

DOI: 10.12401/j.nwg.2023012

西秦岭成矿带区域成矿规律概论

姜寒冰, 杨合群, 赵国斌, 谭文娟*, 温志亮, 李宗会,
辜平阳, 李健强, 郭培虹, 王永和

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安, 710054)

摘要: 西秦岭成矿带(Ⅲ-28)已发现 44 种矿产, 包括能源矿产 4 种、金属矿产 15 种、非金属矿产 23(包括洮砚石)种、水气矿产 2 种。已发现各类矿产地 675 处, 其中超大型 8 处、大型 31 处、中型 80 处、小型 276 处、矿点 280 处。按成矿亚带展现的成矿强度排序: 合作-西和-凤县成矿亚带(Ⅳ-28①) > 兴海-碌曲-徽县成矿亚带(Ⅳ-28②) > 迭部-武都-留坝成矿亚带(Ⅳ-28③) > 玛曲-九寨沟-三河成矿亚带(Ⅳ-28④)。按地质时代展现的成矿强度排序: 中生代(Mz) > 晚古生代(Pz₂) > 新生代(Cz) > 早古生代(Pz₁)。笔者按矿种和矿床类型全覆盖原则, 对西秦岭成矿带厘定了矿床成矿系列 11 个, 解析出矿床成矿亚系列 20 个及矿床式 66 个; 基于矿床成矿亚系列的成矿时代-成矿作用-构造环境综合图解, 建立了该成矿带区域成矿模式。西秦岭成矿带成矿演化的驱动力, 内生动力占主要地位, 外生动力占次要地位。华力西期的逐步拉张裂隙和印支期的强烈挤压造山, 是西秦岭成矿带成矿最优势的地球动力学背景。

关键词: 成矿系列; 成矿模式; 成矿演化; 地球动力学背景; 西秦岭成矿带

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0187-16

Discussion on the Metallogenic Regularity in West Qinling Metallogenic Belt, China

JIANG Hanbing, YANG Hequn, ZHAO Guobin, TAN Wenjuan*, WEN Zhiliang, LI Zonghui,
GU Pingyang, LI Jianqiang, GUO Peihong, WANG Yonghe

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The West Qinling metallogenic belt (Ⅲ-28) has discovered 59 minerals, including 4 energy minerals, 28 metal minerals, 25 non-metal minerals, and 2 aqueous and gaseous minerals; 675 various mineral ore-field have been discovered, including 8 super-large, 31 large, 80 medium, 276 small, and 280 mineral occurrences. Mineralization intensity by West Qinling metallogenic sub-belt: Guide-Xihe-Fengxian metallogenic sub-belt (Ⅳ-28①) > Xinghai-Luqu-Huixian metallogenic sub-belt (Ⅳ-28②) > Diebu-Wudu-Liuba metallogenic sub-belt (Ⅳ-28③) > Maqu-Jiuzhaigou-Sanhe metallogenic sub-belt (Ⅳ-28④). Mineralization intensity by geological age: Mesozoic (Mz) > Late Paleozoic (Pz₂) > Cenozoic (Cz) > Early Paleozoic (Pz₁). Based

收稿日期: 2022-07-11; 修回日期: 2022-11-23; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 中国地质调查局“祁连-秦岭铜镍钴金战略性矿产调查评价”项目(DD20230334), “中国矿产地质志”项目(DD20160346、DD20190379、DD20221695)下项目“西北地区区域成矿规律研究与总结”联合资助。

作者简介: 姜寒冰(1979-), 女, 高级工程师, 从事成矿规律及矿产预测研究。E-mail: jianghanbing1980@126.com。

* 通讯作者: 谭文娟(1980-), 女, 高级工程师, 主要从事区域成矿规律研究。E-mail: 781683087@qq.com。

on the principle of full coverage of mineral species and deposit types, this paper identifies 11 deposit metallogenic series, 20 deposit metallogenic subseries and 66 deposit types in the West Qinling metallogenic belt; establishes a regional metallogenic model for the West Qinling metallogenic belt based on the comprehensive diagram of metallogenic age-metallogenic action-tectonic environment of deposit metallogenic subseries. The dynamics of metallogenic evolution of the West Qinling mineralization belt is dominated by endogenous dynamics and secondary by exogenous dynamics. The most advantageous geodynamic setting for the West Qinling mineralization belt is the gradual extensional rifting of the Variscan and the intense extrusion orogeny of the Indosinian.

Keywords: metallogenic series; metallogenic model; mineralization evolution; geodynamics background; West Qinling metallogenic belt

西秦岭成矿带是中国重要成矿带之一,在全国成矿区带划分方案中编号为Ⅲ-28(徐志刚等, 2008),属秦岭西段一个Ⅲ级成矿单元(图 1)。迄今为止,该成矿带已发现 44 种矿产,包括能源矿产 4 种、金属矿产 15 种、非金属矿产 23 种、水气矿产 2 种。据不完全统计,区内有各类矿产地 675 处,其中超大型 8 处、大型 31 处、中型 80 处、小型 276 处、矿点 280 处。尽管以往曾有学者(杜子图等, 1998; 姚书振等, 2006; 李宗会等, 2012; 路英川等, 2016; 赵东宏等, 2019; 王义天等, 2021)进行区域成矿规律研究,但空间范围或矿种覆盖不全。笔者力图按全覆盖原则,在团队新近发表(杨合群等, 2022)的“西秦岭成矿带矿床成矿系列概论”基础上进一步扩展论述内容,深化区域成矿规律。

1 大地构造背景

西秦岭成矿带大地构造位置位于秦岭造山带的西段,地处中央造山带的关键部位,同时横跨在中国中部南北向构造带上,是古亚洲构造域、特提斯构造域和滨太平洋构造域复合叠加部位(冯益民等, 2003; 张国伟等, 2004)。

根据张国伟等(2019)研究成果总结,早古生代先是由秦岭洋盆分隔的华北、华南两板块扩张到奥陶纪中期洋盆开始收缩消减,沿华北板块南缘商丹边界,华南板块向北俯冲,至志留纪与泥盆纪转换期,南北两板块已几乎陆-陆接近,甚至已有陆块突出部分的点接触陆-陆俯冲碰撞,但就在此时由于东特提斯大区域发生新的扩张作用,导致秦岭区域板块俯冲消减速度变缓,致使未能进一步发生陆-陆全面碰撞造山。在秦岭南部,即华南板块北缘原消减的被动陆缘裂谷

上新形成的勉略洋盆正处于扩张打开以致形成有限洋盆的演化阶段,造成整个秦岭地区调整转换成三块夹两盆的构造格局,即由北而南展布华北板块、商丹残留洋盆或海盆、秦岭微板块、勉略扩张有限洋盆、华南板块的大地构造新格局,致使秦岭造山带直到晚古生代至中生代的印支期,才发生华北南缘商丹带最终于中晚三叠世全面完成陆-陆俯冲碰撞,形成商丹板块缝合带。勉略有限洋盆则自泥盆纪—石炭纪—二叠纪扩张打开,二叠纪中晚期开始消减俯冲,到三叠纪中晚期随同北侧商丹带,最终双双向北俯冲碰撞,完成秦岭造山带三板块沿二缝合带复合俯冲碰撞造山的板块构造演化历史进程。笔者所论西秦岭成矿带,早古生代属于扬子板块被动陆缘;晚古生代—中生代的印支期处于秦岭微板块;此后属于秦岭山系的一部分。

2 矿床时空分布规律

西秦岭成矿带空间单元划分为 IV-28①亚带、IV-28②亚带、IV-28③亚带和 IV-28④亚带(图 1),时间单位划分为早古生代(加里东期)、晚古生代(华力西期)、中生代(印支期—燕山期)及新生代(喜马拉雅期),西秦岭成矿带矿床时空分布特点见表 1。

2.1 矿床按成矿亚带的分布

按成矿亚带展现的空间分布规律,西秦岭成矿带各成矿亚带的成矿强度排序为 IV-28①亚带 > IV-28②亚带 > IV-28③亚带 > IV-28④亚带。

(1) 合作市—西和—凤县成矿亚带(IV-28①)

该成矿亚带华力西期形成了铅、锌、金、铜、铁、灰岩和重晶石等矿产;印支期—燕山期形成了金、银、铜、锑、铁、钨、锡、钼、砷、灰岩、长石、大理岩、红

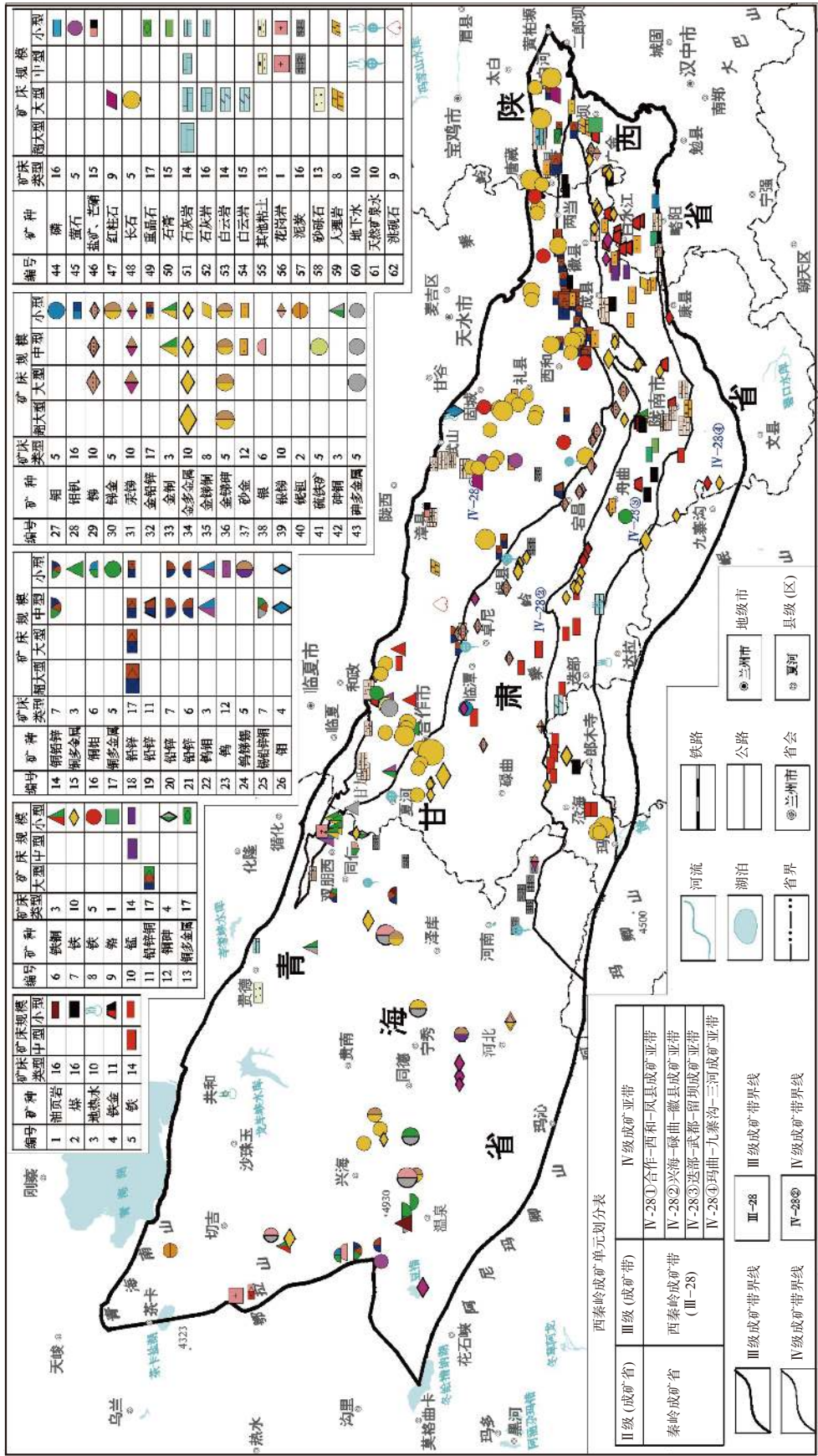


Fig. 1 Distribution maps of deposits in West Qinling metallogenic belt, China

1.岩浆型; 2.伟晶岩型; 3.接触交代型(矽卡岩型); 4.斑岩型; 5.岩浆热液型; 6.陆相火山岩型; 7.海相火山岩型; 8.受变质型; 9.变成型; 10.浅成中-低温热液型及成因不明矿床; 11.风化型; 12.砂矿型; 13.机械沉积型; 14.化学沉积型; 15.蒸发沉积型; 16.生物化学沉积型; 17.叠加(复合/改造)矿床

表 1 西秦岭成矿带矿床时空分布特点

Tab. 1 Temporal-spatial distribution of deposit in West Qinling metallogenic belt, China

时间	空 间				合 计
	IV-28①亚带	IV-28②亚带	IV-28③亚带	IV-28④亚带	
新生代 (喜马拉雅期)	中型2处; 小型9处	大型1处; 中型10处; 小型9处	中型4处; 小型21处	小型1处	大型1处; 中型16处; 小型40处
中生代 (印支期—燕山期)	超大型1处; 大型5处; 中型11处; 小型53处	超大型3处; 大型5处; 中型15处; 小型62处	超大型1处; 大型2处; 中型5处; 小型43处	大型1处; 中型1处; 小型6处	超大型5处; 大型 15处; 中型34处; 小型173处
晚古生代 (华力西期)	超大型3处; 大型11处; 中型14处; 小型45处	中型7处; 小型3处	大型3处; 中型7处; 小型8处		超大型3处; 大型 14处; 中型28处; 小型56处
早古生代 (加里东期)		小型1处	大型1处; 中型2处; 小型6处		大型1处; 中型2处; 小型 7处
合计	超大型4处; 大型 18处; 中型29处; 小型116处	超大型3处; 大型6处; 中型32处; 小型75处	超大型1处; 大型6处; 中型18处; 小型78处	大型1处; 中型1处; 小型7处	超大型8处; 大型 31处; 中型80处; 小型276处

柱石、萤石和砷石和硫铁矿等矿产;喜马拉雅期形成了砂金、砂钨、黏土、泥炭、地下水、矿泉水、地热、盐矿和芒硝矿产。主要成矿期为华力西期和印支期。据不完全统计,在该亚带内矿床有超大型4处、大型18处、中型29处、小型116处。

(2)兴海—碌曲—徽县成矿亚带(IV-28②)

该成矿亚带华力西期形成了金、铅、锌、钼、铁、铜、锡、银、灰岩和萤石等矿产;印支期—燕山期形成了金、铅、锌、钼、铁、钨、锑、汞、铜、铀、锡、银、砷、灰岩、花岗岩和煤矿;喜马拉雅期形成了砂金、矿泉水、泥炭、砂砾石和地下水等矿产。其中,主要成矿期为印支期和喜马拉雅期。据不完全统计,该亚带内矿床有超大型3处、大型6处、中型32处、小型75处。

(3)迭部—武都—留坝成矿亚带(IV-28③)

该成矿亚带加里东期形成了锰、钼、钒、磷、石煤、灰岩等矿产;华力西期形成了金、铁、铬、石膏矿、白云岩、灰岩、化肥用蛇纹岩矿等矿种;印支期—燕山期形成了金、铁、汞、锑、饰面超基性岩、煤炭和油页岩等矿产,喜马拉雅期形成了砂金、铁、锰、泥炭、黄土和黏土等。主要成矿期为华力西期、印支期和喜马拉雅期。据不完全统计,该亚带内矿床有超大型1处、大型6处、中型18处、小型78处。

(4)玛曲—九寨沟—三河成矿亚带(IV-28④)

该成矿亚带华力西期形成了金、石灰岩和白云岩等矿产;印支期—燕山期形成了金、铁、石灰岩和白云岩等矿产;喜马拉雅期形成了地热水、金等矿产。

主要成矿期为华力西期和印支期。据不完全统计,该亚带内矿床有大型1处、中型1处、小型7处。

2.2 矿床按成矿时代的分布

按成矿时代展现的成矿强度,西秦岭成矿带各成矿时代的排序为中生代(Mz)(印支期—燕山期)>晚古生代(P₂)(华力西期)>新生代(Cz)(喜马拉雅期)>早古生代(P₁)(加里东期)(图2)。

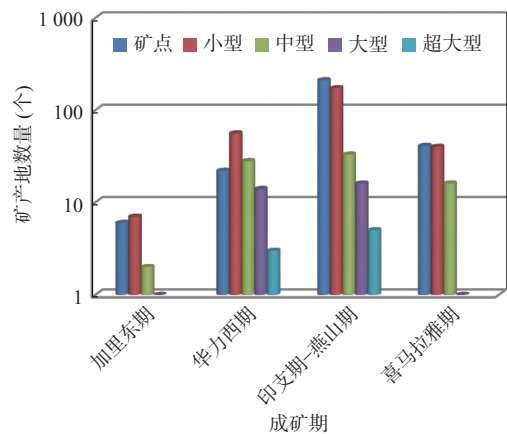


图 2 西秦岭成矿带成矿时代分布图

Fig. 2 Ore forming epoch distribution of deposit in West Qinling metallogenic belt, China

(1)早古生代

早古生代(加里东期),西秦岭地区以沉积成矿作用为主。沉积成矿作用形成了锰、钼、钒、磷、石煤、灰岩、铀等矿产。本期矿床有大型1处、中型2处、小型7处(图2)。

(2)晚古生代

晚古生代(华力西期)为西秦岭地区成矿主要时期,仅次于中生代(印支期—燕山期)成矿,许多超大型、大型铅锌矿形成于该时期,主要为泥盆纪沉积改造型铅锌(铜)矿、铁矿等,并遭受印支期岩浆—构造热液作用的叠加改造进一步富集。少量岩浆成矿作用形成了铜、铅、锌、锡、铬和饰面超基性岩等矿产。本期矿床有超大型3处、大型14处、中型28处、小型56处。

(3)中生代

中生代(印支期—燕山期)为西秦岭成矿带主要发生了沉积成矿作用、流体成矿作用和岩浆成矿作用。沉积成矿作用主要形成了煤、灰岩、石膏、黏土、白云岩、煤炭和油页岩等矿产,流体成矿作用形成了金、铜、铅、锌、锑、钨、银、钴、汞、砷、水晶、脉石英和长石等矿产,岩浆成矿作用形成了铜、金、钨、铁、砷、铅、锌、银、锡、钼、铀、萤石、硫铁矿和花岗岩等矿产。本期矿床有超大型5处、大型16处、中型33处、小型173处。

(4)新生代

新生代(喜马拉雅期)西秦岭成矿带主要发生了沉积成矿作用、含矿流体作用和表生成矿作用。沉积成矿作用形成了砂金、砂钨、黏土、黄土、盐矿、石膏、油页岩、泥炭、砂砾石等矿产。流体成矿作用形成了地下水、矿泉水、地热水等矿产,表生成矿作用形成

了铁(褐铁矿)、铅锌(白铅矿、菱锌矿)等矿产。本期矿床有大型1处、中型16处、小型40处。

3 矿床成矿系列及区域成矿模式

中国地质学家(程裕淇等, 1979, 1983; 陈毓川等, 2006, 2015, 2016; 王登红等, 2020)经过长期研究,自主创新建立和完善了成矿系列理论,并成为国内地质学界开展区域成矿规律研究的重要指导思想。

3.1 矿床成矿系列厘定

厘定矿床成矿系列的4要素为:构造空间、成矿时间、成矿作用和矿种。前3个要素为必要要素,三者耦合关系是矿床成矿系列的“骨架”;矿种是重要要素,是矿床成矿系列的“血肉”。

西秦岭成矿带构造空间对应西秦岭造山带(简化代号采用Ⅲ28);成矿时间有早古生代(Pz_1)、晚古生代(Pz_2)、中生代(Mz)、新生代(Cz);成矿作用有沉积作用(S)、岩浆作用(I)、变质作用(M)、流体作用(F)和表生作用(H)。根据现有地质矿产资料,可归纳出成矿带、成矿时代、成矿作用耦合关系(表2)。

将上述成矿带、成矿时代、成矿作用耦合关系再配上出现的具体矿种,可厘定出矿床成矿系列(表3、表4),其编号采用表2所列的耦合关系代号,使其具有唯一性,而不必再加序号来区别;命名则全面表达四要素。

表2 西秦岭成矿带—成矿时代—成矿作用耦合关系

Tab. 2 Coupling relationship between metallogenic epoch and mineralization of West Qinling metallogenic belt

成矿时代	成矿作用				
	沉积作用	岩浆作用	变质作用	流体作用	表生作用
新生代	Ⅲ 28Cz-S			Ⅲ 28Cz-F	Ⅲ 28Cz-H
	Ⅲ 28Mz ₂ Cz ₁ -F				
中生代	Ⅲ 28Mz-S	Ⅲ 28Mz-I	Ⅲ 28Mz-M	Ⅲ 28Mz-F	
晚古生代	Ⅲ 28Pz ₂ -S	Ⅲ 28Pz ₂ -I			
早古生代	Ⅲ 28Pz ₁ -S				

3.2 矿床成矿系列解析

上面厘定矿床成矿系列,仅仅是一种粗线条归纳,下面进一步将其解析为亚系列及矿床式。矿床成矿系列解析矿床成矿亚系列时,笔者通过细分成矿时段或细化成矿地质作用解析矿床成矿亚系列进行。矿床式是矿床成矿系列或亚系列之下一小组相同类型

的矿床,即一定区域内有成因联系的同类型矿床。矿床式命名方法:①通常采用代表性矿床来命名。②有时借助地域名称来命名。③有时也借助含矿地层命名。砂金矿产一般借助有关河流、水系命名矿床式。对于新生代陆域形成的地下水、矿泉水、地热水、热矿水,则尝试采用大范围通用的名称,例如,溶滤式

表 3 西秦岭成矿带古生代矿床成矿系列一览表

Tab. 3 Minerogenetic series of major Paleozoic deposits in West Qinling metallogenic belt

矿床成矿系列及亚系列		矿床式	矿产地实例
Ⅲ28P _{Z₁} -S西秦岭早古生代沉积作用有关钼、钒、锰、磷、石煤、灰岩矿床成矿系列	西秦岭志留纪沉积作用有关钼、钒、锰、磷、石煤、灰岩矿床成矿亚系列	白龙江式钼钒、锰、磷、灰岩、石煤矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③:(陕)略阳县沙坝坪钼钒矿床;(甘)陇南市武都区灰崖子灰岩矿床,赵河坝、柯盆沟石煤矿点;舟曲县庙儿沟钒矿点,灶音崖、石门坪石煤矿点;成县南陈家庄锰矿床,金家坪、石门沟、西沟里锰矿床,杨沟石煤矿点;徽县虞关磷矿点
		普通沟式煤 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③:(甘)两当县广金无烟煤矿区
		尕拉式白云岩、石膏矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③:(甘)迭部县当多-下吾那白云岩矿点,碌曲县公主河白云点矿点;陇南市武都区下猴子石膏矿床
		当多式铁、磷矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③:(甘)碌曲县马尔则岔、扎根恰热、尕海沟、且热加玛、割孔隆、且加木括合、噶尔括合、花尔干山、帕热-西帕热铁矿床;迭部县当多、黑拉、尼洛沟、牙那、牙列巴铁矿床,当多磷矿点
Ⅲ28P _{Z₂} -S西秦岭晚古生代沉积作用有关铅、锌、铁、铜、重晶石、磷、灰岩、白云岩、石膏、煤、黏土矿床成矿系列	西秦岭泥盆纪沉积作用有关铅、锌、铁、铜、重晶石、磷、灰岩、白云岩、石膏、煤、黏土矿床成矿亚系列	下吾那式灰岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③:(甘)宕昌县李家石灰岩矿床
		西汉水-古道岭-星红铺式灰岩矿(按赋矿地层)	Ⅳ-28①:(甘)宕昌县彭都、长沟里西梁、大山梁灰岩矿点,岷县沙金灰岩矿点。(陕)凤县河口黄牛沟、南旗山灰岩矿床
		西汉水-古道岭-星红铺式铅锌、重晶石矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28①:(甘)成县厂坝、李家沟、黄厂、毕家湾、焦沟、清水沟、甘蔗沟、熊家河、空子沟、薛家沟、徐明山、向阳山、甘沟、毕家山铅锌矿床,庙沟铅锌矿床及重晶石矿床(即成县银洞湾重晶石矿床);徽县郭家沟、油露洞、杨家山、银洞湾、元坝子、柳林镇、张家山、洛坝、蔡家河铅锌矿床,西和县邓家山、尖崖沟、磨沟、人土山、页水河、侯家村、上方家山、水贯子铅锌矿床,宕昌县开源铅锌矿床,礼县铜花沟-滩后头铅锌矿床,岷县半沟、耳阳沟铅锌矿床。(陕)太白县王家楞崖房沟铅锌矿床;凤县八方山-二里河、铅铜山-东塘子、谭家沟、峰崖、银洞梁、手搬崖、苇子坪洞沟、安沟、尖端山、核桃坝、长沟、银母寺、大黑沟铅锌矿床
	西秦岭石炭纪—二叠纪沉积作用有关铁、白云岩、灰岩、粘土矿床成矿亚系列	星红铺式铜矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28①:(陕)凤县九子沟铜矿床,甘沟、苇子坪、太山庙、岩前山、铜牌沟铜矿点
		益哇沟-岷河式白云岩、灰岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③:(甘)成县牛斜山灰岩矿床;迭部县九龙峡白云岩矿床;陇南市武都区桑家湾灰岩、白云岩矿床,姚寨沟、角弓南灰岩矿床;康县截亚子白云岩矿点;徽县谈家庄、磨坝峡灰岩矿床;碌曲县郎木寺灰岩矿床;舟曲县洋布梁灰岩矿床
		大关山式黏土、灰岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28①:(甘)夏河县麻尾山灰岩矿床;武山县马力、吉子坪、支锅峡、老虎嘴灰岩矿床;和政县亚子沟灰岩矿床;临潭县大石山灰岩矿床;漳县樊家磨灰岩矿床;和政县葱花岭耐火黏土矿床,临潭县薪城马莲滩水泥黏土矿点
		大关山式铁矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28①:(甘)卓尼县康县乡铁矿床

续表3

矿床成矿系列及亚系列	矿床式	矿产地实例
Ⅲ28Pz ₂ -I西秦岭华力西期岩浆作用有关铜、铅、锌、锡、锑、锆、饰面用超基性岩矿床成矿系列	铜峪沟式铜和日龙沟式锡铜矿	IV-28②：（青）兴海县铜峪沟铜矿床，赛什塘铜矿床（印支晚期叠加矿除外），苦海东铜矿点；日龙沟锡铜矿床，铜峪沟南锡矿点
	下拉地式铅锌矿	IV-28①：（甘）卓尼县下拉地、窑沟铅锌矿床；宕昌县塔儿里铅锌矿床
	西秦岭华力西期镁质超基性岩侵入作用有关锑、饰面用超基性岩矿床成矿亚系列	楼房沟式锑、饰面用超基性岩矿

表 4 西秦岭成矿带中新世代矿床成矿系列一览表

Tab. 4 Minerogenetic series of major Mesozoic–Cenozoic deposits in West Qinling metallogenic belt

矿床成矿系列及亚系列	矿床式	矿产地实例
Ⅲ28Mz-S西秦岭中生代沉积作用有关白云岩、灰岩、煤、油页岩、板岩矿床成矿系列	西秦岭三叠纪沉积作用有关白云岩、灰岩、板岩矿床成矿亚系列 隆务河—扎里山—古浪堤式灰岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28②北侧分支：(青)贵德县乜龙寺灰岩矿床，白石崖、人巫、牧豆后漏灰岩矿点，尖扎县李加灰岩矿点，循化县道纬、达里加垭口灰岩矿点；(甘)临夏县铁寨乡三岔沟灰岩矿床。 Ⅳ-28②：(甘)宕昌县新坪灰岩矿床，两当县土地峡灰岩矿点。 Ⅳ-28④：(陕)略阳县吴家营、白石崖、蹇家坝灰岩矿床
	隆务河—马热松多—古浪堤式白云岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③：(甘)玛曲县忠克白云岩矿点，碌曲县孕儿娘白云岩矿点
	隆务河式板岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28②北侧分支：(青)循化县古昌板岩矿点
Ⅲ28Mz-M西秦岭印支期—燕山期变质作用有关大理岩、红柱石、饰面用角岩、砚石矿床成矿系列	西秦岭侏罗纪沉积作用有关煤、油页岩矿床成矿亚系列 龙家沟式煤、油页岩矿 (按赋矿地层)	Ⅳ-28③：(甘)陇南市武山区龙家沟煤矿区及油页岩矿床；宕昌县小石门煤矿区及油页岩矿点；舟曲县武坪、金钱沟煤矿区；两当县西坡煤矿区，碌曲县尕海、财宝山东煤矿区、郎木寺煤矿点，岷县耳阳沟煤矿点；(陕)凤县户家窑煤矿区，留坝县江口小岭煤矿点
	西秦岭白垩纪沉积作用有关煤矿床成 鸡山式煤矿(按赋矿地层)	Ⅳ-28③：(甘)徽县马鞍山煤矿区，成县化垭煤矿区，郁家庄、冯坪煤矿点，(陕)凤县东沟河煤矿点
	西秦岭印支期—燕山期接触变质作用有关大理岩、红柱石、饰面用角岩矿床成矿亚系列 牛圈沟—寺儿沟式大理岩矿	Ⅳ-28①：(甘)成县寺儿沟大理岩矿床(泥盆系接触变质带)；漳县宝珠寺板材大理岩矿床；和政县牛圈沟、铁沟—西沟、大峡沟北板材及工艺大理岩矿床(二叠系接触变质带)。 Ⅳ-28③：(陕)留坝县庙台子水泥用大理岩矿床(石炭系接触变质带)
Ⅲ28Mz-M西秦岭印支期—燕山期变质作用有关大理岩、红柱石、饰面用角岩、砚石矿床成矿系列	马路上—浑水沟式红柱石矿	Ⅳ-28①：(甘)漳县马路上红柱石矿床，米家山红柱石矿点。(陕)太白县浑水沟红柱石矿床(石炭系接触变质带)
	李家山式角岩矿	Ⅳ-28①：(甘)岷县李家山、方沟、偏林梁饰面用角岩矿床
	西秦岭印支期区域变质作用有关砚石矿床成矿亚系列 喇嘛崖式砚石矿	Ⅳ-28①：(甘)卓尼县喇嘛崖洮砚石矿床

续表4

矿床成矿系列及亚系列	矿床式	矿产地实例
西秦岭印支早—中期海相火山作用有关铜、铅、锌矿床成矿亚系列	隆务河—古浪堤式铜铅锌矿 (按赋矿地层)	IV-28②:(青)同仁县恰冬铜矿床, 阔合隆洼、江格尔铜矿点; (青)兴海县索拉沟铜铅锌矿床Ⅲ矿段, 鄂拉山口H1区铜铅锌矿床
西秦岭印支晚期陆相火山作用有关铅、锌、锡、铜、钼、银、锑矿床成矿亚系列	鄂拉山—多福屯式铅锌锡铜钼银锑矿 (按赋矿地层)	IV-28②:(青)泽库县老藏沟铅锌锡矿床, 老藏山、老藏沟护林点、阿楞隆瓦K24铅矿点和K25、K26铅矿点, 桑干卡铅矿点, 沙尔宗铜矿点, 公钦隆瓦铜铅矿点, 公钦隆瓦东沟铅矿点, 马尼库、直贡尔日当铜铅矿点; 兴海县鄂拉山口H2区银铅矿床, 鄂拉山口南倒帮公路229公里铜铅矿点, 在日沟铜钼铅银锑矿床, 在日沟北、虎达然乔乎铅矿点; 同仁县夏布楞铅矿床, 英熬龙瓦、江什加铜铅矿点, 孔果雄铅银锑矿点, 策多隆瓦、哲格姜铅矿点, 阿羊沟铜钼铅矿点
Ⅲ28 Mz-I西秦岭印支期—燕山期岩浆作用有关铁、铜、铅、锌、金、银、钼、钨、锡、锑、锶、饰面用花岗岩矿床成矿系列	哇洪河式花岗岩矿	IV-28②:(青)循化县相玉饰面用花岗岩矿床; 共和县哇洪河饰面用花岗岩矿床; 同仁县旺加、姜安囊饰面用花岗岩矿点
	温泉式钼矿	IV-28①:(甘)武山县温泉钼矿床, 蔡家河、汤峪沟、虎头山、杜家庄、葛峪沟、黄家沟、松树湾、要子沟、银洞沟、小南岔钼矿点; 和政县铁沟—兴时沟钼矿床
	龙得岗式铜矿	IV-28②:(甘)夏河县龙得岗、阿芒沙吉、年木耳铜矿床, 年木耳上游、仁安西铜矿点; 卓尼县尼克江铜矿点; (青)同仁县龙得岗西铜矿点
	很琼沟式铁铜矿	IV-28②:(青)兴海县很琼沟脑铁铜矿床, 很琼铁矿点; 同仁县休马铁铜矿点; 共和县孤山铁矿点
	当家寺式铜铅锌矿	IV-28②:(青)尖扎县哇家铅锌银矿点; 共和县当家寺铜铅矿点、当家寺南铜铅矿点; 兴海县博荷沁南铜铅矿点, 西岭秋褐山曲贡玛铅锌金矿点; 泽库县老藏沟西区铜铅矿点, 贵德县下多隆铅矿点; 河南县娘土合寺铅矿点
	牦牛沟式铜金矿	IV-28②:(青)共和县牦牛沟(泽很错)铜金矿床, 沙龙瓜孔、占顺南、占顺北、过东、尼玛龙铜矿点; 兴海县哈蒙、社羊卡恰金铜矿点; 泽库县上龙沟金铜矿点; 贵德县赛门卡亚铜矿点; 贵南县克鲁沟铜矿点; 同仁县欠隆、结木喀尔铜矿点
	谢坑—双朋西式铜金铁矿	IV-28①:(青)循化县谢坑铜金铁矿床, 岗察铁矿点, 斜长支沟铜矿点, 红旗卡铜金矿点, 夕昌沟铜金矿点; 同仁县双朋西、铁吾西、德合隆洼铜金矿床, 铁吾铁铜金矿点, 朗木加铜矿点, 交来隆洼上游铁矿点。(甘)夏河县美仁铁矿床; 合作市牙日杂铜铁矿点; 卓尼县宝石山铁矿床, 藏布沟铁铜矿点; 和政县大牛圈铁矿点。IV-28③(甘)陇南市武都区金厂铜金矿床
	江里沟式铜钨钼矿	IV-28①:(青)同仁县江里沟铜钨钼矿床, 羊子沟口北铜矿点; (甘)夏河县阿姨山铜钨矿床, 和政县大槐沟铜钨矿床, 兴时沟铜钨钼矿床, 大峡、梁时沟铜矿床, 松香滩铜矿点
	德乌鲁式铜矿	IV-28:(甘)夏河县德乌鲁、布拉沟铜矿床(小), 岗依、来岗卡铜矿点, 代岗山铜矿点; 合作市南办、黑峡建岗铜矿点; 临潭县光杂沟铜矿点
	以地南式金矿	IV-28①:(甘)合作市以地南、岗岔、下看木仓、录斗艘、老日斗卡金矿床, 答浪沟、德合山、扎不浪可金矿点; 夏河县老豆、三索玛、阿什加、青可河、完杂滩金矿点; 和政县和政县小峡、多楞沟金矿床, 西槐沟金矿点

续表4

矿床成矿系列及亚系列		矿床式	矿产地实例
Ⅲ28 Mz-I西秦岭印支期—燕山期岩浆作用有关铁、铜、铅、锌、金、银、钼、钨、锡、锑、砷、饰面用花岗岩矿床成矿系列	西秦岭印支期—燕山早期酸性岩浆侵入作用有关铁、铜、钼、金、锑、钨、锡、砷、饰面花岗岩矿床成矿亚系列	雪花山-雪坪沟式钨矿	IV-28①：(甘)岷县雪花山钨矿床(黑钨矿)、扎格那钨矿点(黑钨矿)，寨上钨矿床(白钨矿)；礼县雪坪沟钨矿床(白钨矿)，庙子沟钨矿点(黑钨矿)
		直沟式萤石矿	IV-28①：(甘)漳县东泉乡直沟和胭脂沟萤石矿床
		岷礼-西成-凤太式金铁铜矿	IV-28①：岷礼矿田(甘)岷县寨上金矿床，锁龙、马坞金矿床，三沟、三角地、寺沟里金矿点；武山县王家庄、竹子沟、温家沟、新庄里金矿点；漳县瓦河沟金矿床，棉柳滩钨矿点；礼县李坝、王河、赵沟、阳坡、金山、马泉、大塬下、火吉坪、王家门上、崖湾金矿床，柴家山、竹园沟、大庄里、陈家沟、庙山金矿点，李子坪、杨家河铁矿床，小峪河铜矿点，白关下川铜矿点；宕昌县竹园北金矿床、仙峰阁韩院铜矿点。西成矿田(甘)西和县马家河、小东沟、三洋坝金矿床，四儿沟门金矿床，稍峪东、马元、见千山金矿点，李家山铁矿床；成县小沟里金矿床；徽县九条沟金矿床，沙沟、土地沟金矿床，庙坪上金矿点，娘娘庙铁矿床，姜家沟铜矿点；两当县金厂沟，花崖沟金矿床，太阳寺、大水沟、窑子沟金矿点，改板沟铁矿床。凤太矿田(陕)凤县八卦庙、丝毛岭、柴蚂、谭家沟、沈家湾、小梨园、佐家庄三台山金矿床，打柴沟、东沟、打柴沟脑、松树湾、荒草沟、唐家湾、西河洞沟、国安寺、青崖沟、水磨沟金矿点，硬沟铁金银矿点；太白县双王金矿床，九平沟金矿床，古迹、老铁厂金矿床，石地、大沟、马槽沟、红水河、小苏家沟、大寡妇沟金矿点；留坝县水柏沟铁金矿点
		加吾式金锑钨矿	IV-28②：(青)同德县加吾金锑钨矿床(矿区内先后发现：显龙沟金锑矿床-加吾金矿床-马日当沟钨矿床)，托头金锑钨矿床，阿尔干龙洼、加日亥金矿点，牧羊沟金矿床，谷芒、克日日岗金钨矿点，克穆达钨锑矿床，赛欠狼麻、拉擦痒钨锑矿点，赛欠狼麻茶欠岗金矿点，直亥买休玛、直亥买贡玛金锑矿点(伴生钨)；泽库县龙曲那-东格日那金矿点，夏德日金锑矿床，尼马龙卡钨矿点；兴海县浪琴锑金矿床
		夺确壳金银铜铅锌砷矿	IV-28②：(青)泽库县多隆尕日色砷金铜银铅矿床，夺确壳金银铜矿床(伴生铅锌)，和日金矿床，拉依沟、西尔克日、吉地金矿点，多朗尕日寨砷铜银矿床，拉海藏铅砷矿点，瓦尔沟金和砷矿点；兴海县吉浪滩砷铜矿床，尕科合砷银铜矿床，拉届亥南东东银铅矿点，拉届亥铜矿点，拉届亥东南银铅矿点，下昂铜砷矿点、拿东北东砷银矿点，拿东北铜金银矿点，拿东北金砷银矿点，拿东北西砷银铅矿点，拿东北金砷银矿点，塔龙砷金铜矿点，拉玛屯、都休玛铅矿点，下尼铅砷矿点，玛温根铅银矿点，加当铅银矿点；河南县日西哥、特日根马吾、额米尼日杂、智后茂切沟铜铅矿点；同德县江群铅矿点；共和县泽很错沟脑东砷银矿床，那让砷(铅银)矿点，过仓扎沙、过群沟铅矿点，叉叉龙洼北东铅矿点；叉叉龙洼都贡玛铜矿点；同仁县旁群哇、铜矿点，若嘿欠铜锡矿点，热江卡铜金矿点，台乌龙铅矿点，哭虎浪沟铅矿点；(甘)夏河县年木耳铜砷矿床。
		早子沟式金矿	IV-28②：(甘)合作市早子沟；夏河县早仁道、隆瓦寺院、杂恰勒布、桑曲、居乎其那沟-华尔赛梁、将其那梁、也赫杰、完安昂、直合完干金矿床
		大水式金矿	IV-28③：(甘)玛曲县大水、贡北金矿床；碌曲县辛曲、忠曲金矿床，恰若金矿点

续表4

矿床成矿系列及亚系列		矿床式	矿产地实例
Ⅲ28Mz-F西秦岭印支期—燕山期流体作用有关铁、金、锑、汞、硫矿床成矿系列	西秦岭印支中晚期—燕山早期热液有关铁、金、锑、汞、硫矿床成矿亚系列	洛大式铁、硫矿	IV-28③: (甘)迭部县洛大铁矿床, 查居铁矿床(共生有硫铁矿床); 舟曲县柴马山、黑水沟铁矿床。(泥盆系中)
		坪定—通天坪式金矿	IV-28③: (甘)舟曲县坪定、羊里尾沟金矿床, 九源、老沟、尖山子梁金矿点; 碌曲县青棵崖金矿床; 迭部县刀扎金、桥头—沙日矿床, 加勒克、吾乎、卡玛、查布南、黑多寺、河坝、洛大北、多儿金矿点; 陇南市马家坝金矿床; 徽县通天坪、桃园金矿床, 老圣沟、黑火石金矿床, 金滩子、头滩子、刘家坡、尹家坪、郭家山、赵家湾金矿点; 两当县三岔河金矿点; 两当县东河金矿床, 丁家梁金矿点; 凤县青龙寺—尖峰垭金矿床。 IV-28④: 康县尚家沟金矿床。(泥盆系、石炭系为主, 次为志留系、二叠系中)
		大沟顶式锑矿	IV-28①: (甘)临潭县大沟顶锑矿床, 临潭—卓尼县大寺坡锑矿床(二叠系中); 宕昌县安家山锑矿床(泥盆系中); 和政县吊滩鹿沟锑矿床(石炭系—二叠系中); (陕)凤县尖峰垭锑矿床(泥盆系或石炭系中)。 IV-28③: 留坝县八卦山银锑矿(志留系中); (青)河南县莫尔藏锑矿点(泥盆系中)
		马家山式汞矿	IV-28③: (甘)徽县马家山汞矿床(泥盆系中), 明家山汞矿床(志留系中)。 IV-28②: 临潭县西沟河汞矿床(二叠系中)
		加甘滩式金矿	IV-28②: (甘)夏河县加甘滩(纳合迪)、索拉贡玛、拉古河、完肯金矿床; 岷县鹿儿坝、簸箕沟、章哈寨、绿沙金矿床, 立林—青林沟金矿点; 卓尼县赛日欠金银铅锌矿床; 礼县上坝金矿床, 西和县大桥、兴隆金矿床; 陇南市武都区安房坝金矿床; 两当县青咀子金矿点。(青)泽库县瓦勒根金矿床, 官秀寺、官秀寺南西、关拉沟、同日则金矿点; 同仁县夏日色金矿点; 同德县石藏寺金锑矿床; 玛沁县西哈堡、多嘎朗日金矿点
		马脑壳式金矿	IV-28④: (川)若尔盖县京格尔、阿细龙曲金矿床; 九寨沟县马脑壳、两河口、幸福村金矿床, 水神沟、二道桥金矿点。(甘)舟曲县博峪峰园子金矿床; 文县红岩沟一带花山金矿床, 新寨金矿点
		崖湾式锑矿	IV-28②: (甘)西和县崖湾锑矿床, 王家湾、牌儿坝锑矿点; 礼县佐家、泰山锑矿床, 侯家坝、王坪锑矿点; 宕昌县大草滩、银洞梁锑矿床, 水眼头、肖家山锑矿床, 脚力铺、袁家湾、四头山、七林子、暗沟锑矿点; 岷县甘寨锑矿床, 三十里铺锑矿点; 临潭县张旗、石沟子、口子下锑矿床, 大沟子、新站、遍都、黑石咀锑矿点; 夏河县龙务滩、车来木锑矿点; 碌曲县美秀南锑矿床, 长来木、芦乌他、木道锑矿点, 康巴威锑汞矿点; 卓尼县卡车锑矿床; (青)泽库县夏德日南锑矿点
		穆黑式汞矿	IV-28②: (青)同德县穆黑汞矿田(穆黑汞矿床大型, 沙尔诺汞矿床中型, 山欠汞矿床小型, 贡布沟、作母沟汞矿点); 泽库县仓巴西、南曲乎汞矿点; 兴海县苦海汞矿床; 同仁县纳棍汞矿点; 河南县赫格楞汞矿床, 延阔合汞矿点。(甘)临潭县林台子汞矿床
Ⅲ28Mz-Cz ₁ -F西秦岭燕山晚期—喜马拉雅早期中低温热液作用有关金、铀矿床成矿亚系列	西秦岭喜马拉雅早期富氧溶液作用有关金、铀矿床成矿亚系列	拉尔玛式金矿(寒武系中)	IV-28③: (甘, 川)碌曲县—若尔盖县拉尔玛金矿床, 若尔盖县琼莫金矿床, 牙相金矿点
		降扎式铀矿(志留系中)	IV-28③: (川, 甘)若尔盖县—迭部县510、512、511、513、701、403、104铀矿床(钱法荣等, 1996; 刘家军等, 1998; 雍化常等, 2014; 王永飞, 2015)
		中川式铀矿(花岗岩体内外破碎带)	IV-28①: (甘)礼县中川(7901)、吴茶坝(7902)、范家坝(7903)铀矿床(张玉龙, 2008; 李宏卫等, 2011)

续表4

矿床成矿系列及亚系列		矿床式	矿产地实例
Ⅲ28 Cz-S西秦岭新生代 沉积作用有关砂金、砂 钨、黄土、膏盐、泥炭 矿床成矿系列	西秦岭古近纪沉积作用 有关膏盐矿床成矿亚 系列	红崖-盐井式膏盐矿	IV-28①:(甘)临潭县红崖石膏矿床,漳县盐井 镇盐矿床
		牛头山-桑家湾式黄 土矿	IV-28③:(甘)宕昌县牛头山黄土矿床,武都区桑 家湾、白鹤桥黄土矿床;(陕)略阳县徐家坪黄 土矿床(水泥配料)
		西秦岭嘉陵江式砂金矿 (按水系)	IV-28①:(甘)礼县田家河砂金矿床;成县东河 砂金矿床;(陕)凤县凤州砂金矿床。 IV-28②:(甘)西和县六巷河砂金矿床,朱家河 砂金矿床;(陕)留坝县西河砂金矿床。 IV-28③:(甘)舟曲县尖山子梁砂金矿床;成县 谭河砂金矿床;徽县谈家庄砂金矿床;康县何 湾砂金矿床,云台、窑坪河段砂金矿点;(陕) 略阳县徐家坪-白水江砂金矿床,西汉水砂金 矿床
	西秦岭第四纪沉积作用 有关砂金、砂钨、黄土、 泥炭矿床成矿亚系列	西秦岭黄河式砂金、砂 钨矿 (按水系)	IV-28①:(甘)岷县马坞、金厂沟、后治滩砂金 矿点。 IV-28②:(青)同德县克穆达砂钨矿床,上、下 治地砂金矿点;海晏县白佛寺砂钨矿点;兴海 县唐乃亥、切毛龙洼、水塔拉、金矿沟砂金矿 点;泽库县沙冬河、纳木加-岗莫勒砂金矿点; 玛多县龙通沟砂金矿点;玛沁县雪山乡砂金 矿点。
		西秦岭黄河式泥炭矿 (按水系)	IV-28①:(青)循化县岗察矿区北泥炭矿点;(甘) 宕昌县档治滩泥炭矿床。 IV-28②:(青)河南县青果阿日冬、浩钦沟-浩琼 沟、达日宗沟、赫格楞、擦玛沟泥炭矿床,唐 什加苟东支沟泥炭矿点;同仁县温库沟北东岔 沟、尼马龙-其雄河泥炭矿床,岗察矿区南西、 那争土塘沟脑、温库沟、加乌勤、拉什则通泥 炭矿点;尖扎县答拉熊麻泥炭矿点;泽库县麦 秀山马可曲沟泥炭矿点;同德县尕那根狼麻泥 炭矿点;(甘)岷县麻子川泥炭矿床
Ⅲ28 Cz-H西秦岭新生代 表生作用有关铁、铅、 锌矿床成矿系列	西秦岭新生代表生风化 作用有关铁、铅、锌矿 床成矿亚系列	包家沟式铁矿	IV-28③:(甘)徽县包家沟、大河店铁矿床,武 家山、陈家湾、罗汉洞、虞关矿洞湾铁矿点; 舟曲县老红山、猫坪山后铁矿床;迭部县柯叉 沟铁矿床,小梁上、强沟铁矿点;陇南市武都 区子背沟铁矿床,观音殿、张阴山铁矿点;(陕) 留坝县光华山铁矿床;略阳白水江大滩-长峰、 罗家山-铁炉沟、林口-白马、马鞍梁铁矿床(志 留系中)
		白水江式铁矿	IV-28③:(甘)徽县芋子滩、闻家楼铁矿床; (陕)略阳县白水江铁矿床(泥盆系中)
		铁沟式铁矿	IV-28①:(甘)和政县铁沟铁矿床,大窑沟铁矿 点(硫化物氧化带褐铁矿体)
		代家庄式铅锌矿	IV-28①:(甘)宕昌县代家庄铅锌矿床(硫化物 氧化带白铅矿-菱锌矿体)

续表4

矿床成矿系列及亚系列	矿床式	矿产地实例
Ⅲ28Cz-F西秦 岭喜马拉雅 期流体作用 有关地下水、 矿泉水、地 热水矿床成 矿系列	溶滤式地下水	IV-28①: (甘)合作市格河谷水源地和扎刹河谷水源地; 漳县城区水源地; 和政县城关镇三谷村水源地矿点; 礼县城关镇东新街、雷王镇胡羊村水源地矿点; (陕)凤县县城水源地。
		IV-28②: (青)共和县切吉农业开发区水源地, 新源水源地矿点; 贵德县山坪、西海岗拉湾水源地矿点; 贵南县茫拉河水源地矿点; 循化县起台沟水源地矿点; 同德县第二水源地矿点; 同仁县黄南州隆务镇曲麻沟水源地矿点; 河南县大雪堆、优干宁镇水源地矿点; 兴海县子科滩镇水源地矿点。(甘)夏河县西哈尔水源地; 临潭县卓洛水源地; 卓尼县城区水源地; 岷县洮河岸边水源地, 关上沟水源地矿点; 西和县岷郡山、十里镇二郎坝水源地; 成县孙家坝水源地; 两当县水厂水源地; 徽县伏家镇水源地。
	溶滤式矿泉水	IV-28③: (甘)陇南市武都区钟楼滩和两水镇后坝水源地, 角弓镇水源地矿点; 玛曲县卓格尼玛泉水水源地; 碌曲县玛艾水源地; 舟曲县三眼峪水源地; 迭部县哇坝河水源地
		IV-28①: (甘)宕昌县韩家村九眼泉饮用矿泉水。
	深部加热式 地热水	IV-28②: (青)河南县曲海矿泉水; 同仁县曲库乎饮用矿泉水; (甘)夏河县拉卜楞饮用矿泉水; 临潭县太平村香泉水饮用矿泉水; 岷县龙潭饮用矿泉水
	深部加热式 热矿水	IV-28②: (青)兴海青根河温泉, 青根河南温泉, 兴海温泉乡温泉; 共和县城QR1地热井, R1地热井, DR1地热井; 贵德曲乃亥温泉, 扎仓寺温泉, 新街温泉; 同仁县兰采温泉, 曲库呼温泉和西卜沙温泉。
		IV-28④: (甘)迭部县达拉沟地热水
		IV-28①: (甘)武山县武山温泉。IV-28③: (甘)迭部县旺藏温泉(医疗用矿泉水)

地下水、矿泉水、深部加热式地热水、热矿水(表3、表4)。

3.3 区域成矿模式

目前,典型矿床成矿模式和矿田成矿模式比较成熟,但对于一个成矿带的区域成矿模式表达形式仍需探讨,不少方法仅适合展示少数主要矿种及少数矿床类型,难以满足对矿种、成矿地质作用、成矿时代、成矿构造环境全覆盖的需要。因此,笔者尝试采用成矿带中矿床成矿亚系列的成矿时代-成矿地质作用-构造环境综合图解,编制了西秦岭成矿带区域性成矿模式图(图3)。

4 成矿演化的地球动力学约束

西秦岭成矿带的“构造-岩浆-成矿旋回”大时段可划分为早古生代、晚古生代、中生代及新生代,下面从早到晚概述成矿演化及相关的地球动力学。

4.1 早古生代成矿演化

早古生代(加里东期),古秦岭洋盆分隔着华北、华南两板块,从中奥陶世开始洋盆逐步收缩消减,华南板块向北俯冲,至志留纪晚期,但近乎陆-陆碰撞造山之际,恰受特提斯大区域新的扩张作用的影响,从而失去一次强烈碰撞造山的机会。该时期的西秦岭

处于南侧的被动大陆边缘。在寒武纪形成的寒武系太阳顶群黑色岩系主要由黑色硅岩和板岩组成,局部夹凝灰质板岩、石煤层及白云岩透镜体,富含Au、U、Cu、Sb、P、Se、Mo、PGE等10余种元素,局部尚有矿化现象(刘家军等,1997)。奥陶纪没有显示明显的成矿现象。志留系白龙江群也大致类似寒武系太阳顶群的这类组分,并且铅锌含量也明显较高,例如,武都一带志留系Zn平均含量为 73.3×10^{-6} ,Pb平均含量为 62.9×10^{-6} ,在炭质页岩中Pb、Zn含量可高达 $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ (周乐尧,1991),为后续泥盆纪的活化运移预备了物源。这一时期直接成矿的仅有“西秦岭志留纪沉积作用有关钼、钒、锰、磷、石煤、灰岩矿床成矿亚系列”(表3,图3),其成矿动力来源主要为外生动力。

4.2 晚古生代成矿演化

在晚古生代(华力西期),西秦岭南侧拉张裂解出阿尼玛卿-勉略有限洋盆;西秦岭微板块内部则处于板内伸展期。从泥盆纪开始拉张裂陷,进入石炭纪—二叠纪时期,局部地段出现基性火山岩,并有蛇绿岩组合出现,由裂谷转换为小洋盆。这一演化过程中成矿的动力来源,既有地球内生动力,也有地球外生动力,以前者为主。

西秦岭南部的泥盆纪裂陷盆地中,主要发育浅

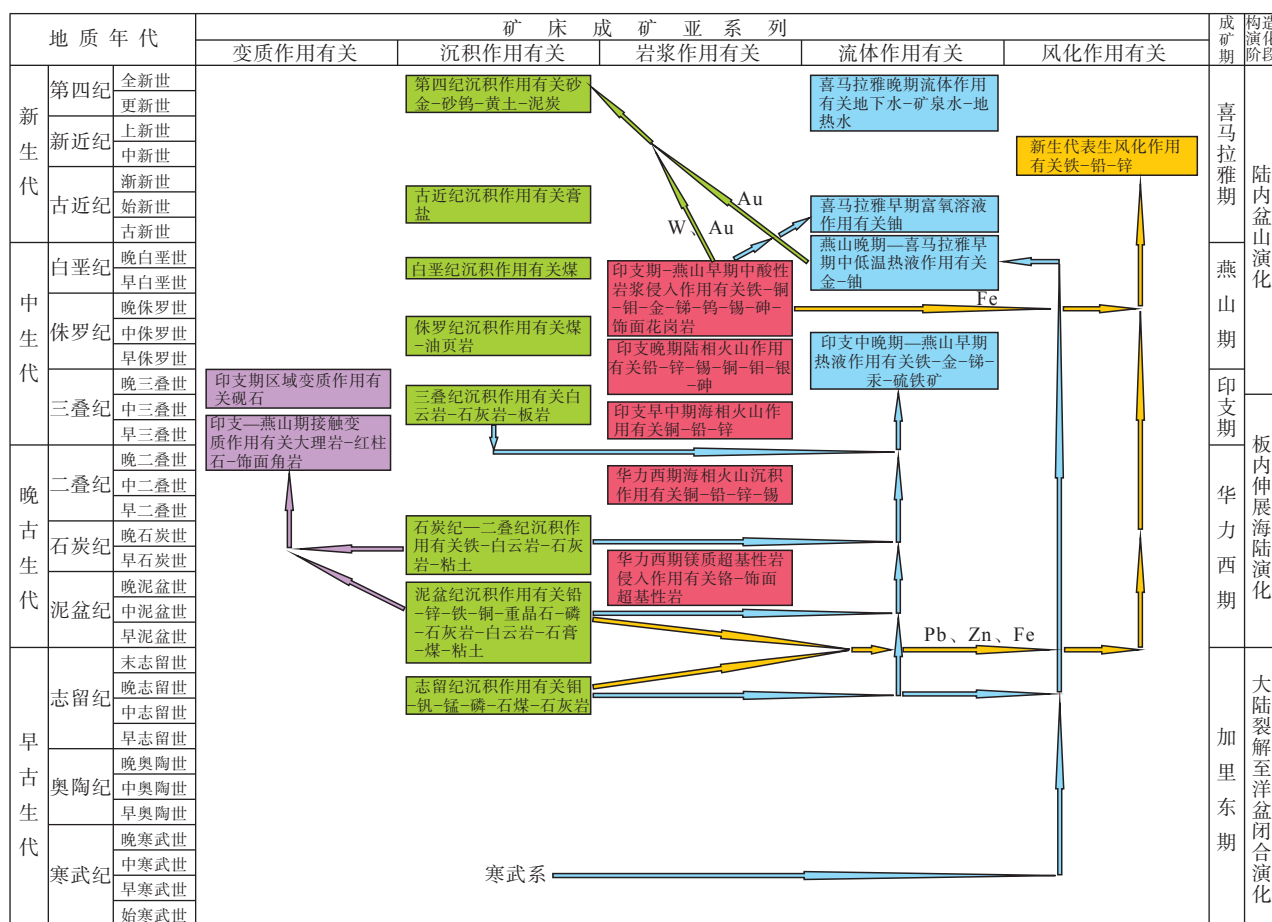


图3 西秦岭成矿带区域成矿模式图

Fig. 3 Regional metallogenic model in West Qinling metallogenic belt, China

海—滨海沉积,形成普通沟组的煤炭,尕拉组的白云岩、石膏矿,当多组—下吾那组的铁、磷、灰岩矿。西秦岭北部的泥盆纪裂隙海盆地中,不仅发育细碎屑岩—碳酸盐岩沉积,形成有灰岩矿,而且夹有海底喷流沉积岩及铅锌多金属矿,形成甘肃西成矿田和陕西凤太矿田。例如,在西成矿田的泥盆系,自下而上分为下泥盆统安家岔组赋存厂坝—李家沟、向阳山等铅锌矿床,中泥盆统黄家沟组赋存毕家山、庙沟、邓家山等铅锌矿床,中上泥盆统红岭山组赋存洛坝、页水河等铅锌矿床;此外,在凤太矿田的泥盆系,中泥盆统古道岭组灰岩与上泥盆统星红铺组细碎屑岩触界面及附近,赋存有八方山—二里河、铅洞山—东塘子、谭家沟、峰崖、银洞梁、手搬崖、苇子坪洞沟、安沟、尖端山、核桃坝、长沟、洞沟、银母寺、大黑沟铅锌矿床,九子沟铜矿床,王家楞崖房沟铅锌矿床。喷流沉积岩(重晶石岩、钠长岩等)自身有的也可以构成矿产(银洞湾重晶石矿床)。这些矿床共同构成“西秦岭泥盆纪沉积作用有关铅、锌、铁、铜、重晶石、磷、灰岩、白云岩、石膏矿

床成矿亚系列”。石炭纪—二叠纪时期,总体以稳定沉积海相碎屑岩—碳酸盐岩为主,但局部地段夹有火山岩。南部下石炭统益哇沟组/上石炭统岷河组和北部下二叠统大关山组中,形成“西秦岭石炭纪—二叠纪沉积作用有关铁、白云岩、灰岩、黏土矿床成矿亚系列”。

岩浆活动成矿方面,西秦岭东段留坝一带,出露多处超基性小岩体,侵位于志留系,与围岩呈构造侵位关系,属于镁质超基性岩,局部被石炭纪闪长岩类切穿及吞蚀,其中形成“西秦岭华力西期镁质超基性岩侵入作用有关铬、饰面用超基性岩矿床成矿亚系列”。西秦岭西段,在赛什塘一带二叠纪火山—沉积岩系中,有海底喷流作用显示,形成“西秦岭华力西期海相火山沉积作用有关铜、铅、锌、锡矿床成矿亚系列”(表3,图3)。

4.3 中新生代成矿演化

前一时期的伸展构造,到三叠纪时已逐步趋于收缩,于中三叠世末—晚三叠世初结束主造山的全面碰

撞而最终拼合演化为统一中国大陆,尔后转入陆内构造演化。晚三叠世—侏罗纪的走滑断裂活动和喜马拉雅期断裂差异升降造就了现代的陆内盆地构造格局。在该时期,成矿也非常丰富多样。

早中三叠世沉积的中下三叠统主体建造以海相细碎屑岩为主,夹灰岩、白云质灰岩、白云岩,南部相对北部而言,最大特点是碳酸盐岩的比例更高,西段有少量海相火山岩,沉积环境有浅海陆棚、陆棚内缘斜坡、次深海盆地、次深海斜坡亚相,形成“西秦岭三叠纪沉积作用有关白云岩、灰岩、板岩矿床成矿亚系列”,其成矿动力来源主要为地球外生动力。火山活动成矿方面,早中三叠世海相火山—沉积岩系(下中三叠统隆务河组和中三叠统古浪堤组)中有海底喷流作用形成的“西秦岭印支早中期海相火山作用有关铜、铅、锌矿床成矿亚系列”;晚三叠世陆相火山岩系(上三叠统鄂拉山组和多福屯群)的陆相火山—次火山作用形成“西秦岭印支晚期陆相火山作用有关铅、锌、锡、铜、钼、银、砷矿床成矿亚系列”,这2个亚系列的成矿动力来源均为地球内生动力。岩浆侵入成矿方面,中三叠世的主造山期,挤压动力转化积聚的热量,中酸性岩浆侵入活动开始发育,晚三叠世转换为伸展减压时岩浆活动更加强烈,局部地段可延续到早中侏罗世,形成“西秦岭印支期—燕山早期中酸性岩浆侵入作用有关铁、铜、钼、金、锑、钨、锡、砷、饰面花岗岩矿床成矿亚系列”,其成矿动力来源主要为地球内生动力(表4,图3)。

变质作用成矿方面,泥盆系上统大草滩群的泥质粉砂岩,在印支期区域浅变质使质地更加致密,形成“西秦岭印支期区域变质作用有关砾石矿床成矿亚系列”;印支期—燕山期中酸性岩体侵入时,引起围岩地层发生热接触变质,形成“西秦岭印支期—燕山期接触变质作用有关大理岩、红柱石、饰面角闪岩矿床成矿亚系列。”这2个亚系列的成矿动力来源均为地球内生动力(表4,图3)。

侏罗纪,西秦岭地区分布多个山间盆地,中侏罗世沉积的龙家沟组河流—湖沼相碎屑岩系中,赋存陆相生物化学沉积形成“西秦岭侏罗纪沉积作用有关煤、油页岩矿床成矿亚系列”;白垩纪,西秦岭地区仍继承侏罗纪的几个山间盆地格局。早白垩世沉积的鸡山组,以灰绿—灰黑色为主的泥岩、粉砂岩,夹砂岩、砂砾岩、砾岩,赋存陆相生物化学沉积作用形成“西秦岭白垩纪沉积作用有关煤矿床成矿亚系列”。这2个亚系列成矿动力来源主要为地球外生动力(表4,

图3)。

区域构造—岩浆热动力的热能,使地下水流体被加热,活化围岩中有关组分演化为含矿热液形成“西秦岭印支中晚期—燕山早期热液有关铁、铜、铅、锌、金、锑、汞、硫矿床成矿亚系列”及“西秦岭燕山晚期—喜马拉雅早期中低温热液作用有关金、铀矿床成矿亚系列”,其成矿动力来源为地球内生动力。随地壳的持续抬升,新近纪期间近地表浅部富氧流体淋滤,形成“西秦岭喜马拉雅早期富氧溶液作用有关铀矿床成矿亚系列”,其成矿动力来源主要为地球外生动力(表4,图3)。

始新世末,地壳总体性缓缓下沉,在山间凹地,干旱气候条件下的湖相蒸发沉积形成“西秦岭古近纪沉积作用有关膏盐矿床成矿亚系列”。随着新构造运动作用使西秦岭山脉长期隆起及构造阶地上升剥蚀、风化淋滤、风积、机械沉积、生物化学沉积等形成“西秦岭新生代生风化作用有关铁、铅、锌矿床成矿亚系列”、“西秦岭第四纪沉积作用有关砂金、砂钨、黄土、泥炭矿床成矿亚系列”。这3个亚系列的成矿动力来源主要为地球外生动力。大气降水循环形成“西秦岭喜马拉雅晚期流体作用有关地下水、矿泉水、地热水矿床成矿亚系列”(表4,图3),其成矿动力主要为地球外生动力,但地热来源于地球内生动力(表4,图3)。

5 结论

(1)西秦岭成矿带(Ⅲ-28)已发现44种矿产,能源矿产4种,金属矿产15种,非金属矿产23种,水气矿产2种。区内有已发现各类矿产地675处,其中超大型8处(陕西省:凤县河口黄牛沟石灰岩矿床;甘肃省:礼县李坝金矿床,西和县大桥金矿床,合作市早子沟金矿床,夏河县加甘滩金矿床,玛曲县大水金矿床,成县李家沟铅锌矿床、厂坝铅锌矿床)、大型31处、中型80处、小型276处、矿点280处。

(2)西秦岭各成矿亚带的成矿强度为Ⅳ-28①亚带>Ⅳ-28②亚带>Ⅳ-28③亚带>Ⅳ-28④亚带;各地质时代的成矿强度为中生代(Mz)>晚古生代(P_{z1})>新生代(Cz)>早古生代(P_{z2})。

(3)西秦岭成矿带共厘定了西秦岭早古生代沉积作用有关钼、钒、锰、磷、石煤、石灰岩矿床成矿系列,西秦岭晚古生代沉积作用有关铅、锌、铁、铜、重晶石、磷、石灰岩、白云岩、石膏、煤、粘土矿床成矿系列,

西秦岭华力西期岩浆作用有关铜、铅、锌、锡、铬、饰面超基性岩矿床成矿系列,西秦岭中生代沉积作用有关白云岩、石灰岩、煤、油页岩、板岩矿床成矿系列,西秦岭印支期变质作用有关大理岩、红柱石、饰面用角岩、砚石矿床成矿系列,西秦岭印支期—燕山期岩浆作用有关铁、铜、铅、锌、金、银、钼、钨、锡、锑、砷、花岗岩矿床成矿系列,西秦岭印支期—燕山期流体作用有关铁、金、锑、汞、硫矿床成矿系列,西秦岭燕山晚期—喜马拉雅早期流体作用有关金、铀矿床成矿系列,西秦岭新生代沉积作用有关砂金、砂钨、黄土、膏盐、泥炭矿床成矿系列,西秦岭新生代生作用有关铁、铅、锌矿床成矿系列,西秦岭喜马拉雅期流体作用有关地下水、矿泉水、地热水矿床成矿系列11个矿床成矿系列,进一步解析出20个矿床成矿亚系列及66个矿床式。

(4)结合成矿时代—成矿地质作用—构造环境相互关系,建立了西秦岭成矿带区域性成矿模式。西秦岭区域成矿演化的驱动力,内生动力占主要地位,外生动力占次要地位。华力西期的逐步拉张裂陷和印支期的强烈挤压造山,是西秦岭成矿最优势的地球动力学背景。

参考文献(References):

- 陈毓川,裴荣富,王登红,等.矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J].*地球学报*,2016,37(5):519–527.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al. Minerogenetic series for mineral deposits: discussion on minerogenetic series (V)[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2016, 37(5): 519–527.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,等.论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J].*矿床地质*,2015,34(6):1092–1106.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al. Natural classification of mineral deposits: discussion on minerogenetic series of mineral deposits (IV)[J]. *Mineral Deposits*, 2015, 34(6): 1092–1106.
- 陈毓川,裴荣富,王登红.三论矿床的成矿系列问题[J].*地质学报*,2006,80(10):1501–1508.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong. On minerogenetic (metallogenic) series: third discussion[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2006, 80(10): 1501–1508.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等.再论矿床的成矿系列问题[J].*中国地质科学院院报*,1983,(6):1–52.
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. *Bulletin Chinese Acad. Geol. Sci.*, 1983, (6): 1–52.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣.初论矿床的成矿系列问题[J].*中国地质科学院院报*,1979,1(1):32–58.
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. *Bulletin Chinese Acad. Geol.*, 1979, 1(1): 32–58.
- 杜子图,吴淦国,吕古贤,等.西秦岭及周边地区构造体系划分与构造演化[J].*地质力学学报*,1998,4(3):41–49.
- DU Zitu, WU Ganguo, LÜ Guxian, et al. Structural systems in the West Qinling and adjacent region and their evolution[J]. *Journal of Geomechanics*, 1998, 4(3): 41–49.
- 冯益民,曹宣铎,张二朋,等.西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J].*西北地质*,2003,36(1):1–10.
- FENG Yimin, CAO Xuanduo, ZHANG Erpeng, et al. Tectonic evolution framework and nature of the West Qinling orogenic belt[J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36(1): 1–10.
- 李宏卫,姜峰,许冠军,等.多次重熔的成矿作用:对甘肃中川岩体成岩成矿过程的再认识[J].*地学前缘*,2011,18(1):126–132.
- LI Hongwei, LOU Feng, XU Guanjun, et al. Mineralization relevant to repeated crustal melting: An example from the ZCGB, Gansu province[J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(1): 126–132.
- 李宗会,宋晓霞,罗根根,等.秦岭成矿带 Pb、Zn 化探异常与铅锌矿常无对应关系的原因[J].*地质通报*,2012,31(05):794–798.
- LI Zonghui, SONG Xiaoxia, LUO Gengen, et al. A discussion on the reasons for discordance between Pb-Zn ore deposits and Pb-Zn geochemical anomalies in Qinling metallogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(05): 794–798.
- 刘家军,刘建明,周德安,等.西秦岭降扎地区金、铀矿床年代学对比研究[J].*地质科学*,1998,33(3):300–309.
- LIU Jiajun, LIU Jianming, ZHOU Dean, et al. Comparative Chronological Study of the Gold and Uranium Deposits in Jiangzha, Western Qinling Mountains, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33(3): 300–309.
- 刘家军,郑明华,刘建明,等.拉尔玛-邛莫金矿床的地质特征及成矿模式[J].*贵金属地质*,1997,6(4):241–253.
- LIU Jiajun, ZHENG Minghua, LIU Jianming, et al. Geological feature and metallogenic model of Laerma and Qiongmo gold deposits in Western Qinling[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1997, 6(4): 241–253.
- 路英川,刘家军,曹守林,等.青海西秦岭双朋西砂卡岩型金-铜矿床流体包裹体研究[J].*矿床地质*,2016,35(1):130–152.

- LU Yingchuan, LIU Jiajun, CAO Shoulin, et al. Fluid inclusions study of Shuangpengxi skarn type gold-copper deposit in west Qinling, Qinghai Province[J]. *Mineral Deposits*, 2016, 35(1): 130–152.
- 钱法荣, 周德安, 季洪芳. 西秦岭南亚带的碳硅泥岩型铀矿[J]. 中国核科技报告, 1996, (S1): 1–13.
- QIAN Farong, ZHOU Dean, JI Hongfang. The Siliceous-Calcareous-Argillaceous rock type Uranium Deposit in South Subzone of Western Qinling[J]. *China Nuclear Science and Technology Report*, 1996, (S1): 1–13.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题[J]. *地质学报*, 2020, 94(1): 18–35.
- WANG Donghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. Minerogenetic series group: discussion on minerogenetic series(VI)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(1): 18–35.
- 王义天, 毛景文, 胡乔青, 等. 西秦岭西成和凤太矿集区三叠纪多金属成矿作用特征、规律及找矿方向[J]. *地球科学与环境学报*, 2021, 43(3): 409–435.
- WANG Yitian, MAO Jingwen, HU Qiaoping, et al. Characteristics and Metallogeny Triassic Polymetallic Mineralization in Xicheng and Fengtai Ore Cluster Zones, West Qinling, China and Their Implications for Prospecting Targets[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2021, 43(3): 409–435.
- 王永飞. 若尔盖碳硅泥岩型铀矿成矿规律及控矿因素分析[J]. *中国地质调查*, 2015, 2(8): 17–24.
- WANG Yongfei. Metallogenic regularities and ore controlling factors of carbonaceous-siliceous-pelitic rock type Uranium deposits in Zoige[J]. *Geological Survey of China*, 2015, 2(8): 17–24.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- 杨合群, 赵国斌, 姜寒冰, 等. 西秦岭成矿带矿床成矿系列概论[J]. *西北地质*, 2022, 55(01): 114–128.
- YANG Hequn, ZHAO Guobin, JIANG Hanbing, et al. Discussion on the metallogenic series of mineral deposits in the metallogenic belt of West Qinling, China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(01): 114–128.
- 姚书振, 周宗桂, 吕新彪, 等. 秦岭成矿带成矿特征和找矿方向[J]. *西北地质*, 2006, 39(02): 156–178.
- YAO Shuzhen, ZHOU Zonggui, LÜ Xinbiao, et al. Mineralization characteristics and prospecting potential in the Qinling metallogenic belt[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(02): 156–178.
- 雍化常, 罗龙. 四川若尔盖降扎 510-1 矿床控矿因素分析[J]. *四川地质学报*, 2014, 34(1): 1–4.
- YONG Huachang, LUO Long. On ore control factors of the 510-1 deposit in Jiangzha, Roigê, Sichuan[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2014, 34(1): 1–4.
- 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. Rethinking of the Qinling orogeny[J]. *Journal of Geomechanics*, 2019, 25(5): 746–768.
- 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. *地学前缘 (中国地质大学 北京)*, 2004, 11(3): 23–32.
- ZHANG Guowei, GUO Anlin, YAO Anping. Western Qinling – Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics[J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences Beijing)*, 2004, 11(3): 23–32.
- 张玉龙. 甘肃省中川铀矿成矿条件及远景评价[J]. *甘肃地质*, 2008, 17(2): 61–66.
- ZHANG Yulong. Mineralization conditions and prospective evaluation of Zhoug Chuan Uranium mine in Gansu Province[J]. *Gansu Geology*, 2008, 17(2): 61–66.
- 赵东宏, 杨忠堂, 李宗会, 等. 秦岭成矿带成矿地质背景及优势矿产成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- 周乐尧. 甘肃省西成铅锌矿田矿源层的确定及其 Pb-Zn 活化机理研究[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1991, 16(2): 199–206.
- ZHOU Leyao. Source beds of Ore-forming metals and mechanism of Pb and Zn mobilization of Xicheng ore field, Gansu Province[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 1991, 16(2): 199–206.