

文章编号: 0258-7106(2008)06-0762-12

秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用*

卢欣祥¹ 李明立^{1,2} 王卫¹ 于在平³ 时永志¹

(1 河南省国土资源科学研究院, 河南 郑州 450053; 2 中国地质大学, 北京 100083;
3 西北大学地质系, 陕西 西安 710069)

摘要 秦岭碰撞造山经历了长期的板块构造的俯冲-碰撞的构造演化, 于印支期最终完成对接拼合, 形成了统一的中国大陆, 并由此转入陆内变形。众多 Au 、 Mo 多金属矿床的同位素年龄资料表明, 印支期是秦岭的重要成矿期, 其成矿作用明显受到构造演化的控制, 反映特定的地球动力学背景和作用过程。秦岭印支期成矿作用不仅是中国东部中生代成矿作用的先导和开始, 奠定了中国东部中生代成矿大爆发的基础, 而且为碰撞期和碰撞期后构造体制快速转换的研究提供了依据。重视秦岭以及中国印支期成矿作用的研究, 对正确认识秦岭成矿带的区域成矿规律、造山带演化的深部动力学过程, 建立符合中国和东亚实际的印支期成矿理论体系具有重要科学意义。

关键词 地质学 构造演化 成矿作用 印支运动 秦岭

中图分类号: P611

文献标志码: A

Indosinian movement and metallogenesis in Qinling orogenic belt

LU XinXiang¹, LI MingLi^{1,2}, WANG Wei¹, YU ZaiPing³ and SHI YongZhi¹

(1 Henan Research Institute of Land and Resources, Zhengzhou 450053, Henan, China; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract

Indosinian tectonic events in Qinling region include the collision between North China and South China plates, the post-collision collapse and subsequent intracontinental extension. Lots of isotopic ages of the ore deposits fall into the Indosinian period, suggesting the existence of not only Indosinian mineralization but also the relationship between tectonic evolution and mineralization under the geodynamic background. The Qinling Indosinian mineralization formed the basis of remarkable Mesozoic mineralization explosion in eastern China. Researches on Indosinian tectonic evolution and mineralization as well as their relationship have yielded important clues to the rapid transform of the tectonic system from the collision stage to the post collision stage as well as the relative process of continental dynamics.

Key words: geology, tectonic evolution, mineralization, Indosinian orogen, Qinling

秦岭造山带是夹持于中国华南与华北两大板块之间的板块结合带, 有着 30 多亿年的构造演化历史。由于板块的俯冲、碰撞作用, 其构造运动复杂, 岩浆活动强烈, 不同类型、不同成因的花岗岩十分发育, 特别是中生代的花岗岩出露非常广泛(卢欣祥,

1991, 2000; 李先梓等, 1993), 而且, 金、钼、铁、铅、锌、银多金属矿产十分丰富, 从而使秦岭造山带成为有色金属、贵金属成矿带。但令人疑惑不解的是, 其成矿作用主要集中在燕山期(卢欣祥等, 1991, 2004; 李先梓等, 1993), 而有关促使南、北大陆最终拼合在一

* 本文得到河南省地质矿产重大科技攻关计划项目(编号 26417)的资助

第一作者简介: 卢欣祥, 男, 1938 年生, 教授, 长期从事秦岭花岗岩及成矿规律研究。E-mail: luxx1938@163.com

收稿日期: 2008-07-25; 改回日期: 2008-09-12。许德煊编辑。

起的印支运动却鲜有成矿作用的报道。与新生代印度-亚洲大陆主碰撞带大规模成矿作用(曲晓明等,2001;罗照华等,2006a)相比,秦岭造山带缺乏印支期成矿作用是不可理解的。是秦岭造山带印支期不成矿?还是所形成的矿床被后续地质事件强烈改造?抑或是印支期矿床还有待发现?这是关系到秦岭地区找矿预测工作部署的重大理论问题。近年来,陆续有一些关于印支期成矿作用的事实被发现(黄典豪等,1994;卢欣祥等,1998a;冯建忠等,2003;姚书振等,2006),表明秦岭造山带在印支期确实发生过成矿作用,但对其成矿机制和时空分布仍然知之甚少。因此,全面分析秦岭造山带印支运动的特点及其与成矿作用的可能联系具有重要意义,是进一步寻找和勘查秦岭地区矿产资源的基础。

1 秦岭造山带的构造演化

秦岭造山带东连大别山造山带,西接昆仑-祁连造山带,合称为中央造山带(姜春发等,2000)或中央造山系(张国伟等,1998)。与中国和世界大多数造山带相比,秦岭造山带具有造山时间持续更长、过程更为复杂的构造演化历史。据张国伟等(1996;2001)的研究,该造山带可分出前造山、主造山、后造山3个大的构造演化时期,不同的构造演化时期具有不同的构造体制,并形成不同的构造单元(图1a)。

前造山期(A_1-P_2):自太古代至中元古代,是秦岭造山带的古老基底形成期,由 A_1-P_2 结晶杂岩(大别群、太华群)以及广泛出露的中元古代火山-沉积变质岩系(武当群、熊耳群等)组成。

主造山期(P_3-T_2):自新元古代至中三叠世,即从晋宁期到印支期,是秦岭板块构造体制活动时期,板块的多次俯冲、碰撞,发育了各类花岗岩,并在时空上呈规律性分布。从海西晚期至印支期,华北、秦岭、扬子板块沿商丹和勉略2条缝合带斜向穿时俯冲碰撞,并使中国南、北大陆联合在一起,秦岭造山带也基本定型,形成今日的基本面貌。

后造山期(T_3-Q):在中生代的三叠纪晚期(T_3),扬子板块、华北板块以及夹于其间的秦岭造山带沿勉略和商丹2条俯冲带依次向北俯冲,并完成它们之间的拼贴焊接,从而形成新的统一的中国大陆,且转入板内构造作用时期。

秦岭造山带地壳横剖面总体是以商丹缝合带为界的不对称扇状结构,该缝合带则为倾角很大的陡

立带(图1b)。虽然在南秦岭和北秦岭内部发育有多重逆冲推覆体系,但南、北秦岭之间并未出现明显的岩石圈尺度的地壳叠置,因此,应属碰撞造山带。

2 秦岭造山带的印支构造运动

印支运动是黄汲清(1945)首次提出的,泛指晚三叠世的一次规模巨大、且影响整个中国及东亚的区域构造运动。印支运动对中国古地理环境的发展产生了巨大影响,结束了三叠纪中期中国“南海北陆”的构造格局,中国西南及长江中下游和华南大部地区已由(浅)海转为陆地,从此,中国南、北陆地连为一体,大部分地区已处于陆地环境。华北、华南和塔里木陆块完全会聚拼合,形成了统一的中国大陆(王鸿祯,1985),进入了陆内造山运动,形成了较大的构造岩浆带并发生了大规模的成矿作用。印支期后,中国大陆东部成为整个亚洲大陆的边缘,东受太平洋板块、西南受印度板块的双重影响,发生了重大的构造事件和岩浆活动,并叠加在前中生代的一切构造层上,受不同变质岩基底的地球化学特点控制,形成了不同的构造岩浆成矿带,对区域成矿具重大影响。

2.1 沉积记录

主要表现为,陆相的侏罗系含煤建造不整合于海相三叠系之上,二叠系、三叠系强烈褶皱,形态复杂,同时发生变质作用(可达低绿片岩相)。南秦岭在中三叠世末大规模海退,整体上升成陆,南秦岭冒地槽的磨拉石建造褶皱回返,海水自东向西退出,秦岭地槽封闭,海盆消失,之后,全部为陆相、泻湖相及河流相沉积(陕西省地质局,1989)。东秦岭三叠纪地层全部为山间盆地内以湖泊相沉积为主,局部有河流相沉积的一套陆相碎屑岩系(河南省地质矿产局,1989)。大别地区表现为大别东部下扬子地区的下三叠统青龙群和中三叠统徐家山组为海相地层,之后,海洋消失,而中三叠统上部的黄马青组是红色陆相盆地沉积。从侏罗纪起,秦岭-大别造山带不再有海相沉积(陈丕基等,1993)。

2.2 印支期同碰撞花岗岩

由于印支运动,扬子、秦岭、华北3个板块沿勉略和商丹2个俯冲带自南向北作斜向俯冲,在勉略带以北的西秦岭及商丹带以北,广泛发育印支期(240~195 Ma)的同碰撞花岗岩(图2),较大的有光头山、宝鸡、宁陕、东江口、曹坪、柞水、温泉、中川等

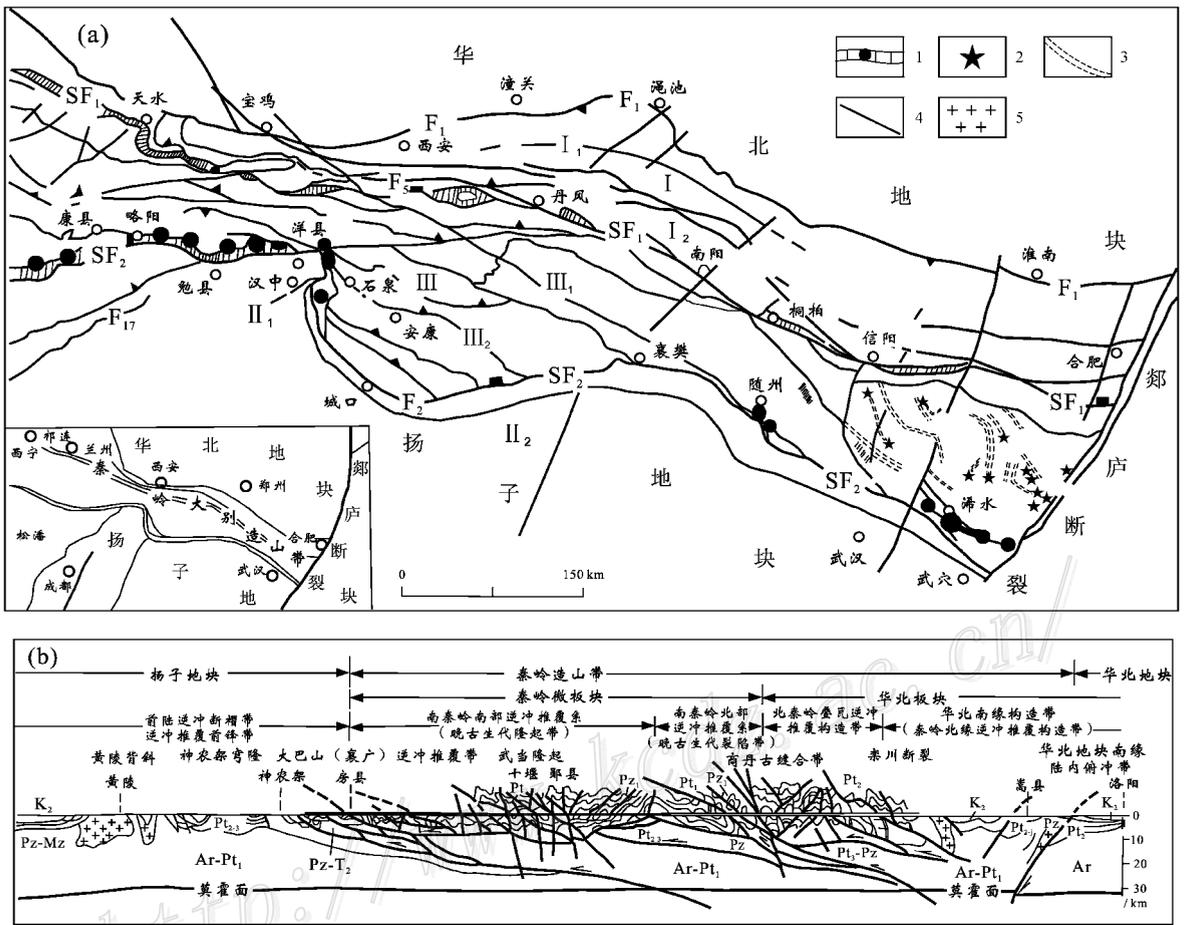


图 1 秦岭造山带主要构造单元 (a) 及主要剖面图 (b) (据张国伟等, 2001)

I—华北地块南部: I₁—造山带后陆冲断带; I₂—北秦岭厚皮叠瓦逆冲构造带; II—扬子地块北缘: II₁—造山带前陆冲断带; II₂—巴山-大别山南麓巨型逆冲推覆前锋逆冲带; III—秦岭微板块: III₁—南秦岭北部晚古生代断陷带; III₂—南秦岭南部晚古生代隆升带; SF₁—商丹缝合带; SF₂—勉略缝合带; F₁—秦岭-大别造山带北缘边界断裂; F₂—秦岭-大别造山带南缘边界断裂; 1—蛇绿岩及相关火山岩; 2—UHP 岩石剥露区; 3—韧性剪切带; 4—断裂; 5—花岗岩;

Fig. 1 Main tectonic units and sections of Qinling orogen (After Zhang, et al., 2001)

I—Southern margin of North China Plate: I₁—Hinderland thrust-fold zone of Qinling; I₂—North Qinling thick-skinned imbricated overthrust zone; II—Northern margin of Yangtze Plate: II₁—Foreland thrust-fold zone of Qinling; II₂—Bashan-Dabie main frontal thrust zone; III—Qinling microplate: III₁—Late Paleozoic northern rifted zone of South Qinling; III₂—Late Paleozoic southern uplifted zone of South Qinling; SF₁—Shangdan suture zone; SF₂—Mianlue suture zone; F₁—Boundary fault of northern margin of Qinling-Dabie orogenic belt; F₂—Boundary fault of southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt; 1—Ophiolite and volcanic rock; 2—UHP rock outcropping area; 3—Ductile shear zone; 4—Fault; 5—Granite

岩体 构成了一个规模宏大的印支期花岗岩带(卢欣祥等, 1998b; 卢欣祥, 2000)。该类花岗岩的岩石类型较简单, 主要为黑云母二长花岗岩、黑云母花岗岩, 多数具似斑状结构。其岩石化学的主要特征是 SiO₂ 含量高, 一般大于 70% (多为 70%~74%), 变化范围窄。碱度值高, 且 K₂O 大于 Na₂O。A/CNK 在 0.9~1.2 之间, 属准铝和铝过饱和岩石。成岩物

质来源于地壳改造与重熔, 幔源物质参与很少。

2.3 印支末期环斑花岗岩带

环斑花岗岩是世界一种特殊的花岗岩类型, 以具斜长石环边的钾长石及球状钾长石斑晶为特征。其岩石类型为角闪石英二长岩, 未变形变质, 产在古缝合带——商丹带内, 年代为 210~217 Ma^① (U-Pb、锆石 SHMIMP、TIMS、⁴⁰Ar/³⁹Ar、Rb-Sr, 卢

① 卢欣祥. 2004. 秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩及其构造环境. 中国地质调查局项目(编号 2000113900018) 报告.

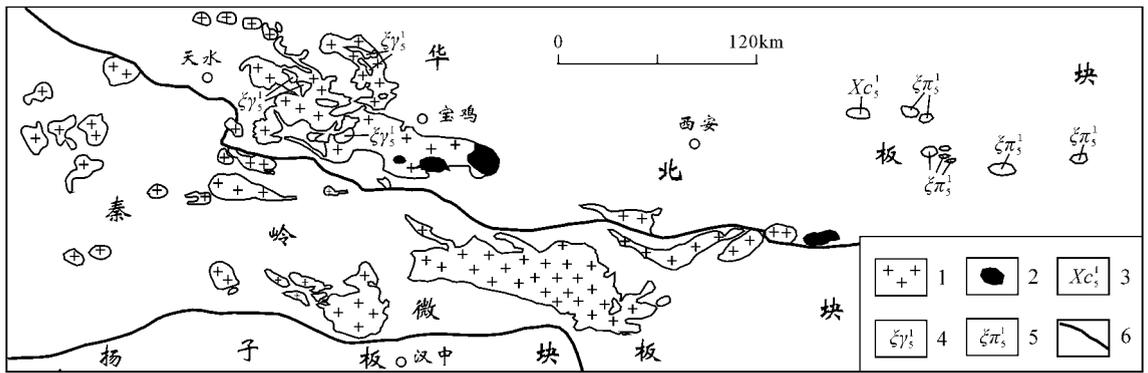


图2 秦岭印支期花岗岩分布图(据卢欣祥, 2000)

1—碰撞型花岗岩; 2—环斑花岗岩; 3—碳酸岩; 4—A型花岗岩; 5—碱性岩; 6—缝合带: 上为商丹带, 下为勉略带

Fig. 2 Distribution of Indosinian granites in Qinling (after Lu, 2000)

1—Collision-type granites; 2—Rapakivi granites; 3—Carbonatite; 4—A-type granites; 5—Alkalic rock;

6—Suture zone: upper is Shangdan belt, lower is Mianlue belt

欣祥等, 1999; 张宗清等, 1999), 略晚于印支期同碰撞型花岗岩(二长花岗岩、黑云母花岗岩, 年代为 240~220 Ma)。同时, 在同一个岩带内, 还有与环斑花岗岩同时代的碱性花岗岩、A型花岗岩和碱性岩(碳酸岩、霓辉正长岩、正长斑岩等, 年代为 202~217 Ma)。一般认为, 环斑花岗岩产于克拉通边部的拉张环境, 是较稳定构造背景下的产物。秦岭环斑花岗岩产于造山带中, 与板块缝合带形影不离, 又略晚于同时代的同碰撞型花岗岩, 且与同时代的碱性岩类相伴产出, 说明环斑花岗岩产于碰撞造山的末期。环斑花岗岩的产出标志着秦岭印支运动的存在和印支期挤压碰撞的结束, 并开始进入了碰撞后的伸展拉张阶段, 从而成为造山旋回结束的最直接岩石学标志^①(卢欣祥等, 1996; 1999)。该类花岗岩在西秦岭由多个岩体构成了一个长达 260 km 的岩带(卢欣祥等, 1998b)。秦岭环斑花岗岩是印支运动晚期的产物, 处于印支碰撞造山旋回末期的伸展拉张阶段(卢欣祥等, 1996; 2004; 2007)。

2.4 碱性岩、碱性花岗岩、A型花岗岩和煌斑岩

与环斑花岗岩同时代的还有一系列碱性岩、碱性花岗岩、A型花岗岩和煌斑岩产出, 主要分布在远离商丹主俯冲带的地区, 勉略俯冲带附近分布较少。例如西秦岭的庙王山碱性花岗岩(206 Ma(U-Pb), 卢欣祥等, 1998a), 小秦岭的碱性碳酸岩(202~206 Ma(K-Ar), 邱家骧, 1993), 南沟A型花岗岩(207 Ma($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), 徐启东等, 1997)及正长斑岩(202~213 Ma(K-Ar)), 高县磨沟霓辉正长岩(208 Ma(U-Pb),

任富根等, 1999), 沙河湾煌斑岩脉[(204 ± 1.4) Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)法, Wang et al., 2007]。碱性岩、碱性花岗岩、A型花岗岩和煌斑岩产于拉张环境, 是一个构造岩浆旋回演化后期的最终产物, 是挤压造山运动结束的标志。

2.5 大别超高压变质带

对大别超高压变质带的年代学, 前人曾做过详细的研究, 一个代表性的结论是, 大别超高压变质岩是在 200~243 Ma 时折返于地表的(李曙光等, 1991), 表明华北与扬子两板块大规模的碰撞发生于三叠纪末。在南秦岭与扬子板块碰撞过程中, 在武当地块的北缘, 形成了以蓝片岩为主的高压变质岩, 并测得其年龄为 216~232 Ma(Mattauer et al., 1985), 是扬子与华北板块在印支期碰撞的记录, 这也证明了印支运动的存在。

2.6 变形构造

印支运动使扬子、华北板块与秦岭微板块完成最终的拼合, 秦岭地壳大幅度缩短, 块体之间发生走滑旋转, 南、北秦岭呈多层次的逆冲推覆。

由于秦岭向华北俯冲, 沿商丹构造带发生了强烈的糜棱岩化, 形成了各种糜棱岩, 其最大宽度达 4 km 以上。测得黑河地区糜棱岩中自形锆石的年龄为 (211 ± 8) Ma(U-Pb), 眼球状糜棱岩(n=6)为 219 Ma(Rb-Sr)(Reischmann et al., 1990), 表明商丹带是在印支期形成的。武当地区最后一次逆冲推覆构造作用生成了蓝片岩高压变质岩, 用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测得其坪年龄为(234.4 ± 90.86) Ma, 等时年龄为(233.9

① 卢欣祥, 2004. 秦岭-昆仑造山带环斑花岗岩及其构造环境. 中国地质调查局项目(编号 2000113900018)报告.

± 2.9)Ma(胡健民等,2000),Mattauer等(1985)对其亦曾获得过(232 ± 5)Ma和(216 ± 7)Ma的年龄(多硅白云母, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法)。商南赵川一带多硅白云母的年龄为210~230 Ma($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄,许志琴等,1987);十堰白浪铁钠闪石的年龄为(220 ± 18)Ma($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄,朱新人,1998);银洞沟金多金属矿区围岩中多硅白云母的年龄为(222.6 ± 1.0)Ma($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄,秦正永等,1997);小秦岭太古界太华群糜棱岩化片麻岩中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为(217.75 ± 0.31)Ma和(219.94 ± 0.32)Ma(毛景文等,2005)。这些同位素年龄数据,或与缝合带韧性剪切作用有关,或由大型逆冲推覆作用引起,但都是印支期强烈变形的反映。

2.7 古地磁

古地磁资料也支持秦岭于印支期碰撞造山的认识。从东亚区域构造的角度看,华北、扬子和南秦岭微板块都是相对小型的板块,都是欧亚板块与冈瓦纳大陆之间的小型或微型陆块。古地磁资料尽管在这3个板块的极移曲线的细节上存在着差别,但有3点是相似的:①海西期,这3个板块的极移曲线不

一致,板块运动方向总体均向北移动;②晚三叠世—早侏罗世,这3个板块的极移曲线开始趋于一致,反映3者在运动学上成为一体;③扬子和华北板块都发生了很大角度的水平旋转(扬子板块总体顺时针转动,华北板块总体逆时针转动)(吴汉宁等,1990;1992;刘育燕等,1993)。由此可见,秦岭地区确实发生了强烈的印支运动。

3 秦岭及中国其他造山带的印支期成矿作用

印支期的成矿作用在秦岭是十分明显的,在中国其他造山带也多有发现。因此,印支期是秦岭乃至中国的重要成矿期。

3.1 秦岭造山带的印支期金矿床

研究表明,秦岭地区的金矿床,除燕山期的外,还有不少是印支期的(卢欣祥等,2006),而且,有不少是大型矿床,如陕西八卦庙、东桐峪、河南上官、前河、北岭、金洞岔、大湖等,均属大型金矿床(表1)。

姚书振等(2006)还提出,陕西华阴葫芦沟、略

表1 秦岭金矿印支期同位素年龄

Table 1 Isotopic ages of Indosinian gold deposits in Qinling

矿床	矿床类型	测试矿物(成矿阶段)	测试方法	年龄值/Ma	资料来源
小秦岭					
1. 东桐峪矿区金矿化带	石英脉	碱性长石	Rb-Sr	208.2	王秀章等,1992
2. 15号含金石英脉	石英脉	蚀变白云母	K-Ar	237.54 ± 4.80	胡正国等,1994
3. 张家坪(湘西)金矿	构造蚀变岩	黄铁矿	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	208(坪年龄)	严阵等,1993 ^①
4. 桃园金矿	构造蚀变岩	绢云母	K-Ar	211	任富根等,1996
熊耳山					
5. 上官金矿	蚀变岩	蚀变绢云母	Rb-Sr	242 ± 11	黎世美等,1993
6. 上官金矿	蚀变岩	硅化石英	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	222.83 ± 24.91 (坪年龄)	任富根等,1996
7. 庙岭金矿	蚀变岩	硅化石英	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$245.83-179.79$ (坪年龄)	任富根等,1996
8. 北岭金矿	蚀变岩	硅化石英	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	216.04(等时年龄)	任富根等,1996
东秦岭					
9. 大赵峪金矿	石英脉	黄铁矿	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	243.65 ± 61.32 (坪年龄)	严阵等,1993 ^①
10. 毛堂金矿	爆破角砾岩	黄铁矿	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	222.95 ± 7.58 (坪年龄)	严阵等,1993 ^①
西秦岭					
11. 八卦庙金矿	微小细脉型	方铅矿	U-Pb	222.14 ± 3.45 (等时年龄)	钟建华等,1995
12. 八卦庙金矿	微小细脉型	金矿石英脉	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	232.58 ± 1.59 (坪年龄)	冯建忠等,2002
13. 八卦庙金矿	微小细脉型	NE向石英脉	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	131.91 ± 0.98 (叠加矿化)	冯建忠等,2003
鄂西北					
14. 银洞沟金矿	蚀变岩型	石英包裹体	Rb-Sr	205 ± 6	秦正永等,1997
15. 银洞沟金矿	蚀变岩型	白云母	K-Ar	216	秦正永等,1997
16. 许家坡金银矿		蚀变岩	K-Ar	218(透闪石),224(黑云母) 211.5(绢云母)	蔡锦辉等,1999
17. 许家坡金银矿		石英	K-Ar	86 ± 1.4 (晚期矿化)	蔡锦辉等,1999

① 严阵,张改芳,等. 1993. 秦巴花岗岩含金性研究. 内部资料.

阳煎茶岭、礼泉、李坝、马鞍桥、甘肃东部、武山柴家庄、川西北马脑壳等金矿床的成矿时代也为印支期-燕山早期。王平安等(1998)在秦岭亦划分出一批印支期-燕山期的矿床。

3.2 秦岭造山带的印支期 Cu-Mo-Hg-Sb 多金属矿床

在秦岭除 Au 矿外, Cu、Mo 多金属矿也有不少是印支期成矿的, 如秋树湾 Cu-Mo 矿床、大河 Sb 矿床、温泉钼矿、黄龙钼铜矿床等(表 2)。

3.3 昆仑-天山造山带的印支期矿床

据报道, 在秦岭造山带以西的昆仑-天山造山带(青海、甘肃、新疆等地)也有许多印支期成矿年龄

(李华芹等, 2005; 刘家军等, 2004; 毛景文等, 1998a; 1998b; 于宏东等, 2002)的 Au、Sb、Fe、W、多金属矿等矿床(表 3)。张德全等(2001)还提出, 柴北缘-东昆仑的野骆驼泉、赛坝沟、五龙沟、小干沟、开荒北、东大滩、西藏大沟、大场等金矿或金锑矿为晚加里东期矿化、印支期定型或只在印支期成矿。朱永峰(2007)认为, 印支期是新疆地区的重要成矿期, 并且多与巨型剪切带的活动密切相关, 印支期的一些小的岩浆侵入体和花岗岩伟晶岩还形成了一些重要的金矿床和稀有金属矿床。

3.4 中国其他造山带的印支期矿床

除了秦岭-祁连-昆仑造山带外, 在中国其他造山

表 2 秦岭钼多金属矿床成矿年龄

Table 2 Ore-forming age of Mo-polymetallic deposit in Qinling

矿床	矿床类型	测试矿物	测试方法	年龄值/Ma	资料来源
东秦岭					
1. 秋树湾 Cu-Mo 矿	斑岩-爆发角砾岩型	黑云母	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	226(坪年龄)	卢欣祥等, 1989 ^①
2. 大河 Sb 矿	热液型	构造蚀变岩	Rb-Sr	198.6 ± 4.8	张建军等, 2000 ^②
南秦岭					
3. 公馆-青铜沟 Hg-Sb-Au 矿	热液型	矿石中石英流体包裹体	Rb-Sr	250 ± 14	王平安等, 1998
西秦岭					
4. 邓家山-磨沟 Pb-Zn 矿	热液型	矿石中石英流体包裹体	Rb-Sr	263 ± 9	王平安等, 1998
5. 温泉钼矿	斑岩型	辉钼矿	Re-Os	212.7 ± 2.6 ~ 215.1 ± 2.6	宋史刚等, 2008
小秦岭					
6. 黄龙铺 Mo 矿	碳酸岩脉(碱性岩)	铅铀钛铁矿	U-Pb	206	黄典豪等, 1994
7. 黄龙铺 Mo 矿	碳酸岩	辉钼矿	Re-Os	220 ~ 231	黄典豪等, 1994

表 3 昆仑-天山造山带印支期成矿年龄

Table 3 Indosinian Ore-forming age in Kunlun-Tianshan orogen

矿床	矿床类型	测试矿物	测试方法	年龄值/Ma	资料来源
新疆					
1. 尾垭钒钛铁矿	Fe	矿石	Sm-Nd	220 ± 30	李华芹等, 2005
2. 金窝子	Au	石英	Rb-Sr	228 ± 22, 230 ± 60	李华芹等, 2005
3. 小白头泉	W	石英	Rb-Sr	248 ± 7	李华芹等, 2005
4. 石英滩	Au	石英脉	Rb-Sr	237 ± 9	李华芹等, 2005
5. 峰山东淮	Au	石英脉	Rb-Sr	226 ± 21	李华芹等, 2005
6. 萨瓦亚尔顿	Au	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	210.59 ± 0.99(坪年龄), 207.14 ± 1.92(等时年龄)	刘家军等, 1999
7. 布隆	Au	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	212.18 ± 0.83(坪年龄), 209.40 ± 1.99(等时年龄)	刘家军等, 2004
8. 太平沟	Au	花岗岩	Rb-Sr	200	杨风等, 2001
青海					
9. 巴硬搭莉沟	多金属	花岗岩	K-Ar	224.47 ± 3.26(平均)	于宏东等, 2002
甘肃					
10. 寒山	Au			213	毛景文等, 1998
11. 鹰咀山	Au			224	毛景文等, 1998

① 卢欣祥, 董有, 刘长命等. 1989. 东秦岭花岗岩类特征及与成矿关系研究. 内部资料.

② 张建军, 曹高社等. 2000. 河南省卢氏县官坡-朱阳关锑矿成矿控制规律及找矿靶区优选. 内部资料.

带内也屡见印支期成矿作用。辽宁青城子 Au-Ag 矿 [233~234 Ma (Rb-Sr 法), 240 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法), 薛春纪等, 2003], 辽宁白云金矿 [(209±2) Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄), (207±6) Ma (Rb-Sr 等时年龄), 刘国平等, 2000], 吉林夹皮沟金矿 [(203.0±0.5) Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), 罗振宽等, 2002], 云南西北的普郎铜矿 [(213.0±3.8) Ma (Rb-Sr), 曾普胜等, 2004], 宋家坡铜矿 [220~228 Ma (Sm-Nd, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), 徐晓春等, 2004], 麻栗坡新砦锡矿 (王学焜, 1994), 海南、广东 (李献华等, 1992) 及福建等地, 都见有印支期矿床的报导, 尤其以海南的报导最多, 其中, 206~241 Ma 的数据有 10 余个 (陈好寿, 1992; 叶伯丹, 1990; 陈柏林等, 2001)。

印支期成矿作用在秦岭是显而易见的, 在中国其他地区也都有不同程度的表现 (表 3)。这清楚表明, 印支期是秦岭造山带的重要成矿期之一, 其成矿作用明显受印支期构造运动的控制, 反映出特定的地球动力学背景和作用过程。

4 印支期成矿的几个特点

(1) 秦岭印支期矿床不断被发现

秦岭的中生代成矿作用几乎全部被认为是燕山期的。从上世纪末, 随着研究工作的深入及新测试方法的应用, 以往被认为是燕山期的矿床却获得了印支期的成矿年龄, 如小秦岭和熊耳山、西秦岭等地 (表 1、表 2)。

(2) 印支期成矿作用具有局部集中现象

印支期成矿作用虽然分布于整个造山带, 却有局部集中的趋势, 并有 2 种情况: ① 印支期成矿占绝对优势, 如小秦岭、熊耳山、海南、鄂西北等地, 熊耳山构造蚀变岩型金矿几乎全为印支期的, 且成矿强度大, 矿床规模也大 (大型), 其时代稍老于其他矿床, 海南也是印支期成矿作用较集中的地区; ② 在一个成矿带中, 只有少数矿床是印支期的, 其余则为燕山期的, 如东秦岭地区。

(3) 燕山期成矿作用对印支期成矿的改造与叠加十分明显

可分为 2 种情况。① 同一个矿床在印支期形成之后, 受燕山期成矿作用的影响, 并叠加于印支期成矿之上, 如八卦庙金矿, 主要由印支期成矿作用形成的, 矿体呈 NW-SE 向, 时间为 222~232 Ma, 但燕山期 (131.91 Ma) 成矿作用明显叠加于其上, 矿化方向

变为 NE 向。许家坡金矿的成矿年龄为 211~218 Ma, 但叠加的燕山期成矿年龄为 86 Ma (表 1)。这种叠加作用使矿化强度和成矿规模不断加大。② 在同一个成矿带或矿田中, 印支期形成的矿床与燕山期形成的矿床并存, 例如, 小秦岭金矿的主体是燕山期的, 但东潼峪、金碛岔、大湖等大型金矿床, 以及张家坪、桃园等中-小型金矿则都是印支期的。这种情况在其他地区也存在, 例如, 昆仑-天山地区的金矿多数为燕山期, 但尾垭、金窝子、小白头泉、石英滩、双峰山及巴硬格莉沟、寒山、鹰嘴山等金-多金属矿却是印支期的; 在东天山、阿尔泰和准噶尔等地区, 也有多处矿床是印支期的 (毛景文 私人通讯)。

(4) 影响印支期矿床分布格局的可能因素

印支运动作为中国及东亚地区早中生代的一次区域性构造运动, 必然引起壳幔相互作用和成矿流体的大规模流动, 也必然会有不同类型的金属矿床形成。但是, 现已发现的印支期矿床的分布却比较零星, 造成这种格局的原因可能是, 印支运动使秦岭造山带与中国大陆拼合之后, 中国东部大陆地壳整体隆升, 有些地方隆升速率非常快, 很可能使一些印支期的矿床被剥蚀。更重要的是, 由于中国东部燕山期成矿作用十分强烈, 它不仅叠加在早期的成矿作用之上, 而且强烈地改造了印支期及以前的成矿作用所形成的地质体, 从而造成印支期矿床分布零星的格局。但随着研究工作的深入及测试技术的进一步提高, 将会有更多的印支期矿床被发现和重新厘定, 秦岭及新疆地区有不少矿床的时代被重新厘定为印支期, 就是很好的例证。

5 印支期构造对成矿的控制

印支运动在秦岭地区是明显和强烈的, 在沉积建造、岩浆活动、构造形迹上得到全方位的展现。秦岭地区的印支运动起因于扬子板块与华北板块在三叠纪末期的俯冲、碰撞作用, 碰撞造成地层叠置逆冲、推覆和走滑, 从而使岩石圈加厚, 并发生强烈变质、变形和岩浆活动, 尤其是碰撞后期 (晚期) 拉张伸展阶段的岩浆活动和成矿作用更为强烈。造山期后加厚的岩石圈具重力不稳定性, 发生快速转换, 导致岩石圈发生拆沉减薄并伴随地壳的快速隆升, 从而使软流圈地幔基性岩浆上涌和深部物质上升 (卢欣祥等, 1996; 2000), 导致岩石圈-软流圈系统能量和物质的再分配。据地球物理探测资料, 岩石圈内可

存在多个高导层,它们很可能是深部流体汇聚的场所。由于成矿元素在流体中的浓度随压力增大而急剧增高(Loucks et al., 1999),这些流体应当富含成矿物质(罗照华等,2007a),一旦流体上升的通道被打开,这些流体可能快速上升并导致大规模成矿(罗照华等,2007b)。同时,软流圈的地幔物质在上升过程中,也会携带大量的成矿物质和幔源流体。由于软流圈减压和对地壳的加热效应,一旦产生岩浆,这些含矿流体将随岩浆一起快速上升到地壳浅部,从而导致大规模成矿作用的发生(罗照华等,2006b; 2007a)。这可能就是秦岭有色金属、贵金属矿床成矿的重要机制,这得到了同位素资料的支持(关于地幔流体及其含矿性已有不少论著,本文不再赘述)。岩石圈拆沉减薄,上地幔物质和能量向地壳运移、扩散以及壳幔物质的交换、循环,极有利于矿床的形成,是内生成矿作用发生的最有利的地球动力学背景。秦岭印支期成矿同世界上许多与造山带有关的金及多金属矿化主要出现在造山晚期的伸展、抬升阶段的规律相一致。

6 重视印支期成矿作用具有重要科学意义

印支运动结束了中国长期存在的南海北陆的古地理格局,形成了统一的中国大陆。秦岭作为中国南、北构造的分界或结合带,更具有重要的构造意义。从秦岭造山带的长期演化历史来看,印支期是秦岭造山带构造演化至关重要的阶段。正是由于印支运动,才使扬子板块与华北板块实现了拼接,结束了秦岭主造山阶段的历史,强大的俯冲碰撞的挤压造山作用已经完成,从而使中国南、北2大板块成为一个统一的中国大陆,开始了新的板内构造演化阶段。

对于印支期成矿作用的问题,应该从造山带总体构造演化以及与燕山期成矿的联系的角度来进行新的思考。印支期成矿作用是中国大陆构造转折期的一种地质效应,是中国东部及东亚中生代大规模成矿作用的开始和先导。燕山期的成矿作用大爆发(毛景文等,1999;华仁民等,1999),实质上是对印支期成矿作用在板内条件下的继承和叠加,印支期成矿作用和燕山期成矿作用一起构成了中国(东部)中生代成矿作用大爆发的完整旋回(卢欣祥等,1998a; 卢欣祥,2006)。

印支运动作为影响中国和东亚的大规模构造运动,必然会造成不同的构造行迹、壳幔对流和大规模的流体活动,并且保存了各种物质的记录——不同的矿床。印支期的动力学演化与成矿事件波及范围远远超出东亚大陆边缘,因此,在聚焦于燕山期成矿作用的同时,对秦岭、整个中国东部乃至东亚的印支期成矿作用也应予以充分关注。重视秦岭、中国以及东亚的印支期成矿作用的研究,对正确认识秦岭和其他成矿带的区域成矿规律、造山带演化的深部动力学过程,从而建立符合中国和东亚实际的成矿理论体系,都具有重要的科学意义。

Reference

- Cai J H, Zhang Y M, Fu J M and Chen S F. 1999. Early-Middle Triassic sequence stratigraphy in Wushan area, Chongqing [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4):44-49 (in Chinese with English abstract).
- Chen B L, Ding S J, Wang Z J, Dong F X, Liao X J, Su B, Fu F, Fu Y R and Dong C. 2001. Metallogenic age of Baolun gold deposit, Hainan Province [J]. *Geochimica*, 30(6):525-532 (in Chinese with English abstract).
- Chen H S. 1992. Chronology of Au metallogeny in the west Hainan Island [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 11(2):57-75 (in Chinese with English abstract).
- Chen P J and Yuan F T. 1993. Jehol fauna and Mesozoic stratigraphy and tectonic evolution in Qinling-Dabie orogenic belt [M]. *Palaeoworld*(2) of Laboratory Of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute Of Geology and Palaeontology, Academia Sinica. Nanjing: Nanjing University Press. 25-40 (in Chinese).
- Feng J Z, Zou S C, Wang D P, Wang X M and Ma Z G. 2002. Baguamiao superlarge gold deposit in the Qinling orogen: The characteristics of its control by the brittle-ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure [J]. *Geology in China*, 29(1):58-66 (in Chinese with English abstract).
- Feng J Z, Wang D P, Wang X M, Shao S C, Ma Z G and Zhang X G. 2003. Geology and metallogenesis of the Baguamiao giant gold deposit in Fengxian, Shaanxi Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3):387-398 (in Chinese with English abstract).
- Henan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional geology of Henan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Hu J M, Ma G M, Gao D S and Zhang S Q. 2000. Chronology of major geological events of the Wudang block in the south Qinling orogen [J]. *Regional Geology Of China*, 19(3):318-324 (in Chinese with English abstract).
- Hu Z G, Qian Z Z and Yan G M. 1994. The structure of Xiaqingling detachment-metamorphic core complex and gold mine [M]. Xi'an: Shaanxi Science Press (in Chinese).

- Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China [J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 300-308 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y, Du A D and He H L. 1994. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance [J]. *Mineral Deposits*, 13(3):221-230 (in Chinese with English abstract).
- Huang J Q. 1945. The main geotectonic features in China [M]. *Central Geological Survey Anthology*, 20 : 1-165 (in Chinese).
- Jiang C F, Wang Z Q and Li J Y. 2000. Opening-closing structure of central orogenic belt [M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Chen F W, Lu Y F, Yang H M, Guo J and Mei Y P. 2005. New evidences of chronology of Indosinian Period diagenetic and mineralization in east Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 286 (in Chinese with English abstract).
- Li S G, Liu D L, Chen Y Z, Zhang G W and Zhang Z Q. 1991. A chronological table of the major tectonic events for Qinling-Dabie orogenic belt and its implication [A]. A selection of papers presented at the conference on the Qinling orogenic belt [C]. Xi 'an : Northwest University Press, 229-236 (in Chinese).
- Li S M, Qu L Q, Li X M, Li D T and Xu Z X. 1993. Metallogenic geological conditions, enrichment regularities, metallogenic model and prospective prognosis of the alteration-tectonite type gold deposits in the Xiong 'er mountain area [A]. Contributions to gold deposits of the Qinling and Daba Mountains [C]. Beijing : Geol. Pub. House. 96-132 (in Chinese).
- Li X H, Gui X T, Cheng J P and Yin G Q. 1992. Rb-Sr and ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of the Gaofeng gold deposit, Guangdong Province [J]. *Mineral Deposits*, 11(4): 1367-1373 (in Chinese with English abstract).
- Li X Z, Yan Z and Lu X X. 1993. Granitoids in Qinling-Dabie mountain [M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese).
- Liu G P and Ai Y F. 2000. Studies on the mineralization age of Baiyun gold deposit in Liaoning [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 627-631 (in Chinese with English abstract).
- Liu J J, Li E D, Long X R, Zheng M H and Wang J Z. 2004. Metallogenic characteristic and epoch of the Bulong gold deposit in Xinjiang, South Western Tianshan Mountains [J]. *Geology and Prospecting*, 40(5): 6-11 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y Y, Yang W R, Morinaga Hayao, Adachi Yasuhisa, Yang Z H and Yaskawa Katsumi. 1993. Some paleomagnetic results on North China, Qinling and Yangtze blocks [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 18(5): 635-642 (in Chinese with English abstract).
- Loucks R R and Mavrogenes J A. 1999. Gold solubility in supercritical hydrothermal brines measured in synthetic fluid inclusions [J]. *Science*, 284 : 2159-2163.
- Lu X X. 1991. Granitoids in the Eastern Qinling [A]. In : Ma X Y, Qian X L and Zhang G W, eds. The collected works of the symposium on Qinling orogenic belt (1989) [C]. Xi 'an : Northwest University Press. 250-260 (in Chinese).
- Lu X X, Dong Y, Chang Q L, Xiao Q H, Li X B and Wang X X. 1996. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance [J]. *Science in China (Ser. D)*, 39(3): 266-272 (in Chinese).
- Lu X X, Yu X D, Dong Y and Xuan S M. 1998a. The metallogenic epoch of gold deposits in Xiaoqinling- Xiong 'ershan region [J]. *Mineral Deposits*, 17(Supp.): 756-768.
- Lu X X, Yu X D, Xiao Q H, Li R S and Yang Y C. 1998b. Find the rapakivi granite belt in west Qinling [J]. *Geological Review* 44(5): 535 (in Chinese).
- Lu X X, Xiao Q H, Zhang Z Q, Li H M and Wang W. 1999. Geochronological studies of rapakivi granites in Qinling and its geological implications [J]. *Geological Journal of China Universities*, 5(4): 372-377 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 2000. Granitoid tectonic map of Qinling belt [M]. Xi 'an : Xi 'an Cartographic Press (in Chinese).
- Lu X X, Yu X D, Yu Z P, Wang Y T, Xue L W, Ye A W, Suo T Y and Jin J P. 2004. Minerogenesis of gold and its coupling with tectonics in Xiaoqinling -Xiong 'ershan region [J]. *Gold Geology*, 10(1): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 2006. Indosinian minerogenesis in Qinling and its implications [J]. *Mineral Deposits*, 5(Supp.): 179-181 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Wang X X, Xiao Q H and Xing Z Y. 2007. Comparison of Qinling-Kunlun orogenic-type rapakivi granite with world typical rapakivi granite [J]. *Geological Science and Technology Information*, 26(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Mo X X, Hou Z Q, Deng W M, Wang J H, Zhao Z D, Yu X H and Li J P. 2006a. An integrated model for the Cenozoic evolution of the Tibetan plateau : Constraints from igneous rocks [J]. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 196-211 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Wei Y, Xin H T, Ke S, Li W T, Li D D and Huang J X. 2006b. The Mesozoic intraplate orogeny of the Taihang Mountains and the thinning of the continental lithosphere in North China [J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 52-63 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Mo X X, Lu X X, Chen B H, Ke S, Hou Z Q and Wang W. 2007a. Metallogeny by trans-magmatic fluids—Theoretical analysis and field evidence [J]. *Earth Science Frontiers*, 14(3): 165-183 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Liang T, Chen B H, Xin H T, Ke S, Zhang Z L and Cheng S H. 2007b. Intraplate orogenesis and its implications in metallogenesis [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1945-1956 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z K, Guan K and Miao L C. 2002. Dating of the dykes and altered sericite in Jiapigou gold ore belt, Jinlin Province and its gold ore formation age [J]. *Geoscience*, 16(1): 19-25 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Yang J M, Zhang Z C, Wu M B, Wang Z L and Zhang Z H. 1998a. Geology, geochemistry and genesis of the Hanshan ductile

- brittle shear zone gold deposit in Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 17(1): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z H, Yang J M, Zhang Z C, Wang Z L and Ye D J. 1998b. Geology and metallogenic geochemistry of the Yingzuishan gold deposit, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 17(4): 299-306 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Hua R M and Li X B. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposit [J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 291-299 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169-188 (in Chinese with English abstract).
- Mattauer M P H, Mqtte J, Malqvielle T, et al. 1985. Tectonics of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia [J]. *Nature*, 317(10): 496-500.
- Qin Z Y, Liu D Y, Hu X D, et al. 1997. Geological Structure analysis of Wudang and mineralization regularity [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 84-87 (in Chinese).
- Qiu J X. 1993. The alkaline rocks in Qinling-Bashan Mountains [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 136-139 (in Chinese).
- Qu X M, Hou Z Q and Huang W. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt [J]? *Mineral Deposits*, 20(4): 355-366 (in Chinese with English abstract).
- Reischmann T, Altenberger C, Kroner A, et al. 1990. Mechanism and time of deformation and metamorphism of mylonitic orthogneisses from the Shagou shear zone, Qinling belt, China [J]. *Tectonophysics*, 185: 91-109.
- Ren F G, Li W M and Li Z H. 1996. Gold mine metallogenic geological conditions and comprehensive evaluation mode of prospecting mine in Xiong'ershan-Xiaoshan district [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 80-90 (in Chinese).
- Ren F G, Li S B, Ding S Y, Chen Z H, Zhao J N and Wu B. 1999. Alkaline magma activities, mineralization and formation model in Xiong'er fault basin [J]. *Geological Review*, 45(Supp.): 659-667 (in Chinese with English abstract).
- Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional geology of Shaanxi Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Song S G, Ding Z J, Yao S Z, Zhou Z G, Zhang S X and Du A D. 2008. Re-Os isotopic dating of molybdenite and its implication for molybdenite mineralization of Wenquan porphyry, Wushan, Gansu Province [J]. *Northwestern Geology*, 44(1): 67-73 (in Chinese with English abstract).
- Wang H Z (chief Editor). 1985. Atlas of the palaeogeography of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 53-58 (in Chinese).
- Wang P A, Chen Y C, Pei R F, et al. 1998. Regional minerogenetic series, tectono-minerogenic cycles and evolution in the Qinling orogenic belt, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 81-83 (in Chinese).
- Wang X Z, et al. 1992. Geochemistry of reformed gold deposit in China [M]. Beijing: Science Press. 10-11, 33-34 (in Chinese).
- Wang X K. 1994. Geological-geochemical characteristics of Xinzhai tin deposit in Malip [J]. *Yunnan Geology*, 13(1): 1-16 (in Chinese).
- Wu H N, Zhu R X, Liu C and Chang C F. 1990. Paleomagnetic observations in North China Block: From Late Paleozoic to Triassic [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 33(6): 695-701 (in Chinese with English abstract).
- Wu H N, Chen Y and Zhou D W. 1992. A preliminary paleomagnetic result of the Danfeng ophiolite formation of the Shangdan zone in the Qinling belt (China) [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 35(3): 361-368 (in Chinese with English abstract).
- Xu Q D, Zhong Z Q, Zhou H W and Zhong G L. 1997. Natures of granitic magma and it's relation with gold mineralization in Dongchuang gold field, Xiaolinling [J]. *Gold Geology*, 3(3): 22-23 (in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Huang Z, Xie Q Q, Yue S C and Liu Y. 2004. The Sm-Nd and ⁴⁰Ar-³⁹Ar isotopic ages of lithogenesis and metallogenesis of the Songjiapo copper deposit in Jinggu, Yunnan Province [J]. *Geological Review*, 50(1): 99-105 (in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q. 1987. Large deep-level decollement structure on the northern margin of the Yangtze plate and its dynamic analysis [J]. *Geological Bulletin of China*, (4): 289-300 (in Chinese).
- Xue C J, Chen Y C, Lu Y F and Li H Q. 2003. Metallogenic epochs of Au and Ag deposits in Qingchengzi ore-clustered area, Eastern Liaoning Province [J]. *Mineral Deposits*, 22(2): 177-184 (in Chinese with English abstract).
- Yang F, Chen B L, Chen X H, Wang S F, Wang K Z, Chen Y D, Li X Z and Yang Y. 2001. A discussion on the genesis of Dapinggou gold deposit of Xinjiang, North West China [J]. *Geology and Resources*, 10(3): 133-138 (in Chinese with English abstract).
- Yao S Z, Zhou Z G, Li X B, Chen S Y, Ding Z J and Wang P. 2006. Mineralization characteristics and prospecting potential in the Qinling metallogenic belt [J]. *Northwestern Geology*, 39(2): 156-177 (in Chinese with English abstract).
- Ye B D. 1990. Metallogenic age of Baolun gold deposit, Hainan Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, (1): 12-17 (in Chinese with English abstract).
- Yu H D, Rao Y Q and Zhao J H. 2002. The geological feature and metallogenic significance of granite in the Bayinggeligou area, Qinghai Province [J]. *Geoscience*, 16(4): 353-385 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Hou Z Q, Li L H, Qu W J, Wang H P, Li W C, Meng Y F and Yang Z S. 2004. Age of the Pulang porphyry copper deposit in NW Yunnan and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 23(11): 1127-1131 (in Chinese).
- Zhang D Q, Feng C Y, Li D X, Xu W Y, Yan S H, Yu H Q, Dong Y B and Cui Y H. 2001. Orogenic gold deposits in the North Qaidam and East Kunlun orogen, West China [J]. *Mineral Deposits*, 20(2): 137-146 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W and Guo A L. 1996. The orogenic process of the Qinling orogen and its dynamics [J]. *Science in China (Series D)*, 26(3): 193-200 (in Chinese).

- Zhang G W and Liu X M. 1998. Some remarks on China central orogenic system[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 23(5):443-448 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C and Xiao Q H. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Zhang Z Q, Zhang G W, Tang S H and Lu X X. 1999. The age of Shihewan rapakivi granite in Qinling and its restriction of organic stage closing time[J]. Chinese Science Bulletin, 44(9):981-984 (in Chinese).
- Zhong J H. 1995. Study on the background of evolution of regional metallogenic geotectonics of the Qinling Devonian system and geological causes and mineralization-controlling structure of Bagua Temple in Shaanxi Province[D]. Post-doctoral report of post-doctoral stations of geology school in Northwest University (in Chinese).
- Zhu X R. 1998. The structural environment and later geological evolution of stratum diagenesis in Wudang district of east Qinling in Precambrian Era[doctor candidate paper] [D]. Beijing: Institute of Geology, Academia Sinica (in Chinese).
- Zhu Y F. 2007. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 26(5):510-519 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 蔡锦辉, 张业明, 付建明, 陈胜锋. 1999. 鄂西北许家坡金银矿床石英流体包裹体研究[J]. 华南地质与矿产(4):44-49.
- 陈柏林, 丁式江, 王中坚, 董法先, 廖香俊, 舒斌, 符峰, 傅杨荣, 董成. 2001. 海南抱板金矿床成矿时代研究[J]. 地球化学, 30(6):525-532.
- 陈好寿. 1992. 海南金矿年代学[J]. 地质找矿论丛, 11(2):57-75.
- 陈丕基, 袁凤钗. 1993. 秦岭大别山区热河动物群与中生代地层和构造发育史[M]. 中国科学院南京地质古生物所. 现代古生物和地质学研究实验室年报(2). 南京大学出版社. 25-40.
- 冯建忠, 邵世才, 汪东坡, 王学明, 马治国. 2002. 陕西八卦庙金矿脆-韧性剪切带控矿特征及成矿构造的动力学机制[J]. 中国地质, 29(1):58-66.
- 冯建忠, 汪东坡, 王学明, 邵世才, 马治国, 张选固. 2003. 陕西八卦庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用[J]. 地质学报, 77(3):387-398.
- 河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 胡建民, 马国民, 高殿松, 张森琦. 2000. 武当地块主要地质事件的年代学研究[J]. 中国区域地质, 19(3):318-324.
- 胡正国, 钱壮志, 闫广民. 1994. 小秦岭拆离-变质杂岩核构造与金矿[M]. 西安:陕西科学出版社.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 18(4):300-308.
- 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-钷同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 13(3):221-230.
- 黄汲清. 1945. 中国主要大地构造特征[M]. 中央地质调查所文集(甲种), 20:1-165.
- 姜春发, 王宗起, 李锦轶. 2000. 中央造山带的开合构造[M]. 北京:地质出版社.
- 李华芹, 陈富文, 路远发, 杨红梅, 郭敬, 梅玉萍. 2005. 新疆东部印支期成岩成矿年代学新证据[J]. 地质学报, 79(2):286.
- 李曙光, 刘德良, 陈移之, 张国伟, 张宗清. 1991. 秦岭-大别山造山带主要构造事件同位素年代学及其意义[A]. 秦岭造山带学术讨论会论文集[C]. 西安:西北大学出版社. 229-236.
- 黎世美, 瞿伦泉, 李新民, 李德天, 徐泽仙. 1993. 熊耳山地区蚀变构造岩型金矿成矿地质条件、富集规律、成矿模式[A]. 秦巴金矿论文集[C]. 北京:地质出版社. 96-132.
- 李献华, 桂训唐, 程景平, 阴国渠. 1992. 广东高凤金矿形成时代的Rb-Sr, ⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄测定[J]. 矿床地质, 11(4):1367-1373.
- 李先祥, 严阵, 卢欣祥. 1993. 秦岭-大别山花岗岩[M]. 北京:地质出版社.
- 刘国平, 艾永富. 2000. 辽宁白云金矿成矿时代的探讨[J]. 岩石学报, 16(4):627-631.
- 刘家军, 李恩东, 龙训荣, 郑明华, 王臻臻. 2004. 新疆布隆金矿床的成矿特征与成矿时代[J]. 地质与勘探, 40(5):6-11.
- 刘育燕, 杨巍然, 森永速男, 足立泰久, 杨志华, 安川克己. 1993. 华北、秦岭及扬子陆块的若干古地磁研究结果[J]. 地球科学, 18(5):635-642.
- 卢欣祥. 1991. 东秦岭花岗岩[A]. 马杏垣, 钱祥麟, 张国伟, 主编. 1989年秦岭造山带学术讨论会论文集[C]. 西安:西北大学出版社. 250-260.
- 卢欣祥, 董有, 常秋玲, 肖庆辉, 李晓波, 王晓霞. 1996. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及动力学意义[J]. 中国科学(D辑), 26(3):244-248.
- 卢欣祥, 尉向东, 董有, 轩慎民. 1998a. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代[J]. 矿床地质, 17(增刊):765-768.
- 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 李荣社, 杨永成. 1998b. 西秦岭发现奥长环斑花岗岩[J]. 地质论评, 44(5):535.
- 卢欣祥, 肖庆辉, 张宗清, 李惠民, 王卫. 1999. 秦岭环斑花岗岩的年龄学研究及其意义[J]. 高校地质学报, 5(4):372-377.
- 卢欣祥. 2000. 秦岭花岗岩大地构造图[M]. 西安:西安地图出版社.
- 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 王义天, 薛良伟, 叶安旺, 索天元, 晋建平. 2004. 小秦岭-熊耳山金成矿作用与区域构造的耦合[J]. 黄金地质, 10(1):1-5.
- 卢欣祥. 2006. 秦岭印支期成矿作用及其意义[J]. 矿床地质, 25(增刊):179-181.
- 卢欣祥, 王晓霞, 肖庆辉, 邢作云. 2007. 秦岭-昆仑造山型环斑花岗岩与世界典型环斑花岗岩的对比研究[J]. 地质科技情报, 26(1):1-10.
- 罗照华, 莫宣学, 侯增谦, 邓万明, 王江海, 赵志丹, 喻学惠, 李建平. 2006a. 青藏高原新生代形成演化的整合模型——来自火成岩的约束[J]. 地学前缘, 13(4):196-211.
- 罗照华, 魏阳, 辛后田, 柯珊, 李文韬, 李德东, 黄金香. 2006b. 太行山中生代板内造山作用与华北大陆岩石圈巨大减薄[J]. 地学前缘, 13(6):52-63.
- 罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 陈必河, 柯珊, 侯增谦, 汪万. 2007a.

- 透岩浆流体成矿作用——理论分析与野外证据[J]. 地学前缘, 14(3):165-183.
- 罗照华, 梁涛, 陈必河, 辛后田, 柯栅, 张自力, 程素华. 2007b. 板内造山作用与成矿[J]. 岩石学报, 23(8):1945-1956.
- 罗振宽, 关康, 苗来成. 2002. 吉林夹皮沟金矿岩脉和蚀变绢云母定年及金矿成矿时代[J]. 现代地质, 16(1):19-25.
- 毛景文, 杨建民, 张招崇, 吴茂炳, 王志良, 张作衡. 1998a. 甘肃寒山剪切带型金矿床地质、地球化学和成因[J]. 矿床地质, 17(1):1-13.
- 毛景文, 张作衡, 杨建民, 张招崇, 王志良, 叶得金. 1998b. 甘肃鹰嘴山金矿床地质和成矿地球化学[J]. 矿床地质, 17(4):299-306.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质, 18(4):291-299.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1):169-188.
- 秦正永, 刘冬义, 胡小蝶, 等. 1997. 武当地质构造解析及成矿规律[M]. 北京:地质出版社. 84-87.
- 邱家骥. 1993. 秦巴碱性岩[M]. 北京:地质出版社. 136-139.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. 矿床地质, 20(4):355-366.
- 任富根, 李维明, 李增慧. 1996. 熊耳山-崂山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型[M]. 北京:地质出版社. 80-90.
- 任富根, 李双保, 丁士应, 陈志宏, 赵嘉农, 吴冰. 1999. 熊耳裂陷印支期碱性岩浆活动、成矿作用、生成模式[J]. 地质论评, 45(增刊):659-667.
- 陕西省地质局. 1989. 陕西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 宋史刚, 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 张世新, 杜安道. 2008. 甘肃武山温泉辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义[J]. 西北地质, 44(1):67-73.
- 王鸿桢, 主编. 1985. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社.
- 王平安, 陈毓川, 裴荣富, 等. 1998. 秦岭造山带区域矿床成矿系列, 构造-成矿旋回与演化[M]. 北京:地质出版社. 81-83.
- 王秀璋, 等. 1992. 中国改造型金矿床地球化学[M]. 北京:科学出版社. 10-11, 33-34.
- 王学焜. 1994. 麻栗坡新寨锡矿床地球化学特征[J]. 云南地质, 13(1):1-16.
- 吴汉宁, 朱日祥, 刘椿, 常承法. 1990. 华北地块晚古生代三叠纪古地磁研究新结果及其构造意义[J]. 地球物理学报, 33(6):695-701.
- 吴汉宁, 陈岩, 周鼎武. 1992. 秦岭丹凤群蛇绿岩古地磁再研究[J]. 地球物理学报, 35(3):361-368.
- 徐启东, 钟增球, 周汉文, 钟国楼. 1997. 小秦岭东阎金矿区花岗岩浆活动性质[J]. 黄金地质, 3(3):22-23.
- 徐晓春, 黄震, 谢巧勤, 岳书仓, 刘因. 2004. 云南景谷宋家坡铜矿床成矿年龄的 Sm-Nd 和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄[J]. 地质论评, 50(1):99-105.
- 许志琴. 1987. 扬子板块北缘大型滑脱构造及动力学分析[J]. 中国区域地质(4):289-300.
- 薛春纪, 陈毓川, 路远发, 李华芹. 2003. 辽东青城子矿集区金银成矿时代及地质意义[J]. 矿床地质, 22(2):177-184.
- 杨风, 陈柏林, 陈宣华, 王水凤, 王克卓, 陈延东, 李学智, 杨怡. 2001. 阿尔金北缘太平沟金矿成因初探[J]. 地质与资源, 10(3):133-138.
- 姚书振, 周崇桂, 吕新标, 陈守余, 丁振举, 王苹. 2006. 秦岭成矿带成矿特征和找矿方向[J]. 西北地质, 39(2):156-177.
- 叶伯丹. 1990. 海南南方二甲抱板群和金矿时代[J]. 地质找矿论丛, (1):12-17.
- 于宏东, 饶轶群, 赵建华. 2002. 青海省巴硬格莉沟地区花岗岩的地质特征及成矿意义[J]. 现代地质, 16(4):353-358.
- 曾普胜, 侯崇谦, 李丽辉, 屈文俊, 王海平, 李文昌, 蒙义峰, 杨竹森. 2004. 滇西北普朗斑岩铜矿成矿时代及其意义[J]. 地质通报, 23(11):1127-1131.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余宏全, 董英碧, 崔艳合. 2001. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质, 20(2):137-146.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑), 26(3):193-200.
- 张国伟, 柳小明. 1998. 关于“中央造山带”几个问题的再思考[J]. 地球科学, 23(5):443-448.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 卢欣祥. 1999. 秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩年龄及其对秦岭造山期结束时间的限制[J]. 科学通报, 44(9):981-984.
- 钟建华. 1995. 陕西秦岭泥盆系区域成矿大地构造演化及八卦庙金矿地质成因与控矿构造的研究[D]. 西北大学地质系博士后流动站出站报告.
- 朱新人. 1998. 东秦岭武当山区晚前寒武纪地层成岩构造环境及后期地质演化(博士学位论文)[D]. 北京:中国科学院地质研究所.
- 朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿[J]. 地质通报, 26(5):510-519.