



编号 0258-7106(2010)05-0881-09

广西德保铜锡矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年 及对加里东期成矿的探讨*

王永磊¹, 王登红¹, 张长青¹, 屈文俊², 胡艳春³

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

2 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 3 山东省第一地质矿产勘查院资源公司, 山东 济南 250013)

摘 要 广西德保铜锡矿床为一矽卡岩型矿床。笔者对采自该矿床的 7 件不同矿化类型的辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素定年, 获得的模式年龄为 $(429.5 \pm 5.9) \sim (440.0 \pm 6.9) \text{ Ma}$ 。其中, 采自含矿石英脉的 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄加权平均值为 $(435.0 \pm 2.5) \text{ Ma}$, 等时线年龄为 $(445 \pm 11) \text{ Ma}$, 表明该地区曾于晚奥陶世—早志留世发生过成矿作用, 是华南加里东运动的产物。文章提供了关于右江地区加里东期成矿作用的信息, 深化了对该地区成矿演化历史的认识, 进而强调了对于寻找钦甲式 Cu-Sn 矿床的意义。

关键词 地质学; Re-Os 等时线; 铜-锡矿床; 加里东期; 德保; 广西

中图分类号: P618.41; P618.44

文献标志码: A

Molybdenite Re-Os isochron age of Debao Cu-Sn deposit in Guangxi and relation to Caledonian mineralization

WANG YongLei¹, WANG DengHong¹, ZHANG ChangQing¹, QU WenJun² and HU YanChun³

(1 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China; 3 Resource Corporation, No. 1 Geological Exploration Institute of Shandong Province, Jinan 250013, Shandong, China)

Abstract

The Debao Cu-Sn deposit is a skarn type deposit. Seven molybdenite-bearing samples of different mineralizing types were selected for precise Re-Os dating, and the dating results yielded model ages ranging from (429.5 ± 5.9) to $(440.0 \pm 6.9) \text{ Ma}$. The molybdenite from quartz veins yielded an isochron age of $(445 \pm 11) \text{ Ma}$, which indicates that mineralization took place in the Late Ordovician to Early Silurian period. The results provide the information of Caledonian mineralization and deepen the understanding of the ore-forming evolutionary history in Youjiang area. The authors hold that the significance of looking for Qinjia-type Cu-Sn deposits should be emphasized in Youjiang area.

Key words: geology, Re-Os isochron, Cu-Sn deposit, Caledonian, Debao, Guangxi

广西的独立铜矿床很少, 多以与钨锡铅锌镍等 德保铜锡矿床位于广西百色市德保县燕垌乡钦甲
共生或伴生为主, 其中, 以德保铜锡矿床最为著名。 村, 属于桂西南西大明山-泗城岭-钦甲铅锌银铜成矿

* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(K0907)和全国危机矿山接替资源找矿项目(桂东-粤西地区铅锌金等矿床成矿规律总结研究, 项目编码 20089946)的联合资助

第一作者简介 王永磊, 男, 1980 年, 主要从事矿床学研究。Email: yongleiw@163.com

收稿日期 2010-01-22; 改回日期 2010-06-06。许德焕编辑。

带,目前是广西最大的铜矿生产基地。上世纪 60~70 年代,广西第二地质队曾对该矿区进行过系统的地质工作。近 30 年来,前人从地质、地球化学、矿物学及成矿流体等方面对其进行了研究,积累了众多资料(赖来仁等,1989;李艺等,1990;黄崇轲等,2001;唐盛毅,2008),但还存在较多问题。一方面是对其成因有不同认识:广西壮族自治区第二地质队的吴鸿济^①认为,该矿床属于中高温热液交代矽卡岩矿床,而杨冀民等^②认为,该矿床属于沉积变质-岩浆热液矿床,早期的沉积作用对成矿的贡献较大。另一方面,该矿床的成矿时代并不清楚,用不同方法获得的岩体年龄相差较大(221~526 Ma)^③,因而,对成岩成矿机制的认识存在较大分歧。此外,在广西及其周边地区,铜矿点分布虽广,但对其成矿规律的研究还不够,因此,准确厘定德保铜锡矿床的成矿时代,有助于查明其矿床成因、总结成矿规律,以进一步指导找矿工作。

1 区域地质概况

德保铜锡矿床位于华南板块西南缘,在传统大地构造学中属于右江褶皱带南缘。区域内地层从寒武系、泥盆系至二叠系及下-中三叠统均有分布,其中又以中-上寒武统和下泥盆统为主。中-上寒武统的岩性主要为泥岩、砂质泥岩、砂岩及灰岩。区域构造表现为断裂发育,褶皱简单。区内的褶皱构造主要为龙光背斜,轴向 NNE-SSW,在其南西端与 NWW 向大断裂的复合地段,褶皱核部出露较宽(有人称其为钦甲穹隆),向北东则逐渐变窄并倾没。规模较大的断裂构造主要为 NWW 向的压扭性断裂,成组出现,切穿泥盆系以下地层;其次为 NNE 向和 NNW 向的压扭性断裂,常被 NWW 向断裂所错断。区内岩浆活动不强烈,加里东期花岗岩侵入于德保县红泥坡和钦甲背斜轴部;在那坡县西部及靖西县西南部有海西-印支期的基性岩。

迄今,围绕钦甲花岗岩体已发现中型铜锡矿床一处(德保矿床),小型铜锡矿床一处(建屯矿床);在外接触带的寒武系内还发现了同德铜锡矿点、百合辉铜矿点、华盖毒砂矿点、那史铅矿点、多隆矽卡岩型磁铁矿点、同德上峒砂金矿点。根据最新的研究

资料,徐志刚等(2008)认为,德保铜锡矿床属于桂西-黔西南-滇东北部(右江海槽)Au-Sb-Hg-Ag-Mn-水晶-石膏成矿区。

2 矿床地质特征

德保铜锡矿床产于钦甲花岗岩体北侧的外接触带(图 1)。矿区内,出露的岩浆岩为钦甲花岗岩体,岩性主要为粗粒钾长黑云母花岗岩及中粗粒黑云母花岗岩。出露的地层为寒武系及下泥盆统莲花山组、那高岭组、郁江组和塘丁组,其中,下泥盆统莲花山-郁江组为一套碎屑岩,底部为砾岩或含砾砂岩,与下伏之寒武系呈角度不整合接触。矿区内地层较平缓,但断裂构造发育,主要为 NW 向及 NE 向。这些断裂可能多为成矿后断裂,对矿体的破坏作用比较明显,多数矿体被断裂切割成菱形块状,在剖面中则呈阶梯状排列(图 2)。

矿体主要产于钦甲花岗岩体外接触带寒武系内的矽卡岩中,多呈似层状或透镜状,为主要产出形式,规模大且稳定,少数矿体呈脉状产于断裂带中,规模小且变化大。矿石主要呈浸染状、团块状、条带状及角砾状。金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、锡石、毒砂、磁黄铁矿,其次为铁闪锌矿、自然金、辉铋矿、辉锑矿、辉钼矿等;脉石矿物主要为阳起石、钙铁榴石、绿帘石、透辉石、绿泥石、石英、方解石、符山石等。黄铜矿呈他形晶粒集合体产出,早期与磁黄铁矿共生,晚期与黄铁矿、铁闪锌矿共生,或与辉铋矿共同浸染于脉石中。锡石呈长柱状或针状的自形-半自形及他形晶集合体,多数分布于脉石之间的空隙内,或其他矿物共生,呈细小的晶体包裹于钙铁榴石、透辉石、阳起石中,有时散布于黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、铁闪锌矿中。辉钼矿主要呈浸染状分布于粗粒钾长黑云母花岗岩中,部分辉钼矿则产于花岗岩中的含铜石英脉内。根据矿物共生组合,其原生矿石主要可划分为 4 种类型,即阳起石矽卡岩铜锡矿石、石榴子石矽卡岩铜锡矿石、磁铁矿铜锡矿石和方解石石英铜锡矿石,其中的阳起石矽卡岩铜锡矿石分布最广。

围岩蚀变主要有矽卡岩化、大理岩化、碳酸盐化、硅化和钾(钠)长石化等。其中,矽卡岩化与铜锡矿化的关系最为密切,也是一个重要的找矿标志。

① 广西壮族自治区第二地质队, 1972. 德保钦甲铜锡矿区地质普查勘探报告. 内部资料.

② 广西壮族自治区第二地质队, 1984. 广西壮族自治区德保县钦甲铜锡矿地质研究. 内部资料.

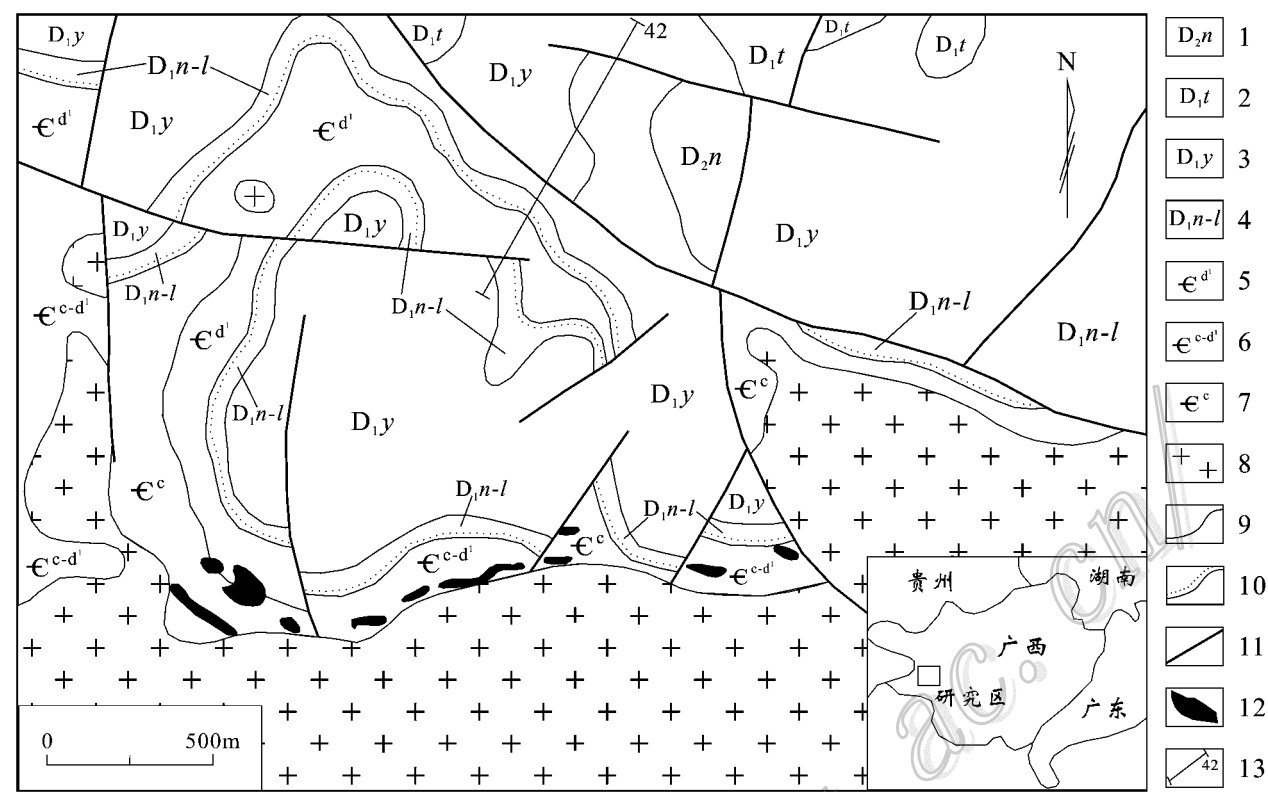


图 1 德保铜锡矿床地质略图(据广西壮族自治区第二地质队,1984^①)

1—泥盆系中统纳标组;2—泥盆系下统塘丁组;3—泥盆系下统郁江组;4—泥盆系下统那高岭组至莲花山组;5—寒武系第四组第一段;
6—寒武系第三组至第四组第一段;7—寒武系第三组;8—花岗岩;9—地质界线;10—角度不整合界线;11—断层;12—矿体;
13—42 号勘探线

Fig. 1 Geological sketch map of the Debao Cu-Sn deposit(modified from No.2 Geological Party of Guangxi,1984)

1—Middle Devonian Nabiao Formation;2—Lower Devonian Tangding Formation;3—Lower Devonian Yujiang Formation;4—Lower Devonian Nagaoling Formation-Lianhuashan Formation;5—1st member of 4th Formation of Cambrian;6—3rd Formation to 1st member of 4th Formation of Cambrian;7—3rd Formation of Cambrian;8—Granite;9—Geological boundary;10—Unconformity;11—Fault;12—Ore body;
13—No. 42 exploration line

3 样品及测试

本次用于 Re-Os 同位素年龄测定的辉钼矿样品共 7 件。其中 612 系列的 6 件样品采自德保铜锡矿床Ⅷ号矿段 612 中段矽卡岩矿体附近中粗粒黑云母花岗岩中的含辉钼矿石英脉(图 3)。石英脉中的金属矿物主要为黄铜矿和辉钼矿,辉钼矿多成鳞片状集合体镶嵌在石英脉中,而黄铜矿则呈细脉状沿裂隙分布。样品 8498-11 采自Ⅷ号矿段 498 中段,其辉钼矿呈浸染状分布于粗粒钾长黑云母花岗岩中(图 4)。辉钼矿样品采用特制工具直接从手标本上挑

选,并在实体显微镜下做进一步的检查与选纯。用于 Re-Os 同位素测定的辉钼矿样品的纯度达 98% 以上,且无污染。

Re-Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心完成。采用 Carius 管封闭溶样分解样品,Re 和 Os 的分离等化学处理过程及质谱分析过程参见相关文献(Shirey et al.,1995;杜安道等,2001;屈文俊等,2003)。测试仪器为 TJA X 系列电感耦合等离子体质谱仪(TJA X-SERIES ICP-MS)。本次实验采用国家标准物质 GBW04436 为标样,用以监控化学流程和分析数据的可靠性。

① 广西壮族自治区第二地质队. 1984. 广西壮族自治区德保县钦甲铜锡矿地质研究. 内部资料.

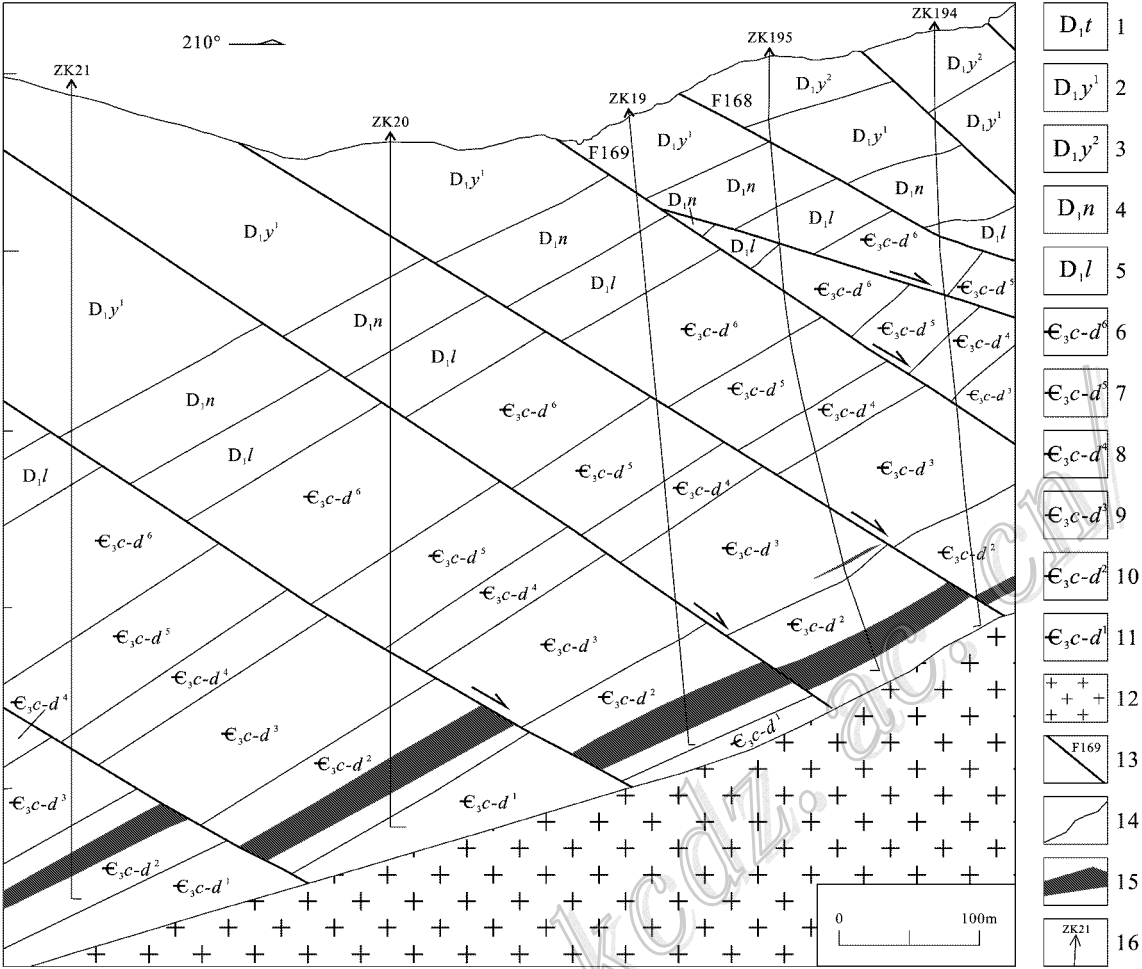


图 德保铜锡矿区Ⅷ号矿段 42 号勘探线剖面简图(据广西地质勘查总院 2006^①)

1—下泥盆统塘丁组灰岩;2—下泥盆统郁江组第一段灰岩;3—下泥盆统郁江组第二段灰岩;4—下泥盆统那高岭组泥岩;5—下泥盆统莲花山组泥岩;6—寒武系上统第三组至第四组第六段;7—寒武系上统第三组至第四组第五段;8—寒武系上统第三组至第四组第四段;9—寒武系上统第三组至第四组第三段;10—寒武系上统第三组至第四组第二段;11—寒武系上统第三组至第四组第一段;12—花岗岩;13—断层;14—地质界线;15—矿体;16—钻孔

Fig. 2 Geological section along No. 42 exploration line of No. 8 mining section in Debao Cu-Sn deposit (modified from Guangxi Geological Prospecting Insitute , 2006)

1—Limestone of Lower Devonian Tangding Formation ;2—Limestone in 1st member of Lower Devonian Yujiang Formation ;3—Limestone in 2nd member of Lower Devonian Yujiang Formation ;4—Mudstone of Lower Devonian Nagaoling Formation ;5—Mudstone of Lower Devonian Lianhuashan Formation ;6—3rd Formation to 6th member of 4th Formation of Upper Cambrian ;7—3rd Formation to 5th member of 4th Formation of Upper Cambrian ;8—3rd Formation to 4th member of 4th Formation of Upper Cambrian ;9—3rd Formation to 3rd member of 4th Formation of Upper Cambrian ;10—3rd Formation to 2nd member of 4th Formation of Upper Cambrian ;11—3rd Formation to 1st member of 4th Formation of Upper Cambrian ;12—Granite ;13—Fault ;14—Geological boundary ;15—Ore body ;16—Drill hole

4 测试结果

7 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测定结果列于

表 1。由表 1 可见 ,辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 介于 $(6.064 \times 10^{-6}) \sim (42.57 \times 10^{-6})$ 之间 , Re 与 ^{187}Os 含量的变化较协调 ,给出的模式年龄介于 $(429.5 \pm 5.9) \sim (440.0 \pm 6.9) \text{Ma}$ 之间。除样品 8498-11 外 ,其他 6

① 广西地质勘查总院. 2006. 内部资料.



图 3 德保铜锡矿床内含黄铜矿石英脉中的辉钼矿
Fig. 3 Molybdenite aggregates in a chalcopyrite-quartz vein from Debao Cu-Sn ore deposit



图 4 德保铜锡矿区花岗岩中浸染状辉钼矿
Fig. 4 Disseminated molybdenite in granite from Debao Cu-Sn ore district

表 1 德保铜锡矿床辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果
Table 1 Re-Os isotopic analyses of molybdenite from Debao Cu-Sn deposit

样品号	$w(\text{Re})/10^{-6}$		$w(\text{Os}_{\text{普}})/10^{-9}$		$w(^{187}\text{Re})/10^{-6}$		$w(^{187}\text{Os})/10^{-9}$		模式年龄 t/Ma	
	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
612-1	6.064	0.045	0.1722	0.0274	3.812	0.028	27.37	0.23	429.5	5.9
612-3	7.180	0.053	0.0523	0.0177	4.513	0.033	32.96	0.28	436.8	6.0
612-4	7.975	0.086	0.0507	0.0154	5.013	0.054	36.39	0.29	434.2	6.8
612-4	7.180	0.053	0.0523	0.0177	4.513	0.033	32.96	0.28	436.8	6.0
612-7	7.398	0.065	0.0712	0.0451	4.650	0.041	33.97	0.32	437.0	6.6
612-8	11.78	0.09	0.1416	0.0357	7.403	0.054	54.10	0.43	437.0	5.9
8498-11	42.57	0.43	0.3161	0.0364	26.76	0.27	196.9	1.7	440.0	6.9

注：612 系列样品采自Ⅷ号矿段 612 中段的含黄铜矿石英脉；8498-11 样品为钾长黑云母花岗岩中的浸染状辉钼矿。
测试仪器：TJA X 系列电感耦合等离子体质谱仪；测试单位：国家地质实验测试中心。

件样品的 Re-Os 模式年龄加权平均值为 $(435.0 \pm 2.5)\text{Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.95$) (图 5)。采用 ^{187}Re 衰变常数 $\lambda = 1.666 \times 10^{-11}/\text{a}$ (Smoliar et al., 1996)，利用 ISOPLOT 软件 (Ludwig, 1999) 对所获得的数据进行了等时线计算，6 件样品 (不包括样品 8498-11) 的 ^{187}Re - ^{187}Os 值构成一条 MSWD 为 0.94 的等时线，等时线年龄为 $(445 \pm 11)\text{Ma}$ (图 6)。初始 ^{187}Os 值为 (-0.80 ± 0.85) ，接近于 0，表明辉钼矿形成时几乎不含 ^{187}Os ，辉钼矿中的 ^{187}Os 由 ^{187}Re 衰变形成，符合 Re/Os 同位素体系模式年龄的计算条件 (蒋少涌等，2000)，说明所获得之模式年龄也可反映辉钼矿的结晶时间。

5 讨 论

5.1 成矿时代

关于德保铜锡矿床的成矿时代，郭福祥 (1995) 认为，该矿床在构造上位于个旧-薄竹山-都龙成矿亚带的东端延伸部位，主要成矿期为中白垩世。前人曾运用多种同位素测年方法对钦甲花岗岩体进行了定年，其中，黑云母 K-Ar 法获得的年龄分别为 316 Ma 和 326 Ma^①，黑云母 Rb-Sr 法获得的年龄分别为 377 Ma、386 Ma 和 526 Ma^①，锆石 U-Pb 法获得的年龄分别为 221 Ma 和 292 Ma^①。通过综合分析，杨冀

① 为桂林冶金地质研究所 (1975) 及宜昌地质矿产研究所 (1982; 1979) 的未公开发表数据 (内部资料)，转引自“广西第二地质队，1984. 广西壮族自治区德保县钦甲铜锡矿地质研究 (内部资料)”。

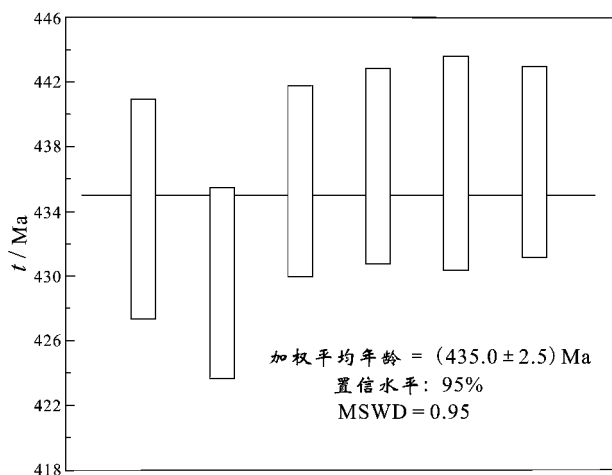


图5 德保铜锡矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值
(不包括样品 8498-11)

Fig. 5 Weighted mean of Re-Os model ages for molybdenite from Debao Cu-Sn deposit (Sample 8498-11 not included)

民等^①认为,取自岩体中心双瓦河沟的黑云母的 Rb-Sr 年龄(526 Ma)较为可靠,从而间接获得了德保铜锡矿床形成于加里东期的认识,但并未精确厘定其成矿时代。

众多的辉钼矿 Re-Os 年龄测定,以及对与成矿密切相关岩体的锆石 SHRIMP 年龄和地质特征的研究表明,辉钼矿 Re-Os 同位素体系的封闭温度较高,不易受到后期热液、变质和构造事件的影响(Stein et al., 2001),因此,辉钼矿 Re-Os 年龄能精确代表硫化物的形成时代(Mao et al., 2008a)。虽然辉钼矿 Re-Os 同位素体系容易发生失耦作用,造成样品测试结果的重见性较差,但年代较新(显生宙)和颗粒较细(< 2mm)的辉钼矿的 Re-Os 同位素体系不存在失耦作用(Selly et al., 2004)。

本次研究用于 Re-Os 同位素测试的辉钼矿样品的颗粒较细(粒度约 1.0 mm)。由含黄铜矿石英脉中辉钼矿获得的 Re-Os 模式年龄加权平均值为 $(435.0 \pm 2.5) \text{ Ma}$, 等时线年龄为 $(445 \pm 11) \text{ Ma}$, 属于晚奥陶世—早志留世,未受到失耦作用的影响,应代表了德保铜锡矿床的一次成矿事件。粗粒钾长黑云母花岗岩中浸染状辉钼矿的模式年龄为 $(440.0 \pm 6.9) \text{ Ma}$ (表 1 中样品 8498-11),稍早于含黄铜矿石英脉中辉钼矿的模式年龄 $(429.5 \pm 5.9) \sim (437 \pm 6.6) \text{ Ma}$, 两者之间虽有一定的时间跨度,但应是由

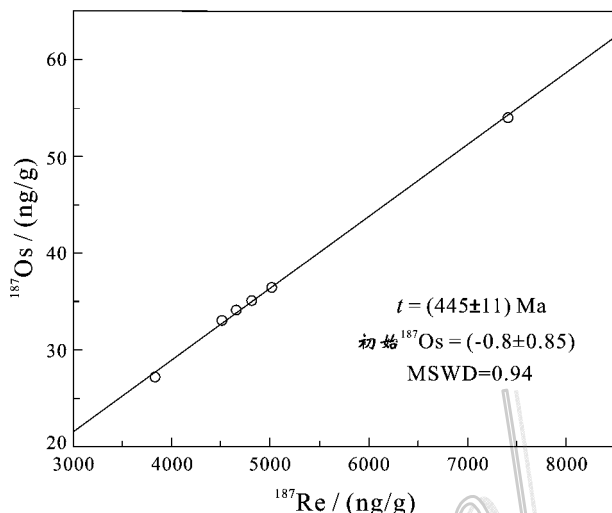


图6 德保铜锡矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线
(不包括样品 8498-11)

Fig. 6 Re-Os isochron age for molybdenite from Debao Cu-Sn deposit (Sample 8498-11 not included)

同一成矿作用所形成,其矿化类型的不同可能是由于含矿热液发生卸载的部位不同所致。

5.2 成矿物质来源

目前,对于控制辉钼矿 Re-Os 含量的主要因素尚有不同见解:Newberry(1979)提出,Re 的含量与辉钼矿的多型性(3R 或 2H)和蚀变矿物组合有关;Ishihara(1988)认为,辉钼矿中 Re 的含量与花岗岩的形成深度和温度有关;而 Berzina 等(2005)则提出,控制斑岩型 Cu-Mo 矿床中辉钼矿 Re 含量的主要因素可能有母岩浆的成分、成矿流体中 Re 的含量以及结晶过程中物理化学条件($f(\text{O}_2)$, pH, Cl 的活性、 p 、 t)的变化。Mao 等(1999)对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量,发现从幔源、壳幔混合源到壳源,辉钼矿中 Re 含量的变化规律为 $(n \times 10^{-4}) \rightarrow (n \times 10^{-5}) \rightarrow (n \times 10^{-6})$, 即呈数量级下降,并认为,辉钼矿中 Re 的含量可作为指示成矿物质来源的参考。李逸群等(1991)认为,南岭地区不同类型矿床中辉钼矿 Re 含量的不同或许不仅与成岩成矿原始物质的不同有关,而且,还可能与某些成岩成矿机制有关。

德保铜锡矿床中辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $(6.064 \times 10^{-6}) \sim (42.57 \times 10^{-6})$, 远低于幔源岩浆矿床中辉钼矿的 Re 含量,绝大部分与壳源岩浆矿床中辉钼矿的 $w(\text{Re})$ ($n \times 10^{-6}$) 相近,说明其成矿物质来源可

① 广西第二地质队, 1984. 广西壮族自治区德保县钦甲铜锡矿地质研究. 内部资料.

能以地壳为主。但由于缺乏成矿流体以及同位素特征的数据,目前对其成矿物质的来源还不能下结论,只能初步推断其可能主要来源于地壳。

值得注意的是,德保矿区粗粒钾长黑云母花岗岩中浸染状辉钼矿的 $\omega(\text{Re})$ (42.57×10^{-6}) 明显高于石英脉中辉钼矿的 $\omega(\text{Re})$ (6.04×10^{-6}) ~ (11.78×10^{-6}),这种现象在其他矿床也有过相关报道(Wang et al., 2008),可能与成矿温度的高低有关,具体原因尚待进一步研究。

5.3 成矿动力学背景

加里东运动是波及整个华南地区的重大地质构造事件,扬子陆块与华夏陆块在经历了加里东运动后拼合成统一的华南板块。然而,华南地区的加里东期花岗岩不如燕山期花岗岩那样分布广泛且有多期次、多旋回,因此,加里东期花岗岩及其成矿作用尚未得到太多的关注,所积累的地质资料也较为有限,其动力学机制还不甚清楚(周新民等, 2003; 王鹤年等, 2006; 舒良树, 2006)。

广西历来被认为是中国加里东运动的典型地区。在广西壮族自治区区域地质志^①中,广西地区的加里东运动主要分为寒武纪末期的郁南运动、奥陶纪末期的北流运动及志留纪末期的广西运动,每一构造运动在各地存在一定的相似性,但也有较大的不同。德保铜锡矿床所在的滇黔桂地区,自寒武纪经奥陶纪到志留纪,从大片海域演变为大片古陆,即“滇黔桂古陆”(刘宝珏等, 1994)。在研究区内,下泥盆统莲花山组与下伏的寒武系呈角度不整合接触,其间缺失了奥陶系和志留系,表明在寒武纪末期就已发生了强烈的构造抬升,并一直延续到泥盆纪初期。刘宝珏等(1990)认为,从中奥陶世开始,华夏板块向北俯冲,导致了加里东期的大陆碰撞,中国南方的构造性质由引张逐渐转为挤压。梅冥相等(2005)则认为,从晚奥陶世到志留纪早期,滇黔桂地区内呈NE向的大致沿柳州至南宁一线展布的走滑板块边界,演变为碰撞板块边界,使研究区域抬升为古陆。本次研究所获得的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄表明,钦甲花岗岩体的成岩年龄范围为 412.4 ~ 442.4 Ma(待发表),与辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄基本一致,可能代表了这一构造事件的时代,而钦甲花岗岩体则可能是这一构造事件的岩石记录。这暗示着德保铜锡矿床形成于挤压环境,可能与板块的

碰撞有关。

5.4 区域金属成矿对比

右江褶皱带是中国重要的有色金属和贵金属成矿区。目前,有关右江褶皱带典型矿床成矿时代的资料较多,但主要集中在晚白垩世。杨宗喜等(2008)对个旧卡房矽卡岩型铜锡矿体中的辉钼矿进行了成矿时代测定,所获的等时线年龄为(83.4 ± 2.1) Ma;刘玉平等(2000)测获得了都龙曼家寨矿段矿石单矿物 Rb-Sr 等时线年龄,为(76.7 ± 3.3) Ma。王登红等(2004)获得了大厂西矿带铜坑-长坡矿床 91 号层状矿体石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(94.52 ± 0.33) Ma,龙头山 100 号块状矿体石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(94.56 ± 0.45) Ma;李华芹等(2008)对大厂矿田中部成矿带拉么锌铜成矿区的矿石进行了精细的年代学研究,获得其成矿年龄为(98.6 ± 6) Ma。蔺志永等(2008)获得了广西大明山矿集区王社铜钨矿床辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄,为(93.8 ± 4.6) Ma。毛景文等(2008b)认为,包括个旧锡矿田在内的滇东南和桂西地区, 80 ~ 90 Ma 的钨锡多金属成矿作用可能是华南白垩纪岩石圈大规模伸展与成矿事件的组成部分。德保铜锡矿床的成矿时代及地球动力学背景,与上述诸矿床明显不同,本次研究所测得的德保铜锡矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄,初步证实了陈毓川等(2007)提出的右江地区存在一个加里东期铜锡多金属矿床成矿系列的认识,同时,对右江褶皱带乃至华南地区加里东期的构造岩浆演化及成矿作用有了进一步的了解。

6 结 论

南岭乃至整个华南地区的加里东期成矿作用,无论是成矿强度还是见矿几率都无法与燕山期相比。这主要是由于加里东期所形成的矿床目前被确认的还很少,也就影响到对加里东构造运动及其对成矿作用影响程度的认识。本次研究所获的广西德保铜锡矿床中辉钼矿的 Re-Os 年龄属于加里东期,该新资料对深入认识华南地区的构造及成矿演化具有重要意义。

(1) 德保铜锡矿床的 Re-Os 同位素模式年龄加权平均值为(435.0 ± 2.5) Ma,等时线年龄为(445 ± 11) Ma,与粗粒钾长黑云母花岗岩中浸染状辉钼矿

① 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志.

Re-Os 模式年龄(440.0 ± 6.9)Ma 基本一致,暗示其可能为同一构造-岩浆-流体活动的产物,表明晚奥陶世—早志留世曾发生过成矿作用。

(2) 辉钼矿中 $\alpha(\text{Re})$ 为(6.064×10^{-6})~(42.57×10^{-6}) 揭示成矿物质可能以壳源为主。

(3) 尽管辉钼矿形成于加里东期并不意味着铜锡也是在加里东期富集的,但至少提供了有关加里东期成矿作用的信息,深化了对该地区成矿演化历史的认识。目前,在右江地区,与加里东期花岗岩类有关的 Cu-Sn 矿床发现较少,因而,在该地区寻找钦甲式 Cu-Sn 矿床应加以重视。

志 谢 在野外工作中得到广西地质矿产勘查开发局战明国副局长、广西国土资源厅韦胜光处长、黎修旦副处长、广西地质调查总院黄宏伟院长、李水如高级工程师、广西德保铜矿黄正却矿长、黄运龙矿长、吴邦强总工、刘展常主任及陆工、梁工、黄工等相关地质人员的大力支持与协助;审稿专家对本文初稿提出了宝贵意见和建议,在此一并致谢!

References

- Berzina A N, Sotnikov V I, Economou-Eliopoulos M and Eliopoulos D G. 2005. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposit of Russia (Siberia) and Mongolia [J]. *Ore Geology Reviews*, 26: 91-113.
- Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, Xu Z G, Ren J S, Zhai Y S, Chang Y F, Tang Z L, Pei R F, Teng J W, Deng J F, Hu Y Z, Ren T X, Shen B F, Wang S C, Xiao K Y, Peng R M, Qian Z Z, Mei Y X, Du J G, Shi J F, Zhang X H, Zhu M Y, Xu J and Xue C J. 2007. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1005p (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Guo F X. 1995. Geotectono-metallogenic units of endogenic nonferrous noble metals in Guangxi [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 15(4): 328-337 (in Chinese with English abstract).
- Huang C K, Bai Y, Zhu Y S, Wang H Z and Shang X Z. 2001. Copper deposit of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 329-335 (in Chinese with English abstract).
- Ishihara S. 1988. Rhenium contents of molybdenites in granitoid series rocks in Japan [J]. *Econ. Geol.*, 83: 1047-1051.
- Jiang S Y, Yang J H, Zhao K D and Yu J M. 2000. Re/Os isotope tracer and dating method in ore deposits research [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 36(6): 669-677 (in Chinese with English abstract).
- Lai L R and Li Y. 1989. Cornwallite and cornubite discovered in Debao, Guangxi [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 8(1): 72-78 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Wang D H, Mei Y P, Liang T, Chen Z Y, Guo C L and Ying L J. 2008. Lithogenesis and mineralization chronology study on the Lamo zinc-copper polymetallic ore deposit in Dachang orefield, Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 912-920 (in Chinese with English abstract).
- Li Y and Lai L R. 1990. Preliminary study of the characteristics and the genesis of arsenate minerals in the oxidized zone of the Debao skarn-type Cu-Sn ore deposit in Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 66(4): 337-343 (in Chinese with English abstract).
- Li Y Q and Yan Z X. 1991. Mineralogy of tungsten deposits in Nanling and neighboring areas, China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 368-370 (in Chinese).
- Lin Z Y, Wang D H and Li S R. 2008. Geological characteristics and mineralization age of the Wangshe Cu-W deposit in Southwestern Guangxi Province, South China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(11): 1565-1571 (in Chinese with English abstract).
- Liu B J, Zhou M K and Wang R Z. 1990. Early Palaeozoic palaeogeography and tectonic evolution of South China [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 20: 97-98 (in Chinese with English abstract).
- Liu B J and Xu X S. 1994. Atlas of sedimentary-facies and palaeogeography in South China [M]. Beijing: Science Press. 339p (in Chinese).
- Liu Y P, Li C Y, Gu T and Wang J L. 2000. Isotopic constraints on the source of ore-forming materials of Dulong Sn-Zn polymetallic deposit, Yunnan [J]. *Geology-Geochemistry*, 28: 75-82 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1999. Isoplot/Ex (Version 2.0): A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Geochronology Center, Special Publication. 43.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63: 1815-1818.
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008a. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the east Qinling Dabie orogenic belt [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72: 4607-4626.
- Mao J W, Cheng Y B, Guo C L, Yang Z X and Feng J R. 2008b. Gejiu tin polymetallic ore-field: Deposit model and discussion for several points concerned [J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(11): 1455-1467 (in Chinese with English abstract).
- Mei M X, Ma Y S, Deng J, Li H and Zheng K B. 2005. Tectonic palaeogeographic changes resulting from the Caledonian movement and the formation of the Dian-Qian-Gui Basin: Discussion on the deep exploration potential of oil and gas in the Dian-Qian-Gui Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 227-236 (in Chinese with English abstract).
- Newberry R J. 1979. Ploitypism in molybdenite (II): Relationships be-

- tween polytypism, ore deposition / alteration stages and rhenium content[J]. *Am. Mineral.*, 64: 768-775.
- Qu W J and Du A D. 2003. The electrochemical behavior of dopamine on poly(cinchomeronic acid)modified glassy carbon electrode and its detection[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254-257 (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.
- Shu L S. 2006. Predevonian tectonic evolution of South China from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 418-431 (in Chinese with English abstract).
- Smoliar M L, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re/Os ages of group IA, IIA, IVA and IVB iron meteorites[J]. *Science*, 271: 1099-1102.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L and Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. *Terra Nova*, 13: 479-486.
- Selly D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68: 3897-3908.
- Wang D H, Chen Y C, Chen W, Sang H Q, Li H Q, Lu Y F, Chen K L and Lin Z M. 2004. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi[J]. *Acta Geological Sinica*, 78(1): 132-138 (in Chinese with English abstract).
- Wang H N and Zhou L Y. 2006. A further understanding in geological structure of South China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 457-465 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y L, Pei R F, Li J W, Qu W J, Li L, Wang H L and Du A D. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Yaogangxian tungsten deposit, South China, and its significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(4): 820-825.
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, Chen Z H and Li H M. 2008. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 138p (in Chinese with English abstract).
- Yang Z X, Mao J W, Chen M H, Tong X, Wu J D, Cheng Y B and Zhao H J. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Kafang skarn copper (tin) deposit in the Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1937-1944 (in Chinese with English abstract).
- Zhou X M. 2003. My thinking about granite geneses of South China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 9(4): 556-565 (in Chinese with English abstract).
- 班 薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社. 1005 页.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管熔样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. *岩矿测试*, 20(4): 247-252.
- 郭福祥. 1995. 广西内生有色-贵金属大地构造成矿单元[J]. *桂林工学院学报*, 15(4): 328-337.
- 黄崇钊, 白 治, 朱裕生, 王惠章, 尚修志. 2001. 中国铜矿床[M]. 北京: 地质出版社. 329-335.
- 蒋少涌, 杨尧红, 赵葵东, 于际民. 2000. 金属矿床 Re-Os 同位素示踪与定年研究[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 36(6): 669-677.
- 赖来仁, 李 艺. 1989. 在广西德保发现的墨绿辉铜石和羟辉铜石[J]. *岩石矿物学杂志*, 8(1): 72-78.
- 李华芹, 王登红, 梅玉萍, 梁 婷, 陈振宇, 郭春丽, 应立娟. 2008. 广西大厂拉么铜多金属矿床成岩成矿作用年代学研究[J]. *地质学报*, 82(7): 912-920.
- 李 艺, 赖来仁. 1990. 广西德保铜-锡矿床氧化带砷酸盐矿物组合特征及其成因的初步研究[J]. *地质学报*, 64(4): 337-343.
- 李逸群, 颜晓钟. 1991. 中国南岭及邻区钨矿床矿物学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 368-370.
- 蔺志永, 王登红, 李水如. 2008. 广西王壮铜钨矿床地质特征及其成矿时代[J]. *地质学报*, 82(11): 1565-1571.
- 刘宝珺, 周名魁, 王汝植. 1990. 中国南方早古生代古地理轮廓与构造演化[J]. *中国地质科学院院报*, 20: 97-98.
- 刘宝珺, 许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集[M]. 北京: 科学出版社. 339 页.
- 刘玉平, 李朝阳, 谷 团, 王金良. 2000. 都龙锡锌多金属矿床成矿物质来源的同位素示踪[J]. *地质地球化学*, 28: 75-82.
- 毛景文, 程彦博, 郭春丽, 杨宗喜, 冯佳睿. 2008b. 云南个旧锡矿田矿床模型及若干问题讨论[J]. *地质学报*, 82(11): 1455-1467.
- 梅冥相, 马永生, 邓 军, 李 浩, 郑宽兵. 2005. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成-兼论滇黔桂盆地深层油气勘探潜力[J]. *地学前缘*, 12(3): 227-236.
- 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.
- 舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. *高校地质学报*, 12(4): 418-431.
- 唐盛毅. 2008. 广西德保铜锡矿床控矿因素及外围找矿预测[J]. *南方国土资源*, 11: 28-30.
- 王登红, 陈毓川, 陈 文, 桑海清, 李华芹, 路远发, 陈开礼, 林枝茂. 2004. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J]. *地质学报*, 78(1): 132-138.
- 王鹤年, 周丽娅. 2006. 华南地质构造的再认识[J]. *高校地质学报*, 12(4): 457-465.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社. 138 页.
- 杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 董 祥, 武俊德, 程彦博, 赵海杰. 2008. 云南个旧卡房砂卡岩型铜(锡) 矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 24(8): 1937-1944.
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考[J]. *高校地质学报*, 9(4): 556-565.

附中文参考文献

- 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚, 任纪舜, 翟裕生, 常印佛, 汤中立, 裴荣富, 滕吉文, 邓晋福, 胡云中, 任天祥, 沈保丰, 王世称, 肖克炎, 彭润民, 钱壮志, 梅燕雄, 杜建国, 施俊法, 张晓华, 朱明玉, 徐