

编号: 0258-7106(2011)05-0949-10

江西省于都县盘古山钨铋(碲)矿床地质特征 及成矿年代学研究*

曾载淋^{1,2}, 张永忠², 陈郑辉^{3,5**}, 陈毓川¹, 朱祥培², 童启荃⁴, 郑兵华², 周瑶²

(1 中国地质科学院, 北京 100037; 2 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 江西 赣州 341000;

3 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

4 江西盘古山钨业有限公司, 江西 于都 342311; 5 中国地质大学, 北京 100083)

摘要 盘古山钨铋矿床位于南岭成矿带东段的赣县-于都钨多金属矿集区, 为一赋存于隐伏岩体外接触带的石英脉大型钨铋(碲)矿床。笔者采集了该矿区内2条不同地质产状黑钨矿-石英脉中的辉钼矿样品, 进行了辉钼矿 Re-Os 同位素测试, 获得其等时线年龄为 $(157.75 \pm 0.76) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.99) 和 $(158.8 \pm 5.7) \text{ Ma}$ (MSWD = 1.7)。测试结果显示, 这2组矿脉是同一时期的成矿产物, 均形成于燕山早期, 属南岭 EW 向构造-岩浆带作用的产物。

关键词 地球化学; Re-Os 同位素; 成矿时代; 辉钼矿; 盘古山钨铋矿床; 江西

中图分类号: P618.67; P618.69

文献标志码: A

Geological characteristics and metallogenic epoch of Pangushan W-Bi(Te) ore deposit in Yudu County, Jiangxi Province

ZENG ZaiLin^{1,2}, ZHANG YongZhong², CHEN ZhengHui^{3,5}, CHEN YuChuan¹, ZHU XiangPei²,
TONG QiQuan⁴, ZHENG BingHua² and ZHOU Yao²

(1 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Gannan Geological Survey Party, Jiangxi Bureau of Exploration & Development of Geology & Mineral Resources, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3 Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, GAGS, Beijing 100037, China; 4 Jiangxi Pangushan Tungsten Co. Ltd., Yudu 342311, Jiangxi, China; 5 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The Pangushan tungsten ore deposit is a large-size wolframite-quartz vein type W-Bi (Te) ore deposit in the exocontact zone of the buried rock body within the eastern part of the Nanling metallogenic belt. The authors collected molybdenite samples from the W-bearing quartz veins of different geological modes of occurrence. Re-Os isotopic dating yielded isochron ages of molybdenite $(157.75 \pm 0.76) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.99) and $(158.8 \pm 5.7) \text{ Ma}$ (MSWD = 1.7). The ages indicate that these two mineralized veins belong to the same product and were formed in the same period, i. e., Early Yanshanian. The study also provides useful evidence that the ore deposit is the product of Nanling EW-trending tectonic-magmatic belt.

* 本文得到全国危机矿山接替资源找矿项目([2008]204号)深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-03-03, 201011048)“南岭大型矿集区深部评价技术方法研究([12]2010813062)、江西省地质矿产勘查开发局科研项目(赣地矿字[2008]52号、赣地矿字[2009]73号)的共同资助

第一作者简介 曾载淋,男,1970年生,在读博士研究生,高级工程师,主要从事地质矿产勘查与技术管理工作。Email: jxzengzailin@163.com

** 通讯作者简介 陈郑辉,男,1973年生,副研究员,主要从事区域成矿规律和矿产资源潜力预测评价、深部探测技术方法等研究。Email: chenzhenghui@sina.com

收稿日期 2010-09-25; 改回日期 2011-06-17。许德焕编辑。

Key words: geochemistry, Re-Os isotope, metallogenic epoch, molybdenite, Pangushan W-Bi ore deposit, Jiangxi

南岭是中国也是世界上最重要的钨、锡多金属及铀、稀土和稀有元素矿产资源成矿区。在其东段的赣南地区,石英脉型黑钨矿广泛发育,主要有2种亚型:①产于燕山期成矿花岗岩内的“内带型”,如西华山钨矿等;②产于燕山期成矿花岗岩体之外的“外带型”,如盘古山钨矿等。“外带型”钨矿的赋矿围岩主要是寒武系和震旦系的一套浅变质岩,但盘古山钨矿比较特殊,其赋矿围岩不仅有震旦系,还有泥盆系。盘古山钨矿发现于1918年,1919年开始开采,自1954年至1989年,历经4次系统勘查工作,累计探明钨资源储量10.76万吨^①,是赣南“四大钨矿名山”之一,产出有世界上单脉延深最大的脉钨矿体。前人对该矿床的赋矿特征、矿物学、地球化学、

成矿规律等方面进行过一些研究(任英忱等,1986;任英忱,1998;徐岩等,2006;谭运金等,2002;叶际炜等,2000),但对矿床形成时代的研究尚属空白。为此,笔者在该矿床进行典型矿床研究时,分别在该矿区南组隐伏矿脉及主矿脉中各采集了辉钨矿样品进行了Re-Os等时线年龄测定。

1 地质背景

盘古山钨矿位于南岭成矿带东段赣县-于都矿集区的东部,盘古山-铁山垅NE向构造-岩浆-成矿带的南端(徐贻赣等,2006;徐岩等,2006)(图1)。区域内,大面积出露青白口系、南华系、震旦系

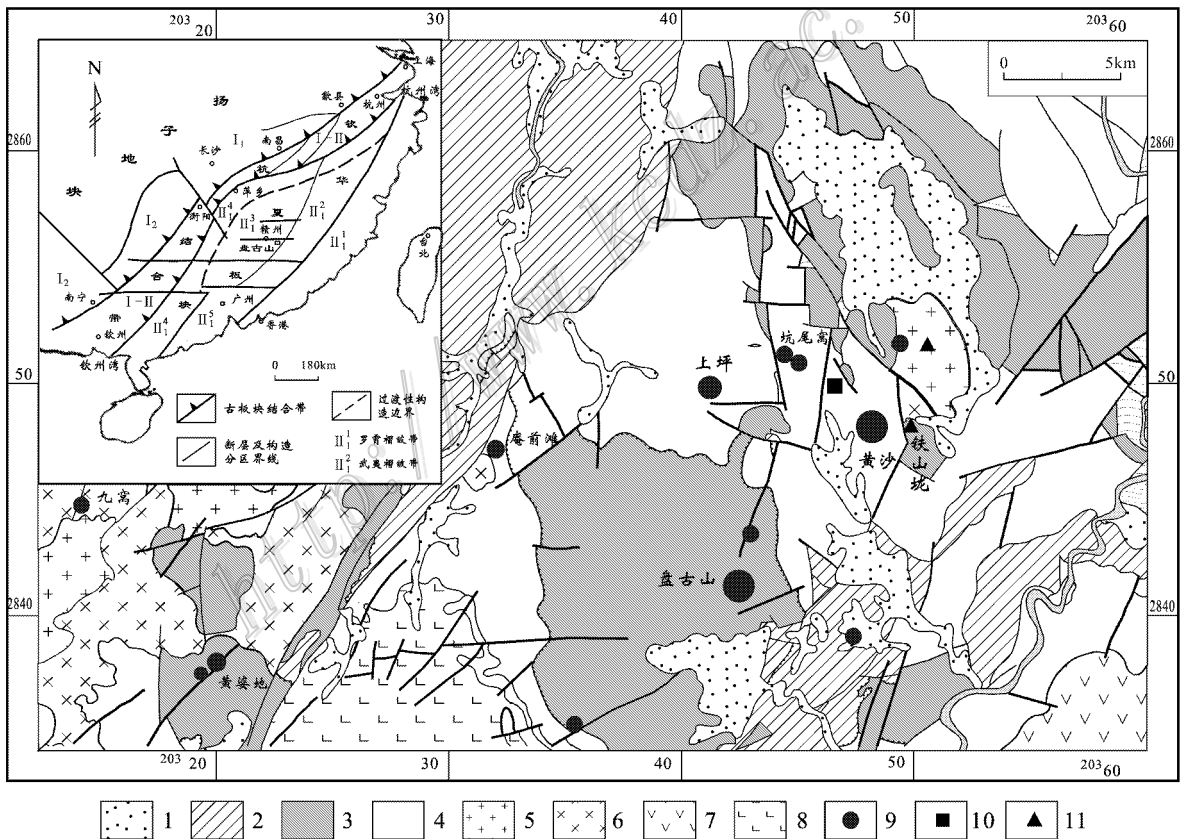


图1 盘古山钨铋矿床区域地质简图(据1:20万于都幅矿产地质图修编)

- 1—第四系;2—侏罗系-白垩系碎屑岩;3—泥盆系-二叠系碎屑岩;4—青白口系-寒武系变质岩;5—白垩纪侵入岩;
- 6—侏罗纪侵入岩;7—三叠纪侵入岩;8—奥陶纪侵入岩;9—钨矿;10—锡矿;11—钨锡矿

Fig. 1 Schematic regional geological map of the Pangushan W-Bi deposit

- 1—Quaternary; 2—Jurassic-Cretaceous clastic rocks; 3—Devonian-Permian clastic rocks; 4—Proterozoic-Cambrian metamorphic rocks;
- 5—Cretaceous intrusion; 6—Jurassic intrusion; 7—Triassic intrusion; 8—Ordovician intrusion; 9—Tungston deposit;

- 10—Tin deposit; 11—Tungston-tin deposit

① 江西盘古山钨业有限公司, 2005. 江西省于都县盘古山钨矿资源潜力调查报告. 内部资料.

及寒武系基底,其次为泥盆系、石炭系、二叠系盖层,断陷盆地中覆盖有侏罗系、白垩系、第三系红层。据前人研究(李诗斌等,2006;韩久竹等,1984),震旦系、寒武系和泥盆系碎屑岩建造中富含W、Sn、Cu、Pb、Zn、Ag等成矿元素,其 $w(W)$ 高出地壳克拉克值3~6倍,被认为是区内钨矿床的矿源层。

区域构造变形强烈,褶皱、断裂发育,以基底褶皱、盖层褶皱及一系列近EW向叠瓦式推覆断裂和NW向断裂为主干构造形迹,NE向断裂构造自东往西依次为铁山垅-盘古山断裂、黄婆地-庵前滩断裂、长坑断裂。

区域内岩浆活动频繁,形成了多期、多阶段复式岩体,以燕山期花岗岩类最盛,与钨有关的成矿岩体主要有大埠和铁山垅2个岩体。在区内各组断裂的交叉部位,一般有隐伏岩突入侵,是成矿的有利部位,如盘古山-陶珠坑-黄沙-白鹅花岗岩脊线展布地带。

该地区是赣南钨矿的主要产地之一,区内已知的矿床类型主要有岩体型、石英脉型、矽卡岩型、层状浸染型、砂矿型等5类;主要矿床有黄沙、盘古山、上坪、长坑、庵前滩、黄婆地、白鹅、隘上、铁山垅等(图1)(徐岩等,2006)。

2 矿区地质特征概述

盘古山矿区内出露的地层主要为震旦系和上泥盆统碎屑岩建造。地表仅出露上泥盆统,是主要的赋矿围岩,岩性为含云母石英砂岩、粉砂岩、含砾石英粗砂岩等,局部变质为板岩、千枚岩、变余砂岩等。震旦系主要隐伏于矿区海拔200 m以下,主要由深灰色至灰绿色含云母石英质砂岩夹青灰色薄层板岩及千枚岩等组成,偶夹扁豆状燧石条带。

该矿区位于上坪背斜隆起区南端的西翼。褶皱有:深部的震旦系紧密基底褶皱,轴向为NNW;泥盆系构成一系列NNW-NW向平缓褶曲,在矿区内主要为倾向SW的单斜构造。矿区内断裂构造发育,继承性较明显,成矿前有NEE向、NNW向、EW向3组,均具有长期活动的特点。NEE向组是区内对矿床影响最大的断裂,由若干平行滑动面密集延布的断层束组成,成矿前表现为张性,对成矿裂隙的形成及发展起着重要影响,成矿后仍有活动,表现为

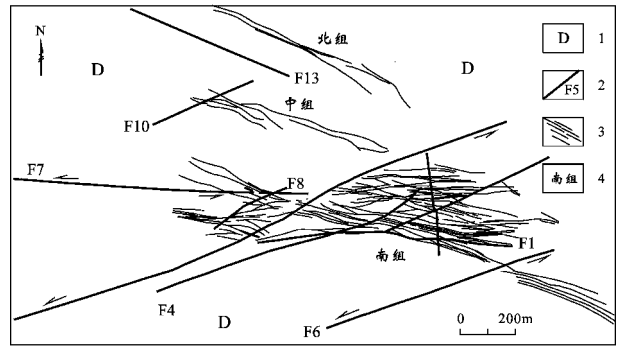


图2 盘古山钨铋矿区地质简图^①

1—泥盆系碎屑岩建造;2—断裂构造及编号;3—矿脉;
4—矿脉组名称

Fig. 2 Sketch geological map of the Pangushan W-Bi deposit
1—Devonian clastic formation; 2—Fault and its serial number; 3—Ore vein; 4—Name of ore vein group

扭性;NNW向组是成矿前断裂,成矿前为张性,成矿后表现为扭性;近EW向组断裂,成矿前为张扭性,成矿后为扭性,对矿床的影响小。成矿后断裂主要有4组:NEE向组最为发育,其长、深均小于1000 m,大多属张扭或扭性;近EW向组断层不甚发育,为正平移断层;NNW向和NNE向组均以小断层为主,数量较多,但对矿床的影响不大(图2)。

矿区内岩浆活动相对较弱,仅出露岩脉,岩体为隐伏于矿区深部-115 m标高以下的中细粒黑云母花岗岩和二云母花岗岩,可能是该地区钨矿成矿物质的来源及矿体定位的重要因素。该矿区出露的岩脉有6条,其中石英闪长玢岩5条,玄武玢岩1条,在已开拓的中段内均能见到。岩脉形态简单,石英闪长玢岩往深部分支条数增多,形态也较上、中段复杂,玄武玢岩脉主要沿主F5断裂充填,并将矿床斜切分为东、西2部分。这2期岩脉均切断含矿石英脉,表明这些岩脉主要是成矿后侵入的,起到破坏矿体的作用。

盘古山是一个石英大脉型钨铋矿区^①,矿床产于隐伏花岗岩体外接触带的震旦系及泥盆系内,其深部矿脉进入隐伏花岗岩体内,是否存在“地下室”型矿体仍在探索之中。矿脉沿走向延长逾1300 m,其长、深、宽之比约为2:2:1;在垂向上,3组矿脉自上而下呈收敛之势,且自北东朝南西方向侧伏;在水平方向上,一系列NNW向与NEE(近EW)走向的矿脉呈“X”状交叉展布。该矿区内有矿脉70多条,分

① 江西盘古山钨业有限公司,2005.江西省于都县盘古山钨矿资源潜力调查报告.内部资料.图2据报告插图修改.

北、中、南3组(图2),南组矿化最强、规模最大,是目前矿山生产的主要地段。矿带延长、延深超过1000m,地表矿脉条数较多,往下条数逐步减少,但累计脉幅变化不大。矿脉的形态变化受含矿裂隙的控制,矿脉的构式复杂,单体矿脉呈脉状,以膨大缩小、分枝复合、交替分支再现、尖灭侧现、复合牵连、弯曲、共轭形交叉等形式出现,在水平方向上为左行右侧,在垂向上表现为前侧排列规则。脉壁常呈舒缓波状、蛇形弯曲和锯齿状拆转。

该矿床大致可分出如下3个矿化阶段:①硅酸盐成矿阶段,为矿区早期成矿阶段,形成云英岩型钨矿和不规则糖粒状石英脉、团块状石英脉及含少量黑钨矿、白钨矿的石英小脉,产于岩体顶部及盖层的早期裂隙中。②石英硫化物阶段,是该矿区的主要成矿阶段,大部分黑钨矿在此阶段形成,具有工业价值,按矿石类型及矿石组合特征,可分为以下3种:(a)石英-绿柱石-黑钨矿组合,产于NEE向裂隙中,形成初期矿脉;(b)石英-钨锰铁矿-硫化物组合,产于近EW、NE、NW向裂隙的石英脉;(c)石英-硫化物组合,使原矿脉矿化加强,更加富集。③碳酸盐阶段,形成石英-方解石,是成矿阶段的尾声,结束了整个成矿过程。

矿石构造主要有块状构造、梳状构造、对称条带状构造、晶簇及晶洞构造、角砾状构造、浸染状构造等,矿石的结构主要有自形晶粒状结构、半自形晶粒状结构、他形晶粒状结构、残余结构、结状结构等。

区内与钨矿化关系密切的蚀变作用是云英岩化和白云母化,其次是硅化、绢英岩化和黑云母化。蚀变的岩石化学特征受原岩的岩性和蚀变作用类型的控制,其微量元素含量特征与原岩的岩性、蚀变作用类型及其蚀变强度有关(谭运金等,2002)。

3 样品的采集和测试

3.1 样品采集及特征

在矿山生成的巷道开拓和矿山探矿过程中,在矿区的南组矿脉带中发现了多条隐伏矿脉,该隐伏矿脉(如盲3号矿脉)中的辉钼矿,从上部中段往下部中段,在品位上有增高的趋势,与矿区原来勘探阶段发现的主矿脉(7、6²号矿脉)中辉钼矿的变化趋势有一定的区别,那么,不同矿脉中的辉钼矿是否为不同时期的产物,还是同一时期的产物但产状不同呢?由于辉钼矿与黑钨矿均为石英硫化物阶段的产物,

因此,辉钼矿的年龄也就代表了成矿年龄,本着对隐伏矿脉和主矿脉的形成时代进行探讨的目的,对矿区的主矿脉6²号矿脉及盲3号矿脉分别采集其中的辉钼矿样品,并进行详细的地质观察。样品采集的具体情况是:第1组采集的是南组隐伏矿脉——盲3号矿脉的7件样品,编号pgsH1~pgsH7,其中,在215m中段20号勘探线附近采集了1件,编号pgsH1,35m中段20~22号勘探线附近采集了6件,编号分别为pgsH2~pgsH7;第2组采集的是南组在地表出露的主要矿脉——6²号矿脉的8件样品,编号pgsL1~pgsL8,其中,在215m中段20~22号勘探线之间采集了5件,编号分别为pgsL1~pgsL5,35m中段22线附近采集了2件,编号pgsL6和pgsL7,35m中段20号勘探线附近采集了1件,编号pgsL8,采样地点见图3。

样品中的主要矿物成分包括黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、石英和云母等。黑钨矿呈板柱状自形-半自形晶在石英脉中分布,部分呈集合体团块状分布。白钨矿往往在黑钨矿的周边产出,显示出其形成可能晚于黑钨矿,并交代黑钨矿。辉钼矿主要沿石英脉壁生长,或在脉壁附近呈细小鳞片状集合体星散状、浸染状分布(图4),部分在石英脉中心部位呈较大的片状集合体产出,常与辉铋矿紧密共生(图5)。辉铋矿的结晶程度高且颗粒粗大,部分集合呈柱状,并显示出受构造挤压变形的特征。云母主要生长于石英脉壁,有少量在石英脉体中,为自形-半自形片状晶体。辉钼矿、黑钨矿、石英等均为共生矿物。

3.2 辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

用于测试的样品主要选取黑钨矿、辉钼矿、辉铋矿-石英矿脉中的辉钼矿单矿物。在室内无污染环境下,用小钻头钻取辉钼矿粉末,由国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室进行同位素测定。有关样品的化学处理流程和质谱测定技术等见相关文献(Shirey et al., 1995; Du et al., 2004; 杜安道等, 2001; 屈文俊等, 2003)。

本次测试的2组辉钼矿样品的 Re、Os 含量见表1。

表1中的¹⁸⁷Os 为总¹⁸⁷Os。计算时的误差是指其总误差,包括样品的称量误差、稀释剂标定误差、质谱测量误差和质量分馏校正误差等,置信度为95%。模式年龄的计算误差还包括¹⁸⁷Re 衰变常数的不确定度(1.02%)。模式年龄 t 按下列公式计算:

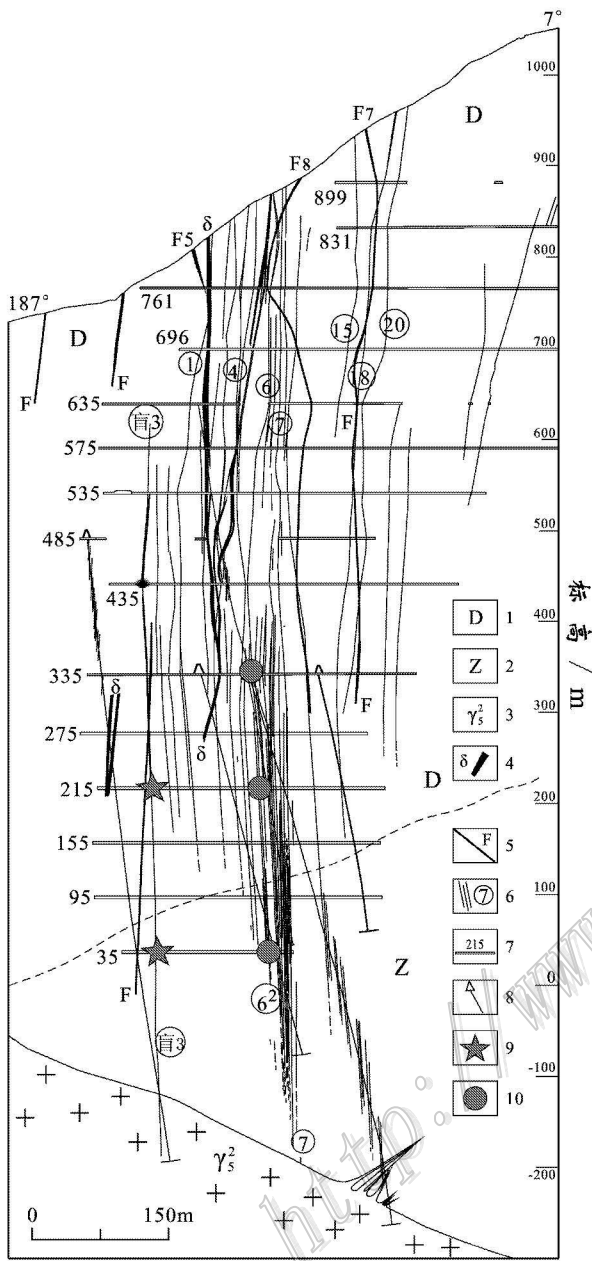


图3 盘古山钨铋矿床20号勘探线剖面简图及采样位置
 1—泥盆系石英砂岩夹板岩；2—震旦系变质石英砂岩夹板岩及千枚岩；3—花岗岩；4—石英闪长玢岩脉；5—断裂；6—主要矿脉及编号；7—采掘坑道及中段编号；8—钻孔；9—盲3号矿脉采样位置(pgsH1-pgsH7)；10—6²号矿脉采样位置(pgsL1-pgsL8)

Fig. 3 Geological section along No. 20 exploration line and sampling sites in the Pangushan W-Bi deposit

1—Devonian quartz sandstone intercalated with slate; 2—Sinian metamorphic quartz sandstone intercalated with slate and phyllite; 3—Granite; 4—Quartz dioritic porphyrite dike; 5—Fault; 6—Main ore vein and its serial number; 7—Mining adit and level, and its serial number; 8—Drill hole; 9—Sampling location of No. 3 ore vein (pgsH1-pgsH7); 10—Sampling location of No. 6² ore vein (pgsL1-pgsL8)



图4 盘古山钨铋矿床盲3号矿脉中的辉钼矿

Fig. 4 Molybdenite in Mang 3 ore vein of the Pangushan W-Bi deposit



图5 盘古山钨铋矿床6²号矿脉中的辉钼矿

Fig. 5 Molybdenite in No. 6² ore vein of the Pangushan W-Bi deposit

$$t = [\ln(1 + {}^{187}\text{Os}/{}^{187}\text{Re})] / \lambda$$

其中, λ (${}^{187}\text{Re}$ 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。本次实验全流程空白水平, Re 约为 20 pg, 普通 Os 为 0.1 pg, 均远小于所测样品的 Re、Os 含量, 不会影响实验中 Re、Os 含量的准确测定。

应用 ISOPLOT 软件分别计算了所测试的 2 组样品的等时线年龄及模式年龄加权平均值(图 6, 图 7), 测试结果为: 6² 号矿脉样品的等时线年龄为 $(157.75 \pm 0.76) \text{ Ma}$ (加权平均方差 MSWD = 0.99),

① 江西盘古山钨业有限公司, 2005. 江西省于都县盘古山钨矿资源潜力调查报告. 内部资料.

表1 盘古山钨铋矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素测定
Table 1 Re-Os isotopic data of molybdenite from the Pangushang W-Bi deposit

样品 编号	m/g	采样 位置	$\alpha(B)$ (ng/g)								模式年龄/Ma	
			Re		普 Os		^{187}Re		^{187}Os		测定值	不确定度
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度		
pgsL2	0.20078	V6 ²	4234	32	0.0222	0.0014	2661	20	6.934	0.056	156.2	2.1
pgsL1	0.20018	V6 ²	90.61	2.05	0.0199	0.0043	56.95	1.29	0.147	0.002	154.6	4.1
pgsL3	0.20056	V6 ²	2218	18	0.0871	0.0055	1394	11	3.672	0.038	157.9	2.4
pgsL4	0.20036	V6 ²	1707	14	0.0013	0.0086	1073	9	2.817	0.030	157.4	2.5
pgsL5	0.20066	V6 ²	2518	20	0.0437	0.0043	1582	12	4.194	0.036	158.9	2.3
pgsL6	0.20002	V6 ²	2360	19	0.0989	0.0072	1483	12	3.905	0.032	157.8	2.2
pgsL7	0.20004	V6 ²	1736	14	0.0336	0.0028	1091	9	2.858	0.025	157.0	2.3
pgsL8	0.20004	V6 ²	834.9	6.4	0.0350	0.0042	524.7	4.0	1.385	0.011	158.2	2.2
pgsH4	0.20007	盲3	6376	50	0.0013	0.0043	4007	31	10.45	0.09	156.4	2.2
pgsH1	0.09993	盲3	8426	65	0.3071	0.0050	5296	41	13.93	0.12	157.7	2.2
pgsH2	0.10048	盲3	9577	73	0.0565	0.0084	6019	46	15.90	0.14	158.3	2.3
pgsH3	0.10004	盲3	5421	44	0.1490	0.0112	3407	28	8.955	0.074	157.5	2.2
pgsH5	0.10061	盲3	7101	56	0.1720	0.0134	4463	35	11.75	0.09	157.8	2.2
pgsH6	0.10000	盲3	7820	60	0.1662	0.0090	4915	37	13.09	0.12	159.6	2.3
pgsH7	0.10094	盲3	5443	43	0.3016	0.0113	3421	27	9.086	0.076	159.2	2.2

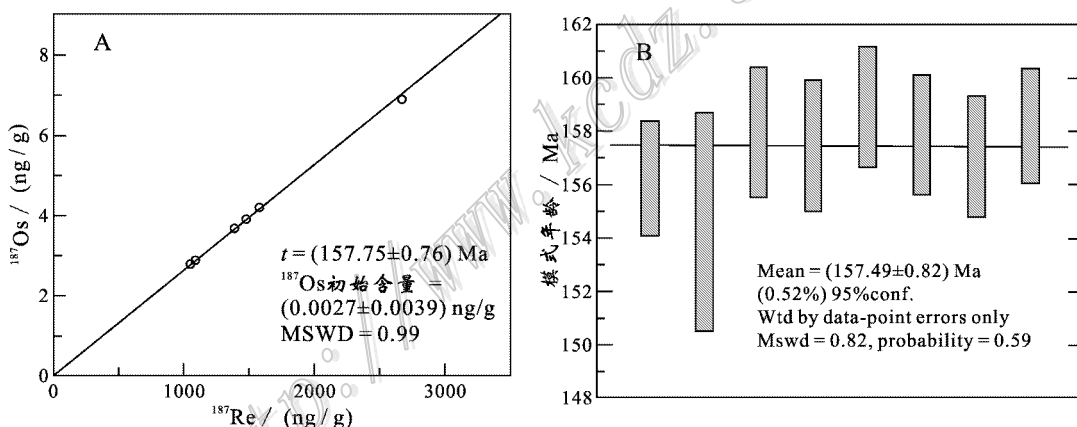


图6 6²号脉辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄(A)和加权平均模式年龄(B)

Fig. 6 Re-Os isochron age (A) and weighted average value of model age (B) of molybdenite from No. 6² ore vein in the Pangushan W-Bi deposit

加权平均模式年龄为 (157.49 ± 0.82) Ma (加权平均方差 $\text{MSWD} = 0.82$); 盲3号脉样品的等时线年龄为 (158.8 ± 5.7) Ma (加权平均方差 $\text{MSWD} = 1.7$), 加权平均模式年龄为 (158.06 ± 0.82) Ma (加权平均方差 $\text{MSWD} = 0.96$)。这2组数据点均构成很好的 ^{187}Re - ^{187}Os 等时线, 等时线年龄及相应的加权平均模式年龄都非常接近, 说明测试结果是可靠的。此外, 等时线的截距分别为 (0.0027 ± 0.0039) 和 (-0.05 ± 0.42) , 十分接近0点, 说明样品辉钼矿中不存在普通 Re, ^{187}Os 都是 ^{187}Re 的衰变产物, 这符合计

算模式年龄的条件, 也说明所获得的模式年龄和等时线年龄是有效的, 能代表矿物的形成年龄。

4 讨论与结论

4.1 盘古山钨矿成矿时代

Re-Os 同位素测年方法是直接精确测定辉钼矿及相关矿化模式年龄的有效手段 (Shirey et al., 1995; Smoliar et al., 1996; Du et al., 2004; 杜安道等, 1994, 2001; 屈文俊等, 2003; 李红艳等, 1996; 毛

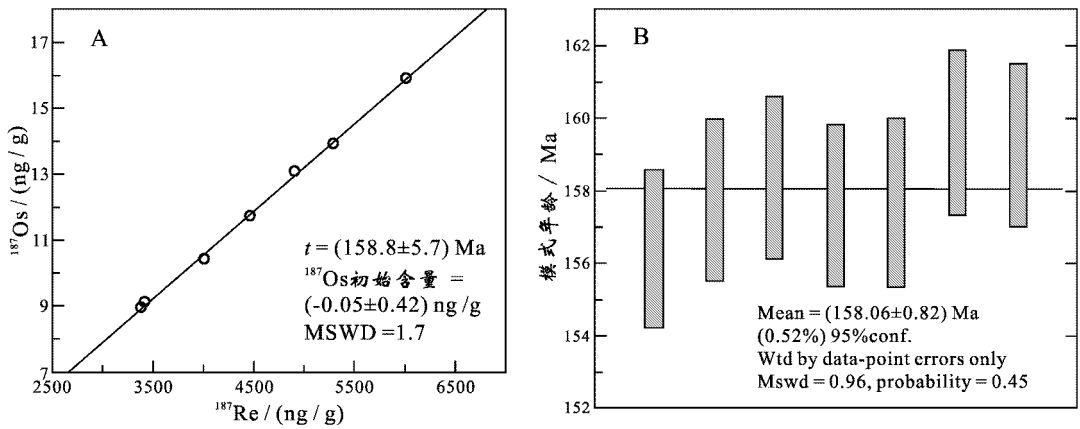


图 7 盲 3 号脉辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄 (A) 和加权平均模式年龄 (B)

Fig. 7 Re-Os isochron age (A) and weighted average value of model age (B) of molybdenite from Mang 3 ore vein the Pangushan W-Bi deposit

景文等, 2004a, 2004b), 本次测试的辉钼矿采自盘古山矿区 2 条不同的含矿石英脉, 所获的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄分别为 $(157.75 \pm 0.76) \text{ Ma}$ 和 $(158.8 \pm 5.7) \text{ Ma}$, 表明其辉钼矿的成矿时代为晚侏罗世。测试结果显示, 无论是早期勘探阶段发现的主矿脉, 还是后期矿山生产探矿中发现的隐伏矿脉, 均为同一时期成矿作用的产物。由于采集的辉钼矿与黑钨矿等为共生矿物, 通过辉钼矿的成矿年代测试, 可认为该区的成矿年龄为 $157.75 \sim 158.8 \text{ Ma}$ 。

据全国同位素数据库资料, 该地区北部铁山垌岩体黄沙钨矿的成矿年龄为 $(156.6 \pm 1.4) \text{ Ma}$ (K-Ar 法, 北京有色所, 1981), 西部大埠岩体附近的庵前滩钨矿为 $(155.17 \pm 0.99) \text{ Ma}$ (许建祥, 2009), 大埠岩体的洋西坑钨矿为 $(156.1 \pm 0.8) \text{ Ma}$ (辉钼矿 Re-Os 等时线, 本项目未发表数据), 合龙长坑钨矿为 $(158.1 \pm 1.2) \text{ Ma}$ (辉钼矿 Re-Os 等时线, 本项目组未发表数据)。由此可见, 于都-赣县矿集区内的多个主要钨矿床基本上是同一时期的产物, 而且, 可大致确定 $150 \sim 160 \text{ Ma}$ 是该矿集区的主成矿期, 这与南岭地区中生代大规模成矿作用的高峰期 ($150 \sim 160 \text{ Ma}$) 是相一致的, 这进一步证实了该矿集区具有燕山早期发生成矿作用的特征。

赣南地区近年来在钨矿成矿年代学方面进行了大量的研究工作, 如相邻的崇 (义) (大) 余 (上) 犹钨矿集区内的主要钨矿床: 漂塘和木梓园分别为 $(152 \pm 1.9) \text{ Ma}$ 和 $(151.1 \pm 8.5) \text{ Ma}$ (张文兰等, 2009), 牛岭钨锡矿为 $(154.9 \pm 4.1) \text{ Ma}$, 樟斗钨矿为 $(149.1 \pm 7.1) \text{ Ma}$ (丰成友等, 2007a), 塘漂孜钨矿为 $(155.8$

$\pm 2.8) \text{ Ma}$ (丰成友等, 2007b), 茅坪钨矿为 $(156.8 \pm 3.9) \text{ Ma}$ (曾载淋等, 2009), 淘锡坑为 $(154.4 \pm 3.8) \text{ Ma}$ (陈郑辉等, 2006)。这也说明, $150 \sim 160 \text{ Ma}$ 是赣南地区钨多金属成矿作用的高峰期。

4.2 成矿物质来源探讨

前人研究表明, 同位素体系不仅可以精确测定硫化物矿床形成的时间, 而且还可以示踪成矿物质的来源, 以及指示成矿过程中不同来源物质的混入程度。金属硫化物矿床内辉钼矿的 Re 含量也可以示踪其来源。毛景文等 (Mao et al., 1999) 通过对比国内部分辉钼矿的 Re 含量后得出:

(1) 与磁铁矿系列 (I 型) 花岗岩有关的钼矿床或者铜钼矿床中辉钼矿的 Re 含量明显高于与钛铁矿系列 (S 型) 花岗岩有关的钨锡矿床中辉钼矿的 Re 含量 (例如柿竹园钨锡钼矿床等);

(2) 从幔源、壳幔混源到壳源, 辉钼矿的 Re 含量各递降一个数量级 (从 $n \times 10^{-4}$ 到 $n \times 10^{-6}$), 即: ① 成矿物质来源于地幔或以地幔物质为主的矿床, 每克辉钼矿的 Re 含量多在几十微克至数百微克或更高, ② 成矿物质具有壳幔混源的矿床, 每克辉钼矿中的 Re 含量多在十几微克至几十微克, ③ 成矿物质完全来自壳源 (上地壳) 的矿床, 其辉钼矿的 Re 含量明显偏低, 每克辉钼矿中仅几微克或更低 (李红艳等, 1996; Mao et al., 1999)。本次测定的 15 个辉钼矿样品的 Re 含量为 $90.61 \sim 9577 \mu\text{g/g}$ ($0.09061 \sim 9.577 \mu\text{g/g}$) (表 1), 据此可初步推断, 盘古山矿床的成矿物质来源以壳源为主。

由于碲 (Te) 是一种亲地幔和地核的元素, 故在

地球化学循环中,碲在地壳内趋于分散。有学者(如毛景文等,1995;2000;2001)对一些富碲矿床的研究显示:亲地幔和地核的元素被大幅度搬运到地壳,深部流体和气体起着重要的输运作用,碲的富集可视为地幔流体成矿的重要组合标志。

盘古山矿区内的碲主要与铋族矿物紧密共生,铋矿物种类有:辉铋矿、辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿、柱硫铋矿、斜方硫铋矿、富硫铋矿等;碲矿物种类有:硫碲铋矿、应硫碲铋矿、辉碲矿等。据江西省地质局实验测试中心的化学分析资料(1958年5月)盘古山矿区铋精矿内Te的平均品位为0.23%(3个样),最高为0.316%。1989年,江西有色地质勘查二队对该矿区335中段及深部钻孔的组合样品进行了分析,其矿石的Te平均品位为0.00478%,最高为0.0101%。

盘古山矿床中分散元素碲的含量较高,碲元素主要赋存于辉铋矿中^①、其含矿石英脉中流体包裹体富含CO₂流体(蔡建明等,1981;王旭东等,2010)等特征表明,在该矿床的成矿过程中,可能有一定的幔源物质的参与,这与赣南地区钨矿成矿作用中有地幔物质参与成矿的观点(张文兰等,2009)是比较一致的。

4.3 结 语

本次研究对盘古山区内含钨石英脉中的辉钼矿进行了Re-Os同位素定年,获得其等时线年龄为(157.75±0.76)Ma和(158.8±5.7)Ma,表明其成矿作用发生于晚侏罗世,与南岭东段钨多金属矿大规模成矿作用发生于燕山早期是一致的,为该矿区的成矿年代学研究提供了重要依据。尽管盘古山矿区处于南岭EW向构造-岩浆带与武夷山NE向构造-岩浆带的交汇部位,但本文的成矿年代学研究成果表明,该区仍是南岭EW向构造-岩浆带的组成部分。

盘古山区内存在强烈的碲矿化,该矿化与辉铋矿、辉钼矿等硫化物组合的关系密切。碲元素的地球化学特征(毛景文等,1995;2000;2001)表明,在南岭地区的大规模成矿作用过程中,可能有地幔物质的加入,可能还是形成大型矿床的有利因素之一。但是,目前的研究成果还不能完全说明这一观点,尚有待进一步研究。

志 谢 在样品采集过程中得到了长江大学路远发教授的精心指导以及江西盘古山钨业有限公司相关领导的大力支持和热心帮助,在此深表谢意!

References

- Cai J M, Liu R L, Zeng G S, et al. 1981. Study on fluid inclusion and its relation to mineralization of Pangushan tungsten deposit, Jiangxi Province, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2: 99-103 (in Chinese with English abstract).
- Chen Z H, Wang D H, Qu W J, Chen Y C, Wang P A, Xu J X, Zhang J J and Xu M L. 2006. Geological characteristics and mineralization age of the Taokeng tungstenite deposit in Chongyi County, Jiangxi Province[J]. Geological Bulletin of China, 25(4): 496-501 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites[J]. Acta Geologica Sinica, 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Du A, Wu S, Wang S, Qu W, Markey R, Stain H, Morgan J and Malinovsky D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JD[J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation[J]. Rock and Mineral Analysis, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Feng Y D, Xu J X, Zeng Z L, She H Q, Zhang D Q, Qu W J and Du A D. 2007a. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangqiantang area, southern Jiangxi[J]. Geology in China, 34(4): 642-650 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Xu J X, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W J, She H Q, Li J W, Li D X, Du A D and Dong Y J. 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os dating in Tianmenshan-Hongtaoling tungsten-tin orefield, Southern Jiangxi Province, China, and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 952-963 (in Chinese with English abstract).
- Han J Z, Hu X M and Liu S L. 1984. The contrals of strata over tungsten ore deposits as viewed from tungsten abundances in the strata of southern Jianxi[J]. Geochimica, (2): 176-179 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Hunan[J]. Geological Review, 42(3): 261-267 (in Chinese with English abstract).

① 江西盘古山钨业有限公司, 2005. 江西省于都县盘古山钨矿资源潜力调查报告. 内部资料.

- Li S B and Zeng Z L. 2006. The analysis of ore-forming geological conditions in southern Jiangxi province and its guidance significance for tungsten prospecting[J]. Journal of East China Institute of Technology, (S1): 28-37 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Chen Y C, Zhou J X and Yang B C. 1995. Geology, mineralogy, and geochemistry of the Dashuigou tellurium deposit in Shimian County, Sichuan[J]. Acta Geoscientia Sinica, 6(3): 276-290 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Holly Stein, Du A D, Zhou T F, Mei Y X, Li Y F, Zang W S and Li J W. 2004a. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the middle-lower reaches of Yangtze River Belt and its implications for mineralization[J]. Acta Geologica Sinica, 78(1): 122-128 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W and Li Y Q. 2001. Fluid inclusions of the Dongping gold telluride deposit in Hebei Province, China: Involvement of mantle fluid in metallogenesis[J]. Mineral Deposits, 20(1): 24-36 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W and Wei J X. 2000. Helium and argon isotopic components of fluid inclusions and tracing to the source of metallogenic fluids in the Dashuigou tellurium deposit of Sichuan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 21(1): 58-61 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004b. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in south China[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 45-54 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C and Zhang Z H. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(11-12): 1815-1818.
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. Rock and Mineral Analysis, 22(4): 254-257 (in Chinese with English abstract).
- Ren Y C, Cheng M Q and Wang C C. 1986. Characteristics and vertical zoning of tungsten bismuth minerals in the Pangushan quartz vein type tungsten deposit of Jianxi province[J]. Mineral Deposits, 5(2): 63-74 (in Chinese with English abstract).
- Ren Y C. 1998. Restudy of bismuth sulfosalt minerals in Pangushan wolfram quartz vein deposit, Jianxi Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 13(4): 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R. J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal. Chem., 67: 2136-2141.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A, III A, IV A and V B iron meteorites[J]. Science, 271: 1099-1102.
- Tan Y J, Tong Q Q, Pi J M, et al. 2002. Geological-geochemical features of ore-near hydrothermal alteration rocks in Pangushan tungsten deposit[J]. China Tungsten Industry, 17(5): 21-26 (in Chinese with English abstract).
- Wang X D, Ni P, Zhang B S and Wang T G. 2010. Fluid inclusion studies of the Pangushan quartz-vein type tungsten deposit in southern Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(5): 539-550 (in Chinese with English abstract).
- Xu J X. 2009. Research on metallogenic series of ore deposit and its metallogenic rule in Gannan region-the east part of Nanling[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 233p (in Chinese with English abstract).
- Xu Y, Zhu D B, Lai Z J, et al. 2006. Geological characteristics and regional metallogenic regulation of Pangushan-Tieshanlong ore district in Jianxi Province[A]. In: Chen Y C, ed. Proceedings of 8th National Conference of Mineral Deposits, China. The 8th National Conference of Mineral Deposits, China[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 610-612 (in Chinese).
- Xu Y G and Zeng Z L. 2006. Division of W and Sn multimetal mineralization region and its ore-searching direction in South Jiangxi[J]. Resources Survey & Environment, 27(4): 290-296 (in Chinese with English abstract).
- Ye J Y, Deng G Z, Pi J M, et al. 2000. An analysis on the characteristics of deep deposit of Pangushan tungsten mine and the vistas of prospecting[J]. China Tungsten Industry, 15(4): 17-19 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Z L, Zhang Y Z, Zhu X P, Chen Z H, Wang C H and Qu W J. 2009. Molybdenite Re-Os dating of Maoping tungsten-tin deposit in Chongyi county, Southern Jiangxi Province, China, and its geological implication[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 209-214 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Li H M, Qu W J and Ji J Q. 2009. New dating of the Piaotang granite and related tungsten mineralization in Southern Jiangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 83(5): 659-669 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡建明,刘若兰,曾广胜. 1981. 江西盘古山钨矿包裹体含盐度和CO₂成分的研究及其在成矿中的意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2: 99-103.
- 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[J]. 地质通报, 25(4): 496-501.
- 杜安道,何红菱,殷宁万,邹晓秋,孙亚莉,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 1994. 辉钨矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 68(4): 339-347.
- 杜安道,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. 2001. Carius管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钨矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4): 247-252.
- 丰成友,丰耀东,许建祥,曾载淋,余宏全,张德全,屈文俊,杜安道. 2007a. 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, 34(4): 642-650.
- 丰成友,许建祥,曾载淋,张德全,屈文俊,余宏全,李进文,李大新,杜安道,董英君. 2007b. 赣南天门山-红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义[J]. 地质学报, 81(7): 952-963.

- 韩久竹,胡心铭,刘世濂. 1984. 从赣南地层含钨丰度看地层对钨矿的控制[J]. 地球化学, (2): 176-179.
- 李红艳,毛景文,孙亚莉,邹晓秋,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[J]. 地质论评, 42(3): 261-267.
- 李诗斌,曾载淋. 2006. 赣南地区成矿地质条件分析及其钨矿找矿的指导意义[J]. 东华理工学院学报, (S1): 28-37.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 臧文栓, 李进文. 2004a. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 78(1): 122-128.
- 毛景文, 陈毓川, 周剑雄, 杨百川. 1995. 四川省石棉县大水沟碲矿床地质、矿物学和地球化学[J]. 地球学报, 6(3): 276-290.
- 毛景文, 李荫清. 2001. 河北省东坪碲化物金矿床流体包裹体研究: 地幔流体与成矿关系[J]. 矿床地质, 20(1): 24-36.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004b. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 11(1): 45-54.
- 毛景文, 魏家秀. 2000. 大水沟碲矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及其示踪成矿流体的来源[J]. 地球学报, 21(1): 58-61.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 22(4): 254-257.
- 任英忱. 1998. 江西盘古山-黄沙黑钨矿石英脉矿床铋硫盐矿物再研究[J]. 地质找矿论丛, 13(4): 1-17.
- 任英忱, 程敏清, 王存昌. 1986. 江西盘古山石英脉型钨矿床钨秘矿物特征及矿物的垂直分带[J]. 矿床地质, 5(2): 63-74.
- 谭运金, 童启荃, 皮俊明, 等. 2002. 盘古山钨矿床近矿热液蚀变岩石的地质地球化学[J]. 中国钨业, 17(5): 21-26.
- 王旭东, 倪培, 张伯声, 王天刚. 2010. 江西盘古山石英脉型钨矿床流体包裹体研究[J]. 岩石矿物学杂志, 29(5): 539-550.
- 许建祥. 2009. 南岭东段——赣南地区成矿系列及成矿规律研究[D]. 北京: 中国地质科学院. 233页.
- 徐岩, 朱德彬, 赖志坚, 等. 2006. 江西盘古山-铁山垅矿田基本特征和区域成矿规律[A]. 见 陈毓川, 主编. 第八届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 610-612.
- 徐贻麟, 曾载淋. 2006. 赣南 W、Sn 多金属成矿区划及找矿方向[J]. 资源调查与环境, 27(4): 290-296.
- 叶际炜, 邓国政, 皮俊明, 等. 2000. 盘古山钨矿深部矿床赋存特征分析及找矿前景[J]. 中国钨业, 15(4): 17-19.
- 曾载淋, 张永忠, 朱祥培, 陈郑辉, 王成辉, 屈文俊. 2009. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3): 209-214.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 屈文俊, 季建清. 2009. 赣南漂塘钨矿花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定[J]. 地质学报, 83(5): 659-669.

<http://www.kcdz.com>