

秦岭造山带重大地质事件、 矿床类型和成矿大陆动力学背景

朱赖民, 张国伟, 李^{半半}, 郭 波

西北大学 地质系, 大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069

摘 要: 秦岭造山带由两条主缝合带(商丹、勉略缝合带)及其分划的三个地块(华北地块南缘、秦岭微地块和扬子地块北缘)组成。秦岭造山带是在晚太古-中元古代洋陆间杂构造基础上, 于晚元古代-中三叠世经历现代板块构造体制的主造山期的华北、秦岭、扬子三板块依次沿商丹和勉略两条缝合带由南向北俯冲碰撞造山, 奠定了基本构造格局, 并由于后造山期强烈的陆内造山作用的叠加改造成复合型造山带。秦岭造山带内的金属矿床主要有热水喷流沉积型铅-锌矿床、火山喷流型块状硫化物、斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿床、卡林-类卡林型金矿床、岩浆热液脉型金矿床和低温热液改造型汞锑矿床。造山带内的商丹和勉略缝合带产有部分岩浆分结或熔离型铬铁矿和铜镍硫化物矿床。沉积-变质成因铁矿床主要分布在扬子和华北古板块边缘。秦岭造山带造山过程与成矿作用演化存在时空耦合关系, 因此研究秦岭造山带成矿事件对其不同时期地质事件的响应, 对发展我国大陆成矿理论具有重要理论和实际意义。

关 键 词: 秦岭造山带; 成矿作用; 成矿动力学背景

中图分类号: P594 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2008)04-0384-07

Main Geological Events, Genetic Types of Metallic Deposits and Their Geodynamical Setting in the Qinling Orogenic Belt

ZHU Lai-min, ZHANG Guo-wei, LI Ben, GUO Bo

State key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: The Qinling orogen was built up through interplay of three blocks, the North China block, the small Qinling block, and the South China block, separated by the Shangdan and Mianlue sutures. The Qinling orogen as a complex orogen experienced a prolonged continental divergence and convergence between the blocks. The first stage is the formation of the orogenic basements in Precambrian. The second stage is the plate tectonic evolution in Late Proterozoic-Middle Triassic, which is the main orogenic stage and characterized by plate tectonic regime. The last is the Mesozoic-Cenozoic intercontinental tectonic evolutionary stage. There are SEDEX and VMS type sulfide deposits, the Porphyry-Skarn type Mo(W) deposits, the Carlin-Carlin like gold deposits, the magmatic hydrothermal vein type gold deposits, and the epithermal Hg-Sb deposits etc. The magmatic fractionation-crystallization, and sulfurization segregation type deposits, such as chromite and nickel deposits, distribute in Shangdan and Mianlue sutures. The sedimentary metamorphic type Fe deposits locate in the rim of Yantze and North China block. There is time and space coupling relation between the formation of Qinling orogen and the Mineralization Evolution of ore deposits, so the study of responding of ore deposits to Geological Events have important theory and practice has both theoretical and practical significance.

Key words: the Qinling orogenic belt; mineralization; metallogenetic geodynamical setting

收稿日期: 2008-01-03 收到, 06-02 改回

基金项目: 国家重大基础研究项目(2006CB403502); 中国科学院矿床地球化学国家重点实验室项目(20060); 国家自然科学基金项目(40872071); 陕西省教育厅基金项目(07J K414); 南京大学成矿作用国家重点实验室项目(14-08-1)资助

作者简介: 朱赖民(1966—), 男, 教授, 博士, 主要从事矿床地球化学研究, Email: zhulaimin@nwu.edu.cn.

应用现代大陆动力学理论,研究成矿地质背景、构造单元属性及时间演化,分析由板块的汇聚、离散和平移引发的壳幔物质相互作用、沉积作用、变形与变质作用、岩浆活动、流体运移、成矿物质活化、迁移、聚集等相关过程,向来是国内外地质学界广泛关注的课题^[1~18]。多期构造复合活动、壳-幔物质交换、地表与深部地质作用,地质流体和成矿物质汇聚,使秦岭造山带成为我国重要的金属矿产资源基地之一^[18~23]。秦岭造山带经历了长期的演化历史,并在不同构造演化阶段以不同构造体制发展演化而最终形成复合型造山带^[1,2,8,18~23],伴随多期构造复合活动而发生的成矿作用,以成矿规模大、成矿时间跨度大、矿床类型多、保存条件复杂为特征,是研究中央造山带成矿作用的天然实验室^[9,11,18~20,23]。因此,从秦岭造山带的形成演化和大陆动力学背景出发来研究秦岭造山带形成演化与成矿作用的时空耦合演化规律,对发展我国造山带成矿理论有重要的理论和实际意义。

1 秦岭造山带的构造格架、单元划分和构造演化

秦岭造山带是长期分隔华北与扬子两陆块的分界线(图1),具复杂的物质组成和结构构造,经历了长期的演化历史,并在不同构造演化阶段以不同构造体制发展演化,最终形成复合型大陆造山带^[1,2,8]。它在不同演化时期有不同的边界,北以宝鸡-宜阳-鲁山-淮南断裂为界,南以阳平关-城口-房县-襄广断裂为界,成为秦岭造山带中新生代陆内造山的构造边界。造山带现今上部地壳结构以南北两条边界向外反向逆冲推覆,形成不对称扇形构造迭置的几何学模型^[1,2,8]。秦岭造山带由两条主缝合带(商丹-勉略缝合带)及其分划的三个地块(华北地块南缘、秦岭微地块和扬子地块北缘)组成^[1,2,8]。

秦岭造山带是在晚太古-中元古代洋陆间杂构造基础上,于晚元古代-中三叠世经历现代板块构造体制的主造山期的华北、秦岭、扬子三板块依次沿商丹和勉略两条缝合带由南向北俯冲碰撞造山,奠定了基本构造格局,并由于后造山期强烈的陆内造山作用的叠加改造终成的复合型造山带^[1,2,8]。

2 主要金属矿床类型和空间分布

秦岭造山带不同演化阶段表现为不同动力学机制下的多种构造体制的转换发展演化过程。秦岭造山带的这一多旋回、多阶段、多体制造山过程,为造

山带多期多阶段成矿奠定了物质基础和热动力条件,形成了造山带内多种成因类型的金属矿床(图1、表1)。主要金属矿床包括热水喷流沉积型(SEDEX)铅锌矿床、火山喷流型块状硫化物(VMS)矿床、斑岩-矽卡岩型钼-钨矿床、卡林-类卡林型金矿床、岩浆热液脉型金矿床(包括石英脉型、构造蚀变岩型和爆破角砾岩型)和低温热液改造型汞-锑矿床。造山带内的商丹和勉略缝合带产有部分岩浆分结或熔离型铬铁矿和铜-镍硫化物矿床。沉积-变质成因的BIF型铁矿床主要分布在扬子和华北古板块边缘(图1)。

不同成因类型的矿床在空间上存在明显的东西差异(图1)。大致以107°E-108°E为界,西秦岭主要为SEDEX和卡林-类卡林型矿床,矿体主岩以泥盆系和三叠系沉积岩为主,未经深度变质。东秦岭的矿床与岩浆岩体关系密切,主要类型有斑岩型-矽卡岩型钼(钨)矿床、VMS矿床、岩浆热液脉型金等高中温热液矿床,矿体主岩则以元古界中-低级变质岩为主,赋矿地层主要为熊耳山群火山岩,其次为太古界太华群的片麻岩、混合岩等(表1)。从东向西赋矿地层由老渐新,容矿岩石变质程度由强变弱;矿化类型由斑岩型、矽卡岩型、VMS矿床、岩浆热液脉型金矿床→SEDEX→卡林型金矿床变化;围岩蚀变由强变弱。

3 重要地质事件与主要成矿作用和矿床类型

3.1 前寒武纪结晶基底形成阶段

与前寒武纪基底形成阶段的晚太古代-古元古代克拉通陆块的裂解与拼合相对应,由于地壳拉伸变薄,引发了广泛的火山活动,来自地幔的物质大量进入地表后,经多期变质变形和深熔岩浆作用,形成结晶基底变质杂岩系。变质杂岩系变质程度一般为角闪岩相,部分达麻粒岩相,强烈混合岩化,发育TTG岩套。在多期变质变形强烈混合岩化变质过程中形成条带状含铁建造(BIF)中的火山-沉积-变质铁矿床,以鱼洞子铁矿床为代表。

3.2 中新元古代垂向加积增生为主的扩张裂谷构造体制演化阶段

秦岭中新元古代以伸展体制为主,以裂谷与小洋盆兼杂并存为特色,与全球中新元古代之交的Rodinia超大陆从分裂到汇聚相对应,大量的幔源物质以壳幔相互作用的底侵作用和扩张裂谷喷发方式垂向涌入地壳,形成秦岭中面状广布的中新元古代

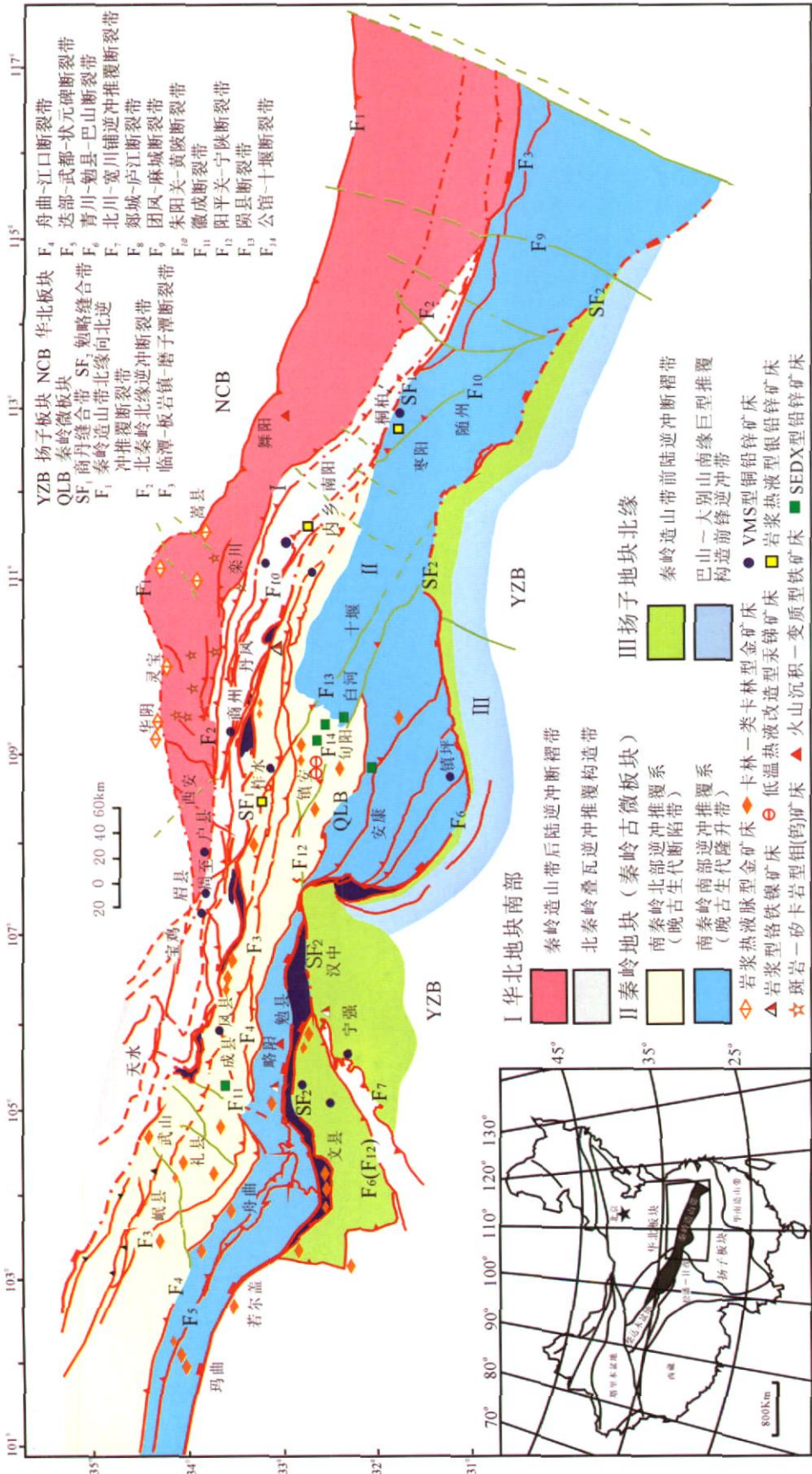


图1 秦岭造山带构造格架及代表性金属矿床分布略图
Fig.1 Sketch map of Qinling orogenic belt and the distribution of metallic deposits

表 1 秦岭造山带重大地质事件、区域构造环境和矿床成因类型

Table 1 Main geological events, regional structure setting and genetic types of metallic deposits in Qinling orogenic belt

演化阶段	重大地质事件	区域构造环境	容矿岩石	成因类型	典型矿床实例
前寒武纪结晶基底形成阶段	地壳拉伸变薄, 引发广泛的火山活动, 地幔物质大量进入地表, 后经多期变质变形和深熔岩浆作用	古陆块边缘的裂解带	太华群和鱼洞子群变质杂岩	火山沉积-变质铁矿床	陕西略阳鱼洞子铁矿床, 河南舞阳经山寺铁矿床, 铁山铁矿床
中新元古代垂向加积增生为主的扩张裂谷构造体制阶段	与全球中新元古代之交的 Rodinia 超大陆从分裂到汇聚相对应, 大量的幔源物质底侵作用和扩张裂谷喷发方式垂向涌入地壳, 形成秦岭中面状广布的中新元古代双峰火山岩系, 与之同时扩张形成多个小洋盆, 出现多陆块裂谷与小洋盆并存的复杂构造古地理格局	大陆边缘裂谷与小洋盆	碧口群、武当群裂谷型变质火山岩和宽坪群洋盆型变质火山岩	双峰式火山作用有关的火山喷流型块状硫化物(VMS)	甘肃文县筏子坝铜矿床, 陕西略阳铜厂铜铁矿床, 陕西略阳东沟坝多金属矿床
		秦岭扩张有限洋盆	基性-超镁铁岩	海底基性-超镁铁岩岩浆熔离型硫化镍矿床和结晶分异型铬铁矿床	陕西洛南松树沟铬铁矿床, 陕西略阳煎茶岭镍矿床
新元古代-古生代-中生代初期的板块构造体制阶段	在统一的深部地幔动力学机制下, 经历早古生代华北与扬子两板块沿商丹带侧向运动与相互作用的俯冲碰撞演化历程; 泥盆纪伊始, 随东古特提斯洋的逐步扩张, 形成秦岭新的板块构造格局, 勉略有限洋盆打开, 秦岭微板块游离出来, 商丹俯冲速率减慢, 形成秦岭造山带三板块沿两缝合带碰撞造山的基本格局。秦岭微地块北缘由于受俯冲作用的影响, 发育由隆升诱发的断陷盆地沉积和残余盆地沉积, 其内部扩张裂陷, 产生垒堑组合, 形成晚古生代彼此分割又相互沟通的断陷盆地(如镇安、旬阳、凤太、西成等盆地)。南秦岭南缘沿勉略一带新生洋盆的强烈扩张, 导致发育多类型火山岩、基性-超镁铁质杂岩带和复杂的沉积体系	北秦岭新元古代-早古生代岛弧或弧后盆地	斜峪关群安山质火山岩、丹凤群变玄武岩、二郎坪群石英角斑质岩石	与岛弧或弧后盆地海相火山热液作用有关的 VMS 矿床	河南省桐柏刘山岩铜-锌矿床, 陕西眉县铜峪铜矿床, 陕西户县东流水铜矿床
		南秦岭早古生代被动陆缘裂陷槽和秦岭微地块内断陷盆地	志留系、泥盆系碎屑岩、碳酸盐岩和热水沉积岩	与海底热水喷流-沉积有关的 SEDEX 型铅-锌(铜)矿床	陕西旬阳南沙沟、泗人沟 铅-铅矿床, 甘肃成县厂坝李家沟 铅-锌矿床, 陕西凤县八方山 铅-锌矿床
		勉略有限洋盆	勉略蛇绿构造混杂岩	海底基性-超镁铁岩浆分结型铬铁矿床和熔离型铜矿床	陕西略阳三岔子、勉县骧子山铬铁矿床, 青海玛沁德尔尼铜矿床
主造山期后中新生代陆内构造演化阶段	东秦岭在深部复合的地幔动力学背景下, 岩石圈地壳处于复杂的区域构造应力场与应变场之中, 引起秦岭岩石圈地幔拆沉作用, 流变减薄, 软流圈急剧抬升, 幔源物质、热流体上涌, 发生强烈壳幔物质交换, 中下地壳加热, 部分熔融, 强烈伸展流变, 导致其从深部地幔动力学的最新调整到上部地壳响应所发生的壳幔相互作用形成同熔型花岗岩或斑岩	华北地块南缘东秦岭陆内俯冲构造-岩浆活动带	太华群变质杂岩和熊耳群火山岩	岩浆热液型金矿床(包括石英脉型蚀变岩型和爆破角砾岩型)	河南灵宝文峪石英脉型金矿床; 河南洛宁县上官蚀变岩型金矿床和河南嵩县祁雨沟爆破角砾岩型金矿床
			熊耳群火山岩和官道口群石英砂岩	斑岩-砂卡岩型钼(钨)矿床	陕西华县金堆城钼矿床, 河南南泥湖、三道庄、上房沟和东沟钼(钨)矿床
	秦岭三个板块依次依次沿勉略带和商丹带向北俯冲碰撞, 继之发生中生代陆相岩层变质变形为突出标记的陆内造山作用, 形成陆壳推覆迭置、剪切走滑与块断伸展等新的叠加复合构造	南秦岭陆-陆俯冲碰撞带中的脆韧性剪切断裂带	太华群变质杂岩、熊耳群火山岩	岩浆热液脉型银-铅-锌矿床	河南洛宁县铁炉坪和沙沟银-铅-锌矿床
			以泥盆系、三叠系板岩、千枚状、粉砂岩或不纯碳酸盐岩为主	卡林-类卡林型金矿床	甘肃文县阳山、陕西凤县八卦庙、陕西周至马鞍桥和陕西镇安金龙山金矿床
			泥盆系碳酸盐岩	低温热液改造型汞-锑矿床	陕西旬阳公馆汞-锑矿和青铜沟汞-锑矿床

双峰火山岩系和壳下基性岩浆的板底垫托,使地壳明显垂向加积增厚,同时扩张形成与多陆块间列混生的多个小洋盆,形成多陆块裂谷与小洋盆并存共生的复杂构造古地理格局^[2]。此阶段发育与陆缘裂谷双峰式火山作用有关的 VMS 矿床(如筏子坝铜矿、阳坝铜矿床、大茅坪铜矿、东沟坝铅锌多金属矿床等)和与秦岭有限洋盆扩张相伴的超镁铁质岩浆作用有关的岩浆熔离型硫化镍矿(如煎茶岭镍矿床)及结晶分异型铬铁矿矿床(如松树沟铬铁矿)。

3.3 新元古代-古生代-中生代初期的板块构造体制发展演化阶段

从新元古代中晚期震旦纪至中生代初期,秦岭造山带一直处于统一的深部地幔动力学机制下,以华北、扬子及中后期分裂出来的秦岭三个板块之间的长期相互作用为主导,经历早古生代华北与扬子两板块沿商丹带,晚古生代华北、扬子及秦岭三板块沿商丹和勉略两缝合带的侧向运动与相互作用的漫长复杂反复的俯冲碰撞演化历程,形成秦岭三板块沿二缝合带碰撞造山的基本格局,成为秦岭造山带形成演化的主造山期^[1,2]。新元古代-古生代-中生代初期的主造山期形成金属主要包括:①北秦岭新元古代-早古生代与岛弧-弧后基性火山作用有关的 VMS 矿床(如铜峪铜矿床);②南秦岭晚古生代与热水沉积有关的 SEDIX 型铅锌矿床(如黄石板、泗人沟、关子沟、南沙沟、厂坝-李家沟、铅硐山、八方山等铅-锌矿)和③晚古生代与勉略有限洋盆扩张有关的超镁铁岩矿床(如三岔子铬铁矿和鞍子山铬铁矿床等)。

3.4 主造山期后中生代陆内构造演化阶段

中-新生代是秦岭造山带构造体制发生转换的关键时期,秦岭前中生代长期受冈瓦纳、劳亚和古特提斯等古板块构造的控制,形成东西向为主的主造山期构造。中-新生代以来位于太平洋板块、印度板块和欧亚板块内西伯利亚地块三个构造动力学系统的汇交复合部位,东部更多受太平洋板块的影响,使之正处于前后两期动力学系统转换时期和过程之中^[1,2,8]。受特提斯构造域和太平洋构造域构造动力此弱彼强的影响,中国大陆中东部的区域构造体制发生转换,从印支期以近东西向构造为主、北北东近南北向构造为次,进入以北北东-近南北向构造为主、近东西向构造为次的构造-动力体制的大转换时期^[17]:构造体制上经历了从古生代东西向构造格局转变到中生代早期的北北东向构造格局,由挤压为主到伸展为主的构造体制转变。原秦岭造山带的华北板块、扬子板块和秦岭微板块的俯冲造山形成

的岩石圈根,在中-新生代新的地幔动力学系统中,东部地幔流动型式与方向发生向太平洋的近南北向物理场结构与状态的调整转换,引起秦岭岩石圈地幔拆沉作用,流变减薄,软流圈急剧抬升,幔源物质和热流体上涌,发生强烈壳幔物质交换,中下地壳加热,部分熔融,强烈伸展流变,形成水平状流变的壳内流体软层和新莫霍面,造成显著的岩石圈去根作用^[1,2,8]。由于岩石圈不同程度减薄,岩石圈拆沉作用引发软流圈上隆抬升,东秦岭受板片断离作用和壳幔边界附近发生的基性岩浆底侵作用影响,加厚的下地壳物质发生熔融形成花岗质岩浆,并沿构造薄弱带上升到浅层次侵位形成与同熔型花岗岩或斑岩有关的陆内构造-岩浆活动有关的热液矿床。矿床主要类型包括①斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿床(如金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟和雷门沟等矿床);②岩浆热液脉型银铅锌矿床(如铁炉坪、篙坪沟和沙沟等银-铅-锌矿床)和③岩浆热液脉型金矿床(如文峪、杨寨峪、东窗等石英脉型金矿床;上官、公峪等蚀变岩型金矿床和祁雨沟爆破角砾岩型金矿床等)。

秦岭造山带主造山期后的陆-陆碰撞时期,伴随扬子板块沿勉略带向南秦岭板块之下的俯冲和勉略洋盆闭合,原有的断裂构造进一步复活,广泛发育与陆内俯冲有关的多级别、多规模的逆冲推覆构造,造就了本区大规模低温热液成矿系统。陆内俯冲作用不仅导致西秦岭地壳缩短增厚隆升,而且使俯冲板片变质脱水,派生上升成矿流体,当上升流体和下渗大气降水到达仰冲板片次级构造带(如脆韧性剪切带交代-充填围岩),形成多种浅成低温热液矿床。在西秦岭主造山期后中生代陆-陆俯冲碰撞带两侧的局部拉张裂陷盆地和板块缝合带的前陆逆冲断裂带中,分布有与浅成低温热液改造作用有关的①卡林-类卡林型金矿床(如阳山、八卦庙、马鞍桥和金龙山等金矿床);②浅成低温热液改造型汞-锑矿床(如公馆、青铜沟汞-锑矿)。这些矿床与陆-陆碰撞造山事件有关,地质-地球化学特征与 SEDEX 和 VMS 型矿床明显不同,主要受地层层位、岩性、脆韧性剪切断裂构造控制,与岩浆活动关系不密切。

4 成矿大陆动力学背景

秦岭前中生代长期受冈瓦纳、劳亚和古特提斯等古板块构造的控制,形成东西向为主的主造山期构造^[2,8]。中-新生代以来,它位于太平洋板块、印度板块和欧亚板块的西伯利亚地块三个构造动力学系统的汇交复合部位,东部更多地受太平洋板块的影响,使之处于前后两期动力学系统转换时期和过程

之中^[2,8]。同生成矿作用多发生于造山带演化的早-中期,即晚太古代-古元古代结晶基底与过渡性基底形成阶段,以及中新元古代扩张裂谷构造体制阶段和晚古生代有限洋盆扩张发育时期(表1)。前寒武纪同生成矿作用形成了晚太古代硅铁建造中的火山-沉积-变质铁矿床、中-新元古代岩浆型铬-铁-镍矿床(岩浆熔离型硫化镍矿和结晶分异型铬铁矿床)和VMS矿床。泥盆纪开始,勉略洋盆打开,超基性岩浆侵入,在南秦岭古生代海盆中形成一系列SEDEX铅-锌矿床、超基性岩浆分结矿床和成矿元素丰度较高的含金、汞、锑、铜、铅-锌建造。构造或岩浆叠加改造成矿作用发生在秦岭造山带转入现代板块构造活动机制后的主造山期后中-新生代陆内构造岩浆演化阶段(表1)。

秦岭西部受喜马拉雅板块碰撞造山动力学体系的显著影响,有岩石圈根并向西加厚。沿107°E-108°E东、西秦岭差异分界地带,正是东西两个动力学体系复合转换地带,造山带深部结构出现从东部的北北东,近南北,经该带的南北至西部的北北西的复合变化^[2,8]。东、西秦岭矿床成因类型的变化与壳幔结构的不同有关:东秦岭地壳厚度小,为28~40 km,平均厚约35 km,区域重力高,无山根;西秦岭地壳厚度大,多在40 km以上,区域重力低,有山根。东秦岭中生代在古太平洋构造动力体制的制约下,地幔发生了流变调整,中-下地壳经流变展平,抹去山根,发生了强烈的陆内造山作用,出现了大范围隆升,暴露了不同深度的矿床。因此,东秦岭地区主要为中高温热液矿床,如斑岩型、矽卡岩型、VMS矿床、岩浆热液脉型金矿床(图1)。而西秦岭并未经过充分的流变调整,中-下地壳未能抹去山根,岩浆作用弱,与中生代花岗岩有关的热液矿床矿化强度大大减弱,主要发育浅部定位的SEDEX和卡林-类卡林型金矿床(图1)。

参考文献 (References):

- [1] 张国伟,董云鹏,赖绍聪,郭安林,孟庆任,刘少峰,程顺有,姚安平,张宗清,裴先治,李三忠. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(12): 1174-1183.
Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, Guo Anlin, Meng Qingren, Liu Shaofeng, Cheng Shunyou, Yao Anping, Zhang Zongqing, Pei Xianzhi, Li Sanzhong. The Mian-Lue Suture Zone in the south Qinling-Dabie Orogenic Belt[J]. Science in China(series D), 2003, 33(12): 1174-1183. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张国伟,张本仁,袁学诚. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-729.
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng. Qinling belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-729. (in Chinese)
- [3] Bierlein F P, Maher S. Orogenic disseminated gold in Phanerozoic fold belts-examples from Victoria, Australia and elsewhere[J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18: 113-148.
- [4] Crafford A E J, Grauch V J S. Geologic and geophysical evidence for the influence of deep crustal structures on Paleozoic tectonics and the alignment of world-class gold deposits, north-central Nevada, USA[J]. Ore Geology Reviews, 2002, 21: 157-184.
- [5] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis[J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18: 1-75.
- [6] Grauch V J S, Brian D, Rodriguez. Geophysical and isotopic constraints on crustal structure related to mineral trends in North-Central Nevada and implications for tectonic history[J]. Economic Geology, 2003, 98: 269-286.
- [7] Poul Emsbo, Albert H. Hofstra. Origin and significance of Post-ore collapse breccias cemented with calcite and barite at the Meikce gold deposit, Northern Carlin trend, Nevada[J]. Economic Geology, 2003, 98: 1243-1252.
- [8] Meng Q R, Zhang G W. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China[J]. Tectonophysics, 2000, 323: 183-196.
- [9] 陈衍景,张静,张复新, Franco P, 李超. 西秦岭地区卡林-类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式[J]. 地质论评, 2004, 50(2): 134-152.
Chen Yanjing, Zhang Jing, Zhang Fuxin, Franco P, Li Chao. Carlin and Carlin-like gold deposits in western Qinling mountain and their metallogenic time, tectonic setting and model[J]. Geological Review, 2004 50(2): 134-152. (in Chinese with English abstract)
- [10] 高山,张本仁,金振民. 秦岭-大别造山带下地壳拆沉作用[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(6): 532-541.
Gao Shan, Zhang Benren, Jin Zhenmin. Delamination of the lower continental crust below Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Science in China(series D), 1999, 532-541. (in Chinese)
- [11] 胡受奚,林潜龙,陈泽铭. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988: 442-489.
Hu Shouxi, Lin Qianlong, Chen Zeming. Geology and ore-forming of north and south China ancient plate suture[M]. Nanjing: Nanjing University press, 1988: 442-489. (in Chinese)
- [12] 毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 289-299.
Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Wang Yitian, Niu Baogui. Mesozoic tectonic setting of large scale ore-forming in east China and adjacent areas: Revealed by precise ages of metallic deposits[J]. Science in China(series D), 2003, 33(4): 289-299. (in Chinese)

- [13] 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆. 东秦岭造山带的变形特征及构造演化[J]. 地质学报, 1986, 60(3): 237 - 247.
Xu Zhiqin, Lu Yilun, Tang Yaoqing. Deformation features and tectonic evolution of east Qinling belt[J]. Acta Geologica Sinica, 1986, 60(3): 237 - 247. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张本仁, 高山, 韩吟文. 秦岭造山带地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1 - 145.
Zhang Benren, Gao Shan, Han Yinwen. Geochemistry of Qinling orogen[M]. Beijing: Science press, 2002: 1 - 145. (in Chinese)
- [15] 张本仁, 张宏飞, 赵志丹. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 201 - 208
Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan. Geochemical zonation, evolution and tectonic significance of crust and mantle for east Qinling and adjacent areas[J]. Science in China(series D), 1996, 26(3): 201 - 208. (in Chinese)
- [16] 翟裕生. 区域构造、地球化学与成矿[J]. 地质调查与研究, 2003, 23(6): 1 - 7.
Zhai Yusheng. Regional structure and regional geochemistry and metallogeny[J]. Geological Survey and Research, 2003, 23(6): 1 - 7. (in Chinese with English abstract)
- [17] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1 - 230.
Ren Jishun, Chen Tingyu, Niu Baogui, Liu Zhigang, Liu Fengren. Tectonic evolution of continental lithosphere and ore-forming beneath east China and its adjacent areas[M]. Beijing: Science Press, 1992: 1 - 230. (in Chinese)
- [18] 姚书振, 丁振举, 周宗桂, 陈守余. 秦岭造山带金属成矿系统[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 599 - 604.
Yao Shuzhen, Ding Zhenju, Zhou Zonggui, Chen Shouyu. Metallogenic systems of Qinling Orogen[J]. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5): 599 - 604. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈毓川, 王平安, 秦克令, 赵东宏, 毛景文. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划及区域成矿规律探讨[J]. 矿床地质, 1994: 13(4): 289 - 297.
Chen Yuchuan, Wang Ping'an, Qin Keling, Zhao Donghong, Mao Jingwen. Metallogenic series of main Ore deposits and regional metallogeny in the Qinling area[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(4): 289 - 297. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李永峰, 毛景文, 胡华斌, 郭保健, 白风军. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 292 - 301.
Li Yongfeng, Mao Jingwen, Hu Huabin, Guo Baojian, Bai Fengjun. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 292 - 301. (in Chinese with English abstract)
- [21] 毛景文, 李晓峰, 李厚民, 曲晓明, 张长青, 薛春纪, 王志良, 余金杰, 张作衡, 丰成友, 王瑞廷. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J]. 地质学报, 2003, 79(3): 342 - 372
Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Li Houmin, Qu Xiaoming, Zhang Changqing, Xue Chunji, Wang Zhiliang, Yu Jinjie, Zhang Zuoheng, Feng Chengyou, Wang Ruiting. Types and characteristics of endogenetic metallic deposits in orogenic belts in China and their metallogenic processes[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 79(3): 342 - 372. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘方杰, 方维萱, 郭健. 地幔柱/热点成矿作用与秦岭造山带金属成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 431 - 432
Liu Fangjie, Fang Weixuan, Guo Jian. Mineralization systems of a mantle plume with metallogenic systems of Qinling orogen[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2000, 19(4): 431 - 432. (in Chinese)
- [23] 张复新, 肖丽, 齐亚林. 卡林型-类卡林型金矿床勘查研究回顾及展望[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 406 - 412
Zhang Fuxin, Xiao Li, Qi Yalin. Exploration and study of carlin and carlin-like type gold deposits: Review and prospect[J]. Geology in China, 2004, 31(4): 406 - 412.