

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.013

陕南秦岭造山带侵入岩的控矿作用及其找矿意义

朱雪丽^{1,2,3}, 董王仓^{1,2*}, 李维成^{1,2}, 陈丽荣⁴

(1. 陕西省矿产地质调查中心, 陕西 西安 710068; 2. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054; 3. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 4. 西安地质矿产勘查开发院有限公司, 陕西 西安 710100)

摘要:笔者厘定了陕南秦岭造山带侵入岩的演化序列, 分析了侵入岩岩石类型、岩浆作用类型、岩体规模、成矿母岩元素含量等对成矿的控制作用。在总结侵入体与矿床(体)二者空间配置关系基础上, 首次提出了岩体内部成矿、岩体边缘成矿和岩体外缘成矿等侵入体的3种成矿方式。其对深入研究侵入岩的成矿规律、指导找矿工作具有一定的理论和实践意义。

关键词:侵入岩控矿作用; 找矿意义; 陕南秦岭造山带

中图分类号: P588.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-6248(2021)03-0163-11

Ore-controlling Factors and Prospecting Significance of Intrusive Rocks in South Shaanxi Qinling Orogenic Belt

ZHU Xueli^{1,2,3}, DONG Wangcang^{1,2*}, LI Weicheng^{1,2}, CHEN Lirong⁴

(1. Shaanxi Mineral Resources and Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. Xi'an Institute of Geological and Mineral Exploration CO., Ltd., Xi'an 710100, Shaanxi, China)

Abstract: This paper determined the evolutionary sequence of intrusive rocks in south Shaanxi Qinling orogenic belt and analyzed the controlling factors of the rock type, the magmatic type, the mass scale and the element content of metallogenic rocks on the mineralization. On the basis of the relationship between ore-forming intrusions and ore deposits (bodies), the authors proposed such three metallogenic modes as intrusions in rock mass, ore-forming at rock mass margin and ore-forming at rock mass margin, which is of theoretical and practical significance for the research into the mineralization of intrusive rocks and the guidance of the prospecting work.

Keywords: Ore-controlling factors; significance of prospecting; south Shaanxi Qinling orogenic belt

造山带作为岩石圈板块俯冲增生、碰撞作用最为复杂的构造带, 不仅形成了多种岩石构造组合, 也促使成矿物质富集形成了众多大型-超大型矿床和

矿集区, 故大陆造山带及其相关环境的构造-岩浆-流体-成矿作用研究已成为当前国际地学研究的前沿课题(张国伟等, 2001; 陈衍景等, 2010; 侯增谦,

收稿日期: 2020-04-13; 修回日期: 2021-02-25

基金项目: 中国地质调查局“中国矿产志”项目(DD20160346、DD20190379)、中国矿产地质志·陕西卷(12120114058301)。

作者简介: 朱雪丽(1989-), 女, 在读博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: zhuxueli13@163.com。

* 通讯作者: 董王仓(1960-), 男, 教授级高级工程师, 从事矿产勘查和成矿规律研究。E-mail: 466760180@qq.com。

2010;熊潇, 2017)。秦岭造山带是古华北与古扬子板块长期相互聚合而形成的复合造山带(张国伟等, 2001, 2015, 2019;高峰等, 2017), 它成矿作用复杂, 各类矿床分布广泛, 不仅是中国中央造山带的重要组成部分, 而且也是中国大陆的重要成矿区带之一(成欢等, 2017)。陕西南部(以下简称: 陕南), 位于宝鸡—西安以南、秦岭造山带的中东部, 构造变形复杂多样, 岩浆活动强烈, 成矿作用显著, 是中国 Pb、Zn、Au、Mo 等金属矿产的重要矿集区和生产基地。

地质历史时期, 陕南秦岭造山带的岩浆活动尤其岩浆侵入作用与成矿作用关系密切, 区内许多超大型、大-中型金属矿床的形成与分布都受侵入岩控制。前人曾对不同时期构造岩浆事件进行了不同程度的研究(弓虎军等, 2009; 臧文娟, 2011; 杨阳, 2017; 熊潇, 2019; 薛颖瑜等, 2019), 但多集中于其形成构造环境、岩浆来源等方面, 对侵入岩的控矿作用及其规律性则缺乏系统研究和总结。近年来实施的“中国矿产地志·陕西卷”项目, 全面总结了陕南秦岭造山带侵入岩与成矿的关系, 不仅总结了侵入岩岩石类型、岩浆作用类型、岩体规模、成矿母岩元素含量等对成矿的控制作用, 而且分析总结了侵入体的不同空间位置对成矿的控制作用, 并根据成矿侵入体与矿床(体)二者的空间关系, 提出了岩体内部成矿、岩体边缘成矿和岩体外缘成矿等侵入体的 3 种成矿方式的新认识。其不仅对丰富岩浆成矿作用有一定的理论意义, 而且对侵入岩区的找矿工作具有实践指导意义。

1 区域构造背景及侵入岩演化序列

秦岭造山带是在全球与中国大陆形成演化总的地质与动力学背景上, 经历长时期、多阶段、不同构造体制形成的复合型造山带(张国伟等, 2001, 2019; 赵宇航等, 2020)。其至少经历了新元古代、古生代及中生代构造岩浆热事件和造山作用, 发育相对完整的 3 次构造-岩浆事件(张国伟等, 2001; 王晓霞等, 2011, 2015)。即: 新元古代与陆块汇聚-裂解事件密切相关的岩浆活动, 表现为同碰撞到后碰撞花岗岩系, 发育于北秦岭和南秦岭(张成立等, 2004; 王

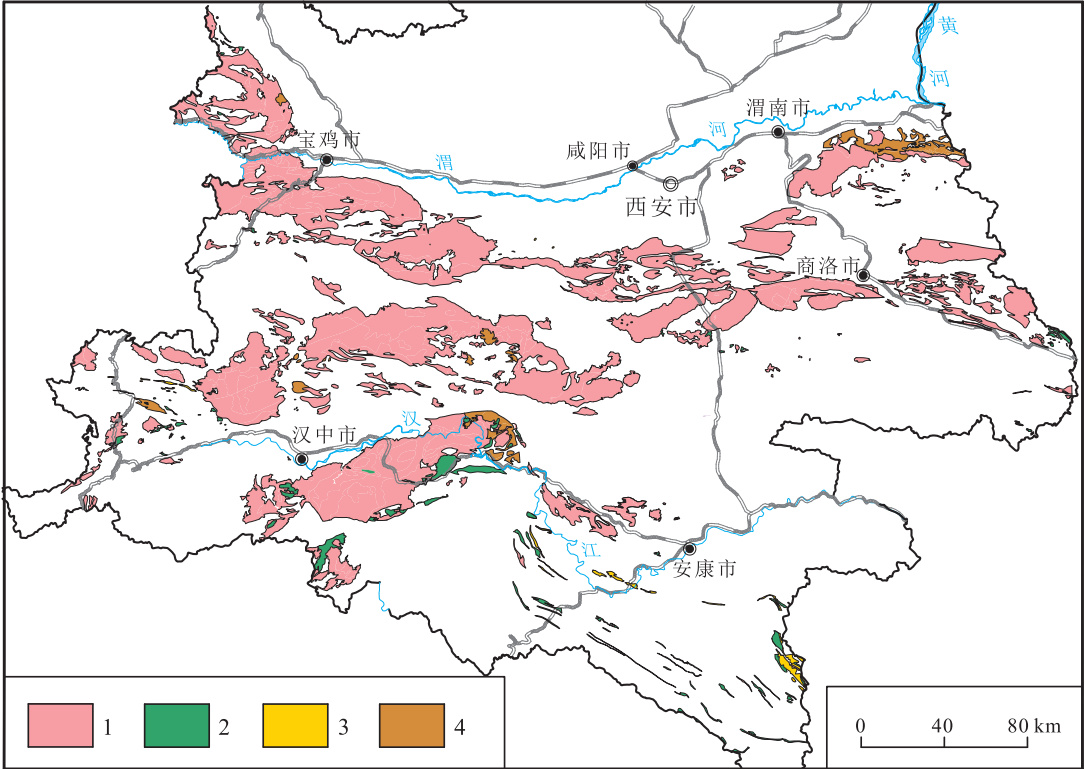
涛等, 2005); 古生代古秦岭洋沿商丹缝合带向北发生俯冲-增生造山而引起的岩浆活动(Ratschbacher et al., 2003; Wang et al., 2005; 王涛等, 2009); 形成什么侵入岩? 中生代碰撞造山及造山后构造岩浆事件, 形成大规模地壳部分熔融型花岗岩类侵入岩(张成立等, 2008)。

陕南位于秦岭造山带的中东部, 岩浆活动贯穿于区内原始陆壳汇聚-再裂解、板块俯冲-增生、碰撞造山、陆内构造“活化”等多阶段、多旋回的漫长地质历史时期, 形成了不同类型的侵入岩, 其出露面积 17 937 km², 占全省岩浆岩出露面积的 67.7%(图 1)。其中, 以花岗岩类和闪长岩类为主, 基性岩、超基性岩及正长岩较少。超基性岩类出露面积为 69 km², 占侵入岩出露面积的 0.4%; 基性岩类出露面积为 942 km², 占侵入岩出露面积的 5.3%; 正长岩类出露面积为 136 km², 占侵入岩出露面积的 0.8%; 闪长岩类为 1 987 km², 占侵入岩的 11.1%; 花岗岩类为 14 803 km², 占侵入岩的 82.5%。根据侵入岩形成时代、形成环境及其出露构造位置, 可划分出 5 个演化序列、13 个岩浆岩区/带(表 1)。其中, 基性、超基性岩主要形成于中-新元古代古陆壳裂解、早古生代大陆边缘裂陷-裂谷等伸展环境, 属上地幔部分熔融产物。该类侵入岩主要与铬、镍、钴及铜成矿关系密切; 中-酸性岩主要形成于中-新元古代古陆壳汇聚, 以及古生代-中生代板块俯冲、碰撞造山环境, 其大多属 I 型和 S 型花岗岩, 为地壳部分熔融而成, 少数属 H 型, 即幔源基性岩浆与地壳酸性岩浆混合型。该类侵入岩主要与金、钼、钨、铜及稀有金属成矿关系密切。

2 侵入岩的控矿作用

陕南秦岭造山带侵入岩与成矿关系的最新研究成果表明, 侵入岩主要控制和影响岩浆型、岩浆热液型、斑岩型、矽卡岩型等与岩浆作用有关的矿床(体)的形成与分布, 其对成矿的控制作用主要体现在侵入岩岩石类型、岩浆作用类型、岩体规模、岩体成矿元素含量、岩体形成时代、岩体空间位置等方面^①。

① 董王仓, 李维成. 中国矿产地志·陕西卷(待出版). 2020.



1. 中酸性岩类;2. 基性-超基性岩类;3. 碱性岩类;4. 变质侵入体(片麻岩套)

图1 陕南地区侵入岩体分布示意图(据陕西省地质调查院,2017 修编)

Fig.1 Distribution diagram of intrusive rocks in southern Shaanxi (After Shaanxi Institute of Geological Survey, 2017)

2.1 侵入岩岩石类型与成矿的关系

侵入岩的不同岩石类型控制区内的不同矿产种类和矿床类型,即侵入岩具有明显的成矿专属性(翟裕生等,2011)。一般而言,随着岩石酸度(SiO_2 含量高低)由高到低变化,矿化也由钼、钨到铜再变为铁、镍、钛、铬。 m/f 值高的镁质系列基性、超基性岩易于形成铬铁矿,铁质系列则易于形成铜、镍矿,富铁质系列的易于形成钒钛磁铁矿,国内其他地区同类岩石具有基本一致的成矿特征(刘朝基等,1987)。中性侵入岩一般与岩浆热液型及矽卡岩型铁铜矿关系密切;酸性侵入岩主要与钼、钨、铜及稀有金属、稀土元素矿产有关,尤其是成矿花岗岩多为富硅、富碱、高钾、贫铁镁的准铝质-过铝质钙碱性系列。这种现象与国内外其他地区侵入岩与金属矿产之间的关系基本相同,说明侵入岩岩石类型与矿产种类之间存在着密切的成因关系(表2)。此成因关系的影响因素复杂,除了岩浆成分、温度和压力外,某些特殊成分围岩的同化作用,以及岩浆体系氧逸度的变化等,也对此产生不同程度的影响。

根据侵入岩的上述成矿专属性,地质找矿中应遵循“什么岩体找什么矿”的工作部署原则。即在陕南元古宙、显生宙早古生代超基性-基性侵入体分布区,应是寻找铁(钒-钛)、铬、镍(钴)、铜等黑色和有色金属矿产的主要地区;陕南中生代中酸性侵入体分布区,应是寻找钼、钨、铜、锡、金等有色和贵金属矿产的主要地区。

2.2 岩浆作用类型与成矿的关系

不同岩浆作用类型控制不同的矿床类型,即岩浆作用类型与矿床类型之间具有内在统一性。超基性-基性岩浆分异作用,控制岩浆分结型、岩浆熔离型矿床的形成和产态,如洋县毕机沟基性岩中的似层状及透镜状岩浆熔离型钒钛磁铁矿;中酸性岩浆的气化-热液作用,控制岩浆热液型、斑岩型矿床的形成和产态,如金堆城花岗斑岩体上部及其围岩中形成的细脉-浸染状钼矿;中酸性岩浆的同化混染作用则控制矽卡岩型矿床的形成和产态,如洛南县木龙沟花岗闪长斑岩与白云岩内外接触带形成的似层状、豆荚状、透镜状铁铜多金属矿。

表 1 陕西省侵入岩浆演化序列

Tab. 1 Intrusive magma evolutionary sequence of Shaanxi Province

构造- 岩浆-热事件	地质 年代	侵入岩区(带)	地理分布及主要岩石类型	构造环境	含矿性
Ⅲ 板块碰撞造 山-构造岩 浆热事件	5. 中生代 侏罗—白 垩纪	(13)金堆城—宁陕北东 向花岗岩(斑)岩带	金堆城、山阳小河口及土地沟一带。二长花岗 岩、黑云钾长花岗岩、花岗斑岩、花岗闪长斑岩	板块碰撞造山晚 期或造山期后受 太平洋板块俯冲 影响而发生的陆 内构造岩浆活动	金、 钼、 钨、铜、铁
		(12)宝鸡—凤县北东向 花岗岩带	太白河及石地沟。为二长花岗岩和花岗闪长岩		
	4. 中生代 三叠纪	(11)勉略北—华阳—东江 口、宝 鸡—太 白 闪 长 岩区	张家坝、光头山、胭脂坝、东江口及宝鸡—太白。碰 撞期大量石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等 花岗岩类岩石；伸展期沙河湾、曹坪环斑奥长花 岗岩	造山期板块俯冲— 碰撞环境；其后为 造山后伸展环境	钼、钨、铷
Ⅱ 板块俯冲- 增生造山- 构造岩浆 热事件	3. 晚古 生代	(10)石炭—二叠纪北秦 岭闪长岩类带	宝鸡颜家河闪长岩和凤县黄牛铺石英闪长岩	造山期 板块俯冲	
		(9)石炭—二叠纪南秦岭 闪长岩类带	留坝、宁陕高桥街等地。石英闪长岩，辉石闪 长岩		
		(8)泥盆纪楼房沟—陇县 扫帚滩超基性岩带	留坝楼房沟和陇县扫帚滩等地。透闪石岩、蛇纹 石化橄榄岩、角闪石岩	构造穿刺冷侵位	铬铁矿
	2. 早古 生代	(7)北秦岭凤县—太白—丹 凤(岛弧)超基性岩—花 岗岩类岩浆岩带	商丹板块结合带及北侧斜峪关。裂谷裂解期蛇 纹石化橄榄岩、辉石岩、辉长岩、细粒基性岩、辉 长岩；板块汇聚期：石英闪长岩、英云闪长岩等； 俯冲碰撞期石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花 岗岩	大陆边缘裂陷—裂 谷—汇聚—俯冲碰撞	铜、镍、铬 铁、磷
		(6)陇山—小秦岭基性—中 酸性岩浆岩带	陇县关山—小秦岭。裂谷裂解期辉绿玢岩；汇 聚期正长闪长岩、石英闪长岩及辉石正长岩等		
		(5)留坝—安康碱性基性 岩(裂谷)带	安康—紫阳、白水江。裂谷裂解期基性辉绿玢 岩、辉长岩及正长(斑)岩		钒钛磁铁 矿、铌
Ⅰ 陆块汇聚- 裂解构造岩 浆热事件	1. 中—新 元古代	(4)中—新元古代小秦 岭花岗岩类岩浆岩带	小河、张家坪汇聚期花岗岩及莽麦山正长斑岩等 组成	古陆壳早期裂解、 晚期汇聚的岛弧 环境	铀、钼、铅
		(3)新元古代商州—丹凤 超基性岩—花岗岩类岩 浆岩带	太白两河口、户县沙坪、宁陕沙沟、商州杨斜、商 南。裂解期橄榄岩；汇聚期片麻状二长花岗岩、 花岗岩		铬铁矿
		(2)中—新元古代勉县— 略阳—宁强超基性岩—花 岗岩类岩浆岩带(北东向)	裂解期蛇纹石化橄榄岩、堆晶辉长岩及中粗粒辉 长岩；汇聚期中细粒闪长岩、闪长玢岩、中细英云 闪长岩、花岗闪长岩及二长花岗岩		铬铁矿 镍、铜
		(1)中—新元古代汉南— 汉阴—小磨岭基—超基性— 中酸性岩浆岩带(北东向)	汉南、安康牛山—汉阴凤凰山、柞水迷魂阵—小 磨岭。橄榄岩、辉石苏长岩、角闪辉长岩、辉 长岩，石英闪长岩	古陆壳强烈扩张 裂解，洋陆间杂的 古秦岭多岛洋	钒 钛 磁 铁矿

注：据陕西省地质调查院，2017 资料修编。

表 2 陕西省成矿侵入岩体与成矿关系

Tab. 2 The relationship between ore-forming intrusive bodies and ore-forming in Shaanxi Province

岩石类型	主要岩性	常见矿种	矿床类型	代表性矿产地
碳酸岩	石英碳酸岩	铌、铀、钼(铅)	碳酸岩型矿床	华阳川铀铌铅矿 洛南县黄龙铺钼矿
碱性岩	正长岩、正长斑岩	铌(钽)	岩浆岩型矿床	紫阳县东木铌(钽)矿 岚皋县佐龙铌(钽)矿
酸性岩- 花岗岩类	花岗伟晶岩	铀及锂、铷、铍、铌等稀有元素	伟晶岩型矿床	商南县光石沟铀矿 商南县大苇园锂矿
	酸性岩	钼、钨	斑岩型矿床	华县金堆城钼矿
			矽卡岩型矿床	宁陕县月河坪钼矿
			岩浆热液脉型矿床	镇安县东阳钨矿
	中酸性岩	铜	矽卡岩型矿床	山阳县小河口铜矿
中性岩	花岗闪长岩	铁	矽卡岩型矿床	洛南县木龙铁矿
基性岩	辉长岩	铁、钛、钒		洋县毕机沟钒钛磁铁矿
超基性岩	纯橄榄岩、斜辉辉橄岩	铬、镍 铂族元素	岩浆型矿床	商南松树沟铬铁矿 略阳县煎茶岭镍矿

注:酸性岩分类方案据付治国,2007;罗铭玖等,1993。

岩浆作用类型与矿床类型之间的上述关系,表明侵入岩地区的找矿工作应注意以下几个问题:一是超基性-基性岩体分布区,应注意研究岩浆结晶分异作用和熔离作用,详细划分不同的岩相带,分析研究成矿元素分散、迁移、富集与不同岩相之间的关系,圈定有利成矿的岩相带;二是中酸性侵入体分布区,应注意研究岩浆期后构造-热液作用,划分成矿前、成矿期及成矿后等不同期次、不同性质的地质构造,以及热液蚀变带,圈定有利成矿的构造-蚀变矿化区(段、带)。

2.3 侵入体规模与成矿的关系

一般而言,形态较规整、规模较大的侵入体不易成矿,而形态不规则、规模较小的岩体则有利于矿体的形成(郭文魁,1959),且往往能形成较大规模的矿床,即具有“小岩体成(大)矿”的总体规律(汤中立等,2006,2015)。如在陕南东部金堆城一柞水一镇安西部一带的印支—燕山期中酸性侵入体(岩基)旁侧的小岩(斑)体,目前已发现以金堆城超大型斑岩型钼矿、镇安县东阳大型矽卡岩型-岩浆热液脉型钨矿、山阳小河口铜矿为代表的一系列钼、钨、铜等有色金属矿床(图 2)。

“小岩体成(大)矿”的观点,向找矿工作者提出

了“大处着眼,小处着手”的找矿思路。即寻找与侵入岩有关的矿产资源时,着眼于侵入岩分布区无疑应是大前提,但具体的找矿工作则应重视大岩体旁侧或附近的小岩体、岩脉(群)。

2.4 侵入体成矿元素含量与成矿的关系

成矿侵入体(母岩)的成矿元素含量及其富集程度,控制矿床规模大小。如金堆城超大型钼矿的成矿母岩钼元素含量(433.1×10^{-6})远高于地壳丰度(1.3×10^{-6}),其富集系数 $K=333.15$,属特富集型;蟒岭岩体西侧潘河中型钼矿成矿母岩钼元素含量(25×10^{-6})远高于地壳丰度(1.3×10^{-6}),其富集系数 $K=19.23$,属强富集型;山阳县池沟铜(钼)矿床成矿母岩的 Cu 元素含量($200 \times 10^{-6} \sim 226 \times 10^{-6}$)高于地壳丰度(63×10^{-6}),其富集系数 $K=3.17 \sim 3.59$,属中等富集型。钼元素含量($<2 \times 10^{-6}$)与地壳丰度(1.3×10^{-6})接近,其富集系数 $K \approx 1$,属弱富集-贫瘠型。总结上述中酸性小岩体相关成矿元素富集程度与所成矿床规模之间的关系,认为成矿母岩中成矿元素含量越高,所形成相关矿床的规模便越大,二者之间一般具有正相关关系。形成超大型钼矿床的成矿母岩钼元素丰度值不能低于 50×10^{-6} (付治国,2007),即钼元素富集系数 $K>35$ 。

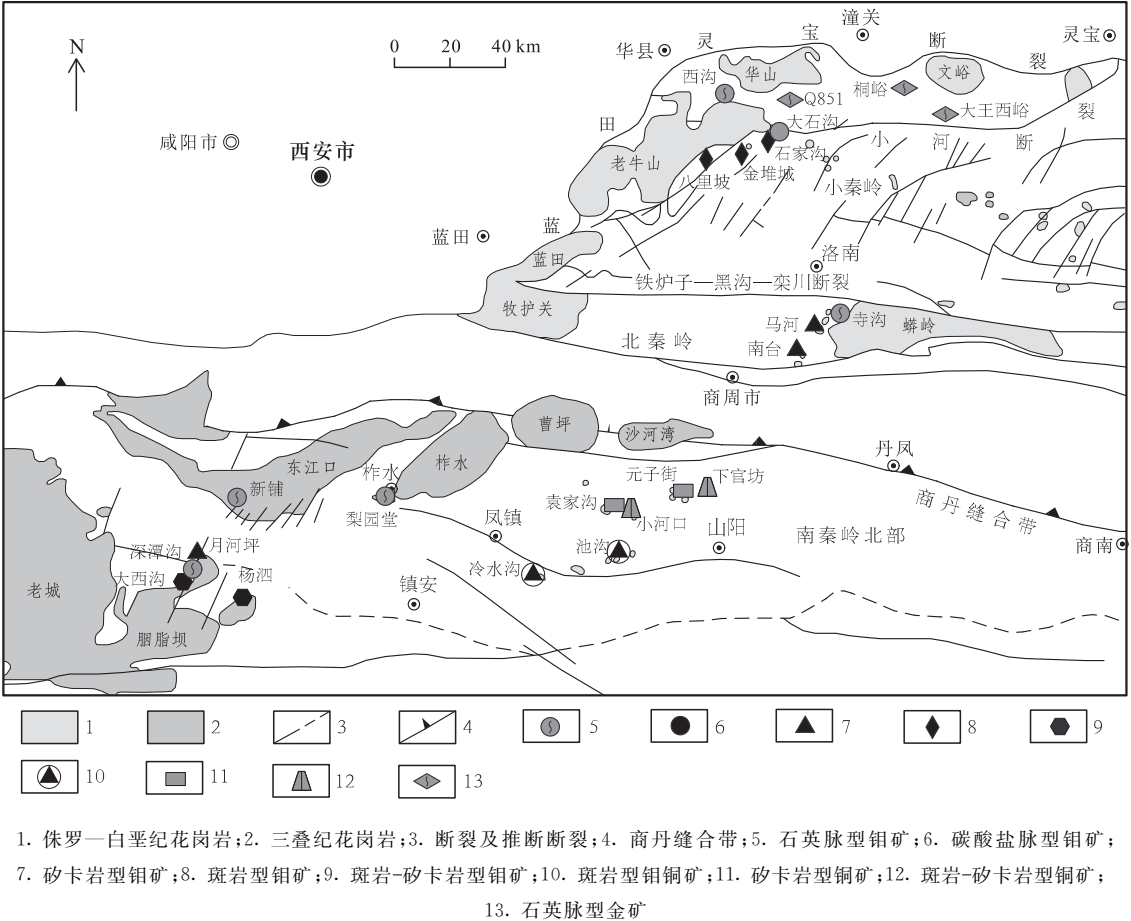


图 2 陕南东部金堆城—镇安西部岩体及矿产分布图(底图据代军治等,2014 修编)

Fig. 2 Rock mass and ore distribution diagram in Jinduicheng - West of Zhen'an (After DAI Junzhi et al. , 2014)

侵入体的成矿元素及其含量高低,不仅对侵入体是否成矿及其矿床规模有着重要影响,而且对找矿工作也有关键的启示作用。即在侵入岩区找矿工作初期,应部署安排区域性水系沉积物测量(1:25~1:5万),以及针对侵入体的岩石地球化学剖面测量等工作,以迅速大致查明侵入体的成矿元素含量、富集程度、元素异常及其分布情况,以便预测侵入体的找矿潜力。

2.5 侵入体形成时代与成矿的关系

岩浆成矿系列类型,随着侵入体形成时代及构造环境的变化而改变。晋宁期—加里东期以超基性—中基性岩浆成矿作用为主,形成铁、铬、镍(钴)、铜为主的一系列成矿系列;印支期—燕山期以中酸性岩浆成矿作用为主,形成金、钼、钨为主的成矿系列。从早期到晚期,成矿作用由超基性、中基性岩浆成矿

作用,向中酸性岩浆成矿作用演化,矿产由黑色金属向贵金属、有色金属演化。

2.6 侵入体不同空间位置与成矿的关系

侵入体的不同空间位置对成矿具有不同的控制作用。根据成矿侵入体与矿床(体)的空间关系,可划分出以下 3 种成矿方式:岩体内部成矿、岩体边缘成矿和岩体外缘成矿。

(1) 岩体内部成矿,简称体内成矿,是指成矿作用发生于岩体内部,矿体受岩体的岩相控制。超基性—基性岩和碱性岩一般具有此成矿特征,其矿床类型主要为岩浆型矿床。如洋县毕机沟钒钛磁铁矿(图 3)、略阳县煎茶岭镍矿和紫阳县东木一带的铈(钽)矿。

(2) 岩体边缘成矿,简称体缘成矿,是指成矿作用主要发生于岩体边缘与围岩接触带及其附

近, 矿体受接触变质作用及矽卡岩带控制。中酸性侵入岩一般具有此成矿特征, 其矿床类型有矽卡岩型矿床(如洛南地区多金属矿, 图 4)、岩浆热液型矿床(如镇安县东阳钨矿)和斑岩型矿床(如

华县金堆城钼矿)。另外, 伟晶岩矿床一般也具有此成矿特征, 多分布于侵入体顶部、边缘。不同类型的伟晶岩常围绕与其成因有成因关系的花岗岩体呈带状分布。

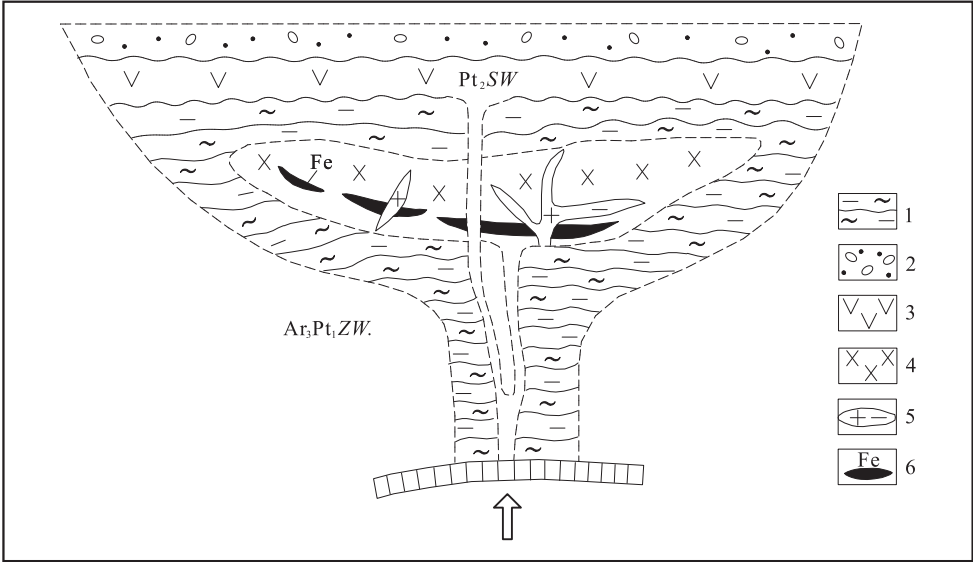


图 3 洋县毕机沟式钒钛磁铁矿成矿模式(据陕西省地质调查院, 2013)

Fig. 3 V - Ti magnetite metallogenic pattern of Bijigou (After Shaanxi Institute of Geological Survey, 2013)

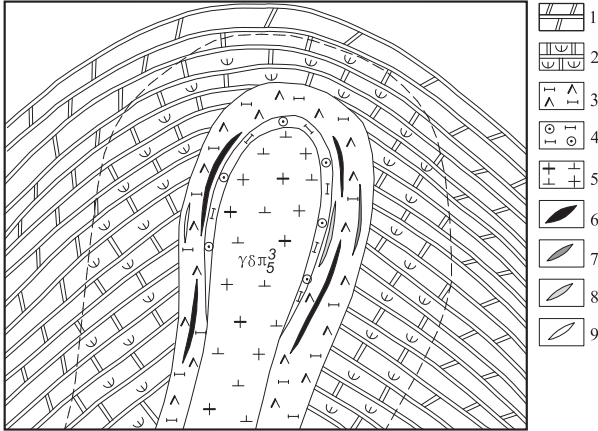


图 4 洛南地区铁铜钼铅锌多金属成矿模式(据陕西省地质调查院, 2013 修改)

Fig. 4 Metallogenic pattern of Fe - Cu - Mo - Pb - Zn in Lonan area(After Shaanxi Institute of Geological Survey, 2013)

(3) 岩体外缘成矿, 简称外缘成矿, 是指成矿作用主要发生于远离岩体中心一定范围的围岩中, 矿体受围岩中的断裂控制。中酸性侵入岩一般具有此成矿特征, 其矿床类型主要为岩浆热液脉型矿床。如潼关县小秦岭地区的石英脉型金矿床均产于燕山期文峪二长花岗岩体外部边缘 2~7 km 之外(图 5)。

侵入体不同空间位置与成矿关系的这一认识, 回答了“在岩体什么部位找矿”, 以及“岩体不同空间部位寻找不同类型矿床”的问题。根据“体内成矿”的观点, 在超基性-基性岩体, 乃至碱性岩和伟晶岩等侵入体(岩脉)分布区, 地质找矿工作的重点应是岩体本身。矿体依附于岩体, 其一般不会脱离岩体而存在; 根据“体缘成矿”的观点, 在中酸性侵入体分布区, 岩浆热液脉型、矽卡岩型和斑岩型等钨、钼、铜等有色金属找矿工作的重点应是岩体边缘及其内外接触带附近; 而根据“外缘成矿”的观点, 岩浆热液脉

论”。如由“侵入岩具有成矿专属性”的认识,可以转化为“什么岩体找什么矿”的找矿思路,由“小岩体成(大)矿”的一般成矿规律,可以转化为“大处着眼,小处着手”的工作部署方案,依据侵入体具有“体内成矿、体缘成矿和外缘成矿”的不同成矿方式,可以转化为“岩体不同空间部位寻找不同矿种和矿床类型”的找矿思路和工作方案。

4 结论

(1)侵入岩的控矿作用是岩浆作用矿床研究的重要内容之一。笔者在总结陕南秦岭造山带侵入体与矿床(体)二者空间配置关系的基础上,提出了岩体内部成矿、岩体边缘成矿和岩体外缘成矿等侵入岩3种成矿方式的新认识,丰富了岩浆作用矿床及其成矿规律的研究内容。

(2)侵入岩岩石类型、岩浆作用类型、岩体规模、成母岩元素含量、岩体形成时代、岩体空间位置等对成矿的控制作用,既是侵入岩控矿的“认识论”,也是地质找矿的“方法论”。对于侵入岩区的找矿工作部署和矿产勘查工程布设具有一定的实践指导意义。

致谢:本文是在“中国矿产地质志·陕西卷”项目相关研编成果基础上编写而成。该项目实施期间,得到了“中国矿产地质志”项目负责人陈毓川院士和王登红研究员,以及“中国矿产地质志·陕西卷”专家委员会汤中立院士、宋小文教授级高级工程师等专家的悉心指导,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(04): 854-865.

CHEN Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. Geology in China, 2010, 37(04): 854-865.

成欢, 王瑞廷, 吴祥辉, 等. 秦巴山脉矿产资源勘查开发及绿色循环发展初探[J]. 西北地质, 2017, 50(01): 280-290.

CHENG Huan, WANG Ruiting, WU Xianghui, et al. Preliminary investigation on mineral resources exploitation

and green & cycle development in the Qinba mountain area[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(01): 280-290.

代军治, 陈荔湘, 石小峰, 等. 陕西略阳煎茶岭镍矿床酸性侵入岩形成时代及成矿意义[J]. 地质学报, 2014, 88(10): 1861-1873.

DAI Junzhi, CHEN Lixiang, SHI Xiaofeng, et al. Geochronology of acid intrusive rocks of the Jianchaling Nickel deposit in Lueyang, Shaanxi and its metallogenic implications[J]. Acta Geologic Sinica, 2014, 88(10): 1861-1873.

付治国, 靳拥护, 吴飞, 等. 东秦岭-大别山5个特大型钼矿床的成母岩地质特征分析[J]. 地质找矿论丛, 2007, 22(04): 277-281.

FU Zhiguo, JIN Yonghu, WU Fei, et al. Geological characteristics of host rocks of 5 mega Mo deposits in east Qinling-Dabie[J]. Contributions To Geology and Mineral Resources Research, 2007, 22(04): 277-281.

高峰, 裴先治, 李瑞保, 等. 东秦岭商丹地区武关岩群斜长角闪片岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 西北地质, 2017, 50(01): 198-211.

GAO Feng, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the Plagioclase-Amphibole schist from the Wuguan group in Shangdan area, east Qinling, and its geological significance[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(01): 198-211.

弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 等. 南秦岭沙河湾、曹坪和柞水岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(02): 248-264.

GONG Hujun, ZHU Laimin, SUN Boya, et al. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characteristics and their geological significance of the Shahewan, Caoping and Zhazhui granitic plutons in the South Qinling orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(02): 248-264.

郭文魁. 编制南岭区内生有色、稀有金属成矿规律略图中的某些问题[J]. 地质论评, 1959, 19(3): 103-109.

GUO Wenkui. Some problems in drawing the metallogenic regularities of endogenous nonferrous and rare metals in Nanling area[J]. Geological Review, 1959, 19(3): 103-109(in Chinese).

侯增谦. 大陆碰撞成矿论[J]. 地质学报, 2010, 84(01): 30-58.

- HOU Zengqian. Metallogensis of Continental Collision[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(01):30-58.
- 赵宇航, 苟龙龙, 徐晓飞, 等. 秦岭造山带喂子坪秦岭杂岩中角闪岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2020, 47(5): 1599-1601.
- ZHAO Yuhang, GOU Longlong, XU Xiaofei, et al. Eircon U-Pb age of amphibolite from the Qinling Complex in the Weiziping area, Qinling Orogenic Belt[J]. Geology in China, 2020, 47(5): 1599-1601 (in Chinese with English abstract).
- 刘朝基, 曾绪伟, 金久堂. 康滇地区基性超基性岩岩石化学及其与成矿的关系[A]. 中国地质科学院成都地质矿产研究所文集[C]. 成都: 地质出版社, 1987, 123-135.
- LIU Chaoji, ZENG Xuwei, JIN Jiutang. Petrochemistry of the basic-ultrabasic rocks in the Kangdian district and the relation to the metallogenesis[A]. Bull. Chengdu Inst. Geol. M. R., Chinese Acad Geol. Sci [C]. Chengdu: Geological Publishing House, 1987, 123-135.
- 罗铭玖, 林潜龙, 卢欣祥, 等. 东秦岭含钼花岗岩的地质特征[J]. 河南地质, 1993, 11(01):2-8.
- LUO Mingjiu, LIN Qianlong, LU Xinxiang, et al. Geological characteristics of Molybdenum bearing granite in East Qinling Mountains[J]. Henan Geology, 1993, 11(01):2-8(in Chinese).
- 陕西省地质调查院. 陕西省重要矿产资源潜力评价成果报告[R]. 2013.
- Shaanxi Institute of Geological Survey. Results Report of important mineral resources potential evaluation in Shaanxi Province[R]. 2013.
- 陕西省地质调查院. 中国区域地质志·陕西志[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- Shaanxi Institute of Geological Survey. Regional Geology of China Shaanxi [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- 汤中立, 李小虎. 两类岩浆的小岩体成大矿[J]. 矿床地质, 2006, 25(S1):35-38.
- TANG zhongli, LI Xiaohu. Small intrusions forming large deposits in two types of magma[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(S1):35-38.
- 汤中立, 焦建刚, 闫海卿, 等. 小岩体成(大)矿理论体系[J]. 中国工程科学, 2015, 17(2), 4-18.
- TANG Zhongli, JIAO Jiangang, YAN Haiqing, et al. Theoretical system for (large) deposit formed by smaller intrusion[J]. Strategic Study of CAE, 2015, 17(2), 4-18.
- 王涛, 张宗清, 王晓霞, 等. 秦岭造山带新元古代同碰撞花岗岩变形及其时代限定——强变形岩体与弱变形脉体的锆石 SHRIMP 年龄证据[J]. 地质学报, 2005, 79(2): 220-231.
- WANG Tao, ZHANG Zongqing, WANG Xiaoxia, et al. Neoproterozoic collisional deformation in the core of the Qinling orogen and its age: Constrained by zircon SHRIMP dating of strongly deformed syn-collisional granites and weakly deformed granitic veins[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(2): 220-231.
- 王涛, 王晓霞, 田伟, 等. 北秦岭古生代花岗岩组合、岩浆时空演变及其对造山作用的启示[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2009, 39(07):949-971.
- WANG Tao, WANG Xiaoxia, TIAN Wei, et al. North Qinling Paleozoic granite associations and their variation in space and time: Implications for orogenic processes in the orogens of Central China[J]. Science in China (Ser. D), 2009, 39(07), 949-971.
- 王晓霞, 王涛, 齐秋菊, 等. 秦岭晚中生代花岗岩时空分布、成因演变及构造意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(6), 1573-1593.
- WANG Xiaoxia, WANG Tao, QI Qiuju, et al. Temporal-spatial variations, origin and their tectonic significance of the Late Mesozoic granites in the Qinling, Central China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(6): 1573-1593.
- 王晓霞, 王涛, 张成立. 秦岭造山带花岗质岩浆作用与造山带演化[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(08): 1109-1125.
- WANG Xiaoxia, WANG Tao, ZHANG Chengli. Granitoid magmatism in the Qinling orogen, central China and its bearing on orogenic evolution[J]. Science China: Earth Sciences, 2015, 45(08):1109-1125.
- 熊潇, 朱赖民, 张国伟, 等. 南秦岭柞水-山阳矿集区小河口矽卡岩型铜矿床矿物化学及其成矿意义[J]. 岩石学报, 2019, 35(8):2597-2614.
- XIONG Xiao, ZHU Laimin, ZHANG Guowei, et al. Mineral chemistry of the Xiaohekou skarn copper deposit in the Zhashui-Shanyang ore cluster area, South Qinling and its

- metallogenic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2019, 35(8):2597-2614.
- 熊潇. 秦岭造山带典型矿床地质—地球化学及其对关键造山事件的指示[D]. 西安:西北大学, 2017.
- XIONG Xiao. Geology and geochemistry of typical ore deposits from the Qinling Orogen and their indications for the key orogenic events: Case studies of Tongyu copper deposit, Wenquan molybdenum deposit and Xiaohoukou copper deposit[D]. Xi'an: Northwest University, 2017.
- 薛颖瑜, 张贺, 陈福坤. 秦岭造山带中部两河口岩体花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及地质意义[J]. *高校地质学报*, 2019, 25(01):1-13.
- XUE Yingyu, ZHANG He, CHEN Fukun. Zircon U-Pb age, geochemistry, and geological significance of granites from Lianghekou pluton, Central Qinling Orogenic Belt [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2019, 25 (01):1-13.
- 杨阳. 秦岭造山带中段花岗岩的时空格架、源区物质及其对地壳深部物质组成的示踪[D]. 北京:中国地质科学院, 2017.
- YANG Yang. Spatial-temporal distribution and sources of granitoids in the middle Qinling Orogenic Belt, central China: implications for the nature of deep crustal basement[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2017.
- 臧文娟. 南秦岭造山带晚三叠世五龙岩体岩浆混合作用研究[D]. 西安:西北大学, 2011.
- ZANG Wenjuan. Magma mixing of Late-Triassic WuLong pluton in Southern Qinling Orogenic Belt [D]. Xi'an: Northwest University, 2011.
- 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 矿床学(第三版)[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- ZHAI Yusheng, YAO Shuzhen, CAI Keqin. Mineral deposits (3rd Edition) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- 张成立, 刘良, 张国伟, 等. 北秦岭新元古代碰撞花岗岩的确定及其构造意义[J]. *地质学前沿*, 2004, 11(3): 33-42.
- ZHANG Chengli, LIU Liang, ZHANG Guowei, et al. Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the North Qinling Mountains and its tectonic significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 33-42.
- 张成立, 王涛, 王晓霞. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(3): 304-316.
- ZHANG Chengli, WANG Tao, WANG Xiaoxia. Origin and tectonic setting of the Early Mesozoic granitoids in Qinling orogenic belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(3): 304-316.
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 造山带与造山作用及其研究的新起点[J]. *西北地质*, 2001, 34(01):1-9.
- ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, YAO Anping. Review on the development of studies on the tectonic and orogen process of orogenic belt, and discussing on some new key problems[J]. *Northwestern Geology*, 2001, 34 (01):1-9.
- 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等. 关于秦岭造山带[J]. *地质力学学报*, 2019, 25(5):746-768.
- ZHANG Guowei, GUO Anlin, DONG Yunpeng, et al. Re-thinking of the Qinling Orogen[J]. *Journal of Geomechanics*, 2019, 25(5):746-768.
- 张国伟. 中山大学地质学科创立 90 周年暨陈国达院士诞辰 102 周年纪念专辑序言[J]. *大地构造与成矿学*, 2015, 39(03):379.
- ZHANG Guowei. The 90th anniversary of the establishment of geology of Sun Yat-sen University and the 102nd anniversary of the birth of Academician Chen Guoda[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015, 39(03):379.
- Ratschbacher L, Hacker B R, Calvert A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history[J]. *Tectonophysics*, 2003, 366(1-2): 1-53.
- WANG Tao, PEI Xianzhi, WANG Xiaoxia, et al. Orogen-parallel westward oblique uplift of the Qinling complex in the core of the Qinling orogen (China): An example of oblique extrusion of deep-seated metamorphic rocks in a convergent orogen[J]. *Journal of Geology*, 2005, 113(2): 181-200.