

中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨

毛景文^{1, 2)}, 李晓峰²⁾, 李厚民^{1, 2, 3)}, 曲晓明²⁾, 张长青¹⁾, 薛春纪³⁾,
王志良²⁾, 余金杰²⁾, 张作衡²⁾, 丰成友²⁾, 王瑞廷¹⁾

1) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037
3) 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安, 710054

内容提要: 中国是造山带最为发育的国家之一, 尤其是在西部地区分布广泛。本文从成矿地球动力学演化角度对中国造山带中矿床类型、特点和成矿过程进行了初步的综合研究, 将造山带矿床分为碰撞造山型和俯冲造山型两种。前者进一步可分为同碰撞造山过程成矿和后碰撞造山成矿。以青藏高原为例, 又将同碰撞造山过程成矿分为碰撞造山期成矿、松弛期(伸展)成矿、走滑拉分盆地成矿和剪切带扩容成矿。以西秦岭和东天山为例, 剖析了后碰撞成矿特点、过程和成矿规律。在扬子克拉通西南缘发育有中国颇具特色的低温成矿域, 包括广泛分布的卡林型金矿、密西西比型铅锌矿和玄武岩型铜矿, 本文研究提出这些矿床形成于中生代大陆边缘造山带弧后伸展盆地。

关键词: 造山带矿床; 低温成矿域; 同碰撞; 后碰撞; 造山带弧后盆地; 青藏高原; 西秦岭; 东天山

从成矿动力学角度考虑, 中国大陆中生代成矿主要特点表现为东部伸展和西部造山。最近几年通过对诸多大型—超大型以及典型矿床进行放射性同位素年龄精确测定, 促使对中国东部大规模成矿的峰期(pulses)和相应的以伸展为主旋律的地球动力学背景有了一个初步的了解(毛景文等, 2003a, d; 2004a; 2004b)。本文就中国造山带中内生金属矿床类型、特点和成矿过程提出初步的思考。

1 造山带矿床分类

在20世纪60年代以前, 矿床学研究主要是对矿床本身的描述和探讨与其有关的岩石和控矿构造, 同时按照成矿元素组合、与之有关的岩石类型和形成温度进行矿床分类。自20世纪60年代以后, 越来越注意到矿产组合的区域分布规律与构造演化的关系。例如, 在地槽开裂早期有基性—超基性岩浆活动, 并伴随着铬铁矿矿床和含黄铁矿型铜矿床的形成; 而在地槽褶皱回返的晚期有大量花岗岩的活动, 伴随有与花岗岩有关的稀有金属和钨锡矿床(Smirnov, 1977)。板块构造理论的诞生和广泛应用, 对矿床学研究产生了极大的影响, 在全球

诸多成矿带地质学者在积极地探索不同组合矿产形成的构造背景。20世纪80年代初, 两部专著《矿床与全球构造环境》(Mitchell et al, 1981)和《矿床与板块构造》(Sawkins, 1984)先后问世, 基于Wilson (1968) 板块构造演化旋回, 全面总结了不同构造环境(包括大陆热点、裂谷和坳拉槽、被动大陆边缘和内部盆地、海洋环境、俯冲环境、碰撞造山环境、转换断层和大陆地壳线形断裂)中的矿产产出特征和分布规律。尽管只是一个初步的轮廓, 但是奠定了现代地球动力学演化与成矿的基础。

20世纪80年代, 对于同生矿床研究达到空前的高潮, 深刻认识了全球在地质历史中同生矿床的形成环境和过程, 以及现代成矿与古代的类比, 比较准确和快速地厘定了大多数同生矿床的形成环境。与此同时, 环太平洋成矿带——全球最大的跨洲际巨型成矿带吸引着地质学家思考在这种会聚大陆边缘中如此多的斑岩铜矿、浅成低温热液型铜金矿和其它与花岗岩活动有关的矿床是如何形成的? 其成矿环境和控矿主导因素是什么? Sillitoe (1972) 首先提出斑岩铜矿形成于板块俯冲边缘, Mitchell 等(1981) 提出大洋板块俯冲的角度对于斑岩铜矿的

注: 本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号G1999043211和G1999043216), 地质调查项目(编号K1.4)和国家自然科学基金项目(编号40434011)资助的成果。

收稿日期: 2004-06-10; 改回日期: 2004-11-16; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 毛景文, 男, 1956年生, 1982年和1988年于中国地质科学院获硕士和博士学位, 现为中国地质科学院矿产资源研究所研究员和中国地质大学(北京)教授, 主要从事金属矿床和地球化学研究。通讯地址: 100037, 北京阜外百万庄路26号; Email: jingwenmao@263.net。

形成及其物质组分有着明显的制约。过去10年,通过对安第斯大陆边缘和西南太平洋岛弧的岩石学研究和地球物理探测,发现在会聚活动大陆边缘下插洋壳板块的变化制约着岩浆活动和成矿作用的发生。俯冲板块由正常倾斜变成缓倾斜或平坦再到正常倾斜时,在平坦处发生脱水,而在由平坦向正常转折时,软流圈物质上涌。这些上涌物质与含水岩石圈反应,生成大面积壳幔同熔型岩浆,然后上侵形成火山-岩浆弧(James et al, 1999)。这些岩浆活动区暨大型矿集区在航磁调查中可以清楚地反映出其异常(Behn et al, 2001),这种异常正是寻找潜在大型矿集区的重要标志。当俯冲板块下插时一旦撕裂(tear up)、开天窗(open window)或后卷(rollback),软流圈物质直接进入下地壳,产生花岗质岩浆,上侵到近浅表形成岩浆房及其有关的斑岩铜矿和斑岩—浅成低温热液型铜金矿床,甚至在剪切带中出现中温石英脉型金矿床(Kerrick et al, 2000; Sillitoe et al, 2003)。

在大陆板块碰撞造山期间由于岩石圈在缩短,一般很少伴随有矿化作用(Guild, 1972)。在Mitchell等(1981)和Sawkins(1984)的专著总结中虽然把碰撞造山有关的矿床作为一章描述,但是,所列举的事例大多数为与后碰撞花岗岩有关的钨锡矿床和一些前陆盆地的同生U-V矿床和砂岩铀矿。即使在Seltmann等(1994)主编的《碰撞造山带中的成矿作用》专著中,所有论文讨论的钨锡和稀有矿床都是后碰撞花岗岩有关成矿作用之结果。Koons等(1991)提出新西兰阿尔卑斯南部一组石英脉型金矿床形成于碰撞隆升过程,为变质流体卸载之产物。在此基础上,Groves等(1998)和Goldfarb等(1998)系统提出了造山型金矿概念,强调造山过程、剪切带控矿和变质流体三个成矿要素。Goldfarb等(2001)进一步全面总结全球造山型金矿在地球历史中的产出和分布规律,即每一次造山运动必然是造山型金矿形成的高峰期。由于造山型金矿定义比较宽(或较泛),大多数金矿的年龄明显晚于造山过程,因而越来越多学者呼吁放弃使用这个概念。陈衍景(1996)运用Jamieson(1991)的碰撞造山 $p-T-t$ 轨迹提出成矿作用出现在由挤压向伸展转变时期。Marignac等(1999)通过对法国中央高原区域金属矿床研究指出,正如“阿尔卑斯和喜马拉雅的研究结果,最重要的成矿作用不发生在碰撞过程,而是碰撞后的伸展过程”。事实上,在古造山带中绝大多数矿床并不出现于造山期而是后碰撞的伸

展期,例如,中亚南天山世界级巨型金矿成矿带(Yakubchuk, 2001; 毛景文等, 2002c);中国的天山和阿尔泰地区的成矿作用也是如此,某些类型矿床的大规模成矿作用出现在290~270Ma,晚于碰撞峰期23~20Ma(李华芹等, 1998; 秦克章; Mao et al, 2003e)。

在造山带中一般有比较多的矿产组合或矿床成矿系列,这些矿床成矿系列都是在一定地质背景下的产物。例如,在新疆阿尔泰造山带中有以阿舍勒铜矿、可可塔勒铅锌矿和蒙库铁铜矿为代表的海西早期裂隙过程形成的与海底喷流作用有关的矿床成矿系列和造山过程及其晚期、甚至期后形成的金矿、稀有金属和铜镍硫化物成矿系列(王登红等, 2002a)。又例如,在北祁连山西段岩石圈多次伸展与造山交替出现,产生了一系列不同时代和不同类型的矿床成矿系列(毛景文等, 2003c)。本次研究主要针对碰撞造山过程及后碰撞有关的成矿作用,并在这一框架内,在全球研究进展的平台上,对于中国造山带成矿作用进行认真思考。根据目前的研究进展,尤其是经过“大陆成矿体系”和“大规模成矿作用与大型矿集区预测”项目执行过程中多次研究讨论,按照矿床成矿环境,中国造山带矿床主要通过碰撞造山和俯冲造山过程的成矿作用形成,而碰撞造山过程的成矿作用又分为同碰撞造山过程成矿作用和后碰撞成矿作用;大陆俯冲造山成矿作用在中国比较少见,扬子地块西缘及邻区可能为中生代大陆边缘造山带弧后伸展成矿作用形成的一个有特色的低温成矿域。由于造山带成矿作用在中国地质时空分布上比较广泛,以下举例讨论同碰撞造山过程成矿作用、后碰撞过程成矿作用和大陆边缘造山带弧后伸展成矿作用。

2 同碰撞造山过程成矿作用

在中国有诸多古造山带,包括昆仑—秦岭—大别中央造山带、天山—兴蒙造山带、祁连山造山带、阿尔泰造山带和华南加里东造山带等。但是,在这些造山带中同碰撞期间形成的矿床一般很少见到,至少保存的较少,大规模成矿作用主要发生在后碰撞过程。迄今为止,只有青藏高原南部和东部边缘出露大量矿床和矿化,而且还可以看到现代成矿作用正在进行之中(王登红, 2004a)。青藏高原自从55~60Ma以来由于印度与欧亚大陆的碰撞隆升,矿产资源以多幕次和多种形式产出。根据矿化形成环境,又可以分为碰撞造山期成矿、松弛期(伸展)

成矿、走滑拉分盆地成矿和剪切带扩容成矿。

2.1 碰撞造山期成矿

目前研究认为印度板块与欧亚板块在东部首先碰撞对接,接着于55~45Ma期间沿雅鲁藏布江缝合带大规模大陆碰撞(Beck et al., 1995; Le Fort, 1996)。芮宗瑶等(2003)根据前人在地球动力学、古气候和生物演化以及斑岩铜矿出现时限方面的研究,总结提出青藏高原含矿斑岩和斑岩铜矿主要形成于大陆碰撞隆升期。Miller等(1987)和潘保田等(1998)通过对有孔虫氧同位素变化研究,厘定40~35Ma, 18~13Ma和3.4~1.7Ma是三个重要的碰撞造山阶段。最近两年对含矿斑岩的SHRMP锆石U-Pb测年和矿石中辉钼矿的Re-Os同位素测年,结果表明斑岩铜矿主要形成于两个时代,即早古近纪青藏高原东缘斑岩铜矿带和晚古近纪冈底斯斑岩铜矿带。在东缘成矿带,斑岩的SHRMP锆石U-Pb年龄为40~35Ma(梁华英, 2002),辉钼矿Re-Os年龄为34~36Ma(杜安道等, 1994; 王登红等, 2004b)。在冈底斯,含矿斑岩的侵位时间发生在18~12Ma之间(曲晓明等, 2001; 芮宗瑶等, 2003; 林武等, 2004),斑岩铜矿和铜多金属成矿作用则集中发生在14Ma前后(曲晓明等, 2001; 侯增谦等, 2003a, b; 孟祥金等, 2003)。由此可以认为这两期斑岩铜矿成矿作用是强烈造山期的产物。

2.1.1 青藏高原东缘斑岩铜矿带

在20世纪70~80年代,在青藏高原东缘发现和探明玉龙超大型斑岩铜矿以及马拉松多、多霞松多、莽总、扎拉尕斑岩铜矿(芮宗瑶等, 1984; 唐仁鲤等, 1995),随后又在其东缘地区发现了马厂箐斑岩铜矿、北衙斑岩铜金矿、铜厂斑岩铜矿,形成了一个长达1000km的斑岩铜矿带,其成矿时代非常窄,在34~36Ma之间(图1)。在这一矿带的东部还发育有甬哥、小龙潭、西范坪和姚安几个小型斑岩铜矿,其成矿时代也在34~36Ma之间(曾普胜, 2004, 私人通讯)。因此,东缘绝大部分斑岩铜矿为同一时代的产物。

在世界上,与斑岩铜矿有关的花岗斑岩大多数属于钙碱性岩石,但青藏高原东缘斑岩铜矿带的最大特点是含矿斑岩体为一套富碱斑岩(涂光炽等, 1989)。这些岩体出露面积较小,多数在1km²左右。主要岩性为二长花岗斑岩、二长斑岩、石英正长斑岩、正长斑岩和花岗闪长斑岩,前两类岩石往往与成矿关系更为密切。罗君烈等(2001)进一步将其划分为三个类型,即:一是以酸性为主,正常钙

碱性岩系的花岗斑岩组合,包括斑状花岗岩-花岗斑岩-二长花岗岩;二是以中酸性岩为主,正长钙碱岩系的二长斑岩组合,包括花岗闪长斑岩-二长斑岩-石英二长斑岩-石英正长斑岩;三是更富碱的碱钙岩系组合,包括辉石正长岩-正长斑岩-石英正长斑岩-粗面岩。岩石化学组成以富碱质组分为特征,K₂O+Na₂O约8%~11%,而且K₂O/Na₂O比值远远大于1(张玉泉等, 1998; 罗君烈等, 2001)。稀土元素以强烈富LREE、高La/Yb比值和不出钽异常为特征。微量元素相对富集大离子亲石元素(Rb, Sr, Ba, K)和一组相容元素(Cr, Ni, V, Sc等),亏损高场强元素(Nb, Ta和Ti),具有既富有幔源岩石的一组相容元素,同时也富集了壳源大离子亲石元素(王建等, 2003; 邓万明等, 1998a, 1998b);与壳源花岗质岩石不同,Th/U比值大于1,一般在1.5至4.0之间。富碱斑岩的I_{Sr}值为0.7073和 $\epsilon_{Nd}(t)$ 为-3.4~-6.3,表现出深部来源、壳幔混合以及亏损地幔的贡献(邓万明等, 1998b)。值得指出的是在富碱斑岩中,广泛发育暗色包体,不仅有深变质岩包体,也有以超基性岩为代表的原始地幔包体(蔡兴平, 1992; 张玉泉等, 1998)。刘显凡等(1999)还在深源包体中发现了富钠微晶玻璃,研究认为这些玻璃是包体成岩后地幔去气产生的交代流体,为地幔交代作用的直接表现。

虽然富碱斑岩具有明显的物质及其来源的特殊性,但是与之有关的斑岩铜矿与其他类型斑岩铜矿基本相同,以在斑岩体隆起部位的细脉浸染状矿化为特征,有些岩体的接触带具有共生的夕卡岩矿体。在一些矿区也可以见到经典斑岩铜矿所特有的围岩蚀变分带,即从中心向外有钾长石化带、黑云母化带、绢云母化带和青磐岩化带。

对于这一套斑岩铜矿化和有关富碱斑岩的成矿来源,不少学者都进行过探讨。其岩石学、岩石化学和同位素特点比较一致地反映出壳幔同熔的特点,可能是板块碰撞之前,洋壳在消减过程中下插到大陆板块深部,同时将大洋沉积物、大陆物质以及海水带入地幔,对地幔进行交代和混染,甚至物质再循环(王建等, 2003)。在35~40Ma期间,印度板块与欧亚板块进一步快速会聚造山,沿红河-哀牢山不仅发生迅速抬升,而且出现大规模走滑,同时发育了一系列走滑拉分盆地,在盆地下部地幔受减压分熔,形成具有壳幔特征的富碱斑岩岩浆,并沿断裂上侵定位,经过分异演化,形成一系列斑岩铜矿矿集区。

2.1.2 冈底斯斑岩铜矿带

冈底斯斑岩铜矿带位于雅鲁藏布江缝合带北侧、拉萨地体南缘的冈底斯岩浆弧中(图 2)。冈底斯是欧亚大陆边缘岩浆弧, 长达 2000 多千米, 宽达

100 多千米, 岩浆喷发和侵位时限为 120~ 20Ma, 侵位高峰期为 55~ 45Ma 和 30~ 24Ma (Schaes et al, 1984; Yin et al, 2000; Harrison et al, 2000)。地体东南缘分布的上三叠统火山-沉积序列被认为是地体与印度板块裂离和雅鲁藏布江洋盆开启的产物 (Pierce et al, 1988; Gaetani et al, 1991)。王希斌等 (1987) 根据雅鲁藏布江蛇绿岩中斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄 (139Ma) 确定蛇绿岩的形成时代为早白垩世。自中晚白垩世开始雅鲁藏布江洋壳板片向北俯冲, 导致了冈底斯岩浆弧的发育和日喀则弧前盆地的形成 (Harrison et al, 1992; Durr, 1996; 赵文津等, 2004)。

冈底斯铜多金属矿带可以分为南部斑岩铜矿亚带和北部热液脉型铜多金属亚带(图 2)。在南亚带已经发现南木布达、冲江、厅宫、驱龙、夏马日、拉抗俄、南木等斑岩铜矿床或矿化点; 在北亚带有那露果、新嘎果、帮浦、洞中松多等热液脉型多金属矿化点。两个带中的含矿岩体基本相似或相同, 造成矿化类型差异的主要因素是围岩性质。前者赋矿围岩主要为燕山晚期—喜马拉雅早期的花岗闪长岩基, 后者的赋矿岩石主要为一套侏罗系—白垩系火山-沉积岩、浅海—滨海相碎屑岩及碳酸盐岩 (孟祥金等, 2003)。冈底斯铜矿带的含矿斑岩体剥蚀普遍很浅, 出露范围小。尤其在驱龙、拉抗俄、南木几个新发现的矿区, 含矿斑岩体在沟谷中刚被剥露出来, 预示着深部良好的找矿前景。含矿斑岩岩石化学成分以富钾

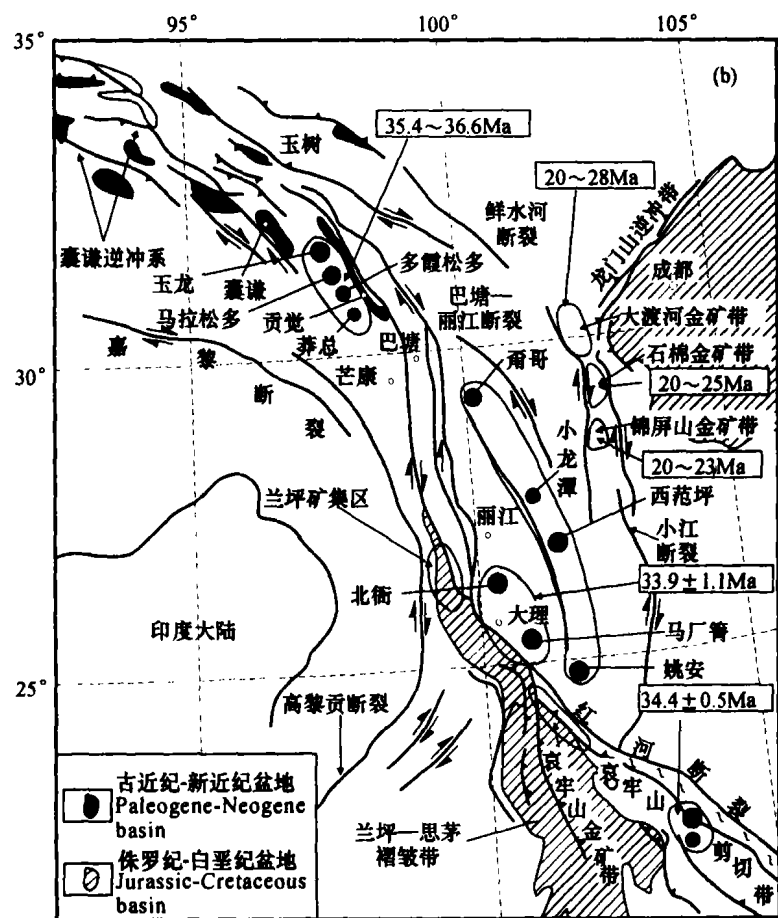
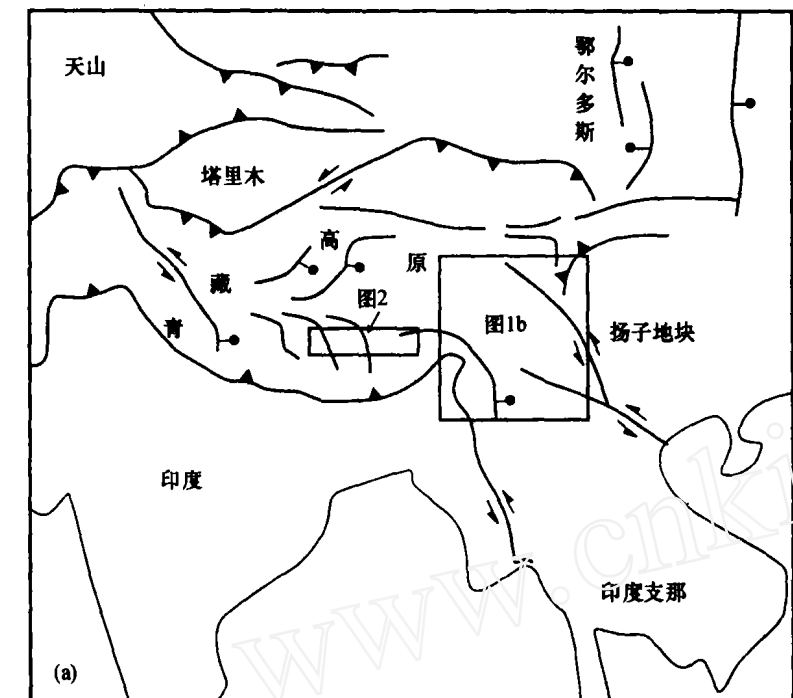


图 1 青藏高原东缘斑岩铜矿、剪切带型金矿分布图

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of porphyry copper deposits and shear zone gold deposits in the eastern margin of Xizang (Tibet) Plateau. 底图据 Wang J H 等 (2001), 测年数据来自王登红等 (2004b), 杜安道等 (1994) 和李晓峰等 (2005)

The original map is modified from Wang J H et al (2001), ages of deposits from Wang Denghong et al (2004b), Du Andao et al (1994) and Li Xiaofeng et al (2005)

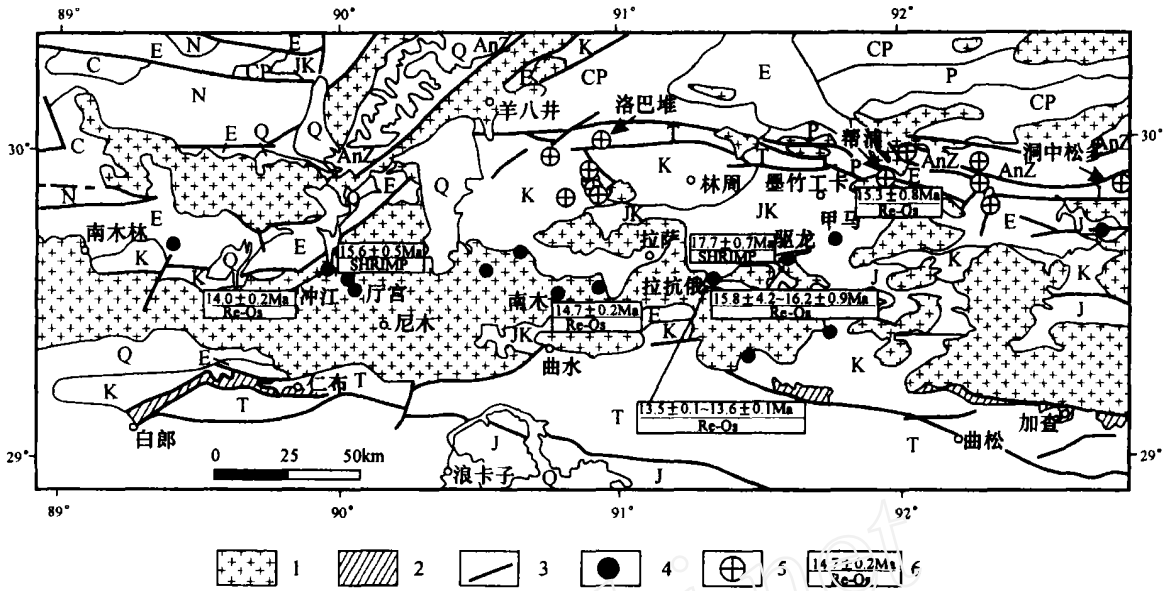


图 2 冈底斯碰撞造山带岩浆岩与斑岩铜矿床分布图

Fig. 2 Collisional magmatic rocks and porphyry copper deposits in the eastern Gangdese Mts in Xizang (Tibet) 据中国地质调查局 1:50 万数字化地质图修改; 图中年龄数据取自侯增谦等(2003b), 芮宗瑶等(2003)和孟祥金等(2003); Q—第四系; N—新近系; E—古近系; K—白垩系; JK—侏罗系—白垩系; J—侏罗系; T—三叠系; P—二叠系; PC—石炭系—二叠系; C—石炭系; AnZ—前震旦系; 1—燕山—喜马拉雅花岗岩; 2—蛇绿岩; 3—断层; 4—斑岩铜矿床; 5—铜多金属矿床; 6—矿床年龄和测试方法 After the digitalized map at scale of 1:500000; The age data are taken from Hou Zengqian et al. (2003b), Rui Zongyao et al. (2003) and Meng Xiangjin et al. (2003). Q—Quaternary sediments; N—Neogene; E—Paleogene; K—Cretaceous; JK—Jurassic—Cretaceous; J—Jurassic; T—Triassic; P—Permian; CP—Carboniferous—Permian; C—Carboniferous; AnZ—Presinian; 1—Yanshanian—Himalayan granites; 2—ophiolite; 3—fault; 4—porphyry copper deposit; 5—copper-polymetallic deposit; 6—ages of the deposits and measured methods

为特征, 属钾玄岩至高钾钙碱性岩系, 岩性以钾长花岗斑岩为主, 部分为二长花岗斑岩和石英闪长玢岩。它们的微量元素表现出明显的俯冲带岩浆岩特征, 大离子不相容元素 Rb、Ba、Sr、Th、K 等相对富集; 高场强元素 Nb、Ta、Ti 和重稀土元素 Yb 强烈亏损, 无 Eu 异常, 这些特征表明它们的岩浆源区有大量的石榴子石残留。地球化学上, 该带含矿斑岩 Al_2O_3 含量在 14.53%~16.3% 之间 (平均 15.36%); Sr 含量在 118×10^{-6} ~ 729×10^{-6} (平均 445×10^{-6}); Sr/Y 比值在 23.23~174.7 之间变化 (平均 77.5); Yb 含量在 0.33×10^{-6} ~ 0.91×10^{-6} 之间 (平均 0.54×10^{-6}); Y 含量在 3.92×10^{-6} ~ 9.12×10^{-6} 之间 (平均 6.08×10^{-6})。

在 21~8 Ma 期间, 青藏高原处于一个快速隆升阶段 (Williams, 2001; Harrison et al., 1992)。正是由于南北向强烈挤压, 导致发育南北向平行排列的伸展带。正如 Tapponnier 等 (1990) 所指出, 青藏高原东西向引张作用产生了一系列南北向裂谷是碰撞造山以来波及上地壳的一次重要事件。受南北

向裂谷控制并出现南北成群分布的大量花岗岩体和含矿斑岩, 其侵位时代为 12~18 Ma (芮宗瑶等, 2003; 曲晓明等, 2003; 林武等, 2004); 在日喀则附近发现南北走向的基性岩墙群, 其侵位时代为 18 ± 1 Ma (Yin et al., 1994)。东西向伸展为深部岩浆上涌、流体运移和汇聚提供了良好的空间条件, 造就了一系列斑岩型铜矿化的发生。

2.2 松弛期成矿

在碰撞造山期间, 挤压造山与松弛或伸展交替出现。在青藏高原隆升过程中不仅有 40~35 Ma、18~13 Ma 和 3.4~1.7 Ma 三个重要的挤压隆升阶段, 而且在这几个阶段之间还出现了地壳松弛或岩石圈伸展。

2.2.1 藏南拆离带及其金锑矿化

伸展期在藏南出现大型拆离断层系或称之为藏南拆离系。在主拆离带和雅鲁藏布江缝合带之间, 出现一系列由深成岩和变质岩组成的穹隆体, 呈东西向展布, 康马片麻岩穹隆就是其中之一。康马片麻岩穹隆是一个总体挤压环境下与伸展有关的变质

核杂岩体, 形成时代为中新世(陈智梁等, 1997; 王登红等, 2004a)。藏南锑和金多金属矿化就是在这种背景下形成的。藏南金矿化、锑金矿化和锑矿化分布广泛, 但大多数尚未进行勘查和评价, 马攸木金矿是目前已知比较有前景的一个矿床。聂凤军等(2005)根据矿化分布特征和物化探资料, 划分出4个矿化比较集中的地区, 自西向东为: 拉昂错—马攸木—帕羊金矿化区、然巴—勒金康桑金-锑矿化区、洛扎—错美锑矿化区和邛多江金-锑-银矿化区。矿化主要出现在拆离带与南北向伸展带或正断层的交汇部位, 赋矿围岩可以为前寒武纪至中—新生代的地质或岩石。尽管部分矿化显示出与花岗岩体或岩墙在空间上的密切关系, 中低温度和中低盐度以及大面积硅化似乎指示出成矿流体以变质流体为主, 可以认为是碰撞伸展期矿化作用的基本特点。

2.2.2 藏北伸展带及其锑(汞)矿化

在藏北锑矿带近年来发现10多处锑矿床(点)和1处铜矿点。这些矿床(点)总体上受小唐古拉南缘断裂控制, 分布于小唐古拉南缘断裂南侧上三叠统土门格拉群含煤碎屑岩中。据容矿围岩和成矿作用的差别, 余金杰(2001)将藏北锑矿带的锑矿分为3类: 产于硅质岩中的浸染状或细脉浸染状锑矿点, 如尔尔巴阔尔锑矿点; 产于长石石英砂岩裂隙中的脉型锑矿点, 如索日锑矿点和纳扎江木东锑矿点; 产于硅质岩中的浸染状和裂隙脉状锑矿床, 如美多和尔尔西姜锑矿床。此外, 在那曲县还发现一些汞矿化。

美多锑矿位于藏北安多县与斑戈县交界处, 已由西藏第六地质队探明储量6万吨。容矿围岩为上三叠统土门格拉群, 但矿体主要受到断裂控制, 尤其是在断裂交汇部位形成长10~20m、宽3~7m、品位达10%~60%的富矿体。美多锑矿矿石特征和矿物组合显示为低温热液型矿床。流体包裹体测温获得的成矿温度为: 石英的均一温度为130~290, 平均181; 方解石的均一温度为131~288, 平均207(余金杰, 2001)。石英和方解石中流体包裹体的盐度均比较低, 前者为0.85%~4.58%(NaCl_{eq}), 后者为1.53%~5.2%(NaCl_{eq})。美多锑矿矿石中辉锑矿的硫同位素组成变化于 $\delta^{34}\text{S} = -6.6\text{‰} \sim -2.6\text{‰}$, 总体上接近于0, 显示硫可能来自于岩浆活动而不是含煤的三叠系地层。铅同位素组成落在下地壳和造山带之间接近于地幔的位置, 表明成矿物质可能来源于地幔或与地幔作用有关的岩浆活动。余金杰(2001)选取了石英-辉锑矿脉中

的石英进行了流体包裹体Rb-Sr等时线法的测定, 获得等时线年龄 $20 \pm 1.8\text{Ma}$, 王登红等(2004a)选锑矿石中的石英进行 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测定, 获得 $19.4 \pm 0.2\text{Ma}$ 年龄数据。因此, 西藏北部美多锑矿应该是在稍晚于20Ma的中新世形成的。另外, 由于藏北锑矿带受陆内造山张性构造控制, 锑矿带的展布方向为北西向, 矿体的形态、产状受区域性北西向断裂和南北向张性断裂联合控制, 表明在20Ma时青藏高原北部表现为伸展。在藏北锑矿带的北部和西北部, 新生代岩浆活动表现为强烈的火山喷发, 形成大面积的高钾钙碱性火山岩、钾玄岩和碱性火山岩。尽管喜马拉雅期火山岩本身不含矿, 但区域地质、地球物理、矿床地质和地球化学及成矿时代资料初步揭示, 火山岩的喷发和成矿带的形成均受控于岩石圈地幔的扰动或伸展。

2.3 走滑拉分盆地成矿

走滑拉分盆地是青藏高原东缘(三江地区)走滑断裂系统中一种重要的构造样式, 也称为菱形裂隙、扭性地堑、菱形地堑, 是指在走滑断裂的某些转折部分或雁行式走滑断裂之间相互错叠地段, 由于走滑断裂的滑移引起的斜向拉分作用而产生的构造凹陷(潘桂棠等, 1990)。

在古近纪时, 整个青藏地区由于印度板块与亚洲大陆相互作用而继续进行陆内会聚, 整体处于压缩构造背景中, 而横断山地区则表现为独特的大规模走滑的构造环境。在这一宽广的走滑转换应变场中, 沿先存的怒江断裂带出现洛隆、马利、八宿等走滑拉分盆地; 沿澜沧江断裂带与分支帚状断裂之间出现吉曲、食宿站、囊谦等走滑拉分盆地; 沿字嘎寺—德钦断裂带发育贡觉、莽错等拉分盆地; 沿甘孜—理塘断裂带发育热鲁等拉分盆地(潘桂棠等, 1990)。在走滑拉分盆地中, 不仅有不同时代的沉积物发育, 而且往往在壳幔相互作用最强烈的地段形成大型矿集区。在青藏高原东缘的兰坪盆地是其中一个典型。

兰坪盆地位于兰坪—思茅盆地的北部(图1, 图3), 是青藏高原东缘一个比较典型的走滑拉分盆地。在兰坪中—新生代盆地发展过程中充填了海相和陆相碳酸盐岩、火山岩和碎屑岩, 盆地沉积层序中存在多个陆相膏盐层和沉积间断; 盆地构造演化呈现出印支期裂谷、燕山期拗陷和喜马拉雅期拉分盆地(薛春纪等, 2002a)。在其中已经探明金顶超大型铅锌矿床, 在金顶矿床北30km处有白秧坪大

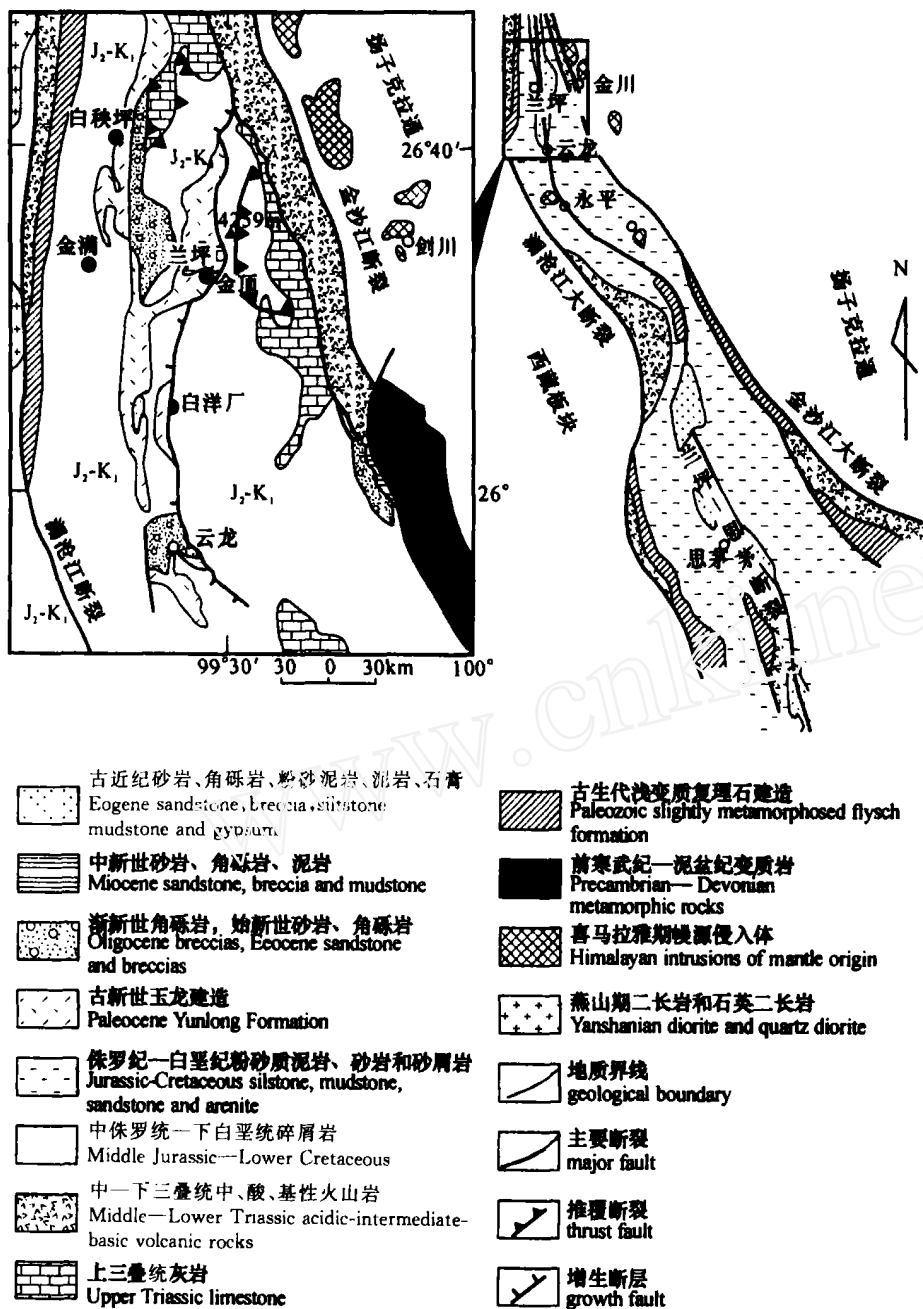


图3 云南兰坪盆地主要铅锌铜多金属分布图 (据 Xue et al, 2004)

Fig. 3 The map showing the distribution of Pb-Zn-Cu polymetallic deposits in the Lanping basin, Yunnan Province (after Xue et al, 2004)

型银铜钴矿床, 还有白洋厂、金满、富隆厂、吴底厂、麻栗坪和科登洞等一批大—中型Cu-Pb-Zn-Ag矿床。

盆地内矿床主要产出在逆冲推覆构造中主干断裂和次级断裂及其破碎带中, 尤其是以上三叠统地层和古新统砂板岩为主岩的断裂系统中(罗君烈等, 1994; 徐启东等, 2003)。矿体呈似层状、大脉状、透镜状和网脉状, 具有较为复杂的金属元素组合,

成矿与有机质(沥青和石油)及蒸发岩(石膏)存在某种联系。成矿温度为中—低温(主要在110~280), 成矿深度0.9~3.1km, 成矿流体盐度较低(1.6%~18.0%, Na-Cl_{eq})。

兰坪盆地西缘的澜沧江断裂、东缘的金沙江断裂及盆地中央的兰坪—思茅断裂深切下地壳和上地幔(尹汉辉等, 1990)。兰坪—思茅断裂在新生代活动最强烈, 控制了古近纪盆地的展布(薛春纪等, 2002a)。遥感、重力和航磁资料解译证明兰坪盆地发育东西向隐伏构造, 遥感影象上在北北西向构造与东西向隐伏构造交汇处发现一些环形构造, 这可能指示了深部热源体或侵入体的存在(薛春纪等, 2002a)。在兰坪盆地的边缘出现从晚古生代到新生代的岩浆岩, 还经常见到喜马拉雅期火成岩出现在盆地内部, 如云龙县境内的皂角厂岩体和喜鹊厂岩体、永平县境内的卓潘岩体和黄连铺岩体、巍山县境内的巍山岩体。重力测量和遥感解译在金顶矿区白草坪矿段下面发现一个喜马拉雅期

隐伏岩体(张成江等, 2000)。这些新生代火成岩在盆地内部主要沿兰坪—思茅断裂分布, 岩性主要是石英正长岩、石英二长斑岩、花岗斑岩、霓辉正长岩、碱性辉长岩, 火山岩主要是碱性玄武岩和粗面岩。这些火成岩的同位素年龄为23~68Ma(通过对长石、云母、锆石及全岩Rb-Sr, U-Pb法测年, 获得的

55 个年龄值, 薛春纪等, 2003)。新生代火成岩的地球化学研究表明它们属于幔源成因(例如 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7046 \sim 0.7084$), 目前已在这些岩体内发现许多幔源包体(吕伯西等, 1993)。兰坪盆地新生代火成岩的 Pb 含量(如石英正长岩中 119×10^{-6} 、粗面岩中 62×10^{-6})和 Zn 含量(如粗面岩中 110×10^{-6})高于相应岩石的克拉克值, 说明幔源岩浆或热流体富含成矿元素(边千韬, 2000)。

兰坪盆地深部地球物理研究在地壳内揭示出低速高温透镜体, 它们可能是岩浆房或热流囊, 同时, 该区软流圈具有明显的 15~20km 上涌(边千韬, 2000)。盆地内沿兰坪—思茅断裂发育热变质作用, 如无量山热变质带, 研究表明热变质是深断裂和热流上涌的综合结果(罗君烈等, 1994), 最近获得的热变质年龄为 31~24Ma(绢云母 K-Ar 法测定, 阙梅英等, 1998)。金顶巨型铅锌矿床中硫化物矿物的铅同位素组成普遍显示地幔源铅特点(赵兴元, 1989; 周维全等, 1992; 张乾, 1993; 张乾等, 2002)。研究推测金顶矿床和白秧坪矿床的成矿流体具有某些幔源性质(尹汉辉等, 1990; 王京彬等, 1991; 薛春纪等, 2003)。在金顶矿床和白秧坪矿床的流体包裹体内发现富 CO_2 的幔源成矿流体(薛春纪等, 2002b), 稀有气体同位素组成反映主成矿阶段流体中存在大约 2.0%~32.6% 的地幔氦、53% 的地幔氩以及相当多的地幔氙(薛春纪等, 2003)。

徐启东等(2003)翔实地研究了盆地北部铜多金属矿床有关的成矿流体流动和矿化分带, 提出成矿流体主要来源于浅部的地下水系统; 从东向西, 流体包裹体的盐度-温度由高到低变化与矿化分带和逆冲推覆构造的根带—中带—锋带相配套, 提出重力流体流动机制; 流体在北部逆冲推覆构造带中通畅流动和沉淀时处于相对开放系统有利于形成大规模的浅成热液多金属矿化。由此可见, 在盆地深部壳幔相互作用和岩浆活动不仅提供热能驱动盆地流体定向运移和通过水岩反应萃取成矿元素, 而且有地幔流体注入盆地流体系统, 这种盆地流体与深部流体的混合作用是形成兰坪盆地内的矿产组合的重要因素(图 4)。

2.4 走滑剪切带扩容成矿

青藏高原东缘的最大特点是大规模侧向走滑, 尽管不同学者估算的滑移距离有一定差别, 但是推断的长度都在 500km 左右

(王登红等, 2004a)。在大规模走滑和剪切过程中, 不仅有拉分盆地出现及其形成以盆地流体和深部流体混合为特点的兰坪大型矿集区和以壳幔相互作用和同熔型花岗岩浆上涌为特点的富碱斑岩有关的斑岩铜矿, 而且沿大型走滑带及其一级韧性剪切带的扩容部位或拆离带中发育热液型金矿。这些金矿一般呈石英脉型或破碎蚀变岩型, 赋矿地层可以横越时代和不同岩石组合。虽然部分金矿在空间上与花岗岩或辉绿岩墙(或煌斑岩墙)共存, 但是部分矿床属于 Groves 等(1998, 2002)定义的造山型金矿床, 而另一部分属于 Sillitoe(1998)定义的与侵入岩有关的矿床。就目前探明的矿床分布来看, 扬子地台西缘和哀牢山中段是剪切带型金矿最集中地区(图 1), 最近还在滇中发现了播卡新生代大型金矿床(应汉龙等, 2004)。

2.4.1 扬子地台西缘剪切带型金矿带

扬子地台西缘金矿位于藏东构造转换带, 该构造转换带是吸收印度—亚洲大陆碰撞引起的应力应变的碰撞调节带(Dewey, 1988)。伴随大陆碰撞而产生大规模走滑与剪切变形作用, 根据同构造晚期花岗岩 U-Pb 年龄推测大规模左行走滑发育的时间为 23~24Ma(Leouq et al., 1995)。走滑与剪切主要发生在三江地区, 而沿扬子地台西缘发育的大型剪切带控制了近 NS 向展布的大型剪切带和碱性杂岩与钾质煌斑岩群, 导致形成了扬子地台西缘金矿带和哀牢山金矿带。

扬子地台西缘金矿主要集中分布于康定大渡河两岸至冕宁以西的锦屏山一带, 主要沿鲜水河断裂

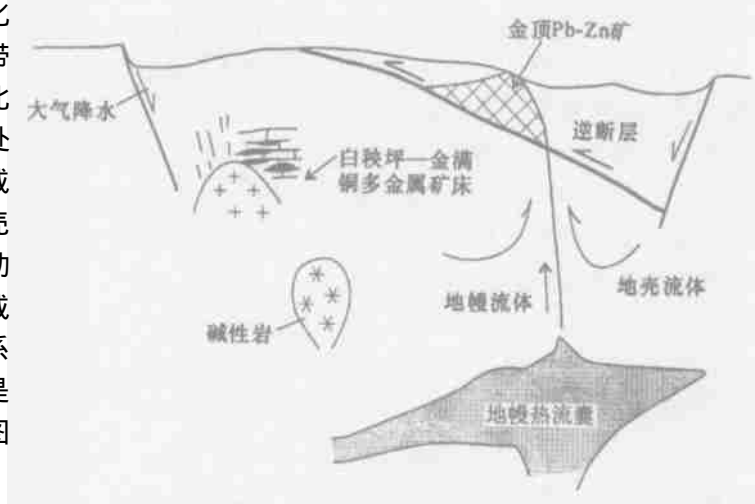


图 4 云南兰坪铅锌铜多金属大型矿集区的成矿模式图

Fig. 4 Metallogenic model of Pb-Zn-Cu polymetallic deposits in the Lanping basin, Yunnan Province

带及其南延部分的剪切带分布。扬子地台西缘金矿主要与主断裂旁侧次级剪切带的变质变形作用有关。自北而南可以划分为3个矿集区,即北段的大渡河矿集区、中段的石棉矿集区和南段的锦屏山矿集区。大渡河矿集区主要分布于前震旦纪基底的网络状剪切系统中,矿化带多数沿NNE-NE向剪切带展布,如黄金坪、黑金台子、白金台子、三雕等;石棉矿集区,如石棉金矿、广金坪金矿等,主要产于上震旦统与泥盆系之间及其内部的次级顺层剪切带中;锦屏山矿集区,如缅甸洼、机器房和茶铺子等金矿,主要产于滑脱构造带的花岗质糜棱岩带,呈串珠状分布(傅小方和侯立玮,1996)。这些金矿主要是含金石英脉型。在扬子地台西缘3个不同的矿集区,含金石英脉型矿石中石英表现出不同的变形特点,即石棉金矿石英所表现出来的主要为高温韧性流动的拔丝状石英条带,局部叠加石英低温颗粒边界迁移重结晶;缅甸洼金矿主要表现为石英低温颗粒边界迁移重结晶;而大渡河矿集区黄金坪金矿则是在石英低温颗粒边界迁移重结晶的基础上,叠加微劈理化,蚀变的绢云母沿微劈理化裂隙充填。这些说明该地区金矿是伴随剪切带的演化而形成,并且主要与伸展过程有关(李晓峰,2003)。

扬子地台西缘金矿的成矿作用主要发生在晚古近纪。如骆耀南等(1998)测得黄金坪金矿含金石英脉中白云母的 $K-Ar$ 年龄为 $20.8Ma$ 。陈智梁等(1997)测得三雕蚀变岩中绢云母的 $K-Ar$ 年龄为 $21.0\sim 21.4Ma$ 。吴香尧等利用中子活化技术,测得田湾含金石英脉中石英的ESR年龄为 $15.4Ma$ 。而田湾和广金坪含金石英脉中绢云母的 $K-Ar$ 年龄分别为 $15.4Ma$ 和 $19.9\sim 21.2Ma$ 。吴香尧等和骆耀南等(1998)测得缅甸洼金矿绿泥石绢云母千糜岩中绢云母和含金绢云母石英千糜岩全岩的 $K-Ar$ 年龄为 $15.4Ma$ 和 $28.9Ma$ 。骆耀南等(1998)测得菜子地金矿含金辉绿岩全岩和茶铺子花岗斑岩全岩的 $K-Ar$ 年龄分别为 $22.6Ma$ 和 $20Ma$ 。王登红等(2001)和闫升好等(2002)对三雕、白金台子、若吉、水白秧和菩萨岗金矿含金石英脉中的石英做了 $Ar-Ar$ 年龄的测试,结果显示,这些 $Ar-Ar$ 年龄分别为 $23.0Ma$ 、 $23.8Ma$ 、 $56.3Ma$ 、 $65.1Ma$ 和 $24.2Ma$ 。李晓峰等(2005)测得缅甸洼金矿含金石英脉和蚀变花岗岩中绢云母的 $Ar-Ar$ 年龄分别为 $22.6\pm 3.3Ma$ 和 $23.3\pm 0.4Ma$ 。金矿成矿作用的时间基本与青藏高原东缘鲜水河断裂及其南延部分等大型剪

切带的伸展活动一致(许志琴等,1992;陈智梁等,1997)。总的来说,扬子地台西缘金矿的成矿时代在 $25\sim 20Ma$ 之间。这些金矿体(脉)以及与之有关的蚀变矿物均受不同规模的脆-韧性剪切带控制。这在某种程度上,说明了这些矿床的形成与不同规模的变形作用有关。对于产在花岗岩及其接触带中的金矿床,往往表现出花岗岩的年龄老于金矿的年龄(如机器房金矿、缅甸洼金矿和菩萨岗金矿)。尽管在扬子地台西缘有大量的燕山期和喜山期岩浆侵入活动,即使与花岗岩有空间关系的金矿床也表现出成矿作用与花岗岩侵入作用关系不大。李晓峰在研究该区金矿的成矿流体来源时,认为扬子地台西缘金矿的成矿流体主要为深部的变质水,并且有一定量的地幔来源的流体的加入,这也说明了在剪切带演化的过程中,局部的伸展作用导致地幔来源的流体沿剪切带上升并混入金成矿流体系统。

2.4.2 哀牢山剪切带型金矿

哀牢山是中国西南地区一个重要的金矿带,长 $120km$,宽 $1\sim 5km$,已探明30多个矿床(点),其中老王寨、冬瓜林、金厂和大平达到大型规模(胡云中等,1995)。哀牢山金矿带成矿地质要素复杂,矿化围岩不仅有沉积岩还有变质岩、火山岩和镁铁质—超镁铁质岩,在矿区内有侵入岩,也有广泛发育的煌斑岩墙,矿体成脉状也有微细粒浸染状。因此,对于其成因认识众说纷纭,有与超基性岩—酸性岩(包括潜火山岩)有关的热液成因(胡云中等,1995)、与浊积岩有关的变质热液矿床(沈上越等,1997)、同生喷流沉积成矿(方维萱等,2001)、同生喷流沉积和后期热液改造型(谢桂青等,2004)。虽然这些矿床都有自己的一些特殊性,但其共同特征是受NW向九甲—墨江和九甲—安定韧性剪切构造的控制,金矿床通常出现在剪切扩容部位,尤其是在这些韧性剪切带与NS向或近EW向线形构造的交汇部位(胡云中等,1995)。矿化类型主要为石英脉型、浸染状含金硅化岩型和破碎蚀变岩型,局部可以见到角砾岩型矿石。由于镁铁质—超镁铁质岩和煌斑岩是主要成矿围岩之一,因而围岩蚀变强烈发育和分带性明显。主要围岩蚀变有硅化、绢云母化、铬水云母化、黄铁矿化和碳酸盐化。成矿通常表现出多阶段性,主要有硅化阶段、绢云母-硫化物阶段和碳酸盐-硫化物阶段(王登红等,2004a)。有些矿床,例如,老王寨金矿具有5个成矿阶段,在前三个阶段之后又出现一次硅化和无矿方解石化(宋新宇等,1993)。

根据王登红等(2004a)的研究,在哀牢山成矿带成矿温度以中低温为特点,通常在280~150℃范围,从成矿早阶段到晚阶段,成矿温度逐渐降低。大平石英脉型金矿的成矿温度较高,测定范围为360~180℃。哀牢山金矿带的成矿流体的盐度为7%~17%(NaCl_{eq}),明显高于造山型金矿。这在一定程度上反映出,这些金矿床在成因上可能与岩浆活动有一定关系,可以划归为与侵入岩体有关的剪切带型金矿(Sillitoe et al., 1998; Hart et al., 2002)。

通过对哀牢山金矿带中金属矿物的硫同位素测试结果的统计,可以发现硫同位素呈正态分布,中值为0.5‰,类似地幔岩石,反映出地幔来源。碳、氢、氧同位素资料表明在成矿过程中成矿流体早阶段以岩浆水为主,逐渐混入越来越多的大气降水。虽然脆韧性剪切带控制矿体的产出,但变质流体对于成矿的贡献不明显。碳氧同位素和惰性气体同位素数据反映出在成矿过程中有地幔流体参与(何明友等, 1997; 胡瑞忠等, 1999)。

对于哀牢山金矿成矿时代,目前争议比较大,所获得的测年数据横跨晚古生代、中生代和新生代,这主要是由于对测试样品的选定和测试精度较差所引起。如果不考虑有同生成矿作用,目前主要矿床的成矿时代集中在63.1~28.2Ma(应汉龙等, 2004; 毕献武等, 1996; 何明友等, 1997; 胡云中等, 1995; 罗君烈等, 1994)。

位于特提斯域的青藏高原地区经历了多次开裂和闭合过程,不仅有强烈的挤压还有大幅度侧向走滑,恢复古构造环境难度颇大。另外,迄今仅对两条斑岩铜矿带及扬子地块西缘金矿带进行了放射性同位素年龄精确测定,其余矿带的已知成矿时代的变化范围过大,因而,目前对于全区成矿地球动力学反演和配套的时机尚不成熟。

3 后碰撞造山成矿作用

后碰撞造山成矿是指造山作用完成后,造山带从挤压状态向伸展开始转变时期出现的成矿作用。后造山成矿是中国广泛发育的一种造山带成矿作用,几乎遍布各个古造山带。Jamieson (1991)将一个完整的造山过程描述为早期挤压增温、中期减压伸展增温和晚期伸展降温三个不同性质的连续发生阶段。陈衍景(2002)通过对中国主要造山带碰撞造山与成矿的研究,总结提出大规模成矿爆发总与最晚一次的强烈碰撞造山事件同步发生,尤其发生在

挤压伸展转换期,成岩成矿高峰滞后约50Ma,甚至80Ma。陈衍景(2002)利用Jamieson (1991)图解进一步指出,从 P_{max} 到 T_{max} 的减压增温过程,必定导致最强烈的流体作用、岩石熔融作用和成矿作用。通过对中国主要造山带大规模成矿的考察和研究,其形成环境一般为后碰撞伸展体制,与岩浆活动、壳幔相互作用以及盆地流体汇聚和深部热流上涌有着密切关系。下面提出两个典型地区:

3.1 西秦岭造山带金矿成矿作用

在秦岭造山带有商州—丹凤加里东期和勉县—略阳海西期两条缝合带(张国伟等, 1996a, 1996b),表明了该区在地质历史中曾经经历过两次洋盆打开和碰撞闭合过程。由于受到后一期开合构造演化以及强烈的燕山运动的改造,与加里东运动有关的矿床已经很少保存下来。

西秦岭是一个重要的侏罗纪大型金矿集区(图5),按成矿环境和成矿基本特点划分的造山型金矿,主要分布于中秦岭造山带或礼—凤—太古生代盆地,而另一类卡林型金矿则密集分布于南秦岭和松潘—甘孜造山带的东北部。虽然这两大类金矿的成矿过程有所不同,但时空分布和成因有着紧密联系。

3.1.1 造山型金矿床的特点和成因

西秦岭造山带中的脆韧性剪切带型金矿床呈脉状产出。关于造山型金矿床的主要特征已由Groves等(1998)作过总结,其成矿流体以富CO₂为特征,矿床中热液碳酸盐矿物(铁白云石)相当发育,黄铁矿硫同位素(3.8‰~13.8‰)类似于石英闪长岩而不同于围岩中的硫同位素值(-2.1‰~-6.6‰)。其 $\delta^{34}S$ 的值为-4.47‰~6.62‰, $\delta^{18}O$ 值为8.32‰~8.70‰。尽管有一些别的解释,但上述的同位素数据指示这些矿床的深源特点,而且可能是幔源的。

野外观察发现不论是石英脉型还是蚀变岩型矿床,构造控矿最为明显。根据成矿流体富含CO₂(张作衡等, 2004)、一些自然金粒度相对较粗、无脱钙化特征及变质环境、蚀变组合缺少低温硫化物矿物组合,以及这些金矿床中多数没有大的石英脉,表明这此金矿床在某种程度上可以与许多其他造山型金矿床进行对比,但是网格状含金微细石英脉在许多重要的造山型金矿成矿系统中更为普遍。

西秦岭造山型金矿床主要形成于210~170Ma。八卦庙金矿床的U-Pb同位素年龄为209Ma(Wei et al., 1994); Rb-Sr等时线法获得的

李坝金矿床的年龄为 176Ma (邵世才等, 2001); 双王金矿床中钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法年龄为 202~198.3Ma (石准立等, 1993)。使用不同测年方法测得的双王金矿床的岩体结晶年龄为 215~198.3Ma (Fan and Jin, 1994)。笔者认为造山带中的金矿床是后碰撞过程岩浆作用有关的热流体和热释放导致对流循环产生的热液流体共同作用的结果。

3.1.2 卡林型金矿的特征及成因

为数极少的地质及地质年代学数据使得很难为西秦岭成矿带中的卡林型金矿建立矿床成因模式。从西边的大水金矿到东边的黄龙金矿, 金矿床分布于 600km 长的成矿带中。它们与西南滇黔桂金成矿省及美国内华达卡林型金矿具有许多相似的特征。这些分布于西秦岭成矿带南带背斜部位的金矿床呈现出卡林型金矿和受构造控制的造山型金矿床

之间的过渡特征。

将松潘甘孜盆地中的金矿床划分为卡林型金矿床的证据有: 低品位和未变质的沉积容矿岩; 含砷黄铁矿中出现微细粒金; Au-Hg-Sb-As-W \pm U 地球化学组合; 低温成矿。东北寨金矿床硫同位素值范围较宽 ($\delta^{34}\text{S}$ 为 -30‰~30‰), 热液碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -0.15‰~3.24‰。矿床的成矿时代不会早于中三叠世, 遗憾的是还没有一些容矿沉积岩的最晚年龄。

松潘甘孜盆地东北部唯一的构造运动发生在晚三叠世到早侏罗世之间。这一时期的主要特征是盆地地层发生褶皱, 210~195Ma 岩体的广泛侵入和盆地边缘地层向相邻扬子克拉通俯冲 (Nie et al., 1994), 这似乎很好地解释了金成矿热液活动与构造活动有关。如果这种情况属实, 则暗示相对于内

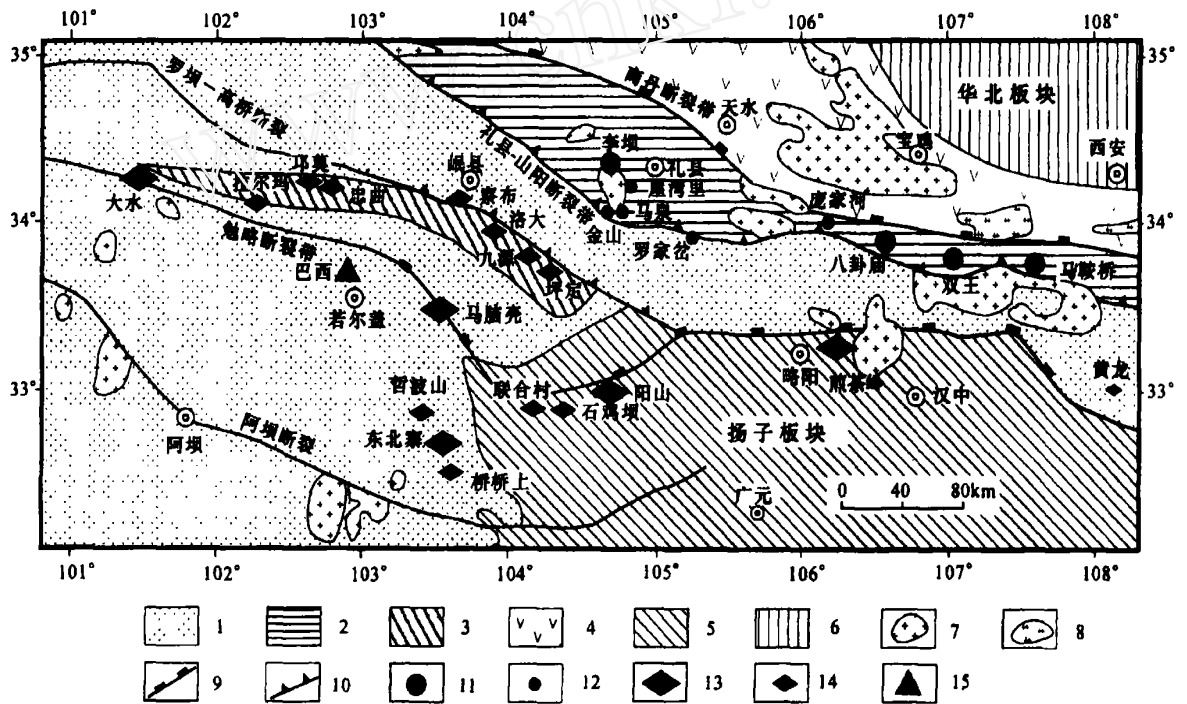


图 5 西秦岭地区造山型和卡林型金矿床分布图 (据 Mao et al., 2002f; 张作衡等, 2004 修改)

Fig. 5 Distribution map of orogenic type and Carlin type gold deposits in western Qinling area

(Modified from Mao et al., 2002f and Zhang et al., 2004)

- 1—三叠纪杂砂岩和板岩; 2—晚古生代复理式建造; 3—寒武纪—奥陶纪板岩和钙质沉积岩; 4—早古生代岛弧杂岩; 5—扬子克拉通震旦纪—三叠纪盖层; 6—华北克拉通后震旦纪盖层; 7—三叠纪—侏罗纪花岗岩质岩石; 8—寒武纪—奥陶纪花岗岩质岩石; 9—区域性断裂带; 10—区域性推覆断层; 11—造山型金矿 (> 50 t); 12—造山型金矿 (< 50 t); 13—卡林型金矿 (> 50 t); 14—卡林型金矿 (< 50 t); 15—夕卡岩型金矿

- 1—Triassic graywacke and slate; 2—Late Paleozoic flysch; 3—Cambrian—Ordovician slate and carbonaceous sedimentary rocks; 4—Early Paleozoic arc complex; 5—Sinian to Early Triassic cover of the Yangtze Craton; 6—post-Sinian cover of the North China Craton; 7—Triassic—Jurassic granitoids; 8—Cambrian—Ordovician granitoids; 9—regional fault zone; 10—regional thrust fault; 11—orogenic gold deposit with Au storage > 50 t; 12—orogenic gold deposit with Au storage < 50 t; 13—Carlin-like gold deposit with Au storage > 50 t; 14—Carlin-like gold deposit with Au storage < 50 t; 15—gold deposits of skarn type

华达地区来说, 与该地区卡林型金矿有关的构造不属同一类型。被普遍接受的观点是内华达卡林型金矿形成于古近纪中期 (Nie et al, 1994; Hofstra et al, 1995)。这一时期美国西部在区域上属于沿克拉通边缘与汇聚有关长达数千万年推覆之后的拉张状态。没有足够的证据证明松潘甘孜盆地经历过相同的区域拉张状态, 因此卡林型热液系统可能在不同的地壳应力场中形成。

对于大水金矿成因类型有不同的认识, 笔者等发现, 该矿床的热液蚀变矿物组构和成矿作用与内华达典型卡林型金矿有许多相似之处。大水矿区花岗闪长斑岩脉的出现为破碎带热液蚀变和成矿提供了有利的通道。含硫流体沿岩脉边缘向上运移并以渗透作用与破碎带碳酸盐围岩发生反应, 开始了黄铁矿和石英的沉淀, 并逐渐过渡到在侵入体与灰岩接触带附近形成与裂隙和溶解有关的角砾岩带阶段。亚显微结构金在成矿后期沿黄铁矿沉淀。同时期灰岩的脱钙化和硅化, 碳酸钙被迫进入附近灰岩和岩脉, 以方解石脉的形式沉淀于矿脉边缘。随着热液系统的减弱和消失, 形成了更多的方解石脉和角砾岩。随着矿床的隆起、剥蚀和氧化, 使黄铁矿变成了赤铁矿。

与松潘甘孜盆地内的矿床不同, 北边部分矿床已有一些地质年代学数据。大水金矿区花岗闪长岩中黑云母的 $Ar-Ar$ 年龄大约为 240~220Ma (王平安等, 1998); 蚀变岩脉 $K-Ar$ 的年龄大约为 190Ma。早、中侏罗世成矿的进一步证据是通过测大水金矿床中碧玉中的流体包裹体水获得 141.0~181.8Ma 的 $Rb-Sr$ 等时线年龄和 182±Ma 的蚀变硅化赤铁矿等时线年龄 (王平安等, 1998)。拉尔玛金矿的成矿时代可能与其相似。Zhou 和 Graham (1996) 报道的 $K-Ar$ 法测英安岩所获的拉尔玛金矿的成矿年龄为 17Ma。王平安等 (1998) 报道了 $Rb-Sr$ 等时线法获得的拉尔玛金矿以东几千米远的邛莫金矿床的矿化年龄为 22Ma 和 169Ma, 其中的年轻年龄与利用多种方法对矿区内的长英质岩脉进行的测年结果几乎一致。礼县—山阳断裂以南区域内的花岗质岩石的多次测年表明其年龄为 210~160Ma, 因此, 它们很可能是大范围地质活动的一部分。

测年数据表明卡林型金矿与北部的造山型金矿床基本同时形成。这说明卡林型金矿床成矿系统也形成于后碰撞期间。这些矿床出现于比礼县—山阳断裂以北造山带型金矿更浅的地壳之中 (图 6)。需

要进一步的研究来确定卡林型与造山型金矿是否形成于不同的热液系统, 以及是否存在 Phillips 和 Powell (1993) 建议的与两种类型矿床均有关的热液活动之间的纽带。

3.2 东天山后造山多金属矿床

东天山是中国西部一个重要的大型矿集区, 它的形成过程是天山和阿尔泰造山带造山演化与成矿的一个缩影。就目前的工作程度而言, 区内存在铁铜矿床、铜矿床、金矿床和铜镍硫化物矿床以及少量的钨钼矿床等自然类型。从成矿时空演化方面考虑, 这些矿床可以分为两个矿床成矿系列, 即: 泥盆纪—早石炭世与俯冲带岛弧区斑岩有关的铜矿成矿系列和晚石炭世—早二叠世碰撞后剪切走滑-伸展作用有关的金铜镍银铅锌矿床成矿系列。前一个系列是碰撞造山期的产物, 后一个系列是后造山过程的产物, 其中包含三套矿床组合: 即与花岗岩有关的夕卡岩型-热液型铜银铅锌矿床、与镁铁质—超镁铁质岩浆有关的铜镍硫化物矿床和与剪切-走滑和火山活动有关的金矿床 (图 7)。

3.2.1 夕卡岩型-热液型铜银铅锌矿床

可以分为以小热泉子为代表的脉状铜矿和以维权及雅满苏为代表的夕卡岩型铜多金属和铜铁矿。小热泉子分布于大南湖—头苏泉岛弧的西端 (图 7)。成矿围岩为下石炭统上部的细砂岩和泥质岩石, 其下为一套安山质火山岩, 其上有一层玄武质凝灰岩。在矿区有花岗斑岩和英安斑岩成岩墙产出, 未见岩体出露。铜矿化明显受一条 NE 向断裂与其两侧次一级断裂的控制, 虽然在主断裂中也有矿化, 但主要矿体出现在两侧次一级断裂中。岩性对于成矿也有明显的制约, 尽管矿体的主岩都是沉积岩类, 但物质组分有区别。大而富的矿体几乎毫不例外地出现在中部的碳质岩系中, 矿化既有断裂控制, 局部也显示出交代地层之现象, 因此出现了层状矿体和矿石具有类似层纹状构造, 层纹状构造是由于在交代过程中地层内碳质组分不受影响而得以保留的结果。在主矿层位之下, 成矿围岩是一套紫色和灰色细砂岩, 仅见沿与主断裂平行的小裂隙有石英黄铜矿脉的充填, 在两侧的矿化比较弱或基本上无明显矿化。在主矿层之上, 成矿围岩主要是一套灰色和黑灰色的细砂岩和泥岩, 最上层是绿色玄武质凝灰岩。无论是主断裂还是两侧的次级断裂中都有矿化, 但厚度小, 强度弱。

维权和路白山是新疆地质勘查开发局近几年来在研究区新发现的铜矿床类型, 两个都位于雅满苏

—阿齐山弧后裂谷带。维权在中西部，路白山在中东部。维权是一个铜银铅锌多金属矿床，具有很好的找矿远景。其成矿围岩为中石炭统土古土布拉克组，从下到上岩性有中酸性、中性和基性火山碎屑岩，普遍夹有灰岩透镜体。因此，在岩体周围有钙质夕卡岩化发育，局部构成工业化矿体。矿区出露一系列闪长岩墙，在矿区南部 2~ 3km 以南，有一个大面积晚石炭世—早二叠世黑云母花岗岩体，在

岩体内有大量NW 向辉绿岩墙群。钙质夕卡岩由热水溶液交代地层内灰岩夹层和钙质砂岩而形成，原生夕卡岩由钙铁榴石、透辉石、符山石和绿帘石组成，而且以钙铁榴石为主，退化蚀变岩矿物组合为阳起石、绿泥石和萤石等。矿化具有分带现象，银铅锌矿体在上，铜矿体在下。

由于小热泉子铜锌矿床主要矿体沿层间断裂发育，而且具有铜锌矿化组合，不少学者认为是同生

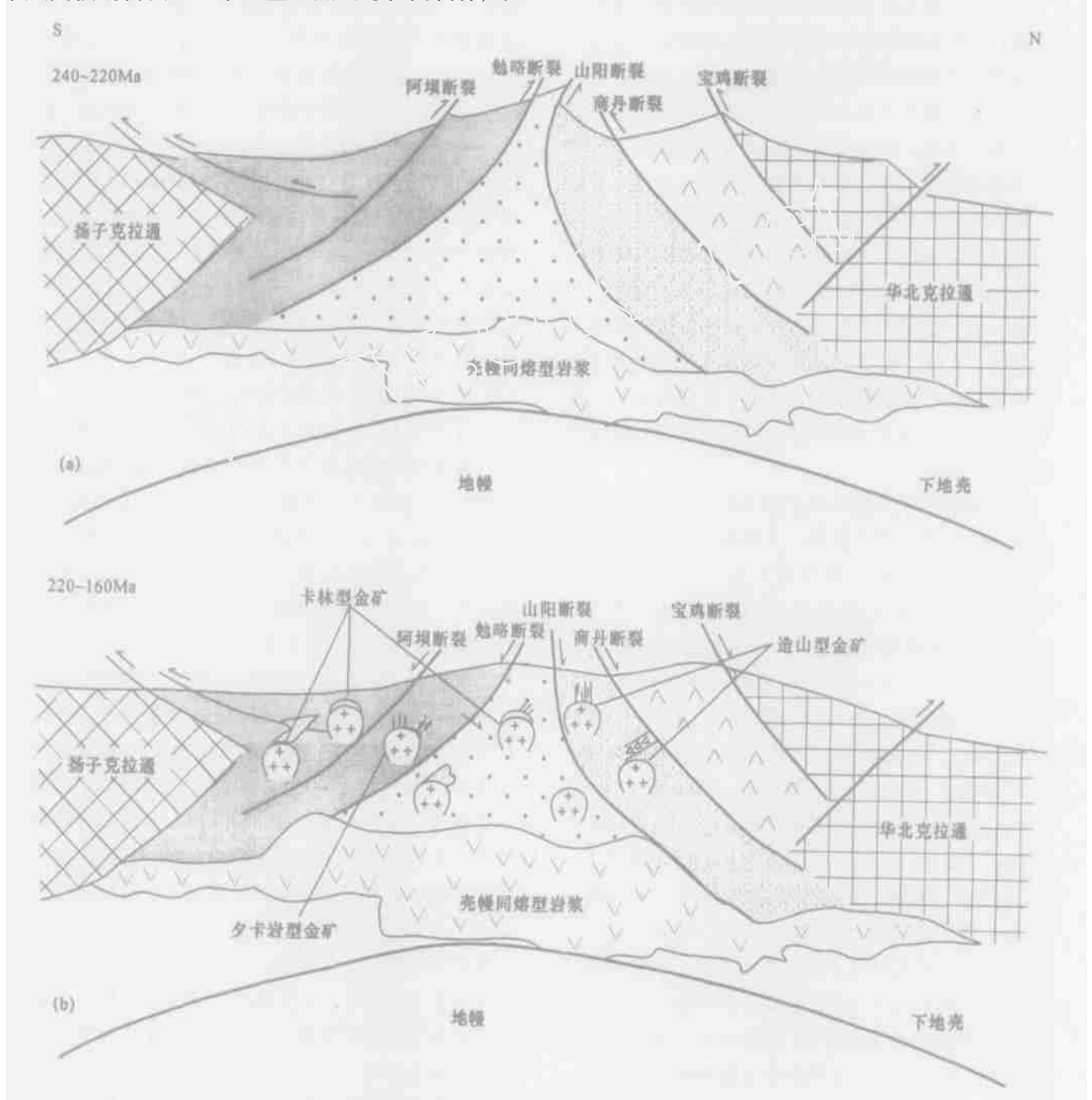


图 6 西秦岭后碰撞金矿成矿模式图

Fig. 6 Post-collisional metallogenic model of gold deposits in western Qinling M ts
 (a) —华北克拉通与扬子克拉通碰撞造山阶段; (b) —后碰撞岩浆上涌提供热源和部分矿床的物质源
 (a)—Collisional stage of North China and Yangtze cratons; (b)—upwelling magma acting as “heating machine” to drive the gold metallogenic process in post-collisional stage

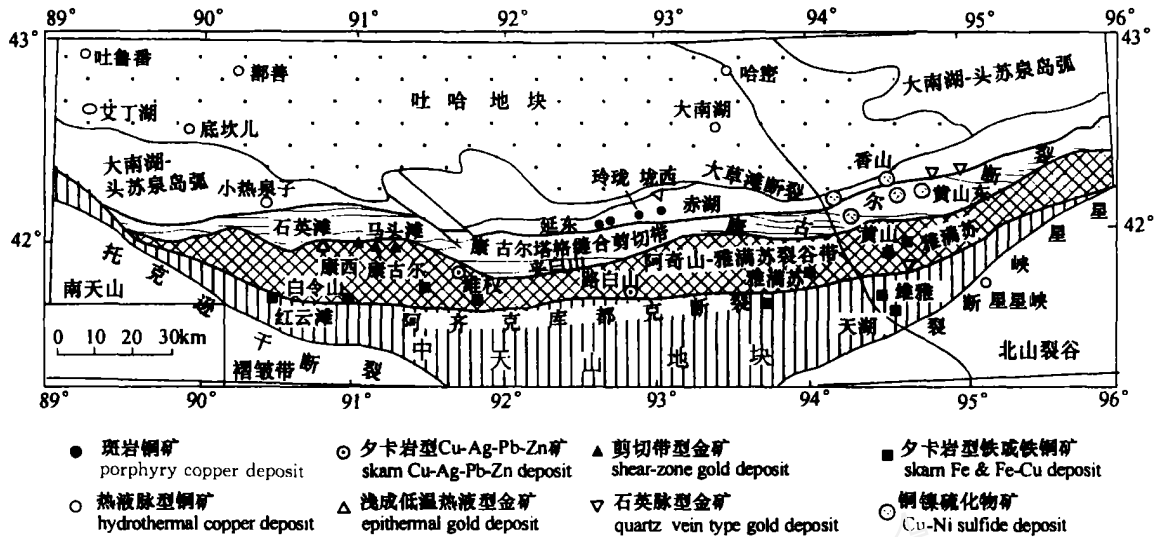


图 7 东天山多金属矿床分布图(据毛景文等 修改)

Fig. 7 The map showing the distribution of polymetallic deposits in eastern Tianshan Mts (modified from Mao et al)

VM S 型矿床(例如 Qin et al , 2003), 但是李华芹等(1998)利用 Rb-Sr 等时线方法测得小热泉子铜矿的主成矿期的成矿时代为 290~ 310Ma, 与英安斑岩墙的年龄 290Ma 和闪长玢岩墙年龄 290~ 280Ma (李华芹等) 一致, 为后生矿床。虽然未见雅满苏铁铜矿的成矿年龄报道, 与之类似的百灵山矿床的年龄为 286Ma (李华芹等), 维权夕卡岩型多金属矿床中角闪石的 Ar-Ar 年龄为 275Ma (毛景文等, 2002a, 毛景文等)。

3.2.2 与剪切-走滑和火山活动有关的金矿床

区内金矿床按照成矿作用方式, 可以分为韧性剪切带型、石英脉型和浅成低温热液型三个成矿系统。在空间上, 金矿床类型分布具有分带性, 从西向东为浅成低温热液型、韧性剪切带型和石英脉型。

石英滩金矿位于研究区的西部(图 7), 是区内一个典型浅成低温热液矿床(姬金生等, 1994a, b)。在矿区及其周围发育安山质-英安质火山岩、火山角砾岩和相应成分的潜火山岩。姜立丰等(1997)在实施 1:5 万地质填图时提出在石英滩一带存在一个二叠纪火山机构, 李华芹等(1998)利用 Rb-Sr 等时线方法测定区内杏仁状安山岩和中细粒英云闪长岩的年龄分别为 $285 \pm 12\text{Ma}$ 和 $293 \pm 1\text{Ma}$, 与成矿时代 $288 \pm 7\text{Ma}$ 和 $276 \pm 7\text{Ma}$ 基本吻合。矿体分布基本上受火山机构断裂系统和区域断裂的双重控制, 大致沿一组近 NWW 向张性断裂产出, 形成一

组以石英脉为主体的矿脉群, 但各矿体产状变化比较大。按矿物组合可以分为玉髓-方解石-黄铁矿-银金矿-自然金和石英-黄铁矿-绢云母-自然金两类矿石。在矿石中存在的少量绢云母、冰长石、浊沸石和高岭石等作为确定低硫型浅成低温热液矿床的标型矿物, 也见到由方解石与微晶石英或玉髓构成的骨架-板条构造。

在研究区内, 韧性剪切带型金矿化广泛出现, 是一种最重要而且找矿前景最佳的矿床类型。韧性剪切带型金矿主要发育在研究区的中部地区, 沿雅满苏大断裂南侧分布。主要有康古尔-马头滩和康西几个矿床, 受东西走向的韧性剪切带的控制, 在矿区也可见花岗岩墙。康古尔-马头滩-康西是一个高品位金矿区, 金含量在 3~ 50 g/t 之间, 平均 8~ 10 g/t。目前已经探明金属储量 40 余吨, 仍然有很好的找矿前景。赋矿围岩为雅满苏组基性火山岩类, 成矿分两个主要阶段, 即富硫化物石英脉阶段和石英碳酸盐脉或碳酸盐脉阶段。在主矿化阶段, 富硫化物石英脉抑或呈大脉群产出, 抑或呈微细网脉出现于破碎带内而构成破碎蚀变岩型矿化。无论是石英脉还是破碎蚀变岩型矿化, 其两侧都出现几十厘米厚的围岩蚀变带, 包括石英绢云母化和绿泥石化。李华芹等(1998)的测年研究表明康古尔金矿主成矿阶段的形成时代为 $290.4 \pm 7.2\text{Ma} \sim 282.3 \pm 5\text{Ma}$, 而晚阶段石英碳酸盐脉为 $254 \pm 7\text{Ma}$ 。这组年龄与康古尔金矿区正长斑岩的

Rb-Sr 等时线年龄 $282 \pm 16 \text{Ma}$ 相吻合。

东部的夹白山(或西凤山)、垅西、白干湖和赤湖金矿,其规模都较小。这些矿床既可以分布于大南湖—头苏泉岛弧(垅西),也可以出现于雅满苏—阿齐山裂谷带(白干湖)和康古尔塔格剪切-缝合带(夹白山)。后者也是康古尔塔格剪切-缝合带内极少的几个矿床之一。这组金矿矿化的特点是矿体为含硫化物石英大脉,硫化物以黄铁矿及毒砂为主,还有黄铜矿、黝铜矿、方铅矿和闪锌矿等。总体来讲,矿石中硫化物含量越多金品位越高。成矿围岩大多数是花岗质岩体,在矿脉两侧有强烈的围岩蚀变,其宽度与矿脉厚度成正比。围岩蚀变类型以硅化和石英绢云母化为主。白干湖金矿是唯一一个例外,含石英脉的围岩不仅有石英斑岩和石英钠长斑岩,而且延伸到石炭系雅满苏组火山沉积岩和火山岩中。在成矿末期不含矿的石英碳酸盐脉和碳酸盐脉叠加在矿脉及其周围。此类矿床大多数受一组 NNE-NE 向张性断裂的控制,仅西凤山矿区的主要矿脉呈左列雁行状近 EW 向分布,另外两组矿脉产状为 NW 和 NE 向。石英型矿床虽然规模较小,但品位都比较高,平均 $10 \sim 15 \text{g/t}$ 。姬金生等(1994b)对西凤山矿区内花岗斑岩和矿石中石英流体包裹体进行 Rb-Sr 等时线测年,获得 $284 \pm 13 \text{Ma}$ 和 $272 \pm 3 \text{Ma}$ 的年龄数据。

从上述可知,金矿成矿系统中几个类型的矿床在空间上有明显的分带性,成矿时间在 $290 \sim 272 \text{Ma}$ 之间,可能是同一地质成矿事件的产物。浅成低温热液金矿床与火山岩和次火山岩共生,因而形成的深度较小,一般在近地表几百米范围内。石英滩金矿床流体包裹体测温表明其形成温度在 $150 \sim 200$ 之间。造山带型金矿床形成温度和深度都有比较大的变化范围,姬金生等(1997)测得以康古尔为代表的剪切带型金矿床主成矿阶段的形成温度为 $230 \sim 300$,成矿压力大约为 60MPa ,相当于 2.1km 深度。石英脉型金矿化主要产于岩体内部,成矿深度大约在 3.5km 左右(薛春纪等,1995)。由此可知,在金矿成矿系统中矿化组合分布与成矿类型受到成矿深度的明显制约,从石英脉型、韧性剪切带型到浅成低温热液型,成矿流体由岩浆热液为主逐渐变为以大气降水为主(张连昌等,1999,2000;姬金生等,1997;薛春纪等,1995)。硫同位素测试结果剪切带型金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.3\% \sim +0.2\%$ (姬金生等,1994a),浅成低温热液型的为 $+0.1\% \sim +2.32\%$ (杨建国等,1998),表明成

矿系统中硫主要来自地幔或地球深部。

3.2.3 与镁铁质—超镁铁质岩浆有关的铜镍硫化物矿床

铜镍硫化物矿床在时空和成因上与镁铁质—超镁铁质岩密切相关。在康古尔断裂北部的黄山—土屋岛弧带和康古尔塔格缝合带东部发育有一系列镁铁质—超镁铁质小岩体,从西到东有:土墩 M102、二红洼、香山、黄山南、黄山东以及镜儿泉地区的红石岗、黑石梁、葫芦东、串珠、马蹄等十多个岩体。已经查明黄山东、黄山、香山、土墩和葫芦岩体伴随有工业矿体,其它岩体也有不同程度的铜镍矿化。岩体在地表露头都比较小,但侵入通常呈现多阶段或同一岩浆分异出岩性差异比较明显的岩相。一般可分为橄榄岩、二辉橄榄岩、辉石岩、辉长岩和闪长岩。在地貌上,闪长岩往往形成突起的山包,而超镁铁质岩为负地形,辉长岩介于两者之间。岩相之间多为逐渐过渡关系,局部似乎也呈现出侵入接触。大多数矿体分布于岩体的底部,赋矿围岩均为超镁铁质岩体,以二辉橄榄岩和辉石岩为主。倪志耀(1992)研究表明这套与矿化有关的岩石组合为同源岩浆经深部分异作用形成的复式岩体。其岩浆源为上地幔榴石二辉橄榄岩经部分熔融形成的拉斑玄武岩系列,以富镁、贫碱、低钙为特征。各类岩石的稀土配分型式类似,曲线比较平坦,类似于典型的拉斑玄武岩。王润民和李思楚(1987)研究表明岩体成岩压力不超过 $0.4 \sim 0.5 \text{GPa}$, $P_{\text{H}_2\text{O}} 0.4 \sim 0.5 \text{GPa}$, $f_{\text{O}_2} = 10 \sim 10^{-9}$ 。

矿体形态为透镜状和似层状,大多数矿体以悬浮状产于岩体的中下部或下部,与岩体的相带基本一致。偶尔也见呈脉状出现,但不具明显的工业意义。矿石具浸染状构造,品位普遍比较低, $\text{Cu} + \text{Ni}$ 为 $0.5\% \sim 1.0\%$ 。矿石矿物以磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿为主。与矿化有关的围岩蚀变有纤闪石化、蛇纹石化、绿泥石化和滑石化。在成矿期间,金属硫化物熔体在岩浆中发生熔离的温度为 $1690 \sim 1141$,矿化最终结晶温度大约在 $300 \sim 400$ 之间。矿石硫同位素组成的 $\delta^{34}\text{S}$ 值在 $-2.15\% \sim +1.45\%$ 之间,表明为典型的地幔硫源。赋矿围岩橄榄辉长岩的锶初始值为 $0.7045 \sim 0.7046$ 。

关于这套岩体的成岩时代已经有比较多的测年数据,李先梓等(1991)获得 Rb-Sr 等时线年龄 285Ma ;李华芹等(1998)测得全岩 Sm-Nd 等时线年龄 $320 \pm 38 \text{Ma}$,而矿石的 Sm-Nd 等时线年龄 $314 \pm 14 \text{Ma}$;秦克章对香山岩体进行了单颗粒锆石年龄

精测, 获得 $286 \pm 1.2 \text{Ma}$ 数据。毛景文等(2002b)利用 Re-Os 同位素等时线方法对矿石进行测定, 获得年龄为 $282 \pm 20 \text{Ma}$ 。这说明铜镍矿及其镁铁质—超镁铁质岩石形成于石炭纪末期—二叠纪早期。

3.2.4 成矿动力学过程

周济元等(1994)的工作证明准噶尔南缘断裂—土哈盆地南缘的康古尔断裂为古生代生物的分界线, 北部为西伯利亚古生物群, 南部为华夏古生物群。李锦轶等(2004)在其中鉴定出一系列洋壳残片, 厘定形成时代不晚于早石炭世, 有可能为泥盆纪; 并进一步推测该洋盆最早可能形成于古生代初(图 8a), 从奥陶纪开始向土哈盆地之下俯冲(图 8b)。由此看来, 可以推断东天山石炭纪末期的缝合线可能位于康古尔断裂带, 博格达—哈达里克为哈萨克—准噶尔板块内部的一个晚古生代裂谷带(周济元等, 1994), 顾连兴等(2001)认为造成博格达裂谷的动力来自卡拉麦里洋向南俯冲时的撕力, 故称之为俯冲撕裂型裂谷。干墩组为一套残留深海—半深海相沉积岩并夹有以凝灰岩为主的火山岩类, 碰撞对接后转化为大型韧性剪切带。在康古尔塔格缝合-剪切带以北为大南湖—头苏泉岛弧, 以泥盆纪地层为主。大草滩断裂与康古尔断裂之间的下石炭统小热泉子组和企鹅山组长期以来被认为是石炭纪岛弧, 与康古尔塔格南侧的阿齐山—雅满苏火山弧对应分布, 因而周济元等(1994)、杨兴科等(1997)、张良臣等(1985)和姜立丰等(1997)认为是板块双向俯冲的结果。但是, 芮宗瑶等(2002)和秦克章的最新测年资料表明康古尔断裂以北的火山岩系为泥盆纪的产物, 与大草滩断裂北侧或土哈盆地南缘大南湖—头苏泉很可能为同一套火山岩组合, 侵入其内的花岗质岩石为中晚泥盆世至早石炭世的

产物。这些组合代表了晚古生代早期大洋板块向北俯冲而形成的岛弧或活动大陆边缘及岩浆活动带(周济元等, 1994)(图 8c)。在泥盆纪晚期—石炭纪中期, 板块向北俯冲时沿岛弧有磁铁矿型花岗岩侵位和相关的斑岩铜矿系统相伴产出。康古尔洋盆于中石炭世经过深海槽演化阶段并逐渐闭合(约 300Ma), 洋壳被掩埋于深处, 在地表仅见部分洋壳残片。在碰撞的同时, 由于受力面非相互垂直而出现大型走滑和剪切作用, 直到碰撞完成后这一作用仍在持续进行, 李锦轶等(2004)推测其时间段可能为 $280 \sim 240 \text{Ma}$ 。到石炭纪末期—二叠纪期间, 由于下岩石圈拆沉或地幔岩浆上涌, 出现大规模岩浆活动, 不仅有地壳重熔形成的钛铁矿型和磁铁矿型花岗岩及其伴随的安山质—流纹质火山岩, 而且地幔岩浆沿康古尔大断裂上侵, 形成了黄山等一系列镁铁质—超镁铁质岩及其伴随出现的铜镍硫化物矿

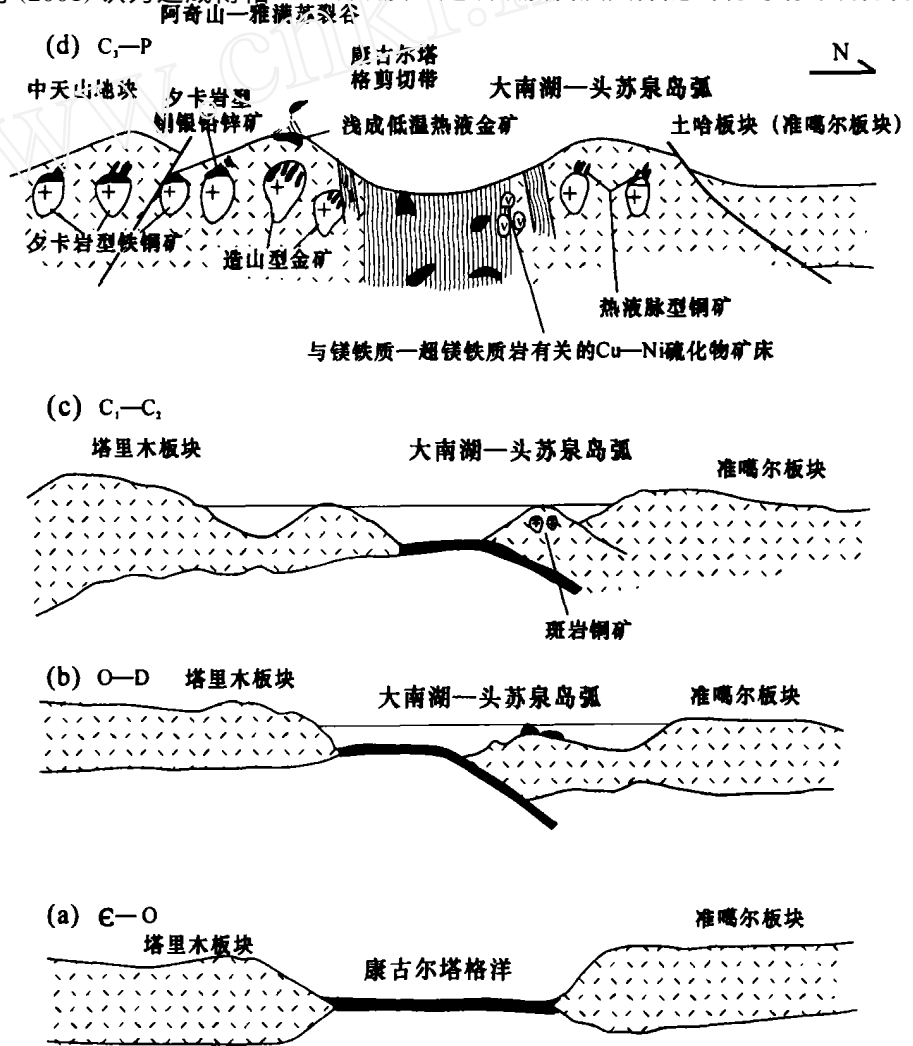


图 8 东天山后碰撞大规模成矿动力学模式图

Fig. 8 Post-collisional geodynamic metallogenic model in eastern Tianshan M ts

化。大量花岗质岩浆侵位导致在岩体内及其周围形成石英脉型金矿,在剪切带形成石英脉和破碎蚀变岩型金矿和与火山作用过程有关的浅成低温热液型金矿床。与磁铁矿型花岗岩有关的铜银铅锌矿化都出现在岩体的外接触带,当围岩有碳酸盐岩时出现夕卡岩型矿化组合,当围岩为碎屑岩和火山岩时,则产出脉状或沿某些地球化学障形成似层状热液型矿化组合。正是在这种后造山伸展的背景下在东天山发生大规模成矿作用,形成了一个金属元素多样性和金属大量聚集的矿床组合(图8d)。

4 大陆边缘造山带弧后伸展成矿作用

翟裕生等(2002)和汤中立等(2002)对中国大陆边缘成矿系统进行了深入研究,本文将研究范围局限于大陆边缘造山带弧后成矿作用。对于现代大陆边缘造山带(例如美洲西部阿拉斯加—科第勒拉—安第斯造山带)的构造演化和成矿响应,可以直接观察和研究。但是,古代的大陆边缘造山带经历了长期俯冲—碰撞造山以及后造山作用,甚至新一轮构造旋回的叠加,已经不同程度地受到改造,甚至面目全非或早已消失殆尽。但是,造山带弧后大陆侧稳定地块及其矿产资源组合有时可以比较好地保存下来。

在美国西部科第勒拉造山带东侧的内华达、亚利桑那及犹他和科罗拉多部分地区出现与主造山带平行的盆岭构造体系,其内广泛发育有中—低温组合矿床,包括卡林型金矿、斑岩铜矿和浅成低温热液型金银矿。这些矿产组合与目前中国西南滇黔川桂地区大面积卡林型金矿、密西西比型铅锌矿和玄武岩型自然铜矿有一定的相似性。通过野外观察,中国西南地区这三种类型矿床的控矿构造都是正断层或扩容型剪切带,矿床类型与容矿岩石的性质和金属元素的含量有着密切的关系,此外还出现大量分散元素(例如,碲、锗和砷等)富集成矿。涂光炽(1998, 2000)称之为中国西南低温成矿域。

川、滇、黔交界地区在太古宙—中元古代形成了该区以中—低变质岩为主的褶皱基底;晋宁运动以后本区进入了被动大陆边缘演化阶段(张云湘等, 1988),自震旦纪至三叠纪总体上处于拉张状态,属于地裂发展旋回(杨应选, 1994)。从晚震旦世开始古上扬子海不断海侵,该区出现一个广阔的浅海台地(夏文杰等, 1994),开始接受海相沉积,形成了一套以震旦系碳酸盐岩为主的沉积地层;寒武纪—二叠纪,本区大部分地区接受沉积,部分地区由

于地壳的抬升缺失上奥陶统一石炭系沉积。二叠纪本区进入深部地幔物质上涌阶段,火山巨量喷发,形成了峨眉山溢流玄武岩;晚二叠世晚期至早中三叠世为又一次海侵过程,本区部分地区接受碎屑岩沉积;三叠纪末期,印支运动使其应力状态由拉张转为挤压,形成了一个大型前陆盆地——四川盆地(张云湘等, 1988)。侏罗纪及其后期,扬子地台西缘构造带仍受到来自西面的强烈影响,该区构造运动总的趋势是间歇性的抬升,但间歇期表现相对伸展,其大陆内侧以陆相沉积为主,属台地型沉积(地质矿产部成都地质矿产研究所, 1987);至早白垩世,由于班公湖—怒江缝合带燕山期的俯冲碰撞,西面的甘孜陆块及盐源—丽江断块向攀西—滇中推覆碰撞,形成龙门山—锦屏山造山带,到始新世时,印度板块喜马拉雅期向欧亚大陆的俯冲碰撞,导致龙门山—锦屏山造山带进一步隆升(王炎臻等, 2002)。也有学者认为哀牢山—龙门山—锦屏山造山带在新生代形成(张岳桥等, 2004),原中生代形成的山链已经消失。白垩纪以来川滇黔相邻区是一个造山带弧后伸展带,形成一系列有限的北东向盆地,其内的褶皱轴向与盆地走向基本一致,与其相关的断裂构造有两组,一为北西向横断裂,另一为北北东向较大的断裂。区内中生代卡林型金矿、密西西比型铅锌矿和玄武岩型铜矿就是在这种背景下形成。

4.1 卡林型金矿

滇黔桂“金三角”是中国最早发现和确认的卡林型金矿区,已经探明金矿床几十个,包括紫木凶、烂泥沟、丫他、板其、泥堡、戈塘、大厂、富宁、革当、金坝、高龙、金牙、明山、田湾和金竹洞等大、中型矿床。卡林型金矿主要发育在峨眉山溢流玄武岩区的东南边缘(图9),构造属于晚古生代右江裂谷带。出露基底地层为前寒武纪—早古生代浅变质岩系和泥盆纪以来沉积盖层。裂谷作用自泥盆纪开始到三叠纪结束,泥盆系为深水沉积的硅质岩、灰岩及黑色泥岩;二叠系为一套碳酸盐岩及燧石条带灰岩,二叠纪峨眉山玄武岩局部分布;三叠系为泥灰岩、含煤碎屑岩系和砂泥岩。侏罗纪地层普遍缺失,白垩系—古近系红色砂泥岩及砾岩分布于一系列断陷盆地中。

赋矿层位以三叠系为主,还有中上泥盆统、中上寒武统及二叠系。含矿岩性主要有高碳质碎屑浊积岩相(粉砂岩和细砂岩)、扁豆状灰岩、热水沉积角砾岩和泥灰岩(高振敏等, 2002)。

滇黔桂地区绝大多数卡林型金矿明显受断裂构造控制, 矿床沿主干断裂成群成带分布, 次一级断裂控制着矿田、矿床和矿体的分布和产出。矿体形态呈多样性, 包括似层状、透镜状、扁豆状、脉状、板

状和不规则状。大多数矿体产在主断裂旁侧的次一级断裂中, 在背斜核部层间虚脱部位形成大而富的矿体。矿石类型有金-黄铁矿型、金-毒砂-黄铁矿型、金-辉锑矿-黄铁矿型、金-雌黄-雄黄-黄铁矿型和金-

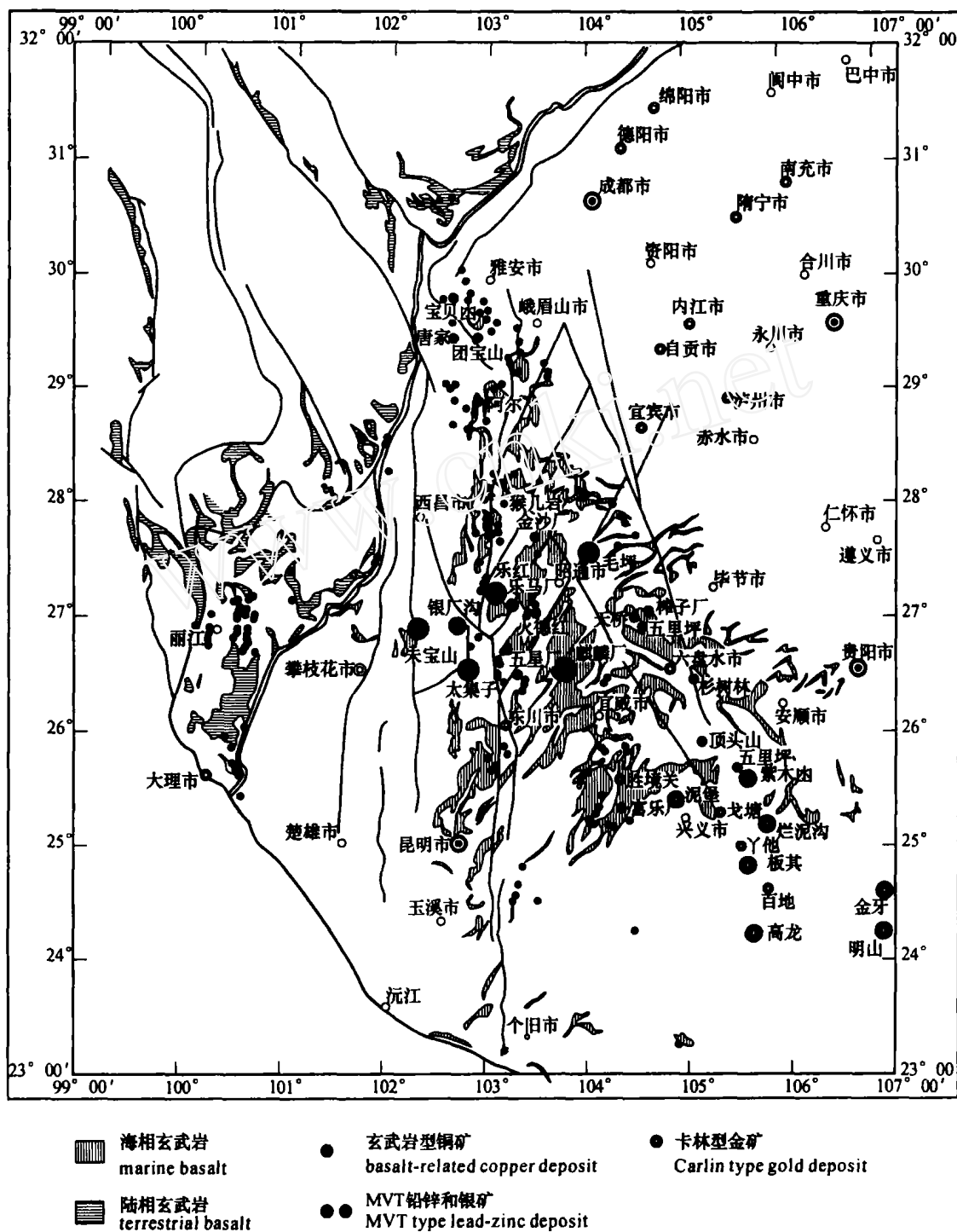


图 9 扬子地块西南缘造山带东侧侏罗纪—白垩纪盆地低温金属矿床(含卡林型金矿、密西西比河谷型铅锌矿和席状玄武岩容矿的铜矿)分布图 (据骆耀南, 2002, 修编)

Fig 9 The map showing the distribution of low-temperature hydrothermal metallic deposits comprising Carlin-type gold, MVT Pb-Zn and flood basalt hosting Cu in the Jurassic—Cretaceous basins east to the NS-trending orogenic belt at the southwestern margin of Yangtze Plate (modified from Luo, 2002)

辰砂-黄铁矿型(陈毓川等, 2001), 脉石矿物主要为石英、铁白云石及黏土矿物等。与成矿有关的围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、毒砂化、黏土化、碳酸盐化、重晶石化、雌黄化、雄黄化、辉锑矿化和辰砂化。尤其是沿断裂系统大面积硅化不仅作为找矿标志, 而且反映出流体的运移痕迹。滇黔桂地区的卡林型金矿与美国内华达卡林金矿的最大不同在于没有那样多的有机质碳, 相同的是锑-汞-砷-碲-铀含量高。庄新国(1995)通过对右江盆地内上二叠统煤层的镜质体反射率测定, 圈定与成矿有关的古地热场。古地热场表现出由盆地中心向外逐渐降低。造成上二叠统煤高变质的古地热场持续到白垩纪。此外, 航磁资料显示在滇黔桂金三角有一系列偏碱性超基性岩墙和辉绿岩墙呈南北向分布(王砚耕等, 1995), 而且金矿化与这些地幔来源的岩墙在空间分布上关系密切。高振敏等(2002)提出这些岩墙的形成时代为 75~ 9Ma。目前, 对区内的金矿进行了比较多的测年, 但是精度不够高, 分布在 125~ 63Ma 之间, 以 80Ma 为峰值(高振敏等, 2002; 张峰等, 1992; 朱赖民等, 1998)。

大量流体包裹体测温资料表明, 成矿温度在 135~ 290 之间, 主要集中在 250~ 150 范围, 盐度低, 变化在 6.7%~ 1.9% (NaCl_{eq})。氢氧同位素测试结果表明成矿流体来自大气降水与沉积建造水的混合, 碳和硫同位素数据分别显示出碳来自海相碳酸盐岩和有机碳, 而硫主要为地层硫(Hu et al, 2002; 高振敏等, 2002)。这些数据一致表明成矿物质主要来源于地壳本身。

4.2 密西西比型(MVT型)铅锌矿

扬子地台西南缘也是中国重要的铅、锌、锗、银产地之一, 该区分布有铅锌矿床(点)数百处(图9), 除已经探明的储量外, 潜在远景也非常巨大。铅锌多金属成矿区的分布范围与峨眉山大火成省基本一致, 但赋矿层位全部为不同时代的碳酸盐岩。近年来, 随着找矿工作的不断进展, 区内 Pb-Zn-Ge-Ag 矿床越来越引起人们的关注。

区域上川滇黔地区铅锌矿床(点)分布在南北向安宁河线性断裂带和石棉—小江断裂带以东至北西向垭都—紫云断裂带之间的地区。矿带内构造十分发育, 将矿区切割成许多大大小小的断隆和断陷, 组成了整个矿区的区域构造的基本轮廓。构造线方向主要为 SN 向, 区内几条主要 SN 向断层严格控制了大地构造单元的发育和发展, 其次为 NE 和 NW 向两组断裂, 它们是次级构造单元的边界。此

外, 在一些矿区还存在 EW 向隐伏断裂, 这些断裂大多具有长期的继承性活动的特点, 断裂格局和主要断裂一般孕育于晋宁期, 形成于印支期, 而在中生代受到叠加和改造。它们不仅控制了古沉积环境, 而且与岩浆活动和热液成矿作用活动有明显的联系。根据矿床分布与区域构造的关系, 将川滇黔铅锌成矿带划分为: 甘洛—南宁矿带、永善—金阳—巧家矿带、会泽—者海矿带、垭都—紫云矿带、近东西向矿带(刘文周等, 1996)(图9)。已探明的铅锌矿床包括四川省的天宝山、小石房、银厂沟、猴儿岩、阿尔、团宝山、唐家、宝贝沟、云南省茂租、麒麟厂、矿山厂、五星厂、火德红、金沙厂、毛坪、乐红、富乐厂、贵州省天桥、榨子厂、五里坪、杉树林、顶头山等矿床(图9)。

区内绝大多数铅锌矿床产于厚层碳酸盐岩层中, 白云岩为最主要的赋矿岩性, 赋矿层位从震旦系至二叠系。震旦系碳酸盐岩和下石炭统摆佐组台地边缘浅滩相晶质白云岩为主要赋矿地层, 其次有中—上泥盆统、下二叠统栖霞茅口组、下寒武统以及中奥陶统碳酸盐岩。

MVT 型矿床在空间上基本分布于古老克拉通的边缘或内部伸展带(Brabbon et al, 1992, Eisenlohr et al, 1994, Ramboz et al, 1988)。川滇黔多金属成矿区处于扬子地台西南缘, 即为古老克拉通边缘地带, 这与世界其它地区的MVT 铅锌矿床所处的地质背景相似。在构造上主要受褶皱和断层控制, 主要分布于向斜和背斜轴部、翼部以及断层的两侧部位。二级深大断裂的交汇地段及区域性背斜的倾伏端控制矿群或矿田的分布, 例如: 在宁南、巧家地区的矿床位于 SN 向小江断裂和 NW 向则木河断裂的交汇地带; 会泽矿群位于小江断裂和 NE 向的威信—会泽断裂、金牛厂断裂的交汇地段。区域背斜倾伏端矿床(点)也成群分布。褶皱和断裂的复合部位或构造破碎带往往是良好的定位空间。如天宝山矿床受控于天宝山复式向斜 SE 翼的次一级倾伏背斜和 SN 向益门断裂派生的 NWW 向隐伏断裂的复合部位; 金沙厂矿床位于巧家—莲峰二级深大断裂派生的金沙逆断层与金盆短轴背斜倾伏端的交汇处, 矿化在背斜轴部和倾伏端最强; 茂租矿床位于巧家—莲峰二级深大断裂派生的茂租断裂和甘树林复式倾伏向斜的复合部位; 大梁子矿床则位于断裂所造成的地堑式破碎带中。层间构造和断裂裂隙是有利的储矿空间: 层状矿体是矿化沿层间滑动、层间虚脱和层间破碎带发育造成的, 矿体形状基本上

与地层产状一致;脉状矿体则是矿液沿次级断层充填交代而成(刘文周等, 1994)。

铅锌矿体多呈脉状、似层状、透镜状、扁豆状、囊状产于白云岩中。其产状分为两种,一种为筒柱状、脉状矿体,倾角一般大于 60° ;如天宝山、大梁子等矿床;另一种为似层状矿体,顺层产出,一般倾角在 $10^\circ \sim 30^\circ$ 之间,如矿山厂、茂租等矿床。矿体形态一般简单,走向长为数百米,少数可达数千米,厚度一般薄—中厚,矿床铅锌品位变化较大,可从百分之零点几到百分之四十几不等。

矿石组分及共生组合简单,不同时代围岩中矿床的矿物组分有所不同,上震旦系灯影组的矿床以闪锌矿为主,普遍含硅质、重晶石,黄铁矿较少;泥盆系—石炭系的矿体除闪锌矿外,普遍见黄铁矿,重晶石含量较少。矿石矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、辉铜矿等;脉石矿物主要为方解石、白云石、重晶石、石英、玉髓、萤石等。矿石具粒状、胶粒状、晶粒状等结构和浸染状、块状、条带状、脉状、团块状、斑点状等构造。矿石化学组分比较简单,主要为锌,其次为铅,共生组分为硫,伴生组分有锗、镉、镓、银等;另有微量铋、砷、金。矿床从富铅到富锌皆有,一般锌高于铅,比值为 $1 \sim 15$,矿石品位铅一般 $0.5\% \sim 5.5\%$,锌为 $1\% \sim 11\%$ 。围岩蚀变较弱,但是分布较广,不同时代含矿围岩中的矿床,蚀变强弱和类型基本相似,主要有白云岩化、黄铁矿化、方解石化、硅化、重晶石化、绿泥石化。

成矿以中低温和中浅成为主。这些矿床的形成温度多数在 $120 \sim 200^\circ\text{C}$ 之间,矿床主成矿阶段的形成温度比较低,并且十分接近,大多在 $140 \sim 190^\circ\text{C}$ 之间,属典型的低温矿床。矿床的成矿流体为地下热卤水。包裹体水的同位素投点远离岩浆水和变质水之范围,位于地热水范围内,说明成矿流体来自大气降水的可能性较大。

最近,张长青等在会泽铅锌矿体中找到块状蚀变黏土矿物集合体,使用K-Ar法进行测年,获得 $176.50 \pm 2.54\text{Ma}$ 数据,表明为侏罗纪成矿。

玄武岩型铜矿:扬子克拉通西缘的峨眉山玄武岩是中国二叠纪末地幔柱活动的产物(徐义刚等, 2002; 张招崇等, 2003)。在溢流玄武岩中自然铜矿化普遍发育,局部构成矿床。富矿部位往往都与大量沥青和/或有机碳共存。按照赋矿围岩特点可以分为以玄武质角砾岩和含炭沉积夹层为主岩的铜矿层(朱炳泉等, 2002; 李厚民等, 2004a, b)。

玄武岩流顶部的蚀变玄武质角砾岩是铜矿化的

主岩之一。这类铜矿化主要呈网脉状充填于角砾间隙及呈浸染状分布于强烈蚀变的沥青硅质岩中,少量充填于气孔中。肉眼观察、岩矿鉴定及电子探针分析表明(李厚民等, 2004a):矿石矿物主要为自然铜,其次为表生氧化产物黑铜矿、赤铜矿及孔雀石,还有少量硅孔雀石;脉石矿物主要为沥青、石英,其次为沸石、方解石、绿帘石、绿泥石、钠长石,还有少量楣石、褐铁矿、葡萄石、铁阳起石及黄铁矿等。充填于沥青裂隙中的自然铜呈片状,充填于气孔中的自然铜呈豆状、环状、新月状,浸染状分布于蚀变岩中的自然铜为不规则粒状,粒径变化大,粗大者可达数厘米。这类矿石的品位变化较大,高者可达20%以上。

玄武岩流间的含炭沉积岩是铜矿化的另一主岩。这类铜矿化呈浸染状产于沸石炭质岩、炭质沸石岩、炭质硅质岩等蚀变沉积岩中,受原岩沉积成分层控制的特点明显,也见呈网脉状充填于碳质透镜体的裂隙中(李厚民等, 2004a)。矿石矿物主要为自然铜及其表生氧化产物黑铜矿、赤铜矿及孔雀石,脉石矿物较玄武岩中铜矿石简单,以石英、炭质物和沸石为主,其次为方解石、钠长石等。自然铜呈片状及不规则粒状,中~粗粒,比玄武岩中自然铜更容易氧化为黑铜矿、赤铜矿等;辉铜矿呈斑点状产于蚀变沉积岩中,光片中可见其与石英一起交代层孔虫并保留生物体结构。这类矿石的品位变化也较大,高者也可达20%。

据毛景文等(2003b)和李厚民等(2004b)研究,铜矿石中沥青 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-33.1\text{‰} \sim -30.9\text{‰}$,炭质 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-23.2\text{‰} \sim -20.2\text{‰}$,显示玄武岩中铜矿石的沥青为来自下伏较老地层的异地来源的腐泥型有机质,而玄武岩流间含炭沉积夹层中的铜矿石炭质为原地来源的腐植型有机质;方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 一般为 $-13.5\text{‰} \sim -19.4\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 一般为 $19.0 \sim 23.5\text{‰}$;石英流体包裹体水的 δD 为 $-69\text{‰} \sim -89\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英-SMOW}}$ 为 $15.7\text{‰} \sim 17.4\text{‰}$,与其平衡的流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水-SMOW}}$ 为 $2.18\text{‰} \sim 3.88\text{‰}$,显示成矿流体可能为与玄武岩发生了水岩反应和同位素交换的最初来自大气降水的盆地热卤水;各种矿物的铅同位素组成一般为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $17.8549 \sim 18.9233$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $15.5027 \sim 15.6940$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $38.2929 \sim 39.0363$,显示成矿物质来自地壳;辉铜矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 为 19.2‰ 和 20.7‰ ,显示硫来自盆地膏盐层;铜矿石石英及方解石中有三种类型的流体包裹体:富含沥青和液态烃的有机包裹体;

中高盐度气相为甲烷液相为水的卤水包裹体: 盐度 8% ~ 22% (NaCl_{eq}), 均一温度 80~ 200 ; 低盐度气液包裹体: 盐度 2.5% ~ 4.0% (NaCl_{eq}), 均一温度 150~ 200 , 反映成矿流体有三个端元: 盆地有机流体、盆地卤水和大气降水。

目前仍然缺少可靠的测年数据, 但是, 除了在玄武岩流顶部的主要矿化外, 上二叠统宣威组底部砾岩中、玄武岩与下伏二叠纪栖霞茅口组灰岩的接触面附近以及侏罗纪砂岩都出现自然铜矿化。朱炳泉等(2004, 北京西山同位素会议论文集)也报导了与铜矿化共生的片沸石的 Ar-Ar 坪年龄为 149Ma, 等时线年龄为 165Ma。由于溢流玄武岩是一个富铜的地球化学块体或称之为物质源, 淬碎玄武质角砾岩为后期有机流体和成矿流体的就位提供了储层; 古油藏和含碳沉积岩夹层为成矿热液中成矿物质的沉淀提供了还原条件; 盆地卤水和大气降水受加热形成对流循环系统, 通过水岩反应从玄武岩中萃取出成矿物质形成含矿流体; 成矿流体与有机流体的混合及不同来源不同物理化学条件的无机流体的混合, 使成矿流体中 Cu 以自然铜形式沉淀成矿(图 10)。

以上在西南地区广泛产出的三种类型矿床虽然

在物质组分上有明显的差别, 但是有更多相似之处。它们都是后生矿床, 受断裂系统的明显控制; 都是在盆地形成和演化过程中, 由于下部热源体驱动形成对流循环系统, 尽管有深部流体或岩浆流体的信息, 但以大气降水和古地层水为主导, 流体在运移过程中通过水岩反应获取成矿物质, 进而在有利的构造和地层层位沉淀成矿; 硫和碳同位素显示他们来自地壳本身, 玄武岩自然铜矿体中的有机质和沥青来源于腐殖质和石油; 成矿物理化学条件相似, 中低温和低盐度。他们不同之处在于赋矿围岩有差别, 卡林型金矿的围岩主要为碎屑岩, 密西西比型铅锌矿为碳酸盐岩, 而自然铜矿主要在溢流玄武岩及夹层中。由于碎屑岩和玄武岩分别富含金和铜元素, 他们可能为成矿提供部分物质, 但是碳酸盐岩含铅锌元素不很高, 但的确世界上所有的密西西比型铅锌矿都产出在碳酸盐岩中, 可能是由于碳酸盐岩有利于含矿流体沉淀出铅锌而成矿。对于成矿时代仍然有很多争议, 主要归结于对这些矿床测年仍然缺少精确的方法。最近研究表明卡林型金矿形成于中晚白垩世; 也有报道密西西比型铅锌矿形成于三叠纪(李文博等, 2004), 但控矿断裂似乎比较新, 形成于中生代, 而且三叠纪该

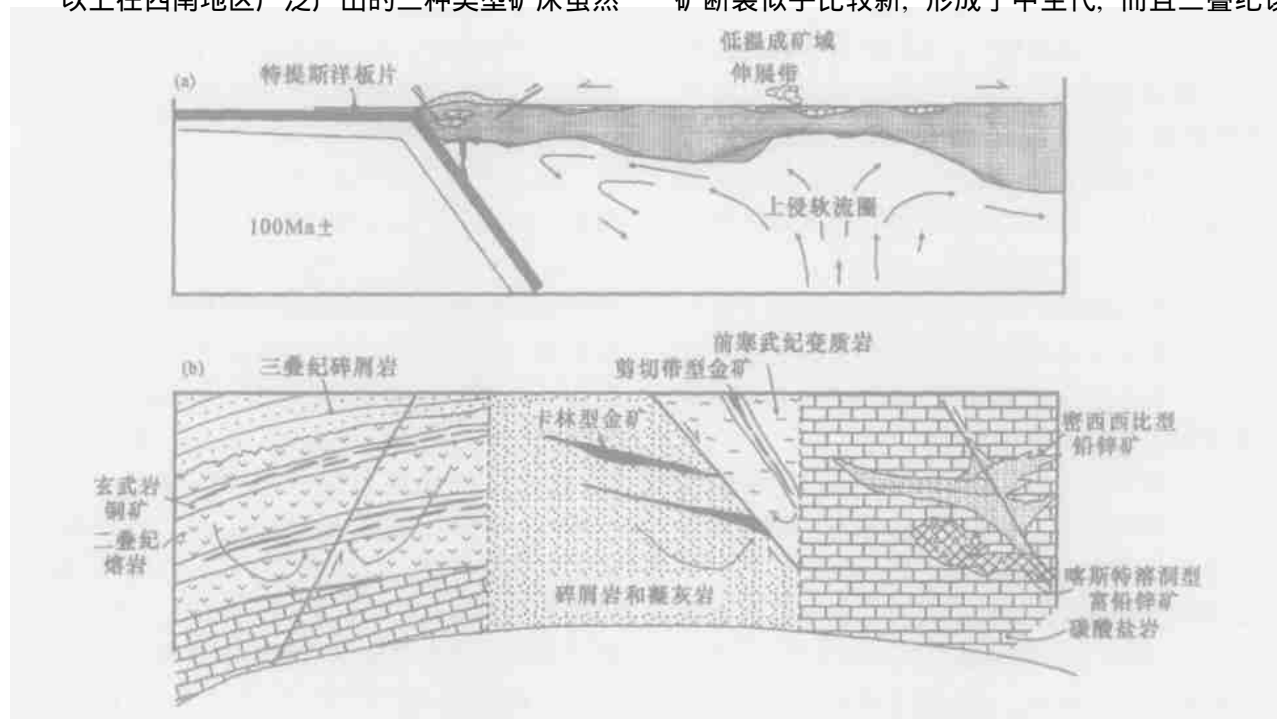


图 10 扬子地块西南缘造山带东侧侏罗纪—白垩纪盆地低温金属矿床(含卡林型金矿、密西西比河谷型铅锌矿和席状玄武岩容矿的铜矿)的成矿地球动力学模式图

Fig. 10 Geodynamic-ore-forming model of the low-temperature hydrothermal metallic deposits comprising Carlin type gold, MVT Pb-Zn and flood basalt hosting Cu in the Jurassic—Cretaceous basins east to the NS-trending orogenic belt at the southwestern margin of Yangtze Plate

地区是一个稳定的台地, 不存在形成这类矿床的环境; 玄武岩自然铜矿形成与沥青有关, 而且沥青贯入时期在溢流玄武岩冷凝之后, 因此, 石油和含矿流体先后汇聚在盆地中, 最终形成这种还原环境下产出的自然铜矿。通过区域地质和成矿演化分析, 初步认为西南地区自震旦纪至三叠纪总体上处于相对稳定状态, 到侏罗纪由于古特提斯大洋板块向东俯冲, 形成大陆边缘造山带, 侏罗纪—白垩纪在山链弧后地区发生伸展, 岩石圈减薄, 热流及物质上升, 形成一系列对流循环系统, 在不同围岩中形成不同的矿床组合(图 10)。

5 结论

(1) 选择典型区带, 对中国造山带矿床进行了全面总结研究。提出中国造山带矿床可以分为碰撞造山过程成矿和俯冲造山过程成矿两大类型。而碰撞造山过程成矿又分为同碰撞造山过程成矿和后碰撞造山成矿; 对于俯冲造山有关的成矿作用仅讨论了大陆边缘造山带弧后伸展成矿作用。

(2) 以青藏高原为例, 将同碰撞造山过程成矿又分为碰撞造山期成矿、松弛期(伸展)成矿、走滑拉分盆地成矿和剪切带扩容成矿。这四个类型成矿作用形成的矿床类型有差别, 但它们的共同特点是成矿作用与伸展构造密切相关, 第一类碰撞造山期成矿也并非沿主造山构造成矿, 而是沿垂直主压应力的伸展构造成岩成矿。

(3) 对于古造山带, 碰撞造山期间形成的矿床很少被保存下来, 通常可以见到后碰撞形成的大量矿床组合。以西秦岭和东天山为例, 剖析了后碰撞造山成矿特点、过程和成矿规律。在东天山尽管有碰撞期形成的斑岩铜矿, 但是, 大规模成矿作用形成于后碰撞的 290~ 270Ma 期间。在西秦岭金矿大规模成矿也是出现于后碰撞的 210~ 160Ma, 明显晚于 240~ 220Ma 的碰撞造山期。

(4) 在扬子克拉通西南缘发育有中国颇有特色的低温成矿域, 包括广泛分布的卡林型金矿、密西西比型铅锌矿和玄武岩型铜矿。笔者等认为, 这些矿床形成于中生代大陆边缘造山带弧后伸展盆地, 矿床形成过程为在伸展区底劈侵位的岩浆作为能源, 驱动盆地流体运移和对流循环, 成矿物质来自围岩, 因而富金的浊积岩和火山碎屑岩为卡林型金矿的主岩, 富铅锌的碳酸盐岩为MVT型矿床的主岩, 而富铜的溢流玄武岩是铜矿的主岩。

(5) 上述三大类型矿床, 无论形成于碰撞造山

期间、碰撞后还是俯冲造山期间, 无论形成于造山带的那一部位, 成矿作用的发生都与伸展构造有着密切的关系。

致谢: 本文是基于诸多前辈、同仁工作的基础和笔者等已有的研究, 对造山带成矿动力学背景进行的初步探索和思考。在论文撰写过程中, 得到陈毓川院士、裴荣富院士、赵文津院士、汤中立院士、赵一鸣研究员和芮宗瑶研究员的热情指导, 并与李锦轶研究员、聂凤军研究员、王登红研究员和章雨旭研究员等就有关问题进行了讨论, 受益匪浅, 在此一并致以衷心感谢。由于部分矿床类型仍然缺少精确年龄资料, 对于反演其地球动力学背景及构筑其成矿地球动力学的整体格架带来了困难, 其中某些内容存在认识不足或过多推断, 甚至可能有荒谬之处, 敬请商榷和批评指正。

注 释

李晓峰 2003 扬子地台西缘金矿成矿流体地球化学 中国地质科学院博士后出站报告 1~ 110

毛景文, 杨建民, 王志良, 韩春明 2002 东天山铜金成矿地质背景和成矿过程研究 国土资源大调查研究报告(项目编号: DKC9902001), 中国地质科学院矿产资源研究所, 内部报告, 1~ 293

秦克章 2000 新疆北部中亚型造山与成矿作用 中国科学院地质与地球物理研究所博士后研究报告

吴香尧, 骆耀南 1996 四川石棉田湾磨西剪切带的变形机制及其运动学分析(内部资料)

李华芹, 刘德权 2003 矿产基础地质研究取得重要成果 新疆维吾尔自治区人民政府国家 305 项目办公室简报, 第 3 号

张长青, 毛景文, 刘峰, 李厚民 2005 云南会泽铅锌矿床中粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义 矿床地质, 待刊

参 考 文 献

- 毕献武, 胡瑞忠, 何明友 1996 袁牢山金矿带 ESR 年龄及其地质意义 科学通报, 41(14): 1301~ 1303
- 边千韬 2000 地球壳幔结构构造与超大型矿床关系初议(以云南地区为例)。见: 涂光炽, 等著 中国超大型矿床(I)。北京: 科学出版社, 545~ 569
- 蔡新平 1992 扬子地台西缘新生代富碱斑岩中的深源包体及其意义 地质科学, 27(2): 289~ 293
- 陈衍景 1996 陆内碰撞造山体制的流体作用模式及与成矿的关系 地学前缘, 3(3~ 4): 282~ 289
- 陈衍景 2002 中国区域成矿研究的若干问题及与陆-陆碰撞的关系 地学前缘, 9(4): 319~ 328
- 陈毓川, 李兆薰, 母瑞身 2001 中国金矿床及其成矿规律 北京: 地质出版社, 182~ 241
- 陈智梁, 刘宇平, 魏少青, 等 1997 康定大渡河两岸主要金矿区矿田构造研究 北京: 地质出版社, 1~ 58
- 邓万明, 黄萱, 钟大赉 1998a 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因 地质科学, 33(4): 414~ 425
- 邓万明, 黄萱, 钟大赉 1998b 滇西金沙江带北段的富碱斑岩及其与板内变形的关系 中国科学(D 辑), 28(2): 111~ 117

- 地质矿产部成都地质矿产研究所. 1987. 扬子地台西缘地质构造演化. 重庆出版社, 121~147
- 杜安道, 何红廖, 殷宁万, 等. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339~346
- 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 苏文超, 漆亮. 2001. 墨江镍金矿床(黄铁矿)硅质岩的成岩成矿时代. 科学通报, 46(10): 857~860
- 傅小方, 侯立玮. 1996. 扬子地台西缘剪切带金矿床的分类和控矿因素. 见: 骆耀南, 编. 扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集. 成都: 四川科学技术出版社, 138~147.
- 高振敏, 李红阳. 2002. 滇黔地区主要类型金矿的成矿与找矿. 北京: 地质出版社, 1~243
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 吴昌志, 严正富. 2001. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化. 岩石学报, 17(4): 585~597
- 何朋友, 胡瑞忠. 1997. 哀牢山金矿带深源流体及其成矿作用. 成都理工大学学报, 24(1): 73~77
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 李晓波, 王宗起, 王二七. 2003a. 初论陆-陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例. 矿床地质, 22(4): 319~333
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 2003b. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 $Re-Os$ 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用. 中国科学, 33(7): 609~618
- 胡瑞忠, Turner G, Burnard P. 1999. 哀牢山金矿带成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学. 中国科学(D辑), 29: 321~330
- 胡云中, 唐上鹤, 杨岳清. 1995. 哀牢山金矿地质. 北京: 地质出版社, 1~278
- 姬生金, 薛春纪, 曾章仁, 杨兴科. 1997. 新疆东天山康古尔塔格金矿带研究. 地质论评, 43(1): 69~77
- 姬生金, 杨兴科, 苏生瑞. 1994a. 东天山康古尔塔格金矿带成矿条件分析. 地质找矿论丛, (4): 49~56
- 姬生金, 陶洪祥, 曾章仁. 1994b. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿. 北京: 地质出版社, 1~204
- 姜立丰等. 1997. 哈密县 885 至 846 高地八幅 1:5 万区调填图及遥感图象资料在 1:5 万区调填图中的应用(新疆地调院内部报告).
- 李厚民, 毛景文, 张长青, 许虹, 陈毓川. 2004a. 滇黔交界地区玄武岩铜矿有机质组成、结构及成因. 地质学报, 78(4): 519~526
- 李厚民, 毛景文, 张长青, 许虹, 陈毓川, 王登红. 2004b. 滇黔交界地区玄武岩铜矿同位素地球化学特征. 矿床地质, 2004a, 23(2): 232~240
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 1~264
- 李锦铁. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评, 50(3): 304~322
- 李文博, 黄智龙, 王银喜, 陈进, 等. 2004. 会泽超大型铅锌矿田方解石 $Sm-Nd$ 等时线年龄及其地质意义. 地质论评, 50: 189~195
- 李先祥, 李行, 等. 1991. 新疆铂族元素成矿地质条件及找矿方向. 见: 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 第 33 号. 北京: 地质出版社, 1~3
- 李晓峰, 毛景文, 陈文. 2005. 四川缙云山金矿两类矿石 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄及其地质意义. 地质论评, 51(3): 334~339
- 李晓峰, 毛景文, 王登红, 罗辅勋. 2004. 四川大渡河金矿田成矿流体来源的氮、氩、硫、氢、氧同位素示踪. 地质学报, 78(2): 203~210
- 梁华英. 2002. 青藏高原东缘斑岩铜矿成岩成矿研究取得新进展. 矿床地质, 21(4): 365
- 林武, 梁华英, 张玉泉, 谢雯雯. 2004. 冈底斯铜矿带冲江含钨斑岩的岩石化学及锆石 SHRIMP 年龄特征. 地球化学, 33(6): 585~592
- 刘文周, 徐新煌. 1994. 康滇地轴东缘的构造控矿作用. 矿床地质, 13(增): 27~29
- 刘文周, 徐新煌. 1996. 论川滇黔铅锌成矿带矿床与构造的关系. 成都理工学院学报, 23(1): 71~77
- 刘显凡, 战新志, 高振敏, 刘家军, 李朝阳, 苏文超. 1999. 云南六合深源包体与富碱斑岩成岩成矿的关系. 中国科学(D辑), 29(5): 413~420
- 吕伯西, 王增, 张能德. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性. 北京: 地质出版社
- 罗君烈, 李志伟. 2001. 云南中西部喜马拉雅山期岩浆及成矿研究新进展. 云南地质, 20(3): 229~242
- 罗君烈, 杨友华, 赵准, 等. 1994. 滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用. 北京: 地质出版社, 141~239
- 骆耀南, 俞如龙, 侯立玮, 等. 1998. 龙门山—锦屏山陆内造山带. 成都: 四川科学技术出版社, 59~85
- 毛景文, 杨建民, 韩春明, 王志良. 2002a. 新疆东天山铜金矿床成矿系统和成矿地球动力学过程. 地球科学, 27(4): 413~42
- 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 杜安道, 王志良, 韩春明. 2002b. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 $Re-Os$ 同位素测定及其地球动力学意义. 矿床地质, 21(4): 323~330
- 毛景文, 王义天, 韩春明, 王志良, 杨建民. 2002c. 中亚地区南天山大型金矿带的地质特征, 成矿模型和勘查准则. 地质通报, 21(12): 858~868
- 毛景文, 李晓峰, 张作衡, 王义天, 李厚民, 胡华斌. 2003a. 中国东部中生代浅成热液金矿的类型、特征及其地球动力学背景. 高校地质学报, 9(4): 620~637
- 毛景文, 王志良, 李厚民, 王成玉, 陈毓川. 2003b. 云南鲁甸地区二叠纪玄武岩中铜矿床的碳氧同位素对成矿过程的指示. 地质论评, 49(6): 610~615
- 毛景文, 张招崇, 杨建民, 左国朝, 张作衡, 叶得金, 等. 2003c. 北祁连山西段地质演化和金属矿床成矿规律. 北京: 地质出版社, 1~437
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 牛宝贵. 2003d. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄测得到启示. 中国科学(D辑), 33(4): 289~300
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 2004a, 11(1): 45~55
- 毛景文, Stein H, 杜安道, 等. 2004b. 长江中下游地区铜金矿 $Re-Os$ 年龄测及其对成矿作用的指示. 地质学报, 78(1): 121~131
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 $Re-Os$ 年龄证据. 矿床地质, 22(3): 246~252
- 倪志耀. 1992. 新疆哈密黄山东镁铁—超镁铁杂岩体成因探讨. 西北地质, 13(2): 9~16
- 聂凤军, 胡朋, 李振清, 江思宏. 2005. 藏南地区金和锑矿床(点)类型及其时空分布特征. 地质学报, 79(3): 373~385
- 潘保田, 方小敏, 李吉均. 1998. 晚新生代青藏高原隆升与环境变化. 见: 施雅风, 李吉均, 李炳元, 主编. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州: 广东科技出版社, 1~463
- 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣, 焦淑沛, 向天秀. 1990. 青藏高原新生代构造演化. 北京: 地质出版社
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带. 矿床地质, 20(4): 355~366
- 阙梅程, 程敦摸, 张立生. 1998. 兰坪—思茅盆地铜矿床. 北京: 地质出版社, 1~17, 37~46
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003. 冈底斯斑

- 岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升. 矿床地质, 22(3): 217~ 225
- 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 1984 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社
- 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 刘玉琳. 2002 东天山土屋和延东铜矿时代讨论. 矿床地质, 21(1): 16~ 22
- 邵世才, 汪东波. 2001 南秦岭三个典型金矿床的A_r-R_r年代及其地质意义. 地质学报, 75(1): 106~ 110
- 沈上越, 魏启荣, 程惠兰, 莫宣学. 1997 云南哀牢山金矿带成因类型探讨. 特提斯地质, 21: 73~ 84
- 石准立, 刘瑾璇, 金勤海. 1993 与碱性碳酸盐有关的双王金矿床. 见: 秦巴金矿论文集. 北京: 地质出版社, 133~ 146
- 宋新宇, 秦功炯, 李忠文. 1993 老王寨金矿地质地球化学特征及矿床成因探讨. 现代地质, 7(增刊): 78~ 88
- 汤中立. 2002 华北古陆西南缘成矿系统及成矿构造动力学. 北京: 地质出版社, 1~ 393
- 唐仁鲤, 罗怀松. 1995 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质. 北京: 地质出版社, 1~ 320
- 涂光炽, 等. 2000 中国超大型矿床(I). 北京: 科学出版社, 1~ 569
- 涂光炽. 1989 关于富碱侵入岩. 矿产与地质, 3(3): 1~ 4
- 涂光炽等. 1998 低温地球化学. 北京: 科学出版社, 1~ 266
- 王登红, 杨建民, 薛春纪, 闫升好, 陈毓川, 徐珏. 2001 西南三江—大渡河地区喜马拉雅金成矿作用同位素年代学依据. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生矿作用研究. 北京: 地震出版社, 84~ 87
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002a 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律. 北京: 原子能出版社, 1~ 493
- 王登红, 陈毓川, 等. 2004a 新生代成矿作用. 北京: 地质出版社
- 王登红, 屈文俊, 李志伟, 应汉龙, 陈毓川. 2004b 金沙江—红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年. 中国科学(D 辑), 34(4): 345~ 349
- 王建, 李建平, 王江海. 2003 滇西大理—剑川地区钾玄质岩浆作用: 后碰撞走滑拉伸环境岛弧型岩浆作用的地球化学研究. 岩石学报, 19(1): 61~ 70
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 李葆华, 刘文周. 2002 川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比. 矿物岩石地球化学通报, 21(2): 127~ 132
- 王京彬, 李朝阳. 1991 金顶超大型铅锌矿床REE. 地球化学研究. 地球化学, 19(4): 359~ 365
- 王平安, 陈毓川, 裴荣富, 吴淦国. 1998 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造成矿旋回与演化. 北京: 地质出版社
- 王润民, 李思楚. 1995 新疆哈密黄山东铜镍硫化物矿床成岩成矿物理化学条件. 成都地质学院院报, 14(3): 1~ 10
- 王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 王方国. 1987 西藏蛇绿岩. 北京: 地质出版社
- 王砚耕, 王立亭, 张明发, 汪窿六. 1995 南盘江地区浅层地壳结构与金矿分布模式. 贵州地质, 11(2): 91~ 183
- 吴香尧, 李洪伟, 贺金良, 杨铸生, 李联康, 邓泰祥. 1996 石棉县田湾—田坪成矿带共生金矿床地质特征. 见: 骆耀南, 主编. 扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集. 成都: 四川科学技术出版社, 153~ 160
- 夏文杰, 杜森官, 徐新煌等. 1994 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1~ 120
- 谢桂青, 胡瑞忠, 毛景文. 2004 云南省墨江金矿床成矿时代探讨. 矿床地质, 23(2), 253~ 260
- 徐启东, 李建威. 2003 云南兰坪北部铜多金属矿化区成矿流体流动与矿化分带. 矿床地质, 22(4): 365~ 376
- 徐义刚. 2002 地幔柱构造、大火成岩省及其地质效应. 地学前缘, 9(4): 341~ 353
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 1992 松潘—甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社
- 薛春纪, 姬金生, 曾章仁. 1995 东天山康古尔金矿带金矿床基本类型及成矿规律. 西北地质, 16(4): 30~ 36
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 杨伟光, 杨清标. 2002a 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析. 矿床地质, 21(1): 36~ 44
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 徐珏. 2002b 滇西北兰坪铅锌银铜矿田含炔富CO₂成矿流体及其地质意义. 地质学报, 76(2): 244~ 253
- 薛春纪, 陈毓川, 王登红, 杨建民, 杨伟光, 曾荣. 2003 滇西北金顶和白秧坪矿床: 地质和Ne、Ne、Xe 同位素证据. 中国科学(D 辑), 33(4): 315~ 322
- 闫升好, 杨建民, 王登红, 陈毓川, 徐珏. 2002 大渡河金矿田喜马拉雅期成矿的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄依据及其意义. 地质学报, 76(3): 384~ 388
- 杨建国, 姬金生, 卢登蓉. 1998 东天山西滩金矿床地质特征与成矿条件. 矿床地质, 17(增刊): 349~ 352
- 杨兴科, 姬金生, 罗桂昌, 陶洪祥. 1997 东天山板块构造与金属矿产成矿规律. 西安地质学院学报, 19(3): 34~ 42
- 杨应选, 柯成熙, 林方成, 等. 1994 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律. 成都: 四川科学技术出版社
- 尹汉辉, 范蔚茗, 林舸. 1990 云南兰坪—思茅地洼盆地演化的深部因素及幔—壳复合成矿作用. 大地构造与成矿学, 4(2): 113~ 124
- 应汉龙, 刘和林, 李志伟. 2004 云南东川播卡—拖布卡地区含金石英脉的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄依据及其地质意义. 地质论评, 50(2): 196~ 202
- 余金杰. 2001 藏北锑矿带矿床地质特征及与藏南锑矿带粗略对比. 中国地质科学院博士论文, 1~ 102
- 翟裕生. 2002 古陆边缘成矿系统. 北京: 地质出版社, 1~ 383
- 张成江, 倪师军, 滕彦国, 彭秀红, 刘家铎. 2000 兰坪盆地喜马拉雅期构造-岩浆活动与流体成矿的关系. 矿物岩石, 20(2): 35~ 39
- 张峰, 扬科佑. 1992 黔西南微细浸染型金矿裂变迹成矿时代研究. 科学通报, (17): 1593~ 1595
- 张连昌, 姬金生, 李华芹, 沈远超. 2000 东天山康古尔塔格金矿带两类成矿流体地球化学特征及流体来源. 岩石学报, 16(4): 535~ 541
- 张连昌, 姬金生, 赵伦山. 1999 东天山西滩浅成低温热液型金矿成矿地质地球化学动力学. 西安工程学院学报, 21(2): 13~ 18
- 张良臣, 吴乃元. 1985 天山地质构造及演化史. 新疆地质, 3(3): 1~ 14
- 张乾, 邵树勋, 刘家军, 刘志浩. 2002 兰坪盆地大型矿集区多金属矿床的铅同位素组成及铅的来源. 矿物学报, 22(2): 147~ 154
- 张乾. 1993 云南金顶超大型铅锌矿床的铅同位素组成及铅来源探讨. 地质与勘探, 29(5): 21~ 28
- 张玉泉, 谢应雯, 梁华英, 邱华宁, 李献华, 钟孙霖. 1998 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩及成矿系列. 地球化学, 27(3): 236~ 243
- 张岳桥, 杨农, 孟晖, 陈文. 2004 四川攀西地区晚新生代构造变形历史与隆升过程初步研究. 中国地质, 31(1): 23~ 33
- 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜, 等. 1988 攀西裂谷. 北京: 地质出版社
- 张国伟, 郭安林, 刘福田, 肖庆辉, 孟庆任. 1996a 秦岭造山带三维结构及其动力学分析. 中国科学(D 辑), 26(增刊): 1~ 6
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 1996b 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D), 26(3): 193~ 200

- 张招崇, 郝艳丽, 王福生 2003 大火成岩省中苦橄岩的研究意义
地质学前沿, 10(3): 105~ 114
- 张作衡, 毛景文, 李晓峰 2004 双王角砾岩型金矿床地质地球化学
及成矿机制 矿床地质, 2004, 23(2): 241~ 252
- 赵文津, 吴珍汉 2004 加强地表层与深层调查的结合, 深化对中国
大地构造特征的认识 地质论评, 50(3): 256~ 266
- 赵兴元 1989 云南金顶铅锌矿床稳定同位素地球化学研究 地球科
学, 14(5): 523~ 530
- 周济元, 茅燕石, 黄志勋, 等 1994 东天山古大陆边缘火山地质 成
都科技大学出版社, 1~ 280
- 周维全, 周全立 1992 兰坪铅锌矿床铅和硫同位素组成研究 地球
化学, 20(2): 141~ 148
- 朱炳泉, 常向阳, 胡耀国, 张正伟 2002 滇黔边界鲁甸沿河铜矿床
的发现与峨眉山大火成岩省找矿新思路 地球科学进展, 17
(6): 912~ 917.
- 朱赖民, 刘显凡, 金景福, 何明友 1998 滇黔桂微细浸染型金矿床
时空分布与成矿流体来源研究 地质科学, 33(4): 463~ 474
- 庄新国 1995 桂西北地区古地热场特征及其在微细粒浸染型金矿床
形成中的作用 矿床地质, 14(1): 82~ 89

References

- Beck R A, Burbank D W, Sercombe W J. 1995 Stratigraphic evi-
dence for an early collision between northwest India and Asia
Nature, 373: 55~ 58
- Behn G, Camus F, Carrasco P, Ware H. 2001 Aeromagnetic sig-
nature of porphyry copper systems in Northern Chile and its ge-
ologic implications Economic Geology, 96: 239~ 248
- Bi Xianwu, Hu Ruizhong, He Mingyou 1996 Age determination of
Ailaoshan (Ailaoshan) gold metallogenic belt by ESR method
and its geological significance Chinese Science Bulletin, 41
(18): 1546~ 1549
- Bian Qiantao 2000 Primary study on the relationship between the
texture of the Crust—Mantle and super-large mineral de-
posits—an example of Yunnan Province In: Tu Guangchi,
et al., eds The Super-large Mineral Deposits in China (I).
Beijing: Science Press, 545~ 569 (in Chinese).
- Brabbon D F, Podosek F A, McInnis R K. 1992 Alleghenian age
of the Upper Mississippi Valley-type zinc-lead deposit deter-
mined by Rb-Sr dating of sphalerite Nature, 356: 509~ 511.
- Cai Xiping 1992 Discovery of deep-derived xenoliths in Cenozoic
alkali-rich porphyries along the margin of the Yangtze Platform
and its significance Scientia Geologica Sinica, 27(2): 289~ 293
(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing 1996 Fluidization model for intracontinental collision
and its metallogenic significance: theoretical inference and
evidences from gold deposits, the eastern Qinling Mountains
Earth Science Frontiers, 3(3~ 4): 282~ 289 (in Chinese with
English abstract).
- Chen Yanjing 2002 Several important problems in study of regional
metallogenesis in China: their relationship to continental col-
lision Earth Science Frontiers, 9(4): 319~ 328 (in Chinese
with English abstract).
- Chen Yuchuan, Li Zhaonai, Mu Ruishen 2001 Gold deposits and
metallogeny in China Beijing: Geological Publishing House,
182~ 241 (in Chinese).
- Chen Zhiliang, Liu Yuping, Wei Shaoqing 1997 Study on the ore-
field structures of the main gold field along the Dadu River,
Kangding County, Sichuan Beijing: Geological Publishing
House: 1~ 58 (in Chinese).
- Deng Wann ing, Huang Xuan, Zhong Dalai 1998a Petrological
characteristics and genesis of Cenozoic alkali-rich porphyry in
west Yunnan, China Scientia Geologica Sinica, 33(4): 414~
425 (in Chinese with English abstract).
- Deng Wann ing, Huang Xuan, Zhong Dalai 1998b Alkali-rich por-
phyry and its relation with intraplate deformation of north part
of Jinsha River belt in western Yunnan, China Science in Chi-
na, Ser. D, 41(3): 297~ 305
- Dewey J F. 1998 Extensional collapse of orogens Tectonics, 7:
1123~ 1139
- Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, et al 1994 A study on the
rhenium-osmium geochronology of molybdenites Acta Geologi-
ca Sinica, 68(4): 339~ 346 (in Chinese with English abstract).
- Durr S B. 1996 Provenance of Xizang fore-arc basin clastic rocks
(Cretaceous, south Tibet). Geol Soc Am. Bull., 108: 669
~ 684
- Eisenlohr B N, Topkins L A, Cathles L M, Barley M E, Groves D
I 1994 Mississippi Valley-type deposits: Products of brine
expulsion by ecstatically induced hydrocarbon generation? An
example from northwestern Australia Geology, 22: 315~
318
- Fan S, Jin Q. 1994 The Shuangwang gold deposit in Shaanxi
province In: Liu D S, et al., eds Chinese Carlin-type gold
deposits (in Chinese). Press of Nanjing University, 254~ 285
- Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, Su Wen chao, Qi Liang
2001 Diagenetic-metallogenic ages of pyritic cherts and their
implications in Mojiang nickel-gold deposit in Yunnan Province,
China Chinese Science Bulletin, 46(21): 1823~ 1827.
- Fu Xiaofang, Hou Liwei 1996 The classification and ore-control-
ling factors of the shear-type gold deposits in the western mar-
gin of Yangtze Craton In: Luo Yaonan, ed The Corpus of the
Geology and Mineral Resources in the Inner-Continental Oro-
gen in the Southwestern Margin of Yangtze Craton Chengdu:
Sichuan Science and Technology Press, 138~ 147 (in Chinese).
- Gaetani M, Grzanti E. 1991 Multicyclic history of the northern In-
dia continental margin (northwestern Himalaya). Am. Assoc
Pet Geol Bull., 75: 1427~ 1446
- Gao Zhenmin, Li Hongyang 2002 The ore formation and explo-
ration of the main types of gold deposits in Yunnan and
Guizhou Beijing: Geological Publishing House: 1~ 243 (in
Chinese).
- Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. 2001 Orogenic gold and geo-
logical time: a global synthesis Ore Geological Review, 18: 1
~ 73
- Goldfarb R J, Phillips G N, Nokleberg W J. 1998 Tectonic setting
synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. Ore Geological
Review, 13: 7~ 27.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G,
Robert F. 1998 Orogenic gold deposits: a proposed classifica-
tion in the context of the crustal distribution and relationships
to other gold deposit types Ore Geology Reviews, 13: 7~ 27.
- Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, Wu Changzhi, Yan Zheng-
fu 2001 Initiation and evolution of the Bogda subduction-torn-
type rift Acta Petrologica Sinica, 17(4): 585~ 597 (in Chinese
with English abstract).
- Guild P M. 1972 Metallogeny and the new global tectonics 24th
IGC, 4: 17~ 24

- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F. 1992 Raising Tibet Science, 288: 1663~ 1670
- Harrison T M, Grove M, Lovera O M. 2000 Displacement history of the Gangdese thrust, Southeastern Tibet J Geophys Res, 105: 19211~ 19230
- Hart C J R, Goldfarb R J, Qiu Y, Snee L, Miller L D, Miller M L. 2002 Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic—Mesozoic mineralizing events Mineralium Deposita, 37: 326~ 351
- He Mingyou, Hu Ruizhong. 1997 The deep fluid and its ore-forming process of the Ailaoshan (Ailao Mt) gold metallogenic belt Journal of Chengdu University of Technology, 24(1): 73~ 77 (in Chinese with English abstract).
- Hofstra A H. 1995 Timing and duration of Carlin-type gold mineralization in Nevada and Utah—relation to back arc extension and magmatism (abs). Geol Soc Amer Abstracts with programs, 27(6): 329
- Hou Zengqian, Lü Qingtian, Wang Anjian, Li Xiaobo, Wang Zongqi, Wang Erqi. 2003a Continental collision and related metallogeny: a case study of mineralization in Tibetan Orogen Mineral Deposits, 22(4): 319~ 333 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Wang Shuxian, Du Andao, Gao Yongfeng, Huang Wei. 2003b Re-Os ages of molybdenite in the Gangdese porphyry copper belt, Qinghai—Tibet Plateau: Timing of mineralization and application of the dynamic background Science in China, 33: 609~ 618 (in Chinese).
- Hu Ruizhong, Su Wenchao, Bi Xianwu, Tu Guangchi, Hofstra A H. 2002 Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China Mineralium Deposita, 37: 378~ 392
- Hu Ruizhong, Turner G, Burnard P. 1999 He-Ar isotopic geochemistry of the ore-forming fluid in the Ailaoshan (Ailao Mt) gold belt Science in China, Ser D, 29: 609~ 618 (in Chinese).
- Hu Yunzhong, Tang Shangchun, Yang Yueqing. 1995 Geology of the gold deposits in Ailao Mountains Beijing: Geological Publishing House: 1~ 278 (in Chinese).
- James D E, Sacks I S. 1999 Cenozoic formation of the Central Andes: A geophysical perspective In: Skinner B J, ed Geology and Ore Deposits of the Central Andes Society of Economic Geology, Special Publication, 7: 1~ 26
- Jamieson R A. 1991 P-T-t paths of collisional orogenesis Geologie Rundschau, 180: 321~ 332
- Ji Jinsheng, Xue Chunji, Zeng Zhangren, et al. 1997 Study on the Kanggur Tag gold zone in the eastern Tianshan Mountains Geological Review, 43(1): 69~ 77 (in Chinese with English abstract).
- Ji Jinsheng, Yang Xingke, Su Shengrui. 1994 Analysis of the metallogenic conditions and division of the mineralizing subbelt in the region of Kanggur Tag of eastern Tianshan Contributions to Geology and Mineral Resource Research, (4): 49~ 56 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Lifeng, et al. 1997 The application of the information from 1:50000 regional survey and remote sensing in age of the 885 to 846 Highlands, Hami County, Xinjiang, to other 1:50000 geological survey (reserved reports belonging to Xinjiang Geological Survey Institute) (in Chinese).
- Ji Jinsheng, Tao Hongxiang, Zeng Zhangren. 1994b Geology and gold mineralization of Kanggur Tag gold belt, east Tianshan Mountains Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D I, Carw S. 2000 The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution, and origin Reviews in Economic Geology, 13: 501~ 551
- Koons P O, Craw D. 1991 Gold mineralization as a consequence of continental collision: an example from the Southern Alps, New Zealand Earth and Planetary Sciences Letters, 103: 1~ 9
- Le Fort P. 1996 Metamorphism and magmatism during the Himalayan collision In: Coward M P, et al, ed Collision Tectonic Geol Soc Spec Publ, 19, 159~ 172
- Leou P H, Lacassin R, Tapponnier R. 1995 Kinematics of Tertiary left-lateral shearing at the lithospheric-scale in the Ailaoshan (Ailao Mt)—Red River (Honghe River) shear zone, Yunnan, China Tectonophysics, 251: 3~ 84
- Li Houmin, Mao Jingwen, Zhang Changqing, Xu Hong, Chen Yuchuan, Wang Denghong. 2004 Characteristics of isotopic geochemistry of Emeishan basalt copper mineralization in north-eastern Yunnan Province and western Guizhou Province Mineral Deposits, 23(2): 232~ 240
- Li Houmin, Mao Jingwen, Zhang Changqing, Xu Hong, Chen Yuchuan. 2004 The composition, texture and origin of organic matter in basalt-type copper deposits in the northeastern Yunnan—western Guizhou area Acta Geologica Sinica, 78(4): 519~ 526
- Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, et al. 1998 Chronology on the mineralization of the base and noble metal deposits in the northern part of Xinjiang Beijing: Geological Publishing House: 1~ 264 (in Chinese).
- Li Jinyi. 2003 Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China Geological Review, 50(3): 304~ 322 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenbo, Huang Zhilong, Wang Yinxi, Chen Jin, Han Runsheng, Xu Cheng, Guan Tao, Yin Mudan. 2003 Age of the giant Huize Zn-Pb deposits determined by Sm-Nd dating of hydrothermal calcite Geological Review, 50(2): 189~ 195 (in Chinese with English abstract).
- Li X Z, Li X, Luo C Y, Shi Z Y, Wang Y S, Yang X. 1991 PGE metallogenic conditions and ore-searching direction in Xinjiang Journal of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, 33: 1~ 3 (in Chinese)
- Li Xiaofeng, Mao Jingwen, Wang Denghong, Luo Fuxun. 2004 Helium and argon isotope systematics in fluid inclusion of the gold deposits along the Dadu River, Sichuan Province, southwestern China Acta Geologica Sinica, 78(2): 203~ 210 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaofeng, Mao Jingwen. 2005 ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of sericite of two types ore and its geological significance in Miansawa gold deposit, Sichuan Geological Review, 51(3): 334~ 339
- Liang Huaying. 2002 The new advance in the study on diagenetic-metallogenic of porphyry copper in East margin of Qinghai—Tibet Plateau Mineral Deposits, 21(4): 365 (in Chinese).
- Lin Wu, Liang Huaying, Zhang Yuquan, Xie Yingwen. 2004 Petrochemistry and SHRMP U-Pb zircon age of the Chongjiang ore-bearing porphyry in the Gangdese porphyry copper belt Geochimica, 33(6): 585~ 592 (in Chinese)
- Liu Wenzhou, Xu Xinhuang. 1994 Control the ore-forming process

- by tectonic of Kangdian shield Mineral Deposits, 13(supp.): 27~ 29 (in Chinese).
- Liu Wenzhou, Xu Xinhua 1996 On the relationship between the deposits and tectonics of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn mineralization belt Journal of Chengdu Institute of Technology, 23(1): 71~ 77 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xianfan, Zhan Xinzhi, Gao Zhenmin, Liu Jiajun, Li Chaoyang, Su Wenchao. 1999 Deep xenoliths in alkalic porphyry, Lijue, Yunnan, and implications to petrogenesis of alkalic porphyry and associated mineralizations Science in China, Ser. D, 42(6): 627~ 635
- Luo Junlie, Li Zhivei 2001. The new advances in the study on Himalayan magmatism and metallogeny in central-western Yunnan Yunnan Geology, 20(3): 229~ 242 (in Chinese with English abstract).
- Luo Junlie, Yang Youhua, Zhao Zhun, et al 1994 Evolution of Tethys in the west of Yunnan and the mineralization of main metal deposits Beijing: Geological Publishing House, 141~ 239 (in Chinese).
- Luo Yaonan, Yu Rubong, Hou Liwei, et al 1998 Intra-continental orogen of Longmen Mt—Jinping Mt Region Chengdu Science and Technology Press: 59~ 85 (in Chinese).
- Lü Boxi, Wang Zeng, Zhang Nengde 1993 The Magmatite in Sanjiang district and their mineralization Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Mao Jingwen, Yang Jianmin, Han Chunming, Wang Zhiliang 2002a Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits and related metallogenic geodynamic model in eastern Tianshan Mts, Xinjiang Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 27(4): 413~ 422 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Yang Jianmin, Qu Wenjun, Du Andao, Wang Zhiliang, Han Chunming 2002b Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Xinjiang and its geodynamic significance Mineral Deposits, 21(4): 323~ 330 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wang Yitian, Han Chunming, Wang Zhiliang, Yang Jianmin 2002c Geological characteristics, metallogenic model and criteria for exploration of the large South Tianshan gold metallogenic belt in Central Asia Geological Bulletin of China, 21(12): 858~ 868 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Qiu Yumin, Goldfarb R J, Zhang Zhaochong, Ren Fengshou 2002f Gold deposits in the Western Qinling region Mineral Deposits, 37(3): 352~ 377.
- Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Zhang Zuoheng, Wang Yitian, Li Houmin, Hu Huabin 2003a Geology distribution types and tectonic settings of Mesozoic Epithermal gold deposit in East China Geological Journal of China Universities, 9(4): 620~ 637 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wang Zhiliang, Li Houmin, Wang Chengyu, Chen Yuchuan 2003b Carbon and oxygen isotope components in the Permian basalt-hosted copper deposit in Ludian Area, Yunnan: implication for the mineralization process Geological Review, 49(6): 610~ 615 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Yang Jianmin, Zuo Guochao, Zhang Zuoheng, Ye Dejin, et al 2003c Geological evolution and the metallogeny of metallic deposits in the western part of north Qilian Mountains Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Ni Baogui 2003d Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas—Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits Science in China, Ser. D, 46(8): 838~ 851.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong 2004a Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China Earth Science Frontiers, 11(1): 45~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Holly Stein, Du Andao, Zhou Taofa, Mei Yanxiong, Li Yongfeng, Zhang Wenshuang, Li Jinwen 2004b Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposit in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization Acta Geologica Sinica, 78(1): 121~ 131 (in Chinese with English abstract).
- Marignac C, Cuney M. 1999 Ore deposits of the French Massif Central: insight into the metallogeny of the Variscan collision belt Mineral Deposits, 34: 472~ 504
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Huang Wei, Qu Xiaoming, Qu Wenjun 2003 Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in east Gangdese belt, Tibet: evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit Mineral Deposits, 22(3): 246~ 252 (in Chinese with English abstract).
- Miller K G, Faribanks K G, Mountain G S. 1987. Tertiary oxygen isotope synthesis, sea level history and continental margin erosion Paleogeography, 1~ 19
- Mitchell A H G, Garson M S. 1981. Mineral deposits and global tectonic setting London: Academic Press
- Ni Zhiyao 1992 Study on the origin of the mafic-ultramafic complexes in Huangshandong, Hami area, Xinjiang Northwest Geology, 13(2): 9~ 16 (in Chinese).
- Nie Fengjun, Hu Peng, Li Zhenqing, Jiang Sihong 2005 Geology types and time-space distribution of gold and stibium deposits in south Xizang (Tibet) region Acta Geologica Sinica, 79(3): 373~ 385 (in Chinese with English abstract).
- Nie S, Yin A, Rowley D B, Jin Y. 1994 Exhumation of the Dabie Shan ultrahigh pressure rocks and accumulation of the Songpan-Garze flysch sequence, central China Geology, 22: 999~ 1002
- Pan Baotian, Fang Xiaomin, Li Jijun 1998 The uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and the tectonic evolution in Cenozoic In: Shi Naifeng, Li Jijun, Li Bingyuan, eds The uplift of the Qinghai-Tibet plateau in late Cenozoic and the changes of the environment Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press: 1~ 463 (in Chinese).
- Pan Guitang, Wang Peisheng, Xu Yaorong, Jiao Shupe, Xiang Tianxiu 1990 Tectonic evolution of Qinghai-Tibet plateau in Cenozoic Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Phillips G N, Powell J K. 1993 Link between gold provinces Economic Geology, 88: 1084~ 1098
- Pierce J A, Mei H. 1988 Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud London: Phil Roy, Soc Lond, A 327, 203~ 213
- Qin K Z, Zhang L C, Xiao W J, Yang J H, Mao J W. 2003 Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and Metallogenic evolution of eastern Tianshan Mts, Northwestern China In: Mao Jingwen, Goldfarb R J, Selmann R, et al eds Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan Mts IAGOD Guidebook, series 10, London, 249~ 260
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Huang Wei 2001 Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt? Mineral Deposits, 20(4): 355~ 366

- Que Meiyang, Cheng Dunmo, Zhang Lisheng. 1998. Copper Deposits in Lanping—Simao Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 17, 37~ 46 (in Chinese).
- Ramboz C, Charef A. 1988. Temperature, pressure, burial history, and paleohydrology of the Les Marlines, Pb-Zn deposit: Reconstruction from aqueous inclusions in barite. *Economic Geology*, 83: 784~ 800.
- Rui Zongyao, Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Zhang Lisheng, Wang Longsheng, Liu Yulin. 2003. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai—Tibet Plateau. *Mineral Deposits*, 22(3): 217~ 225 (in Chinese with English abstract).
- Rui Zongyao, Huang Zongke, Qi Guoming. 1984. Porphyry copper (Molybdenite) Deposits in China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Rui Zongyao, Wang Longsheng, Wang Yitian. 2002. Discussion on metallogenic epoch of Tuwu and Yandong porphyry copper deposits in eastern Tianshan Mountains, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 21(1): 16~ 22 (in Chinese with English abstract).
- Sawkins F J. 1984. Metal deposits in relation to plate tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 1~ 325.
- Schares E, Xu R H, A l l e g r e C J. 1984. U-Pb geochronology of the Gangdese plutonism in the Lhasa—Xizang region, Tibet. *Earth Planet Sci Lett*, 69: 311~ 320.
- Seltemann R, Kampf H, Moller P. 1994. Metallogenesis in Collisional Orogens. Postdam: GeoForschungs Zentrum Postdam, 1~ 434.
- Shao Shicai, Wang Dongba. 2001. ^{39}Ar - ^{40}Ar dating of the three typical gold deposits and its geological significance in the Southern Qinling region. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 106~ 110 (in Chinese with English abstract).
- Shen Shangyue, Wei Qirong, Cheng Huilan, Mo Xuanxue. 1997. An approach to genetic types of the gold deposit in the Ailaoshan (Ailao Mt.) gold ore belt, Yunnan. *Tethyan Geology*, 21: 73~ 84 (in Chinese with English abstract).
- Shi Zhunli, Liu Jinxuan, Jin Qinghai. 1993. The alkali-carbonate related Shuangwang gold deposit. In: *Corpus of Gold Deposits in Qinling Mts and Dabamts Region*. Beijing: Geological Publishing House: 133~ 146 (in Chinese).
- Sillitoe R H. 1972. A plate tectonic model for porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 67: 184~ 197.
- Sillitoe R H, Thompson J F R. 1998. Intrusion-related vein gold deposits: type, tectonomagmatic settings and difficulties of distinction from orogenic gold deposits. *Resource Geology*, 48: 237~ 250.
- Sillitoe R H, Hedenquist J W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, epithermal precious metal deposits. In: *Society of Economic Geologists, Special Publications 10*, 315~ 343.
- Smirnov V I. 1977. Ore deposits of the USSR. London: Pitman.
- Song Xinyu, Qin Gongjiong, Li Zhongwen. 1993. Geochemical characteristics and discussion on genesis of Laowangzhai gold deposit. *Geoscience*, 7(supp.): 78~ 88 (in Chinese).
- Tang Renli, Luo Huaisong. 1995. Geology of Yulong Porphyry Copper (Molybdenite) Metallogenic Zone, Tibet. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 320 (in Chinese).
- Tang Zhongli. 2002. The Dynamics of the Metallogenic System and Ore-forming Tectonics in the Southwestern Margin of the North China Craton. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 393 (in Chinese).
- Tapponnier P, Lacassin P, Leloup P H. 1990. The Ailaoshan/Red River (Ailao Mt./Honghe River) metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343: 431~ 437.
- Tu Guangchi. 1989. On the alkali-rich intrusive rocks. *Mineral Resources and Geology*, 3(3): 1~ 4 (in Chinese with English abstract).
- Tu Guangchi. 1998. Low Temperature Geochemistry. Beijing: Science Press: 1~ 266 (in Chinese).
- Tu Guangchi et al. 2000. Super-large Deposits in China (I). Beijing: Science Press, 1~ 569 (in Chinese).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. 2004a. Mineralization in Cenozoic. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, Li Tiande, Fu Xujie. 2002a. Metallogenetic Series and Characteristics of Ailao Metallogenic Province. Beijing: Atomic Energy Press, 1~ 493 (in Chinese).
- Wang Denghong, Que Wenjun, Li Zhiwei, Ying Hanlong, Chen Yuchuan. 2004b. Molybdenite Re-Os dating for the porphyry copper-molybdenum deposits of Jinshajiang—Honghe (Jinsha River—Honghe River) belt. *Science in China, Ser. D*, 34(4): 345~ 349 (in Chinese).
- Wang Denghong, Yang Jianmin, Xue Chunji, Yan Shenghao, Chen Yuchuan, Xu Jue. 2001. The isotopic chronologic evidence of gold mineralization in the district of Jinsha River, Nujiang River, Lancang River and Dadu River, SW China, during Himalayan period. In: *Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al., eds. Study on Endogenic Mineralization During Himalayan Period*. Beijing: Seismological Publish House, 84~ 87 (in Chinese).
- Wang J H, Yin A, Harrison T M, Grove M, Zhang Y Q, Xie G H. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 188: 123~ 133.
- Wang Jian, Li Jianping, Wang Jianghai. 2003. Shoshonitic magmatism in Dali—Jianchuan area, western Yunnan: a geochemical study of arc magmatism in a post-collisional strike-slip extensional setting. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1): 61~ 70 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Li Zeqin, Li Baohua, Liu Wenzhou. 2002. The comparison of Mississippi Valley-type lead-zinc deposits in southwest of China and in Mid-continent of United States. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 21(2): 127~ 132 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jingbin, Li Chaoyang. 1991. REE Geochemistry of the Jinding super-large Pb-Zn deposit. *Geochimica* 19(4): 359~ 365 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ping'an, Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wu Ganguo. 1998. Metallogenetic Series, Cycle and Evolution of Tectonic Mineralization of Regional Mineral Deposits in Qinling Orogen. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Runmin, Li Sichu. 1995. Chemical and physical conditions on diagenetic—metallogenic of Cu-Ni sulfide ores from Huangshandong deposit in Hami, Xinjiang. *Journal of Chengdu Institute of Geology*, 14(3): 1~ 10 (in Chinese).

- Wang Xibin, Pao peisheng, Deng Wanning, Wang Fangguo. 1987. Ophiolite in Tibet. Beijing: Geological Publishing House.
- Wang Yangeng. 1995. Texture of the Upper Crust and pattern of the disseminated gold deposits distributed in the area of Nanpan River. *Guizhou Geology*, 11(2): 91~183 (in Chinese with English abstract).
- Wei L., Cao Y., Wang L. 1994. Geological characteristics and genesis analysis of Baguamiao gold deposit, Shaanxi Province. In: Liu Dongsheng, et al., eds. *Carlin-type Gold Deposits in China*. Press of Nanjing University, 286~305 (in Chinese).
- Williams H., Turner S., Kelley S. 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet: new constraints on the timing of east-west extension and its relationship to post-collisional volcanism. *Geology*, 29, 339~342.
- Wilson J. T. 1968. Static and mobile earth: The current scientific revolution in the earth. *Proc. Am. Phil. Soc.*, 112: 309~320.
- Wu Xiangyao, Li Hongwei, He Jinliang, Yang Zhusheng, Li Liankang, Deng Taixiang. 1996. The geological characteristics of the syngenetic gold deposits in Tianwan—Tianping metallogenetic belt, Shimian County, Sichuan. In: Luo Yaonan, ed. *The Corpus of the Geology and Mineral Resources in the Intracontinental Orogen in the Southwestern Margin of Yangtze Craton*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 138~147 (in Chinese).
- Xia Wenjie, Du Senguan, Xu Xinhuan, et al. 1994. Lithofacies and Palaeogeography of Sinian Period in South China and their Mineralization. Beijing: Geological Publishing House, 1~120 (in Chinese).
- Xie Guiqing, Hu Ruizhong, Mao Jingwen, Fang Weixuan, Li Ruiling. 2004. Discussion on metallogenic ages of Mojiang gold deposit in Yunnan Province. *Mineral Deposits*, 23(2): 253~260 (in Chinese with English abstract).
- Xu Qidong, Li Jianwei. 2003. Migration of ore-forming fluids and its relation to zoning of mineralization in northern Lanping Copper-polymetallic metallogenic area, Yunnan Province. Evidence from fluid inclusions and stable isotopes. *Mineral Deposits*, 22(4): 365~376 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yigang. 2002. Mantle plumes, large igneous provinces and their geologic consequences. *Earth Science Frontiers*, 9(4): 341~353 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zongxiu, et al. 1992. The Orogenic Process of Songpan—Garze Orogen. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Xue Chunji, Chen Yuchuan, Yang Jianmin, Wang Denghong, Xu Jue. 2002b. The CO₂-rich and hydrocarbon-bearing ore-forming fluid and their metallogenic role in the Lanping Pb-Zn-Ag-Cu orefield, Northwestern Yunnan. *Acta Geologica Sinica*, 76(2): 244~253 (in Chinese with English abstract).
- Xue Chunji, Chen Yuchuan, Yang Jianmin, Wang Denghong, Yang Weiguang, Yang Qingbiao. 2002a. Analysis of ore-forming background and tectonic system of Lanping basin, western Yunnan Province. *Mineral Deposits*, 21(1): 36~44 (in Chinese with English abstract).
- Xue Chunji, Ji Jinsheng, Zeng Zhangren. 1995. Basic types and forming law of the gold ore deposits on gold belt in eastern Tianshan Kanggur. *Northwestern Geology*, 16(4): 30~36 (in Chinese).
- Xue Chunji, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Yang Jianmin, Yang Weiguang, Zeng Rong. 2003. Geology and isotopic composition of helium, neon, xenon and metallogenic age of the Jinding and Baiyangping ore deposits, northwest Yunnan, China. *Science in China, Ser. D*, 46(8): 789~800.
- Xue Chunji, Liu Shuwen, Chen Yuchuan, Zeng Rong, Zhao Shihua. 2004. Giant mineral deposits and their geodynamic setting in the Lanping basin, Yunnan, China. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 368~374.
- Yakubchuk A., Selmann R., Shatov V., Cole A. 2001. The Altai: tectonic evolution and metallogeny. *SEG Letter*, 46(1): 7~14.
- Yan Shenghao, Yang Jianmin, Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Jue. 2002. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of the Daduhe gold orefield in Kangding, Sichuan—New evidence of the Himalayan mineralization and its implications. *Acta Geologica Sinica*, 76(3): 384~388 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianguo, Ji Jinsheng, Lu Dengrong. 1998. Geological characteristics and metallogenetic conditions of gold deposit in Xitan, Eastern Tianshan Mountains. *Mineral Deposits*, 17(supp.): 349~352 (in Chinese).
- Yang Xingke, Ji Jinsheng, Luo Guichang, Tao Hongxiang. 1997. Plate tectonics and metallogeny of the metallic ore deposits in eastern Tianshan Mountains. *Journal of Xi'an College of Geology*, 19(3): 34~42 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yingxuan, Ke Chengxi, Li Fangcheng, et al. 1994. Origin and Metallogeny of the Lead-Zinc Deposits in the Eastern Margin of Kangdian Earth Axis. Chengdu Science and Technology Press (in Chinese).
- Yin A., Harrison T.M. 2000. Geologic evolution of the Himalaya—Tibetan orogenic belt. *J. Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 28: 211~280.
- Yin A., Harrison T.M., Ryerson F.J. 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet. *Geophys. Res.*, 99: 175~201.
- Yin Hanhui, Fan Yumin, Li Ke. 1990. Deep process and mantle-crust compound mineralization in the evolution of the Lanping—Simao Mesozoic—Cenozoic diwa Basin, Western Yunnan, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 4(2): 113~124.
- Ying Hanlong, Liu Helin, Li Zhiwei. 2003. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of quartz from auriferous quartz veins of Boka—Tuobuka area, Dongchuan, Yunnan, and its geological implication. *Geological Review*, 50(2): 196~202 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinjie. 2001. Geological characteristics of antimony deposits in Northern Tibet and comparison to those in Southern Tibet. Ph.D. Thesis of Chinese Academy of Geological Sciences, 1~102.
- Zhai Yusheng. 2002. Metallogenetic System in the Margin of Craton. Beijing: Geological Publishing House, 1~383 (in Chinese).
- Zhang Chengjiang, Ni Shijun, Teng Yanguo, Peng Xiuhong, Liu Jiaduo. 2000. Relationship between Himalayan tectonomagmatic movement and mineralization in Lanping basin, Yunnan Province. *J. Mineral Petrology*, 20(2): 35~39 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Feng, Yang Keyou. 1992. Metallogenic geochronology for the micro-grain disseminated gold deposits in southwestern Guizhou Province. *Bulletin of Science*, (17): 1593~1595 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Liu Futian, Xiao Qinghui, Meng Qingren. 1996a. Three-dimension structure in the Qinling orogen and the discussion for their dynamics. *Science in China, Ser. D*, 26(Supp.): 1~6.

- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, Sun Yong, Zhou Dingwu, Guo Anlin. 1996b. Orogenic process of the Qinling orogen and the discussion for their dynamics. *Science in China, Ser D*, 26(3): 193~ 200.
- Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Li Huaqin, Shen Yuanchao. 2000. Geochemical characteristics and source of two-type ore-forming fluids in Kangur Tag gold ore belt, east Tianshan Mts. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 535~ 541 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Zhao Lunshan. 1999. Geological-geochemical dynamics of ore-formation of the Xitan epithermal gold deposit in eastern Tianshan Mts. *Journal of Xi'an Engineering University*, 21(2): 13~ 18 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchen, Wu Naiyuan. 1985. Geology and tectonic evolution of the Tianshan Mts. *Xinjiang Geology*, 3(3): 1~ 14 (in Chinese).
- Zhang Qian, Liu Jiajun, Shao Shuxun, Liu Zhihao. 2002. Lead isotopic composition and lead source of polymetallic deposits in the large ore-assembly district in the Lanping basin. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(2): 147~ 154 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qian. 1993. Pb isotopic composition of Jinding super-large Pb-Zn deposit in Yunnan Province and discussion on the source of lead. *Geology and Prospecting*, 29(5): 21~ 28.
- Zhang Yueqiao, Yang Nong, Meng Hui, Chen Wen. 2004. Late Cenozoic tectonic deformation history and uplift process of the Panzihua-Xicang Region, western Sichuan. *Geology in China*, 31(1): 23~ 33 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunxiang, Luo Yaonan, Yang Chongxi, et al. 1988. *Panzihua-Xicang Rift*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Liang Huaying, Qiu Huaning, Li Xianhua, Zhong Sunlin. 1998. Petrogenesis series and the ore-bearing porphyries of the Yulong copper metallogenic zone in eastern Tibet. *Geochimica*, 23(3): 236~ 243 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaochong, Hao Yanli, Wang Fusheng. 2003. Picrites in large igneous provinces and their implications. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 105~ 114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Li Xiaofeng. Geology, geochemistry and ore-forming mechanism of the Shuangwang breccia type gold deposit. *Mineral Deposits*, 2004, 23(2): 241~ 252 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenjin, Wu Zhenhan. 2004. Strengthening combination of the survey on surface and in depths, deepening understanding of tectonic characteristics of China. *Geological Review*, 50(3): 256~ 266 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xingyuan. 1989. On the genesis of the Jinding lead-zinc ore deposit in Yunnan. *Earth Science*, 14(5): 523~ 530 (in Chinese with English abstract).
- Zhou D, Graham S A. 1996. The Songpan-Garze complex of the West Qinling as a Triassic remnant ocean basin. In: Yin A, Harrison M, eds. *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University Press, 281~ 299.
- Zhou Jiyuan, Mao Yanshi, Huang Zhixun, et al. 1994. *Volcanic Geology in the Margin of Palaeo-continent, East Tianshan Mts*. Press of Chengdu Science and Technology University, 1~ 280 (in Chinese).
- Zhou Weiqian, Zhou Quanli. 1992. A study on the isotopic composition of Pb and S in the Lanping Pb-Zn deposit, Yunnan Province. *Geochimica* 20(2): 141~ 148 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan, Chang Xiangyang, Hu Yaoguo, Zhang Zhengwei. 2002. Discovery of Yanhe copper deposit, Ludian County, in the Yunnan-Guizhou border area and a new thought for copper prospecting in the large igneous province of Emeishan flood basalts. *Advance in Earth Science*, 17(6): 912~ 917 (in Chinese).
- Zhu Laimin, Liu Xianfan, Jin Jingfu, He Mingyou. 1998. The study of the temporal-spatial distribution and source of ore-forming fluid for the fine-disseminated gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi area. *Scientia Geologica Sinica*, 33(4): 463~ 474 (in Chinese with English abstract).
- Zhuang Xinguo. 1995. The palaeogeothermal field of northwestern Guangxi characteristics and its role in the formation of micro-disseminated gold deposits. *Mineral Deposits*, 14(1): 82~ 89 (in Chinese with English abstract).

Types and Characteristics of Endogenetic Metallic Deposits in Orogenic Belts in China and Their Metallogenic Processes

MAO Jingwen^{1,2)}, LI Xiaofeng²⁾, LI Houmin^{1, 2, 3)}, QU Xiaoming²⁾, ZHANG Changqing¹⁾, XU E Chunji³⁾, WANG Zhiliang²⁾, YU Jinjie²⁾, ZHANG Zuoheng²⁾, FENG Chengyou²⁾, WANG Ruiting¹⁾

1) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

3) School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi, 710054

Abstract

There are a lot of orogenic belts with different mineral resources through the geological history in China. After a preliminary study we propose that metallic deposits in the orogenic belts can be divided into collision- and subduction-related. The former one can be further divided into syn-collision- and post-collision-related metallic deposits. The syn-collisional mineral deposits can be recognized in the Tibetan Plateau, an active orogenic belt. They occur along the extension zones perpendicular to main sutures in the compre-

sional stage, relaxation belts parallel to the main suture, pull-apart basins and detachments along the strike-slip faults. On the whole, all the mineralizations formed during the syn collisional orogenic process occur in the tensional structures. It is difficult to find syn collisional ore deposits in ancient orogenic belts. They could be eroded or overprinted by subsequent geological processes. Most ore deposits in ancient orogens are of post collisional age. We take the eastern Tianshan and western Qinling as samples to discuss the nature, characteristics, process, and distribution of the post collisional metallogenic process. Although porphyry copper deposits formed in the collisional age, the others comprising gold, skarn and vein type copper, skarn copper-iron or polymetallic silver, and Cu-Ni sulfide deposits occur at a range of 290~270 Ma in eastern Tianshan, later than the orogenic age of ca. 320 Ma. The mineralization pulse in western Qinling is 210~160 Ma, which is later than the orogenic age of 240~220 Ma, too. The mineralization on the southwestern margin of the Yangtze Craton is well-known as a region with low-temperature hydrothermal deposit association in China. It comprises Carlin type gold deposits, MVT lead-zinc deposits and flood basalt-hosted copper deposits. We propose that these mineral deposits occur in Jurassic-Cretaceous extensional basins to the east of a Mesozoic N-S-trending orogenic belt caused by the subduction of the Tethys plate, which is similar to the configuration of the Cordillera orogen and great basins. Whatever develop in collisional or subductional orogens, even in syn collisional or post collisional time, and with different temporal-spatial locations, the distribution of metallic deposits in orogens are controlled by various types of tension structures.

Key words: mineral deposit; orogen; low-temperature metallogeny; syn collision; post collision; back-arc basin; Xizang (Tibet); western Qinling; eastern Tianshan

安徽冬瓜山层状铜矿床成矿机制及热液叠加改造作用时代研究

徐兆文¹⁾, 陆现彩¹⁾, 凌洪飞¹⁾, 陆建军¹⁾, 蒋少涌¹⁾, 聂桂平²⁾, 黄顺生²⁾, 华明²⁾

1) 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 210093

2) 江苏省地质调查研究院, 南京, 210018

在燕山中晚期(约 140~135 Ma), 扬子板块北缘处于碰撞晚期与碰撞后的伸展构造背景, 铜陵地区发生了大规模岩浆侵入, 导致早期形成的喷流沉积层状矿床或矿胚层发生热液叠加改造作用。作为典型矿例之一, 冬瓜山矿床的矿体主要呈层状赋存于泥盆系顶部砂岩至石炭系灰岩之间。与热液叠加改造作用有关的岩浆岩为青山脚石英闪长岩-石英闪长斑岩, 全岩 Rb-Sr 同位素年龄为 135.6 ± 1.4 Ma。热液交代形成的主矿化期石英脉中流体包裹体具有高温和高盐度特

征, Rb-Sr 同位素年龄为 134 ± 11 Ma。氢、氧同位素显示成矿流体主要来源于岩浆。综合同位素年龄和矿床地质及流体包裹体特征, 认为该矿床的形成包括两个主要成矿阶段, 即在泥盆纪末期至石炭纪喷流形成了沉积型层状矿床或矿胚层, 135 Ma 左右的青山脚石英闪长岩的晚期岩浆热液交代喷流沉积层状矿床或矿胚层, 形成冬瓜山沉积-热液叠加改造型层状铜矿床。该矿床的热液改造成矿作用与主矿体底部和矿体周围岩体中的斑岩型铜矿化可能具有等时性。

藏北双湖地区早侏罗世油页岩剖面有机地球化学与早 Toarcian 期大洋缺氧事件

陈兰^{1,2)}, 伊海生³⁾, 胡瑞忠¹⁾, 钟宏¹⁾, 邹艳荣⁴⁾

1) 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究重点实验室, 贵阳, 550002; 2) 中国科学院研究生院, 北京, 100039

3) 成都理工大学沉积地质研究所, 610059; 4) 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 510640

藏北羌塘盆地双湖地区发育一套以灰黑色油页岩、泥岩、泥灰岩互层为特征的岩相组合, 含有丰富的菊石化石。该层位发现早侏罗世早 Toarcian 期 *Harpoceras* sp. 菊石, 它与欧洲广泛出现的早 Toarcian 期大洋缺氧事件的地层相当。通过分析, 有机碳含量最高可达 26.1%, 有机碳同位素组成从 -26.22‰ 变化到 -23.53‰ (PDB)。在地层剖面上, 油页岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 干酪根变化曲线显示明显的正偏移, 偏移量接近 2.17‰, 与欧洲早 Toarcian 期缺氧事件地层同位素异常有很

好的可比性。有机 C/N 原子比值从 6 变化到 43, 变化趋势与 $\delta^{13}\text{C}$ 干酪根曲线一致。生物组合上表现出底栖生物缺乏, 而钙质超微化石一颗石藻繁盛, 标志了缺氧事件形成时表层水具有高的生物生产率, 而底层水处于不利于底栖生物生活的环境。通过对双湖油页岩有机地球化学与生物组合特征的研究, 初步认为 $\delta^{13}\text{C}$ 干酪根异常受到海平面变化、生物生产率变化的控制, 黑色页岩特别是油页岩的富集可能与古海洋中颗石藻的勃发及高生产率有关。