

三江特提斯复合造山与成矿作用*

邓 军¹, 侯增谦², 莫宣学¹, 杨立强¹, 王庆飞¹, 王长明¹

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘 要 三江特提斯构造带作为全球特提斯构造在中国大陆最典型的发育地区, 经历了复杂而完整的演化历史: 从晚前寒武纪—早古生代泛大陆解体与原特提斯洋形成, 经古特提斯多岛弧盆系发育与古生代—中生代增生造山/盆山转换, 到新生代印度-亚洲大陆碰撞与叠加改造, 完好地记录了超级大陆裂解→增生→碰撞的完整演化历史和大陆动力学过程, 可谓是中国大陆构造演化的典型缩影。复合造山和叠加转换导致了三江特提斯域复杂的成矿演化, 主要表现为: ① 在构造转换阶段, 于元古代刚性基底基础上发育大量叠加改造型矿床, 具有独特的金属组合 (Sn-Cu, Sn-Pb-Zn, Fe-Cu 等); ② 火山成因块状硫化物 (VMS) 矿床伴随特提斯岩石圈演化, 连续发育于陆缘裂谷 (Cu) → 初始洋盆 (Cu-Zn) → 大洋岛弧 (Cu-Zn-Pb) → 弧间裂谷或弧后盆地 (Pb-Zn-Ag) → 弧-陆碰撞裂陷盆地 (Cu-Pb-Zn) 等阶段及诸环境; ③ 特提斯阶段的岛弧型斑岩 Cu 矿被碰撞造山阶段的大陆型斑岩 Cu 矿所取代; ④ 世界级规模的金属成矿带和巨型矿床, 在新生代碰撞造山期“爆发式”产生。尽管已有的研究从整体上勾画出了三江特提斯域的基本构造特征和成矿面貌, 但仍有许多重要问题尚未解决: ① 三江复合造山带构造叠加、增生汇聚、碰撞转换等重大地质事件的精准时限及内在关联; ② 地质环境对成矿的控制作用; ③ 壳幔相互作用过程对矿集区形成和成矿元素超常富集的制约作用; ④ 典型成矿系统的时空结构、物质结构与矿床成因类型; ⑤ 成矿系统发育机制和大型矿床的形成机理。显然, 这些问题的解决必将导致三江复合造山带形成、演化和成矿作用研究的重大突破。

关键词 地质学; 复合造山; 构造体制转换; 成矿作用; 三江特提斯

中图分类号: P611

文献标志码: A

Superimposed orogenesis and metallogenesis in Sanjiang Tethys

DENG Jun¹, HOU ZengQian², MO XuanXue¹, YANG LiQiang¹, WANG QingFei¹ and WANG ChangMing¹

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

The Sanjiang Tethyan area experienced the superimposed transition from Tethyan tectonic evolution in Late Paleozoic to continental collision orogeny in Cenozoic, resulting in the accumulation of massive multi-stage mineralizations and large amounts of metallic industrial ore deposits. The complex metallogenic evolution of this area finds expression in the following aspects: ① Large amounts of complex superimposed and reworked ore deposits were developed on the Proterozoic substrate of rigid continental segment, with special metallic associations of Sn-Cu, Sn-Pb-Zn and Fe-Cu. ② Volcanics-hosted massive sulfide deposits were developed throughout the evolution of Tethyan lithosphere, from continental margin rift (Cu), through initial ocean basin (Cu-Zn), ocean arc (Cu-Zn-Pb) and interarcual rift valley or back-arc basin (Pb-Zn-Ag), to rift basin caused by arc-continental collision (Cu-Pb-Zn). ③ Island-type porphyry copper deposits at the Tethyan stage were replaced by continental-type porphyry copper deposits at the collision orogeny stage. ④ Metallic ore-forming belt and gigantic ore deposits of world class, such as the Yulong porphyry Cu-Mo metallogenic belt, the Lanping Zn-Pb-Cu-Ag metallogenic belt, the Ailaoshan Au metallogenic belt, the Chuanxi REE metallogenic belt, the Tengchong-

* 本文得到国家重点基础研究规划研究项目 (No. 2009CB421008), 教育部长江学者和创新团队 (No. IRT0755) 及 111 计划 (No. B07011) 的联合资助

第一作者简介 邓 军, 男, 1958 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 长期从事矿床学和构造地质学研究。Email: djun@cugb.edu.cn

收稿日期 2009-09-30; 改回日期 2009-12-01。许德煊编辑。

Lianghe Sn metallogenic belt, were generated “explosively” during the collision orogeny in Cenozoic. Although successful researches on tectonic and metallogenic characteristics have been conducted for the Sanjiang Tethyan Metallogenic Domain, many important scientific problems remain unsolved, such as: ① Precise time limits and internal connections between tectonic superposition, continental accretion and convergence, and collision and transformation. ② The control of geological setting over mineralization. ③ The constraint of the crust-mantle interaction on the formation of ore deposit clusters and the anomalous concentration of large amounts of ore materials. ④ Space-time structure, material structure and genetic type of ore deposits of the typical metallogenic system. ⑤ The development mechanism of metallogenic systems and the formation mechanism of large-sized ore deposits. It is obvious that the solution of these problems will be a great breakthrough in the study of the tectonic evolution and metallogenesis of the Sanjiang Tethyan Metallogenic Domain.

Key words: geology, superimposed orogenesis, transition of tectonic regime, metallogenesis, Sanjiang Tethys

矿产资源短缺已成为制约中国国民经济发展的一个重要瓶颈。依靠科技进步,加速发现新的矿产资源基地,提高资源保障程度,是一项迫在眉睫的重大战略任务。然而,中国大陆异常复杂的多旋回式演化决定了其矿种繁多、类型多样、多源复成、破坏再生,显示出十分鲜明的中国成矿特色,迫切需要建立和研发与之相适应的自主创新的成矿理论与勘查技术,以促进找矿勘查的重大突破。

中国大西南地处印度大陆与亚洲大陆的巨型活动碰撞带内,经历了晚古生代—中生代特提斯(Tethys)构造演化和新生代陆-陆碰撞造山,形成了“世界屋脊”和“三江并流”的全球独特的地貌景观,发生了多幕式的大规模成矿作用和巨量规模的金属工业堆积,形成了以青藏高原为主体的特提斯-喜马拉雅巨型成矿域。在三江特提斯成矿域内,翻天覆地的陆-洋转换和盆-山耦合、异常活跃的壳幔物质、能量交换及岩浆流体活动、异常发育的断裂网络系统和汇水盆地系统,造就了丰富的金属矿产资源和油气资源。现已查明,在中国紧缺的Cu、Cr、Co、Pb、Zn等矿种中,西南地区的探明储量分别占全国同类矿种储量的40%、80%、55.7%、29.8%和30.8%,Au、PGE和REE的储量在全国也占居“半壁江山”,特别是“三江”成矿区远高于全国的平均水平,堪称中国最重要的多金属富集区。近年来,在北起青海沱沱河、南抵云南哀牢山、面积达260 000 km²的三江复合造山带内,已知类型的大型-超大型矿床不断有新发现,在矿种各异的成矿远景区内,找矿不断取得新突破。此外,一大批“处女地”显示出优越的成矿地质条件,一大批浅覆盖的找矿盲区显示出较大的找矿前景,一大批远景区显示出重要的综合示矿信息。所有这些都预示着:三江地区具有巨大的资源潜力和找矿远景,可望成为中国最大的和最重要的矿产资源基地。因此,科学技术部、国土资源部始终将三江地区列为中国固体矿产勘查的“重中之重”,力求重大突破。但是,由于该区域经历了异常复杂的构造体制转换和叠加复合,成矿作用显示出形式多样的矿化组合和成矿演化,而且,符合该区地质实情的成矿规律和成矿理论以及成矿预测系统和勘查技术系列还明显欠缺,因此,加强对该区重大地质问题的研究,通过成矿理论和勘查评价技术的创新,提高成矿预测能力,带动矿产勘查突破,已是加速实现西南三江地区成为中国重要矿产资源基地战略目标的必然选择。本

文主要通过对三江特提斯构造演化与成矿环境及其成矿作用研究现状的分析,指出若干存在的关键问题以及今后工作的思路。

1 三江特提斯构造成矿背景

在全球构造格局中,中国大陆地位独特、演化复杂,主要表现为:①处于全球3大构造域的复合部位;②由众多离散的小陆块多期敛合拼贴而成;③陆块刚性基底在中生代遭受强烈的破坏、改造;④由此活化的大陆在新生代或与印度大陆发生强烈碰撞,或遭受太平洋板块俯冲的影响。这是中国大陆有别于世界其他大陆及地区的最重要和最显著的特征。这种异常复杂的演化历史和多旋回式的长期活动,决定了中国大陆矿种繁多、类型多样、多源复成、破坏再生,显示出十分鲜明的成矿特色,三江特提斯成矿域尤其如此(图1)。

三江复合造山带历来为中外地质学家所瞩目。20世纪70年代,国外学者已从全球构造角度明确提出了三江古特提斯的存在(Hsü et al., 1978; Sengor, 1979; 1981; Sengor et al., 1984)。李春昱和黄汲清先生也早在20世纪80年代就对三江特提斯进行过专门论述(Li et al., 1982; 黄汲清等, 1984)。随后,刘增乾、钟大赉和潘桂棠等中国地质学家对三江造山带开展了系统研究,取得了重大进展(刘增乾等, 1993; 钟大赉, 1998; 潘桂棠等, 2003)。这些研究初步查明了三江特提斯构造域的构造格局和地质演化,获得了重要的发现和认识:①提出了三江古特提斯具有多岛洋构造格局,由一系列相对稳定的地块和洋岛及其间的洋盆和支洋盆组成;②识别出以5条蛇绿混杂岩带为标志的洋盆和支洋盆、4套由大洋消减形成的弧-盆系统以及亲冈瓦纳地块群和亲扬子地块群;③提出了三江古生代蛇绿混杂岩带所代表的盆地原型多数为弧后洋盆、弧间盆地或边缘海盆地。一系列共存的多条弧链(前锋弧、岛弧、火山弧等)和相间分布的弧后、弧间、边缘海盆地及微陆块,在古生代时期构成复杂的“多岛弧盆”构造系统。以弧后盆地消减及其洋壳俯冲为动力,通过弧-弧碰撞、弧-陆碰撞、陆块-陆块碰撞等多岛造山过程,在中生代实现了类似“东南亚”式的造山过程;④按照多岛弧盆系构造新思想,详细解剖和深入研究了三江地区3条弧-盆系、2个赋矿盆地和2个

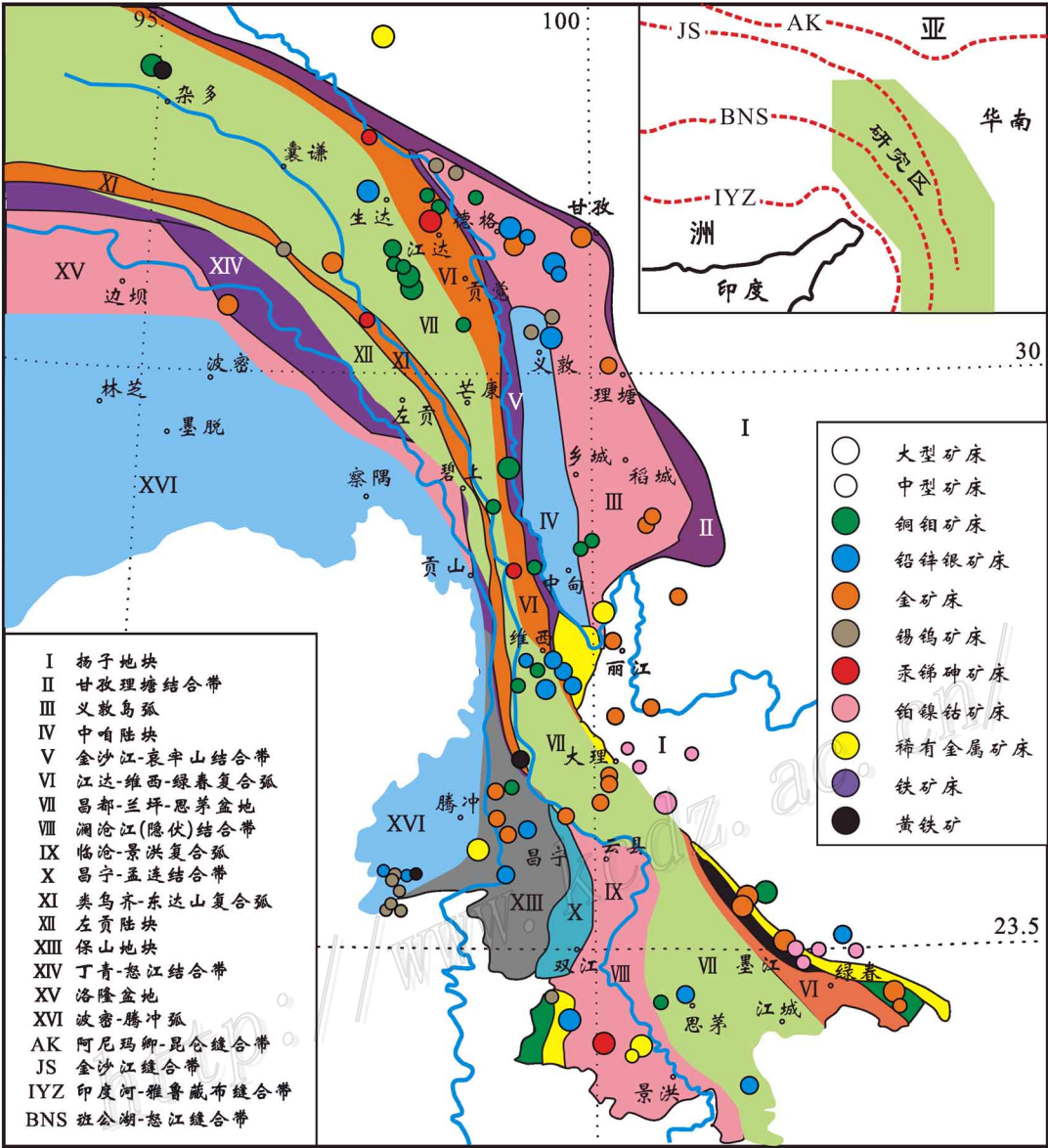


图 1 三江特提斯构造框架及主要矿床分布图(据刘增乾等, 1993; Hou et al., 2007 修编)

Fig. 1 Geological map showing tectonic framework and distribution of ore deposits in the Sanjiang Tethys (Modified from Liu et al., 1993; Hou et al., 2007)

微陆块的时空结构及其构造演化;⑤ 提出“三江”特提斯在新生代遭受了印度-亚洲大陆碰撞造山叠加改造,经历了陆内走滑汇聚造山过程;⑥ 在三江复合造山带,识别出 6 条不同规模 and 不同类型的造山带,提出了“横断山”式造山带的时空结构与造山模式(李兴振等,1999)。

初步研究表明,作为全球特提斯构造在中国大陆最典型发育地区的三江特提斯构造带,经历了复杂而完整的演化历史:从晚前寒武纪—早古生代泛大陆解体和原特提斯洋形成,经古特提斯多岛弧盆系发育及古生代—中生代增生造山/盆山转换,到新生代印度-亚洲大陆碰撞和叠加改造,完好地记录了超级大陆裂解→增生→碰撞的完整演化历史及大陆

动力学过程,可谓是中国大陆构造演化的典型缩影,在全球构造演化中亦属罕见。特别是:① 古特提斯构造对元古代陆块群的破坏、改造;② 新特提斯构造与古特提斯构造的叠加转换;③ 新生代大陆碰撞造山对古生代—中生代增生造山的复合叠加,均显示出中国大陆的独特性及其在全球范围内的代表性。

在三江成矿域,至少有 3 个已被揭示的关键地质作用控制和约束着成矿作用的发生与演化。① 增生造山作用,处于多岛洋状态的古特提斯洋,通过俯冲消减实现了洋/陆转换,通过块体拼贴和增生造山实现了大陆形成和生长。增生造山作用以其剧烈的壳幔相互作用、垂向/侧向的地壳生长、强烈

的岩浆-流体活动和复杂的成矿元素聚散过程,控制了汇聚边缘成矿系统的形成和发育;②碰撞造山作用,印度-亚洲大陆在 65 Ma 开始对接与碰撞,使三江地区成为调节和吸纳碰撞应变的构造转换域,形成了以薄皮构造为特征的逆冲推覆构造系统、深切大陆岩石圈的大规模走滑断裂系统和强烈流变的剪切构造系统,并伴随有前陆盆地含矿 (Zn-Pb-Cu) 卤水流体的长距离迁移和汇聚、幔源含 REE 碳酸岩-碱性岩-煌斑岩浆和含 Cu 高钾长英质岩浆的侵位及岩浆-热液系统的发育、含 Au 富 CO₂ 剪切变质流体的分泌及水/岩反应,控制了大陆碰撞转换成矿系统的形成与发育;③构造体制转换及叠加复合作用,不仅使区内刚性陆块群(克拉通)遭受破坏、改造,而且使早期增生造山与晚期碰撞造山发生叠加转换,叠加复合作用引起强烈的物质循环和矿质集聚,使大批矿床叠加改造、破坏再生,构成独具特色的叠加复合成矿系统。

尽管三江复合造山带的研究取得了重大进展,提高了该区岩石圈构造演化的研究程度,但因其构造体制经多次转换,复合叠加异常强烈,故仍有许多科学问题亟待深入研究:①原特提斯与古特提斯的构造转换形式和机制;②古特提斯增生造山的详细过程;③大陆碰撞构造对古特提斯构造的叠加变形及三维样式,等等。显然,这些问题的解决将大幅度增进对三江复合造山带形成和演化的认识。

2 三江特提斯成矿作用

复合造山和叠加转换共同导致了三江特提斯域复杂的成矿演化,主要表现为:①构造转换阶段,在元古代刚性基底基础上发育了大量叠加改造型矿床,具有独特的金属组合 (Sn-Cu, Sn-Pb-Zn, Fe-Cu 等);②火山成因块状硫化物 (VMS) 矿床伴随特提斯岩石圈演化,连续发育于陆缘裂谷 (Cu) → 初始洋盆 (Cu-Zn) → 大洋岛弧 (Cu-Zn-Pb) → 弧间裂谷或弧后盆地 (Pb-Zn-Ag) → 弧-陆碰撞裂陷盆地 (Cu-Pb-Zn) 等阶段及诸环境。例如,与陆缘裂离作用相关的大平掌 Cu 矿床,与洋盆裂解作用相关的老厂 Pb-Zn 矿床,与洋内弧相关的羊拉 Cu 矿床,与弧间盆地相关的呷村 Pb-Zn 矿床,以及与三叠盆地相关的鲁春 Cu 矿床 (张贤平, 1999; 王立全等, 2002; 张乾等, 2002); ③特提斯阶段的岛弧型斑岩 Cu 矿被碰撞造山阶段的大陆型斑岩 Cu 矿所取代;④世界级规模的金属成矿带和巨型矿床,如玉龙斑岩 Cu-Mo 矿带、兰坪 Zn-Pb-Cu-Ag 矿带、哀牢山 Au 矿带、川西 REE 矿带、腾冲-梁河 Sn 矿带等,在新生代碰撞造山期‘爆发式’产生,不仅具有空间上的‘大矿密集’和时间上的‘大器晚成’特色,而且具有矿床成因上的‘多源复成’和金属组合上的‘百花竞妍’特征 (图 1)。

三江地区的成矿条件和成矿规律研究,已先后开展过 3 轮科技攻关,取得了重大进展:①提出了三江地区 3 次大的构造变革造就了 3 个主要成矿环境,即与洋壳板片消减有关的前生代弧盆系统,与洋壳俯冲板片断离有关的晚三叠世大型裂谷盆地和伸展裂陷盆地,以及与大陆碰撞有关的新生代

大型走滑断裂、走滑剪切和逆冲推覆系统,它们控制着三江特提斯成矿域的发育。指出了晚三叠世和喜马拉雅期是三江造山带最重要的成矿期,导致了大部分大型、超大型矿床的形成 (潘桂棠等, 2003; 侯增谦等, 2006a; 2006b; 2006c; Hou et al., 2007); ②系统厘定出三江地区 10 条重要的成矿带,发现每个成矿带中,因经历‘两次造山’作用,不同时期、不同阶段、不同类型的矿床以多种方式叠加、改造和混合,并保存在现今的成矿带中,造就了三江地区十分复杂的多阶段、多成因、多物源、多类型的成矿带;③识别并划分了三江特提斯成矿系统,划分出 3 个成矿巨系统 (陆缘裂离成矿巨系统、陆缘碰撞成矿巨系统、陆内转换成矿巨系统) 和 12 个成矿系统 (刘增乾等, 1993; 潘桂棠等, 2003), 初步研究了主要成矿系统的主控要素、时空结构、矿床 (化) 组合及矿床成因类型;④查明了三江特提斯所发育的主要类型金属矿床,即块状硫化物矿床 (VMS、SEDEX 型)、斑岩型铜矿床、剪切带型金矿床、热卤水型银铅锌矿床等,并初步建立了相应的找矿模型 (Hou et al., 2007)。

上述研究成果虽然从整体上勾画出了三江特提斯成矿域的基本特征和成矿面貌,为进一步深入研究奠定了坚实基础,但仍有许多重要的地质问题尚未解决:

(1) 三江复合造山带的构造叠加、增生汇聚、碰撞转换等重大地质事件的精准时限及内在关联。最近的研究 (Deng et al., 2004; 2009) 表明,无论是空间上还是时间上,构造动力体制转换叠合都是一个普遍发生的地质现象,在控制成矿过程的多种参数中,它可能起着根本的作用。三江特提斯构造带不仅发育强烈的以陆块裂解和弧-盆汇聚为标志的增生造山作用,而且遭受到强烈的以印度-亚洲大陆碰撞和构造转换系统为标志的碰撞造山事件,同时很好地记录了构造-成矿叠加复合过程。因此,加强对该区构造叠加、增生汇聚、碰撞转换等重大地质事件的研究,无疑将为建立系统且完整的大陆成矿理论体系做出实质性贡献。

(2) 壳幔相互作用过程对矿集区形成和成矿元素超常富集的制约作用。研究表明,大型-超大型矿床和矿集区的时空分布规律本质上受深部地质过程演化的制约,地幔物质和壳幔相互作用与成矿约束是控制地壳内部大规模流体流动迁移、聚集存储的最主要因素 (Deng et al., 2003; Mo et al., 2007; 2008)。在三江构造带,通过研究地壳变形、岩浆作用与成矿表明,由长达千余公里的钾质长英质岩带、大面积的煌斑岩区和岩浆碳酸岩-碱性杂岩带构成的不连续火成岩省,其岩浆活动峰期年龄集中在 35 Ma 左右,受深部软流圈上涌和浅部走滑断裂系统的控制。岩浆碳酸岩起源于元古时期含碳酸盐远洋沉积物的洋壳物质向地幔俯冲和深循环过程,岩浆碳酸岩与不同深度层次的地壳物质混染并获取 S₂, 导致形成了不同矿化样式的 REE 矿床,而壳幔过渡带的部分熔融则产生了含 Cu 斑岩岩浆系统,形成了玉龙斑岩铜矿带。

壳幔交换作用不仅是地球科学的重大科学问题,而且也是矿产资源勘查的理论基础。通过深部热-物质迁移的研究,

可以建立岩石圈块体构造模型和非线性成矿作用动力学及源区构造等概念,深入探讨壳幔物质和能量交换过程中造矿组分的分散与富集机制及时空演化规律,可以预测矿床出现的种类和聚集的部位,特别是大型矿集区的位置和矿化形式,从而为大型、超大型矿床及矿集区的探寻与预测提供思路 and 基础。相信通过深入研究,将大为深化对成矿系统发育机制及动力学背景的理解和认识。

(3) 典型成矿系统的发育机制和大型矿床的形成机理。成矿系统不仅研究地质环境时空结构中的矿床(化)产物,而且研究控制成矿作用过程的物质、能量、时间和机制4要素体系,从而在整体上揭示和把握各种成矿作用发生的机制与内在联系,这已在研究区域成矿作用和矿床形成规律领域得到广泛应用(Zhai et al., 1996; 翟裕生等, 1999)。因此,在三江特提斯成矿域研究中,应总结复合造山的成矿背景与成矿环境、成矿系统类型及其时空演变、主要矿床类型及其时空分布格局,以建立不同尺度的成矿模型,进而提炼复合造山成矿理论。

此外,还有重大地质变革所产生的地质环境对成矿的控制作用,以及典型成矿系统的时空结构、物质结构与矿床成因类型等问题的研究。针对三江特提斯成矿域,对应于晚前寒武纪—早古生代泛大陆解体和原特提斯洋形成,经古特提斯多岛弧盆系发育及古生代—中生代增生造山/盆山转换,到新生代印度-亚洲大陆碰撞和叠加改造的超级大陆裂解→增生→碰撞的演化历史及大陆动力学过程,在对动力学背景、成矿机理进行研究的基础上,深入剖析斑岩型铜矿、VMS型铜铅锌矿、造山型金矿、热卤水型银铅锌矿等主要成矿类型,选取适用于高山峡谷复杂地貌区矿床勘查的技术方法,对玉龙斑岩Cu-Mo矿带、兰坪Zn-Pb-Cu-Ag矿带、哀牢山Au矿带、川西REE矿带、腾冲-梁河Sn矿带等金属成矿带,开展巨型矿床/矿集区形成→变化→保存的演化规律及成矿预测研究。显然,这些问题的解决必将导致对三江复合造山带形成、演化和成矿作用研究的重大突破,以及为研究区找矿勘探工作提供重要的科学依据。

3 结 论

综上所述,聚焦三江特提斯域,瞄准国家急缺的Cu、富Pb-Zn、Ag、Au等矿种,围绕复合造山成矿系统形成机制这一科学主题,针对增生造山及大陆碰撞造山与金属超量富集的耦合-互馈机制、构造体制转换与叠加复合及巨型矿床演化赋存规律2个关键科学问题,以复合造山带成矿系统研究为核心,在准确认识三江特提斯构造演化和大陆动力学过程的基础上,抓住晚古生代—中生代增生造山、新生代大陆碰撞造山及其构造体制转换与复合叠加3大关键地质作用过程及相应的成矿系统,深入剖析斑岩型铜矿、VMS型铜铅锌矿、造山型金矿、热卤水型银铅锌矿等主要成矿类型,将可能创建三江特提斯复合造山与成矿新理论,阐明其复合造山背景下的成矿

物质巨量集聚过程和演化(赋存)规律,形成相应的成矿预测系统和集成技术组合,预测急缺矿种的战略新区,实现复合造山成矿系统理论和找矿方法的创新及其资源勘查关键技术的进步。

谨以此文祝贺尊敬的导师翟裕生院士从事地质工作60周年暨80华诞。

References

- Deng J, Yang L Q, Sun Z S, Wang J P, Wang Q F, Xin H B and Li X J. 2003. A metallogenic model of gold deposits of the Jiaodong granite-greenstone belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77 (4): 537-546.
- Deng J, Wang Q F, Wei Y G, Wang J P, Sun Z S and Yang L Q. 2004. Metallogenic effect of transition of tectonic dynamic system [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 15(1): 23-28.
- Deng J, Yang L Q, Gao B F, Sun Z S, Guo C Y, Wang Q F and Wang J P. 2009. Fluid evolution and metallogenic dynamics during tectonic regime transition: Example from the Jiapigou gold belt in Northeast China [J]. *Resource Geology*, 59(2): 140-152.
- Hou Z Q, Yang Z S, Xu W Y, Mo X X, Ding L, Gao Y F, Dong F L, Li G M, Qu X M, Zhao Z D, Jiang S H, Meng X J, Li Z Q, Qin K Z and Yang Z M. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521-545 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qin K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Fei H C, Meng X J and Li Z Q. 2006b. Metallogenesis in Tibetan metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629-651 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Yang Z S, Meng X J, Li Z Q, Yang Z M, Zheng M P, Zheng Y Y, Nie F J, Gao Y F, Jiang S H and Li G M. 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting [J]. *Mineral Deposits*, 25 (6): 629-651 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Zaw Khin, Pan G T, Mo X X, Xu Q, Hu Y Z and Li X Z. 2007. The Sanjiang Tethyan metallogenesis in S. W. China: Tectonic setting, metallogenic epoch and deposit type [J]. *Ore Geology Reviews*, 31 (1-4): 48-87.
- Hsü K J and Bernoulli D. 1978. Genesis of the Tethys and the mediterranean [A]. In: Hsü K J, et al. eds. Initial reports of the deep sea drilling project [C]. 42: 943-949.
- Huang J Q, Chen G M and Chen B L. 1984. Preliminary analysis on Tethys-Himalayan tectonic-metallogenetic domain [J]. *Acta Geologica Sinica*, 58: 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Li C Y, Wang Q and Liu X Y. 1982. Explanatory notes to the tectonic map of Asia [M]. Beijing: Cartographic Publishing House. 1-49.

- Li X Z, Liu W J, Wang Y Z, Zhu Q W, Du D X and Shen G F. 1999. Tectonic evolution of the Tethys and mineralization in the Sanjiang region, S. W. China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 258p (in Chinese).
- Liu Z Q, Li X Z and Ye Q T. 1993. Division of tectono-magmatic zone and distribution of mineral in the Sanjiang Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 246p (in Chinese).
- Mo X X, Hou Z Q, Niu Y L, Dong G C, Qu X M, Zhao Z D and Yang Z M. 2007. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet [J]. *Lithos*, 96: 225-242.
- Mo X X, Niu Y L, Dong G C, Zhao Z D, Zhou S and Ke S. 2008. Contribution of syn collisional felsic magmatism to continental crust growth: A case study of the Paleogene Linzizong volcanic succession in southern Tibet [J]. *Chemical Geology*, 250: 49-67.
- Pan G T, Xu Q, Hou Z Q, Wang L Q, Du D X, Mo X X, Li D M, Wang M J, Li X Z, Jiang X S and Hu Y Z. 2003. Arcipelagic orogenesis metallogenic systems and assessment of the mineral resources along the Nujiang-Lanchangjiang-Jinshajiang area in southwestern China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 278-420 (in Chinese).
- Sengor A M C. 1979. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implication [J]. *Nature*, 279: 590-593.
- Sengor A M C. 1981. The evolution of Paleo-Tethys in the Tibetan segment of the Alpides [A]. In: Geological and ecological studies of Qinghai-Tibet paleoaltai [C]. Beijing: Science Press. 51-56.
- Sengor A M C and Hsu K J. 1984. The Cimmerides of eastern Asia history of the eastern end of Paleo-Tethys [J]. *Mem. Soc. Geol. Fr.*, N. S., 147: 139-167.
- Wang L Q, Hou Z Q, Mo X X, Wang M J and Xu Q. 2002. The Post-collisional crustal extension setting: An important mineralizing environment of volcanic massive sulfide deposits in Jinsha Orogenic Belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 541-556 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S and Deng J. 1996. Outline of the mineral resources of China and their tectonic setting [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43: 673-685.
- Zhai Y S, Deng J and Li X B. 1999. Regional metallogeny [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 287p (in Chinese).
- Zhang Q, Shao S X, Liu J J and Liu Z H. 2002. Lead isotopic composition and lead source of polymetallic deposits in the large ore-assembly district in Lanping Basin [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(2): 147-154 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X P. 1999. Geological characteristics and genesis of Laochang copper-lead-polymetallic deposit in Lancang District, Yunnan [J]. *Jiangxi Nonferrous Metals*, 13(1): 15-18 (in Chinese with English abstract).
- Zhong D L. 1998. Paleoteyan orogenic belt in western Yunnan and Sichuan [M]. Beijing: Science Press. 231p (in Chinese).

附中文参考文献

- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 莫宣学, 丁林, 高永丰, 董方浏, 李光明, 曲晓明, 赵志丹, 江思宏, 孟祥金, 李振清, 秦克章, 杨志明. 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用 [J]. *矿床地质*, 25(4): 337-358.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 莫宣学, 田世洪, 孙晓明, 丁林, 王二七, 高永丰, 谢玉玲, 曾普胜, 秦克章, 许继峰, 曲晓明, 杨志明, 杨竹森, 费红彩, 孟祥金, 李振清. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用 [J]. *矿床地质*, 25(5): 521-545.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 孟祥金, 李振清, 杨志明, 郑绵平, 郑有业, 聂凤军, 高永丰, 江思宏, 李光明. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用 [J]. *矿床地质*, 25(6): 629-651.
- 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 1984. 特提斯-喜马拉雅构造域初步分析 [J]. *地质学报*, 58: 1-17.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 朱勤文, 杜德勋, 沈敢富. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿 (总论) [M]. 北京: 地质出版社. 276页.
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同. 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律 [M]. 北京: 地质出版社. 246页.
- 潘桂棠, 徐强, 侯增谦, 王立全, 杜德勋, 莫宣学, 李定谋, 汪名杰, 李兴振, 江新胜, 胡云中. 2003. 西南“三江”多岛弧造山过程、成矿系统与资源评价 [M]. 北京: 地质出版社. 278-420.
- 王立全, 侯增谦, 莫宣学, 汪明杰, 徐强. 2002. 金沙江造山带碰撞后地壳伸展背景-火山成因块状硫化物矿床的重要成矿环境 [J]. *地质学报*, 76(4): 541-556.
- 翟裕生, 邓军, 李晓波. 1999. 区域成矿学 [M]. 北京: 地质出版社. 287页.
- 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 [J]. *矿物学报*, 22(2): 147-154.
- 张贤平. 1999. 云南澜沧老厂铜铅多金属矿床地质特征与成因 [J]. *江西有色金属*, 13(1): 15-18.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带 [M]. 北京: 科学出版社. 231页.