

文章编号: 0258-7106(2007)06-0583-14

扬子地块西南缘大面积低温成矿时代*

胡瑞忠¹, 彭建堂¹, 马东升², 苏文超¹, 施春华¹, 毕献武¹, 涂光炽¹

(1 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要 中国西南地区(川、滇、黔、桂、湘)发育有世界上很典型的低温成矿域,其面积之大(约90万 km²)包含的矿种之多(Au、Hg、Sb、As、P、Pb-Zn、U、Ni-Mo-PGE、重晶石、冰州石和分散元素等)矿床组成和组合之复杂,在全球十分罕见。扬子地块西南缘是中国西南大面积低温成矿域的重要组成部分。近年来,作者采用 Rb-Sr、Sm-Nd、Ar-Ar 等多种同位素定年方法,对扬子地块西南缘产出的磷矿、金矿、锑矿等低温矿床的成矿时代进行了较系统的研究。文章总结了这些研究成果,并结合前人的资料,初步拟定出该区存在三期大规模低温成矿作用,它们分别相当于晚元古代—早古生代(晚震旦世—早寒武世)、晚加里东期(晚志留世—早泥盆地)和燕山期(晚侏罗世—中白垩世)。该区的磷矿、重晶石矿和黑色页岩中的镍铂钨矿主要形成于晚元古代—早古生代,同位素年龄主要为 585~540 Ma;赋存于前寒武纪浅变质碎屑岩中的金-锑-钨矿床主要形成于晚加里东期,同位素年龄主要为 435~380 Ma;产于寒武系以后地层中的锑矿床主要是在中燕山期成矿,同位素年龄主要为 160~140 Ma,而该区的卡林型金矿和汞矿主要在燕山中晚期大规模成矿,同位素年龄主要为 170~80 Ma。

关键词 地质学, 扬子地块西南缘, 低温成矿作用, 成矿时代, 晚元古代—早古生代, 晚加里东期, 燕山期

中图分类号: P617, P597

文献标识码: A

Epoch of large-scale low-temperature mineralizations in southwestern Yangtze massif

HU RuiZhong¹, PENG JianTang¹, MA DongSheng², SU WenChao¹, SHI ChunHua¹, BI XianWu¹
and TU GuangChi¹

(1 State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract

There exists a typical low-temperature metallogenic domain in southwestern China, which covers Sichuan, Yunnan, Guizhou, Guangxi and Hunan. As a unique region in the world, this domain is characterized by its large area (about 900 000 km²), many kinds of mineralization (Au, Hg, Sb, As, P, Pb-Zn, U, Ni-Mo-PGE, barite, calcspar, and dispersed elements), and complicated compositions and associations of ore deposits. The southwestern Yangtze massif is an important part of the low-temperature metallogenic domain in southwestern China. In recent years, the authors have systematically studied the metallogenic epochs of P, Au, Sb low-temperature mineralizations in southwestern Yangtze massif by using Rb-Sr, Sm-Nd, and Ar-Ar isotopic geochronological dating methods. With the combination of previous data, this paper has summarized the dating

* 本文得到国家 973 项目(G1999043200、2007CB411408)和国家自然科学基金项目(40472053、40634020)资助

第一作者简介 胡瑞忠,男,1958年生,博士,研究员,博士生导师,从事矿床学和地球化学研究。Tel:0851-5891962,Email:huruizhong@vip.gyig.ac.cn

收稿日期 2007-05-31;改回日期 2007-08-27。张绮玲编辑。

results and pointed out that there exist roughly 3 stages of large-scale low temperature mineralization, which are equivalent to Late Proterozoic-Early Palaeozoic (Late Sinian-Early Cambrian), Late Caledonian (Late Silurian-Early Devonian) and Yanshanian (Late Jurassic-Middle Cretaceous). The phosphorite deposits, barite deposits and Ni-Mo-PGE deposits in the area were formed mainly in Late Proterozoic- Early Palaeozoic, with isotopic ages mainly ranging from 585 Ma to 540 Ma. The Au-Sb-W deposits hosted in the Precambrian low metamorphic clastic rocks were mainly formed in Late Caledonian, with isotopic ages mainly ranging from 435 Ma to 380 Ma. The Sb deposits hosted in post-Cambrian strata were mainly formed in Middle Yanshanian, with isotopic ages mainly ranging from 160 Ma to 140 Ma. The Carlin-type gold mineralization and the Hg mineralization in the area were mainly formed in Middle and Late Yanshanian period, with isotopic ages ranging from 170 Ma to 80 Ma.

Key words: geology, southwestern Yangtze massif, low-temperature mineralization, metallogenic epoch, Late Proterozoic-Early Palaeozoic, Late Caledonian, Yanshanian period

低温成矿作用通常指约 200~250℃ 及其以下温度区间内的成矿作用(涂光炽等,1996;1998)。就全球而言,虽然低温矿床屡见不鲜,但大面积产出低温矿床的场所则非常有限。中国西南地区(川、滇、黔、桂、湘)则是世界上很典型的低温成矿域,其面积之大(约 90 万 km²)包含的矿种之多(Au、Hg、Sb、As、P、Pb-Zn、U、Ni-Mo-PGE、重晶石、冰州石和分散元素等)矿床组成和组合之复杂,在全球十分鲜见(涂光炽,2002)。正确厘定这一大面积低温成矿域的成矿时代,进而深入探讨这一成矿域的形成背景、过程和机制,既是瞄准国际前沿的重大科学问题,也是在该区进一步找矿预测的重要基础。

扬子地块西南缘是中国西南大面积低温成矿域的重要组成部分。该区低温矿床的赋矿层位众多,如从中元古界冷家溪群到白垩系(除侏罗系外),均有锑矿产出;寒武系至三叠系中均有卡林型金矿分布,元古界板溪群至二叠系中都有汞矿存在。这些低温矿床在空间上与岩浆活动缺乏明显联系,加上矿物组合相对简单,能进行常规同位素定年的矿物少,因此该区域低温矿床的成矿时代问题,一直未得到很好的解决,这制约了对这些矿床成因的深入认识。

近年来,笔者采用 Rb-Sr、Sm-Nd、Ar-Ar 等多种同位素定年方法,对扬子地块西南缘产出的磷矿、金矿、锑矿等低温矿床的成矿时代进行了较系统的研究,并结合前人的资料,初步拟定出该区存在三期大规模低温成矿作用,它们分别是晚元古代—早古生代(晚震旦世—早寒武世)、晚加里东期(晚志留世—早泥盆世)和燕山期(晚侏罗世—中白垩世)的低温成矿作用。

1 地质背景

研究区位于湘西、湘中、黔东、黔西南、黔南、桂西北和滇东南等地,在大地构造位置上主要处于扬子地块的西南边缘和华夏地块的西北缘,其中本次研究的矿床绝大部分在靠近扬子地块一侧。在矿床类型上主要包括滇黔桂三角区的微细浸染型金矿床,湘中-湘西、黔东南-桂北和滇东南等地区广泛分布的锑矿床,湘西、黔东北、黔东南地区的汞矿床,湘西-黔东一带的重晶石矿床,湘西的石门雄黄矿床,湘黔滇磷矿和黑色页岩中镍钼多金属矿床(点)等(图 1)。

总体而言,该区地层具有双层结构特点:基底为元古界浅变质碎屑岩,盖层为古生界至中生界巨厚沉积岩。基底地层主要为低绿片岩相的浅变质岩,出露在“江南古陆”南缘的雪峰山一带,其中最老的地层为中元古界的四堡群(广西)、冷家溪群(湖南)、梵净山群(贵州),另外,晚元古界的板溪群(贵州境内称为下江群)广泛分布,是该区金矿、锑矿的重要赋矿层位。盖层可分为 2 个亚层:震旦系至三叠系的海相沉积岩和侏罗系—白垩系的陆相沉积岩(李朝阳,1999)。该区的磷矿、卡林型金矿、重晶石矿、汞矿和砷矿等主要产于海相沉积的亚盖层中。

研究区内虽然在各个地质时期都有岩浆活动,但就整体而言,岩浆活动强度相对较弱,岩浆活动主要表现为火山活动,而大规模的岩浆侵入活动不发育。金、汞、锑、砷矿床,特别是汞、砷(雄黄)矿床在空间分布上与岩浆岩没有明显关系。

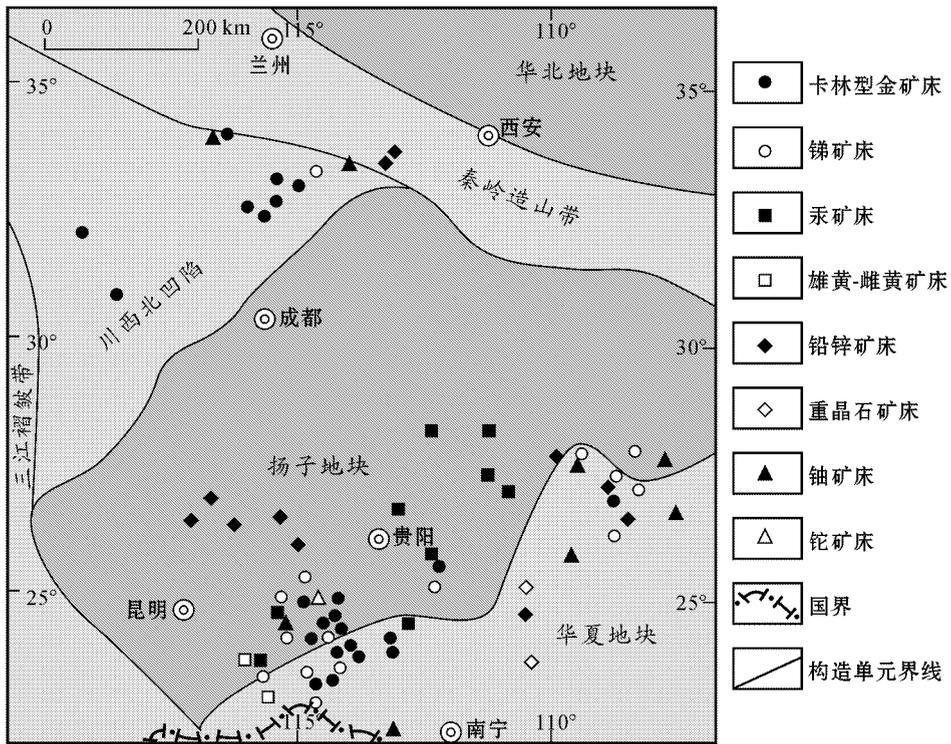


图1 中国西南地区大面积低温成矿域主要矿床分布示意图

Fig. 1 Sketch map showing locations of low-temperature mineral deposits in southwestern China

2 晚震旦世—早寒武世的低温成矿作用

2.1 黑色岩系中 Ni-Mo-PGE 矿化时代

华南下寒武统黑色岩系素有“多元素富集层”之称,富含 V、U、Ni、Mo、PGE 等元素。在空间上,华南黑色岩系大致呈北东向展布,该带延伸近 1 600 km,从云南昆明、德泽经过贵州织金、遵义、天柱到湖南大庸,一直延伸到浙江的诸暨地区(图 2),主要矿化组合为 V-U-Ni-Mo-PGE,如纳雍、遵义、大庸等地的薄层状、囊状矿化体,以 Ni-Mo 超常富集为特征,伴随一定的 V-U-PGE 矿化。本文涉及的主要是湘黔一带黑色岩系中的 Ni-Mo-PGE 成矿作用,该区的黑色岩系底部富集 Ni、Mo、V、U 等元素,但只有部分地区形成 Ni-Mo 硫化物矿体,其中最主要的 2 个是贵州遵义地区天鹅山-黄家湾 Ni-Mo 矿带与湖南张家界地区大坪-大浒 Ni-Mo 矿带(图 2)。

Horan 等(1994)对贵州天鹅山和湖南大庸的 Ni-Mo-PGE 矿层进行了 Os 同位素测定,获得约 560 Ma 的推断年龄。毛景文等近年对贵州遵义地区的黄家湾 Ni-Mo-PGE 矿进行了 Re-Os 同位素研究,获

得等时线年龄为 $(541 \pm 16) \text{Ma}$ (毛景文等,2001;Mao et al.,2002)。李胜荣等(2002)对湘西、黔北一带黑色页岩中的多金属富集层也进行了 Re-Os 同位素测定,获得 Re-Os 等时线年龄为 $(542 \pm 11) \text{Ma}$,该年龄数据与毛景文等(2001)的数据吻合较好,两者的 Os 同位素初始值也相当接近。因此,该区黑色页岩中 Ni-Mo-PGE 低温成矿作用应发生在 540 Ma 左右,与赋矿黑色页岩的成岩时代一致。该区下寒武统黑色页岩的 Re-Os 等时线年龄为 $(537 \pm 10) \text{Ma}$ (杨兢红等,2005)。

2.2 磷矿床成矿时代

扬子地块是中国重要的产磷区,陡山沱(晚震旦世早期)与梅树村(早寒武世早期)两大成磷期的磷块岩储量约占全国磷矿总储量的 85%。陡山沱期磷块岩分布于扬子地块西南缘的黔中—湘西—鄂西一带,产出层位为上震旦统陡山沱组,构成鄂湘黔成矿带,已发现磷矿床 20 多处,如贵州瓮安磷矿、开阳磷矿和息峰磷矿。梅树村期磷块岩分布于扬子地块西缘的黔西—滇东—川中一带,产出层位为下寒武统梅树村组,构成川滇成矿带,目前已发现磷矿床 40 多处,如贵州织金磷矿。

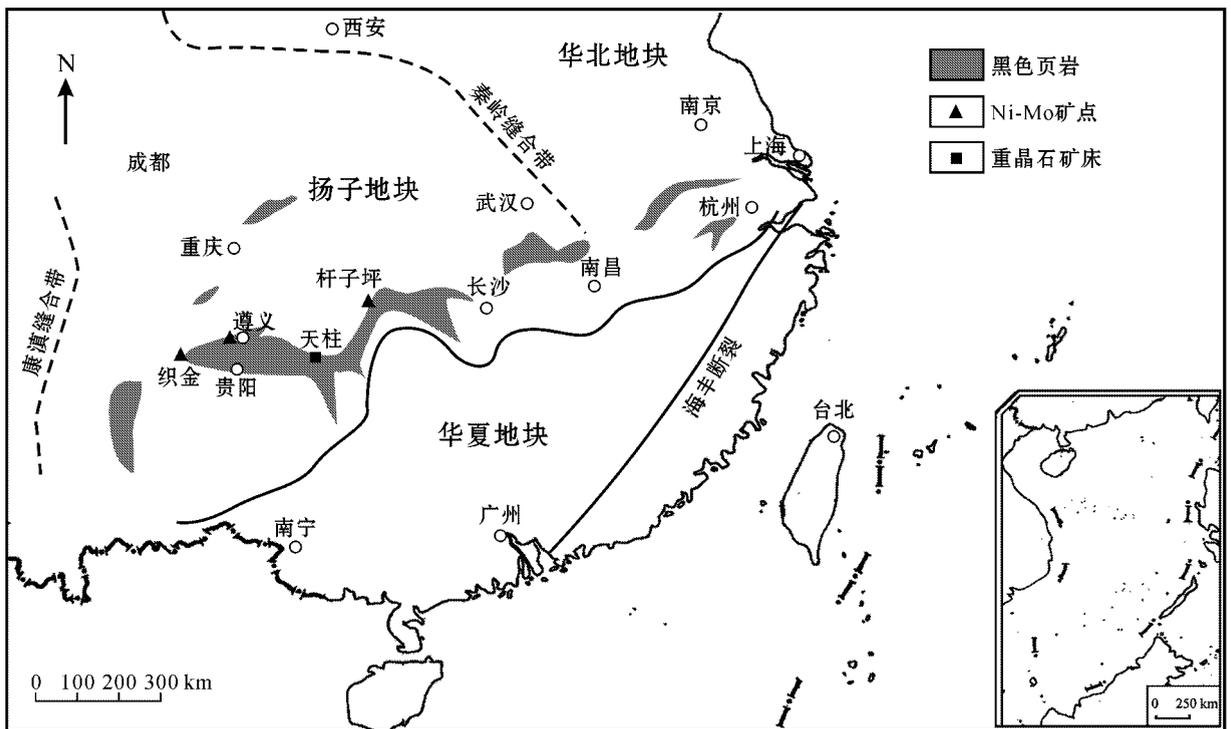


图2 华南地区下寒武统黑色页岩及有关矿床分布图(据 Mao et al. 2002)

Fig. 2 Sketch map showing distribution of Lower Cambrian black shale and related mineral deposits in South China (from Mao et al., 2002)

对于该区磷矿的形成时代,前人进行过部分研究。Knoll等(1998)通过对全球晚元古代地层的对比研究,推测该区陡山沱期磷矿形成时代应介于550~600 Ma之间。Barfod等(2002)利用Pb-Pb、Lu-Hf同位素定年方法对该区陡山沱期磷矿进行了年代学研究,确定瓮安磷矿上矿层磷块岩的Pb-Pb等时线年龄为 (599.0 ± 4.2) Ma,开阳磷矿的Lu-Hf等时线年龄为 (584 ± 26) Ma。Chen等(2004)对瓮安磷矿上矿层磷块岩进行Pb-Pb同位素定年,得出的Pb-Pb等时线年龄为 (576 ± 14) Ma。笔者最近利用Sm-Nd、Rb-Sr同位素定年方法,对贵州瓮安磷矿、开阳磷矿、织金磷矿进行了系统的年代学研究。研究发现,瓮安磷矿上矿层磷块岩的Sm-Nd等时线年龄为 (588 ± 35) Ma(图3);开阳磷矿的Rb-Sr法等时线年龄为 (596 ± 42) Ma(图4);梅树村期织金磷矿的Sm-Nd等时线年龄为 (526 ± 15) Ma(图5),该矿的Rb-Sr法等时线年龄为 (528 ± 28) Ma(图6)。可见,该区陡山沱期磷矿的形成时代应介于550~600 Ma之间,而梅树村期磷矿的形成时代应在530 Ma左右。

2.3 重晶石矿床成矿时代

在湘西、黔东一带的震旦系—寒武系中,有许多

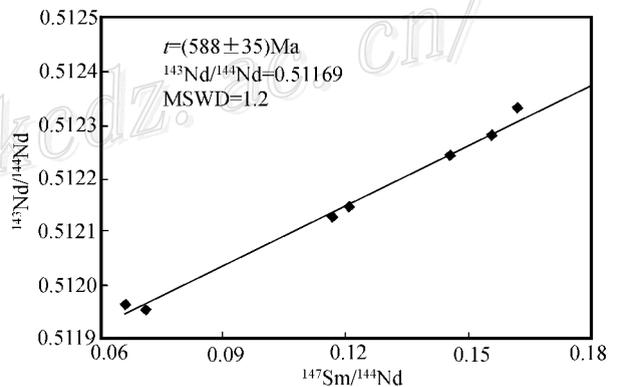


图3 贵州瓮安磷矿上矿层磷块岩的Sm-Nd等时线图
Fig. 3 Sm-Nd isochron diagram of upper phosphorite bed in the Wengan phosphorus deposit, Guizhou Province

重晶石矿床分布。据朱训等(1999)的资料,该区新晃—天柱一带的重晶石矿床是目前世界上探明储量最大的重晶石矿床,其中湖南新晃贡溪、贵州天柱大河边2处重晶石矿床均达到超大型规模。

新晃贡溪的重晶石矿床有2个矿层,主矿层赋存于下寒武统牛蹄塘组底部,次矿层赋存于上震旦统陡山沱组中上部。矿体形态简单,以层状、似层状为主,局部呈透镜状。矿石呈现致密块状、结核状、

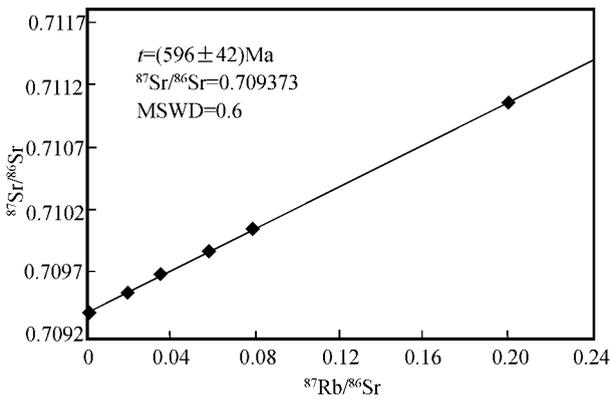


图 4 贵州开阳磷矿矿石的 Rb-Sr 等时线图

Fig. 4 Rb-Sr isochron diagram of phosphorite in the Kaiyang phosphorus deposit, Guizhou Province

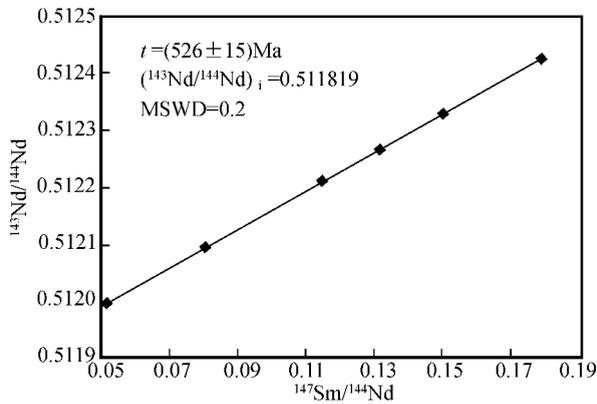


图 5 贵州织金磷矿床矿石的 Sm-Nd 等时线图

Fig. 5 Sm-Nd isochron diagram of phosphorite in the Zhijin phosphorus deposit, Guizhou Province

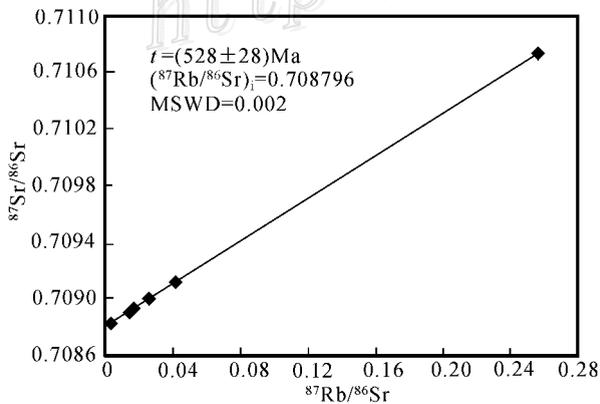


图 6 贵州织金磷矿床矿石的 Rb-Sr 等时线图

Fig. 6 Rb-Sr isochron diagram of phosphorite from the Zhijin phosphorus deposit, Guizhou Province

矿物、脉石矿物主要是含碳质的粘土矿物和方解石，次有绢云母、绿泥石、石英、黄铁矿等，为一套典型的低温矿物组合。前人研究表明，新晃贡溪重晶石的均一温度在 30 ~ 300℃ 变化，主要集中在 150 ~ 185℃ (彭军等, 1999)。因此，不论是矿物组合还是成矿温度，均显示出典型低温成矿特点。

大量组构学的研究显示，这类矿床的矿体与围岩(白云岩和硅质岩)呈过渡关系，两者整合产出并同步褶皱，具有明显的同生热水沉积特点(胡清洁, 1997; 彭军等, 1999; 吴朝东等, 1999; 方维萱等, 2002)。S 和 Sr 同位素研究(王忠诚等, 1993; 胡清洁, 1997; 彭军等, 1999; 夏菲等, 2004)也表明，该区重晶石的形成环境与中国南方早寒武世普遍存在的缺氧沉积环境完全一致。因此，该区重晶石矿床应为同生成因矿床，其形成时代与地层时代一致，主要为早寒武世初期。

3 加里东期中低温成矿作用

长期以来，加里东期的岩浆作用、构造运动和成矿作用较少引起人们的关注。随着近年来地质研究工作的深入，人们意识到加里东运动在华南波及的范围及其强烈程度远超出人们的预想。同时，越来越多的研究显示，华南加里东期的成矿作用也不容忽视，晚加里东期是华南最重要的金、锑、钨成矿期之一(彭建堂等, 2002)。

雪峰山地区是华南最重要的金(锑、钨)成矿带之一，湖南 80% 金矿床(点)分布于雪峰弧形构造隆起带中，赋矿地层主要为元古宇冷家溪群和板溪群(贵州省境内分别称为梵净山群和下江群)，其次为下震旦统江口组。该区金(锑、钨)矿床主要为石英脉型矿床，著名的矿床包括湘东的黄金洞金矿床、湘西的沃溪金锑钨矿床和板溪锑矿床、湘西南的漠滨金矿床(图 7)。流体包裹体研究表明，该区金、锑、钨矿床的均一温度在 320 ~ 100℃ 之间变化，绝大多数在 160 ~ 220℃ 范围(牛贺才等, 1991; 彭建堂等, 1999)，为典型的中低温热液矿床。

20 世纪 90 年代以前，大多数研究者认为，这些矿床的形成与区域变质作用关系密切，成矿时间为武陵期—雪峰期(1 000 ~ 800 Ma)(罗献林等, 1984; 罗献林, 1989; 张景荣等, 1989; 黎盛斯, 1991)。90 年代以来，先后有学者提出该区金、锑矿床的主成矿期

条纹状、条带状、层纹状构造。重晶石是唯一的矿石

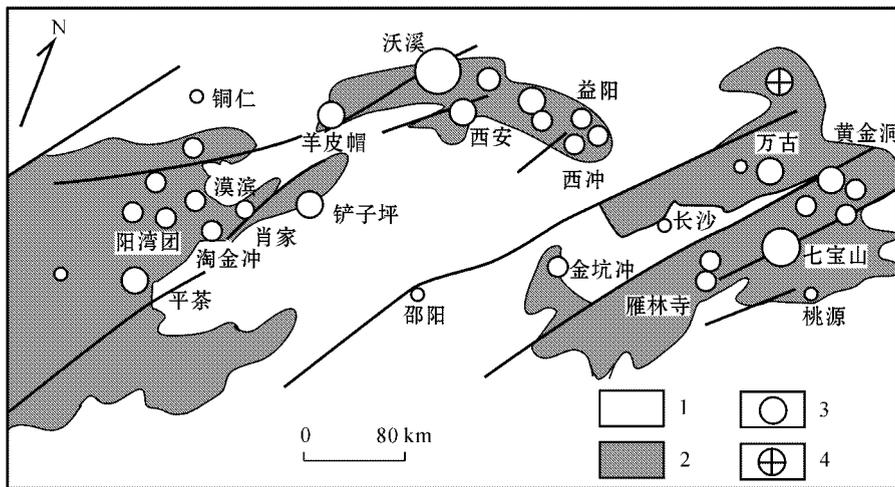


图 7 湖南雪峰山地区金矿床分布图

1—盖层;2—基底;3—金矿床;4—伴生金矿床

Fig. 7 Sketch map showing locations of gold deposits in Xuefeng district, Hunan Province

1—Cap rock; 2—basement rock; 3—Gold deposit; 4—Associated gold deposit

为印支期—燕山期(刘继顺,1993)或燕山期(毛景文等,1997)。亦有学者认为这些矿床为海底同生沉积成因,其形成时间应与赋矿地层一致(张理刚,1985;刘建明等,2002;顾雪祥等,2003)。笔者的研究则显示,加里东晚期为湘西一带金矿的主成矿期(彭建堂等,1998,2000,2003a)。

位于雪峰山中段的沃溪 Au-Sb-W 矿床为该区最大的金矿床。研究表明,该矿白钨矿的 Sm-Nd 等时线年龄为 (402 ± 6) Ma (图 8)(彭建堂等,2003a),2 个与白钨矿、辉锑矿共生的石英样品的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄谱显示出两侧高、中间低的“马鞍型”年龄谱,它们

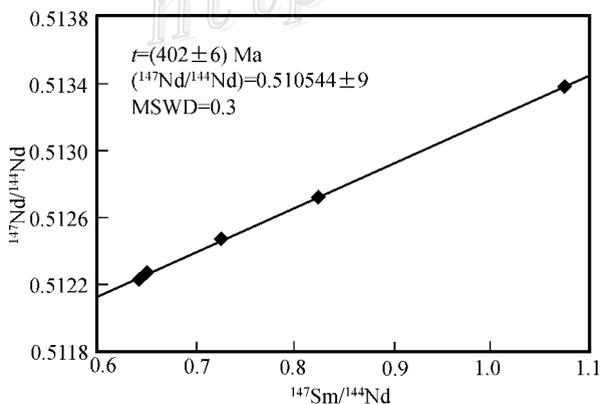


图 8 沃溪 Au-Sb-W 矿床白钨矿的 Sm-Nd 同位素等时线图(据彭建堂等,2003a)

Fig. 8 Sm-Nd isochron diagram of scheelite in the Woxi Au-Sb-W deposit, Hunan Province

的坪年龄和等时线年龄分别为 (423.2 ± 1.2) Ma 和 (421.6 ± 4.5) Ma 以及 (416.2 ± 0.8) Ma 和 (415.1 ± 3.1) Ma (彭建堂等,2003a),与白钨矿的 Sm-Nd 等时线年龄在误差范围内基本一致。因此沃溪 Au-Sb-W 矿床应形成于加里东晚期,这些年龄数据远小于该矿床赋矿地层马底驿组的年龄(933~845 Ma),也远小于该区发生区域变质作用的时间(武陵期 1 000 Ma,雪峰期 800 Ma)。对板溪、肖家、平茶、阳湾团矿床进行的同位素定年研究亦得出了类似的结果(彭建堂等,1998,2003a)。

结合前人发表的数据不难发现,雪峰山一带产于不同层位的金锑钨矿床,用不同测年方法所得到的年龄数据相当一致,集中在 381~435 Ma 之间(表 1)。这表明该区在加里东晚期发生了大规模成矿作用,该结论与野外地质事实和该区的构造演化历史相吻合。近年的大量研究表明,加里东运动是雪峰山一带的一次重要构造事件,它导致湘西、黔东一带许多脆-韧性剪切带的产生,对该区的构造演化与成矿作用有着重要的影响。湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床、湘西南铲子坪 Au 矿床和漠滨 Au 矿床、黔东雷山一带的 Sb(Au)矿床均受剪切带的控制。野外地质证据和同位素年龄数据显示,这些韧性剪切带是加里东运动的产物。最近朱笑青等(2006)证实黔东地区也存在加里东期的金矿成矿作用,该区主要金矿如平秋、同古、金井等均形成于 340~492 Ma(表 1)。

表 1 华南雪峰山一带金锑钨矿床的成矿年龄

Table 1 Metallogenic ages of Au-Sb-W deposits in Xuefeng district of South China

地区及矿床	成矿元素及赋矿层位	测试对象及方法	<i>t</i> /Ma
湘西			
沃溪	Au-Sb-W 板溪群马底驿组	白钨矿 Sm-Nd 法等时线	402 ± 6
沃溪	Au-Sb-W 板溪群马底驿组	石英 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法坪年龄	423.2 ± 1.2
沃溪	Au-Sb-W 板溪群马底驿组	石英 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法坪年龄	416.2 ± 0.8
西安	W 板溪群马底驿组	蚀变板岩 K-Ar 法	412.2 ± 6.6
柳林钨	Au 板溪群五强溪组	钾长石 K-Ar 法	412.5
板溪	Sb 板溪群五强溪组	石英 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法坪年龄	397.4 ± 0.4
板溪	Sb 板溪群五强溪组	石英 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法坪年龄	422.2 ± 0.2
湘西南			
平茶	Au-Sb, 下震旦统江口组	含金石英的流体包裹体 Rb-Sr 法等时线	435 ± 9
肖家	Au 板溪群五强溪组	含金石英的流体包裹体 Rb-Sr 法等时线	412 ± 33
肖家	Au 板溪群五强溪组	蚀变围岩 Rb-Sr 法等时线	418 ± 4
漠滨	Au 板溪群五强溪组	钾长石 K-Ar 法	404.2
阳湾团	Au 板溪群五强溪组	含金石英 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 法坪年龄	381.7 ± 0.4
黔东			
同古	Au, 下江群隆里组	石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线	425 ± 16
金头	Au, 下江群隆里组	石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线	430 ± 44
金井	Au, 下江群清水江组	石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线	340 ± 16
平秋	Au, 下江群番召组	石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线	492 ± 37
平秋	Au, 下江群番召组	石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线	477 ± 14

注 西安数据引自万嘉敏(1986),柳林钨和漠滨引自王秀璋等(1999),肖家和平茶引自彭建堂等(1998),黔东引自朱笑青等(2006),其余均为彭建堂等(2003a)。

4 燕山期低温成矿作用

4.1 锑矿床成矿时代

中国是世界上锑储量和产量最多的国家,而中国的锑矿主要集中分布于扬子地块南缘,构成著名的华南锑矿带(图 9)。该锑矿带东起安徽,经湖北、江西、湖南、贵州、广西,西至云南,总体呈 NEE 向展布,长约 1 900 km,宽约 200 km。其中已发现锑矿床(点)500 余个,约占全国锑矿总储量的 83%(肖启明等,1992),为世界上最大的锑矿带。中国著名的锑矿床如锡矿山、板溪、沃溪、渣滓溪、大厂、独山、木利、晴隆、马雄等均分布于其中。该矿带锑矿的赋矿层位众多,除侏罗系外,其他层位(中元古界板溪群—白垩系)均有锑矿产出,但重要矿床大多产于前寒武系和泥盆系中(乌家达等,1989)。赋矿围岩主要为碳酸盐岩,次为浅变质碎屑岩。按其元素组合,该区的锑矿床可分为 Sb-(Au-W) 单 Sb、Sb-F 等类型,其中 Sb-(Au-W) 组合主要分布在雪峰山一带的前寒武纪浅变质碎屑岩中,Sb-F 组合主要与滇黔地区二叠纪的“大厂层”有关,单 Sb 矿床则主要产于泥盆系中。Sb-(Au-W) 组合矿床的成矿时代前已论述,本

节只讨论 Sb-F 组合与单 Sb 矿床的时代。

长期以来华南锑矿带中 Sb-F 组合和单 Sb 矿床的成矿年龄数据非常缺乏,绝大多数矿床缺乏精确年龄数据。人们通常是根据不同地质体的野外关系来推断其形成时间,一般认为华南这些锑矿床形成于晚燕山期(乌家达等,1989)或喜马拉雅期(单业华等,1994;金景福等,1999),前苏联的一些学者也认为华南的锑、汞等低温矿床应形成于早白垩世—老第三纪;亦有人将赋矿地层时代与成矿时间联系起来,强调前寒武纪、泥盆纪、二叠纪为华南锑矿的主成矿期(张国林等,1998)。近年来,笔者对该区锡矿山、晴隆、木利等主要锑矿床进行了较系统的同位素年代学研究。

4.1.1 湘中锡矿山锑矿床

湘中盆地的锡矿山锑矿床,是世界上最大的超大型锑矿床,素有“世界锑都”的美称。矿体主要赋存于泥盆系余田桥组,其次为泥盆系棋梓桥组。矿体形态简单,受层间断裂控制,主要呈层状、似层状产出,但在矿区深部则往往呈不规则状产出。矿石的矿物共生组合简单,金属矿物为辉锑矿,脉石矿物主要为方解石和石英。矿石类型主要为石英-辉锑矿型和方解石-辉锑矿型 2 种。

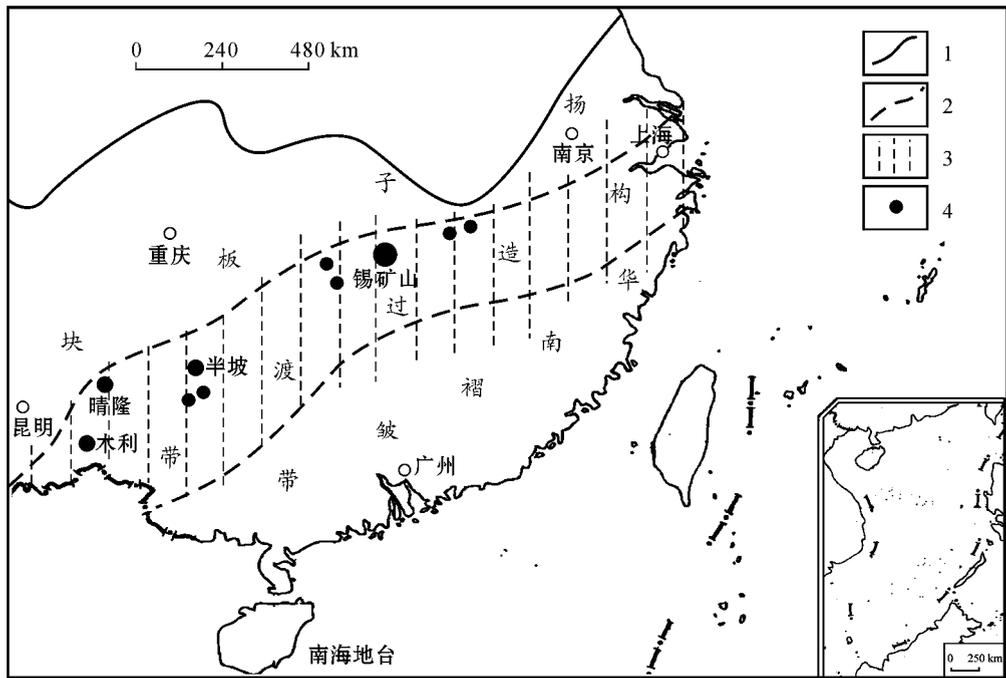


图9 华南锑矿带分布示意图(据肖启明等,1992修改)

1—一级构造单元界线;2—次级构造单元界线;3—锑矿主要分布区;4—锑矿床

Fig. 9 Sketch map showing distribution of Sb mineralized belts in South China(modified from Xiao et al., 1992)

1—Boundary of first-order tectonic unit;2—Boundary of second-order tectonic unit;3—Sb mineralized area;4—Sb deposit

对成矿期方解石的 Sm-Nd 同位素定年研究表明,该区存在 2 期大规模成矿作用(彭建堂等, 2002):早期成矿为 $(155.5 \pm 1.1) \text{Ma}$ (图 10),主要是形成硅化、石英-辉锑矿型矿石和少量方解石-辉锑矿型矿石;晚期成矿时间约为 $(124.1 \pm 3.7) \text{Ma}$ (图 11),

主要形成大量方解石-辉锑矿型矿石。在锡矿山不足 18 km^2 的地方,元素 Sb 能发生如此高强度的富集,形成如此巨大的矿石堆积,很可能是该区存在晚侏罗世(156 Ma)和早白垩世(124 Ma),且相对独立的两次大规模流体成矿作用,锑矿的形成与之密切

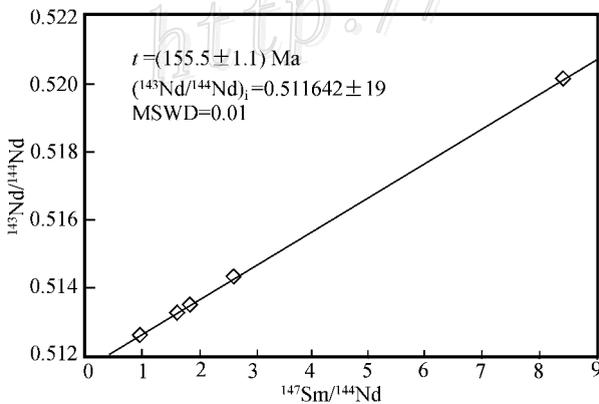


图 10 锡矿山成矿早期热液方解石的 Sm-Nd 等时线图 (据彭建堂等,2002)

Fig. 10 Sm-Nd isochron diagram of the early ore-forming stage hydrothermal calcite in the Xikuangshan Sb deposit, Hunan Province (from Peng et al., 2002)

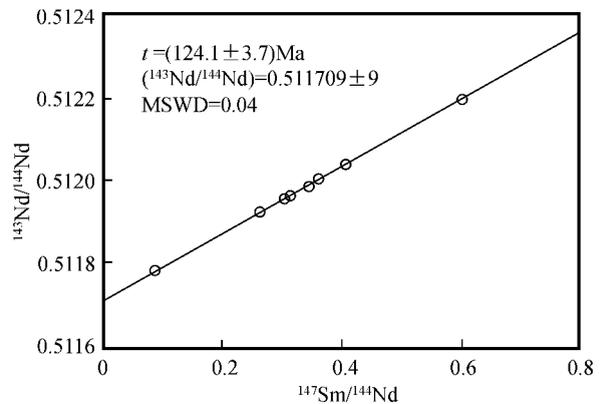


图 11 锡矿山成矿晚期热液方解石的 Sm-Nd 等时线图 (据彭建堂等,2002)

Fig. 11 Sm-Nd isochron diagram of the late ore-forming stage hydrothermal calcite in the Xikuangshan Sb deposit, Hunan Province (from Peng et al., 2002)

相关。

4.1.2 黔西南晴隆锑矿床

晴隆锑矿床位于黔西南地区,是中国锑矿的重要产地。该区的锑矿体、矿化均严格受“大厂层”控制,矿体呈层状、似层状产出。“大厂层”由下二叠统茅口组灰岩的顶部、上二叠统峨眉山玄武岩的底部以及其间的火山碎屑岩组成,该套岩石以强烈硅化和粘土化为特征。矿床的矿物组合简单,金属矿物主要为辉锑矿,次为受后期热液改造的沉积型黄铁矿,非金属矿物有石英、萤石、方解石、高岭石和少量重晶石。

研究表明,该矿萤石均以 HREE 富集, LREE 相对亏损为特征,在 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 图解中,测试的样品明显分为 2 组,紫色、浅蓝色萤石为一组,绿色、浅绿色萤石为另一组,其等时线年龄分别为 $(148.0 \pm 8.5)\text{Ma}$ 和 $(142 \pm 16)\text{Ma}$ (图 12)。值得注意的是,尽管本次测定的萤石样品构成了 2 组等时线,但 2 个等时线的斜率大体一致,对应的等时线年龄在误差范围内基本吻合。

黔西南晴隆地区的构造、岩浆活动相对微弱,锑矿床形成后未遭受明显的构造-岩浆事件的扰动。因此,该矿床萤石的 Sm-Nd 同位素体系应保存了其成矿时的初始信息,萤石的 Sm-Nd 等时线年龄 $(148.0 \pm 8.5)\text{Ma}$ 和 $(142 \pm 16)\text{Ma}$ 应代表其成矿时间。该矿与辉锑矿共生的石英显示出两侧高、中间低的“马鞍型”Ar-Ar 年龄谱,其坪年龄 $(155.4 \pm 0.4)\text{Ma}$ 、等时线年龄 $(153.9 \pm 0.8)\text{Ma}$ 或最小视年龄值 $(154.8 \pm 7.8)\text{Ma}$ 非常一致(彭建堂等,2003b),且与萤石的 Sm-Nd 等时线年龄 $(148.0 \pm 8.5)\text{Ma}$ 和 $(142$

$\pm 16)\text{Ma}$ 在误差范围内吻合较好,暗示该矿床的成矿作用应发生在中燕山期(晚侏罗世—早白垩世)。这与该矿床所有的矿体严格受燕山期形成的背斜控制的野外地质事实相吻合。

笔者测定滇东南木利锑矿床中与辉锑矿共生的石英的 Ar-Ar 坪年龄和最小视年龄均为 165Ma 左右。前人对贵州独山和广西马雄锑矿的研究也发现,这 2 个矿床的形成时间为 $141 \sim 156\text{Ma}$ (韦文灼,1993;捧月星等,1993)。与笔者所获得的年龄数据相吻合。因此,该区锑大规模的成矿作用主要发生在中燕山期($140 \sim 160\text{Ma}$ 之间),而不是前人推断的晚燕山期或老第三纪。

4.2 卡林型金矿床成矿时代

扬子地块西南缘卡林型金矿主要集中分布在黔西南、滇东南和桂西北交界的三角地区。目前该区已发现水银洞、烂泥沟、灰堡、紫木凶、戈塘、高龙、金牙等大型卡林型金矿床 9 处,中小型矿床(点)200 余处,已成为中国重要的金矿产地(图 13)。该区卡林型金矿的赋矿层位众多,从寒武系一直到白垩系,但重要矿床则多产于三叠系地层,如水银洞、烂泥沟等大型矿床均产于该层位。含矿地层都是一套海相沉积碳酸盐-碎屑岩建造,容矿岩石主要是粉砂岩、泥质粉砂岩、细砂岩及不纯的碳酸盐岩等,碳酸盐岩与碎屑岩接触部位往往是矿化最有利的部位(Hu et al., 2002)。金属矿物组合主要为自然金、黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄黄(雌黄)、辰砂等;非金属矿物有石英、碳酸盐、重晶石、萤石、粘土矿物等;部分矿床见有自然汞(水银)、自然砷、自然铜、自然银等。

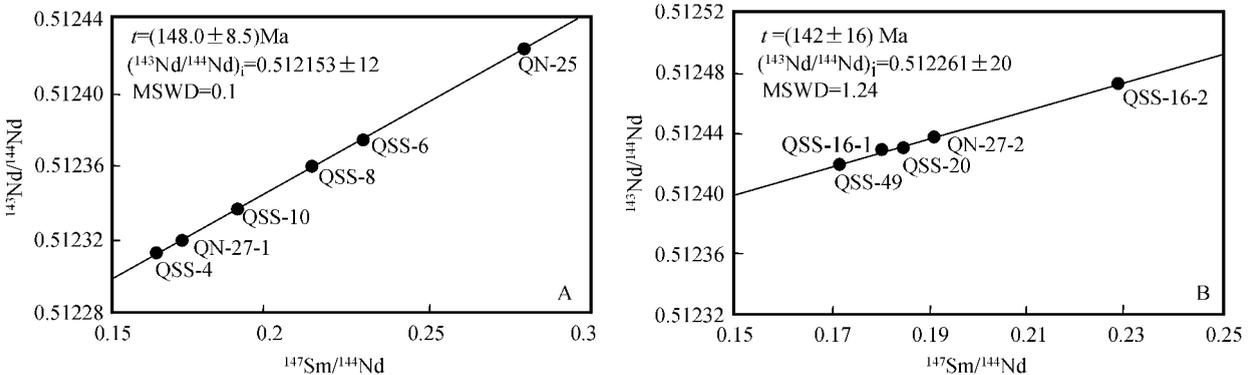


图 12 晴隆锑矿床成矿期萤石的 Sm-Nd 等时线图(据彭建堂等,2003b)

A. 紫色、浅蓝色萤石; B. 绿色、浅绿色萤石

Fig. 12 Sm-Nd isochron diagram of fluorite from the Qinglong Sb deposit, Guizhou Province (from Peng et al., 2003b)

A. Blue fluorite; B. Green fluorite

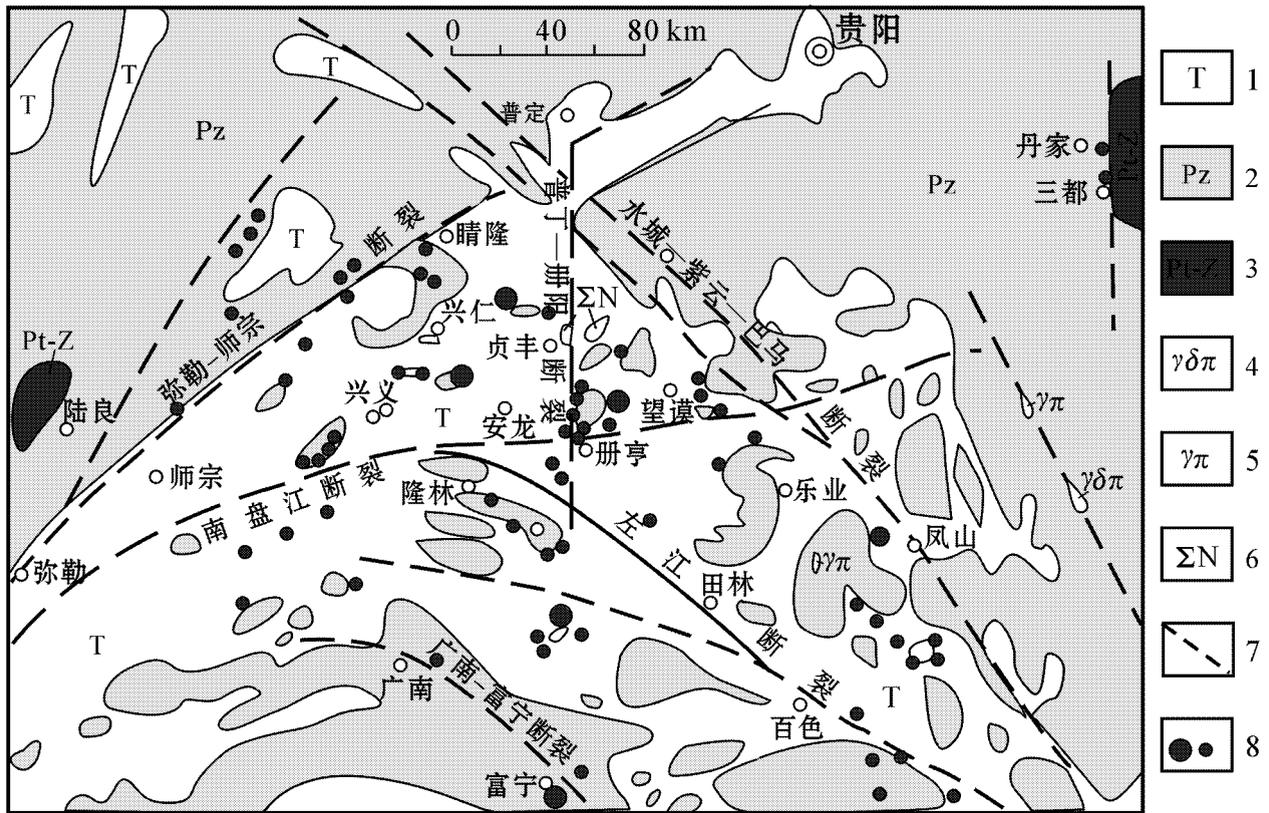


图 13 滇黔桂三角区卡林型金矿分布图

1—三叠纪地层; 2—古生代地层; 3—元古代地层; 4—花岗闪长斑岩; 5—花岗斑岩; 6—基性脉岩; 7—断层; 8—金矿床

Fig. 13 Sketch map showing distribution of Carlin-type gold deposits in the Guizhou-Yunnan-Guangxi border area

1—Triassic; 2—Paleozoic; 3—Proterozoic; 4—Granodiorite porphyry; 5—Granite porphyry; 6—Mafic dyke; 7—Fault; 8—Gold deposit

表 2 滇黔桂卡林型金矿床的成矿时代

Table 2 Metallogenic ages of Carlin-type gold deposits in Guizhou, Yunnan and Guangxi

矿床	元素组合	赋矿地层	测试对象及方法	t/Ma	资料来源
百地	Au	三叠系	石英裂变径迹法	87.6 ± 6.1	张峰等, 1992
百地	Au	三叠系	石英裂变径迹法	82.9 ± 6.3	张峰等, 1992
烂泥沟	Au	三叠系	石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄	106	苏文超等, 1998
丫他	Au	三叠系	石英裂变径迹法	100	罗孝桓, 1997
金牙	Au	三叠系	黄铁矿的 Pb 模式年龄	82~130	李泽琴等, 1995
戈塘	Au-Sb	二叠系	矿石 Rb-Sr 等时线年龄	172 ± 36	刘东升等, 1985
世加	Au	石炭系	成矿前的辉绿岩 K-Ar 年龄	<140	胡瑞忠等, 1995
丹寨	Au-Hg	寒武系	富矿矿石等时线年龄	114	贾蓉芬等, 1993

由于卡林型金矿中矿物相对简单,难以找到合适的定年矿物,且该类矿床中矿物颗粒较细,一些矿物的成因难以有效判断(热液成因还是非热液成因?)因此该类型金矿的测年难度较大,国内外尚未找到非常有效的方法。但从表 2 的定年结果可以发现,目前滇黔桂一带卡林型金矿的形成时代应主要

在 80~170 Ma 范围内。其上限与锑矿床基本一致,但其下限可能延续到了燕山晚期。

4.3 汞、砷矿床成矿时代

对于该区湘西—黔东一带的汞矿床,目前有关其成矿时代的资料很少,但根据该区汞矿受燕山期构造控制的事实,人们普遍认为其成矿时代与区域

最新构造同期(花永丰等,1996)。该区砷矿床,如亚洲最大的雄黄矿湘西石门雄黄矿,其成矿时间应与湘西—黔东一带的汞矿一致。黔西南的汞矿,与卡林型金矿密切共生,且汞是卡林型金矿的一种特征元素,大多数卡林型金矿均有辰砂分布,甚至形成独立的汞矿体,因此,位于卡林型金矿集中区的汞矿,其形成时间应与卡林型金矿的形成时间相同,为燕山期的产物。

5 结 论

扬子地块西南缘主要存在 3 期大规模低温成矿作用,它们分别相当于晚元古代—早古生代(晚震旦世—早寒武世)、晚加里东期(晚志留世—早泥盆世)和燕山期(晚侏罗世—中白垩世)。该区的磷矿、重晶石矿和黑色页岩中的镍钼铂矿主要形成于晚元古代—早古生代,同位素年龄主要为 585~540 Ma,赋存于前寒武纪浅变质碎屑岩中的金—铋—钨矿床主要形成于晚加里东期,同位素年龄主要为 435~380 Ma;产于寒武纪以后地层中的铋矿床主要是在中燕山期成矿,同位素年龄主要为 160~140 Ma,而该区的卡林型金矿和汞、砷矿主要在燕山中晚期大规模成矿,同位素年龄主要为 170~80 Ma。

References

Barfod G H, Albarede F and Knoll A H. 2002. New Lu-Hf and Pb-Pb age constraints on the earliest animal fossils [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 201: 203~212.

Chen D F, Dong W Q and Zhu B Q. 2004. Pb-Pb ages of Neoproterozoic Doushantuo phosphorites in South China: Constraints on early metazoan evolution and glaciation event [J]. *Precambrian Research*, 132: 123~132.

Fang W X, Hu R Z, Su W C, Qi L, Xiao J F and Jiang G H. 2002. Geochemical characteristics of Dahebian-Gongxi superlarge barite deposits and analysis on its background of tectonic geology, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 247~256 (in Chinese with English abstract).

Feng Y X, Chen M Y and Xu W X. 1993. Stable isotope geochemistry research of Dushan antimony ore deposit [J]. *Mineral Resources and Geology*, 7(2): 119~126 (in Chinese with English abstract).

Gu X X, Schulz O, Vavtar F, Liu J M and Zheng M H. 2003. Ore fabric characteristics of Woxi W-Sb-Au deposit in Hunan and their genetic significance [J]. *Mineral Deposits*, 22(2): 107~120 (in Chi-

nese with English abstract).

Horan M F, Morgan J W, Grauch R I, Coveney R M, Murowchick J B and Hulbert L J. 1994. Rhenium and osmium isotopes in black shales and Ni-Mo-PGE-rich sulfide layers Yukon Territory, Canada, and Hunan and Guizhou Province, China [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 257~265.

Hu Q J. 1997. Petrologic feature and feositional diagenesis of super-mega barite deposit in Gongxi, Xinhuang County [J]. *Hunan Geology*, 16(2): 106~111 (in Chinese with English abstract).

Hu R Z, Su W C, Bi X W and Li Z Q. 1995. A possible evolution way of ore-forming hydrothermal fluid for the Carlin-type gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle area [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 15(2): 144~149 (in Chinese with English abstract).

Hu R Z, Su W C, Bi X W, Tu G C and Hofstra A. 2002. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China [J]. *Mineralium Deposita*, 37(3): 378~392.

Hua Y F and Liu Y P. 1996. A genetic model for the Wanshan super-large mercury deposit, Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 13(2): 161~165 (in Chinese with English abstract).

Jia R F, Chen Q N, Zhou P K, Xia Y and Wu X Y. 1993. Relation between Au-enrichment periods and organic matter in Danzhai gold deposit, Guizhou [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 8(4): 69~81 (in Chinese with English abstract).

Jin J F, Tao Y, Lai W C, Zeng L J, Chu Z K and Wang G D. 1999. Metallogenic regularities and direction for prospecting of Xikuangshan-type antimony deposits in Central part of Hunan Province, China [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology. 72~73 (in Chinese with English abstract).

Knoll A H and Xiao S. 1999. On the age of the Doushantuo Formation [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 16: 225~236.

Li C Y. 1999. Some geological characteristics of concentrated distribution area of epithermal deposits in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 6(1): 163~170 (in Chinese with English abstract).

Li S R, Xiao Q Y, Shen J F, Sun L, Liu B and Yan B K. 2002. Source for PGE in Lower Cambrian strata in Hunan-Guizhou and Re-Os isotope constraint on its mineralization time [J]. *Science in China (Series D)*, 33(7): 565~575 (in Chinese).

Li S S. 1991. Geological conspectus for gold deposits in Hunan Province [M]. Changsha: Press of Central-South University of Technology, 1~120 (in Chinese).

Li Z Q, Chen S D and Wang J Z. 1995. Isotope geochemistry of Jinya disseminated gold deposit in western Guangxi [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 15(2): 66~72 (in Chinese with English abstract).

Liu D S and Geng W H. 1985. Mineralogical features and metallogenic

- conditions for Carlin-type gold deposit in China[J]. *Geochimica*, 14(3): 277~282 (in Chinese with English abstract).
- Liu J M, Ye J, He B B, Zhang R B and Li Y B. 2002. Sedex-type antimony deposits in giant antimony metallogenic belt, South China[J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 169~172 (in Chinese).
- Liu J S. 1993. On the mineralization epoch of Xuefeng metallogenetic province[J]. *Gold*, 14(7): 7~12 (in Chinese).
- Luo X H. 1997. Analysis of gold mineralization in Southwestern Guizhou based on structural styles[J]. *Guizhou Geology*, 14(4): 312~330 (in Chinese with English abstract).
- Luo X L, Yi S J and Liang J C. 1984. Ore genesis of the Woxi Au-Sb deposit, Western Hunan[J]. *Geology and Prospecting*, 20(3): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Luo X L. 1989. On the epoch of the formation of Precambrian gold deposits in Hunan Province[J]. *Journal of Guilin College of Geology*, 9(1): 25~34 (in Chinese).
- Mao J W and Li H Y. 1997. On the genesis of gold deposits in Jiangnan oldland[J]. *Geochemica*, 26(5): 71~81 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Lehmann B, Du A D, Zhang G. D, Ma D S, Wang Y T, Zeng M G and Kerrich R. 2002. Re-Os dating of polymetallic Ni-Mo-PGE-Au mineralization in Lower Cambrian black shales of South China and its geologic significance[J]. *Econ. Geol.*, 97: 1051~1061.
- Mao J W, Zhang G D, Du A D, Wang Y T and Zeng M G. 2001. Geology, geochemistry, and Re-Os isotopic dating of the Huangjiawan Ni-Mo-PGE deposit, Zunyi, Guizhou Province: with a discussion of the polymetallic mineralization of basal Cambrian black shales in south China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 234~244 (in Chinese with English abstract).
- Niu H C and Ma D S. 1991. Study on fluid inclusions from the Jiangnan-type gold deposits, Western Hunan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 11(4): 386~394 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T and Dai T G. 1998. Preliminary study on mineralization timing of gold deposits in Xuefengshan district[J]. *Geology and Prospecting*, 34(4): 37~41 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T and Dai T G. 1999. Geochemistry of ore-forming fluids in gold deposits, Southwestern Hunan[J]. *Mineral Deposits*, 18(1): 73~82 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T and Hu R Z. 2000. Caledonian gold mineralization in the Xuefeng old land[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(4): 246~247 (in Chinese).
- Peng J T, Hu R Z, Lin Y X and Zhao J H. 2002. Sm-Nd isotope dating of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit, Central Hunan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(13): 1134~1137.
- Peng J T, Hu R Z, Zhao J H, Fu Y Z and Lin Y X. 2003a. Scheelite Sm-Nd dating and quartz Ar-Ar dating from the Woxi Au-Sb-W deposit, Western Hunan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(23): 2640~2646.
- Peng J T, Hu R Z and Jiang G H. 2003b. Samarium-Neodymium isotope system of fluorites from the Qinglong antimony deposit, Guizhou Province: Constraints on the mineralizing age and ore-forming materials' sources[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 785~791 (in Chinese with English abstract).
- Peng J, Xia W J and Yi H S. 1999. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Gongxi barite deposit in Xinhuang County, Hunan Province[J]. *Journal of Chendu University of Technology*, 26(1): 92~96 (in Chinese with English abstract).
- Shan Y H and Yi J B. 1994. Extension structure and superlarge antimony mineralization in Xikuangshan[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 14(4): 355~358 (in Chinese with English abstract).
- Su W C, Yang K Y, Hu R Z and Chen F. 1998. Fluid inclusion chronological study of the Carlin-type gold deposits in Southwestern China: As exemplified by the Lannigou gold deposit, Guizhou Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(3): 359~362 (in Chinese with English abstract).
- Tu G C. 2002. Two unique mineralization areas in Southwest China[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 21(1): 1~3 (in Chinese).
- Tu G C. 1998. Low-temperature geochemistry[M]. Beijing: Science Press. 1~266 (in Chinese).
- Tu G C and Zhang B G. 1996. Low-temperature metallogenetic domain in southwestern China[A]. *Advances in geochemistry*[C]. Guiyang: Guizhou Press of Science and Technology. 1~4 (in Chinese).
- Wan J M. 1986. Geochemical studies of the Xi'tungsten deposit, Western Hunan[J]. *15(2): 183~192* (in Chinese with English abstract).
- Wang X Z, Liang H Y, Shan Q, Cheng J P and Xia P. 1999. Metallogenetic age of the Jinshan gold deposit and Caledonian gold mineralization in South China[J]. *Geological Review*, 15(1): 19~25 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z C and Chu X L. 1993. Sr isotopic ratios of early Cambrian barite and witherite[J]. *Chinese Science Bulletin*, 38(16): 1490~1492 (in Chinese).
- Wei W Z. 1993. Geological features of Maxiong Sb deposit[J]. *Mirraral Resources in Southwestern China*, (2): 8~16 (in Chinese with English abstract).
- Wu C D, Yang C Y and Chen Q Y. 1999. The hydrothermal sedimentary genesis of barite deposits in West Hunan and East Guizhou[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 36(6): 774~

785(in Chinese with English abstract).

Wu J D. 1989. Antimony deposits in China[A]. In : Chinese deposits [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 338~412(in Chinese).

Xia F, Ma D S, Pan J Y, Sun Z X, Cao S L, Nie W M and Wu K. 2004. Sr isotopic evidence for hotwater sedimentary origin of the Dahebian-Yubing barite deposits in Guizhou[J]. Chinese Science Bulletin, 49(24): 2592~2595(in Chinese).

Xiao Q M, Zeng D R, Jin F Q, Yang M Y and Yang Z F. 1992. Time-space distribution features and exploration guide of China's Sb deposits[J]. Geology and Prospecting, 28(12): 9~14(in Chinese with English abstract).

Yang J H, Jiang Y S, Ling H F, Chen Y Q and Feng H Z. 2005. Re-Os isotope dating of black shales[J]. Acta Geoscientia Sinica, 26(Supp.): 180~181(in Chinese).

Zhang F and Yang K Y. 1992. Fission-track ages of micro-disseminated gold deposits in Southwestern Guizhou[J]. Chinese Science Bulletin, 37(7): 1593~1595(in Chinese).

Zhang G L, Yao J Y and Gu X P. 1998. The type of Chinese antimony deposits and its temporal, spatial distribution regularities[J]. Mineral Resources and Geology, 12(5): 306~311(in Chinese with English abstract).

Zhang J R and Luo X L. 1989. Metallogenic epochs of endogenic gold deposits in South China[J]. Journal of Guilin College of Geology, 9(4): 369~379(in Chinese).

Zhang L G. 1985. The stable isotope geology on the W-Sb-Au deposits in Xuefengshan uplift, Western Hunan[J]. Geology and Prospecting, 21(11): 24~28(in Chinese with English abstract).

Zhu X Q, Wang G L, Lu H Z, Wu X Y and Chen W Y. 2006. Mineralization ages of gold deposits in southeastern Guizhou: With a discussion of the Caledonian Hunan-Guizhou gold ore belt[J]. Geology in China, 33(5): 1092~1099(in Chinese with English abstract).

Zhu X. 1999. The China Situation of Mineral Resources (vol. 3) [M]. Beijing : Science Press(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 漆亮, 肖加飞, 蒋国豪. 2002. 大河边-新晃超大型重晶石矿床地球化学特征及形成的地质背景[J]. 岩石学报, 18(2): 247~256.

俸月星, 陈民扬, 徐文忻. 1993. 独山锑矿稳定同位素地球化学研究[J]. 矿产与地质, 7(2): 119~126.

顾雪祥, Oskar Schulz, Franz Vavtar, 刘建明, 郑明华. 2003. 湖南沃溪矿床岩石组构学特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 22(2): 107~120.

胡清洁. 1997. 新晃贡溪超大型重晶石矿床的岩石学特征与沉积成

岩作用[J]. 湖南地质, 16(2): 106~111.

胡瑞忠, 苏文超, 毕献武, 李泽琴. 1995. 滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液一种可能的演化途径: 年代学证据[J]. 矿物学报, 15(2): 144~149.

花永丰, 刘幼平. 1996. 贵州万山超大型汞矿成矿模式[J]. 贵州地质, 13(2): 161~165.

贾蓉芬, 陈庆年, 周怀康, 夏勇, 吴学益. 1993. 贵州卡林型金矿中金富集阶段与有机质演化关系[J]. 地质找矿论丛, 8(4): 69~81.

金景福, 陶琰, 赖万昌, 曾令交, 楚志宽, 王高道. 1999. 湘中锡矿山式锑矿成矿规律及找矿方向[M]. 成都: 四川科学技术出版社. 72~73.

李朝阳. 1999. 中国低温热液矿床集中分布区的一些地质特点[J]. 地质前缘, 6(1): 163~170.

李胜荣, 肖启云, 申俊峰, 孙丽, 刘波, 阎柏琨. 2002. 湘黔下寒武统铊族元素来源与矿化年龄的 Re-Os 同位素制约[J]. 中国科学(D 辑), 32(7): 565~575.

黎盛斯. 1991. 湖南金矿地质概论[M]. 长沙: 中南工业大学出版社. 李泽琴, 陈尚迪, 王奖臻. 1995. 桂西金矿微细浸染型金矿同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石, 15(2): 66~72.

刘东升, 耿文辉. 1985. 我国卡林型金矿矿物特征及成矿条件探讨[J]. 地球化学, 14(3): 277~282.

刘建明, 叶杰, 何斌斌, 张瑞斌, 李永兵. 2002. 华南巨型锑矿带中的 Sedex 型锑矿床[J]. 矿床地质, 21(增刊): 169~172.

刘继顺. 1993. 关于雪峰山一带金成矿区的成矿时代[J]. 黄金, 14(7): 7~12.

罗孝桓. 1997. 黔西南右江区金矿床控矿构造样式及成矿作用分析[J]. 贵州地质, 14(4): 312~320.

罗献林, 易诗军, 梁金城. 1984. 论湘西沃溪金锑矿床的成因[J]. 地质与勘探, 20(3): 1~10.

罗献林. 1989. 论湖南前寒武系金矿床的形成时代[J]. 桂林冶金地质学院学报, 9(1): 25~34.

毛景文, 李红艳. 1997. 江南古陆某些金矿床成因讨论[J]. 地球化学, 26(5): 71~81.

毛景文, 张光第, 杜安道, 王义天, 曾明果. 2001. 遵义黄家湾镍钴铂族元素矿床地质, 地球化学和 Re-Os 同位素年龄测定——兼论华南寒武系底部黑色页岩多金属成矿作用[J]. 地质学报, 75(2): 234~244.

牛贺才, 马东升. 1991. 湘西南型金矿床流体包裹体的研究[J]. 矿物学报, 11(4): 386~394.

彭建堂, 戴塔根. 1998. 雪峰山地区金成矿时代问题的初步探讨[J]. 地质与勘探, 34(4): 37~41.

彭建堂, 戴塔根. 1999. 湘西南金矿床成矿流体地球化学研究[J]. 矿床地质, 18(1): 73~82.

彭建堂, 胡瑞忠. 2000. 雪峰古陆加里东期金的成矿作用[J]. 矿物岩

- 石地球化学通报, 19(4):246~247.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 林源贤, 赵军红. 2002. 锡矿山锑矿床热液方解石的 Sm-Nd 同位素定年[J]. 科学通报, 47(10):789~792.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 林源贤. 2003a. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年体系[J]. 科学通报, 48(18):1976~1981.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 2003b. 萤石 Sm-Nd 同位素体系对靖隆锑矿成矿时代和物源的制约[J]. 岩石学报, 19(4):785~791.
- 彭军, 夏文杰, 伊海生. 1999. 湖南新晃贡溪重晶石矿床地质地球化学特征及成因分析[J]. 成都理工学院学报, 26(1):92~96.
- 单业华, 易建斌. 1994. 伸展构造与锡矿山超大型矿床的成矿作用[J]. 桂林冶金地质学院学报, 14(4):355~358.
- 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠, 陈丰. 1998. 中国西部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究——以贵州烂泥沟大型卡林型金矿床为例[J]. 矿物学报, 18(3):359~362.
- 涂光炽, 张宝贵. 1996. 西南低温热液改造矿床成矿域[A]. 地球化学进展(30届国际地质大会文集[C]). 贵阳:贵州科技出版社. 1~4.
- 涂光炽. 1998. 低温地球化学[M]. 北京:科学出版社. 1~266.
- 涂光炽. 2002. 我国西南地区两个别具一格的成矿带(域)[J]. 矿物岩石地球化学通报, 21(1):1~3.
- 万嘉敏. 1986. 湘西西安白钨矿床的地球化学研究[J]. 地球化学, 15(2):183~192.
- 王秀璋, 梁华英, 单强, 程景平, 夏萍. 1999. 金山金矿成矿年龄测定及华南加里东成金期的讨论[J]. 地质论评, 15(1):19~25.
- 王忠诚, 储雪蕾. 1993. 早寒武世重晶石与毒重石的锶同位素比值[J]. 科学通报, 38(16):1490~1492.
- 韦文灼. 1993. 马雄锑矿床地质特征[J]. 西南矿产地质(2):8~16.
- 乌家达. 1989. 中国锑矿床[A]. 见:中国矿床[M]. 北京:地质出版社. 338~412.
- 吴朝东, 杨承运, 陈其英. 1999. 新晃贡溪-天柱大河边重晶石矿床热水沉积成因探讨[J]. 北京大学学报(自然科学版), 36(6):774~785.
- 夏菲, 马东升, 潘家永, 孙占学, 曹双林, 聂文明, 吴凯. 2004. 贵州天柱大河边和玉屏重晶石矿床热水沉积成因的锶同位素证据[J]. 科学通报, 49(24):2592~2595.
- 肖启明, 曾笃仁, 金富秋, 杨明跃, 阳志芳. 1992. 中国锑矿床时空分布规律及找矿方向[J]. 地质与勘探, 28(12):9~14.
- 杨競红, 蒋少涌, 凌洪飞, 陈永权, 冯洪真. 2005. 黑色页岩的 Re-Os 同位素定年[J]. 地球学报, 26(增刊):180~181.
- 张峰, 杨科佑. 1992. 黔西南微细浸染型金矿裂变痕迹成矿时代研究[J]. 科学通报, 37(7):1593~1595.
- 张国林, 姚金炎, 谷湘平. 1998. 中国锑矿床类型及时空分布规律[J]. 矿产与地质, 12(5):306~311.
- 张景荣, 罗献林. 1989. 论华南地区内生金矿床的形成时代[J]. 桂林冶金地质学院学报, 9(4):369~379.
- 张理刚. 1985. 湘西雪峰山隆起区钨锑金矿床稳定同位素地质学[J]. 地质与勘探, 21(11):24~28.
- 朱笑青, 王甘露, 卢焕章, 吴学益, 陈文益. 2006. 黔东南金矿形成时代的确定兼论湘黔加里东金矿带[J]. 中国地质, 33(5):1092~1099.
- 朱训. 1999. 中国矿情(第三卷 非金属矿产)[M]. 北京:科学出版社.

<http://www.kcdz.ac.cn/>