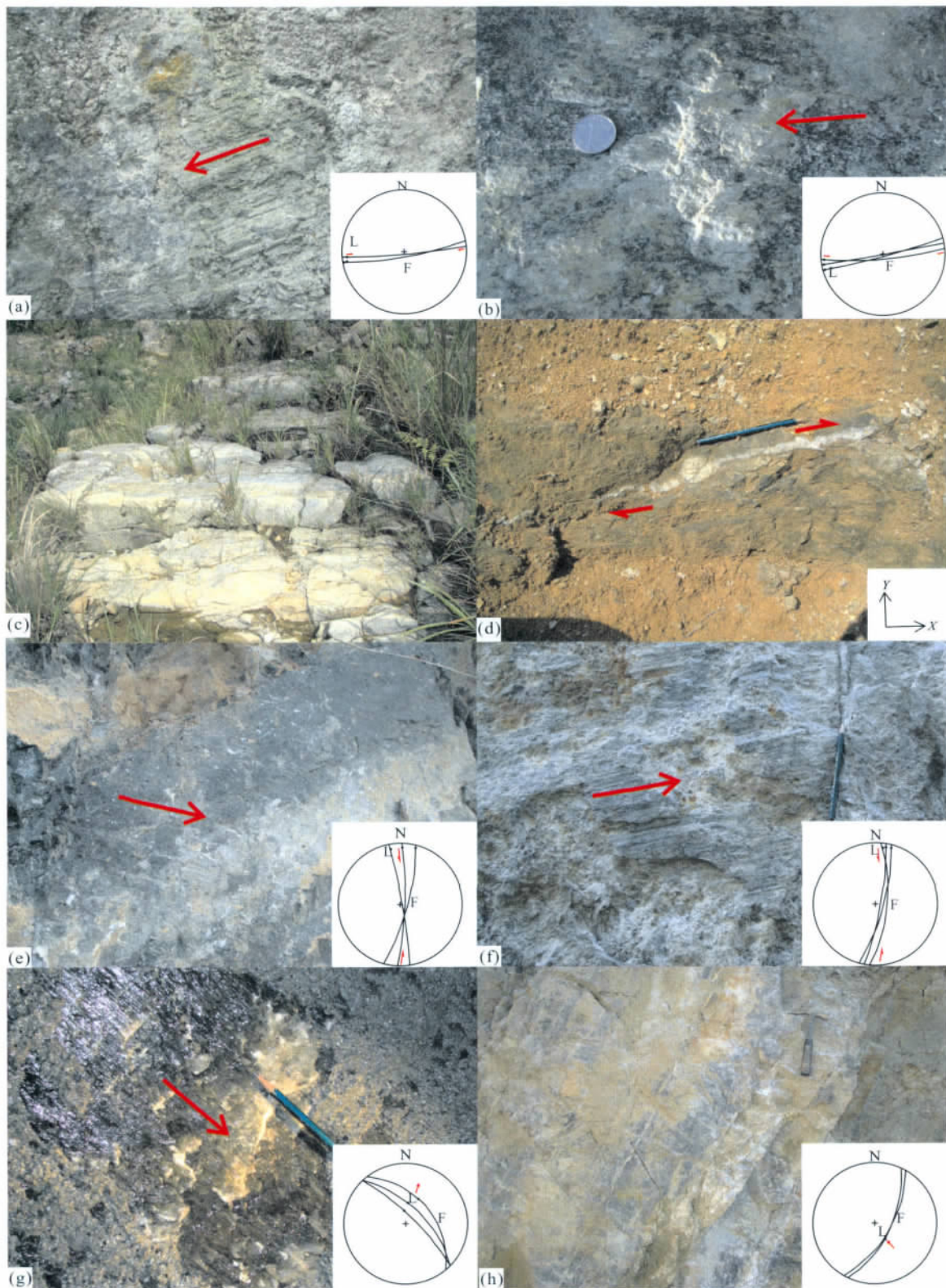
近 SN 向断裂: 断层呈 S 型变化, 包括 NNW (350°)、SN 向, 到 NNE (15°) 的一系列走向变化的小型断层, 亦是很重要的含矿构造, 尤其 NNW \rightarrow NNE 向构造转化地带。在 18C 和 MC-21, 断层面产状 $105^\circ \angle 68^\circ \sim 86^\circ$, 擦痕滑动线产状 $25^\circ \angle 5^\circ \sim 20^\circ$, 显示左行走滑伸展(图 3e) 或走滑挤压(图 3f)。11、21、22 号矿脉可能受该组断裂的弯曲部位(伸展位) 控制。

NW 向断裂: 为张性断裂, 已编号的有 F_3 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{15} 、 F_{16} 等。地表断续出露长约 $1.5 \sim 8.0$ km, 走向 NNW, 倾向 NNE 或 SWW, 倾角较陡, 具有左行伸展性质(图 3g、h)。

上述 NEE 向右行(伸展) 走滑断层、NE 向或近 EW 向右行次级走滑伸展断层、近 SN 向左行走滑断层和 NW 向断层, 共同构成了燕山期形成的 NE 向走滑伸展构造系统。

4 矿床类型及特征

矿区已发现的矿床类型有四种, 主要为砂卡岩型、构造-砂卡岩复合型, 其次为构造蚀变岩型、石英脉-云英岩脉型(表 1)。



(a) . MC21 处泥盆系中近 EW 向右行走滑断层; (b) . BT2 处印支花岗岩近 EW 向右行走滑断层; (c) . No. 5(26°49'17" , 113°46'03") 观察点断裂硅化带, 10 余米宽; (d) . 石英脉呈 S 型构造, XY 面上呈现右行走滑; (e) (f) . 18C 处 SN 向左行走滑(伸展) 断层; (g) (h) . NW 向左行伸展(走滑) 断层。

图 3 锡田矿区反映不同方向构造运动方向的野外照片及其赤平投影

Fig. 3 Field pictures and the stereographic projections of the Xitian deposit reflecting different construction movement directions

表 1 锡田矿区主要矿床类型特征简表

Table 1 List of the major characteristics of different ore types of the Xitian deposit

矿床类型	矿体特征	矿物组合	围岩蚀变	矿体产地
砂卡岩型	产于岩体外接触带砂卡岩中,受岩体与灰岩接触界面或层间破碎带控制。矿脉长 400 ~ 4500 m, 厚 1.60 ~ 26 m	锡石、白钨矿、黄铁矿、毒砂,有时伴生方铅矿、闪锌矿	砂卡岩化、大理岩化、萤石化	荷树下、垄上、晒禾岭
构造-砂卡岩复合型	产于岩体内外接触带,受 SN 向、NW 向硅化破碎带控制,矿脉长 1350 ~ 2700 m,厚 0.7 ~ 33.11 m	锡石、白钨矿、黄铁矿、毒砂及萤石等	砂卡岩化、硅化、萤石化	垄上、晒禾岭、荷树下等
构造蚀变岩型	产于岩体内或外接触带砂岩中,主要有 NE、NW、近 EW 向三组,矿脉长 500 ~ 2000 m,厚 0.75 ~ 10 m	黑钨矿、白钨矿、锡石、方铅矿、闪锌矿	绢云母化、硅化、云英岩化	牛形里、荷树下
石英脉-云英岩脉型	产于岩体中部西侧,走向 NE-NEE,长 100 ~ 1000 m,厚 0.02 ~ 1 m	黑钨矿为主,次为锡石、黄铁矿、毒砂、辉钼矿、黄铜矿及石英	云英岩化、绢云母化、硅化	花里泉、狗打栏、桐木山

砂卡岩型矿床分布在中泥盆统棋梓桥组和上统锡田组下段不纯碳酸盐岩接触带部位及其外接触带形成的砂卡岩层间破碎带中;其中与棋梓桥组有关的大多形成钨锡多金属矿,而与锡田组下段有关的则一般只形成锡多金属矿。

构造-砂卡岩复合型矿床分布在岩体内外接触带受断裂构造控制的碳酸盐岩块形成的砂卡岩中,发育于外接触带者形成锡铅锌多金属矿,发育于内接触带者则多形成钨锡矿。

构造蚀变岩型矿床产于岩体内或外接触带砂岩中,分布在牛形里、荷树下等地。

石英脉-云英岩脉型矿床分布于垄上矿段南部花里泉一带和桐木山矿段中部荷树下、桐木山、狗打栏等地,产于锡田复式岩体之主体与补体花岗岩接触部位附近,形成钨锡多金属矿床。此外,在矿区外围西部严塘、尧水一带形成冲积型砂锡矿。

5 构造活动与成矿响应时代约束

5.1 白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄

测定白云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄,是了解构造重要活动时代和矿床形成年龄的主要手段之一。马丽艳等(2008)曾测得垄上矿段(图 1)云英岩化型矿体

中白云母的坪年龄 $t_p = 155.6 \pm 1.3$ Ma,对应了 97.21% 的³⁹Ar 释放量,相应的³⁹Ar/⁴⁰Ar -³⁶Ar/⁴⁰Ar 反等时线年龄为(155.4 ± 1.7) Ma,⁴⁰Ar/³⁶Ar 的初始比值为 300.5 ± 6.2(MSWD = 0.74),接近于现代大气氩比值 295.5(马丽艳等,2008)。说明所测试样品中不存在过剩的氩,也无显著的氩丢失,指示为可信的年龄,其坪年龄与燕山期花岗岩形成年龄接近,可用于地质解释。

5.2 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄

辉钼矿 Re-Os 同位素年龄,主要用来了解矿床形成时代。实际上,它从另外一个侧面反映了构造活动。测试的 5 件样品采自荷树下 32 号(位置见图 1b)云英岩石英脉型矿体。辉钼矿单矿物呈片状分布在石英脉型钨矿体中,用刀片直接从手标本上挑选。辉钼矿从手标本上剥离后在显微镜下做进一步的检查与选纯,送测样品纯度达 98% 以上。本次 Re-Os 同位素测试分析在中国科学院广州地球化学研究所 Re-Os 同位素实验室进行,Re、Os 化学分离步骤和质谱测定等分析方法参见文献(Sun et al., 2010)。测试结果见表 2,Re-Os 等时线图如图 4。

从表 2 可以看出,辉钼矿中 Re 的含量从 8.67 ~ 43.99 μg/g,¹⁸⁷Re 含量从 5.45 ~ 27.65 μg/g,¹⁸⁷Os

表 2 辉钼矿 Re、Os 含量及其 Re-Os 年龄数据

Table 2 The Re-Os contents and Re-Os dating results of the molybdenites

样号	样重(g)	Re (μg/g)	2σ(Re) (μg/g)	¹⁸⁷ Re (μg/g)	2σ(¹⁸⁷ Re) (μg/g)	¹⁸⁷ Os (ng/g)	2σ(¹⁸⁷ Os) (ng/g)	t (Ma)	2Δt (Ma)
ST201016-1	0.1089	8.67401	0.02287	5.45195	0.01437	13.8736	0.1185	150.35	1.31
ST201016-2	0.1023	18.5982	0.0558	11.6897	0.0351	29.57137	0.225	150.91	1.16
ST201016-3	0.0517	41.9488	0.1744	26.3664	0.1096	66.132	0.5432	150.34	1.24
ST201016-4	0.0528	43.9859	0.2241	27.6469	0.14087	69.1082	0.4677	149.85	1.02
ST201016-5	0.0528	39.1277	0.1214	24.5933	0.0763	61.6665	0.3976	150.25	0.97

中国科学院广州地球化学研究所 Re-Os 同位素实验室测试,分析者:孙亚莉,孙胜玲。

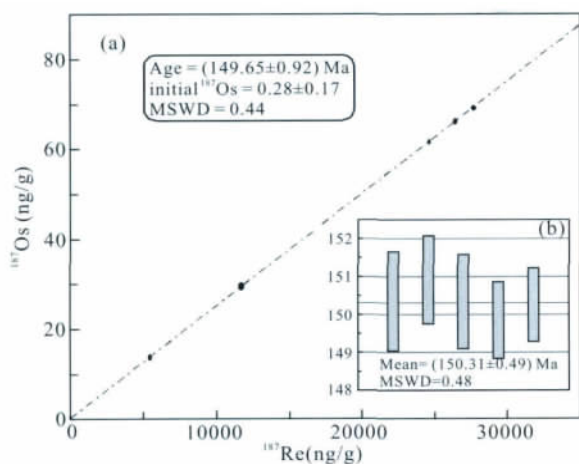


图4 锡田云英岩-石英脉型锡钨矿中的
辉钼矿 Re-Os 等时线

Fig. 4 Re-Os isochron for the molybdenites from the greisen-quartz vein type Tin-Tungstern ores of the Xititan deposit

含量为 13.87 ~ 69.11 ng/g。模式年龄为 149.85 ~ 150.91 Ma, 变化小, 在误差范围内近于一致, 模式年龄加权平均值为 (150.31 ± 0.49) Ma (图 4a)。图 4 显示, 等时线年龄为 (149.65 ± 0.92) Ma, 等时线的截距为 0.17 (图 4b), 说明辉钼矿中基本不存在普通 Os, Os 都是 Re 的衰变产物, 这符合计算模式年龄的条件。等时线年龄与模式年龄基本一致, 可信度较高, 说明所获得的等时年龄和模式年龄是有效的。

6 讨论

6.1 构造、岩浆活动与成矿作用时代

前人曾对锡田复式花岗岩体进行了系统的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试。获得印支期花岗岩岩浆活动发生在 228 ~ 230 Ma, 燕山期岩浆活动则在 (155 ± 1.7) Ma (付建明等, 2009; 马铁球等, 2005)。

锡田岩体东侧垄上矿床 21 号矿体中白云母 Ar-Ar 坪年龄为 (155.6 ± 1.3) Ma, 反等时年龄为 (155.45 ± 1.7) Ma (马艳丽等, 2008)。坪年龄和反等时年龄吻合很好, 代表了一次重要的构造热事件的发生 (邱华宁和彭良, 1997)。

所测锡田岩体西侧荷树下 32 号石英脉型矿体中辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值为 (150.31 ± 0.49) Ma, 等时线年龄 (149.65 ± 0.92) Ma, 二者在误差范围内基本一致, 反映了锡田主要成矿时代应该是 150 Ma 左右。3 种测年数据反映了锡田矿

区构造-岩浆-成矿事件的一体性。

近年来, 不少学者利用锆石 SHRIMP 或 LA-ICP-MS 和辉钼矿 Re-Os 同位素法以及高精度 Ar-Ar 法在锡田西南的郴州-临武断裂带两侧 (如柿竹园、香花岭、新田岭、骑田岭、金鸡岭、姑婆山) 获得了一批燕山期花岗岩成岩年龄和钨锡矿成矿年龄数据, 一般都介于 150 ~ 160 Ma 之间 (毛景文等, 2004; 彭建堂等, 2007; 李红艳等, 1996; 路远发等, 2006; 陈郑辉等, 2006; 付建明等, 2007, 2008), 这与锡田成岩成矿时代基本一致。研究表明, 150 ~ 160 Ma 是郴州-临武断裂带两侧或南岭地区晚中生代大规模构造活动、岩浆作用和成矿作用的高峰期。锡田锡钨多金属矿床构造-岩浆-成矿作用时代与这一区域性的构造-岩浆-成矿活动期相一致。

6.2 华南活化构造背景与锡田 W-Sn 成矿作用

华南大陆岩石圈块体 (简称陆块) 是东亚大陆岩石圈中、新生代大陆活化构造研究最早 (陈国达, 1956), 且克拉通地台体制活化解体前奏活动显著和活化构造体制发展阶段性明显、岩石圈活化构造-岩浆作用地质记录较为丰富的典型大陆活化区 (陈国达, 1997)。锡田所在地区活化前晚古生代地台的褶皱基底形成于加里东晚期 (Li et al., 2010; Wang et al., 2007), 是华南复式岩石圈中克拉通化年代最新、变质程度最低、刚性较弱的块体。这里发育有厚度巨大的浅变质褶皱基底岩系和以碳酸盐台地相为主的地台盖层, 并出现泥盆纪、石炭纪-二叠纪断裂谷, 从而形成了华南陆块中岩石圈断裂构造最为发育、稳定性差的岩石圈块体。这种继承性的构造属性, 使华南活化区成为一个热-构造事件频繁出现 (如印支 (Wang et al., 2005; Li and Li, 2007) 和燕山事件)、地壳/岩石圈活化改造-再造作用类型复杂、活化构造-岩浆组合多样和延续时间长、分布广的区域 (陈国达等, 2001)。

在区域 NE 向构造-岩浆活动带的湘赣粤地区, 近 240×200 km² 的范围内, 所产出的一系列多期复式花岗岩岩基穹窿组合, 构成了一个巨型构造-岩浆热穹窿构造带。热穹窿由规模不同、多个环形的花岗岩岩基穹窿构造叠置而成, 具有多时代和多期次花岗岩侵入形成的复合体特征。这些构造-岩浆热穹窿构造以燕山期花岗岩为主体, 加里东期和印支期花岗岩共存其中 (孙涛, 2006)。以郴州-临武-江山-绍兴断裂为界, 以北形成以 Sn-Nb-Ta-W 矿床, 以南形成以 W-Nb-Ta-REE 为主的矿床。其

中,在郴州-临武断裂带以南,早期陆壳改造型花岗岩向晚期陆壳改造型演化时,钾、氟及亲氟元素逐步富集,含量增高,导致晚期晚阶段花岗岩中钨等亲氟元素进一步聚集矿化,形成了与燕山期花岗岩有关的以钨为主的矿床(胡受奚和徐金芳,2008);在郴州-临武断裂带以北,由于处于超壳断裂附近,后造山拉张减薄构造强烈(沈晓明等,2008),地幔基性岩浆底侵,下地壳的高温熔融,使该地区形成以锡为主的一系列矿床。与世界上其他显生宙造山带或大陆增生带或活化区相比,华南地区经历了更显著、更多次的构造运动和花岗岩浆活动。目前,继南岭地区大规模燕山期成矿发现后,已在越城岭牛塘界发现了加里东期花岗岩成 W 矿,在王仙岭发现了印支期成 W-Sn 矿。

锡田锡钨多金属矿床地处湘赣交界处,是南岭成矿区带的重要组成部分。它位于南岭成矿带中段北缘,居 NE 向郴州-临武断裂与 NW 向安仁-龙南深大断裂交汇部位,明显受到构造-岩浆的双重控制。锡田成矿区成矿时代为 150 Ma 左右,与含矿的细粒斑状或中粗粒斑状花岗岩形成时代基本一致,说明与南岭区域性的燕山期岩浆构造活化和 W-Sn 成矿关系密切(柏道远等,2007)。

6.3 构造对成矿的控制作用

成矿前构造主要为成矿流体提供运移的通道和就位的空间;而成矿期构造则与成矿作用是在统一的构造物质系统中协同发展,并直接影响成矿的物理化学条件;成矿后构造则主要对已形成的矿体产生改造(陈国达,1979)。

6.3.1 接触构造对成矿的控制作用

燕山期岩浆底辟作用形成的锡田穹窿构造是成矿期构造。由中心到外侧,自西向东或从北到南,从深至浅,接触面倾角由陡变缓,圈闭性好,控制了矽卡岩型矿床的具体空间位置。岩浆底辟作用衍生的环弧状层间重力滑动断裂及其滑裂岩带在矿区内特别发育,几乎在所有的岩性差异面上都不同程度地存在。而层间的滑裂岩带是最重要的导矿、容矿空间,在有利的岩性组合(包括矿源层)中,形成了一系列规模较大的矽卡岩型工业矿体。岩浆底辟及层间重力滑动派生的各种裂隙、断层、层间滑动是导矿、矿液渗滤、交代及储矿的重要构造。岩体与围岩的接触构造往往控制着蚀变和矿化程度。岩体顶部与有利围岩接触时,蚀变和矿化强;围岩层面与岩体界面产状反向截接时有利于成矿;围岩层面与岩体界面同向倾斜时成矿较差。

6.3.2 断裂构造对成矿的控制作用

锡田矿区构造形迹包括 NEE 至近 EW 向右行走滑(伸展)断层、NNW 至近 SN、NNE 向左行走滑断层、NE 向压性断层或褶皱、NW 向张性断层。它们是燕山期强烈活动的产物,是矿区的成矿期构造。构造形迹的配套和力学分析表明,它们与南岭地区 NE 向右行走滑构造系统配套。其走滑剪切作用力可能来自东部太平洋壳体和深部岩石圈地幔对华南块体的作用。

产于内接触带或外接触带的碳酸盐岩中的 NNW 向断裂往往形成构造-矽卡岩复合型锡铅锌矿体,如晒禾岭 1、2、3 号矿脉及黄垄寨一些 NW 向矿体(图 1)。

此外,在两期花岗岩接触部位的桐木山、狗打栏、花里泉、荷树下等地,发育密集平行排列的 NEE 或 SEE 向断裂,长 50~1000 余米,厚 0.1~1 m,倾角近于直立,被石英脉或云英岩脉充填,并形成了较好的脉状钨锡矿。

印支期,南岭及其邻区形成一系列 EW 向压性构造面和 NE 向走滑逆冲构造面(梁新权等,2005)。骑田岭-九峰山花岗岩带是南岭地区 EW 向压性构造面代表之一,岩体呈串珠状沿东西方向展布,长约 300 km,包括金鸡岭、骑田岭、香花岭、千里山、九峰山、诸广山、大余、西华山等岩体。这些岩体多为多期复式岩体,主体为燕山期岩体,次为印支期和加里东期岩体(如大余岩体)。该岩带深部受 EW 向的茶陵-广昌断裂和九峰山断裂控制,岩带内部及其南北两侧均发育一系列近 EW 向的破碎带、褶皱带和断陷带等。前侏罗纪的地质演化主要受古特提斯构造体制控制。中侏罗世以来的盆山格局则受太平洋构造体制和陆内深部构造-岩石圈地幔作用的联合制约。

6.3.3 褶皱构造对成矿的控制作用

乙垄坳背斜和笏背向斜与成矿关系最密切。前者在背斜轴部虚脱部位形成了钨锡富矿体(21-1 号矿脉),并使中泥盆统跳马涧组(D_2t)抬升且与花岗岩接触,导致 21 号矿脉往深部尖灭。后者则使中泥盆统棋梓桥组(D_2q)下降,加上断裂构造影响,不但形成了多层较好的钨锡矿体,而且深部 D_2q 与花岗岩接触部位是钨锡矿体赋存的有利空间。

7 结 论

(1) 锡田地区 W-Sn 矿床构造-岩浆-成矿时

代基本一致,介于150~160 Ma之间。

(2) 锡田 W-Sn 矿区发育一系列与成矿期有关的近 SN 向的花岗岩穹窿伸展构造、NE 向复式褶皱和 NE、NEE 向走滑伸展构造。

(3) 锡田矿区位于哑铃状锡田花岗岩穹窿构造的手柄部位, W-Sn 矿床的形成与岩浆作用和构造作用密切相关。矿床的定位与地层和花岗岩穹窿的接触带、岩体内的断裂构造、区域断裂构造和褶曲构造有重要关系。①岩体与地层的接触面,特别是接触面产状由上向下由缓变陡的部位,或者接触面与围岩层面的交角最大的接触部位,是最有利成矿的空间;②岩体中的 NEE 向断裂是有利的成矿部位;③围岩中的背斜轴部,特别是其被区域性 NE 向断层叠加的部位,是勘查钨锡多金属矿床的有利地段。

致谢: 感谢付建明研究员和另一位审稿专家所提出的宝贵意见!

参考文献(References):

- 柏道远, 黄建中, 李金冬, 王先辉, 马铁球, 张晓阳, 陈必河. 2007. 华南中生代构造演化过程的多地质要素约束——湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启示. 大地构造与成矿学, 31(1): 1-13.
- 陈国达. 1956. 中国地台活化实例并着重讨论华夏大陆问题. 地质学报, 36: 239-272.
- 陈国达. 1979. 成矿构造研究法. 北京: 地质出版社.
- 陈国达. 1997. 东亚陆缘扩张带——一条离散式大陆边缘成因的探讨. 大地构造与成矿学, 21(4): 285-293.
- 陈国达, 杨心宜, 梁新权. 2001. 中国华南活化区历史-动力学的初步研究. 大地构造与成矿学, 25(3): 228-238.
- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 陈毓川, 王平安, 许建祥, 张家菁, 许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代. 地质通报, 25(4): 496-501.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 马丽艳, 杨晓君, 魏君奇, 刘国庆. 2008. 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代析确定及其地质意义. 大地构造与成矿学, 32(1): 57-62.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 杨晓君, 魏君奇, 刘国庆, 马丽艳. 2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究. 中国地质, 34(4): 651-656.
- 付建明, 伍式崇, 徐德明, 马丽艳, 程顺, 陈希清. 2009. 湘东锡田钨锡多金属矿区成岩成矿时代的再厘定. 华南地质与矿产, (2): 1-6.
- 郝义, 李三忠, 金宠, 戴黎明, 刘博, 刘丽萍, 刘鑫. 2010. 湘赣桂地区加里东期构造变形特征及成因分析. 大地构造与成矿学, 34(2): 166-180.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社: 719.
- 胡受奚, 徐金芳. 2008. 区域成矿规律对华南大地构造属性的联系. 中国地质, 35(6): 1045-1053.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邵晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. 地质论评, 42(3): 261-267.
- 李献华. 1990. 万洋山-诸广山花岗岩复式岩基的岩浆活动时间与地壳运动. 中国科学(B辑): 746-755.
- 梁新权, 李献华, 丘元禧, 杨东生. 2005. 华南印支期碰撞造山——十万大山盆地构造和沉积学证据. 大地构造与成矿学, 29(1): 99-112.
- 刘国庆, 伍式崇, 杜安道, 付建明, 杨晓君, 汤质华, 魏君奇. 2008. 湘东锡田钨锡矿区成岩成矿时代研究. 大地构造与成矿学, 32(1): 63-71.
- 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 梅玉萍, 陈希清. 2006. 湖南宝山铜-钼多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究. 岩石学报, 22(10): 2483-2492.
- 罗洪文, 曾钦旺, 曾桂华, 伍式崇, 余阳春. 2005. 湘东锡田锡矿田矿床地质特征及矿床成因. 华南地质与矿产, (2): 61-67.
- 马丽艳, 付建明, 伍式崇, 徐德明, 杨晓君. 2008. 湘东锡田垄上锡多金属矿床⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素定年研究. 中国地质, 35(4): 706-713.
- 马铁球, 柏道远, 邝军, 王先辉. 2005. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 地质通报, 24(5): 415-419.
- 马铁球, 王先辉, 柏道远. 2004. 锡田含 W, Sn 花岗岩体的地球化学特征及其形成构造背景. 华南地质与矿产, (1): 11-16.
- 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地球动力学意义. 矿床地质, 23(2): 164-175.
- 邱华宁, 彭良. 1997. ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学与流体包裹体定年. 合肥: 中国科技大学出版社: 143-151.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴樟谟, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 26(3): 237-248.
- 沈晓明, 张海祥, 张伯友. 2008. 华南中生代变质核杂岩构造及其与岩石圈减薄机制的关系初探. 大地构造与成矿学, 32(1): 11-19.
- 孙涛. 2006. 新编华南花岗岩分布图及其说明. 地质通报, 25(3): 332-335.
- 伍式崇, 罗洪文, 黄韬. 2004. 锡田中部地区锡多金属矿成矿地质特征及找矿潜力. 华南地质与矿产, (2): 21-26.
- Li Z X and Li X H. 2007. Formation of the 1300 km-wide intra-continental orogen and post-orogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. *Geology*, 35: 179-182.
- Li Z X, Li X H, Wartho J A, Clark C, Li W X, Zhang C L and

- Bao C M. 2010. Magmatic and metamorphic events during the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny, southeastern South China: New age constraints and P-T conditions. *GSA Bull.*, 122: 772 – 793.
- Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, Ji S C and Peng T P. 2007. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block. *Gondwana Research*, 12: 404 – 416.
- Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M and Peng T P. 2005. Structural signatures and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block. *Journal of Structural Geology*, 27: 985 – 998.
- Sun Y L, Xu P, Li J, He K, Chu Z Y and Wang C Y. 2010. A practical method for determination of molybdenite Re-Os age by inductively coupled plasma-mass spectrometry combined with Carius tube-HNO₃ digestion. *Analytical Methods*, 2: 575 – 581.

Structural Characteristics and Prospecting Significance of the Xitian Tin-Tungsten Polymetallic Deposit, Hunan Province, China

WU Shichong¹, LONG Ziqiang¹, XU Huihuang¹, ZHOU Yun^{2,3},
JIANG Ying^{2,3} and PAN Chuanchu⁴

(1. 416 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Hunan Province, Zhuzhou 412007, Hunan, China; 2. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Changsha Center of Mineral Resource Exploration, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410013, Hunan, China)

Abstract: The Xitian tin-tungsten deposit, an important deposit discovered recently in the Nanling ore-forming province, occurs in the contact zone of the Late Devonian dolomitic limestone and Jurassic to Cretaceous (Yanshanian) granitoids. The main ore types of the deposit are skarn-, structural skarn-, structural altered rock- and quartz-greisen vein types. There is a SN-trending extensional structure of granite dome, a series of NE-trending multiple folds and NE or NEE-trending strike-slip tectonic system developed in the Xitian deposit. The dome structure is composed of Indosian and Yanshanian granites, Paleozoic strata and Mesozoic discontinuous ring detachment faults, which controls the distribution of skarn orebodies. The complex fold is a NE-trending complicated synclines, which consists of Palaeozoic strata, and is cut by strike-slip faults in the anticlinal core. Some structural fracture zone type ore bodies are controlled by both the coaxial overprinted fold of two periods, which belong to Yantang and Xiaotian complicated syncline, and the ductile brittle shear faults. The strike-slip system consists of the first-order NE-trending right lateral strike-slip faults, secondary P-orientation shear faults, SN-trending left lateral strike-slip faults and NW-trending stretch faults. The strike-slip system controls the distribution of quartz-vein- and greisen vein type tin-tungsten polymetallic orebodies. Zircon SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb dating of the Xitian granites and ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of muscovites from the greisenization type tungsten-tin orebodies as well as Re-Os isochron age of molybdenites from the quartz-vein type tin-tungsten ore bodies demonstrate that the time of tectonic activity, magmatism and metallogenesis in Xitian tin-tungsten deposit is basically consistent with those of the large-scale metallogeny in Nanling ore-forming province (150 Ma ~ 160 Ma). There exist many metallogenic areas favorable for future exploration, such as contact zones of granites and limestones, NEE- or NE-trending fault zones in the granite dome, and anticlinal cores overprinted by the Yanshanian NE-trending strike-slip faults in the strata.

Keywords: ore-forming structure; tin-tungsten deposit; geochronology; exploration target; Xitian, Hunan province