

文章编号: 1000-4734(2011)03-0309-06

西南大面积低温成矿域: 研究意义、历史及新进展

黄智龙 胡瑞忠 苏文超 温汉捷 刘燊 符亚洲

(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)

摘要:我国西南大面积低温成矿域是目前世界上公认的2个大面积低温成矿域之一,其面积之大(约100万 km^2)、包含的矿种之多(Au、Hg、Sb、As、P、Pb-Zn、Ag以及萤石、冰洲石、水晶、分散元素等)、矿床组成和组合之复杂全球罕见,是我国重要的Au、Hg、Sb、As、Pb-Zn、Ag以及多种分散元素生产基地。国内外学者对该成矿域进行了近30年的研究工作,取得了大量高水平研究成果,同时也存在许多有待深入研究的科学问题。本文回顾了我国西南大面积低温成矿域的研究历史,总结了各研究阶段的主要研究内容、主要研究成果和存在的主要科学问题,同时介绍了近年来我国西南大面积低温成矿域研究新进展。

关键词:大面积低温成矿域; 研究意义; 研究历史; 研究新进展; 中国

中图分类号: P611; P612; P618 文献标识码: A

作者简介:黄智龙,男,1967生,研究员,主要从事矿床地球化学研究。E-mail: huangzhilong@vip.gyig.ac.cn

1 西南大面积低温成矿域: 研究意义

低温成矿作用通常指约200~250 $^{\circ}\text{C}$ 及其以下温度区间内的成矿作用^[1-2],低温成矿域是与低温成矿作用相对应的一个概念,是指低温热液矿床密集成群产出的区域。虽然低温热液矿床在世界各地都有分布,但低温成矿域尤其是大面积低温成矿域在世界上的分布则十分局限。目前,世界上公认的大面积低温成矿域仅有2个^[3-4]:一个在美国中西部,成矿域内MVT型铅锌矿床、卡林型金矿和砂岩型铀矿等低温热液矿床不仅分布广,而且大都为大型-超大型矿床,是美国的主要矿产资源基地之一。另一个在中国西南地区(图1),包括川、滇、黔、桂、湘及部分渝、鄂,该成矿域面积之大、包含的矿种之多、矿床组成和组合之复杂,在全球十分鲜见^[4-5]。

我国西南大面积低温成矿域面积约100万 km^2 ,Au、Hg、Sb、As、P、Pb-Zn、Ag以及萤石、冰洲

石、水晶、分散元素等低温热液矿床广泛发育,且其中的不少矿床是大型-超大型矿床,是我国重要的Au、Hg、Sb、As、Pb-Zn、Ag以及多种分散元素生产基地,如中国约1/5的金矿储量来自滇-黔-桂低温卡林型金矿床^[6],约80%的汞矿储量和产量来自黔-湘汞矿带^[7],世界上约70%的锑矿年产量来自湘-黔锑矿带^[8],川滇黔接壤区的铅锌矿床是我国富铅锌矿石、银及多种分散元素(Ge、Ga、Cd等)的主要来源^[9-10]。该区地质背景特殊、成矿条件优越,其中多个成矿区带是我国确定的“十一五”期间重点找矿勘探的成矿区带,近年在该区不断取得Au、Sb、Pb-Zn等矿种的找矿突破,也显示本区具有良好的找矿前景。

因此,在什么条件下才能形成大面积低温成矿域,是一个很具特色的重要科学问题。以我国西南大面积低温成矿域为对象,开展低温成矿系统的成矿理论和找矿预测研究,不仅具有十分重要的科学意义,而且面对国家需求,对缓解我国矿产资源危机也有积极作用,同时也反映了国内外低温成矿作用研究的发展趋势。

收稿日期:2011-05-11

基金项目:国家“973”计划项目(2007CB411402);中国科学院重

要方向项目(KZCX2-YW-004-05)

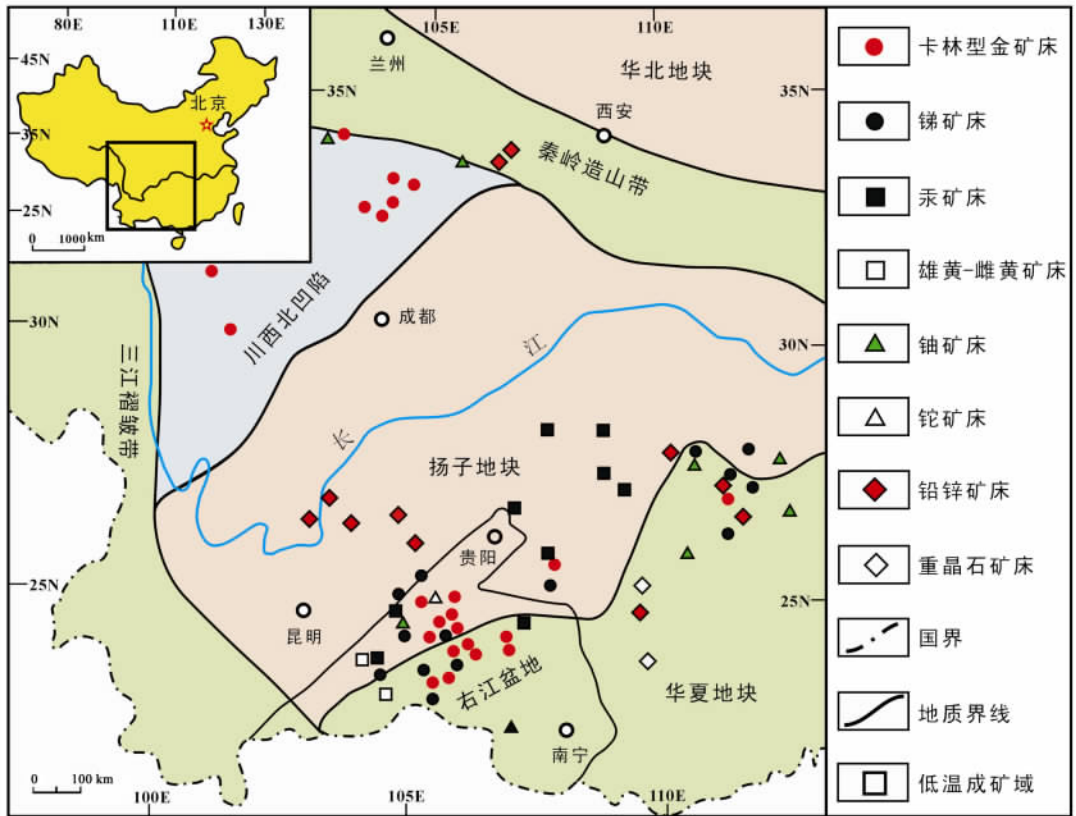


图1 西南大面积低温成矿域地质略图(据文献[11]略修改)

Fig. 1. Geological sketch map of the large-scale low-temperature metallogenic domain in southwestern China.

2 西南大面积低温成矿域: 研究历史

低温地球化学主要研究自然界 200 °C 以下元素被萃取、活化、迁移及富集的地球化学行为^[1-2]。国内外文献中较多地出现“低温地球化学”不过是近 30 年的事,这一领域的研究成果还较零星。在 20 世纪 90 年代,在涂光炽院士倡导和带领下,与国际上同步开展成岩成矿低温地球化学的系统研究,至今已取得许多达到国际水平的研究成果(文献众多,略)。至今,我国在成岩成矿低温地球化学方面的研究大致可分为 3 个阶段。

2.1 第一阶段:20 世纪 90 年代

在国家重点基金支持下,主要开展了 4 大方面的研究:① 低温条件下某些成矿元素活化、迁移和沉淀的实验研究;② 低温开放体系中水-岩相互作用;③ 低温条件下黑色岩系中 Au、Ag、PGE 迁移富集过程;④ 埋藏成岩过程中活性元素

的地球化学行为。

涂光炽^[2]对该阶段的研究成果进行了总结,主要表现在:① 通过实验研究,确定了某些成矿元素在低温条件下活化、迁移和沉淀的条件;② 首次用实验方法测量了辉铜矿、黄铜矿和斑铜矿的溶解反应速率常数及活化能,应用混沌动力学方法,建立了溶解反应的非线性动力学方程;③ 对全国 20 个省区的 85 个矿床和矿点进行了低温地球化学研究,初步确定了这些矿床的成矿机制;④ 形成了“成岩成矿低温地球化学”的理论框架。

这些研究在解决了一些科学问题的同时,关键还在于提出了一些更加重要的新问题,主要包括:① 我国西南地区发育有世界上最好的低温成矿域,其面积之大、包含的矿种之多、矿床组成和组合之复杂,全球罕见^[5]。为什么在我国西南地区会形成这一大面积低温成矿域? 深入探讨这一成矿域的形成背景和过程,既是瞄准国际前沿的重大科学问题,也是在该地区进一步找矿预测的重要基础。② 成岩成矿低温地球化学是一相对薄

弱的研究领域,要形成系统的理论体系,尚需对更多的典型低温成岩成矿实例进行系统解剖。

2.2 第二阶段:2000年至2004年

上述科学问题引起地学界的高度重视,在国家“973”项目(G1999043200)有关课题、中科院重大项目和若干国家自然科学基金面上项目的支持下,对成岩成矿低温地球化学进行了更为深入的研究。主要研究内容:①扬子地块西缘的基底和盖层结构及其与大面积低温成矿的关系;②扬子地块西缘大面积低温成矿的地质地球化学背景;③大面积低温成矿过程;④我国典型低温矿床的系统研究。胡瑞忠等^[12]对该阶段的研究成果进行了总结,主要表现在:

(1) 确立了我国西南地区存在大面积低温成矿域并初步查明了其主要控制因素。确立全球目前存在2个大面积低温成矿域,即美国中西部大面积低温成矿域和我国西南大面积低温成矿域;认为我国西南大面积低温成矿域的形成主要与该区发育元古宙基底、大面积分布显生宙巨厚的碳酸盐-细碎屑岩建造、花岗质岩浆活动微弱、黑色岩系广泛分布等因素有密切关系。

(2) 初步厘定了西南大面积低温成矿作用的年代。在西南大面积低温成矿域中,Au、As、Sb、Hg等低温矿床赋矿层位众多,空间上又往往与岩浆活动缺乏明显联系,且这些低温矿床的矿物组合相对简单,多缺乏合适的供常规同位素定年的矿物。初步的年代学研究表明,西南大面积低温成矿作用主要发生在3个时期:早古生代(约530~600 Ma)、加里东期(约380~425 Ma)和燕山期(约80~155 Ma),其中燕山期是主成矿期。

(3) 揭示了大规模的流体流动与大面积低温成矿的关系。以右江盆地为例,在燕山主成矿期,盆地流体的大规模流动引起了研究区大面积的低温成矿。在盆地与台地间,成矿流体主要由盆地向台地发生大规模迁移,在盆地内部则主要由台间盆地向相邻的孤立台地或其四周发生大规模迁移。因此,盆地周缘及盆地内部孤立台地附近的古岩溶面、不整合面和各类断裂构造,是流体聚集和成矿的有利构造部位,因而也是找矿的有利部位。

(4) 初步查明了西南大面积低温成矿域的形成

过程。以燕山主成矿期为例,大面积低温成矿的成矿流体为大规模运移的盆地流体;低温矿床中的成矿物质主要来自于富含成矿元素的元古宙基底和部分显生宙沉积地层;大面积低温成矿作用主要发生在80~155 Ma之间,与区内燕山期在岩石圈伸展背景下由地幔上涌而形成的幔源碱性脉岩的时代相当;燕山期地幔上涌导致的热异常和岩石圈伸展引起的驱动力,对驱动盆地流体大规模运移而形成大面积低温成矿域,起着重要控制作用。

虽然前人对我国西南大面积低温成矿域的研究已取得重要进展,但仍存在许多重要科学问题亟待解决,主要包括:①大面积低温成矿的精确年代学。由于低温矿床中通常缺少适于常规同位素定年的矿物,该低温成矿域的大多数矿床都缺少精确的成矿年龄资料,妨碍了对成矿作用时空分布规律的全面认识。②控制大面积低温成矿的动力学过程。已有少量研究表明,我国西南区晚中生代大面积低温成矿发生在大陆板内的伸展背景,主要表现为研究区一些同时期地堑式断陷盆地和幔源碱性脉岩的发育等。但是,启动岩石圈伸展的深部动力学过程是什么?岩石圈伸展又是如何控制大面积低温成矿的?这些重要问题在以往的研究中基本上还未曾涉足。③大面积低温成矿的深度。大面积低温成矿只发生在我国西南地区和美国中西部地区。但美国的矿床勘探深度远大于我国,如低温成矿中的特征矿床卡林型金矿,美国的勘探深度已达3000米,但我国多在500米以内。我国低温成矿域更深部位的成矿规律和潜力如何?需要深入研究。④大面积低温成矿的必然性。对多矿种的低温热液矿床为什么只大面积地出现在美国中西部和我国西南地区,美国中西部和我国西南地区的成矿条件有何异同等方面的对比研究,以往涉足很少,从而严重制约了人们对发生大面积低温成矿之必然性这一重要科学问题的深入认识。

2.3 第三阶段:2005年至今

针对西南大面积低温成矿域研究中存在的上述科学问题,在国家新一轮“973”项目(2007CB411400)有关课题、国家科技支撑项目(2006BAB01A00)有关课题、中科院重要方向项

目(KZCX2-YW-Q04-05)、矿床地球化学国家重点实验室自主课题和若干国家自然科学基金面上项目的支持下,以西南大面积低温成矿域右江盆地 Au-Sb-As-Hg 矿集区、湘中 Sb-Au 矿集区、川滇黔接壤 Pb-Zn-Ag 矿集区等为主要研究地区,主要研究内容:①成矿时代、成矿地质事件和成矿动力学,②低温成矿作用过程和各低温矿种的成矿关系,③低温矿床的深部结构与成矿的耦合关系,④低温成矿的必然性、成矿规律和成矿预测。

3 西南大面积低温成矿域:研究新进展

目前,大部分有关西南大面积低温成矿域的研究课题还未结题,许多研究资料尚未发表,无法总结该阶段的主要研究成果。从研究进展看,国内外学者在西南大面积低温成矿域年代学及动力学背景、矿床分布规律及主要控制因素、成矿规律、成矿必然性及成矿预测等方面都取得大量新的认识。以下介绍部分西南大面积低温成矿域研究新进展。

3.1 西南大面积低温成矿域年代学格架

前人对扬子地块西南缘产出的磷矿、金矿、铅锌矿、锑矿等低温矿床的成矿时代进行了研究,初步拟定出该区存在 3 期大规模低温成矿作用^[4],分别相当于晚元古代-早古生代、晚加里东期和燕山期。近期研究工作除获得研究区晚加里东期和燕山期成矿时代外,还获得川滇黔相邻 Pb-Zn-Ag 矿集区两组成矿时代,分别为 180 Ma 左右和 250 Ma 左右,为印支期成矿,以此重新构建了我国西南大面积低温成矿系统的年代学格架(图 2):①晚元古代-早古生代,同位素年龄主要为 540~585 Ma,矿种主要为磷矿、重晶石矿和黑色页岩中的镍钼铂矿;②晚加里东期,同位素年龄主要为 380~435 Ma,矿种主要为赋存于前寒武纪浅变质碎屑岩中的 Au-Sb-W 矿床;③印支期,同位素年龄主要为 225~250 Ma,矿种主要广泛分布于川滇黔相邻区,以碳酸盐岩为容矿岩石的铅锌银多金属矿床;④燕山中晚期,同位素年龄主要为 80~160 Ma,大面积低温成矿系统主成矿期,矿种主要为产于寒武纪以后地层中的 Sb 矿床、卡林型 Au 矿床和 Hg 矿床。

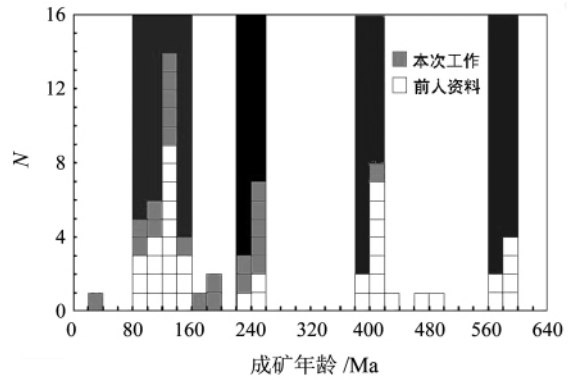


图2 我国西南大面积低温成矿域年代学格架 (前人工作据文献[4]整理,本次工作原始数据大部分未发表)

Fig. 2. Age framework of the large-scale low-temperature metallogenic domain in SW China.

3.2 黔西南卡林型金矿成矿过程与成矿预测

(1) 查明了典型卡林型金矿床中 Au 的分布规律^[13]。采用电子探针分析技术,发现赋存在含砷黄铁矿含砷环带内的 Au 与 As 呈契形相关,而不是前人认为的线性关系。同时在含金黄铁矿中发现众多自然金颗粒,这为国内外卡林型金矿所罕见。这些 Au 分布规律的新发现,为优化矿石选冶流程、约束金矿的成矿条件提供了重要信息。

(2) 揭示了典型卡林型金矿床成矿过程^[14]。利用 LA-ICP-MS 等现代分析技术,在国际上首先获得卡林型金矿单个流体包裹体中成矿元素 (Au、As、Sb) 含量及其演化过程的重要数据。发现该类型金矿成矿流体以富含 CO₂、Au、As、Sb 等成矿元素而不含 Fe 为主要特征,直接证实了国际上一直认为该类金矿成矿流体不含 Fe 的间接推论。同时发现成矿流体、含金硫化物以及矿石中的 Au、As、Sb 与 Sr 含量具有协同变化规律。结合其他地质、地球化学资料,精细刻划了卡林型金矿成矿过程:①赋矿围岩中含 Fe 碳酸盐矿物的溶解(去碳酸盐化)为含金硫化物的形成提供了 Fe 的来源;②溶解 Fe 的硫化物化过程形成含 Au 硫化物(含砷黄铁矿和毒砂);③碳酸盐脉的形成。

(3) 获得典型卡林型金矿床精确可靠的成矿时代^[15]。利用与金矿化密切相关、中稀土富集型热液碳酸盐脉,首次获得水银洞金矿床的 Sm-Nd 等时线年龄(成矿年龄)为 134±3 Ma~136±3

Ma 较精确地限定了大面积低温成矿域内卡林型金矿的成矿时代,为构筑低温成矿域形成的动力学背景提供了重要依据。

(4) 提出了黔西南地区典型卡林型金矿床新的找矿思路。以卡林型金矿成矿理论分析为基础,结合野外地质观察,认为含 Fe 碳酸盐岩是形成高品位、大型卡林型金矿床最重要的控制因素之一;明确提出与去碳酸盐化有关、具有中稀土富集型的地表热液碳酸盐脉是寻找深部隐伏卡林型金矿体的重要指示标志之一。该找矿思路应用到黔西南卡型金矿区水银洞金矿深部和外围找矿实践,取得显著效果,架起了成矿理论与找矿实践的桥梁。

3.3 川滇黔接壤 Pb-Zn-Ag 矿集区内黔西北 Pb-Zn 成矿区成矿规律与成矿预测

(1) 初步查明了黔西北 Pb-Zn 成矿区主要控矿因素^[16]。认为铅锌矿床产出受地层(志留系~二叠系)、岩性(碳酸盐岩)、构造(NW 向逆冲断层为主+NE 向断层+层间破碎带、层间滑动面)、岩浆岩(峨眉山玄武岩、辉绿岩)、岩相(封闭-半封闭还原泻湖环境、水下脊状隆起内侧)“五位一体”控制,其中岩性和构造是最重要的控矿因素;同时认为断陷盆地边缘控制矿带展布,紧密褶皱及其核部发育的纵断层控制成矿亚带展布,主干断层与次级断层交汇部位、背斜倾伏端控制矿床和矿体的产出,区域大断裂+次级断层+层间挤压破碎带是良好的构造控矿配套系统和导、聚、储矿系统。

(2) 揭示了黔西北 Pb-Zn 成矿区成矿机理^[16-48]。通过矿床地球化学研究,查明成矿物质主要来源于基底地层,成矿流体中的硫主要由地层中的膏盐层提供,成矿流体为壳-幔混合流体;结合区域地质构造演化、矿床分布规律、矿床地质特征及主要控矿因素,初步建立了矿床成因模式,认为大规模流体运移在铅锌成矿过程中具有重要作用,同时指出峨眉地幔柱活动是引发大规模流体运移的重要因素。

(3) 首次提供了黔西北 Pb-Zn 成矿区成矿机

理及成矿预测的 Zn 同位素证据^[19]。①黔西北铅锌成矿区不同矿床 Zn 同位素组成相近,表明其成矿物质和成矿流体来源相似,并具有多源性特征,该区矿床 Zn 同位素组成与 SEDEX、VHMS、MVT 和岩浆热液铅锌矿床存在较明显差别,暗示其成矿机制与这些矿床不同。②同一标本不同颜色(从棕红色→棕黄色→浅黄色)闪锌矿的成矿温度逐渐降低,Pb 同位素组成变化不明显,S 同位素组成逐渐降低,Zn 同位素组成逐渐升高,表明温度是控制 Zn 同位素分馏的重要因素之一。③提出可以采用 Zn 同位素组成示踪成矿流体的运移方向,通过该区杉树林、天桥、板板桥矿床地质特征及 Zn、S、Pb 同位素组成对比分析,认为黔西北铅锌成矿区成矿流体运移方向为杉树林→天桥→板板桥铅锌矿床,即成矿流体从南东向北西运移,这一认识为该区成矿预测提供了重要信息。

4 结 语

西南大面积低温成矿域在我国乃至全球很有特色,其面积之大、包含的矿种之多、矿床组成和组合之复杂、成矿条件之优越,全球罕见。虽然国内外学者对该成矿域进行了近 30 年的研究工作,取得了大量高水平研究成果,但也存在许多悬而未决的科学问题,如大面积低温成矿的动力学背景、矿床共生分异机制、区域成矿过程与成矿规律、成矿深度与找矿潜力、成矿必然性等。以我国西南大面积低温成矿域为对象,开展低温成矿系统的成矿理论和找矿预测研究,不仅具有十分重要的科学意义,而且面对国家需求,对缓解我国矿产资源危机也有积极作用,同时也反映了国内外低温成矿作用研究的发展趋势。相信通过国内外学者对我国西南大面积低温成矿域的深入研究,会取得更多高水平研究成果,使之享誉世界。

致谢:文中引用了许多国内外学者的研究成果,由于篇幅所限,未一一列出,在此表示感谢,同时向长期从事我国西南大面积低温成矿域成矿理论和成矿预测研究的科技工作者致敬!

参 考 文 献:

- [1] Tu G-Z. *Low-Temperature Geochemistry* [M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [2] 涂光炽. 低温地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 李朝阳. 中国低温热液矿床集中分布区的一些地质特点[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 163-170.
- [4] 胡瑞忠, 彭建堂, 马东升, 苏文超, 施春华, 毕献武, 涂光炽. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. 矿床地质, 2007, 26(6): 583-596.
- [5] 涂光炽. 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, 2002, 21(1): 1-2.
- [6] 王砚耕, 索书田, 张明发, 等. 黔西南构造与卡林型金矿[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [7] 花永丰, 崔敏中. 贵州万山汞矿[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [8] 彭建堂. 锑的大规模成矿与超常富集机制[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2000.
- [9] 柳贺昌, 林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1999.
- [10] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 云南海泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [11] Hu R Z, Su W C, Bi X W, Tu G C, Hofstra A. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China [J]. *Mineralium Deposita*, 2002, 37: 378-392.
- [12] 胡瑞忠, 马东生, 彭建堂, 等. 扬子地块西南缘大面积低温成矿作用[A]. 毛景文, 胡瑞忠, 陈毓川, 等. 大规模成矿作用与大型矿集区[C]. 北京: 地质出版社, 2006: 597-683.
- [13] Su W C, Xia B, Zhang H T, Zhang X C, Hu R Z. Visible gold in arsenian pyrite at the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: Implications for the environment and processes of ore formation [J]. *Ore Geology Reviews*, 2008, 33: 667-679.
- [14] Su W C, Zhang H T, Hu R Z, Ge X, Xia B. Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: Implications for gold depositional processes [J]. *Mineralium Deposita*, 2011, (in press).
- [15] Su W C, Hu R Z, Xia B, Xia Y, Liu Y P. Calcite Sm-Nd age of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China [J]. *Chemical Geology*, 2009, 258: 269-274.
- [16] 金中国. 黔西北地区铅锌矿控矿因素、成矿规律与找矿预测[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [17] 李晓彪. 黔西北天桥铅锌矿床地球化学研究[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2010.
- [18] 张伦尉. 黔西北箐箕湾铅锌矿床地质地球化学研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
- [19] 周家喜. 黔西北铅锌成矿区分散元素及锌同位素地球化学[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2011.

A Study on the Large-Scale Low-Temperature Metallogenic Domain in Southwestern China—Significance, History and New Progress

HUANG Zhi-long, HU Rui-zhong, SU Wen-chao, WEN Han-jie, LIU Shen, FU Ya-zhou

(State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: The large-scale low-temperature metallogenic domain in southwestern china is one of the two large-scale low-temperature metallogenic domains in the world. As a unique region, this domain is characterized by its large area (about one million square kilometers), many kinds of mineralization (Au, Hg, Sb, As, P, Pb-Zn, U, Ag, fluorite, calcspar, quartz, and dispersed elements), and complicated compositions and associations of ore deposits. It is also an important production base on Au, Hg, Sb, As, P, Pb-Zn, U, Ag and dispersed elements in China. Many scholars have carried out the research works in this area and acquired a great deal of research results in recent 30 years, however, it also exists some unsolved scientific puzzles. This paper not only synthetically analyzes the research history, the research content in different stages, the research achievements and the scientific problems, but also describes the new progresses on the large-scale low-temperature metallogenic domain in southwestern china in recent years.

Key words: the large-scale low-temperature metallogenic domain; research significance; research history; new